บทที่ 4

วงจรระบบควบคุมผสม

4.1 วงจรระบบรักษาแรงดัน

ขั้นตอนการออกแบบของระบบควบคุมแรงดันอัตโนมัติ จะเริ่มต้นจากวงจรควบคุมกำลัง ไปยังวงจรเปรียบเทียบ และวงจรตรวจรู้สัญญาณตามลำดับ ข้อกำหนดที่ต้องการในการออกแบบมีดังนี้

การรักษาแรงดัน = ± 5%

แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดัน = 12 - 30 V dc

ย่านการปรับแรงดันที่ไร้โหลด = ± 10%

1) ภาคควบคุมกำลัง

จากรูปที่ 3.7 ไฟสลับอินพุต 110 V ได้จากเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยนำมาใช้เป็นอินพุตของภาคควบคุมกำลัง ในทางปฏิบัติค่าความต้านทาน R_{11} และคาพาซิเตอร์ C_5 ในวงจร Suppression หาได้จากการทดลองโดยดูรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคป ซึ่งค่า R_{11} จะอยู่ในย่านหลักร้อย และคาพาซิเตอร์ C_5 จะอยู่ในย่าน 0.1 - 0.22 μF

อัตรายองอุปกรณ์ในวงจรนี้ มีรายละเอียดดังนี้ คือ

SCR_1 และ SCR_2 : 5A (rms) 400 V

Diode rectify : 5A (ave) 400 V

C_5 : 0.1 μF 400 V

R_{11} : 270 Ω 1 W

2) วงจรจุดชนวน

ในการออกแบบวงจรจุดชนวนจะต้องกำหนดช่วงคาบการลั่นไกก่อน ช่วงคาบความถี่ของ UJT จะยาวเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในสภาพไร้โหลด และจะสั้นลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นช่วงคาบการลั่นไก (ไร้โหลด และโหลดเต็มพิกัด)สามารถหาได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของแรงดันจากการดัดไฟตรง แบบเต็มคลื่นหาได้ดังนี้

$$V_{av} = \frac{1}{\pi} \int_{\theta}^{\pi} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

ซึ่ง , V_{av} = ค่าแรงดันเฉลี่ย

V_m = ค่าแรงดันสูงสุดของรูปคลื่นไซน์

ω = ความเร็วเชิงมุม

θ = มุมจุดชนวน

ค่าแรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดัน ที่ไร้โหลด จะเท่ากับ

$$V_{av} = 9 \text{ V}$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{\theta}^{\pi} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{\theta}^{\pi} 110\sqrt{2} \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{100\sqrt{2}}{\pi} \left(- \cos \omega t \right)_{\theta}^{\pi}$$

$$= \frac{100\sqrt{2}}{\pi} \left(1 + \cos\theta \right)$$

โดยให้ $\theta = 142.95^{\circ}$

ค่าความถี่ของแรงดันไฟสลับเท่ากับ 50 HZ เพราะฉะนั้นในครึ่งรอบ (180°) ของรูปคลื่นไซน์ จะใช้เวลาเท่ากับ 10 mS ดังนั้น มุมจุดชนวน 142.95° จะเท่ากับคาบเวลา

$$\frac{10 \times 142.95}{180} = 7.94 \text{ mS}$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขณะไร้โหลด (แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันจะต่ำ) แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดัน กำหนดให้ได้ 12 V dc แต่ในทางปฏิบัติจะออกแบบให้สามารถปรับการทำงานได้ต่ำถึง 9 V dc ทั้งนี้เป็นการออกแบบเผื่อไว้ให้เครื่องรักษาแรงดัน ทำงานมีความเชื่อถือได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะโหลดเต็มพิกัด (แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันจะสูง) แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดัน กำหนดให้ได้ 30 V dc แต่ในทางปฏิบัติจะออกแบบให้สามารถปรับการทำงานได้ถึง 35 V dc ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คาบของการลั่นไกในภาวะนี้สามารถกำหนดได้โดยใช้วิธีการเดียวกันกับภาวะไร้โหลด

แรงดันไฟตรงที่ใช้สำหรับจ่ายวงจร เท่ากับ 27 V dc สำหรับวงจรจุดชนวนใช้ทรานซิสเตอร์แบบ UJT เบอร์ 2N2646 เนื่องจากมีกระแสกลับทาง อิมิตเตอร์ต่ำ จุดยอดกระแสต่ำ หาง่าย ราคาถูก

ข้อกำหนดลักษณะ เฉพาะของทรานซิสเตอร์ แบบ UJT มีดังนี้

$V_{E_{B1}\ (\ sat\ )}$ = 3.5 V ปกติ I_p = 5.0 μA (max)

η = 0.56 - 0.75 I_V = 4.0 mA (min)

r_{BB} = 4.7 - 9.1 k Ω (ปกติใช้ประมาณ 7.0 k Ω)

ค่าเฉลี่ย Intrinsic stand - off ratio หาได้โดย

$$\eta_{av} = \frac{0.56 + 0.75}{2} = 0.655$$

จากสมการที่ 3 ค่าจุดยอดของแรงดันหาได้ คือ

$$V_P = V_D + \eta\ V_{EE}$$

$$= 0.6 + (0.655 \times 27)$$

$$= 18.285 \text{ V}$$

ค่าแรงดัน Valley Voltage

$$V_v = V_{EB_1}\ (\ Sat\ )$$

$$= 3.5 \text{ V}$$

จากสมการที่ 2

$$R_{E\ (\ max\ )} \leq \frac{V_{EE} - V_P}{I_P}$$

$$= \frac{27 - 18.285}{5\ \mu A}$$

$$= 1.743 \text{ M } \Omega$$

จากสมการที่ 4

$$R_{E\ (min\ )} \geq \frac{V_{EE} - V_v}{I_V}$$

$$= \frac{27 - 3.5}{4\ mA}$$

$$= 5.875 \text{ K } \Omega$$

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าพัลส์ทางออก หรือ คาบการแกว่งของ UJT Q_3 จะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอิมิตเตอร์ (R_{cE} Q_2) ค่าอิมิตเตอร์คาพาซิเตอร์ C_6 จะต้องกำหนดที่ช่วงคาบเวลาต่ำสุด (แรงดันออก ของเครื่องรักษาแรงดันมีค่ามากสุด) ในระบบนี้ใช้คาบพัลส์เท่ากับ 4.06 mS

จากสมการที่ 1

$$C_6 \leq \frac{t\ (\ min\ )}{R_{E(min)} \ln \dfrac{V_{EE} - V_o}{V_{EE} - V_P}}$$

$$= \frac{4.06 \times 10^{-3}}{5.875 \times 10^{3} \ \ln \dfrac{27 - 3.5}{27 - 18.285}}$$

$$= \frac{4.06 \times 10^{-3}}{5.875 \times 10^{3} \ \ln \dfrac{23.5}{8.715}}$$

$$= 0.696 \ \mu F$$

ค่า C_6 ใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 0.5 µF 400 V

ความต้านทาน Base 1 R_{18} สามารถหาค่าได้ (จากสมการที่ 5) ดังนี้

$$R_{18} = \frac{0.2\ r_{BB\ min}}{V_{EE}}$$

$$= \frac{0.2 \times 4.7 \times 10^{3}}{27}$$

$$= 34.82 \ \Omega$$

ค่า R_{18} ใช้ค่ามาตรฐาน 33 Ω ½ W

ความต้านทานชดเชยอุณหภูมิ R_{17} สามารถหาค่าได้โดยประมาณ (จากสมการที่ 6) ได้ดังนี้

$$R_{17} = \frac{0.7\ r_{BB}}{\eta\ V_{EE}} + \frac{(\ 1 - \eta)\ R_{18}}{\eta}$$

$$= \frac{0.7 \times 7.0 \times 10^{3}}{0.665 \times 27} + \frac{(\ 1 - 0.655\ ) \times 33}{0.665}$$

$= 294.45 \quad \Omega$

ความต้านทาน R_{17} ใช้ค่ามาตรฐาน 330 Ω ½ W

ความต้านทาน R_{19} และ R_{20} ที่แสดงไว้ในรูป ๔.๓ มีไว้สำหรับจำกัดกระแสเกท ของไทริสเตอร์ และสามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

I_{GT} (max) $= 200\ \mu A \quad 25^\circ C$

V_{GT} (max) $= 1.2\ V \quad 25^\circ C$

P_G (av) $= 0.3\ W$

$$I_G = \frac{P_G}{V_G}$$

$$= \frac{0.3}{1.2}$$

$$= 0.25\ A$$

ค่าสูงสุดของแรงดันออก ที่ Base 1 ของ UJT (Q_3) จะเป็น

$$V_{o\ B1} = V_P - V_v$$

$$= 18.285 - 3.5$$

$$= 14.79\ V$$

$R_{19} = R_{20}$,

$$= \frac{V_{o\ B1} - V_G}{I_G}$$

$$= \frac{14.79 - 1.2}{0.25}$$

$$= 54.36\ \Omega$$

ค่า R_{19} และ R_{20} ใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 54 Ω ½ W

สำหรับทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ในรูป ๓.๕ เป็นแบบซิลิกอน ใช้เบอร์ 2N4037 มีข้อกำหนดจำเพาะดังนี้

$P_D = 1.0\ W$

$T_J = 200^\circ C$

$V_{CEo} = 40\ V$

$h_{FE\ (min)} = 50$

$h_{FE\ (\ max\ )}$ = 250 ที่ I_c = 0.15 A

V_{CBo} = 60 V

F_T = 60 MHZ

การประจุในคาพาซิเตอร์ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta Q = C\ \Delta V$$

เขียนในเทอมของประจุกระแส จะได้ว่า

$$I\ \Delta t = C\ .\ \Delta V$$

หรือ $$I = \frac{C\ .\ \Delta V}{\Delta t}$$

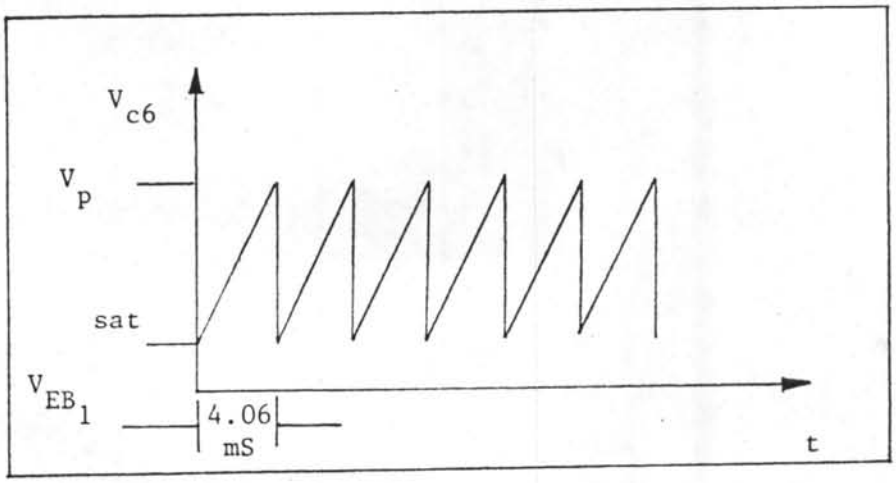
ซึ่ง I = การประจุกระแสของคาพาซิเตอร์ (แอมแปร์)

C = ค่าความจุของคาพาซิเตอร์ (ฟารัด)

ΔV = ผลต่างของแรงดันที่คร่อมคาพาซิเตอร์ในช่วงเวลา Δt (โวลท์)

Δt = ช่วงคาบของเวลาที่เปลี่ยนไป (วินาที)

ภาวะที่แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันมีค่าสูง ในขณะที่แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันมีค่าสูง ช่วงคาบเวลาการแกว่งจะเท่ากับ 4.06 mS (ดูรูป 4.1 ขณะเดียวกันกระแสคอลเลกเตอร์ Q_2 จะมีค่าสูงตามด้วย



รูปที่ 4.1 : แรงดันคร่อมคาพาซิเตอร์ C_6 ขณะที่แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันมีค่าสูง

$$I_{CQ_2} \text{ (max)} = \frac{C_6 \, \Delta V}{\Delta t \text{ min}}$$

$$= \frac{0.69 \times 14.785}{4.06 \times 10^{-3}}$$

$$= 2.512 \text{ mA}$$

$$I_{BQ_2} \text{ (max)} = \frac{I_{CQ_2} \text{ (max)}}{h_{FE} \text{ (min)}}$$

$$= \frac{2.512}{50}$$

$$I_{BQ_2} \text{ (max)} = 0.0502 \text{ mA}$$

กำหนดให้แรงดันที่คอลเลกเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q_1 (V_{CQ_1}) มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟ

นั่นคือ $V_{CQ_1} = \frac{27}{2}$

$$= 13.5 \text{ V}$$

ดังนั้น $V_{R_{14}} = 13.5 \text{ V}$

ในวงจรขยายกระแสตรง จะต้องหาทางชดเชยที่แรงดันจุดสงบ เพื่อไม่ให้ภาคต่อไปเกิดการอิ่มตัว สำหรับในรูปที่ 3.5 แรงดันคร่อม R_{13} มีค่าใกล้เคียงกับ V_{CB} ของทรานซิสเตอร์ Q_1

ดังนั้น $V_{CB\,Q_1} = V_{CE\,Q_1} - V_{BE\,Q_1}$

และ $V_{CE\,Q_1} = V_{EE} - V_{R_{14}} - V_{Z_1}$

ให้ V_{Z_1} เท่ากับ 6.2 V

$$V_{CB\,Q_1} = V_{EE} - V_{R_{14}} - V_{Z_1} - V_{BE\,Q_1}$$

$$= 27 - 13.5 - 6.2 - 0.6$$

$$= 6.7 \text{ V}$$

ดังนั้น $V_{R_{13}} = 6.7 \text{ V}$

$$V_{R_{12}} = V_{EE} - V_{R_{14}} - V_{R_{13}}$$

$$= 27 - 13.5 - 6.7$$

$$= \quad 6.8 \ V$$

ในการออกแบบนี้ กำหนดให้กระแสไหลผ่าน $I_{R_{12}}$ เท่ากับ 0.6 mA ซึ่งมากกว่ากระแสไหลผ่าน I_{BQ_2} (0.0502 mA) กระแสที่ไหลผ่าน R_{12} , R_{13} ในระดับนี้ I_{B_2} จะไม่ทำให้เป็นโหลดแก่วงจรแบ่งตาข่าย

$$R_{12} = \frac{V_{R_{12}}}{I_{R_{12}}}$$

$$= \frac{6.8}{0.6 \text{ mA}}$$

$$= 11.33 \ K\Omega$$

R_{12} ใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 12 K Ω ½ W

$$R_{13} = \frac{V_{R_{13}}}{I_{R_{13}}} \cong \frac{V_{R_{13}}}{I_{R_{12}}}$$

$$= \frac{6.7}{0.6 \text{ mA}}$$

$$= 11.17 \ K\Omega$$

R_{13} ใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 12 K Ω ½ W

จากลักษณะสมบัติเส้นโค้งของทรานซิสเตอร์ 2N4037 จะทราบว่า เกนกระแสไฟตรง (h_{FE}) จะเกิดขึ้นที่กระแสคอลเลกเตอร์ประมาณ 8 - 12 mA ถ้าให้กระแสคอลเลกเตอร์มีค่าสูง การสูญเสียก็จะสูงตามขึ้นด้วย ดังนั้นการเลือกค่ากระแสคอลเลกเตอร์ต้องให้ได้ค่าที่เหมาะสม โดยเลือกให้มีค่าใกล้เคียงกับที่ทำให้ได้เกนสูง ๆ เพราะจะทำให้มีการสูญเสียต่ำ

การออกแบบนี้ให้กระแสคอลเลกเตอร์ต่ำสุด เท่ากับ 3 mA

เพราะฉะนั้น ที่แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดัน มีค่ามาก

$$I_{C\,Q_1} = I_{C\,Q_1\,min} = 3\ mA$$

$$I_{R_{14}} = I_{C\,Q_1\,min} + I_{R_{13}}$$

$$= 3 + 0.6$$

$$= 3.6\ mA$$

$$R_{14} = \frac{V_{R_{14}}}{I_{R_{14}}}$$

$$= \frac{13.5}{3.6\ mA}$$

$$= 3.75\ k\ \Omega$$

R_{14} เลือกใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 3.9 K Ω ½ W

$$V_{R_{16}} = V_{EE} - V_{R_{12}} - V_{C\,B\,Q_2} - V_P$$

$$= V_{EE} - V_{R_{12}} - (V_{CE\,Q_2} - V_{BE\,Q_2}) - V_P$$

เพื่อที่จะไม่ให้ทรานซิสเตอร์มีการอิ่มตัว แรงดันต่ำสุดที่คร่อม $V_{CE\,Q_2}$ จะต้องมากกว่า 1 V

$$V_{CE\,Q_2\,(\,min\,)} = 1\ V$$

ดังนั้น

$$V_{R_{16}} = 27 - 6.8 - (1 - 0.6) - 18.285$$

$$= 1.52\ V$$

$$R_{16} = \frac{V_{R_{16}}}{I_{C\,Q_2\,max}}$$

$$= \frac{1.52}{2.512}$$

$$= 0.605\ k\ \Omega$$

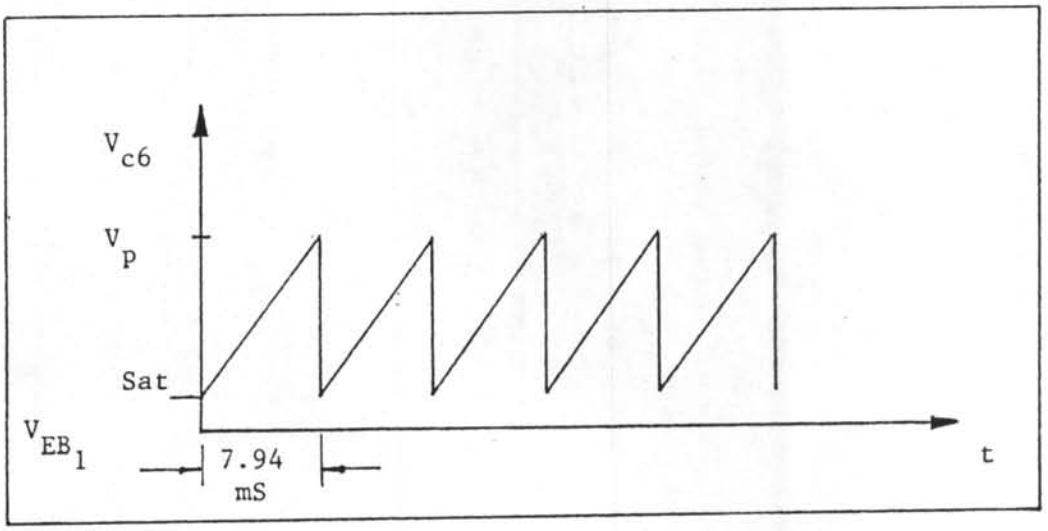
R_{16} ใช้ค่ามาตรฐาน 600 Ω ½ W

ที่ภาวะแรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันมีค่าต่ำ ในสภาวะนี้ใช้คาบเวลาของการแกว่งเท่ากับ 7.94 mS (ดูรูปที่ 4.2) ในขณะเดียวกัน กระแสของทรานซิสเตอร์ Q_2 ก็จะต่ำลงด้วย

$$I_{C\,Q_2}\ (\min) = \frac{C_6\,\Delta V}{\Delta t\ \max}$$

$$= \frac{0.69 \times 10^{-6} \times 14.875}{7.94 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.284 \text{ mA}$$



รูปที่ 4.2 : แรงดันคร่อมอิมิตเตอร์คาพาซิเตอร์ C_6 ขณะที่ แรงดันออกของเครื่องรักษาแรงดันต่ำ

$$I_{B\,Q_2}\ (\min) = \frac{I_{C\,Q_2}\ \min}{h_{FE\ \min}}$$

$$= \frac{1.284}{50}$$

$$= 0.025 \text{ mA}$$

$$I_{E\,Q_2}\ (\min) = I_{B\,Q_2}\ (\min) + I_{C\,Q_2}\ (\min)$$

$$= 0.025 + 1.284$$

$$= 1.310 \text{ mA}$$

$$V_{R_{15}} = V_{EE} - V_{R_{14}} - V_{R_{13}} - V_{BE\ Q_2}$$

$$= V_{EE} - (V_{EE} - V_{Z_1} - V_{CE\ Q_{1_{Sat}}})$$

$$- V_{R_{13}} - V_{BE\ Q_2}$$

$$= V_{Z_1} + V_{CE\ Q_1\ Sat} - V_{R_{13}} - V_{BE\ Q_2}$$

$$I_{R_{13}} = \frac{V_{R_{12}} + V_{R_{13}}}{R_{12} + R_{13}}$$

$$= \frac{V_{Z_1} + V_{CE\ Q_1\ (sat)}}{R_{12} + R_{13}}$$

$$= \frac{6.2 + 0.3}{12\ k\Omega + 12\ k\Omega}$$

$$= 0.271\ mA$$

$$V_{R_{15}} = 6.2 + 0.3 - (0.271 \times 12) - 0.6$$

$$= 2.64\ V$$

$$R_{15} \leq \frac{V_{R_{15}}}{I_{E\ Q_2\ (min)}}$$

$$= \frac{2.64}{1.31}$$

$$= 2.01\ k\Omega$$

R_{15} เลือกใช้ค่ามาตรฐาน 2 kΩ ½ W

3) <u>ภาควงจรเปรียบเทียบ และขยายผลต่าง</u>

วงจรเปรียบเทียบและขยายผลต่าง (รูปที่ 3.4) ใช้แรงดันจากแหล่งจ่าย 27 V dc กระแสที่ไหลผ่านวงจรตัวจ่าย R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 จะต้องมากกว่ากระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นโหลดแก่วงจร

$$I_{R_1} >> I_{B\,Q_1}$$

$$I_{CQ_1}\ (\max) = \frac{V_{EE} - V_{Z_1} - V_{CE\,Q_1}\ (Sat)}{R_{14}}$$

$$= \frac{2.7 - 6.2 - 0.3}{3.9\ k\Omega}$$

$$= 5.26\ mA$$

$$I_{bQ_1} = \frac{I_{C\,Q_1\ max}}{h_{FE}}$$

$$= \frac{5.26}{50}$$

$$= 0.11\ mA$$

จากการออกแบบกำหนดให้ $I_{R_1} = 15\ mA$

จากการออกแบบกำหนดให้สามารถปรับแรงดันทางออกได้ถึง ±10% ของอัตราแรงดันปกติ ดังนั้นความต้านทาน เปลี่ยนค่าได้ R_2 สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$R_2 = \frac{V_{R_2}\ (max)}{I_{R_2}}$$

$$= \frac{0.1\ V_1}{I_{R_2}} \cong \frac{0.1\ V_1}{I_{R_1}}$$

$$= \frac{0.1 \times 27}{15}$$

$$= 180\ \Omega$$

เพราะฉะนั้น R_2 ใช้ความต้านทานแบบเส้นลวด ค่ามาตรฐาน 200 Ω ส่วนความต้านทาน R_3 ที่ต่อร่วมในวงจรเดียวกัน ก็เป็นแบบเส้นลวด ค่า 100 Ω ใช้สำหรับปรับละเอียดแรงดันออกของเครื่องกำเนิดอีกชั้นหนึ่ง

$$V_{R_1} + \tfrac{1}{2} V_{R_{2(max)}} \cong V_{Z_1} + V_{BE\ Q_1}$$

$$V_{R_1} = V_{Z_1} + V_{BE\ Q_1} - \tfrac{1}{2} V_{R_{2\ max}}$$

$$= 6.2 + 0.6 - \tfrac{1}{2} (0.1 \times 27)$$

$$= 5.45 \text{ V}$$

$$R_1 = \frac{V_{R_1}}{I_{R_1}}$$

$$= \frac{5.45}{15 \text{ mA}}$$

$$= 363.3 \ \Omega$$ ใช้ค่ามาตรฐาน 330 Ω

หากำลังสูญเสียใน R_1

$$P_{R_1} = I^2_{R_1} \times R_1$$

$$= (15 \times 10^{-3})^2 \times 330$$

$$= 0.074 \text{ W}$$

ใช้ค่ามาตรฐาน 330 Ω ½ W

$$V_{R_4} = V_1 - V_{R_1} - \tfrac{1}{2} V_{R_{2\ max}}$$

$$= 27 - 5.45 - \tfrac{1}{2} (0.1 \times 27)$$

$$= 20.20 \text{ V}$$

$$= 1.35 \text{ k}\Omega$$ ใช้ค่ามาตรฐาน 1.5 kΩ

หากำลังสูญเสียใน R_4

$$P_{R_4} = I^2_{R_4} \times R_4$$

$$= (15 \times 10^{-3})^2 \times 1.5 \times 10^3$$

$$= 0.34 \text{ W}$$

R_4 ใช้ค่ามาตรฐาน 1.5 kΩ 1 W

กระแสไหลผ่าน R_5 จะต้องมากกว่าไฟลผ่านอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ทั้งนี้ เพื่อรักษาแรงดันที่คร่อมซีเนอร์ไดโอดให้เกือบคงที่

ให้ กระแส I_{R_5} = 15 mA

$$V_{R_5} = V_1 - V_{Z_1}$$

$$= 27 - 6.2$$

$$= 20.80 \text{ V}$$

$$R_5 = \frac{V_{R_5}}{I_{R_5}}$$

$$= \frac{20.80}{15 \text{ mA}}$$

$$= 1.39 \text{ k}\Omega$$ ใช้ค่ามาตรฐาน 1.5 kΩ

หากำลังสูญเสียใน R_5

$$P_{R_5} = I^2_{R_5} \times R_5$$

$$= (15 \times 10^{-3})^2 \times 1.5 \times 10^3$$

$$= 0.34 \text{ W}$$

R_5 ใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 1.5 kΩ 1 W

หากำลังสูญเสียในซีเนอร์ไดโอด Z_1

$$P_{Z_1} = I_{Z_1} \times V_{Z_1} \cong I_{R_1} \times V_{Z_1}$$

$$= (15 \times 10^{-3}) 6.2$$

$$= 0.093 \text{ W}$$

เพราะฉะนั้นใช้ซีเนอร์ไดโอด ขนาดพิกัด 6.2 V 400 mW

4) <u>วงจรตรวจรู้สัญญาณ</u>

วงจรตรวจรู้สัญญาณดังแสดงในรูปที่ (4.1) เป็นวงจรตัดไฟแบบเต็มคลื่นอย่างง่าย โดยใช้ L และ C เป็นตัวกรอง

โดยกระแสของวงจรตรวจรู้สัญญาณคือ $(I_{R_1} + I_{R_5})$

$$I_{R_1} + I_{R_5} = 15 + 15$$
$$= 30 \text{ mA}$$

ดังนั้น ความต้านทานโหลดของวงจรนี้จะเป็น

$$R_L = \frac{V_1}{I_{R_1} + I_{R_5}}$$
$$= \frac{27}{30 \text{ mA}}$$
$$R_L = 900 \ \Omega$$

จากวงจรกรอง L , C ค่าของส่วนที่เป็นความเหนี่ยว นำ L หาได้โดย

$$L \geq \frac{R_L}{3\omega} \qquad \text{.....(7)}$$

ค่า L = ค่าความเหนี่ยวนำของตัวกรองโช้ค [H]

ω = ความเร็วเชิงมุม = 2 πf [Rad]

R_L = ความต้านทานของโหลด [Ω]

f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ [H_Z]

ดังนั้น $L_1 \geq \frac{900}{3 (2\P50)}$

$= 0.96$

ในทางปฏิบัติจะออกแบบให้ค่า L สูงกว่าที่คำนวณได้ประมาณ 2 - 3 เท่า ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้โช้กที่ทำหน้าที่กรองมีการอิ่มตัว

ดังนั้นจึงเลือกใช้ L_1 เท่ากับ 3 H 100 mA

กำหนดให้มีระลอกคลื่น จากภาคกรอง เท่ากับ 2% และค่าความจุของคาปาซิเตอร์ C_1 สามารถหาได้ดังนี้

จากส่วนของ L ในวงจร L C , r = $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2\ \omega C} \times \frac{1}{2\ \omega L}$ .....(8)

ซึ่ง r = แฟคเตอร์ระลอกคลื่น

ω = ความเร็วเชิงมุม = $2\pi f$ (Rad)

f = ความถี่ของแหล่งจ่าย (H_Z)

c = ค่าความจุของตัวกรองคาพาซิเตอร์ (F D)

L = ค่าความเหนี่ยวนำของไซ้ก (H)

ดังนั้น . $0.02 = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{1}{2 (2\pi \times 50) C_1} \times \frac{1}{2 (2\pi \times 50) \times 3}$

$= 19.9 \ \mu F$

C_1 เลือกใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ 22 μF / 50 V

อัตราพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรตรวจรู้สัญญาณมีรายละเอียดดังนี้คือ

หม้อแปลง T_1 ;

ขดปฐมภูมิ : 220 V

ขดทุติยภูมิ : 30 V 100 mA

ไดโอด : 1N4004

ไซ้ค L_1 : 3 H 100 mA

คาพาซิเตอร์ C_1 : 22 μF 50 WV

5) <u>วงจรเสถียรภาพ</u>

จากวงจรเสถียรภาพ (ในรูปที่ ๓.๘) ถ้าให้ V_i เป็นแรงดันทางเข้า และ V_o เป็นแรงดันทางออก

ฟังชั่นส่งถ่ายสามารถเขียนได้ดังในสมการ (ที่ ๑)

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1 + a\,Ts}{1 + Ts} \qquad \text{.....(9)}$$

ซึ่ง $T = \frac{L_f}{R_f}$: ค่าคงตัวทางเวลา = $(R_9 + R_{10}) C_4$

a : $\frac{R_9}{R_9 + R_{10}}$

ความต้านทานปรับค่าได้ R_6 2.2 kΩ ใช้สำหรับเป็นตัวปรับกระแสของสัญญาณป้อนกลับ จากวงจรเสถียรภาพไปยังทางเข้าของภาคขยายผลต่าง

วงจรที่สมบูรณ์ของระบบควบคุมแรงดันแสดงให้เห็นในรูปที่ (4.3) คาพาซิเตอร์ C_7 มีไว้สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวกรองให้ไฟกระแสตรงที่ไปเลี้ยงวงจรขยายผลต่างให้เรียบดียิ่งขึ้น และไดโอด D_5 ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้คาพาซิเตอร์ C_7 ปล่อยประจุมายังวงจรจุดชนวน ซึ่งจะทำให้เวลาการจุดฉนวนผิดพลาดไปได้

ซีเนอร์ไดโอด Z_2 ให้ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟกระแสตรง ที่จ่ายไปเลี้ยงวงจรทรานซิสเตอร์ให้มีค่าเกือบคงที่ กระแสของซีเนอร์ไดโอด จะต้องมากกว่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดของมันเอง

ซึ่ง $I_{D_5} \cong I_E Q_1 + I_{R_{12}} + I_E Q_2$

$= (3 + \frac{3}{50}) + 0.6 + (2.512 + 0.052)$

$= 6.224$ mA

กำหนดให้ $I_{Z_{2\ (max)}} = 15$ mA

กำลังสูญเสียของซีเนอร์ไดโอด Z_2 จะเป็น

$P_{Z_2} = I_{Z_2} \times V_{Z_2}$

$= (15 \times 10^{-3}) 27$

$= 0.41$ W

เลือกใช้ซีเนอร์ไดโอด Z_2 ขนาดพิกัด 27 V 1 W

ส่วนความต้านทาน R_{21} ใช้สำหรับลดแรงดันของแหล่งจ่ายให้ต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมที่จะใช้งานในวงจรทรานซิสเตอร์ ค่าความต้านทาน R_{21} สามารถหาได้ดังนี้

$$R_{21} = \frac{V_{R_{21}}}{I_{R_{21}}}$$

$$= \frac{(110/1.11) - V_{Z_2}}{I_{Z_{2\ (max)}}}$$

$$= \frac{(110/1.11) - 27}{15\ mA}$$

$$= 4.81\ k\Omega \qquad \text{ใช้ค่ามาตรฐาน } 4.7\ k\Omega$$

หากำลังสูญเสียใน R_{21}

$$P_{R_{21}} = I^2_{R_{21}} \times R_{21}$$

$$= (15 \times 10^{-3})^2 \times 4.7 \times 10^3$$

$$= 1.06\ W$$

R_{21} ให้มาตรฐานเท่ากับ 4.7 kΩ 5 W

สำหรับความต้านทาน R_7 ค่า 1.5 kΩ และคาพาซิเตอร์ C_2 ค่า 6 μF 25 V ที่มีอยู่ในวงจรรูปที่ 4.3 ใช้สำหรับป้องกันความถี่สูงที่จะทำให้วงจรไม่เสถียรภาพ สำหรับรายละเอียดของวงจรสมบูรณ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

4.2 วงจรระบบควบคุมความถี่

จากบล็อก แผนภาพรูปที่ 3.1 ระบบควบคุมความถี่จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

(1) ระบบ เปลี่ยนแปลงสัญญาณ

(2) ระบบควบคุมเชื้อเพลิง

ระบบเปลี่ยนแปลงสัญญาณ (รูปที่ 4.4) จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมเชื้อเพลิง (รูปที่ 4.6) สัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณผลต่าง ที่จริงแล้วสัญญาณนี้จะถูกแปลงมาจากสัญญาณความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับความถี่ และการปรับความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการปรับที่ Dead band ถ้าสัญญาณควบคุมมีขนาดเกินกว่า 2.5 V ระบบควบคุมเชื้อเพลิงก็จะทำหน้าที่เปิดให้เชื้อเพลิงไหลเข้าเครื่องยนต์ได้มากขึ้น และถ้าหากสัญญาณควบคุมมีขนาดต่ำกว่า 2.15 V ระบบควบคุมเชื้อเพลิงก็จะปิดให้เชื้อเพลิงไหลเข้าน้อยลง จนกว่าความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าใกล้หรือเท่ากับ 50 H_Z สำหรับอัตราการปิด เปิดควบคุมเชื้อเพลิงนั้น จะเป็นสัดส่วนกันกับผลต่างของสัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้น เทียบกับสัญญาณแรงดันอ้างอิง

ในการควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ต้นกำลัง หากใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงไปทำการปรับลิ้นควบคุมบังคับเชื้อเพลิงโดยตรง จะทำให้ระบบเกิดการแกว่ง เสถียรภาพไม่ดี ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วในการเร่งลิ้นควบคุมบังคับเชื้อเพลิงของเซอร์โวมอเตอร์สูงเกินไป ระบบเครื่องยนต์ไม่สามารถเร่งทันตามความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์ได้ ซึ่งมีหลายสาเหตุด้วยกัน ส่วนความเฉื่อย แรงเสียดทาน ประสิทธิภาพและไหลดของเครื่องยนต์ (ในที่นี้คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ก็เป็นสาเหตุหนึ่งด้วย

สำหรับรูปที่ 4.5 เป็นวงจรภาคแหล่งจ่ายกำลัง มีหน้าที่จ่ายแรงดันไฟกระแสตรงให้กับวงจรควบคุมความถี่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนสวิทช์ S_1 นั้น ใช้ทำหน้าที่ควบคุมการปิดเปิดการทำงานของระบบควบคุมความถี่ ถ้า S_1 ตัดกระแสไฟออกจากวงจรรีเลย์ R_{L_1} ก็จะหยุดทำงานและตัดสัญญาณทางออก ออกจากระบบแปลงสัญญาณ ขณะเดียวกันคาพาซิเตอร์ C_{14} จะปล่อยประจุผ่าน R_{30} ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 , Q_2 และรีเลย์ R_{L_2} ยังคงทำงานต่อไปอีกประมาณ 10 วินาที เพื่อให้ระบบควบคุมเชื้อเพลิงได้ทำการผ่อนคันเร่งน้ำมันลงในที่สุด

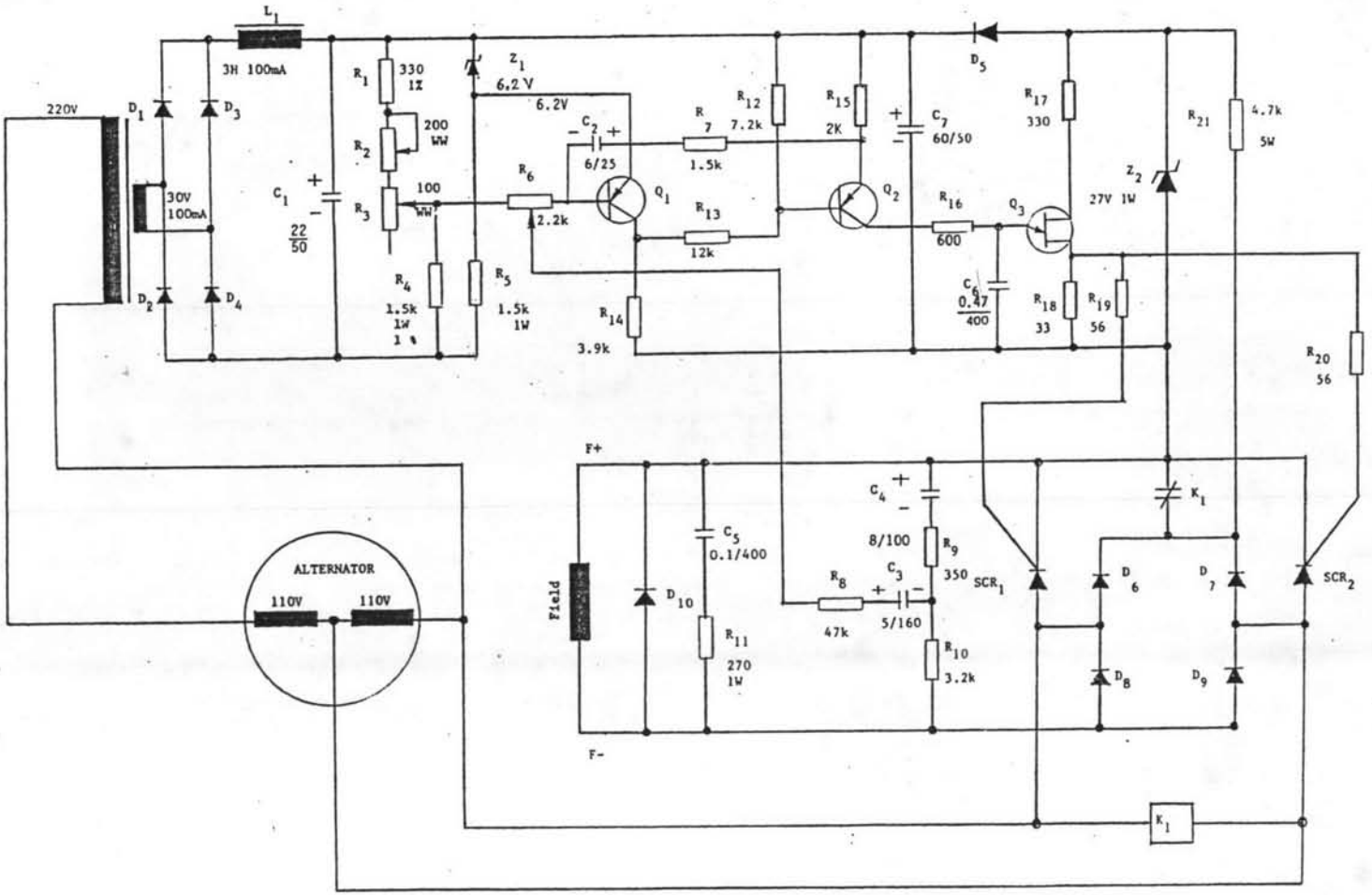
สำหรับ I_{C_3} และ Q_3 ทำหน้าที่ตัด ภาวะชั่วครู่ ในขณะระบบควบคุมความถี่เริ่มต้นทำงาน โดยจะหน่วงให้เวลาผ่านไปประมาณ 1 วินาที รีเลย์ R_{L_3} ถึงจะทำงานจ่ายไฟจากแหล่งจ่าย ไปยังภาคควบคุมความถี่ต่อไป ส่วน แอล อี ดี ไดโอด D_2 และ แอล อี ดี ไดโอด D_8 เป็นตัวทำหน้าที่แสดงบอกถึงสภาวะการทำงานของระบบ แปลงสัญญาณ และระบบลิ้นควบคุมบังคับเชื้อเพลิง

ในทางปฏิบัติเราต้องการปรับความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อให้สามารถทำงานตามความเร็วที่ต้องการได้ ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

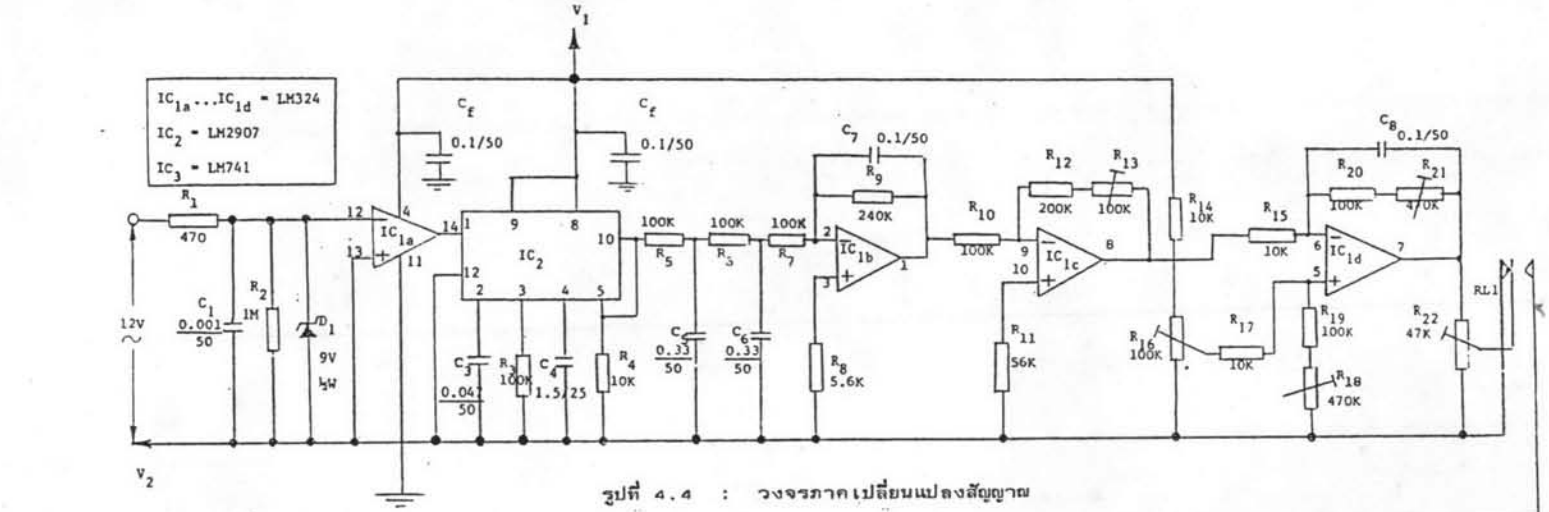
วิธีที่ 1. โดยการเปลี่ยนเฟืองทดรอบ

วิธีที่ 2. โดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้กับเซอร์โวมอเตอร์

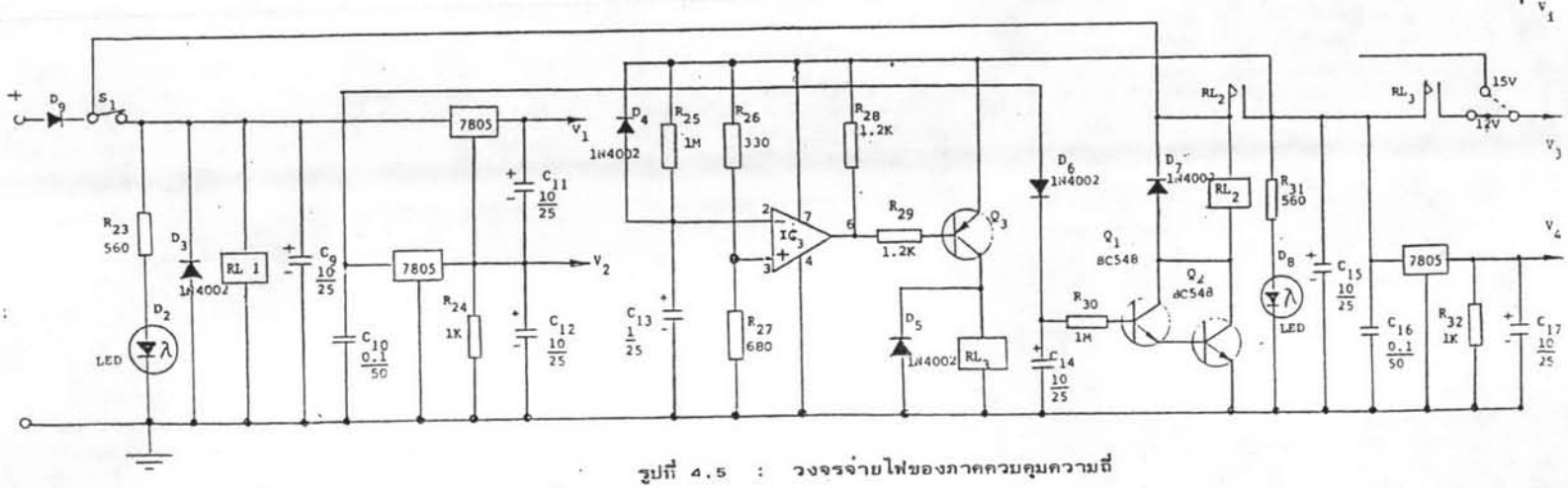
ในการวิจัยนี้ใช้วิธีที่ 2 เพราะเห็นว่าทำได้ง่ายและสะดวกกว่า จากรูปที่ 4.7 แสดงวงจรจ่ายไฟสำหรับเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อเครื่องกำเนิดผลิตแรงดันได้ถึงประมาณ 75% ของอัตราปกติ รีเลย์ R_{L4} จะตัดไฟ 12 V จากแบตเตอรี่ ไปใช้ไฟ 15 V_{dc} ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป



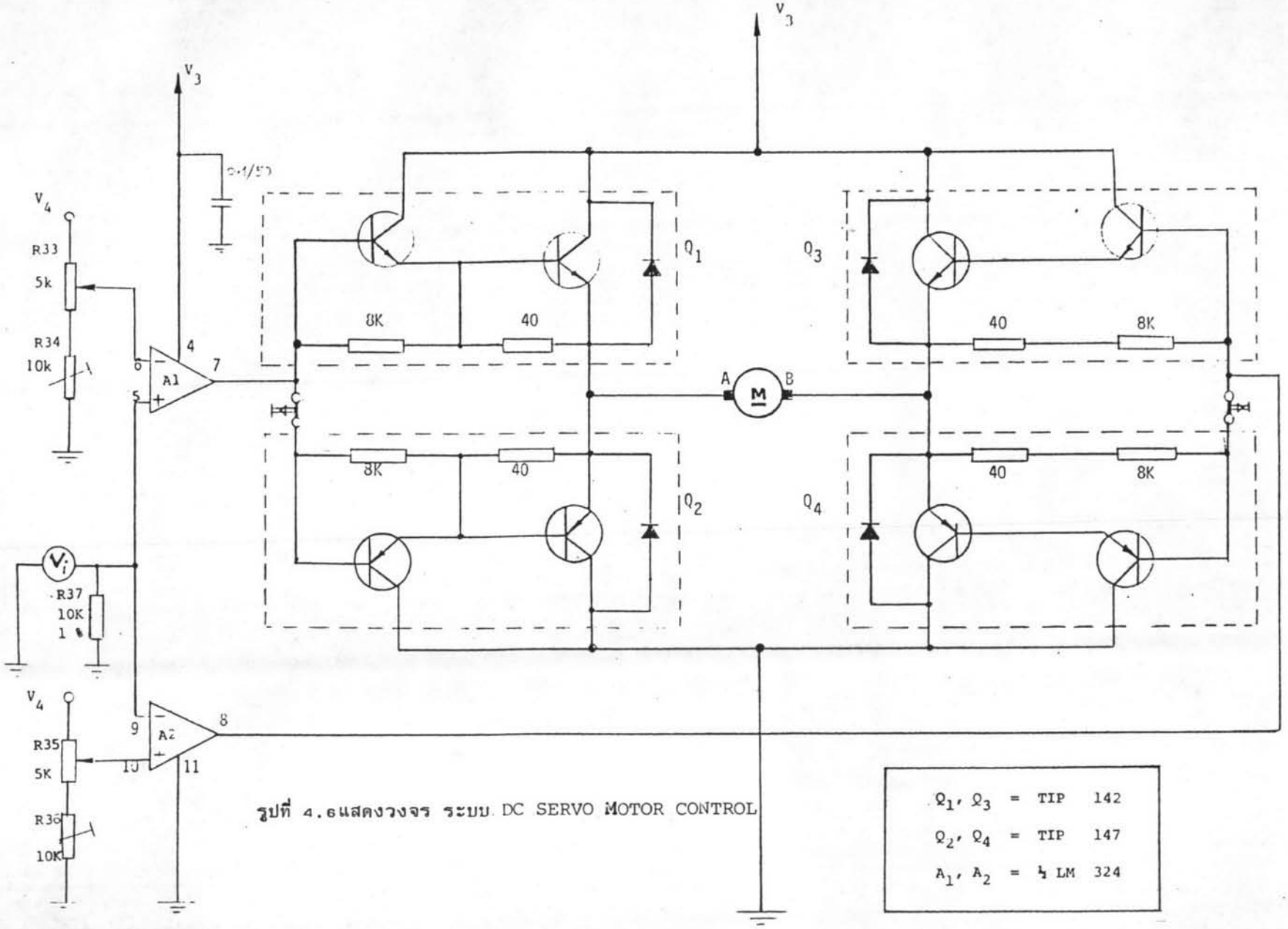
รูปที่ 4.3 : วงจรสมบูรณ์ของ Voltage regulator สำหรับ Alternator



รูปที่ 4.4 : วงจรภาคเปลี่ยนแปลงสัญญาณ

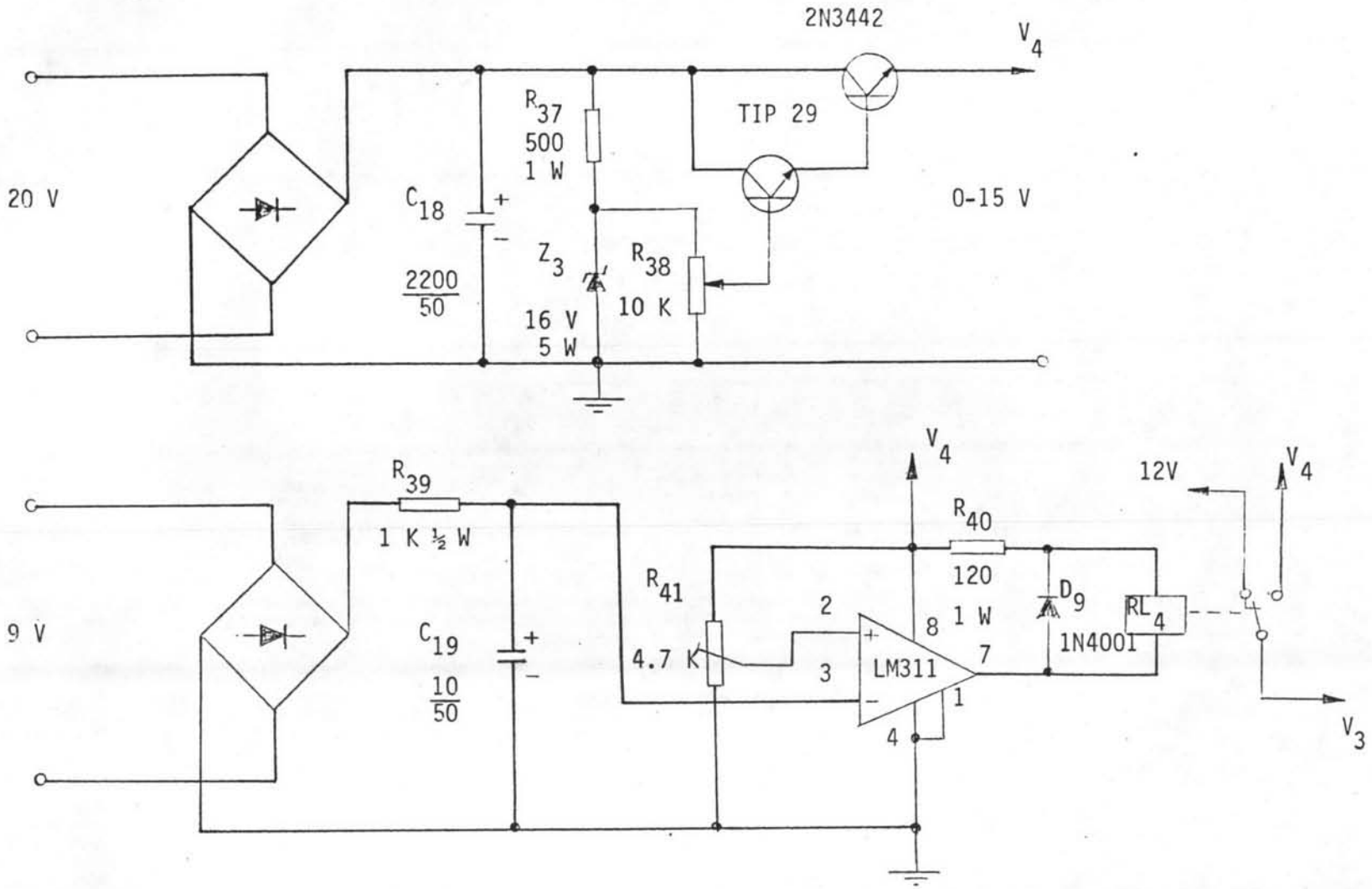


รูปที่ 4.5 : วงจรจ่ายไฟของภาคควบคุมความถี่



รูปที่ 4.6แสดงวงจร ระบบ DC SERVO MOTOR CONTROL

Q_1, Q_3	=	TIP	142
Q_2, Q_4	=	TIP	147
A_1, A_2	=	½ LM	324



รูปที่ 4.7 วงจรจ่ายไฟเซอร์โวมอเตอร์