หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างอีกส่วนหนึ่งของ UPS คือ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ให้มีค่าที่เหมาะสม ในการประจุแบตเตอรี่ หรือจ่ายพลังงานให้กับอินเวอร์เตอร์ด้วย วงจรส่วนนี้ทางด้านเข้าจะมีการเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไดโอดแล้วผ่านวงจรกรอง การเรียงกระแสโดยวิธีนี้ จะมีลักษณะของกระแสขาเข้าเป็นพัลส์ขนาดใหญ่ แตกต่างไปจากรูปไซน์ แล้วจึงนำแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแส มาผ่านวงจรแปลงผันเพื่อทำการแปลงผันแรงดันไฟตรงให้มีค่าที่เหมาะสม

ในวงจรเรียงกระแสโดยทั่วๆไป ฮาร์มอนิกกระแสของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวโดยทั่วไป จะเป็นดังตารางที่ 5.1 [Ned Mohan and others, 1989]

ตารางที่ 5.1 กระแสฮาร์มอนิกของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียว

h	3	5	7	9	11	13	15	17
$\frac{I_h}{I_1}$ (%)	73.2	36.6	8.1	5.7	4.1	2.9	0.8	0.4

จะเห็นได้ว่ามีฮาร์มอนิกประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสหาได้จากสมการที่ 5.1

$$THD = \frac{\sqrt{\sum I_h^2}}{I_1} \qquad (5.1)$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{THD^2 + 1}} DPF \qquad (5.2)$$

เมื่อ THD คือ ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส

I_1 คือ แอมพลิจูดของกระแสมูลฐาน

I_h คือ แอมพลิจูดของกระแสที่ความถี่ = h x ความถี่มูลฐาน

PF คือ ตัวประกอบกำลัง

DPF คือ ฟังก์ชันโคไซน์ของมุมเฟสที่แตกต่างกันระหว่างกระแสมูลฐานกับแรงดัน

จะได้ว่ากระแสที่เกิดจากวงจรเรียงกระแสนี้ จะมีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกสูงถึง 82 % และมีตัวประกอบกำลังไม่เกิน 0.7 ถึงแม้ว่าจะมี DPF เท่ากับ 1 ก็ตาม

ลักษณะของกระแสที่เป็นพัลส์ขนาดใหญ่ที่ได้จากวงจรเรียงกระแสนี้ จะมีฮาร์มอนิกต่างๆปนอยู่ ซึ่งจะมีผลทำให้

- แรงดันของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่โหลดต่ออยู่มีการผิดเพี้ยน
- วงจรมีตัวประกอบกำลังที่ต่ำ
- ไดโอดและตัวเก็บประจุของวงจรกรองจะต้องสามารถทนต่อกระแสพัลส์ขนาดใหญ่นี้ได้
- ความสูญเสียในไดโอดที่ใช้เรียงกระแสสูงขึ้น
- วงจรกรอง EMI(Electromagnetic Interference) ทางด้านเข้ามีขนาดใหญ่
- หม้อแปลงทางด้านเข้าจะต้องมีโวลต์-แอมแปร์ที่สูงขึ้น

จากผลเสียต่างๆอันเนื่องมาจากกระแสฮาร์มอนิก ทำให้ในปัจจุบันนี้ในต่างประเทศได้มีการออกมาตรฐาน ในการกำหนดให้มีกระแสฮาร์มอนิก ที่อุปกรณ์กำเนิดออกมาได้ในขนาดที่จำกัด เช่น มาตราฐาน CENELEC IEC VDE เป็นต้น ดังนั้นการลดกระแสฮาร์มอนิกใน UPS จึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะ UPS ที่มีขนาดใหญ่

การลดกระแสฮาร์มอนิกทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสใน UPS นี้สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

- ใช้วงจรกรองกระแสแบบพาสซีฟ [Ned Mohan and others,1989]

ซึ่งประกอบด้วย L และ C มาต่อไว้ข้างหน้าวงจรเรียงกระแส ซึ่งจะทำให้รูปคลื่นกระแส มีลักษณะคล้ายไซน์มากขึ้น แต่มีข้อเสียคือวงจรมีขนาดใหญ่ มีราคาแพง มีประสิทธิภาพไม่ดีนัก และยังคงมีฮาร์มอนิกปนอยู่

- ใช้วงจรเรียงกระแสแบบสวิตช์ชิง(SMR) ซึ่งเป็นวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ทำหน้าที่เรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถทำให้กระแสทางด้านเข้าของวงจร มีรูปคลื่นกระแสที่เป็นไซน์และมีตัวประกอบกำลังสูงใกล้เคียงหนึ่ง และยังสามารถควบคุมแรงดันไฟตรงทางด้านออกได้ แต่มีข้อเสียคือทำให้ UPS นี้มีราคาแพงขึ้น

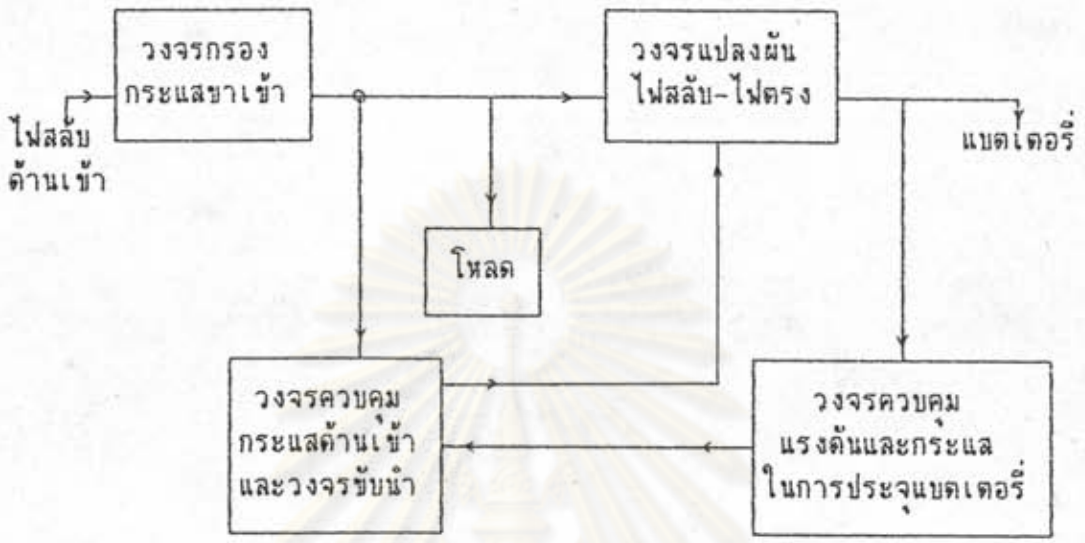
ในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยใช้วงจรแปลงผันสองทิศทาง ทำหน้าที่เรียงกระแสอยู่ในตัว ทำให้ตัดวงจรเรียงกระแสและวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่อาจมีต่างหากออกไปได้ เมื่อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าผิดปกติ ตามที่กล่าวแล้วในบทที่ 3 ทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งวงจรนี้นอกจากจะควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ในภาวะที่ไฟจากการไฟฟ้าปกติ ยังจะทำการควบคุมกระแสทางด้านเข้าของวงจร(รวมทั้งกระแสโหลดด้วย) ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์ ทั้งนี้เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกและทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลดให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง (power factor corrector PFC)

สำหรับการใช้โครงสร้างวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสแบบสวิตช์ชิ่ง(SMR) มีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับโครงสร้างวงจรเรียงกระแสแบบสวิตช์ชิ่งทั่วไป คือ

1. ไม่ต้องมีวงจรเรียงกระแสอยู่ทางด้านหน้าของวงจร
2. สามารถแปลงผันพลังงานได้ 2 ทิศทาง
3. กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลได้อย่างต่อเนื่อง
4. สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้กับโหลดที่ต่อขนานอยู่กับวงจรได้

ส่วนต่างๆของวงจรจะประกอบไปด้วย ไฟสลับด้านเข้าจากการไฟฟ้า ผ่านวงจรแปลงผัน ไฟสลับ-ไฟตรง เพื่อทำการแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยการควบคุมของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสในการประจุแบตเตอรี่ เพื่อให้มีแรงดันและกระแสที่เหมาะสมสำหรับการประจุแบตเตอรี่ ในขณะเดียวกันก็นำกระแสขาเข้า(รวมทั้งกระแสโหลด) มาทำการควบคุมให้มีลักษณะเป็นรูปไซน์ เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสขาเข้า ผ่านวงจรควบคุมกระแสขาเข้า ซึ่งจะส่งสัญญาณควบคุมไปการตัดต่อสวิตช์ ผ่านทางวงจรขับนำ

กระแสขาเข้าที่ถูกควบคุมจะถูกกรองให้เรียบโดยวงจรกรองกระแสขาเข้า

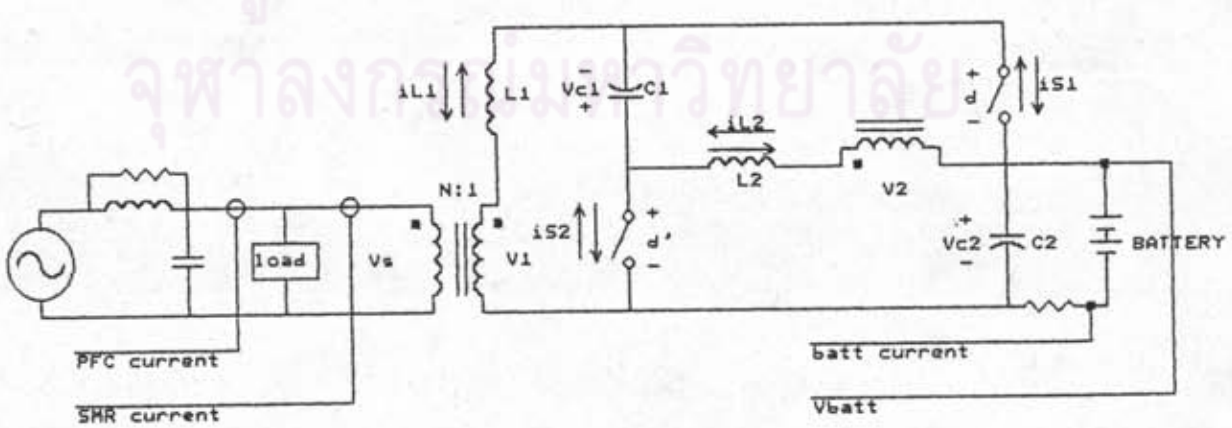


รูปที่ 5.1 แผนภาพบล็อกของวงจรประจุแบตเตอรี่

5.1 <u>การออกแบบวงจรภาคกำลัง</u>

วงจรภาคกำลังซึ่งประกอบด้วย วงจรกรองกระแสขาเข้า วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และโหลด ตามแผนภาพบล็อกของวงจรประจุแบตเตอรี่จะเป็นดังรูปที่ 5.2 ในการควบคุมกระแสด้านเข้า จะทำการควบคุมให้กระแสด้านเข้ามีลักษณะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 วงจรประจุแบตเตอรี่

เป็นรูปไซน์ที่มีแถบความกว้างดังรูปที่ 2.6 ซึ่งยังมีฮาร์มอนิกเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก เราจึงจำเป็นต้องนำกระแสที่ทำการควบคุมนี้ผ่านวงจรผ่านต่ำ เพื่อทำให้กระแสทางด้านเข้าเรียบขึ้น โดยวงจรกรองที่ใช้จะมี ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน ต่อกันเป็นวงจรกรองผ่านต่ำ [Martin F. Schlecht, 1983] โดยการหาค่าของแต่ละอุปกรณ์ สามารถหาได้โดยวิธีเดียวกับที่กล่าวไว้แล้ว แล้วนำผลที่ได้จากการออกแบบ มาทำการซีมูเลตโดยวงจร LEC จะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำ 8 มิลลิเฮนรี 3 แอมแปร์ ตัวเก็บประจุ 5.5 ไมโครฟารัด 250 โวลต์

สำหรับค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ เนื่องจากวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ จะต้องทำงานในโหลดของอินเวอร์เตอร์ด้วย ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของวงจรจะต้องให้มีความเหมาะสมกับการทำงานในทั้งสองโมด ดังนั้นเราจะพิจารณาว่าสามารถที่จะใช้ค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ ได้หรือไม่ โดยจะพิจารณาถึงข้อคำนึงของอุปกรณ์ดังนี้

- อัตราส่วนหม้อแปลง ในวงจรอินเวอร์เตอร์มีอัตราส่วนหม้อแปลงเท่ากับ 10.5 ทำให้ค่ายอดของแรงดัน เมื่อไฟสลับด้านเข้าสูงสุดเท่ากับ 242 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 32.59 โวลต์ แต่แรงดันไฟตรงที่จะทำการประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 54 โวลต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่า ดังนั้นเราสามารถใช้อัตราส่วนหม้อแปลงเดียวกับที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์

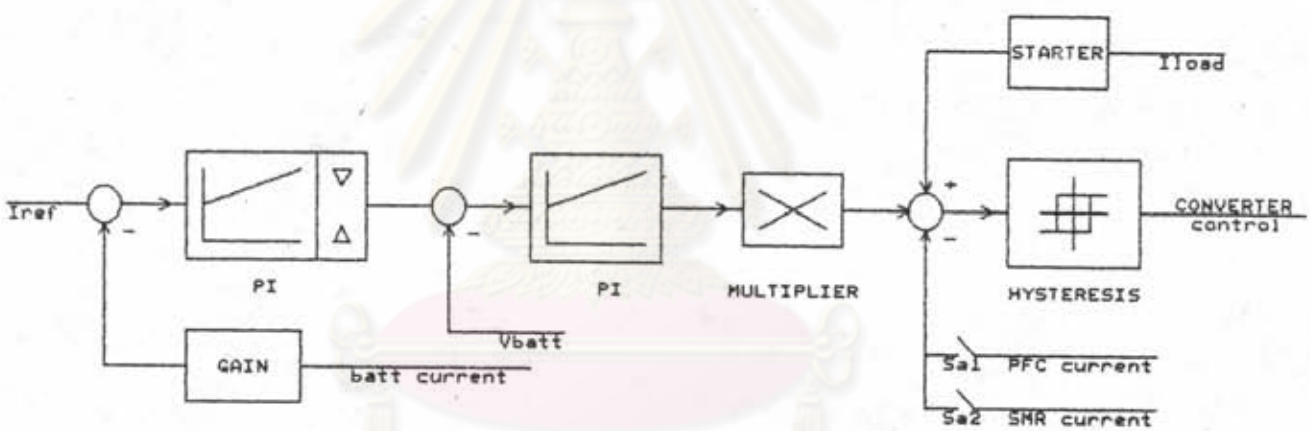
- ตัวเหนี่ยวนำ 0.22 มิลลิเฮนรี ทำให้การทำงานในโหมดนี้มีความถี่ที่ยังเหมาะสมอยู่

- ตัวเก็บประจุ แรงดันไฟตรงที่ได้จากการแปลงผัน จะมีแรงดันกระเพื่อมที่มีความถี่สองเท่าเป็นส่วนประกอบ ค่าแรงดันกระเพื่อมนี้ไม่สามารถที่จะกำจัดให้หมดไปได้ โดยการออกแบบวงจรควบคุม แต่จะทำให้น้อยลงได้ โดยการใช้ค่าตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูงดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว และในการทำงานของวงจรในโหมดนี้ ยังจะต้องทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้กับโหมดอื่นอีกด้วย ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟตรงนี้ได้มีขนาดของแรงดันกระเพื่อมที่สูงขึ้นมาก โดยเฉพาะการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของโหลดนี้เป็นวงจรเรียงกระแส ที่มีลักษณะเป็นกระแสพัลส์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูง ตามที่ได้ออกแบบไว้ในวงจรอินเวอร์เตอร์จะทำให้แรงดันกระเพื่อมที่ได้มีค่าเล็กลง แต่มีข้อเสีย คือ จะทำให้การทำงานของวงจรช้าลง

นำค่าอุปกรณ์ต่างๆมาทำการซีมูเลตร่วมกับวงจรควบคุม เพื่อหาลักษณะการทำงานของวงจรว่าได้ผลตามที่ต้องการหรือไม่ แล้วทำการแก้ไขค่าอุปกรณ์เหล่านี้ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการทั้งสองโหมดการทำงาน

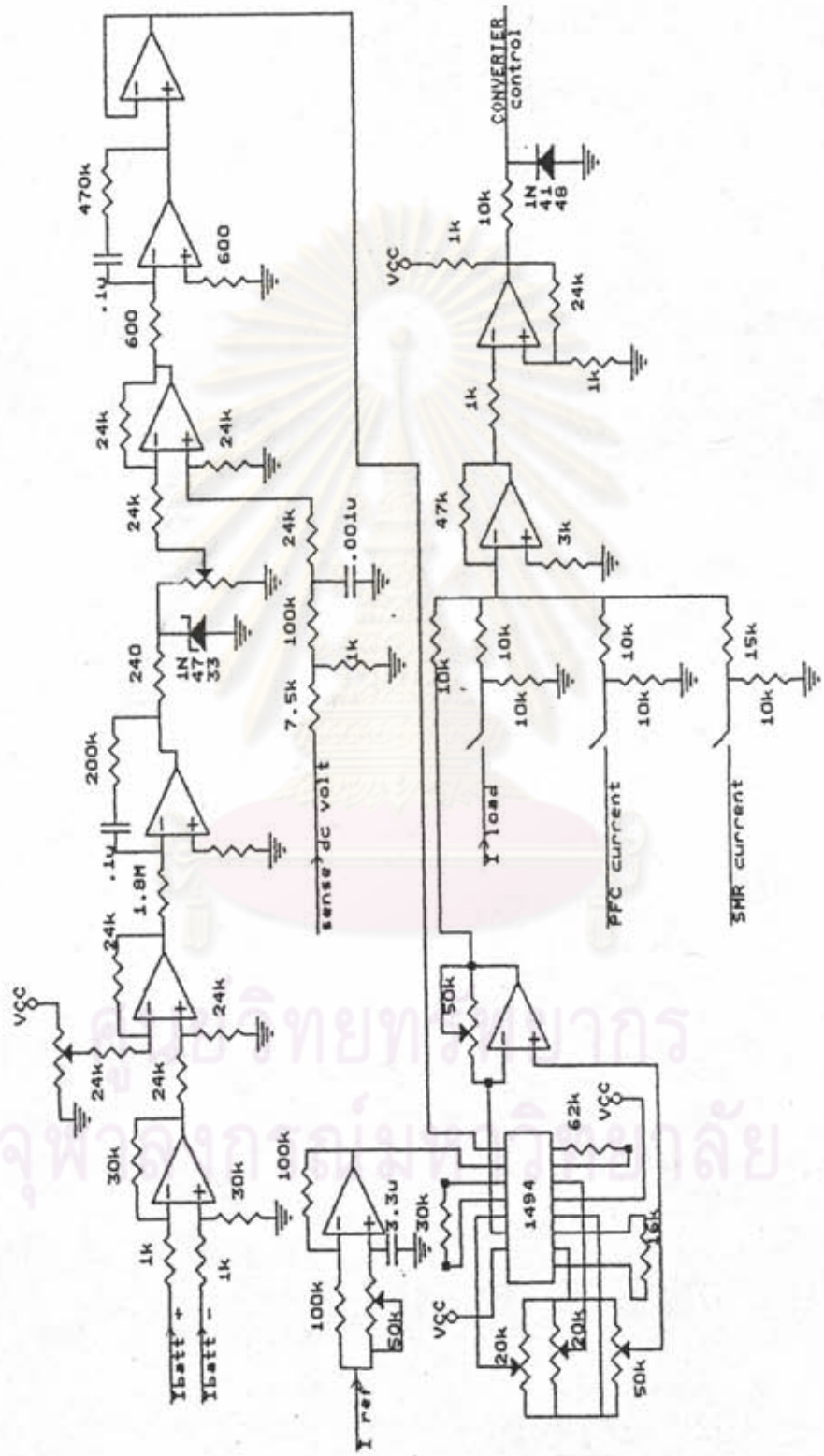
5.2 การออกแบบวงจรภาคควบคุม

การควบคุมการทำงาน ของวงจรประจุแบตเตอรี่ ให้มีลักษณะการประจุแบตเตอรี่ตามรูปที่ 4.2 โดยทำการสุ่มกระแสประจุแบตเตอรี่ ผ่านวงจรขยาย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกระแสสูงสุดที่จะใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ผ่านวงจรควบคุมแบบ PI แล้วส่งสัญญาณต่อไปเพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิง ในการเปรียบเทียบกับแรงดันแบตเตอรี่ โดยสัญญาณอ้างอิงนี้จะผ่านวงจรจำกัดค่า เพื่อให้แรงดันที่จะใช้ทำการประจุแบตเตอรี่ลดลงให้เหมาะสม โดยไม่ให้กระแสในการประจุแบตเตอรี่เกินค่าที่ตั้งไว้ โดยจะเปรียบเทียบผ่านวงจรคุมค่าแบบ PI แล้วส่งสัญญาณต่อไปยังวงจรคูณ ที่ทำการคูณสัญญาณนี้กับสัญญาณไซน์อ้างอิง (ที่ได้มาจากการทอนแรงดันไฟสลับทางด้านเข้าผ่านหม้อแปลง) เป็นสัญญาณกระแสรูปไซน์อ้างอิง ที่จะนำมาเป็นสัญญาณอ้างอิง



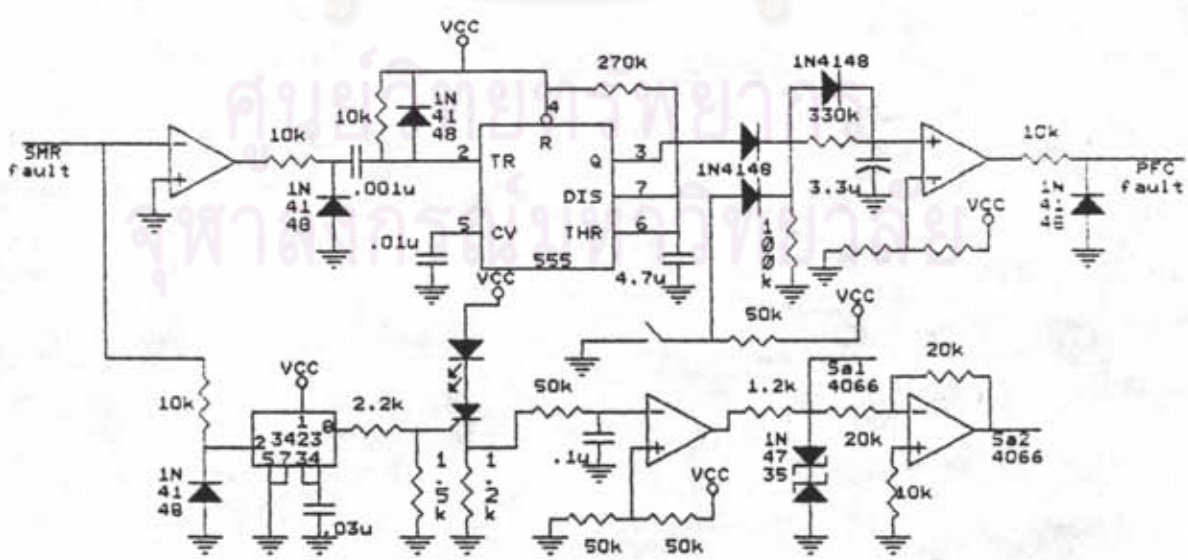
รูปที่ 5.3 แผนภาพบล็อกของวงจรควบคุม

ในการควบคุมกระแสทางด้านเข้า ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์ โดยถ้าสามารถทำการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับโหลดได้ ก็จะนำการสุ่มกระแสด้านเข้ามาทำการเปรียบเทียบ แต่ถ้าไม่สามารถทำการแก้ไขตัวประกอบกำลังได้ ก็จะนำการสุ่มกระแสด้านเข้าเฉพาะของวงจรประจุแบตเตอรี่มาทำการเปรียบเทียบแทน (ถ้ามีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้กับโหลด ในตอนเริ่มการทำงานของวงจร จะนำสัญญาณของกระแสโหลด มารวมกับสัญญาณของกระแสอ้างอิงด้านเข้าโดยผ่านวงจร STARTER เพื่อทำการค่อยๆลดสัญญาณของกระแสโหลดลง ทั้งนี้เพื่อจะให้วงจรค่อยๆทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้กับโหลด) แล้วนำผลการเปรียบเทียบกระแส ผ่านวงจรคุมค่าแบบฮีสเตอเรซีสซึ่งเป็นวงจรคุมค่าที่มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว กำเนิดสัญญาณไปขับนำสวิตช์



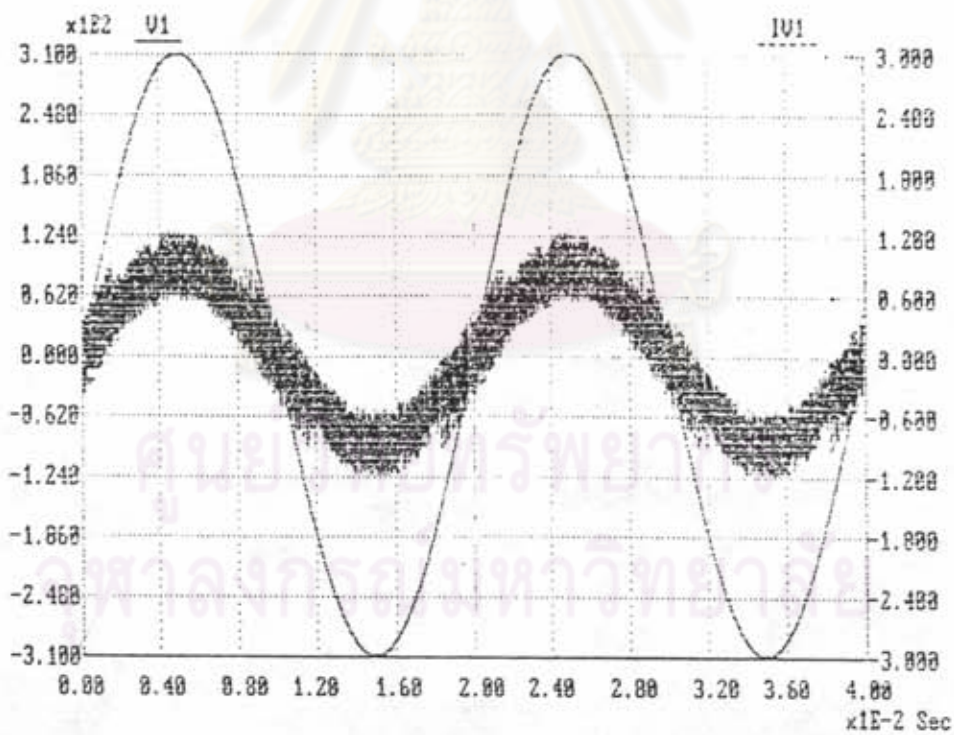
รูปที่ 5.4 วงจรควบคุม

จากวงจรรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่ามีวงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล เพื่อที่จะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนแบบ common mode [Robert F. Coughlin and Frederick F. Driscall, 1987] การสุ่มแรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ จะผ่านวงจรกรองเพื่อทำการลดการกระเพื่อมของแรงดัน เพื่อไม่ให้สัญญาณกระแสรูปไซน์อ้างอิง มีความเพี้ยนไป [Michel Herfurth, 1987] สำหรับสัญญาณที่จะทำการบอกว่าไม่สามารถ ทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้แล้วคือ การที่สัญญาณจากวงจรคุมค่า PI ของแรงดันประจุแบตเตอรี่มีค่าสูงสุด (saturation) ถ้าสัญญาณนี้มีค่าสูงสุดแล้วแสดงว่า สัญญาณกระแสรูปไซน์อ้างอิงก็จะมีค่าสูงสุดเช่นกัน และถ้ายังไม่สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ แสดงว่าจะต้องมีการถ่ายเทพลังงานจากแบตเตอรี่ มาช่วยในการจ่ายพลังงานให้กับโหลด ซึ่งในภาวะนี้เราจะต้องทำการประจุแบตเตอรี่ เพื่อให้มีความพร้อมในการที่จะจ่ายพลังงาน ให้กับอินเวอร์เตอร์ในภาวะที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าผิดปกติ ดังนั้นถ้าในภาวะที่ไฟจากการไฟฟ้าปกตินี้ มีการใช้แบตเตอรี่ไปบางส่วนหรือประจุไม่เต็ม ก็จะทำให้ back up time ของวงจรอินเวอร์เตอร์ลดลงหรือไม่มีเลย เราจึงจะไม่ทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด ในกรณีที่จะทำให้การทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่ผิดหน้าที่ไป ในการเลือกส่งสัญญาณสุ่มกระแสด้านเข้า หรือสัญญาณสุ่มกระแสด้านเข้าวงจรแบตเตอรี่มาทำการควบคุมนั้น จะทำการส่งผ่านโดยใช้อนาลอกสวิตช์เบอร์ 4066 โดยก่อนที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณส่งผ่านกระแสด้านเข้า มาควบคุม จะทำการหยุดการทำงานของวงจรเป็นระยะเวลาหนึ่ง เมื่ออนาลอกสวิตช์ทำการเปลี่ยนสัญญาณส่งเรียบร้อยแล้ว จึงจะเริ่มให้วงจรทำงาน โดยสัญญาณหยุดการทำงานนี้สร้างมาจาก 555 ทำเป็นสัญญาณโมโนสเตเบิลไปยังวงจรควบคุมการขับนำของสวิตช์

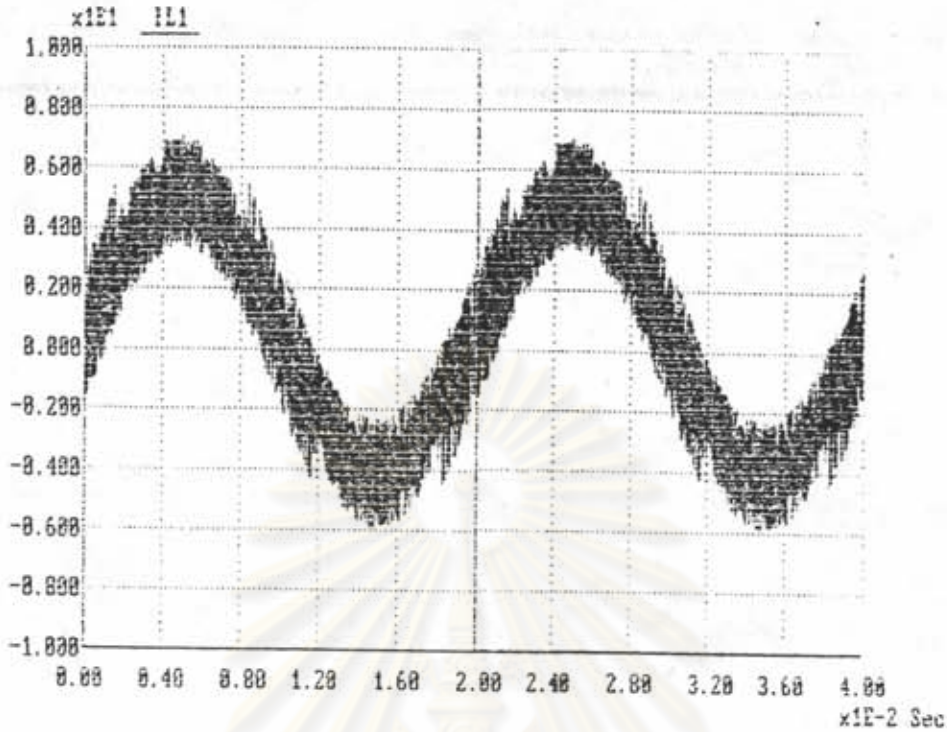


รูปที่ 5.5 วงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมแอนะลอกสวิตช์

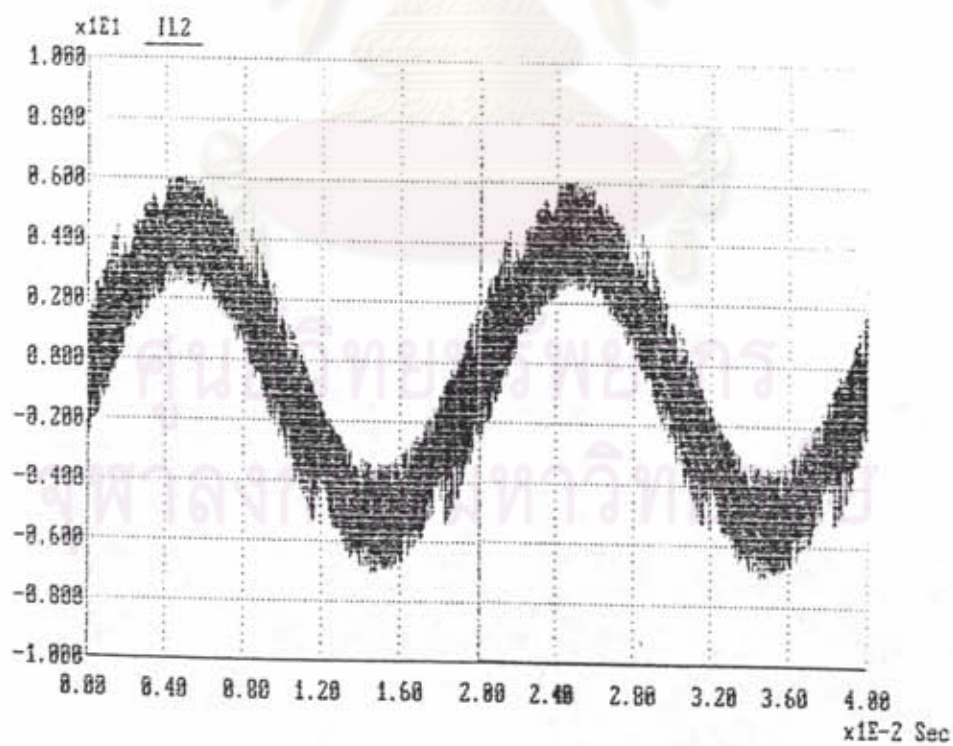
นำผลการออกแบบมาทำการซีมูเลต เพื่อหาลักษณะการทำงาน ผลการซีมูเลตเป็นดังนี้ รูปที่ 5.6-5.8 เป็นผลการซีมูเลตการทำงานของ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ที่ทำหน้าที่เฉพาะวงจรเรียงกระแสแบบสวิตช์ชิง(SMR) ที่ไม่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ผลการซีมูเลตแสดงผลการทำงานของวงจร จะเห็นได้ว่าเราสามารถออกแบบวงจรที่มีการควบคุมทั้งแรงดันไฟตรงที่ได้ และควบคุมกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะใกล้เคียงไซน์ โดยลักษณะของกระแสในรูปที่ 5.6 เป็นกระแสที่เกิดจากการควบคุมที่ยังไม่ได้ผ่านวงจรกรองกระแส กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสองจะประกอบด้วย กระแสรูปไซน์และกระแสไฟตรง แต่มีทิศตรงข้ามกัน ขนาดของแรงดันไฟตรงเท่ากับ 0.5 แอมแปร์ (เนื่องจากทำการซีมูเลตให้จ่ายกระแสไฟตรงไปยังโหลด 1 แอมแปร์) ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของกระแสโหลด และกระแสรูปไซน์ก็จะมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของกระแสด้านเข้า ที่มีการโอนย้ายมายังด้านทุติยภูมิแล้ว ผลที่ได้สอดคล้องกับสมการที่ 2.15 และ 2.16 รูปที่ 5.8 แสดงแรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟตรงที่ได้ จะเห็นว่ามีลักษณะเป็นรูปคลื่นที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์ ดังสมการที่ 2.17



รูปที่ 5.6 แรงดันไฟสลับด้านเข้าและกระแสเข้าหลังวงจรกรองของวงจรเรียงกระแสแบบสวิตชิง (ซีมูเลต)

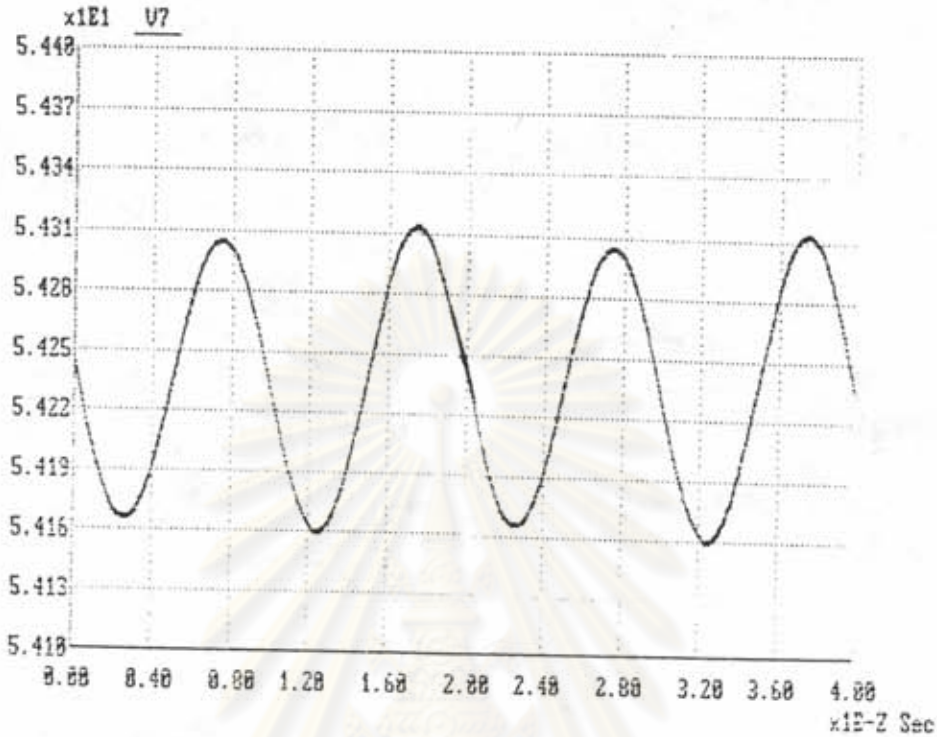


รูปที่ 5.7ก กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1



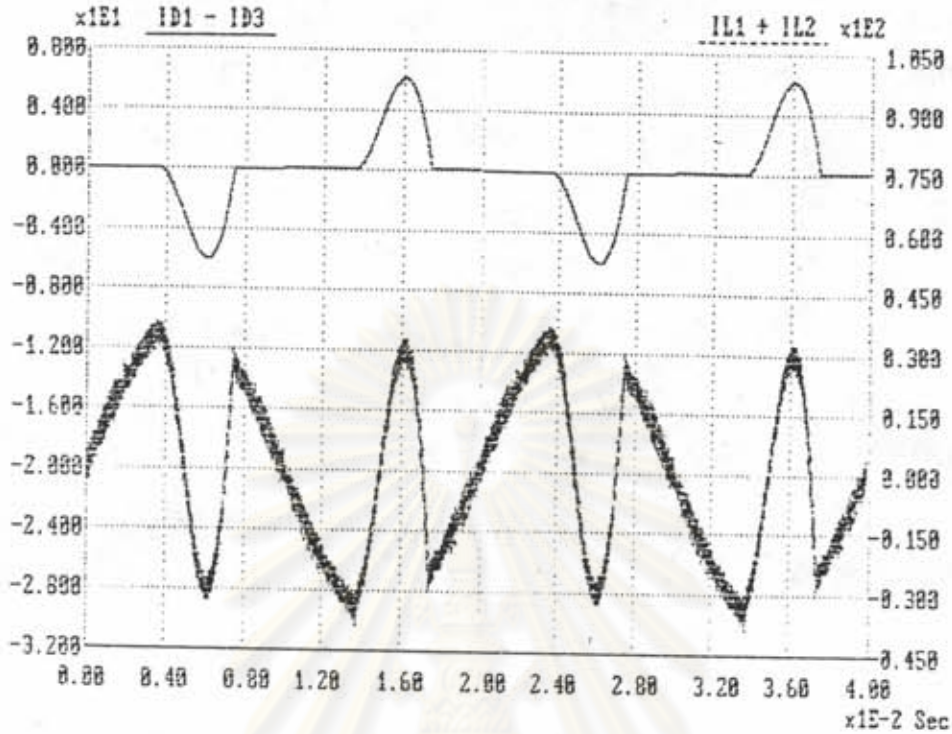
รูปที่ 5.7ข กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_2

รูปที่ 5.7 กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ซีมูเลต)

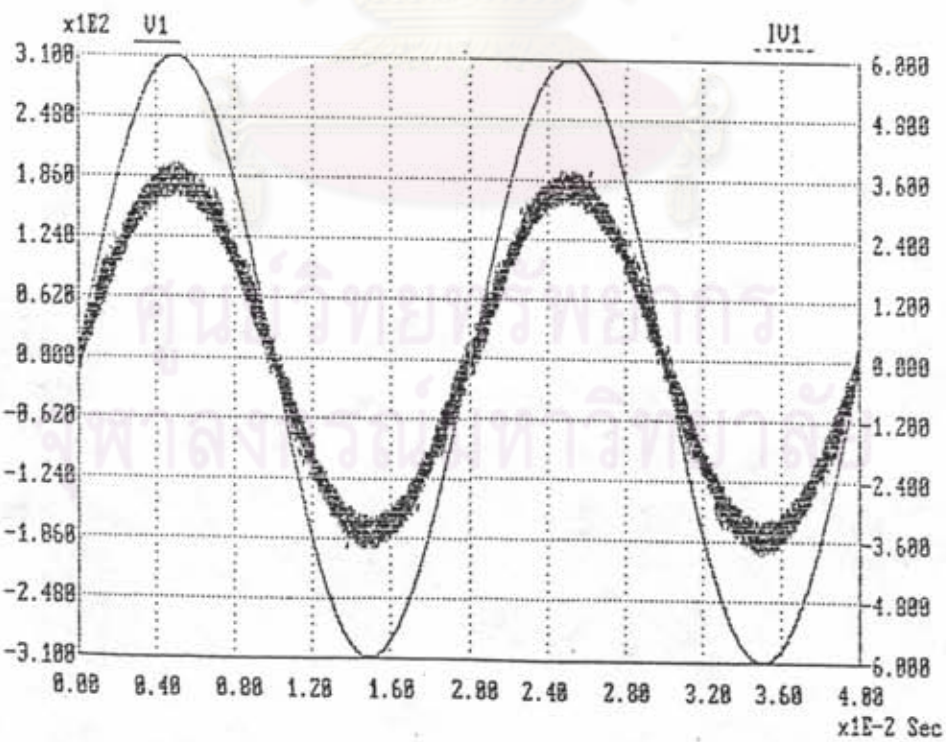


รูปที่ 5.8 แรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟตรงที่ได้ (ซีมูเลต)

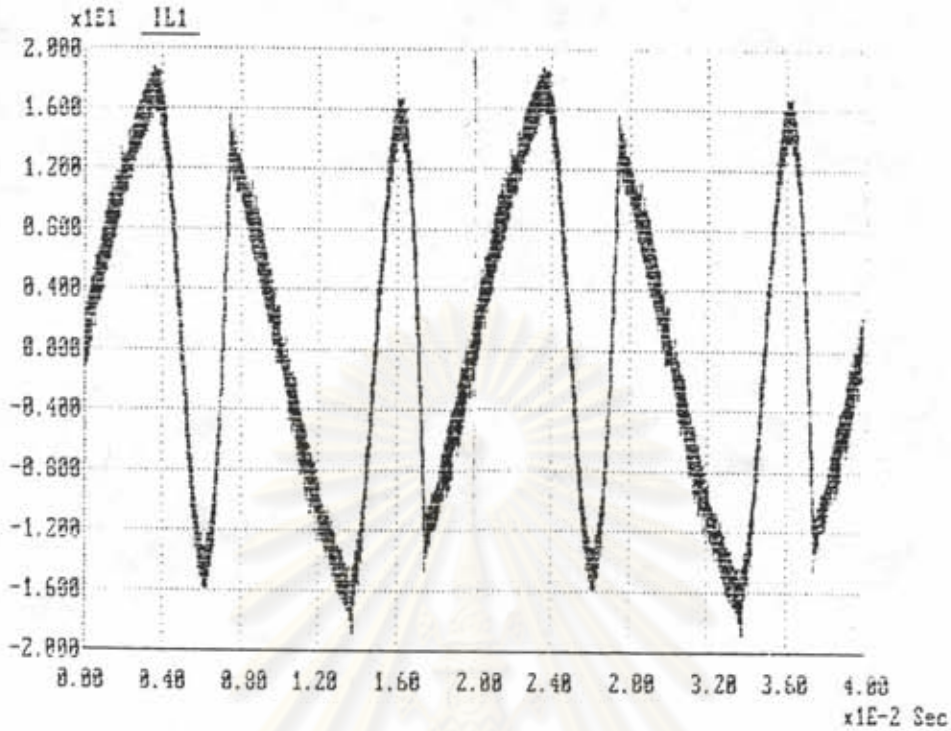
สำหรับผลการซีมูเลต เมื่อวงจรทำหน้าที่ ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้กับโหลดด้วย เมื่อมีโหลดขนานอยู่กับวงจร โดยจะยังสามารถที่จะควบคุมกระแสด้านเข้า ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์และมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง กระแสที่จะผ่านหม้อแปลงไปยังวงจร SMR มีลักษณะดังรูปที่ 5.9 ด้านล่าง เมื่อรวมกับกระแสโหลดจะได้กระแสรูปไซน์ ซึ่งแสดงร่วมกับแรงดันด้านเข้าอยู่ในรูปที่ 5.10 สำหรับกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีลักษณะเหมือนกระแสที่ผ่านหม้อแปลงที่มีการโอนย้ายมายังทุติยภูมิแล้ว โดยจะมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งในตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัว และยังมีองค์ประกอบของกระแสไฟตรง 0.5 แอมแปร์อยู่ เนื่องจากมีการถ่ายกระแสไฟตรงไปยังโหลดไฟตรง 1 แอมแปร์ ดังรูปที่ 5.11 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำในสมการที่ 2.21 และ 2.22 สำหรับแรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟตรงที่ได้ เมื่อมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง จะเป็นดังรูปที่ 5.12 ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างไปจากรูปที่ 5.8 แต่ยังคงเป็นรูปคลื่นที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์เป็นองค์ประกอบสำคัญ เนื่องจากเมื่อมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังแล้ว แรงดันกระเพื่อมจะมีผลของกระแสโหลด ที่ทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้มีลักษณะที่เกิดจากการรวมของสัญญาณหลายรูปคลื่นดัง ในสมการที่ 2.23



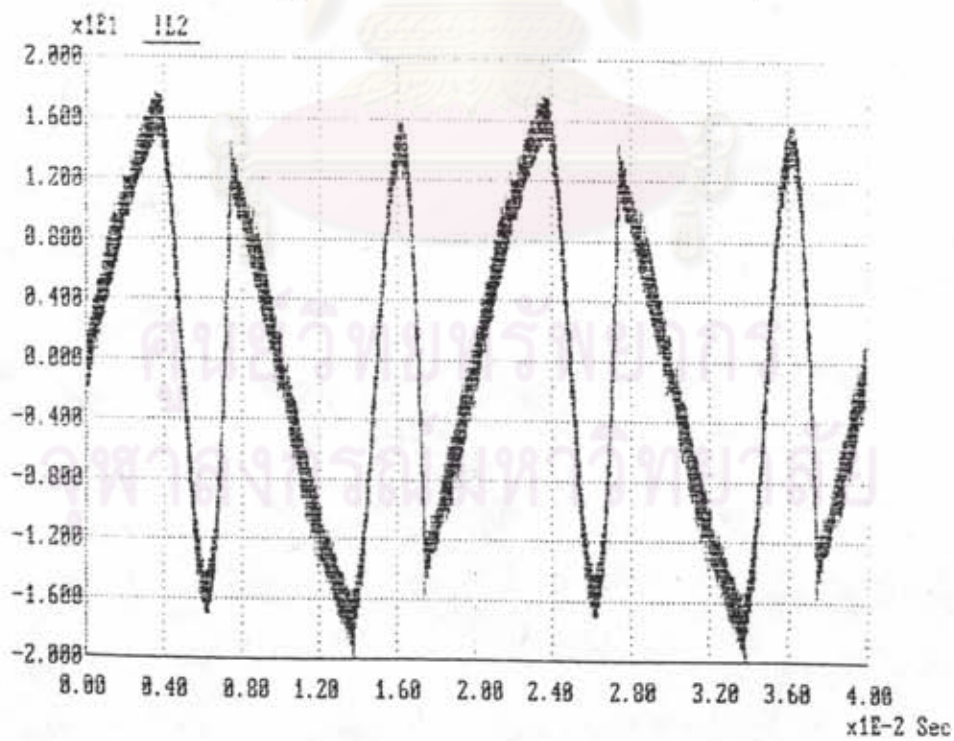
รูปที่ 5.9 ลักษณะของกระแสโหลดและกระแสผ่านหม้อแปลง (ชีมูเลต)



รูปที่ 5.10 แรงดันไฟสลับด้านเข้าและกระแสด้านเข้าหลังวงจรกรองเมื่อมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของโหลดที่เป็นวงจรเรียงกระแส (ชีมูเลต)

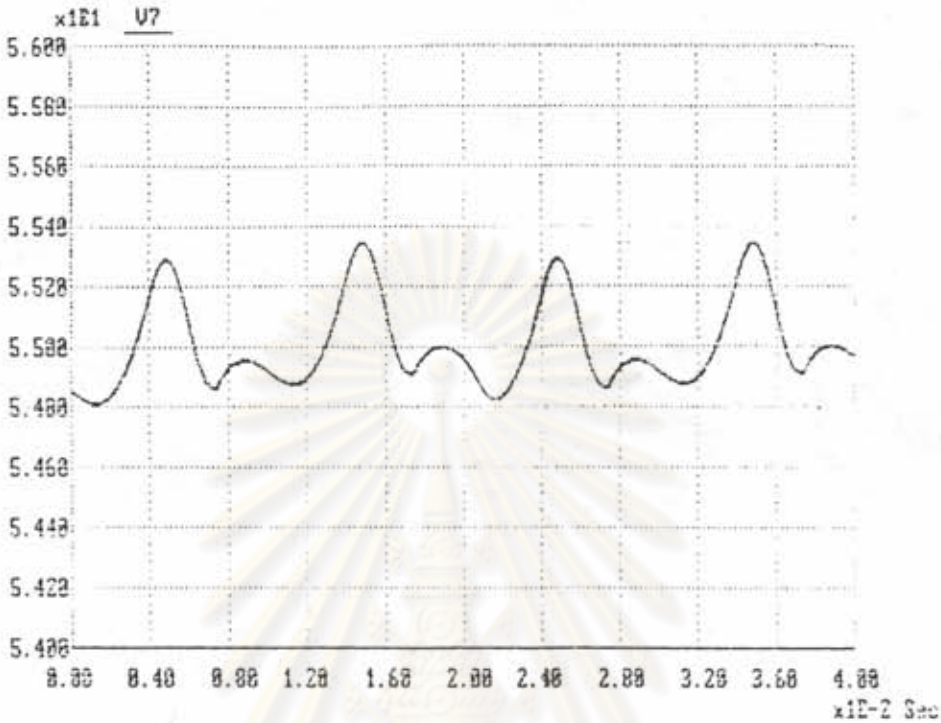


รูปที่ 5.11ก กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1



รูปที่ 5.11ข กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_2

รูปที่ 5.11 กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 (ชีมูเลต)



รูปที่ 5.12 ลักษณะแรงดันของตัวเก็บประจุ (ซีมูเลต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย