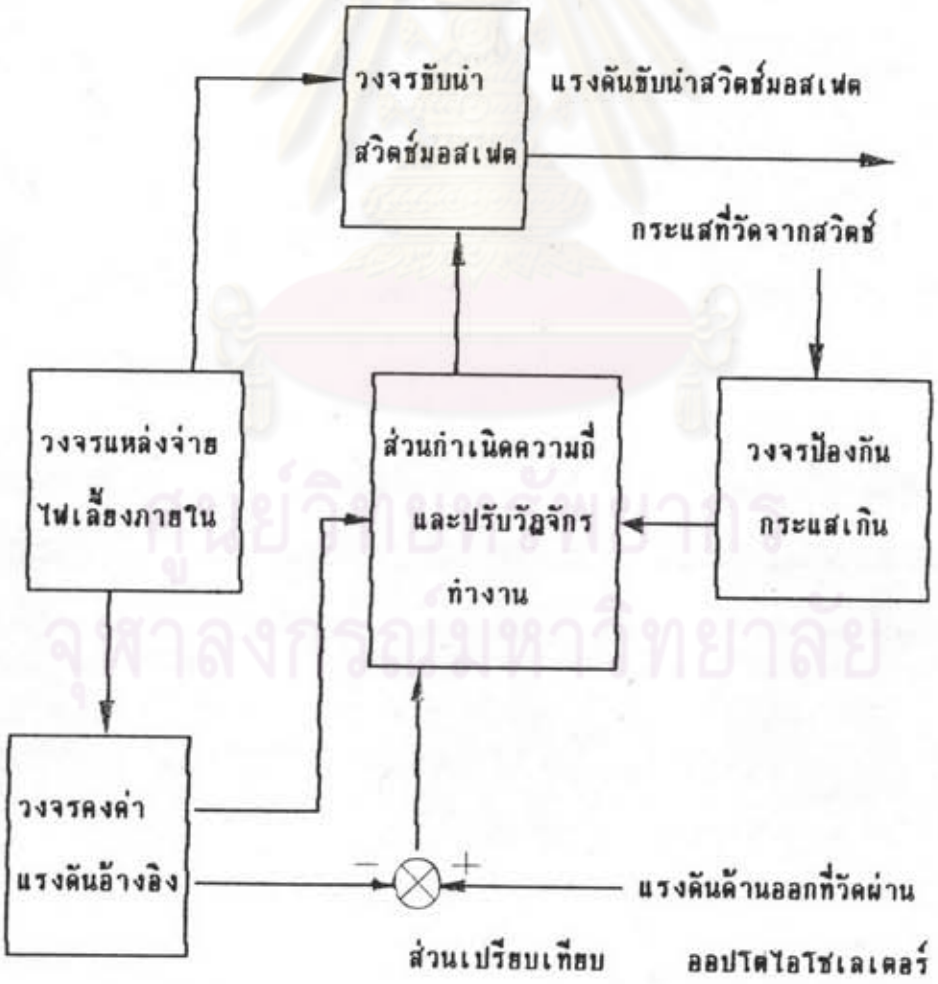
บทที่ 3

ภาควงจรควบคุมของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้สวิตช์ปกติ

ภาควงจรควบคุมนี้ จะต้องประกอบไปด้วยส่วนกำเนิดความถี่ที่สามารถควบคุมวัฏจักรการทำงาน โดยมีวงจรขยายสัญญาณต่างทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันที่วัดจากแรงดันด้านออกที่ต้องการคงค่าแรงดัน นอกจากนี้ยังต้องมีวงจรป้องกัน และวงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต ดังแสดงในแผนภาพบล็อก (block diagram)

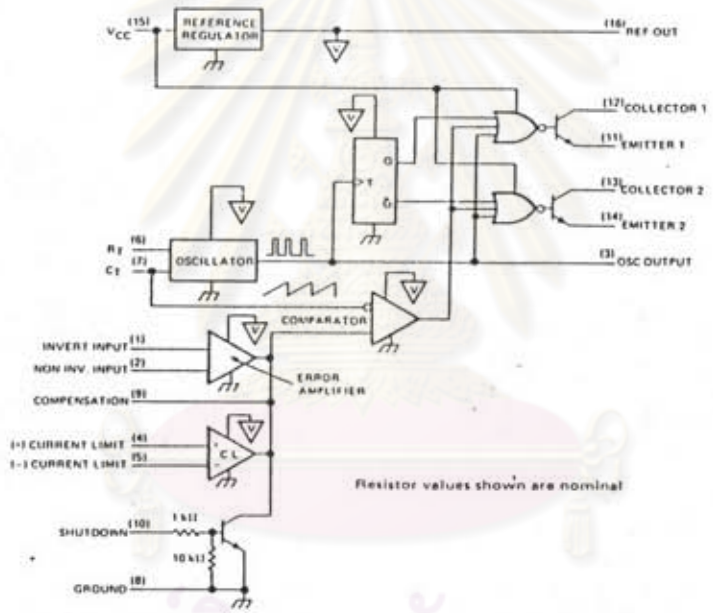


รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกภาควงจรควบคุม

ส่วนควบคุมหลักในแผนภาพบล็อกนี้ (ยกเว้นวงจรขับน่าสวิตช์) สามารถหาไอซีที่มีการทำงานแต่ละส่วนเช่นเดียวกับในแผนภาพดังจะกล่าวในหัวข้อ 3.1

3.1 ส่วนควบคุมที่ใช้ไอซี

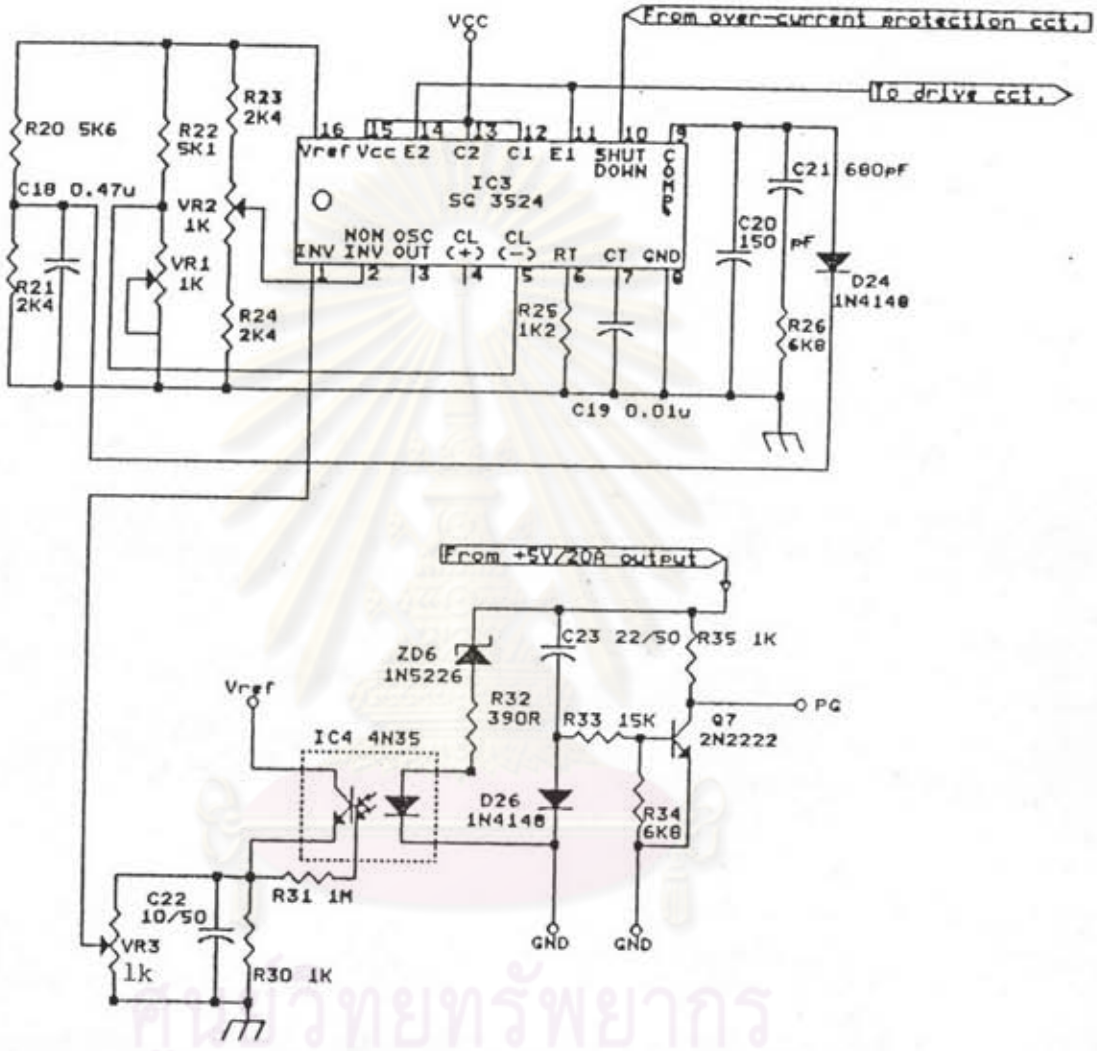
ไอซีที่ใช้ในวงจรนี้จะใช้เบอร์ SG3524 [11] ซึ่งเป็นไอซีที่มีสัญญาณพัลส์วิดท์โมดูเลชัน (pulse width modulation) ซึ่งมีวงจรภายในตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรภายในของไอซี SG 3524

ไอซีเบอร์นี้จะมีความสามารถในการควบคุมวงจรแปลงผัน ให้ทำงานในลักษณะด้านออกเป็นแบบสวิตช์ single - ended หรือpush - pull ภายในจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงคงที่ (reference - regulator), error amplifier, programmable oscillator, pulse - steering,flip - flop, ทรานซิสเตอร์แยกจากกัน 2 ตัว (two uncommitted pass transistors), วงจรเปรียบเทียบอัตราขยายสูง (high - gain comparator), ภาคควบคุมกระแส (current - limiting) และวงจรสั่งหยุดการทำงาน (shut - down

circuitry) เมื่อนำวงจร SG 3524 ไปต่อเป็นไอซีควบคุมของแหล่งจ่ายไฟตรง จะได้วงจรดังแสดงในรูปที่ 3.3

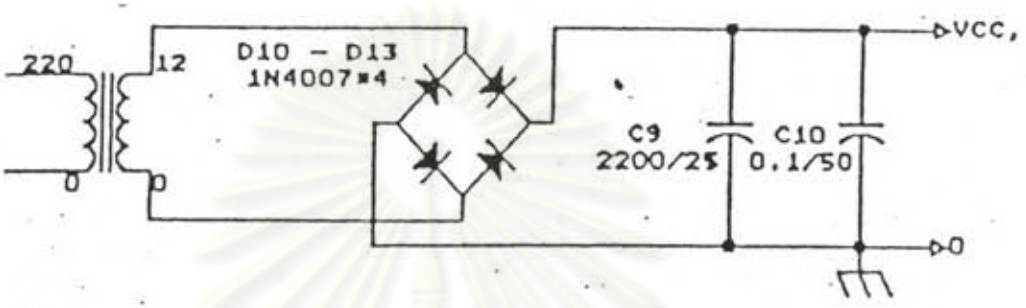


รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมที่ใช้ไอซี SG 3524

3.2 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายใน

วงจรในส่วนนี้จะจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ภาควงจรควบคุมทั้งหมด วงจรประกอบด้วยหม้อแปลงซึ่งทอนไฟสลับ 220 V ลงมาเป็น 12 V และแปลงผันเป็นไฟตรงด้วยไดโอด D_{10} - D_{13} จากนั้นกรองด้วยตัวเก็บประจุ C_9, C_{10} ขนาด 2200 μF และ 0.1 μF ตามลำดับ

C_9 จะใช้กรองความถี่ต่ำ 100 Hz ส่วน C_{10} จะใช้กรองความถี่ที่สูงกว่า วงจรนี้ไม่จำเป็นที่ต้องการแรงดันที่คงที่มากนัก (unregulated)ส่วนวงจรอื่นที่ต้องการแรงดันคงที่จะได้จากขา 16 ของไอซี SG 3524 (ดูรูปที่ 3.3) วงจรไฟเลี้ยงภายในที่กล่าวนี้แสดงในรูปที่ 3.4



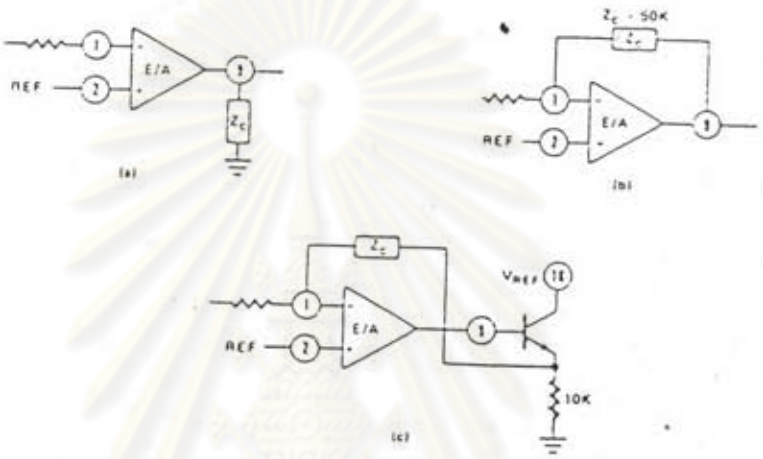
รูปที่ 3.4 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายใน

3.3 วงจรตรวจวัดแรงดันด้านออกเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

จากรูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณต่างทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันด้านออก(ขา 1) กับแรงดันอ้างอิง(ขา 2) ที่ขา 2 ซึ่งเป็นขาเข้าไม่กลับเฟส (non - inverting) จะป้อนแรงดันอ้างอิงที่ทอนจากแรงดันคงที่(ขา 16)โดยวงจรแบ่งแรงดัน R_{23},VR_2 และ R_{24} ซึ่งมีค่า 2.4K, 1K และ 2.4K ตามลำดับ แรงดันขา 2 สามารถปรับค่าด้วย VR_2 แรงดันขา 1 จะได้มาจากวงจรตรวจวัดแรงดันซึ่งใช้ออปโตคัปเปลอร์ 4N35 ตัวเก็บประจุ C_{22} ที่ต่ออยู่กับขาอิมิตเตอร์ของออปโตคัปเปลอร์มีไว้เพื่อกรองสัญญาณรบกวนโดยเลือก C_{22} เท่ากับ 10 μF ไดโอดซีเนอร์ ZD_6 ต่ออนุกรมกับไดโอดเปล่งแสงเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านออก (5V) มาปรากฏที่ไดโอดเปล่งแสงในสัดส่วนที่มากขึ้น ZD_6 เป็นไดโอด เบอร์ 1N 5226 พิกัดแรงดัน 3.3 V โดยมีความต้านทาน R_{25} ที่มีค่า 320 ohms ต่ออนุกรมอยู่เพื่อจำกัดกระแสผ่านไดโอดเปล่งแสง

3.4 การต่อวงจรชดเชยสำหรับวงจรขยายสัญญาณต่าง(error amplifier compensation)

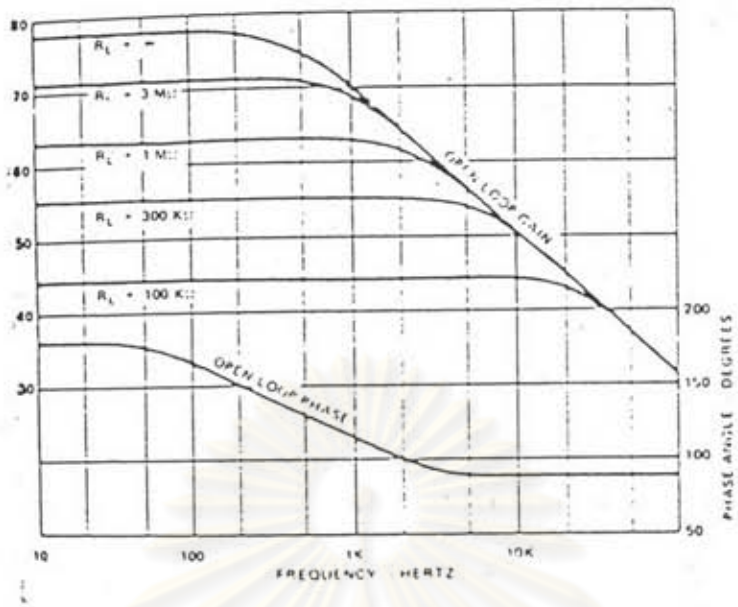
วงจรขยายสัญญาณต่างในไอซี SG 3524 นั้นมีด้านออกเป็นแหล่งจ่ายกระแส (transconductance amplifier) นั่นอิมพีแดนซ์ด้านออกมีค่าสูง การต่อวงจรชดเชยสำหรับวงจรขยายสัญญาณต่าง ทำได้ 3 วิธี ดังในรูปที่ 3.5 ในที่นี้จะใช้การชดเชยดังในรูปที่ 3.5(a)



รูปที่ 3.5 การต่อวงจรชดเชย ทั้งสามแบบ

โดยต่ออิมพีแดนซ์ชดเชย Z_c ระหว่างขาออกกับกราวด์ ถ้าไม่มีการชดเชยวงจรสมมูลของวงจรขยายสัญญาณต่างจะมีวงจรผ่านต่ำ R_o,C_o ทางด้านออกโดยที่ R_o มีค่าประมาณ 4 M ohms, C_o มีค่าประมาณ 120 pF ซึ่งให้ความถี่หักมุมเท่ากับ 331 Hz ถ้าเลือกอิมพีแดนซ์ชดเชยเป็นความต้านทาน R_L จะได้ลักษณะเชิงความถี่ดังแสดงในรูปที่ 3.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ลักษณะเชิงความถี่ของวงจรขยายสัญญาณต่างเมื่อมี R_L เป็นโหลด

ถ้าเลือก Z_c เป็นตัวเก็บประจุ C_c ต่ออนุกรมกับความต้านทาน R_o จะได้ความถี่หักมุมค่าใหม่เท่ากับ

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi R_o C_c}$$

จะได้ความถี่ที่ตรงกับค่าของ zero เท่ากับ

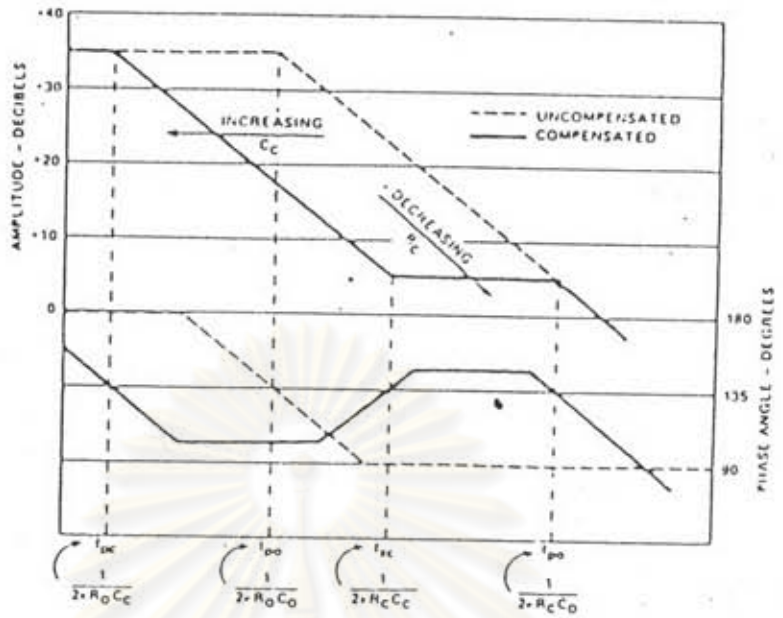
$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi R_c C_c}$$

ผลของตัวเก็บประจุ C_o ทำให้เกิดความถี่หักมุม(ตรงกับค่าของ pole) ค่าใหม่เท่ากับ

$$f'_{pole} = \frac{1}{2\pi R_c C_o}$$

ซึ่งสามารถแสดงลักษณะเชิงความถี่ของวงจรขยายสัญญาณต่างในกรณีต่อวงจรชดเชยได้ดังในรูปที่ 3.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 ลักษณะเชิงความถี่ของวงจรขยายสัญญาณต่างเมื่อมีการต่อชดเชยในเทอมความถี่ (Phase Compensated Bode Plot)

จากการออกแบบเลือก C_c (หรือ C_{21} ในรูปที่ 3.3) มีค่า 680 pF เพื่อให้

f_{pole} มีค่าเท่ากับ $\dfrac{1}{2\pi \times 4\ M\ ohms \times 680\ pF}$

$= 58$ Hz

จากการออกแบบเลือก R_c (หรือ R_{22} ในรูปที่ 3.3) มีค่า 6.8 k เพื่อให้

f_{zero} มีค่าเท่ากับ $\dfrac{1}{2\pi \times 6.8\ K\ ohms \times 680\ pF}$

$= 34.4$ kHz

ความถี่หักมุมย่านความถี่สูง f'_{pole} มีค่าเท่ากับ $\dfrac{1}{2\pi \times 6.8\ K\ ohms \times 120\ pF}$

$$= 195 \text{ kHz}$$

เพื่อลดความถี่ f_{pole} ลงมาเล็กน้อยจะต่อตัวเก็บประจุ C_{20} มีค่า 15 pF ขนานเข้าไปที่ขั้วออกของวงจรขยายสัญญาณต่าง ซึ่งจะให้ความถี่หักมุมย่านความถี่สูงเท่ากับ

$$\frac{1}{2\pi \times 6.8 \text{ k ohms} \times (120 \text{ pF} + 15 \text{ pF})}$$

$$= 173 \text{ kHz}$$

ในทางปฏิบัติจำเป็นที่ต้องใช้ C_{20} ถึงแม้จะมีค่าน้อยจนไม่ค่อยมีผลกับ pole ที่ความถี่สูง แต่ช่วยในการลดการรบกวนจากภายนอก

3.5 ส่วนควบคุมการเริ่มทำงานให้นิ่มนวลและจำกัดเวลานำกระแสของสวิตช์

จากวงจร รูปที่ 3.3 ไดโอด D_{24} จะต่อแรงดันขา 9 ของไอซี SG 3524 เข้ากับวงจรแบ่งแรงดัน (R_{20} และ R_{21}) ซึ่งมี C_{19} ต่อขนานอยู่ แรงดันด้านออกของวงจรขยายสัญญาณต่างจะเพิ่มอย่างช้าๆ ประมาณในช่วงเริ่มทำงานโดยการหน่วงของ C_{19} ส่วนวงจรแบ่งแรงดันจะตรึงแรงดันด้านออกของวงจรขยายสัญญาณต่างไม่ให้เกินค่าที่กำหนดซึ่งมีผลเป็นการจำกัดเวลานำกระแสของสวิตช์หรือจำกัดค่าวัฏจักรการทำงาน (duty cycle) ไม่ให้มีค่าเกิน 0.4 ความต้านทาน R_{20}, R_{21} จำกัดแรงดันที่ขา9 ของ SG 3524 ไว้ที่ 2.2 V โดยสมมุติว่าแรงดันคร่อมไดโอด D_{24} = 0.7 V

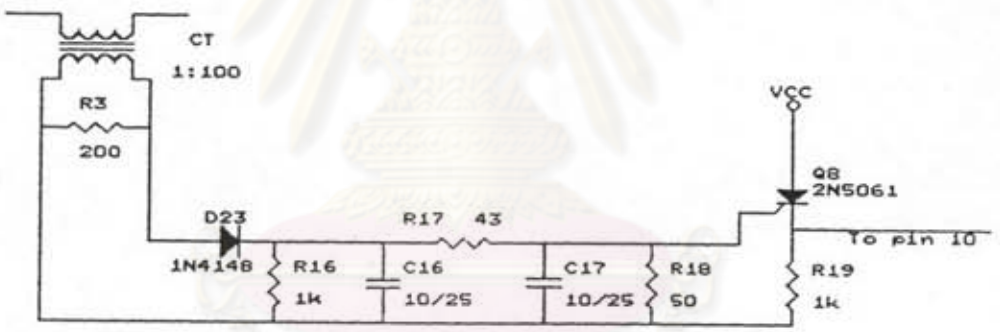
จากข้อมูลไอซี SG3524 แรงดันขา 9 เปลี่ยนแปลงระหว่าง 1-3.5 V ทำให้ Duty-Cycle เปลี่ยนจาก 0 - 90 % เมื่อนับรวมด้านออกทรานซิสเตอร์ทั้งสอง เมื่อพิจารณาแรงดันที่เพิ่มจาก 1 V เป็น 2.2 V Duty Cycle ควรมีค่าเปลี่ยนจาก 0 ถึง

$$= \frac{(2.2 - 1)}{(3.5 - 1)} \times 90\ \%$$

$$= 43.2\ \%$$

3.6 <u>วงจรป้องกันกระแสเกิน</u>

วงจรในส่วนนี้ (รูปที่ 3.8) จะทำหน้าที่ป้องกันสวิตช์มอสเฟตไม่ให้ทำงานเกินพิกัด ประกอบด้วย



รูปที่ 3.8 วงจรป้องกันกระแสเกิน

หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์วงแหวนTRB 12 x 6 x 4 มีอัตราส่วนการพันขดลวด 1:100 ทางปฐมภูมิใช้สายไฟ 1 รอบร้อยผ่าน D_{23} , R_{16} , C_{16} , R_{17} , C_{17} , R_{18} , Q_5 การทำงานของวงจรเมื่อกระแสทางปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสมีค่า 2 A แรงดันตกคร่อม R_3 จะมีค่า

$$V_{R3} = \frac{2A \times 1 \times 200 \text{ ohms}}{100}$$

$$= \quad 4 \quad V$$

แรงดันตกคร่อม R_{16} มีค่า

$$V_{R16} \quad = \quad 4\ V - 0.7\ V \quad = 3.3\ V$$

แรงดันตกคร่อม R_{16} มีค่า

$$V_{R16} = V_{R16} \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{17}}$$

$$= 3.3 \times \frac{50}{50+43}$$

$$= \quad 1.77 \quad V$$

กระแสทริกของ SCR QS มีค่า $= \dfrac{V_{R16} - V_{AK}}{R_{19}}$

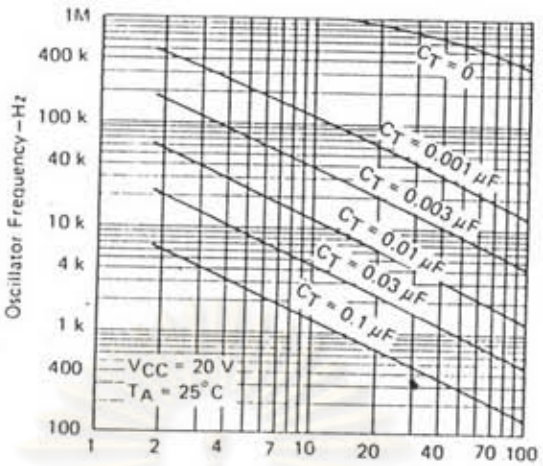
$$= \frac{1.77\ V - 1\ V}{1k\ ohms}$$

$$= .077\ mA$$

พิกัดกระแสดังกล่าวเพียงพอทำให้ Q_5 ทำงาน และมีแรงดันตกคร่อม R_{16} ไปสั่งวงจร shutdown ที่ขา 10 ของ IC SG 3524

3.7. <u>ส่วนกำเนิดความถี่</u>

ส่วนควบคุมความถี่ของไอซี SG3524 ความถี่ที่ต้องการกำหนดด้วย R_TและC_T ความถี่ที่ต้องการอาจหาได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ความถี่ออสซิเลตในเทอมของ R_T

หรืออาจใช้สูตร

$$f \simeq \frac{1.15}{R_T C_T}$$

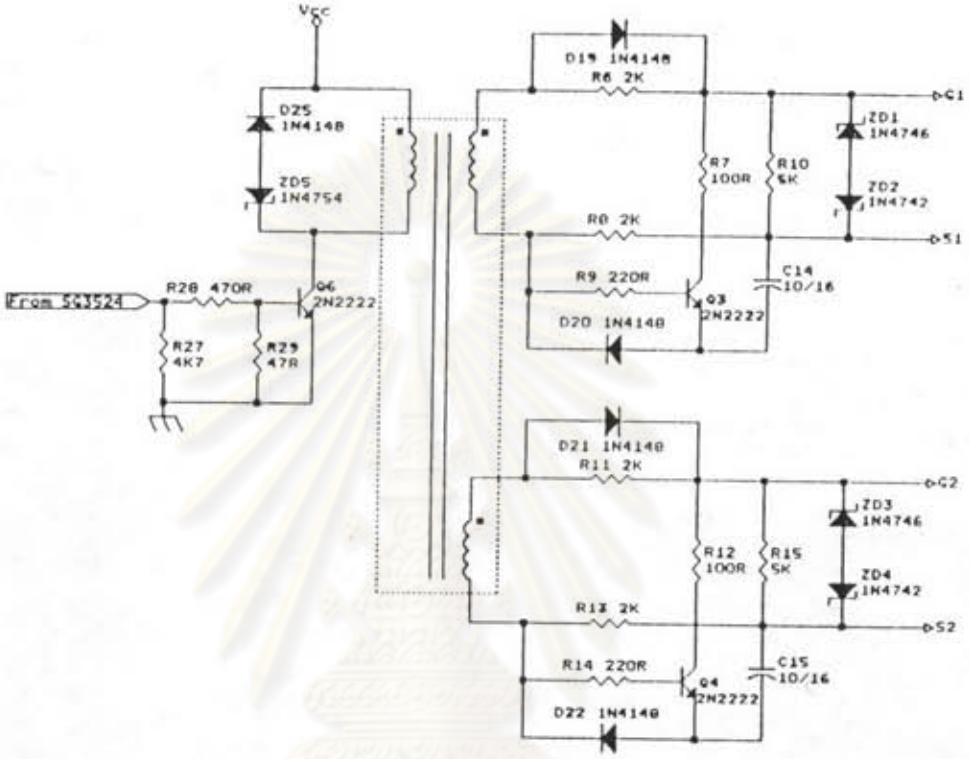
R_T มีหน่วย K ohms, C_T มีหน่วย μF , f มีหน่วย kHz

ค่า C_T ควรอยู่ในย่าน 0.001 ถึง 0.1 μF และ R_T ควรอยู่ในย่าน 1.8 ถึง 100 k ohms ความถี่ที่ได้จะอยู่ในย่าน 140 Hz ถึง 500 kHz

3.8 วงจรขับนำสวิตช์มอสเฟต

วงจรส่วนนี้จะเริ่มจากทรานซิสเตอร์ภายในไอซี SG 3524 ดูจากรูปที่ 3.1 ทั้งสองจะต่อขาคอลเลกเตอร์ถึงกัน และอิมิตเตอร์ถึงกัน (double end) ดูจากรูปที่ 3.2 เมื่อทรานซิสเตอร์ภายใน SG 3524 นำกระแส R_{27} จะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ V_{cc} , R_{28} , R_{29} จะไบแอส Q_5 ให้ขับนำกระแสในลักษณะสวิตช์ ทำให้หม้อแปลงส่งผ่านพลังงานไปยังขดทุติยภูมิทั้งสอง ในช่วง Q_5 นำกระแส ถ้าพิจารณาเฉพาะวงจรขับนำเกตชุดบนในรูปที่ 3.10 ชุดเดียวเพราะทั้งสองชุดทำงานเหมือนกัน พบว่า D_{19} , D_{20} จะนำกระแสประจุให้ C_{14} มีศักย์บวกด้านบน แรงดันตกคร่อม R_{10} มีค่า 10 V ซึ่งมีค่าเพียงพอให้ Q_1 ทำงานเมื่อ Q_5 หยุด

นำกระแสศักย์บวกจะเกิดที่ขั้วปลายของขดลวดทุติยภูมิ Q_3 จะนำกระแสประจุที่เก็บใน C_{14} จะทำให้ R_{10} มีค่าศักดาเป็นลบ สวิตช์มอสเฟตจะหยุดทำงาน Z_{D1} , Z_{D2} จะเป็นตัวป้องกันแรงดันตกคร่อม V_{GS} เกิน



รูปที่ 3.10 วงจรขับนำสวิตช์มอสเฟต

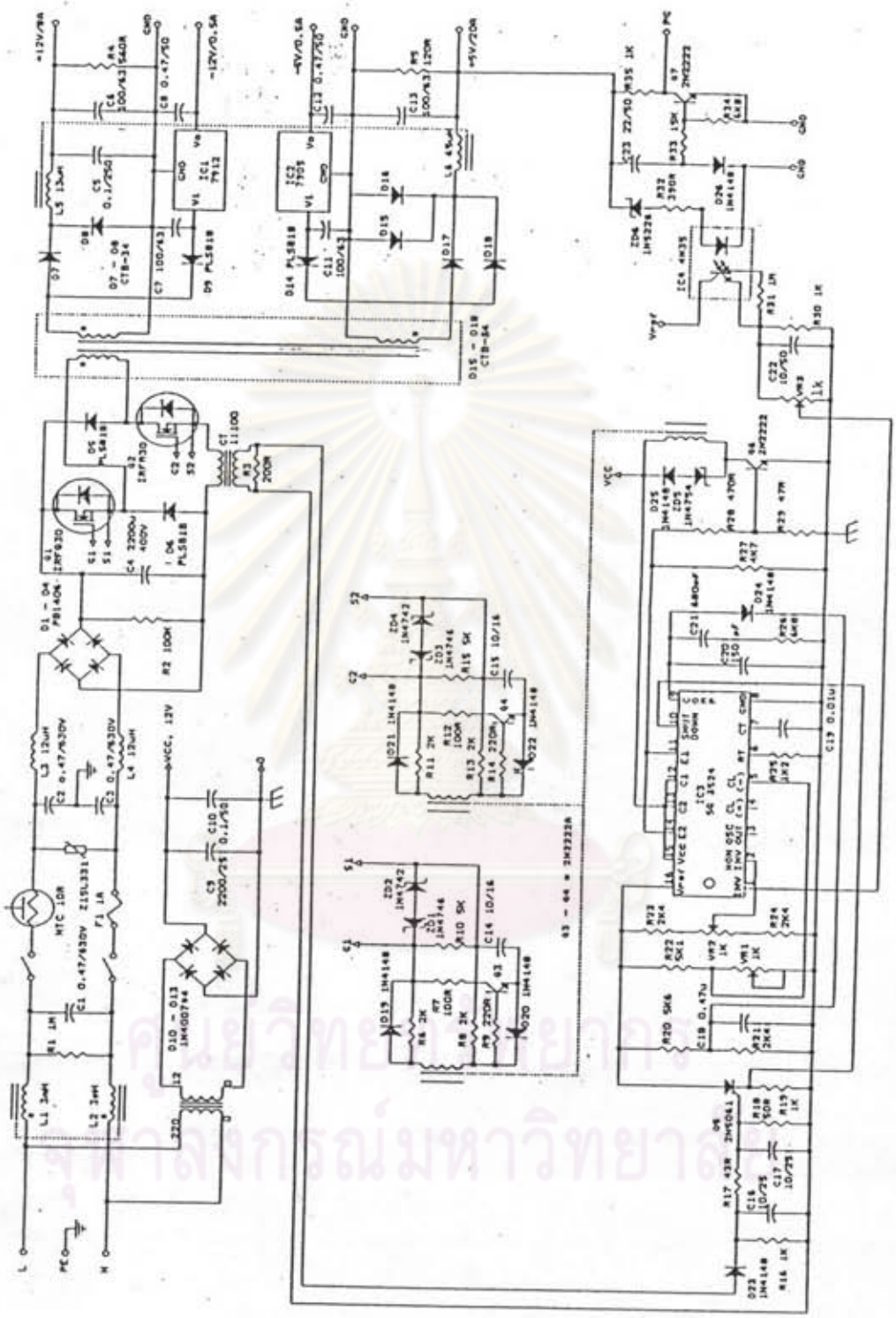
3.9 แหล่งจ่าย PG (Power Good)

จากรูปที่ 3.2 แหล่งจ่าย PG ในช่วงเริ่มทำงานของวงจรแปลงผัน PG จะมีค่า 5V หลังขั้ว 5 V / 20 A ด้วยเวลาประมาณ T_{delay}

$$T_{delay} = C_{23} \times R_{33}$$

$$= 22\ \mu F \times 15\ k\ ohms$$

$$= 0.33 \text{ วินาที}$$



รูปที่ 3.11 วงจรทั้งหมดสำหรับใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์