บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในรถจักรยานชาร์จเจอร์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงเรื่อง เจนเนอร์เรเตอร์ วงจรชาร์จแบตเตอร์รี หลักการทำงานของเจนเนอร์เรเตอร์ และทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในวงจรชาร์จแบตเตอร์รี

2.1 เจนเนอร์เรเตอร์ (Generator) [1]

2.1.1 เครื่องกลกระแสตรง ชนิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องกลไฟฟ้าชนิดนี้เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ไดนาโม

2.1.1.2 เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เครื่องกลชนิดนี้เรียกว่า มอเตอร์

โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้า กระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์กระแสตรง มีโครงสร้างและหลักการที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (stator part) และ ส่วนที่เคลื่อนที่ (rotor part)

2.1.2 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

2.1.2.1 เปลือกหรือโครง ทำด้วยเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่ คือ

ก. ยึดขั้วแม่เหล็ก และส่วนประกอบทั้งหมด

ข. เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก

2.1.2.2 ขั้วแม่เหล็ก ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ อัดซ้อนกัน โดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ขั้วแม่เหล็กนี้จะนำไปยึดเข้ากับโครงด้วยสกรู

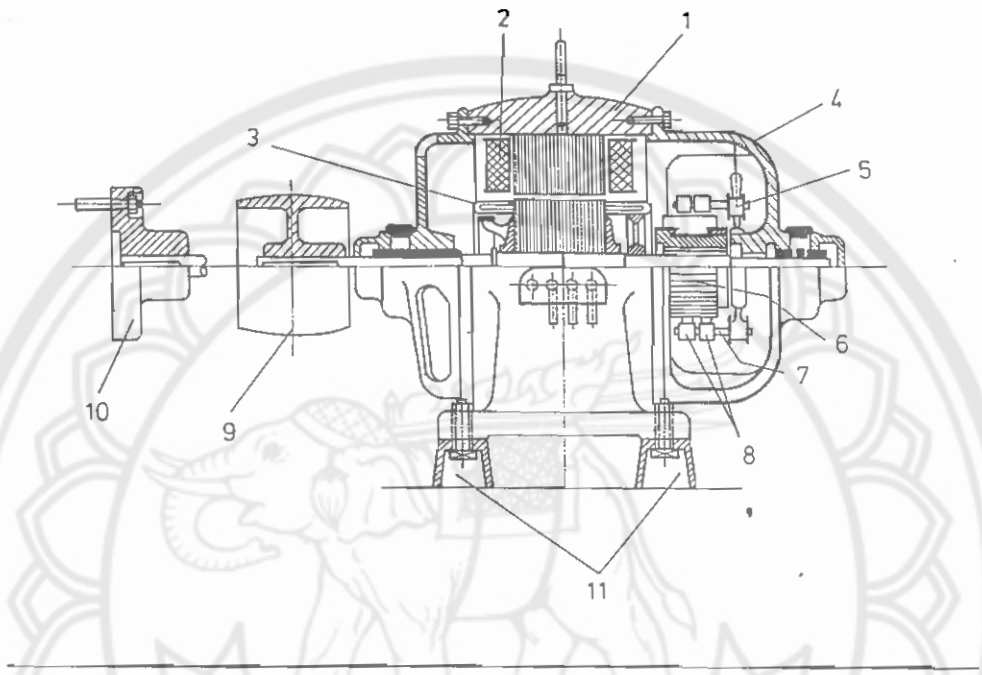
2.1.2.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก หรือเรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์ เป็นลวดตัวนำพันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดฟิลด์มี 2 ชนิด คือ

ขดลวดชั้นท์ฟิลด์ จะพันด้วยเส้นลวดเล็ก ความต้านทานจะสูง

ขดลวดซีรีสฟิลด์ จะพันด้วยลวดเส้นโตความต้านทานจะต่ำ

2.1.2.4 แปรงถ่านและแบริ่ง ทำหน้าที่เป็นสะพานฟจากคอมมิวเตเตอร์ ไปยังวงจรภายนอก แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่น จะมีลักษณะ เป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในซองถ่าน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และซองถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบส่วนแบริ่ง หรือ ลูก

ปืนนั้น จะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และช่วยลดแรงเสียดทานที่เพลา ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน ปกติแล้วแบริ่งจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านและ ซองถ่าน



1. เปลือกหุ้ม (วงจรแม่เหล็ก)
2. ขดลวดสนามแม่เหล็ก
3. ขดลวดอาร์เมเจอร์
4. ฝาครอบหัวท้าย
5. กล่องใส่แปรงถ่าน
6. คอมมิวเตเตอร์
7. แปรงถ่าน
8. สปริงกดแปรงถ่านให้แน่น
9. ล้อสายพาน
10. อุปกรณ์ต่อแกนโดยตรง หรือคัปปลิง
11. สกรู (นัค) ยึดโครงไดนาโมกับฐานให้แน่น

รูปที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

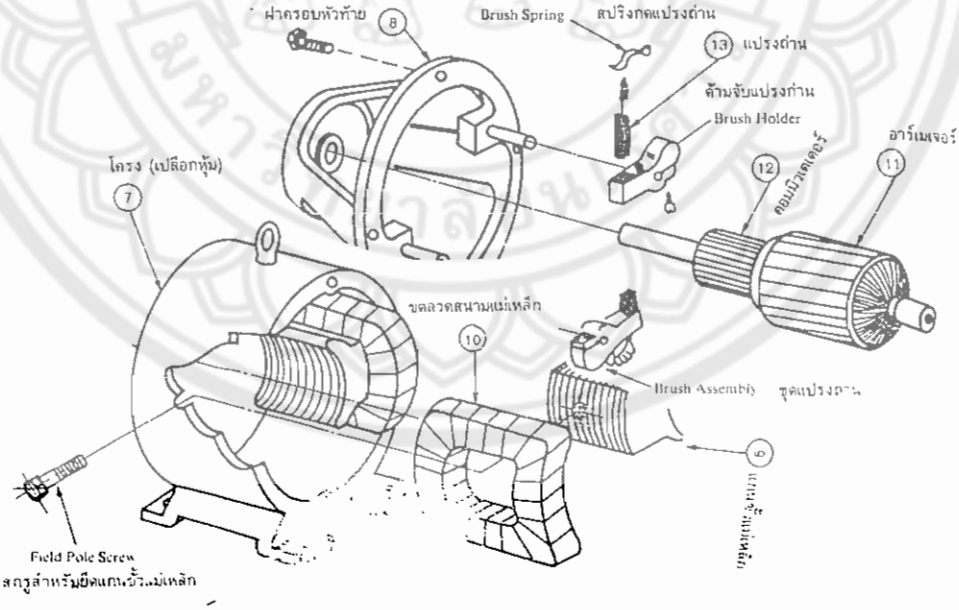
2.1.2.5 ฝาปิดหัวท้าย หรือ ฝาครอบ ทำ[illegible]จากเหล็กหล่อเช่นเดียวกันกับโครง ทำหน้าที่รับเพลาของส่วนหมุนและยึดซองถ่าน

2.1.3 ส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบไปด้วย

2.1.3.1 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และทำเป็นช่องสล็อทไว้ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วยเพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจาก loss

2.1.3.2 ขดลวดอาร์เมเจอร์ คือ ขดลวดที่บรรจุลงในช่องสล็อทของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ซึ่ง จะมีการพันเป็นแบบแลป หรือเวฟ ปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์

2.1.3.3 คอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายๆ ซี่ อัดเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่จะคั่นด้วย ฉนวนที่หนาแข็งแรง และยึดติดไว้บนเพลาอันเดียวกันกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.2 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเจนเนอร์เรเตอร์

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมักมีหลักการทำงานคล้ายกัน คือ การให้ตัวนำหมุนตัดฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อตัวนำยังไม่เคลื่อนที่ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กหรือตัวนำเคลื่อนที่ขนานกับฟลักซ์แม่เหล็กตามจะไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แต่ถ้าตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็ก ตามแนวตั้งหรือเฉียงแล้ว จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำ จะได้สูตร

$$e = Blv(\sin \emptyset) \qquad (2.1)$$

เมื่อ

e = แรงดันไฟฟ้า

B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (เวเบอร์/ตารางเมตร)

l = ความยามของตัวนำที่วางตัวตัดกับฟลักซ์แม่เหล็ก

v = ความเร็วในการเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก

Ø = มุมที่ตัวนำเคลื่อนที่ตัวฟลักซ์แม่เหล็ก

2.1.4 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็น พลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า

2.1.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนค่าในหนึ่งหน่วยเวลาตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$e = N \, d\Ø/dt \qquad (2.2)$$

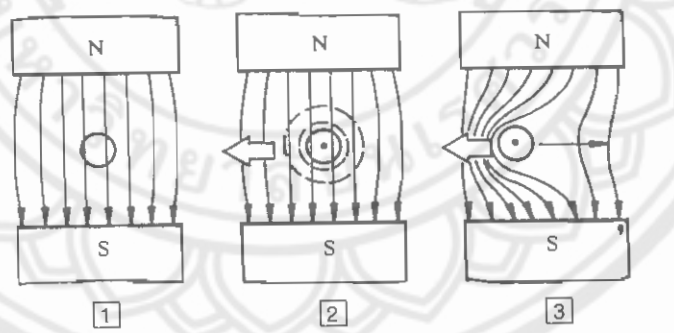
เมื่อ

e	=	**แรงเคลื่อนไฟฟ้า หน่วย โวลต์**
N	=	จำนวนรอบของขดลวด หน่วย รอบ
Ø	=	เส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์
t	=	เวลา หน่วยเป็น วินาที
dØ/dt	=	อัตราการเปลี่ยนค่าเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์/วินาที

ดังนั้นถ้าทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก จำนวน 1 เวเบอร์ เกิดการเปลี่ยนค่าในเวลา 1 วินาที จะให้กำเนิด**แรง**เคลื่อนไฟฟ้า 1 โวลต์

$$1 \text{ (V)} = 1(\text{Wbs}^{-1}) \qquad (2.3)$$

การเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น กระทำได้ 2 วิธีคือ ให้ขดลวดหมุนในสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด ดังนี้



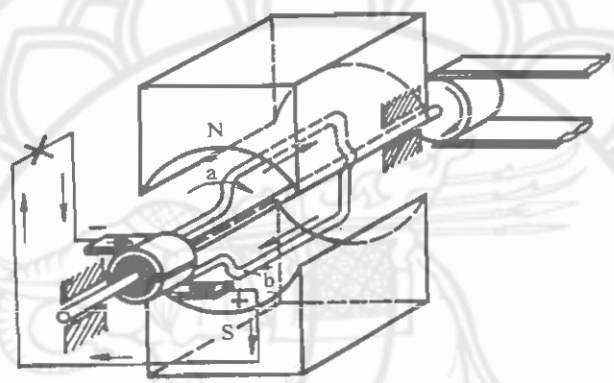
รูปที่ 2.4 ขดลวดหมุนในสนามแม่เหล็ก

ตามรูปที่ 2.4 (1)วางตัวนำในสนามแม่เหล็ก N – S (2)ทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กจะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนตัวนำ มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และ(3) แสดงให้เห็นถึงการให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนตัวนำ เมื่อทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก ขณะเดียวกันจะให้กำเนิดแรงผลักตัวนำเล็กน้อย ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิงในทิศทางตรงกันข้าม

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้ เป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ขนาดเล็กให้กำเนิดแรงดันและกำลังค่อนข้างน้อย

2.1.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

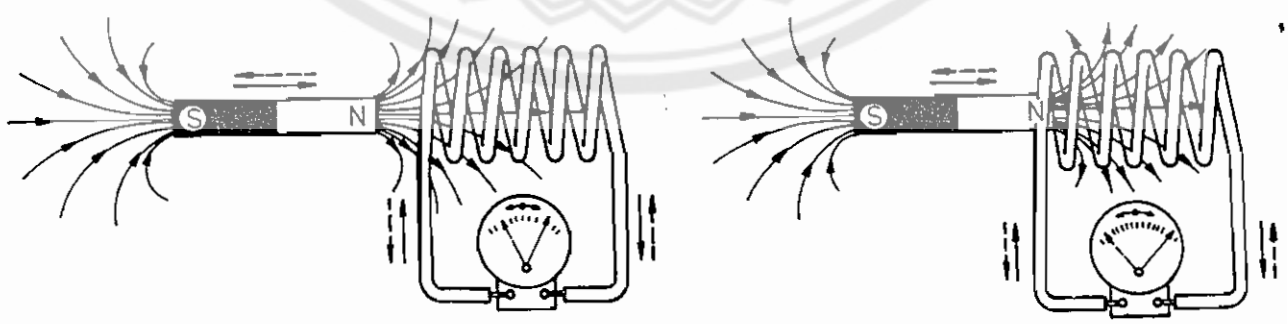
ตามรูปที่ 2.5 เป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบไปด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 - ตัวนำ) ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก N – S จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองของขดลวด ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และจะเปลี่ยนเป็นกระแสตรงเมื่อต่อผ่านซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.5 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.7 สนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด

ให้ขดลวดอยู่กับที่ ต่อปลายทั้งสองเข้ากับกัลวานอมิเตอร์ เมื่อทำให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในขดลวด จะพบว่าเข็มของกัลวานอมิเตอร์แกว่ง กลับไปกลับมาเช่นเดียวกันแสดงว่ามีกระแสสลับเกิดขึ้นแล้วบนขดลวด



รูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาในขดลวด จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ

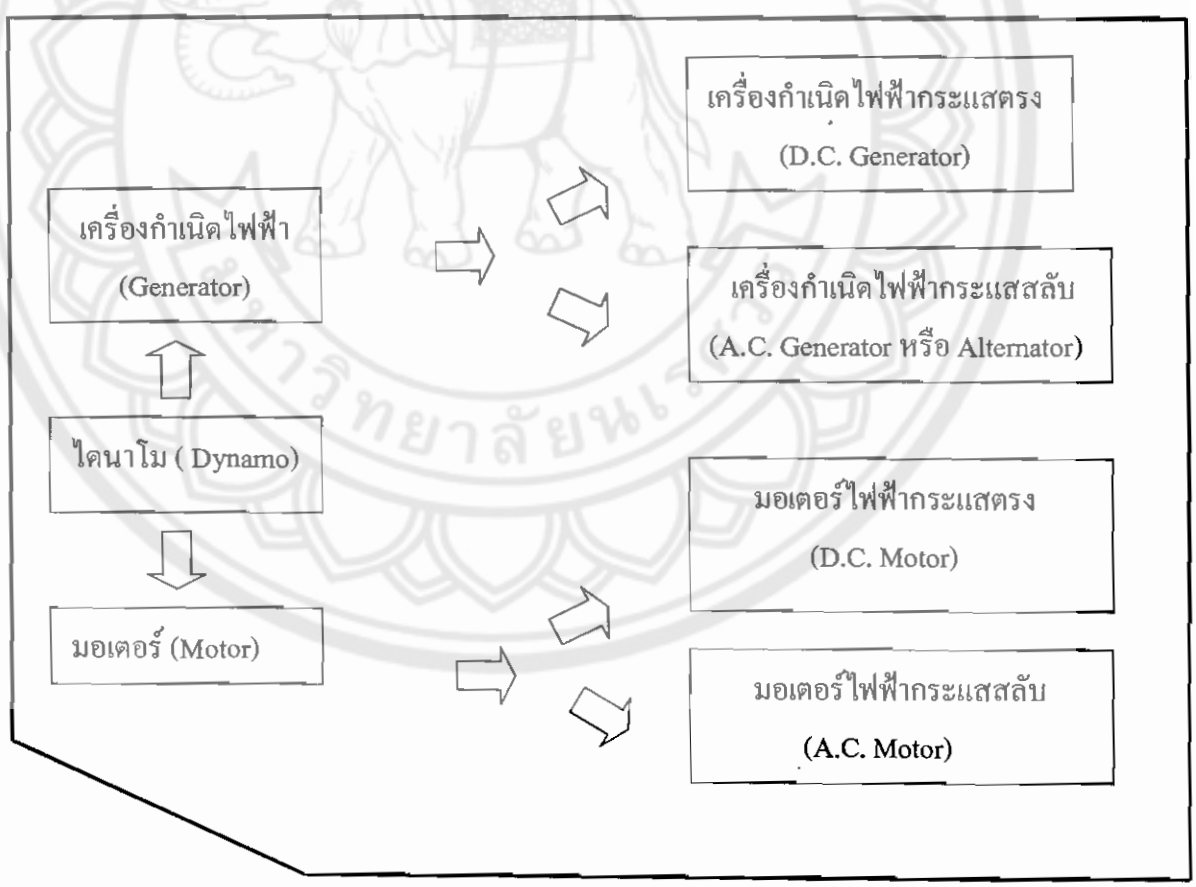
การเหนี่ยวนำแม่เหล็กด้วยวิธีนี้ตรงกันข้ามกับวิธีแรก คือขดลวดอยู่กับที่ ให้สนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุนตัดขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดขึ้นบนขดลวดซึ่งอยู่กับที่ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะเช่นนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดใหญ่ที่ให้กำเนิดแรงดัน และกำลังไฟฟ้าสูง

พลังงานไฟฟ้าที่มีใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลายในโลกปัจจุบัน ให้กำเนิดมาจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยวิธีสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด วิธีนี้ทั้งนั้น

2.2 ไดนาโม (Dynamo)

ไดนาโม (Dynamo) คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานกล

เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ส่วนเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานกล เรียกว่า มอเตอร์ (Motor)

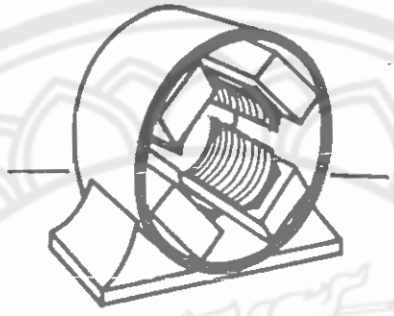


รูปที่ 2.7 ไดนาโมคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์

2.2.1 ส่วนประกอบของไดนาโม

2.2.1.1 เปลือกหุ้มหรือโครง (Field Frame หรือ Yoke)

มีรูปร่างทรงกระบอกกลวง ทำด้วยเหล็กหล่อให้มีขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ เป็นส่วนที่ห่อหุ้มไดนาโมทั้งหมด ภายนอกมีฉลากแผ่นป้ายบอกรายละเอียดต่าง ๆ ส่วนภายในมีแกนขั้วแม่เหล็กยึดติดอยู่ หน้าที่หลักของเปลือกหุ้มหรือโครง คือ เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือให้เป็นส่วนหนึ่งของวงจรแม่เหล็ก

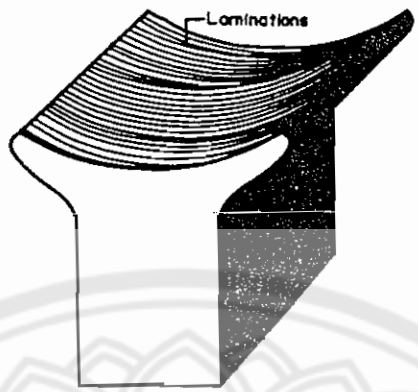


รูปที่ 2.8 เปลือกหุ้มหรือโครงของไดนาโม

2.2.1.2 แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole Core)

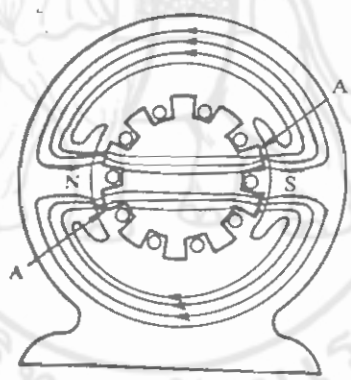
ทำด้วยแผ่นเหล็กไฟฟ้าแผ่นบาง ๆ ชนิดที่เคลือบผิวทั้งสองหน้าด้วยวัสดุฉนวน แต่ละแผ่นปั๊มใส่เป็นรูปร่าง และมีขนาดตามต้องการ ใช้หลาย ๆ แผ่นมาเรียงซ้อน ๆ กัน (เพื่อลดกำลังสูญเสียบนแกนเหล็กให้น้อยลง) ให้ได้ขนาดตามต้องการ

รูปที่ 2.9 รูปร่างลักษณะของแผ่นเหล็กแกนขั้วแม่เหล็ก และแกนอาร์เมเจอร์ของไดนาโม



รูปที่ 2.10 แกนขั้วแม่เหล็ก

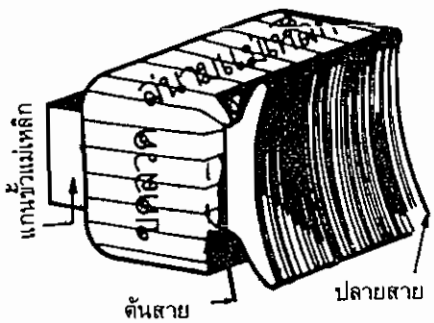
หน้าที่หลักของแกนขั้วแม่เหล็ก ให้กำเนิดเส้นแรงแม่เหล็ก ไหลออกจากขั้วเหนือ ผ่านช่องอากาศ ไปยังขั้วใต้ ผ่านเปลือกหุ้มหรือ โครง แล้วย้อนกลับมายังขั้วเหนือ



รูปที่ 2.11 วงจรแม่เหล็กของไดนาโม

2.2.1.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

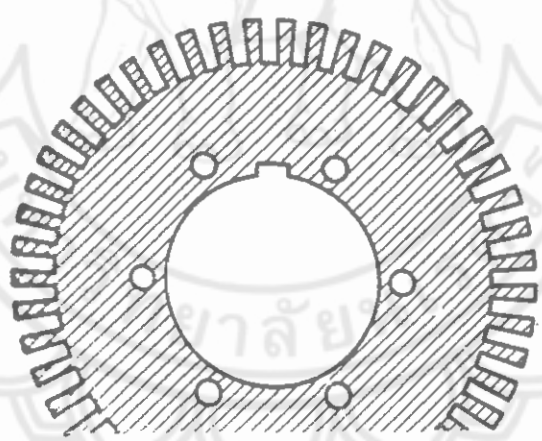
เป็นทองแดง ที่พันบนแกนขั้วแม่เหล็ก เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะสร้างขั้วแม่เหล็กให้เกิดขึ้นบนแกนขั้วแม่เหล็ก มีขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กออกจากขั้วเหนือผ่านช่องว่างอากาศไปยังขั้วใต้ ผ่านเปลือกหุ้มโครง แล้วย้อนกลับมายังขั้วเหนือ



รูปที่ 2.12 ขดลวดสนามแม่เหล็กของไดนาโม

2.2.1.4 แกนอาร์เมเจอร์ (Armature Core)

ทำด้วยเหล็กแผ่นบางๆ วางเรียงซ้อน ๆ กันเช่นเดียวกับแกนขั้วแม่เหล็ก มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตัน รอบ ๆ เซาะเป็นร่องสล็อต สำหรับใส่ตัวนำที่ต้องการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า เมื่อให้อาร์เมเจอร์หมุนในสนามแม่เหล็ก รูป 2.13 เป็นอาร์เมเจอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ที่เรียกกันว่า ดรัมอาร์เมเจอร์ หรืออาร์เมเจอร์แบบกลอง หรือ "Drum Armature"



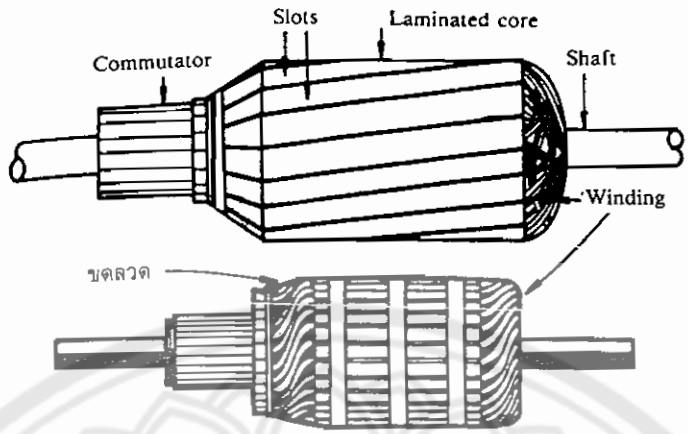
รูปที่ 2.13 แผ่นเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์ของไดนาโม

2.2.1.5 ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

เป็นขดลวดทองแดงที่ต้องการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า เมื่อให้หมุนตัดสนามแม่เหล็ก ด้วยการใส่ไว้ในสล็อต ของแกนอาร์เมเจอร์ ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนขดลวดที่ใส่ไว้ในสล็อตจะตัดสนามแม่เหล็ก ให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามสมการ

$$E_{av} = B.l.v.Z/a \qquad (2.4)$$

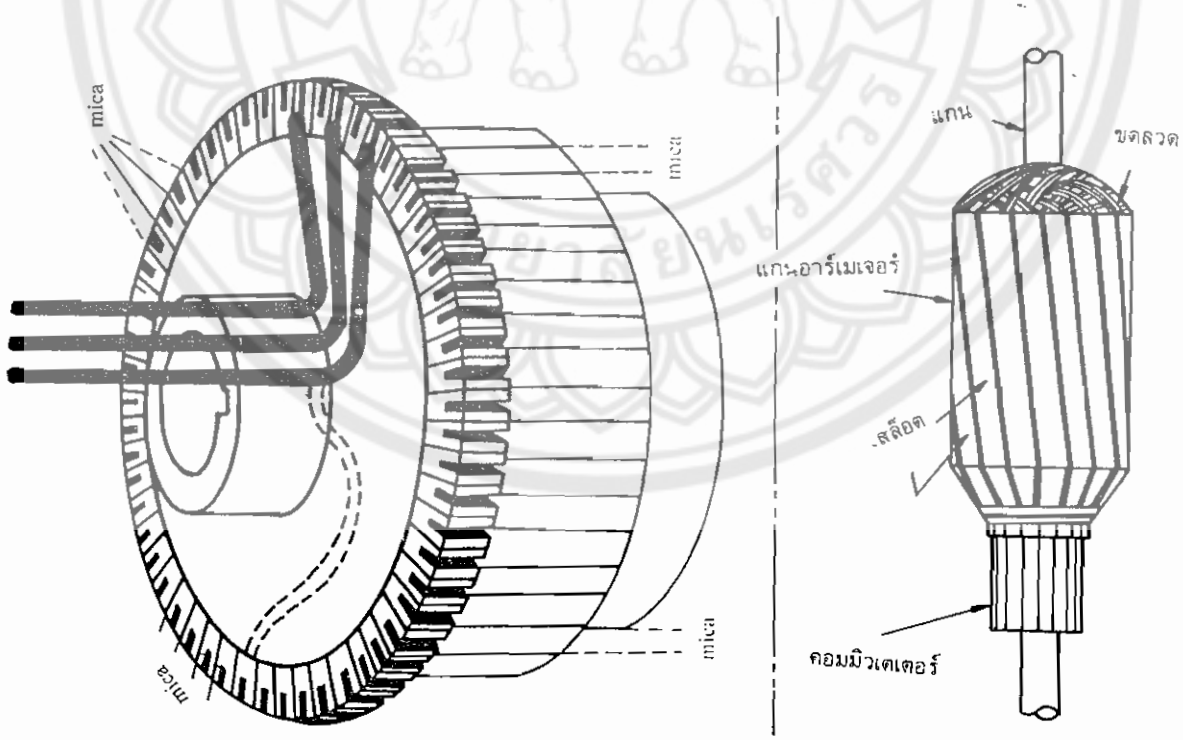
$$E_{av} = [Ø.p.n/60].Z/a \qquad (2.5)$$



รูปที่ 2.14 ขดลวดอาร์เมเจอร์

2.2.1.6 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

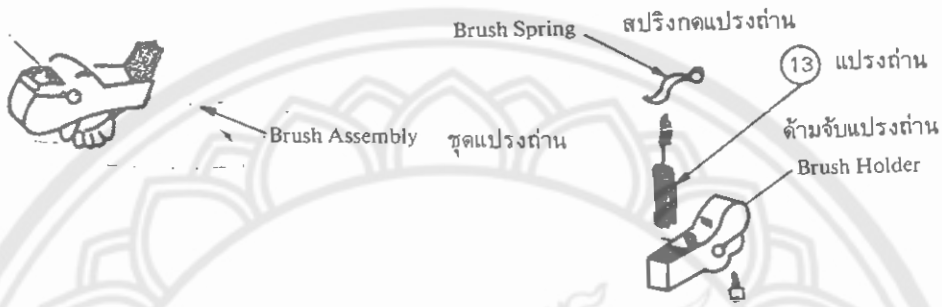
เป็นส่วนที่รองรับปลายทั้งหมดของขดลวดอาร์เมเจอร์และมีหน้าที่หลักเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) ที่เกิดขึ้นบนขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)



รูปที่ 2.15 คอมมิวเตเตอร์

2.2.1.7 แปรงถ่าน (Brush)

ทำด้วยแท่งคาร์บอนปกติวางให้สัมผัสอยู่กับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์หรือหน้าสัมผัสของสปริง เพื่อนำกระแสออกไปจากโหลด หรือนำกลับเข้ามายังขดลวดอาร์เมเจอร์ปกติแล้วหน้าสัมผัสระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ หรือ สปริงต้องเรียบ และแนบสนิทจริง ๆ จึงต้องกดแปรงถ่าน

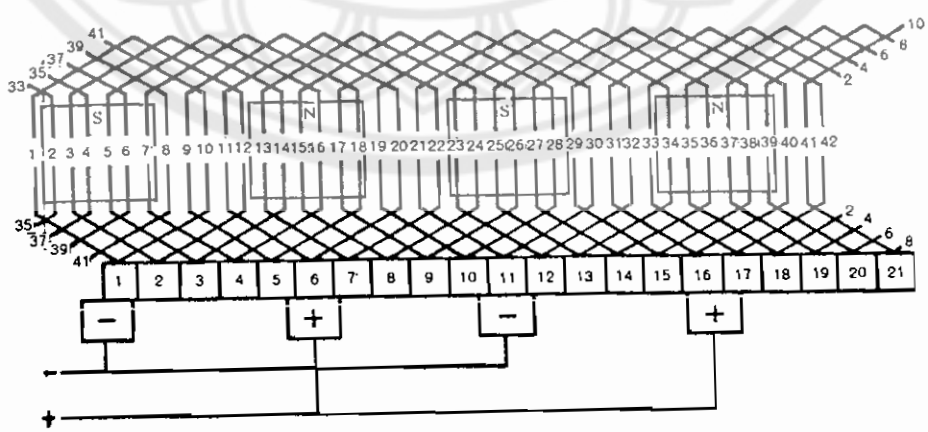


รูปที่ 2.16 แปรงถ่านพร้อมด้วยสปริงกดแปรงถ่านให้แน่น

2.2.2 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์

2.2.2.1 ขดลดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

ขดลวดต่ออนุกรมกันบนซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อพิจารณาวงจรแล้วจะพบว่าขดลวดเป็นวงจรไม่รู้จบ และวงจรครบรอบเป็นวงจรปิดอยู่บนซี่ทองแดง ดังนั้นจึงกล่าวว่าขดลวดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็น “ขดลวดวงจรปิด”

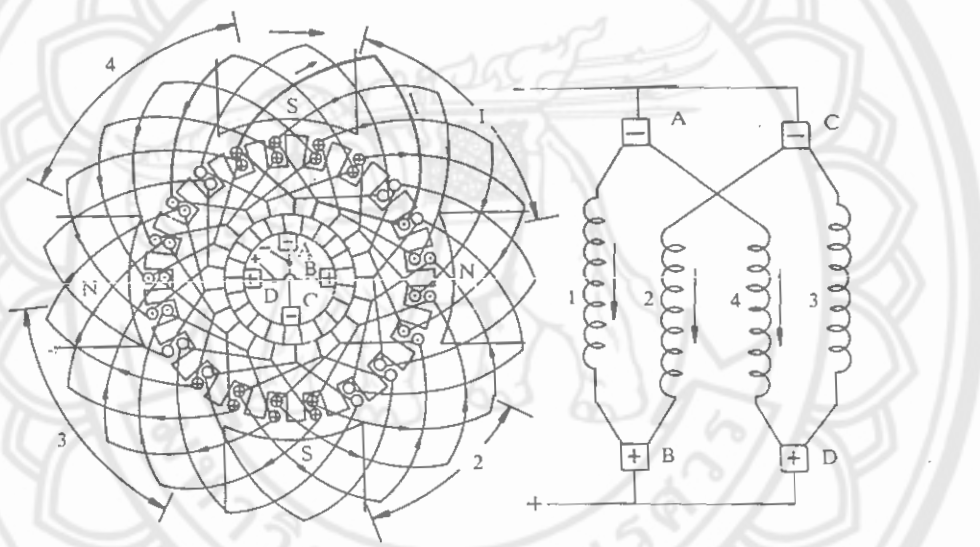


รูปที่ 2.17 ขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.3 ชนิดของขดลวดอาร์เมเจอร์

2.2.3.1 ขดลวดแบบ Lap Wound Winding

เป็นการลงปลายสายบนซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์เพื่อทำให้วงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนอาร์เมเจอร์มีจำนวนเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก เช่น ไดนาโม 4, 8 ขั้ว จะให้วงจรไฟฟ้าคู่ขนานเท่ากับ 4 และ 8 วงจร ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้การลงขดลวดแบบ Lap Winding จึงเรียกว่า Multiple circuit หรือ parellel Winding



รูปที่ 2.18 ขดลวดอาร์เมเจอร์ Lap Wound Winding ของไดนาโม ชนิด 4-ขั้ว 120 V 40 A

2.2.3.2 ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบ Wave Wound Winding

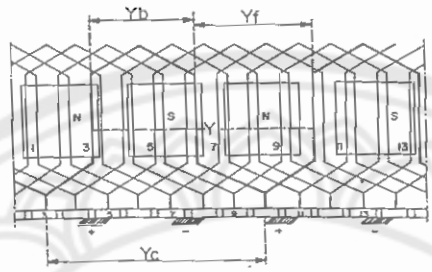
เป็นการลงปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์บนซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อทำให้มีวงจรไฟฟ้าคู่ขนาน บนอาร์เมเจอร์เท่ากับ เพียง 2 วงจร เท่านั้น ไม่ว่าจะมีขั้วแม่เหล็กกี่ขั้วก็ตาม ด้วยเหตุนี้ขดลวดแบบ Wave จึงเรียกว่า "2 – Circuit Winding หรือ Scries Winding"

$$a = p = 2 \qquad (2.6)$$

เมื่อ

p = จำนวนขั้วแม่เหล็กของไดนาโม

a = จำนวนวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.19 การลงปลายสายขดลวดอาร์เมเจอร์ แบบ Wave wound Winding

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของการพันอาร์เมเจอร์ที่โรเตอร์แบบแลป และแบบเวฟ

การพันแบบแลป	การพันแบบเวฟ
1. มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์สูงแต่แรงดันไฟฟ้าต่ำ	1. มีกระแสไฟฟ้าต่ำแต่แรงดันสูงกว่าโดยกำลังไฟฟ้าที่ได้เท่ากันกับแบบแลป
2. ทางขนานในการพัน Simplex lap มี a = p Duplex lap มี a = 2p Triplex lap มี a = 3p	2. ทางขนานในการพัน Simplex wave มี a = 5 Duplex wave มี a = 4 Triplex wave มี a = 6
3. การพันแบบแลป $Y_c = 1$ เสมอ	3. การพันแบบเวฟมีระยะ $Y_c > 1$ เสมอ
	4. ขดลวดตัวนำที่มีขั้วแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเหมือนกันจะต่อกับแปรงถ่านอันเดียวกัน ดังนั้นการพันแบบเวฟจึงมีแปรงถ่านเพียง 2 อันก็พอ

2.2.4 ชนิดการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ที่คณะผู้ศึกษาเลือกพัน

ในการทำโครงงานนี้ ผู้ศึกษาได้นำเอามอเตอร์ซึ่งเป็นไดร์ชาร์จที่ใช้ในรถยนต์ มาพันใหม่เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น มาใช้เป็นเจนเนอร์เรเตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรชาร์จ

แบตเตอร์รี เนื่องจากในการชาร์จแบตเตอร์รีต้องการกระแสชาร์จที่สูงพอสมควรเพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอร์รีได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นจากศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการพันเจนเนอร์เรเตอร์แบบต่างๆ คณะผู้ศึกษาจึงเห็นว่าการพันขดลวดอาร์เมเจอร์นั้นควรพันแบบแลป เพื่อให้ได้กระแสที่สูงเพียงพอในการชาร์จแบตเตอร์รี

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำอาร์เมเจอร์

$$E_g = (z\Phi P\omega)/(2\pi a) \qquad (2.7)$$

หรือ

$$E_g = (z\Phi PS * 10^{-8})/(60a) \qquad (2.8)$$

เมื่อ

E_g = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยของอาร์เมเจอร์

z = จำนวนตัวนำ

P = จำนวนขั้ว

a = จำนวนทางขนาน

ω = ความเร็ว (เรเดียน/วินาที)

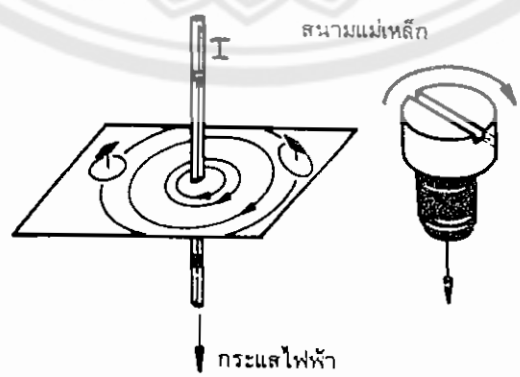
Φ = ฟลักซ์แม่เหล็ก

S = ความเร็ว (รอบ/นาที)

2.3 กฎต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับไดนาโม [2]

2.3.1 กฎมือขวาของสกรู (Right hand screw หรือ Corkscrew Rule)

ให้กระแสไฟฟ้า : I ไหลไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสกรูที่มีเกลียวหมุนขวา ทิศทางการหมุนของเกลียวจะเป็นทิศทางของสนามแม่เหล็ก ตามรูปที่ 2.20

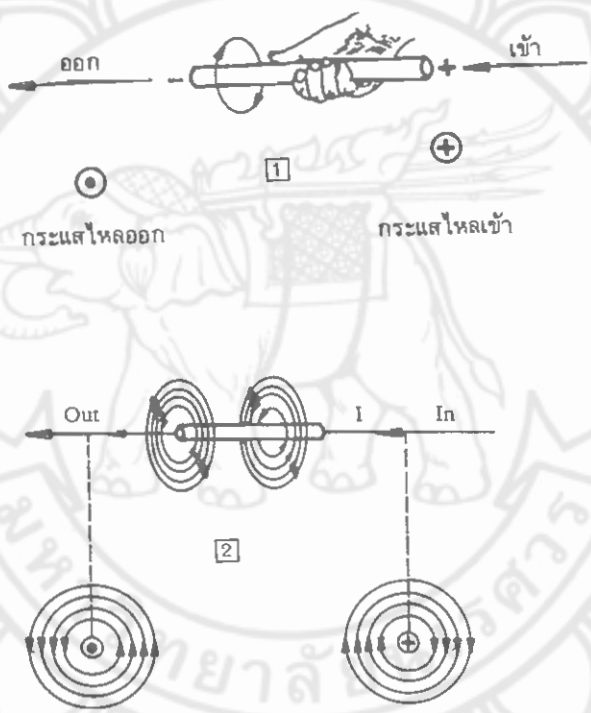


รูปที่ 2.20 กฎมือขวาของสกรู

2.3.2 สนามแม่เหล็กของตัวนำเส้นตรง

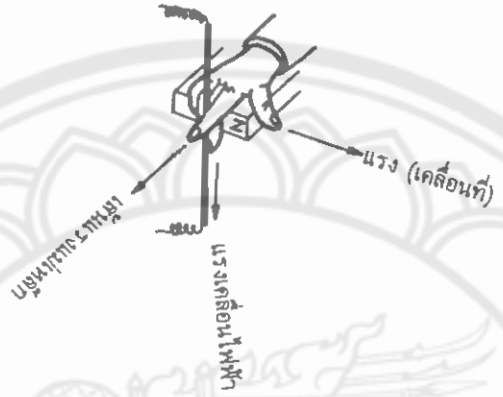
เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำที่เป็นเส้นตรง จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นล้อมรอบตัวนำในลักษณะตั้งฉากกับกระแสไฟฟ้านั้น

ทิศทางของสนามแม่เหล็ก สามารถหาได้โดยใช้กฎมือขวา (Thumb Rule) ตามรูปที่ 2.21 (1)ให้กำตัวนำที่เป็นเส้นตรงด้วยมือขวา นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า นิ้วทั้งสี่ที่เหลือ จะแทนทิศทางของสนามแม่เหล็ก และ (2) กฎมือขวาของสกรู



รูปที่ 2.21 สนามแม่เหล็กของตัวนำเส้นตรง

2.3.3 กฎมือขวาของเฟลมมิง (Fleming's Right Hand Rule)



รูปที่ 2.22 กฎมือขวาของเฟลมมิง

ใช้สำหรับหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (แรงดันเหนี่ยวนำ) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสนามแม่เหล็กกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำของอาร์เมเจอร์ โดยเฉพาะดังนี้

ให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือขวา วางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ตามรูปที่ 2.22 กำหนดให้นิ้วหัวแม่มือ แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก นิ้วชี้แทนทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) นิ้วกลางจะแทนทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Induced Emf)

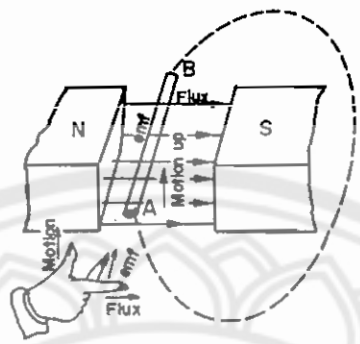
ตามรูปที่ 2.22 แสดงการหาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำ AB ในสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิง

ถ้าให้ F = แรงเคลื่อนที่

Ø = เส้นแรงแม่เหล็ก

+ = กระแสไหลเข้า

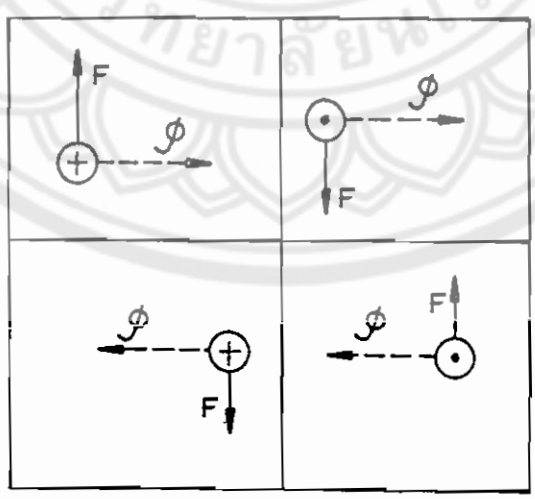
⊙ = กระแสไหลออก



รูปที่ 2.23 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสนามแม่เหล็ก

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเคลื่อนที่ (Motion) เส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) และ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (แรงดันเหนี่ยวนำ Induced Emf) ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง สามารถแสดงให้เห็นจริงด้วยสัญลักษณ์ตามรูปที่ 2.24 ต่อไปนี้

แรงเคลื่อนที่ F แทนด้วยนิ้วหัวแม่มือ
เส้นแรงแม่เหล็ก Ø แทนด้วยนิ้วชี้
แรงเคลื่อนไฟฟ้า + หรือ ⊙ แทนด้วยนิ้วกลาง

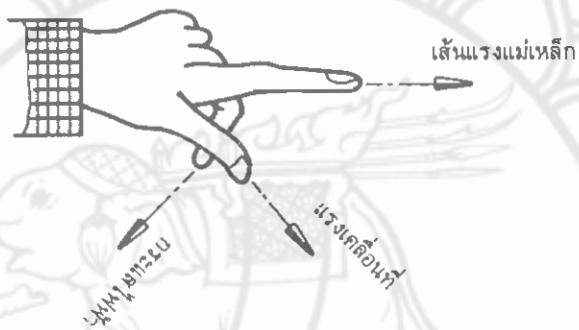


รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเคลื่อนที่ เส้นแรงแม่เหล็ก และแรงเคลื่อนไฟฟ้า ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง

2.3.4 กฎมือซ้ายของเฟรมมิง (Fleming' Left Hand Rule)

ใช้สำหรับหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กกรณีของมอเตอร์หาทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์โดยเฉพาะ ดังนี้

ให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางของมือซ้ายวางตั้งฉากซึ่งกันและกันตาม รูปที่ 2.25 กำหนดให้นิ้วชี้แทนทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลางแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะเป็นทิศทางของแรง (ทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์)



รูปที่ 2.25 กฎมือซ้ายของเฟลมมิง

เมื่อ

Ø แทนสนามแม่เหล็ก (เส้นแรงแม่เหล็ก)

+ หรือ ⊙ แทนกระแสไฟฟ้าไหลเข้าและไหลออกตามลำดับ

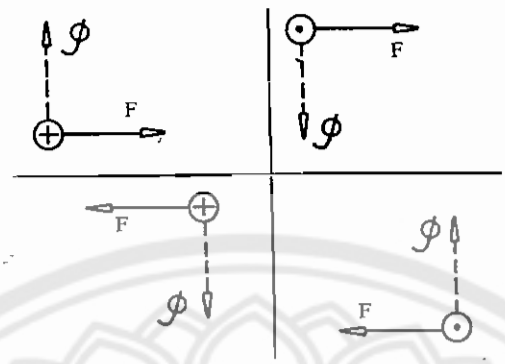
F แทนทิศทางการหมุน

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง เส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้า ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง สามารถแสดงให้เห็นจริงได้ ด้วยรูปสัญลักษณ์ตาม รูปที่ 2.26 ต่อไปนี้

Ø เส้นแรงแม่เหล็กแทนด้วยนิ้วชี้

+ หรือ ⊙ กระแสไฟฟ้าไหลเข้าหรือไหลออก แทนด้วยนิ้วกลาง

F แรง หรือทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์ แทนด้วยนิ้วหัวแม่มือ



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง เส้นแรงแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้า ตามกฎมือซ้ายของ เฟลมมิง

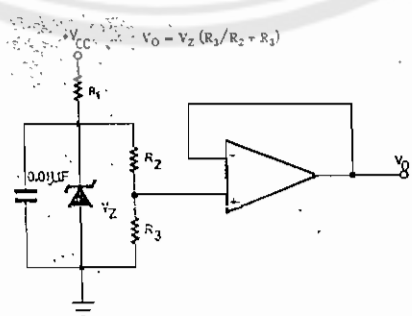
2.4 วงจรแรงดันอ้างอิง [3]

วงจรแรงดันอ้างอิงแสดงให้เห็นใน รูปที่ 2.27 ตัวออปแอมป์ จะให้ค่าแรงดันคงที่กับโหลดไม่ว่าจะเป็นค่าเท่าไร โดยค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้ขึ้นอยู่กับค่า แรงดันซีเนอร์ไดโอดทางด้านอินพุท ค่าแรงดัน v_{REF} จะคงที่แม้ว่าค่าแรงดันไฟเลี้ยงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วก็ตาม

การเลือกค่า V_0 ทำได้แบบต่อเนื่องตั้งแต่แรงดัน 0 โวลต์ จนถึงค่าแรงดัน V_z ด้วยการต่อแบ่งแรงดันที่ R_2, R_3 โดยค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความสัมพันธ์ของ V_z และ R_2 , R_3 หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

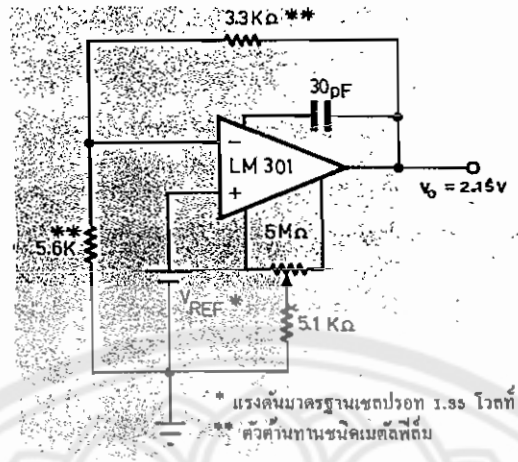
$$V_0 = V_z (R_3/R_2 + R_3) \qquad (2.9)$$

ค่าแรงดันอ้างอิงที่ได้จะมีค่าเป็นบวก หรือเป็นลบอย่างใดก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าการแบ่งแรงดันให้ทางด้านอินพุทถ้าให้แรงดันลบ เอาท์พุทก็จะได้ค่าแรงดันอ้างอิงเป็นลบด้วย



รูปที่ 2.27 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง

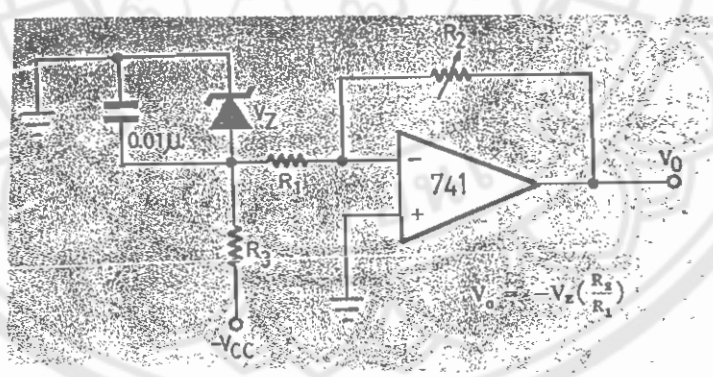
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์



รูปที่ 2.28 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง

2.4.1 แรงดันอ้างอิงที่ได้สูงกว่า V_{REF}

ในกรที่ต้องการแรงดันอ้างอิงที่สูงกว่าแรงดัน V_Z ตัววงจรออปแอมป์จำเป็นที่จะต้องมีอัตราขยายดังวงจร รูปที่ 2.28 โดยปกติถ้าต้องการให้แรงดันเอาท์พุทเป็นแรงดันที่มีเสถียรภาพ ไม่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิเราจึงต้องใช้ V_{REF} ที่เสถียรภาพ ในที่นี้เราจะใช้เซลปรอทซึ่งเสถียรภาพกับอุณหภูมิดีมาก โดยวงจรจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ± 0.2 % เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 – 70 °C



44006 J/
TL
410
25745
2544 C./

รูปที่ 2.29 วงจรแรงดันอ้างอิง

2.4.2 แรงดันอ้างอิงที่มีค่าตรงข้ามกับ V_Z

วงจรแรงดันอ้างอิงที่แสดง รูปที่ 2.29 ให้เอาท์พุทมีค่าตรงข้ามกับ V_Z นั่นคือสามารถสร้างแรงดันอ้างอิงที่มีค่าเป็นลบได้หรือบวกก็ได้ ข้อดีของวงจรนี้คือสามรถปรับระดับแรงดันเอาท์พุทได้ง่ายโดยการปรับที่ตัวต้านทาน R_2 และจากวงจรสามาถรถหาค่าแรงดันเอาท์พุทได้

2.5 วงจรเรกูเลเตอร์ใช้ไอซีออปแอมป์ [3]

เราใช้ออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายความแตกต่าง อินพุทขั้วบวกของออปแอมป์ ต่อกับแรงดันอ้างอิงที่ได้จากซีเนอร์ไดโอด D_1 โดยมี R_2 เป็นตัวไบแอส D_1 แรงดันตัวอย่าง V_0 จาก $R_2 + R_1$ ต่อเข้ากับอินพุทขั้วลบของ ออปแอมป์ เอาท์พุทต่อที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ตามรูปที่2.30 ตัวต้านทานที่สำคัญคือค่า R_2และ R_1 จะเป็นตัวกำหนดแรงดันเอาท์พุต

จาก รูปที่ 2.30

$$V'_O = A_V(V_R - \beta V_O)$$

$$V_O = V'_O + 0.7$$

$$\sim V'_O \text{ เมื่อ } V'_O >> 0.7$$

$$V_O = A_V V_R - \beta V_O A_V$$

$$V_O = A_V V_R / 1 + \beta A_V$$

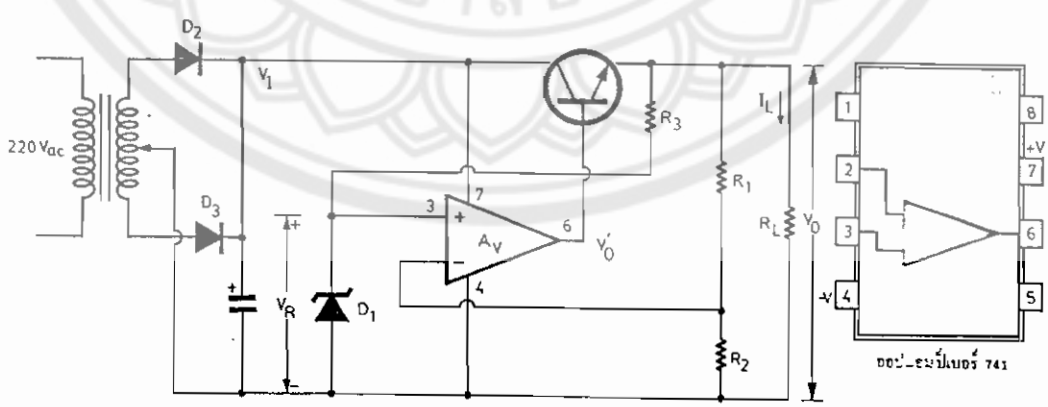
$$= V_R / (1/A_V + \beta)$$

$$A_V >> 1$$

$$= V_R / \beta$$

$$\beta = R_2 / R_1 + R_2$$

$$V_O = (1 + R_1 / R_2) V_R$$



รูปที่ 2.30 วงจรจ่ายไฟตรงแบบเรกูเลทที่ใช้ไอซีแบบออปแอมป์

2.6 วงจรเปรียบเทียบ [3]

โดยปกติแรงดันไฟเลี้ยงที่ให้กับออปแอมป์จะเป็นแรงดัน $+V_{cc}$ และ $-V_{cc}$ ที่มีค่าตั้งแต่ ± 3 โวลท์ จนถึง ± 18 โวลท์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเอาท์พุทของออปแอมป์เมื่อเป็นวงจรขยายเปิดลูป จะอิ่มตัวอยู่ที่ $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ เท่านั้น นั้นคือถ้าแรงดันที่ขาอินเวอร์สติ้งของออปแอมป์มีค่ามากกว่าขานอนอินเวอร์สติ้งเพียงเล็กน้อย แรงดันเอาท์พุทก็จะอิ่มตัวอยู่ที่ $-V_{cc}$ และถ้าแรงดันขาอินเวอร์สติ้งมีค่าน้อยกว่าขานอนอินเวอร์สติ้งแรงดันเอาท์พุทก็จะอยู่ที่ $+V_{cc}$

จะเห็นว่าลักษณะของออปแอมป์จึงเป็นวงจรเปรียบเทียบที่ให้ค่าแรงดัน เอาท์พุท $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรทางด้านดิจิตอลหรือวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างวงจรอนาลอก กับวงจรดิจิตอล เพราะแรงดันเอาท์พุทอาจทำให้ภาควงจรดิจิตอลเกิดการเสียหายได้ บริษัทผู้ผลิต ไอซี จึงหันมาผลิตออปแอมป์ที่ได้ ระดับแรงดันอยู่ 2 ระดับเช่น 0 โวลท์กับ 5 โวลท์ เพื่อใช้กับวงจรทีทีแอลหรือซีมอส และให้ชื่อออปแอมป์ที่ใช้งานเฉพาะอย่างนี้ว่า **วงจรเปรียบเทียบ Comparator**

สรุปให้เห็นชัดได้คือวงจรเปรียบเทียบก็เป็นวงจรออปแอมป์ที่ได้ออกแบบมาพิเศษให้ระดับเอาท์พุทอิ่มตัวที่สองระดับแรงดัน ไม่ใช่ $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ โดยใช้ในขณะเป็นวงจรขยายเปิดลูป หรือออกแบบให้มีขาควบคุมเพิ่มขึ้น เช่นขาสโตรป หรือขาอินฮิบิท เพิ่มเติม

2.6.1 ไอซีวงจรเปรียบเทียบ

ไอซีวงจรเปรียบเทียบมีลักษณะเป็นวงจร ขยายความแตกต่าง (Differential Amp) ในลักษณะวงจรขยายเปิดลูปหรือไม่มีการป้อนกลับ ดังนั้นวงจรขยายนี้จึงมีอัตราการขยายค่อนข้างสูงมาก และเอาท์พุท ก็จะอิ่มตัวอยู่ที่ ระดับแรงดันสองระดับ คือสูง หรือต่ำ ขึ้นอยู่กับค่าระดับแรงดันอินพุทที่ขาทั้งสอง

วงจรเปรียบเทียบในอุดมคติก็คือ วงจรออปแอมป์ในอุดมคตินั่นเอง และควรจะมีคุณสมบัติของวงจรดังต่อไปนี้

อัตราขยายแรงดันของผลต่างที่อินพุทมีค่าเป็นอนันต์

อัตตราขยายแรงดันเมื่ออินพุททั้งสองมีเฟสร่วมหรืออยู่ในโหมดเดียวกันเป็นศูนย์

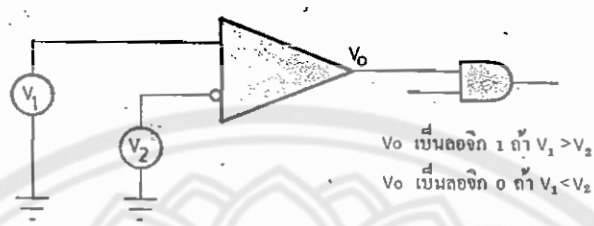
อินพุทอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์

เอาท์พุทอิมพีแอนซ์เป็นศูนย์

แถบขยายทางด้านความถี่เป็นอนันต์

แรงดันและกระแสออฟเซทเป็นศูนย์

สิ่งที่ได้ปรับปรุงขึ้นในวงจรเปรียบเทียบก็คือ การปรับปรุงผลของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันกับการเปลี่ยนโหมด หรือเรียกว่า ช่วงเวลารีโคฟเวอรี (Recovery Time) ช่วงเวลาการสวิทซ์ และระดับแรงดันเอาท์พุท เพราะหน้าที่หลักของวงจรเปรียบเทียบ คือใช้เป็นวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างสัญญาณอานาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ดังนั้นระดับสัญญาณเอาท์พุทซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลต้องมีระดับสัญญาณที่พอเหมาะเป็นระดับของสัญญาณลอจิกได้การใช้งานของวงจรเปรียบเทียบเบื้องต้นแสดงให้ดูดังรูปที่ 2.3.1



รูปที่ 2.31 วงจรเปรียบเทียบเบื้องต้น

2.6.2 สเปกและขีดจำกัดการใช้งานวงจรเปรียบเทียบ

2.6.2.1 อัตราขยายแรงดัน (A_{VO})

อัตราขยายแรงดันเป็นตัวบอกถึงความไว (Senstivity) ของวงจรเปรียบเทียบ ถ้าอัตราขยายแรงดันสูงก็จะทำให้เอาท์พุทเกิดการสวิทซ์เปลี่ยนระดับได้เร็ว โดยปกติแล้ววงจรเปรียบเทียบในอุดมคติจะต้องมีอัตราการขยายเป็นอนันต์ นั่นคือแรงดันเพียงเล็กน้อยที่ป้อนให้ที่อินพุททั้งสอง จะทำให้แรงดันเอาท์พุทเปลี่ยนสถานะที่เป็นอยู่ได้ ในทางปฏิบัติแล้ว อัตราขยายแรงดันของวงจรเปรียบเทียบ จะมีค่าไม่ถึงอนันต์ ดังนั้น ต้องให้แรงดันอินพุทเพียงเล็กน้อยเพื่อทำให้เอาท์พุทเปลี่ยนแปลงและเราคิดในรูปของการเปลี่ยนแปลงแรงดันจำนวนหนึ่งที่อินพุทเพื่อที่จะให้การเปลี่ยนแปลงสถานะที่เอาท์พุท อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุท ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทคือ กำลังขยายแรงดันของวงจรเปรียบเทียบ และจากความสัมพันธ์ที่กล่าวมาเราสามารถหาค่าความไวน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเอาท์พุทคือ

$$\Delta V_{imin} \neq \Delta V_O / A_{VD} \qquad (2.10)$$

เมื่อ

ΔV_O คือผลต่างของแรงดันสภาวะ (Hi) และสภาวะ (Low) ที่เอาท์พุท โดยปกติประมาณ 5 โวลต์ และ 0 โวลต์

A_{VD} คืออัตราขยายแรงดันหรือความไวของวงจรเปรียบเทียบ

ΔV_{imin} คือค่าความไวน้อยที่สุด

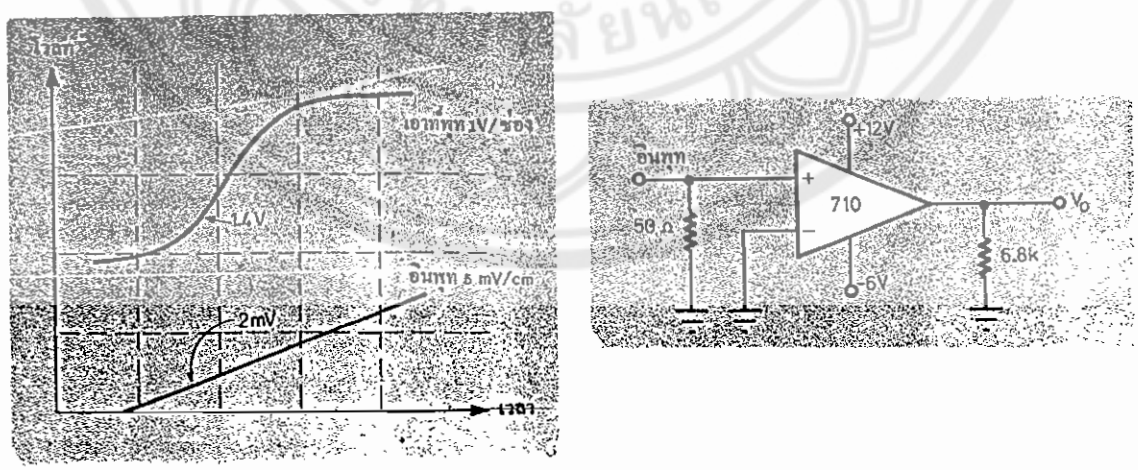
2.6.2.2 แรงดันออฟเซทที่อินพุท

แรงดันออฟเซทที่อินพุท คือแรงดันที่ให้ระหว่างอินพุท เพื่อที่จะทำให้เอาท์พุทมีค่า ค่าหนึ่งซึ่งผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดโดยดิดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิที่ใช้งานด้วย แรงดันออฟเซทที่บริษัทเทกซัสอินสตรูกเมนต์กำหนดไว้ที่มาตรฐานที่อุณหภูมิและแรงดันเอาท์พุทดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 การหาค่าแรงดันออฟเซทที่อินพุท

อุณหภูมิ (°C)	ระดับแรงดันเอาท์พุท (V)
-55	1.8
0	1.5
25	1.4
70	1.2
125	1.0

รูปที่ 2.32 นี้แสดงรูปคลื่นความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุทและแรงดันเอาท์พุทโดยให้ระดับแรงดันเอาท์พุทค่อย ๆ ชันขึ้น และไอซีที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นไอซีเบอร์ 710 ซึ่งมีขั้วอินพุทลบต่อกราวนด์และขั้วบวกที่อิน พุทต่อกับสัญญาณลาด เมื่อระดับแรงดันที่เอาท์พุทมี ค่า 1.4 โวลท์จะเป็นจุดที่ใช้หาค่าแรงดันออฟเซทที่อินพุท จาก รูปที่ 2.32 แสดงเราจะได้ค่าแรงดันออฟเซทที่อินพุทมีค่า –2 mV และเมื่อคิดหาความไวหรืออัตราขยาแรงดันเราจะได้ค่าอัตราของแรงดันประมาณ 1150 โวลท์



รูปที่ 2.32 การวัดอัตราขยายแรงดันออฟเซทของไอซีเบอร์ 710

2.6.2.3 ลักษณะสมบัติทางด้านเอาท์พุท

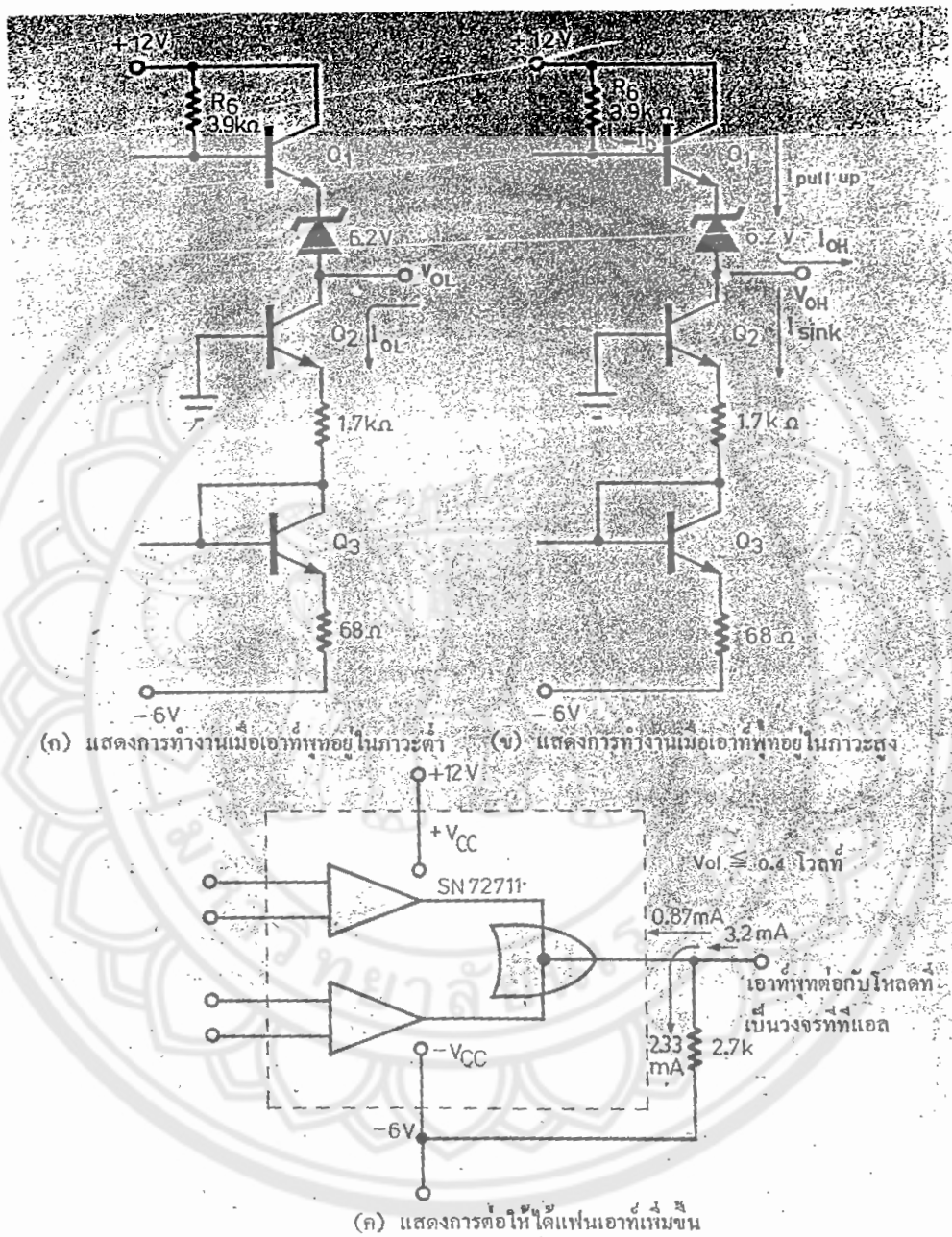
วงจรเปรียบเทียบส่วนมากจะมีค่าแฟนเอาท์เมื่อต่อวงจรทีทีแอลได้เพียงหนึ่งเท่านั้นแต่ก็มีไอซีบางตัวที่มีแฟนเอาท์ได้ถึง 10 หรือมากกว่านั้น ลักษณะของวงจรเอาท์พุทจะแสดงข้อจำกัดต่าง ๆ ของวงจรเปรียบเทียบ

ลักษณะของวงจรเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแสดงให้เห็นในรูป 2.33 และจากรูปที่ 2.33ก เป็นวงจรที่เรียกว่าแอคตีฟพลูดาวน์ หรือการดึงลงขณะที่เอาท์พุทอยู่ในสภาวะระดับต่ำดังนั้นจึงมีกระแสซิงค์ไหลเข้าวงจร ขีดจำกัดของกระแสซิงซ์ หรือ I_{OL} จะจำกัดด้วยตัวต้านทานที่มีอิมิตเตอร์ 1.7 กิโลโอห์ม และ 68 โอมห์ และจากวงจรจะเห็นว่าเบสของ Q_2 ต่อกับกราวน์ ดังนั่นที่อิมิตเตอร์ของ Q_2 จะมีค่าแรงดัน $-V_{BE}$ หรือประมาณ –0.7 โวลท์ และ Q_3 ทำตัวเสมือนเป็นไดโอดจึงมีแรงดันตกคร่อมอีก 1 V_{BE} ดังนั้นกระแส I_{OL} สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{OL} = -V_{cc} + 2V_{BE}/1.77\ k$$
$$\simeq -6 + 1.4\ /1.77k$$
$$= -2.6\ mA$$

จากการคำนวณดังกล่าวเราสามรถคำนวนหาค่าแรงดันเอาท์พุทเมื่อยู่ในสภาวะต่ำได้จากสมการนี้

$$V_{OL} = V_E(Q_2) + V_{CE}(\text{อิ่มตัว})(Q_2)$$
$$= -0.7 + 0.2$$
$$= -0.5$$



รูปที่ 2.33 ลักษณะเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบ

ในขณะที่เอาท์พุทอยู่สภาวะต่ำและต่อโหลดเป็นวงจรทีทีแอล โดยกระแสที่ดึงจากวงจรทีทีแอลจะมีค่าได้ สูงสุดประมาณ – 1.6 mA จะเห็นได้ว่าเราไม่สามารถจะต่อกับทีทีแอลได้สองตัวแต่ในบางโอกาสเราอาจจะสร้างให้วงจรมีแฟนเอาท์ได้มากกว่าหนึ่งได้ โดยการต่อความต้านทานระหว่างเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟลบ เพื่อเป็นการแบ่งกระแสไฟลบ

ในช่วงขณะที่เอาท์พุทอยู่ในสภาวะสูงหรือแรงดันเอาท์พุทเป็น V_{OH} โดยปกค่าแรงดัน V_{OH} เราเริ่มตั้งแต่ค่า 3.2 โวลต์ ค่าแรงดันที่เบสของ Q_1 สามารถคำนวณได้จาก

$$V_B [Q_1] = V_{OH} + V_Z + V_{BE} [Q_1] \qquad (2.11)$$

ค่า V_Z จะมีค่าประมาณ 6.2 โวลต์ และ $V_{BE} [Q_1]$ ก็จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลท์ ดังนั้น

$$V_B [Q_1] = 10.1 \text{ โวลท์}$$

นั้นคือกระแสเบส I_B สามารถหาได้จาก

$$I_B = V_{CC} - V_B/R_B$$
$$= 12 - 10.1/3.9k$$
$$= 0.48 \text{ mA}$$

สมมติว่า h_{fe} ของทรานซิสเตอร์มีค่า 12 ดังนั้น ค่ากระแสคอลเลคเตอร์ที่ได้ จะเป็น 0.48 x 12 = 5.8 mA กระแสส่วนนี้มีบางส่วนเท่านั้นที่ไหลเป็นกระแสเอาท์พุท โดยจะมีบางส่วนไหลลงด้านล่าง เนื่องจากขณะที่เอาท์พุทเป็น ลอจิก "1" จะยังไม่ทำให้ทรานซิสเตอร์ออฟ ดังนั้นกระแส I_{OH} ที่จะขับวงจรเอาท์พุทภายนอกคือ 5.8 – 2.6 เท่ากับ 3.2 mAซึ่งมากพอ เพราะว่า I_{OH} ที่ต้องการประมาณ 40μA ต่อโหลดที่เป็นทีทีแอล 1 เกท เท่านั้น

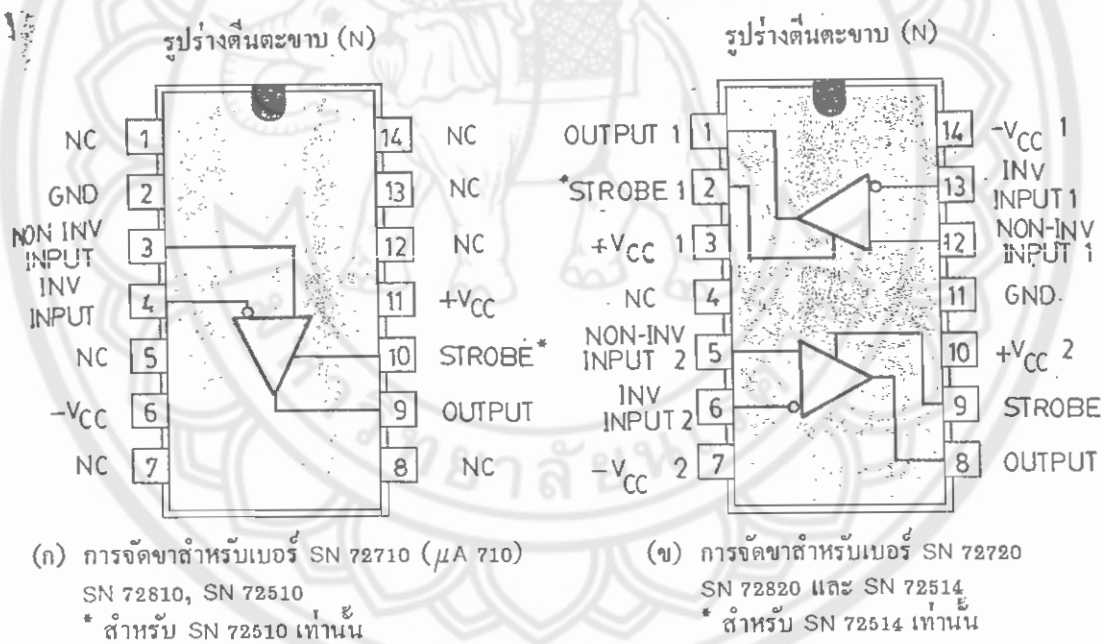
โดยอาศัยการคำนวณเช่นเดียวกันสำหรับไอซีเบอร์ 711 I_{OL} = 0.87 mA I_{OH} = 4.3 mA สำหรับไอซีเบอร์ 710 และ 711 นั้น การเพิ่มแฟนเอาท์ทำได้โดยการใช้ตัวต้านทาน 2.7 k ต่อระหว่างเอาท์พุท กับไฟลบที่เลี้ยงวงจร เพื่อให้ได้ I_{OL} = 3.2 mA กรณีที่เกทสองเกท เป็นโหลดผลรวมกระแส 3.2 mAนี้จะไหลผ่านตัวต้านทาน 2.7 k

2.6.2.4 ตัวอย่างไอซีวงจรเปรียบเทียบ

วงจรเปรียบเทียบหลายบริษัทที่ผลิตกันและใช้เบอร์ที่แตกต่างกันแต่บางเบอร์ ก็มีลักษณะคุณสมบัติทางวงจรคล้ายกัน ในที่นี้ได้รวบรวมวงจรเปรียบเทียบเบอร์ต่าง ๆ และอธิบายการทำ งานและวงจรภายในอย่างคร่าว ๆ พอรู้เป็นสังเขป μA710, LM710, SN7210 วงจรเปรียบเทียบดังนี้เป็นแบบพื้นฐานเบื้อง ต้นใช้งานง่ายและส่วนมากจะใช้กับสัญญาณทีทีแอลได้ โดยไม่ต้องใช้องค์ประกอบภายนอกเลย หรือใช้ก็น้อย กำลังขยายแรงดันที่ต่ำที่สุด 500 จะมีผลทำให้ความแม่นยำแน่นอนน้อยกว่าวงจรเปรียบเทียบตัวอื่น สำหรับไอซีเบอร์ 710 จะให้ระดับสัญญาณทีทีแอลที่แน่นอน โดยมีผลต่างของสัญญาณอินพุท ± 5 mV

ตัววงจรเปรียบเทียบ เบอร์ 710 แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.35 ส่วนรูปที่ 2.34 เป็นการแสดงการต่อขาของไอซี และจากลักษณะของวงจรจะเห็นว่าที่ภาคอินพุทของวงจรจะจัดตัวเป็นวงจรขยายสัญญาณความแตกต่างสองภาคต่อคัปปิ้งกันโดยตรง SN72810 ไอซีเบอร์นี้มีขาเหมือนกับเบอร์ 710 ได้ปรับปรุงเกี่ยวกับ

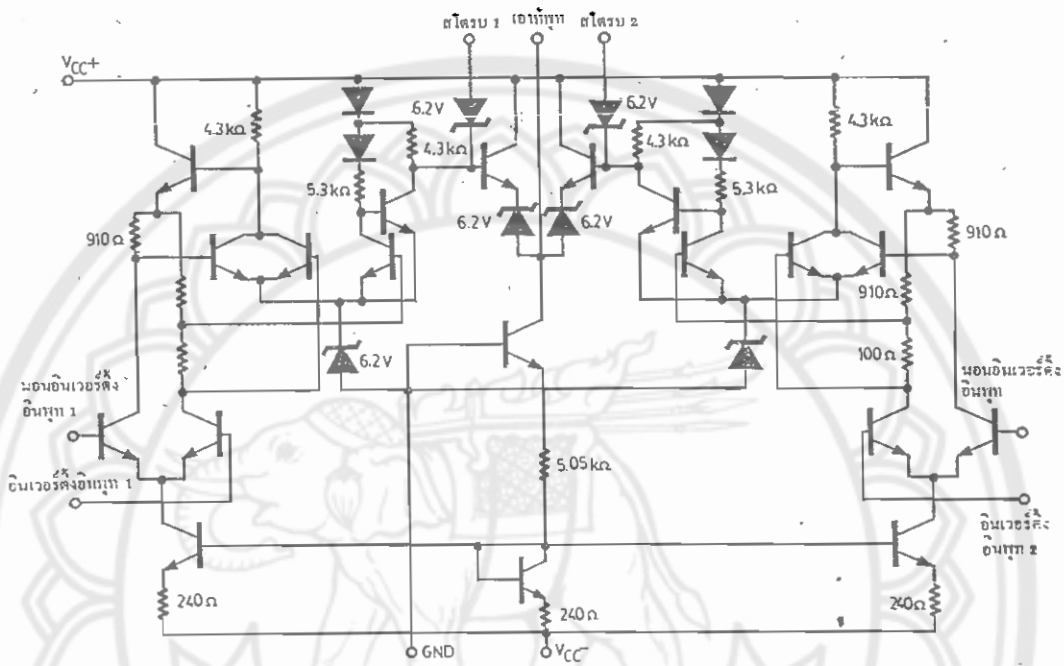
ความเร็วและกำลังขยาย กำลังขยายของแรงดันอย่างต่ำมีค่า ถึง 8000 ทำให้ไวต่อสัญญาณต่ำ ๆ และมีช่วงเทรสโอลที่แน่นอนมาก จากวงจรรูปที่ 2.36 จะเห็นว่าการจัดวงจรอินพุทจะทำให้ความไวหรืออัตราขยายสูงยิ่งขึ้น SN72510 บางครั้งเราต้องการให้เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบคงอยู่ที่สถานะ โดยไม่พิจารณาเงื่อนไขทางอินพุท SN 72510 เป็นไอซีที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ SN72810 และมีอินพุทที่ใช้หรับสโตรบ ซึ่งเมื่ออยู่ที่ภาวะต่ำ และจะให้ภาวะต่ำที่เอาท์พุท ของวงจรเปรียบเทียบ SN72720 ตัวไอซีประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบ แบบความเร็วสูงสองตัวในไอซีตัวเดียว แต่ละตัวเหมือนกับเบอร์ 710 แต่ V_{CC} ที่แยกออกสำ หรับแต่ละตัว ก็เพื่อจะแยกวงจรเปรียบเทียบทั้งสองตัวออกจากกันและลดกำลังงานสูญเสีย โดยให้วงจรเปรียบเทียบตัวหนึ่งสำรองไว้เมื่อไม่ใช้ถ้าทั้งสองสโตรบเป็นลอจิกศูนย์ เอาท์พุทก็จะได้ลอจิกศูนย์ด้วย



(ก) การจัดขาสำหรับเบอร์ SN 72710 (μA 710) SN 72810, SN 72510
* สำหรับ SN 72510 เท่านั้น

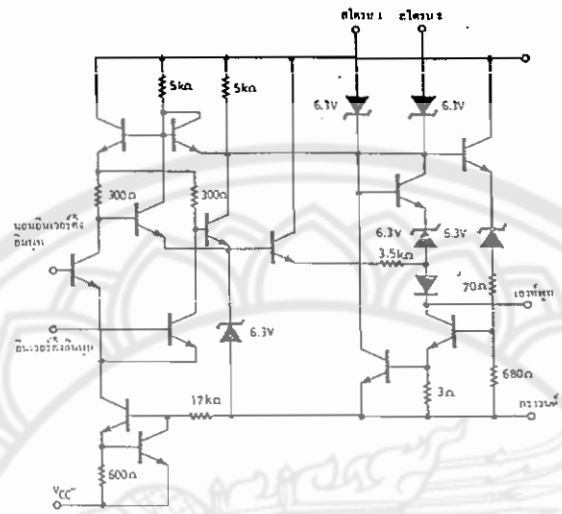
(ข) การจัดขาสำหรับเบอร์ SN 72720 SN 72820 และ SN 72514
* สำหรับ SN 72514 เท่านั้น

รูปที่ 2.34 ลักษณะขาของไอซีในกลุ่มวงจรเปรียบเทียบ

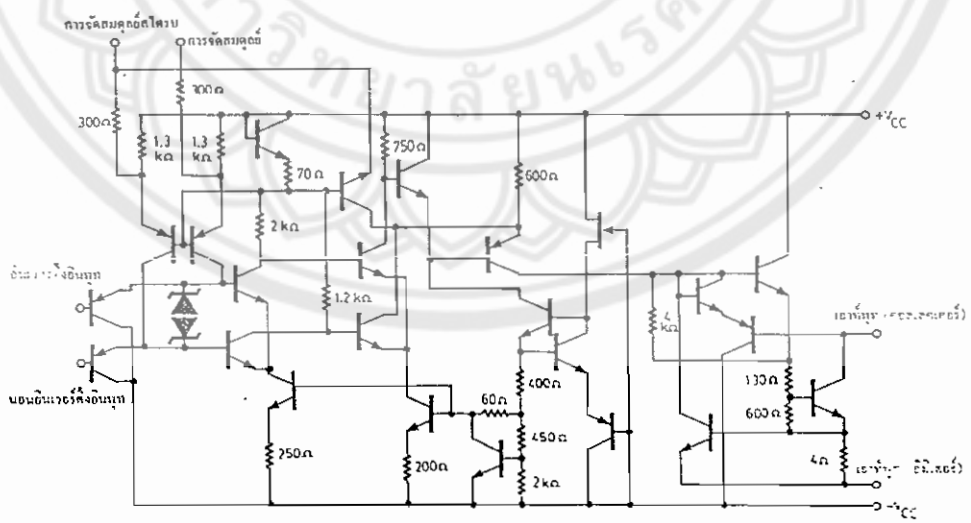


รูปที่ 2.35 วงจรภายในไอซีเบอร์ SN72811

SN52106 / SN 72306 ตามรูปที่ 2.36 เป็นวงจรเปรียบเทียบที่มีอินพุทสองอินพุท และให้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ มีค่าต่ำ โดยมีกระแสซิงค์สูง (100 mA) และอินพุทสำหรับสโตรบสองอันอซีนี้ถูกออกแบบมาสำหรับเป็นตัวขับวงจรลอจิกได้จำนวนมาก หรือใช้ขับโหลด เช่นหลอดไฟ รีเลย์ และตัวภาคแสดงอื่น ๆ ได้โดยตรง ตัววงจรมีวงจรป้องกันการลัดวงจรและป้องกันกระแสสูง สัญญาณระดับต่ำแต่ละสโตรบจะทำให้เอาท์พุทอยู่ภาวะสูงถ้าสโตรบเป็นแรงดันระดับสูงแรงดันเอาท์พุทจะถูกควบคุมด้วยแรงดันเข้า วงจรนี้ทำงานได้กับไฟบวก 12 โวลท์ และไฟลบ –3 ถึง –12 โวลท์ SN 72506 ไอซีตัวนี้เป็นไอซีที่มีวงจรเปรียบเทียบของเบอร์ SN 72306 จำนวนสองตัว SN 72511/SN 72311 เป็นไอซีมีกำลังขยายสูงมาก ปกติมีประมาณ 200,000 ซึ่งได้รับการออกแบบมาสำหรับใช้กับแหล่งจ่ายไฟในช่วงที่กว้างมากรวมทั้งไฟ ± 5 โวลท์ สำหรับออปแอมป์ และ ± 5 โวลท์สำหรับตลอดวงจรวงจรนี้ค่อนข้างจะช้าเมื่อเทียบกับวงจรเปรียบเทียบอื่น ๆ มีช่วงเวลาการตอบสนองประมาณ 165 ns



รูปที่ 2.36 การจัดขาไอซีเบอร์ SN52106/SN72306 และ SN72506



รูปที่ 2.37 วงจรภายในไอซีเบอร์ SN 52111 และ SN 72311 และแผนผังแสดงวงจรจัดขา

วงจรนี้สามารถ Drive หลอดไฟหรือรีเลย์ และสามารถสวิทช์แรงดันได้ถึง 50 volt ที่ระดับกระแสสูงสุด 20 mA ใช้ได้ทั้งเอาท์พุททางคอลเลคเตอร์หรือเอาท์พุททางด้านอิมิดเตอร์และสามารถแยกกราวนด์ เอาท์พุทอาจจะเทียบกับกราวน์ V_{CC}+ หรือ V_{CC}- ก็ได้มีขาสโตรบ และขาควบคุมออฟเซท ทำให้มีความแน่นอนขึ้นสามารถต่อกับเอาท์พุทของอุปกรณ์อื่น ๆ จำนวนมากได้

2.7 ไอซีเรกูเรเตอร์สามขา [3]

วงจรเรกูเรเตอร์ที่ใช้กันอยู่ด้วยวงจรลิเนียร์ส่วนใหญ่พอแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ วงจรเรกูเลเตอร์แบบขนาน และวงจรเรกูเลเตอร์แบบอนุกรม

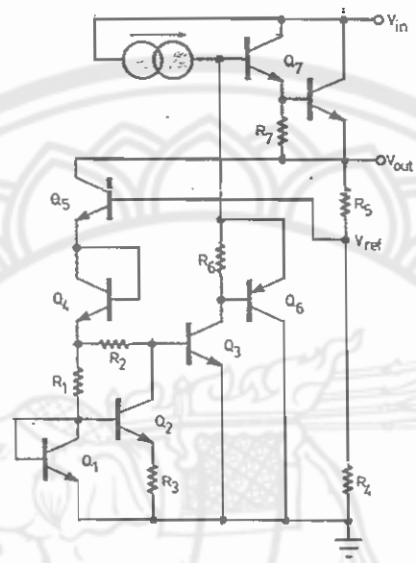
2.7.1 LM340

ตัวไอซี LM 340 เป็นไอซีเรกูเรเตอร์สามขาที่จ่ายกระแสได้สูงถึง 1 A ที่แรงดันเอาท์พุท 5, 6, 8, 12, 15, 18, 24 โวลท์ ตามที่ผู้ผลิตโปรแกรมไว้ โดยจะใส่รหัสต่อท้าย เช่น LM 340 – T ให้เอาท์พุท 15 โวลท์ นอกจากนี้เรายังสามารถดัดแปลงวงจรอีกเพียบเล็กน้อยให้ไอซีเป็นวงจรเรกูเลเตอร์ที่แรงดันต่าง ๆ ที่มากกว่า 5 โวลท์อีกด้วย ตัว LM 340 เป็นไอซีที่มีรูปร่างได้หลายแบบ เช่นเป็นแบบ TO3 ซึ่งเป็นแบบกระป๋องโลหะเหมือนทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ 2N3055 หรือ แบบ พลาสติก TO220 เป็นต้น

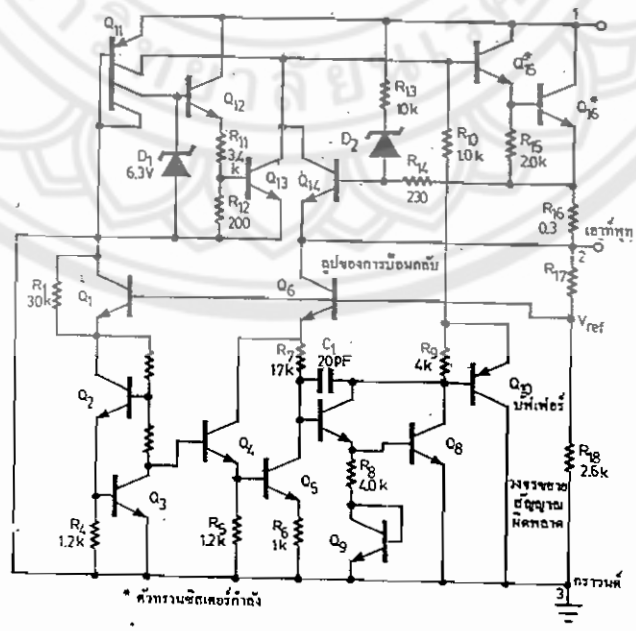
ส่วนของวงจรแรงดันอ้างอิงประกอบด้วยตัวต้านทาน R_1 และ R_3 และ Q_1 และ Q_2 จะเห็นได้ว่า วงจรที่ใช้งานจริง จะแตกต่างจากวงจรพื้นฐานเบื้องต้น แต่ก็มีส่วนคล้ายกันอยู่มาก โดยทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 สร้างค่าแรงดันΔ V_{BE} ให้กับตัวต้านทาน R_3 ตัวนั้นค่าแรงดันอ้างอิงจึงปรากฏที่ขาอิมิดเตอร์ของ Q_4 ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ (RT/q ln R_2 /R_1) R_2 /R_3+ V_{BEQ}และเนื่องจาก Q_4 ทำตัวเสมือนไดโอด ดังนั้นจุดแรงดันอ้างอิง V_{REF} ที่จุดต่อระหว่าง R_5 และ R_4 จึงมีค่าเป็น (RT/q ln R_2 /R_1) R_2 /R_3+ V_{BEQ}+ V_{BEQ4}+ V_{BEQ5} ที่ขาเบสของ Q_3 เสมือนกับเป็นอินพุทของวงจรออปแอมป์โดยมี Q_6 เป็นตัวบัฟเฟอร์ระหว่าง

Q_3 กับตัวจ่ายกระแส ในกรณีที่เอาท์พุทให้แรงดันมีค่าลดลงค่าแรงดันนี้จะป้อนผ่าน R_4 R_5 และ Q_4 Q_5 ไปยังเบสของ Q_3ทำให้ Q_7 นำกระแสได้มากยิ่งขึ้น ค่า แรงดันเอาท์พุทสามารถคำนวณหาได้จาก

$$V_{OUT} = V_{REF}(R_4 + R_5 / R_4) \qquad (2.12)$$



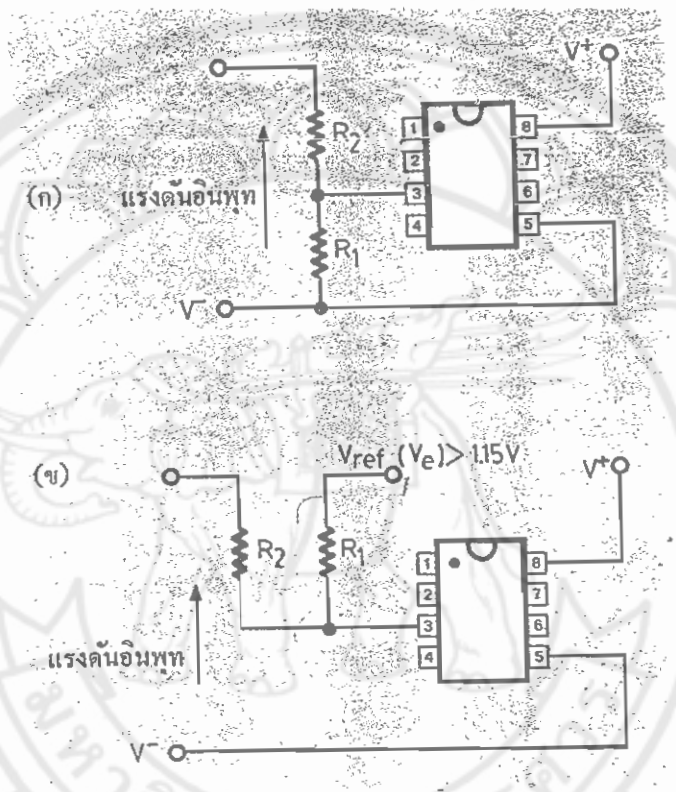
รูปที่ 2.38 วงจรหลักของ LM 340



รูปที่ 2.39 วงจรสมบูรณ์ของ LM 340

2.8 วงจรตรวจจับระดับแรงดัน

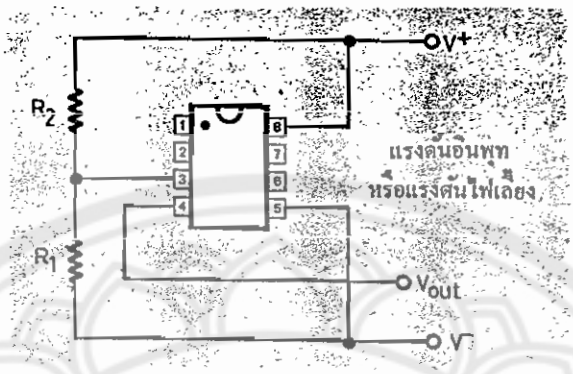
2.8.1 วงจรตรวจจับระดับแรงดันที่ไม่มีฮีสเทอร์เรซีส



รูปที่ 2.40 การจัดวงจรความต้านทานเพื่อใช้ในวงจรตรวจจับ ขนาดและขั้วของแรงดันอินพุทเทียบ V

รูปที่ 2.40 (ก) เมื่อแรงดันอินพุท มีค่ามากกว่า +1.15 โวลท์ เมื่อเทียบกับ V – แรงดันอินพุทที่ทำให้เอาท์พุทเปลี่ยนภาวะ = $(R_1+R_2)/R_1 * 1.15$ โวลท์

รูปที่ 2.40 (ข) เมื่อแรงดันอินพุทมีค่าน้อยกว่า + 1.15 โวลท์ เมื่อเทียบกับ V – แรงดันอินพุทที่ต้องการให้ตรวจจับหรือเปลี่ยนภาวะที่เอาท์พุท = $(R_1+R_2)/R_1 * 1.15 - R_2V_{REF}/R_1$



รูปที่ 2.41 เมื่อใช้แรงดันอินพุทกับแรงดันไฟเลี้ยงเป็นตัวเดียวกัน

1. ICL 8211

   1.8 โวลท์ $\leq$ แรงดันไฟเลี้ยง $\leq$ 30 โวลท์

2. ICL 8212

   0 โวลท์ $\leq$ แรงดันไฟเลี้ยง $\leq$ 30 โวลท์