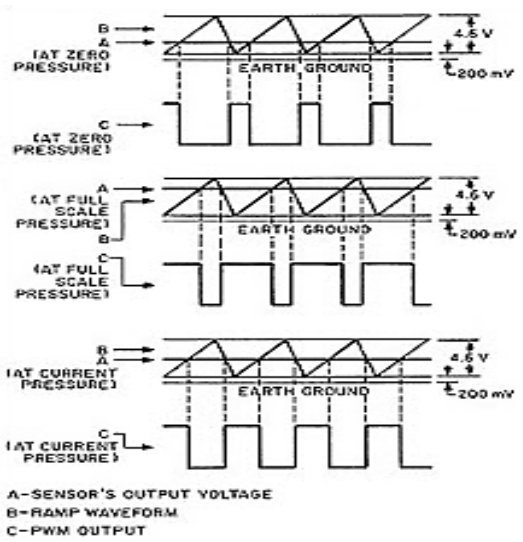
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในครั้งนี้คณะผู้จัดทำได้จัดแบ่งเนื้อหาการศึกษาเอกสารด้านต่างๆเพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหาดังนี้

1.วงจรพัลส์
2.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3.เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4.อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
5.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

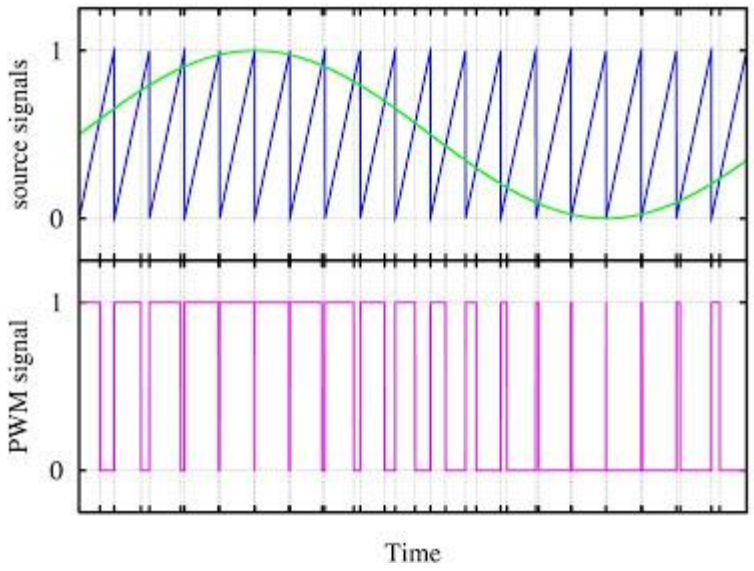
1. วงจรพัลส์

PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation หมายถึง การปรับความกว้างของสัญญาณโดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน คือสัญญาณ"สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ เช่น สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างคงที่ ดังภาพที่ 2.1



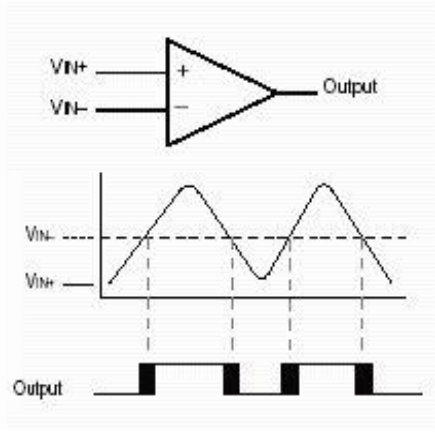
ภาพที่ 2.1 สัญญาณพัลส์ที่มีความยาวคงที่
ที่มา : https://controlsystemslabthai.wordpress.com **(สืบค้นเมื่อ วันที่ 6มีนาคม 2558)**

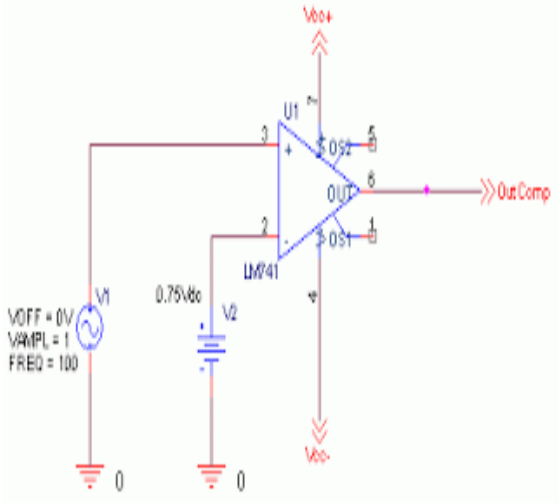
เมื่อไม่ใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงดังภาพด้านบน และนำสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจ่ายเข้าความกว้างของพัลส์ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 สัญญาณพัลส์
ที่มา : https://controlsystemslabthai.wordpress.com (สืบค้นเมื่อ วันที่ 6มีนาคม 2558)

สร้างสัญญาณ PWM นี้ วงจร Comparator หรือวงจรเปรียบเทียบ และวงจร Comparator ใช้ Op-Amp เพียงตัวเดียว ดังภาพที่ 2.3 และ ภาพที่ 2.4

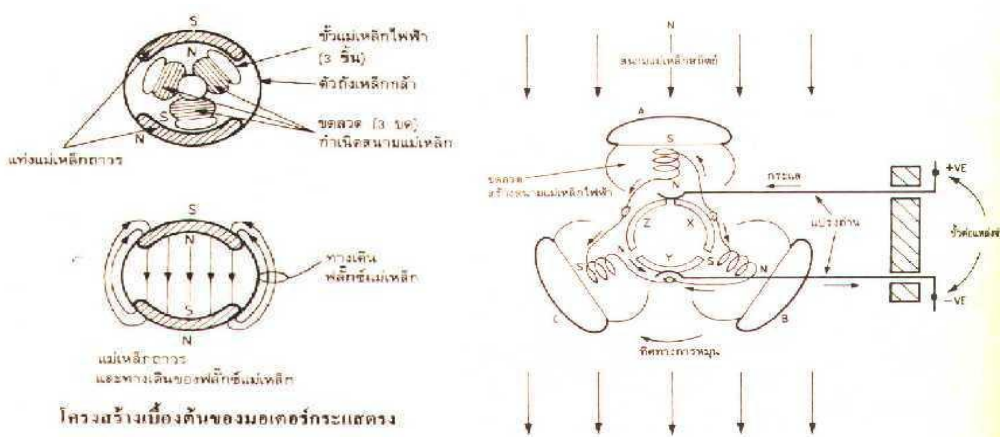




ภาพที่ 2.3 สัญญาณวงจรเปรียบเทียบแรงดัน **ภาพที่ 2.4** วงจรเปรียบเทียบแรงดัน
ที่มา : https://controlsystemslabthai.wordpress.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 6มีนาคม 2558)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)

อดิศักดิ์(2543)มอเตอร์กระแสตรงจะมีหลักการทำงานโดยวิธีการผ่านกระแสให้กับขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก โดยส่วนของแรงจะขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็กดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง
ที่มา : http://www.adisak51.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 58)

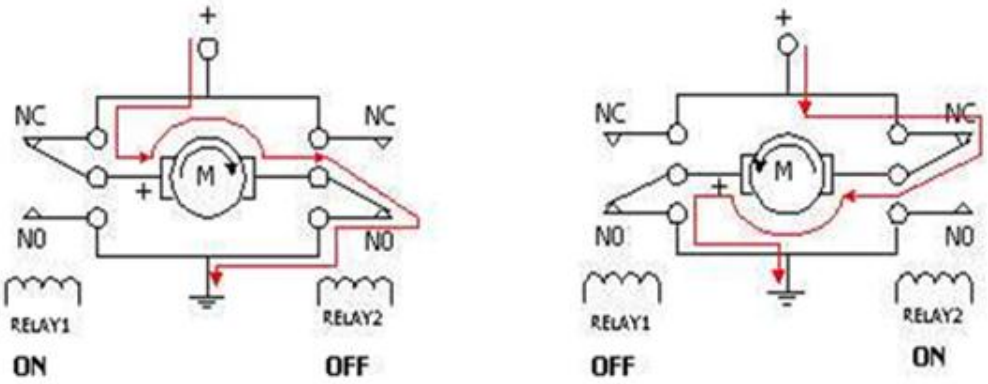
จากในรูปทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะเกิดจากแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้นที่ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดติดกับตัวถังได้พอดี เพื่อที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นความเข้มของแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของแม่เหล็กด้วย ซึ่งส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กวิ่งไปบนตัวถังโลหะ กระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับทุ่นโรเตอร์ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร จึงเกิดเป็นแรงบิดเพื่อที่จะหมุนทุ่นโรเตอร์ ให้ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า กระแสก็จะไหลผ่านไปยังทุ่นโรเตอร์โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งจะสัมผัสกับแหวนตัวนำในทุ่นโรเตอร์ และแหวนคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 เซกเมนต์เพื่อที่จะทำหน้าที่นำกระแสเข้าขดลวด

2.1 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)

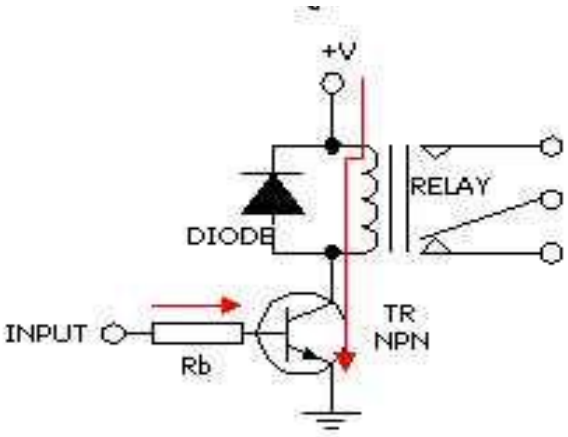
ในการใช้ไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางขอมอเตอร์กระแสตรงนั้น เราจะต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) ในส่วนขอวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจร สวิตซ์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟส แล้วแต่วิธีที่จะเลือกใช้งาน

จากภาพเป็นการใช้รีเลย์ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยการควบคุมการปิด - เปิดที่รีเลย์ 2 ตัว จะทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์ เช่นให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (ON) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (OFF) ทำให้มอเตอร์

หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกันถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (OFF) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (ON) จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวาดังภาพที่ 2.6



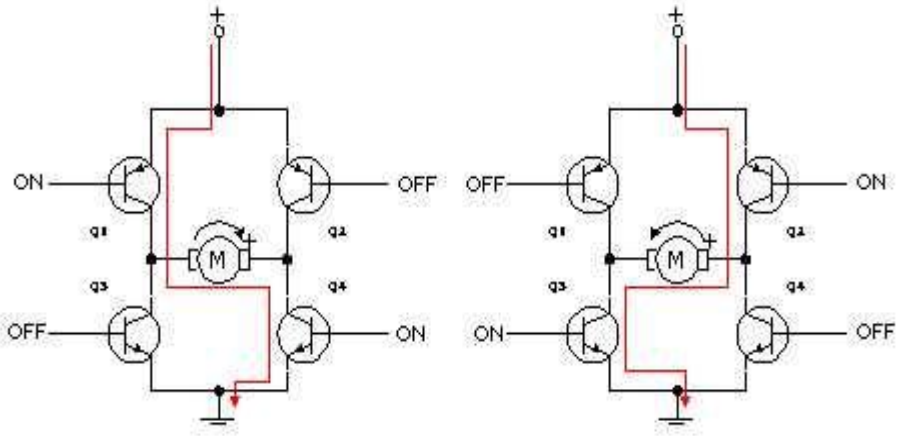
ภาพที่ 2.6 แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์
ที่มา : http://www.adisak51.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 58)



ภาพที่ 2.7 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน
ที่มา : http://www.adisak51.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 58)

จากรูปที่ 2.7 เป็นวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป จึงต้องมีส่วนของวงจรทรานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์

ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะเกิดการยุบตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



ภาพที่ 2.8 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง
ที่มา : http://www.adisak51.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 58)

จากรูปที่ 2.8 เป็นวงจรลิเนียร์บริดจ์แอมป์ ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวที่ทำหน้าที่ขับ และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้าหากกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสภาวะทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากซ้ายไปขวา โดยผ่านมอเตอร์กระแสตรงทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสภาวะทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าก็จะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย

2.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

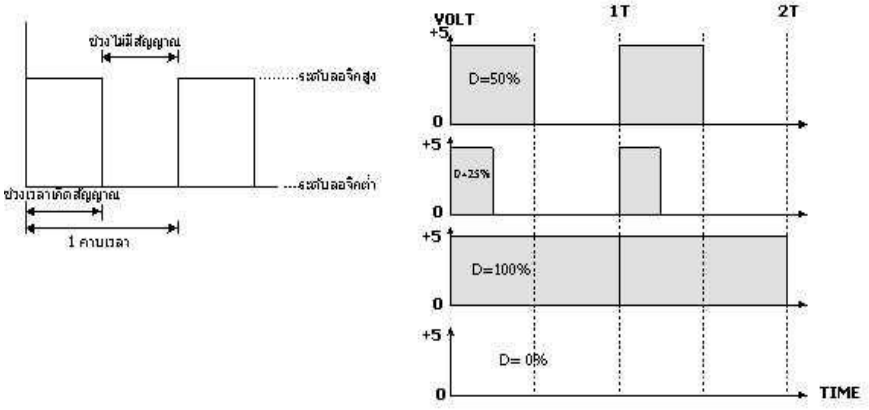
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธี ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง

2.3 วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเกิล (duty cycle) ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิล คือ ช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์

ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูป 2.9 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% จะไม่มีสถานะลอจิกต่ำ ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถ หาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังภาพที่ 2.9

$$\text{ค่าดิวตี้ไซเคิล} = \frac{\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์}}{\text{ค่าดิวตี้ไซเคิล}} \text{X100\%} \qquad (2\text{-}1)$$



ภาพที่ 2.9 แสดงความกว้างของพัลท์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลท์ที่มีความถี่คงที่
ที่มา : http://www.adisak51.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 58)

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

สุภาภรณ์ (2557) หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องกลที่สามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการหมุนของขดลวดตัดสนาม แม่เหล็ก หรือการหมุนสนามแม่เหล็กตัดขดลวด ลักษณะทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Dynamo)

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ

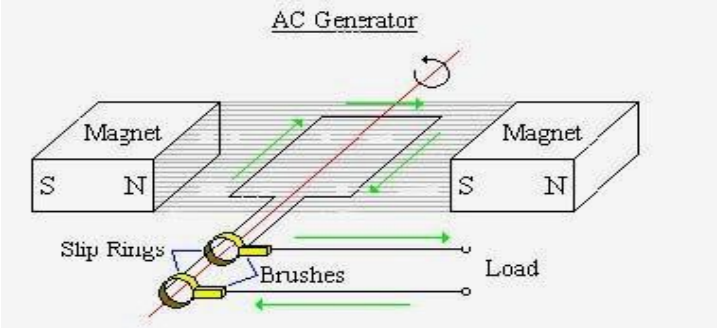
3.1 เครื่องต้นกำลัง เป็นส่วนที่ผลิตพลังงานกลขึ้นมา เพื่อหมุนเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น

- กังหันน้ำ ได้แก่ เขื่อนต่าง ๆ

- กังหันไอน้ำ ได้แก่ การนำเอาน้ำมาทำให้เกิดความร้อนแล้วนำเอาไอน้ำไปใช้งาน

- กังหันแก๊ส มีแบบใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันดีเซลเพราะราคาถูก

แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าของเจนเนอเรเตอร์ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 หลักการพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิด AC
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อ วันที่ 17 มีนาคม 2558)

3.2 Generator เป็นตัวผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กมีหลายแบบดังนี้

3.2.1 แบบทุ่นหมุน Revolving Armature Type (Ra Type) แบบนี้ใช้วิธีหมุนขดลวดทองแดงที่พันอยู่บนแกนเพลาหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่บนเปลือกทำให้เกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ปลายขดลวดทองแดง นำเอาแรงดันไฟฟ้านี้ไปใช้งานโดยผ่าน Slip Ring (วงแหวนทองเหลือง) และแปรงถ่านขั้วแม่เหล็กที่จะทำให้เกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ ไม่ได้เป็นแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กธรรมชาติที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กคงที่ แต่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงป้อนผ่านขดลวดทองแดงที่พันรอบแกนเหล็กอ่อน เพื่อทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ปริมาณของไฟฟ้ากระแสตรงนี้จึงสามารถควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของไฟ

3.2.2 แบบขั้นแม่เหล็กหมุน Revolving Field Type (Rf Type)แบบนี้ใช้วิธีหมุนขั้วแม่เหล็กที่อยู่บนเพลา ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทองแดงที่พันติดอยู่บนเปลือก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบนปลายขดลวดทองแดง แบบนี้ไม่ต้องมี Slip Ring และแปรงถ่าน เพื่อนำแรงดันไฟฟ้าไปใช้งาน แต่มีแปรงถ่านและ Slip Ring ต่อกับขดลวดทองแดง ที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเพื่อใช้สำหรับป้อนไฟฟ้ากระแสตรงไปเลี้ยงขดลวดทองแดง เพื่อสร้างความเข้มของสนามแม่เหล็ก

3.2.3 แบบไม่มีแปรงถ่าน Brushless Type (Bl Type)แบบนี้แบ่งตามขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วน ๆ ได้ 4 ส่วน คือ

1 Exciter ประกอบด้วย

- Exciter Field Coil เป็นขดลวดที่ทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะติดอยู่กับส่วนที่อยู่กับที่

- Exciter Armature เป็นชุดที่ประกอบด้วยขดลวดที่จะถูกทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

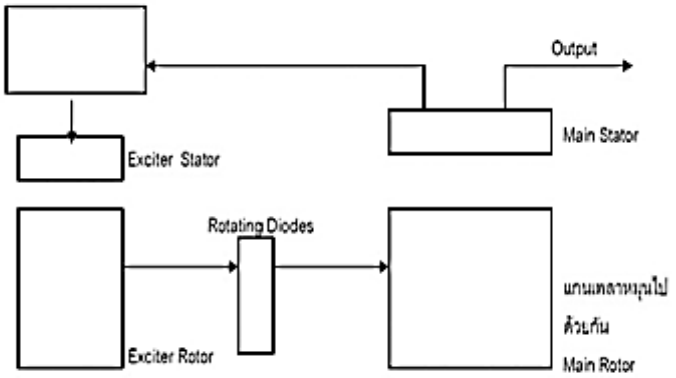
เหนี่ยวนำ โดยเป็นส่วนที่ติดอยู่กับเพลาและหมุนไปพร้อมกับเพลา กระแสที่เกิดขึ้นใน Exciter Armature จะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

2 Rotating Rectifier จะติดอยู่บนเพลาจึงหมุนตามเพลาไปด้วย มีหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าสลับที่เกิดจาก Exciter Armature ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

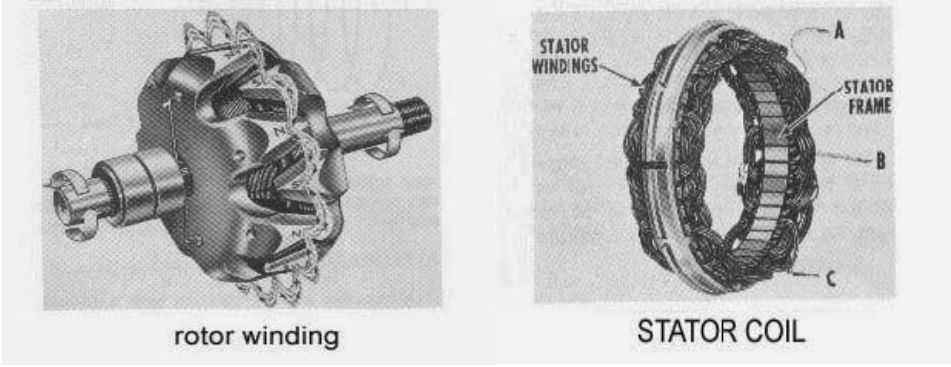
3 Main Generator เป็นส่วนที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อออกไปใช้งานจริง ประกอบด้วย

- Rotating Field Coil เป็นขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กที่ติดกับเพลาเพื่อทำให้เหล็กกลายเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยได้รับไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนมาจากRotating Rectifier
- Stator Coil (Alternator Armature) เป็นขดลวดที่จะถูกทำให้เกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับออกไปใช้งาน

4 Automatic Voltage Regulator (A.V.R.) เป็นชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่นำไปใช้งานให้คงที่ ซึ่งเป็นการทำงานควบคุมอย่าง อัตโนมัติ หลักการทำงานของ A.V.R. เป็นการนำกระแสสลับที่เกิดจาก Stator Coil มาแปลงเป็นกระแสตรง จ่ายเข้า Exciter Field Coil โดยปริมาณกระแสตรงจะมีการควบคุมให้มากหรือน้อยตามสภาพการณ์ของแรงดันไฟฟ้าจาก Stator Coil โดยเป็นไปอย่างอัตโนมัติAutomatic Voltage Regulator ดังภาพที่ 2.11 โรเตอร์ และภาพที่ 2.12 สเตเตอร์



ภาพที่ 2.11 แสดง Block Diagram of Brushless A.C. Generators
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อ วันที่ 17 มีนาคม 58)

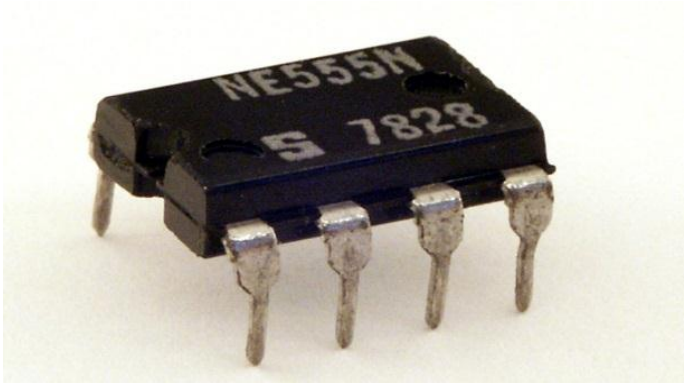


ภาพที่ 2.12 แสดง stator coil และ rotor winding ของชุดกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อ วันที่ 17 มีนาคม 58)

4.อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

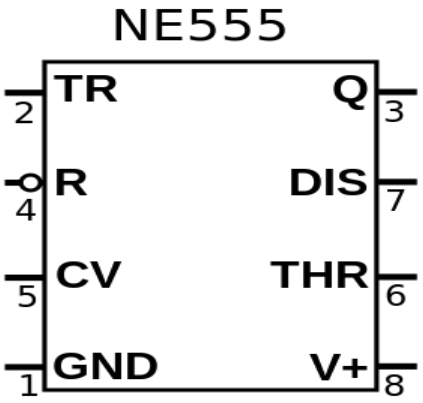
4.1 ไอซี 555

ไอซี 555 (อังกฤษ: IC 555) เป็นวงจรรวม หรือวงจรเบ็ดเสร็จ ที่เรียกกันทั่วไปว่า ชิป ที่รู้จักกันดีในบรรดานักอิเล็กทรอนิกส์ ไอซีตัวนี้ได้รับการออกแบบ และประดิษฐ์โดยนักออกแบบชิปที่มีชื่อเสียง ชื่อนั่นคือนายฮันส์ อาร์ คาเมนซินด์ (Hans R. Camenzind) โดยเริ่มออกแบบเมื่อ พ.ศ. 2513 และแนะนำผลิตภัณฑ์ในปีถัดมา โดยบริษัทซิกเนติกส์ คอร์ปอเรชัน (Signetics Corporation) มีหมายเลขรุ่น SE555/NE555 และเรียกชื่อว่า "The IC Time Machine" มีการใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะสามารถใช้งานง่าย ราคาถูก มีเสถียรภาพที่ดี ในปัจจุบันนี้ ไอซีไทเมอร์ 555 นับเป็นวงจรรวมที่สามารถใช้งานได้หลากหลายและเป็นที่นิยมมากที่สุดตัวหนึ่งเท่าที่เคยผลิตมา ภายในตัวประกอบด้วยทรานซิสเตอร์23 ตัว, ไดโอด 2 ตัว และรีซิสเตอร์อีก 16 ตัว เรียงกันบนชิปซิลิกอนแผ่นเดียว โดยติดตั้งในตัวถัง 8 ขา แบบมินิ DIP (dual-in-line package) นอกจากนี้ยังมีการผลิตไอซี 556 ซึ่งเป็น DIP แบบ 14 ขา โดยอาศัยการรวมไอซี 555 จำนวน 2 ตัวบนชิปตัวเดียว ขณะที่ 558 เป็นไอซีอีกตัวหนึ่งที่พัฒนาขึ้นจาก 555 เป็น DIP แบบ 16 ขา (quad) โดยรวมเอา 555 จำนวน 4 ตัว (โดยมีการปรับแต่งเล็กน้อย) มาไว้บนชิปตัวเดียว (DIS และ THR มีการเชื่อมต่อกันภายใน ส่วน TR นั้นมีค่าความไวที่ขอบแทนที่จะเป็นความไวทั้งระดับ) นอกจากนี้ยังมีรุ่นกำลังต่ำพิเศษ (ultra-low power) ของไอซี 555 นั่นคือ เบอร์ 7555 สำหรับไอซี 7555 นี้จะมีการเดินสายที่แตกต่างไปเล็กน้อย ทั้งยังมีการใช้กำลังไฟที่น้อยกว่า และอุปกรณ์ภายนอกน้อยกว่าดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.13 ไอซี 555
ที่มา : http://th.wikipedia.org/ (สืบค้นเมื่อวันที่11 มีนาคม 58)

ไอซี 555 มีโหมดการทำงาน 3 โหมด ดังนี้
โมโนสเตเบิล (Monostable) ในโหมดนี้ การทำงานของ 555 จะเป็นแบบซิงเกิ้ลช็อต หรือวันช็อต (one-shot) โดยการสร้างสัญญาณครั้งเดียว ประยุกต์การใช้งานสำหรับการนับเวลา การตรวจสอบพัลส์ สวิตช์สัมผัส ฯลฯ อะสเตเบิล (Astable) ในโหมดนี้ การทำงานจะเป็นออสซิลเลเตอร์ การใช้งานได้แก่ ทำไฟกะพริบ, กำเนิดพัลส์, กำเนิดเสียง, เตือนภัย ฯลฯ ไบสเตเบิล (Bistable) ในโหมดนี้ ไอซี 555 สามารถทำงานเป็นฟลิปฟล็อป (flip-flop) ถ้าไม่ต่อขา DIS และไม่ใช้คาปาซิเตอร์ ใช้เป็นสวิตช์ bouncefree latched switches ดังภาพที่ 2.13

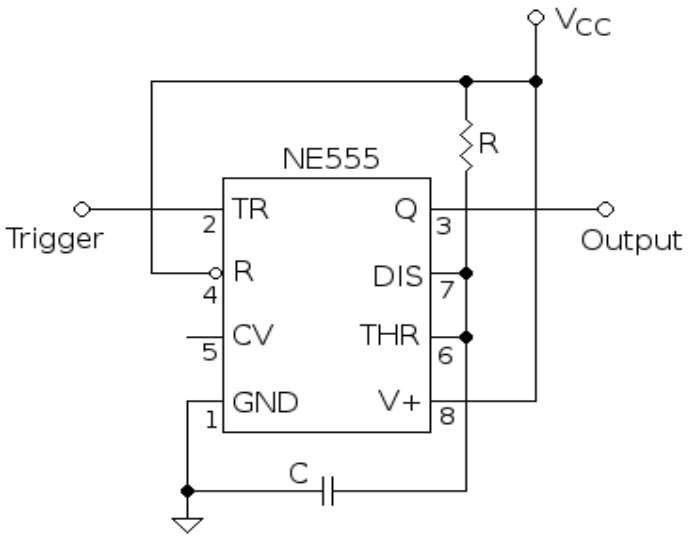


ภาพที่ 2.14 การทำงานของไอซี
ที่มา : http://th.wikipedia.org/ (สืบค้นเมื่อวันที่11 มีนาคม 58)

ตารางที่2.1 การใช้งานขาของไอซีแต่ละขา มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

ขา	ขาไอซี	หน้าที่
1	GND	กราวด์ หรือ คอมมอนส์
2	TR	พัลส์สั้นกระตุ้นทริกเกอร์เพื่อเริ่มนับเวลา
3	Q	ช่วงการนับเวลา เอาต์พุตจะอยู่ที่ +VCC
4	R	ช่วงเวลานับ อาจหยุดโดยการใช้พัลส์รีเซ็ต
5	CV	แรงดันควบคุมยอมให้เข้าถึงตัวหารแรงดันภายใน (2/3 VCC)
6	THR	เทรสโฮลด์ที่จุดช่วงเวลานับ
7	DIS	เชื่อมต่อกับคาปาซิเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งเวลาคายประจุของมันจะมีผลต่อช่วงเวลาการนับ
8	V+, VCC	แรงดันจ่ายไฟบวก ซึ่งต้องอยู่ในช่วง +5 ถึง + 15 V

เมื่อใช้คาปาซิเตอร์ และรีซิสเตอร์มาต่อร่วม จะสามารถปรับช่วงการตั้งเวลา(นั่นคือช่วงเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ) ตามความต้องการใช้งานได้สำหรับการเชื่อมต่อเป็นดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.15 วงจรอาร์ซี
ที่มา : http://th.wikipedia.org/ (สืบค้นเมื่อวันที่11 มีนาคม 58)

แผนผังการเชื่อมต่อไอซี 555ช่วงเวลา T ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้เพื่อประจุตัวเก็บประจุให้ได้ 63% ของแรงดันที่จ่าย (ค่าจริง : (1-1/e) V)

ตารางที่ 2.2 แรงดันและกระแสของไอซี 555

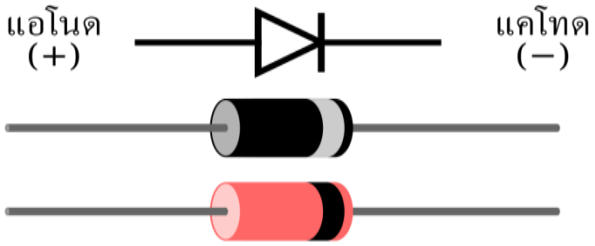
แรงดันจ่าย (VCC)	4.5 to 15 V
กระแสจ่ายต่ำสุด (VCC = +5 V)	3 to 6 mA
กระแสจ่ายสูงสุด (VCC = +15 V)	10 to 15 mA
กระแสขาออก (สูงสุด)	200 mA
กำลังไฟฟ้า	600 mW
อุณหภูมิการทำงาน	0 to 70° C

4.2 ไดโอด

ไดโอด (อังกฤษ: diode) เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองขั้วคือขั้ว p และขั้ว n ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า มันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวและกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงไดโอด มักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (อังกฤษ:Semiconductor diode) ซึ่งก็คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ขั้วทางไฟฟ้าสองขั้ว [1] ส่วนไดโอดแบบหลอดสุญญากาศ (อังกฤษ: Vacuum tube diode) ถูกใช้เฉพาะทางในเทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงบางประเภท เป็นหลอดสุญญากาศที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดสองขั้ว ซึ่งจะคือแผ่นตัวนำ (อังกฤษ: plate) และแคโทด (อังกฤษ: cathode)ส่วนใหญ่เราจะใช้ไดโอดในการยอมให้กระแสไปในทิศทางเดียว โดยยอมให้กระแสไฟในทางใดทางหนึ่ง ส่วนกระแสที่ไหลทิศทางตรงข้ามกันจะถูกกั้น ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เป็นตัวเรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรแหล่งจ่ายไฟ อย่างไรก็ตามไดโอมีความสามารถมากกว่าการเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปิด-ปิดกระแสง่าย ๆ ไดโอดมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นมันยังสามารถปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่เรียกว่ารอยต่อ p-n ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่มีวัตถุประสงค์พิเศษ นั่นทำให้ไดโอดมีรูปแบบการทำงานได้หลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น ซีเนอร์ไดโอด เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ วาริแอกไดโอดใช้ในการปรับแต่งสัญญาณในเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์ ไดโอดอุโมงค์หรือทันเนลไดโอดใช้ในการสร้างสัญญาณความถี่วิทยุ และไดโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแสงขึ้น ไดโอดอุโมงค์จะมีค่าความต้านทานติดลบ ซึ่งเป็นประโยชน์มากเมื่อใช้ในวงจรบางประเภท ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p - n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n

4.2.1 ไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ

ไดโอดชนิดสารกึ่งตัวนำแบบใหม่ ๆ มักจะใช้ผลึกสารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิกอนที่ไม่บริสุทธิ์โดยทำการเจือสารให้เกิดฝั่งลบและฝั่งบวก โดยฝั่งลบจะมีประจุลบคืออิเล็กตรอนมากกว่าเรียกว่า "สารกึ่งตัวนำชนิด n (n-type semiconductor) " ส่วนฝั่งบวกจะมีประจุบวกหรือโฮลเรียกว่า "สารกึ่งตัวนำชนิด p (p-type semiconductor) " โดยไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำเกิดมาจากการนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดนี้มาติดด้วยวิธีการพิเศษ โดยส่วนที่สารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดอยู่ติดกันนั้นเรียกว่า "รอยต่อ p-n (p-n junction) " ไดโอดชนิดนี้จะยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่านจากสารกึ่งตัวนำชนิด n ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด p เท่านั้น จึงเรียกฝั่งที่มีสารกึ่งตัวนำชนิด n ว่าแคโทด และฝั่งที่มีสารกึ่งตัวนำชนิด p ว่าแอโนด แต่ถ้าพูดถึงทิศทางของกระแสสมมติที่ไหลสวนทางกับกระแสอิเล็กตรอนนั้น จะเห็นว่ากระแสสมติจะไหลจากขั้วแอโนดหรือสารกึ่งตัวนำชนิด p ไปยังขั้วแคโทดหรือสารกึ่งตัวนำชนิด n เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำอีกรูปแบบหนึ่งที่สำคัญก็คือ ไดโอดชอทท์กี้ (Schottky diode) ซึ่งมีหน้าสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำมากกว่ารอยต่อ p-n แสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.16 ไดโอดเทียบกับสัญลักษณ์ของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ (บนสุด) โดยแคบสีดำแสดงฝั่งที่เป็นขั้วแคโทด
ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki (สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 58)

คุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดัน พฤติกรรมของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำในวงจรจะก่อให้เกิดคุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดัน (current-voltage characteristic) หรือเรียกว่ากราฟ I-V (กราฟด้านล่าง) รูปร่างของเส้นโค้งถูกกำหนดจากส่งผ่านประจุผ่านเขตปลอดพาหะ (depletion region หรือ depletion layer) ซึ่งอยู่ในรอยต่อ p-n
สมการของไดโอดชอทท์กี้
สมการของไดโอดชอทท์กี้ในอุดมคติหรือกฎของไดโอด (ชื่อชอทท์กี้ได้มาจากวิลเลียม เบรดฟอร์ด ชอทท์กี้ ผู้ร่วมประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ "ไม่ใช่"วัลเตอร์ เฮอร์มานน์ ชอทท์กี้ ผู้ประดิษฐ์เทโทรด) ได้ให้สมการที่แสดงถึงกราฟคุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันเอาไว้ว่า

$$I = Is(e^{vd/(nVT} - 1) \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ

I คือกระแสที่ไหลผ่านไดโอด

IS คือกระแสอิ่มตัวเมื่อทำการไบอัสกลับ

VD คือแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด

VT คือค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน

n คือค่าตัวประกอบอุดมคติ (ideaity factor) หรือค่าตัวประกอบคุณภาพ (quality factor) หรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (emission coefficient) ทั้งนี้ค่าตัวประกอบอุดมคติมีค่าอยู่ที่ 1 ถึง 2 ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัสดุที่นำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ ในหลายกรณีสามารถประมาณค่าเท่ากับ 1 ได้ (ดังนั้นค่า n จึงอาจถูกละไว้)ค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน (thermal voltage) VT มีค่าประมาณ 25.85 mV ที่อุณหภูมิ 300 K ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องปฏิบัติการณ์ แต่เราก็สามารถหาค่าดังกล่าวเมื่ออุณหภูมิอื่นๆ ได้ จากสูตร:

$$Vt = \frac{(kT)}{q} \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อ

k คือค่าคงที่ของโบลต์ซมานน์ มีค่าเท่ากับ $1.3806503 \times 10 - 23Jk - 1$

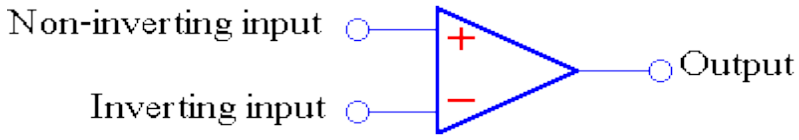
T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ที่รอบต่อ $p - n$

q คือประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602176487 \times 10 - 19c$

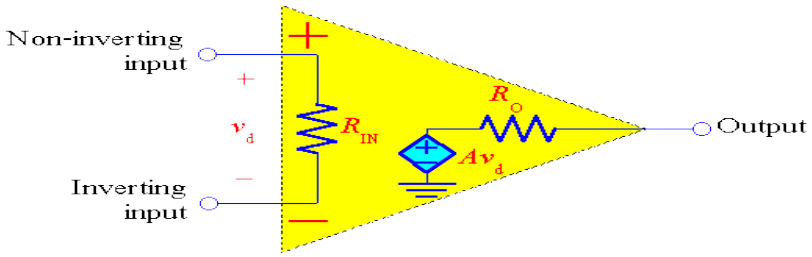
สมการของไดโอดชอทท์กี้ในอุดมคติหรือกฎของไดโอดนั้นเกิดมาจากการอ้างสมมติฐานของกระบวนการเกิดการกระแสไฟฟ้าในไดโอดว่า (เนื่องจากสนามไฟฟ้า) เป็นการลอยผ่าน, การแพร่, และการรวมความร้อนอีกครั้ง (thermal recombination-generation) นอกจากนี้ยังสันนิษฐานว่ากระแสจากการรวมตัวอีกครั้ง (recombination-generation: R-G) เขตปลอดพาหะไม่มีนัยสำคัญใด ๆ นั่นหมายความว่าสมการของไดโอดชอทท์กี้ไม่ต้องคำนวณผลของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายเมื่อกระแสย้อนกลับและโฟตอนที่ช่วยให้เกิด R-G พฤติกรรมของสัญญาณขนาดเล็กในการออกแบบวงจร แบบจำลองของสัญญาณขนาดเล็กจากพฤติกรรมของไดโอดถูกนำมาใช้งานอยู่บ่อยครั้งแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal model) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ที่อาศัยการประมาณพฤติกรรมของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ไม่มีความเป็นเชิงเส้น ด้วยสมการเชิงเส้น ความเป็นเชิงเส้นนี้ขึ้นอยู่กับจุดไบอัสกระแสตรง (DC bias point) ของอุปกรณ์ (นั่นก็คือระดับของ แรงดัน/กระแส ที่แสดงออกเมื่อไม่มีสัญญาณที่ถูกนำมาใช้) และสามารถทำให้ถูกต้องได้ด้วยการมองที่จุดนี้อีกด้วย

4.3 ออปแอมป์

ออปแอมป์ (Operational Amplifiers,Op-Amp) ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดัน โดยออปแอมป์มีโครงสร้างภายในเป็นวงจรที่ซับซ้อนประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน, ทรานซิสเตอร์, ตัวเก็บประจุ และไดโอด จำนวนมาก โดยมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.17 แต่เพื่อความง่ายในการศึกษาเบื้องต้นนี้ เราจะแทนออปแอมป์ด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.18



ภาพที่ 2.17 สัญลักษณ์ของออปแอมป์
ที่มา : http://www.ee.mut.ac.th/course/eecc0210/cir1 (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)



ภาพที่ 2.18 วงจรสมมูลของออปแอมป์แบบง่าย
ที่มา : http://www.ee.mut.ac.th/course/eecc0210/cir1/chap5_3.htm
(สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

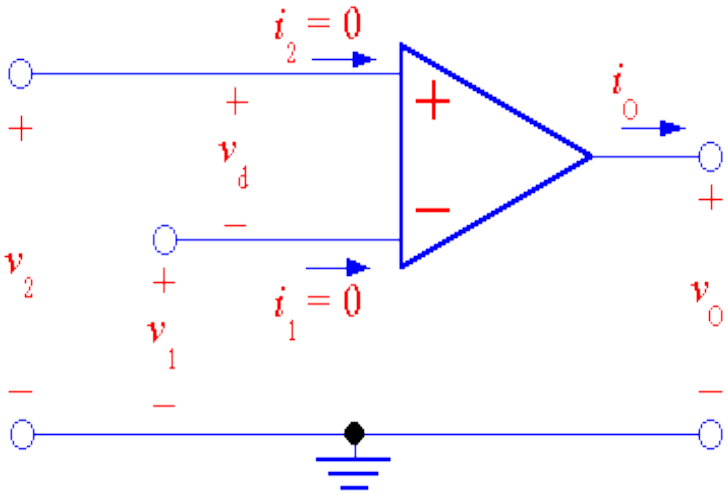
ออปแอมป์จะมีขั้วอินพุต(ป้อนเข้า) 2 ขั้ว นั่นคือ ขั้วอินพุตบวกเรียกว่า Non-inverting terminal และขั้วอินพุตลบเรียกว่า Inverting terminal และขั้วเอาต์พุต(ป้อนออก) 1 ขั้วจากวงจรสมมูลของออปแอมป์) ส่วนทางด้านอินพุตของออปแอมป์จะประกอบด้วยตัวต้านทาน RIN ซึ่งเป็นความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์ โดยจะมีแรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วอินพุตบวกและขั้วอินพุตลบ เท่ากับ vd ส่วนทางด้านเอาต์พุตจะประกอบด้วยตัวต้านทาน RO เป็นความต้านทานที่มองเข้าไปทางขั้วเอาต์พุตของออปแอมป์ และแหล่งจ่ายแรงดันที่ควบคุมด้วยแรงดันที่มีค่าเท่ากับ Avd ค่า A นี้เรียกว่าอัตราขยายวงเปิด (Open loop gain)ของออปแอมป์ ออปแอมป์แบบอุดมคติ (Ideal Op-Amp) แสดงดังภาพที่ 2.19

เพื่อความง่ายในการวิเคราะห์วงจรเราจะกำหนดให้ออปแอมป์เป็นอุดมคติซึ่งจะมีคุณสมบัติดังนี้

- อัตราขยายวงเปิดมีค่าเป็นอนันต์ $A \cong \infty$

- ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ $R_{IN} \cong \infty$

- ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ $R_o \cong \infty$



ภาพที่ 2.19 ออปแอมป์แบบอุดมคติ
ที่มา : http://www.ee.mut.ac.th/course/eecc0210/cir1/chap5_3.htm
(สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

เนื่องจากออปแอมป์ในอุดมคติมีความต้านทานทางด้านอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าทางขั้วอินพุตทั้งสองจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

$$i_1 = 0, i_2 = 0 \tag{2-4}$$

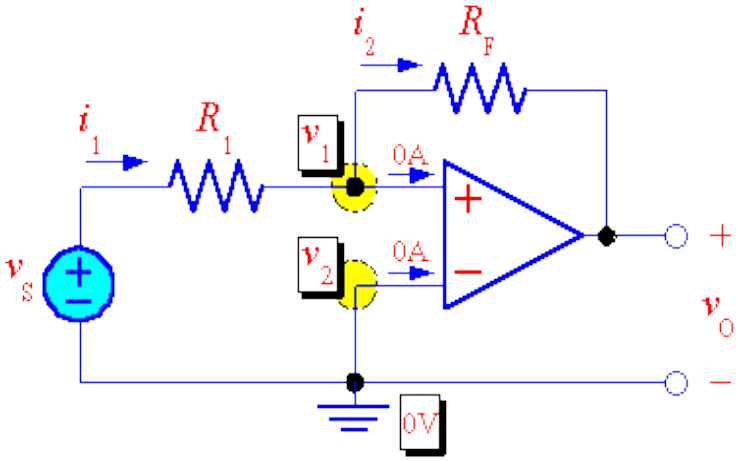
การต่อออปแอมป์เพื่อใช้งานเป็นวงจรขยายเพื่อให้มีเสถียรภาพนั้น เราจะต่อออปแอมป์ให้มีการป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) ซึ่งจะขอไม่กล่าวถึงรายละเอียดเรื่องเสถียรภาพและการป้อนกลับแบบลบในที่นี้ แต่สำหรับออปแอมป์แล้วการป้อนกลับแบบลบคือ มีการต่อขั้วเอาต์พุตกลับมายังขั้วอินพุตลบของออปแอมป์ ซึ่งอาจจะผ่านวงจรหรืออุปกรณ์หนึ่งก่อนก็ได้ เมื่อออปแอมป์มีการป้อนกลับแบบลบแล้วจะได้ว่า แรงดันระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์มีค่าประมาณศูนย์คือ

$$V_d = V_2 - V_1 \cong 0 \tag{2-5}$$

หรืออาจกล่าวได้ว่าแรงดันที่ขั้วบวกกับแรงดันที่ขั้วลบของออปแอมป์มีค่าเท่ากัน

$$V_2 = V_1 \tag{2-6}$$

วงจรขยายแบบกลับขั้ว (Inverting Amplifiers)แสดงดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 วงจรขยายแบบกลับขั้ว

ที่มา : http://www.ee.mut.ac.th/course/eecc0210/cir1/chap5_3.htm

(สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

KCL ที่โนด V_1 :

$$i_1 = i_2 \rightarrow \frac{V_s - V_1}{R1} = \frac{V_1 - V_0}{R_F} \tag{2-7}$$

$$\text{แต่} V_2 = V_1 = 0 \quad \text{จะได้} \quad \frac{V_s}{R_1} = -\frac{V_0}{R_F} \quad \text{หรือ} \quad \frac{V_0}{V_s} = -\frac{R_F}{R_1} \tag{2-8}$$

จะพบว่าวงจรขยายแบบกลับขั้วนี้มีอัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต (หรือเรียกว่าอัตราขยาย) มีค่าที่ติดลบ โดยค่าอัตราขยายนี้จะขึ้นกับค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร ส่วนค่าติดลบหมายถึง การที่เราป้อนสัญญาณอินพุตมีค่าเป็นบวกสัญญาณทางเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบ หรือในทางตรงข้ามถ้าเราป้อนสัญญาณอินพุตมีค่าเป็นลบสัญญาณทางเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวก

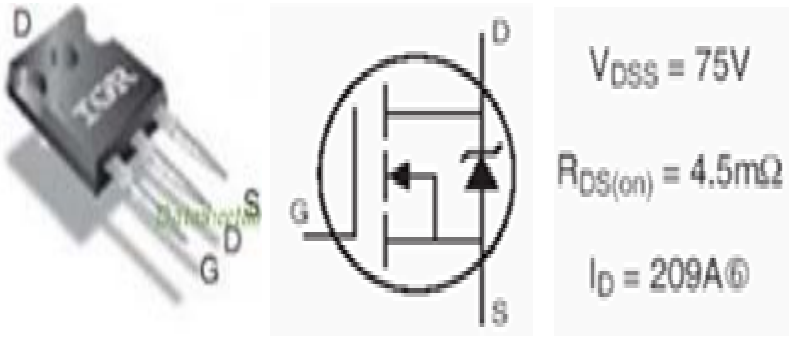
4.4 มอสเฟท

ดำรงค์ศักดิ์(2553) ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า คือทรานซิสเตอร์ที่ใช้สนามไฟฟ้าในการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารกึ่งตัวนำเพื่อให้เกิดการนำกระแสเมื่อได้รับ แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยทั่วไปมักเรียกย่อว่า " Fet " แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบรอยต่อ (Juntion Field Effect Transistor) หรือ เจเฟท (JFET) และ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบโลหะ-ออกไซด์-สารกึ่งตัวนำ (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) หรือ มอสเฟท (MOSFET)ดังภาพที่ 2.21

ภาพที่ 2.21 มอสเฟทIRF2907
ที่มา : www.datasheetdir.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

โครงสร้างของ MOSFET ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

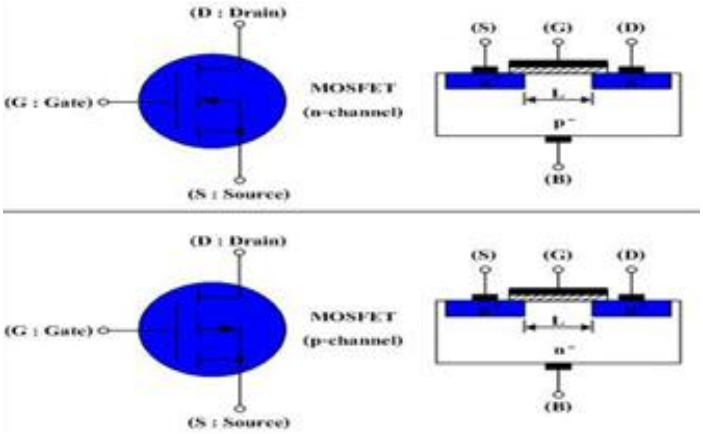
1. GATE เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่น สองแผ่นเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า
2. SORCE เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ
3. DRAIN เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ



ภาพที่ 2.22 มอทเฟทและสัญลักษณ์มอทเฟท
ที่มา : http://mosfet.freetzi.com/mosfet4.htm (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

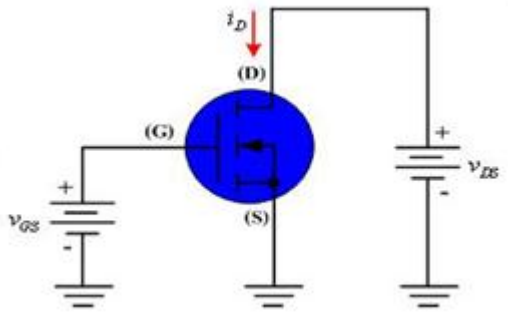
MOSFET แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1. ชนิด N-Channel 2. ชนิด P-Channal

ดังภาพที่2.23



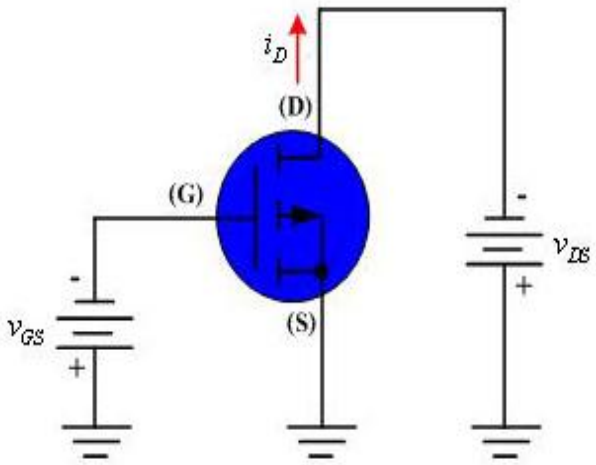
ภาพที่ 2.23 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของ MOSFET
ที่มา : http://mosfet.freetzi.com/mosfet4.htm (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

จากรูปลักษณะโครงสร้างพื้ฐานของ MOSFET โดยแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิด N-Channalและชนิด P-Channalจะเห็นได้ว่าMOSFET ทั้งสองชนิดจะมีขาต่อออกมาใช้งานหลัก ๆ อยู่ทั้งหมด 3 ขา คือ ขาเกท (G:Gate) , ขาเดรน (D:Drain) และขาซอร์ส (S:Source)
การจัดไบแอส (Bias) ให้กับ MOSFET ชนิด N-Channal



ภาพที่ 2.24 จัดไบแอส MOSFET N-Channal
ที่มา : http://mosfet.freetzi.com/mosfet4.htm (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

จากภาพที่ 2.24 เป็นการจัดไบแอสให้กับ MOSFET ชนิด N-Channal โดยการกำหนดค่าแรงดันที่ขาเกท (Vg) มีค่าน้อย จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ศ (S) ไม่มีกระแสไหลผ่านนั้นเอง แต่ถ้าเรากำหนดค่าแรงดันที่ขาเกท (Vg) มีค่ามาก จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ศ (S) มีกระแสไหลผ่านนั้นเองการจัดไบแอส (Bias) ให้กับ MOSFET ชนิด P-Channal

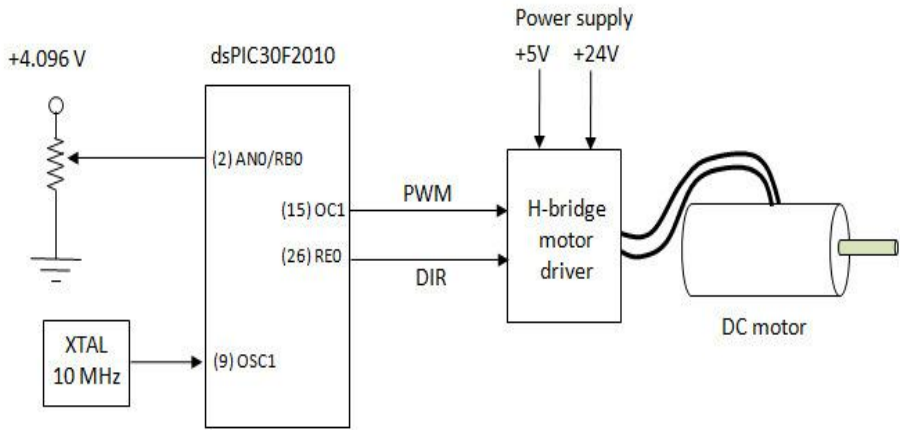


ภาพที่ 2.25 จัดไบแอส MOSFET P-Channal
ที่มา : http://mosfet.freetzi.com/mosfet4.htm (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 58)

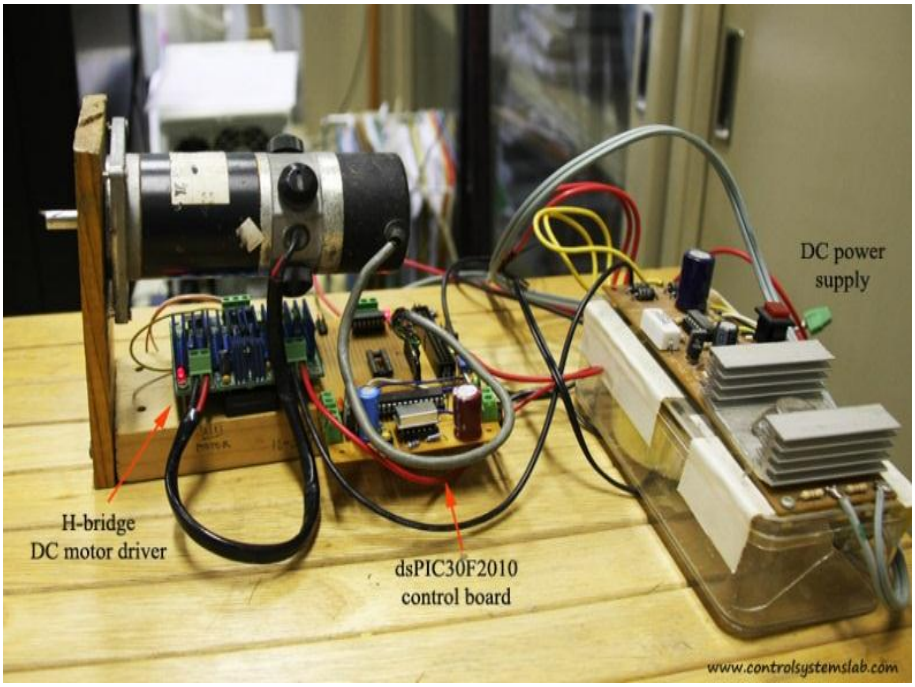
จากภาพที่ 2.25 เป็นการจัดไบแอสให้กับ MOSFET ชนิด P-Channal โดยการกำหนดค่าแรงดันที่ขาเกท (Vg) มีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) ไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าเราทำการกำหนดค่า (Vg) มีค่าน้อย ก็จะส่งผลให้ ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (s) มีกระแสไหลผ่าน

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมแบบลูปเปิด ดีซีมอเตอร์(2557) การควบคุมความเร็วแบบลูปเปิด งานควบคุมอุตสาหกรรมปัจจุบันนิยมใช้เซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านมากขึ้น แต่ดีซีมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านก็ยังเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในห้องทดลองเนื่องจากมีพลวัตที่ง่าย ติดตั้งและใช้งานสะดวก โดยเฉพาะการทดลองพื้นฐานเช่นการหาโมเดลหรือการควบคุมพีไอดี ขั้นตอนแรกในการเรียนรู้ดีซีมอเตอร์ คือ สั่งงานให้มอเตอร์หมุนแบบลูปเปิด เรียกว่า การสั่งงานความเร็ว (speed command) ที่ไม่มีการป้อนกลับ ซึ่งเป็นสาระสำคัญของการทดลองที่ 1 ในลำดับของดีซีมอเตอร์ที่จะนำเสนอต่อไป แผนภาพของการทดลองแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้ดีซีมอเตอร์ยี่ห้อ Yaskawa รุ่น MINERTIA วงจรขับแบบ H-bridge แหล่งจ่ายไฟตรง และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นแสดงอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ภาพที่ 2.26

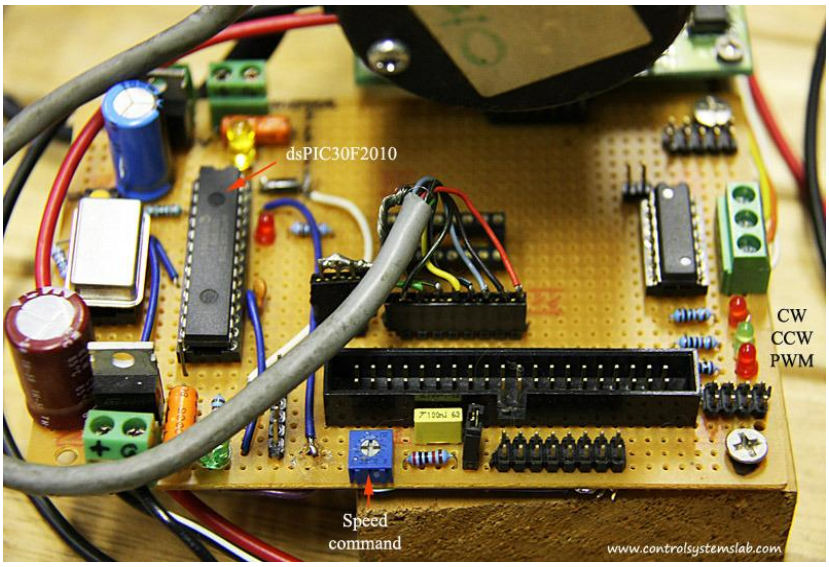


ภาพที่ 2.26 แผนภาพสำหรับการทดลองควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 9มีนาคม 58)



ภาพที่ 2.27 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 9มีนาคม 58)

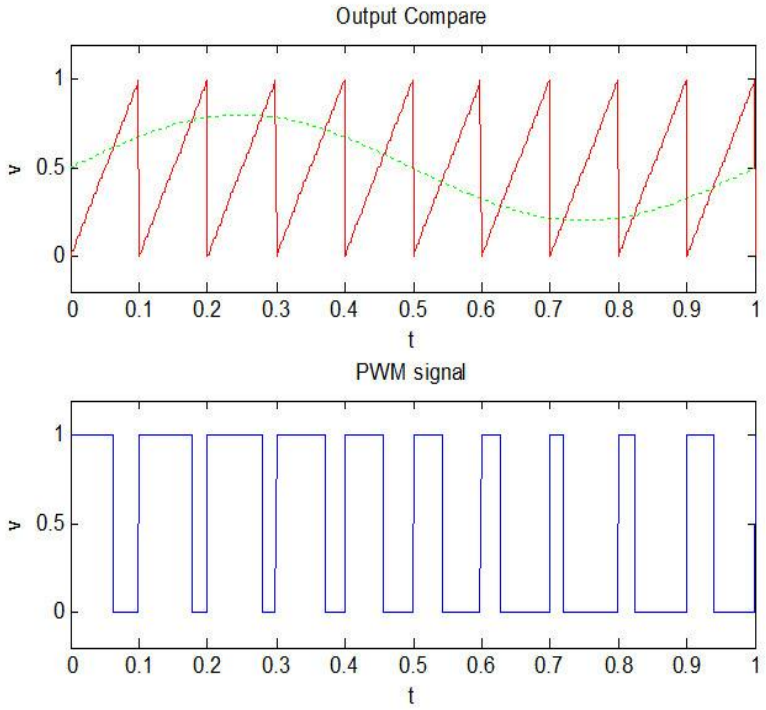
ส่วนประกอบต่างๆ ในภาพที่ 2. 27 สามารถหาซื้อได้จากแหล่งอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป มีเพียงส่วนบอร์ดควบคุมทีสร้างขึ้นบนแผ่นโปรโตบอร์ด (รูปที่2.28) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 จากบริษัท Microchip ขาที่ใช้ทดลองมีเพียง RB0(AN0), RE0 (สัญญาณ DIR), RD0 (สัญญาณ PWM) ดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 บอร์ดควบคุมที่สร้างขึ้นบนแผ่นวงจรอเนกประสงค์
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 9มีนาคม 58)

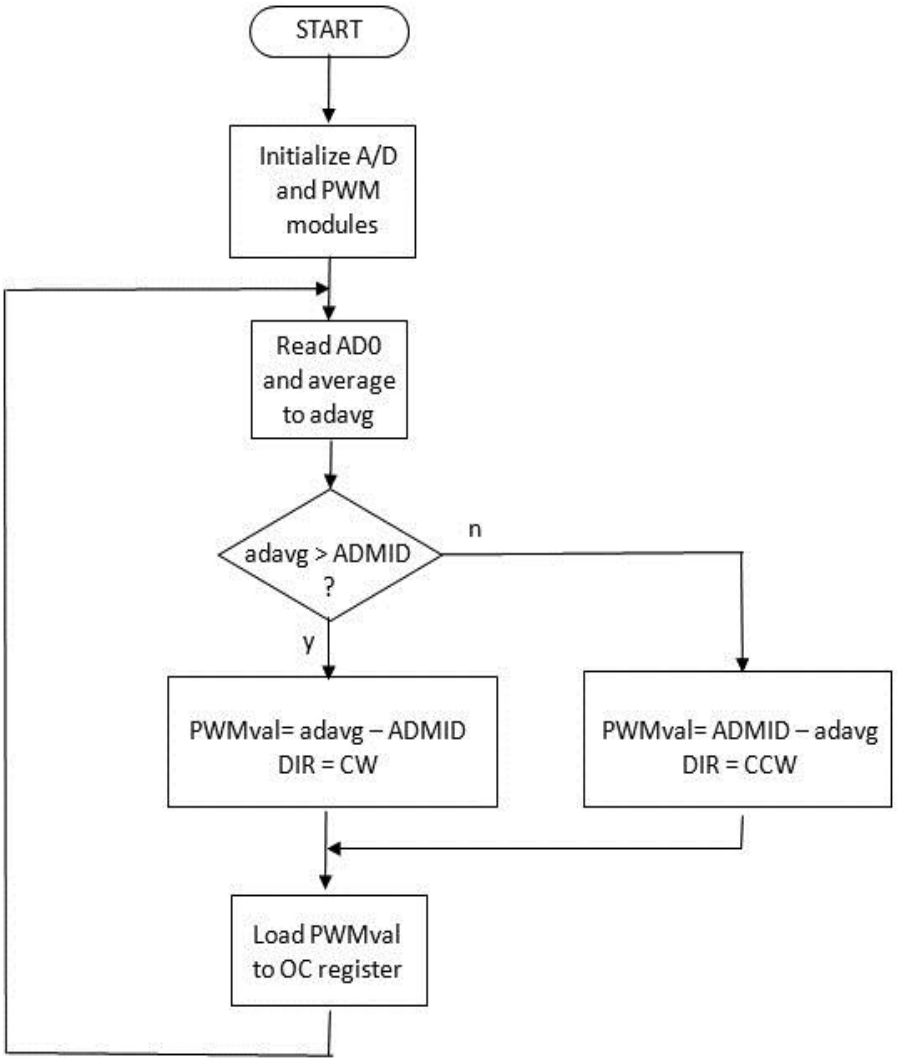
การสั่งงานมอเตอร์ คำสั่งความเร็วถูกสร้างโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาดเล็ก หรือเรียกย่อๆว่า พ็อต เพื่อปรับค่า V_{cmd} ที่ขากลางของพ็อต เมื่อใช้ไขควงหมุนพ็อตตามเข็มนาฬิกาจนสุด จะได้ V_{cmd} = 4.096 V คือสั่งให้มอเตอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาด้วยความเร็วสูงสุด เมื่อหมุนพ็อตเพื่อลดแรงดัน V_{cmd} มอเตอร์จะหมุนช้าลง จนกระทั่งบริเวณกึ่งกลาง คือ V_{cmd} = 2.048 Vมอเตอร์จะหยุดหมุน ปรับพ็อตด้านทวนเข็มต่อไป มอเตอร์จะเริ่มเปลี่ยนทิศเป็นหมุนทวนเข็ม และจะหมุนทวนเข็มด้วยความเร็วสูงสุดเมื่อ V_{cmd} = 0 Vจะเห็นจากรูปที่ 2.10 ว่ามี LED ไว้ 3 ดวง โดย 2 ดวงแสดงทิศทางการหมุน และอีกดวงหนึ่งใช้แสดงค่าของสัญญาณ PWM อธิบายการทำงานจากแผนภาพในรูปที่ 1 จะเห็นว่าคำสั่งความเร็วก็คือแรงดันจากขากลางของพ็อตที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 4.096 V ดังนั้นอันดับแรกคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องแปลงแรงดันนี้ที่ขา AN0 เป็นค่าตัวเลข โดยใช้โมดูล A/D 10 บิต เนื่องจากในการทดลองนี้ไม่มีวงจรกรองช่วยกำจัดสัญญาณรบกวน วิธีการง่ายๆ คือทำการเฉลี่ยค่าที่อ่านใหม่กับค่าเดิม จะช่วยลดการรบกวนความถี่สูงได้ จุดสำคัญต่อไปในการเรียนรู้คือการใช้งานโมดูล PWM ที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วๆ ไป PWM ย่อมาจาก Pulse-Width Modulation อธิบายโดยย่อได้ว่า โดยปกติแล้วการผ่านสัญญาณแบบต่อเนื่องให้กับชุดขับมอเตอร์โดยตรงมีข้อเสียคือทำให้ชุดขับร้อน ดังนั้น PWM คือการแปลงสัญญาณต่อเนื่องให้เป็นสัญญาณสวิทชิ่งระหว่างสองค่า โดยมีความกว้างของพัลส์สัมพันธ์กับระดับแรงดันของสัญญาณต่อเนื่อง วิธีการสร้างสัญญาณ PWM ทำได้ง่ายๆ ดังในรูปที่ 2.16 คือเปรียบเทียบสัญญาณต่อเนื่อง (สีเขียว) กับสัญญาณรูปฟันเลื่อย (สีแดง) และให้สัญญาณ PWM มีระดับ 1 เมื่อสัญญาณสีเขียวมากกว่าสีแดง และระดับ 0

เมื่อสีแดงมากกว่าสีเขียว ในทางปฏิบัติ สัญญาณฟันเลื่อยก็คือค่าเอาต์พุตที่ได้จากวงจรนับ ในตัว dsPIC สามารถใช้ฟังก์ชันเปรียบเทียบเอาต์พุต ในการสร้าง PWM โดยสิ่งที่ต้องทำมีเพียงตั้งค่าโมดูลให้เหมาะสมและโหลดค่าเข้าสู่รีจิสเตอร์ให้ถูกต้อง โมดูลก็จะสร้างสัญญาณ PWM ให้ตามต้องการ ดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 การสร้างสัญญาณ PWM
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 9มีนาคม 58)

ส่วนอื่นๆ ของโปรแกรมไม่มีอะไรซับซ้อน โดยโฟลชาร์ตของโปรแกรมแสดงในภาพที่ 2.17 ใช้ชุดขับมอเตอร์ รุ่น HDM10A จากบริษัท Any Control โดยชุดขับจะรับอินพุต 2 สัญญาณ คือ PWM และ DIR (ทิศทาง) เมื่อ DIR=0 มอเตอร์จะหมุนตามเข็ม และ DIR=1 สั่งให้มอเตอร์หมุนทวนเข็ม ดังนั้นงานที่เหลือคือการแปลงค่าแรงดันที่อ่านได้จาก A/D เป็นสัญญาณ PWM และ DIR ที่จะสั่งให้มอเตอร์หมุนในแบบที่ต้องการ จากการทดลอง ที่แรงดันสูงสุด 4.096 V จะอ่านค่า A/D ได้ 948 กำหนดให้เป็น ADMAX ที่ค่าแรงดัน 2.048 V อ่านได้ 474 เรียกว่า ADMID ส่วน ADMIN = 0 หากเรากำหนดย่านของ PWM ให้สอดคล้องกัน คือ PWMMAX = 474, PWMMID = 237, PWMMIN = 0 จะช่วยให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น โปรแกรมทั้งหมดแสดงในโปรแกรม 1 ดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 โฟลชาร์ตสำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบลูปเปิด
ที่มา : http://chuphoticups.blogspot.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 9มีนาคม 58)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สร้างโปรเจ็คใน MPLABX คอมไพล์และโหลดโปรแกรมลงบนบอร์ด พบว่าวงจรทำงานได้ตามที่คาดหวัง ตามคลิปด้านล่างเป็นที่อัดไว้จากโทรศัพท์มือถือ ข้อเสียที่เห็นได้ชัดของการควบคุมความเร็วแบบลูปเปิดคือ ตัวควบคุมจะไม่ทราบความเร็วที่แท้จริงของมอเตอร์เนื่องจากไม่มีการป้อนกลับ ทดสอบง่ายๆ โดยสั่งให้มอเตอร์หมุนช้าๆ และลองใช้นิ้วมือบีบที่แกนมอเตอร์เพื่อให้หยุดหมุน จะเห็นว่าสามารถทำได้โดยง่าย ในการทดลองต่อๆ ไปในลำดับ สร้างตัวควบคุมความเร็วแบบลูปปิดที่มีการอ่านค่าความเร็วจากเอนโคเดอร์และมีการชดเชยให้ความเร็วคงที่เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นหากพยายามจะใช้มือจับให้มอเตอร์หยุดหมุนจะพบว่ากระทำได้ยากขึ้น เพราะตัวควบคุมสั่งให้มอเตอร์สร้างแรงบิดเพื่อต่อสู้กับแรงจากมือ