

## บทที่ 4

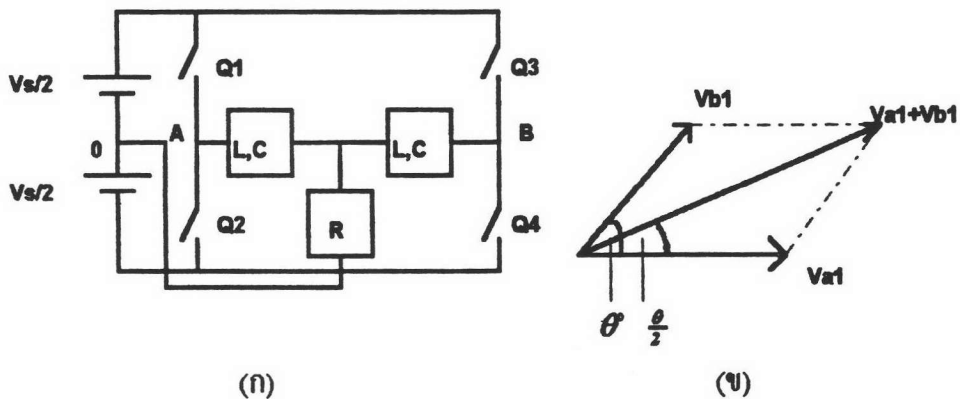
### วงจรกำลังและการควบคุม

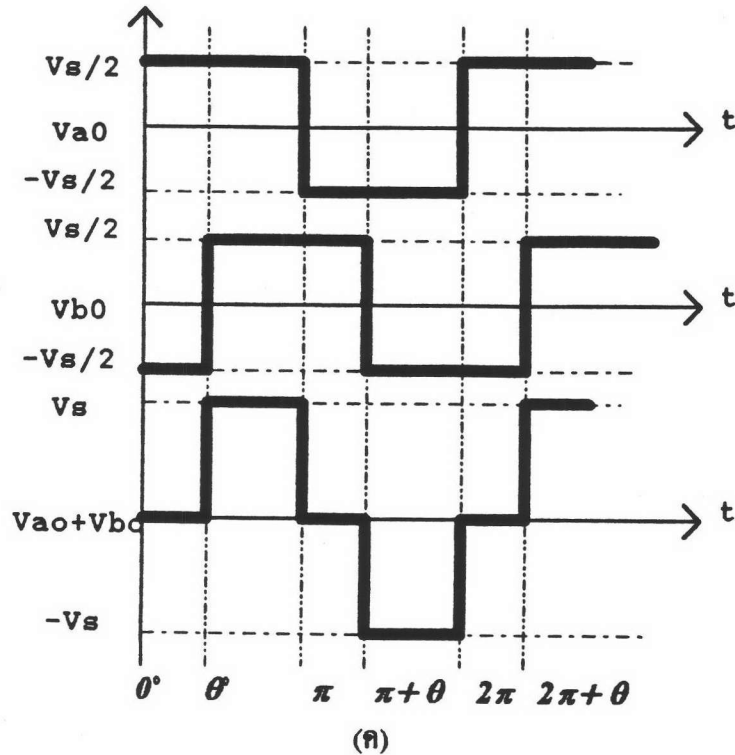
#### บทนำ

การแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรมคู่เป็นการแปลงผันพลังงานโดยใช้เทคนิคการบวกแรงดันของวงจรกึ่งบริดจ์สองวงจร การต่อโหลดระหว่างจุดกึ่งกลางของแหล่งไฟตรงกับจุดกึ่งกลางระหว่างวงจรเรโซแนนซ์ (วงจรแบบที่ 1) ทำให้แรงดันสมมูลเทวินินเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลบวกของแรงดันจากวงจรกึ่งบริดจ์ (ดูรูปที่ 1.2) การควบคุมแอมพลิจูดขององค์ประกอบหลักมูลผลบวกแรงดันกระทำได้โดยการควบคุมการเลื่อนเฟส  $\theta$  โดยองค์ประกอบหลักมูลเป็นปฏิภาคกับ  $\cos(\frac{\theta}{2})$  ถ้าเฟสแปรค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา แอมพลิจูดจะแปรค่าระหว่างค่าสูงสุดจนถึงค่าต่ำสุดคือศูนย์

#### การบวกแรงดัน

จากวงจรสมมูลเทวินินแรงดันตกคร่อมวงจเรโซแนนซ์คือ  $\frac{V_{s1} + V_{s2}}{2}$  โดยที่  $V_{s1}$  และ  $V_{s2}$  ก็คือแรงดันด้านออกของวงจรกึ่งบริดจ์แต่ละวงจร





รูปที่ 4.1 แสดงการควบคุมแอมพลิจูดขององค์ประกอบหลักมูลโดยการบวกแรงดัน  
(ก) วงจรบริดจ์ (ข) แผนภาพเฟสเซอร์ (ค) รูปคลื่นแรงดัน

เราสามารถอธิบายการปรับองค์ประกอบหลักมูลได้ดังนี้ โดยให้  $V_{a1}$  และ  $V_{b1}$  ตามรูปที่ 4.1 (ข) เป็นเฟสเซอร์ขององค์ประกอบหลักมูลของ  $V_{s1}$  และ  $V_{s2}$  ตามลำดับองค์ประกอบหลักมูลมีเฟสตรงกับสัญญาณสี่เหลี่ยม การปรับเฟสระหว่างแรงดันสี่เหลี่ยมคือการปรับเฟสระหว่าง  $V_{a1}$  และ  $V_{b1}$  จากแผนภาพเฟสเซอร์จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักมูลคือ  $V_{a1}+V_{b1}$  และมีแอมพลิจูดที่แปรค่าไปกับเฟสระหว่าง  $V_{a1}$  และ  $V_{b1}$  จากรูปคลื่นในรูปที่ 4.1 (ค) สามารถกระจายหาอนุกรม [9] ได้ดังนี้

$$V_{s1}(\omega, t) = \frac{2V_s}{\pi} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{n} \cdot \sin n\omega t \quad (4.1)$$

$$V_{s2} = \frac{2V_s}{\pi} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{n} \sin n(\omega t - \theta) \quad (4.2)$$

$$V_{s1} + V_{s2} = \frac{4V_s}{\pi} \cdot \cos n\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{n} \sin n\left(\omega t - \frac{\theta}{2}\right) \quad (4.3)$$

จากสมการที่ (4.3) ถ้าพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบหลักมูลจะได้

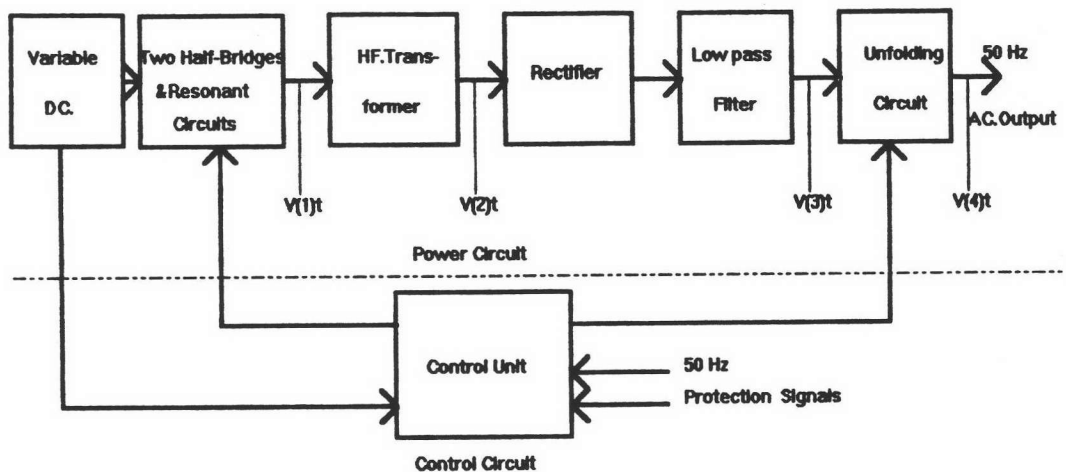
$$v_{a1} + v_{b1} = \frac{4V_s}{\pi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin(\omega_f t - \frac{\theta}{2}) \quad (4.4)$$

แอมพลิจูดของ  $V_{a1} + V_{b1}$  จะได้

$$v_{a1} + v_{b1} = \frac{4V_s}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4.5)$$

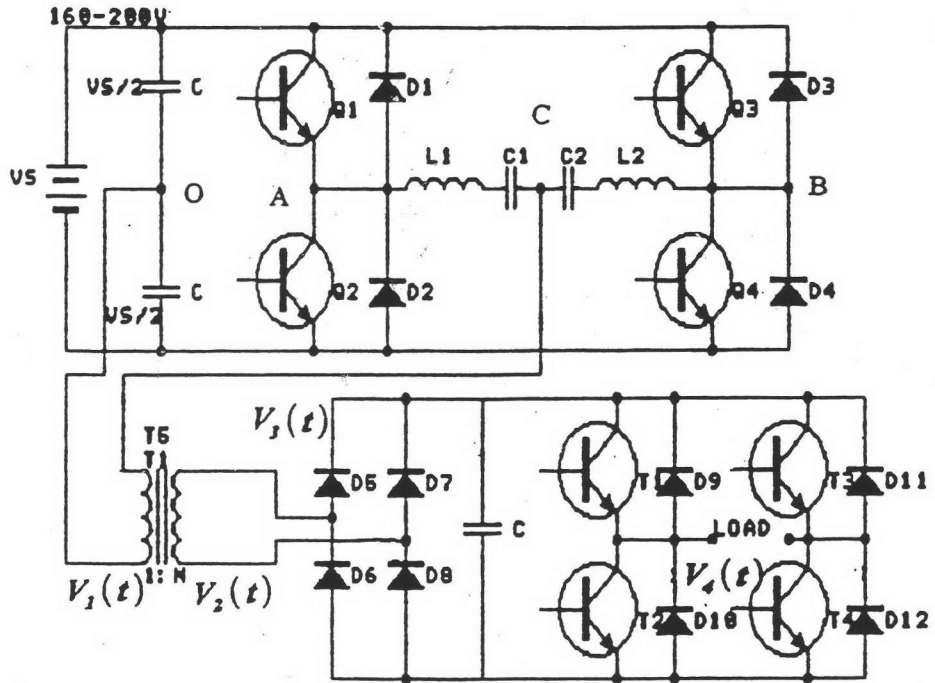
### วงจรกำลัง

ในกรณีที่  $Q$  ของวงจรเรโซแนนซ์มีค่าสูงฮาร์มอนิกจะถูกกำจัดออกไป กระแสผ่านโหลดจะมีแอมพลิจูดหลักมูลเป็นสำคัญ ถ้าให้มุมเฟส  $\theta$  แปรผันไปกับเวลาที่ความถี่ต่ำ (50 Hz) จะเป็นการมอดูเลตแอมพลิจูดของแรงดันผลบวก  $V_{a1} + V_{b1}$  เมื่อนำแรงดันดันออกไปผ่านวงจรเรียงกระแสและวงจรผ่านต่ำเพื่อกรองความถี่สวิตช์ออก ก็จะได้แรงดันเรียงกระแสเต็มคลื่น ซึ่งจะต้องใช้วงจรลิเพื่อให้ได้แรงดันไฟสลับความถี่ต่ำที่ต้องการรูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพของวงจรที่จะทำการวิเคราะห์และออกแบบต่อไป

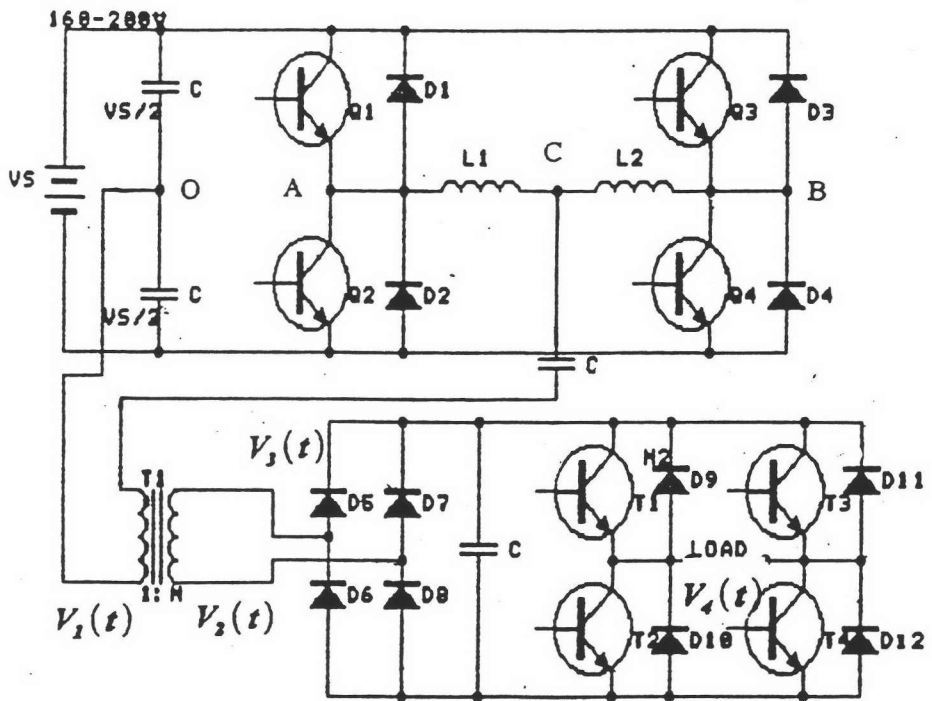


รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงส่วนต่างๆของวงจรแปลงผัน

เราสามารถแบ่งแผนภาพในรูปที่ 4.2 เป็นส่วนของวงจรกำลังและวงจรควบคุม รูปที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของวงจรกำลัง



(ก) วงจรแบบที่ 1

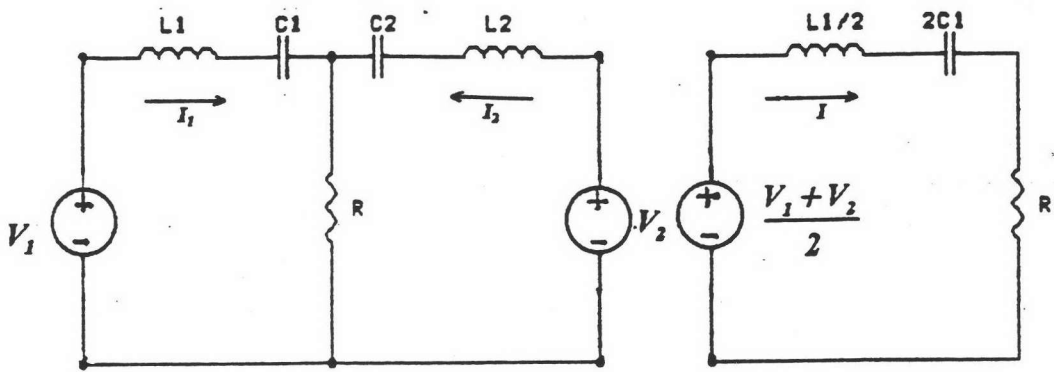


(ข) วงจรแบบที่ 2

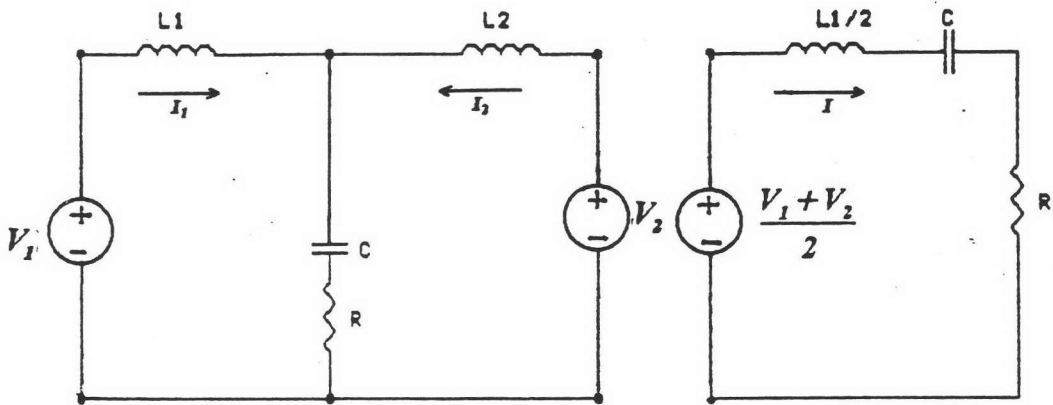
รูปที่ 4.3 วงจรกำลัง



จากวงจรกำลังตามรูปที่ 4.3 จะได้วงจรสมมูลตามรูปที่ 4.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมคู่

(ก) วงจรแบบที่ 1

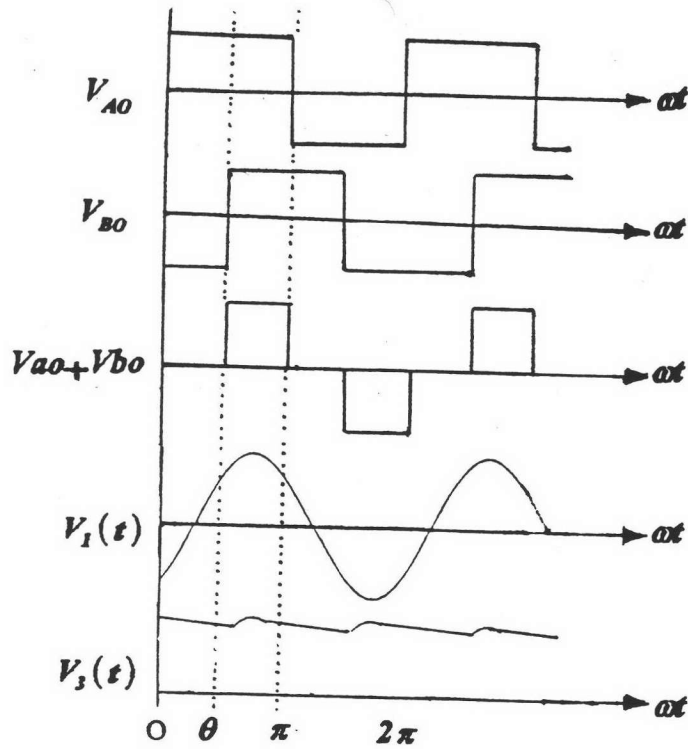
(ข) วงจรแบบที่ 2

ถ้าวงจรทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์ ( $\omega_s = \omega_o$ ) แรงดันค่านอกของวงจรเรโซแนนซ์จะเท่ากับแรงดันค่านเข้าคือ  $\frac{V_{s1} + V_{s2}}{2}$  (รูปที่ 1.2) ดังนั้นแรงดันค่านอกของหม้อแปลง  $V_2(t)$  เท่ากับ

$$V_2(t) = \frac{2 \cdot N \cdot V_s}{\pi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin(\omega_s t - \frac{\theta}{2}) \quad (4.6)$$

จะได้แรงดันที่แปรผันกับมุมเฟส  $\theta$  ดังนี้ (รูปที่ 4.5)

$$V_2(t) = \frac{2 \cdot N \cdot V_s}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4.7)$$



รูปที่ 4.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันจากแผนภาพส่วนต่างๆของวงจร

### แรงดันไฟสลับความถี่ต่ำค้ำออก

รูปคลื่นแรงดันตามรูปที่ 4.5 เกิดจากมอดูเลตด้วยค่าคงที่แต่โนทีนี้เราจะแปรค่า  $\theta$  โดยแทนค่า  $\cos(\frac{\theta}{2})$  ด้วย  $M_m |\sin \omega t|$  โดยที่  $M_m$  คือครรชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ซึ่งแปรค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ  $\omega$  คือความถี่ของสัญญาณมอดูเลต (Modulating Frequency) แรงดันค้ำออกของหม้อแปลงความถี่สูงมีค่าเท่ากับ

$$V_2(t) = \frac{2NV_s}{\pi} \cdot M_m |\sin \omega t| \cdot \sin(\omega_s t - \frac{\theta}{2}) \quad (4.8)$$

โดยที่ 
$$\theta = 2 \cos^{-1} [M_m |\sin \omega t|] \quad (4.9)$$

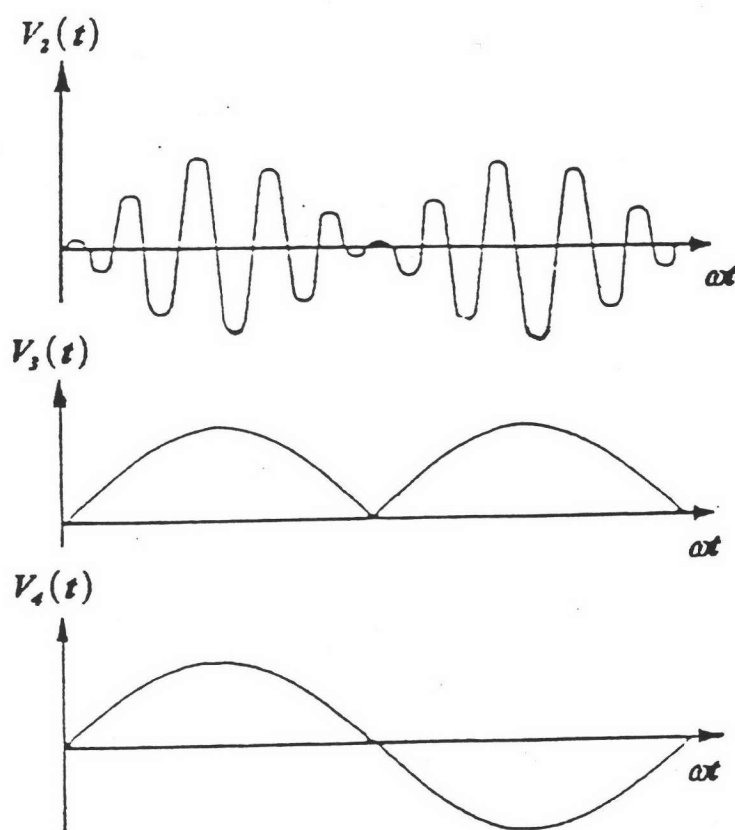
เมื่อนำแรง  $V_2(t)$  ผ่านวงจรเรียงกระแสและผ่านวงจรกรองแบบค้ำผ่านซึ่งได้แก่ตัวเก็บประจุ ซึ่งสมมติว่าสามารถกรองความถี่สูงในพจน์ที่ประกอบด้วย  $\omega_s$  ได้หมด ดังนั้นแรงค้ำที่ออกจากวงจรกรองแบบค้ำผ่านค้ำ จะมีลักษณะเป็นแรงค้ำเรียงกระแสเต็มคลื่นไซน์ดังนี้

$$V_3(t) = \frac{2 \cdot N \cdot V_s}{\pi} \cdot M_m |\sin \omega t| \quad (4.10)$$

ถ้านำแรงคั่นนี้มาคลี่ออก (Unfolding) ได้แรงคั่นไซน์ดังนี้

$$V_4(t) = \frac{2 \cdot N \cdot V_s}{\pi} \cdot M_s \sin \omega t \quad (4.11)$$

ซึ่งลักษณะของรูปคลื่น  $V_2(t)$  ถึง  $V_4(t)$  จะแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นแรงคั่นที่จุดต่างๆตามรูปที่ 4.3

### การออกแบบวงจรกำลัง

#### ผลของตัวประกอบคุณภาพ

ในการออกแบบวงจรกำลังของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์สิ่งต้องนำมาพิจารณา คือค่าตัวประกอบคุณภาพ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรเรโซแนนซ์รวมทั้งเป็นการตัวกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของวงจรด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.1 [9]

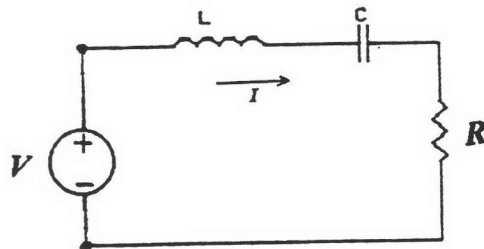
### ตารางที่ 4.1

#### ผลของตัวประกอบคุณภาพ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	Q ต่ำ	Q สูง
ขนาด	ต่ำ	สูง
ราคา	ต่ำ	สูง
ค่าสูญเสียในองค์ประกอบ	ต่ำ	สูง
ตัวประกอบรูปแบบกระแส	ต่ำ	สูง
ความถี่ในการทำงาน	ต่ำ	สูง
การสิ้นเปลืองกระแส	สูง	ต่ำ

$$FF = \frac{I_{rms}}{I_{avg}} \quad \text{Current Form Factor}$$

สำหรับวงจรอนุกรม RLC กำลังที่โหลด R จะแปรเปลี่ยนขนาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่สวิตช์ (Switching Frequency  $\omega_s$ ) รอบๆความถี่เรโซแนนซ์  $\omega_o$  ขนาดของกำลังที่โหลดหรือ R จะมีค่าสูงสุดก็ต่อเมื่อมีการขับนำสวิตช์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ( $\omega_s = \omega_o$ ) แต่เมื่อมีการขับนำสวิตช์ที่รอบๆ  $\omega_o$  ขนาดของกำลังที่โหลดจะลดลงเป็นอัตราส่วนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของตัวประกอบคุณภาพ Q



รูปที่ 4.7 วงจรอนุกรม RLC

จากวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมในรูปที่ 4.7 เราคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรได้ดังนี้

$$Z_1 = R + j\omega_s L + \frac{1}{j\omega_s C}$$

$$= R \left[ 1 + jQ \left( \frac{\omega_s}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega_s} \right) \right]$$

$$= R \left[ 1 + jQ \left( \omega_n - \frac{1}{\omega_n} \right) \right] \quad (4.12)$$

โดยที่

$$\omega_n = \frac{\omega_r}{\omega_s}$$

ถ้าองค์ประกอบหลักมูลของแรงค้ำด้านเข้าของวงจรเรโซแนนซ์เท่ากับ  $\frac{2V_s}{\pi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$  องค์ประกอบหลักมูลของกระแสค้ำด้านออกมีแอมพลิจูดเท่ากับ

$$I_1 = \frac{2V_s}{\pi R} \cdot \frac{1}{\left[ 1 + Q^2 \left( \omega_n - \frac{1}{\omega_n} \right)^2 \right]^{1/2}} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4.13)$$

จากสมการที่ (4.13) จะเห็นว่าแอมพลิจูดของกระแสจะมีความสูงที่สุดเมื่อ  $\omega_n = 1$  หรือ  $\omega_r = \omega_s$

คือ  $I_1 = \frac{2 \cdot V_s}{\pi R} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$  และแอมพลิจูดของกระแสจะลดลงเมื่อ  $\omega_n < 1$  ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่ากำลังที่ไหลลงจะลดลง ถ้าวงจรทำงานที่ความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์

#### การออกแบบค่าองค์ประกอบของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมคู่

ข้อกำหนดในการออกแบบคือกำลังด้านออกที่ต้องการเท่ากับ 500 วัตต์แรงดันไฟตรงค้ำด้านเข้าแปรค่าอยู่ในพิสัย 160-200 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟตรงค้ำด้านเข้ามีค่าค่าคือ 160 โวลต์จะมีการมอดูเลตเต็มก็คือ  $M_s = 1$  และในขณะที่แรงดันไฟตรงแปรค่าสูงขึ้นก็จะลดค่าครรชนีการมอดูเลตลงเพื่อคงค่าแรงค้ำด้านออกไว้

เราต้องการที่จะให้วงจรทำงานที่ความถี่สวิตช์ เท่ากับความถี่ครึ่งกำลังและสวิตช์ที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ( $\omega_r > \omega_s$ ) เพื่อที่จะลดการสูญเสียอันเนื่องมาแต่การสวิตช์และให้สวิตช์ไวงานต่อวงจร ในขณะที่แรงค้ำคคกรวมสวิตช์เป็นศูนย์ (Zero-Voltage Switch, ZVS ) จากเงื่อนไขการออกแบบในขอบเขตการวิจัยต้องการกำลังค้ำด้านออกของวงจร 500 วัตต์ ในขณะที่แรงค้ำคคไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผันแปรค่าอยู่ระหว่าง 160-200 โวลต์กำลังค้ำด้านออกเท่ากับ 500 วัตต์โดยวงจรมีประสิทธิภาพประมาณ 70% และวงจรส่วนที่เป็นหม้อแปลงจนถึงวงจรคคค (รูปที่ 1.2) มีประสิทธิภาพ 80% ดังนั้นเราจะให้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมคู่สามารถจ่ายกำลังได้ 625 วัตต์ เมื่อ  $V_s = 160$  โวลต์วงจรก็คคจ่ายกำลังได้ 625 วัตต์ เราเลือกความถี่การสวิตช์เท่ากับความถี่ครึ่งกำลัง

จากสูตรกำลัง

$$P = \frac{I_1^2 R}{2}$$

และสมการที่ (4.13) ที่ให้

$$I_1 = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi R}} \text{ จะได้}$$

$$R = \frac{V_s^2}{\pi^2 P} \quad (4.14)$$

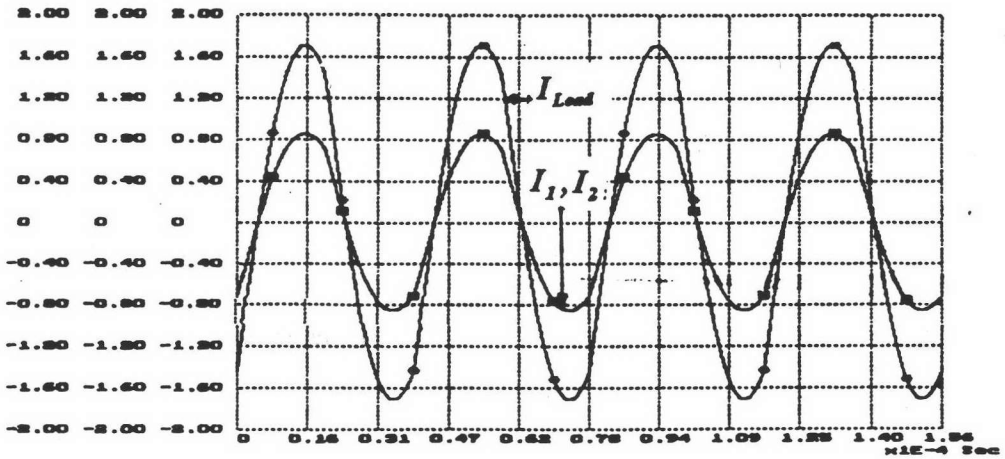
จะได้  $R \approx 4\Omega$  เราเลือกอัตราส่วน  $\omega_n = \frac{\omega_s}{\omega_c} = 1.2$  เพื่อให้อยู่ห่างจากความถี่เรโซแนนซ์พอสมควร อนึ่งที่ความถี่สวิทช์เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์กระแสไหลเวียนระหว่างแหล่งของรูปที่ 4.4 (ก) จะมีค่าสูงมากพลังงานสะสมใน  $L$  และ  $C$  ซึ่งกำหนดขนาดทางกายภาพของ  $L$  และ  $C$  จึงมีค่าไม่สูงนัก เราได้กำหนดให้  $\omega_s$  เท่ากับความถี่ครึ่งกำลังและที่ความถี่นี้ ส่วนจินตภาพของ  $Z$  เท่ากับส่วนจริง ดังนั้นจากสมการที่ (4.12) จะได้

$$Q\left(\omega_n - \frac{1}{\omega_n}\right) = 1 \quad (4.15)$$

นั่นคือ  $Q=2.73$  และ  $L_s = 81.4\mu H$  กับ  $C_s = 0.684\mu F$  (4.16)

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณได้และทำการจำลองการทำงาน(Simulation) วงจรในรูปที่ 4.4 (ก) ด้วยโปรแกรม LEK 6.0 ในขณะที่  $V_s = 160V$  ก็จะได้กระแสไหลผ่านโหลดดังรูปที่ 4.8 ซึ่งค่ายอดของกระแสประมาณ 17 แอมแปร์เมื่อแรงดันค้ำเข้าเป็นแรงดันสี่เหลี่ยมหรือเฟสระหว่างวงจรกึ่งบริดจ์สองวงจรมีค่าเป็นศูนย์องศา

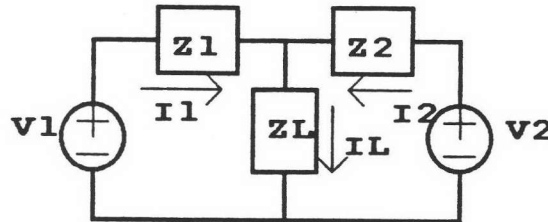
จากที่ได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์ ทำให้สามารถเลือกอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่สวิทช์ในวงจรเรโซแนนซ์ Q1-Q4 โดยเลือกใช้ IGBTs ของ FUJI ที่สามารถทนต่อแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 500 โวลต์ และพิกัดของกระแสจ่ายออกได้ไม่น้อยกว่า 50 แอมแปร์ทั้งนี้การเลือกขนาดของสวิทช์เนื่องจากการทำงานของวงจรเป็นลักษณะกึ่งบริดจ์ ดังนั้นเมื่อคำนวณหาค่าตัวประกอบการใช้สวิทช์ (SUF) [1] ได้ประมาณ 0.16 สำหรับรายละเอียดของ IGBTs ที่เลือกใช้อยู่ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 4.8 รูปคลื่นกระแสผ่านโหลดเมื่อกระตุ้นวงจรในรูปที่ 4.4 (ก) ด้วยแรงดันสี่เหลี่ยม ( $\theta=0$ ) ที่มีแอมพลิจูด 80 โวลต์ (สเกลกระแส  $I_1, I_2$  และ  $I_{Load}$  4 A./DIV. สเกลเวลา 16  $\mu$ S./DIV.)

การวิเคราะห์วงจรแต่ละแบบ

เนื่องจากวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรมคู่แต่ละแบบตามรูปที่ 4.4 มีองค์ประกอบสมมูลค่าเดียวกัน เพราะฉะนั้นสามารถใช้วงจรสมมูลตามรูปที่ 4.9 ทำการวิเคราะห์วงจรตามรูปแบบที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.9 วงจรสมมูลการแปลงผันโดยการเลื่อนเฟส ;  $Z_1 = Z_2$

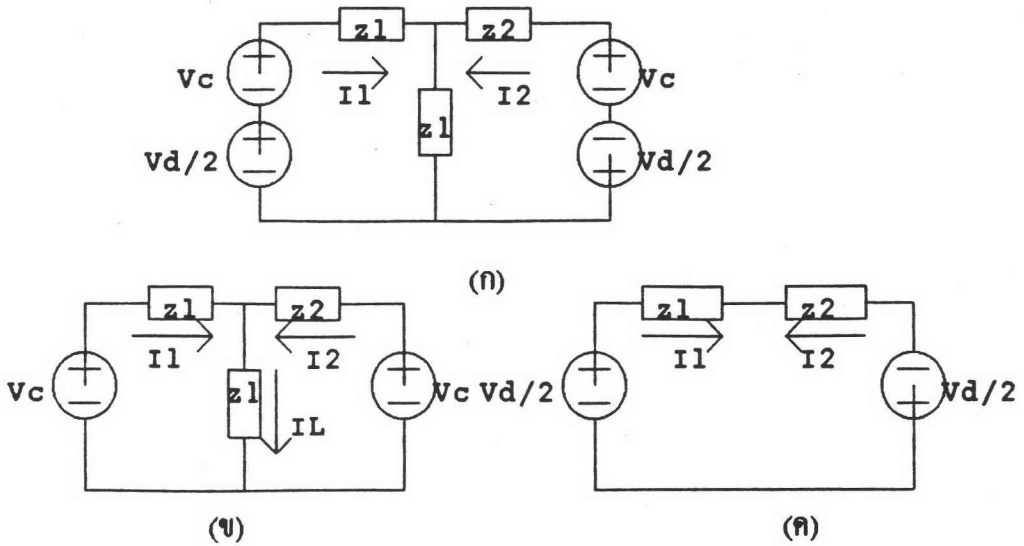
จากรูปจะได้แรงดันผลบวก (Common Mode) และแรงดันผลต่าง (Difference Mode) ตามสมการที่ (4.17) และ (4.18) ตามลำดับ

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} \tag{4.17}$$

$$V_d = V_1 - V_2 \tag{4.18}$$

โดยที่

$$V_1 = V_c + \frac{V_d}{2}, V_2 = V_c - \frac{V_d}{2} \tag{4.19}$$



รูปที่ 4.10 (ก) วงจรสมมูลการแปลงผันโดยการเลื่อนเฟส  
 (ข) แสดงวงจรแรงดันค้นผลบวก (ค) แสดงวงจรแรงดันค้นผลต่าง

จากรูปที่ 4.10 (ก) พิจารณากระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแรงดันแต่ละแหล่งดังนี้จากทฤษฎีทับซ้อนจะได้กระแสที่ไหลจากแต่ละแหล่งตามสมการที่ (4.20) และ (4.21) คือ

$$I_1 = I_{1c} + I_{1a} = \frac{V_c}{Z_1 + 2Z_L} + \frac{V_a}{2Z_1} \quad (4.20)$$

$$I_2 = I_{2c} + I_{2a} = \frac{V_c}{Z_1 + 2Z_L} - \frac{V_a}{2Z_1} \quad (4.21)$$

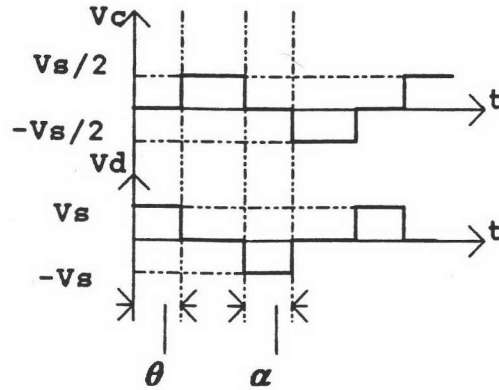
จากรูปคลื่นในรูปที่ 4.11 เราคำนวณองค์ประกอบหลักมูลได้ดังนี้

$$V_c = \frac{2V_a}{\pi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \angle \left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4.22)$$

และ

$$V_a = \frac{4V_s}{\pi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \angle \left(\frac{\theta}{2} - 90^\circ\right) \quad (4.23)$$





รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงแรงดันผลบวกและแรงดันผลต่าง

เนื่องจากแรงดันผลต่างจะทำให้เกิดกระแสไหลเวียน (Circulating Current) ในแหล่งซึ่งเป็นกระแสที่ทำให้เกิดการสูญเสียในองค์ประกอบ การสูญเสียในส่วนนี้จะแปรตามมุม  $\alpha$  ซึ่งขนาดของกระแสไหลเวียนในแหล่งและจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรลดลง

จากรูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) เป็นวงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรมคู่ที่เลือกทำการทดสอบ เมื่อทำการวิเคราะห์ห้กระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแต่ละแหล่งต่อกระแสที่ไหล โดยพิจารณาสมการที่ (4.20) และ (4.21) เมื่อแทนค่า  $V_c$  และ  $V_d$  ด้วยสมการที่ (4.22) และ (4.23) จะได้อัตราส่วนของกระแสที่ไหลออกจากแหล่งแต่ละแหล่งต่อกระแสไหลตามสมการที่ (4.24), (4.25) และ (4.26), (4.27) สำหรับวงจรแปลงผันแบบที่ 1 และวงจรแปลงผันแบบที่ 2 ตามลำดับ

#### วงจรแปลงผันแบบที่ 1

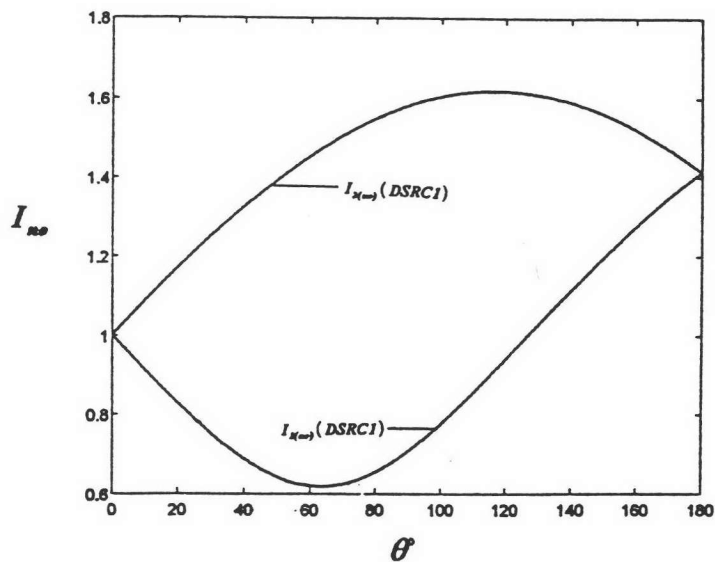
เมื่อ  $Z_1 = 2R \angle 90^\circ$  (เนื่องจากวงจรทำงานที่ความถี่ครึ่งกำลัง  $X = R$ )  
จากรูปที่ 4.10 จากสมการที่ (4.20) และสมการที่ (4.21) จะได้ค่าป้ที่สถานของกระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแต่ละแหล่งดังสมการที่ (4.24) และ (4.25)

$$I_1 = \frac{2V_s}{\sqrt{2}\pi R} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \angle\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) - \frac{4V_s}{2\pi R} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \angle\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

ค่าป้ที่สถานของกระแสที่ไหลออกจากแต่ละแหล่งของวงจรแปลงผันแบบที่ 1 ตามสมการคือ

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{\sqrt{2}V_s/\pi R} &= \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \angle\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) - \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \angle\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ &= \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) + j \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) \\ &\quad - \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - j \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \left| \frac{I_1}{\sqrt{2}V_s/\pi R} \right|^2 &= \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) - \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \\ &\quad + \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) - \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \quad (4.24) \\ \left| \frac{I_2}{\sqrt{2}V_s/\pi R} \right|^2 &= \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) + \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \\ &\quad + \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) + \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \quad (4.25) \end{aligned}$$

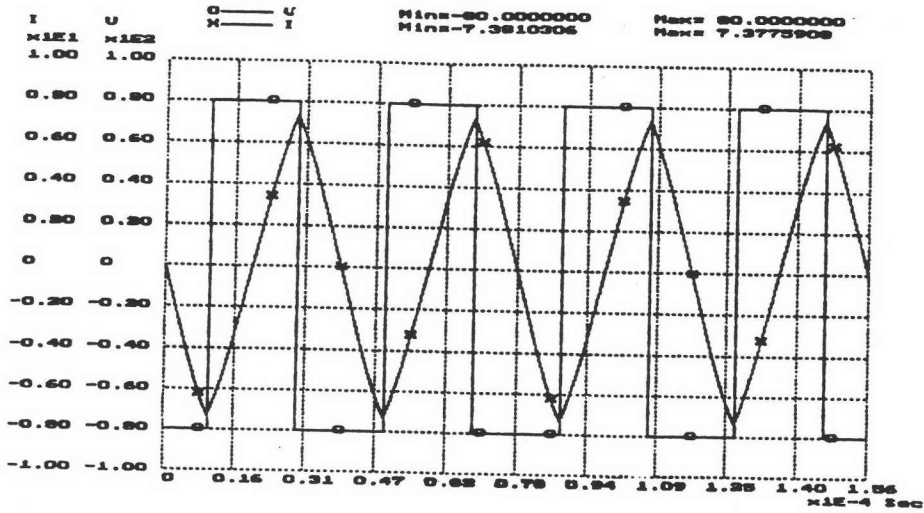
จากสมการที่ (4.24) และสมการที่ (4.25) เมื่อแปรค่ามุม  $\theta$  จาก  $0^\circ - 180^\circ$  จะได้ค่าปทัสถานของกระแส  $I_{1ms}$  และกระแส  $I_{2ms}$  ที่มุม  $\theta$  โคจรดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงค่าปทัสถานกระแสของแหล่งเมื่อแปรค่ามุม  $\theta$  ของวงจรแปลงผันแบบที่ 1

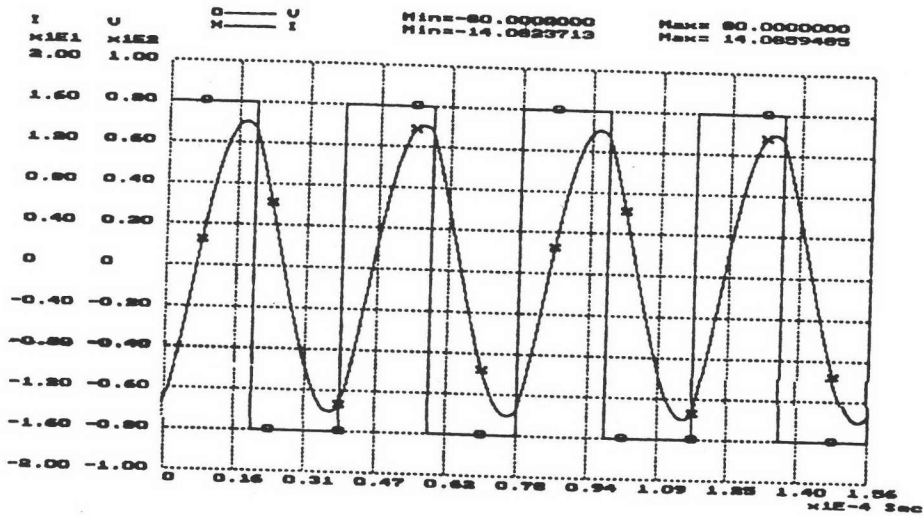
จากองค์ประกอบที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.14) และ (4.15) จำลองวงจรแปลงผันแบบที่ 1 ด้วยโปรแกรม LEK 6.0 ที่มุม  $90^\circ$  และ  $135^\circ$  จะได้กระแส  $I_1$  และ  $I_2$  ตามรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับจะเห็นว่ากระแส  $I_1$  และ  $I_2$  จะมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณตามรูปที่ 4.12 ทั้งนี้

การคำนวณตามรูปที่ 4.12 เป็นการคำนวณโดยใช้แอมป์ประกอบหลักมูลซึ่งมีความคลาดเคลื่อนบ้าง



(ก)

(สเกลกระแส 2 A./DIV. สเกลแรงดันสี่เหลี่ยม 20 V./DIV.)



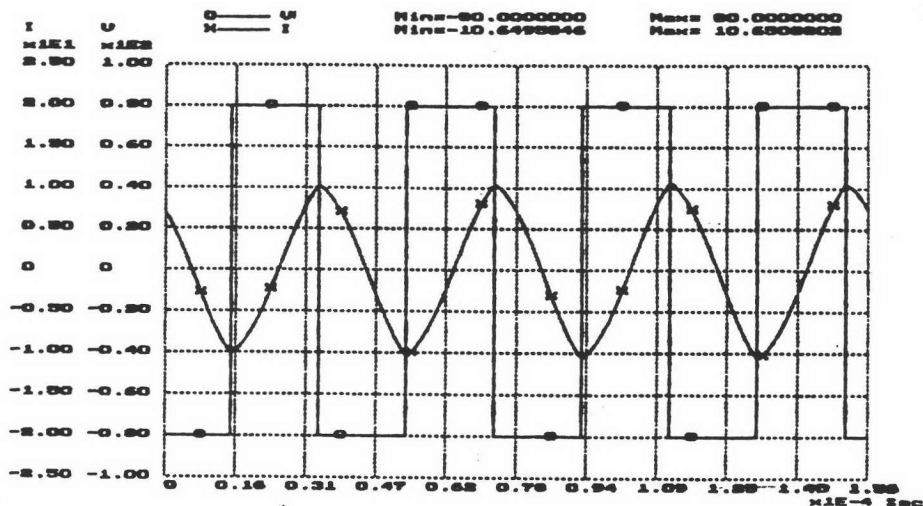
(ข)

(สเกลกระแส 4 A./DIV. สเกลแรงดันสี่เหลี่ยม 20 V./DIV.)

รูปที่ 4.13 กระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแรงดันแต่ละแหล่งที่มุม( $\theta = 90^\circ$ )

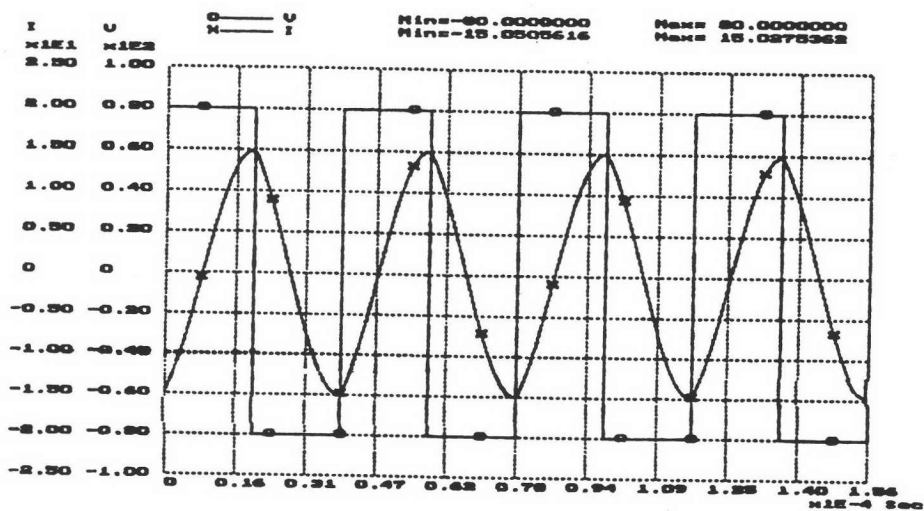
(ก) กระแส  $I_1$

(ข) กระแส  $I_2$



(ก)

(สเกลกระแส 5 A./DIV. สเกลแรงดันที่เหลื่อม 20 V./DIV.)



(ข)

(สเกลกระแส 5 A./DIV. สเกลแรงดันที่เหลื่อม 20 V./DIV.)

รูปที่ 4.14 กระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแรงดันแต่ละแหล่งที่มุม  $(\theta = 135^\circ)$

(ก) กระแส  $I_1$

(ข) กระแส  $I_2$

## วงจรแปลงผันแบบที่ 2

จากรูปที่ 4.4 (ข) จะได้อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ครึ่งกำลังดังนี้

$$Z_1 = 2j\omega_n QR$$

$$Z_L + \frac{Z_1}{2} = \sqrt{2}R \angle 45^\circ$$

จากค่า  $Q$  ตามสมการที่ (4.15) จะได้

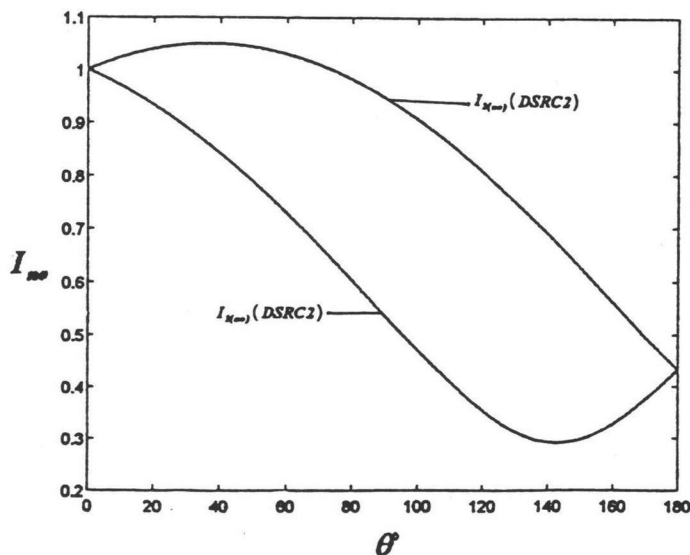
$$Z_1 = 2\omega_n QR \angle 90^\circ = 2(3.276)R \angle 90^\circ$$

เพราะฉะนั้นกระแสที่สถานะจากแหล่งแรงดันแต่ละแหล่งที่มุม  $\theta$  ใดๆ จาก  $0^\circ - 180^\circ$  จะมีค่าตามสมการที่ (4.26) และ (4.27) ตามลำดับ

$$\left| \frac{I_1}{\sqrt{2V_s}/\pi R} \right|^2 = \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) - 0.432 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 + \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) - 0.432 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \quad (4.26)$$

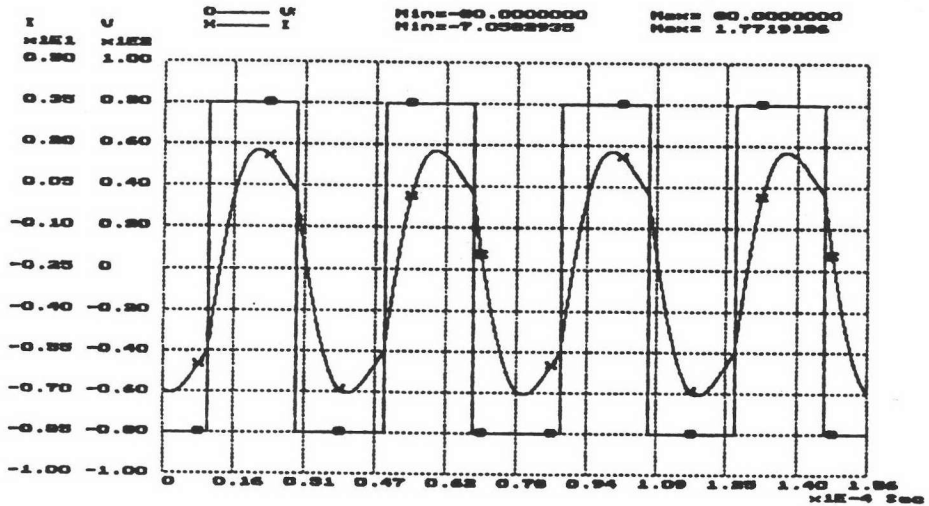
$$\left| \frac{I_2}{\sqrt{2V_s}/\pi R} \right|^2 = \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) + 0.432 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 + \left[ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2} + 45^\circ\right) + 0.432 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^2 \quad (4.27)$$

จากสมการที่ (4.26) และ (4.27) เมื่อแปรค่ามุม  $\theta$  จาก  $0^\circ - 180^\circ$  จะได้ค่าปทัสถานของกระแส  $I_{1no}$  และกระแส  $I_{2no}$  ที่มุม  $\theta$  ใดๆ ดังรูปที่ 4.15



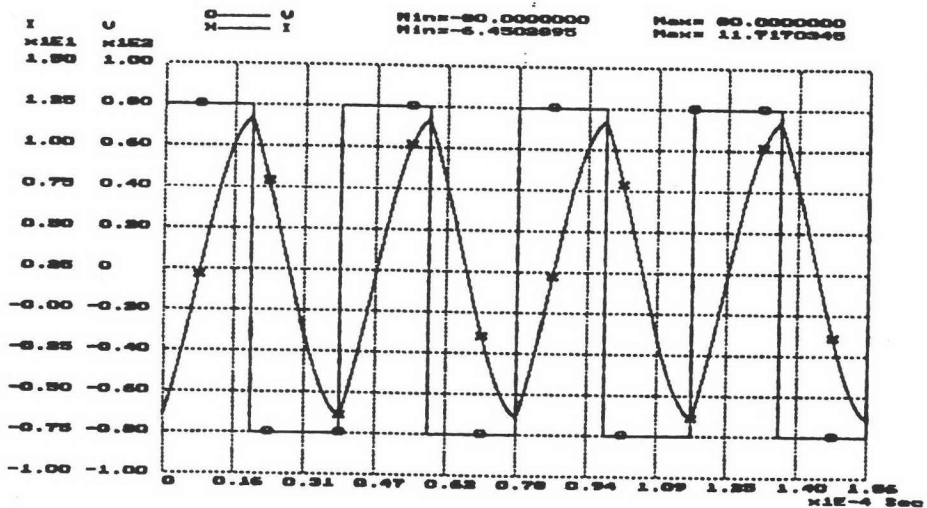
รูปที่ 4.15 แสดงค่าปทัสถานของกระแสของแหล่งเมื่อแปรค่ามุม  $\theta$  ของวงจรแปลงผันแบบที่ 2

จากองค์ประกอบที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.14) และ (4.15) จำลองวงจรแปลงผันแบบที่ 2 ด้วยโปรแกรม LEK 6.0 ที่มุม  $90^\circ$  และ  $135^\circ$  จะได้กระแส  $I_1$  และ  $I_2$  ตามรูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับจะเห็นว่ากระแส  $I_1$  และ  $I_2$  จะมีความสัมพันธ์กับรูปที่ 4.15



(ก)

(สเกลกระแส 1.5 A./DIV. สเกลแรงดันสี่เหลี่ยม 20 V./DIV.)



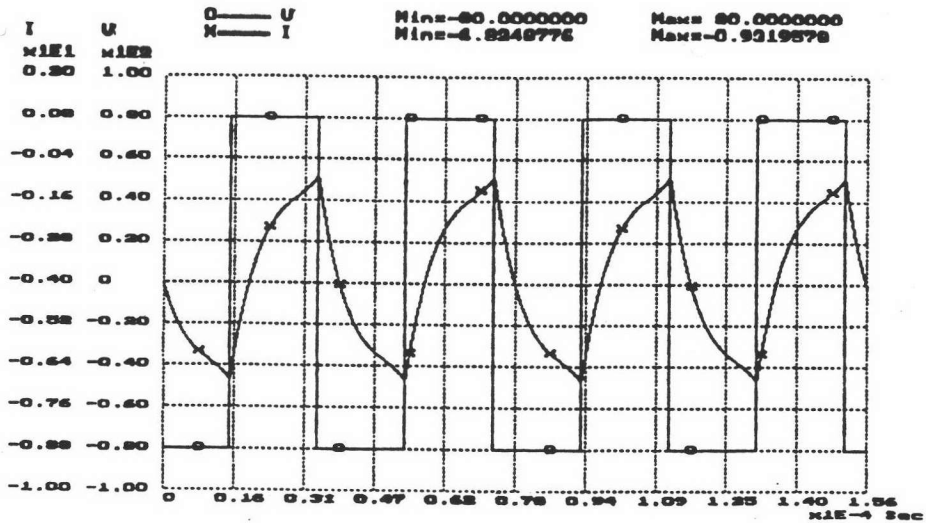
(ข)

(สเกลกระแส 2.5 A./DIV. สเกลแรงดันสี่เหลี่ยม 20 V./DIV.)

รูปที่ 4.16 กระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแรงดันแต่ละแหล่งที่มุม  $(\theta = 90^\circ)$

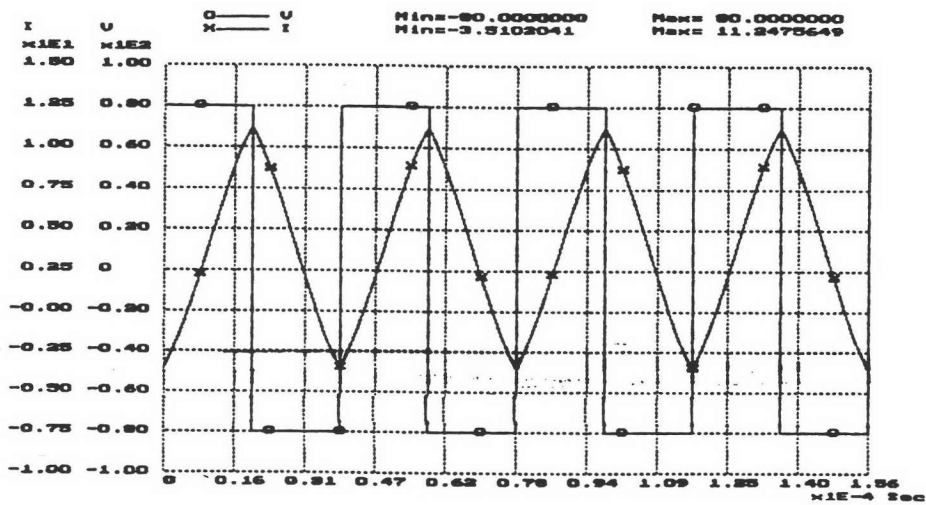
(ก) กระแส  $I_1$

(ข) กระแส  $I_2$



(ก)

(สเกลกระแส 1.2 A./DIV. สเกลแรงดันสี่เหลี่ยม 20 V./DIV.)



(ข)

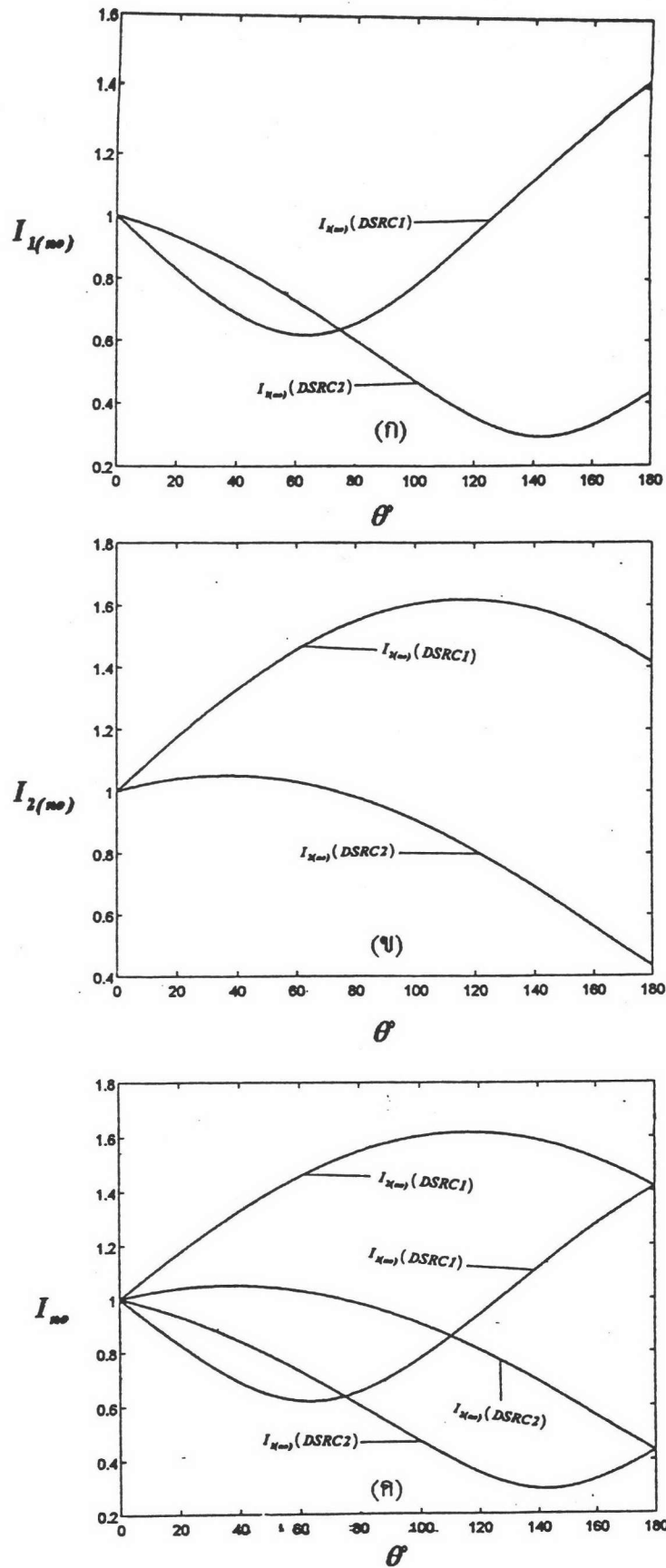
(สเกลกระแส 2.5 A./DIV. สเกลแรงดันสี่เหลี่ยม 20 V./DIV.)

รูปที่ 4.17 กระแสที่จ่ายออกจากแหล่งแรงดันแต่ละแหล่งที่มุม  $(\theta = 135^\circ)$

(ก) กระแส  $I_1$

(ข) กระแส  $I_2$

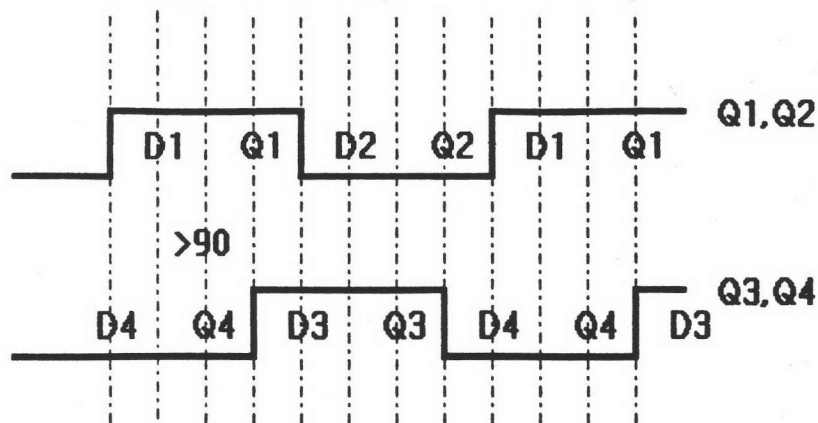
เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (4.24) กับสมการที่ (4.26) และสมการที่ (4.25) กับสมการที่ (4.27) จะเห็นว่าวงจรแปลงผันแบบที่ 1 กระแสที่ไหลเวียนในแหล่งผ่านอิมพีแดนซ์ของแรงดันผลต่าง มีค่าสูงกว่าวงจรแปลงผันแบบที่ 2 ดังรูปที่ 4.18 (ก) และ (ข) ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าค่าสูญเสียในองค์ประกอบของวงจรขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสที่แปรค่าตามแรงดันผลต่าง



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบกระแสสลับที่สถานีของวงจรแปลงคัมแบบที่ 1 และแบบที่ 2  
 (ก) กราฟเปรียบเทียบกระแส  $I_{1m}$  ของวงจรแปลงคัมแบบที่ 1 และแบบที่ 2  
 (ข) กราฟเปรียบเทียบกระแส  $I_{2m}$  ของวงจรแปลงคัมแบบที่ 1 และแบบที่ 2  
 (ค) กราฟเปรียบเทียบกระแสสลับที่สถานีของวงจรแปลงคัมแบบที่ 1 และแบบที่ 2



เนื่องจากจะต้องแปรค่ามุม  $\theta$  เมื่อมีการมอดูเลตด้วยสัญญาณไซน์ก็จะทำให้วงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์สองวงจรมีเฟสที่แตกต่างกันตลอดเวลา เมื่อวงจรกึ่งบริดจ์แต่ละวงจรถูกขับนำด้วยสัญญาณขับนำสวิตช์ตามรูปที่ 4.19 ก็จะได้รูปคลื่นของกระแสจากรูปที่ 4.16 และ 4.17



รูปที่ 4.19 สัญญาณขับนำสวิตช์ของวงจรกึ่งบริดจ์แต่ละวงจรเมื่อ ( $\theta > 90^\circ$ )

### หม้อแปลงความถี่สูง

จุดประสงค์ของการออกแบบวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ ก็เพื่อให้สามารถลดขนาดขององค์ประกอบในวงจรลงโดยเฉพาะหม้อแปลงและองค์ประกอบอื่นๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสวิตช์ที่ความถี่สูงๆหน้าที่หลักของหม้อแปลงนอกจากจะเป็นตัวแยกโคคแล้วยังจะทำหน้าที่ปรับระดับของแรงดันหรือกระแสให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากเงื่อนไขของวงจรแปลงผันที่ออกแบบเพื่อทำการทดสอบจะต้องสามารถจ่ายกำลังได้ไม่น้อยกว่า 500 วัตต์ที่แรงดันด้านออกค่าออกประมาณ 311 โวลต์ กระแสทางด้านเข้ามีแอมพลิจูดสูงสุดประมาณ 17 แอมแปร์ และความถี่ในการทำงาน 25.6 kHz จากข้อกำหนดและเงื่อนไขต่างๆสามารถทำการเลือกแกนและออกแบบได้สำหรับการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนั้นรายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.

### วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแบบผ่านตัว

แรงดันด้านออกของหม้อแปลงเป็นไซน์ความถี่สูงซึ่งแอมพลิจูดแปรตามค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณไซน์ความถี่สายกำลัง เมื่อนำแรงดันนี้มาเรียงกระแสและกรององค์ประกอบความถี่สูงออกและทำการคัตสัญญาณนี้ออกก็จะได้รูปคลื่นของแรงดันที่เป็นสัญญาณไซน์ความถี่สายกำลังเพื่อทำการจ่ายให้กับโหลด

ส่วนของวงจรเรียงกระแสใช้วงจรบริดจ์เต็มประกอบด้วยไดโอด 4 ตัวต่อเป็นแบบบริดจ์ (D1-D4) เนื่องจากความถี่ของสัญญาณสูง ดังนั้นไดโอดที่นำมาใช้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ไดโอดชนิดฟื้นตัวเร็ว (Fast Recovery Diode) ที่สามารถทนต่อแรงดันย้อนกลับได้ไม่น้อยกว่า 400 โวลต์ และยอมให้กระแสไหลผ่านได้ไม่น้อยกว่า 5 แอมแปร์ในขณะที่มีการไบแอสตรง

สำหรับวงจรกรองแบบผ่านต่ำจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวกรอง เนื่องจากแรงดันคั่นออกของวงจรเรียงกระแสมีส่วนประกอบของความถี่สูง จุดประสงค์ของวงจรนี้คือกำจัด (Demodulate) เหมอมความถี่สูงออก การเลือกใช้ตัวเก็บประจุสำหรับวงจรกรองแบบผ่านต่ำจะต้องคำนึงถึงเฟสของแรงดันคั่นออกด้วย ทั้งนี้เพราะว่าจะต้องนำแรงดันนี้มาทำการคลี่เป็นแรงดันไฟสลับที่มีเฟสตรงกับสายกำลัง เนื่องจากได้มีการตรวจจับศูนย์ของสายกำลังมาทำการควบคุมวงจร การเลือกใช้ค่าตัวกรองที่เหมาะสมสามารถคำนวณค่าโดยประมาณดังสมการที่ (4.28) คือ

$$\text{ความถี่การมอดูเลต} \ll \frac{1}{2\pi R_L C} \ll \text{ความถี่การสวิตช์} \quad (4.28)$$

$$\text{โดยที่ความถี่การมอดูเลต} = 100\text{Hz}$$

$$\text{ความถี่การสวิตช์} = 25.6\text{kHz}$$

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานโหลด} &= R_L = \text{แรงดันคั่นออกยกกำลังสอง/กำลัง} \\ &= 96.8\Omega \end{aligned}$$

$$\text{จากเงื่อนไข (4.28) เราเลือกใช้} \quad C = 1\mu\text{F}$$

### วงจรคลี่

ส่วนสุดท้ายของวงจรกำลังที่ออกแบบสร้างคือวงจรคลี่สัญญาณวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรกรองแบบผ่านต่ำซึ่งเป็นฟังก์ชันไซน์เต็มรูป จุดประสงค์ของการออกแบบสร้างวงจรส่วนนี้ก็เพื่อที่จะแปลงผันแรงดันรูปไซน์เต็มรูปเป็นแรงดันไซน์เพื่อ

จ่ายให้กับโหลด การควบคุมวงจรมีเนื่องจากเป็นวงจรแปลงผันความถี่ต่ำโดยจะแปลงผันพลังงานที่ความถี่สายกำลัง ดังนั้นในการควบคุมจะทำการตรวจจับศูนย์ของสายกำลังมาทำการควบคุมสำหรับรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ส่วนอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์คือ T1-T4 ใช้ IGBTs. ของ IR เบอร์ IRGPH50MD2 (รายละเอียดภาคผนวก ข.)

### ส่วนควบคุม (Control Unit)

วงจรควบคุมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆคือส่วนที่ควบคุมการแปลงผันเรโซแนนซ์ และส่วนควบคุมวงจรถัด

#### การควบคุมวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรมคู่

การควบคุมการแปลงผันเรโซแนนซ์คือส่วนการแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับความถี่สูง มุม  $\theta$  จะแปรค่าตามสมการที่ (4.29) และ (4.30)

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = M_a |\sin \omega t| \quad (4.29)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} [M_a |\sin \omega t|] \quad (4.30)$$

$$M_a = \frac{V_s(\min)}{V_s} \quad (4.31)$$

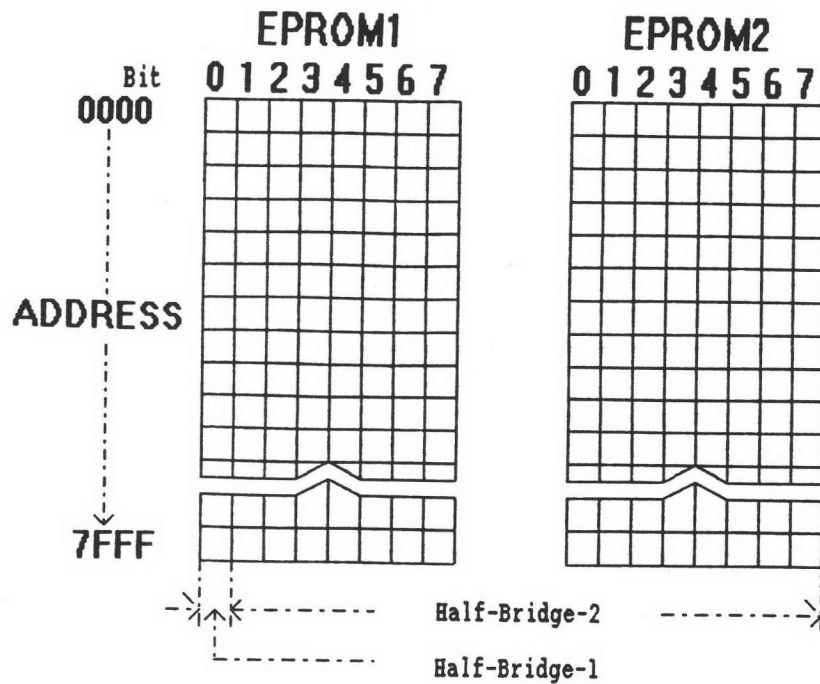
จากสมการที่ (4.31) เมื่อแรงดันไฟตรงมีค่าต่ำคือ  $V_s(\min)$  ครรชนิการมอดูเลตจะมีค่าเป็น 1 ในกรณีที่แรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรเรโซแนนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า  $V_s(\min)$  แต่ต้องการที่ควบคุมแรงดันค่านอกให้คงที่ก็จะต้องลดค่าครรชนิการมอดูเลตลง

สำหรับการควบคุมในส่วนของการแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับความถี่สูง โดยจะทำการคำนวณและเก็บเวลาตัดต่อสวิตซ์ไว้ที่ตัว EPROM ตารางที่ 4.2 แสดงการปรับครรชนิการมอดูเลต

ตารางที่ 4.2 แสดงการปรับครรชนีการมอดูเลตเมื่อแรงดันไฟตรงมีค่าสูงขึ้น

$V_{dc}$	$M_c$
160	1
163	0.980
166	0.965
169	0.950
172	0.930
175	0.920
178	0.900
181	0.890
184	0.870
187	0.860
190	0.840
193	0.830
196	0.820
198	0.810
200	0.800

เพื่อควบคุมแอมพลิจูดของแรงดันตกคร่อมโหลดโดยการแปรค่ามอดูเลต  
 วัฏจักรงานของสวิตช์ของวงจรกึ่งบริดจ์มีค่าคงที่เท่ากับ 0.5 แอมพลิจูดของแรงดันตกคร่อม  
 โหลดก็จะแปรค่าขึ้นอยู่กับเฟสของสัญญาณขับนำระหว่างสองวงจรมี รูปที่ 4.20 แสดงแผน  
 ภาพการเก็บเวลาตัดต่อสวิตช์บนตัว EPROM



รูปที่ 4.20 แสดงแผนภาพการเก็บเวลาตัดต่อสวิตช์บนตัว EPROM

การเก็บเวลาตัดต่อสวิตช์บนตัว EPROM

จากสมการที่ (4.29) เนื่องจากการมอดูเลตแรงดันด้วยสัญญาณไซน์ความถี่ต่ำ 50Hz เพราะฉะนั้น 1 คาบของสัญญาณมอดูเลตจะมีค่าเท่ากับ 0.01วินาที ดังนั้นในการกำหนดจำนวนตำแหน่งบนตัว EPROM จะกำหนดดังสมการที่ (4.32) คือ

$$2^b \cdot T_1 = T \tag{4.32}$$

- เมื่อ T คือ 1 คาบของสัญญาณมอดูเลต = 0.01 วินาที
- T<sub>1</sub> : 1คาบของสัญญาณนาฬิกา
- 2<sup>b</sup> : จำนวนตำแหน่งบนตัว EPROM
- b : จำนวนบิตของวงจรนับ

กำหนด  $b = D + C \tag{4.33}$

- 2<sup>D</sup> : จำนวนการตัดต่อสวิตช์ต่อ 1 คาบสัญญาณมอดูเลต
- 2<sup>C</sup> : จำนวนตำแหน่งของข้อมูลต่อ 1คาบการสวิตช์

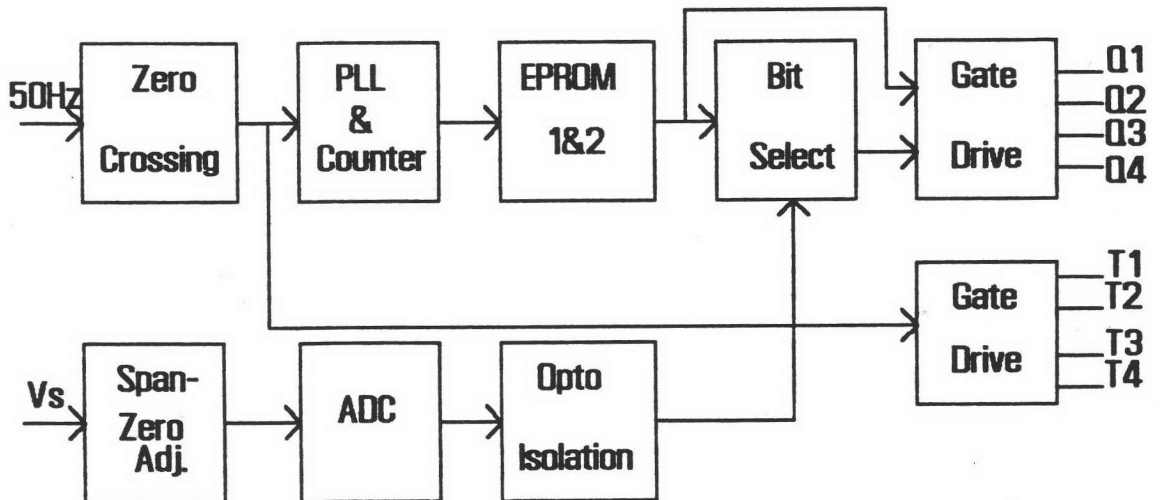
จากสมการที่ (4.32) และ สมการที่ (4.33) ถ้าเลือกจำนวนบิตของวงจรมับเท่ากับ 15 บิตก็จะต้องเลือกตัว EPROM ที่มีจำนวนตำแหน่งไม่น้อยกว่า 32 กิโลไบต์ ( 32768 ไบต์) จากสมการที่ (4.33) ถ้าเลือก  $D=8$  ก็จะพบว่าใน 1 คาบของสัญญาณมอดูเลตจะมีคาบการสวิตช์ 256 คาบและในแต่ละคาบการสวิตช์สามารถกำหนดตำแหน่งบนตัว EPROM เพื่อกำหนดการตัดต่อสวิตช์ได้เท่ากับ 128 ตำแหน่ง เพราะฉะนั้นก็จะได้

$$\text{ความถี่ขั้วนำสวิตช์} \quad f_s = \frac{2^D}{T} = 25.6 \text{ kHz}$$

$$\text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} \quad f_{\text{clk}} = \frac{2^b}{T} = 3.2768 \text{ MHz}$$

### แผนภาพของส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมการแปลงผันทั้งสองวงจรคือวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์และวงจรคลีที่ความถี่สายกำลังสำหรับแผนภาพของวงจรควบคุมทั้งหมดจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูปที่ 4.21 จากรูปจะเห็นว่าวงจรควบคุมจะแบ่งออกเป็นส่วนหลักๆด้วยกัน 2 ส่วนโดยจะอธิบายการทำงานของแต่ละส่วนดังนี้



รูปที่ 4.21 แผนภาพของวงจรควบคุม

(1) วงจรควบคุมการแปลงผันเรโซแนนซ์วงจรส่วนนี้จะมีความสำคัญมาก และมีความยุ่งยากสลับซับซ้อน ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1.1 วงจรตรวจจับศูนย์จากสายกำลัง, เฟสล็อกและวงจรนับการทำงาน ของวงจรในส่วนนี้จะทำการตรวจจับศูนย์ของสายกำลังแล้วส่งผ่านไปยังวงจรเฟสล็อกเพื่อ ทำการสร้างความถี่นาฬิกา 3.2768 MHz เพื่อส่งให้กับวงจรนับ

1.2 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผันหน้าที่ของวงจรนี้ จะทำการตรวจวัดแรงดันจากแหล่งไฟตรง เพื่อจะไปทำการเลือกครรชนิมอตุลิตที่เหมาะสม ส่วนประกอบของวงจรจะประกอบด้วยวงจรปรับความชัน (Span) และศูนย์ (Zero) เพื่อ ปรับแรงดันให้เหมาะสมสำหรับส่งต่อให้กับตัวแปลงผันสัญญาณเชิงอุปมานไฟเป็นสัญญาณ เิงเลข (Analog to Digital ,ADC) ที่จะทำการเลือกบิตของตัว EPROM ที่เหมาะสมสำหรับจับ นำสวิทซ์

1.3 วงจรเก็บข้อมูลเวลาการตัดต่อสวิทซ์วงจรส่วนนี้ประกอบด้วย EPROM 2 ตัว ที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณที่มีการเลื่อนเฟสที่เหมาะสม

1.4 วงจรจับนำเคดในส่วนนี้จะทำหน้าที่จับนำวงจรกิ่งบริคซ์ของวงจรแปลง ผันเรโซแนนซ์ทั้งสองวงจร และหน้าที่อีกประการหนึ่งคือแยกโคคสัญญาณจากวงจรควมคุมและวงจรกำลัง

2. วงจรควบคุมวงจรคลี่การควบคุมในส่วนนี้ทำได้โดยการตรวจจับศูนย์จากสัญญาณ ไซน์ของสายกำลัง เมื่อได้สัญญาณจากการตรวจจับศูนย์และนำสัญญาณนี้มาควบคุมการ คลี่แรงดันจากไซน์เรียงกระแสเต็มคลื่นออกเป็นแรงดันไซน์ความถี่สายกำลัง

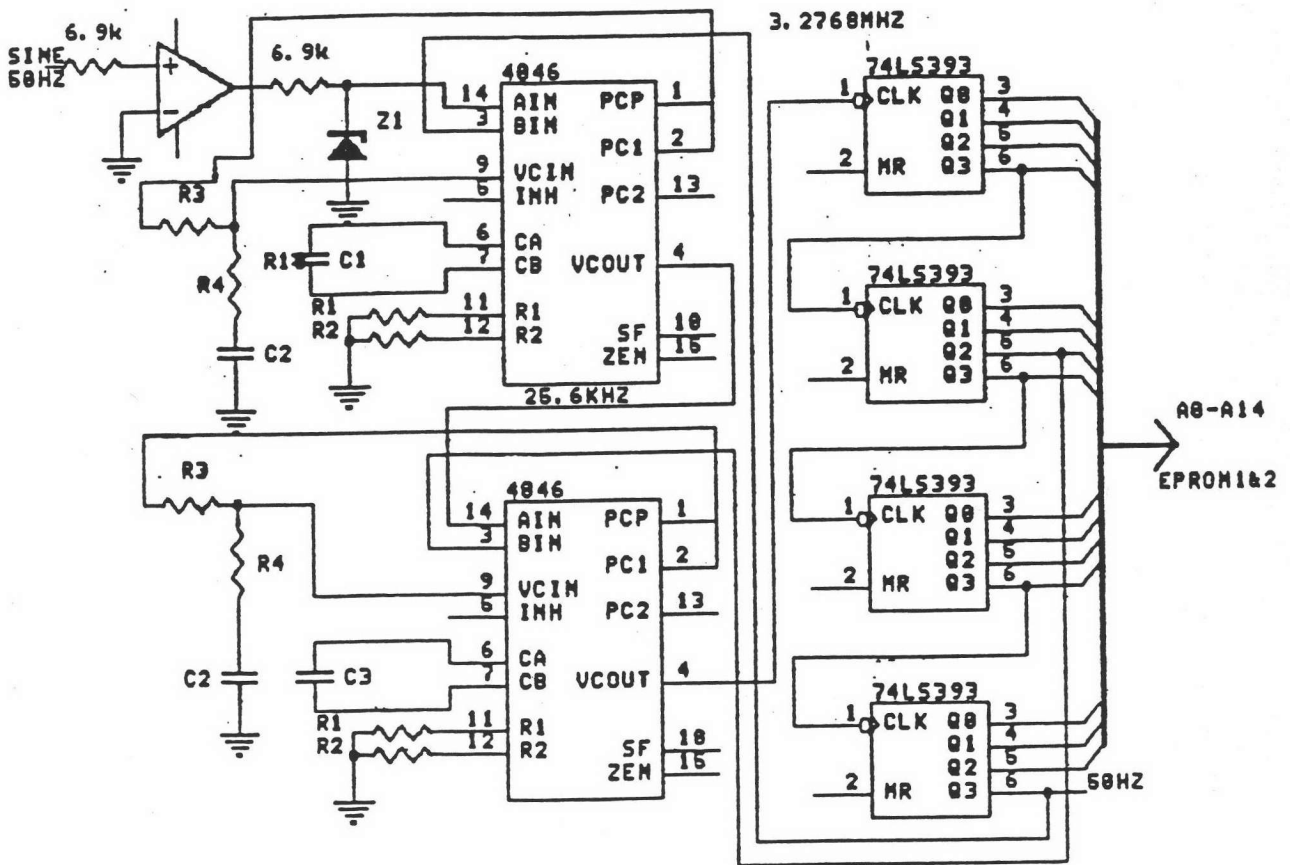
นอกจากวงจรที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นยังมีวงจรสำหรับป้องกันกระแสเกินซึ่ง ประกอบไปด้วยวงจรตรวจวัดกระแสจากตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวและตรวจวัดกระแสทางด้านเข้า ของวงจรแปลงผัน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่สวิทซ์และนอกจากนั้นยังมี วงจรตรวจวัดพิสัยของแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผัน เพื่อให้งจรทำงานที่ พิสัยแรงดันที่กำหนด

### รายละเอียดของวงจรควบคุม

#### วงจรตรวจจับศูนย์จากสายกำลัง,เฟสล็อกและวงจรนับ

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตรวจจับศูนย์จากแรงดันไซน์ 50 Hz สัญญาณที่ได้จาก วงจรนี้จะทำหน้าที่ 2 อย่างด้วยกันคือเป็นสัญญาณสำหรับจับนำวงจรคลี่ความถี่สายกำลัง เพื่อคลี่สัญญาณจากแรงดันไซน์เรียงกระแสเต็มคลื่นเป็นสัญญาณไฟสลับ 50 Hz และหน้าที่อีก ประการหนึ่งที่ได้จากวงจรตรวจจับศูนย์ก็เพื่อนำไปควบคุมวงจรรับเพื่อให้วงจรรับเริ่มต้นนับ ใหม่ทุกๆ 0.01 วินาทีเพื่อให้เฟสของสัญญาณทั้งสองตรงกัน วงจรในส่วนนี้ประกอบ

ด้วยวงจรจับศูนย์, วงจรนับขนาด 15 บิตและวงจรกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกาขนาด 3.2768 MHz โดยใช้ไอซีเฟสล็อกถูบเบอร์ 4046 เป็นตัวสร้างความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator VCO) [5] โดยปรับแรงดันที่ควบคุมความถี่ให้ได้ความถี่ที่ต้องการแล้วป้อนให้กับวงจรหารหรือวงจรมับขนาด 15 บิตใช้ไอซีเบอร์ 74393 จำนวน 2 ตัววงจรส่วนนี้จะชี้ตำแหน่งในตัว EPROM และจะชี้ตำแหน่งเริ่มต้นคือตำแหน่ง 0000H ทุกๆ 0.01 วินาทีซึ่งจะควบคุมโดยวงจรตรวจจับศูนย์ดังรูปที่ 4.22



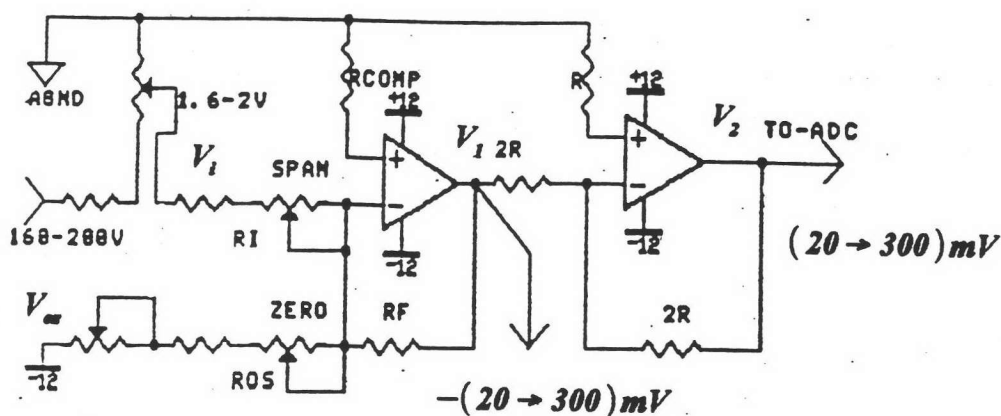
รูปที่ 4.22 วงจรตรวจจับศูนย์, เฟสล็อกถูบและวงจรมับ

วงจรถ่วงวัดแรงดันไฟตรงสำหรับเลือกครรชนิการมอดูเลต

วงจรส่วนนี้ประกอบขึ้นด้วย 3 ส่วนหลักๆคือวงจรถ่วงความชันและปรับศูนย์ (Span or Slope & Zero Adjust) เมื่อปรับอัตราส่วนแรงดันที่เหมาะสมแล้วป้อนให้กับวงจรแปลงผันสัญญาณเชิงอุปมานเป็นสัญญาณเชิงเลข โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC 0804 และส่วนสุดท้ายคือส่วนแยกโคด (Isolation) จุดประสงค์คือการแยกระบบกราวด์ (Ground) ระหว่าง



แรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผันและวงจรควบคุมออกจากกันวงจรปรับความชันและศูนย์ การปรับความชันและศูนย์สามารถใช้วงจรบวกที่ใช้โอปแอมป์ [4] ดังรูปที่ 4.23



*Zero & Span - Adj.*

รูปที่ 4.23 วงจรปรับความชันและศูนย์

จากรูปที่ 4.23 จะได้

$$V_1 = -\frac{R_f}{R_i} \cdot V_1 - \frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_{in} \quad (4.34)$$

และ

$$V_2 = \frac{R_f}{R_i} \cdot V_1 + \frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_{in} \quad (4.35)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับ

$$y = mx + b \quad \text{ก็จะได้}$$

$$m = \frac{R_f}{R_i} \quad \text{คือ} \quad \text{Slope or Span or Gain}$$

$$b = \frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_{in} \quad \text{คือ} \quad \text{y-intercept or offset or Zero}$$

เนื่องจากแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรนี้คือแรงดันไฟตรงด้านเข้า  $V_1$  ซึ่งมีการแปรค่าอยู่ระหว่าง 160-200 โวลต์ และเมื่อพิจารณาวงจรเลือกชนิดของไอซีเบอร์ 74150

จะมี 4 ขา (0000B-1111B) 16 ขั้น (Step) ประกอบกับไอซี ADC 0804 ก็จะได้สัญญาณ  $V_2$  จากรูปที่ 4.32 และสมการที่ (4.35)  $V_2$  จะแปรค่าอยู่ระหว่าง 0-0.3 โวลต์ ซึ่งจะทำให้ 4 บิตล่าง (LSB) ของ ADC 0804 จะแปรค่าอยู่ระหว่าง 0000B-1111B แต่เนื่องจาก วงจรงานในตัว EPROM จะต้องนำไปขับนำวงจรกิ่งบริดจ์สองวงจรด้วยกัน โดย DO ของ EPROM 1 จะทำหน้าที่ขับนำวงจรกิ่งบริดจ์วงจรแรกโดยตรง เพราะฉะนั้นอีก 15 บิตที่เหลือจะถูกเลือกโดยไอซี (Bit Select) เบอร์ 74150 ดังนั้นแรงดันด้านเข้าของไอซีเบอร์ ADC 0804 หรือ  $V_2$  จะแปรค่าอยู่ระหว่างประมาณ 20-300 มิลลิโวลต์จึงกำหนดอัตราส่วนของแรงดันไฟตรงคือ 160-200 โวลต์ต่อแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรปรับความชันและศูนย์เป็นอัตราส่วน 1:100 ก็จะได้  $V_1$  เท่ากับ 1.6-2.0 โวลต์

เมื่อ 
$$m = \frac{R_f}{R_1} = \frac{V_{out}}{V_i} \quad (4.36)$$

$$m = \frac{V_{i(max)} - V_{i(min)}}{V_{i(max)} - V_{i(min)}} = 1.43$$

เลือก  $R_f$  เท่ากับ  $330\text{k}\Omega$  ก็จะได้  $R_1$  เท่ากับ  $230\text{k}\Omega$  โดยความต้านทานที่มีค่าคงที่เท่ากับ  $200\text{k}\Omega$  และความต้านทานปรับค่าได้  $100\text{k}\Omega$

จาก 
$$y = mx + b$$

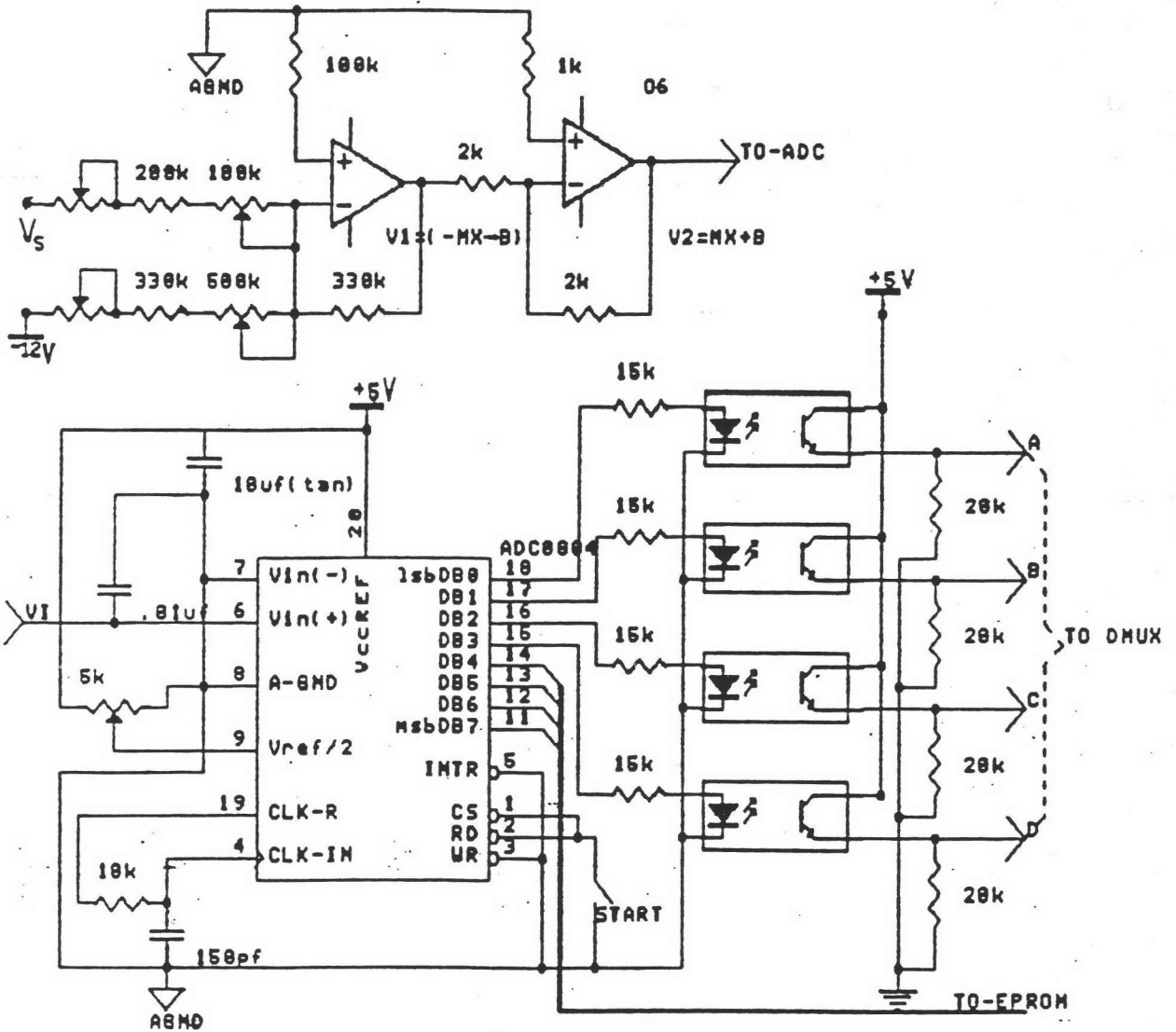
จะได้ 
$$V_1 = mV_2 + b$$

เพราะฉะนั้น 
$$b = -2.31 \text{ โวลต์}$$

จาก 
$$b = \frac{R_f}{R_{\infty}} \cdot V_{\infty}$$

กำหนด  $V_{\infty} = -12$  โวลต์ ก็จะได้  $R_{\infty} = 714\text{k}\Omega$  เลือกความต้านทานคงที่  $330\text{k}\Omega$  และความต้านปรับค่าได้  $500\text{k}\Omega$  เลือก

$$R_{comp} = R_1 \parallel R_f \parallel R_{\infty} = 100\text{k}\Omega$$

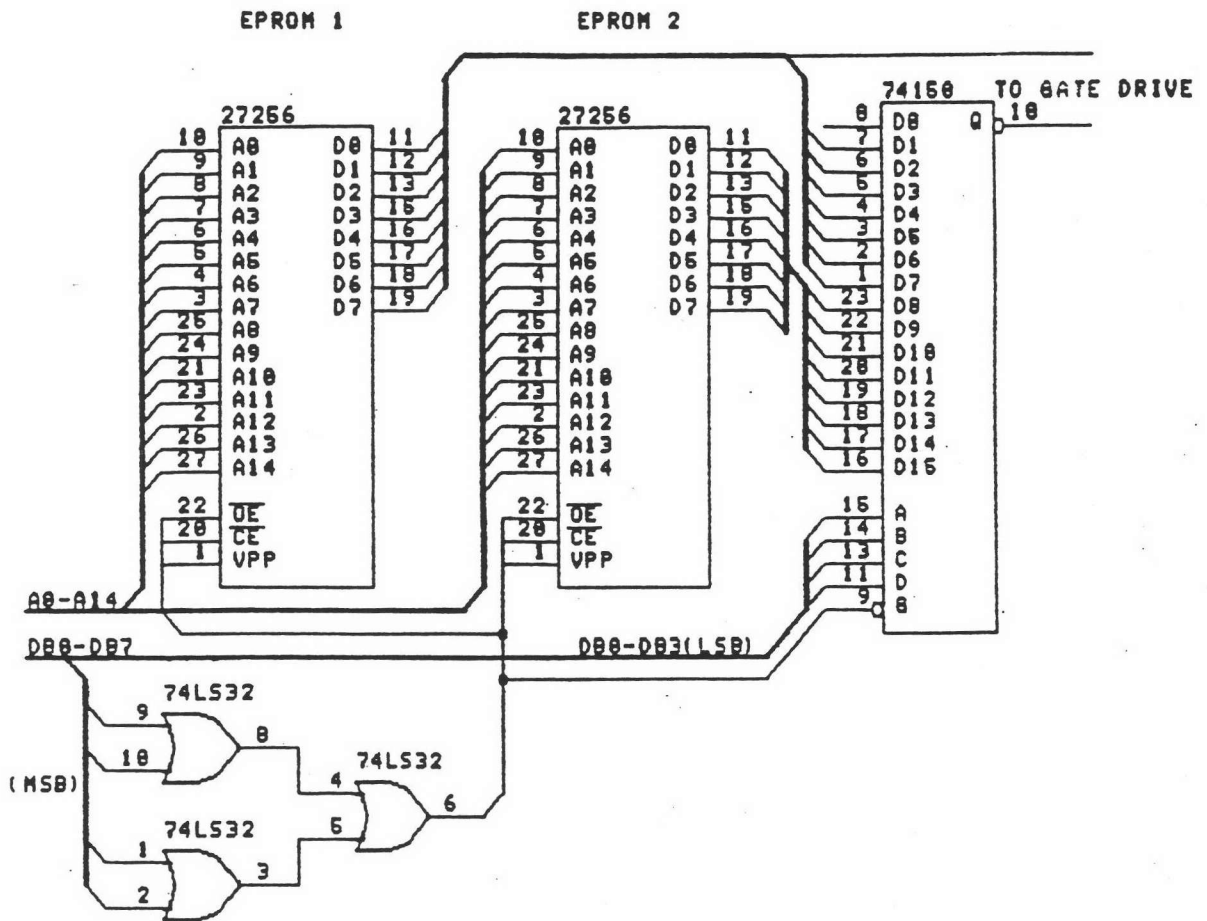


รูปที่ 4.24 วงจรเลือกสัญญาณ

วงจรเก็บและส่งผ่านสัญญาณ ไปจับนำเกต

จากรูปที่ 4.20 แสดงการเก็บเวลาตัดต่อสวิทซ์ที่ตัว EPROM จะเห็นว่าวงจรถ่ายงานต่างๆบนตัว EPROM ทั้งสองตัวจะนำไปจับนำเกตของวงจรถ่ายสองวงจร โดยขา D0 ของ EPROM ตัวที่ 1 จะนำไปจับนำวงจรที่บริคซ์วงจรแรก ส่วน D1-D7 ของ EPROM ตัวที่ 1 และ D0-D7 ของ EPROM ตัวที่ 2 จะนำไปจับนำวงจรที่บริคซ์อีกวงจรหนึ่ง ซึ่งสัญญาณจับนำ

ระหว่างวงจรกึ่งบริดจ์จะมีการแปรค่าเฟสที่เหมาะสมซึ่งวัฏจักรงานที่ขา  $D1-D7$  ของตัว EPROM 1 และ  $D0-D7$  ที่ตัว EPROM 2 จะต้องผ่านการเลือกวัฏจักรงานโดยใช้วงจรเลือกข้อมูลไอซีเบอร์ 74150 ส่วนขา  $D0$  ของ EPROM 1 จะต่อเข้าวงจรขับนำวงจรกึ่งบริดจ์วงจรแรก โดยตรงในการเลือกบิตที่เหมาะสมสำหรับวงจรกึ่งบริดจ์อีกวงจรหนึ่งนั้นจะเลือกโดยแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผัน  $A/D$  วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำแสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำ

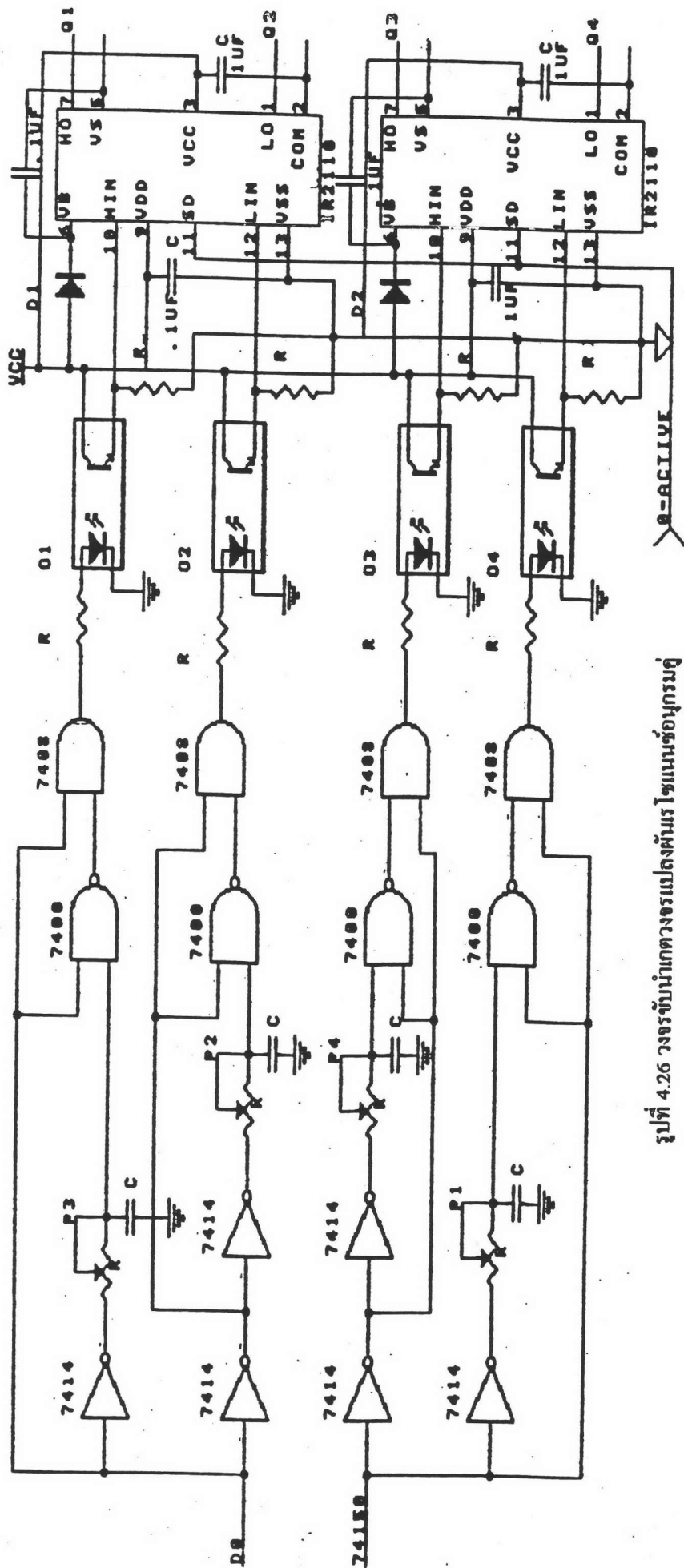
วงจรขับนำเกตของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรมคู่

คงได้กล่าวมาแล้วว่าวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับความถี่สูงใช้เทคนิคการเรโซแนนซ์โดยการบวกแรงดันระหว่างวงจรกึ่งบริดจ์สองวงจร เพื่อที่จะควบคุมแอมพลิจูดของแรงดันที่โหลดซึ่งสัญญาณขับนำวงจรกึ่งบริดจ์แต่ละวงจรจะมีวัฏจักรงานคงที่และเท่ากันคือ 0.5 ค่าแอมพลิจูดที่เกิดจากการบวกแรงดันของสองวงจร จะขึ้นอยู่กับเฟสของสัญญาณขับ-

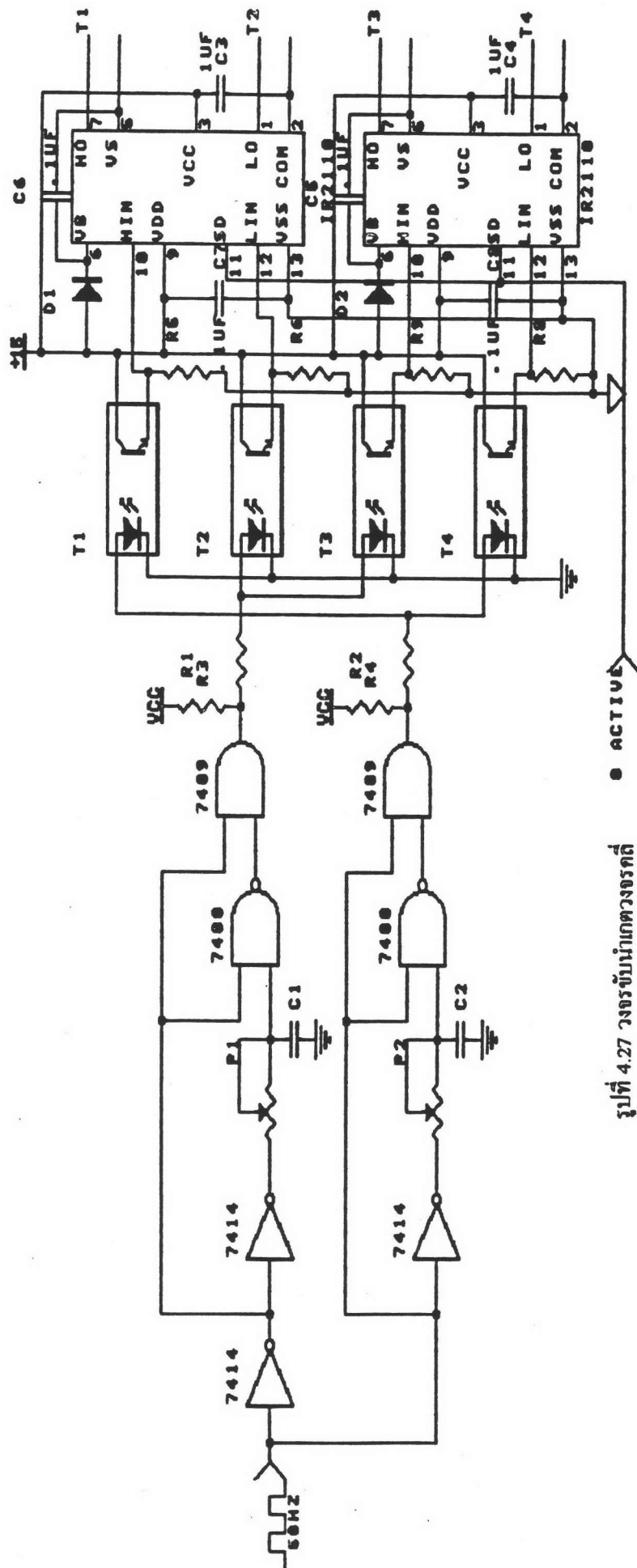
นำระหว่างสองวงจร EPROM จะเกิดการมอดูเลตที่ครรรชนีการมอดูเลตต่างๆ ครรรชนีการมอดูเลตจะถูกเลือกโดยแรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผันแรงดันไฟตรงนี้ถูกถอดทอนแล้วป้อนให้แก่วงจร A/D ซึ่งป้อนสัญญาณให้แก่วงจรเลือกข้อมูล สัญญาณขั้วนำเกตที่ได้จากวงจรในรูปที่ 4.24 จะผ่านการแยกโคค (Isolation) โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto Coupler) เบอร์ 6N137 ส่วนที่ต่อโดยตรงกับขาเกตของ IGBTs ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ของวงจรกึ่งบริดจ์ทั้งสองใช้ไอซีขั้วนำของ IR เบอร์ 2110 ซึ่งเป็นไอซีขั้วนำสำหรับวงจรกึ่งบริดจ์ (รายละเอียดภาคผนวก ก.) และใช้ได้กับแรงดันที่สูงถึงประมาณ 500 โวลต์ วงจรขั้วนำเกตของวงจรกึ่งบริดจ์แต่ละชุดแสดงดังรูปที่ 4.26

### วงจรขั้วนำเกตของวงจรถลี้

วงจรถลี้เป็นวงจรถลี้เต็มซึ่งใช้สวิทช์ T1 ถึง T4 โดยที่สวิทช์ T1 และ T4 ทำงานสลับกับ T2 และ T3 สัญญาณควบคุมได้จากวงจรถรวจจับศูนย์จากแรงดันไซน์สายกำลังและนำสัญญาณที่ได้ไปขั้วนำสวิทช์ตามวงจรในรูปที่ 4.27 แรงดันไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรถลี้คือ  $V_s(t)$  ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าสวิทช์ตัดต่อวงจรถลี้แรงดันศูนย์



รูปที่ 4.26 วงจรขั้วนำถ่วงแรงเปลี่ยนพัลส์ไบแทนซ์อนุกรมคู่



รูปที่ 4.27 วงจรขั้วนำเกตวงจรคัลด์