บทที่ 3

ระบบควบคุมผสม

3.1 วงจรหลักของระบบผสม

การออกแบบระบบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นและเป็นไปตามรูป 3.1 ซึ่งประกอบด้วยวงจรหลัก 6 วงจร คือ

1) วงจรตรวจรู้สัญญาณ

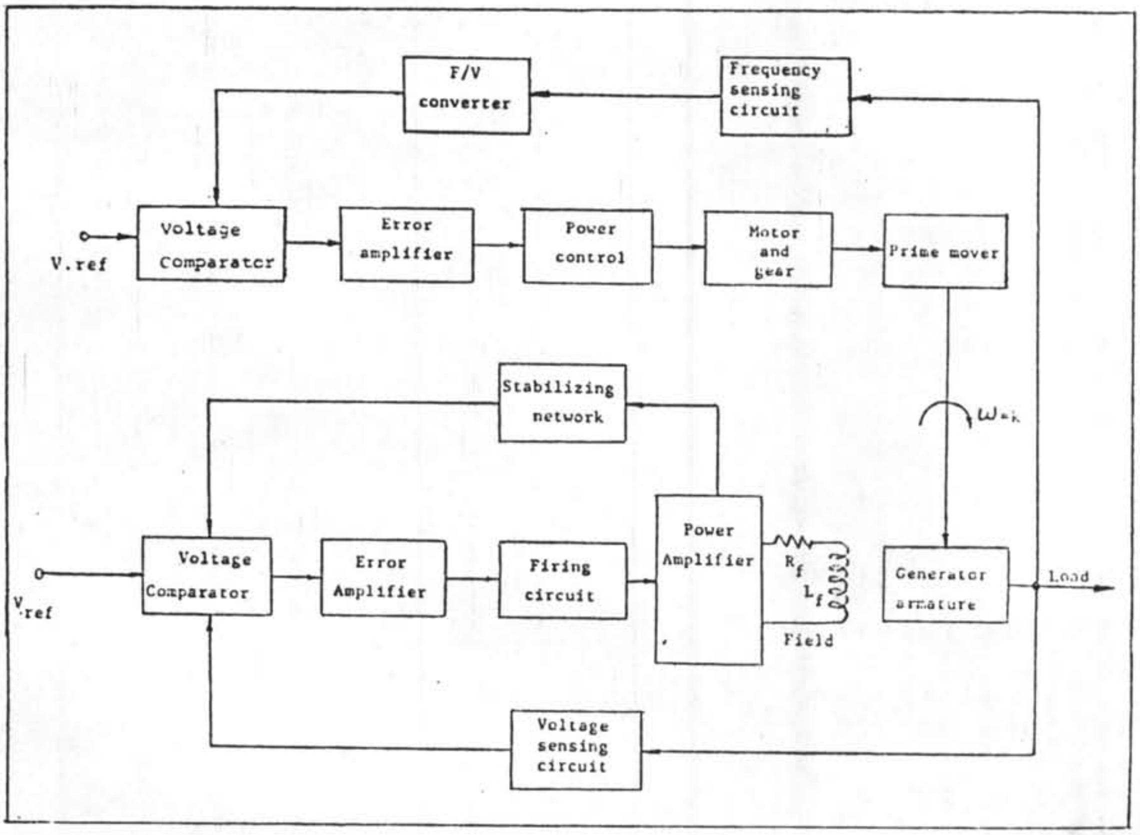
2) วงจรเปรียบเทียบแรงดันและขยายผลต่าง

3) วงจรจุดชนวน

4) วงจรขยายกำลัง

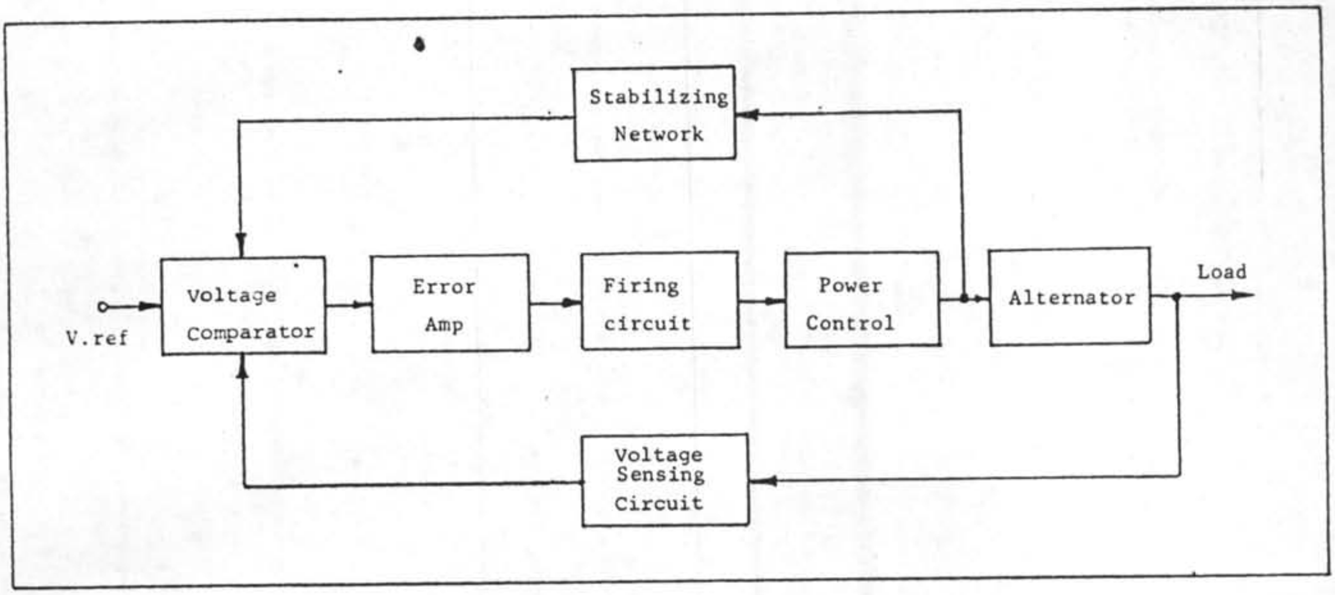
5) วงจรรักษาเสถียรภาพ

6) วงจรควบคุมกำลัง



รูปที่ 3.1 : แสดงแผนผังระบบควบคุมความถี่และแรงดัน

3.2 การออกแบบระบบรักษาแรงดัน

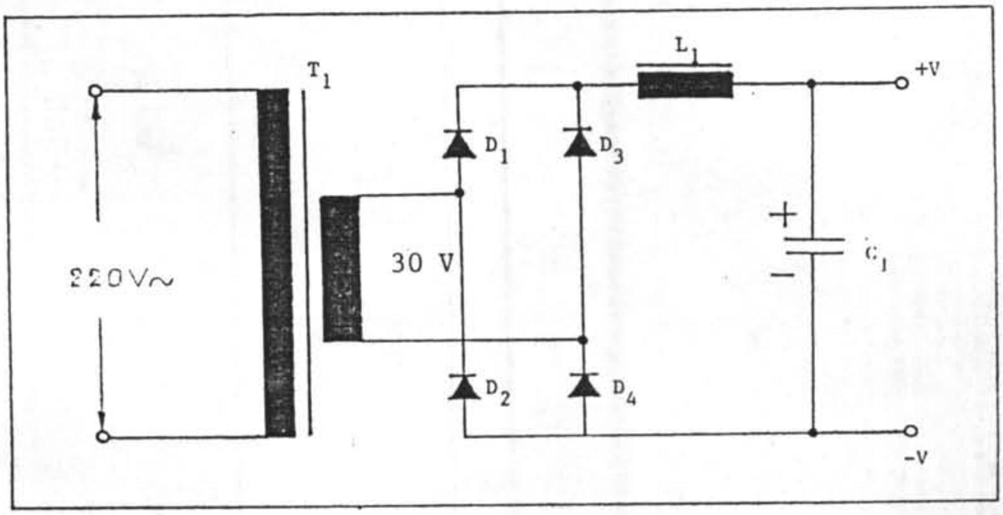


รูปที่ 3.2 : แสดงแผนผังของระบบเครื่องรักษาแรงดันอัตโนมัติ

รายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้คือ

1) วงจรตรวจรู้สัญญาณ

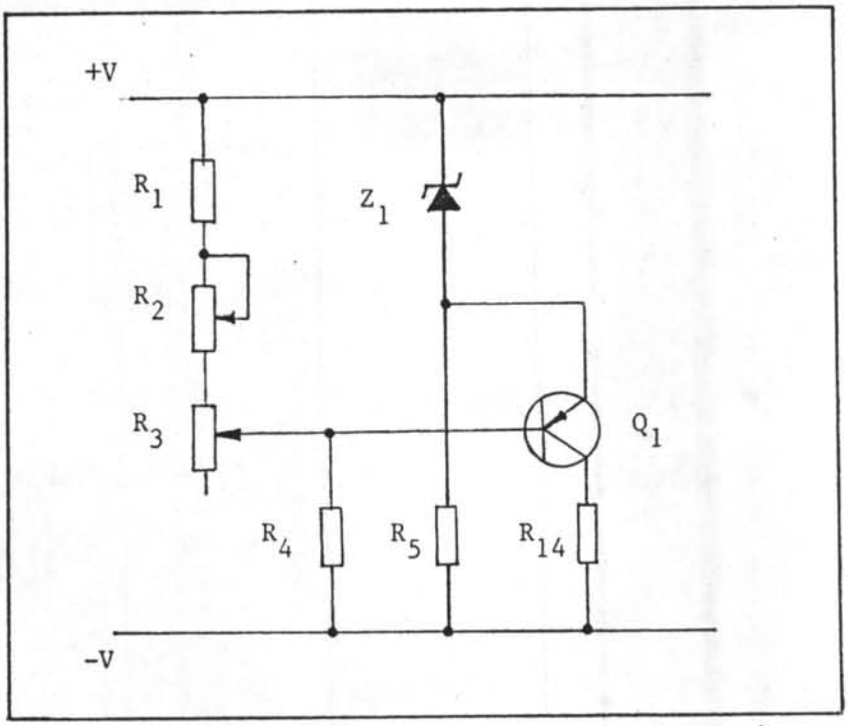
วงจรตรวจรู้สัญญาณ จะทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (กระแสสลับ) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งแรงดันนี้จะถูกลดลงให้อยู่ในระดับค่าที่เหมาะสมโดยใช้หม้อแปลงลง แล้ว จะถูกตัดและกรองให้เป็นไฟตรง กระแสไฟที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังภาควงจรเปรียบเทียบต่อไป



รูปที่ 3.3 : แสดงวงจรตรวจรู้สัญญาณ

2) <u>ภาควงจรเปรียบเทียบและขยายผลต่าง</u>

ภาคนี้จะทำการเก็บตัวอย่างแรงดันจากภาคตรวจรู้สัญญาณมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง จะทำให้เกิดสัญญาณผลต่างที่เป็นสัดส่วนกับแรงดันอ้างอิง สัญญาณนี้จะถูกขยายและส่งไปยังวงจรจุดชนวน ความต้านทานปรับค่าได้ R_2 ใช้สำหรับปรับแต่งแรงดันจ่ายออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการ แรงดันจ่ายออกจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อความต้านทาน R_2 มีค่าต่ำ ความต้านทาน R_3 ใช้สำหรับปรับเพิ่มขีดจำกัดของ R_2 โดยจะเพิ่มความละเอียดในการปรับแรงดันจ่ายออกอีกชั้นหนึ่ง ปกติ R_3 จะปรับแรงดันจ่ายออกได้อีกประมาณ ± 10%



รูปที่ 3.4 : แสดงวงจรเปรียบเทียบและขยายผลต่าง

3) <u>วงจรจุดชนวน</u>

วงจรนี้จะแปลงสัญญาณจากภาคขยายผลต่างมาปรับเวลาการจุดชนวนของ S C R ที่มุมต่าง ๆ ตามความเหมาะสม ตัวที่ใช้ปรับความถี่ในการจุดชนวนของ S C R จะใช้ U J T Q_3 ดังแสดงในรูปที่ 3.5

ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำหน้าที่เสมือนความต้านทานที่ปรับค่าได้ ซึ่งจะแปรกลับ กับสัญญาณที่ป้อนเข้าเบส ส่วนความถี่ของ U J T ที่ผลิตได้ กำหนดได้จากขนาดความจุของอิมิตเตอร์คาพาซิเตอร์ และค่าความต้านทานของอิมิตเตอร์ (R_{15}, R_{16} และความต้านทานภายในของทรานซิสเตอร์ Q_2) จากสมการ :-

$$C_E = \frac{t}{R_E \ln \dfrac{V_{EE} - V_o}{V_{EE} - V_c}} \qquad \text{..........(1)}$$

ซึ่ง C_E = ค่าความจุไฟฟ้าของอิมิตเตอร์ คาพาซิเตอร์ (FD)

t = ช่วงคาบของพัลส์ (S)

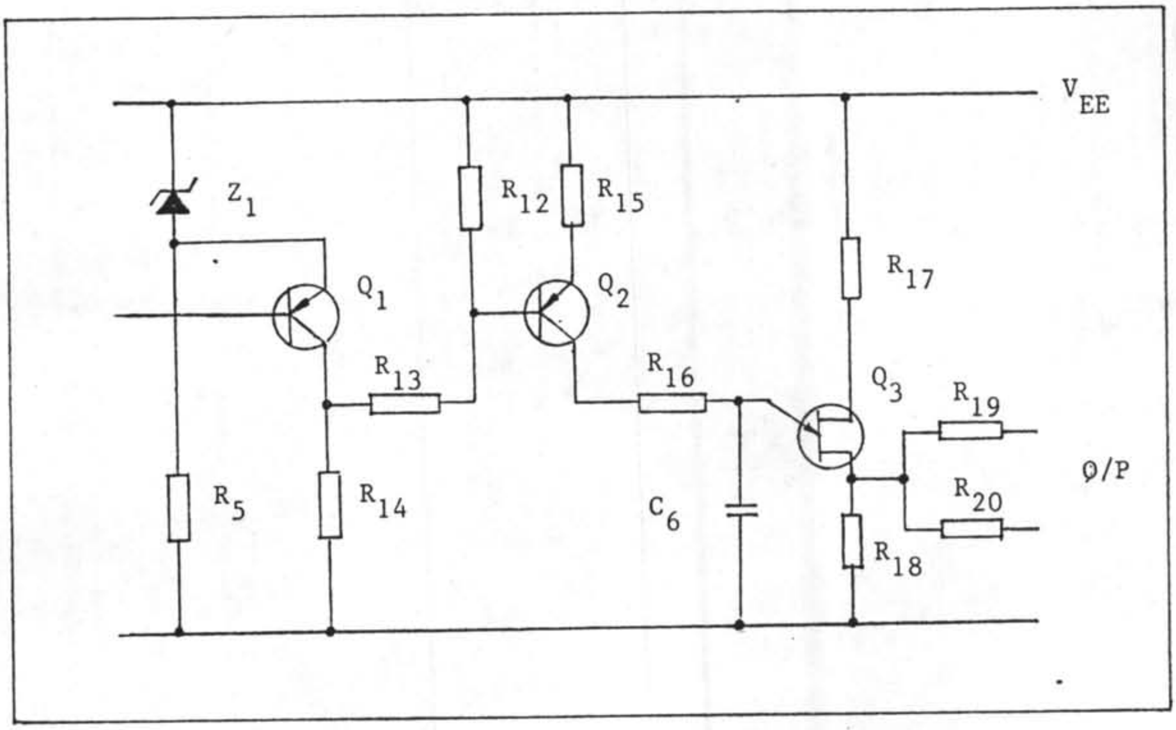
R_E = ความต้านทานของอิมิตเตอร์ (Ω)

V_o = แรงดันประจุไฟเริ่มต้น (V)

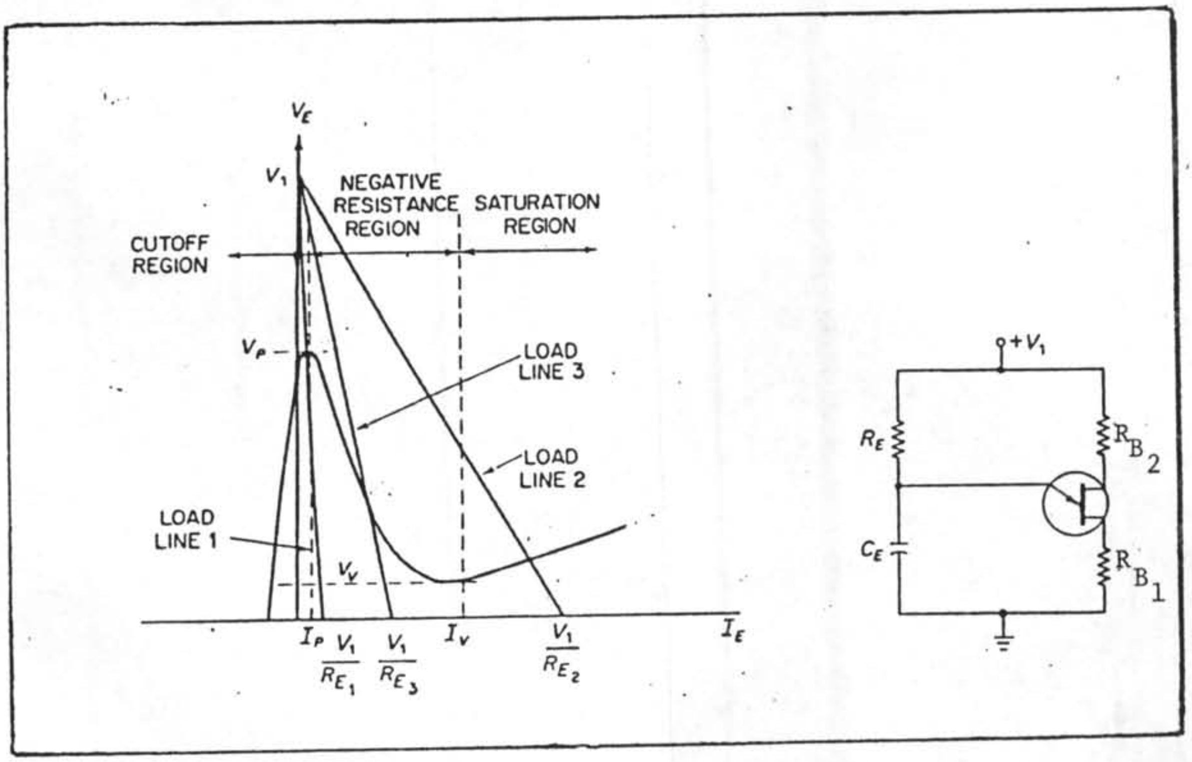
V_c = แรงดันประจุไฟสุดท้าย (V)

ช่วงคาบความถี่ของ U J T จะยาวเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ในสภาวะไม่มีโหลด และจะสั้นลงเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ในสภาวะมีโหลด

ในทางปฏิบัติการออกแบบ relaxation oscillator ของ U J T จะนิยมเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_E มากกว่าการเปลี่ยนค่าความจุ C_E และค่า R_E ที่ใช้ต้องมีค่าที่เหมาะสมและแน่นอนเพื่อให้การแกว่ง ทำงานได้ในสภาพที่ถูกต้อง ถ้า R_E มีค่ามากเกินไป U J T จะไม่ทำงาน ถ้า R_E ต่ำเกินไป U J T จะทำงานตลอดไม่หยุดทำงาน ภาวะเหล่านี้แสดงให้เห็นโดยใช้ลักษณะเส้นโค้งของอิมิตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ ๓.๖



รูปที่ 3.5 : แสดงภาควงจรจุดชนวน



รูปที่ 3.6 : แสดงลักษณะเส้นโค้งของอิมิตเตอร์

<u>การเลือกหาค่าความต้านทานอิมิตเตอร์ R_E</u> ตัวเก็บประจุอิมิตเตอร์ C_E จะประจุแรงดันจนกระทั่งแรงดันอิมิตเตอร์ เท่ากับจุดยอดแรงดันสูงสุด Vp ที่จุดนี้กระแสอิมิตเตอร์จะเท่ากับจุดยอดกระแสสูงสุด Ip เพื่อที่จะจุดชนวนให้ U J T ทำงาน ค่า R_E จะต้องมีค่าเต่าพอที่จะยอมให้กระแสค่อนข้างมากกว่า Ip ไหลผ่านได้ ดังนั้นค่า R_E จะต้องมีค่าต่ำพอที่จะรักษาให้ U J T อยู่ในบริเวณที่มีความต้านทานทางลบ ค่า R_E จะหาได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$R_E \leq \frac{V_{EE} - Vp}{Ip} = R_{E\ max} \qquad ....(2)$$

ซึ่ง Ip = จุดยอดกระแสสูงสุด (A)

R_E = ความต้านทานอิมิตเตอร์ (Ω)

V_{EE} = แหล่งจ่ายไฟตรง

Vp = จุดยอดแรงดันสูงสุด (V)

V_D = แรงดันเดินหน้า อิมิตเตอร์ไดโอด (0.6 V)

η = Intrinsic stand - off ratio

$$Vp = V_D + \eta\ V_{EE} \qquad ....(3)$$

เลือกค่า R_E ต่ำกว่าค่า $R_{E(max)}$ U J T จะทำงานและคาพาซิเตอร์ C_E จะปล่อยประจุผ่านอิมิตเตอร์ของ U J T อย่างไรก็ตาม ถ้า R_E มีค่าต่ำมากไป และกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) มีค่ามากกว่ากระแส I_V U J T จะไม่หยุดทำงาน ในภาวะนี้ U J T จะทำงานในบริเวณอิ่มตัว ค่า R_E ต่ำสุดที่จะใช้เพื่อให้ U J T สามารถทำงานได้หาได้จากสมการ :

$$R_E \geq \frac{V_{EE} - V_V}{I_V} = R_E\ min \qquad ....(4)$$

ซึ่ง V_V = Valley voltage (V)

I_V = Valley current (A)

การเลือกหาค่าความต้านทานเบส R_{B1} หน้าที่ของ R_{B1} ที่ใช้ในที่นี้ใช้เป็นทางไหลผ่านของกระแสเบส สำหรับจุดชนวนการทำงานของ S C R เพื่อให้จุดการทำงานของ S C R เป็นไปตามที่ต้องการ ค่า R_{B1} สามารถหาได้จากสมการ

$$R_{B_1} = \frac{0.2 \times r_{BB\,(min)}}{V_{EE}} \qquad \text{..........(5)}$$

R_{B1} = ความต้านทานเบส (Ω)

r_{BB} = ความต้านทานภายในเบส U J T (Ω)

การเลือกค่าความต้านทานเบส R_{B2} หน้าที่ของ R_{B2} ใช้เป็นตัวชดเชยอุณหภูมิ ในทางปฏิบัติคุณลักษณะการทำงานของ U J T จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ. ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น r_{BB}, กระแสอิมิเตอร์กลับทาง, Ip, V_V, η จะเพิ่มขึ้นและไฟตกคร่อมไดโอดรอยต่อจะลดลง

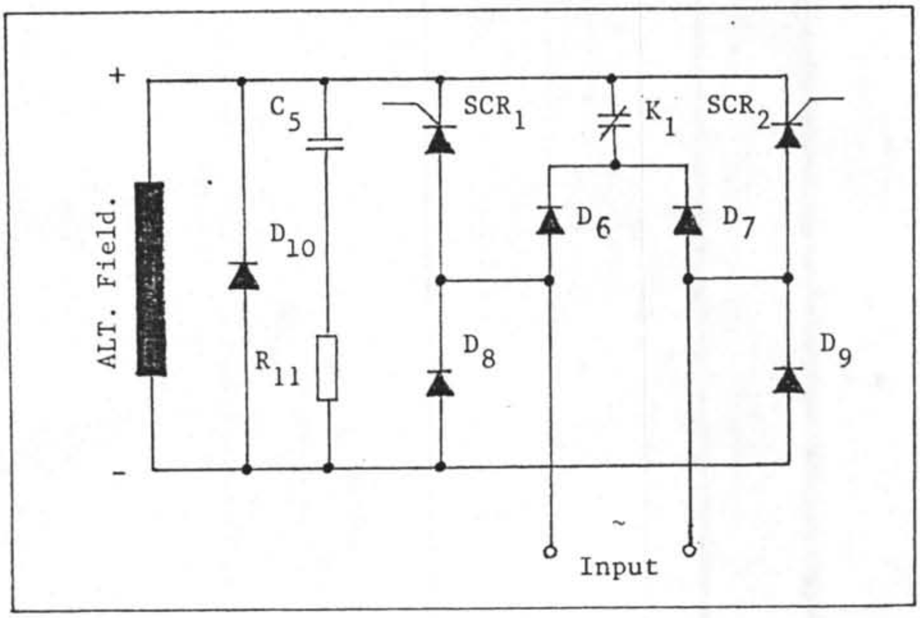
ถ้าเลือกค่า R_{B2} ได้ถูกต้องเหมาะสม ค่า Vp สามารถทำให้เปลี่ยนแปลงต่ำกว่า 1% ต่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 50 °C ในทางปฏิบัติ ค่า R_{B2} สามารถหาได้จากสมการ

$$R_{B_2} = \frac{0.7 \times r_{BB}}{\eta\, V_{EE}} + \frac{(1-\eta)\, R_{B1}}{\eta} \qquad \text{.......(6)}$$

4) <u>ภาคควบคุมกำลัง</u>

ภาคควบคุมกำลังจะแปลงสัญญาณที่เป็นพัลส์ จากวงจรจุดชนวนมาทำการปรับกระแสขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมดังแสดงในรูป 3.7 ฟลายวิลไดโอด D_{10} ที่ใส่ในวงจรใช้สำหรับเป็นตัวป้องกัน ทรานเซียนต์ แรงดันสูง ของขดลวดสนาม หลังจากที่ S C R อยู่ในสภาพไม่นำกระแสสำหรับวงจร Suppression ซึ่งประกอบด้วย R_{11} และ C_5 ต่อร่วมในวงจร เพื่อลดความเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งเกิดจากการทำงานของ S C R

ไดโอด D_6 - D_9 ที่แสดงในวงจร ใช้สำหรับ ตัดแรงดันตกค้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วง build - up Voltage เนื่องจากในช่วงนี้ S C R อยู่ในสภาวะไม่นำกระแส หลังจากแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 75% ของอัตราแรงดันปกติ จุดสัมผัส K_1 ของ รีเลย์ จะตัดวงจรไดโอด D_6 - D_7 ออกจากการทำงาน เพื่อให้ S C R ทำงานแทนต่อไป

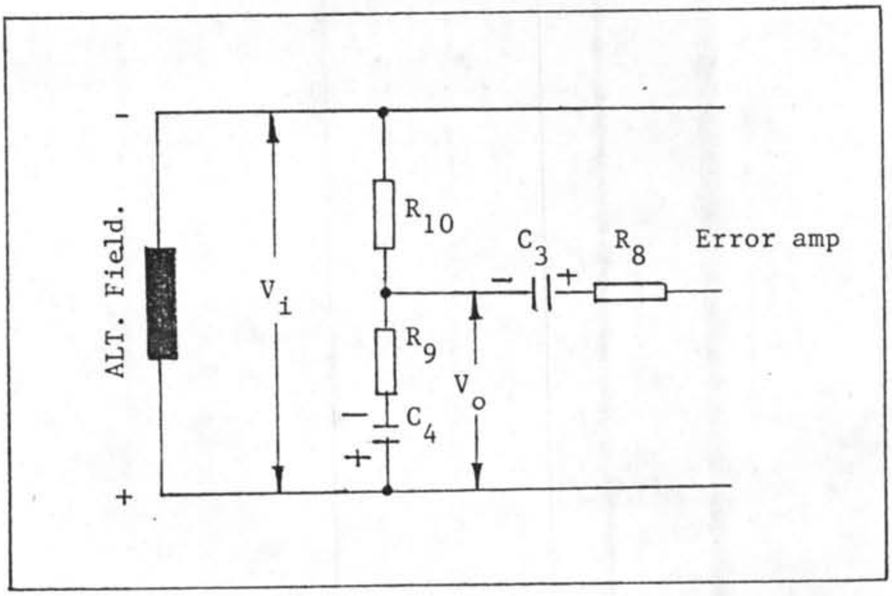


รูปที่ 3.7 : แสดงภาคควบคุมกำลัง

5) <u>วงจรเสถียรภาพ</u>

วงจรภาคเสถียรภาพ มีไว้สำหรับควบคุมรักษาการทำงานของระบบรักษาแรงดันให้มีเสถียรภาพดีที่ทุกสภาวะโหลด ซึ่งประกอบด้วย วงจรตาข่าย R , C (ดังแสดงในรูปที่ 3.8) สัญญาณจากภาคนี้จะส่งไปยังภาคขยายผลต่าง เพื่อป้องกันการแกว่ง

ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้แรงดันป้อนกลับ เปลี่ยนไปทำให้เกิดกระแสไหลผ่านคาพาซิเตอร์ C_3 และความต้านทาน R_8 กระแสนี้ใช้เป็นการป้อนกลับแบบลบของระบบ เพื่อให้เข้าสู่ภาวะอยู่เร็วขึ้น



รูปที่ ๓.๘ : แสดงวงจรรักษาเสถียรภาพ

3.3 การออกแบบระบบควบคุมความถี่

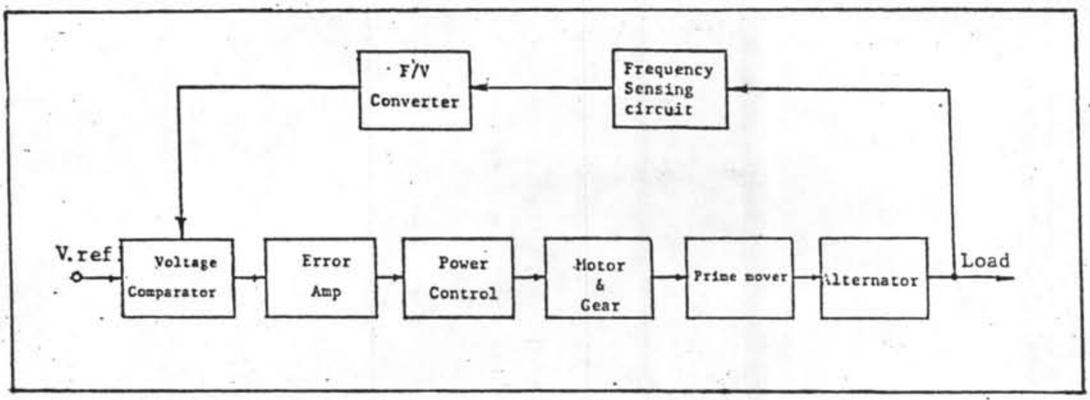
เกณฑ์ของระบบเซอร์โวเมคานิสซึมกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้คือ

ระบบที่ออกแบบนี้ สามารถติดตั้ง ปฏิบัติงานและควบคุมการทำงานในที่กลางแจ้งได้ แหล่งจ่ายที่ใช้ออกแบบให้ใช้ไฟกระแสตรง 12 V จาก แบตเตอรี่ที่ใช้เริ่มเดินเครื่องยนต์

มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง 12 V กินกระแส 1.5 A ขณะทำงาน ที่ต้องใช้มอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากสามารถควบคุมการกลับทิศทางหมุนได้ง่ายและสะดวกกว่า โดยเพียงสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟเข้าเท่านั้น และมีแหล่งจ่ายไฟตรงคือแบตเตอรี่พร้อมอยู่แล้ว

การขยายสัญญาณผิดพลาดกระแสตรงใช้ ออปแอมป์ เนื่องจากมีอัตราขยายสูง ราคาถูก

ภาควงจรขยายกำลังใช้วงจรบริดจ์ ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งสัญญาณไฟตรงที่เป็นบวกและลบและสามารถทำงานในบริเวณแอกตีฟได้

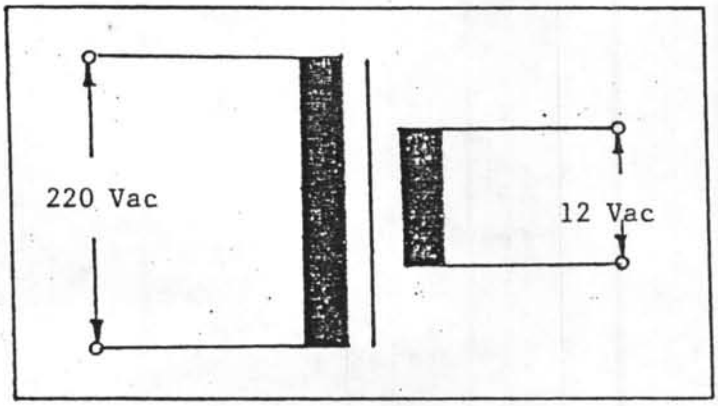


รูปที่ 3.9 : แสดงแผนผังของระบบควบคุมความถี่

<u>รายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้</u>

1) <u>วงจรตรวจรู้สัญญาณ</u>

วงจรตรวจรู้สัญญาณของระบบควบคุมความถี่ จะรับสัญญาณความถี่จากทางออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะทำหน้าที่ลดขนาดของสัญญาณความถี่ลง เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับภาคแปลงความถี่เป็นแรงดัน ต่อไป



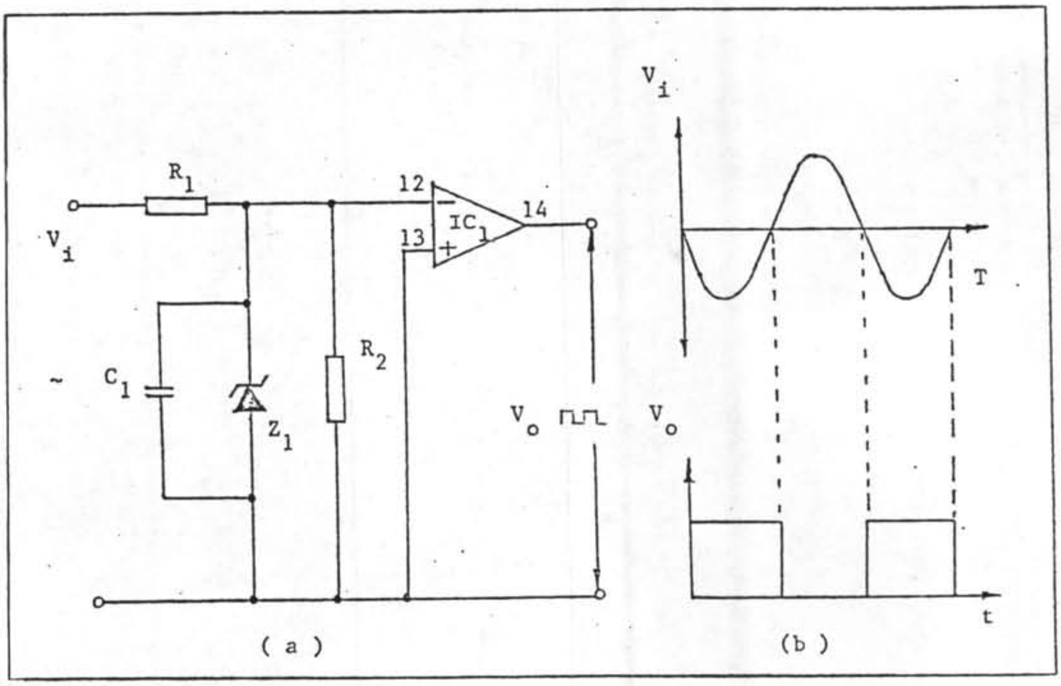
รูปที่ 3.10 : แสดงวงจรตรวจรู้สัญญาณของระบบควบคุมความถี่

2) <u>วงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดัน</u>

สำหรับภาคนี้จะประกอบด้วยวงจรหลักอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ

ก) <u>วงจรตรวจรู้สัญญาณที่ข้ามระดับศูนย์</u> ดังแสดงในรูป 3.11 ซึ่งความต้านทานและกระแสอินพุตจะถูกกำหนดด้วย R_1 และ R_2 ขนาดของสัญญาณที่เข้ามาเป็นรูปคลื่นไซน์จะใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวจำกัดไว้ไม่ให้เกิน 9 V สำหรับกรณีที่มีสัญญาณรบกวนความถี่สูงเข้า

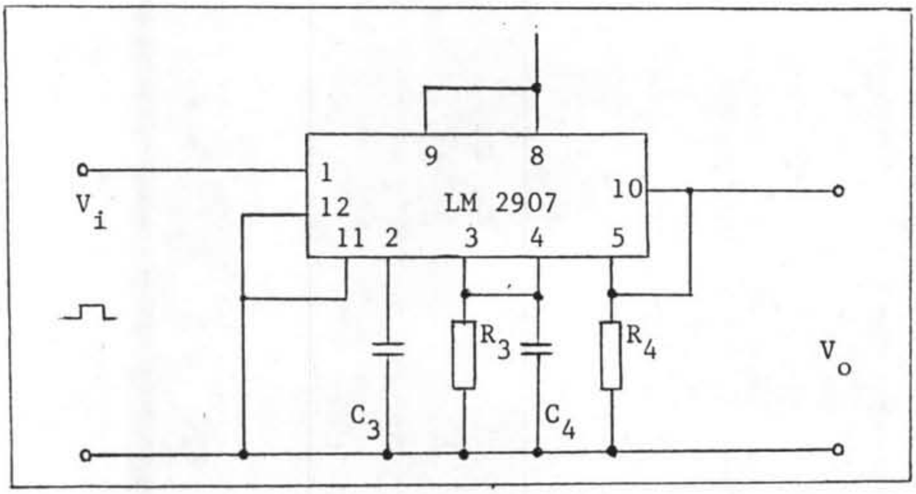
มา ก็จะถูกกำจัดลัดลงเดินโดยผ่านคาพาซิเตอร์ C_1 สัญญาณอินพุต Vi ที่ป้อนเข้ามายังขั้วเข้ากลับสัญญาณของออปแอมป์ และ IC_1 จะนำหน้าเป็นตัวตรวจรู้สัญญาณข้ามระดับศูนย์ สัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางเข้า จะถูกเปลี่ยนเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ทางออกขา ๑๔ ของ IC_1 และสัญญาณความถี่ทางออก จะมีการเปลี่ยนแปลงตอบสนองกับสัญญาณทางเข้าอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ ๓.๑๑ : แสดงวงจรตรวจรู้สัญญาณข้ามระดับศูนย์ ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณเข้ารูปคลื่นไซน์ เป็นสัญญาณออกรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ข) <u>วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยม</u>

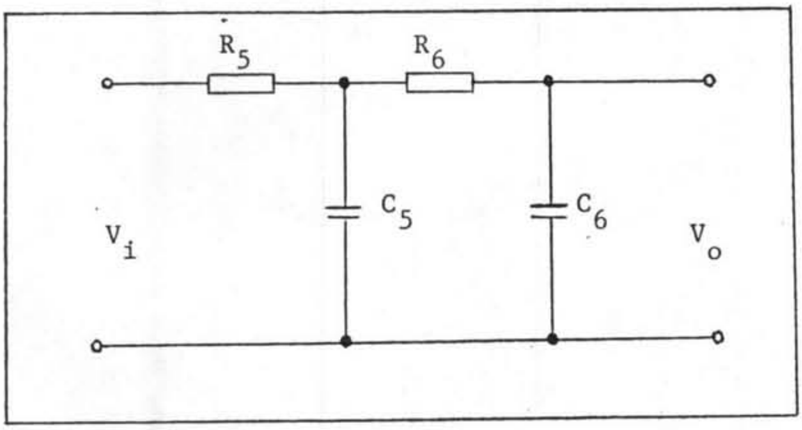
จากรูปที่ 3.12 แสดงวงจรส่วนที่แปลงความถี่เป็นแรงดันจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยรับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเข้ามาจากภาคตรวจรู้สัญญาณข้ามระดับศูนย์ แล้วแปลงสัญญาณความถี่ที่เข้ามาให้เป็นไฟกระแสตรง โดยแรงดันที่ออกจากขา 5 และ 10 จะเป็นสัดส่วนกับความถี่อินพุทที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 3.12 : แสดงวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ค) <u>วงจรกรองผ่านต่ำ</u>

หน้าที่หลักของวงจรนี้คือ กำจัดสัญญาณรบกวน และส่วนของความถี่สูง ออกจากวงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดันจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟตรง

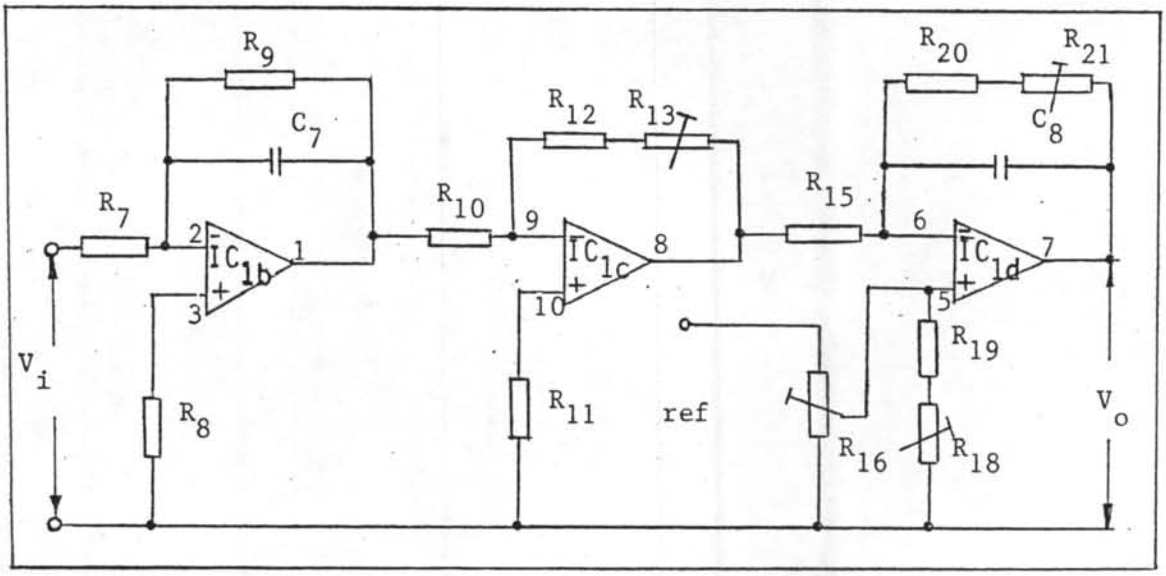


รูปที่ 3.13 : แสดงวงจรกรองผ่านต่ำ

หน้าที่สำคัญอีกอันหนึ่งก็คือ เป็นตัวกำหนดความเสถียรภาพและลักษณะเชิงพลศาสตร์ของระบบควบคุมความเร็ว วงจรนี้ใช้วงจรแบบพาสซีฟ ที่มีเฉพาะ R และ C เท่านั้น

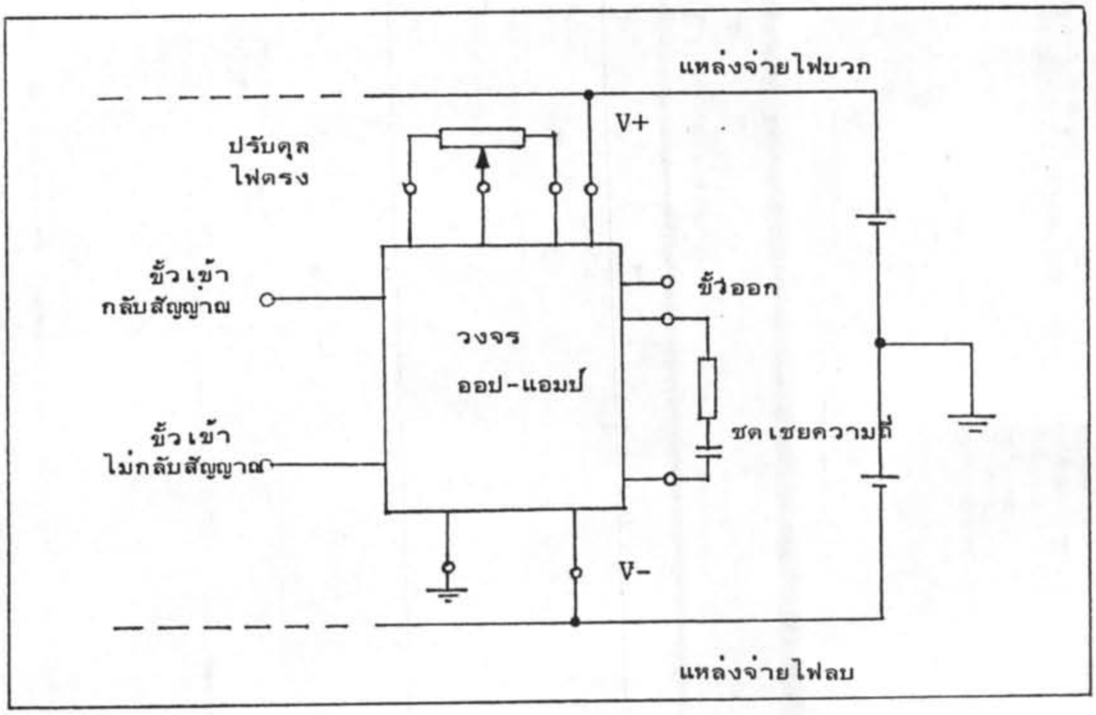
3) <u>ภาคขยายผลต่างของสัญญาณ</u>

ภาคนี้จะรับสัญญาณมาจากวงจรกรองผ่านต่ำแล้ว สัญญาณนี้จะเข้าขยายที่บัฟเฟอร์ของ IC_{1b} โดยจะผ่านเข้าที่ R_7 และออกไปต่อเข้ากับวงจรขยายแบบกลับสัญญาณ IC_{1c} สัญญาณเอาท์พุทจากขา 8 ของ IC_{1c} จะถูกส่งไปยังวงจรขยายผลต่าง IC_{1d} ต่อไป



รูปที่ 3.14 : แสดงวงจรภาคขยายผลต่าง

เหตุผลที่ต้องใช้วงจรออป-แอมป์ เป็นวงจรขยายผลต่าง เนื่องจากมีอัตราขยายสูงมาก มีความเชื่อถือได้ดี ขนาดเล็ก ราคาถูก ออป-แอมป์ที่มีขายโดยทั่วไป มักจะบรรจุในกล่องโลหะรูปทรงกระบอก (To - 99) หรือหุ้มด้วยอีพ็อกซี เป็นรูปสี่เหลี่ยมแบน มีขาเรียงอยู่สองข้าง (ตีนตะขาบ หรือ dual in - line) ปกติจะมีขา 8 ถึง 16 ขา ขาต่าง ๆ ได้แก่ ขั้วเข้าสองขั้ว คือ ขั้วเข้ากลับสัญญาณ ซึ่งมักกำกับด้วยเครื่องหมาย - และขั้วเข้าไม่กลับสัญญาณ ซึ่งมักกำกับด้วยเครื่องหมาย + ขั้วดิน ขั้วที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรง ซึ่งโดยปกติมีสองขั้วคือ ขั้วแหล่งจ่ายไฟบวก ซึ่งมักกำกับด้วยสัญญลักษณ์ V+ และขั้วแหล่งจ่ายไฟลบมักกำกับด้วยสัญลักษณ์ V^- นอกจากนี้ยังมีขั้วอื่นๆเช่นขั้วสำหรับปรับดุลไฟตรง ขั้วสำหรับชดเชยเชิงความถี่ ดูรูปที่ 3.15



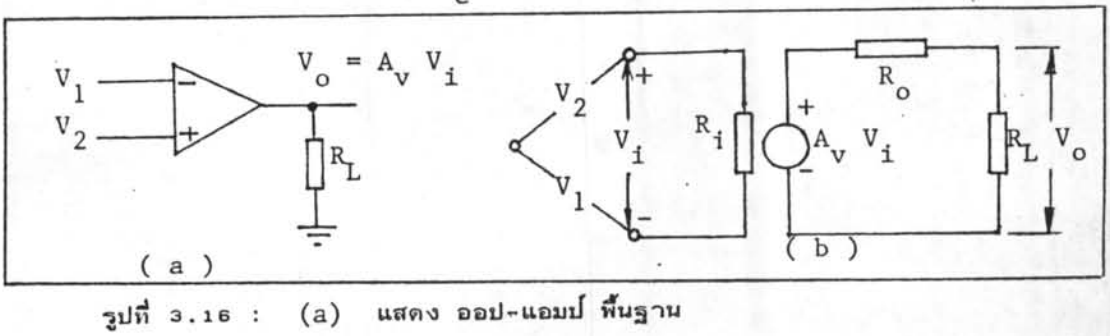
รูปที่ 3.15 : แสดงตัวอย่างการต่อ ออป-แอมป์

ออป-แอมป์ อุดมคติ มีลักษณะสมบัติดังนี้

ความต้านทานทางเข้า	$R_i = \infty$	
ความต้านทานทางออก	$R_o = 0$	
เกนขยายแรงดัน	$A_V = -\infty$	
แถบความถี่	$B = \infty$	
ดุลไฟตรง	$V_o = 0$	เมื่อ $V_1 = V_2$

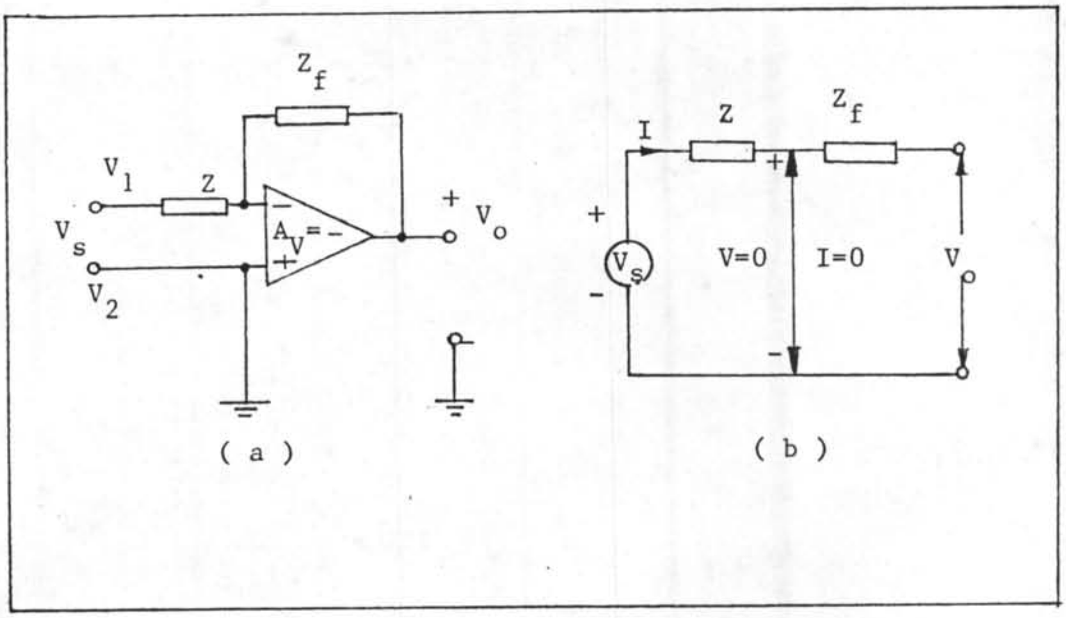
ลักษณะสมบัติไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

อัตราขยายร่วม $A_c = 0$



รูปที่ 3.16 : (a) แสดง ออป-แอมป์ พื้นฐาน

(b) แสดงวงจรสมมูลของ ออป-แอมป์ ($V_i = V_1 - V_2$)



รูปที่ 3.17 : (a) วงจรขยายกลับสัญญาณพื้นฐาน

(b) แทน ออป-แอมป์ อุดมคติด้วยสัญลักษณ์เสมือนวงจรลัด

สำหรับวงจรขยายผลต่าง เรานิยามอัตราขยายโดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันขาเข้า V_1 และ V_2 กับแรงดันขาออก V_o ดังนี้

$$V_0 = A_v (V_1 - V_2) + A_c \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)$$

$V_1 - V_2$ ได้แก่ผลต่าง ถ้าเลือก V_1 ให้เป็นสัญญลักษณ์แรงดันขั้วเข้ากลับสัญญาณ อัตราขยายผลต่าง A_v จะมีค่าเป็นลบ

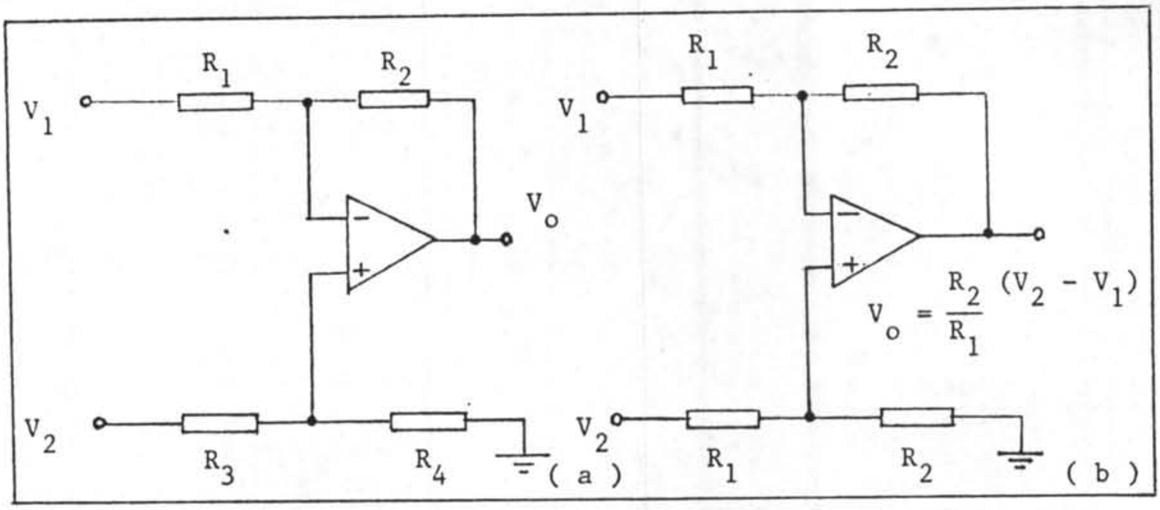
$\frac{V_1 + V_2}{2}$ ได้แก่ค่าเฉลี่ย ซึ่งเรียกว่า สัญญาณร่วม หากมีการป้อนกลับแบบลบชนิดสุ่มแรงดันผสมกระแสอยู่เสมอ ถ้าทำการป้อนกลับ เช่นนี้ อัตราขยายแรงดันพร้อมกับการป้อนกลับ A_{vf} หาได้โดย

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s}$$

$$= - Z_f/Z$$

จากสมการนี้สามารถนำไปใช้คำนวณหาอุปกรณ์ของวงจรขยายผลต่างได้

<u>วงจรขยายผลต่างไฟกระแสตรง</u>



รูปที่ 3.18 : (a) วงจรขยายผลต่าง

(b) วงจรขยายผลต่างที่มีอัตราส่วนความต้านทานเท่ากัน

จากรูปที่ 3.18 แสดงการใช้วงจร ออป-แอมป์ เป็นวงจรขยายผลต่าง นั่นคือ แรงดันทางออก V_0 ขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างแรงดันทางเข้า V_1 และ V_2 จากวงจรทั่วไป รูปที่ 3.10 (a) เราสามารถคำนวณหาแรงดันทางออกโดยใช้ทฤษฎีของการทับซ้อน ดังนี้คือ

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_2 + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1$$

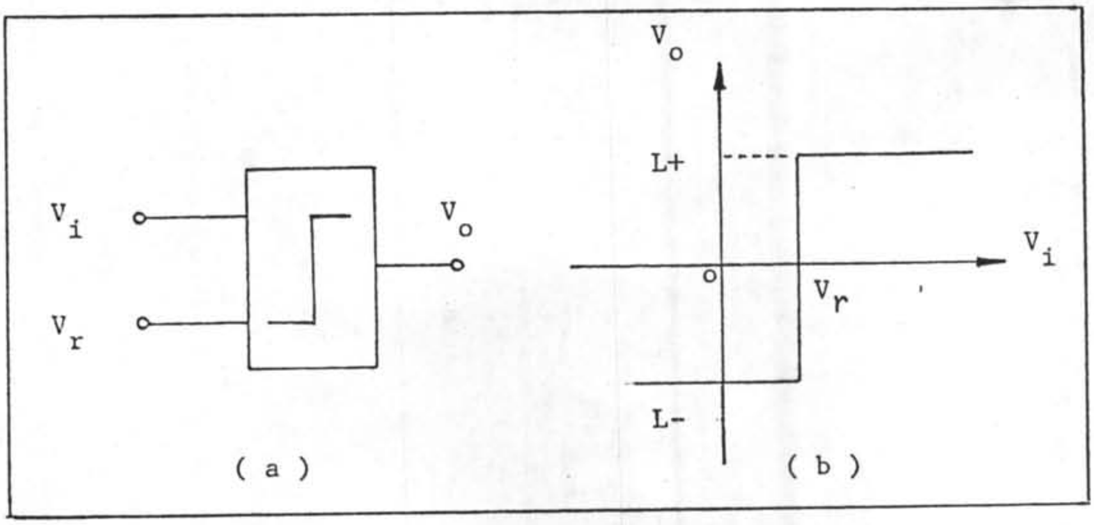
ในกรณีอัตราส่วนความต้านทานเท่ากัน หรือ $R_1/R_2 = R_3/R_4$ (รูป 3.10 (b)) จะได้

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

4) <u>วงจรภาคควบคุมกำลัง</u>

ภาคควบคุมกำลังนี้ จะนำสัญญาณจากวงจรขยายผลต่างมาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง และแรงดันทางออกที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบที่ขา 7 และ 8 ยังไม่สามารถนำไปใช้งานขับมอเตอร์ได้โดยตรง เนื่องจากมีกำลังต่ำ เพราะฉะนั้นจึงต้องทำการขยายเพิ่ม

กำลังภาคควบคุมกำลัง และแรงดันจากภาคควบคุมกำลัง นำไปใช้ทำการควบคุมการขับระบบเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งเป็นตัวทำหน้าที่ปรับการไหลของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยทิศทางหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ขึ้นอยู่กับผลต่างของสัญญาณทางเข้า และสัญญาณอ้างอิง แต่จะหยุดทำการควบคุม เมื่อผลต่างของสัญญาณทั้งสองเข้าใกล้ศูนย์ ระบบภาคควบคุมกำลังนี้ทรานซิสเตอร์แต่ละคู่ที่ใช้จะต่อเป็นวงจรบริดจ์ ดังรูปที่ 3.20 จะเห็นว่ามีจุดปรับแรงดันอ้างอิงถึง 2 จุด ทั้งนี้เนื่องจากต้องการให้มี Dead band ส่วน Dead band สามารถกำหนดได้จากแรงดันอ้างอิงทั้ง 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.20 สำหรับวงจรเปรียบเทียบแบบพื้นฐานทั่วไป จะมีสัญญาณเข้าสองสัญญาณ สัญญาณหนึ่งเรียกว่า V_i อีกสัญญาณหนึ่งเรียกว่าแรงดันอ้างอิงคงที่ V_r (ดูรูปที่ 3.19) ส่วนแรงดันออกจะขึ้นกับแรงดันทางเข้า V_i เทียบกับแรงดันอ้างอิง V_r ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 : (a) แสดงแผนผังของวงจรเปรียบเทียบ

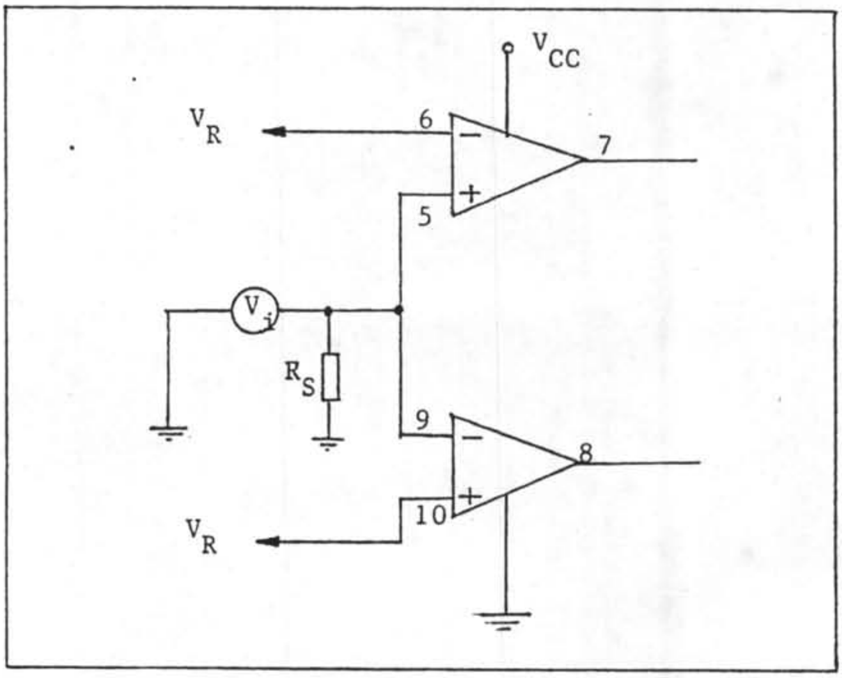
(b) แสดงลักษณะสมบัติ อุดมคติ

เราสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ V_i ได้ดังนี้

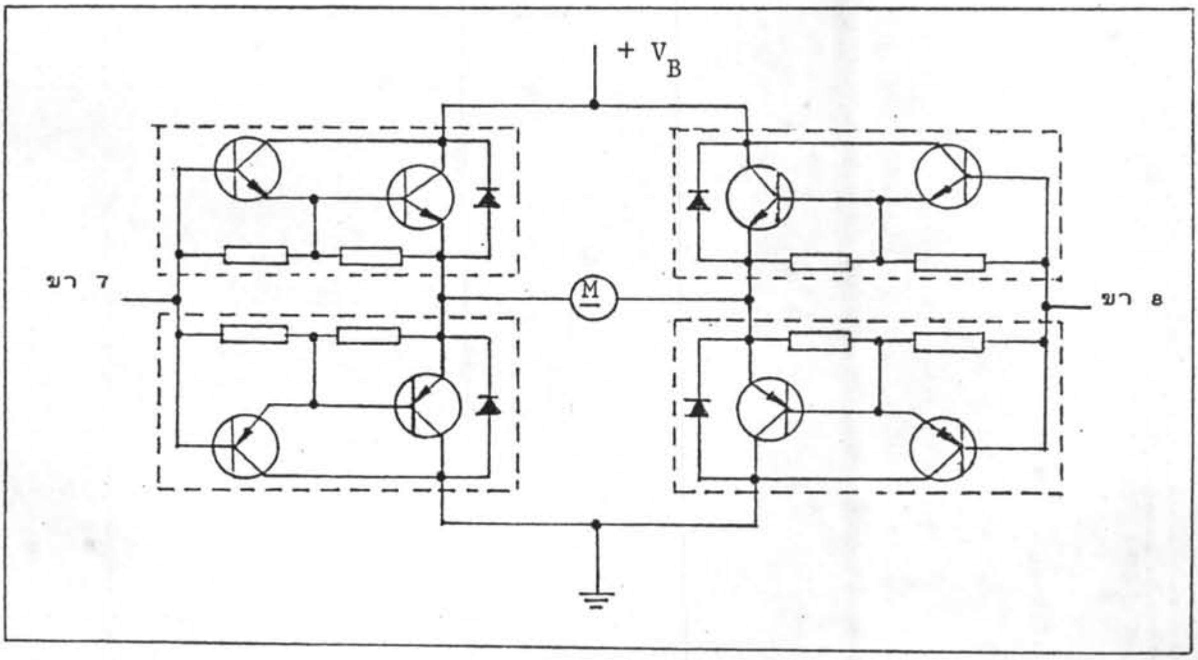
$V_i > V_r$	$V_o = L^+$
$V_i = V_r$	$V_o = o$
$V_i < V_r$	$V_o = L^-$

โดยที่ L^+ และ L^- คือระดับของแรงดันออกที่ใช้บอกผลของการเปรียบเทียบ วงจรเปรียบเทียบทำหน้าที่ จัดสัญญาณรูปคลื่น แทบไม่เหลือเค้าเดิม เช่น แรงดัน V_i ที่แปรผันกับเวลาอย่างช้า ๆ

จะแปรผันมาเป็นแรงดัน V_o ที่เปลี่ยนระดับอย่างฉับพลันทุกครั้งที่ V_i แปรมาถึงค่า V_r



รูปที่ 3.20 : แสดงวงจรเปรียบเทียบแบบ Double End output

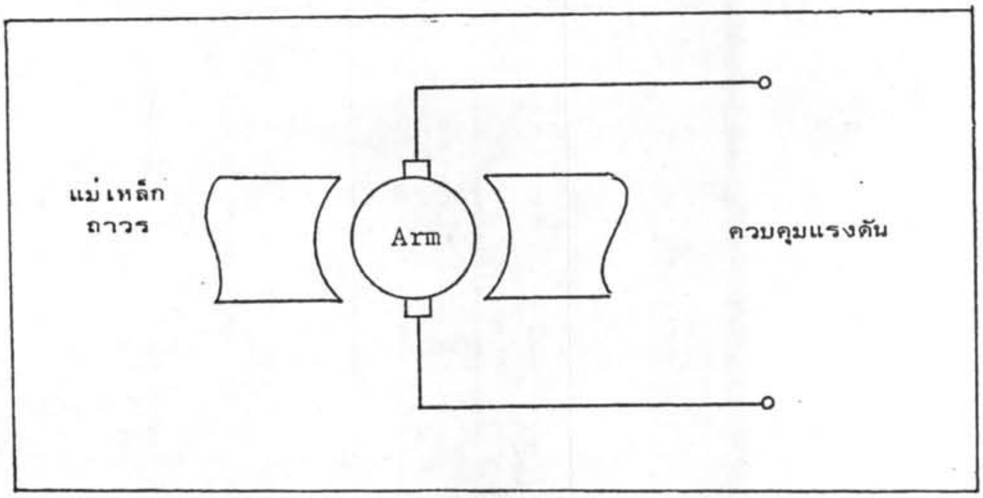


รูปที่ 3.21 : แสดงวงจรควบคุมกำลังแบบบริดจ์

5) มอเตอร์และเกียร์

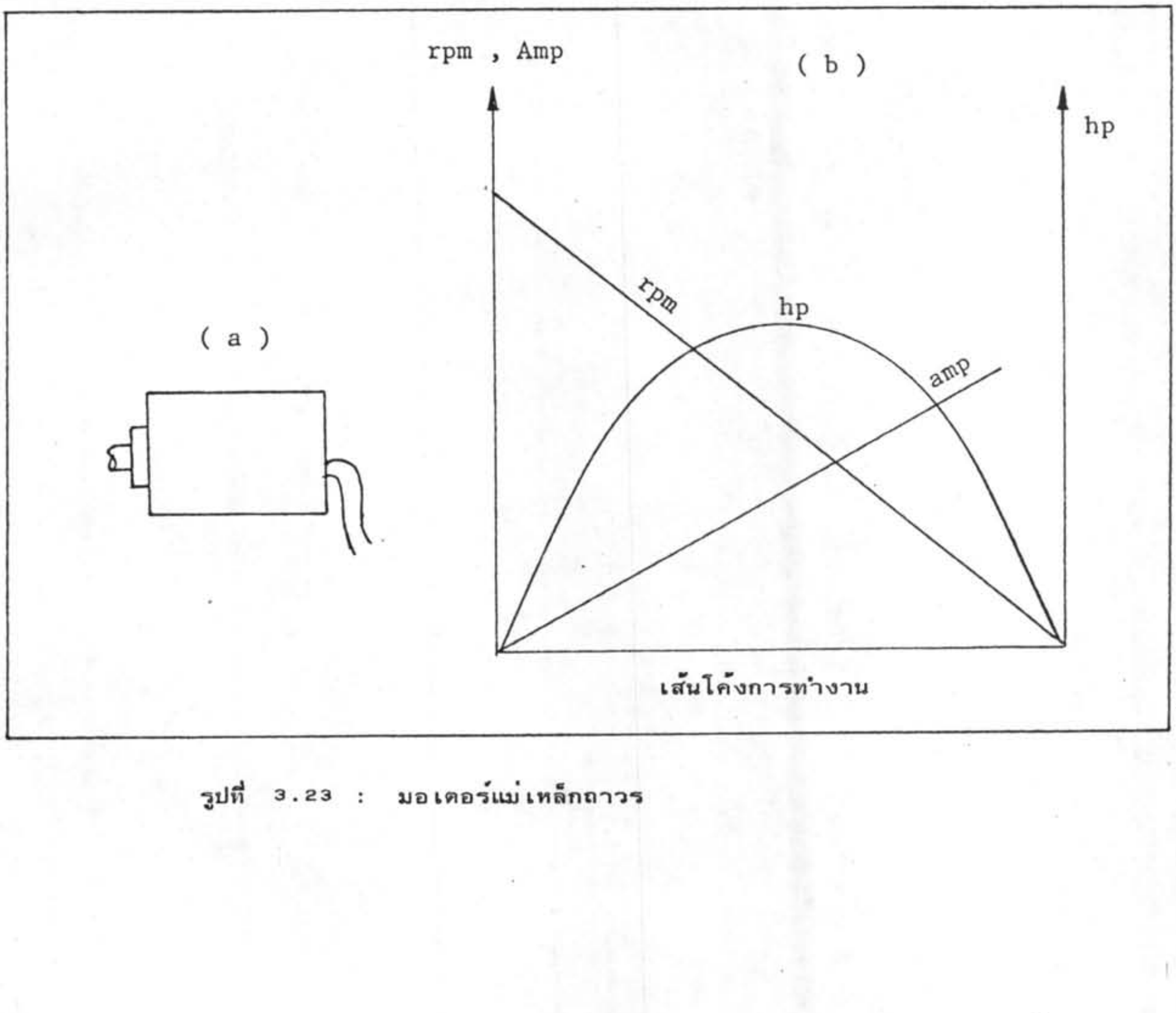
ความต้องการพื้นฐานในการใช้มอเตอร์กระแสตรงในงานวิจัยนี้คือ สามารถกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้โดยง่าย ซึ่งการกลับทิศทางหมุนในทางปฏิบัติทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีที่ 1 กลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟที่ต่อกับขดสนาม วิธีที่ 2 กลับขั้วของแหล่งจ่ายที่ต่อเข้ากับขดอามาเจอร์

ในการวิจัยนี้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร เพราะให้คุณลักษณะในการควบคุมได้ดี เพียงสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าอามาเจอร์เพียงทางเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3.22 : แสดงวงจรมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ที่แสดงนี้เป็นมอเตอร์ที่มีความสัมพันธ์ แรงบิดกับความเร็ว เป็นเชิงเส้น เมื่อป้อนพลังงานกลเข้าไป มอเตอร์จะเปลี่ยนสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง และสามารถใช้เป็นเครื่องมือป้อนกลับวัดความเร็วได้ จากรูปที่ 3.23 แสดงโครงร่างและเส้นโค้ง การทำงานของมอเตอร์ดังกล่าว



รูปที่ 3.23 : มอเตอร์แม่เหล็กถาวร