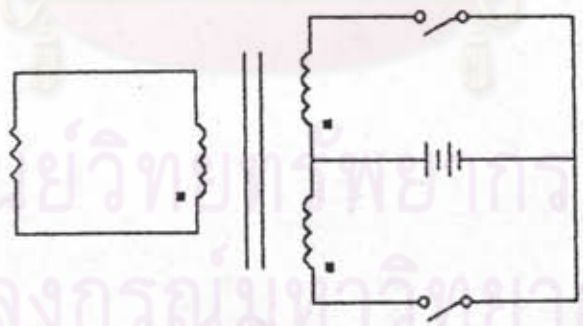
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
อินเวอร์เตอร์

เมื่อวงจรแปลงผันสองทิศทาง ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหลด เมื่อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเกิดผิดปกติ การทำงานของวงจรในลักษณะนี้เราเรียกว่า อินเวอร์เตอร์

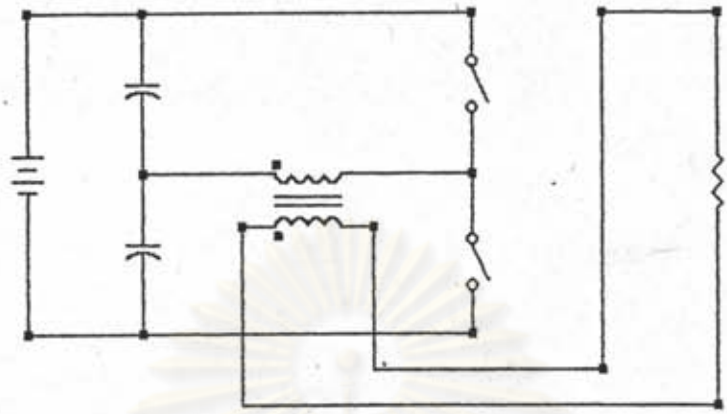
อินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันมีหลายโครงสร้าง เช่น บริดจ์เต็ม กึ่งบริดจ์ พุชพุล ในแต่ละโครงสร้างมีลักษณะและคุณสมบัติที่ดีหรือเสียดังนี้

โครงสร้างของวงจรพุชพุลเป็นดังรูปที่ 3.1 วงจรนี้จะต้องใช้ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง 2 ขด ทำให้ต้องใช้หม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ และน้ำหนักเพิ่มขึ้น มีสไปก์แรงดันสูงเกิดขึ้นในขณะที่มีการตัดสวิตช์ เนื่องจากกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล(leakage inductance) ไม่มีทางไหล ทำให้ต้องใช้สวิตช์ที่ทนแรงดันได้สูง



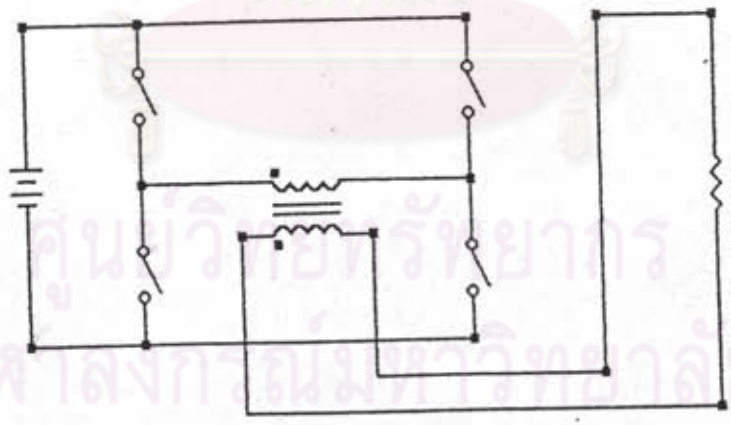
รูปที่ 3.1 วงจรพุชพุล

โครงสร้างของวงจรกึ่งบริดจ์เป็นดังรูปที่ 3.2 วงจรนี้สามารถที่จะลดขนาดของหม้อแปลงได้เมื่อเทียบกับวงจรพุชพุล แต่แรงดันตกคร่อมหม้อแปลง(เพื่อส่งผ่านพลังงานไปยังโหลด) มีค่าครึ่งเดียวของไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจะต้องใช้สวิตช์กระแสสูง เพื่อจ่ายพลังงานออกเท่ากัน



รูปที่ 3.2 วงจรกึ่งบริดจ์

โครงสร้างของวงจรบริดจ์เต็มเป็นดังรูปที่ 3.3 วงจรนี้ใช้หม้อแปลงขนาดเดียวกับวงจรกึ่งบริดจ์ แต่แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงเป็น 2 เท่าของวงจรกึ่งบริดจ์ ทำให้สามารถใช้สวิตช์ที่ทนกระแสเพียงครึ่งหนึ่งของวงจรกึ่งบริดจ์ แต่ต้องใช้สวิตช์จำนวนมากขึ้น



รูปที่ 3.3 วงจรบริดจ์เต็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับการนำวงจรแปลงผันสองทิศทางที่มีโครงสร้างดังที่กล่าวมาแล้ว มาทำหน้าที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ จะมีคุณสมบัติที่มีข้อดีข้อเสียต่างจากวงจรอื่นๆดังนี้

<u>เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรพุชพุล</u>

- กระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวรั้งของวงจรสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่เกิดสไปก์แรงดันสูงในขณะที่ทำการตัดสวิตช์ ทำให้ไม่ต้องใช้สวิตช์ที่ทนแรงดันสูงเหมือนวงจรพุชพุล
- หม้อแปลงที่ใช้ ถึงแม้ว่าจะต้องมีขดลวดปฐมภูมิ 2 ขด แต่ก็มีขนาดเท่ากับของวงจรกึ่งบริดจ์หรือเต็มบริดจ์ เนื่องจากการส่งพลังงานในแต่ละครั้งของการสวิตช์ จะส่งผ่านทางขดลวดปฐมภูมิทั้งสองพร้อมกัน คือจะส่งพลังงานครึ่งหนึ่งทางขดลวดปฐมภูมิขดหนึ่ง และส่งผ่านพลังงานอีกครึ่งหนึ่งทางขดปฐมภูมิอีกขดหนึ่ง
-แต่ต้องใช้ตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัว

<u>เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรกึ่งบริดจ์</u>

- วงจรนี้มีโครงสร้างคล้ายวงจรกึ่งบริดจ์ คือ มีตัวเก็บประจุ 2 ตัวและใช้สวิตช์ 2 ตัวแต่แรงดันที่ตกคร่อมหม้อแปลงเพื่อที่จะส่งพลังงานไปยังโหลดมีค่าสูงกว่า 2 เท่า ทำให้สามารถใช้สวิตช์ที่ทนกระแสเพียงครึ่งหนึ่งของวงจรกึ่งบริดจ์
- วงจรกึ่งบริดจ์มีการสูญเสียในสวิตช์มากกว่าเนื่องจากมีกระแสที่สูงกว่า
- แต่วงจรนี้ต้องใช้สวิตช์ที่ทนแรงดันที่สูงเป็น 2 เท่าของวงจรกึ่งบริดจ์

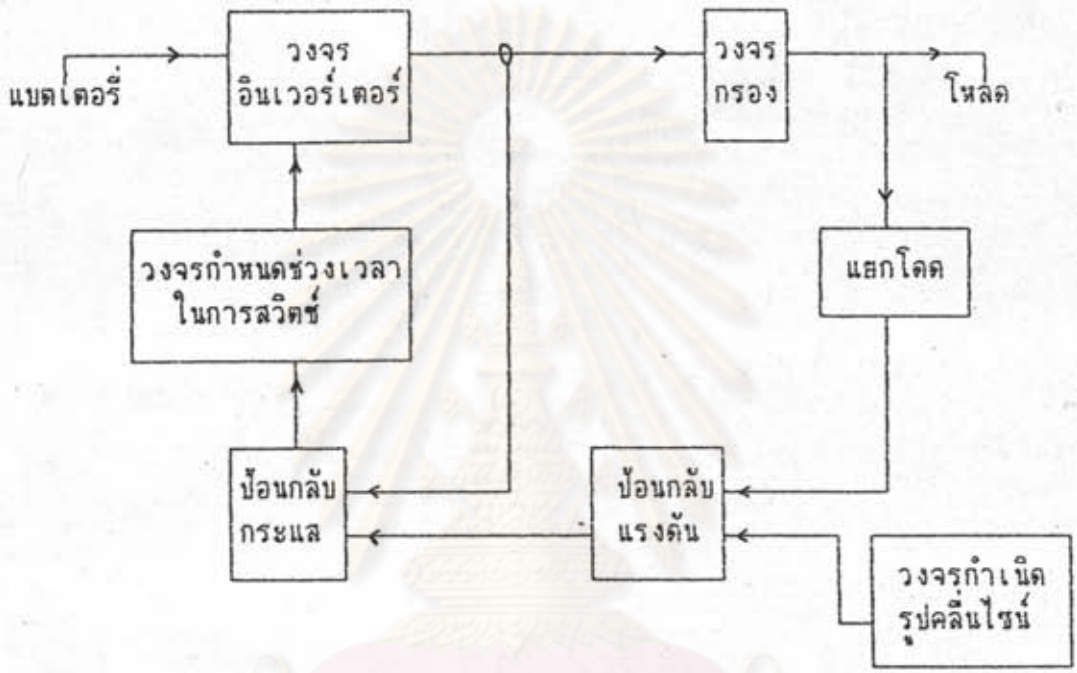
<u>เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรบริดจ์เต็ม</u>

- ใช้สวิตช์น้อยกว่า
- วงจรบริดจ์เต็มมีการสูญเสียในสวิตช์มากกว่า เนื่องจากในแต่ละครั้งของการทำงานวงจรบริดจ์เต็ม จะมีการสูญเสียในสวิตช์ถึง 2 รอยต่อ(junction) แต่ในวงจรนี้จะมีการสูญเสียในสวิตช์เพียง 1 รอยต่อเท่านั้น
- แต่วงจรนี้ต้องใช้สวิตช์ที่ทนแรงดันที่สูงเป็น 2 เท่าของวงจรบริดจ์เต็ม

ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้นำโครงสร้างของวงจรแปลงผันสองทิศทาง มาทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ ซึ่งก็ให้ข้อดีกว่าวงจรอื่นๆหลายประการ โดยมีแผนภาพบล็อกการทำงานของวงจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นดังรูปที่ 3.4 พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งพลังงานให้กับโหลดโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ถูกวงจรควบคุมทำการควบคุมให้มีการตัดต่อสวิตช์ให้เป็นไปตามความต้องการ ในการควบคุมนี้จะมีการควบคุมทั้งแรงดันและกระแส แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ จะถูกกรองให้เรียบโดยวงจรกรอง



รูปที่ 3.4 แผนภาพบล็อกของวงจรอินเวอร์เตอร์

3.1 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำการแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นแบบสวิตชิง ไม่ใช่แบบเชิงเส้น ซึ่งมีการควบคุมแพตเทอร์นการสวิตช์แบบ PWM ดังนั้นรูปคลื่นของแรงดันไฟสลับจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 1.3 จึงจำเป็นต้องนำแรงดันไฟสลับที่ได้ผ่านวงจรกรอง เพื่อให้ได้แรงดันไฟสลับรูปไซน์ตามต้องการ วงจรกรองที่ใช้จะประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ผ่านเป็นวงจรกรองผ่านต่ำ โดยมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ระหว่างความถี่ต่ำสุดของการสวิตช์กับความถี่หลักมูล 50 Hz ถ้าความถี่ต่ำสุดของการสวิตช์มีค่าประมาณ 10 kHz ดังนั้นเราจะเลือกความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับค่าเฉลี่ยเรขาคณิตดังนี้ [เจิดกุล โสภาวนิตย์, 2532]

ความถี่เรโซแนนซ์ $= \sqrt{50 \times 10000}$

$= \sqrt{500000}$ เฮิรตซ์

แต่ความถี่เรโซแนนซ์ $= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

ดังนั้น $LC = \frac{1}{(500000 \times 4\pi^2)}$ วินาที^{2} (3.1)

โดยถ้าสวิตช์ที่ความถี่สูง จะทำให้ฮาร์มอนิกลดลงและวงจรกรองเล็กลง ด้วยอย่างไรก็ตามการสวิตช์ที่ความถี่สูงมากมีข้อที่ต้องคำนึง เช่น การสูญเสียของสวิตช์ที่เพิ่มขึ้น ปัญหาของสัญญาณรบกวนและถ้าความถี่สูงเกินกว่าค่าหนึ่งฮาร์มอนิกก็จะลดลงไม่มาก [K.Heumann and H.Schroder, 1988]

สำหรับการเลือกขนาดของตัวเหนี่ยวนำ ในการทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์นี้ เราไม่สามารถใช้สมการที่ 2.41 เป็นเงื่อนไขในการออกแบบเพียงอย่างเดียวได้ เราจะต้องทำการออกแบบค่าความเหนี่ยวนำ และค่าตัวเก็บประจุ ของวงจรกรอง ให้เป็นไปตามสมการที่ 3.1 ด้วย และนอกจากนี้ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าตัวเก็บประจุของวงจรกรองนี้ จะต้องทำการออกแบบให้ค่ากระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำมีการกระเพื่อมไม่สูงเกินไป แรงดันขาออกความเพี้ยนต่ำและมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างรวดเร็ว โดยที่แรงดันชั่วครู่ จะต้องมีค่าไม่สูงเกินไป จนเป็นอันตรายกับโหลด [IBM System Development Division, 1975] สำหรับการออกแบบนั้นสามารถหาได้ โดยการชีมูเลตวงจรในรูปที่ 3.2 และวงจรควบคุมในข้อถัดไป โดยใช้โปรแกรม LEC[เอกชัย ลีลารัศมี, 2530] พิกัดสูงสุดของสวิตช์ และ VA ของหม้อแปลงก็สามารถหาได้จากผลของการชีมูเลตเช่นกัน

สำหรับการหาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง หาได้โดยการกำหนดค่า modulation ratio (m_a) ที่เหมาะสม โดยที่

$$m_a = \frac{V_m}{V} \qquad (3.2)$$

เมื่อ V_m คือค่ายอดของแรงดันไฟสลับ

V คือแรงดันไฟตรงของแบตเตอรี่

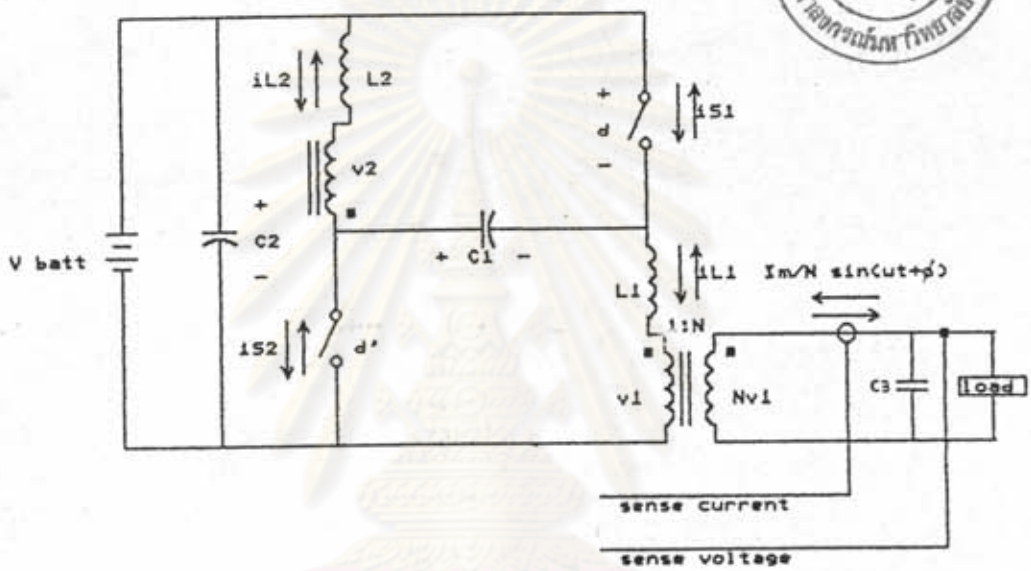
ผลรวมของฮาร์มอนิกที่แรงดันไฟสลับจะมีค่าสูงขึ้นถ้า m_a มีค่าสูงขึ้น ในการออก

I15178821

แบบจะให้มี m_a ไม่เกิน 0.8 และแรงดันต่ำสุดของแบตเตอรี่มีใช้ค่าประมาณ 37 โวลต์

จาก (3.2) $V_1 = 29.6$ โวลต์

จะได้ $N = 10.5$



รูปที่ 3.5 วงจรอินเวอร์เตอร์

นำค่า N แทนลงในวงจรซีมูเลตเพื่อหาค่า L_1 L_2 และ C_3 ในที่สุดค่า L_1 และ L_2 ที่เลือกใช้คือ 0.22 มิลลิเฮนรี และค่า C_3 คือ 3 ไมโครฟารัด 250 โวลต์

สำหรับการออกแบบตัวเก็บประจุ C_1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสมมาตรอีกแหล่งหนึ่ง ควรที่จะมีค่าความจุที่สูง เพื่อที่จะสามารถเก็บและจ่ายพลังงานได้มาก โดยไม่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อมที่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากถ้าตัวเก็บประจุ C_1 นี้มีแรงดันกระเพื่อมที่สูงจะทำให้หม้อแปลงทั้งสองขดทางทุติยภูมิส่งผ่านพลังงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สมมาตรของกระแสผ่านหม้อแปลง ถ้าความไม่สมมาตรนี้มีค่ามาก หรือเกิดขึ้นในภาวะชั่วครู่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อาจทำให้เกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็กของหม้อแปลงได้

ทำการออกแบบค่าตัวเก็บประจุโดยการแทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 2.42 โดยกำหนดให้แรงดันกระเพื่อมสูงสุดมีขนาด 1% ของแรงดันไฟตรงต่ำสุดของตัวเก็บประจุ วงจรมีประสิทธิภาพประมาณ 80%

$$V_{Cmax} = \frac{I_m V_m}{8VC_1 w}$$

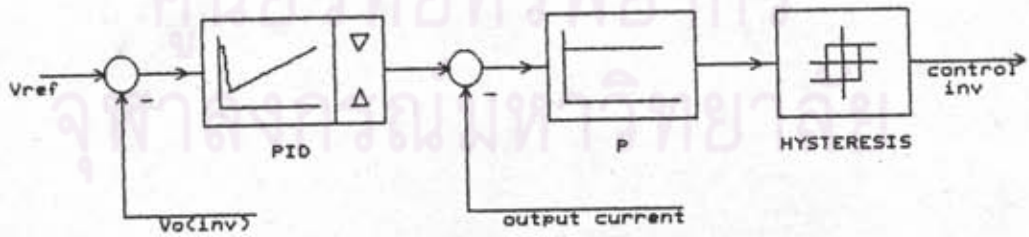
$$C_1 = \frac{42.43x29.46}{8x40x2\pi x50x0.4}$$

$$C = 31,087 \text{ ไมโครฟารัด}$$

เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีความจุ 30000 ไมโครฟารัด ทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่าแรงดันอัดประจุลอยตัวของแบตเตอรี่ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 5

3.2 การออกแบบวงจรภาคควบคุม

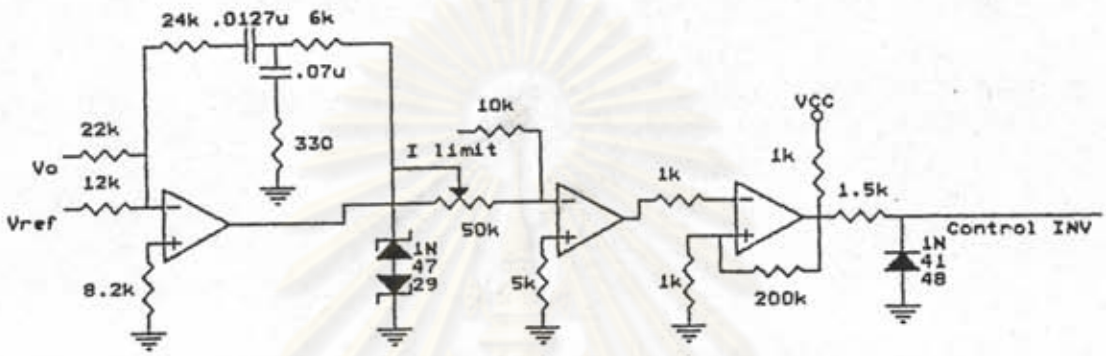
การควบคุมแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ ทำได้โดยการสุ่มแรงดันไฟสลับขาออกผ่านทางหม้อแปลง เพื่อทำการแยกโดด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณคลื่นไซน์อ้างอิงที่ได้จากวงจร PLL ผ่านเข้าวงจรที่ให้แรงดันอ้างอิงนี้มีขนาดค่อยสูงขึ้น เพื่อให้สัญญาณไซน์อ้างอิงค่อยๆ เพิ่มขนาดขึ้น การที่ต้องออกแบบให้สัญญาณมีขนาดค่อยๆเพิ่มขึ้นก็เพราะว่าถ้าให้สัญญาณจาก PLL เข้าไปโดยตรง สัญญาณออกจากเป็นคลื่นรูปไซน์ทันทีที่เดินเครื่อง



รูปที่ 3.6 แผนภาพบล็อกของวงจรภาคควบคุม

อินเวอร์เตอร์ซึ่งจะทำให้หม้อแปลงอิ่มตัวได้ การเปรียบเทียบจะผ่านวงจรคุมค่าแบบ PID แล้วส่งสัญญาณต่อไปเพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยสัญญาณอ้างอิงนี้จะผ่านวงจรจำกัดค่า เพื่อจำกัดค่ากระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่โหลดเกิด

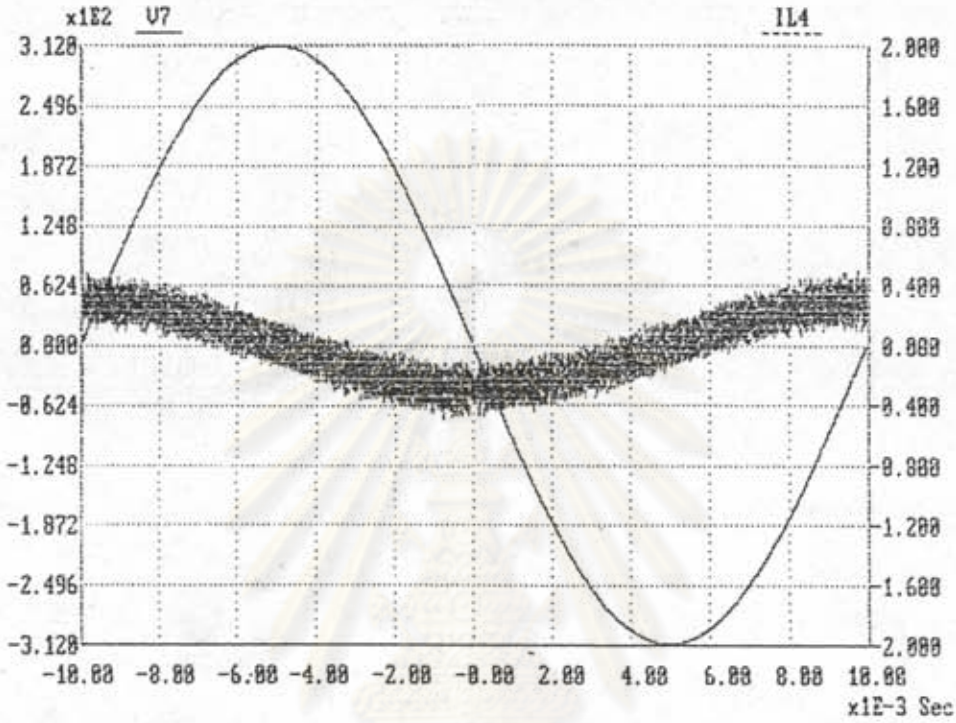
ผิดปกติหรือผู้ใช้ต่อโหลดเกินกำลัง ไม่ให้กระแสเกินค่าที่กำหนด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับวงจรอินเวอร์เตอร์ การเปรียบเทียบกระแสนี้ใช้วงจรคุมค่าแบบ P แล้วนำผลการเปรียบเทียบ มาผ่านวงจรคุมค่าแบบฮีสเตอรีรีส วงจรคุมค่าลักษณะนี้จะทำให้ผลรวมฮาร์มอนิกของแรงดันขาออกมีค่าต่ำ และมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดได้รวดเร็ว [โคทม อารียา, 2531]



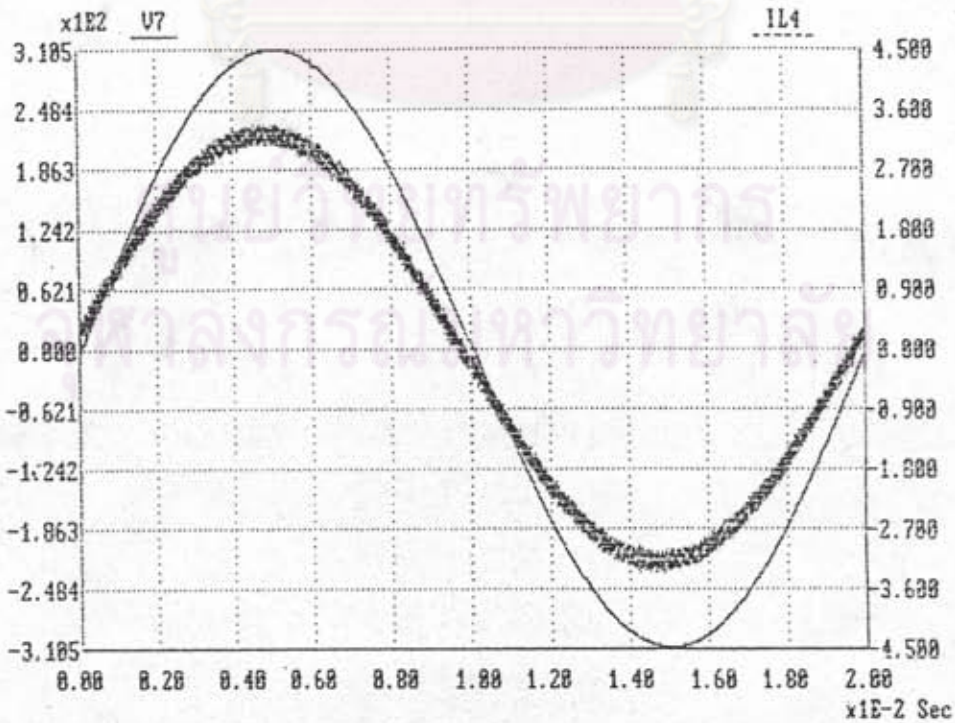
รูปที่ 3.7 วงจรภาคควบคุม

รูปที่ 3.8 ถึง 3.13 เป็นรูปแสดงผลการซิมูเลตของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำการออกแบบ จากผลการซิมูเลต จะสังเกตได้ว่ารูปคลื่นของแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ มีลักษณะเป็นรูปไซน์ ที่มีความเพี้ยนต่ำ ทั้งในภาวะโหลดเต็มที่และภาวะไร้โหลด กระแสผ่านตัวเหนี่ยว L_1 และ L_2 แต่ละตัว จะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ขนาดครึ่งหนึ่งของกระแสโหลด และมีกระแสไฟตรง 5.02 แอมแปร์ เป็นองค์ประกอบ ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำในสมการ 2.38 และ 2.39 สำหรับแรงดันภระเพื่อมของตัวเก็บประจุแสดงในรูปที่ 3.11 จะเป็นรูปไซน์ที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของแรงดันภระเพื่อมในสมการ 2.40 แรงดันภระเพื่อมนี้มีขนาดประมาณ 0.5 โวลต์ สอดคล้องกับที่ได้ออกแบบไว้ อินเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการออกแบบนี้ มีการจำกัดกระแสเมื่อต้องจ่ายกระแสเกินพิกัด ผลการจำกัดกระแสจะทำให้ได้ลักษณะแรงดัน ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นการจ่ายกระแสให้กับวงจรบริดจ์ที่มีค่ายอดของกระแสเกินพิกัดและถูกจำกัดไว้ สำหรับผลการซิมูเลตอินเวอร์เตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 0 - 50% และ 50% - 100% แสดงดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 เพื่อแสดงผลของแรงดันชั่วครู่ขณะเปลี่ยนโหลดและเวลาฟื้นตัว เป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ (ข้อกำหนดระบุว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดไปจากเดิม 50% จะต้องมีแรงดันชั่วครู่ไม่มากกว่า 15% หรือไม่น้อยกว่า 18% และมีเวลาฟื้นตัวที่น้อยกว่า 0.5

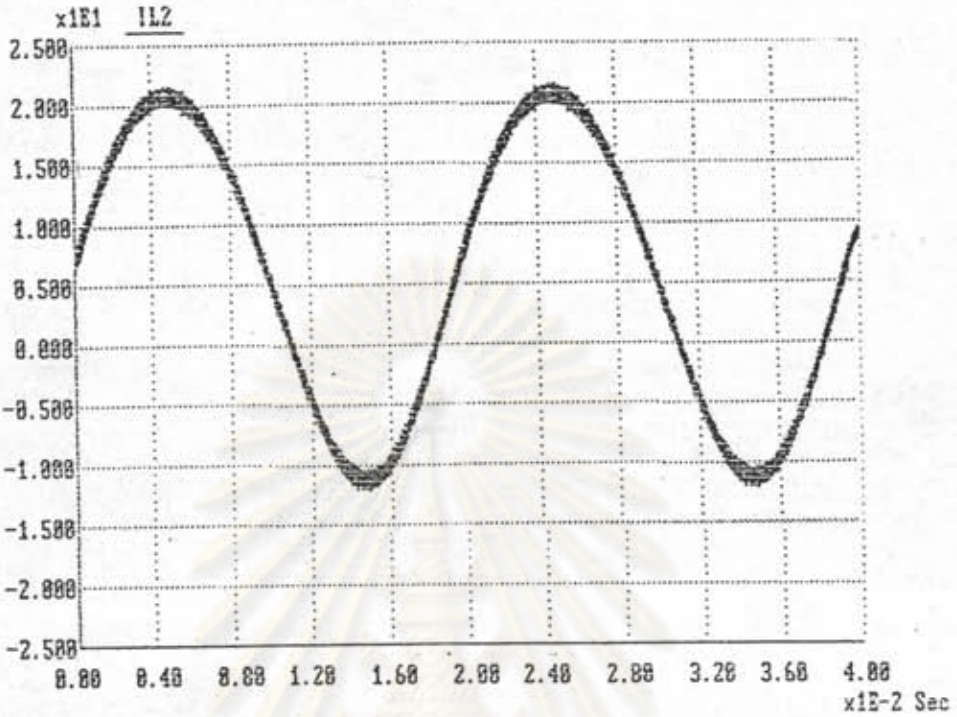
วินาที[IBM System Development Division, 1975] จากผลการซีมูเลตจะเห็นได้ว่า อินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบนี้ มีแรงดันชั่วครู่ในการเปลี่ยนแปลงโหลด 50% น้อยมาก และมีเวลาฟื้นตัวที่รวดเร็วมากภายในเวลา 1 มิลลิวินาที ซึ่งมีผลที่ดีว่าข้อกำหนดมาก



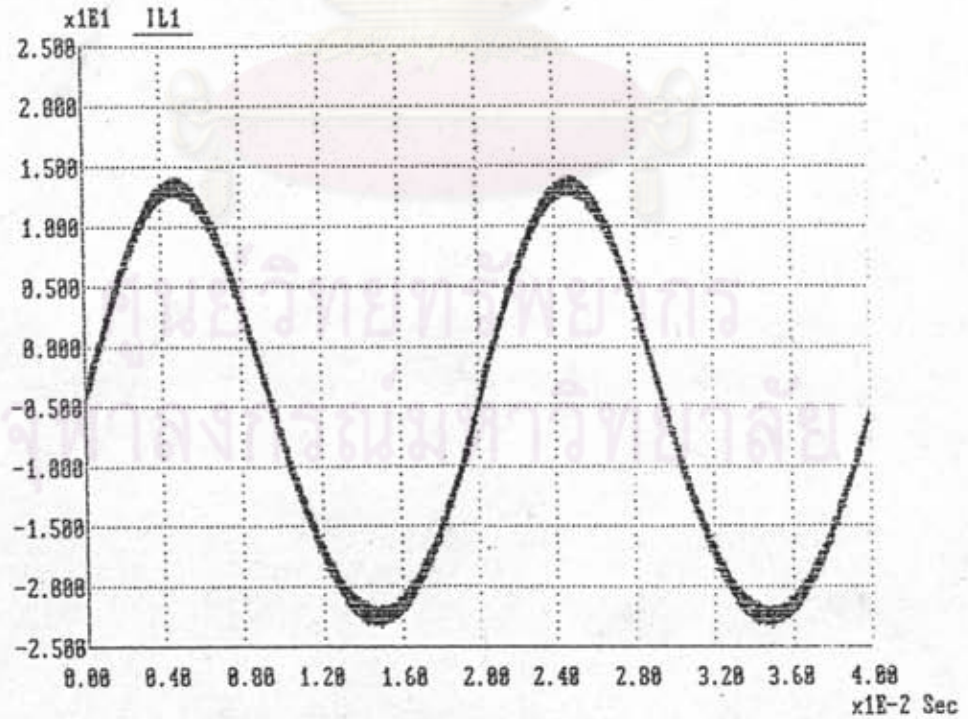
รูปที่ 3.8 แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ในภาวะไร้โหลด(ซีมูเลต)



รูปที่ 3.9 แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลดเต็มที่(ซีมูเลต)

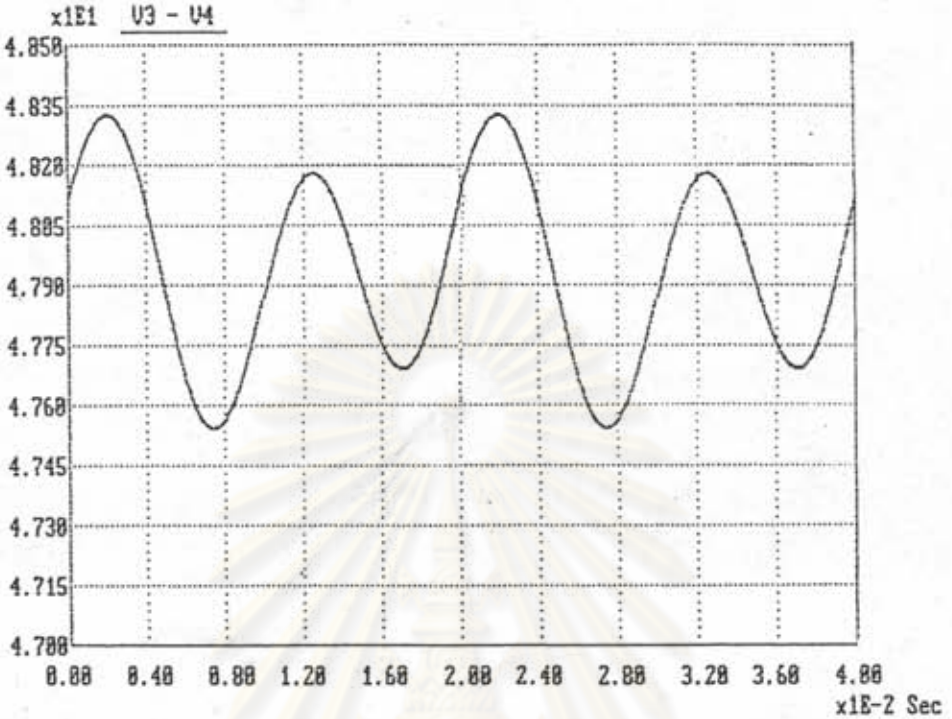


รูปที่ 3.10ก กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1

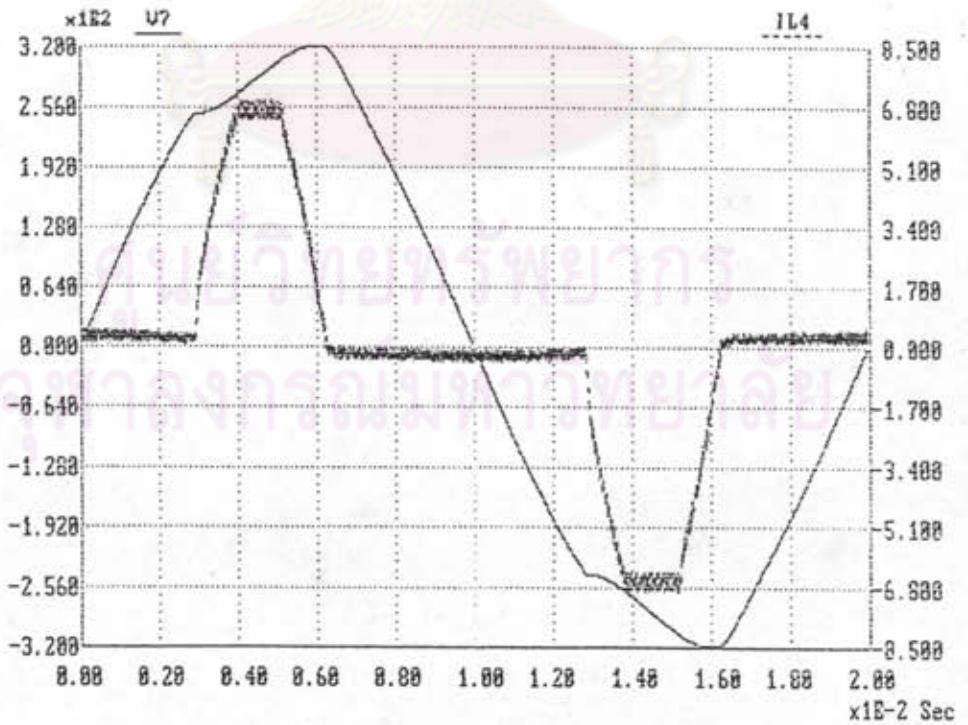


รูปที่ 3.10ข กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_2

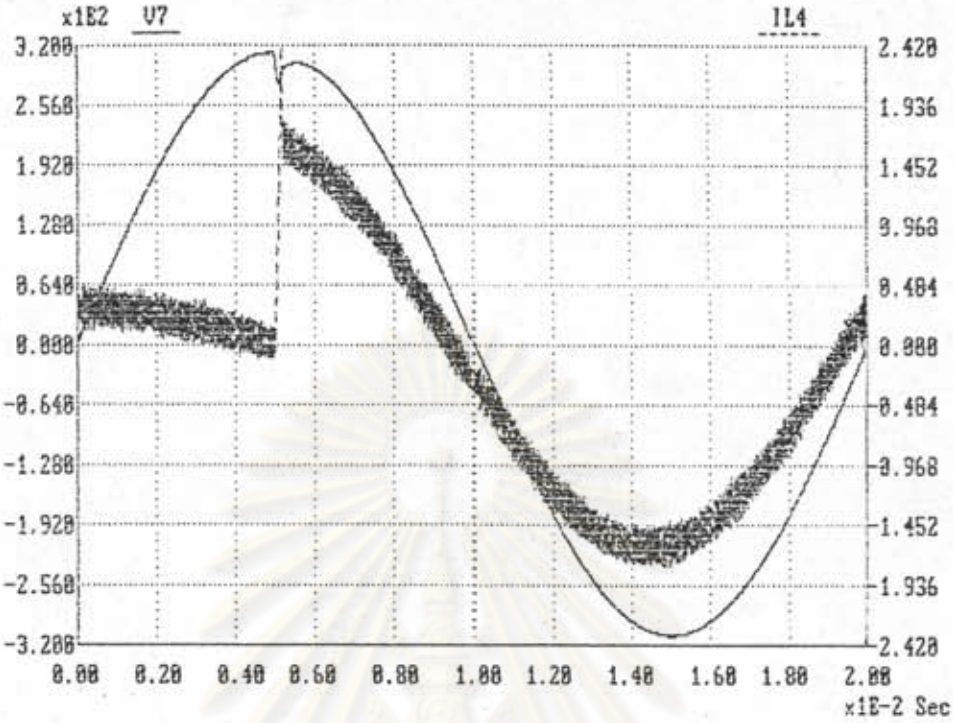
รูปที่ 3.10 กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 (ซีมูเลต)



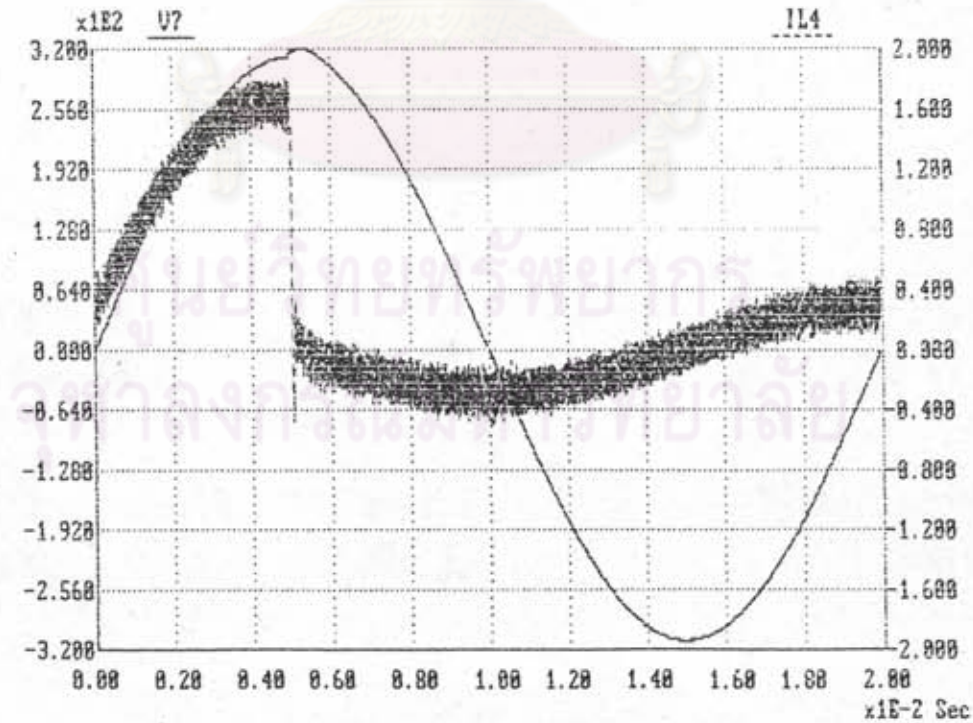
รูปที่ 3.11 แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุ(ซีมูเลต)



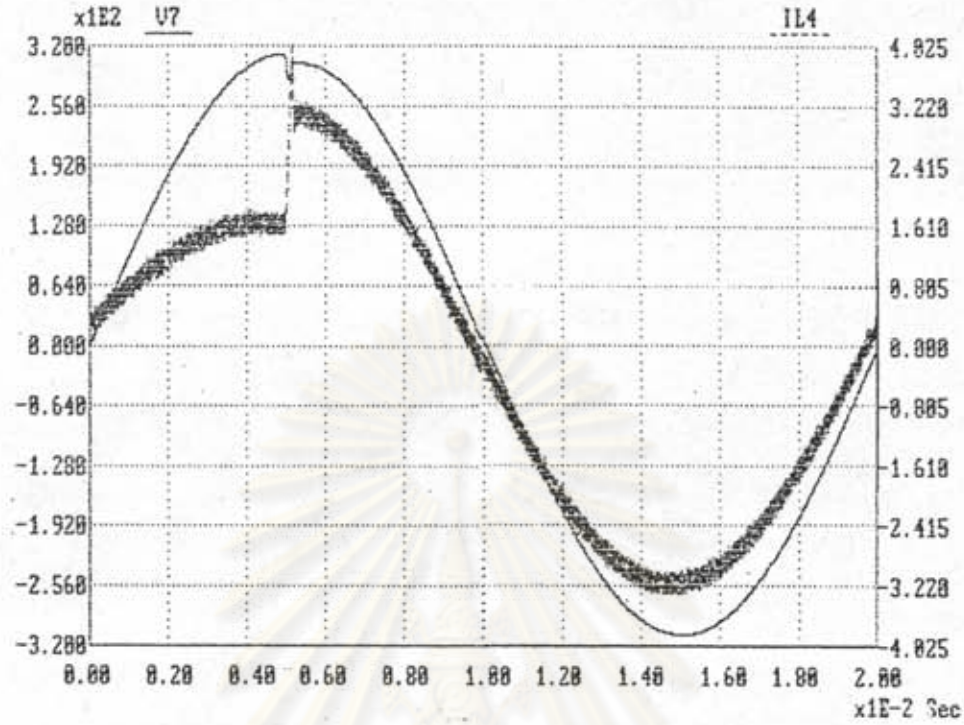
รูปที่ 3.12 แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์เมื่อโหลดเป็นวงจรเรียงกระแสที่มีกระแสค่ายอดสูงกว่าที่กำหนด(ซีมูเลต)



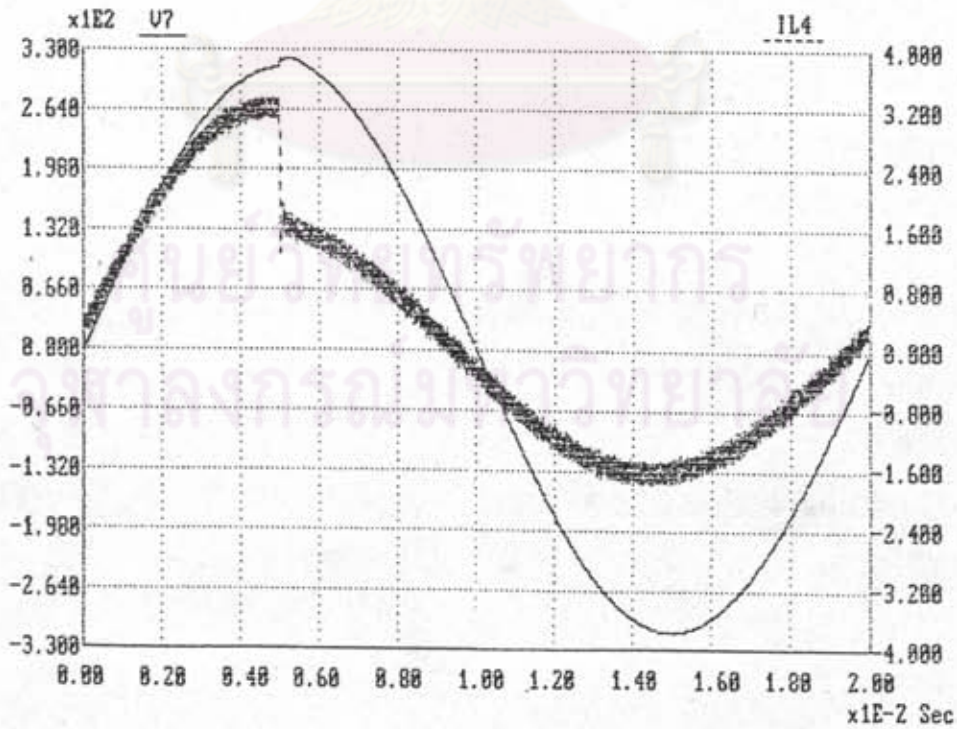
รูปที่ 3.13ก แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์
ขณะเปลี่ยนโหลดจาก 0-50% (ซีมูเลต)



รูปที่ 3.13ข แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์
ขณะเปลี่ยนโหลดจาก 50-0% (ซีมูเลต)



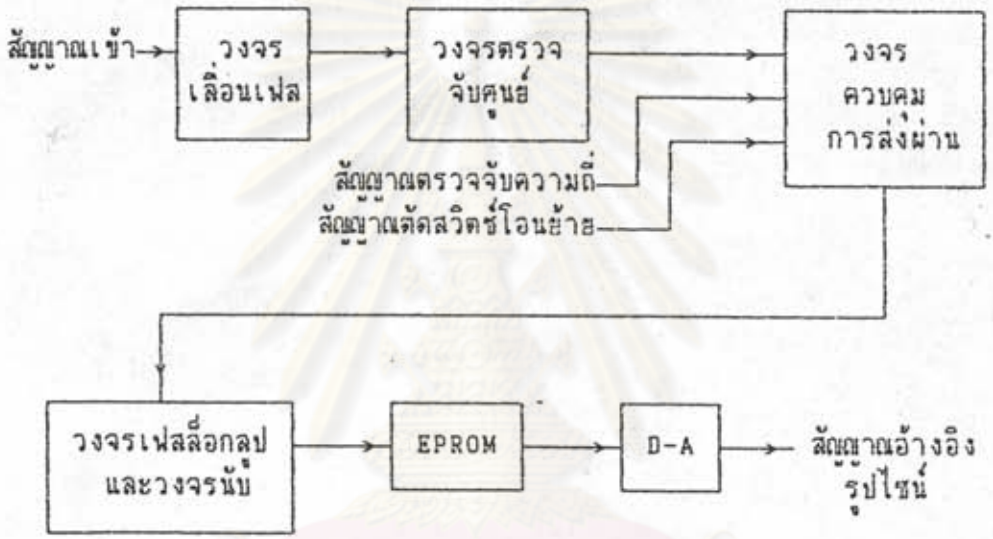
รูปที่ 3.14ก แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์
ขณะเปลี่ยนโหลดจาก 50%-100% (ซีมูเลต)



รูปที่ 3.14ข แรงดันขาออกและกระแสออกของวงจรอินเวอร์เตอร์
ขณะเปลี่ยนโหลดจาก 100%-50% (ซีมูเลต)

3.3 วงจรกำเนิดคลื่นรูปไซน์

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณไซน์ ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อสร้างแรงดันขาออกของ UPS โดยสัญญาณไซน์นี้มีความถี่และเฟส เหมือนกับของแรงดันจากการไฟฟ้า ถ้าหากความถี่ของแรงดันอยู่ในช่วง 48-52 เฮิรตซ์ แต่ถ้าแรงดันจากการไฟฟ้าหายไป หรือมีความถี่ไม่อยู่ในช่วงนี้ วงจรก็จะกำเนิดสัญญาณไซน์ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ขึ้นเอง



รูปที่ 3.15 ส่วนต่างๆของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

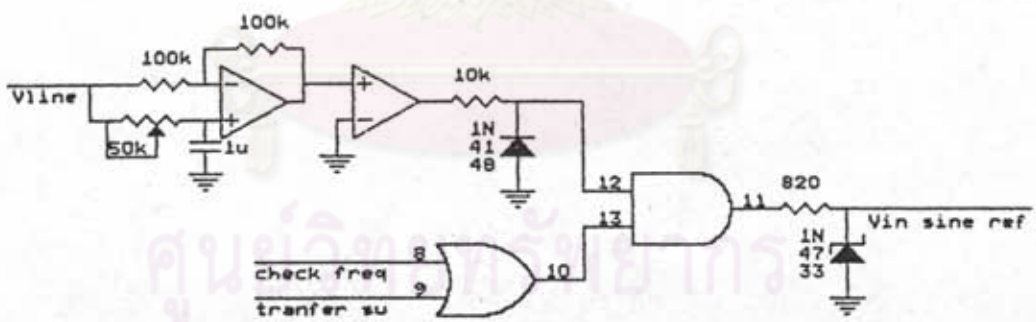
3.3.1 หลักการทำงาน สัญญาณไซน์ซึ่งได้จากการแปลง แรงดันไฟจากการไฟฟ้าลงมาโดยหม้อแปลง จะผ่านเข้าสู่วงจรเลื่อนเฟส แล้วแปลงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมซึ่งสามารถปรับเฟส เพื่อให้วงจรอินเวอร์เตอร์สร้างแรงดันออกที่เฟสตรงกับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้ (ในกรณีที่ไฟจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะปกติ) โดยสัญญาณสี่เหลี่ยมนี้จะถูกควบคุมการส่งผ่าน โดยสัญญาณตรวจความถี่และสัญญาณตัดสวิตช์โอนย้ายโดยที่

1. ถ้าความถี่อยู่ในช่วง 48-52 เฮิรตซ์ สัญญาณตรวจความถี่จะให้สัญญาณระดับสูง และถ้าสวิตช์โอนย้ายทำการต่ออยู่กับไฟจากการไฟฟ้า ซึ่งจะให้สัญญาณระดับสูงด้วย ก็จะทำการส่งผ่านสัญญาณสี่เหลี่ยมเข้าสู่วงจรเฟสล็อกลูป สร้างสัญญาณส่งไปยัง EPROM เพื่อกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่แปรตามความถี่จากการไฟฟ้า

2. ถ้าความถี่ไม่อยู่ในช่วง 48-52 เฮิรตซ์วงจรตรวจจับความถี่จะให้สัญญาณระดับต่ำ และรอจนสวิตช์โอนย้ายทำการตัดโหลดออกจากการไฟฟ้า (จะต้องทำการตัดโหลดออกจากการไฟฟ้าก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอ้างอิง เพราะอินเวอร์เตอร์ต่อขนานกับการไฟฟ้าอยู่) สัญญาณจะมีระดับต่ำ จะไม่ทำการส่งผ่านสัญญาณสี่เหลี่ยม แต่จะให้สัญญาณระดับต่ำส่งไปยังวงจรเฟสล็อกลูป ทำให้วงจรเฟลล็อกลูปกำเนิดสัญญาณส่งไปยัง EPROM เพื่อกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์

สัญญาณ 9 บิตของวงจรนับ จะถูกนำมาเป็นสัญญาณขาเข้าของ EPROM สัญญาณขาออกของ EPROM จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณรูปไซน์ โดยวงจร D to A

3.3.2 <u>วงจรเลื่อนเฟส</u> ทำหน้าที่เปลี่ยนเฟสของสัญญาณไซน์ที่ได้จากการไฟฟ้าเพื่อให้ได้สัญญาณรูปไซน์อ้างอิงมีเฟสที่เหมาะสม สัญญาณจากการเลื่อนเฟสจะถูกส่งต่อไปยังวงจรตรวจจับศูนย์ ซึ่งจะได้สัญญาณออกเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่จะทำการส่งต่อไปยังวงจรเฟสล็อกลูป ผ่านทางเกตแบบแอนด์ โดยเกตนี้จะไม่ทำการส่งผ่านสัญญาณ เมื่อทำการตรวจสอบพบว่ามีความถี่ที่ผิดปกติและสวิตช์โอนย้ายถูกตัดออกจากวงจรแล้ว



รูปที่ 3.16 วงจรเลื่อนเฟส วงจรจับศูนย์ และวงจรควบคุม

3.3.3 <u>วงจรเฟสล็อกลูปและวงจรนับ</u> วงจรนี้จะสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 2^n เท่า (โดยที่ n เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 0-9) ของความถี่แรงดันขาเข้า ในกรณีที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะปกติ แต่ถ้าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าผิดปกติ วงจรนี้จะสร้างสัญญาณที่มีความถี่ 2^n เท่าของความถี่ 50 เฮิรตซ์ แทน ส่วนประกอบของวงจรได้แก่ วงจรนับและวงจรเฟสล็อกลูป เราเลือกใช้วงจรเฟสล็อกลูปหมายเลข 4046 กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณขาเข้า แต่จะมีเฟสต่างกัน โดยความต่างเฟสนี้ขึ้นอยู่กับความถี่

ของสัญญาณขาเข้า [คู่มือ CMOS 4000 Series, 2530] กล่าวคือ

- ความถี่สัญญาณขาเข้า มีค่าเท่ากับ ความถี่ทำงานเสรี (free running frequency) จะมีความต่างเฟสประมาณ 90 องศา
- ความถี่สัญญาณขาเข้า มีค่าเข้าใกล้ ความถี่ต่ำสุดของ lock range (f_{min}) ความต่างเฟสจะมีค่าเข้าใกล้ 0 องศา
- ความถี่สัญญาณขาเข้า มีค่าเข้าใกล้ ความถี่สูงสุดของ lock range (f_{max}) ความต่างเฟสจะมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา

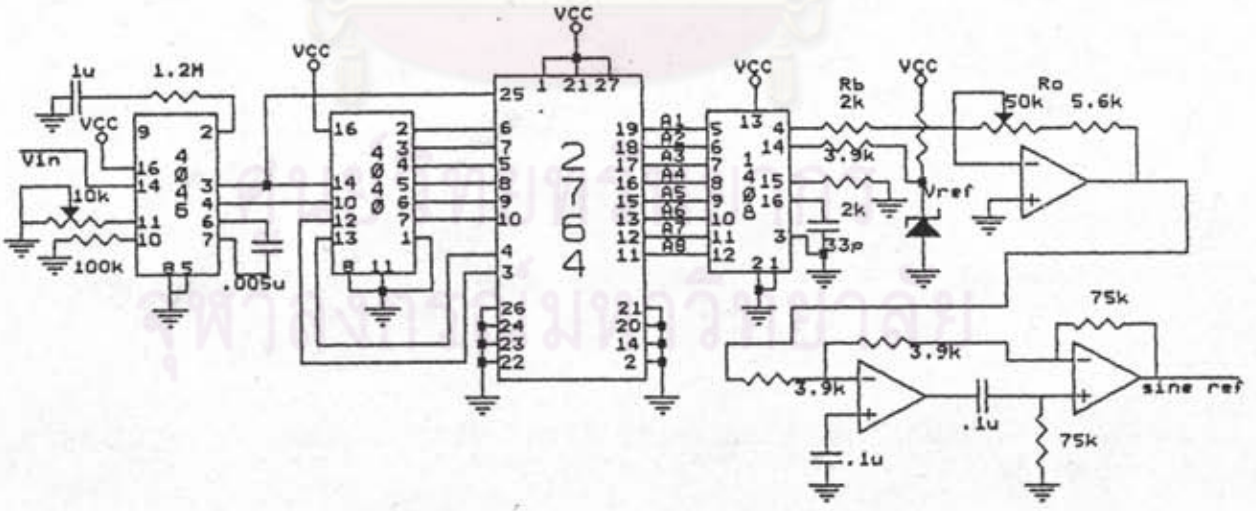
ในการออกแบบจะต้องปรับแต่งให้วงจรมีความถี่ทำงานเสรี ประมาณ 2^{9}x50 เฮิรตซ์ และจะต้องเลือกค่าความต้านทานในวงจรให้มีค่าที่เหมาะสม ทำให้ได้ lock range ที่กว้างที่สุด เพื่อที่จะให้มุมเฟสที่ต่างกันของสัญญาณออก จะได้เปลี่ยนไปไม่มากในช่วงความถี่ที่ต้องการ วงจรเฟสล็อกลูป จะสร้างสัญญาณออกที่มีความถี่ 2^{9} เท่าของสัญญาณเข้า หรือสร้างสัญญาณออกที่มีความถี่ 2^{9} ของความถี่ 50 เฮิรตซ์ ให้กับวงจรนับหมายเลข 4040 ทำการหารความถี่ลงมาครั้งละ 2 เท่า สัญญาณที่ได้จะส่งต่อไปยัง EPROM ข้อเสียของวงจรส่วนนี้คือ จะให้มุมเฟสที่ต่างกันนั้นเปลี่ยนไปตามความถี่ของสัญญาณขาเข้า

3.3.4 <u>วงจรแปลงสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์</u> วงจรนี้ทำหน้าที่รับสัญญาณสี่เหลี่ยมจากวงจรกำเนิดสัญญาณ แล้วมาทำเป็นคลื่นรูปไซน์ โดยใช้หลักการเก็บข้อมูลของรูปคลื่นรูปไซน์เป็นระบบเชิงเลขไว้ในตัว EPROM ก่อน เมื่อ EPROM รับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณ มันก็จะอ่านข้อมูลและส่งข้อมูลต่อไปยังวงจร D to A converter เบอร์ 1408 เพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก เนื่องจากข้อมูลดิจิตอลใน EPROM จะมีค่าเป็นบวกทั้งหมด เราจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาลอกโดยใช้วงจรประมวลเบอร์ 1408 ที่ทำการแปลงข้อมูลดิจิตอลที่มีค่าเป็นบวกทั้งหมด เป็นสัญญาณอนาลอกที่มีค่าทั้งบวกและลบ โดยสัญญาณอนาลอกที่ได้จะมีขนาดสัมพันธ์กับสัญญาณดิจิตอลตามสมการ

$$V_o = \frac{V_{ref}}{R_{14}}(R_o)\left[\frac{A_1}{2}+\frac{A_2}{4}+\frac{A_3}{8}+\frac{A_4}{16}+\frac{A_5}{32}+\frac{A_6}{64}+\frac{A_7}{128}+\frac{A_8}{256}\right] - \frac{V_{ref}}{R_B}(R_o)$$

สัญญาณแอนะลอกที่ได้สามารถปรับขนาดได้โดยปรับที่ R_o สัญญาณที่ออกจากวงจรประมวลเบอร์ 1408 นี้ยังมีลักษณะเป็นรูปขั้นบันไดตามความโค้งของสัญญาณรูปไซน์ ถ้าเรานำสัญญาณนี้ ไปเป็นสัญญาณอ้างอิง ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ จะทำให้แรงดันออกที่ได้มีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกที่สูง จึงต้องนำสัญญาณที่ได้นี้มาผ่านวงจรกรองผ่านต่ำ เพื่อกรองให้เป็นสัญญาณรูปไซน์ ที่มีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกต่ำ แล้วนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรป้องกันไฟตรง เพื่อให้ได้สัญญาณอ้างอิงของอินเวอร์เตอร์ที่ไม่มีไฟตรงเป็นองค์ประกอบอยู่ เนื่องจากโครงสร้างของวงจรอินเวอร์เตอร์นี้มีหม้อแปลงเป็นองค์ประกอบอยู่ และคุณลักษณะของวงจรจะมีลักษณะการไม่สมมาตรของไฟตรงอยู่ ซึ่งอาจทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงเกิดการอิ่มตัวได้ เราจึงต้องป้องกันสัญญาณอ้างอิงนี้ไม่ให้มีไฟตรงเป็นองค์ประกอบอยู่ จากความจำเป็นที่ต้องใช้วงจรกรองผ่านต่ำและวงจรป้องกันไฟตรง ทำให้สัญญาณอ้างอิงรูปไซน์ มีมุมเฟสต่างจากสัญญาณเข้ามากขึ้น เมื่อความถี่ของสัญญาณขาเข้าเปลี่ยนไป (มุมเฟสที่ต่างจากสัญญาณเข้านี้ เกิดจากมุมเฟสที่เปลี่ยนไปของวงจรเฟสลอกลูป มุมเฟสที่เปลี่ยนไปจากวงจรกรองผ่านต่ำ และมุมเฟสที่เปลี่ยนไปจากวงจรป้องกันไฟตรง) ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟสลับที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ มีเฟสที่เปลี่ยนไปจากแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า ทำให้การต่อขนานกันระหว่างอินเวอร์เตอร์กับการไฟฟ้ามีปัญหาได้ ถ้ามีมุมเฟสที่แตกต่างกันมากจนถึงระดับหนึ่ง



รูปที่ 3.17 วงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นไซน์

3.3.5 <u>การเขียนโปรแกรม EPROM</u> เนื่องจากสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากวงจรเฟสล็อกลูป จะมีมุมแตกต่างจากแรงดันจากการไฟฟ้าประมาณ 90 องศา ดังนั้นจึงต้อง

ทำการโปรแกรม EPROM เป็นฟังก์ชัน cosine สัญญาณรูปไซน์ที่ได้จึงจะมีเฟสตามต้องการ

เนื่องจากในการเก็บข้อมูลลงใน EPROM จะมีค่าเป็นบวกเพียงอย่างเดียว จึงต้องโปรแกรมเป็นฟังก์ชัน 1+cosine แล้วทำการตัดแรงดันไฟตรงออกที่วงจร D to A EPROM ที่ใช้จะเป็นเบอร์ 2764 เนื่องจากมีราคาถูกที่สุด แต่จะใช้หน่วยความจำเพียง 512 ไบต์ เพราะมีรหัสขาเข้าเพียง 9 บิตจากวงจรนับ

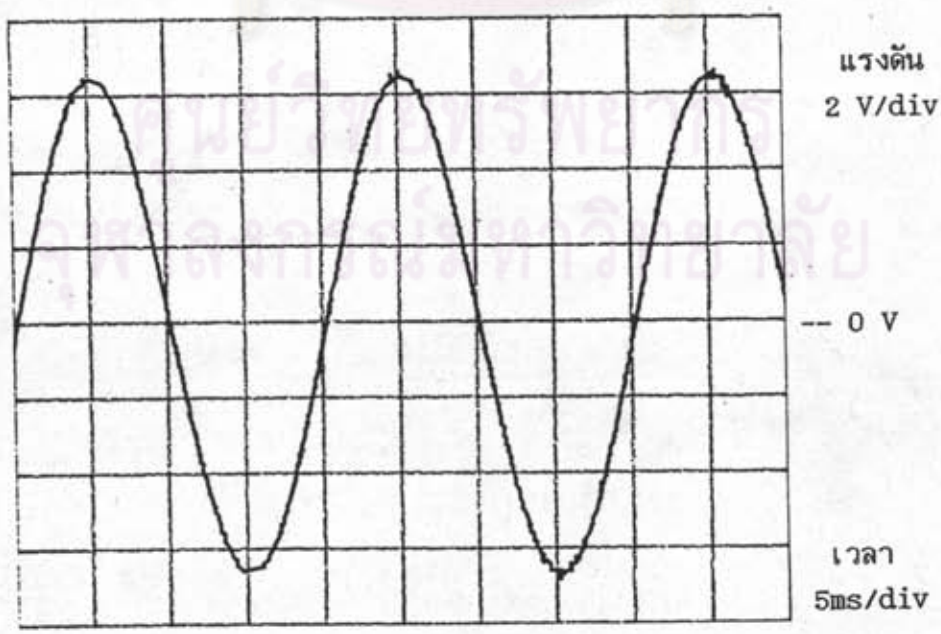
ตำแหน่งข้อมูล (X) จะแปรจาก 0 ถึง 511

ดังนั้น มุม $\theta = X \times \frac{360}{512}$

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

ดังนั้น $Y = (1+\cos\theta) \times \frac{255}{2}$

จากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ที่สร้างขึ้นมีค่าความเพี้ยนต่ำกว่า 1% โดยวงจรจะสร้างรูปคลื่นที่มีความถี่ตรงกับแรงดันขาเข้า แต่เฟสจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อความถี่ขาเข้ามีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 48-52 เฮิรตซ์ และถ้าความถี่ไม่อยู่ในช่วงนี้ วงจรกำเนิดคลื่นรูปไซน์ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แทน



รูปที่ 3.18 คลื่นรูปไซน์ที่สร้างขึ้น