

วงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย
รีเคอร์ซีฟดีเอฟที

นายสันต์ ศรีธรรมธำรง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-562-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A SHUNT ACTIVE POWER FILTER WITH HARMONIC CURRENT DETECTION
BASED ON RECURSIVE DFT**

Mr. Sunt Srianthumrong



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

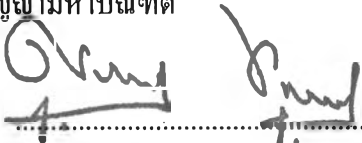
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

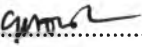
ISBN 974-639-562-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้การตรวจจับกระแส
ฮาร์มอนิกด้วยรีเคอร์ซีฟดีเอฟที
โดย : นายสันต์ ศรีธรรมธำรง
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์

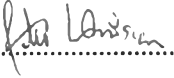
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)


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

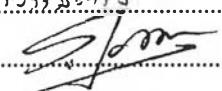

..... กรรมการ
(อาจารย์สุวิทย์ นาคพิระยุทธ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มช้อย)

สันต์ ศรี อรรถศรี อํารง : วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยรีเคอร์ซีฟดีเอพที (A SHUNT ACTIVE POWER FILTER WITH HARMONIC CURRENT DETECTION BASED ON RECURSIVE DFT) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ , 182 หน้า. ISBN 974-639-562-9

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก ด้วย Recursive DFT ซึ่งมีข้อดีคือ 1) ให้ผลการคำนวณเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นค่าคำสั่งกระแสชดเชยได้ทันที 2) มีผลตอบสนองภาวะชั่วคราวที่รวดเร็วเหมาะสำหรับนำไปใช้กำจัดฮาร์มอนิกที่มีการเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา 3) สามารถตรวจจับแยกเอาเฉพาะกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ต้องการได้ด้วยความสะดวก 4) มีการคำนวณที่น้อยสามารถทำได้ในแบบ Real-Time นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้นำเสนอการปรับปรุงวิธีการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT ให้เหมาะสมกับระบบ 3 เฟส 3 สายสมดุล โดยวิธีการตรวจจับแบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะใช้จำนวนจุดข้อมูลน้อยกว่าการทำ DFT โดยทั่วไป 1/6 เท่าและให้ผลตอบสนองภาวะชั่วคราวที่รวดเร็วขึ้น 6 เท่า ปัญหาเรื่องเสถียรภาพและการสูญเสียคุณสมบัติการตรวจจับอันเนื่องมาจากผลของความคลาดเคลื่อนของสัมประสิทธิ์เมื่อทำการคำนวณ Recursive DFT ในระบบจริงได้ถูกนำเสนอพร้อมกับวิธีแก้ไข ผลการทดสอบกับระบบจริงแสดงให้เห็นคุณสมบัติที่ดีของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่พัฒนาขึ้นทั้งแบบที่กำจัดฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับ หรือแบบกำจัดฮาร์มอนิกทุกอันดับ ทั้งในด้านการลดทอนกระแสฮาร์มอนิกและความรวดเร็วของผลตอบสนองภาวะชั่วคราวเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้พัฒนาขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต สันต์ อรรถศรี อํารง
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3972024621, MAJOR POWER ELECTRONICS

KEY WORD: ACTIVE POWER FILTER / RECURSIVE DFT / HARMONIC

SUNT SRIANTHUMRONG : A SHUNT ACTIVE POWER FILTER WITH HARMONIC CURRENT DETECTION BASED ON RECURSIVE DFT. THESIS ADVISOR : SOMBOON SANGWONGWANICH
182 pp. ISBN 974-639-562-9

In this thesis, an active filter with harmonic detection method based on recursive DFT is proposed. The main features of the recursive DFT are that 1) it gives directly the harmonic waveform to be compensated, 2) it has a fast response suitable for tracking of time-varying harmonics, 3) it can be used to detect specific or all harmonic components with high accuracy, and 4) it requires only few calculations and can be implemented in real time. As for a balanced 3-phase 3-wire system, a new recursive DFT which uses only 1/6 of the data points of the usual DFT is also developed to further reduce the response time to 1/6 of that of the usual DFT. An instability or loss of detectability phenomenon in the implementation of the recursive DFT caused by the coefficient quantization, is pointed out, and a remedy is also given. The good filtering and tracking characteristics of the proposed active filter are verified by experiments, showing both satisfactory harmonic elimination of all or some specific orders and fast response to a step-wisely change of harmonic currents.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....สุนต์ สรียนทุมรอง

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือและเอาใจใส่อย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้คำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยตลอดมา อาจารย์สุวิทย์ นาคพิระยุทธ ที่ให้คำปรึกษาทางด้าน DSP รุ่นพี่ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ให้ความช่วยเหลือด้านฮาร์ดแวร์ รวมทั้งท่านอาจารย์ทั้งหลายที่ให้ความรู้ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ตลอดจนโครงการศึกษากันกุ๊กที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษาให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 ทฤษฎีการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรองกำลังแอกทีฟ.....	5
3 การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive Discrete Fourier Transform.....	25
4 การนำการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT มาใช้กับวงจรรองกำลัง แอกทีฟ.....	37
5 โครงสร้างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ.....	58
6 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ.....	72
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	149
รายการอ้างอิง	151
ภาคผนวก	153
ประวัติผู้เขียน	163

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ค่าจำกัดของกระแสดาร์มอนิกสำหรับระบบกำลังที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	3
6.1 ค่าองค์ประกอบกระแสดาร์มอนิกและค่าองค์ประกอบความถี่เชิงฮาร์มอนิกรวมของ กระแสด้านแหล่งจ่ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับ กระแสดาร์มอนิกด้วย Recursive DFT ที่ใช้คาบการสุ่ม 55.6 ไมโครวินาทีสำหรับกรณี จำกัดฮาร์มอนิกทุกอันดับและ 1 อันดับ 83.1 ไมโครวินาทีกรณีจำกัด 2 อันดับและ 196.1 ไมโครวินาทีกรณีจำกัด 4 อันดับ.....	101

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน.....	1
2.1 วงจรสมมูล 1 เฟสของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสด้าน โหลด.....	6
2.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสด้าน โหลด.....	6
2.3 วงจรสมมูล 1 เฟสของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสด้านแหล่งจ่าย.....	7
2.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสด้านแหล่งจ่าย.....	7
2.5 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกโดยอาศัยทฤษฎีกำลังงานรีแอกทีฟขณะ ใดๆ.....	12
2.6 เวกเตอร์กระแสและแกนอ้างอิง ซึ่งหมุนไปด้วยความถี่ 50 Hz.....	13
2.7 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับโดยใช้วิธีวงจรกรองบนแกน หมุน.....	14
2.8 เวกเตอร์กระแสและแกนอ้างอิง ซึ่งหมุนไปด้วยความถี่ $h\omega$	15
2.9 แผนภาพแสดงการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ h โดยใช้วงจรกรองบนแกนหมุน	16
2.10 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนเมื่อตรวจ จับกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ซีควนซ์บวก.....	17
2.11 แผนภาพแสดงวงรอบการควบคุมกระแส.....	19
2.12 การเชื่อมต่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส.....	20
2.13 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมกระแสวิธีฮีสเตอร์ซิส 3 เฟสอิสระแบบแอนะล็อก	20
2.14 วงจรสมมูล 1 เฟสของระบบเมื่อต่อวงจรกรองกระแสความถี่การสวิตช์.....	22
2.15 ลักษณะสมบัติของวงจรกรองกระแสความถี่การสวิตช์.....	24
3.1 แสดงหลักการเลื่อนกรอบข้อมูลและลักษณะของฟังก์ชันมูลฐานในการทำ Running DFT	27
3.2 แสดงลักษณะของ Sliding Basis แบบ A และ B	28
3.3 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกของ $D_h(z)$ เมื่อ $h=7$ และ $N=360$	30
3.4 แสดงการกระจายของฮาร์มอนิกในระบบ 3 เฟส 3 สายสมดุลโดยส่วนใหญ่.....	31
3.5 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกของ $D_{6h}(z)$ เมื่อ $h=7$ และ $N=360$	34
3.6 เปรียบเทียบผลตอบสถานะชั่วครู่ของการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT กับวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีค่าความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำเท่ากับ 50 Hz	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 วงจรสมมูล 1 เฟสของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสทางคานโหลด.....	38
4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสทางคานโหลด กรณีกำจัดกระแสฮาร์โมนิก 1 อันดับ.....	38
4.3 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบเมื่อกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 7 ซีควนซ์บวกและใช้ $N=360$	39
4.4 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบเมื่อกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 7 ซีควนซ์บวกและใช้ $N=360$	39
4.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสทางคานโหลด กรณีกำจัดกระแสฮาร์โมนิกหลายอันดับ.....	40
4.6 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกเมื่อใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ซีควนซ์ลบและ 7 ซีควนซ์บวก โดยใช้ $N=246$	41
4.7 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกเมื่อใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 11 ซีควนซ์ลบและ 7 13 ซีควนซ์บวกโดยใช้ $N=102$...	42
4.8 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบเมื่อกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ซีควนซ์ลบและ 7 ซีควนซ์บวกใช้ $N=246$	43
4.9 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบเมื่อกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 11 ซีควนซ์ลบและ 7 13 ซีควนซ์บวกใช้ $N=102$	43
4.10 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกเมื่อใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ซีควนซ์ลบและ 7 ซีควนซ์บวก โดยใช้ $N=246$	44
4.11 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกเมื่อใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 11 ซีควนซ์ลบและ 7 13 ซีควนซ์บวกโดยใช้ $N=102$	45
4.12 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบเมื่อกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ซีควนซ์ลบและ 7 ซีควนซ์บวกใช้ $N=246$	46
4.13 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบเมื่อกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 11 ซีควนซ์ลบและ 7 13 ซีควนซ์บวกใช้ $N=102$	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสทางด้านโหลด กรณีกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ.....	47
4.15 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเมื่อใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ โดยใช้ $N=360$	48
4.16 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเมื่อใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ โดยใช้ $N=360$	49
4.17 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบเมื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ ใช้ $N=360$	50
4.18 คุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบเมื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ ใช้ $N=360$	50
4.19 ขั้วและศูนย์ของ $D_h(z)$ เมื่อ $h=7$ และ $N=20$	51
4.20 บล็อกไดอะแกรมแสดงการคำนวณ Recursive DFT แบบเต็มคาบบนแกนนิ่ง.....	52
4.21 ลักษณะสมบัติการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเมื่อคำนวณ Recursive DFT บนแกนนิ่งโดยใช้ $h=1$ $N=360$	53
4.22 บล็อกไดอะแกรมแสดงการคำนวณ Recursive DFT แบบเต็มคาบบนแกนหมุน.....	54
4.23 บล็อกไดอะแกรมแสดงการคำนวณ Recursive DFT แบบเต็มคาบบนแกนหมุน เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง.....	57
5.1 โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟขนาน.....	58
5.2 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์.....	59
5.3 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแส.....	60
5.4 ส่วนตรวจจับสัญญาณจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง.....	60
5.5 ฮาร์ดแวร์ของภาคการควบคุมกระแส.....	61
5.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบวงจรกรองแอกทีฟ ในการคำนวณหาค่ากระแสฮาร์มอนิก.....	61
5.7 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบวงจรกรองแอกทีฟ ในการคำนวณหาค่ากระแสควบคุมแรงดันบัสไฟตรง.....	62
5.8 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์กรณีกำจัดกระแสฮาร์มอนิก 1 อันดับ.....	65
5.9 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์กรณีกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ.....	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 โค้ดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์กรณีกำจัดกระแสร่วมอนิก 2 อันดับ.....	69
5.11 โค้ดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์กรณีกำจัดกระแสร่วมอนิก 4 อันดับ.....	71
6.1 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกทุกอันดับ.....	76
6.2 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกทุกอันดับ.....	77
6.3 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	78
6.4 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 5 ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	78
6.5 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	79
6.6 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 5 ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	80
6.7 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 7 ไม่ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	81
6.8 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 7 ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	81
6.9 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 7 ไม่ชดเชยผลของเวลา ประวิง.....	82
6.10 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสร่วมอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสร่วมอนิกอันดับที่ 7 ชดเชยผลของ เวลาประวิง.....	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.61 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 10 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง.....	133
6.62 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 10 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง.....	134
6.63 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 20 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง.....	135
6.64 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 20 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง.....	136
6.65 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 50 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง.....	137
6.66 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 50 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง.....	138
6.67 รูปคลื่นกระแสสภาวะชั่วคราวของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม.....	142
6.68 รูปคลื่นกระแสสภาวะชั่วคราวของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับเมื่อ โหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม.....	142
6.69 รูปคลื่นกระแสสภาวะชั่วคราวของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม.....	143
6.70 รูปคลื่นกระแสสภาวะชั่วคราวของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อ โหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม.....	143

