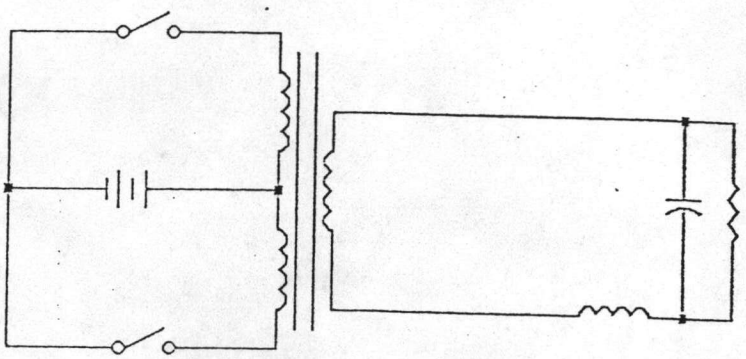
บทที่ 6

วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้แก่โหลด ซึ่งในขณะที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ วงจรอินเวอร์เตอร์จะรับกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนในกรณีที่วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถจ่ายกำลังให้แก่วงจรอินเวอร์เตอร์ได้ อันเนื่องมาจากไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเกิดขัดข้อง หรือเกิดจากการทำงานผิดพลาดของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง วงจรอินเวอร์เตอร์จะรับกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ผ่านทางวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อยกระดับจากแรงดันแบตเตอรี่มาเป็นระดับแรงดันที่เท่ากับแรงดันด้านเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์แทน

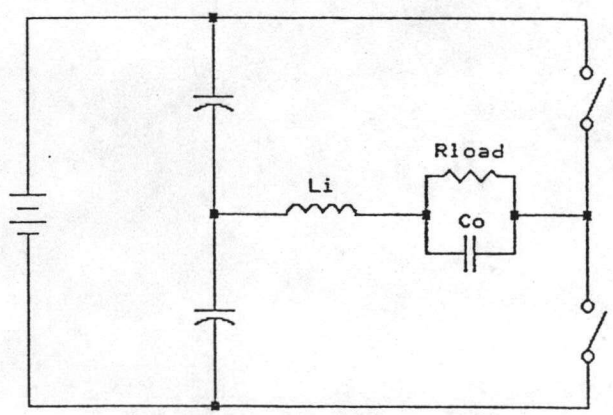
วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่ มีอยู่หลายโครงสร้างด้วยกัน เช่น วงจรบริดจ์ วงจรกึ่งบริดจ์ วงจรพุชพูล ซึ่งแต่ละวงจรก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปดังนี้คือ

วงจรพุชพูลมีโครงสร้างดังรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่จะต้องใช้หม้อแปลงถึงสองชด ทำให้หม้อแปลงมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก มีแรงดันยอดแหลม (spike) เกิดขึ้นในขณะที่มีการตัดต่อสวิตช์ เนื่องจากกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล (leakage inductance) ไม่มีทางที่จะไหล ทำให้ต้องใช้สวิตช์ที่ทนแรงดันได้สูง



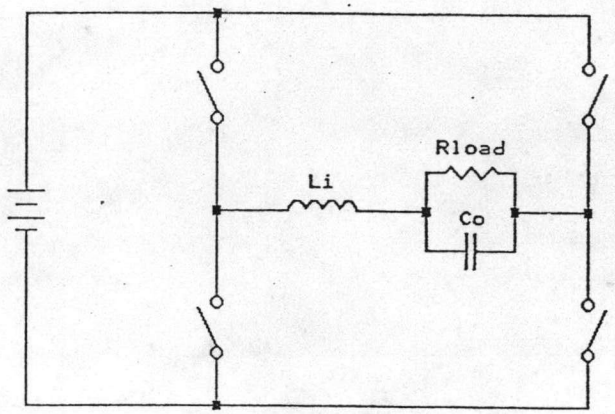
รูปที่ 6.1 วงจรพุชพูล

วงจรกึ่งบริดจ์มีโครงสร้างดังรูปที่ 6.2 วงจรนี้จะมีกระแสไหลเป็นสองเท่าของวงจรบริดจ์เต็ม แต่มีจำนวนวสวิตช์น้อยกว่า จึงทำให้ต้องใช้สวิตช์ที่ทนกระแสได้สูงเป็นสองเท่า เพื่อจะจ่ายพลังงานออกเท่ากับบริดจ์เต็ม



รูปที่ 6.2 วงจรกึ่งบริดจ์

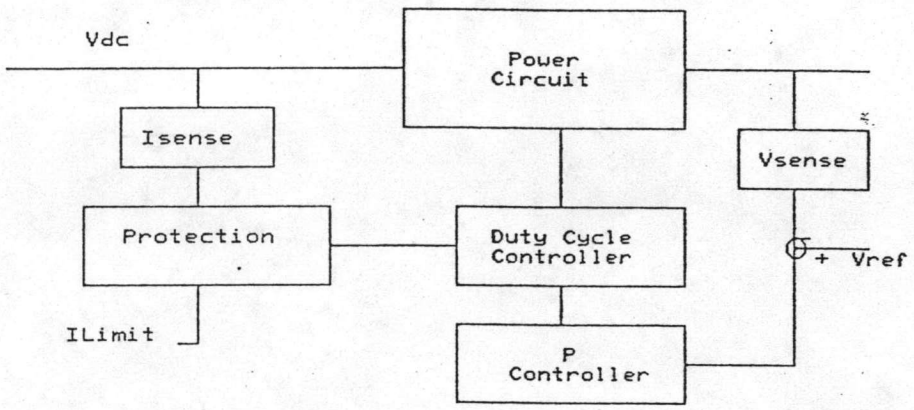
วงจรบริดจ์เต็มมีโครงสร้างดังรูปที่ 6.3 วงจรบริดจ์เต็มจะมีแรงดันคร่อมโหลดเป็นสองเท่าของวงจรกึ่งบริดจ์ ทำให้สามารถใช้สวิตช์ที่ทนกระแสเพียงครึ่งหนึ่งของวงจรกึ่งบริดจ์ แต่ต้องใช้สวิตช์จำนวนมากขึ้น



รูปที่ 6.3 วงจรบริดจ์เต็ม

ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยใช้โครงสร้างของวงจรบริดจ์เต็มมาทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถใช้สวิตช์ที่ทนกระแสต่ำกว่าวงจรอื่น แต่จะใช้สวิตช์มากกว่าวงจรอื่น โดยมีแผนภาพบล็อกการทำงานของวงจรเป็นดังรูปที่ 6.4 ซึ่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง จะถูกแปลงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งพลังงานให้กับโหลด โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ถูกควบคุมโดยการป้อนกลับแรงดันเพื่อให้มีการตัดต่อสวิตช์ โดยผลการเปรียบเทียบแรงดันด้านออกกับแรงดันอ้างอิงรูปไซน์ แรงดัน PWM จะถูกกรองให้เรียบโดยวงจรกรอง LC ส่วนวงจรในส่วนป้องกันกระแสเกิน จะป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับสวิตช์ อันเนื่องมาจากมีกระแสไหลในวงจรมากเกินไป คือเมื่อมีกระแสไหลในวงจรมากเกินไป วงจรป้องกันกระแสเกินจะสั่งให้วงจรอินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน และอินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานใหม่

ก็ต่อเมื่อได้มีการรีเซ็ทสัญญาณดังกล่าวก่อน



รูปที่ 6.4 แผนภาพบล็อกของวงจรอินเวอร์เตอร์

6.1 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยจะมีการทำงานเป็นแบบสวิตชิงที่มีการควบคุมการสวิตช์แบบ PWM ดังนั้น รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของการสวิตช์ จึงต้องมีวงจรกรองเพื่อทำหน้าที่กรองความถี่ของการสวิตช์ออก ให้เหลือแต่เฉพาะความถี่มูลฐานของอินเวอร์เตอร์ วงจรกรองที่ใช้ ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ต่อเป็นวงจรกรองผ่านต่ำ โดยมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ระหว่างความถี่ต่ำสุดของการสวิตช์กับ

ความถี่หลักมูล 50 Hz ถ้าความถี่ต่ำสุดของการสวิตช์มีค่าประมาณ 10 kHz ดังนั้น จะเลือกความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของความถี่มูลฐาน กับความถี่ของการสวิตช์ (เจิดกุล โสภาวนิตย์, 2532)

$$\text{ความถี่เรโซแนนซ์} = \sqrt{(50 \times 10{,}000)}$$

$$= \sqrt{(500{,}000)}$$

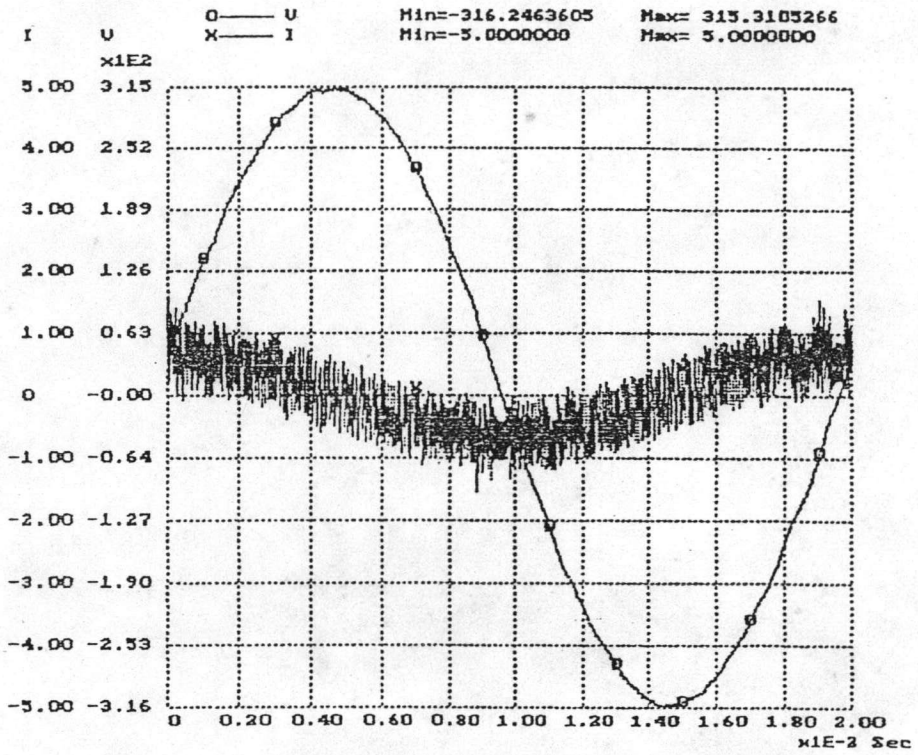
$$= 707 \text{ เฮิรตซ์}$$

$$\text{แต่ความถี่เรโซแนนซ์} = 1/(2\pi(\sqrt{LC})$$

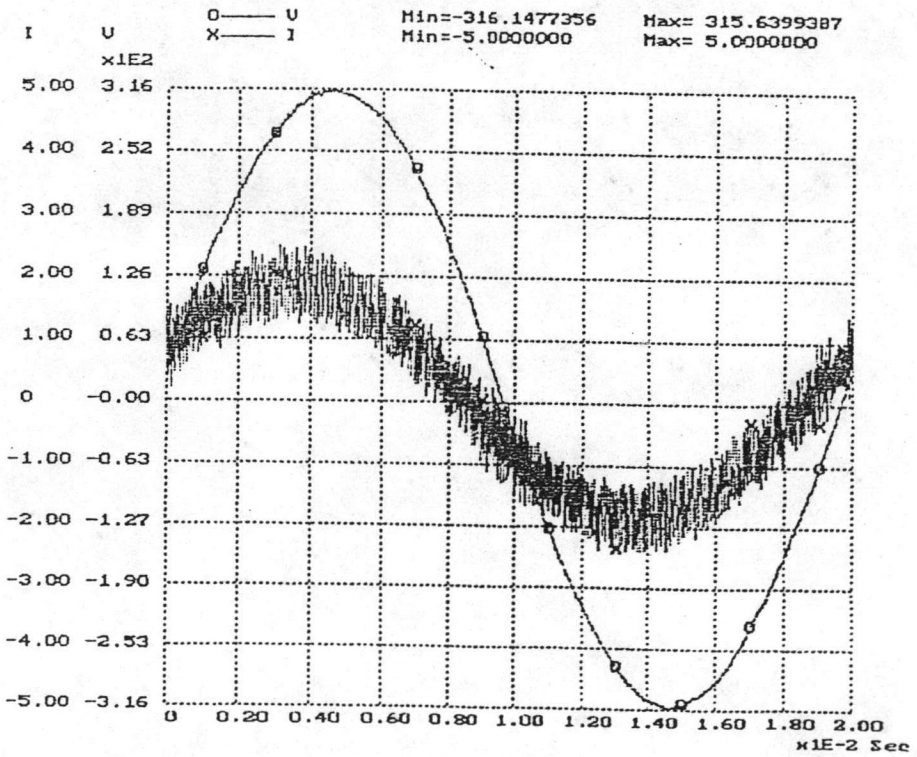
$$\text{ดังนั้น} \quad LC = 1/(500{,}000 \times 4\pi^2)$$

$$= 5.07 \times 10^{-8} \quad s^2$$

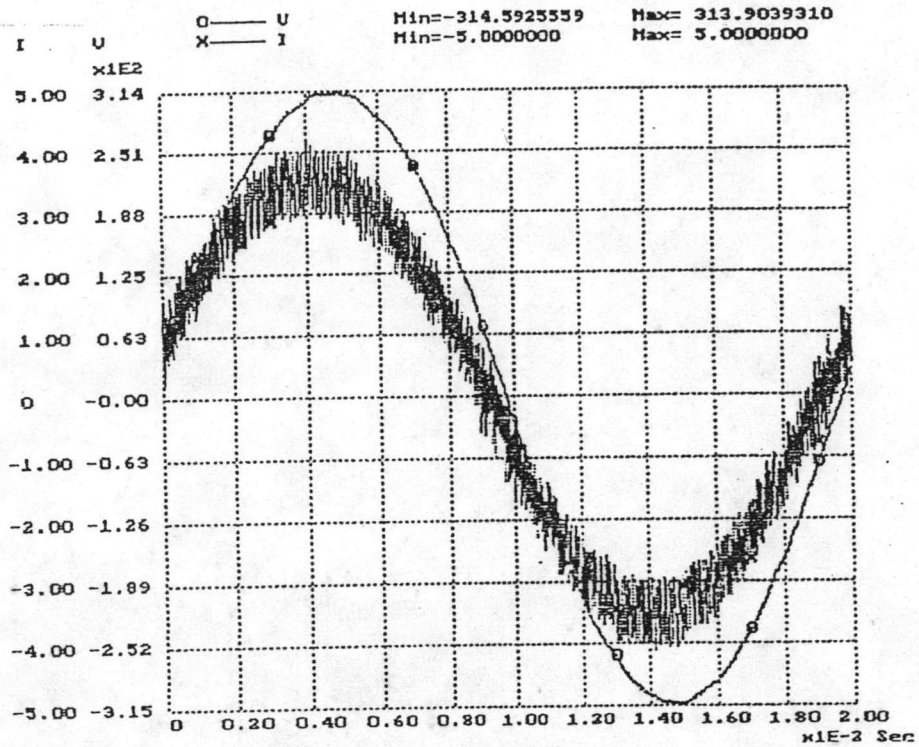
เพื่อไม่ให้ค่าระลอกของกระแสมากเกินไป และวงจรกรองไม่ใหญ่เกินไปจึงเลือกค่าความเหนี่ยวนำ L = 10 mH ซึ่งจะได้ค่าตัวเก็บประจุ C = 5.07 uF นำค่าที่ได้ไปทำการซีมูเลตการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม LEK (เอกชัย ลีลารัศมี , 2525) รูปที่ 6.5-รูปที่ 6.10 เป็นรูปแสดงผลของการซีมูเลตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่เป็นวงจรบริดจ์เต็มดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจากการซีมูเลตจะเห็นว่ารูปคลื่นของแรงดันและกระแสเป็นรูปไซน์ และวงจรสามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปลี่ยนโหลดอย่างกะทันหัน



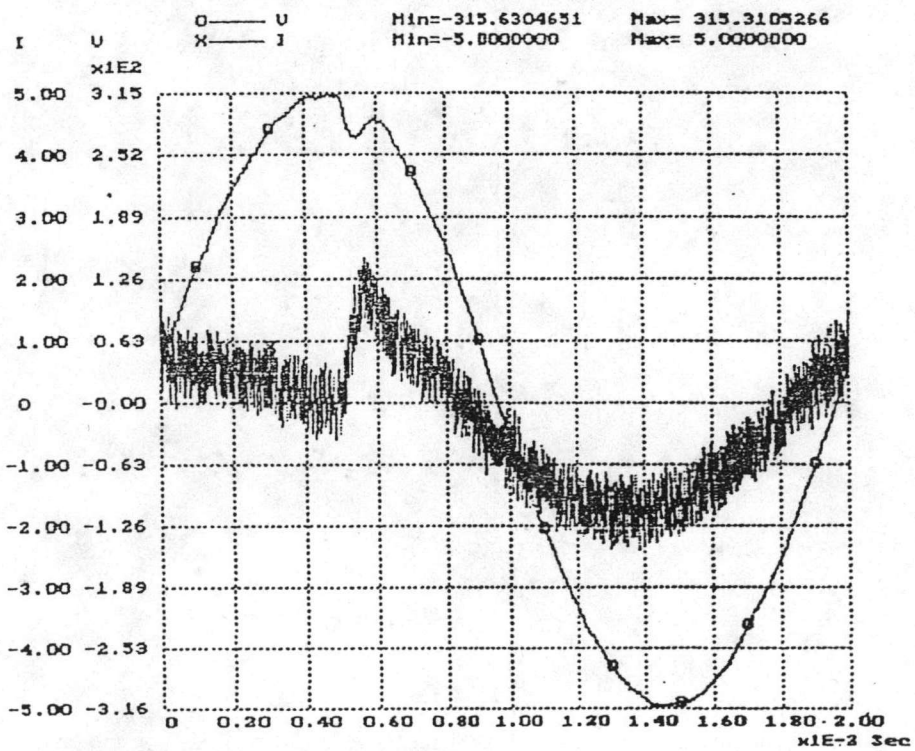
รูปที่ 6.5 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลด 0% (ซีมูเลต)



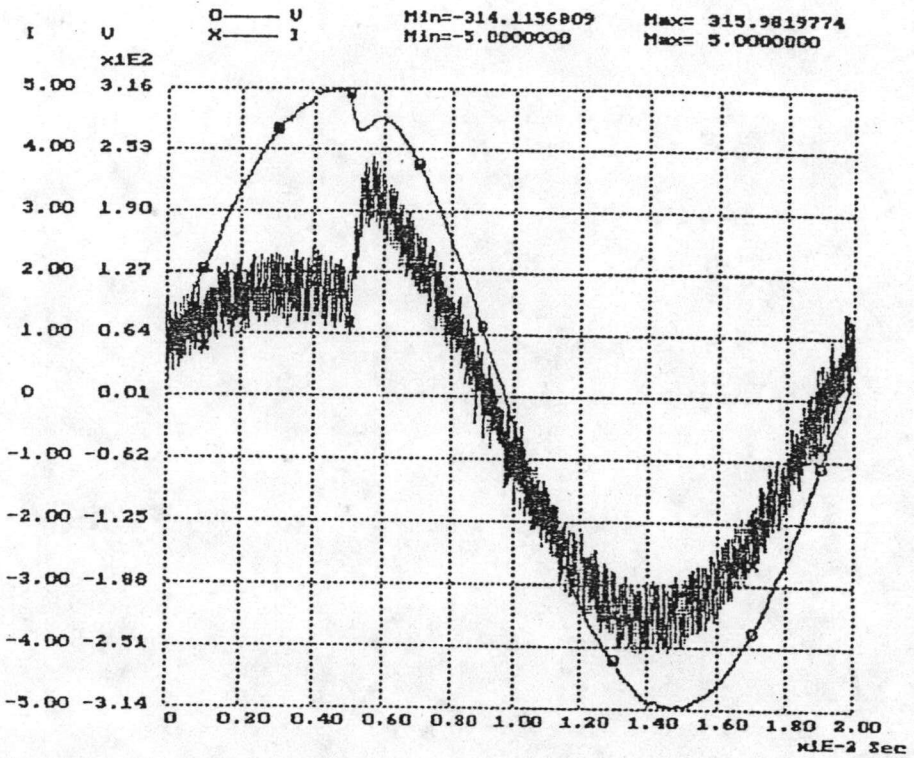
รูปที่ 6.6 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลด 50% (ซีมูเลต)



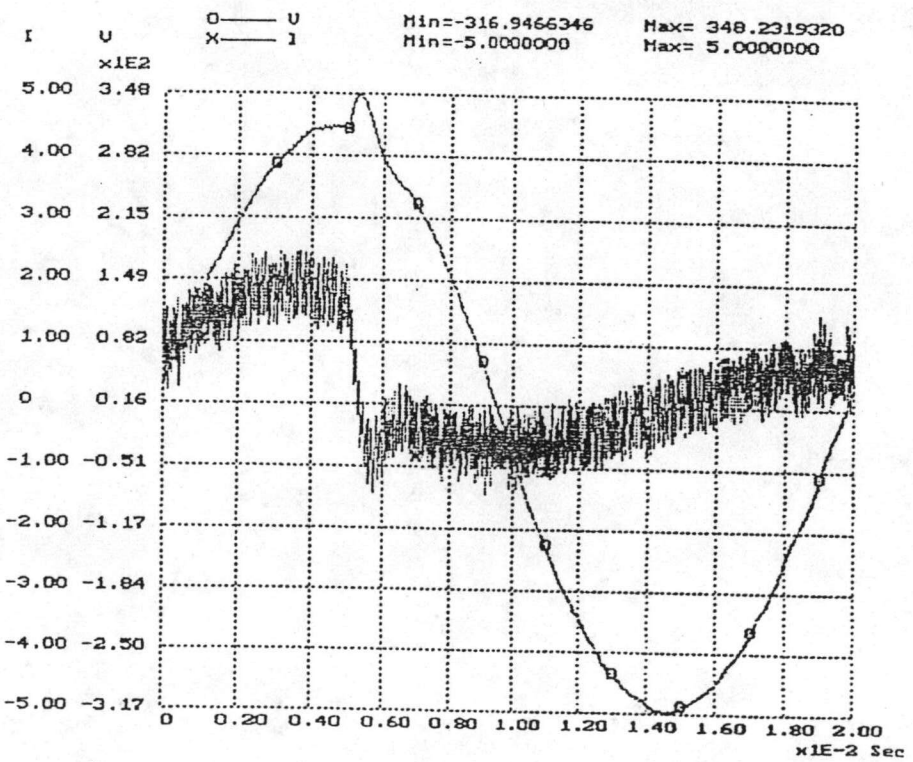
รูปที่ 6.7 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ
ของวงจรอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลด 100% (ชีมูเลต)



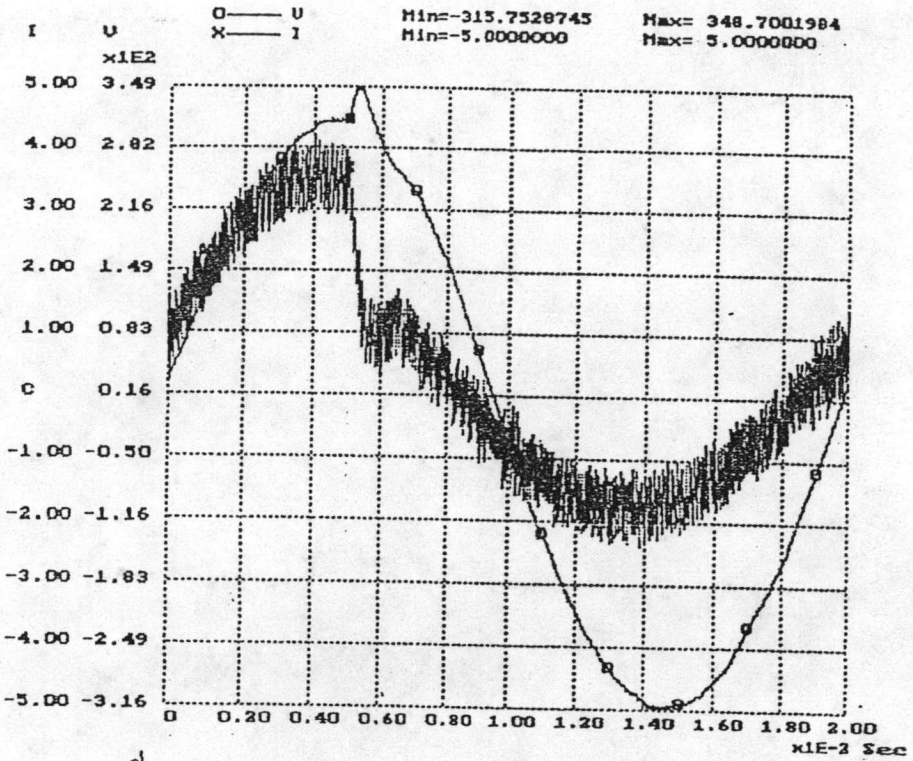
รูปที่ 6.8 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ
ของวงจรอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนโหลด 0%-50% (ชีมูเลต)



รูปที่ 6.9 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนโหลด 50%-100% (ชีมูเลต)



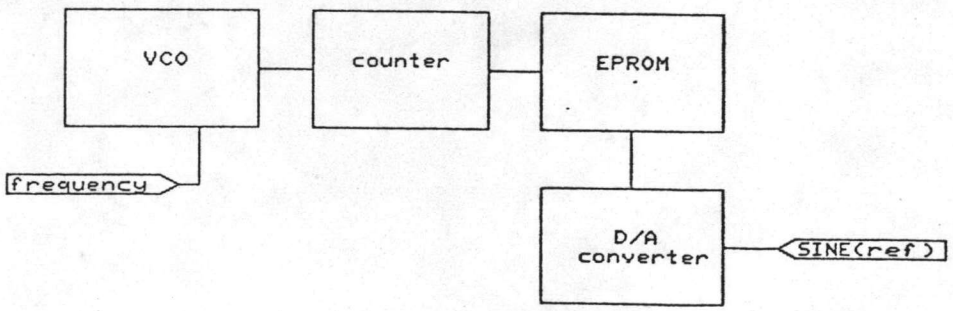
รูปที่ 6.10 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนโหลด 50%-0 (ชีมูเลต)



รูปที่ 6.11 แรงดันขาออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ
ของวงจรอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนโหลด 100%-50% (ซีมูเลต)

6.2 วงจรกำเนิดคลื่นรูปไซน์

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณไซน์ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อสร้างแรงดันขาออกของ UPS โดยสัญญาณนี้จะมีความถี่ 50 เฮิรตซ์



รูปที่ 6.12 แผนภาพบล็อกวงจรกำเนิดคลื่นไซน์

หลักการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์อ้างอิงคือ วงจร VCO จะกำเนิดความถี่ตามที่กำหนด เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรนับ แล้วนำสัญญาณออกของวงจรนับมาเป็นสัญญาณขาเข้าของ EPROM สัญญาณขาออกของ EPROM จะถูกเปลี่ยนเป็นรูปไซน์โดยวงจร D/A แต่เนื่องจากในการเก็บข้อมูลลงในวงจร EPROM จะมีค่าเป็นบวกเพียงอย่างเดียว จึงต้องโปรแกรม EPROM เป็นฟังก์ชัน 1+cosine แล้วทำการตัดแรงดันไฟตรงออก EPROM ที่จะใช้เป็นเบอร์ 2764 ซึ่งมีหน่วยความจำ 512 ไบต์ และมีรหัสขาเข้า 9 บิตจากวงจรนับ

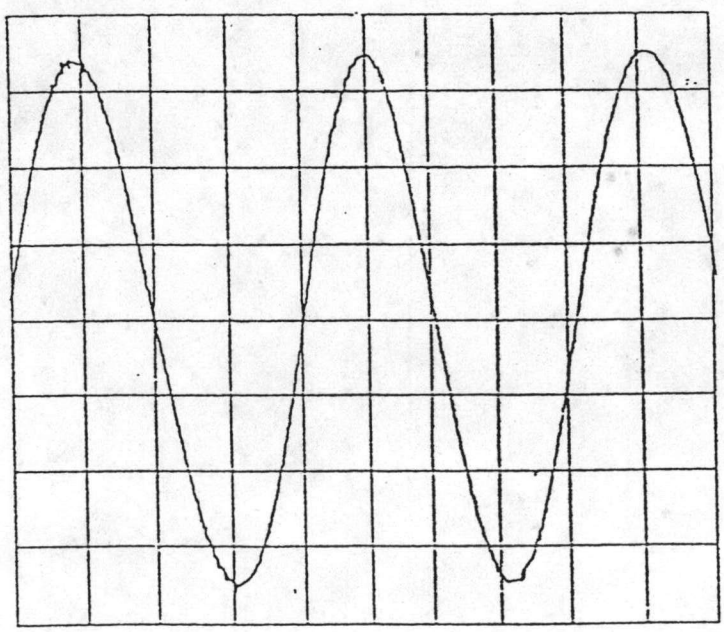
ตำแหน่งข้อมูล (X) จะแปรจาก 0 ถึง 511 ดังนั้น

มุม θ = X x 360/512

รหัสขาออกของ EPROM มี 8 บิต ข้อมูล (Y) จะแปรจาก 0 ถึง 255 ดังนั้น

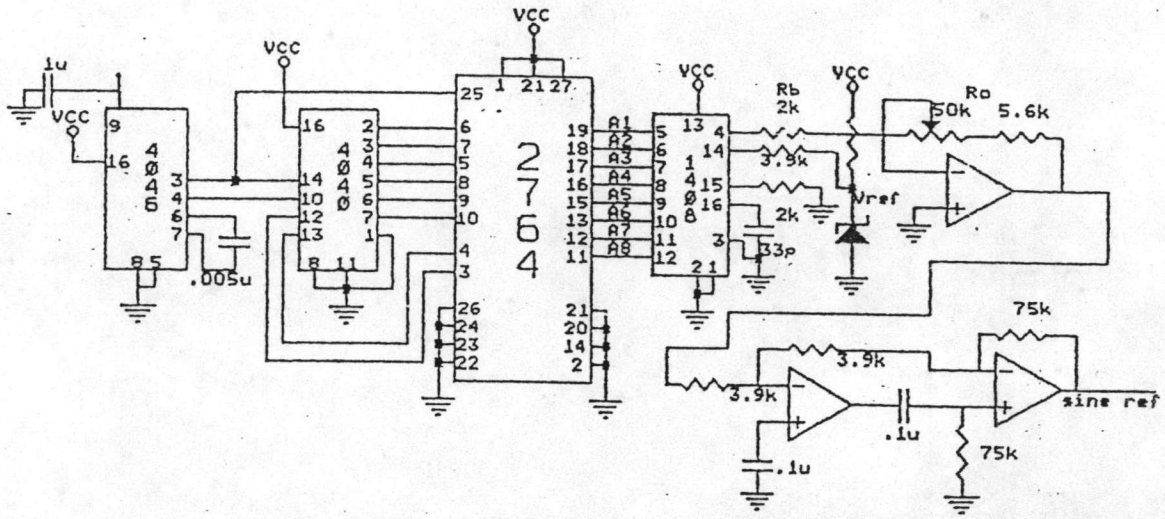
Y = (1+cosθ) x 255/2

จากการทดสอบวงจร สัญญาณรูปไซน์ที่สร้างขึ้นมีค่าความเพี้ยนต่ำและมีความถี่ 50 Hz ตามที่ได้ออกแบบไว้ รูปของสัญญาณไซน์ที่สร้างขึ้นเป็นดังรูปที่ 6.13 และวงจรกำเนิดคลื่นไซน์แสดงอยู่ในรูปที่ 6.14



รูปที่ 6.13 คลื่นรูปไซน์ที่สร้างขึ้น

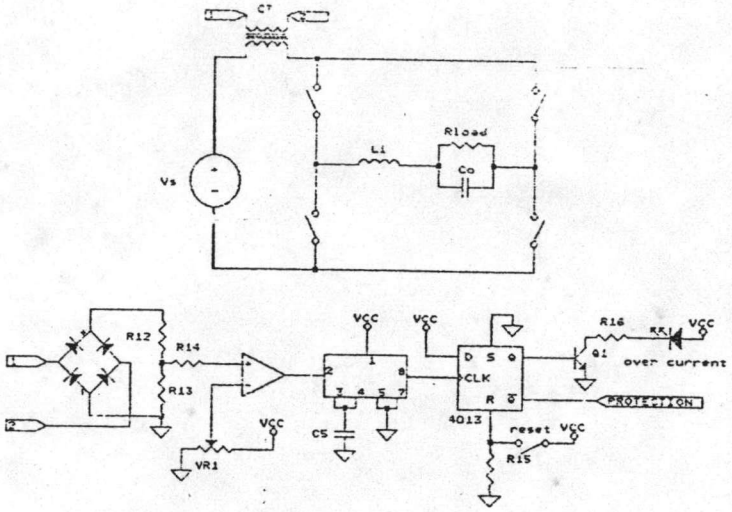
(แรงดัน 2 V/cm , เวลา 5 ms/cm)



รูปที่ 6.14 วงจรกำเนิดคลื่นไซน์

6.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน

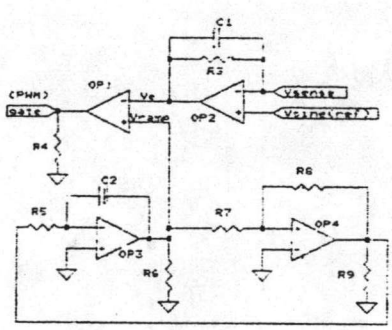
วงจรป้องกันกระแสเกิน จะทำการวัดขนาดของกระแสด้านเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงโดยใช้ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบ สัญญาณออกของออปแอมป์จะนำไปเข้าที่ขา 2 ของไอซีเบอร์ 3423 ซึ่งถ้ากระแสที่วัดมา มีขนาดมากกว่ากระแสอ้างอิงเป็นเวลานานกว่าเวลาที่กำหนดด้วย C_s ไอซีเบอร์ 3423 จะส่งสัญญาณไปที่ขา clock ของฟลิปฟลอปๆจะส่งสัญญาณไปปิดสัญญาณขับนำสวิตช์ของวงจรภาคกำลัง ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน และวงจรอินเวอร์จะเริ่มทำงานอีกเมื่อมีสัญญาณมารีเซ็ทที่ขา reset ของฟลิปฟลอป แต่ในสภาวะปกติวงจรป้องกันกระแสเกินจะยอมให้สัญญาณขับนำสวิตช์ผ่านไปได้ วงจรป้องกันกระแสเกินนี้มีลักษณะดังในรูปที่ 6.15



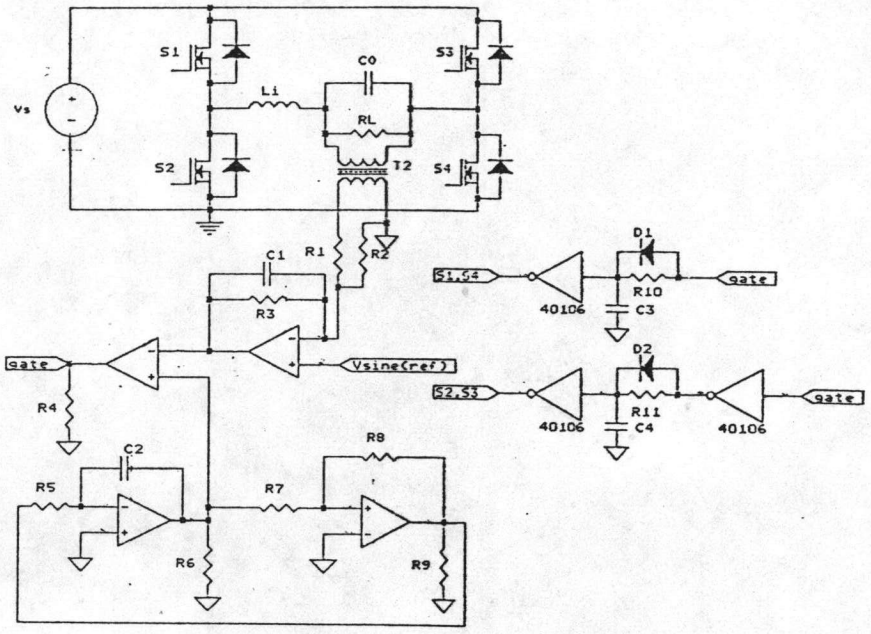
รูปที่ 6.15 วงจรป้องกันกระแสเกิน

6.4 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM

วงจรจะทำการกำเนิดสัญญาณ PWM ที่จะนำไปขับน่าสวิตช์ เพื่อที่จะทำให้ได้แรงดันออกที่เป็นสัญญาณไซน์สัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจะมีค่าวัฏจักรงานเป็นฟังก์ชันของไซน์ และค่าวัฏจักรงานจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ค่าต่ำสุดถึงสูงสุด (0% - 100%) ซึ่งค่าวัฏจักรงานนี้จะถูกกำหนดโดยค่าความคลาดเคลื่อนจากวงจรคุมค่าแบบ P กับสัญญาณฟันเลื่อยที่สร้างโดยใช้ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบ วงจรในส่วนนี้เป็นดังรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.16 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM



รูปที่ 6.17 วงจรรวมของวงจรอินเวอร์เตอร์