

วงจรรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริดสำหรับกำจัดฮาร์มอนิก

นายสรศักดิ์พงษ์ โฉมิตเกษม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-199-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A HYBRID PARALLEL ACTIVE POWER FILTER FOR HARMONIC
SUPPRESSION**



Mr.Santhiphong Khositkasame

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic Year 1996

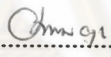
ISBN 974-636-199-6

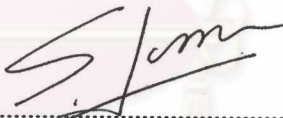
หัวข้อวิทยานิพนธ์ : วงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริดสำหรับกำจัดฮาร์มอนิก
โดย : นายสรรคัธพงษ์ โหมิตเกษม
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์

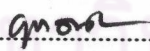
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภาวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. โททม อารียา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มช้อย)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



สรศักดิ์พงษ์ โนมิตเกษม : วงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริดสำหรับกำจัดฮาร์มอนิก
(A HYBRID PARALLEL ACTIVE POWER FILTER FOR HARMONIC SUPPRESSION)
อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์, 126 หน้า. ISBN 974-636-199-6

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงข้อดีและข้อเสียของวงจรกรองกำลังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดฮาร์มอนิก อันได้แก่ วงจรกรองกำลังพาสซีฟ และวงจรกรองกำลังแอกทีฟ และได้นำเสนอวิธีการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริด ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของวงจรกรองกำลังแอกทีฟและวงจรกรองกำลังพาสซีฟ โดยหน้าที่หลักของวงจรกรองกำลังแอกทีฟคือกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับต่ำของระบบโดยอาศัยการจ่ายกระแสฮาร์มอนิกชดเชยกลับเข้าไปหักล้างกับกระแสฮาร์มอนิกในระบบ และวงจรกรองกำลังพาสซีฟซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นวงจรกรองผ่านความถี่สูง (high-pass filter) จะทำหน้าที่ในการกรองกระแสฮาร์มอนิกอันดับสูงที่เหลือของระบบ ตลอดจนกระแสฮาร์มอนิกความถี่สูงที่เกิดจากการสวิตช์ในการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกของวงจรกรองกำลังแอกทีฟจะอาศัยวงจรกรองผ่านแถบ (band-pass filter) ที่พิจารณาแบนแวงอ้างอิงที่หมุนไปด้วยความถี่เท่ากับความถี่หลักมูล (50 Hz) นอกจากนี้แล้วในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้จำแนกประเภทของวงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริดพร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติทั้งในแง่ของเสถียรภาพในการควบคุมและลักษณะสมบัติการกรอง ตลอดจนได้มีการออกแบบและทดสอบวงจรกรองไฮบริดในกรณีที่โหลดเป็นวงจรเรียงกระแสขนาด 2.5 kVA ที่มีตัวเหนี่ยวนำกระแสตรงช่วยในการกรองกระแส ผลการทดสอบแสดงคุณสมบัติในการกรองที่สอดคล้องกับการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ (ผู้พิมพ์) โนมิตเกษม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา S. Som
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C815662 : MAJOR POWER ELECTRONICS

KEY WORD: ACTIVE POWER FILTER / HYBRID / HARMONIC

SANTHIPHONG KHOSITKASAME : A HYBRID PARALLEL ACTIVE POWER FILTER FOR HARMONIC SUPPRESSION . THESIS ADVISOR : DR. SOMBOON SANGWONGWANICH
126 pp. ISBN 974-636-199-6

In this thesis, we study the advantages and disadvantages of several passive and active harmonic filters, and propose a hybrid parallel active power filter, which is a combination of a passive filter and an active power filter, for harmonic suppression. The active filter will suppress low-order harmonic currents in the system using current injection to cancel the harmonic current, and the passive filter, which is just a high-pass filter, will reduce the remaining high-order harmonic currents in the system including switching ripples generated by the active power filter. A novel harmonic current detection using a band-pass filter which is constructed on a synchronous rotating frame of the fundamental frequency (50 Hz) is also introduced. Several types of the hybrid filter are also studied and compared from the viewpoint of stability and filtering characteristics. A hybrid active filter is designed and tested with a harmonic source consisting of a 2.5 kVA rectifier and a smoothing dc reactor. Experimental results shown in this thesis confirm the simulation results, and indicate the effectiveness of the proposed active filter.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา.....2539

ลายมือชื่อผู้ผลิต..... (สมพงษ์) วิชาเอก.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือและเอาใจใส่อย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยตลอดมา รวมทั้งท่านอาจารย์ทั้งหลายที่ให้วิชาความรู้ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ตลอดจนโครงการศึกษากันกุฎิและศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลังที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษา ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญเรื่อง	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 ทฤษฎีการกำจัดกระแสฮาร์มอนิก.....	6
3 เสถียรภาพและการออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริด.....	26
4 ผลการจำลองการทำงาน.....	42
5 โครงสร้างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ.....	55
6 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ.....	62
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	97
รายการอ้างอิง	99
ภาคผนวก	101
ประวัติผู้เขียน	113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจกรองพาสซีฟ.....	42
4.2 ค่าพารามิเตอร์ของวงจกรองผ่านแถบที่ใช้ในการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก.....	42
4.3 ค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์มอนิกและค่าองค์ประกอบความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม ของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใช้วงจกรองในกรณีต่าง ๆ.....	43
6.1 ค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์มอนิกและค่าองค์ประกอบความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม ของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใช้วงจกรองในกรณีต่าง ๆ.....	96



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้วงจรกรองในลักษณะต่าง ๆ	2
1.2 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของระบบที่ใช้วงจรกรองในลักษณะต่าง ๆ.....	3
2.1 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองพาสซีฟแบบช่องบาก.....	7
2.2 แสดงค่า Z_F ที่ความถี่ต่าง ๆ	7
2.3 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองพาสซีฟแบบผ่านสูง.....	8
2.4 แสดงค่า Z_{hp} ที่ความถี่ต่าง ๆ	9
2.5 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองแอกทีฟ.....	9
2.6 สเปซเวกเตอร์ขณะใด ๆ ของแรงดัน \vec{e} และกระแส \vec{i}	11
2.7 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกโดยอาศัยทฤษฎีกำลังงานรีแอกทีฟขณะใด ๆ.....	13
2.8 เวกเตอร์กระแสและแกนอ้างอิง ซึ่งหมุนไปด้วยความถี่ 50 Hz.....	14
2.9 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีการหมุนแกนอ้างอิง.....	15
2.10 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะบางความถี่.....	15
2.11 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะบางความถี่โดยการใช่วงจรกรองผ่านแถบ.....	16
2.12 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสที่ความถี่ฮาร์มอนิกแสดงการคำนวณหาค่ากระแสชดเชยของวงจรกรองแอกทีฟ.....	17
2.13 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสที่ความถี่ฮาร์มอนิกเมื่อวงจรกรองแอกทีฟทำตัวเป็นตัวเหนี่ยวนำ.....	18
2.14 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสที่ความถี่ฮาร์มอนิกเมื่อวงจรกรองแอกทีฟทำตัวเป็นตัวต้านทาน.....	19
2.15 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสที่ความถี่ฮาร์มอนิกเมื่อวงจรกรองแอกทีฟทำตัวเป็นตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ.....	20
2.16 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสที่ความถี่ฮาร์มอนิกของวงจรกรองแอกทีฟที่ใช้การตรวจจับกระแสทางด้านโหลด.....	21
2.17 แสดงการเชื่อมต่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส.....	21
2.18 แผนภาพแสดงวงรอบการควบคุมกระแส.....	22
2.19 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแสแบบ PI บนแกนนิ่งในระบบ 3 เฟสแยกอิสระ.....	23
2.20 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแสแบบ PI บนแกนนิ่งในระบบสเปซเวกเตอร์.....	24
2.21 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแสแบบ PI บนแกนหมุน.....	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแสวิธีสเตอริโอซิส 3 เฟสอิสระแบบแอนะ ลอก.....	25
3.1 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองผ่านความถี่สูง.....	26
3.2 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่าง ๆ ของวงจรกรองพาสซีฟที่ออกแบบ.....	28
3.3 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกที่ออกแบบได้.....	30
3.4 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองแอกทีฟไฮบริดแบบที่ 1.....	31
3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองไฮบริดแบบที่ 1	32
3.6 ลักษณะสมบัติการกรองของวงจรกรองไฮบริดแบบที่ 1.....	32
3.7 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองแอกทีฟไฮบริดแบบที่ 2.....	33
3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองไฮบริดแบบที่ 2	33
3.9 ลักษณะสมบัติการกรองของวงจรกรองแบบไฮบริดเมื่อใช้ $G(s) = K$	34
3.10 ลักษณะสมบัติการกรองของวงจรกรองแบบไฮบริดเมื่อใช้ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ และ $T = 0.5$ ms.....	34
3.11 ลักษณะสมบัติการกรองของวงจรกรองแบบไฮบริดเมื่อใช้ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ และ $T = 0.2$ ms.....	34
3.12 แผนภูมิในควิสต์ของระบบเมื่อ $G(s) = K = 10$	36
3.13 แผนภูมิในควิสต์ของระบบเมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=15$, $T = 0.5$ ms.).....	36
3.14 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อคำนึงถึงผลการประวิงเวลา.....	37
3.15 แผนภูมิในควิสต์ของระบบที่มีการประวิงเวลาเมื่อ $G(s) = K$ ($K = 11$).....	37
3.16 แผนภูมิในควิสต์ของระบบที่มีการประวิงเวลาเมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K = 18$, $T=0.5$ ms.).....	38
3.17 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของวงจรกรองแอกทีฟไฮบริดแบบที่ 3	38
3.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองไฮบริดแบบที่ 3	39
3.19 แผนภูมิในควิสต์ของระบบเมื่อ $C(s) = K/(K+1)$ ($K=10$).....	39
3.20 แผนภูมิในควิสต์ของระบบเมื่อ $C(s) = KT_s/[(K+1)Ts+1]$ ($K=15$, $T=0.5$ ms.).....	40
4.1 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน.....	42
4.2 ผลการจำลองการทำงานของระบบในกรณีที่ 1.....	44
4.3 สเปกตรัมของกระแสที่จุดต่าง ๆ ของผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 1.....	45
4.4 ผลการจำลองการทำงานของระบบในกรณีที่ 2.....	46
4.5 สเปกตรัมของกระแสที่จุดต่าง ๆ ของผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 2.....	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ผลการจำลองการทำงานของระบบในกรณีที่ 3.....	48
4.7 สเปกตรัมของกระแสที่จุดต่าง ๆ ของผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 3.....	49
4.8 ผลการจำลองการทำงานของระบบในกรณีที่ 4.....	50
4.9 สเปกตรัมของกระแสที่จุดต่าง ๆ ของผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 4.....	51
4.10 ผลการจำลองการทำงานของระบบในกรณีที่ 5.....	52
4.11 สเปกตรัมของกระแสที่จุดต่าง ๆ ของผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 5.....	53
5.1 โครงสร้างของวงจรรอกกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริด.....	55
5.2 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์.....	56
5.3 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแส.....	57
5.4 ส่วนตรวจจับสัญญาณจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง.....	57
5.5 ฮาร์ดแวร์ของภาคการควบคุม.....	58
5.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	58
5.7 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์.....	61
6.1 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกพาสซีฟเพียงอย่างเดียว.....	63
6.2 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกพาสซีฟเพียงอย่างเดียว.....	64
6.3 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟเพียงอย่างเดียว.....	65
6.4 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟเพียงอย่างเดียว.....	66
6.5 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 1.....	68
6.6 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 1.....	69
6.7 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K (K=1)$	70
6.8 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K (K=1)$	71
6.9 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K (K=5)$	72
6.10 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K (K=1)$	73
6.11 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K (K=10)$	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.12 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K$ ($K=10$).....	75
6.13 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=5$, $T = 0.5$ ms.).....	77
6.14 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=5$, $T = 0.5$ ms.).....	78
6.15 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=10$, $T = 0.5$ ms).....	79
6.16 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=10$, $T = 0.5$ ms.).....	80
6.17 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=15$, $T = 0.5$ ms).....	81
6.18 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=15$, $T = 0.5$ ms.).....	82
6.19 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=17$, $T = 0.5$ ms).....	83
6.20 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=17$, $T = 0.5$ ms.).....	84
6.21 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=5$, $T = 0.2$ ms).....	86
6.22 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=5$, $T = 0.2$ ms.).....	87
6.23 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=10$, $T = 0.2$ ms).....	88
6.24 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=10$, $T = 0.2$ ms.).....	89
6.25 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=15$, $T = 0.2$ ms).....	90
6.26 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=15$, $T = 0.2$ ms.).....	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.27 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=20$, $T = 0.2$ ms).....	92
6.28 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=20$, $T = 0.2$ ms.).....	93
6.29 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=24$, $T = 0.2$ ms).....	94
6.30 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = KT_s/(1+Ts)$ ($K=24$, $T = 0.2$ ms.).....	95
ข.1 แสดงขอบเขตของขนาดเวกเตอร์แรงดันที่อินเวอร์เตอร์สามารถสร้างได้.....	106
ข.2 แสดงทางเดินของเวกเตอร์แรงดันที่อินเวอร์เตอร์ต้องสร้าง.....	108
ข.3 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมแรงดันบัสไฟตรงที่ใช้ในการออกแบบ.....	109
ข.4 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมแรงดันบัสไฟตรงเมื่อทำการประมาณเป็นเชิงเส้น....	110
ข.5 ช่วงปลอดภัยเชิงอัตราขยายและช่วงปลอดภัยเชิงเฟสของระบบควบคุมแรงดันบัส ไฟตรง.....	111
ข.6 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมแรงดันบัสไฟตรงที่ใช้งานจริง.....	112