สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

วงจรกรองแบบแอคทีฟ
ACTIVE FILTER

โดย

นายธีรทัศน์ สายทอง

นายศักดิ์ เหงียนวัน

นายศุภกานต์ จันทร์เสรีวิทยา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42624
วัน, เดือน, ปี 4 มิ.ย. 2545

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

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่องวงจรกรองแบบแอคทีฟ

ผู้จัดทำ

นายธีรทัศน์ สายทอง

นายศักดิ์ เหงียนวัน

นายศุภกานต์ จันทร์เสรีวิทยา

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ)

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I

วงจรกรองแบบแอคทีฟ

นายธีรทัศน์ สายทอง
นายศักดิ์ เหงียนวัน
นายศุภกานต์ จันทร์เสรีวิทยา
ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการศึกษาการแก้ปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากโหลดไม่เชิงเส้น เช่นในอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเน้นที่โหลดแสงสว่าง โดยอาศัยวงจรกรองแบบแอคทีฟ แบบฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งในเนื้อหาจะประกอบด้วย การศึกษาและออกแบบวงจรกรองแบบแอคทีฟ การจำลองการทำงานโดยโปรแกรม Simulink และการสร้างวงจรต้นแบบขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ในโหลดแบบไม่เชิงเส้น โดยการควบคุมกระแสที่จะในไปใช้ชดเชยในวงจรจะเป็นการนำเทคนิคการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซีสแบบมีการป้อนกลับมาประยุกต์ใช้ โดยขอบเขตของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะพยายามที่ปรับปรุงค่าTHDและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACTIVE FILTER

Theerathust	Saithong	
Sak	Ngianwan	
Suppakarn	Chansareewittaya	
Asst.Prof.Dr.Vijit	Kinnares	Advisor
Surin	Khomfoi	Advisor

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to study the harmonic current correction by using active filter through harmonic current injection. Harmonic currents is invisible in non-linear load like power electronics equipment especially for lighting. The detail are composed of the studying and designing filter, the simulation using Simulink program, and prototype active filter construction for harmonic current compensation. In this dissertation the Bang Bang control is applied for harmonic current compensation in the case. Moreover, Total Harmonic Distortion (THD) and Power Factor (P.F.) of the system are also improved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูป		V
สารบัญตาราง		VIII
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ปัญหาและที่มา	2
	1.2 วัตถุประสงค์	3
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2	ทฤษฎีพื้นฐาน	4
	2.1 ฮาร์โมนิกส์	4
	2.1.1 ลักษณะและพฤติกรรมของฮาร์โมนิกส์	4
	2.1.2 สมการทั่วไปของรูปคลื่น	5
	2.1.3 แหล่งกำเนิดและชนิดของแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์	6
	2.2 การวัดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น	9
	2.3 เพาเวอร์แฟคเตอร์	10
	2.4 ผลกระทบจากการมีเพาเวอร์แฟคเตอร์	11
	2.5 แอคทีฟฟิลเตอร์	11
	2.5.1 แอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน	11
	2.5.2 แอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม	12
บทที่ 3	ทฤษฎีและหลักการ	15
	3.1 การวิเคราะห์กระแส	15
	3.2 การควบคุมกระแสโดยใช้วงจรควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซีส	18
	3.2.1 เทคนิคการควบคุมกระแส	18
	3.2.2 การควบคุมกระแสแบบฮีสเตอร์รีซีส	19
	3.2.3 การทำงาน	20
บทที่ 4	การสร้าง และการออกแบบ	23
	4.1 ส่วนที่ทำหน้าที่สร้างกระแสชดเชย	25
	4.1.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า	25
	4.1.2 วงจรคูณ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ 26
4.1.4 วงจรลบ 27
4.1.5 วงจรอินทิเกรต 27
4.1.6 วงจรขยายสัญญาณ 28
4.2 วงจรที่ทำการควบคุม และสร้างกระแสชดเชย 28
4.2.1 วงจรแบงแบง 29
4.2.2 วงจรเผื่อเวลา 30
4.2.3 วงจรขับเกท 31
4.2.4 วงจรตรวจจับกระแส 31
4.2.5 วงจรกำลัง 32
4.2.6 วงจรไฟเลี้ยง 33
บทที่ 5 ผลการทดลอง 34
5.1 การจำลองวงจรชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ 34
5.2 การชดเชยในวงจรต้นแบบ 40
5.3 การทดลองในวงจรต้นแบบ 42
5.3.1 เมื่อโหลดเป็นไดโอดเร็กติไฟร์ต่อกับโหลด R 44
5.3.2 เมื่อโหลดเป็นบริดจ์เร็กติไฟร์ต่อกับโหลด R 48
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 52
6.1 สรุปผลการทดลอง 52
6.1.1 การศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 52
6.1.2 การชดเชยรีแอคทีฟเพาเวอร์หรือการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ 52
6.1.3 การชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ 53
6.1.4 การควบคุมกระแส 53
6.2 การเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมแบบลูปเปิด
และการควบคุมแบบลูปปิด 54
6.2.1 การควบคุมกระแสชดเชย 55
6.2.2 การทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 55
6.3 ปัญหาและอุปสรรค 55
กิตติกรรมประกาศ 57
เอกสารอ้างอิง 58
ภาคผนวก 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 (ก)แสดงกระแส i_s ที่เกิดจากกระแสที่มีความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2
1.1 (ข)แสดงกระแสความถี่มูลฐาน i_{s1} และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่3 i_h 2
รูปที่ 2.1 รูปแสดงคลื่นSinusoidalที่ความถี่มูลฐานและที่ฮาร์โมนิกส์ต่าง ๆ 5
รูปที่ 2.2 แสดงแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส 7
รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน 8
รูปที่ 2.4 แสดงกำลังไฟฟ้า 10
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน สำหรับแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ 12
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน สำหรับแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์ 12
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม สำหรับแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ 13
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม สำหรับแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์ 13
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรกรองแบบแอคทีฟแบบฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ 15
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการหากระแสชดเชย 17
รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส 19
รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของวงจรฮิสเตอร์รีซิสเพื่อการควบคุมกระแส 19
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรฮิสเตอร์รีซิส 20
รูปที่ 3.6 แสดงการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส 21
รูปที่ 3.7 แสดงแรงดันระหว่างVoและIที่มีลักษณะเป็นฮิสเตอร์รีซิส 21
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบฉีดกระแส 23
รูปที่ 4.2 แสดงบล็อคไดอะแกรมแอคทีฟฟิลเตอร์ 24
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 25
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรคูณ 26
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำ 26
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรลบ 27
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรอินทิเกรต 27
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรขยายสัญญาณ 28
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรแบงแบง 29
รูปที่ 4.10 แสดงวงจรเผื่อเวลา 30
รูปที่ 4.11 แสดงวงจรขับเกท 31
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรตรวจจับกระแส 31
รูปที่ 4.13 แสดงวงจรกำลัง 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงวงจรไฟเลี้ยง 33
รูปที่ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่วิเคราะห์แบบลูปปิด 34
รูปที่ 5.2 แสดงกระแสโหลด 35
รูปที่ 5.3 แสดงสเปกตรัมของกระแสโหลด 35
รูปที่ 5.4 แสดงรูปของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcosωt 36
รูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcosωt 36
รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณกระแสชดเชย 37
รูปที่ 5.7 แสดงกระแสโหลด 37
รูปที่ 5.8 แสดงสเปกตรัมของกระแสโหลด 38
รูปที่ 5.9 แสดงรูปของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcosωt 38
รูปที่ 5.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcosωt 39
รูปที่ 5.11 แสดงกระแสชดเชย 39
รูปที่ 5.12 แสดงกระแสโหลด 40
รูปที่ 5.13 แสดงรูปของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcosωt 40
รูปที่ 5.14 แสดงกระแสชดเชยโหลดไดโอด 41
รูปที่ 5.15 แสดงกระแสโหลด 41
รูปที่ 5.16 แสดงรูปของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcosωt 42
รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณชดเชยโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์ 42
รูปที่ 5.18 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง 43
รูปที่ 5.19 แสดงโหลดไดโอด 44
รูปที่ 5.20 แสดงV_sก่อนการฉีดกระแสชดเชย 44
รูปที่ 5.21 แสดงI_sก่อนการฉีดกระแสชดเชย 45
รูปที่ 5.22 แสดงสเปกตรัมของI_sก่อนการฉีดกระแสชดเชย 45
รูปที่ 5.23 แสดงV_sหลังการฉีดกระแสชดเชย 46
รูปที่ 5.24 แสดงI_sหลังการฉีดกระแสชดเชย 46
รูปที่ 5.25 แสดงสเปกตรัมของI_sหลังการฉีดกระแสชดเชย 47
รูปที่ 5.26 แสดงโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์ 48
รูปที่ 5.27 แสดงV_sก่อนการฉีดกระแสชดเชย 48
รูปที่ 5.28 แสดงI_sก่อนการฉีดกระแสชดเชย 49
รูปที่ 5.29 แสดงสเปกตรัมของI_sก่อนการฉีดกระแสชดเชย 49
รูปที่ 5.30 แสดงV_sหลังการฉีดกระแสชดเชย 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.31 แสดงI_sหลังการฉีดกระแสชดเชย 50
รูปที่ 5.32 แสดงสเปกตรัมของI_sหลังการฉีดกระแสชดเชย 51
รูปที่ 6.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบลูปเปิด 54
รูปที่ 6.2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบลูปปิด 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนานและแบบอนุกรม 14

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าTHD และเพาเวอร์แฟคเตอร์ เปรียบเทียบก่อนแก้ไขและ
หลังแก้ไข เมื่อเป็นโหลดไดโอด 47

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าTHD และเพาเวอร์แฟคเตอร์ เปรียบเทียบก่อนแก้ไขและ
หลังแก้ไข เมื่อเป็นโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์ 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

นับตั้งแต่มีการคิดค้นเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำขึ้นมา การใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้งานก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตลอดมา ตั้งแต่เครื่องรับโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล การใช้งานในวงการอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์(bridge rectifier) ที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ การใช้งานเหล่านี้ก่อให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม ความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน ฯลฯ แต่กลับก่อให้เกิดปัญหาอยู่ในระบบไฟแก่ระบบไฟฟ้าอย่างมากมาย นอกจากนี้ยังทำให้รบกวนการทำงานของอุปกรณ์หลายประเภทที่ระบบไฟฟ้าเดียวกัน

เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะเป็นโหลดไม่เชิงเส้น (Nonlinear load) เหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดเพี้ยนจากฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Distortion) นั่นคือโหลดไม่เชิงเส้นเหล่านี้จะทำให้รูปคลื่นของกระแส และแรงดันมีความผิดเพี้ยนไปจากไซนูซอยดัล ซึ่งฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ก่อให้เกิดผลอันไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพของเพาเวอร์แฟกเตอร์ (power factor) ที่แย่ลง ฟิวส์ขาดรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความไวต่อความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้น

ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ ที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือ การใช้วงจร LC passive filter ในการกรองฮาร์โมนิกส์ออกไป แต่อย่างไรก็ยังไม่สามารถปัญหาฮาร์โมนิกส์ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นแอคทีฟฟิลเตอร์(Active filter) จึงได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้งาน โดยทั่วไปแล้ว การจำแนกประเภทของ แอคทีฟฟิลเตอร์ ซึ่งจำแนกตามลักษณะของการต่อวงจรและลักษณะการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์ นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือแอคทีฟฟิลเตอร์ ชนิดแหล่งจ่ายกระแสแบบขนาน ชนิดแหล่งจ่ายกระแสแบบอนุกรม ชนิดจ่ายแรงดันแบบขนาน และชนิดจ่ายแรงดันแบบอนุกรม

การออกแบบแอคทีฟฟิลเตอร์ ต้องคำนึงถึงปัจจัย 3 ประการ คือ หลักการทำงานที่เหมาะสมกับชนิดของโหลด วิธีควบคุม และวิธีการสร้างกระแสอ้างอิงให้มีความถูกต้อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์ จะทำงานได้ดีเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับการเลือกปัจจัยทั้ง 3 ชนิดให้ถูกต้องเหมาะสม

อุปกรณ์แอคทีฟฟิลเตอร์ นั้นเป็นอุปกรณ์ประเภทที่อาศัยอุปกรณ์การสวิตชิ่ง โดยหลักการการ bi-directional power flow ไปมากับโหลดไม่เชิงเส้น โดยผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน ที่มีการควบคุมแบบ PWM ซึ่งจะประพฤติตัวเป็นแหล่งจ่ายกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการทำงานชนิดที่ใช้ลักษณะการควบคุมแบบฮีสเตอร์รีซีส โดยเป็นแอคทีฟฟิลเตอร์ ประเภทแหล่งจ่ายกระแสแบบขนาน

1.1 ปัญหา และที่มา

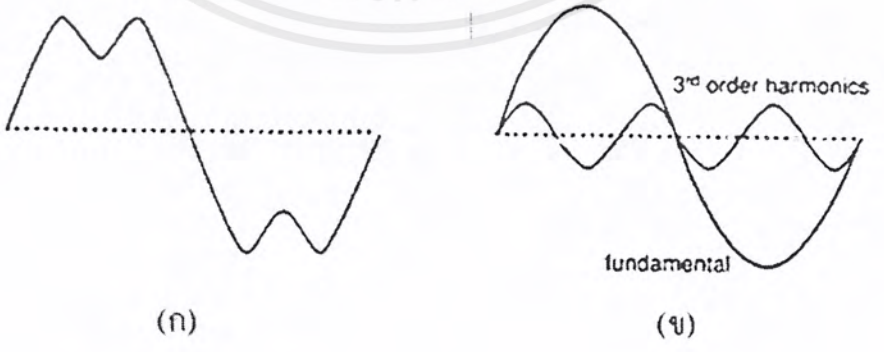
เนื่องจากการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์เพื่อการใช้งาน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งในวงการอุตสาหกรรม การสื่อสาร ฯลฯ เป็นผลให้กระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เพราะการใช้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ที่เป็นโหลดไม่เชิงเส้น ทำตัวเป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์สู่ระบบไฟฟ้า จนกลายเป็นปัญหาใหญ่ที่หลายประเทศต้องหาทางแก้ไข แอคทีฟฟิลเตอร์ จึงถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหานี้โดยอาศัยหลักการสร้างกระแสขึ้นมาเพื่อชดเชยกับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่โหลดไม่เชิงเส้นสร้างขึ้น เพื่อให้กระแสที่แหล่งจ่ายมีคุณภาพดีขึ้น โดยอาศัยเทคนิคต่างๆมาประกอบกัน

ตามปกติกระแสที่เกิดจากโหลดไม่เชิงเส้น (i_s) จะประกอบด้วย

1. กระแสที่ความถี่มูลฐาน (Fundamental Sinusoidal Current : i_{s1})
2. กระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Sinusoidal Current : i_h)

$$i_s = i_{s1} + i_h \qquad \text{... (1.1)}$$

กระแสฮาร์โมนิกส์ที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สร้างออกมาดังรูปที่ 1.1 จะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยน (voltage distortion) ทำให้กลายเป็นปัญหาใหญ่ในหลายประเทศ ซึ่งจะต้องหาวิธีแก้ไข เพื่อแก้ไขปัญหาฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า แอคทีฟฟิลเตอร์ จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้



รูปที่ 1.1 (ก) แสดงกระแส i_s ที่เกิดจากกระแสที่ความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกส์ลำดับที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) แสดงกระแสความถี่มูลฐาน i_{s1} และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่3 i_h

การทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์ เพื่อการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ สามารถแบ่งได้เป็นประเภทที่มีการชดเชยรีแอคทีฟเพาเวอร์ (reactive power) และไม่ชดเชยรีแอคทีฟเพาเวอร์ ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะศึกษาแอคทีฟฟิลเตอร์ ที่ชดเชยทั้งกระแสฮาร์โมนิกและรีแอคทีฟเพาเวอร์โดยอาศัยหลักการฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ (harmonic current injection)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎี และหลักการของการแก้ไขปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ และปรับปรุงค่าอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์
2. ออกแบบวงจรที่ใช้ด้วยโปรแกรม OrCAD และจำลองการทำงาน (Simulation) ของวงจรที่ใช้ชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ ด้วยโปรแกรม Simulink
3. สร้างวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์ต้นแบบ ที่ใช้การฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ เพื่อแก้ไขปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ ที่เกิดจากโหลดไม่เชิงเส้น
4. วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ ของวงจรต้นแบบ กับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วย Simulink

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาทฤษฎีและออกแบบวงจรที่ใช้ในการแก้ไขปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ และจำลองผลการทำงานด้วยโปรแกรม OrCad และ Simulink ว่าสามารถทำงานได้จริง หรือไม่ เพื่อนำไปสร้างวงจรต้นแบบซึ่งจะใช้การควบคุมแบบลูปปิด
2. สร้างวงจรต้นแบบ เพื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ให้กับโหลดที่เป็นไดโอดเร็กติไฟร์และบริดจ์เร็กติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าอันมีสาเหตุมาจากการนำอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นโหลดไม่เชิงเส้น มาประยุกต์เพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น การนำไทริสเตอร์มาประยุกต์เพื่อการขับมอเตอร์ ตลอดจนการนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ใช้งานในอาคารบ้านเรือน เช่น อุปกรณ์เครื่องรับโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือแม้แต่วงจรบริดจ์เร็กติไฟร์ 1เฟส ก็สามารถก่อให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์ขึ้นในระบบไฟฟ้า ในการแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์นั้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาลักษณะ และพฤติกรรมของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า รูปคลื่นฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น สมการของฮาร์โมนิกส์ในรูปทั่วไป คุณภาพและการวัดคุณภาพของรูปคลื่น

2.1.1 ลักษณะและพฤติกรรมของฮาร์โมนิกส์

โดยทั่วไปแล้วในระบบไฟฟ้ากระแสสลับนั้น รูปคลื่นของกระแส และแรงดันจะถูกพิจารณาให้มีลักษณะเป็นไซนูซอยดัลในอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติจริงเกือบเป็นไปไม่ได้ที่ลักษณะของรูปคลื่นกระแส และ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีความเป็นไซนูซอยดัล 100 % เนื่องจากรูปคลื่นดังกล่าวนั้นจะมีความบิดเบือนไปจากไซนูซอยดัล อันมีสาเหตุมาจาก การใช้งานกับโหลดไม่เชิงเส้น การรบกวนจากสัญญาณภายนอกหรือจากระบบอื่นๆ ทำให้ผลที่เกิดขึ้นคือ รูปคลื่นที่ได้จะมีความผิดเพี้ยน

หากนำรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ จะพบว่ารูปคลื่นนั้นสามารถแยกออกมาเป็นรูปคลื่นที่ความถี่ต่างๆกัน นั่นคือ รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนมาจาก ผลรวมของรูปคลื่นที่มีความถี่ต่างๆกัน โดยรูปคลื่นจะประกอบไปด้วย

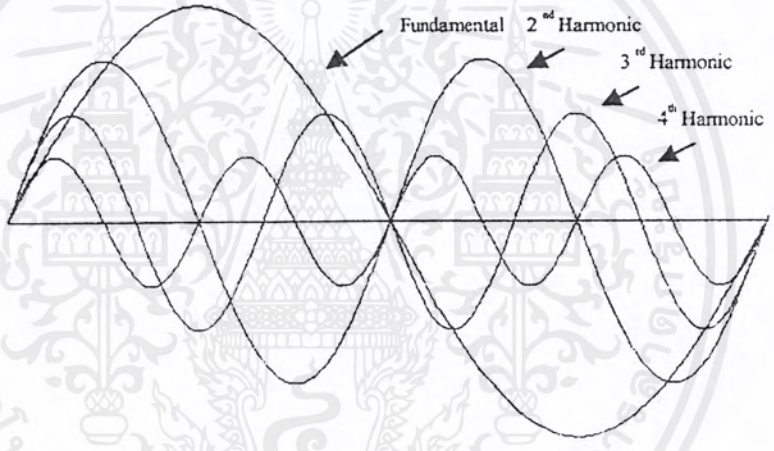
1. รูปคลื่นไซนูซอยดัลที่ความถี่มูลฐาน
2. รูปคลื่นไซนูซอลดัลที่ความถี่ฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นไซนูซอยดัลที่ความถี่มูลฐานนั้น หมายถึง รูปคลื่นไซนูซอยดัลที่ความถี่ต่ำสุด คือที่ความถี่ f และรูปคลื่นไซนูซอยดัลที่ความถี่ฮาร์โมนิกส์ หมายถึงรูปคลื่นไซนูซอยดัลที่ความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐานคือ 2f, 3f, 4f, ...

นอกจากนี้ ยังสามารถจำแนกรูปคลื่นที่ความถี่ฮาร์โมนิกส์ได้เป็นอีก 2 ประเภท คือ ฮาร์โมนิกส์คู่ หมายถึง รูปคลื่นที่มีจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานเป็นเลขจำนวนเต็มคู่ที่มากกว่า 1 คือ รูปคลื่นที่ความถี่ 2f, 4f, 6f, ...

ฮาร์โมนิกส์คี่ หมายถึง รูปคลื่นที่มีจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานเป็นเลขจำนวนเต็มคี่ที่มากกว่า 1 คือ รูปคลื่นที่มีความถี่ 3f, 5f, 7f, ...



รูปที่ 2.1 รูปแสดงคลื่น Sinusoidal ที่ความถี่มูลฐาน และความถี่ ฮาร์โมนิกส์ต่างๆ

2.1.2 สมการทั่วไปของรูปคลื่น

ในการหาสมการทั่วไปของรูปคลื่นนั้น หากพิจารณารูปคลื่นโดยทั่วไปพบว่าเกิดจาก รูปคลื่นที่ความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกส์ต่างๆมารวมกัน ซึ่งในแต่ละรูปคลื่นมีค่าสูงสุด และค่ามุมแตกต่างกัน ดังนั้น ที่ความถี่มูลฐานจะเขียนสมการได้คือ

$$e_1 = E_{1m}\sin(\omega t + \theta_1) \qquad \ldots \quad (2.1)$$

เมื่อ e_1 คือ สมการของรูปคลื่นที่ความถี่มูลฐาน

E_{1m} คือ ค่าสูงสุดของรูปคลื่น

ω คือ ค่าความเร็วเชิงมุมที่ความถี่มูลฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ_1 คือ ค่ามุมเฟสของรูปคลื่น

ในทำนองเดียวกันสามารถเขียนสมการของรูปคลื่นที่ความถี่ต่างๆได้ คือ

$$E_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \theta_1)$$
$$E_2 = E_{2m} \sin(2\omega t + \theta_2)$$
$$\cdots$$
$$\cdots$$
$$e_n = E_{nm} \sin(n\omega t + \theta_n) \qquad \ldots (2.2)$$

เพราะฉะนั้น สมการของรูปคลื่นโดยทั่วไปคือ

$$e = e_1 + e_2 + e_3 + \ldots + e_n$$
$$= E_{1m}\sin(\omega t + \theta_1) + E_{2m}\sin(2\omega t + \theta_2) + \ldots$$
$$+ E_{nm}\sin(n\omega t + \theta_n)$$

ในทำนองเดียวกัน รูปคลื่นกระแสโดยทั่วไปคือ

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots + i_n$$
$$= I_{1m}\sin(\omega t + \phi_1) + I_{2m}\sin(2\omega t + \phi_2) + \ldots$$
$$+ I_{nm}\sin(n\omega t + \phi_n)$$

จากทั้งสองสมการ (2.3) และ (2.4) จะสามารถหาค่าความต่างเฟส ที่ความถี่ต่าง ๆ ได้ คือค่า ($\theta_1 - \phi_1$) จะเป็นค่าความต่างเฟสของความถี่ที่ความถี่มูลฐาน ดังนั้น ในทำนองเดียวกัน ค่าความต่างเฟสที่ความถี่ $n\omega$ จะมีค่าเป็น ($\theta_n - \phi_n$) นั่นเอง

2.1.3 แหล่งกำเนิดและชนิดของแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์

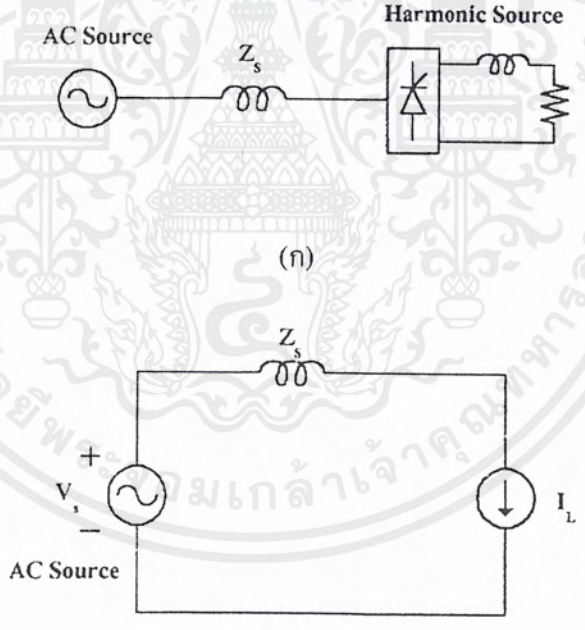
ในการพิจารณาเรื่องฮาร์โมนิกส์ เนื่องจากฮาร์โมนิกส์มีสาเหตุมาจาก การใช้อุปกรณ์โหลดไม่เชิงเส้นดังนั้นในการมองปัญหา จึงพิจารณาให้โหลดไม่เชิงเส้นเหล่านั้น ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ให้แก่ระบบ ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นตามคุณลักษณะได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส (แหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์)
2. แหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (แหล่งจ่ายแรงดันฮาร์โมนิกส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส (แหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์) การเกิดฮาร์โมนิกส์ประเภทนี้มีสาเหตุมาจาก การทำงานที่มีลักษณะสวิตชิ่ง ที่รู้จักกันดีได้แก่ ไทริสเตอร์คอนเวอร์เตอร์ เป็นต้น รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสโดยอาศัยไทริสเตอร์ที่มีตัวอินดักเตอร์ต่ออยู่ เพื่อให้กระแสไฟตรงมีลักษณะคงที่ ซึ่งวงจรนี้มีการกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ขึ้นมา ทำให้รูปคลื่นมีความผิดเพี้ยนจากความเป็นไซนูซอยดัล

เนื่องจากคุณลักษณะของกระแสที่เกิดขึ้นนี้ ประพฤติตัวเหมือนกับเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์ ดังนั้นจึงเรียกลักษณะการเกิดฮาร์โมนิกส์ประเภทนี้ว่า แหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส หรือแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 2.2 แสดงแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส

(ก) วงจรไทริสเตอร์ที่ต่อกับโหลด RL ซึ่งทำตัวเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์

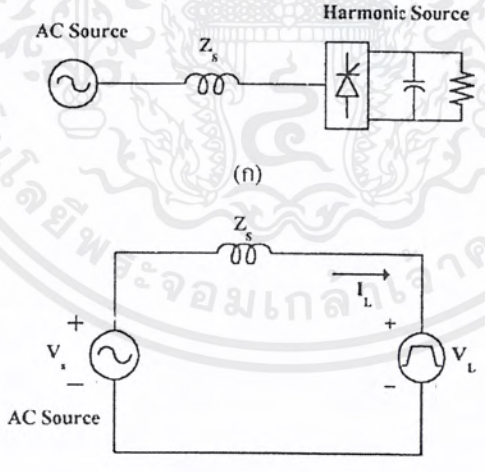
(ข) วงจรสมมูลของรูป (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (แหล่งจ่ายแรงดันฮาร์โมนิกส์) วงจรบริดจ์เร็กติไฟร์ที่มีการต่อตัวคาปาซิเตอร์ แสดงวงจรโดยรูป 2.3 (ก) รูปคลื่นที่เกิดขึ้นในกรณีนี้มีความผิดเพี้ยน นอกจากนี้กระแสที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ก็ยังมีความผิดเพี้ยนสูงอีกมาก

ดังนั้นค่าอิมพิแดนท์ทางด้านไฟสลับจึงมีผลอย่างมากต่อแอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์ ในขณะที่แรงดันมีคุณลักษณะขึ้นอยู่กับอิมพิแดนท์ทางด้านไฟสลับอยู่น้อย จึงทำให้มันประพฤติตัวเสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันมากกว่าที่จะเป็นแหล่งจ่ายกระแส

ดังนั้นสามารถแสดงวงจรสมมูลของระบบวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์ ได้ดังรูป2.3(ข.) และจากรูป จึงสามารถสรุปได้ว่า วงจรเรียงบริดจ์เร็กติไฟร์นี้ประพฤติตัวเป็น แหล่งจ่าย ฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน หรือแหล่งจ่ายแรงดันฮาร์โมนิกส์ นอกจากนี้กระแสฮาร์โมนิกส์ที่กำเนิดขึ้นมาจากวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์นั้น จะมีขนาดขึ้นอยู่กับวงจรบริกจ์เร็กติไฟร์ที่ใช้ และขนาดอิมพิแดนท์ของไฟสลับ



รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งฮาร์โมนิกส์ชนิดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน
(ก) วงจรบริดจ์เร็กติไฟร์ซึ่งทำตัวเป็นแล่งจ่ายแรงดันฮาร์โมนิกส์
(ข) วงจรสมมูลของวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น

ในการใช้งานอุปกรณ์ทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น อินเวอร์เตอร์นั้น สัญญาณขาออกที่ได้ย่อมมีฮาร์โมนิกส์ประกอบอยู่ ดังนั้นเพื่อที่จะหาค่าคุณภาพของรูปคลื่นที่ได้ออกมา จะใช้คำนิยามค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ

1. ฮาร์โมนิกส์แฟคเตอร์ของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ n ; HF_n (Harmonic factor of n^{th} harmonic)

   มีการนิยามโดย

$$HF = \frac{V_1}{V_n} \qquad \ldots (2.5)$$

   เมื่อ V_1 และ V_n เป็นค่าแรงดันประสิทธิผลที่ความถี่มูลฐาน และที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่n ตามลำดับ

2. ค่าโททัลฮาร์โมนิกส์ดิสทรอชั่น ; THD (Total harmonic distortion)

   แสดงการผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นระหว่างรูปคลื่นหนึ่ง กับองค์ประกอบที่ความถี่มูลฐานของรูปคลื่นนั้น มีการนิยามโดย

$$THD_v = \frac{1}{V_1}\sqrt{\sum_{n=2}^{\alpha} V_n^2} \qquad \ldots (2.6)$$

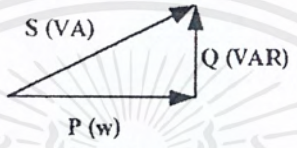
เมื่อ V1 และ Vn เป็นค่าแรงดันประสิทธิผลที่ความถี่มูลฐาน และที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ n ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์

ในการนิยามค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นั้นสามารถนิยามได้โดยเพาเวอร์แฟกเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังงานที่จ่ายจริง ต่อ กำลังงานที่ปรากฏ แสดงดังรูปที่ 2.4 นั่นคือ สามารถเขียนเป็นสูตรได้เป็น

$$p.f. = W / VA \quad \ldots (2.7)$$



รูปที่ 2.4 แสดงกำลังไฟฟ้า

หาก I_{s1} และ I_s แทนค่ากระแสประสิทธิผลของรูปคลื่นกระแสที่ความถี่มูลฐาน และกระแสขาเข้า ตามลำดับ และ V เป็นค่าแรงดันประสิทธิผล ดังนั้นจะได้ว่า

$$W = V_s I_{s1} \cos\theta \quad \ldots (2.8)$$

และ $$VA = V I_s \quad \ldots (2.9)$$

นั่นคือ $$p.f. = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos\theta \quad \ldots (2.10)$$

จากสมการนี้สามารถพิจารณาได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. Is1 / Is เป็นส่วนแสดงถึงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่เกิดจากความผิดเพี้ยน ของรูปคลื่นกระแส เรียกได้อีกอย่างว่า ค่าฟอร์มแฟกเตอร์

2. $\cos\theta$ เป็นส่วนแสดงถึงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่เกิดจากรูปคลื่นของกระแสและ แรงดันที่มีความต่างเฟสกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลกระทบจากการมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

การเกิดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำนั้น จะมีผลกระทบที่เกิดขึ้น 3 ทางคือ

1. ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายทองแดงจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากกระแสที่สูงขึ้น หมายความว่า ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าแปรผันตาม ค่ากระแสกำลังสอง นั่นคือ มีค่าแปรผันตาม ($1/\cos^2\theta$)

2. เนื่องจากค่าพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง ฯลฯ ปกติจะมีค่าแปรผันตามค่ากระแส นั่นคือ แปรตาม $1 / \cos\theta$ ดังนั้นจึงต้องมีขนาดอุปกรณ์ที่ใหญ่ขึ้น

3. ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบล้าหลังที่มีค่าต่ำๆนั้น จะเป็นสาเหตุให้เกิด แรงดันตกลงอย่างมาก ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์เรกูเรชั่นชนิดพิเศษเพื่อให้แรงดันที่ครอปอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

2 .5 แอคทีฟฟิลเตอร์

เนื่องจากปัญหาฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อันเนื่องจากการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้งานเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังนั้นแอคทีฟฟิลเตอร์จึงได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น แอคทีฟฟิลเตอร์นั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการต่อวงจร คือ

1. แอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน
2. แอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม

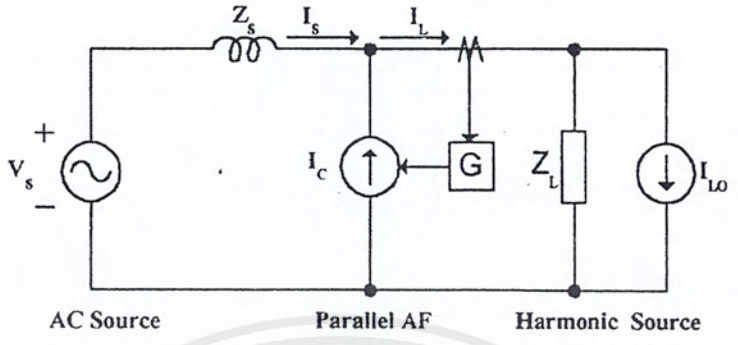
2.5.1 แอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน

แอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน เป็น อินเวอร์เตอร์ที่ใช้หลักการ พีดับบลิวเอ็ม ที่ต่อขนานดับแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ เพื่อฉีดกระแสชดเชยฮาร์โมนิกส์ ซึ่งเป็นกระแสที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสตรงกันข้ามกับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นที่ระบบไฟฟ้าฝั่งไฟสลับ ดังนั้นกลไกสำคัญของการทำงานจึงอยู่ที่ความสามารถในการตรวจจับและคำนวณกระแสฮาร์โมนิกส์ที่จะทำการชดเชยให้ถูกต้อง ซึ่งเป็นส่วนของวงจรควบคุม

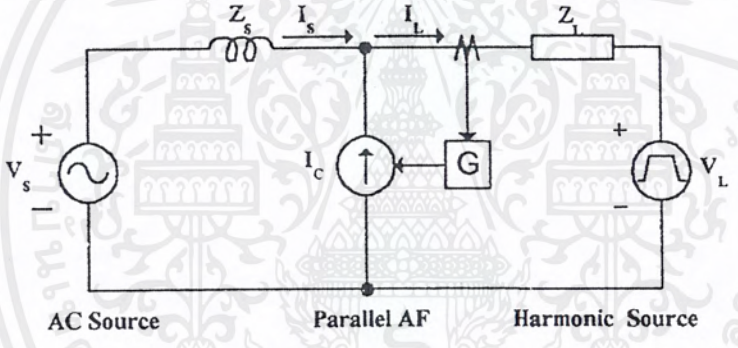
แอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน สามารถแบ่งตามประเภทการทำงานได้อีก 2 ประเภท คือ

1. ใช้สำหรับ แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ ดังรูปที่ 2.5
2. ใช้สำหรับ แหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์ ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน สำหรับแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน สำหรับแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์

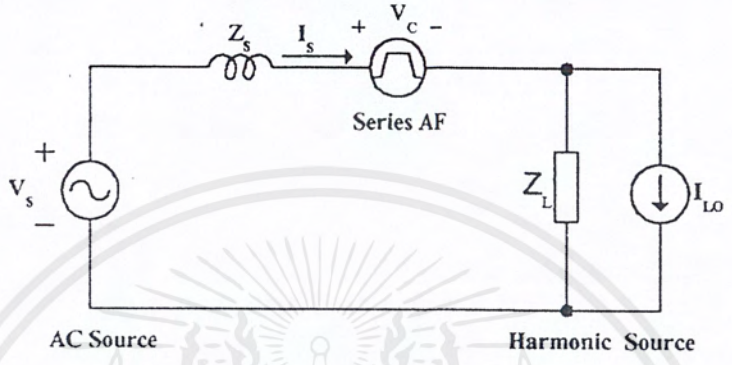
2.5.2 แอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม

แอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม จะเป็นการต่อวงจรแบบอนุกรมระหว่าง แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กับแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ที่เป็นโหลด เพื่อทำการบังคับกระแสแหล่งจ่ายให้มีความเป็นไซนูซอยดัล โดยที่แอคทีฟฟิลเตอร์อนุกรมนี้ จะทำหน้าที่เป็นอิมพิแดนท์สูงกับกระแสฮาร์โมนิกส์ เพื่อกั้นขวางไม่ให้กระแสฮาร์โมนิกส์ไหลจากโหลด ไปสู่แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับไปสู่โหลดได้

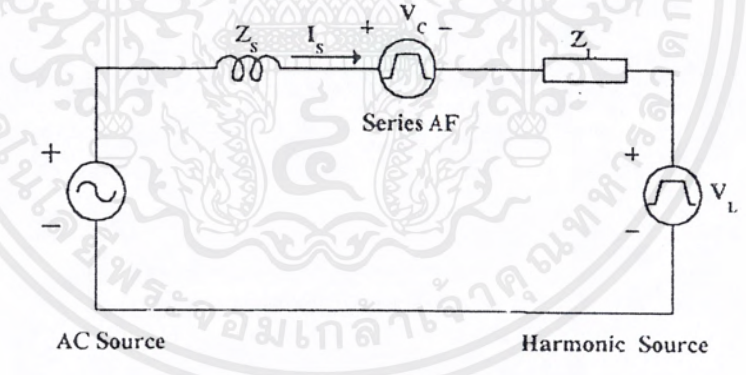
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรมนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทเช่นกัน คือ

1. ใช้สำหรับโหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ ดังรูปที่ 2.7
2. ใช้สำหรับโหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์ ดังรูปที่ 2.8



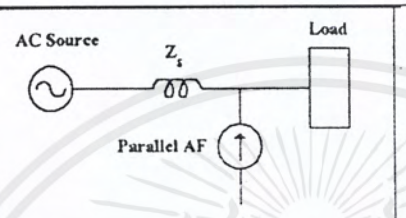
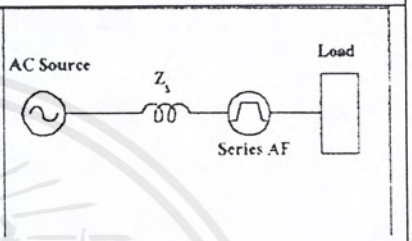
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรมสำหรับแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม สำหรับแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน และแบบอนุกรม

คุณลักษณะ	แอคทีฟฟิลเตอร์แบบขนาน	แอคทีฟฟิลเตอร์แบบอนุกรม
รูป		
หลักการทำงาน	ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส	ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน
โหลดที่ใช้งาน	โหลดอินดักทีฟ โหลดที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส โหลดที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์	โหลดคาปาซิทีฟ โหลดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน โหลดที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันฮาร์โมนิกส์
คุณลักษณะการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์	ทำงานได้ดี และไม่ขึ้นกับอิมพิแดนท์ของแหล่งจ่าย (Z_s) ในกรณีที่เป็นที่โหลดแหล่งจ่ายกระแส	ทำงานได้ดี และไม่ขึ้นกับอิมพิแดนท์ของแหล่งจ่าย และอิมพิแดนท์ของโหลดในกรณีที่ใช้กับที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน

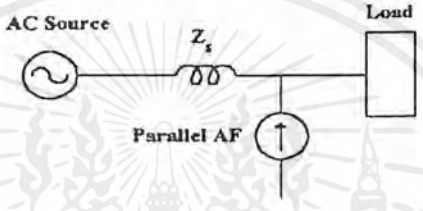
แอคทีฟฟิลเตอร์ที่จะนำมาศึกษาใช้งานในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะพิจารณาแอคทีฟฟิลเตอร์ให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสที่ต่อขนานอยู่กับโหลดที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ ซึ่งหลักการที่จะนำมาใช้งานจะเป็นหลักการฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งเป็นการฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีขนาดเท่ากับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นแต่มีเฟสตรงข้ามกับกระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี และหลักการ

แอคทีฟฟิลเตอร์ที่ทำการศึกษาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นแอคทีฟฟิลเตอร์ที่ใช้หลักการฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งเป็นการฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีขนาดเท่ากับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นและมีเฟสตรงกันเพื่อไปชดเชยกับกระแสฮาร์โมนิกส์นั้น



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรกรองแอคทีฟ แบบฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์

3.1 การวิเคราะห์กระแส

ในการหากระแสที่จะทำการชดเชยให้แก่ระบบนั้น ก่อนอื่นจำเป็นต้องทำการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะ และพฤติกรรมของกระแสโดยทั่วๆไปก่อน ว่ากระแสที่เกิดขึ้นนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบโดอยู่บ้าง เพื่อหาวิธีการในการสร้างกระแสฮาร์โมนิกส์ ที่จะใช้ชดเชยกับกระแสฮาร์โมนิกส์ของระบบ

โดยทั่วไปแล้ว กระแสที่เกิดขึ้นในวงจรสามารถที่จะแยกแยะได้เป็นองค์ประกอบต่างๆ คือ กระแสไฟตรง กระแสแอคทีฟ หรือกระแสที่ความถี่มูลฐาน กระแสรีแอคทีฟ และกระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งสามารถนำมาเขียนได้ดังสมการคือ

$$i_l(t) = i_0(t) + i_p(t) + i_q(t) + i_h(t) \qquad \ldots(3.1)$$

เมื่อ i_0 คือ ไฟกระแสตรง (DC Component)

i_p คือ กระแสที่มีเฟสตรงกันกับแรงดันของแหล่งจ่าย(Active current)

i_q คือ กระแสรีแอคทีฟ (Reactive current)

i_h คือ กระแสฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (1) นำมาวิเคราะห์ให้ละเอียดจะได้ว่า องค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจะมี 2 องค์ประกอบย่อยๆ คือ ฮาร์โมนิกส์คู่ และ ฮาร์โมนิกส์คี่ สามารถขยายสมการ (1) ได้ดังสมการ (2)

$$i_l(t) = I_0 + I_p\cos(\omega t) + I_q\sin(\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} I_{2k+1}\cos((2k+1)\omega t + \phi_{2k+1}) + \sum_{j=1}^{\infty} I_{2j}\cos(2j\omega t + \phi_{2j}) \quad \ldots(3.2)$$

จากการพิจารณาสมการ (2) จะเห็นได้ว่า กระแสชดเชยที่จะต้องจ่ายเพื่อไปหักล้างกับกระแสฮาร์โมนิกส์ i_f คือ ค่ากระแสโหลด ลบด้วยค่ากระแสแอคทีฟนั่นเอง สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$i_f(t) = i_l(t) - i_p(t) = i_l(t) - I_p\cos(\omega t) \quad \ldots(3.3)$$

จากสมการ (3) พบว่า องค์ประกอบที่ต้องทำการหาค่า เพื่อให้ได้กระแสชดเชย จะประกอบด้วย i_l, i_p และ $\cos(\omega t)$ ซึ่งองค์ประกอบ i_l และ $\cos(\omega t)$ นั้นสามารถหาค่ามาได้ไม่ยากนัก แต่ค่า i_p นั้น ยังไม่อาจได้มาโดยตรง จึงต้องทำการวิเคราะห์ สมการที่ (2) โดย

จากสมการที่ (1) นำ $\cos(\omega t)$ มาคูณทั้งสมการ จะได้ว่า

$$i_l(t)\cos(\omega t) = I_0\cos(\omega t) + \frac{I_p}{2}[1 + \cos(2\omega t)] + \frac{I_q}{2}\sin(2\omega t)] + \sum_{j=1}^{\infty}\frac{I_{2j}}{2}[\cos((2j\omega t) + 1) + \phi_{2j}) + \cos((2j\omega t\text{-}1) + \phi_{2j})] + \sum_{k=1}^{\infty}\frac{I_{2k+1}}{2}[\cos((2k+2)\omega t + \phi_{2k+1}) + \cos(2\omega t + \phi_{2k+1})] \quad \ldots(3.4)$$

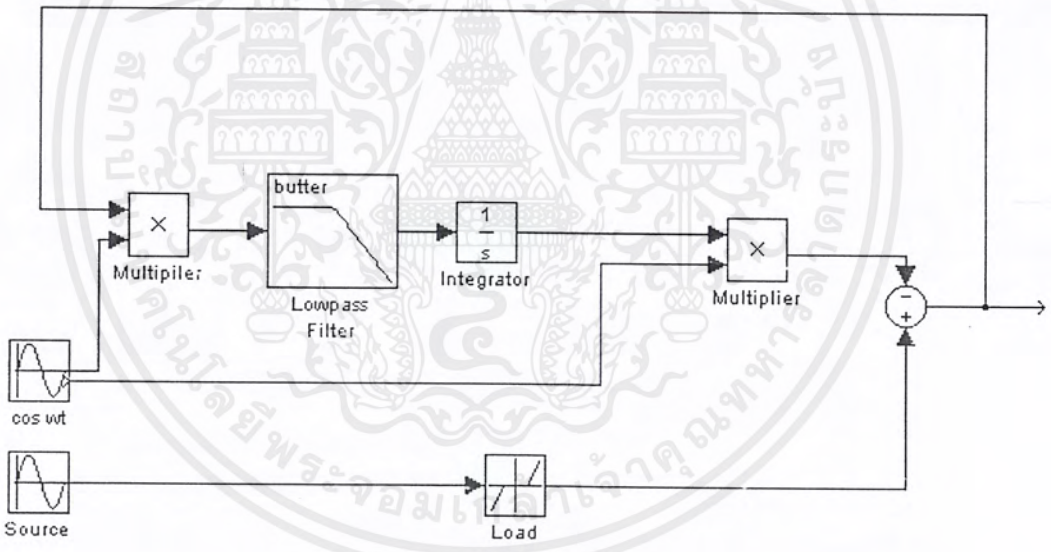
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พิจารณาสมการ (4) พบว่า หากสามารถกำจัดพจน์ที่เกิดขึ้นกับความถี่ทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเหลือ พจน์ $i_p/2$ นั่นคือสามารถหาค่า i_p ที่ต้องการได้ ซึ่งในทางปฏิบัติก็สามารถกระทำได้โดย

นำสัญญาณ i_1 มาผ่านวงจรคูณเพื่อทำการคูณกับ $\cos(\omega t)$ จากนั้นจึงนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำที่มีความถี่คัทออฟที่ ω ก็จะสามารถได้ค่า i_p คือค่ากระแสแอคทีฟที่ต้องการ

เมื่อสามารถหาค่าตัวแปรทั้งสามตัวครบแล้ว ก็สามารถหาค่ากระแสที่จะทำการชดเชยได้ โดยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการหากระแสชดเชยแบบลูปปิด (Closed Loop Compensating Current) ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมในการทำงานดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการหากระแสชดเชย

แต่การทำงานในบล็อกไดอะแกรมนี้ มีข้อควรพิจารณา คือ

1. ขนาดของสัญญาณแรงดันอ้างอิง และค่าเกณฑ์ของวงจรกรองความถี่ผ่านต่ำจะมีผลต่อขนาดของ i_p
2. หากมีการเลื่อนเฟสเพียงเล็กน้อย ที่อุปกรณ์ตรวจจับแรงดัน ก็จะมีผลต่อความแม่นยำ ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
42624

3. หากแรงดันแหล่งจ่าย มีการผิดเพี้ยนขึ้น ก็จะมีผลทำให้ค่า cos ωt ที่ได้มา ซึ่งต้องนำไปใช้เพื่อการคำนวณสัญญาณอ้างอิง จะทำให้สัญญาณอ้างอิงที่ได้มา มีความผิดเพี้ยนไป

3.2 การควบคุมกระแสโดยใช้วงจรควบคุมแบบฮิสเตอร์ริซีส

3.2.1 เทคนิคการควบคุมกระแส

เนื่องจากเทคนิคพีดับบลิวเอ็มนั้น เป็นการควบคุมแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้น ในการควบคุมกระแสขาออกโดยใช้เทคนิคพีดับบลิวเอ็มนี้ จึงสามารถทำได้โดยอาศัยการป้อนกลับกระแส โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส เพื่อป้อนสัญญาณกระแสเข้าสู่วงจรควบคุม ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกระแสที่ทำการจ่ายจริงและกระแสผิดพลาดเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปกำหนดการสวิตชิ่งที่เหมาะสม จากนั้น จึงผ่านสัญญาณที่ได้ไปป้อนเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ ในที่สุด ทำให้กระแสผิดพลาดและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ก็จะเป็นพีดับบลิวเอ็มด้วย ซึ่งก็จะไปทำการควบคุมรูปคลื่นกระแสขาออกให้เหมือนกับกระแสอ้างอิงนั่นเอง

กลไกการควบคุมกระแสให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้น ในทางปฏิบัติก็เป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก เนื่องจากในการใช้งานจริงไม่สามารถที่จะไปกำหนดลักษณะของโหลดที่ตายตัวได้ ทำให้กระแสของโหลดก็เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของโหลดที่เปลี่ยนแปลงอีกด้วย ดังนั้น เงื่อนไขที่จำเป็นเพื่อให้การควบคุมกระแสได้ผลดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

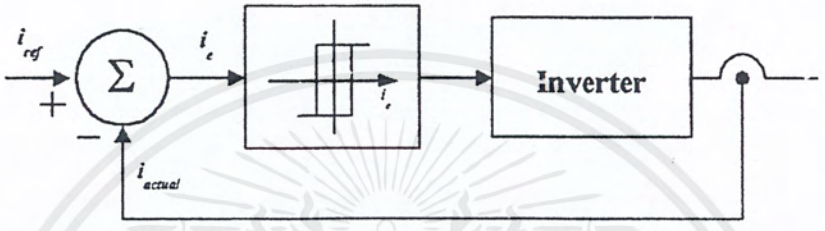
1. มีคุณลักษณะยูติไลต์เซชั่นของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ดี
2. มีกระแสเออเรอร์ที่มีค่าต่ำๆ ทั้งในสภาวะสเตติกและไดนามิก ซึ่งหมายถึงค่าผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบกระแสอ้างอิง และกระแสที่จ่ายจริง มีค่าต่ำๆทั้งในสภาวะคงตัวและในสภาวะการทำงานแบบ ทรานเชียนท์
3. มีค่าการสูญเสียจากการสวิตชิ่งต่ำในวงจรอินเวอร์เตอร์
4. ต้องมีค่าเผื่อเวลาที่เพียงพอ เพื่อให้ระบบควบคุมและการสวิตชิ่งของอินเวอร์เตอร์ทำงานได้อย่างเหมาะสม

จากคุณลักษณะทั้ง 4 ข้อที่กล่าวมา พบว่า ข้อ 1,3 และ4 เกี่ยวข้องกับเทคนิคการควบคุมแรงดันพีดับบลิวเอ็ม และยังเป็นส่วนที่เกี่ยวกับความถูกต้องของการทำงานของอุปกรณ์ เพราะฉะนั้น คุณลักษณะของอุปกรณ์ที่เชื่อถือได้และเทคนิคในการใช้อุปกรณ์เหล่านั้นให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญมาก

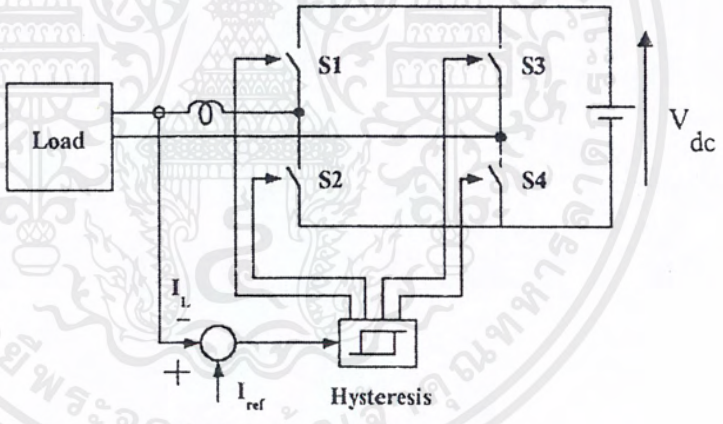
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซีส

ลักษณะของบล็อคไดอะแกรมดังรูปที่ 3.3 และการทำงานของวงจรดังรูป 3.4 จะมีชื่อเรียกว่า การควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซีส



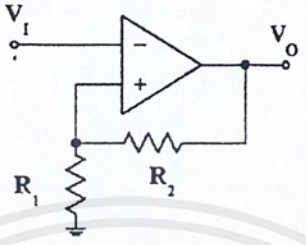
รูปที่ 3.3 แสดงบล็อคไดอะแกรมของการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซีส



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของวงจรฮิสเตอร์รีซีสเพื่อการควบคุมกระแส

วงจรฮิสเตอร์รีซีส สามารถกำหนดขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสได้จากการเลือกค่าความต้านทาน R1 และ R2 ตามรูปที่3.5 โดยถ้าขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสมีช่วงแคบ จะทำให้การควบคุมกระแสใกล้เคียงตามที่ต้องการมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรฮีสเตอร์รีซีส

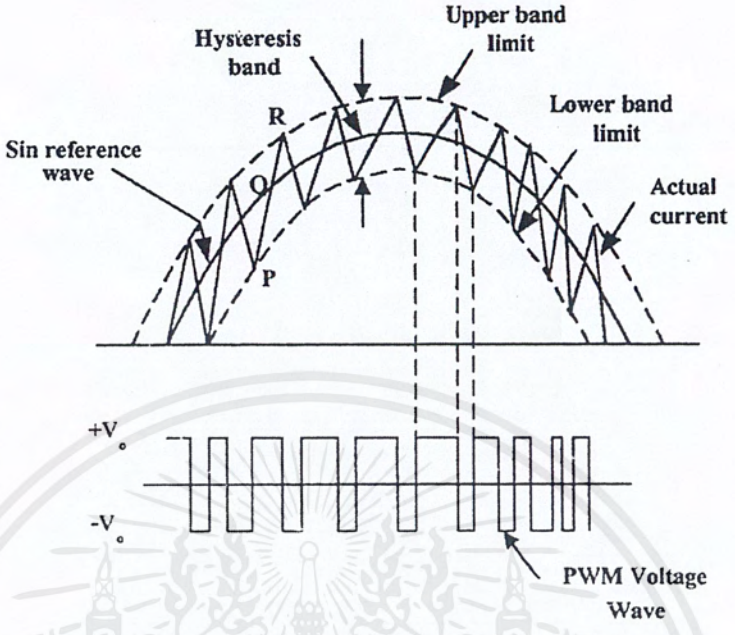
โดยที่

$$Vo = \pm \frac{R1}{R1 + R2} Vcc \qquad \ldots (3.5)$$

3.2.3 การทำงาน

กระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์จะถูกตรวจจับ และถูกนำมาเปรียบเทียบกับลูกคลื่นของกระแสอ้างอิงที่ต้องการ จากนั้นนำผลของการเปรียบเทียบที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมกระแส ซึ่งตัวควบคุมกระแสนี้จะทำการผลิตสัญญาณเพื่อป้อนเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3.6

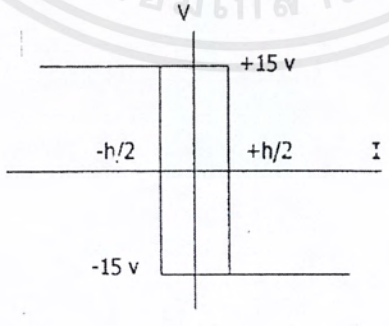
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การควบคุมกระแสแบบฮีสเตอร์รีซีส

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า จะเป็นลักษณะสัญญาณควบคุมกระแสสวิตซ์ และคุณลักษณะของฮิสเตอร์รีซีสลูปนั้นจะเป็นดังสมการ

$$V_{out} = \begin{cases} -15V & \text{ถ้า } \Delta i < -\frac{h}{2} \\ 15V & \text{ถ้า } \Delta i > \frac{h}{2} \end{cases} \quad .. \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.7 แสดงกราฟแรงดันระหว่าง Vo และ I ที่มีลักษณะเป็นฮิสเตอร์รีซีส เมื่อ h แสดงความกว้างของลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ h แสดงความกว้างของลูป

จากสมการถ้าค่าของ $-h/2 \leq \Delta I \leq -h/2$ นั้นจะให้ค่าของสัญญาณเอาท์พุทไม่เปลี่ยนแปลง ความกว้างของลูป h สามารถพิจารณาเป็นความกว้างของทอร์เลอร์แรนด์แบนของกระแส I เพราะ ตราบใดที่กระแสเออร์เรอร์ยังอยู่ในช่วงของแบนนี้ การทำงานของอุปกรณ์ก็จะยังให้เอาท์พุทที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่หากค่าเออร์เรอร์ที่ได้มีค่าอยู่สูงเกินไป เช่นในกรณีกระแสที่จ่ายจริงอยู่ต่ำกว่าลูกคลื่นของกระแสอ้างอิง h/2 ผลลัพธ์ที่ได้จะกลายเป็น –15 ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากระแสขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน จะได้ +15 เมื่อกระแสขาออกมีค่าเกิน –h/2 ซึ่งจะทำให้กระแส I ลดลง การทำงานทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูป 3.6

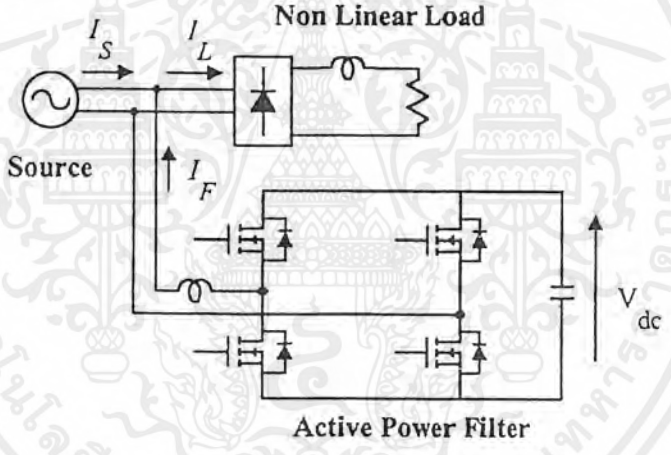
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้าง และการออกแบบ

ปัญหาของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น จากการใช้งานทางด้านเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์สวิตชิ่ง จะทำให้เพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าต่ำลง และกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะมีปริมาณมากขึ้นซึ่งสร้างปัญหาแก่ระบบไฟฟ้า จึงจำเป็นที่จะต้องแก้กระแสฮาร์โมนิกส์ และปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

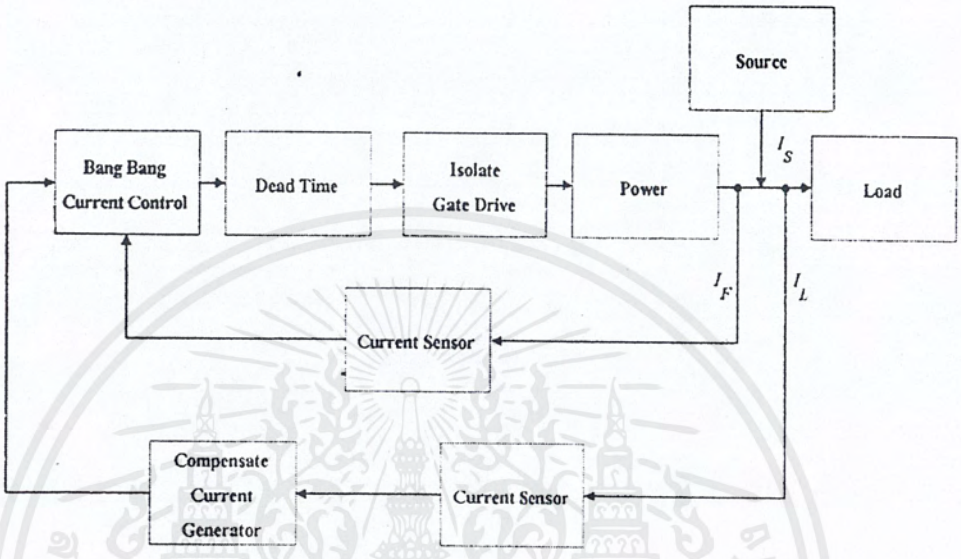
วงจรที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้คือ วงจรแอคทีฟฟิลเตอร์ แบบฉีดกระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่4.1



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์ แบบฉีดกระแส

การทำงานของวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์จะประกอบไปด้วย ส่วนที่สร้างกระแสชดเชยเพื่อจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์ชดเชยให้แก่ระบบ และส่วนการควบคุมกระแส เพื่อให้จ่ายกระแสที่มีลักษณะตามที่ต้องการเพื่อชดเชยฮาร์โมนิกส์ โดยนำสัญญาณควบคุมที่ได้ไปควบคุมชุดอินเวอร์เตอร์ ที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่เพื่อจ่ายพลังงานที่มีส่วนประกอบของฮาร์โมนิกส์ และส่วนกระแสรีแอคทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อคไดอะแกรมวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์

วงจรและส่วนประกอบต่างๆ

ในการทำงานของวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์สามารถแยกส่วนประกอบการทำงานได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. **ส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณกระแสชดเชย**

   การทำงานในส่วนนี้ประกอบด้วย

   - ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า
   - วงจรคูณ
   - วงจรกรองความถี่ต่ำ
   - วงจรลบ
   - วงจรอินทิเกรต
   - วงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ส่วนที่ทำการควบคุม และสร้างกระแสชดเชย**

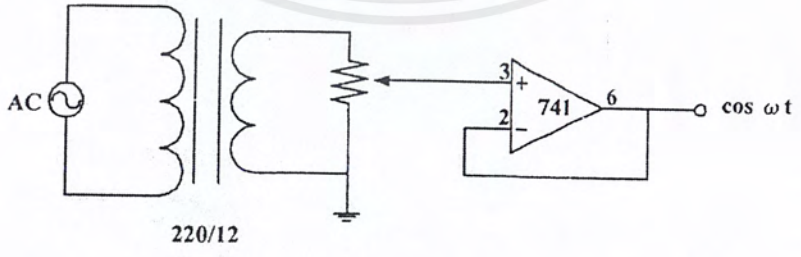
การทำงานในส่วนนี้ประกอบด้วย

- วงจรแบงแบง่
- วงจรเผื่อเวลา (Dead Time)
- วงจรขับเกท (Gate Drive)
- วงจรตรวจจับกระแส (Current Sensor)
- วงจรกำลัง
- วงจรไฟเลี้ยง

4.1 ส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณกระแสชดเชย

เป็นส่วนที่ทำการสร้างกระแสชดเชยอ้างอิงให้แก่แอกทีฟฟิลเตอร์ เพื่อทำการฉีดกระแสให้แก่โหลดฮาร์โมนิกส์ ในส่วนนี้มีส่วนที่เป็นอิพุตอยู่ 2 องค์ประกอบที่จะนำมาคำนวณในวงจรสร้างกระแสชดเชย คือ กระแสโหลด และ แรงดันของแหล่งจ่าย จึงต้องทำการป้อนสัญญาณทั้งสองเข้ามา จากนั้นสัญญาณทั้งสองจะทำงานตามรูปที่ 4.2 ซึ่งวงจรทั้งหมดจะประกอบไปด้วยส่วนที่ทำหน้าที่ส่งแรงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

4.1.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

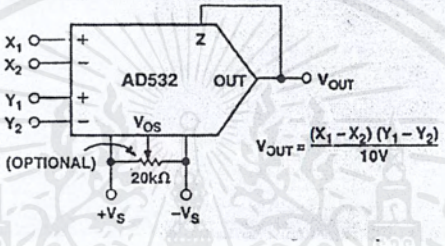


รูปที่ 4.3 แสดงวงจรที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า cos(ω t) จะใช้ หม้อแปลงในการสร้าง จะต้องมีเฟสตรงกับแหล่งจ่ายและแยกกราวด์ส่วนของวงจรกำลัง และวงจรควบคุมด้วยการใช้หม้อแปลง สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ารูป cos(ω t) ที่มีความถี่ 50 Hz แล้วปรับแรงดันให้ได้ 1 V_p จากนั้นป้อนเข้าวงจรบัฟเฟอร์ต่อไฟเลี้ยง $\pm$ 15 V เพื่อนำสัญญาณไปใช้ในการหากระแสชดเชย

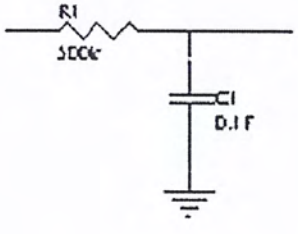
4.1.2 วงจรคูณ



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรคูณ

การคำนวณหากระแสชดเชย จะต้องนำกระแสมาคูณกัน ซึ่งทำได้โดยใช้ไอซี AD532 ไอซีนี้เป็นไอซีที่สามารถนำมาใช้ในการคูณ 4-quadrant โดยการต่อดังรูป 4.4 ซึ่งการทำงานของวงจรประกอบด้วยด้วย ไฟเลี้ยงวงจร $\pm$ 15 V สัญญาณอินพุท จะต้องไม่เกิน $\pm$ 10 V และสัญญาณที่ออกจากไอซี AD532 จะมีขนาดลดลง 10 เท่า ดังนั้นจึงนำสัญญาณที่ออกจาก AD532 นี้มาทำการขยายสัญญาณ 10 เท่าด้วยวงจรไม่กลับเฟส เพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุทที่ถูกต้อง

4.1.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ

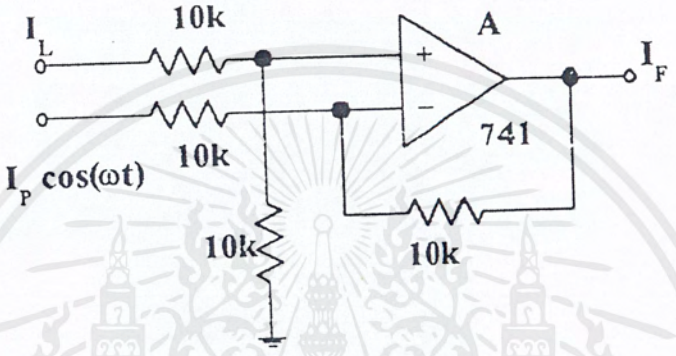


ปที่ 4.5 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

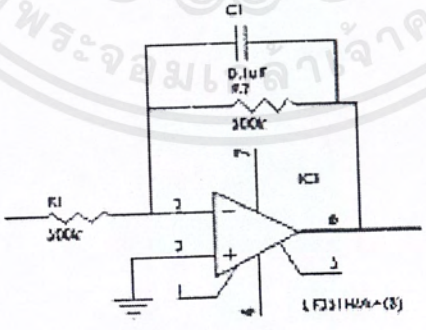
วงจรกรองความถี่ออกแบบให้มีความถี่คัทออฟที่ 3 Hz เพื่อให้ได้ขนาดของ I_p ที่มีแต่ส่วนของ DC

4.1.4 วงจรลบ



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรลบ

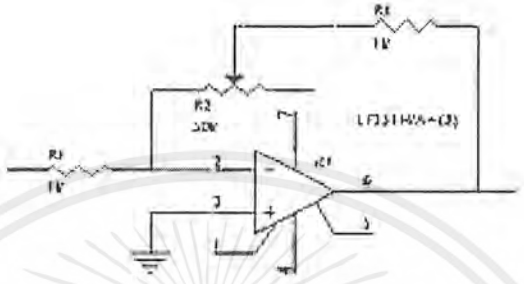
4.1.5 วงจรอินทิเกรต



รูปที่4.7 แสดงวงจรอินทิเกรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 วงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.8 วงจรขยายสัญญาณ

เมื่อได้สัญญาณ $I_p \cos(\omega t)$ จากการคำนวณ จะสามารถหา I_r ซึ่งเป็นกระแสฮาร์โมนิกส์ที่จะต้องชดเชย ได้จากวงจรลบดังรูป 4.6 โดยจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์ $\pm$ 15 V

จากวงจรข้างต้น สามารถสร้างกระแสชดเชยได้ โดยการต่อวงจรตามบล็อคไดอะแกรม รูป 4.2 โดยการนำสัญญาณ $\cos(\omega t)$ จาก หม้อแปลงไฟฟ้าและสัญญาณ i_L จากวงจรตรวจจับกระแส นำมาคูณกัน และผ่านวงจรส่วนกรองความถี่ต่ำโดยออกแบบให้ความถี่คัทออฟที่ ωt เพื่อให้ได้สัญญาณส่วนของ DC ซึ่งเป็นขนาดของ I_p เพื่อให้ผลที่ได้เป็นตามสมการ (4)

เมื่อได้ขนาดกระแส I_p นำมาคูณกับสัญญาณ $\cos(\omega t)$ ได้เป็นสัญญาณของกระแสส่วนแอคทีฟ ดังนั้นจากสมการ (3) จะได้กระแสชดเชยโดยการนำเอาสัญญาณ I_Lลบกับ $I_p\cos(\omega t)$ ซึ่งกระแสชดเชยที่จะจ่ายให้กับระบบเพื่อแก้ไขกระแสฮาร์โมนิกส์จะประกอบด้วยกระแสรีแอคทีฟ และกระแสฮาร์โมนิกส์ต่างๆ

4.2 วงจรที่ทำการควบคุม และสร้างกระแสชดเชย

การทำงานในส่วนนี้ จะเป็นการนำสัญญาณกระแสชดเชยที่ต้องทำการจ่ายจริง (กระแสชดเชยอ้างอิงซึ่งได้มาจากส่วนที่ 4.1.1) มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสที่อินเวอร์เตอร์จ่ายอยู่เพื่อนำไปคำนวณสร้างสัญญาณสวิตชิ่งโดยใช้วงจรควบคุมแบบเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม เพื่อนำไปป้อนเข้าสู่วงจรเผื่อเวลาและวงจรขับเกทเพื่อสร้างสัญญาณสวิตช์ไปป้อนอินเวอร์เตอร์ทำการสร้างกระแสชดเชยต่อไป

4.2.1 วงจรแบงแบง

- ส่วนวงจรลบ

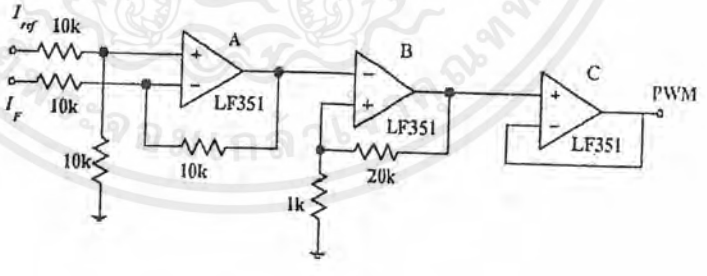
โดยออปแอมป์Aเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณอ้างอิง (i_{ref})กับสัญญาณกระแสที่ชดเชย (i_f) จะได้สัญญาณแออร์เรอร์แล้วนำสัญญาณไปเข้าวงจรฮิสเตอร์รีซิส โดยจะจ่ายไฟเลี้ยงให้ออปแอมป์ที่ ±15 V.

-ส่วนสร้างสัญญาณควบคุมสวิทซ์

สัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบของออปแอมป์ A มาผ่านวงจรฮิสเตอร์รีซิสคอมแพเรเตอร์ ออปแอมป์B โดยสัญญาณที่เข้ามาถ้ามากกว่าขอบเขตบน จะได้สัญญาณ+15V. แต่ถ้าสัญญาณที่เข้ามาน้อยกว่าขอบเขตล่างจะได้สัญญาณ-15V. โดยจะจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์ ±15 V.

- ส่วนบัฟเฟอร์

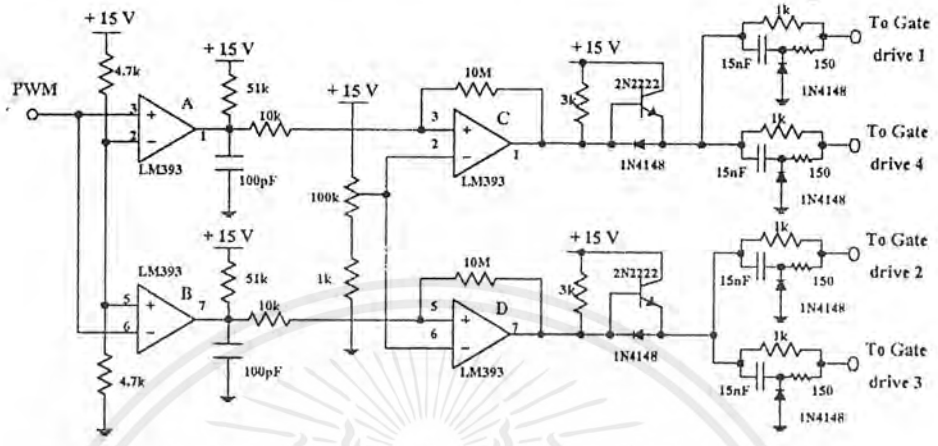
ออปแอมป์Cจะนำสัญญาณที่ผ่านจากออปแอมป์Bผ่านออกไปโดยกันไม่ให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนมารบกวนด้านเอาท์พุต โดยจะจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์ ±15 V.



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรแบงแบง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วงจรเผื่อเวลา



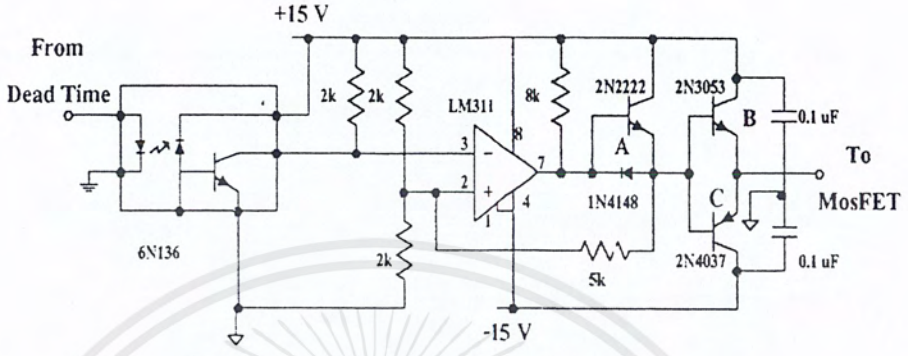
รูปที่ 4.10 แสดงวงจรเผื่อเวลา

สัญญาณควบคุมสวิตช์จะเข้ามาที่ออปแอมป์ A และ สวิตช์มอสเฟต 4 ตัว สัญญาณที่ออกมา จะมีลักษณะโค้งเล็กน้อย B จะมีลักษณะกลับกันเพื่อจะนำไปสวิตช์มอสเฟต 4 ตัวสัญญาณที่ออกมา จะมีลักษณะโค้งเล็กน้อย เมื่อผ่านออกไปจากออปแอมป์ A และ B เนื่องจากตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ทางเอาท์พุทของออปแอมป์ ลักษณะความโค้งที่ได้ขึ้นกับขนาดของตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุที่เลือกใช้จากค่าคงที่ทางเวลา (Time Constant) ไฟเลี้ยงที่จ่ายออปแอมป์ A และ B ± 15 V

สัญญาณที่ได้จากออปแอมป์ A และ B จะนำไปเข้าที่ออปแอมป์ C และ D ตามลำดับ สำหรับเปรียบเทียบกับแรงดันที่สามารถปรับค่าได้จากตัวต้านทาน เพื่อปรับช่วงเผื่อเวลา (Dead Time) และนำสัญญาณไปขับทรานซิสเตอร์เพื่อขยายกระแส และผ่านส่วนสนับเบอร์ ก่อนที่จะได้สัญญาณไปวงจรขับเกท ไฟเลี้ยงที่จ่ายออปแอมป์ C และ D ± 15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

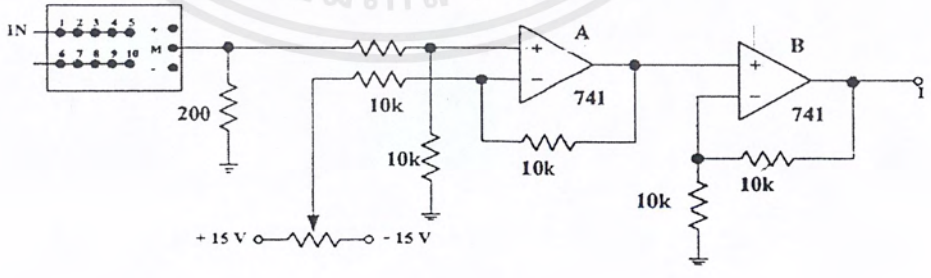
4.2.3 วงจรขับเกท



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรขับเกท

สัญญาณที่จะนำไปขับวงจรเพาเวอร์ซึ่งเป็นสวิตช์ 4 ตัว จะต้องมีการแยกกราวด์ระหว่างชุดควบคุม และชุดกำลังออกจากกันโดยใช้ออปโต้ไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator) ซึ่งนำสัญญาณที่ได้จากวงจรเผื่อเวลามาเข้า ออปโต้ไอโซเลเตอร์ 6N136 แล้วสัญญาณที่เข้าออปแอมป์ผ่านไปที่ทรานซิสเตอร์ B และ C อีกทีหนึ่งเพื่อที่จะสามารถนำไปขับมอสเฟตได้ โดยจ่ายไฟเลี้ยง ให้ออปแอมป์ ± 15 V

4.2.4 วงจรตรวจจับกระแส



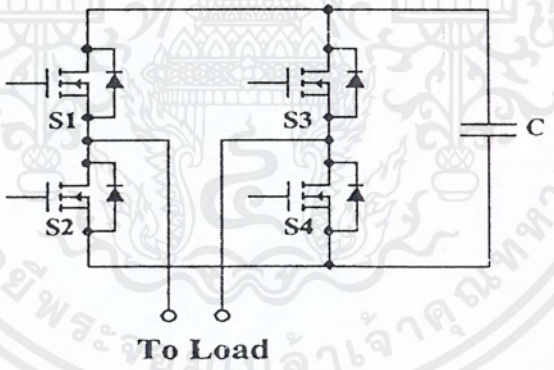
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมกระแสฮาร์โมนิกส์ เพื่อที่จะฉีดไปแก้ไขให้แก่ระบบ โดยการควบคุมกระแสแบบ Bang Bang Controller จะทำให้สัญญาณของกระแสมีความถี่สูง จึงไม่สามารถใช้ Curent Transformer ได้ เพราะไม่เหมาะสมที่วัดความถี่สูง อาจทำให้แกนเหล็กอิ่มตัวได้ ดังนั้นในการตรวจจับสัญญาณของกระแสจะใช้วงจร Hall Effect ซึ่งสามารถวัดสัญญาณกระแสได้ตั้งแต่ .0 – 100 Hz ทำให้ได้สัญญาณของกระแสที่มีความถูกต้อง

ในวงจรนี้ จะต่อให้ Hall Effect มี turn ratio มีค่า 1 : 1000 ดังนั้น กระแสที่เข้ามา 1 A จะออกจาก Hall Effect 1 mA จากนั้นนำกระแสที่ได้ต่อกับตัวความต้านทาน 200 Ω จะได้สัญญาณขนาด 0.2V สัญญาณที่ได้จะมีค่า offset จึงต้องแก้ไขด้วยวงจรลบ ออปแอมป์ A ให้สัญญาณที่ได้จาก Hall Effect เข้าที่ขาบวก แล้วไฟ ± 15 V ขาลบจากนั้นนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ ออปแอมป์ B ที่มีค่าGain = 5เพื่อให้ได้สัญญาณขนาด 1 V ต่อกระแส 1 แอมป์

4.2.5 วงจรกำลัง

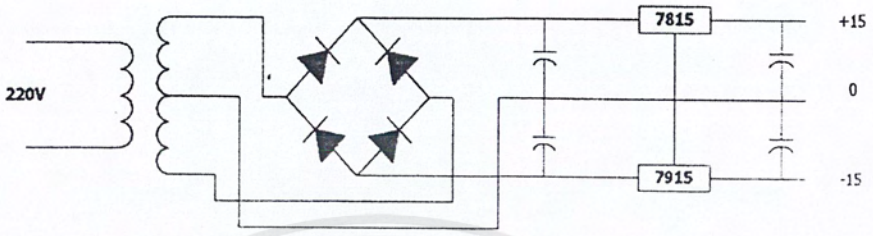


รูปที่ 4.13แสดงวงจรกำลัง

สัญญาณที่ได้รับจากวงจรขับเกท จะนำมาป้อนเข้าวงจรกำลังที่ขาเกทของอุปกรณ์สวิตช์ เพื่อเปิด ปิดการทำงาน ให้จ่ายกระแสตามวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 วงจรไฟเลี้ยง



รูปที่ 4.14 แสดงวงจรไฟเลี้ยง

วงจรไฟเลี้ยง ใช้สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุมซึ่งใช่ไฟ± 15 V ดังรูปที่ 4.14 โดยออกแบบให้มีเอาท์พุต + 15 V และ –15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

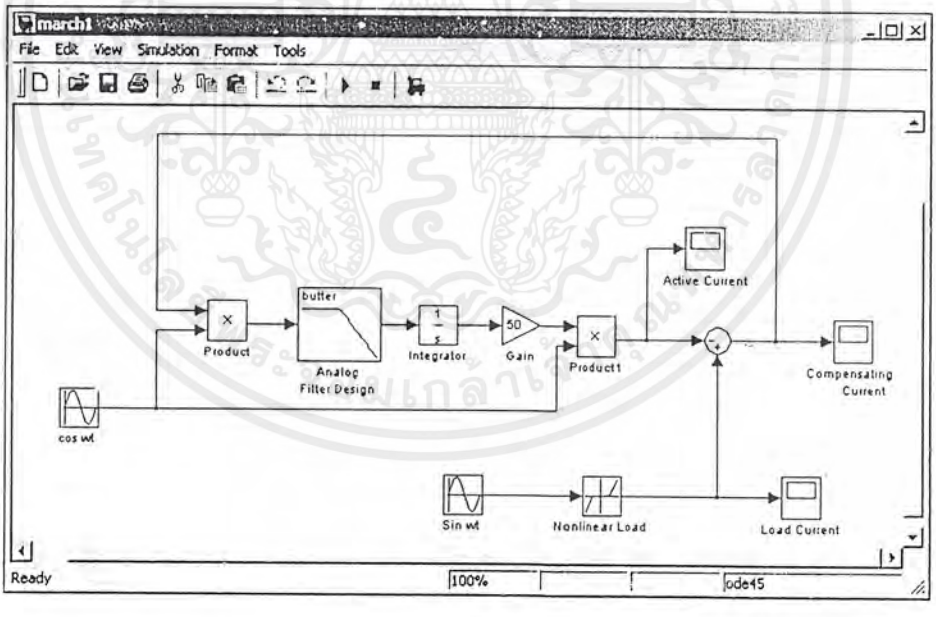
ผลการทดลอง

การทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. การจำลองการทำงานโดยSimulink
2. การทดลองในวงจรต้นแบบ

5.1 การจำลองวงจรชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์

เพื่อแสดงผลของทฤษฎีการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ที่กล่าวมา โดยการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทดลองจะทดลองการทำงานแบบลูปปิดเพื่อศึกษาการทำงานและใช้ในการออกแบบวงจรต่อไป

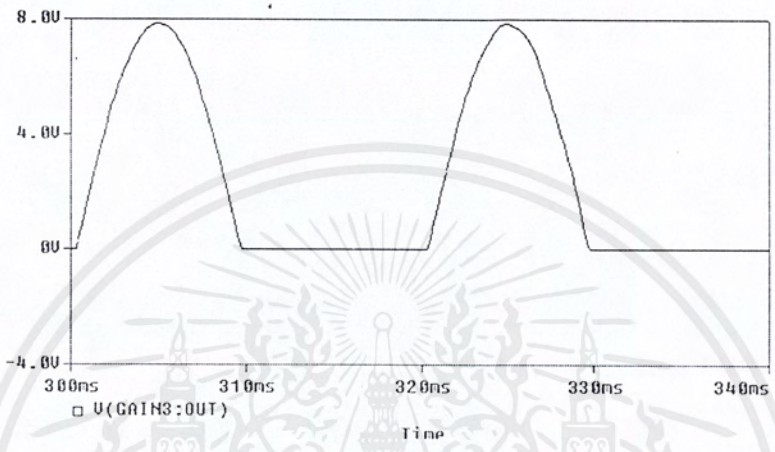


รูปที่ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่วิเคราะห์แบบลูปปิด

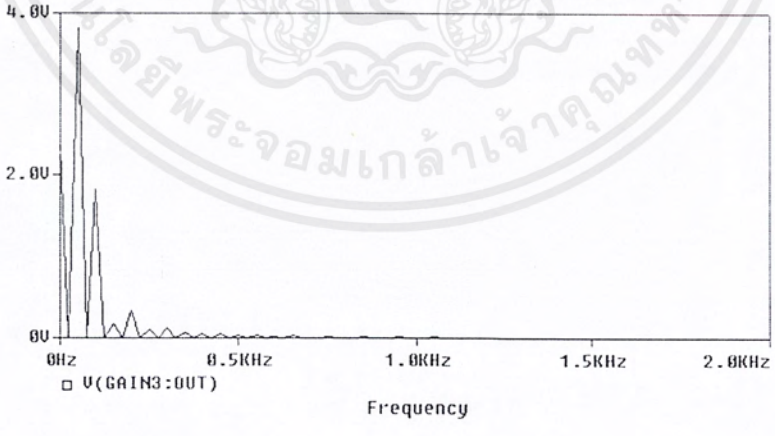
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาจะจำลองกระแสโหลดไม่เชิงเส้น 2 ลักษณะ คือ

1. โหลดชนิดไดโอด

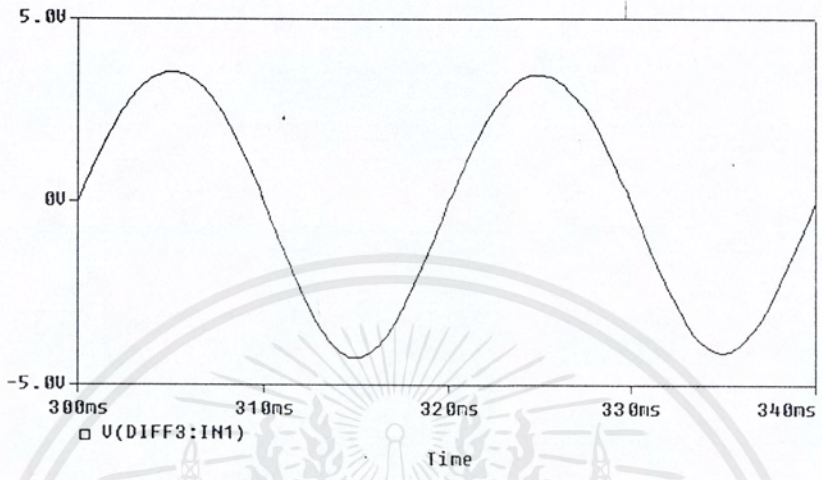


รูปที่ 5.2 แสดงกระแสโหลด

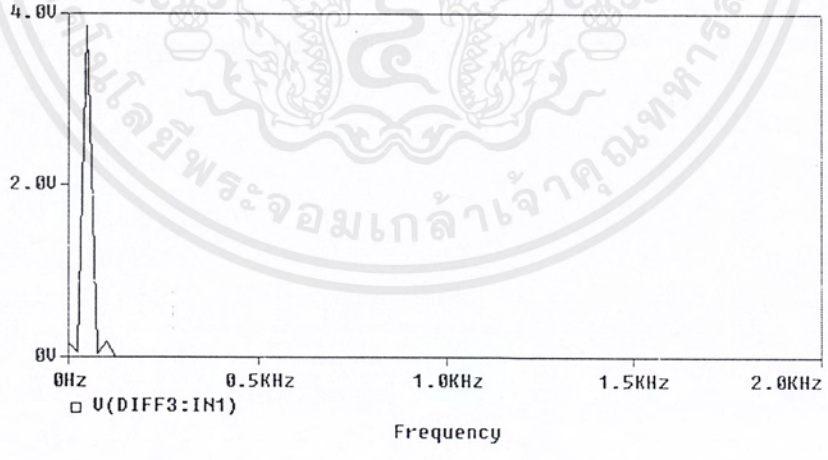


รูปที่ 5.3 แสดงสเปกตรัมของกระแสโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

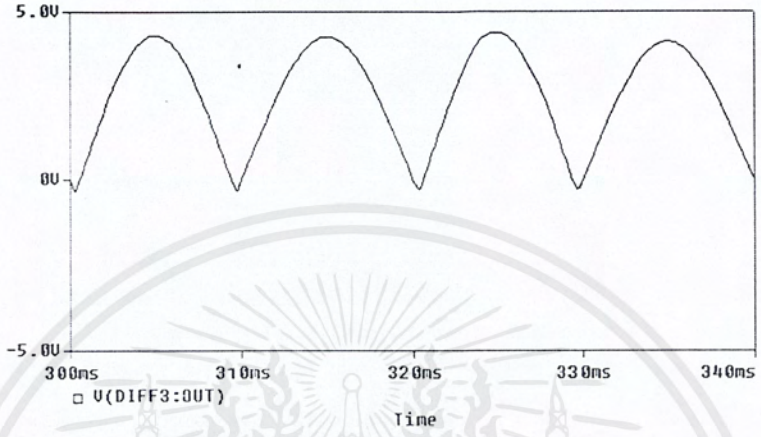


รูปที่ 5.4 แสดงรูปของ สัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcos(ωt)



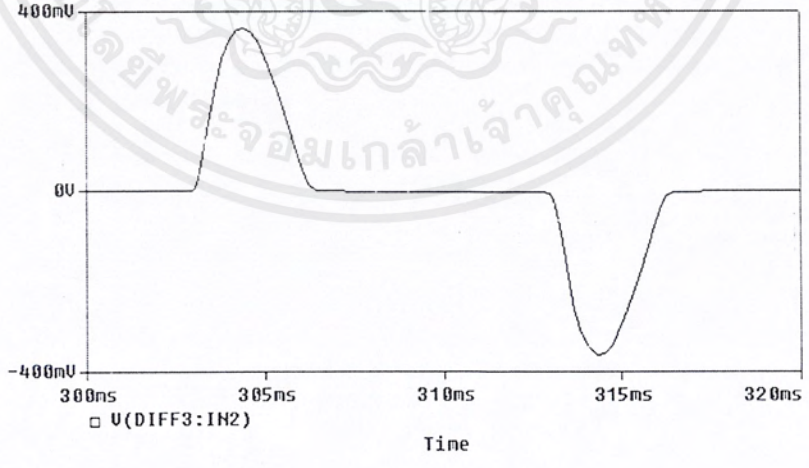
รูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณI_pคูณกับสัญญาณcos(ωt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



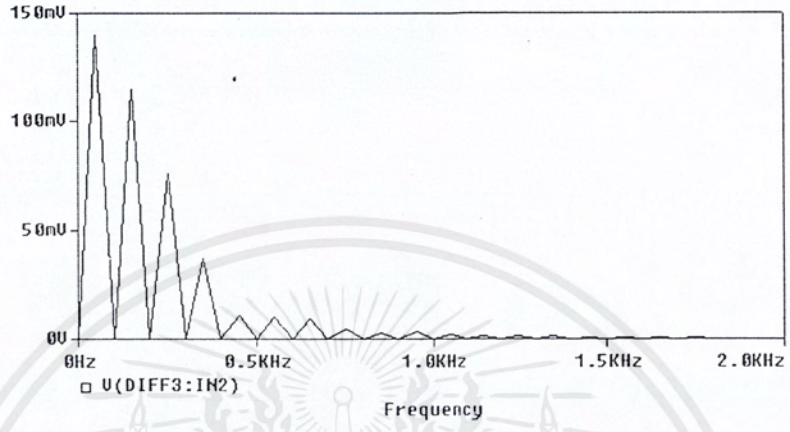
รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณกระแสชดเชย

2. โหลดเป็นบริดจ์เร็กติไฟร์

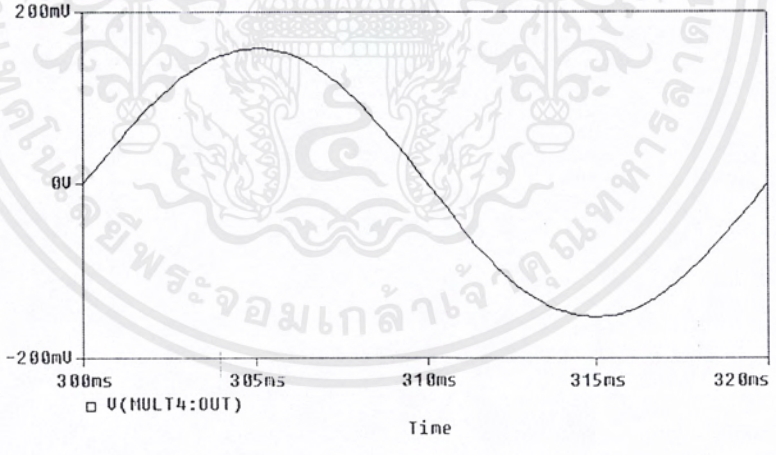


รูปที่ 5.7 แสดงกระแสโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

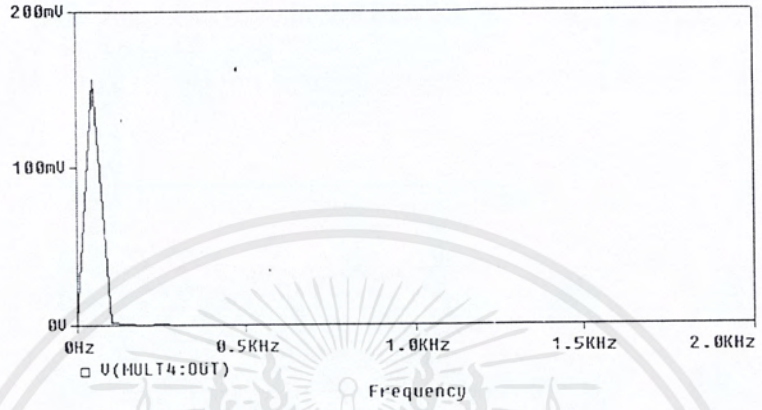


รูปที่ 5.8 แสดงสเปกตรัมของกระแสโหลด

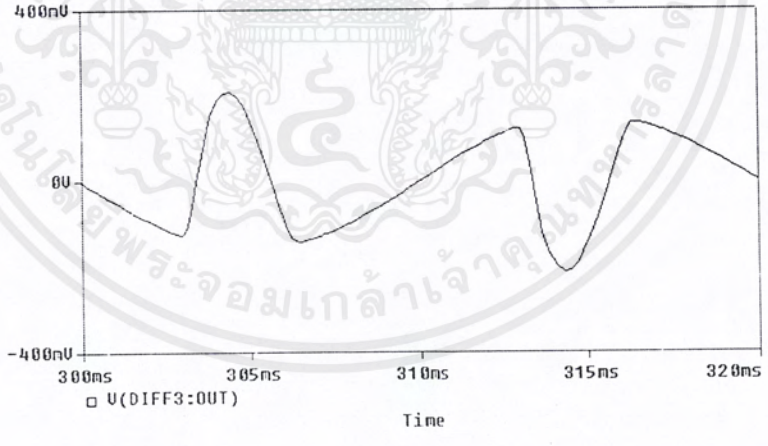


รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณ I_pคูณกับสัญญาณcos(ωt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงสเปกตรัมสัญญาณ I_pคูณกับสัญญาณcos(ωt)



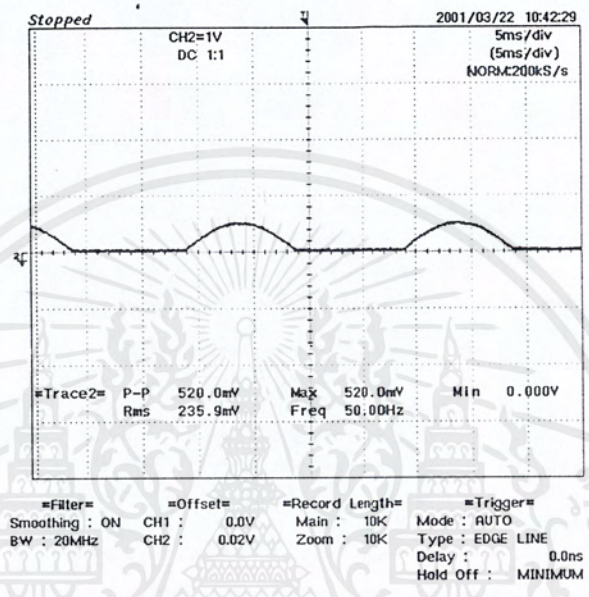
รูปที่ 5.11 แสดงกระแสชดเชย

ผลจากการทดลองการจำลองโดยโปรแกรม ปรากฏว่าวงจรชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์สามารถทำให้สัญญาณกระแสโหลด มีรูปคลื่นที่ดีขึ้น แต่เมื่อสัญญาณอ้างอิงทีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ขนาดของกระแสแอกทีฟเปลี่ยนแปลง ซึ่งการประมาณค่า$i_{(p)}(t)$มีความแม่นยำน้อยลง จะส่งผลต่อการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์

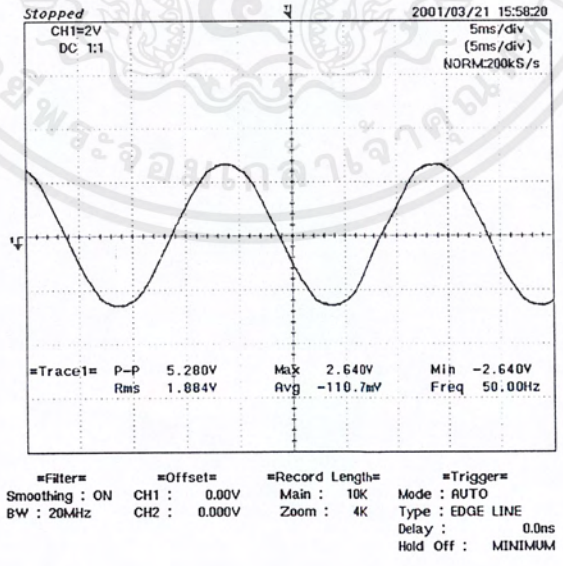
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การชดเชยในวงจรต้นแบบ

1. เมื่อโหลดเป็นไดโอด

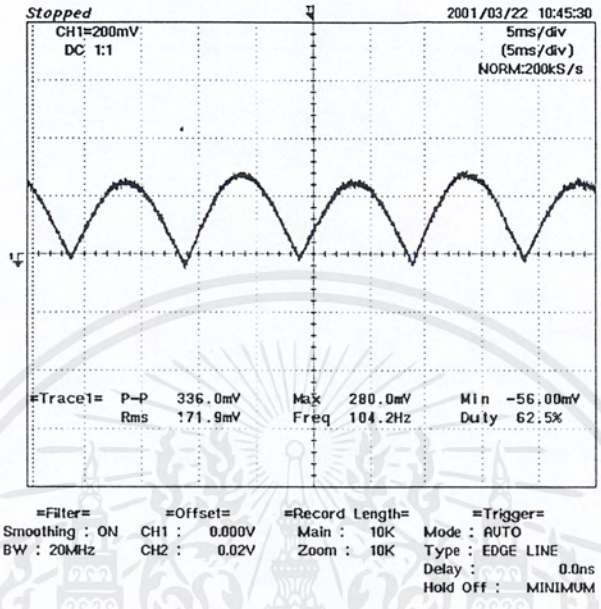


รูปที่ 5.12 แสดงกระแสโหลด



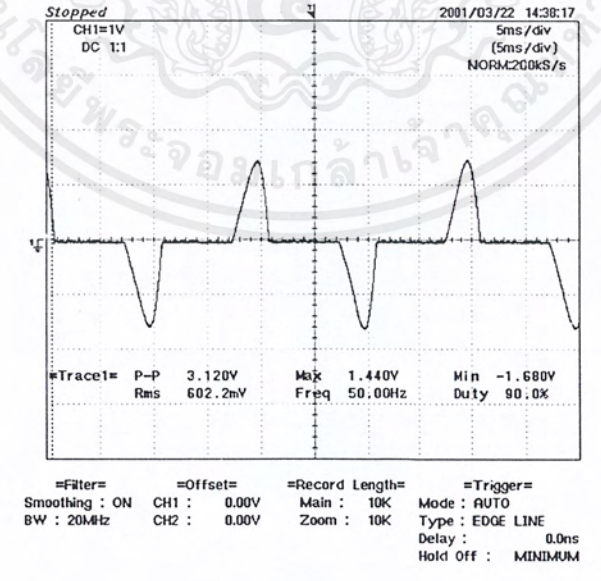
รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณ I_p คูณกับสัญญาณ $\cos(\omega t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



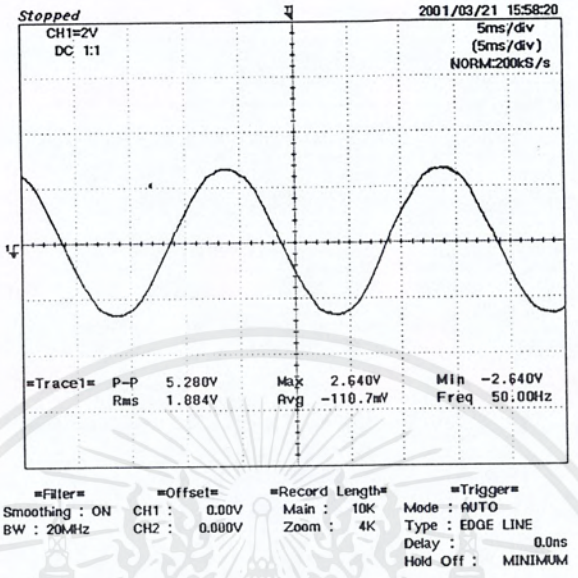
รูปที่ 5.14 แสดงกระแสชดเชยโหลดไดโอด

2. เมื่อโหลดเป็นบริดจ์เร็กติไฟร์

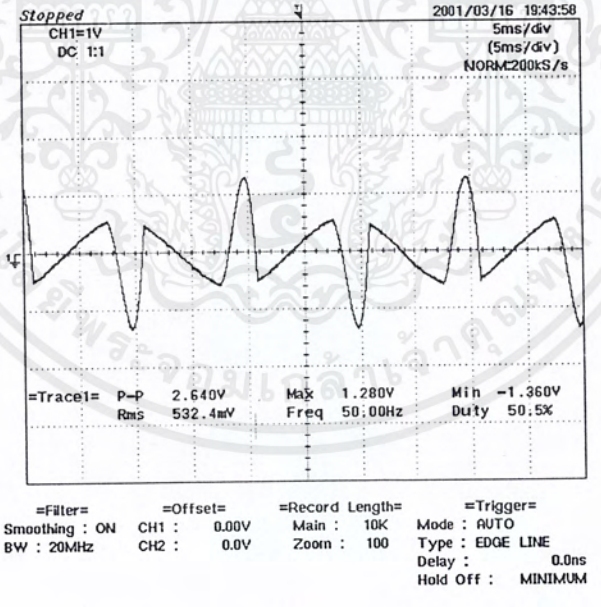


รูปที่ 5.15 แสดงกระแสโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณ I_p คูณกับสัญญาณ $\cos(\omega t)$



รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณชดเชยโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์

5.3 การทดลองในวงจรต้นแบบ

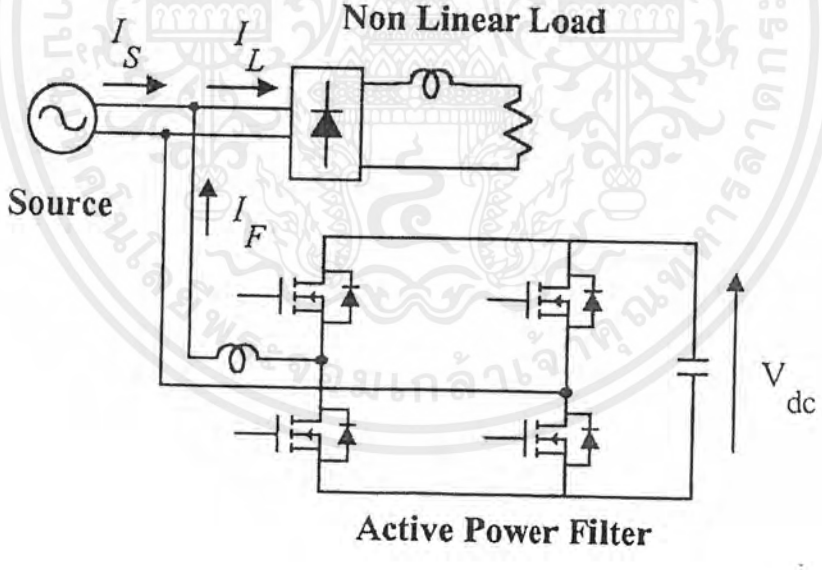
การทดลองในส่วนนี้ เป็นการแก้กระแสฮาร์โมนิกส์ ที่เกิดจากโหลด 2 ประเภท คือ โหลดไดโอดเร็กติไฟร์และโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ %THD จะคิดที่ความถี่มูลฐานถึงฮาร์โมนิกส์อันดับที่50

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

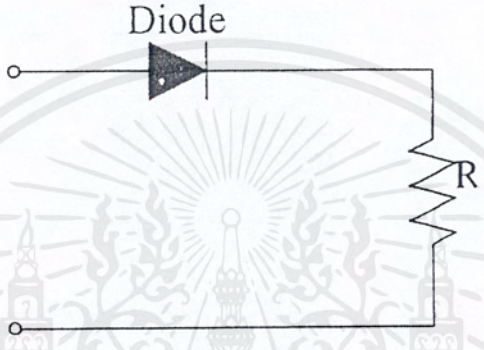
- ไดโอด
- บริดจ์เร็กติไฟร์ และตัวประเก็บประจุขนาด 3000 μF 450 V.
- หลอดไฟ 100 วัตต์ 2 หลอด
- ตัวเหนี่ยวนำ 1.6 mH.
- Osciloscope YOKOGAWA DL1520
- Probe YOKOGAWA 7009988
- Variac 220 V.



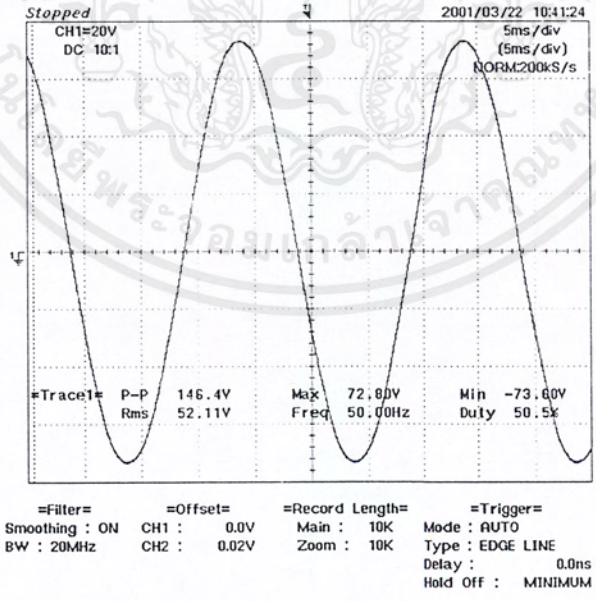
รูปที่ 5.18 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 เมื่อโหลดเป็นไดโอดเร็กติไฟร์ ต่อกับโหลดR

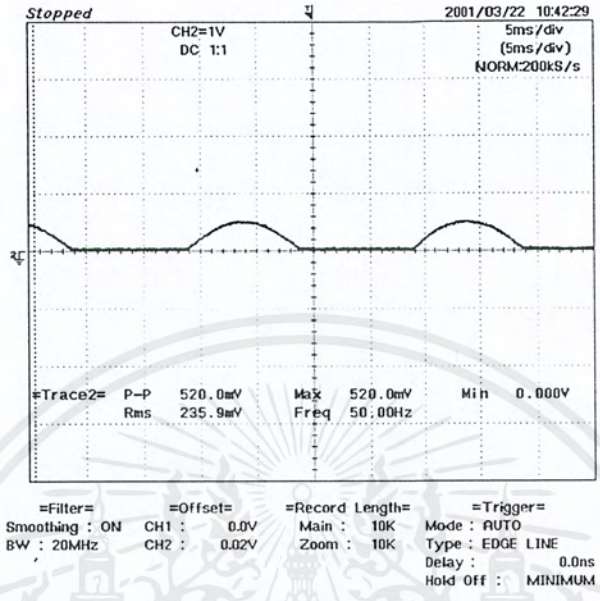


รูปที่ 5.19 แสดงโหลดไดโอด

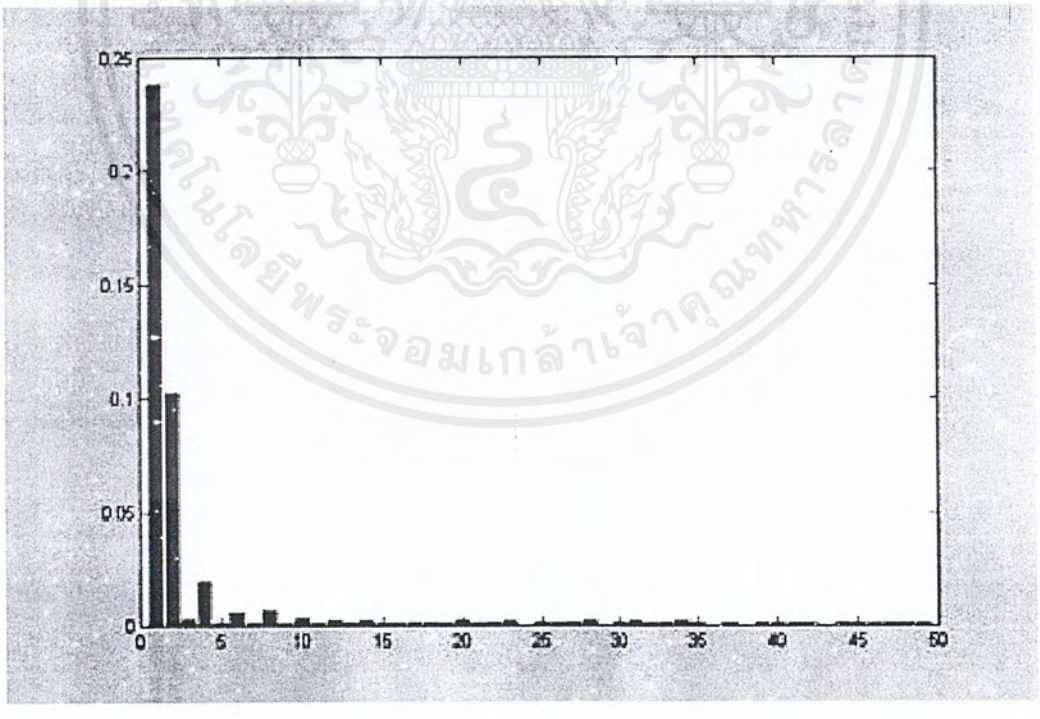


รูปที่ 5.20 แสดง Vs ก่อนการฉีดกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

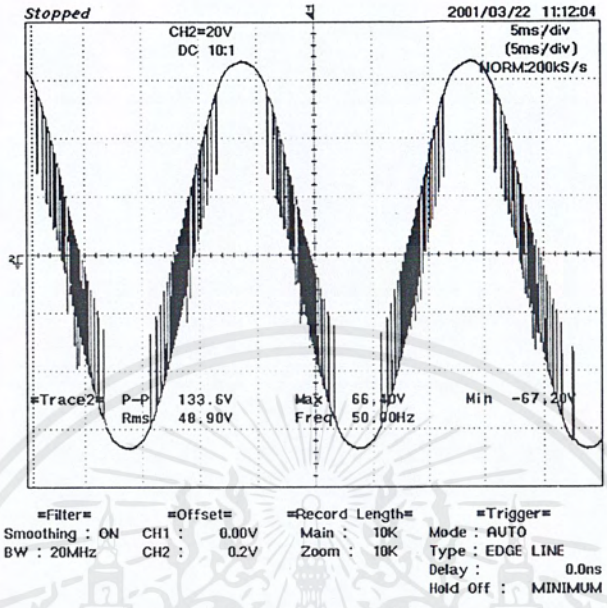


รูปที่ 5.21 แสดง Is ก่อนการฉีดกระแสชดเชย

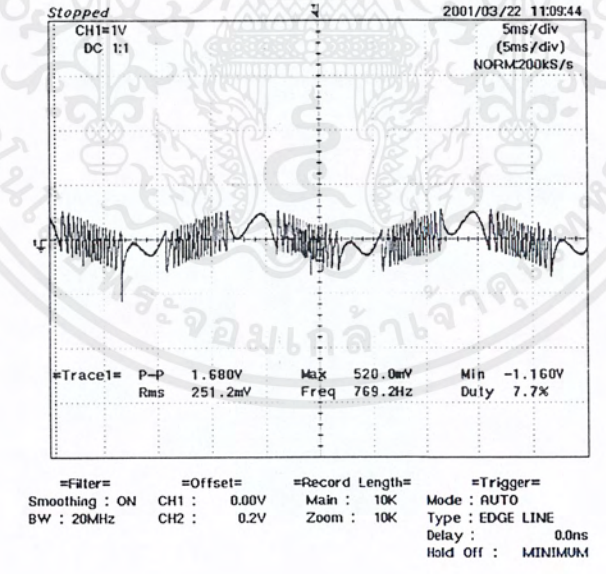


รูปที่ 5.22 แสดงสเปกตรัมของIsก่อนการฉีดกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

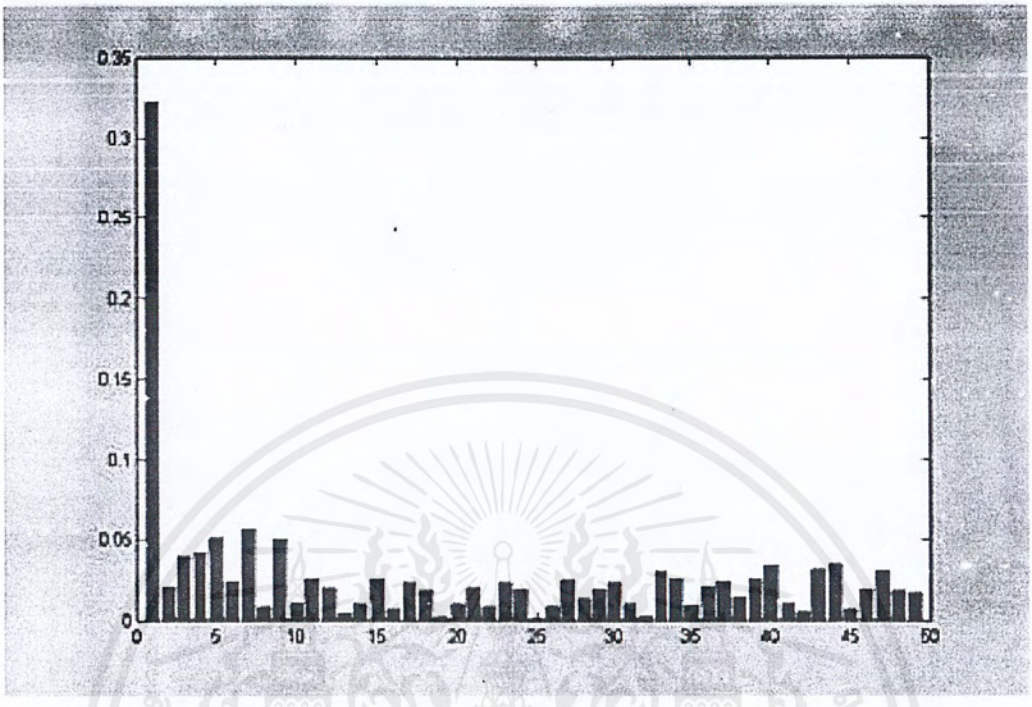


รูปที่ 5.23 แสดงVsหลังการฉีดกระแสชดเชย



รูปที่ 5.24 แสดง Is หลังการฉีดกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 แสดงสเปกตรัมของIsหลังการฉีดกระแสชดเชย

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าTHDและเพาเวอร์แฟกเตอร์ เปรียบเทียบก่อนแก้ไข และหลังแก้ไขเมื่อเป็นโหลดไดโอด

ก่อนแก้ไข

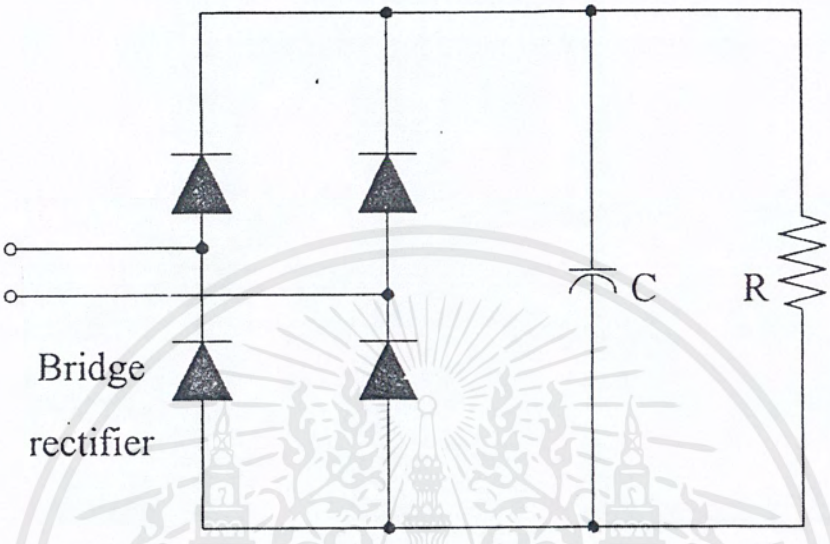
$V_{I/P}$(v)	%THD	FF	DPF	PF	I_s(A)	I_{s1}(A)
50	43.97	0.912	0.999	0.901	0.262	0.243

หลังแก้ไข

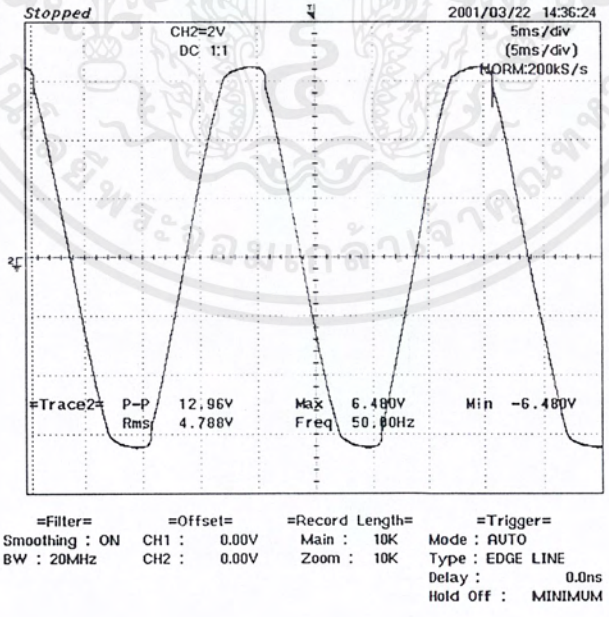
$V_{I/P}$(v)	%THD	FF	DPF	PF	I_s(A)	I_{s1}(A)
50	52.13	0.887	0.999	0.886	0.372	0.334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 เมื่อโหลดเป็นบริดจ์เร็กติไฟร์ ต่อกับโหลดR

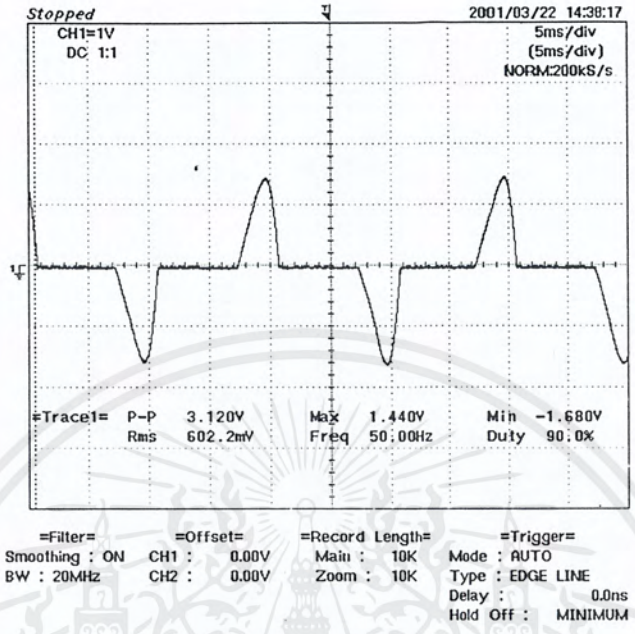


รูปที่ 5.26 แสดงโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์

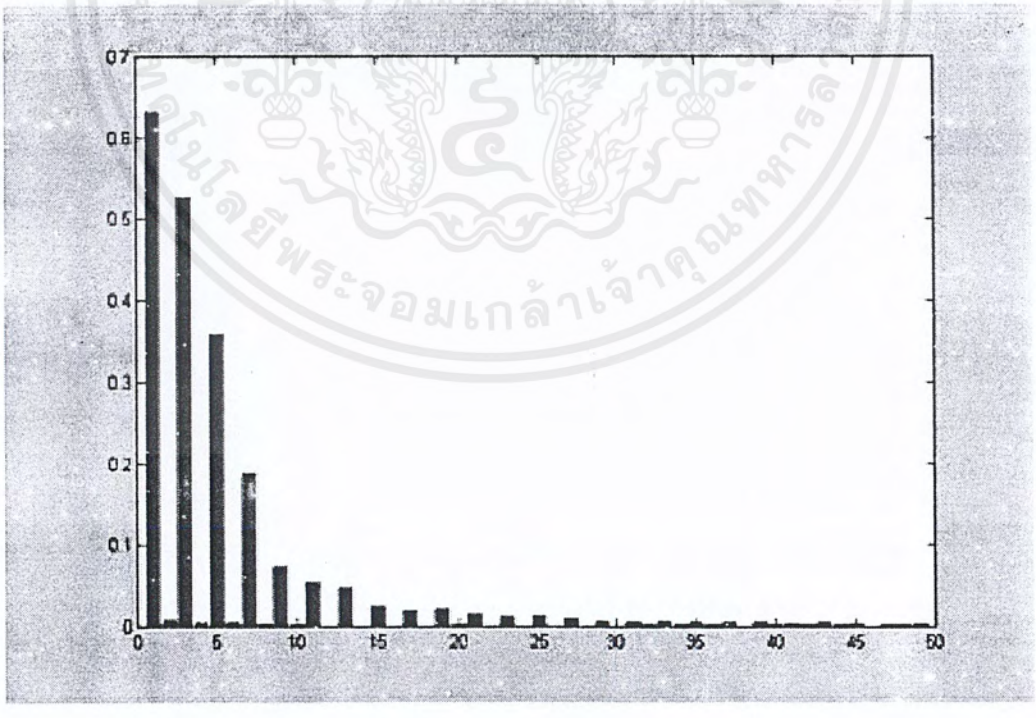


รูปที่ 5.27 แสดงVsก่อนการฉีดกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

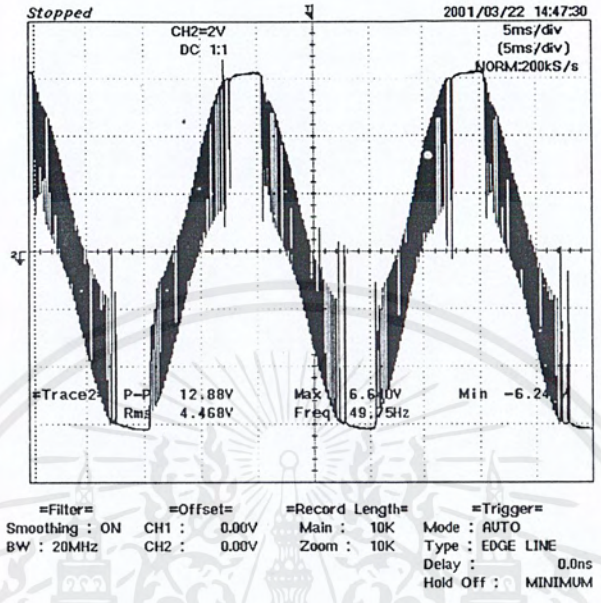


รูปที่ 5.28 แสดง Is ก่อนการฉีดกระแสชดเชย

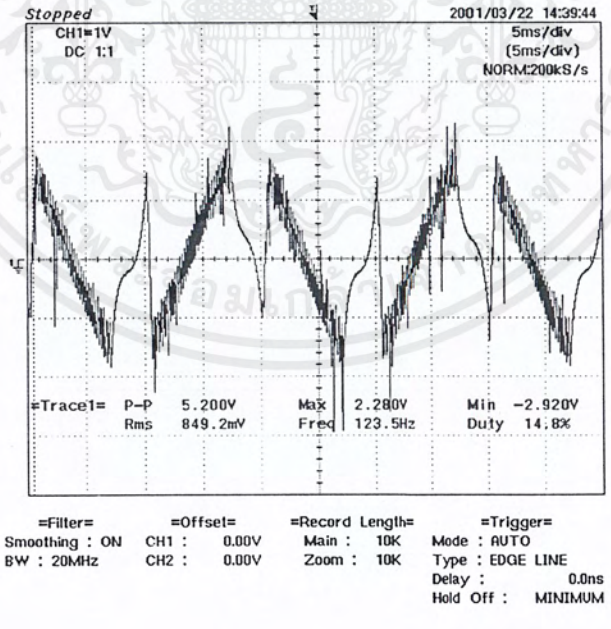


รูปที่ 5.29 แสดงสเปกตรัมของ Is ก่อนการฉีดกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

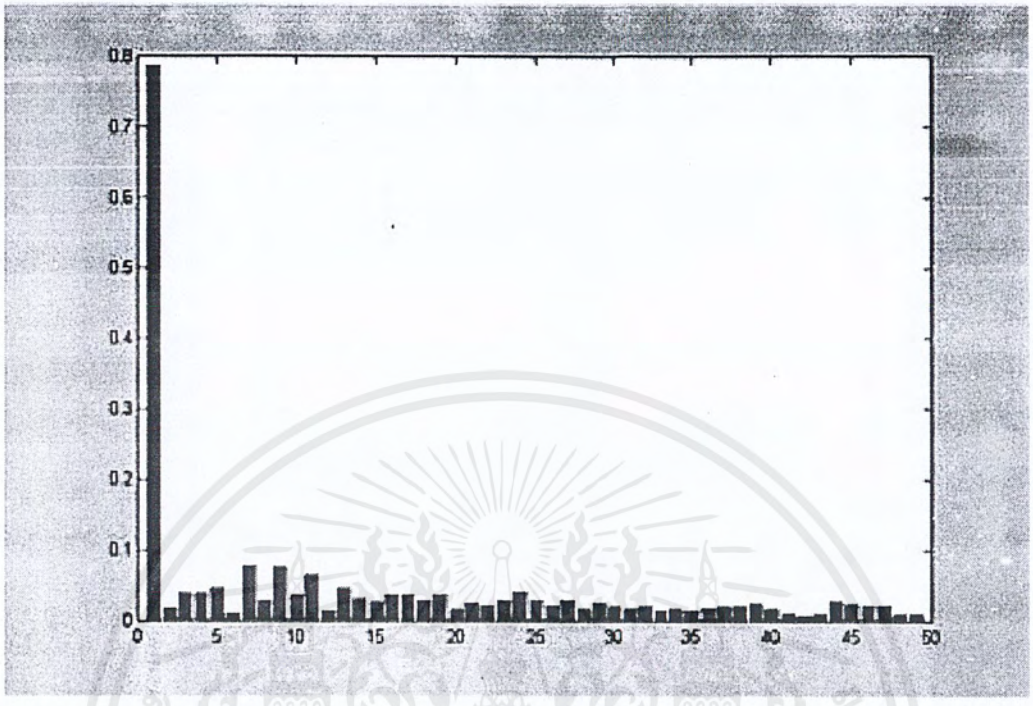


รูปที่ 5.30 แสดง Vsหลังการฉีดกระแสชดเชย



รูปที่ 5.31 แสดง Is หลังการฉีดกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 แสดงสเปกตรัมของ Is หลังการฉีดกระแสชดเชย

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าTHDและเพาเวอร์แฟกเตอร์ เปรียบเทียบก่อนแก้ไข และหลังแก้ไขเมื่อเป็นโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์

ก่อนแก้ไข

$V_{I/P}$(v)	%THD	FF	DPF	PF	I_s(A)	I_{s1}(A)
50	106.8	0.688	0.956	0.657	0.934	0.641

หลังแก้ไข

$V_{I/P}$(v)	%THD	FF	DPF	PF	I_s(A)	I_{s1}(A)
50	27.58	0.962	0.987	0.952	0.820	0.791

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างวงจรต้นแบบ เพื่อศึกษาการทำงาน พบว่าสามารถชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ได้ ซึ่งสามารถแก้ไขฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำได้ดี แต่ควรมีวงจร passive filter แก้ไขกระแสฮาร์โมนิกส์อันดับสูงประกอบด้วย จะทำให้ passive filter มีขนาดเล็กลงเนื่องจากความถี่สูงขึ้น และวงจรมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสของโหลดได้อย่างรวดเร็วภายใน 2-3 ไซเคิล การชดเชยกระแสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ การชดเชยรีแอกทีฟเพาเวอร์และกระแสชดเชยฮาร์โมนิกส์

6.1.1 การศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรคำนวนกระแสชดเชย สามารถนำมาเปรียบเทียบกับวงจรต้นแบบได้ เพื่อนำกระแสชดเชยที่ได้นำไปแก้ไขกระแสฮาร์โมนิกส์ และปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น

6.1.2 การชดเชยรีแอกทีฟเพาเวอร์ หรือแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์

จากการทดลองพบว่าวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ต้นแบบสามารถทำการชดเชยรีแอกทีฟเพาเวอร์ได้โดยการชดเชยที่เกิดขึ้น สามารถได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. การชดเชยส่วน DPF

   เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองในโหลดไม่เชิงเส้นที่เป็นโหลดแสงสว่างจึงทำให้ค่า DPF ที่ได้จากการทดลองทั้งไดโอดและบริดจ์เร็กติไฟร์ ในก่อนและหลังฉีดกระแสชดเชย มีค่า DPF ใกล้เคียงกัน

2. การชดเชยในส่วน FF

   วงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ต้นแบบ สามารถแก้ไข FF ได้ดีขึ้น ซึ่งค่า FF ที่เกิดขึ้นหลังการชดเชย สามารถชดเชยได้โดยไม่ขึ้นกับโหลดไม่เชิงเส้นที่ใช้งานแต่ขึ้นกับค่าความกว้างแบนของวงจรฮีสเตอร์รีซีสและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ในส่วนของวงจรควบคุม ที่เลือกใช้งาน ซึ่งค่าความกว้างของแบนที่ลดลง และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้ค่า FF ดีขึ้น

6.1.3 การชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์

การชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์นั้น วงจรต้นแบบสามารถทำการแก้ไขได้โดยกระแสฮาร์โมนิกส์ที่โหลดไม่เชิงเส้นสร้างขึ้นมา ซึ่งการชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์ในโหลดทั้ง 2 ประเภทสามารถทำให้ค่า THD ของโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์ดีขึ้น แต่ค่า THD ของไดโอดเร็กติไฟร์ไม่ดีขึ้น เนื่องมาจากโหลดบริดจ์เร็กติไฟร์มีความเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิกส์ ทำให้กระแสที่เกิดขึ้น มีความผิดเพี้ยนไปตามรูปแรงดัน และการปรับแต่งวงจรควบคุมที่ใช้กับโหลดไดโอดทำได้ยากกว่าโหลดแบบบริดจ์เร็กติไฟร์

6.1.4 การควบคุมกระแส

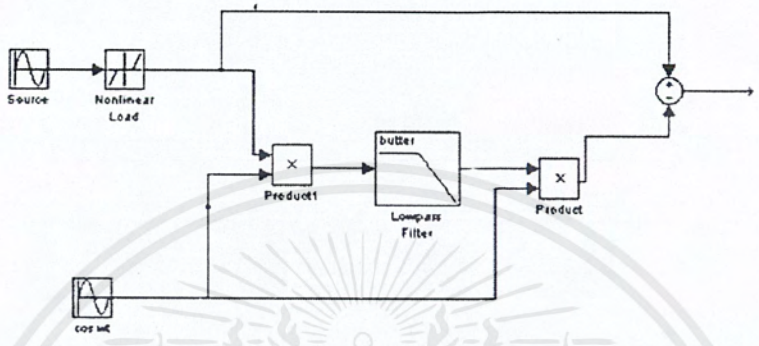
การชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์นั้น จะพบปัญหาการที่ไม่สามารถควบคุมลักษณะตรงส่วนยอดของรูปคลื่นได้อย่างเต็มที่ เพราะเนื่องมาจากแรงดันคร่อมตัวอินดักเตอร์ไม่เพียงพอให้อัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของกระแสให้ถึงค่าขอบเขตความกว้างของฮีสเตอร์รีซีส ผลคือทำให้ช่วงยอดลูกคลื่นไม่สามารถควบคุมได้

การควบคุมกระแสมีลักษณะการควบคุมได้ดังต่อไปนี้

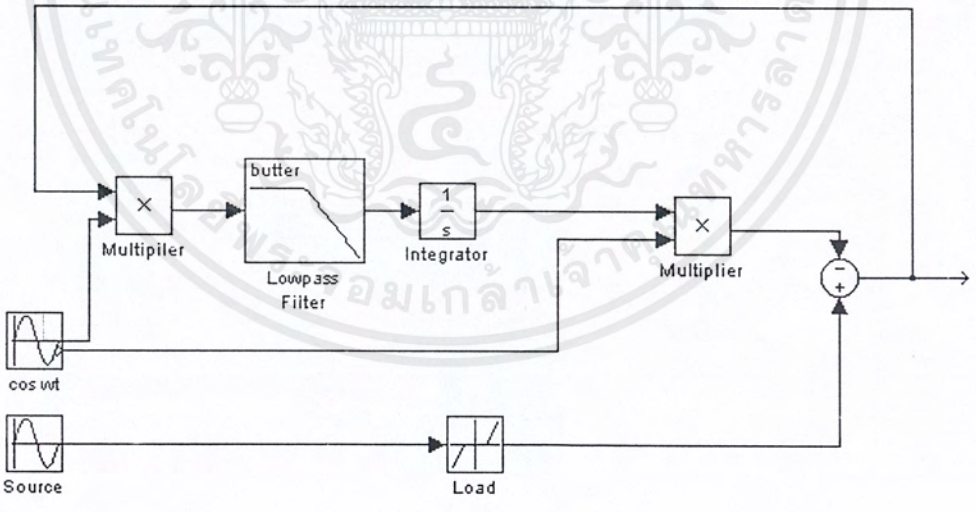
1. ความชันของกระแสสามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนค่า L ซึ่งค่า L ที่สูงจะทำให้ความชันของกระแสมีค่าต่ำ ในทำนองเดียวกัน ถ้า L มีค่าต่ำ จะทำให้กระแสมีค่าความชันสูง
2. การเปลี่ยนค่าความกว้างฮีสเตอร์รีซีส จะทำให้ลักษณะรูปคลื่นของกระแสมีลักษณะเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเพิ่มความกว้างฮีสเตอร์รีซีส โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานที่วงจร แบง แบง จะทำให้ลักษณะรูปคลื่นมีความกว้างของแบนลดลง ความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซนูซอยดัลมากขึ้น
3. ค่าความถี่การสวิตซ์สามารถเปลี่ยนได้โดยขึ้นกับค่าความกว้างของขอบเขตฮีส เตอร์รีซีสและค่าของ L ที่ใช้ในวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมแบบลูปเปิดและการควบคุมแบบลูปปิด



รูปที่ 6.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบลูปเปิด



รูปที่ 6.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแบบลูปปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 การควบคุมกระแสชดเชย

ในส่วนของการควบคุมแบบลูปเปิด สังเกตได้ว่าการควบคุมกระแสชดเชยจะขึ้นอยู่กับกระแสโหลดเพียงอย่างเดียว ทำให้การปรับพารามิเตอร์ในวงจรให้เหมาะสมกับโหลด สามารถทำได้ง่าย พารามิเตอร์ของแต่ละส่วนจะอิสระต่อกัน

ในส่วนการควบคุมแบบลูปปิด สังเกตได้ว่าการควบคุมกระแสชดเชยจะขึ้นอยู่กับตัวกระแสชดเชยเอง ซึ่งป้อนกลับมาเข้าสู่ส่วนควบคุมดังรูปที่ 6.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ของทุกส่วนจะเกี่ยวเนื่องกัน ทำให้การปรับพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งจะมีผลกระทบ ต่อทั้งระบบ ทำให้การควบคุมกระแสชดเชยทำได้ยากกว่าการควบคุมแบบลูปเปิด

6.2.2 การทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้า

การควบคุมแบบลูปเปิดสามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าการควบคุมแบบลูปปิด คือลูปเปิด สามารถทำงานได้สูงสุดถึง220โวลต์ ในขณะที่ การควบคุมแบบลูปปิดทำงานได้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่70โวลต์(จากการทดลอง)ในการทำงานที่โหลดชนิดเดียวกัน

6.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนในวงจร ทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำงานอย่างถูกต้อง
2. เนื่องจากการทดลองนี้ มีความถี่สวิทช์ชิ่งไม่คงที่ ทำให้การเลือกค่าความไวของออปแอมป์ให้ได้ค่าที่เหมาะสมได้ยาก
3. เนื่องจากการทดลองเป็นการควบคุมกระแสแบบลูปปิด การปรับค่าพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งจะมีผลต่อการทำงานทั้งระบบ ทำให้การปรับปรุงให้ได้ค่าที่เหมาะสมจึงทำได้ยาก
4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่เพียงพอกับความต้องการของนักศึกษา
5. อุปกรณ์ที่ใช้นำการประกอบวงจรควบคุมและวงจรกำลังมีราคาค่อนข้างสูงและหาซื้อยาก เช่น อุปกรณ์ตรวจจับกระแส, ไอซีคูณ, POWER MOSFET, Optoisolator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สำหรับอุปกรณ์ที่หายาก

- อุปกรณ์ตรวจจับกระแส(LEMรุ่นLA-25) สามารถหาซื้อได้ที่

PRC Technologies Corporation Ltd.

151 ซ.ลาดพร้าว 95 ถ.ลาดพร้าว บางกะปิ กทม. 10310

โทร.932-2154, 932-2114 FAX : 932-3116

- ไอซีคูณเบอร์AD532 สามารถหาซื้อได้ที่

บริษัท เวสเท็ค คอมโปเนนท์ จำกัด (สาขาลาดพร้าว) ขายปลีก

302/8-9 เซ็นทรัลคอนโดมิเนียม ลาดพร้าว ซอย 1 ลาดยาว จตุจักร

กรุงเทพ 10900

โทร.513-1549, 512-1081 FAX : 512-6196 หรือ

บริษัท ซี.อาร์. เวสเท็ค จำกัด (สาขาสำโรง) ขายปลีก

6/109-110 อริสตัน คอนโดทาวน์ ม.5 ถ.สุขุมวิท113 ต.สำโรงเหนือ อ.เมือง

จ.สมุทรปราการ 10270 โทร.757-2894-7 หรือ

บริษัท เวสเท็ค คอมโพเนนท์ จำกัด (สำนักงานใหญ่) ขายส่ง

203/30-33 ลาดพร้าว ซอย15 ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพ 10900

โทร.512-2751 (อัตโนมัติ 5 คู่สาย) FAX : 512-5531

- POWER MOSFETและOptoisolatorเบอร์6N136สามารถหาซื้อได้ที่

บริษัท สหรุ่งโรจน์ (ประเทศไทย) จำกัด (สาขาวัดตึก)

67-69 ถ.จักรวรรดิ วัดตึก กรุงเทพ 10100

โทร.225-7070, 622-7311 FAX : 2252979 หรือ

- บริษัท อิเลคทรอนิกส์ ซอร์ซ จำกัด (สาขาบ้านหม้อ 2 สาขา)

5 ถ.บ้านหม้อ แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพ 120

โทร.623-8021, 5226-4145-5 FAX : 2264298 หรือ

138 ถ.บ้านหม้อ แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพ 10200

โทร.623-8364-6 FAX : 225-6986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานActive Filterและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยการให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความอนุเคราะห์ทางด้านวิชาการ อุปกรณ์เครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ โดย ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศและอาจารย์สุรินทร์ คำฝอย

นอกจากนี้ยังต้องขอบคุณพี่วิรัตน์ และพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาโทอีกหลาย ๆ คน ที่ให้คำปรึกษาทางทฤษฎีเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงงานนี้ ตลอดจนบุคคลอื่น ๆ จนทำให้โครงงานและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Fang Zheng Peng, "Application Issues of Active Power Filters", 7 th Int'l Conference on Harmonics and Quality of Power, and IEEE Industry Applications Magzine, September / October 1998.

[2] IEEE, Transactions on Industrial Electronics Vol.43 No.6 Dec.1995, " A Simple Frequency Independent Method for Calculating the Reactime and Harmonic Current in a Nonlinear Load" , pp894,1999.

[3] IEEE, " New Trends in Active Filters for Inmproving Power Quality ",pp417-425,1999

[4] IEEE, Jianping Ying, " An Improved Control Methond for Three- Phase Active Power Filter", International Conference on Power Electronics and Drive Systems, PEDS'99,pp905-909,July1999,Hong Kong

[5] Ned Mohan, "Power Electronics : converters, applications and design and design", Second edition, John Wiley & Sons,Inc

[6] John G. Kasakian, Martin F. schlect, George C. Verghese, " Prinnciples of Power Electronics " ,Addition-Wesley Publishing Company

[7] Andrzej M. Trzynadloeski, " Introduction to Modren Power Electronics" , John Wiley & Sons,inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internally Trimmed Integrated Circuit Multiplier

AD532

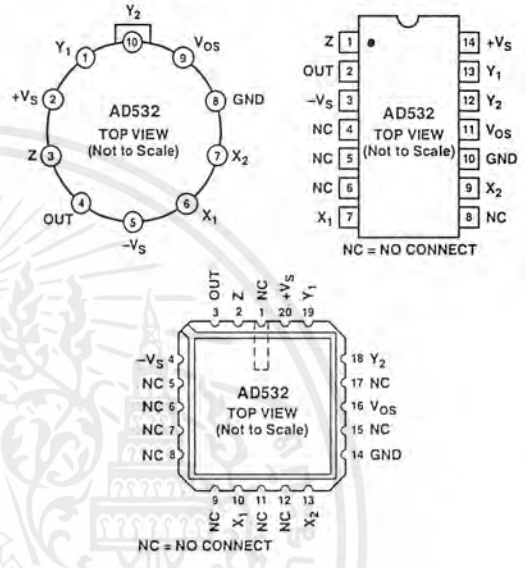
FEATURES

Pretrimmed to ±1.0% (AD532K)
No External Components Required
Guaranteed ±1.0% max 4-Quadrant Error (AD532K)
Diff Inputs for $(X_1 - X_2)$ $(Y_1 - Y_2)/10$ V Transfer Function
Monolithic Construction, Low Cost

APPLICATIONS

Multiplication, Division, Squaring, Square Rooting
Algebraic Computation
Power Measurements
Instrumentation Applications
Available in Chip Form

PIN CONFIGURATIONS



PRODUCT DESCRIPTION

The AD532 is the first pretrimmed single chip monolithic multiplier/divider. It guarantees a maximum multiplying error of ±1.0% and a ±10 V output voltage without the need for any external trimming resistors or output op amp. Because the AD532 is internally trimmed, its simplicity of use provides design engineers with an attractive alternative to modular multipliers, and its monolithic construction provides significant advantages in size, reliability and economy. Further, the AD532 can be used as a direct replacement for other IC multipliers that require external trim networks.

FLEXIBILITY OF OPERATION

The AD532 multiplies in four quadrants with a transfer function of $(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)/10$ V, divides in two quadrants with a 10 V $Z/(X_1 - X_2)$ transfer function, and square roots in one quadrant with a transfer function of $\pm\sqrt{10\,V\,Z}$. In addition to these basic functions, the differential X and Y inputs provide significant operating flexibility both for algebraic computation and transducer instrumentation applications. Transfer functions, such as XY/10 V, $(X^2 - Y^2)/10$ V, $\pm X^2/10$ V, and 10 V $Z/(X_1 - X_2)$, are easily attained and are extremely useful in many modulation and function generation applications, as well as in trigonometric calculations for airborne navigation and guidance applications, where the monolithic construction and small size of the AD532 offer considerable system advantages. In addition, the high CMRR (75 dB) of the differential inputs makes the AD532 especially well qualified for instrumentation applications, as it can provide an output signal that is the product of two transducer-generated input signals.

GUARANTEED PERFORMANCE OVER TEMPERATURE

The AD532J and AD532K are specified for maximum multiplying errors of ±2% and ±1% of full scale, respectively at 25°C, and are rated for operation from 0°C to 70°C. The AD532S has a maximum multiplying error of ±1% of full scale at 25°C; it is also 100% tested to guarantee a maximum error of ±4% at the extended operating temperature limits of –55°C and +125°C. All devices are available in either the hermetically-sealed TO-100 metal can, TO-116 ceramic DIP or LCC packages. J, K, and S grade chips are also available.

ADVANTAGES OF ON-THE-CHIP TRIMMING OF THE MONOLITHIC AD532

1. True ratiometric trim for improved power supply rejection.
2. Reduced power requirements since no networks across supplies are required.
3. More reliable since standard monolithic assembly techniques can be used rather than more complex hybrid approaches.
4. High impedance X and Y inputs with negligible circuit loading.
5. Differential X and Y inputs for noise rejection and additional computational flexibility.

REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: http://www.analog.com
Fax: 781/326-8703
© Analog Devices, Inc., 2001

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD532—SPECIFICATIONS (@ 25°C, $V_S = \pm 15$ V, $R \geq 2$ kΩ V_{OS} grounded, unless otherwise noted.)

Model	AD532J Min	AD532J Typ	AD532J Max	AD532K Min	AD532K Typ	AD532K Max	AD532S Min	AD532S Typ	AD532S Max	Unit
MULTIPLIER PERFORMANCE										
Transfer Function		$\frac{(X_1-X_2)(Y_1-Y_2)}{10\,V}$			$\frac{(X_1-X_2)(Y_1-Y_2)}{10\,V}$			$\frac{(X_1-X_2)(Y_1-Y_2)}{10\,V}$		
Total Error (–10 V ≤ X, Y ≤ +10 V)		±1.5	±2.0		±0.7	±1.0		±0.5	±1.0	%
T_A = Min to Max		±2.5			±1.5				±4.0	%
Total Error vs. Temperature		±0.04			±0.03			±0.01	±0.04	%/°C
Supply Rejection (±15 V ± 10%)		±0.05			±0.05			±0.05		%/%
Nonlinearity, X (X = 20 V p-p, Y = 10 V)		±0.8			±0.5			±0.5		%
Nonlinearity, Y (Y = 20 V p-p, X = 10 V)		±0.3			±0.2			±0.2		%
Feedthrough, X (Y Nulled, X = 20 V p-p 50 Hz)		50	200		30	100		30	100	mV
Feedthrough, Y (X Nulled, Y = 20 V p-p 50 Hz)		30	150		25	80		25	80	mV
Feedthrough vs. Temperature		2.0			1.0			1.0		mV p-p/°C
Feedthrough vs. Power Supply		±0.25			±0.25			±0.25		mV/%
DYNAMICS										
Small Signal BW (V_{OUT} = 0.1 rms)		1			1			1		MHz
1% Amplitude Error		75			75			75		kHz
Slew Rate (V_{OUT} 20 p-p)		45			45			45		V/μs
Settling Time (to 2%, ΔV_{OUT} = 20 V)		1			1			1		μs
NOISE										
Wideband Noise f = 5 Hz to 10 kHz		0.6			0.6			0.6		mV (rms)
f = 5 Hz to 5 MHz		3.0			3.0			3.0		mV (rms)
OUTPUT										
Output Voltage Swing	±10	±13		±10	±13		±10	±13		V
Output Impedance (f ≤ 1 kHz)		1			1			1		Ω
Output Offset Voltage		±40				±30			±30	mV
Output Offset Voltage vs. Temperature		0.7			0.7				2.0	mV/°C
Output Offset Voltage vs. Supply		±2.5			±2.5			±2.5		mV/%
INPUT AMPLIFIERS (X, Y, and Z)										
Signal Voltage Range (Diff. or CM Operating Diff)		±10			±10			±10		V
CMRR	40			50			50			dB
Input Bias Current										
X, Y Inputs		3			1.5	4		1.5	4	μA
X, Y Inputs T_{MIN} to T_{MAX}		10			8			8		μA
Z Input		±10			±5	±15		±5	±15	μA
Z Input T_{MIN} to T_{MAX}		±30			±25			±25		μA
Offset Current		±0.3			±0.1			±0.1		μA
Differential Resistance		10			10			10		MΩ
DIVIDER PERFORMANCE										
Transfer Function ($X_1 > X_2$)		10 V Z/($X_1 - X_2$)			10 V Z/($X_1 - X_2$)			10 V Z/($X_1 - X_2$)		
Total Error										
(V_X = –10 V, –10 V ≤ V_Z ≤ +10 V)		±2			±1			±1		%
(V_X = –1 V, –10 V ≤ V_Z ≤ +10 V)		±4			±3			±3		%
SQUARE PERFORMANCE										
Transfer Function		$\frac{(X_1-X_2)^2}{10\,V}$			$\frac{(X_1-X_2)^2}{10\,V}$			$\frac{(X_1-X_2)^2}{10\,V}$		
Total Error		±0.8			±0.4			±0.4		%
SQUARE ROOTER PERFORMANCE										
Transfer Function		$-\sqrt{10\,V\,Z}$			$-\sqrt{10\,V\,Z}$			$-\sqrt{10\,V\,Z}$		
Total Error (0 V ≤ V_Z ≤ 10 V)		±1.5			±1.0			±1.0		%
POWER SUPPLY SPECIFICATIONS										
Supply Voltage										
Rated Performance		±15			±15			±15		V
Operating	±10		±18	±10		±18	±10		±22	V
Supply Current										
Quiescent		4	6		4	6		4	6	mA
PACKAGE OPTIONS										
TO-116 (D-14)		AD532JD			AD532KD			AD532SD		
TO-100 (H-10A)		AD532JH			AD532KH			AD532SH		
LCC (E-20A)								AD532SE/883B		

Specifications subject to change without notice.

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units.

THERMAL CHARACTERISTICS

H-10A: θ_{JC} = 25°C/W; θ_{JA} = 150°C/W
E-20A: θ_{JC} = 22°C/W; θ_{JA} = 85°C/W
D-14: θ_{JC} = 22°C/W; θ_{JA} = 85°C/W

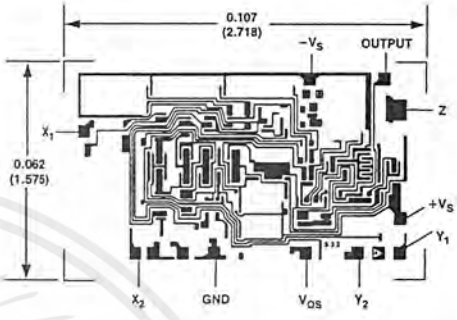
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Ranges	Package Descriptions	Package Options
AD532JD	0°C to 70°C	Side Brazed DIP	D-14
AD532JD/+	0°C to 70°C	Side Brazed DIP	D-14
AD532KD	0°C to 70°C	Side Brazed DIP	D-14
AD532KD/+	0°C to 70°C	Side Brazed DIP	D-14
AD532JH	0°C to 70°C	Header	H-10A
AD532KH	0°C to 70°C	Header	H-10A
AD532JCHIPS	0°C to 70°C	Chip	
AD532SD	–55°C to +125°C	Side Brazed DIP	D-14
AD532SD/883B	–55°C to +125°C	Side Brazed DIP	D-14
JM38510/13903BCA	–55°C to +125°C	Side Brazed DIP	D-14
AD532SE/883B	–55°C to +125°C	LCC	E-20A
AD532SH	–55°C to +125°C	Header	H-10A
AD532SH/883B	–55°C to +125°C	Header	H-10A
JM38510/13903BIA	–55°C to +125°C	Header	H-10A
AD532SCHIPS	–55°C to +125°C	Chip	

CHIP DIMENSIONS AND BONDING DIAGRAM

Contact factory for latest dimensions.
Dimensions shown in inches and (mm).



FUNCTIONAL DESCRIPTION

The functional block diagram for the AD532 is shown in Figure 1, and the complete schematic in Figure 2. In the multiplying and squaring modes, Z is connected to the output to close the feedback around the output op amp. (In the divide mode, it is used as an input terminal.)

The X and Y inputs are fed to high impedance differential amplifiers featuring low distortion and good common-mode rejection. The amplifier voltage offsets are actively laser trimmed to zero during production. The product of the two inputs is resolved in the multiplier cell using Gilbert's linearized transconductance technique. The cell is laser trimmed to obtain $V_{OUT} = (X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)/10$ volts. The built-in op amp is used to obtain low output impedance and make possible self-contained operation. The residual output voltage offset can be zeroed at V_{OS} in critical applications . . . otherwise the V_{OS} pin should be grounded.

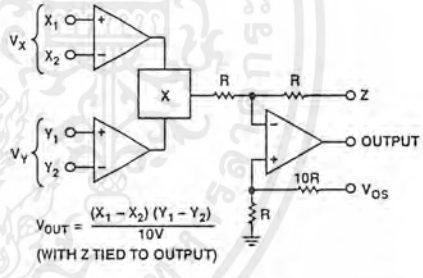


Figure 1. Functional Block Diagram

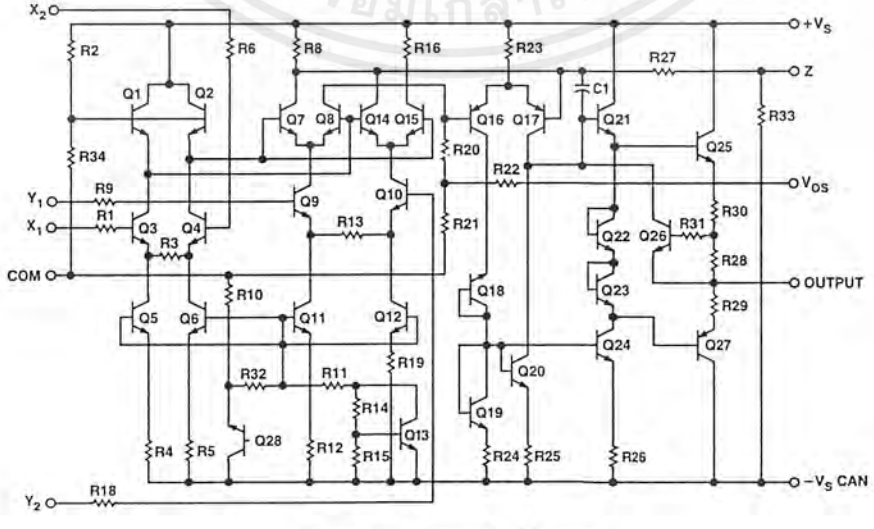


Figure 2. Schematic Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD532 PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Multiplication accuracy is defined in terms of total error at 25°C with the rated power supply. The value specified is in percent of full scale and includes X_{IN} and Y_{IN} nonlinearities, feedback and scale factor error. To this must be added such application-dependent error terms as power supply rejection, common-mode rejection and temperature coefficients (although worst case error over temperature is specified for the AD532S). Total expected error is the rms sum of the individual components since they are uncorrelated.

Accuracy in the divide mode is only a little more complex. To achieve division, the multiplier cell must be connected in the feedback of the output op amp as shown in Figure 13. In this configuration, the multiplier cell varies the closed loop gain of the op amp in an inverse relationship to the denominator voltage. Thus, as the denominator is reduced, output offset, bandwidth and other multiplier cell errors are adversely affected. The divide error and drift are then $\epsilon_m \times 10\ V/X_1 - X_2)$ where ϵ_m represents multiplier full-scale error and drift, and $(X_1 - X_2)$ is the absolute value of the denominator.

NONLINEARITY

Nonlinearity is easily measured in percent harmonic distortion. The curves of Figures 3 and 4 characterize output distortion as a function of input signal level and frequency respectively, with one input held at plus or minus 10 V dc. In Figure 4 the sine wave amplitude is 20 V (p-p).

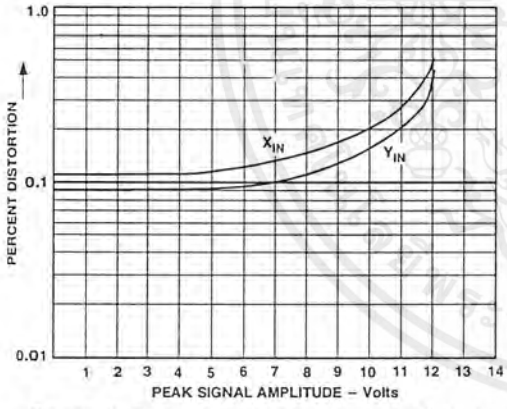


Figure 3. Percent Distortion vs. Input Signal

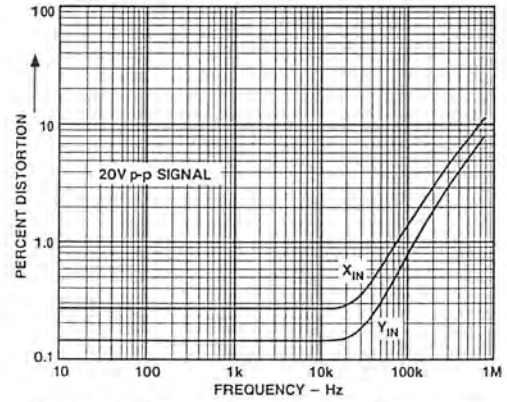


Figure 4. Percent Distortion vs. Frequency

AC FEEDTHROUGH

AC feedthrough is a measure of the multiplier's zero suppression. With one input at zero, the multiplier output should be zero regardless of the signal applied to the other input. Feedthrough as a function of frequency for the AD532 is shown in Figure 5. It is measured for the condition $V_X = 0$, $V_Y = 20$ V (p-p) and $V_Y = 0$, $V_X = 20$ V (p-p) over the given frequency range. It consists primarily of the second harmonic and is measured in millivolts peak-to-peak.

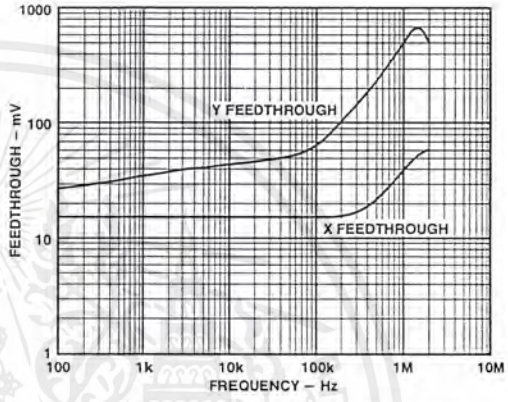


Figure 5. Feedthrough vs. Frequency

COMMON-MODE REJECTION

The AD532 features differential X and Y inputs to enhance its flexibility as a computational multiplier/divider. Common-mode rejection for both inputs as a function of frequency is shown in Figure 6. It is measured with $X_1 = X_2 = 20$ V (p-p), $(Y_1 - Y_2) = 10$ V dc and $Y_1 = Y_2 = 20$ V (p-p), $(X_1 - X_2) = 10$ V dc.

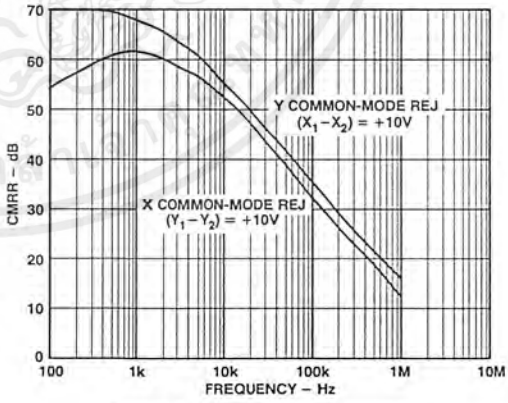


Figure 6. CMRR vs. Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

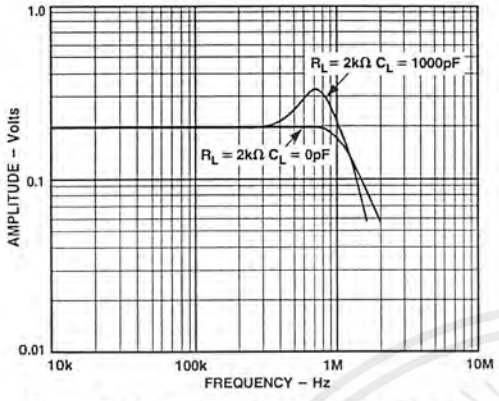


Figure 7. Frequency Response, Multiplying

DYNAMIC CHARACTERISTICS

The closed loop frequency response of the AD532 in the multiplier mode typically exhibits a 3 dB bandwidth of 1 MHz and rolls off at 6 dB/octave thereafter. Response through all inputs is essentially the same as shown in Figure 7. In the divide mode, the closed loop frequency response is a function of the absolute value of the denominator voltage as shown in Figure 8.

Stable operation is maintained with capacitive loads to 1000 pF in all modes, except the square root for which 50 pF is a safe upper limit. Higher capacitive loads can be driven if a 100 Ω resistor is connected in series with the output for isolation.

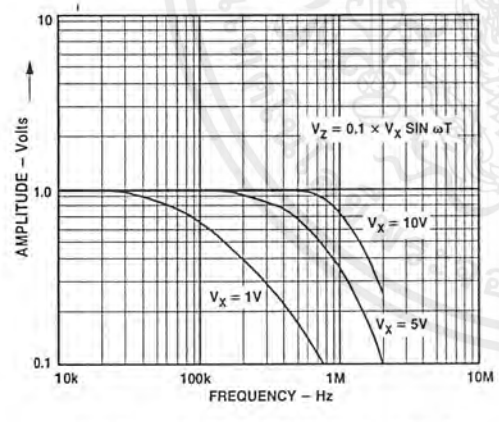


Figure 8. Frequency Response, Dividing

POWER SUPPLY CONSIDERATIONS

Although the AD532 is tested and specified with ±15 V dc supplies, it may be operated at any supply voltage from ±10 V to ±18 V for the J and K versions, and ±10 V to ±22 V for the S version. The input and output signals must be reduced proportionately to prevent saturation; however, with supply voltages below ±15 V, as shown in Figure 9. Since power supply sensitivity is not dependent on external null networks as in other conventionally nulled multipliers, the power supply rejection ratios are improved from 3 to 40 times in the AD532.

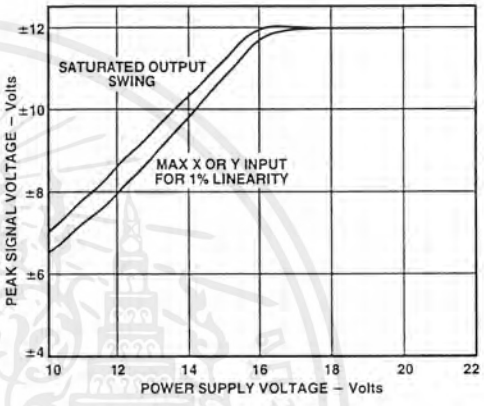


Figure 9. Signal Swing vs. Supply

NOISE CHARACTERISTICS

All AD532s are screened on a sampling basis to assure that output noise will have no appreciable effect on accuracy. Typical spot noise vs. frequency is shown in Figure 10.

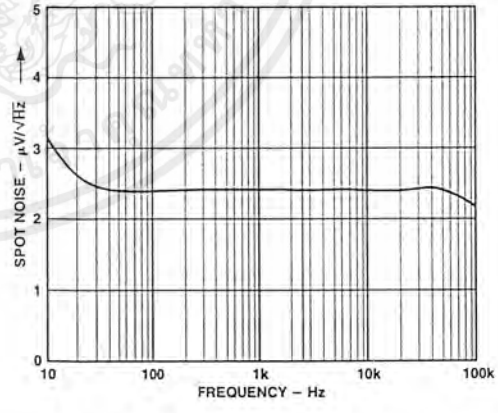


Figure 10. Spot Noise vs. Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS CONSIDERATIONS

The performance and ease of use of the AD532 is achieved through the laser trimming of thin-film resistors deposited directly on the monolithic chip. This trimming-on-the-chip technique provides a number of significant advantages in terms of cost, reliability and flexibility over conventional in-package trimming of off-the-chip resistors mounted or deposited on a hybrid substrate.

First and foremost, trimming on the chip eliminates the need for a hybrid substrate and the additional bonding wires that are required between the resistors and the multiplier chip. By trimming more appropriate resistors on the AD532 chip itself, the second input terminals that were once committed to external trimming networks have been freed to allow fully differential operation at both the X and Y inputs. Further, the requirement for an input attenuator to adjust the gain at the Y input has been eliminated, letting the user take full advantage of the high input impedance properties of the input differential amplifiers. Thus, the AD532 offers greater flexibility for both algebraic computation and transducer instrumentation applications.

Finally, provision for fine trimming the output voltage offset has been included. This connection is optional, however, as the AD532 has been factory-trimmed for total performance as described in the listed specifications.

REPLACING OTHER IC MULTIPLIERS

Existing designs using IC multipliers that require external trimming networks can be simplified using the pin-for-pin replaceability of the AD532 by merely grounding the X_2, Y_2 and V_{OS} terminals. (The V_{OS} terminal should always be grounded when unused.)

APPLICATIONS

MULTIPLICATION

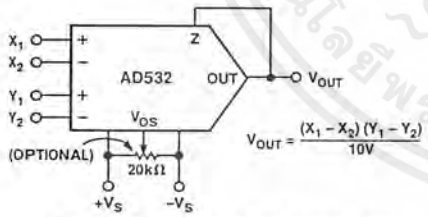


Figure 11. Multiplier Connection

For operation as a multiplier, the AD532 should be connected as shown in Figure 11. The inputs can be fed differentially to the X and Y inputs, or single-ended by simply grounding the unused input. Connect the inputs according to the desired polarity in the output. The Z terminal is tied to the output to close the feedback loop around the op amp (see Figure 1). The offset adjust V_{OS} is optional and is adjusted when both inputs are zero volts to obtain zero out, or to buck out other system offsets.

SQUARE

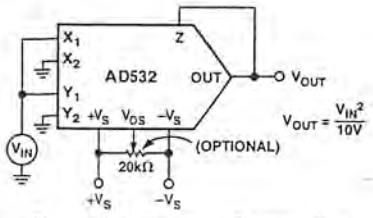


Figure 12. Squarer Connection

The squaring circuit in Figure 12 is a simple variation of the multiplier. The differential input capability of the AD532, however, can be used to obtain a positive or negative output response to the input . . . a useful feature for control applications, as it might eliminate the need for an additional inverter somewhere else.

DIVISION

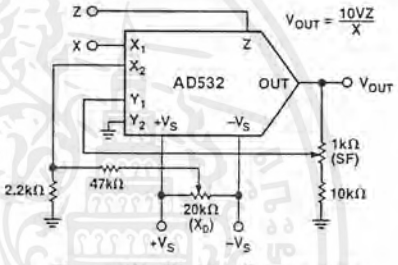


Figure 13. Divider Connection

The AD532 can be configured as a two-quadrant divider by connecting the multiplier cell in the feedback loop of the op amp and using the Z terminal as a signal input, as shown in Figure 13. It should be noted, however, that the output error is given approximately by 10 V $\epsilon_m/(X_1 - X_2)$, where ϵ_m is the total error specification for the multiply mode; and bandwidth by $f_m \times (X_1 - X_2)/10$ V, where f_m is the bandwidth of the multiplier. Further, to avoid positive feedback, the X input is restricted to negative values. Thus for single-ended negative inputs (0 V to −10 V), connect the input to X and the offset null to X_2; for single-ended positive inputs (0 V to +10 V), connect the input to X_2 and the offset null to X_1. For optimum performance, gain (S.F.) and offset (X_0) adjustments are recommended as shown and explained in Table I.

For practical reasons, the useful range in denominator input is approximately 500 mV ≤ $|(X_1 - X_2)|$ ≤ 10 V. The voltage offset adjust (V_{OS}), if used, is trimmed with Z at zero and $(X_1 - X_2)$ at full scale.

Table I. Adjust Procedure (Divider or Square Rooter)

	DIVIDER			SQUARE ROOTER	
	With:		Adjust for:	With:	Adjust for:
Adjust	X	Z	V_{OUT}	Z	V_{OUT}
Scale Factor	−10 V	+10 V	−10 V	+10 V	−10 V
X_0 (Offset)	−1 V	+0.1 V	−1 V	+0.1 V	−1 V

Repeat if required.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

SQUARE ROOT

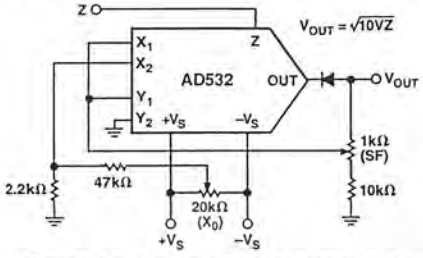


Figure 14. Square Rooter Connection

The connections for square root mode are shown in Figure 14. Similar to the divide mode, the multiplier cell is connected in the feedback of the op amp by connecting the output back to both the X and Y inputs. The diode D_1 is connected as shown to prevent latch-up as Z_{IN} approaches 0 volts. In this case, the V_{OS} adjustment is made with Z_{IN} = +0.1 V dc, adjusting V_{OS} to obtain −1.0 V dc in the output, $V_{OUT} = -\sqrt{10\text{ V}\,Z}$. For optimum performance, gain (S.F.) and offset (X_0) adjustments are recommended as shown and explained in Table I.

DIFFERENCE OF SQUARES

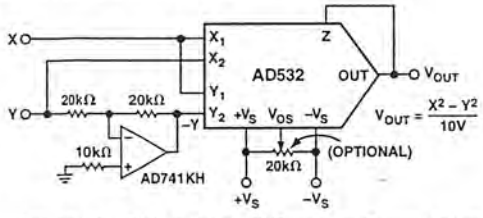


Figure 15. Differential of Squares Connection

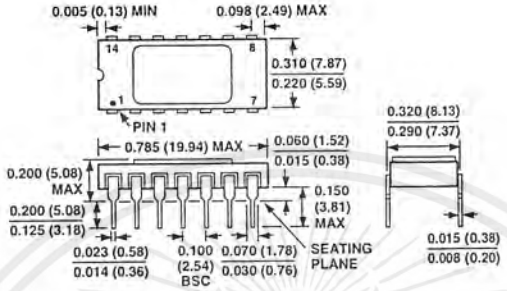
The differential input capability of the AD532 allows for the algebraic solution of several interesting functions, such as the difference of squares, $X_2 - Y_2/10$ V. As shown in Figure 15, the AD532 is configured in the square mode, with a simple unity gain inverter connected between one of the signal inputs (Y) and one of the inverting input terminals ($-Y_{IN}$) of the multiplier. The inverter should use precision (0.1%) resistors or be otherwise trimmed for unity gain for best accuracy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

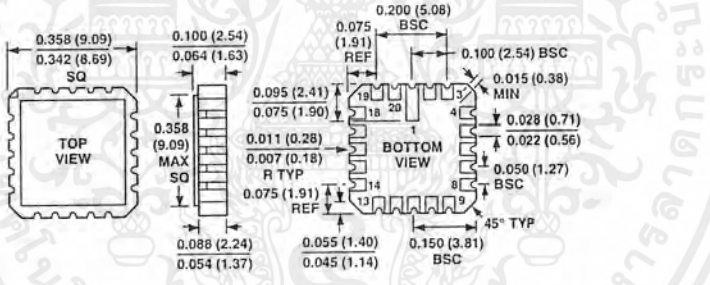
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

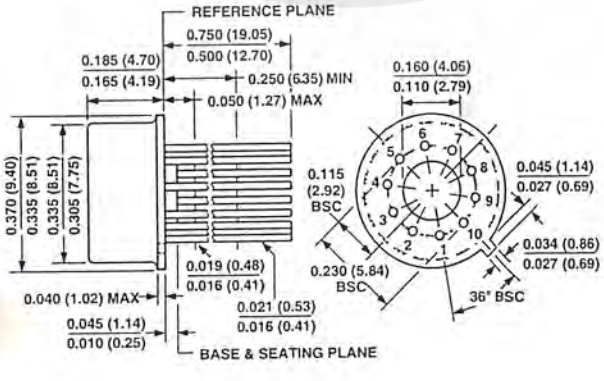
Side-Brazed DIP
(D-14)



Leadless Chip Carrier
(E-20A)



Metal Can
(H-10A)



C00502h–0–2/01 (rev. C)

PRINTED IN U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช