

วงจรขดเคี้ยวกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟ

ACTIVE POWER FILTER



T 0 4 2 4 9 9

นาย กอบชัย ทวีเต็มสกุล

นางสาว ดวงพร รัตนอมรทิน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42499
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ศ. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟ

ACTIVE POWER FILTER

ผู้จัดทำ

1. นาย กอบชัย ทวีเฉลิมสกุล รหัสประจำตัว 40010026
2. นางสาว ดวงพร รัตนอมรพิน รหัสประจำตัว 40010244



นาย นนทวัฒน์ จุลเดชะ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟ

นาย กอบชัย ทวีเต็มสกุล	40010026
นางสาว ดวงพร รัตนอมรพิน	40010244
ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543	

บทคัดย่อ

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกส่งผลให้เกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากสาเหตุนี้ทำให้เกิดมาตรฐานที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลัง วงจรกรองแบบพาสซีฟได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อลดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกอย่างไรก็ตามวงจรกรองแบบพาสซีฟทำให้เกิดเรโซแนนซ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง วงจรกรองแบบแอคทีฟจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อลดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกที่เกิดจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ปรินูณินพนธ์ได้อธิบายการออกแบบระบบไฟฟ้า และการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขโหลดไม่เป็นเชิงเส้น

ABSTRACT

The proliferation of non-linear loads results in deterioration of the quality of voltage waveform at the point of common coupling of various loads . Passive filters have been used to limit the flow of harmonic current in system. However they introduce resonances in the power system. Active filters are becoming viable alternative to passive filters. They can substantially reduce any line current harmonics generated by non-linear load. In particular, the proposed scheme is discussed in terms of principle of operation, power system design, and analysis under unbalanced operating conditions. Finally, predicted results are verified experimentally.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูปภาพ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	2
2.1 ศัพท์และปริมาณต่างๆ	2
2.2 ประเภทของฮาร์มอนิก	3
2.3 การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิก	4
บทที่ 3 หลักการทำงานของแอกทีฟฟิลเตอร์แบบ 3 เฟส 4 สาย	6
3.1 หลักการทั่วไปของแอกทีฟฟิลเตอร์	6
3.2 หลักการทำงานของแอกทีฟฟิลเตอร์ แบบ 3 เฟส 4 สาย	8
3.2.1 ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)	8
3.2.2 ส่วนวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (Current Reference Generator)	9
3.2.3 ส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit)	9
3.2.4 ส่วนสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Gating Signal Generator)	10
3.2.5 ส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Control Unit)	10
บทที่ 4 ขั้นตอนการคำนวณและการออกแบบ	11
4.1 ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)	11
4.1.1 การออกแบบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	11
4.1.2 วงจรแยกกราวด์ (Isolated Circuit)	13
4.1.3 วงจรขับ	14
4.1.4 วงจรกำลัง (Power Circuit)	14
4.1.5 ขั้นตอนการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ	16
4.2 ลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Loop)	17
4.2.2 วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit or PI Controller)	18
4.2.3 วงจรสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Gating Signal Generator)	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ	23
5.1 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)	23
5.1.1 การทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า.....	23
5.1.2 การทดสอบวงจรแยกกราวด์.....	24
5.1.3 การทดสอบวงจรขับ	26
5.1.4 การทดสอบลำดับการทำงานของมอสเฟตกำลัง.....	27
5.1.5 การทดสอบหาค่า di/dt เพื่อคำนวณค่าแรงดันดีซีบัสบาร์ และตัวเหนี่ยวนำ	27
5.2 การทดสอบส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า.....	30
5.2.1 การทดสอบวงจรกรอง.....	30
5.2.2 การทดสอบวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit or PI Controller).....	31
5.2.3 การทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Waveform Generator)	33
5.3 ผลการทดสอบการชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก เมื่อ ใ้ดูรูปควบคุมแรงดันไฟฟ้า	34
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	36
6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	36
6.2 บทสรุป.....	36
6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้น	36
ภาคผนวก ก TLP 250	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1	รูปแสดงหลักการทำงานแอกทีฟฟิลเตอร์ แบบ 3 เฟส 4 สาย.....	6
รูปที่ 3.2	รูปบน: แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าก่อนใส่แอกทีฟฟิลเตอร์ และ รูปล่าง: แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าหลังใส่แอกทีฟฟิลเตอร์.....	7
รูปที่ 3.3	รูปแสดง Half-Bridge แอกทีฟฟิลเตอร์ แบบ 3 เฟส 4 สาย.....	8
รูปที่ 3.4	แสดงส่วนวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง.....	9
รูปที่ 3.5	แสดงส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า.....	9
รูปที่ 3.6	แสดงถึงวงจรรวมระหว่าง Current Reference Generator, Current Control Unit, Gating Signal Generator.....	10
รูปที่ 4.1	(a) Configuration and (b) Equivalent Circuit.....	11
รูปที่ 4.2	วงจรทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบ.....	12
รูปที่ 4.3	วงจรทดสอบการทำงาน ของ Photocoupler :TLP250.....	13
รูปที่ 4.4	รูปแสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้มอสเฟตกำลัง.....	14
รูปที่ 4.5	แสดงลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Loop).....	16
รูปที่ 4.6	แสดงวงจรกรองกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz.....	17
รูปที่ 4.7	ภาพแสดงบล็อกไดอะแกรมของลูปควบคุมกระแสแบบ PI.....	19
รูปที่ 4.8	วงจรกำเนิดรูปคลื่นสามเหลี่ยม.....	20
รูปที่ 4.9	รูปแสดงวงจรขับของวงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก.....	21
รูปที่ 4.10	รูปแสดงวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า.....	22
รูปที่ 5.1	แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อกำหนด Duty Cycle 50%.....	23
รูปที่ 5.2	แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อกำหนด Duty Cycle 90%.....	24
รูปที่ 5.3	แสดงผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุต ของ TLP250.....	25
รูปที่ 5.4	แสดงผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก ขา HO1 และ LO1 ของ IR 2130.....	26
รูปที่ 5.5	แสดงผลการทดสอบลำดับการทำงานของวงจร 3 เฟส โดยใช้มอสเฟตกำลัง.....	27
รูปที่ 5.6	แสดงการทดสอบเพื่อหาค่า di/dt.....	28
รูปที่ 5.7	แสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกก่อนเข้าวงจร Rectify :ch2.....	28
รูปที่ 5.8	แสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกในนิวตรอน : ch3.....	29
รูปที่ 5.9	แสดงการวัดค่า di/dt โดยวัดความชันของกราฟกระแสไฟฟ้าไหล.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.10 เอ้าท์พุทของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรรองความถี่กลางผ่าน.....	30
รูปที่ 5.11 รูปแสดงผลทดสอบแอกทีฟฟิลเตอร์ เมื่อไม่มีลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้า.....	31
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกทางด้านเข้าโหลด ค่า THD = 41.92%.....	32
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่ายเมื่อใส่แอกทีฟฟิลเตอร์ค่า THD =12.56%.....	32
รูปที่ 5.14 รูปแสดงผลการทดสอบวงจรกำเนิดสามเหลี่ยม.....	33
รูปที่ 5.15 รูปแสดงผลทดสอบแอกทีฟฟิลเตอร์ เมื่อมีลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้า.....	34
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกทางด้านเข้าโหลด ค่า THD = 43.48%.....	35
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่าย เมื่อใส่แอกทีฟฟิลเตอร์ ค่า THD = 28.85%.....	35

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกจำนวนมากในระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นโหลดชนิดไม่เชิงเส้น (Non-linear Load) ที่นำกระแสไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์ กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกสร้างผลกระทบหลายประการ เช่น

1. ทำให้การใช้ประโยชน์กำลังไฟฟ้าไม่คุ้มค่าที่แสดงได้ด้วยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านเข้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมีค่าต่ำ

2. ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ (Resonance)

วิธีลดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกในอดีตนั้นจะใช้วงจรกรองแบบพาสซีฟ ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สามารถลดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกได้เฉพาะบางฮาร์มอนิก และทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่สามารถสร้างความเสียหายให้แก่ตัวประจุไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้ ข้อจำกัดของวงจรกรองแบบพาสซีฟสามารถปรับปรุงได้โดยใช้วงจรกรองแบบแอกทีฟที่มีข้อดี คือ สามารถจำกัดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกในช่วงความถี่กว้างได้และไม่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ ปรินซิปลินพจน์นำเสนอการสร้างแอกทีฟฟิลเตอร์แบบ 3 เฟส 4 สายสำหรับโหลดแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิด AC/DC (AC/DC converter) ที่สร้างจากไดโอดบริดจ์และตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่กักเก็บไฟฟ้าทางด้านออกมีขนาด 500W (50 V/10 A)

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

2.1 ศัพท์และปริมาณต่างๆ

2.1.1 ฮาร์มอนิก (Harmonics) คือ สัญญาณรูปไซน์ที่ค่าความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล เช่น ถ้าความถี่หลักมูลคือ 50 Hz แล้วฮาร์มอนิกที่ 2 และ 3 คือ 100 และ 150Hz เป็นต้น ซึ่งความถี่หลักมูลเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า ฮาร์มอนิกที่ 1 ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นที่ไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์โดยปกติมักแสดงด้วยค่าความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonics Distortion, THD)

เมื่อโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นถูกป้อนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปสัญญาณรูปไซน์ที่ค่าความถี่หลักมูลซึ่งไม่มีค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายจะมีผลทำให้รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้ามักจะแตกต่างไปจากรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ กระแสไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์นี้สร้างแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของระบบที่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1.2 กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก (Harmonics Current) คือ ฮาร์มอนิกที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าในไลน์ในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่คุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Devices) ซึ่งอาจเป็นโหลดหรือแหล่งกำเนิดก็ได้

2.1.3 แรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิก (Harmonics Voltage) เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกไหลผ่านค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ของสายส่งหรือรีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)

2.1.4 ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion Factor: DF) ตัวประกอบฮาร์มอนิก (Harmonics Factor :HF) ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกทั้งหมด (Total Harmonics Distortion :THD) ความหมายทั้งสามตัวนั้นตามมาตรฐาน IEEE ได้ให้ความหมายไว้เหมือนกัน กล่าวคือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์มอนิก ที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของส่วนประกอบความถี่หลักมูลตามมาตรฐาน IEEE 519-1992 (Harmonics Voltage and Harmonics Current)

$$DF_I = HF_I = THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \times 100\% \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DF_V = HF_V = THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \% \quad (2.2)$$

สำหรับมาตรฐาน IEC ได้ให้ความหมายทั้งสามตัวว่ามันคือ ความเพี้ยนของฮาร์โมนิก (Harmonics Distortion: HD) กล่าวคือ บอกถึงปริมาณของฮาร์โมนิกที่มีอยู่ทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของปริมาณทั้งหมด

2.1.5 ลำดับฮาร์โมนิก (Harmonics Order) คือ อัตราส่วนของความถี่ฮาร์โมนิก และความถี่หลักมูล เช่น เมื่อกล่าวถึงฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ถ้าความถี่หลักมูลเป็น 50 Hz จะได้ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3 เป็น 150 Hz

2.2 ประเภทของฮาร์โมนิก

2.2.1 ฮาร์โมนิก (Harmonic) คือ ส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของสัญญาณความถี่หลักมูล (Fundamental)

2.2.2 อินเตอร์ฮาร์โมนิก (Interharmonic) คือ ส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของสัญญาณความถี่หลักมูลเนื่องจากคาบเวลาของสัญญาณไม่เท่ากันในทุกคาบซึ่งจะพบได้ในโพลคประเภทเตาหลอมอาร์ก และในการควบคุมที่เป็นแบบ I (Integral control)

2.2.3 ฮาร์โมนิกคุณลักษณะ (Characteristic harmonic) คือ ฮาร์โมนิกที่เกิดจากเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าโดยอันดับของฮาร์โมนิกจะเป็นดังสมการนี้

$$n = (k \cdot p) \pm 1$$

p = จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าต่อหนึ่งคาบ

k = เลขจำนวนเต็มบวก (1, 2, 3, ...)

ตัวอย่างของโพลคที่สร้างฮาร์โมนิกในกลุ่มนี้คือ คอนเวอร์เตอร์ (Converter), อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และ ยูพีเอส(UPS)

2.2.4 ฮาร์โมนิกที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ (Non-characteristic Harmonic) คือ ฮาร์โมนิกที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้า โดยอันดับของฮาร์โมนิกไม่เป็นไปตามสมการใน ข้อ 2.2.3 เช่น เครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าชนิด 12 พัลส์ ควรจะมีอันดับฮาร์โมนิกเป็น 11, 13, 23, 25, ... แต่ถ้ามีฮาร์โมนิกอันดับอื่นปนเข้ามาจะถือว่าเป็น ฮาร์โมนิกที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ

2.2.5 ฮาร์โมนิกลำดับที่สามหารลงตัว (Triplen Harmonics) คือ ลำดับฮาร์โมนิกที่หารด้วยสามลงตัว ได้แก่ 3, 6, 9, ... ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับ (Sequence) เป็นศูนย์ ในกรณีที่มีการต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกกลุ่มนี้จะรวมกันไหลในสายนิวตรอน (Neutral) ทำให้เกิดปัญหา กับระบบไฟฟ้าได้ เช่น สายนิวตรอนมีความร้อนสูงมาก เป็นต้น

2.3 การแก้ไขปัญหาระบบฮาร์มอนิก

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิก ถ้าไม่กำจัดฮาร์มอนิกดังกล่าว ก็จะทำให้ อุปกรณ์ต่างๆ ได้รับความเสียหายได้ ระบบที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิกมักมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ดังนั้นจึงมีตัวเก็บประจุไฟฟ้าช่วยแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ด้วย ถ้าหากค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์มอนิกที่อุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิกสร้างขึ้นก็ยังมีโอกาสทำให้อุปกรณ์เสียหายมากขึ้น

การแก้ไขปัญหาระบบฮาร์มอนิกสามารถทำได้หลายประการดังนี้

1. การกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อลดปริมาณฮาร์มอนิกให้มีปริมาณฮาร์มอนิกต่ำ โดยใช้ ฟิวเจอร์ต่อขนานกับระบบ
2. ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Y-\Delta$ ที่ปริมาณฮาร์มอนิกที่ 3 จะไหลวนอยู่ในหม้อแปลง โดยไม่ไหลไปสู่ระบบ
3. การลดทอนฮาร์มอนิกโดยการสร้างปริมาณฮาร์มอนิกไปหักล้างกับปริมาณฮาร์มอนิก ที่จ่ายเข้ามา
4. การเปลี่ยนระบบ การเปลี่ยนที่ตั้งหรือขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ หรือ เพิ่มรีแอกแตนซ์ให้อนุกรมกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยตอบสนองความถี่ฮาร์มอนิก

โดยทั่วไปเราจะใช้วงจร Passive Filter (LC Filter) ในการกำจัดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก และเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แต่ในทางปฏิบัติ Passive Filter จะเป็นระบบอันดับ 2 ซึ่งมีข้อเสีย คือ

1. ค่าความต้านทานของแหล่งจ่าย (Source Impedance) มีผลกระทบต่อลักษณะเฉพาะ ของตัวกรองอย่างมาก
2. ถ้าทั้งกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกและกระแสไฟฟ้าของวงจรไหลเข้าตัวกรอง จะต้องเลือก ค่าความจุไฟฟ้าให้เหมาะสมแก่กระแสไฟฟ้าทั้งสอง
3. เมื่อส่วนประกอบของกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกเพิ่มขึ้น จะทำให้ตัวกรองเกิดโอเวอร์โหลด (รับกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกได้เพียงค่าเดียว)
4. การต่อขนานระหว่างระบบไฟฟ้าและตัวกรองแบบแอกทีฟ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกเพิ่มมากขึ้นทางด้านแหล่งจ่ายที่ความถี่ค่าหนึ่ง

วิธีการที่จะแก้ไขปัญหาลำนี้ แอ๊กทีฟฟิลเตอร์ จึงได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้น ในเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา แอ๊กทีฟฟิลเตอร์ ได้ถูกพัฒนาและสร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมและแก้ปัญหาที่เกิดจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้นได้

ข้อดีของแอ๊กทีฟฟิลเตอร์

1. การติดตั้งแอ๊กทีฟฟิลเตอร์นอกจากจะสามารถกำจัดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกได้สูงถึง 80-90% แล้วยังสามารถปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีได้ในเวลาเดียวกันด้วย
2. สามารถติดตั้งแอ๊กทีฟฟิลเตอร์ที่จุดเมนของระบบเพียงจุดเดียวทำให้การควบคุมเป็นไปอย่างอัตโนมัติ การดูแลรักษาทำได้ง่าย แทนที่จะติดตั้งตามจุดย่อยต่างๆในแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งมักมีหลายจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก
3. การใช้แอ๊กทีฟฟิลเตอร์จะไม่มีข้อจำกัดกระแสไฟฟ้าโหลดหรือกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกว่ามากหรือน้อยเพียงใด กล่าวคือ ถ้ากระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกหลายร้อยหลายพันแอมป์ ก็จะสามารถออกแบบแอ๊กทีฟฟิลเตอร์ที่สามารถรับกระแสไฟฟ้างกล่าวได้ (ขึ้นกับขนาดหม้อแปลงและโหลด) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถรักษาระดับคุณภาพของระบบไฟฟ้าที่ระดับแรงดันค่อนข้างคงที่มาก เมื่อเทียบกับการแก้ไขปัญหาร่วมกันด้วยวิธีอื่น
4. สามารถออกแบบติดตั้งได้ทั้งทางด้านแรงดันต่ำและสูง อีกทั้งมีข้อจำกัดน้อยมากกับโหลดในระบบ

ข้อเสียของแอ๊กทีฟฟิลเตอร์

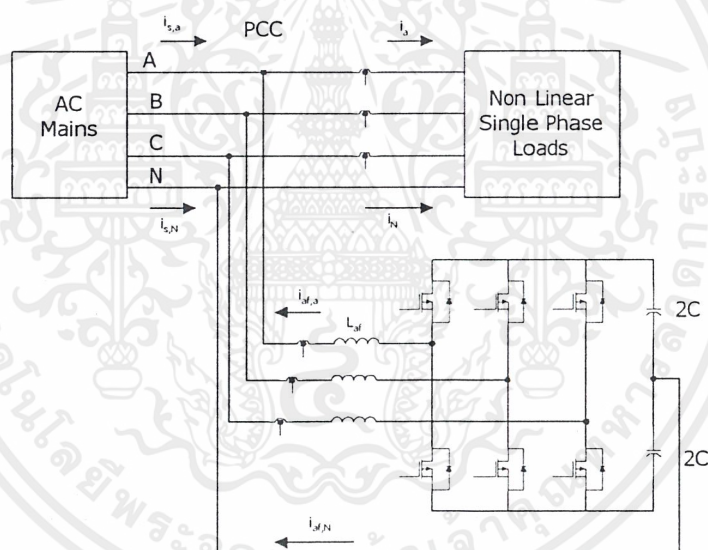
1. ราคาเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับวงจรกรองแบบพาสซีฟ

บทที่ 3

หลักการทํางานของแอกทีฟฟิลเตอร์แบบ 3 เฟส 4 สาย (Three Phase Four Wire Active Power Filter)

3.1 หลักการทํางานของแอกทีฟฟิลเตอร์

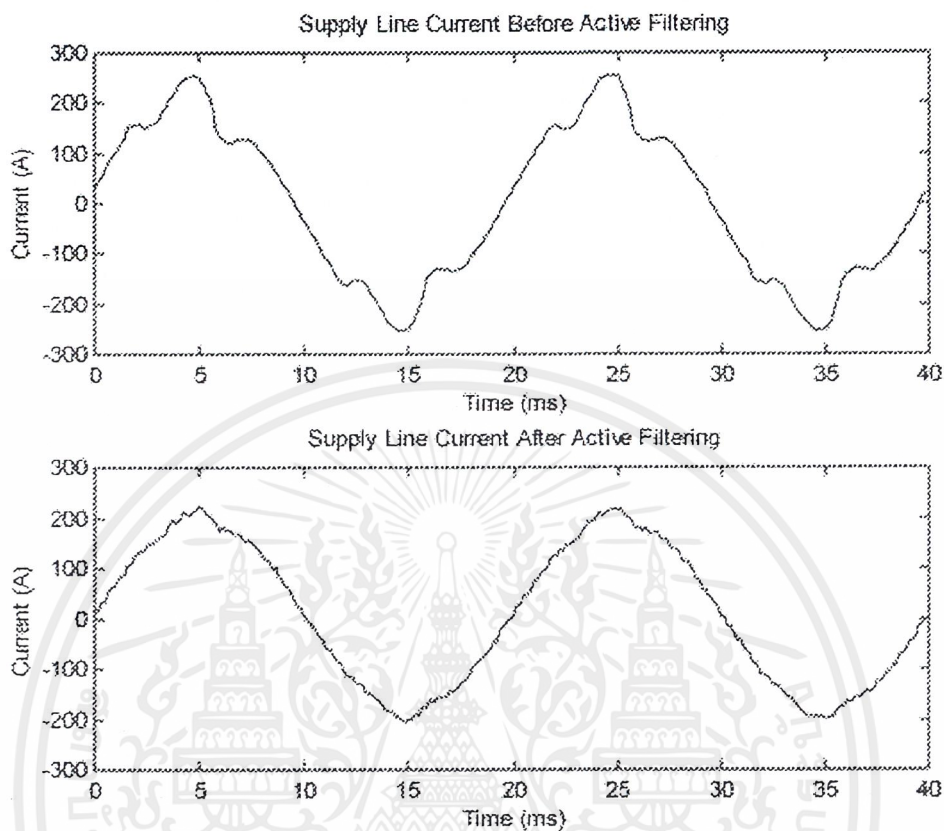
แอกทีฟฟิลเตอร์ ใช้ Power Electronics Switching เพื่อกําเนิดกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม มาหักล้าง กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกที่เกิดจากโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 3.1 รูปแสดงหลักการทํางานของแอกทีฟฟิลเตอร์ แบบ 3 เฟส 4 สาย

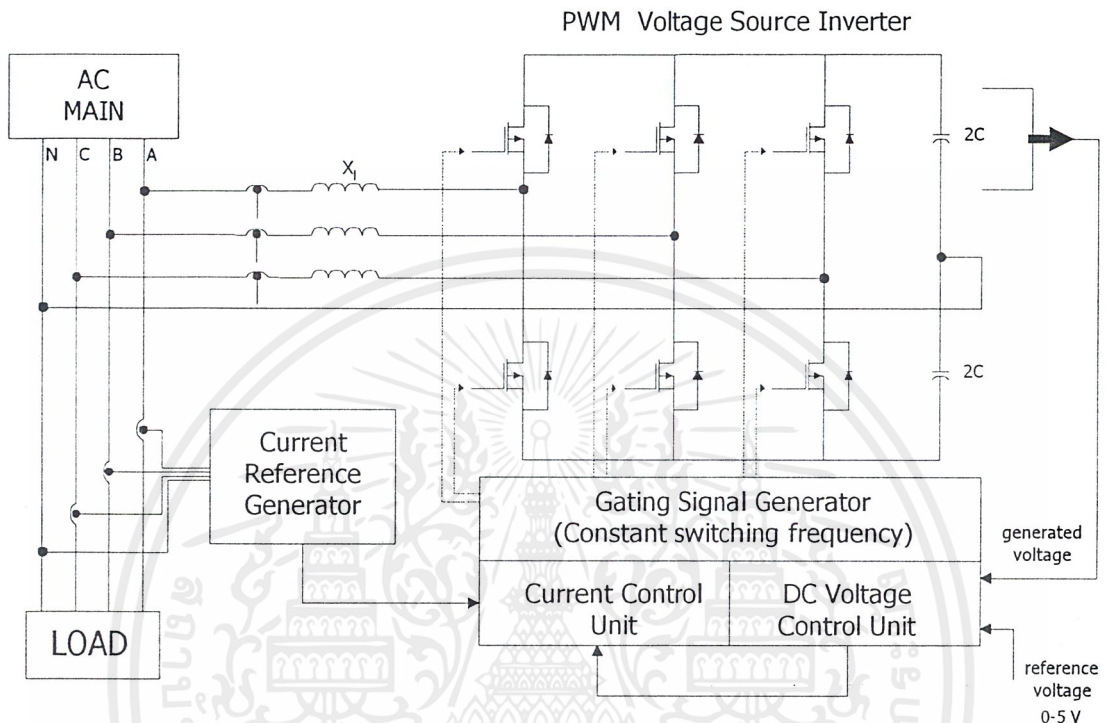
จากรูปที่ 3.1 วิธีหักล้างกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกเริ่มจากกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจ่ายให้แก่ โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) แต่เมื่อวัดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ โหลดจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังรูปที่ 3.2 (รูปบน) จากนั้นจึงทำการต่อแอกทีฟฟิลเตอร์ขนาน เข้ากับวงจรหลักแล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้าใหม่ โดยใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าใหม่นี้ จะถูกปรับกลับเป็นกระแสไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์อีกครั้งดังรูปที่ 3.2 (รูปล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รูปบน: แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าก่อนใส่แอกทีฟฟิลเตอร์และรูปล่าง:แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าหลังใส่แอกทีฟฟิลเตอร์

3.2 หลักการทำงานของแอกทีฟฟิลเตอร์ แบบ 3 เฟส 4 สาย



รูปที่ 3.3 รูปแสดง Half-Bridge แอกทีฟฟิลเตอร์ แบบ 3 เฟส 4 สาย

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงการทำงานของแอกทีฟฟิลเตอร์แบบ 3 เฟส 4 สายออกเป็นส่วนๆดังนี้

3.2.1 ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)

3.2.2 ส่วนวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (Current Reference Generator)

3.2.3 ส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit)

3.2.4 ส่วนสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Gating Signal Generator)

3.2.4 ส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้า (DC Voltage Control Unit)

3.2.1 ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)

ในส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter) นั้น ประกอบไปด้วยมอสเฟตกำลัง (Power Mosfet) 6 ตัว ทำหน้าที่สร้างกระแสไฟฟ้าชดเชยฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นตามคำสั่งของส่วนสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ โดยใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบเซ็นเตอร์แท็ป (Center tap) ที่มีส่วนกลางต่อเข้ากับสายนิวตรอน เป็นแหล่งจ่ายดีซีบัสบาร์ให้แก่อินเวอร์เตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงแรกตัวเก็บประจุไฟฟ้ายังไม่มีประจุไฟฟ้าแต่จะถูกชาร์จผ่านทางไดโอดของมอสเฟตกำลัง โดยจะทำงานสลับกันเป็นช่วงๆ คือช่วงที่มอสเฟตกำลังไม่ทำงานจะมีการชาร์จประจุให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าและในช่วงที่มอสเฟตกำลังทำงานตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่อินเวอร์เตอร์ โดยแรงดันไฟฟ้าที่สร้างจากมอสเฟตกำลังจะจ่ายให้แก่วงจรหลักผ่านทางตัวเหนี่ยวนำ (Inductor, L_{ac}) ซึ่งทำหน้าที่กำจัดฮาร์มอนิกความถี่สูงออกและกรองกระแสไฟฟ้าให้เรียบด้วย

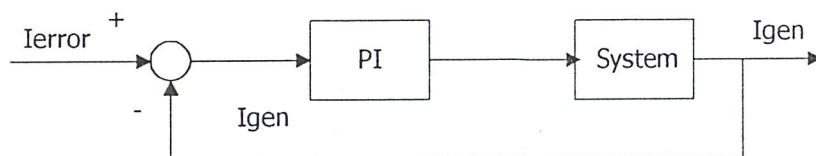
3.2.2 ส่วนวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (Current Reference Generator)



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง

ในส่วนวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิงประกอบด้วยหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) เพื่อวัดรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรหลักซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยนแล้วนำไปกรองความถี่ให้เหลือแต่สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูล (Fundamental Current) แล้วนำมาลบออกจากกระแสไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยน ก็จะได้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดผิดพลาด (I_{error}) เพื่อส่งไปให้ส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า

3.2.3 ส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit)

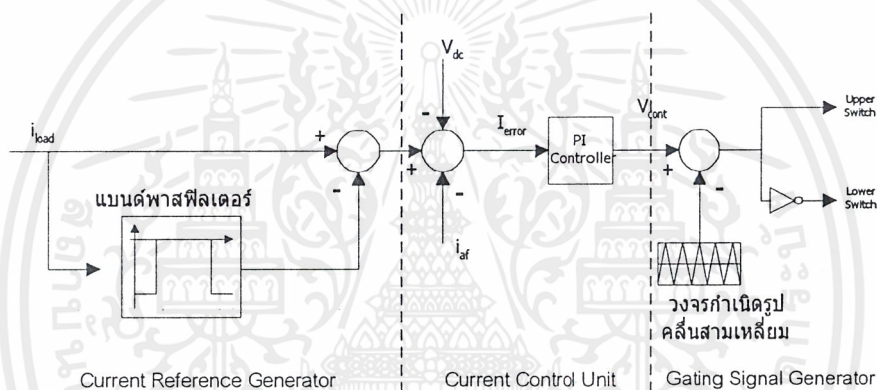


รูปที่ 3.5 แสดงส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า

ในส่วนวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยวงจรควบคุมแบบ PI (Proportional Integral Controller) เพื่อปรับให้กระแสไฟฟ้าที่สร้างจากอินเวอร์เตอร์ (I_{gen}) มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ผิดพลาด (I_{error})

3.2.4 ส่วนสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Gating Signal Generator)

ในส่วนสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์จะทำงานโดยนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าสามเหลี่ยมที่มีความถี่คงที่ เพื่อจะสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์มอสเฟตกำลังในส่วนวงจรกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อชดเชยฮาร์มอนิก



รูปที่ 3.6 แสดงถึงวงจรรวมระหว่าง Current Reference Generator, Current Control Unit, Gating Signal Generator

3.2.5 ส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Control Unit)

ในส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะทำงานโดยควบคุมการคายและการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้อินเวอร์เตอร์ โดยส่วนมากควบคุมแรงดัน จะออกแบบให้ช้ากว่า ควบคุมกระแสไฟฟ้า 10 เท่า เพราะฉะนั้นรูปทั้งสองนี้สามารถพิจารณาแยกออกจากกันได้

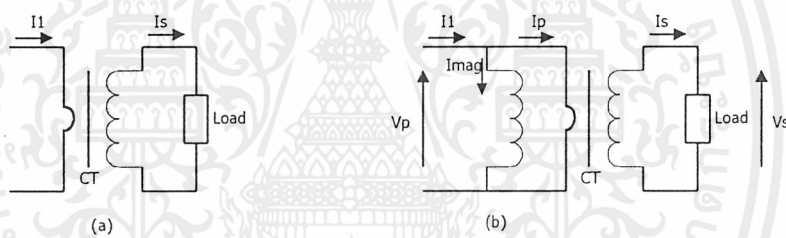
บทที่ 4

ขั้นตอนการคำนวณและการออกแบบ

4.1 ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)

4.1.1 การออกแบบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้นมีได้หลายวิธีแต่จะเลือกใช้ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า มาเป็นตัววัดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากำลังสูง เพราะหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า นั้นจะแยกวงจรไฟฟ้า กำลังสูงออกจากส่วนวัดกระแสไฟฟ้า เมื่อเกิดมีการลัดวงจรในวงจรไฟฟ้า หรือวงจรวัดกระแสไฟฟ้า จะไม่ส่งผลถึงกัน



รูปที่ 4.1 (a) Configuration and (b) Equivalent Circuit

จากรูปที่ 4.1 เป็นวงจรและลักษณะของ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะคล้าย หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Transformer) แต่จะมีข้อแตกต่างที่สำคัญ คือ โหลดที่ต่อกับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าจะต่อด้านปฐมภูมิ ส่วนหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าจะต่อด้านทุติยภูมิ โดยทั่วไปแล้วลวดที่พันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าจะพัน 1-2 รอบ ส่วนด้านทุติยภูมิ จะพันลวดจำนวนรอบมากกว่า ซึ่งจะได้เป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสทางด้านปฐมภูมิ และด้านทุติยภูมิ คือ

$$N_p I_p = N_s I_s \quad (4.1)$$

เนื่องจากคุณสมบัติของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ จะไม่เท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดเลย แต่จะมีค่ากระแสไฟฟ้าทำแม่เหล็ก (Magnetizing Current) ด้วย จึง ต้องพยายามลดค่ากระแสไฟฟ้าทำแม่เหล็ก โดย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- i. รักษาแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้มีค่าต่ำๆ
2. จำนวนรอบที่พันทางด้านทุติยภูมิให้มีค่ามากๆ
3. ให้ค่าความเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิ มีค่ามากๆ

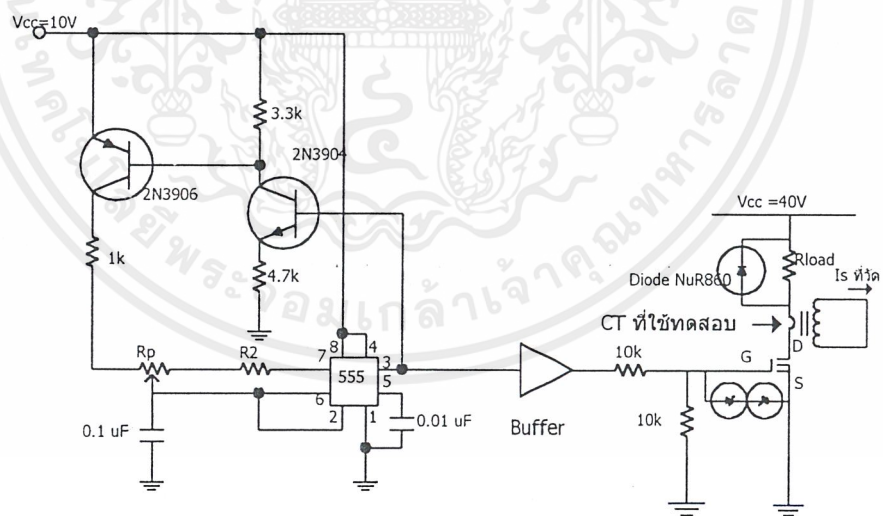
ในการออกแบบการทำให้ แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้มีค่าต่ำๆ คือ พยายามเลือกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ให้มีพื้นที่หน้าตัดมากๆ (A_c) ส่วนการให้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ มีค่ามาก คือ วัสดุที่ใช้ทำแกนควรมีค่า Permeability สูง เพราะฉะนั้นจะสามารถออกแบบ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรขนาด 10A ความถี่ที่ใช้ 10 kHz

จะออกแบบไว้อยู่ที่ $I_p = 15 \text{ A}$, $f = 800 \text{ Hz}$, ใช้ Cycle ที่ 50 %

ใช้แกนเฟอร์ไรต์, $N_p = 1$ รอบ, $N_s = 100$ รอบ

จากการคำนวณจะได้ว่า แกนที่ใช้ คือแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite) EE ขนาด 25/19 มีค่า $B_{sat} = 410 \text{ mT}$ ขนาดของขดลวดทุติยภูมิ คือ AWG 29

หลังจากการพันหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เรียบร้อยแล้วก็นำมาทดสอบว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ วงจรทดสอบเป็นดังนี้

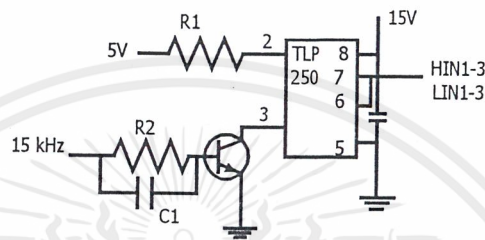


รูปที่ 4.2 วงจรทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 วงจรแยกกราวด์ (Isolated Circuit)

เพื่อทำหน้าที่แยกกราวด์ของวงจรขับกับวงจรควบคุม เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรขับ และป้องกันกระแสรั่วที่เกิดจากวงจรกำลัง ซึ่งในที่นี้ได้ใช้ Photocoupler TLP250 ของ Toshiba



รูปที่ 4.3 วงจรทดสอบการทำงาน ของ Photocoupler :TLP250

จากรูปที่ 4.3 เป็นการคำนวณค่า R เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับ TLP250
คำนวณค่า R1:

$$V_{in} - V_{diode} = I_{in} * R_1 \quad (4.2)$$

$$R_1 = 425 \Omega$$

คำนวณค่า R2:

$$I_B = \beta * I_c ; \beta = 100 \quad (4.3)$$

$$I_c = 0.05 \text{ mA}$$

$$V_{in} = I * R_2 + V_{BE} \quad (4.4)$$

$$5 = (0.005)R_2 + 0.7$$

$$R_2 = 860 \Omega$$

จากนั้นทำการใส่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานกับ ค่า R₂ เพื่อลดเวลา Delay ระหว่างอินพุท กับ เอาท์พุท คือ เพื่อช่วยย้่ามอสเฟตกำลัง มีการสวิตช์เร็วขึ้น เรียกว่า “Speed up Capacitor” เนื่องจากตัวเก็บประจุช่วยย้่าให้มีการถ่ายเทประจุได้เร็วขึ้น แต่ถ้าตัวเก็บประจุมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียได้ คือทำให้ผลตอบสนองของระบบช้าลง

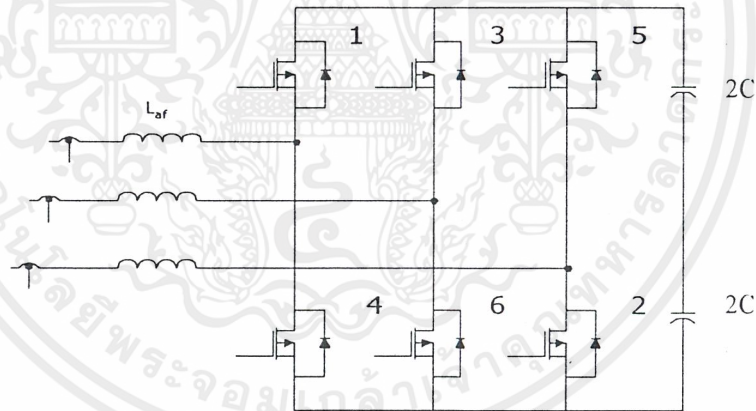
4.1.3 วงจรขับ

ในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ใช้ IR 2130 (3-phase bridge driver) เพื่อทำหน้าที่ขับมอเตอร์กำลัง และแยกวงจรขับมอเตอร์กำลังทางด้านสูงกับทางด้านต่ำ เนื่องจากวงจรกำลังมีระดับแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าสูง

4.1.4 วงจรกำลัง (Power Circuit)

ลักษณะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์กำลังทั้ง 6 ตัวนี้ทำงานเป็นจังหวะ โดยสลับกันทำงานในบรานช์ (Branch) เดียวกัน การทำงานดังกล่าวอาจมีช่วงที่ มอเตอร์กำลังที่อยู่บรานช์เดียวกัน ทำงานพร้อมกันเป็นสาเหตุให้เกิดการลัดวงจร มีผลทำให้วงจรเสียหายได้

ในส่วนของวงจรกำลังนี้ จะใช้มอเตอร์กำลัง เบอร์ STW9ND90 เป็นอุปกรณ์สวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ โดยที่มอเตอร์กำลังจะรับสัญญาณขับจาก ขา HO1, HO2, HO3 และ LO1, LO2, LO3 ของ IR2130



รูปที่ 4.4 รูปแสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้มอเตอร์กำลัง

4.1.5 ขั้นตอนการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

การออกแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้า แบบเซ็นเตอร์แท็ป (Center tap) และตัวเหนี่ยวนำ นั้นจำเป็นต้องกำหนดความถี่ในการเปิด-ปิดสวิตช์สูงพอที่จะกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นให้หมดไป ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นกล่าวว่าควรรใช้ความถี่สวิตช์อย่างน้อย 2 เท่าของความถี่ฮาร์มอนิกสูงสุด หลักการในการออกแบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จำกัดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกลำดับสูงให้มีค่าต่ำกว่า 5% ของกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกลำดับที่ 1 (Fundamental Current) โดยการฉีดกระแสเพื่อชดเชย
2. กระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นโดยแอกทีฟฟิลเตอร์ (di/dt) ต้องเร็วกว่ากระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกที่เกิดจากกระแสโหลด (กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก)

จากหลักการข้อที่ 1 สามารถนำมาเขียนสมการได้เป็น

$$\frac{I_{af, fsw}}{I_1} = \frac{V_{af, fsw}}{I_1 \cdot (f_{sw} / f) \cdot \omega \cdot L_{af}} < 5\% \quad (4.5)$$

ซึ่ง $I_{af, fsw}$ คือ ค่า rms ของกระแสไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่สวิตช์

$V_{af, fsw}$ คือ ค่า rms ของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกจากอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่สวิตช์

I_1 คือ ค่า rms ของกระแสไฟฟ้าโหลดพื้นฐาน

f_{sw} คือ ความถี่สวิตช์

จากหลักการข้อที่ 2 สามารถนำมาเขียนสมการได้เป็น

$$V_s \cdot \sqrt{2} + L_{af} \cdot \left[\frac{di}{dt} \right]_{load} < 0.5V_{dc} \quad (4.6)$$

จากสมการ (4.5) และ (4.6) จะคำนวณหาค่าต่ำสุดของตัวเหนี่ยวนำ (L_{af}) และ แรงดันดีซีบัสบาร์ (DC-busbar, V_{dc}) ได้ การเลือกค่าทั้งสองควรจะเป็นสัดส่วนกันเพราะว่า ถ้าต้องการกำจัดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกให้หมดนั้นความเร็วกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกที่สร้างขึ้นโดยแอกทีฟฟิลเตอร์จะต้องมีค่ามาก ซึ่งจะทำให้ค่า L_{af} มีค่าน้อย ซึ่งถ้าลดค่า L_{af} ให้มีค่าน้อยลงจะเพิ่มกระแสไฟฟ้าริบเปิล (Current Ripple) มากขึ้น และกระแสไฟฟ้าด้านแหล่งจ่าย ที่จ่ายให้โหลดจะมีค่าความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion) มากขึ้น ส่วนผลของการเพิ่มแรงดันดีซีบัสบาร์จะมีผลกระทบเช่นเดียวกันคือ ถ้าเพิ่มแรงดันดีซีบัสบาร์ จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากแอกทีฟฟิลเตอร์เร็วขึ้น และไปเพิ่มกระแสไฟฟ้าริบเปิล ให้มากขึ้นโดยแอกทีฟฟิลเตอร์

ในการออกแบบตัวเก็บประจุที่ใช้ในแรงดันดีซีบัสบาร์ จำเป็นต้องกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าริบเปิลให้มีค่าที่ไม่เกิน 1-2% จาก

$$\Delta V_{dc} = (V_{dc})_{\max} - (V_{dc})_{\min} \quad (4.7)$$

$$= \frac{\Delta \left[\int \sum_{j=a,b,c} \{V_{s,j} \cdot i_{j,h}\} \cdot dt \right]}{C \cdot V_{dc}}$$

ที่ $h = 3, 5, 7, \dots$

เปอร์เซ็นต์รีปเปิลของแรงดันดีซีบัสบาร์ คือ

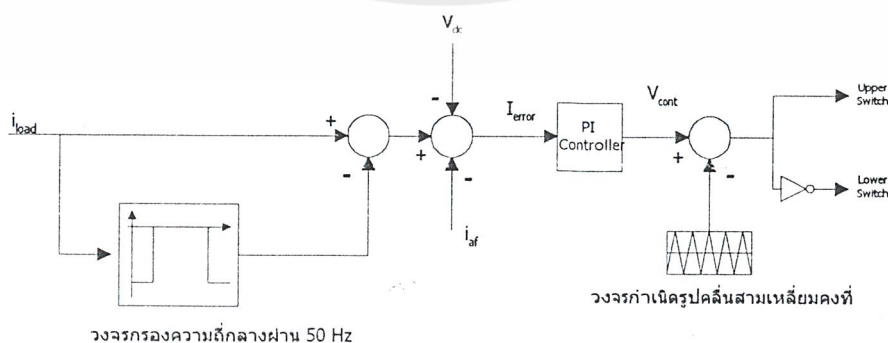
$$r_v = \frac{\Delta \cdot V_{dc}}{V_{dc}} \quad (4.8)$$

จะได้ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าจากสมการทั้งสองคือ

$$C = \frac{\Delta \left[\int \sum_{j=a,b,c} \{v_{s,j} \cdot i_{j,h}\} \cdot dt \right]}{r_v \cdot V_{dc}^2} \quad (4.9)$$

ในการออกแบบค่าแรงดันดีซีบัสบาร์ และตัวเหนี่ยวนำนั้น กำหนดค่า $V_{dc} = 100 \text{ V}$, $L_{af} = 3 \text{ mH}$

4.2 ลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Loop)



รูปที่ 4.5 แสดงลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Loop)

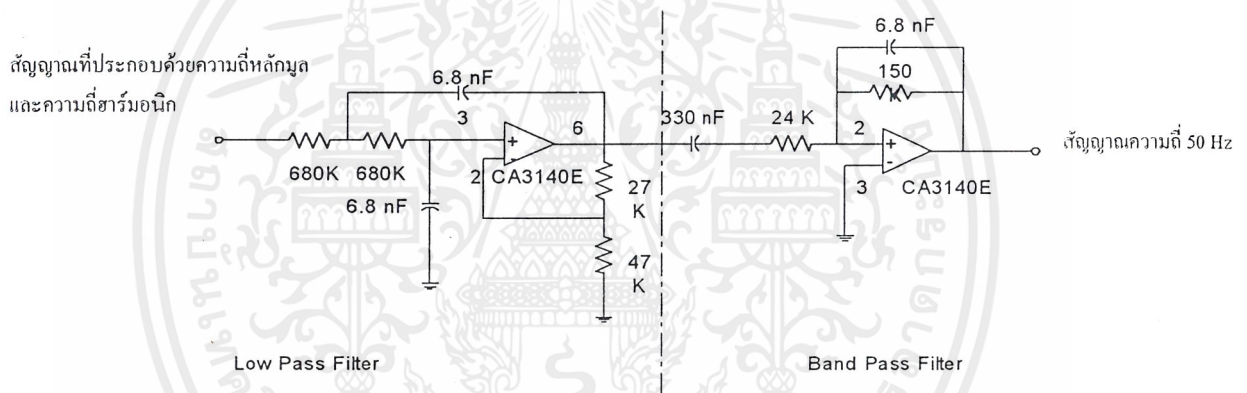
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าต่างๆ

1. วงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (Current Reference Generator)
2. วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit or PI Controller)
3. วงจรสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Triangle Waveform Generator)

4.2.1 วงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (Current Reference Generator)

วงจรสร้างกระแสไฟฟ้าอ้างอิงจะมีวงจรกรอง (Filter) เป็นวงจรหลักทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าสามารถผ่านได้ที่มีความถี่ที่ความถี่แน่นอน หรือช่วงของความถี่หนึ่งสามารถผ่านได้ในขณะที่ป้องกันช่วงความถี่อื่นมิให้ผ่าน



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรกรองกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz

จากรูปที่ 4.6 แสดงวงจรกรองกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เอาท์พุท เป็นกระแสไฟฟ้าหลักมูลที่มีความถี่ 50 Hz วงจรประกอบด้วย

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) เป็นวงจรอันดับสอง แบบ Voltage Control Voltage Source (VCVS) ซึ่งเรียกว่า Sallen and Key Filter เนื่องจากถ้าต้องการกรองกระแสไฟฟ้าให้ได้แค่กระแสไฟฟ้ามูลฐานอย่างเดียวนั้นให้วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงอย่างเดียวนั้น จำเป็นต้องมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านช่วยตัดกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ใกล้เคียงและมากกว่า 50 Hz ออก

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย f_c คือ ความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency)

กำหนดให้ $R1 = R3$ และ $C1 = C2$ จะได้ว่า

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.11)$$

วงจรกรองช่วงความถี่ที่ต้องการ (Band Pass Filter) สร้างขึ้นไว้ช่วยตัดกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำกว่าและมากกว่า 50 Hz ซึ่งการออกแบบจะกำหนดความถี่

$$f1 = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1} \quad (4.12)$$

$$f2 = \frac{1}{2\pi \cdot R2 \cdot C2} \quad (4.13)$$

โดยที่ $f1$ คือ ความถี่ที่ต้องการในช่วงความถี่ต่ำ

$f2$ คือ ความถี่ที่ต้องการในช่วงความถี่สูง

4.2.2 วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit or PI Controller)

ตัวควบคุมแบบ PI ที่ใช้ในการควบคุม จะทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างค่าของ กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก กับกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแอกทีฟฟิลเตอร์ (Iaf) จากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมตามฟังก์ชันการทำงานของ PI ไปควบคุมการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ ตัวควบคุมแบบ PI สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแสที่เกิดจากแอกทีฟฟิลเตอร์ (Iaf) กับ ค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้า (Ierror) ดังนี้

$$Ks = \frac{Vdc}{2\zeta} \quad (4.14)$$

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} \quad (4.15)$$

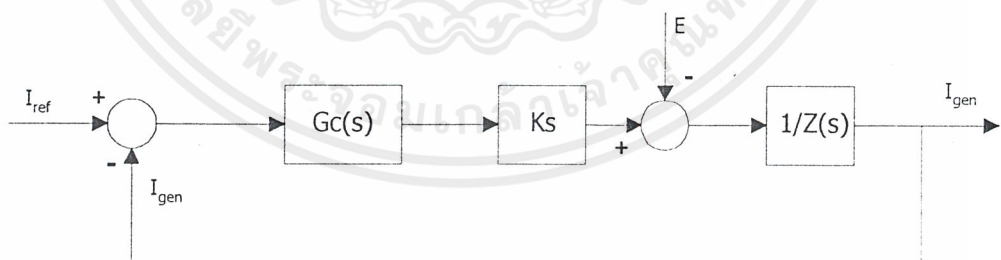
จากรูปที่ 4.7 สามารถหาสมการได้ดังนี้

$$I_{gen} = \frac{K_s \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right)}{R_r + sL_r} I_{ref} - \frac{1}{1 + \frac{K_s \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right)}{R_r + sL_r}} E \quad (4.16)$$

ดังนั้นจะได้สมการคุณลักษณะของลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า

$$1 + \frac{K_p s + \frac{K_i}{s}}{s(R_r + sL_r)} = 0 \quad (4.17)$$

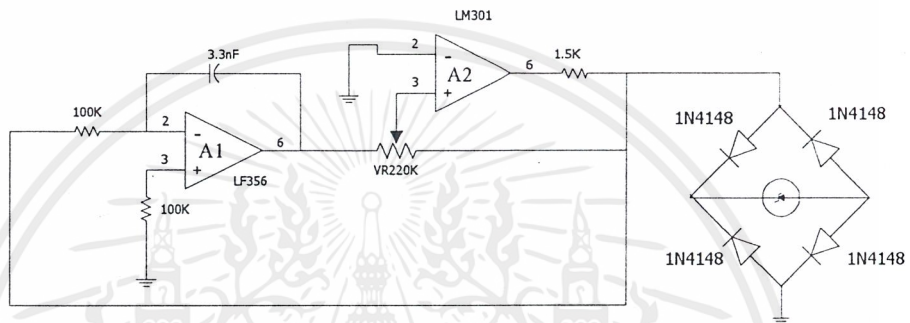
จากการวิเคราะห์ สมการคุณลักษณะแสดงให้เห็นว่า เสถียรภาพของลูปควบคุมกระแส ขึ้นอยู่กับค่า K_p และ K_i K_p เป็น ความเร็วของการตอบสนอง และ K_i เป็น damping factor ของลูปควบคุม ถ้าค่า K_p มีค่ามากจะทำให้ลักษณะพหุนามมีค่ามากกว่าแอมพลิจูดของรูปคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งจะมีผลต่อความถี่ในการสวิตช์ของ อินเวอร์เตอร์ และถ้า K_i มีค่าน้อย จะทำให้เกนของตัวควบคุมแบบ PI มีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่า Generated Current จะไม่สามารถติดตาม reference current ได้ อย่างไม่คลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงบล็อกไดอะแกรมของลูปควบคุมกระแสไฟฟ้าแบบ PI

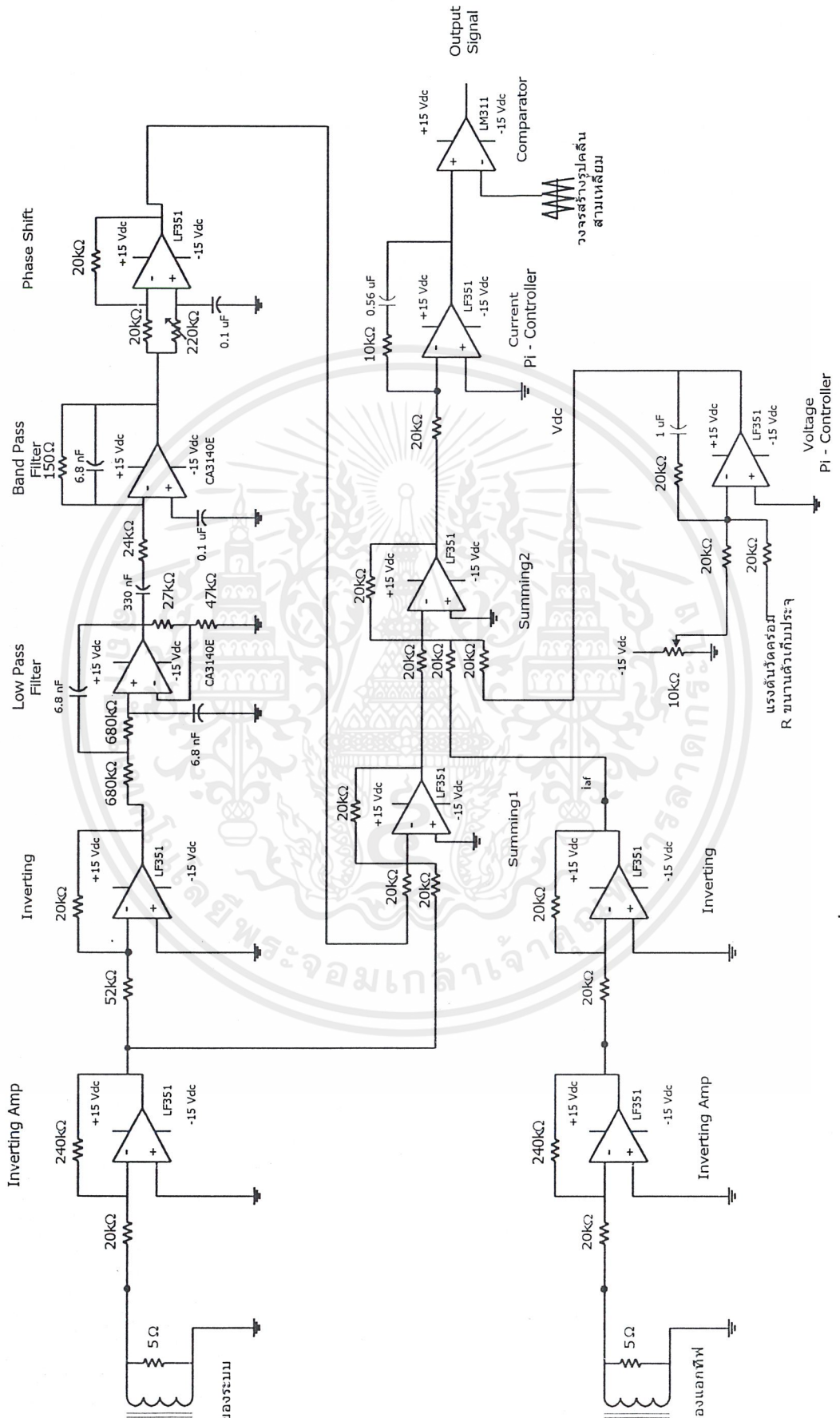
4.2.3 วงจรสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Gating Signal Generator)

วงจรสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ มีวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Waveform Generator) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสามเหลี่ยม เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ สัญญาณอ้างอิงจากส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ขั้วมอสเฟตกำลัง (Gating Signal)



รูปที่ 4.8 วงจรกำเนิดรูปคลื่นสามเหลี่ยม

วงจรถังรูปที่ 4.8 สามารถปรับค่าแอมพลิจูดได้โดยปรับค่า R1 โดยไม่มีผลกับความชันของรูปสามเหลี่ยม ออปแอม A1 ทำหน้าที่เป็นวงจรอินทิเกรต (Integrator) เอาท์พุท จะมีความชันเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับ V1 ออปแอม A2 ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบ (comparator) โดยให้เอาท์พุทเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.10 รูปแสดงวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

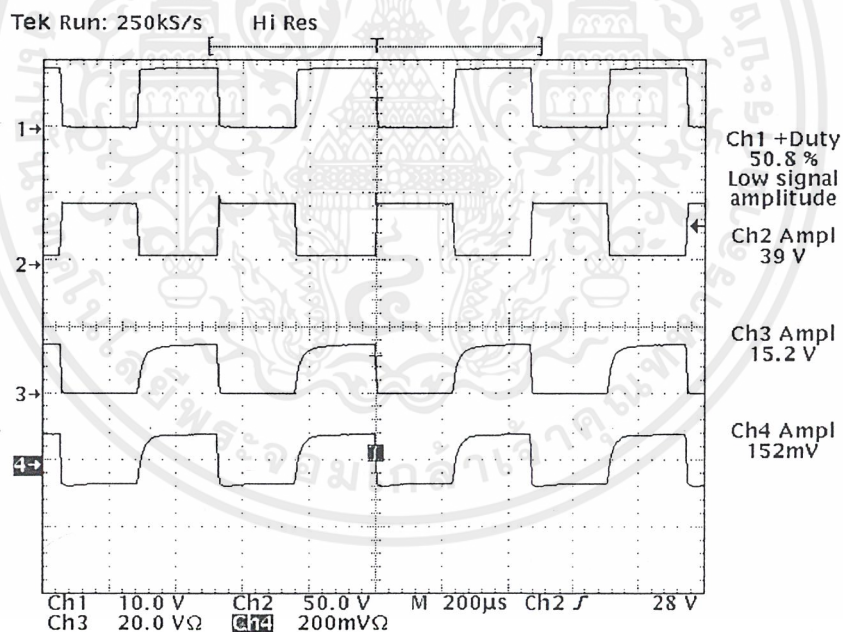
การทดสอบและผลการทดสอบ

ผลการทดสอบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์สามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

- 5.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)
- 5.2 ส่วนควบคุมกระแส (Current Control Unit)
- 5.3 ส่วนควบคุมแรงดัน (Voltage Control Unit)
- 5.4 ส่วนสร้างสัญญาณเปิด-ปิดสวิตช์ (Gating Signal Generator)

5.1 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter)

5.1.1 การทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า



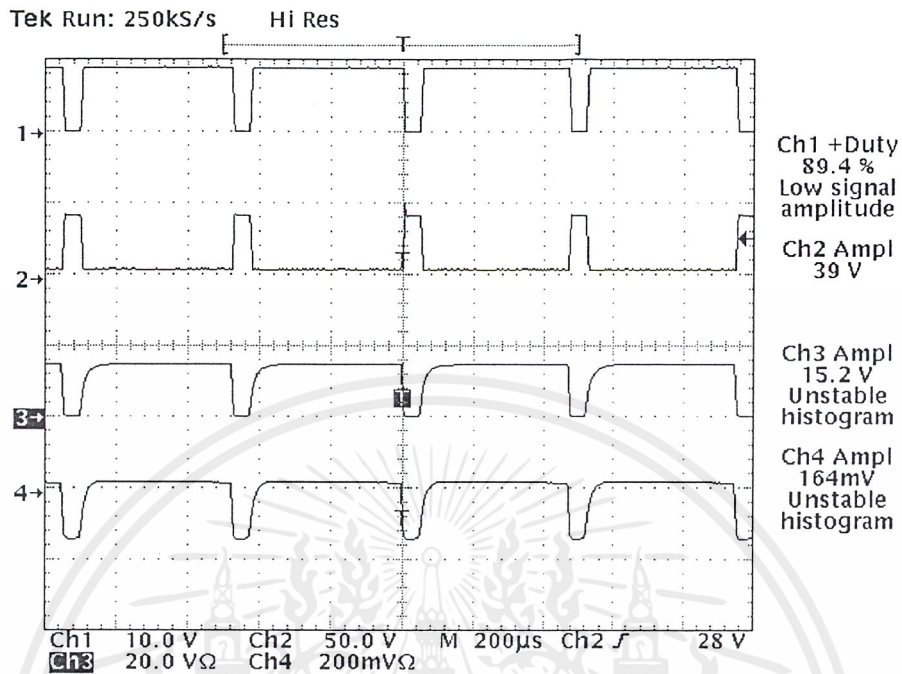
รูปที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อกำหนด Duty Cycle 50%

Ch1 : กราฟเอาต์พุตของวงจร แสดงรอบการทำงาน(Cycle)

Ch2 : กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าระหว่าง ขา Drain ,Source

Ch3 : วัดกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

Ch4 : วัดกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิเพื่อนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปใช้ในการควบคุม



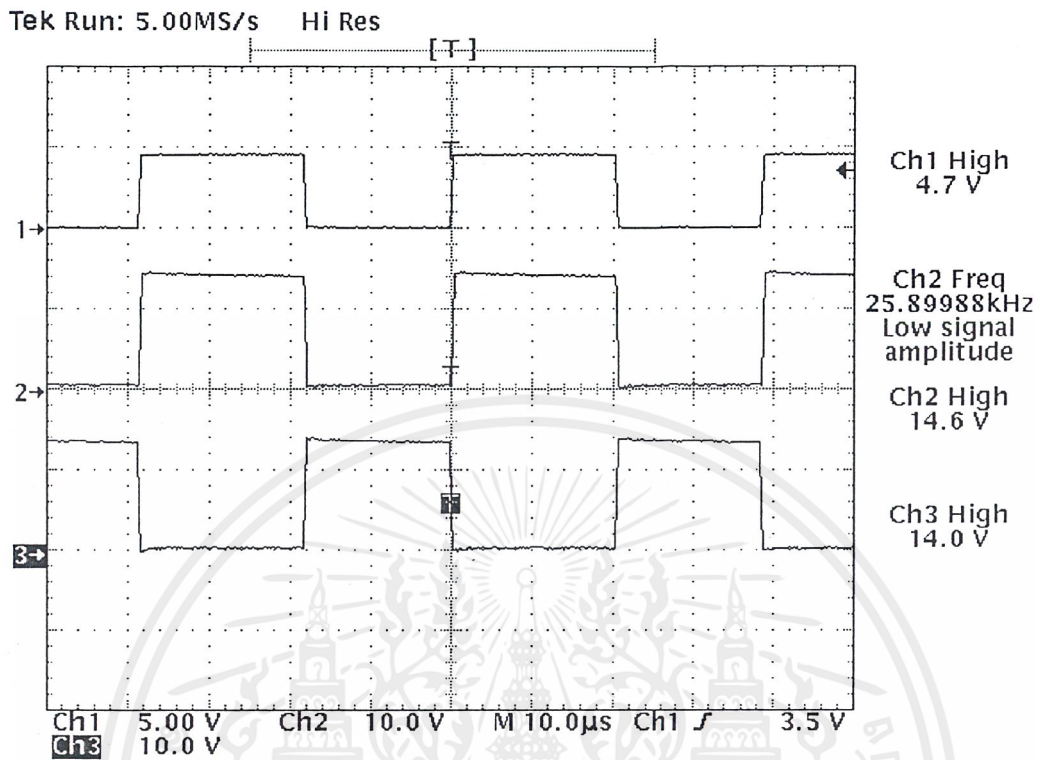
รูปที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อกำหนด Duty Cycle 90%

- Ch1 : กราฟเอาท์พุทของวงจร แสดงรอบการทำงาน(Cycle)
- Ch2 : กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าระหว่าง ขา Drain ,Source
- Ch3 : วัดกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า
- Ch4 : วัดกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิเพื่อนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปใช้ในการควบคุม
- Comment : ค่ายังคงไม่เปลี่ยนไป เมื่อ cycle ประมาณ 85%

5.1.2 การทดสอบวงจรแยกกราวด์

การทดสอบวงจรกราวด์ เพื่อแยกกราวด์ของอินเวอร์เตอร์ ออกเป็นกราวด์ของส่วนควบคุม เนื่องจากเมื่อเกิดการลัดวงจรในส่วนของวงจรไฟฟ้ากำลัง จะไม่ทำให้ส่วนควบคุมเสียหาย จากรูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณ เอาท์พุทที่ออกจาก TLP250

โดยการป้อนสัญญาณอินพุทเป็นพัลส์ที่มีความถี่ 25 kHz เพื่อวัดสัญญาณเอาท์พุทของ TLP250 และวัดสัญญาณของวงจรกลับเฟสดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุต ของ TLP250

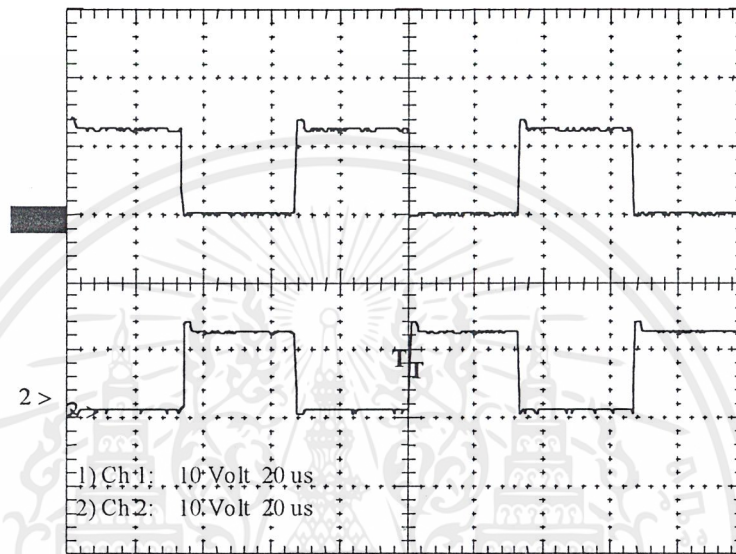
ch1 : สัญญาณอินพุตที่ ความถี่ 25.9 kHz

ch2: สัญญาณเอาต์พุต

ch3: สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกลับเฟส

5.1.3 การทดสอบวงจรขับ

เพื่อทดสอบการทำงานของ IR2130 โดยการต่อเข้ากับวงจร Bootstrap เพื่อสร้างสัญญาณขับมอเตอร์กำลังของวงจรกำลังแบบ Half-Bridge



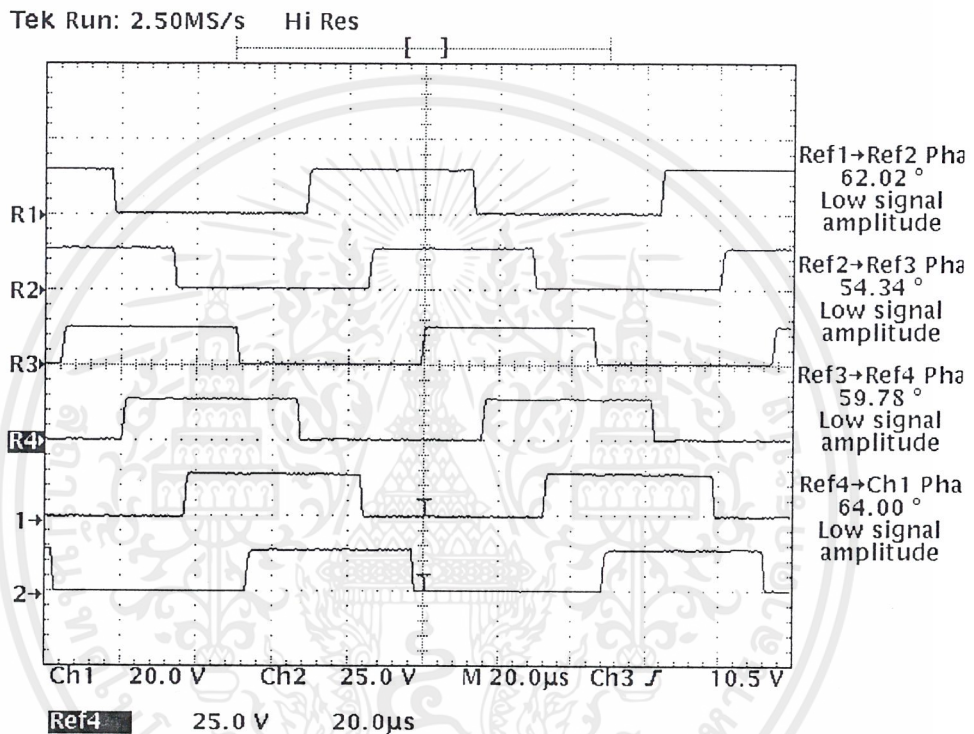
รูปที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก ขา HO1 และ LO1 ของ IR 2130

ch1 : วัดขา HIN 1 ประมาณ 14.6 V

ch2 : วัดขา LIN 1 ประมาณ 13.6 V

5.1.4 การทดสอบลำดับการทำงานของมอสเฟटक้ำล้าง

โดยการป้อนสัญญาณอินพุทให้วงจรแยกกราวด์ เป็นสัญญาณพัลส์ 3 เฟส มีมุมต่างกัน 120 องศา โดยมีลำดับการทำงานสลับกัน ดังรูปที่ 5.5

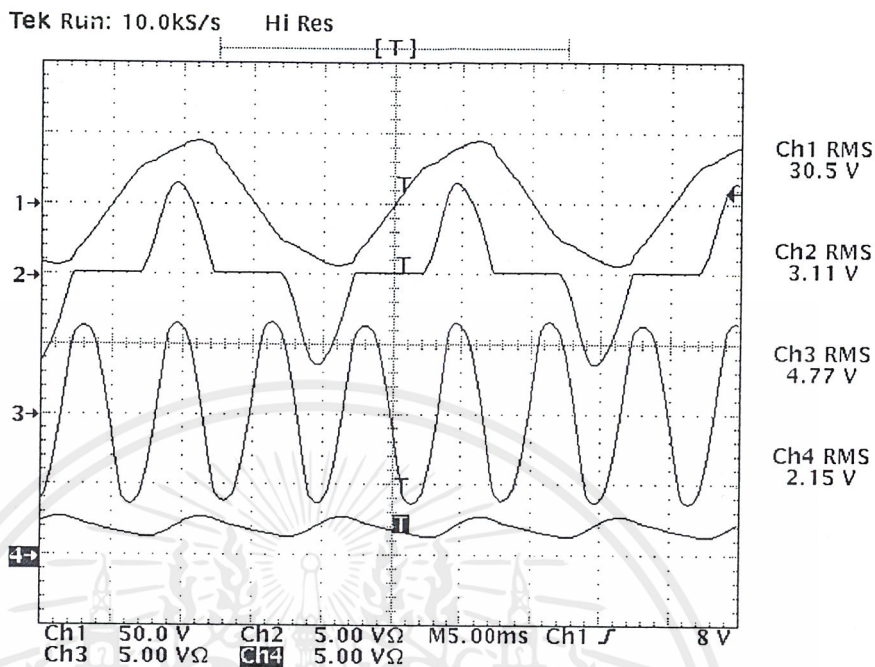


รูปที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบลำดับการทำงานของวงจร 3 เฟส โดยใช้มอสเฟटक้ำล้าง

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| R1: สัญญาณขับ MOSFET ตัวที่ 1 | R2: สัญญาณขับ MOSFET ตัวที่ 2 |
| R3: สัญญาณขับ MOSFET ตัวที่ 3 | R4: สัญญาณขับ MOSFET ตัวที่ 4 |
| Ch1: สัญญาณขับ MOSFET ตัวที่ 5 | Ch2: สัญญาณขับ MOSFET ตัวที่ 6 |

5.1.5 การทดสอบหาค่า di/dt เพื่อคำนวณค่าแรงดันดีซีบีสบาร์ และตัวเหนี่ยวนำ

เนื่องจากการคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจำเป็นต้องหากระแสไฟฟ้ที่เกิดขึ้นเพื่อหาค่า di/dt เพื่อคำนวณค่า C โดยกำหนด $V_{dc} = 30 \text{ V}$ และ $L_{af} = 3 \text{ mH}$



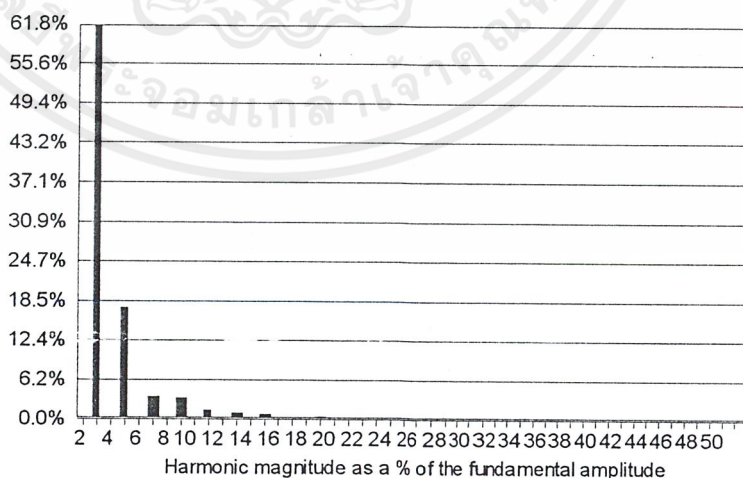
รูปที่ 5.6 แสดงการทดสอบเพื่อหาค่า di/dt

ch 1 : แสดงกราฟ แรงดันของแหล่งจ่าย (Voltage Source) เฟสที่ 1 วัดค่า $V_{rms}=30.5$ V

ch 2 : แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าวงจรเรียงกระแส (Bridge Rectify)

ch 3 : แสดงกราฟกระแสในนิวตรอน

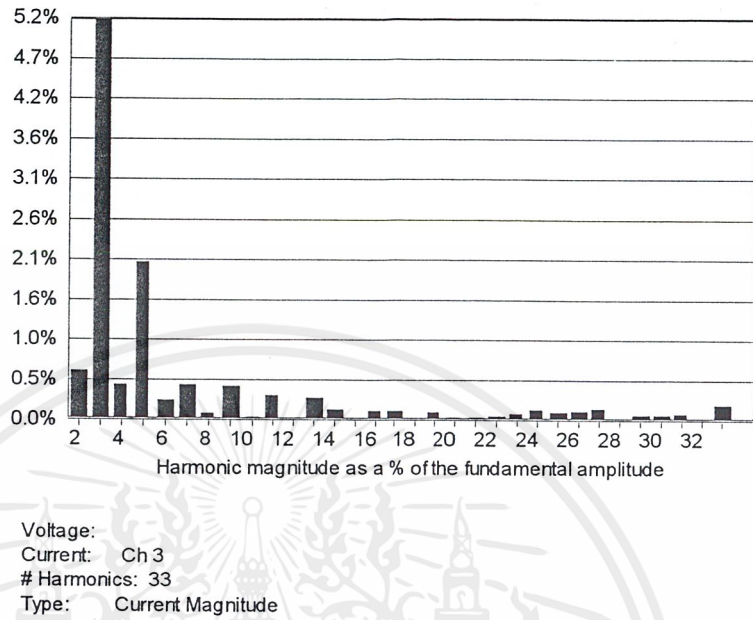
ch 4 : แสดงกราฟกระแสเอาต์พุต



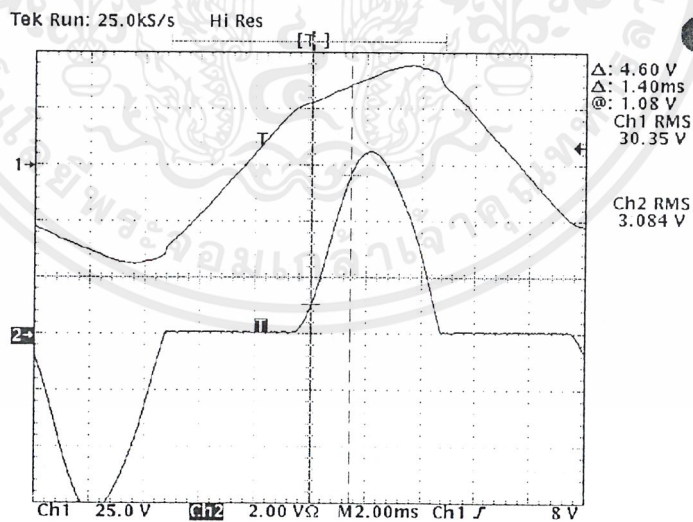
Voltage:
Current: Ch2
Harmonics: 51
Type: Current Magnitude

รูปที่ 5.7 แสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกก่อนเข้าวงจร Rectify :ch2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกในนิวตรอน : ch3



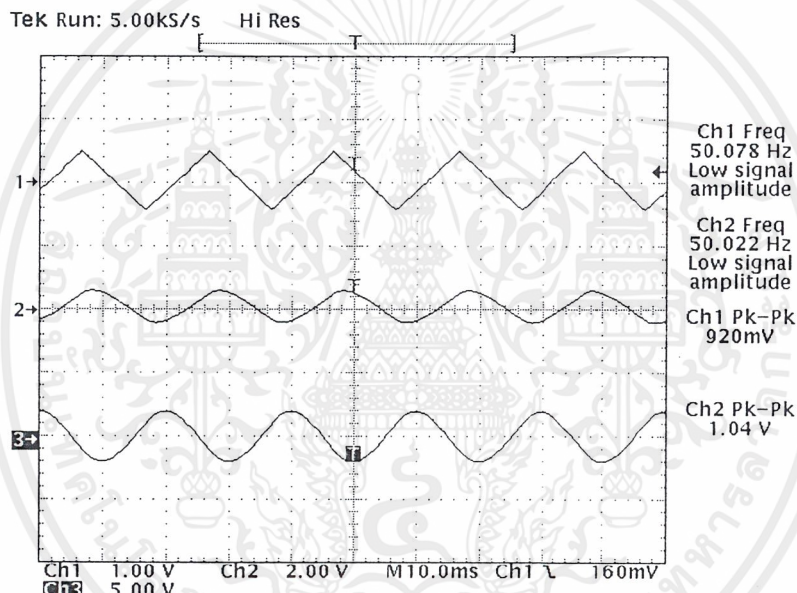
รูปที่ 5.9 แสดงการวัดค่า di/dt โดยวัดความชันของกราฟกระแสไฟฟ้าโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบส่วนควบคุมกระแสไฟฟ้า

5.2.1 การทดสอบวงจรกรอง

การทดสอบวงจรกรอง โดยป้อนอินพุตรูปคลื่นใดๆ ในที่นี้ใช้รูปคลื่นสามเหลี่ยมเป็นอินพุต เอาท์พุทที่ได้จะเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ความถี่เท่ากับความถี่มูลฐาน (50 Hz) เพื่อนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ มาเปรียบเทียบกับกระแสโหลดดังรูปที่ 5.10



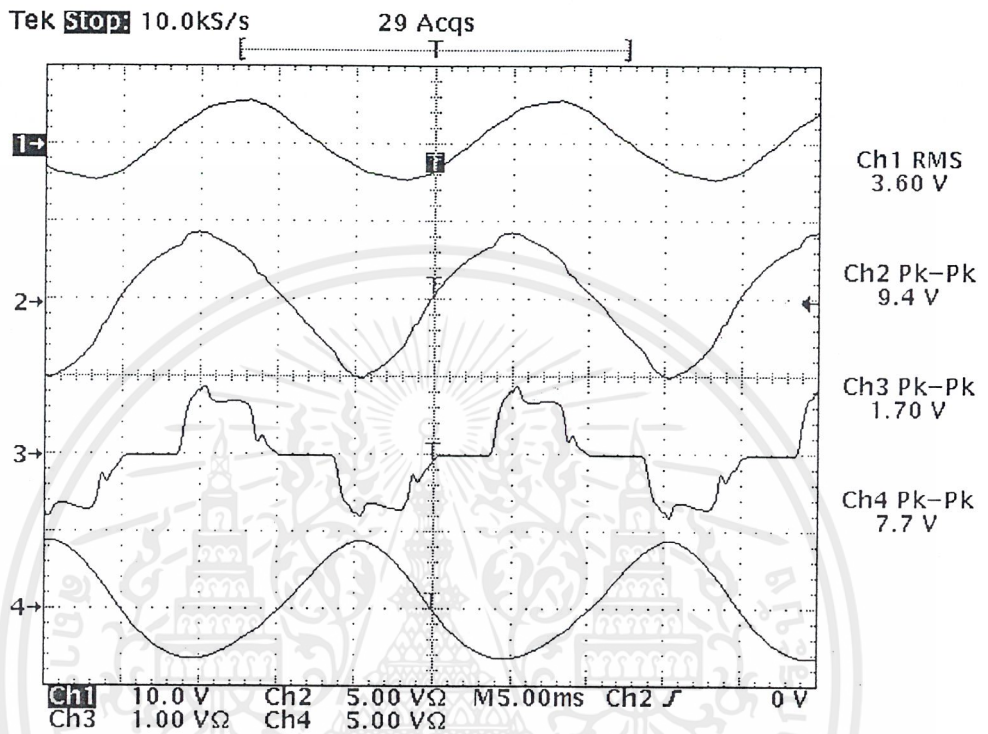
รูปที่ 5.10 เอาท์พุทของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรกรองความถี่กลางผ่าน

ch1: กราฟแสดงอินพุตรูปคลื่นสามเหลี่ยม ที่ความถี่ 50Hz

ch2: เอาท์พุทของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ch3: เอาท์พุทของวงจรกรองความถี่กลางผ่าน:ความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกรวม (THD) 4.03% ,แรงดันไฟฟ้า 1.39 V

5.2.2 การทดสอบวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control Unit or PI Controller)

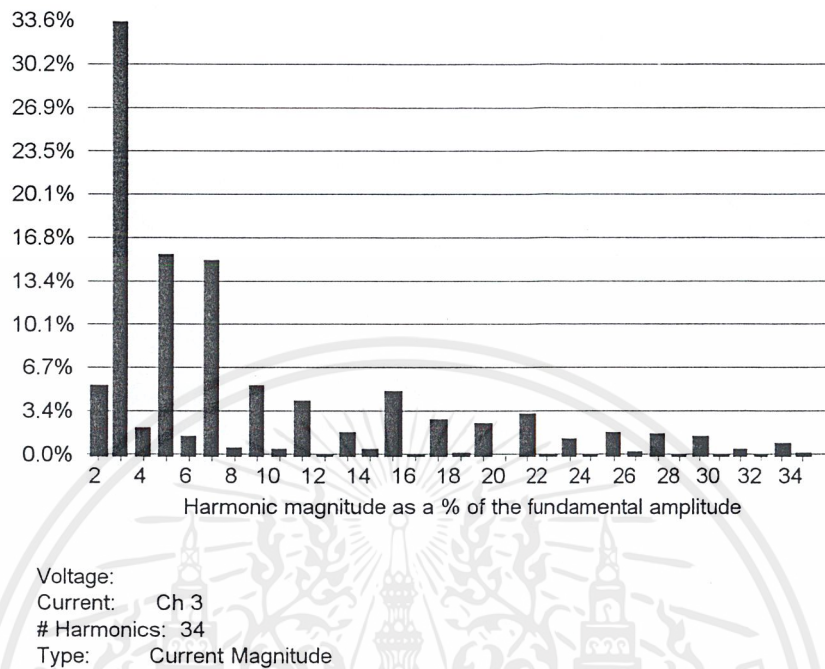


รูปที่ 5.11 รูปแสดงผลทดสอบแอกทีฟฟิลเตอร์ เมื่อไม่มีอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า

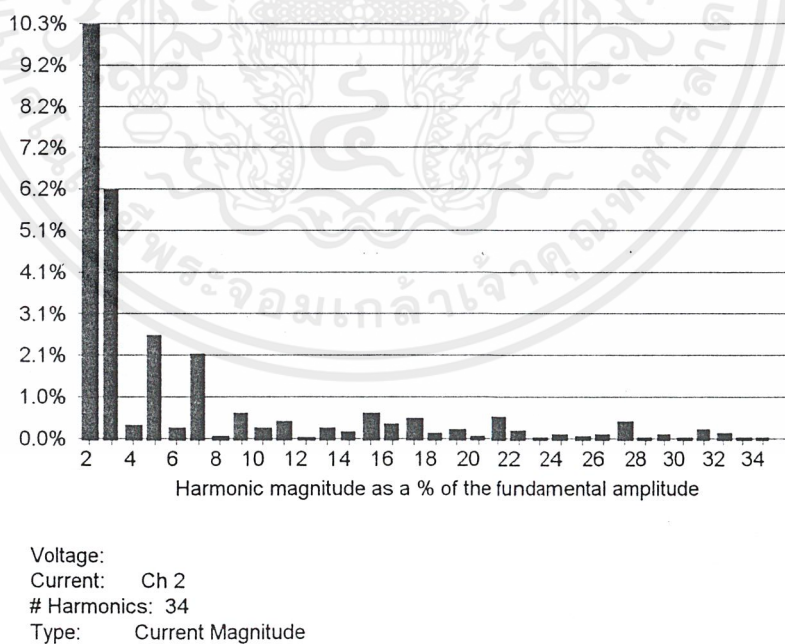
Ch 1 : รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย

Ch 2 : รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย เมื่อใส่แอกทีฟฟิลเตอร์ THD = 12.56%

Ch 3 : รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าโหลด THD = 41.92%



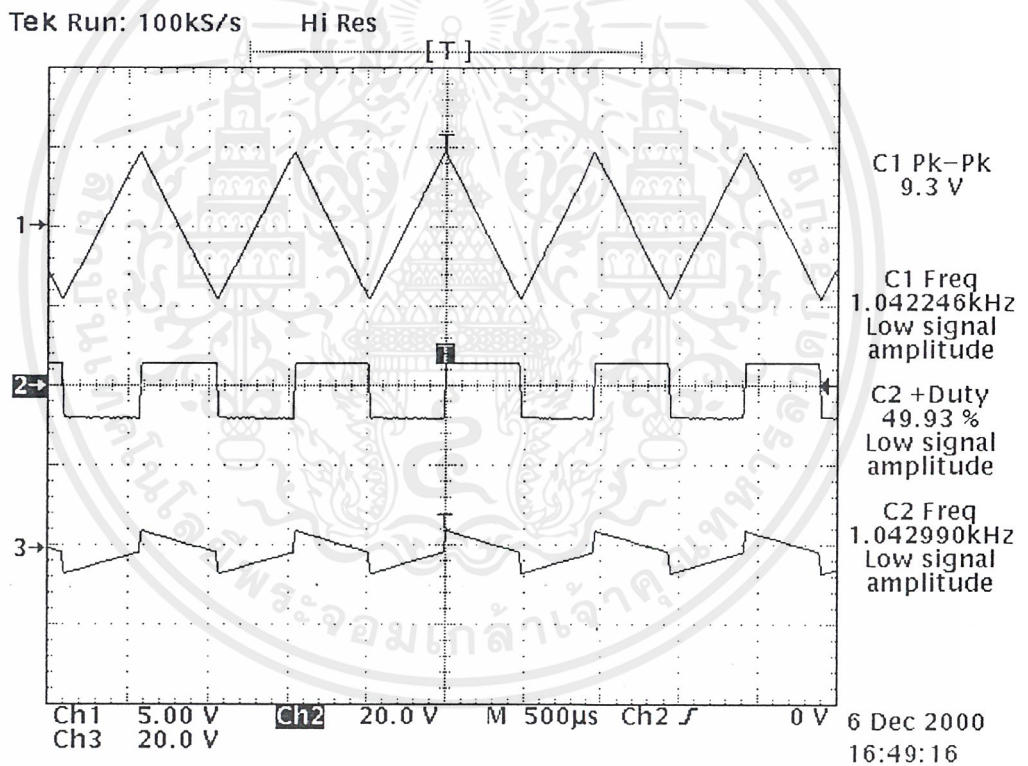
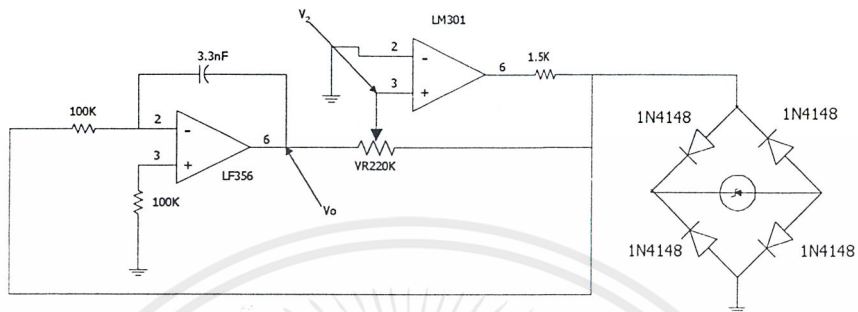
รูปที่ 5.12. กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกทางด้านเข้าโหลด ค่า THD = 41.92%



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่าย เมื่อใส่แอกทีฟฟิลเตอร์
ค่า THD = 12.56%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Waveform Generator)



รูปที่ 5.14 รูปแสดงผลการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

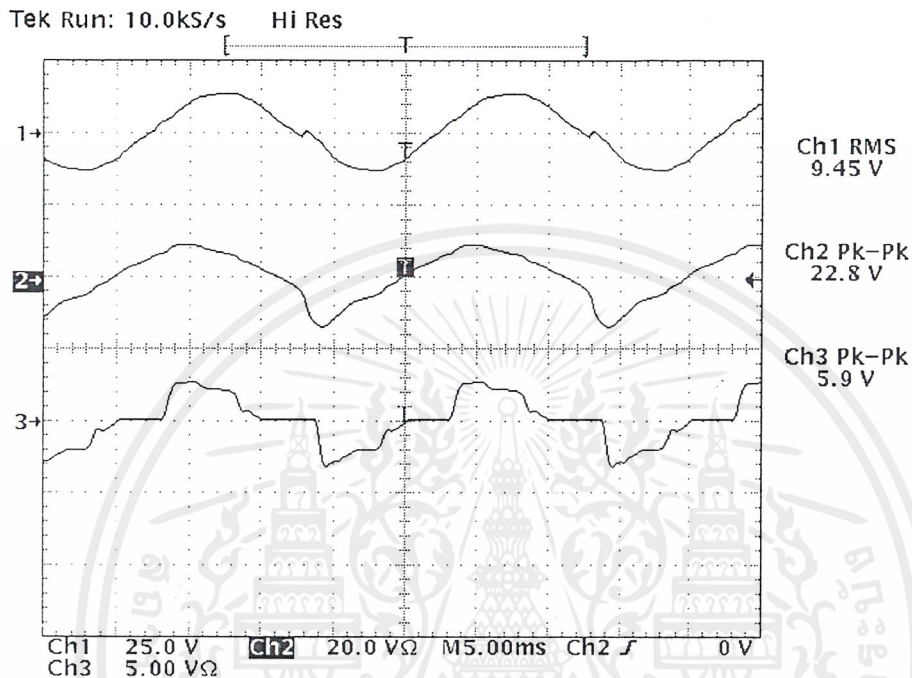
ch1 : วัดสัญญาณ V_o ได้รูปคลื่นสามเหลี่ยม ความถี่ 1 kHz

ch2 : วัดสัญญาณ V_1 ได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยม มี Cycle ประมาณ 50 %

ch3 : วัดสัญญาณ V_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดสอบการชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก เมื่อใส่ลูปควบคุมแรงดัน

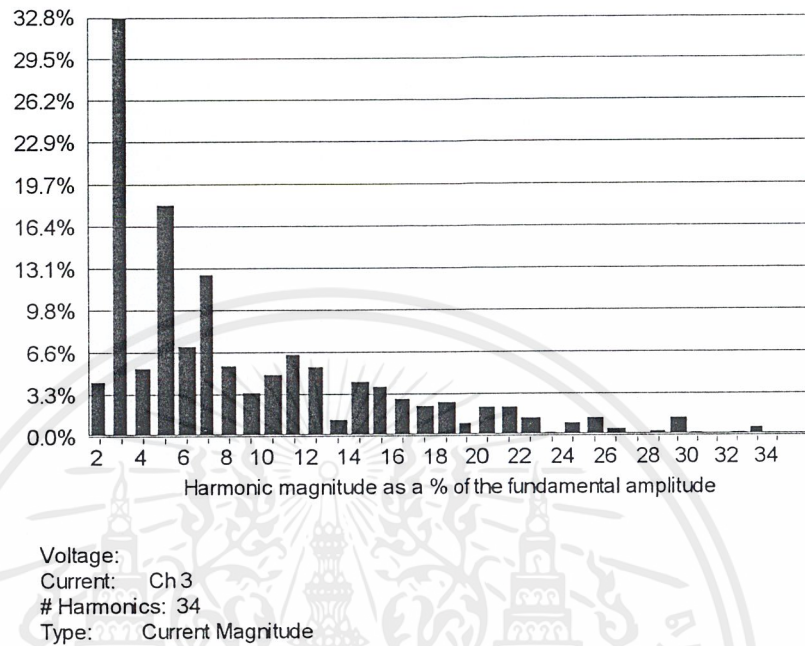


รูปที่ 5.15 รูปแสดงผลทดสอบแอกทีฟฟิลเตอร์ เมื่อมีลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้า

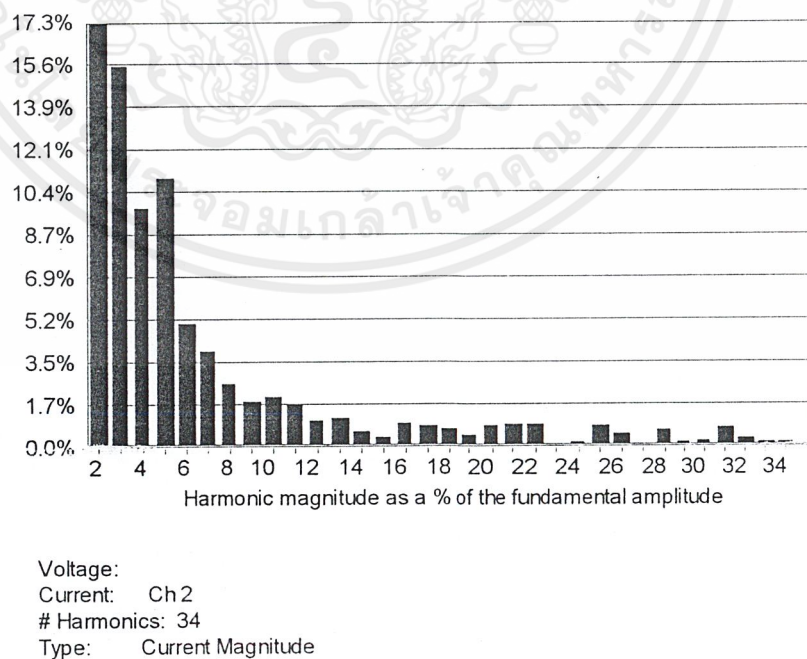
Ch 1 : รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย

Ch 2 : รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ค่า THD = 43.48%

Ch 3 : รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางคืนเข้าโหลด THD = 28.85%



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกทางค่านเข้าโหลด ค่า THD = 43.48%



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกจากแหล่งจ่าย เมื่อใส่แอกทีฟฟิลเตอร์ ค่า THD = 28.85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลองและบทสรุป

ปริญญานิพนธ์ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการในการออกแบบวงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอกทีฟ เพื่อเป็นความรู้เบื้องต้นในการทำงานและแนวทางการออกแบบวงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอกทีฟ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาได้ต่อไป

6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. วงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอกทีฟเมื่อไม่ใช้ลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถกำจัดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกได้ดี เมื่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามีค่าไม่เกิน 10 V แต่เมื่อใส่ลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้าทำให้สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายได้ถึง 15-20 V โดยไม่ทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงกว่า 10 A

2. สามารถลดค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) ได้

6.2 บทสรุป

วงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอกทีฟสามารถปรับปรุงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าที่มีลักษณะไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปสัญญาณรูปไซน์ ที่แสดงผลได้ด้วยค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรชดเชยกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกแบบแอกทีฟ (THD=28.85%) น้อยกว่าค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบที่ใช้ไดโอดบริดจ์และตัวเก็บประจุไฟฟ้า (THD=43.48%)

6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. เกิดจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเอง เช่น หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า มีความไม่เสถียร ทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ส่งมามีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากเดิม
2. ไม่สามารถออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่มีค่ามากกว่า 3 mH ได้ เนื่องจากแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้มีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กต่ำ เพียง 0.2 T เท่านั้น
3. การออกแบบตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถใช้แกนเหล็กแทนแกนเฟอร์ไรต์ได้ เนื่องจากความถี่สวิตชิ่งมีค่าสูงถึง 10 kHz และแกนเหล็กเกิดความร้อนสูงมาก



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

TRANSISTOR INVERTER
 INVERTER FOR AIR CONDITIONOR
 IGBT GATE DRIVE
 POWER MOS FET GATE DRIVE

The Toshiba TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

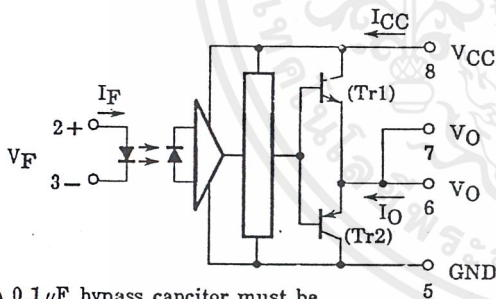
- Input Threshold Current : $I_F = 5\text{mA (Max.)}$
- Supply Current (I_{CC}) : 11mA (Max.)
- Supply Voltage (V_{CC}) : $10\text{-}35\text{V}$
- Output Current (I_O) : $\pm 0.5\text{A (Min.)}$
- Switching Time (t_{pLH}/t_{pHL}) : $0.5\mu\text{s (Max.)}$
- Isolation Voltage : $2500\text{V}_{\text{rms (Min.)}}$
- UL Recognized : UL1577, File No.E67349

- Option (D4) type
 VDE Approved : DIN VDE0884/06.92, Certificate No.76823
 Maximum Operating Insulation Voltage : 630V_{PK}
 Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}

(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "Option (D4)"

- Creepage Distance : 6.4mm (Min.)
- Clearance : 6.4mm (Min.)

SCHMATIC

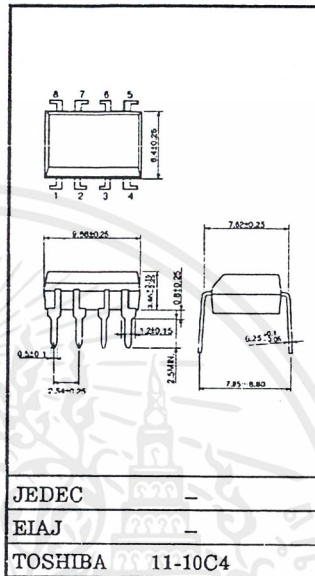


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See more 5).

TRUTH TABLE

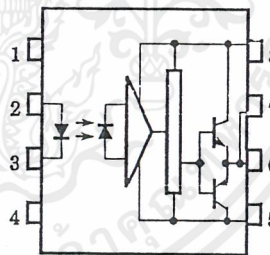
		Tr1	Tr2
Input LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

Unit in mm



Weight : 0.54g

PIN CONFIGURATION (TOP VIEW)



- 1 : N.C.
- 2 : ANODE
- 3 : CATHODE
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (OUTPUT)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

© The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
 © These TOSHIBA products are intended for use in general commercial applications (office equipment, communication equipment, measuring equipment, domestic appliances, etc.). Please make sure that you consult with us before you use these TOSHIBA products in equipment which requires extraordinarily high quality and/or reliability, and in equipment which may involve life threatening or critical application, including but not limited to such uses as atomic energy control, airplane or spaceship instrumentation, traffic signals, medical instrumentation, combustion control, all types of safety devices, etc. TOSHIBA cannot accept and hereby disclaims liability for any damage which may occur in case the TOSHIBA products are used in such equipment or applications without prior consultation with TOSHIBA.

TLP250 - 1
 1996 - 4 - 8
TOSHIBA CORPORATION

(TLP250)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current	I _F	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI _F / ΔTa	-0.36	mA/°C	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)	I _{FPT}	1	A	
	Reverse Voltage	V _R	5	V	
	Junction Temperature	(T _J)	125	°C	
DETECTOR	"H" Peak Output Current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz)(Note 2)	I _{OPH}	-1.5	A	
	"L" Peak Output Current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz)(Note 2)	I _{OPL}	+1.5	A	
	Output Voltage	V _O	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply Voltage	V _{CC}	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _O / ΔTa	-0.73	V/°C	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _{CC} / ΔTa	-0.73	V/°C	
	Junction Temperature	(T _J)	125	°C	
Operating Frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating Temperature Range	T _{opr}	-20~70	°C		
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55~125	°C		
Lead Solder Temperature (10s)	T _{sol}	260	°C		
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%, T _c = 25°C) (Note 4)	BV _S	2500	V _{rms}		

Note 1 : Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2 : Exponential Waveform

Note 3 : Exponential Waveform, I_{OPH} ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

Note 4 : Device considered a two terminal device : pins 1,2,3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 5 : A ceramic capacitor (0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Input Current, ON	I _F (ON)	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	V _F (OFF)	0	—	0.8	V
Supply Voltage	V _{CC}	15	—	30 20	V
Peak Output Current	I _{OPH} / I _{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	T _{opr}	-20	25	70 85	°C

TLP250-2
 1996-4-8
 TOSHIBA CORPORATION

SEMICONDUCTOR

TOSHIBA

TECHNICAL DATA

TLP250

(TLP250)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT
Input Forward Voltage		V _F	—	I _F =10mA, Ta=25°C		1.6	1.8	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage		ΔV _F /ΔTa	—	I _F =10mA	—	-2.0	—	mV/°C
Input Reverse Current		I _R	—	V _R =5V, Ta=25°C		—	10	μA
Input Capacitance		C _T	—	V=0, f=1MHz, Ta=25°C	—	45	250	pF
Output Current	"H" Level	I _{OPH}	3	V _{CC} =30V (*1) I _F =10mA V ₈₋₆ =4V I _F =0 V ₆₋₅ =2.5V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" Level	I _{OPL}	2		0.5	2	—	
Output Voltage	"H" Level	V _{OH}	4	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, I _F =5mA	11	12.8	—	V
	"L" Level	V _{OL}	5	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, V _F =0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply Current	"H" Level	I _{CCH}	—	V _{CC} =30V, I _F =10mA Ta=25°C	—	7	—	mA
				V _{CC} =30V, I _F =10mA	—	—	11	
	"L" Level	I _{CCL}	—	V _{CC} =30V, I _F =0mA Ta=25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} =30V, I _F =0mA	—	—	11	
Threshold Input Current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, V _O >0V	—	1.2	5	mA
Threshold Input Voltage	"Output H→L"	V _{FHL}	—	V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω, V _O <0V	0.8	—	—	V
Supply Voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (Input-Output)		C _S	—	V _S =0, f=1MHz Ta=25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance (Input-Output)		R _S	—	V _S =500V, Ta=25°C R.H. ≤ 60%	5×10 ¹⁰	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta=25°C (*1) : Duration of I_O time ≤ 50μs

TLP250-3
1996-4-8
TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT
Propagation Delay Time	L→H	t _{pLH}	6	I _F =8mA V _{CC1} =+15V, V _{EE1} =-15V R _L =200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t _{pHL}			—	0.15	0.5	
Output Rise Time		t _r			—	—	—	
Output Fall Time		t _f			—	—	—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		C _{MH}	7	V _{CM} =600V, I _F =8mA V _{CC} =30V, Ta=25°C	-5000	—	—	V/μs
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		C _{ML}	7	V _{CM} =600V, I _F =0mA V _{CC} =30V, Ta=25°C	5000	—	—	V/μs

* All typical values are at Ta=25°C

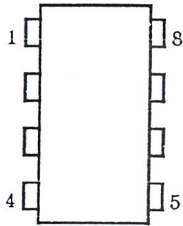


TLP250-4
1996-4-8
TOSHIBA CORPORATION

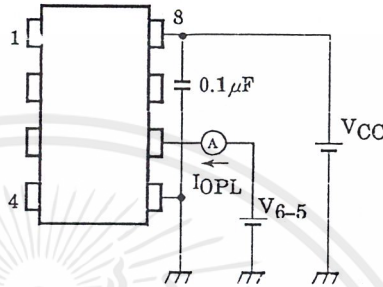
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

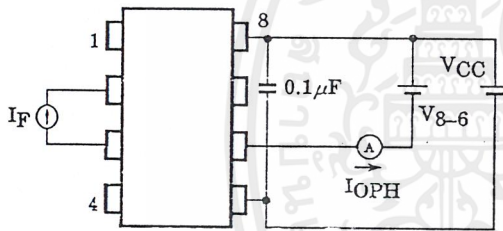
TEST CIRCUIT 1 :



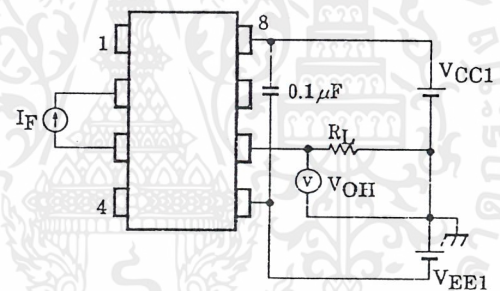
TEST CIRCUIT 2 : IOPL



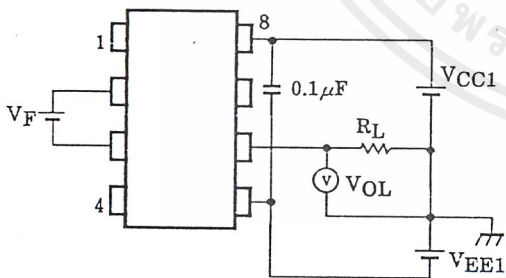
TEST CIRCUIT 3 : IOPH



TEST CIRCUIT 4 : VOH



TEST CIRCUIT 5 : VOL

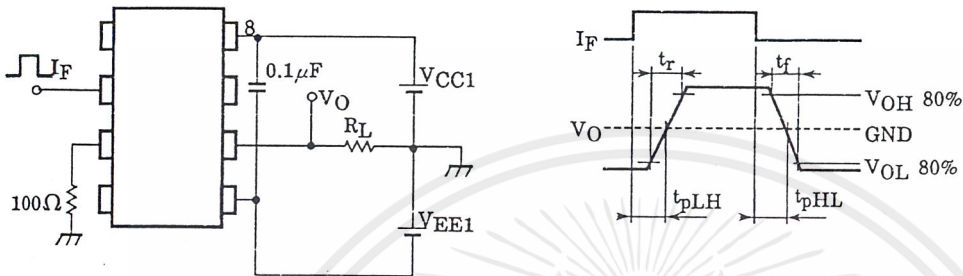


TLP250 - 5
1996 - 4 - 8
TOSHIBA CORPORATION

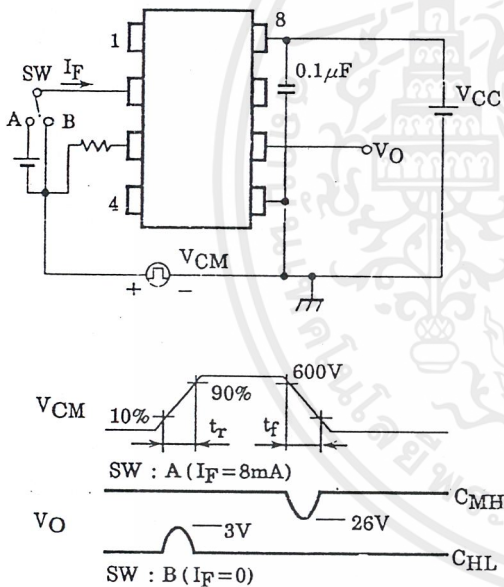
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

TEST CIRCUIT 6 : t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



TEST CIRCUIT 7 : C_{MH} , C_{ML}



$$C_{ML} = \frac{480(V)}{t_r(\mu s)}$$

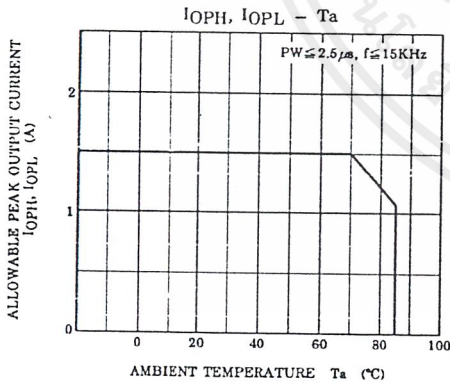
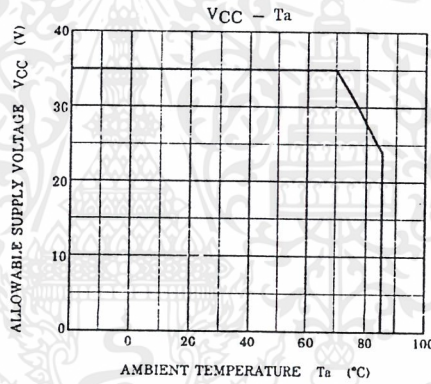
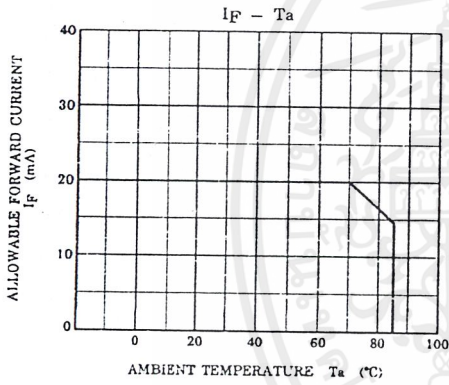
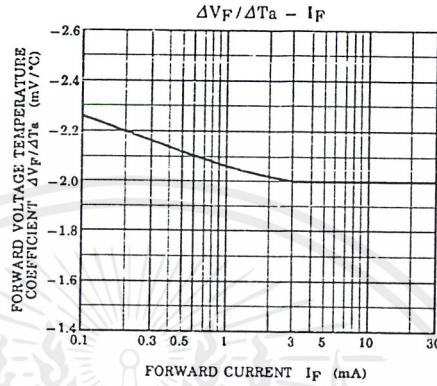
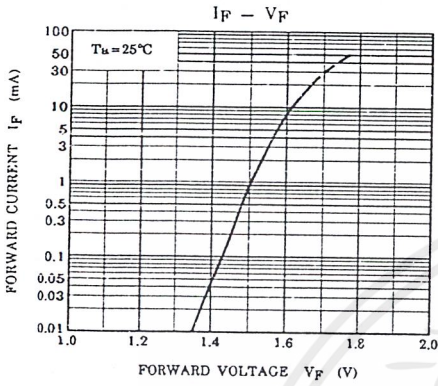
$$C_{MH} = \frac{480(V)}{t_f(\mu s)}$$

C_{ML} (C_{MH}) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

TLP250 - 6
1996 - 4 - 8
TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)



TLP250-7*
1996-4-8
TOSHIBA CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการและปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่ายทั้งทางด้านวิชาการและกำลังใจ ซึ่งผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ นนทวัฒน์ จุลเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความกรุณา และให้คำปรึกษาด้านความรู้ และจัดทำโครงการ รวมทั้งการดูแลเอาใจใส่ และห่วงใยในทุกๆเรื่อง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ชรินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ ที่ให้การดูแลเอาใจใส่ และสอบถามข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณ MR. Chalermkiat Tepsunram ที่ให้คำปรึกษาในด้านความรู้และข้อมูลทางเทคนิคในการทำฮาร์ดแวร์ รวมทั้งการช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดเวลา

ขอขอบพระคุณ เพื่อน ๆ ห้องฮาร์ดแวร์แลป ที่เป็นกำลังใจ และให้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำเอกสาร

ขอขอบพระคุณ พี่ตึก และพี่ๆภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำทางด้านเทคนิค รวมทั้งให้กำลังใจในการทำโครงการ

ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่เคารพอย่างยิ่งที่ให้โอกาสในการศึกษาสนับสนุน และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ในการจัดทำโครงการนี้

บรรณานุกรม

ก. เอกสารอ้างอิงที่เป็นวารสารภาษาอังกฤษ จัดเรียงลำดับดังนี้

1. Luis A. Moran, Juan W. Dixon, and Rogal R. Wallace, "A three-phase active power filter operating with fixed swiching frequency for reactive power and current harmonic compensation" , IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 42, No. 4, August 1995 , pp. 402-408
2. Thomas, Kevork Haddad, GeZa Joos, and Alain Jaafari, "Design and performance of active power filters", IEEE Industry Applications Magazine, September/October 1998 , pp. 38-46
3. H.-L. Jou, J.-C. Wu, H.-Y. Chu , "New single-phase active power filter" , IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 141, No. 3, May 1994, pp. 129-134

ข. เอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือภาษาอังกฤษ จัดเรียงลำดับดังนี้

1. Howard M. Berlin , "Design of Op-Amp circuit with experiment" ,E&L Instrument, Inc. , pp.146-149, 1977.