

บทที่ 6

ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกของวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT เราจะทดสอบการทำงานของระบบโดยอาศัยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาตามที่กล่าวในบทที่ 5 โดยระบบที่ใช้ในการทดสอบนี้จะเป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย 380 V 50 Hz อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย (Z_s) มีค่าเป็น $j2.67 \Omega$ (0.046 pu.) ต่อร่วมกับโหลดวงจรเรียงกระแส 3 เฟส ขนาด 2.5 kVA ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน 35Ω และตัวเหนี่ยวนำ 16 mH

ผลการทดสอบการทำงานของระบบที่จะนำเสนอในบทนี้จะแยกเป็นกลุ่มการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆที่สำคัญของวงจรกรองกำลังแอกทีฟในลักษณะนี้

1. การทดลองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับต่างๆโดยใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบในการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก

ในการทดลองกลุ่มนี้เราจะทำการทดลองโดยใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบทั้งที่มีการชดเชยและไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง (ยกเว้นกรณีกำจัดทุกอันดับและกำจัด 4 อันดับที่จะทดสอบเฉพาะกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง) ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติการกรองที่ดีของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ และให้เห็นถึงคุณสมบัติการกรองที่ดีขึ้นเมื่อเราทำการชดเชยผลของเวลาประวิง

1.1 วงจรกรองกำลังกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ

จะได้ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังได้รูปที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานที่ได้จะเห็นว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟในลักษณะนี้สามารถกำจัดฮาร์มอนิกจนทำให้กระแสทางด้านแหล่งจ่ายมีลักษณะใกล้เคียงไซน์มากขึ้น โดยพิจารณาได้จากค่า THD ของกระแสทางด้านโหลด 24.50% จะลดลงเหลือ 6.33% ที่กระแสด้านแหล่งจ่าย แต่เมื่อเราพิจารณาการลดทอนของกระแสฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับจะพบว่า การลดทอนฮาร์มอนิกอันดับสูงจะทำได้น้อยกว่าฮาร์มอนิกอันดับต่ำ โดยสังเกตได้จากปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่เหลืออยู่ทางด้านแหล่งจ่ายเมื่อเทียบกับกระแสโหลด โดยที่ฮาร์มอนิก

อันดับที่ 5 อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.12 ในขณะที่ค่าอัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ ของฮาร์มอนิกที่ 11 มีค่าเท่ากับ 0.26 และค่าอัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=17}$ ของฮาร์มอนิกที่ 17 มีค่าเท่ากับ 0.625 แสดงให้เห็นว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟจะมีลักษณะสมบัติในการกรองฮาร์มอนิกอันดับสูงไม่ดีเท่ากับฮาร์มอนิกอันดับต่ำ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก

1. ตัวตรวจจับในกรณีนี้ไม่สามารถชดเชยผลของเวลาประวิงได้เพียงพอ ยิ่งฮาร์มอนิกความถี่สูงความผิดพลาดของเฟสเนื่องจากเวลาประวิงนี้ก็จะยังมีค่ามากขึ้นทำให้กระแสชดเชยผิดไปจากกระแสฮาร์มอนิกจริงมาก
2. การสร้างกระแสชดเชยสำหรับฮาร์มอนิกอันดับสูงจะต้องใช้การควบคุมกระแสที่มีความเร็วสูงซึ่งทำได้ยากในทางปฏิบัติ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์กำลังและอิมพีแดนซ์ของระบบ

1.2 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 5

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.3 สำหรับกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.4 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ได้ตามต้องการโดยในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จาก 0.75 A เหลือ 0.12 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.16 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดจาก 0.75 A เหลือเพียง 0.07 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.09 โดยเราจะสังเกตได้ว่าฮาร์มอนิกอื่นๆในระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและกระแสชดเชยก็จะมีเฉพาะกระแสฮาร์มอนิกที่ 5 และกระแสองค์ประกอบมูลฐานสำหรับควบคุมบัลไฟตรงเท่านั้น

1.3 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 7

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.7 สำหรับกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.8 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.9 และ 6.10 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ได้ตามต้องการโดยในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 จาก 0.36 A เหลือ 0.08 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=7}$ มีค่าเท่ากับ 0.22 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดจาก 0.35 A เหลือเพียง 0.05 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.14 โดยที่กระแสฮาร์มอนิกอื่นๆในระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

1.4 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 11

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.11 สำหรับกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.12 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.13 และ 6.14 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ได้ตามต้องการโดยในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 จาก 0.17 A เหลือ 0.09 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.53 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดจาก 0.16 A เหลือเพียง 0.06 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.38

1.5 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 13

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.15 สำหรับกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.16 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.17 และ 6.18 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ได้ตามต้องการโดยในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 จาก 0.12 A เหลือ 0.05 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=13}$ มีค่าเท่ากับ 0.42 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดจาก 0.12 A เหลือเพียง 0.04 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.33 โดยที่กระแสฮาร์มอนิกอื่นๆในระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

จากการทดลองที่ 1.2 ถึง 1.5 เราจะสังเกตเห็นได้ว่าอัตราการลดทอนฮาร์มอนิกที่ความถี่ต่ำ (อันดับที่ 5 และ 7) จะมีค่าต่ำซึ่งหมายถึงมีการลดทอนมาก ในขณะที่อัตราการลดทอนฮาร์มอนิกความถี่สูง (อันดับที่ 11 และ 13) จะมีค่ามากซึ่งหมายถึงมีการลดทอนน้อย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่วงจรกรองกำลังมีลักษณะสมบัติในการกรองฮาร์มอนิกอันดับสูงไม่ดีเท่ากับฮาร์มอนิกอันดับต่ำ ผลการทดสอบใน 4 การทดลองนี้จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1.1 กรณีกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ ในกรณีที่เรทำการชดเชยผลของเวลาประวิง อัตราการลดทอนฮาร์มอนิกสำหรับทุกความถี่จะมีค่าลดลงกล่าวคือวงจรกรองกำลังสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้ดีขึ้น

1.6 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 5 และ 7

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.19 สำหรับกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.20 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.21 และ 6.22 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ได้ตามต้องการโดยในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จาก 0.73 A เหลือ 0.15 A อัตราการ

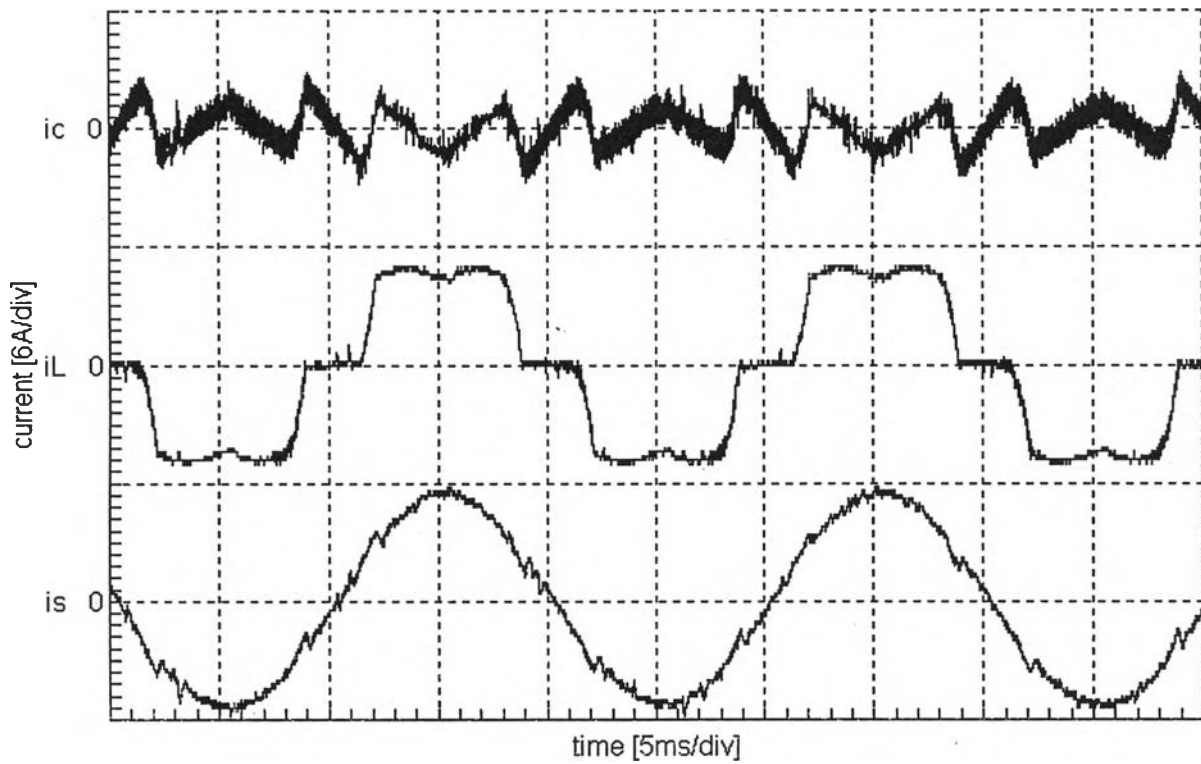
ลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.21 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 ลดลงจาก 0.32 A เหลือ 0.12 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=7}$ มีค่าเท่ากับ 0.38 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 จะลดลงจาก 0.72 A เหลือเพียง 0.03 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.04 และกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 7 จะลดลงจาก 0.31 A เหลือ 0.06 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.19 ในกรณีนี้คุณสมบัติการกรองเมื่อไม่มีการชดเชยผลของเวลาประวิงจะแย่งลงกว่ากรณีกำจัดกระแสฮาร์โมนิกอันดับเดียวทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อกำจัดกระแสฮาร์โมนิกหลายอันดับเราต้องทำการคำนวณมากขึ้นจึงต้องเพิ่มความยาวคาบการสุ่มคั้งนั้นเวลาประวิงจึงมากขึ้นตามไปด้วย

1.7 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์โมนิกเฉพาะอันดับที่ 11 และ 13

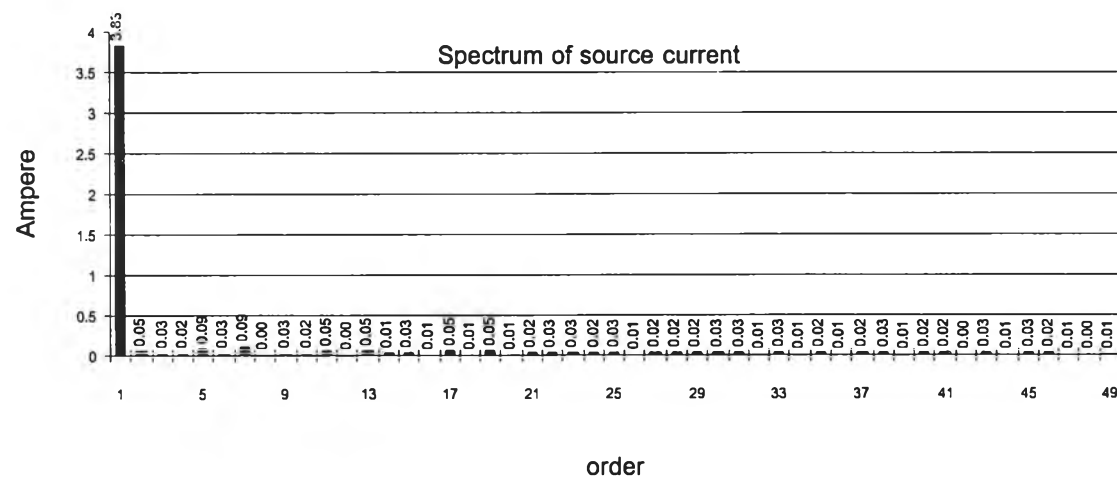
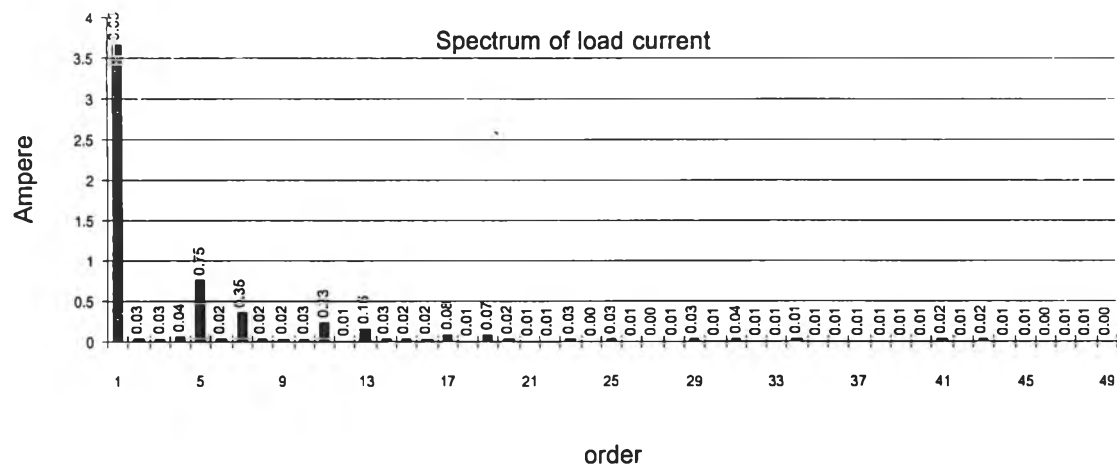
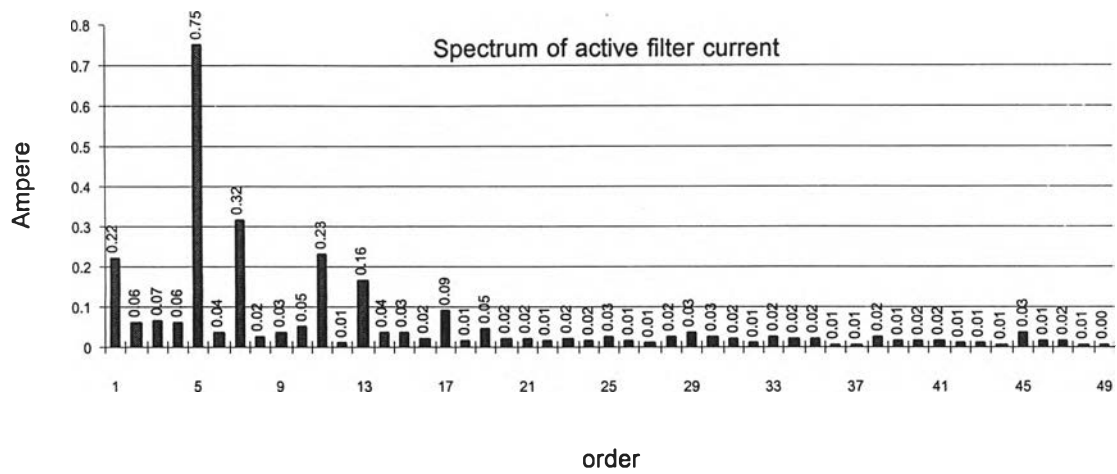
ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.23 สำหรับกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.24 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 6.25 และ 6.26 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 และ 13 ได้ตามต้องการโดยในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะลดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 จาก 0.19 A เหลือ 0.09 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.47 กระแสฮาร์โมนิกที่ 13 ลดลงจาก 0.13 A เหลือ 0.08 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=13}$ มีค่าเท่ากับ 0.62 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 จะลดลงจาก 0.18 A เหลือเพียง 0.04 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.22 และกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 13 จะลดลงจาก 0.13 A เหลือ 0.04 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.31

1.8 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์โมนิกเฉพาะอันดับที่ 5 7 11 และ 13

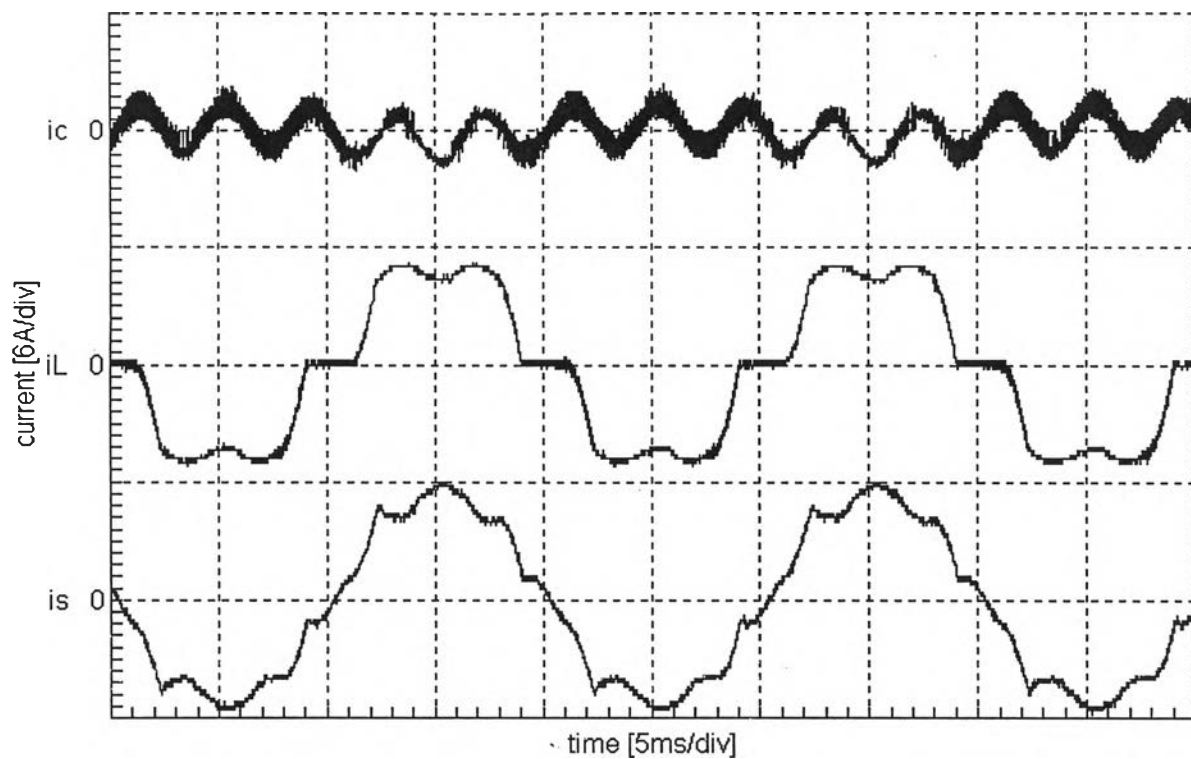
ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.27 เมื่อชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของสัญญาณกระแสในกรณีนี้แสดงได้ดังรูปที่ 6.28 เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 7 11 และ 13 ได้ตามต้องการ โดยกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 จาก 0.74 A เหลือ 0.01 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.01 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 ลดลงจาก 0.34 A เหลือ 0.07 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=7}$ มีค่าเท่ากับ 0.21 กระแสฮาร์โมนิกที่ 11 ลดลงจาก 0.20 A เหลือ 0.00 A กระแสฮาร์โมนิกที่ 13 ลดลงจาก 0.14 A เหลือ 0.03 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=13}$ มีค่าเท่ากับ 0.21 จากรูปผลการทดลองจะเห็นได้ว่าฮาร์โมนิกหลักของระบบอยู่ที่อันดับ 5 7 11 และ 13 เท่านั้น ดังนั้นผลการกำจัดฮาร์โมนิกเฉพาะอันดับเหล่านี้จะได้ผลใกล้เคียงกับแบบกำจัดหมดทุกอันดับ(รูปที่ 6.1)



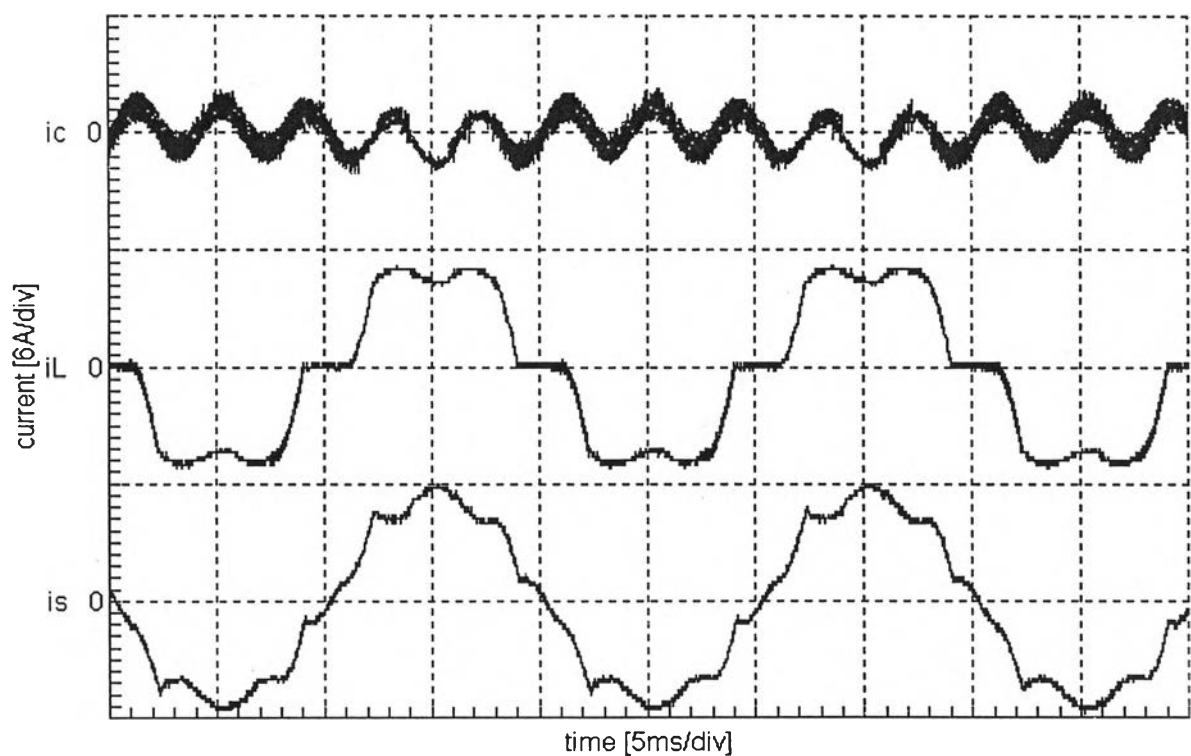
รูปที่ 6.1 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังตัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ



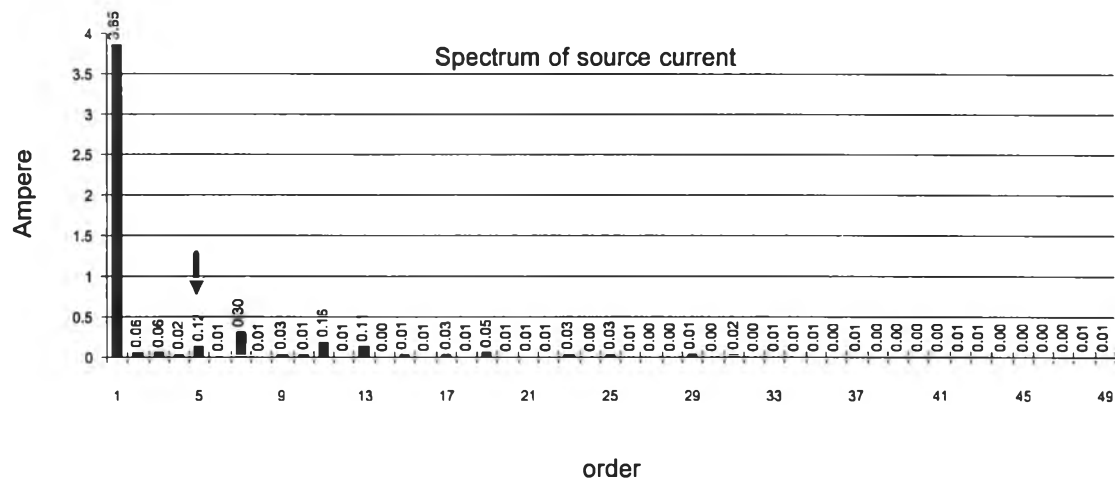
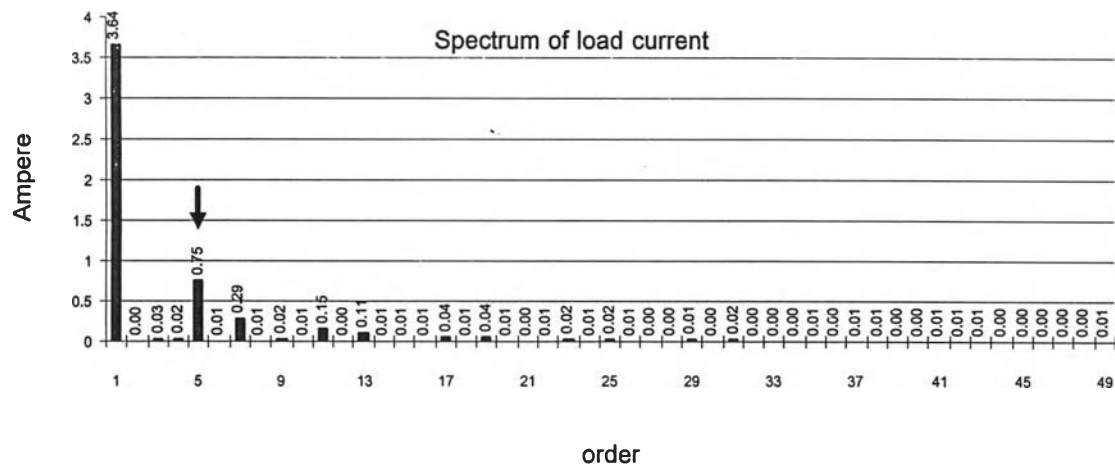
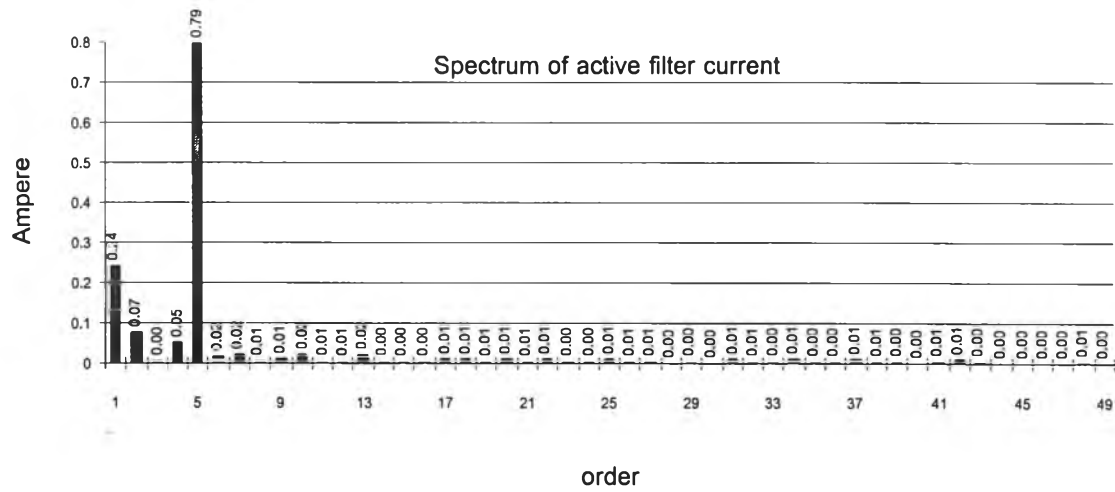
รูปที่ 6.2 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ



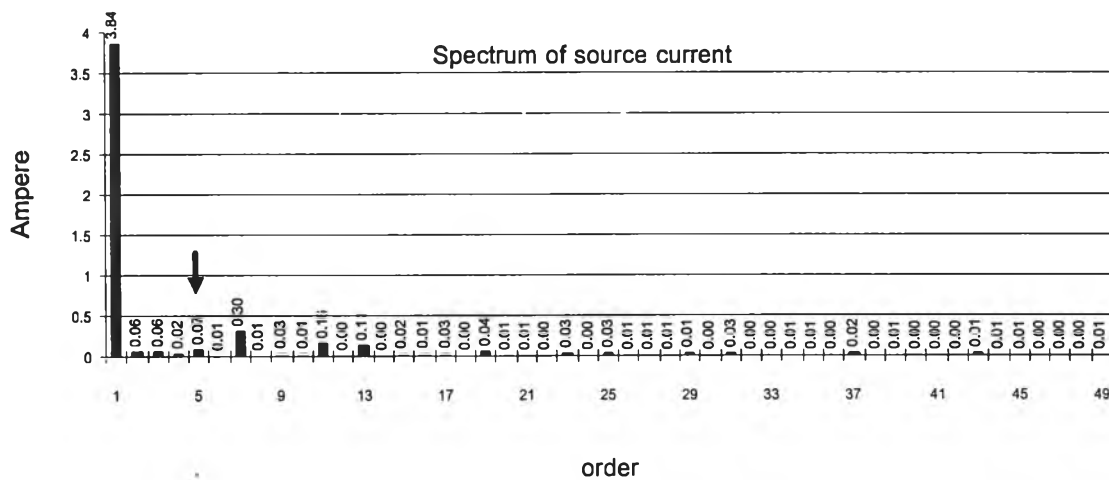
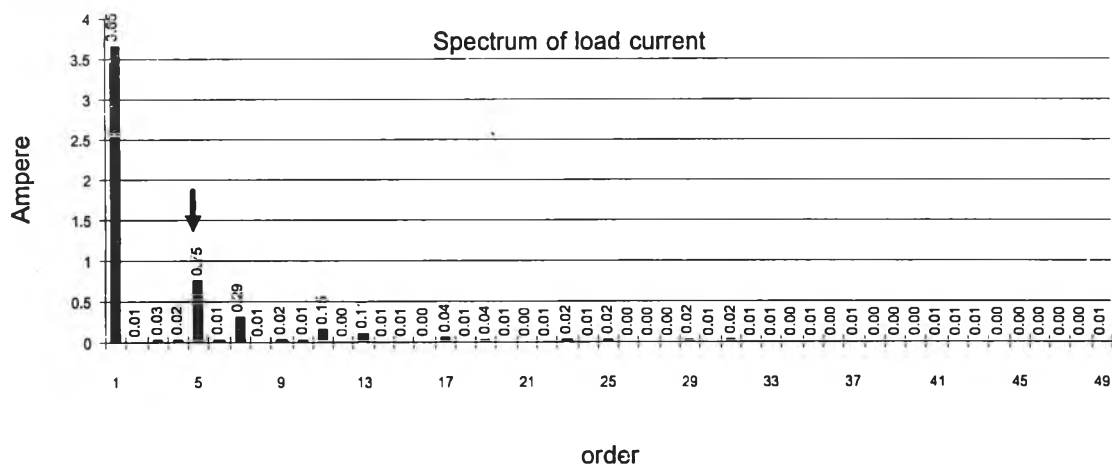
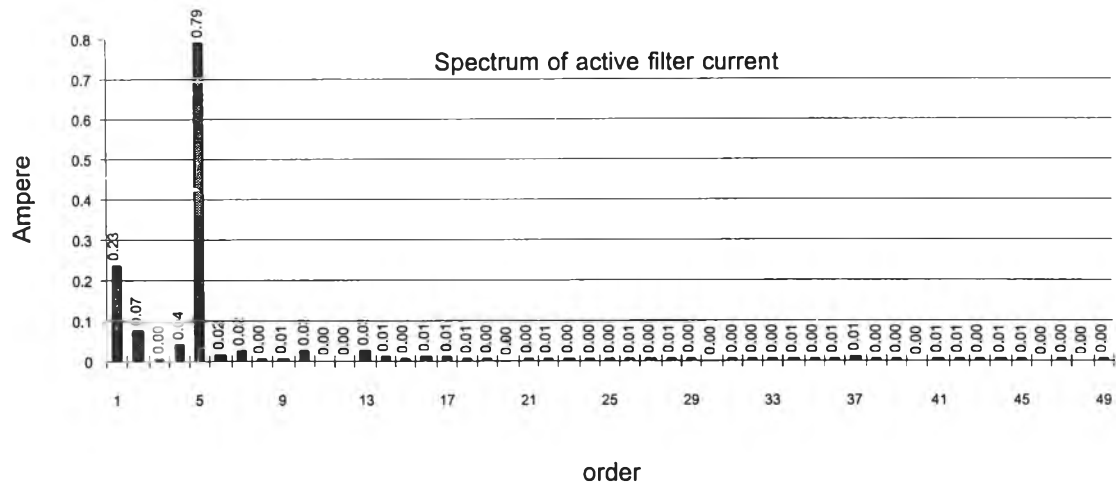
รูปที่ 6.3 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



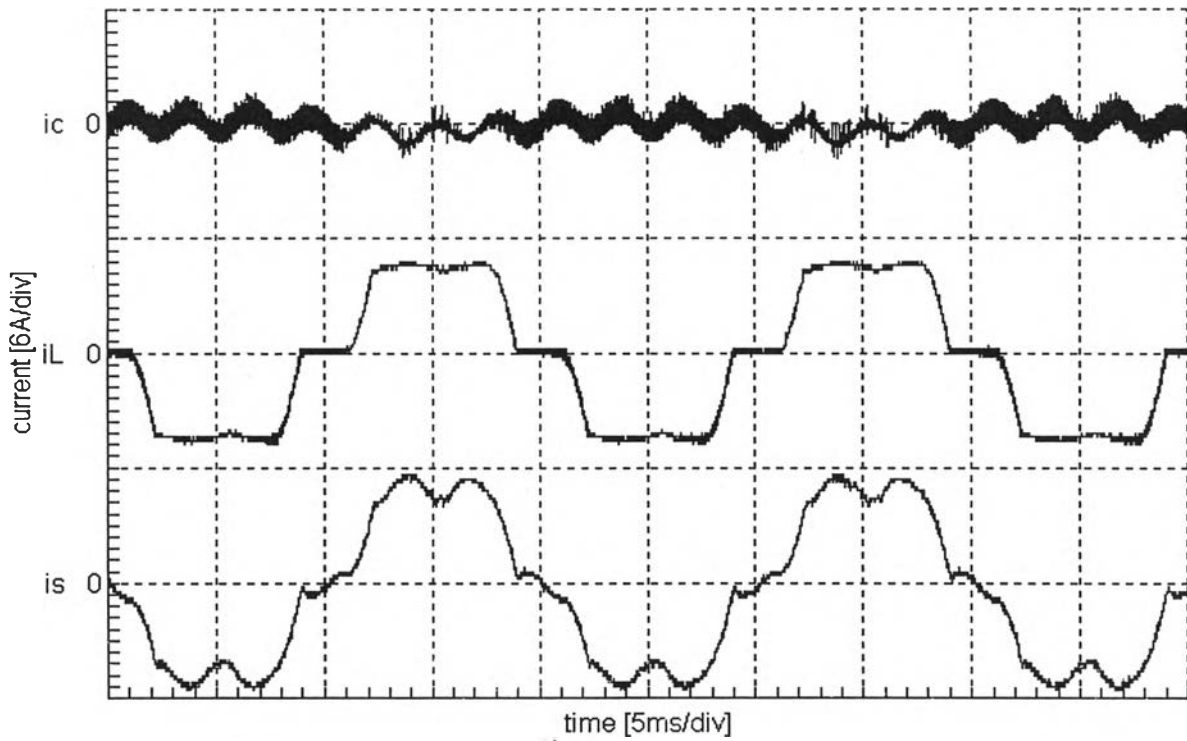
รูปที่ 6.4 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ชัดเจนผลของเวลาประวิง



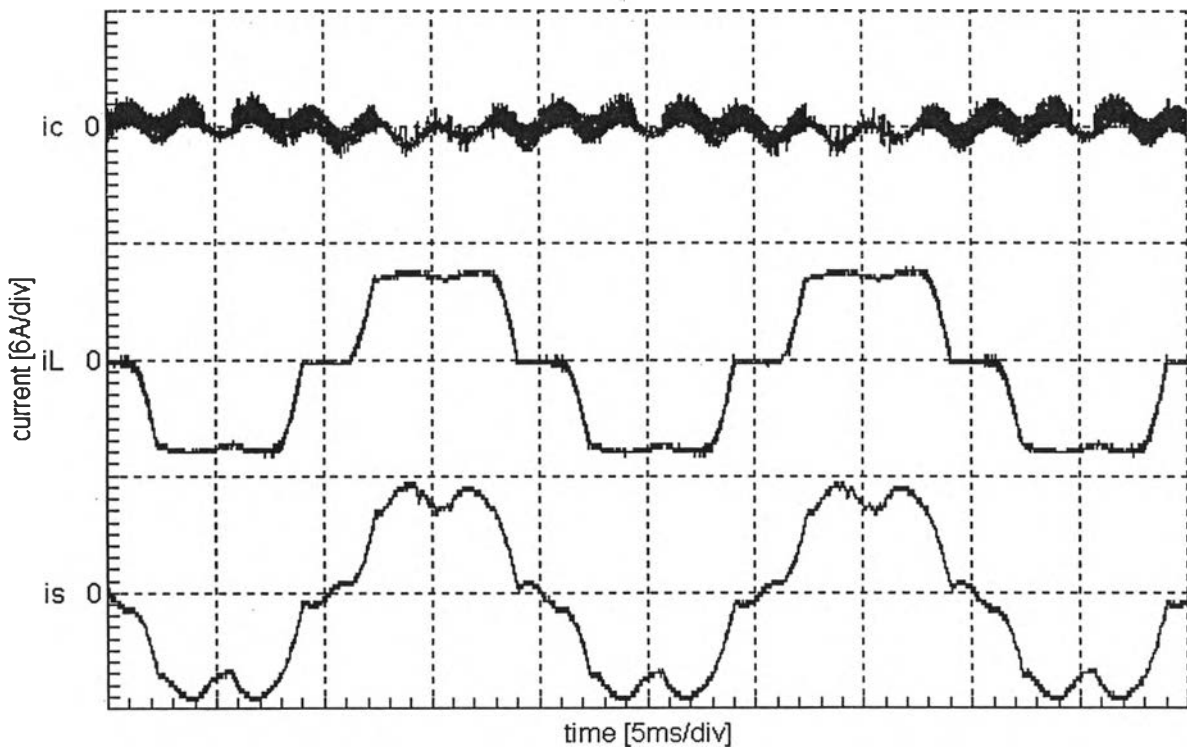
รูปที่ 6.5 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



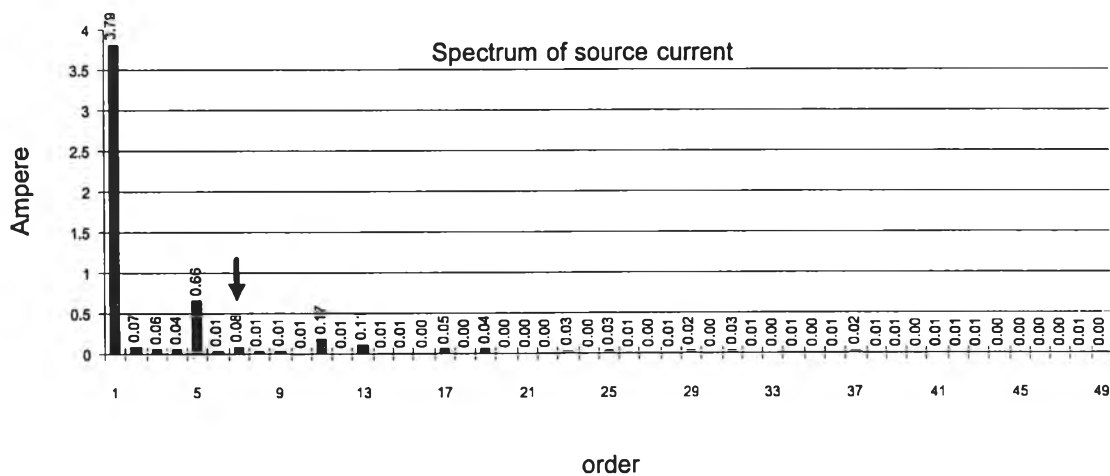
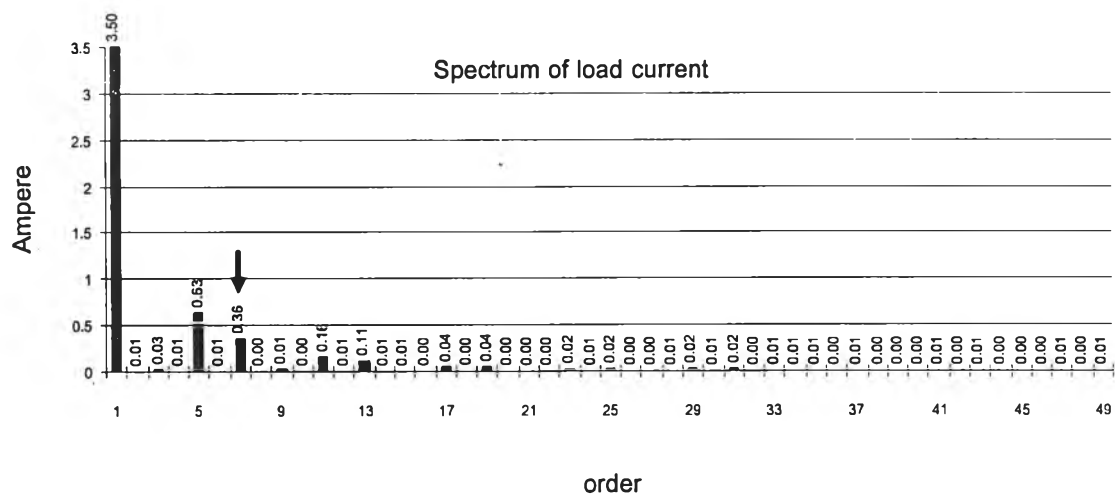
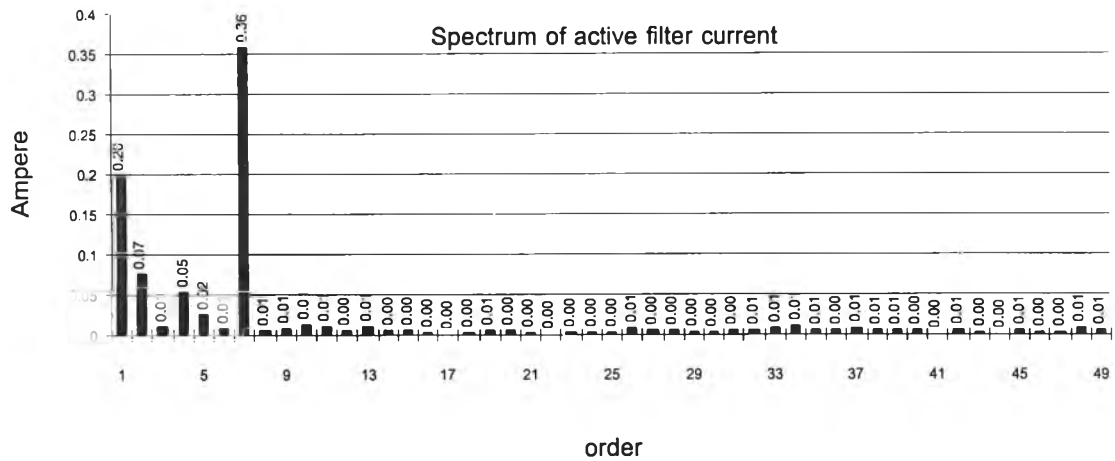
รูปที่ 6.6 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



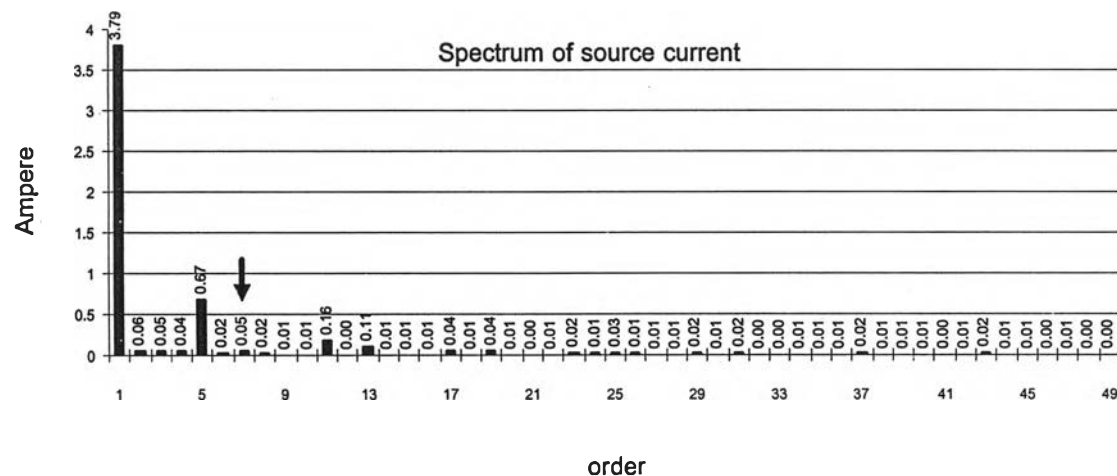
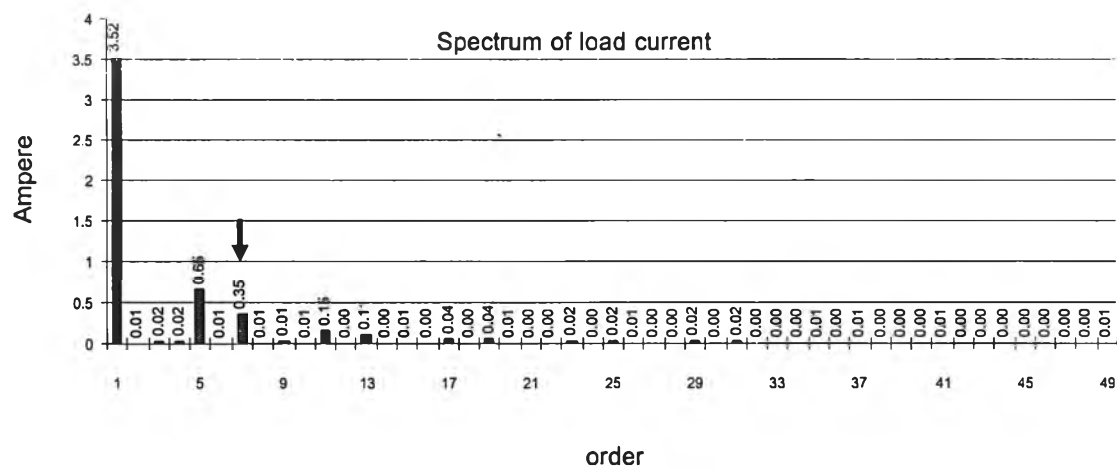
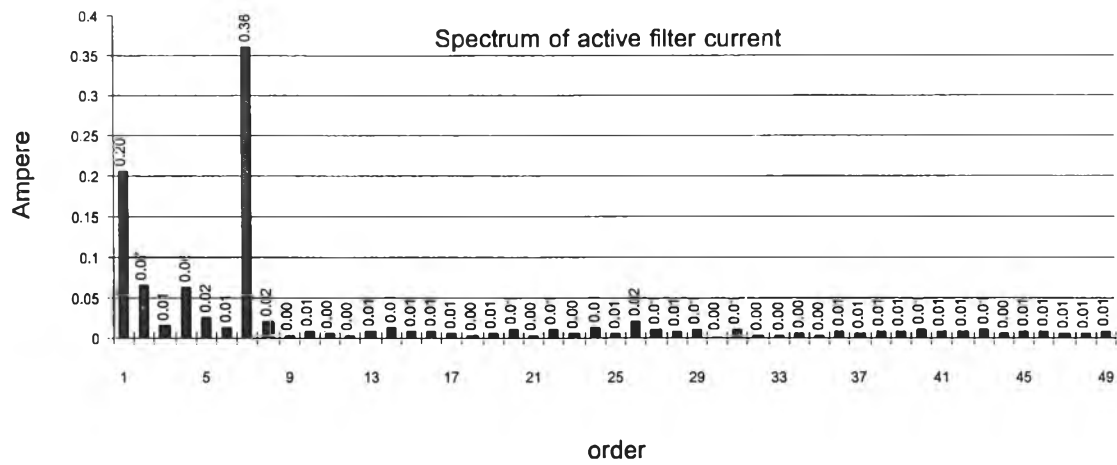
รูปที่ 6.7 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังตัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



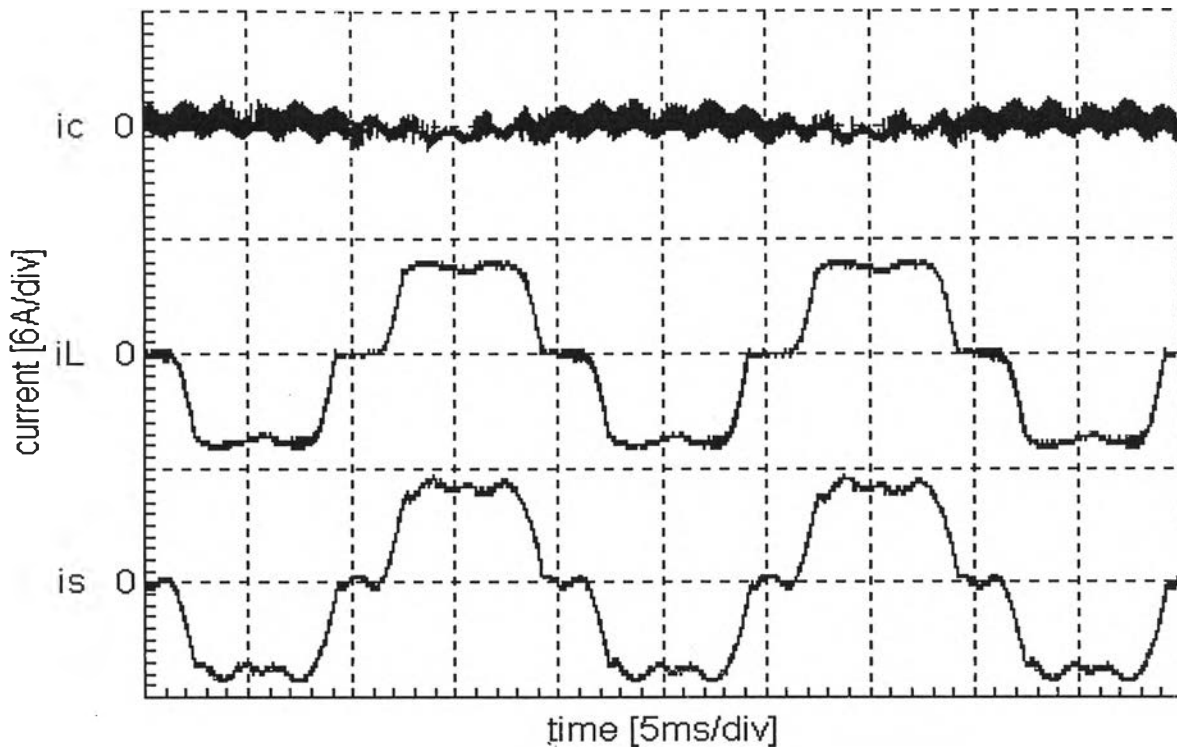
รูปที่ 6.8 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังตัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ชัดชัดผลของเวลาประวิง



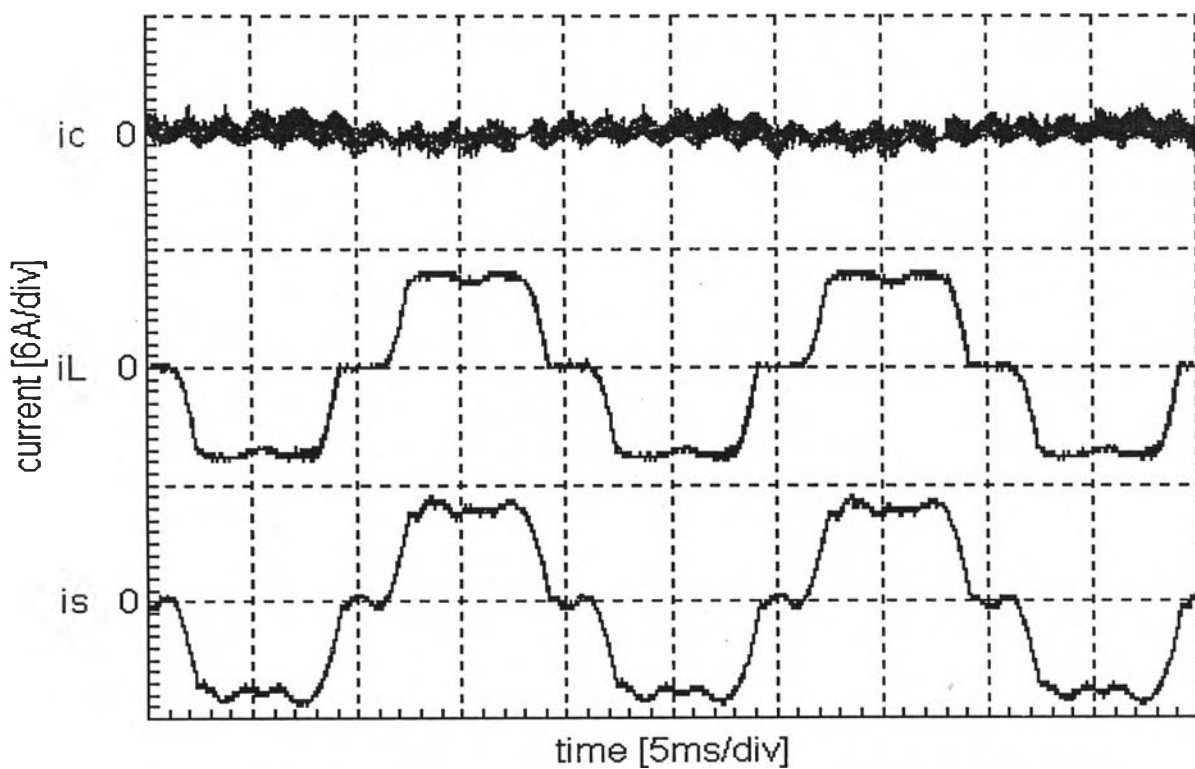
รูปที่ 6.9 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



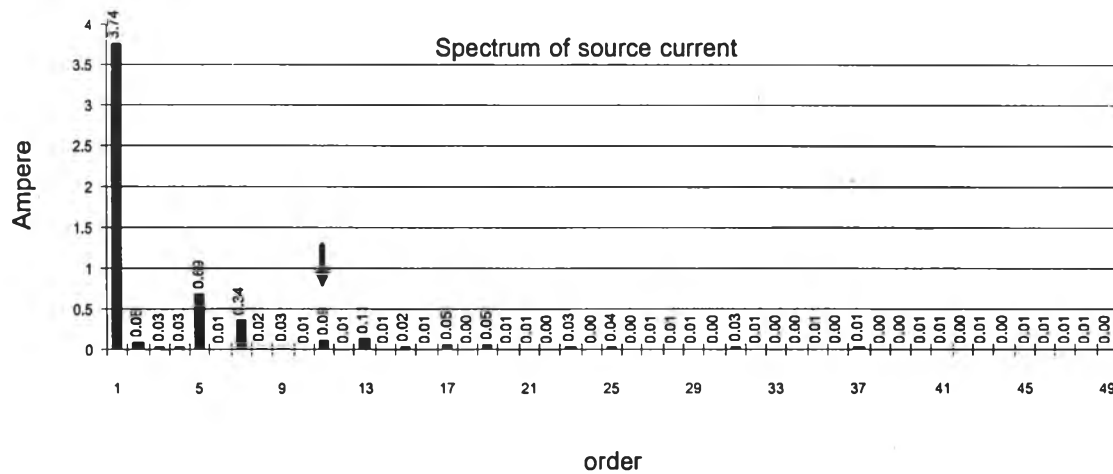
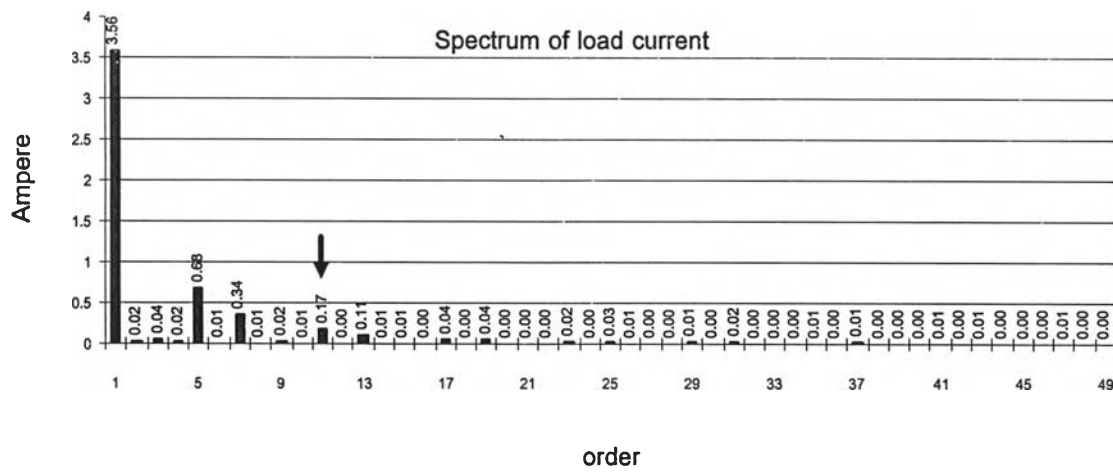
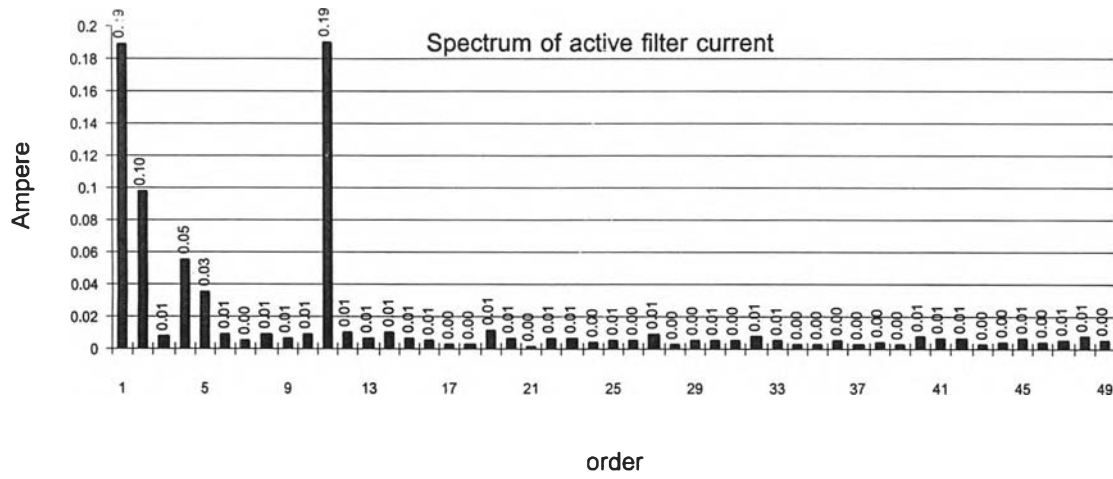
รูปที่ 6.10 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ขดเซยผลของเวลาประวิง



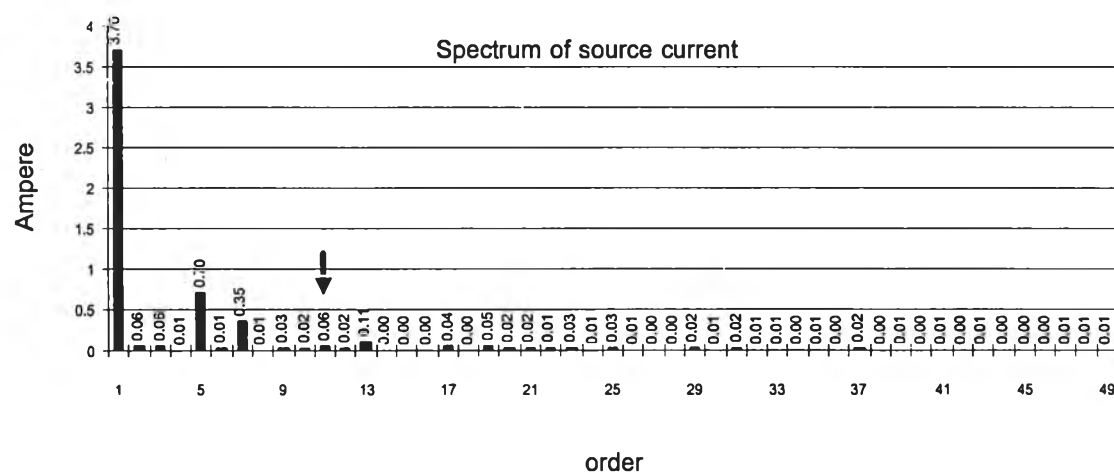
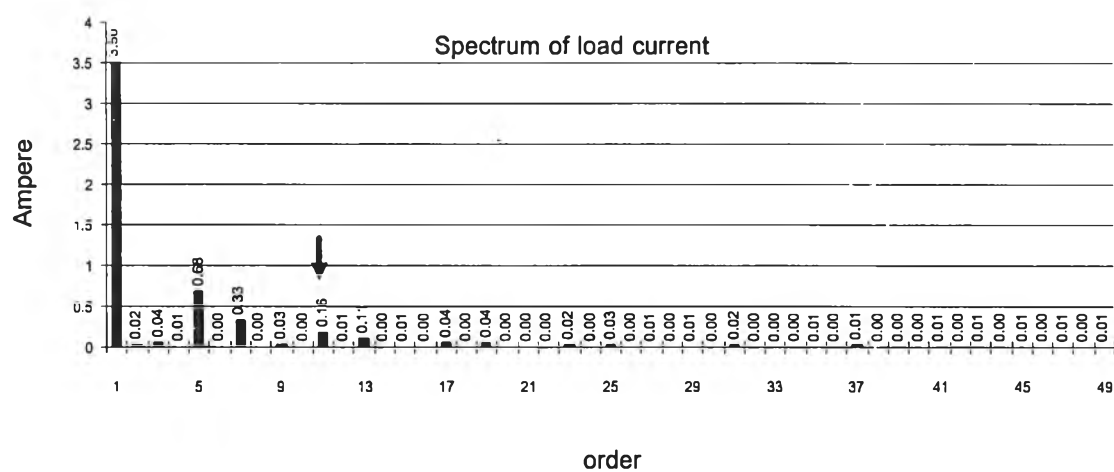
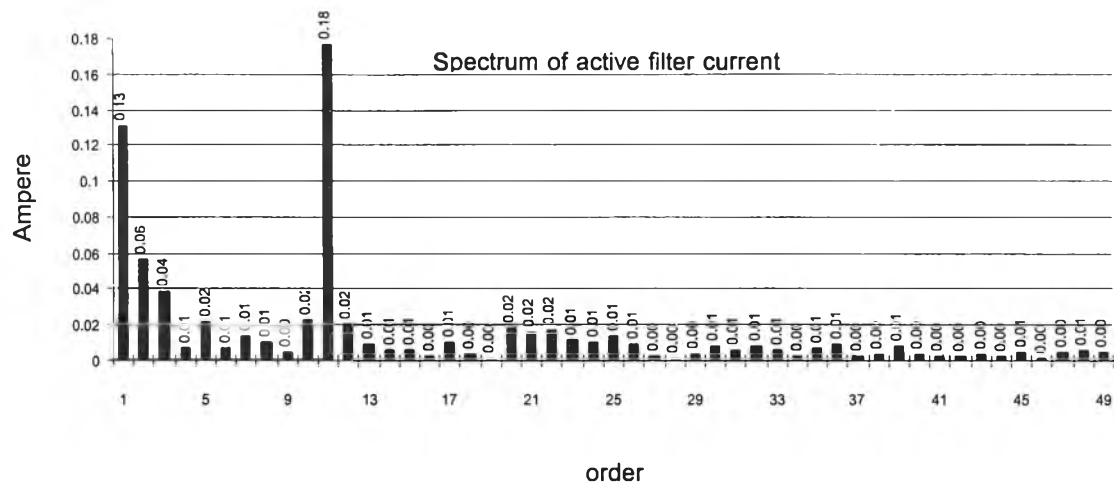
รูปที่ 6.11 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังตรวจกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



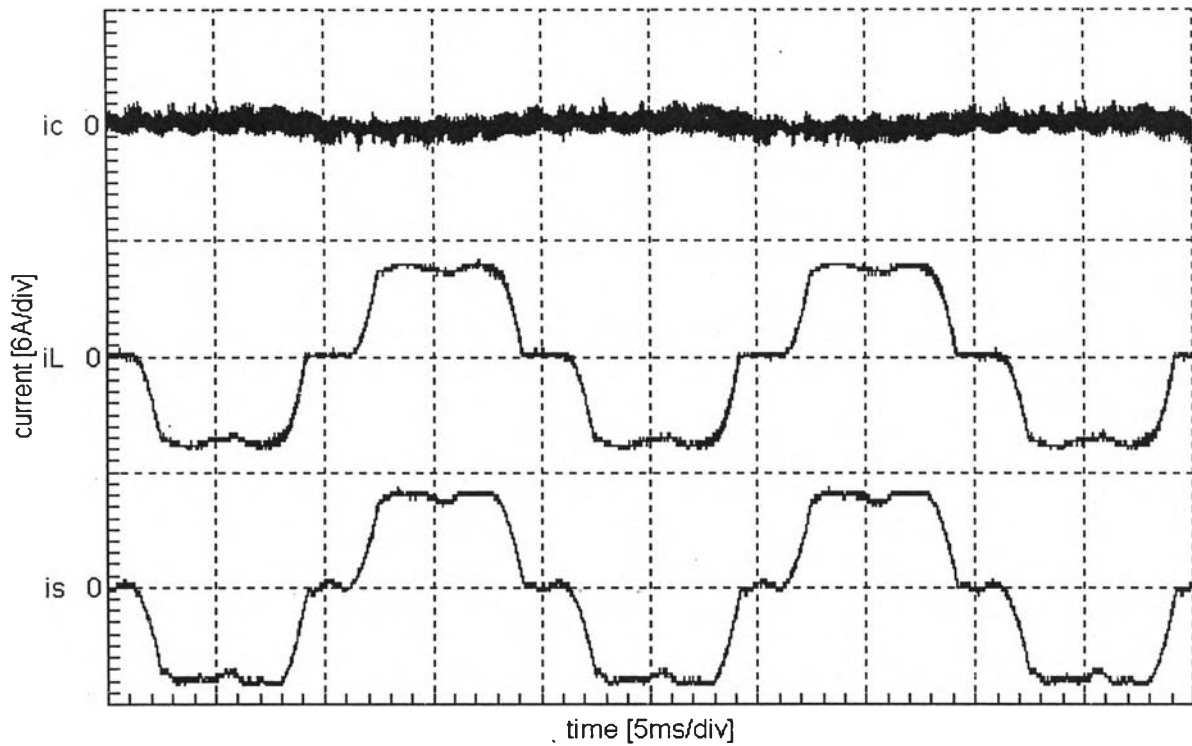
รูปที่ 6.12 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังตรวจกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ชัดเจนผลของเวลาประวิง



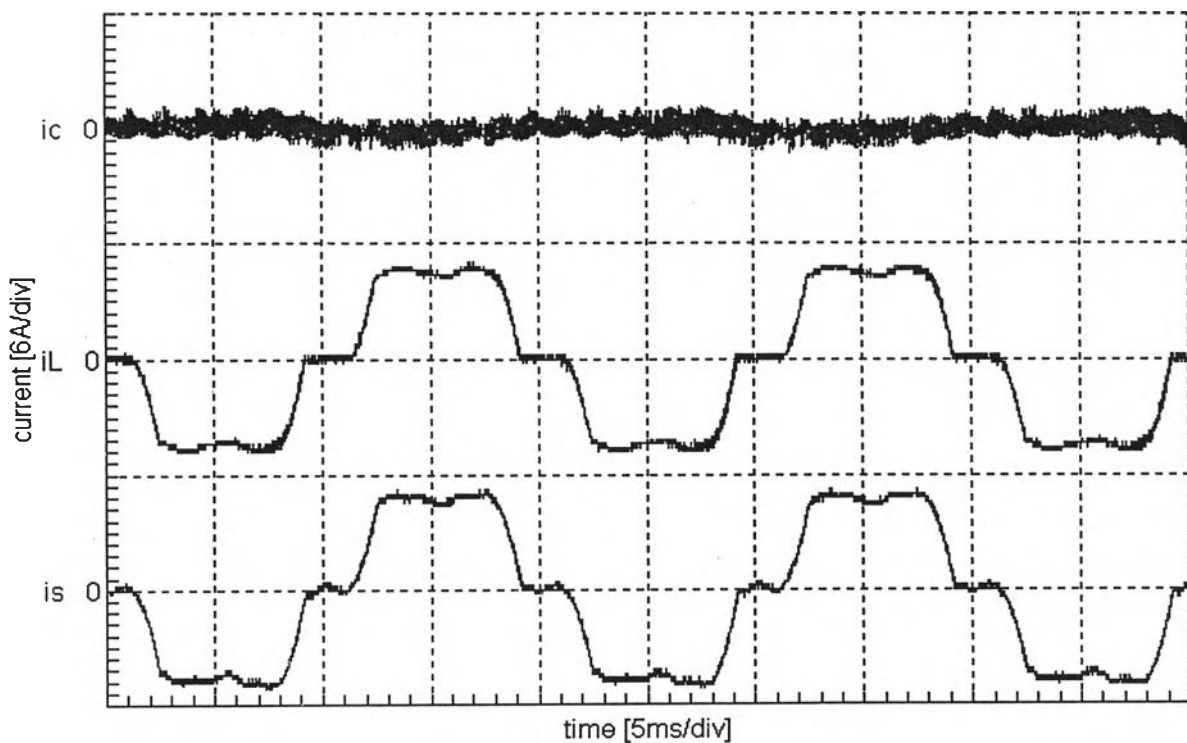
รูปที่ 6.13 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



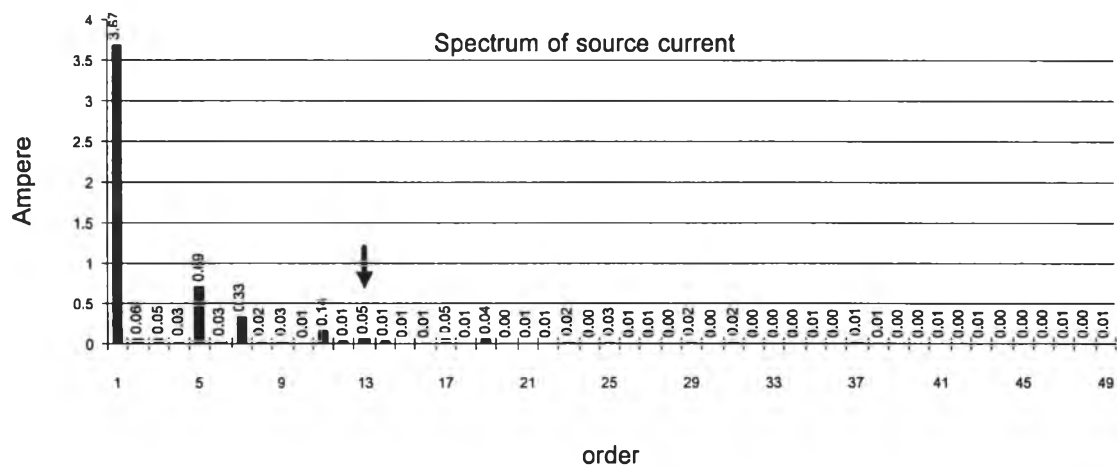
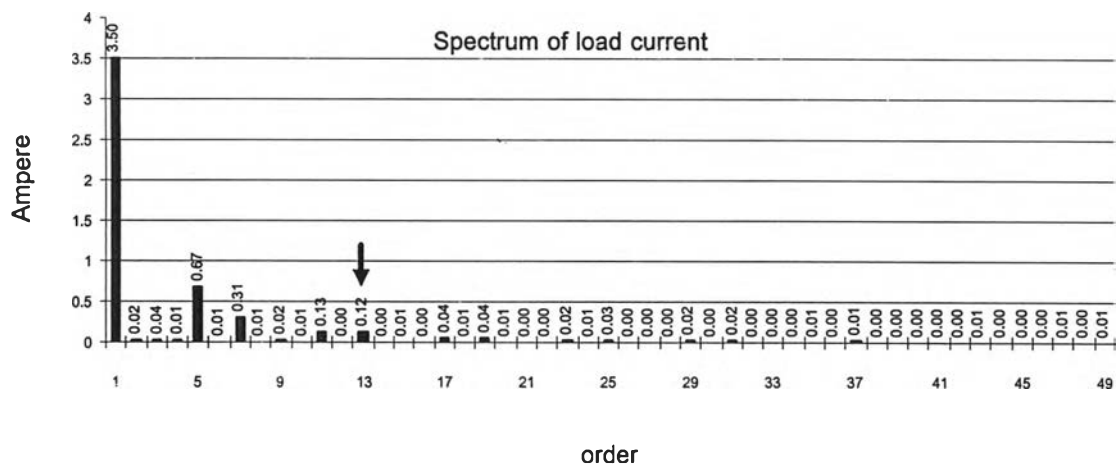
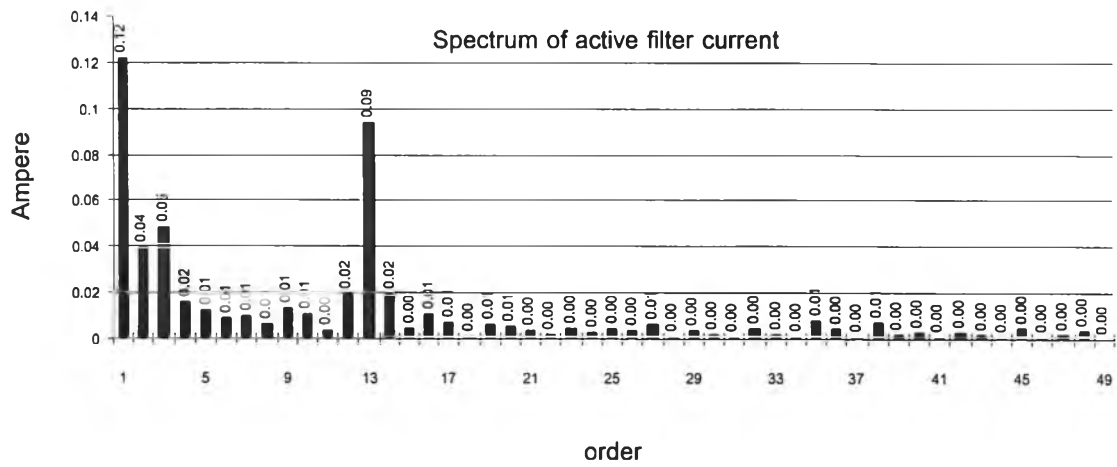
รูปที่ 6.14 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ซดเซพผลของเวลาประวิง



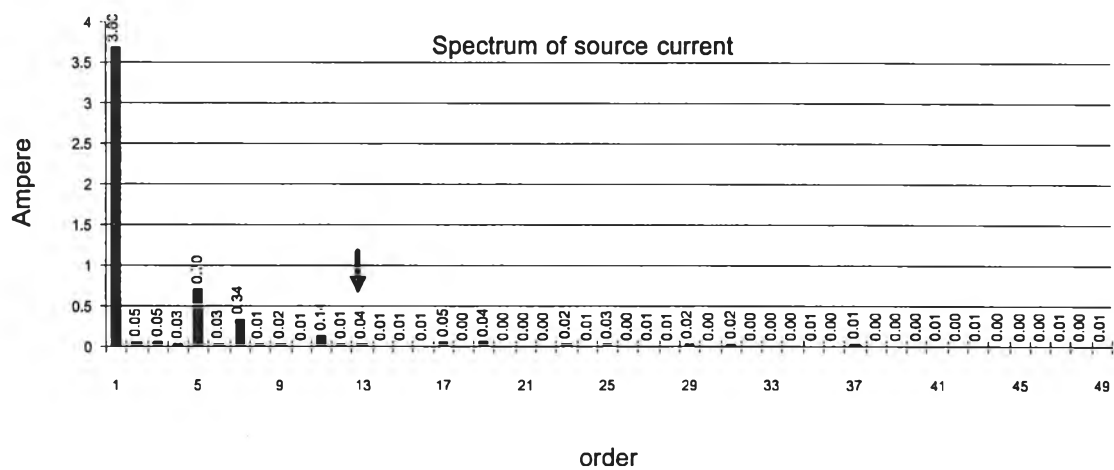
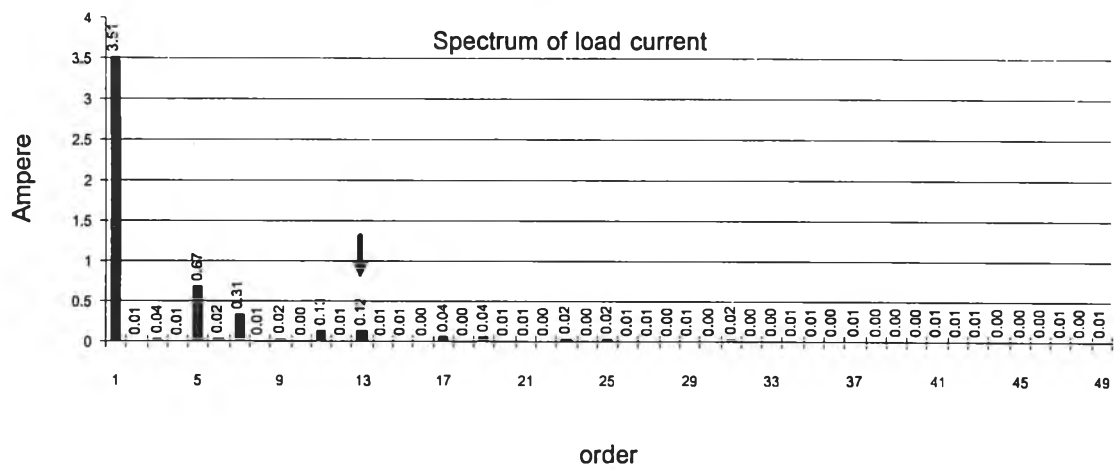
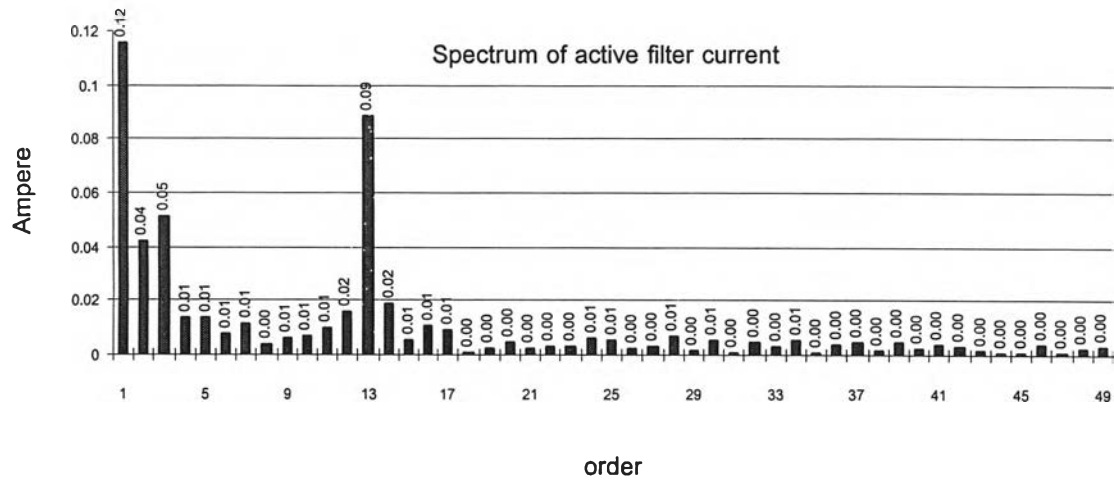
รูปที่ 6.15 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



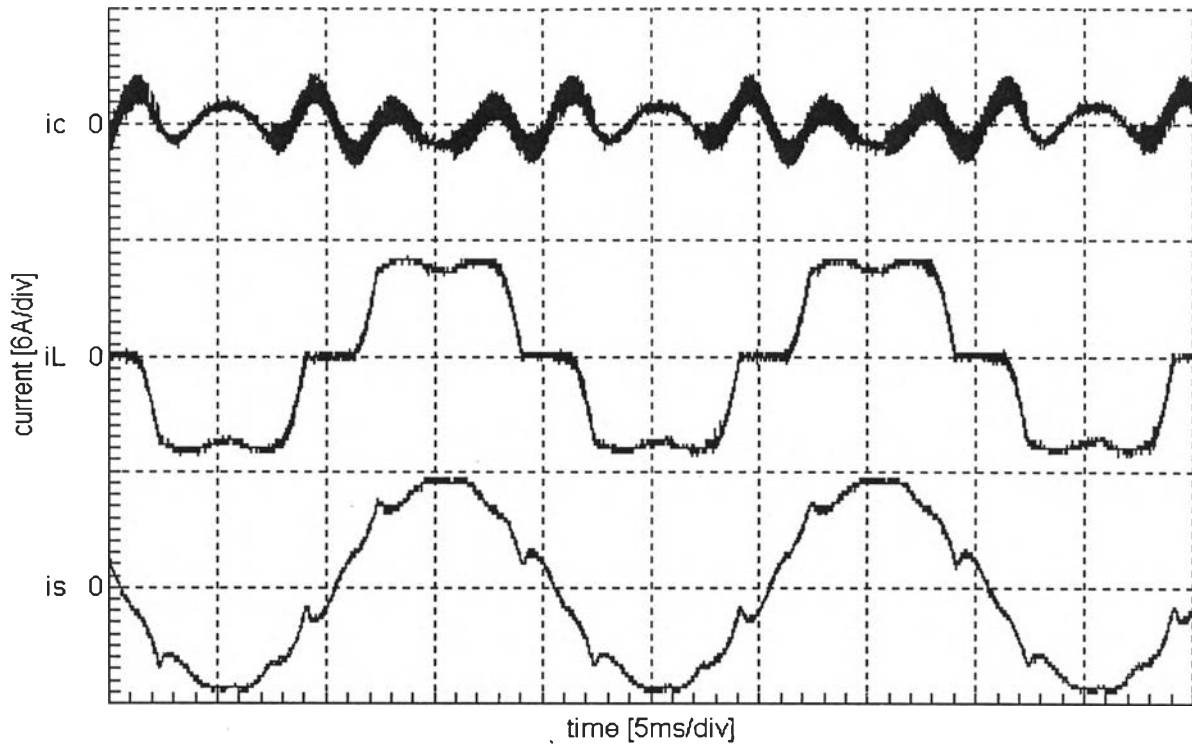
รูปที่ 6.16 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ชัดเจนผลของเวลาประวิง



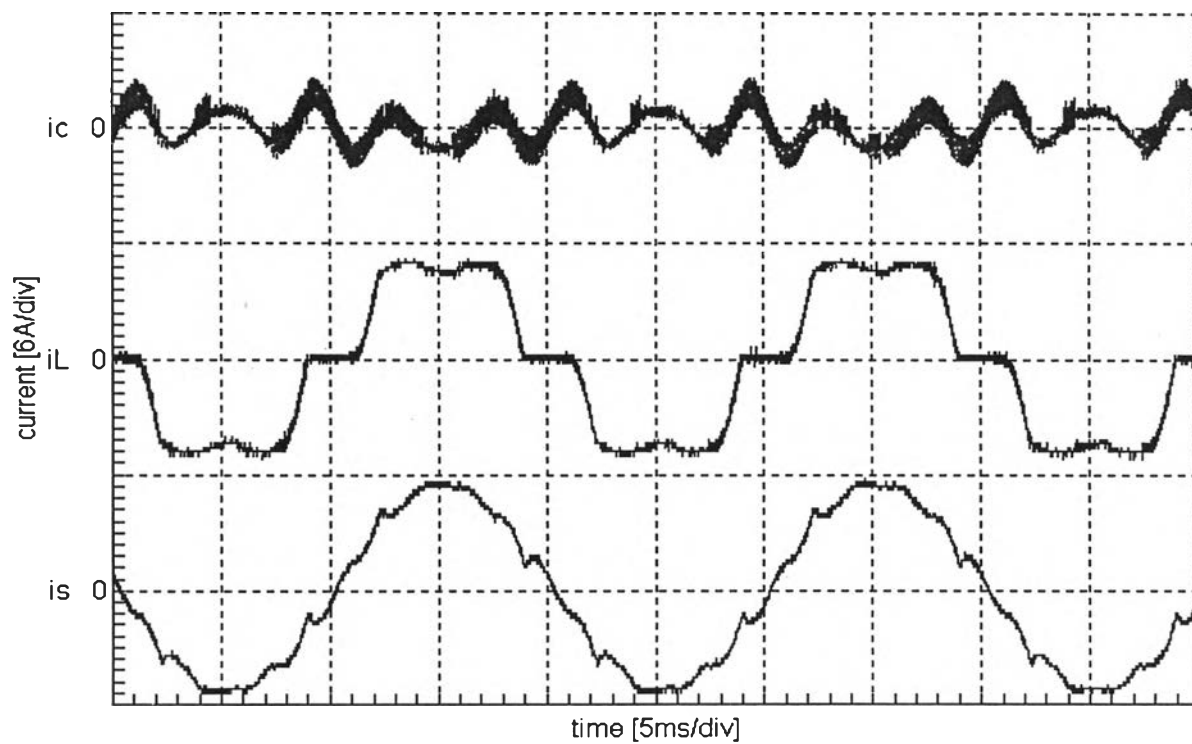
รูปที่ 6.17 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



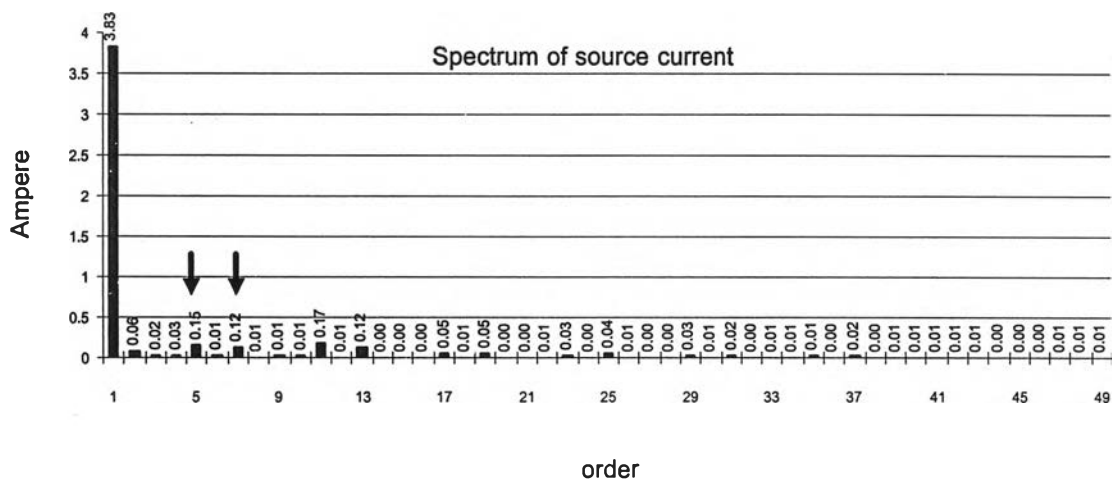
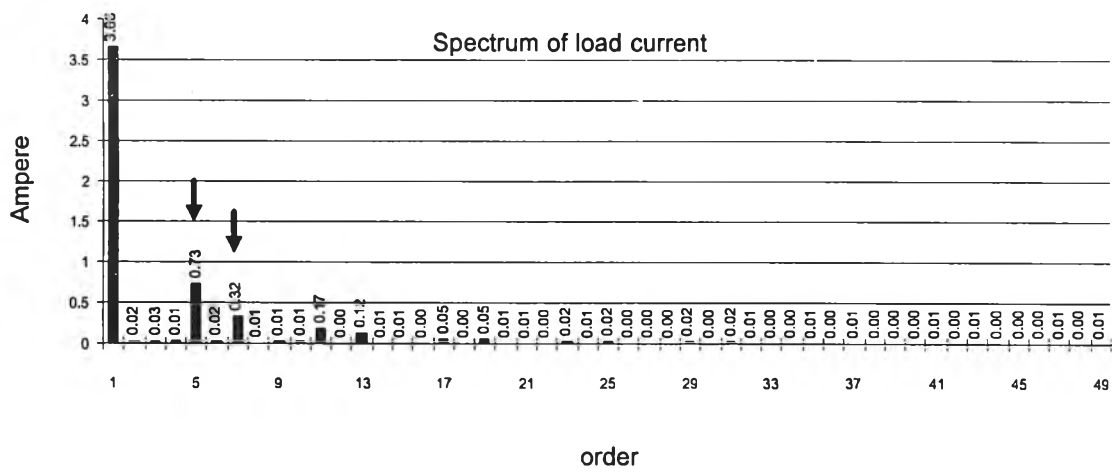
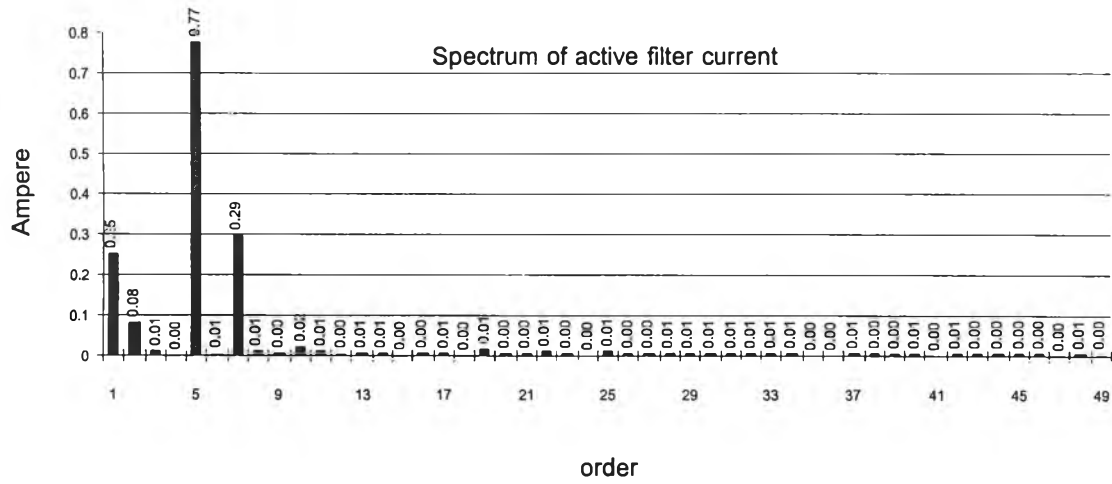
รูปที่ 6.18 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ซดเซพผลของเวลาประวิง



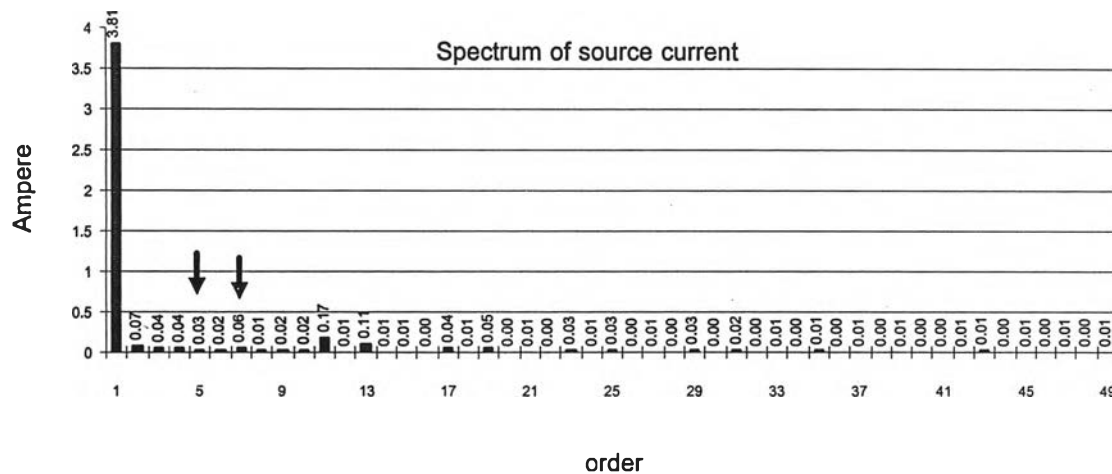
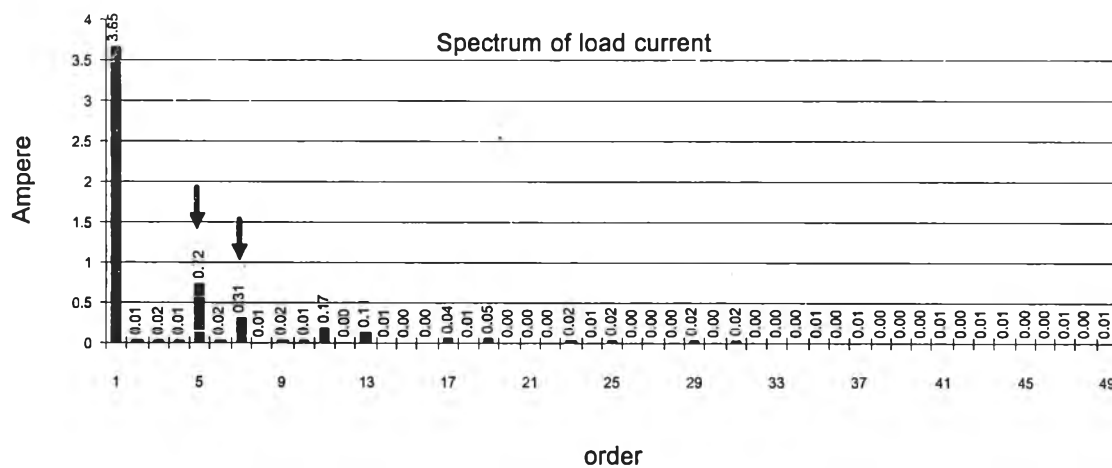
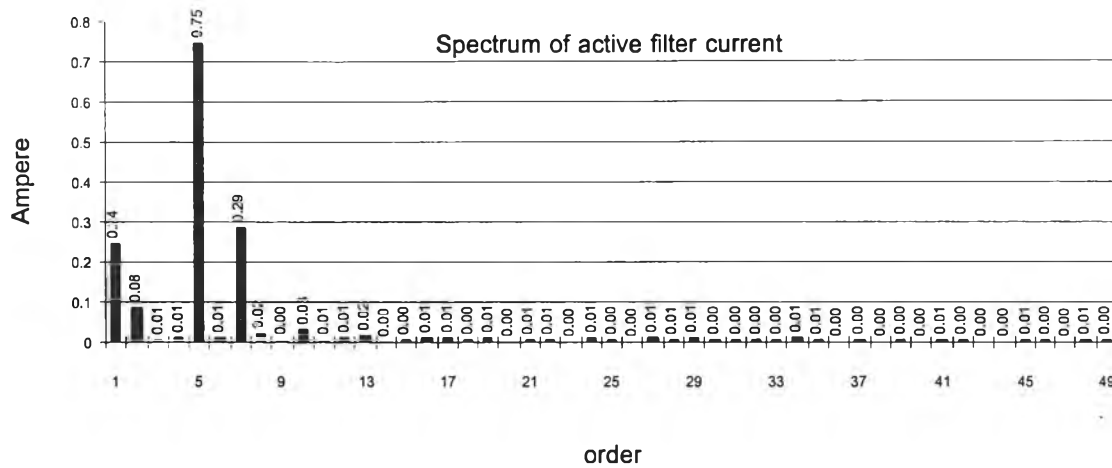
รูปที่ 6.19 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



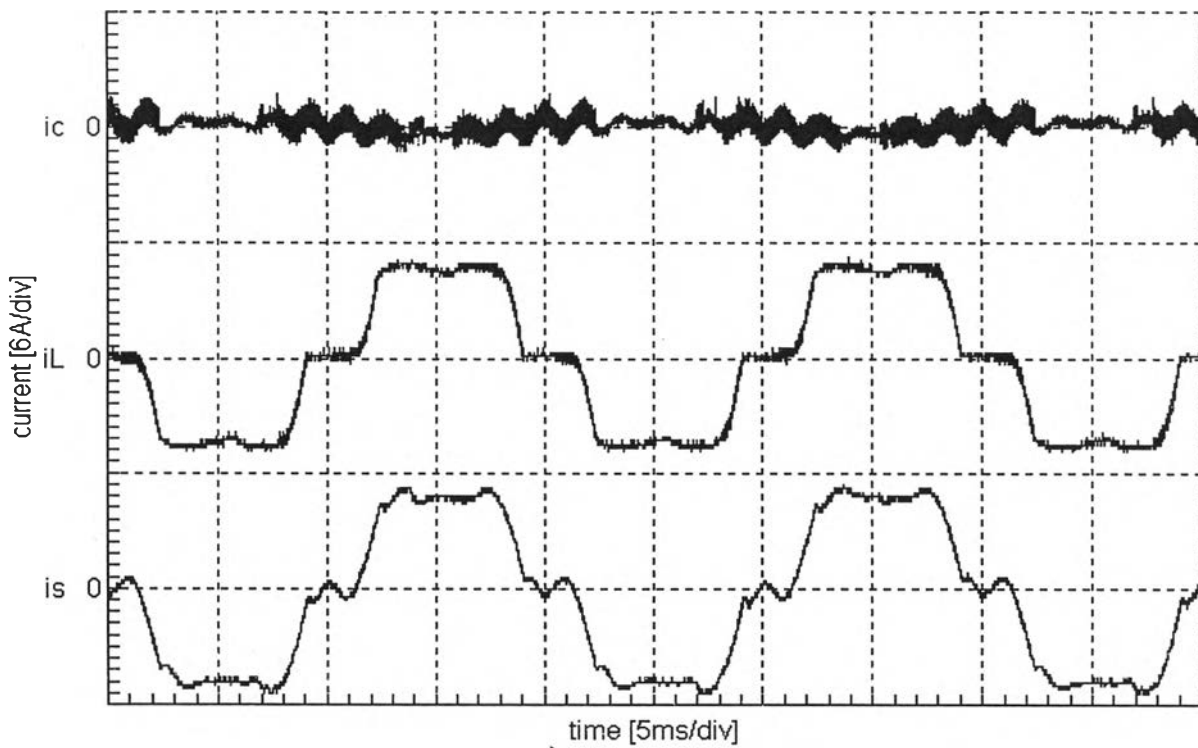
รูปที่ 6.20 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ชัดชัดผลของเวลาประวิง



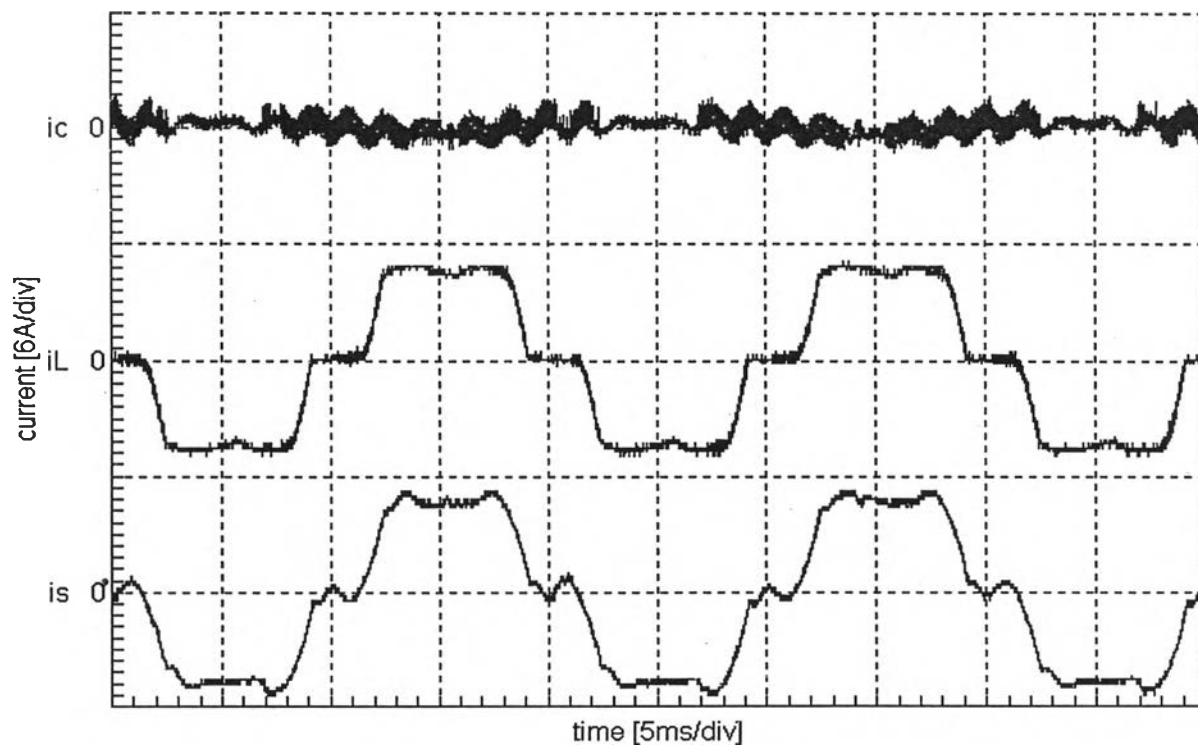
รูปที่ 6.21 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



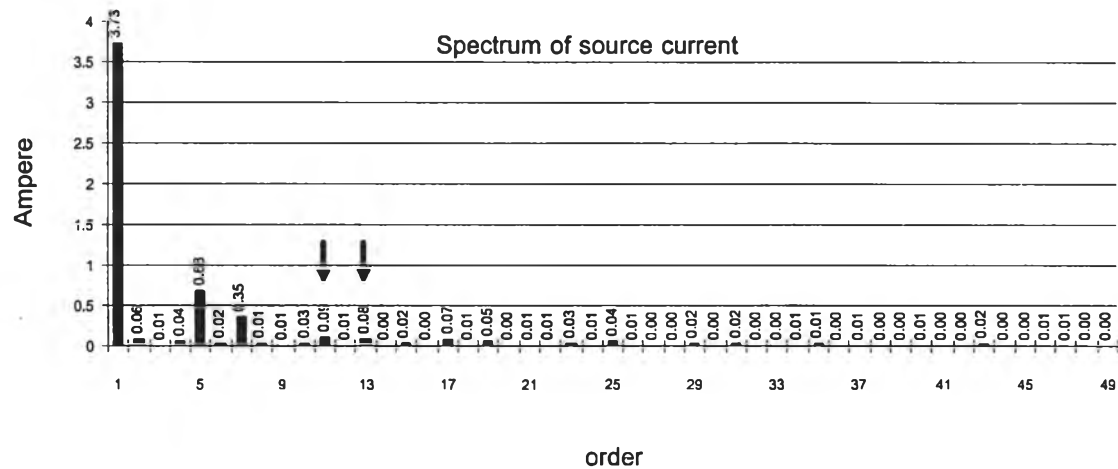
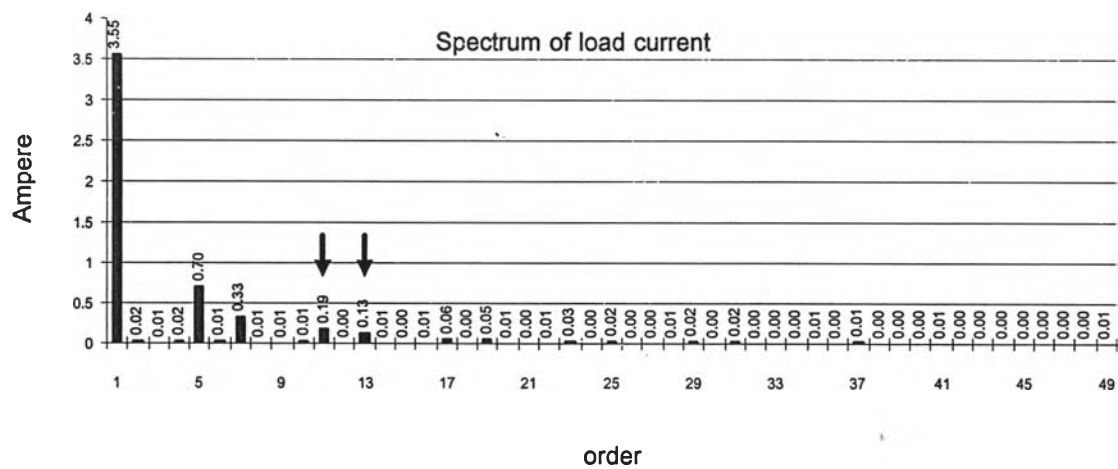
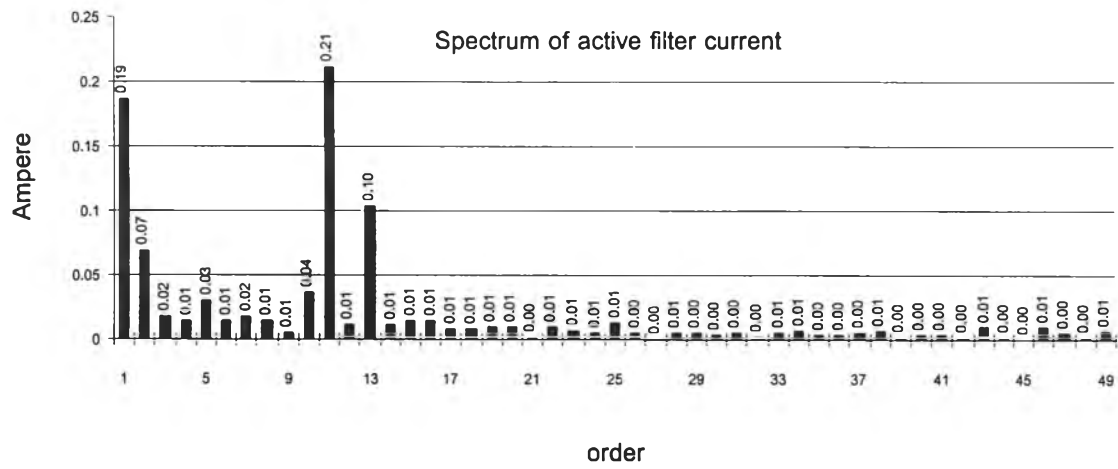
รูปที่ 6.22 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ซดเศษผลของเวลาประวิง



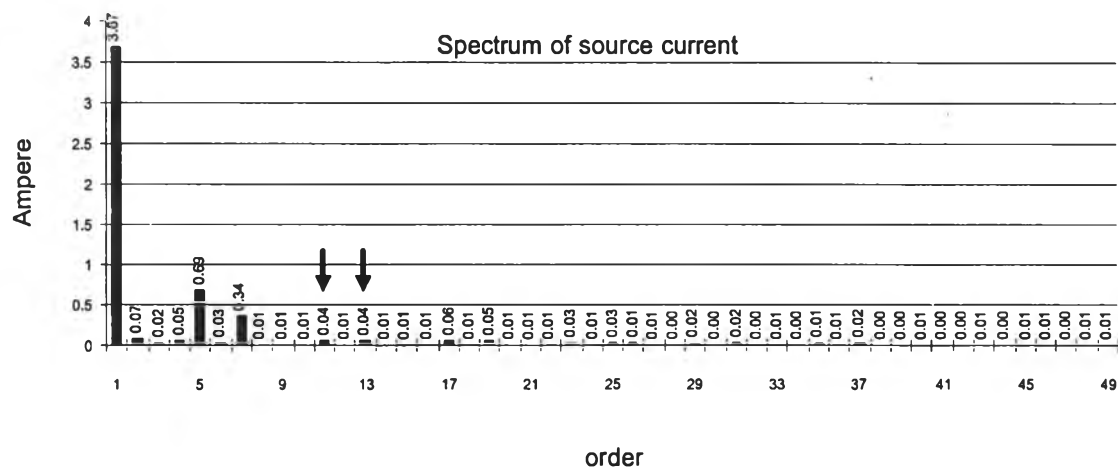
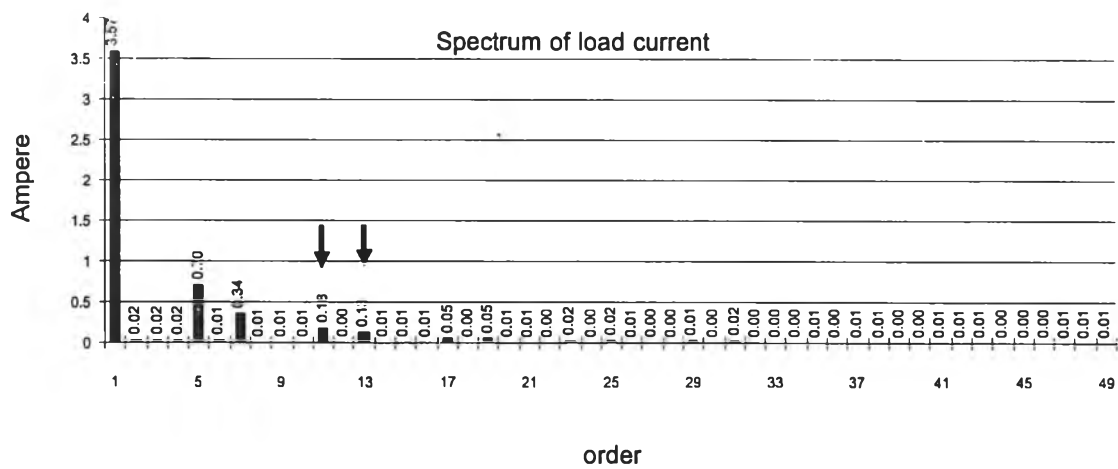
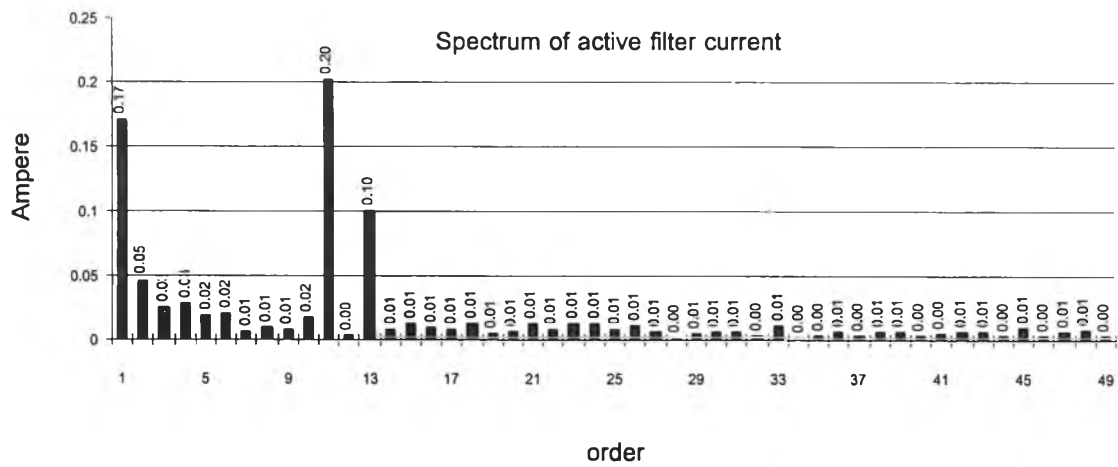
รูปที่ 6.23 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



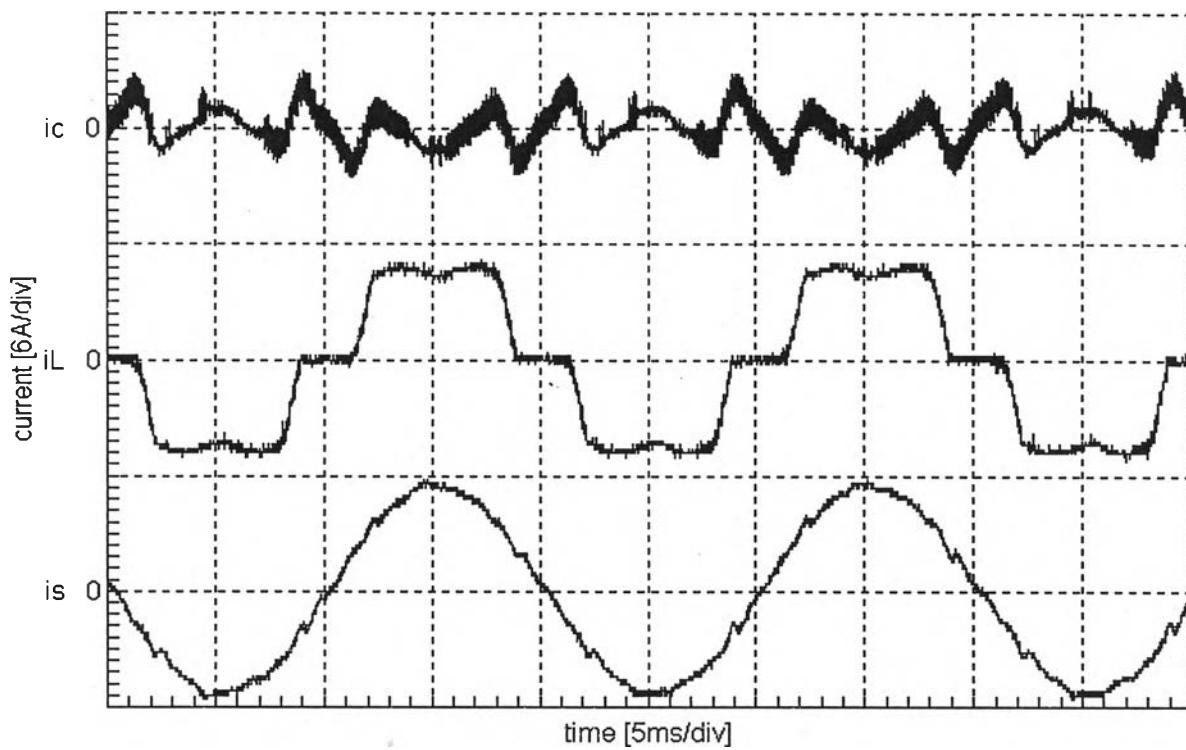
รูปที่ 6.24 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ชัดชัดผลของเวลาประวิง



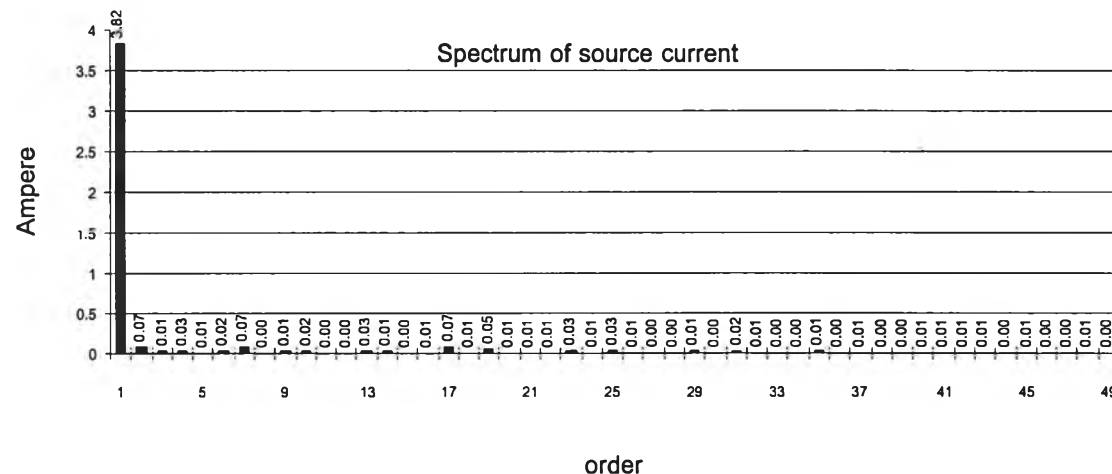
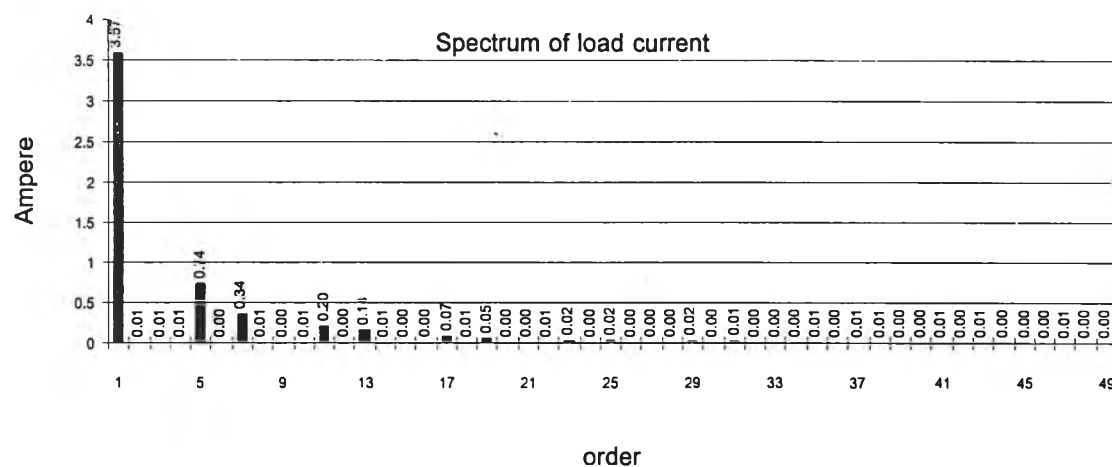
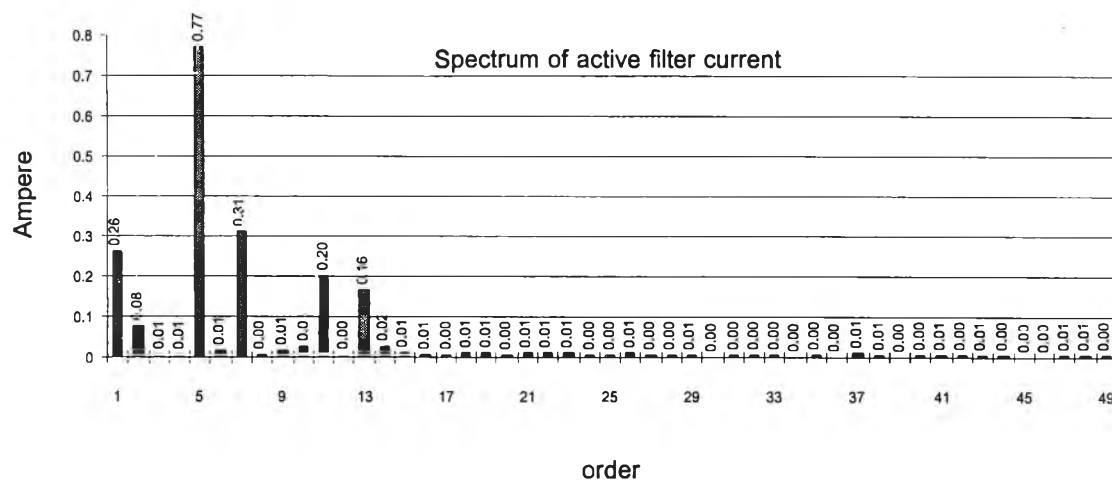
รูปที่ 6.25 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.26 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังค์กระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ซดเซพผลของเวลาประเวิง



รูปที่ 6.27 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 7 11 และ 13 ซดเซพผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.28 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 7 11 และ 13 ชุดเซตผลของเวลาประวิง

2. การทดลองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับต่างๆโดยใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบในการตรวจ จับฮาร์มอนิก

ในการทดลองกลุ่มนี้เราจะทำการทดลองโดยใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบเฉพาะที่มีการชดเชยผลของเวลาประวิงเท่านั้น

2.1 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ

ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.29 และ 6.30 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานที่ได้จะเห็นว่าวงจรกรองกำลัง แอक्तिไฟในลักษณะนี้สามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกจนทำให้กระแสทางด้านแหล่งจ่ายมีลักษณะ ใกล้เคียงไซน์มากขึ้น โดยพิจารณาได้จากค่า THD ของกระแสทางด้านโหลด 23.91% ลดลงเหลือ 5.83% ที่กระแสด้านแหล่งจ่าย เมื่อเราพิจารณาการลดทอนของกระแสฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับจะ พบว่า การลดทอนฮาร์มอนิกจะทำได้เท่าเทียมกับการใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบ โดยสังเกต ได้จากปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่เหลืออยู่ทางด้านแหล่งจ่ายเมื่อเทียบกับกระแสโหลด โดยที่ ฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.12 ในขณะที่ค่าอัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ ของฮาร์มอนิกที่ 11 มีค่าเท่ากับ 0.27 และค่าอัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=17}$ ของ ฮาร์มอนิกที่ 17 มีค่าเท่ากับ 0.625 และแสดงให้เห็นว่าวงจรกรองกำลังแอक्तिไฟจะยังคงมีลักษณะ สมบัติในการกรองฮาร์มอนิกอันดับสูงไม่ดีเท่ากับฮาร์มอนิกอันดับต่ำ

2.2 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 5

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.31 และรูปที่ 6.32 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอक्तिไฟสามารถลดกระแส ฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จาก 0.74 A เหลือ 0.03 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.04

2.3 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 7

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.33 และ 6.34 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอक्तिไฟสามารถลดกระแส ฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 จาก 0.36 A เหลือ 0.03 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=7}$ มีค่าเท่ากับ 0.08

2.4 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 11

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.35 และ 6.36 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 จาก 0.16A เหลือ 0.05A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.31

2.5 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 13

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.37 และ 6.38 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 จาก 0.12 A เหลือ 0.03 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=13}$ มีค่าเท่ากับ 0.25

2.6 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 5 และ 7

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.39 และ 6.40 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จาก 0.73 A เหลือ 0.03 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.04 กระแสฮาร์มอนิกที่ 7 ลดลงจาก 0.31 A เหลือ 0.06 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=7}$ มีค่าเท่ากับ 0.19

2.7 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 11 และ 13

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.41 และ 6.42 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 จาก 0.19 A เหลือ 0.04 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.21 กระแสฮาร์มอนิกที่ 13 ลดลงจาก 0.13 A เหลือ 0.03 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=13}$ มีค่าเท่ากับ 0.23

2.8 วงจรกรองกำลังกระแสฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับที่ 5 7 11 และ 13

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบ ได้ดังรูปที่ 6.43 และ 6.44 ตามลำดับ เราจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 7 11 และ 13 ได้ตามต้องการ โดยจะลดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จาก 0.73 A เหลือ 0.02 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.03 กระแสฮาร์มอนิกที่ 7 ลดลงจาก 0.33 A เหลือ 0.04 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=7}$ มีค่าเท่ากับ 0.12 กระแสฮาร์มอนิกที่ 11 ลดลง

จาก 0.20 A เหลือ 0.02 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.10 กระแสฮาร์มอนิกที่ 13 ลดลงจาก 0.13 A เหลือ 0.05 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=13}$ มีค่าเท่ากับ 0.38

ผลการทดลองในหัวข้อที่ 2 นี้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการกรองที่ดีของวงจรกรองกำลัง แอ็กทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบในการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกซึ่งไม่ด้อยไปกว่าการใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบ ผลการกำจัดฮาร์มอนิกทั้ง 2 กรณีแสดงสรุปได้ในตารางที่ 6.1

การทดสอบการกำจัดฮาร์มอนิกทุกอันดับในการทดลองที่ 1.1 และ 2.1 จะพบว่าสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้คืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ภายใต้มาตรฐาน(IEEE 519-1992) ดังแสดงค่าฮาร์มอนิกที่สำคัญและค่า THD ตามตารางที่ 6.1 แต่อย่างไรก็ตามสำหรับฮาร์มอนิกอันดับสูงวงจรกรองกำลังก็อาจให้ผลการกรองที่ไม่ดี ในบางอันดับกระแสฮาร์มอนิกอาจมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของเวลาประวิงซึ่งจะมีอิทธิพลทำให้เกิดการเลื่อนของเฟสของฮาร์มอนิกอันดับสูงค่อนข้างมากซึ่งทำให้กระแสที่จ่ายออกมาขององค์ประกอบความถี่สูงอาจจะมีเฟสไม่ตรงและไม่หักล้างพอดีกับกระแสฮาร์มอนิกจากโหลด เราอาจปรับปรุงการทำงานของวงจรกรองกำลังแอ็กทีฟที่กำจัดฮาร์มอนิกทุกอันดับให้มีคุณสมบัติดีขึ้นได้ โดยต่อวงจรกรองพาสซีฟช่วยกรองกระแสฮาร์มอนิกอันดับสูง($h>21$)เหล่านี้ออกไปด้วย

เนื่องจากกระแสโหลดของเรามีฮาร์มอนิกสำคัญที่มีค่ามากกว่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานเพียง 4 อันดับคือ 5 7 11 และ 13 การทดลองที่ 1.8 และ 2.8 ได้ทำการทดลองกำจัดเฉพาะฮาร์มอนิกเหล่านี้เท่านั้นซึ่งก็มีข้อดีคือ

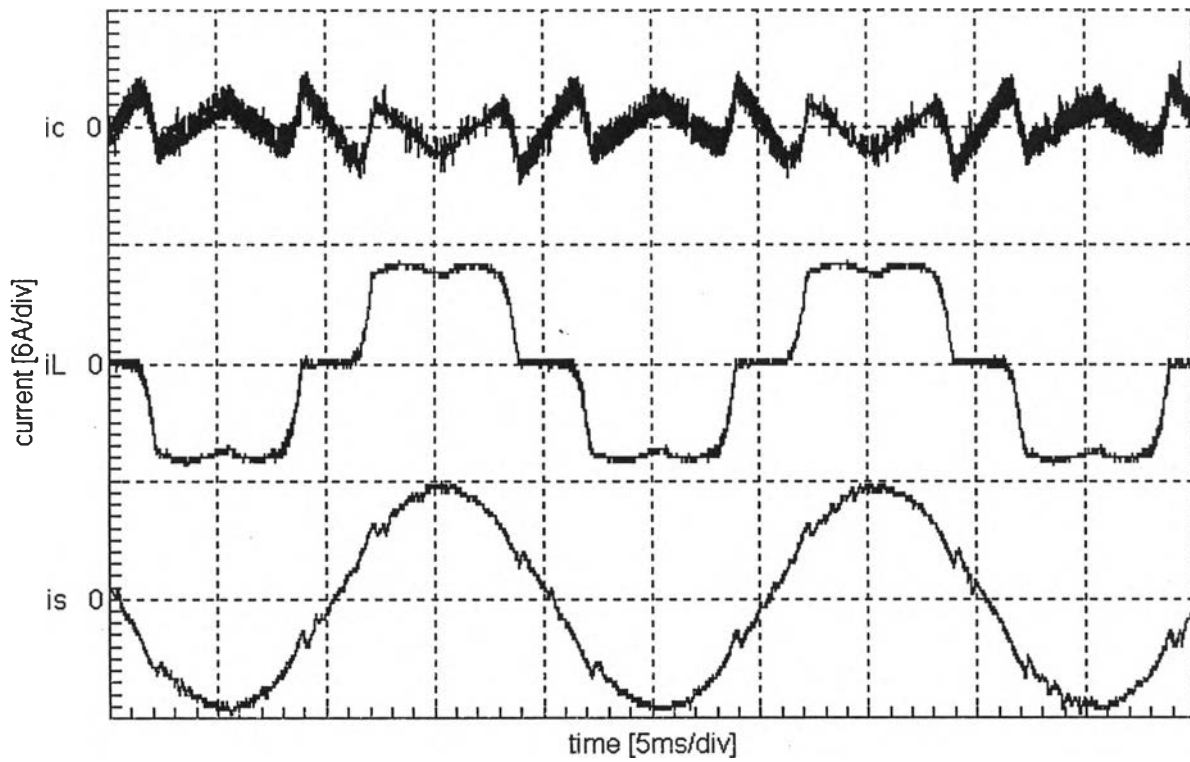
- 1) ชดเชยผลของเวลาประวิงได้
- 2) ไม่ต้องสร้างกระแสฮาร์มอนิกอันดับสูงซึ่งมีค่าน้อยและวงจรกรองกำลังก็ไม่มีวามแม่นยำในการตรวจจับและสร้างกระแสฮาร์มอนิกอันดับสูงเหล่านี้

เราจะเห็นได้จากผลการทดลองและตารางที่ 6.1 ว่า การเลือกกำจัดฮาร์มอนิกเพียง 4 อันดับนี้จะให้ผลดีที่สุด มีค่า THD ที่ต่ำที่สุด สามารถกำจัดฮาร์มอนิกอันดับต่ำได้ดีและยังมีฮาร์มอนิกอันดับสูงน้อยกว่าการใช้วงจรกรองกำลังแอ็กทีฟที่กำจัดฮาร์มอนิกทุกอันดับด้วย วงจรกรองกำลังในลักษณะนี้จึงมีความเหมาะสมในการใช้งาน

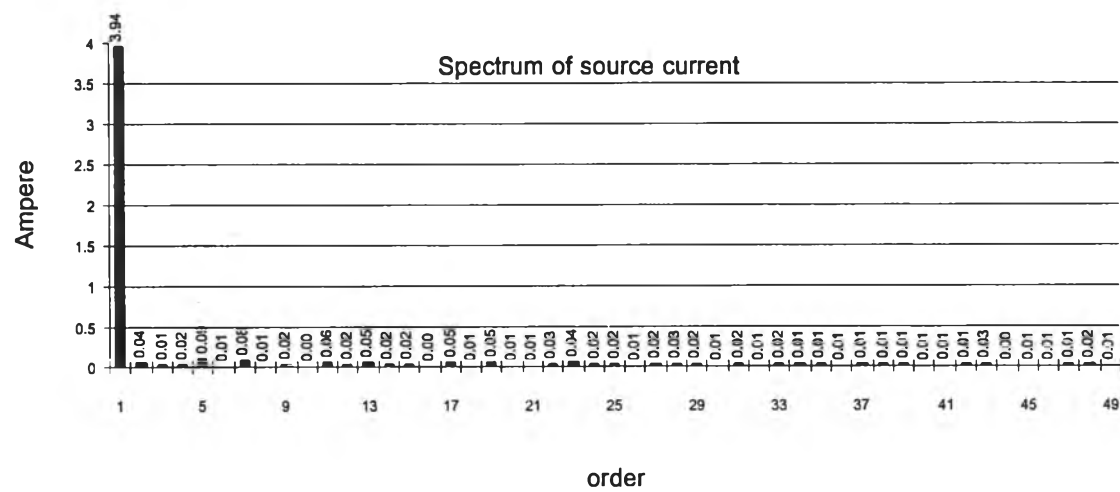
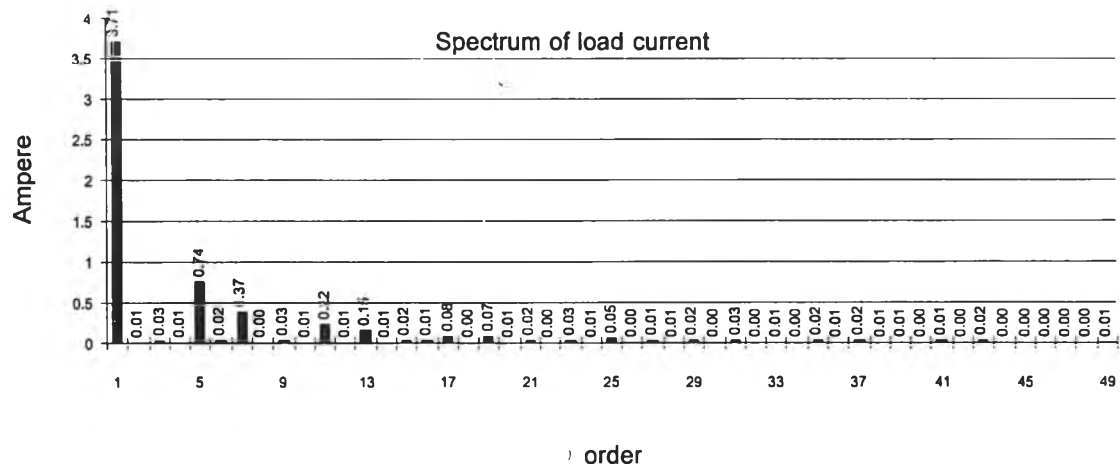
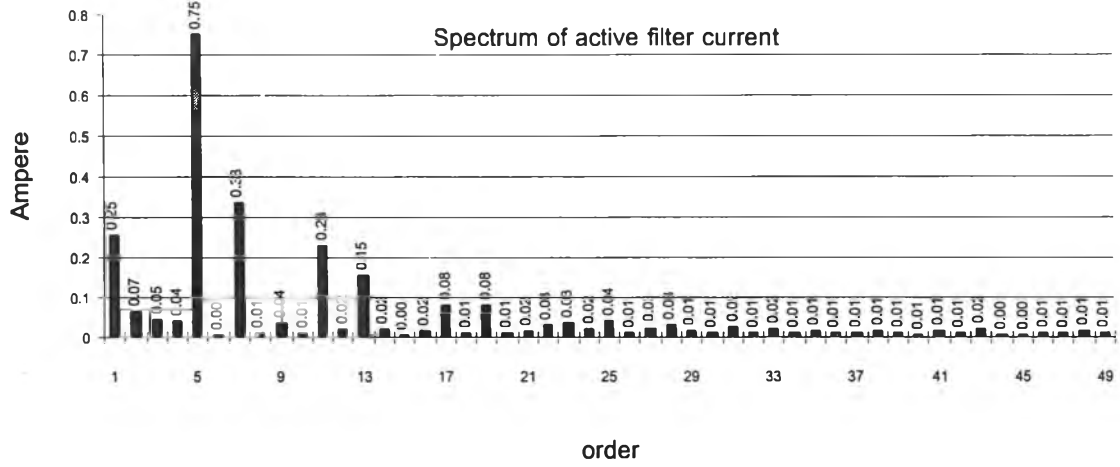
ในกรณีที่เรามี kVA ของวงจรกรองกำลังแอ็กทีฟที่จำกัดเราอาจเลือกกำจัดฮาร์มอนิกเฉพาะบางอันดับที่สำคัญ 1 หรือ 2 อันดับ ผลการทดลองในหัวข้อที่ 1 และ 2 ยืนยันถึงคุณลักษณะที่ดีของวงจรกรองกำลังแอ็กทีฟที่ใช้ Recursive DFT ในการเลือกกำจัดฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับซึ่งสามารถลดฮาร์มอนิกในอันดับที่ต้องการให้อยู่ภายในมาตรฐานที่ยอมรับได้และในบางกรณียังให้ค่า THD ที่อยู่ในมาตรฐานด้วยดังแสดงตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์โมนิกและค่าองค์ประกอบความถี่ฮาร์โมนิกรวมของ กระแสทางด้านแหล่งจ่ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกด้วย Recursive DFT ที่ใช้คาบการสุ่ม 55.6 ไมโครวินาทีสำหรับกรณีกำจัดฮาร์โมนิกทุกอันดับ และ 1 อันดับ 83.1 ไมโครวินาทีกรณีกำจัด 2 อันดับและ 196.1 ไมโครวินาทีกรณีกำจัด 4 อันดับ

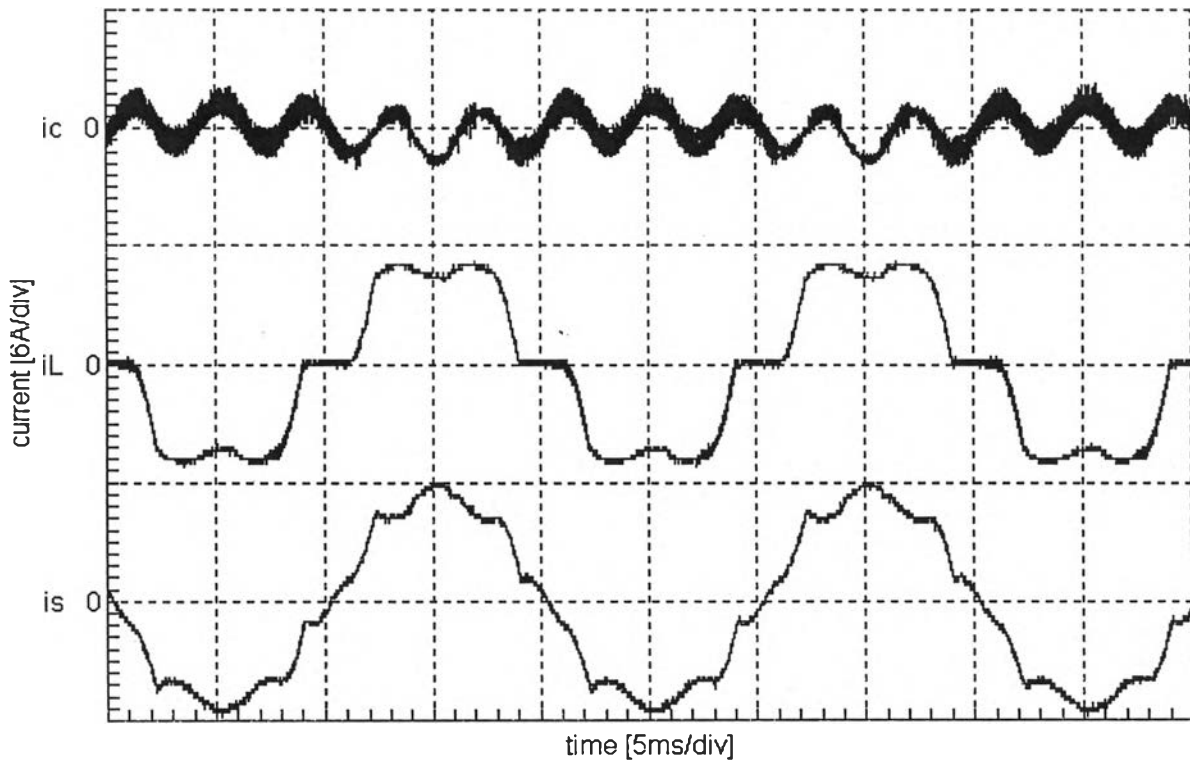
order		1	5	7	11	13	17	19	THD
no filter		100	18.48	9.96	4.19	3.09	1.21	1.08	22.28
AF with DFT 1 period	eliminated harmonics								
	all orders	100	2.25	2.32	1.25	1.35	1.32	1.22	6.33
	5	100	1.82	7.83	4.11	2.95	0.73	1.08	10.35
	7	100	17.56	1.24	4.33	2.95	1.06	1.09	19.00
	11	100	19.06	9.60	1.60	2.94	1.02	1.29	22.03
	13	100	18.90	9.14	3.70	1.00	1.19	1.20	21.77
	5,7	100	0.83	1.56	4.46	2.82	1.16	1.31	7.48
	11,13	100	18.72	9.35	1.10	1.03	1.70	1.36	21.45
	5,7,11,13	100	0.21	1.84	0.12	0.66	1.92	1.33	5.30
	AF with DFT 1/6 period	all orders	100	2.30	2.10	1.54	1.19	1.24	1.35
5		100	0.89	7.53	3.94	3.07	0.74	1.16	10.00
7		100	17.68	0.81	4.22	2.86	0.97	1.29	19.03
11		100	18.81	9.58	1.33	2.64	1.18	1.07	21.77
13		100	18.89	9.15	3.81	0.76	1.23	1.15	21.77
5,7		100	0.74	1.56	4.44	2.89	1.13	1.33	7.28
11,13		100	18.94	9.11	0.98	0.85	2.00	1.41	21.59
5,7,11,13		100	0.59	1.11	0.46	1.33	1.79	1.40	5.08



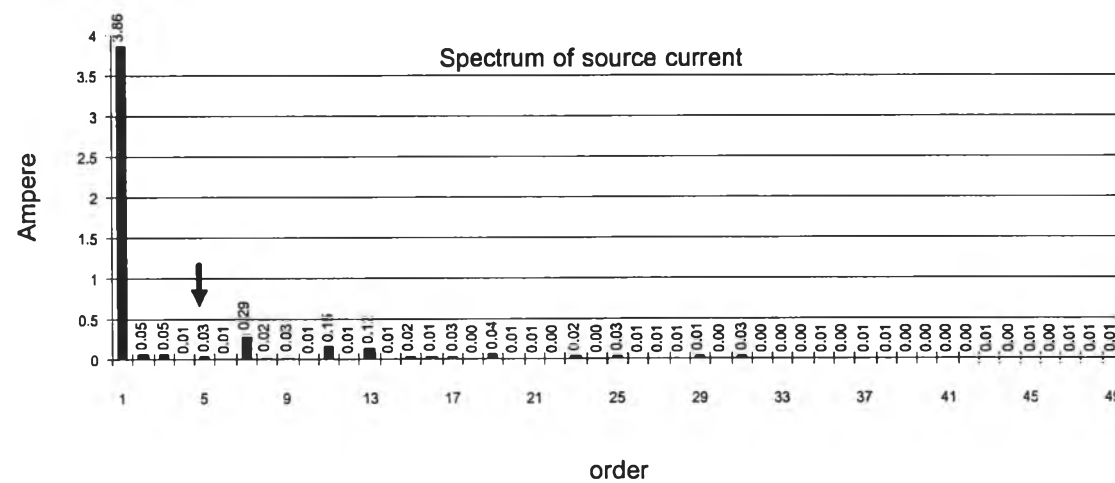
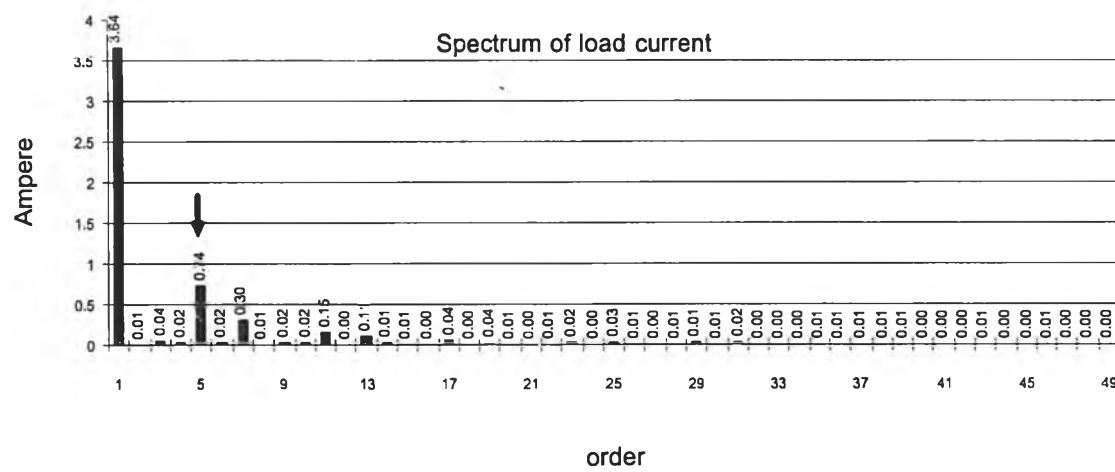
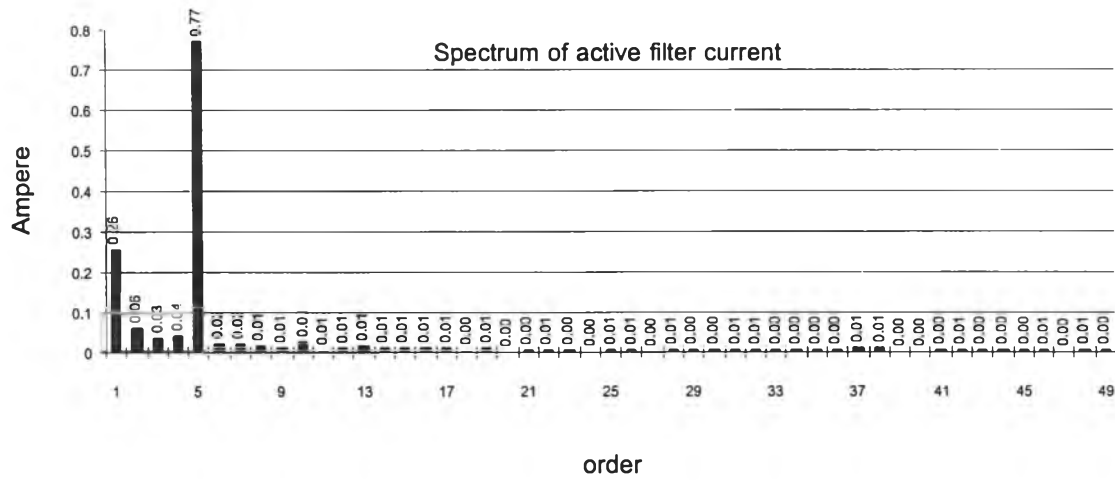
รูปที่ 6.29 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ



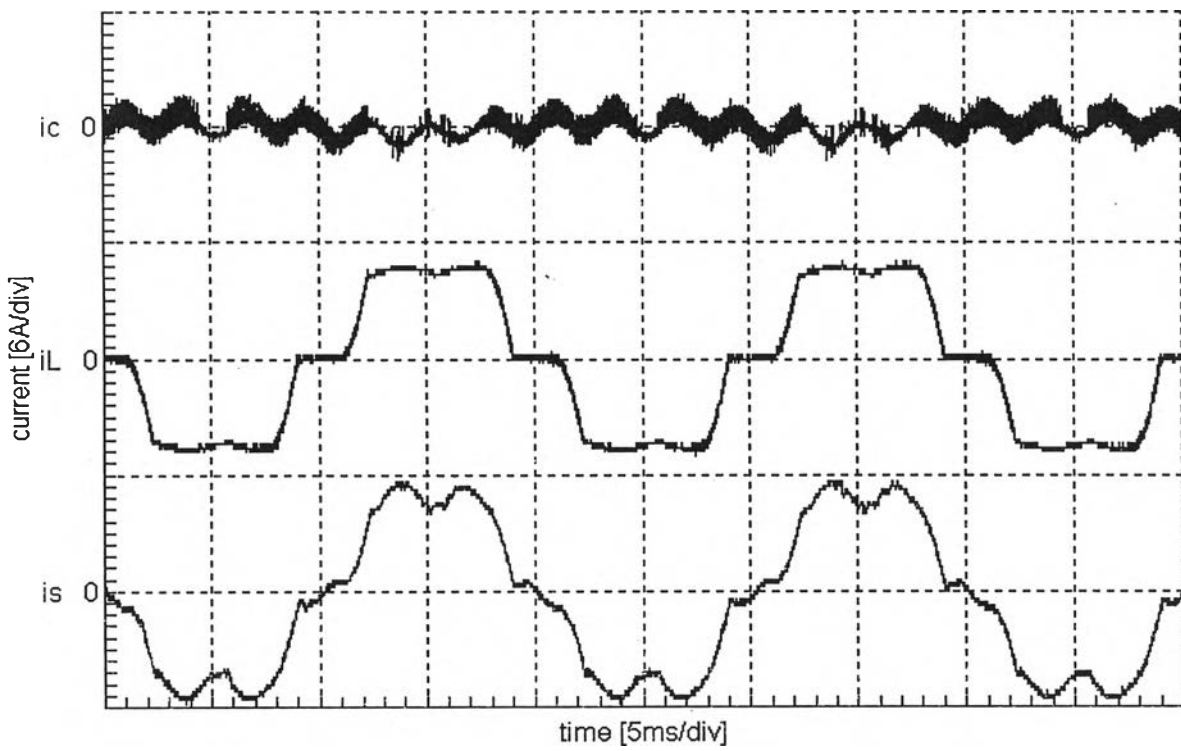
รูปที่ 6.30 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ



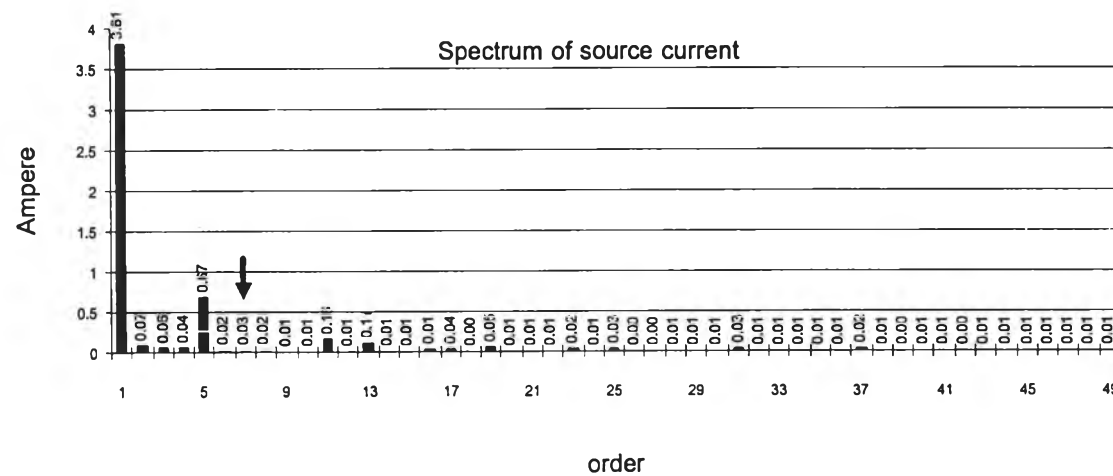
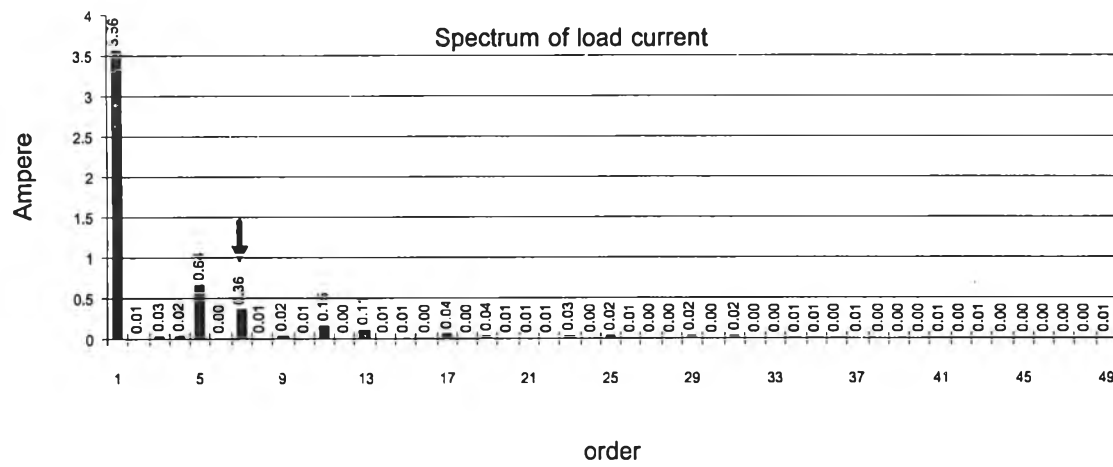
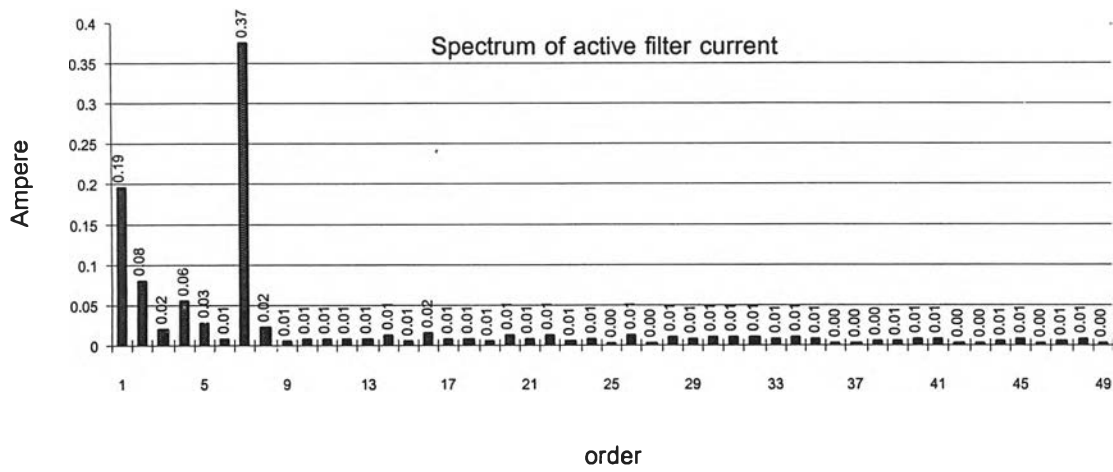
รูปที่ 6.31 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



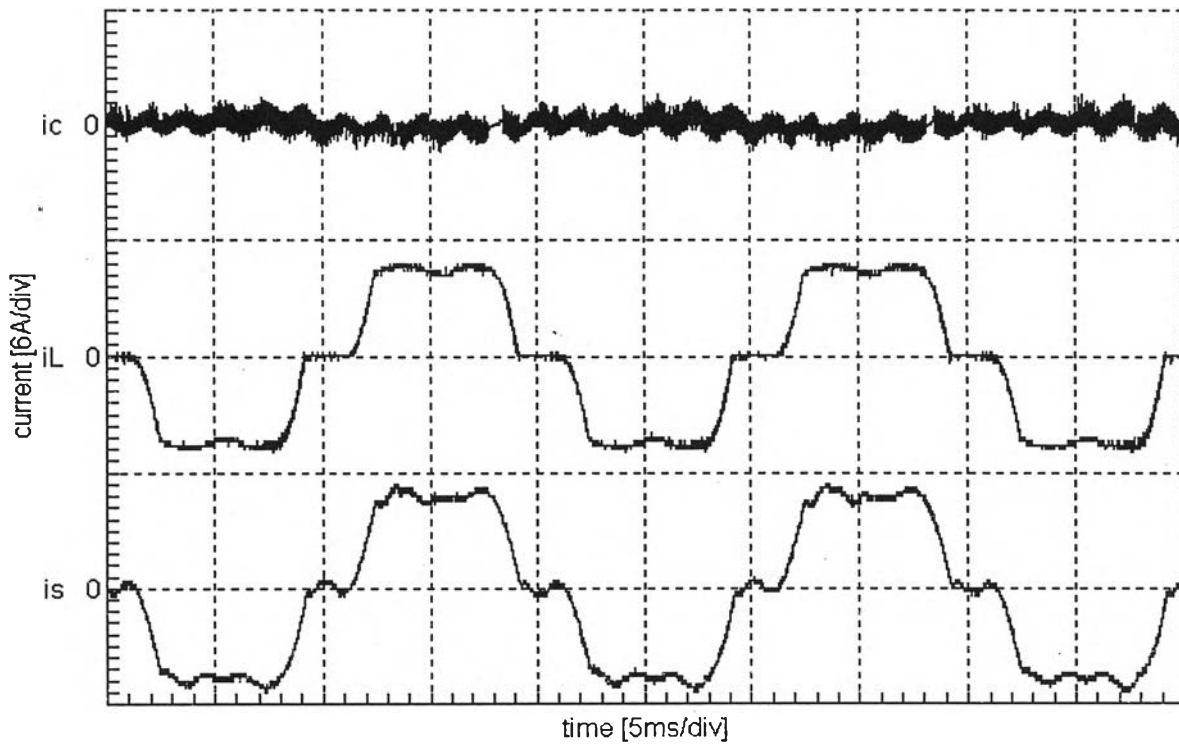
รูปที่ 6.32 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



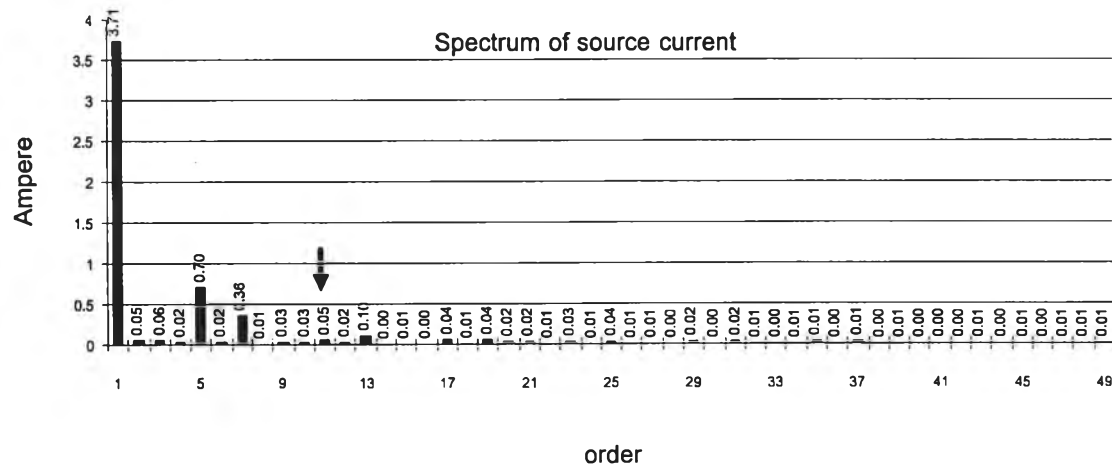
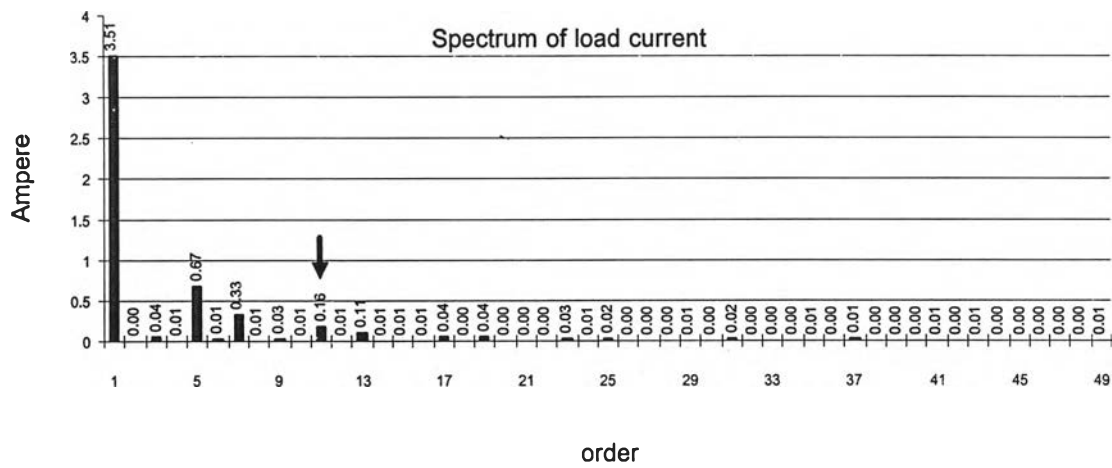
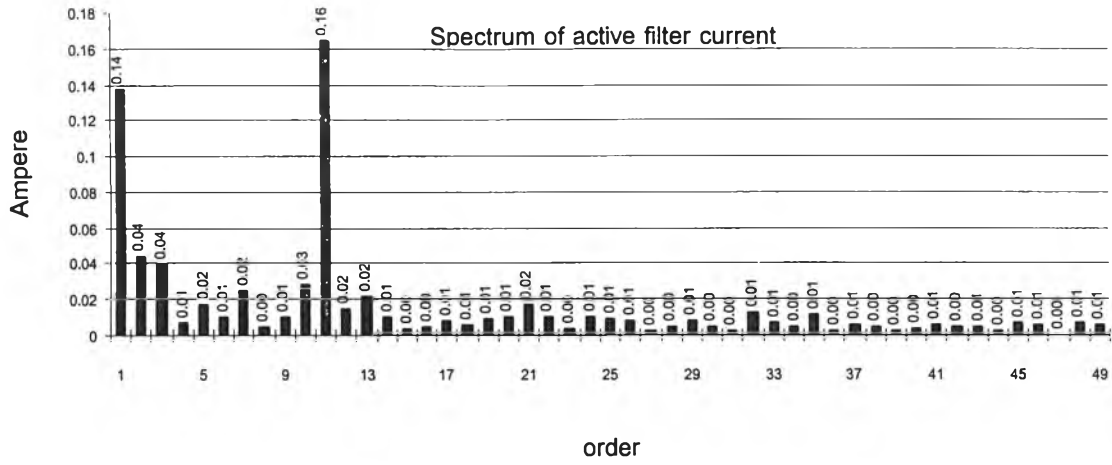
รูปที่ 6.33 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ซดเซขผลของเวลาประวิง



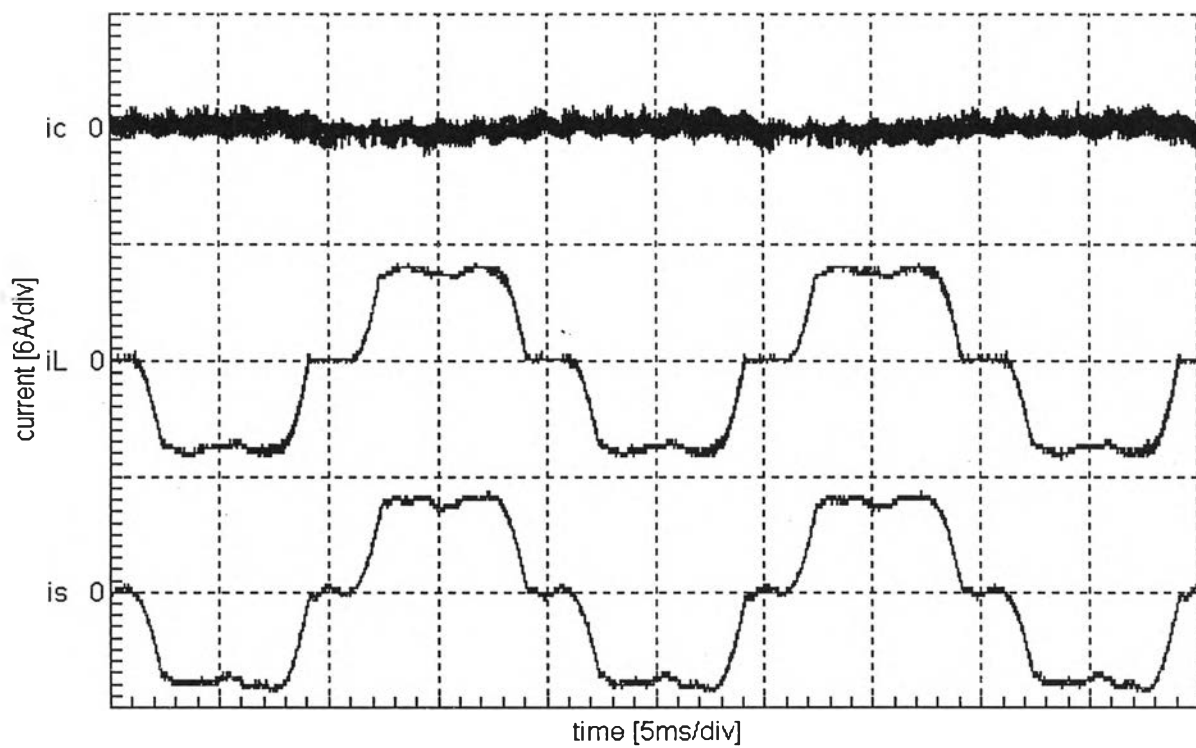
รูปที่ 6.34 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 ขดเซพผลของเวลาประวิง



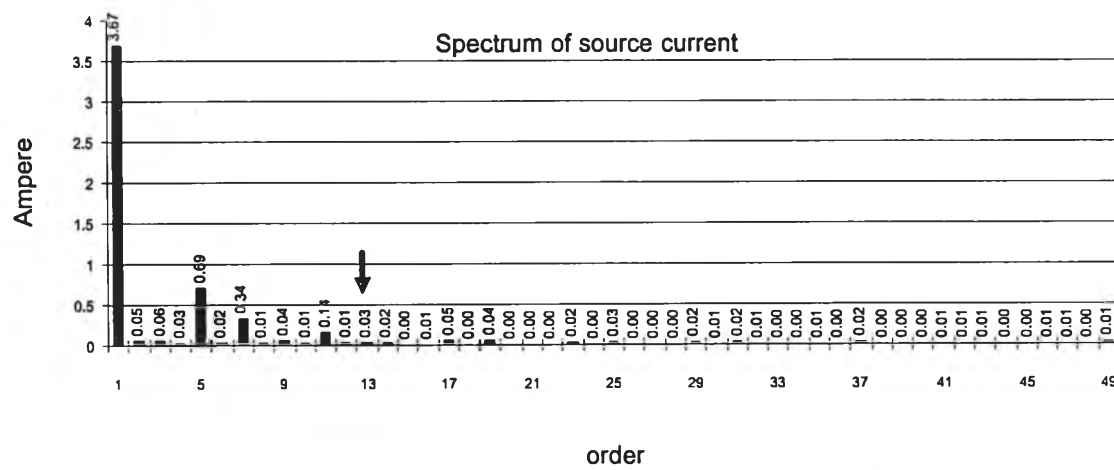
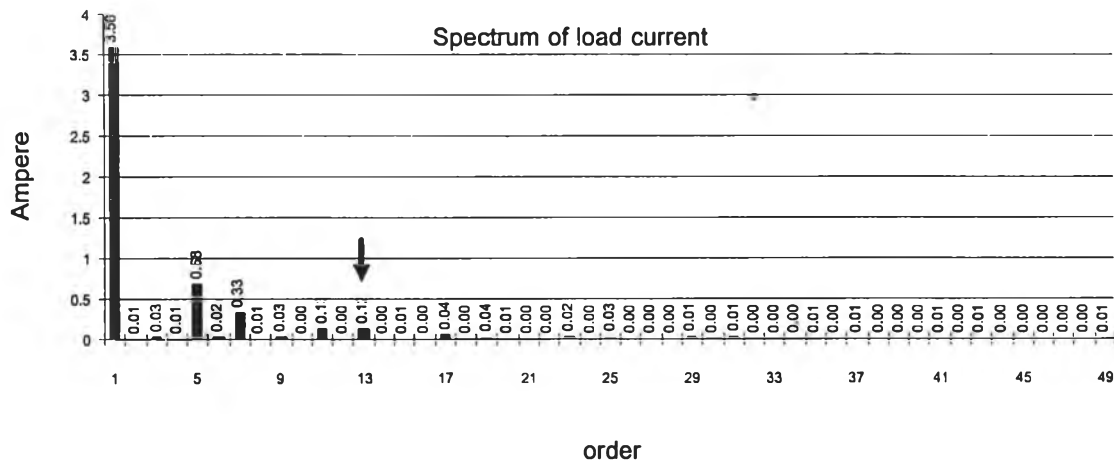
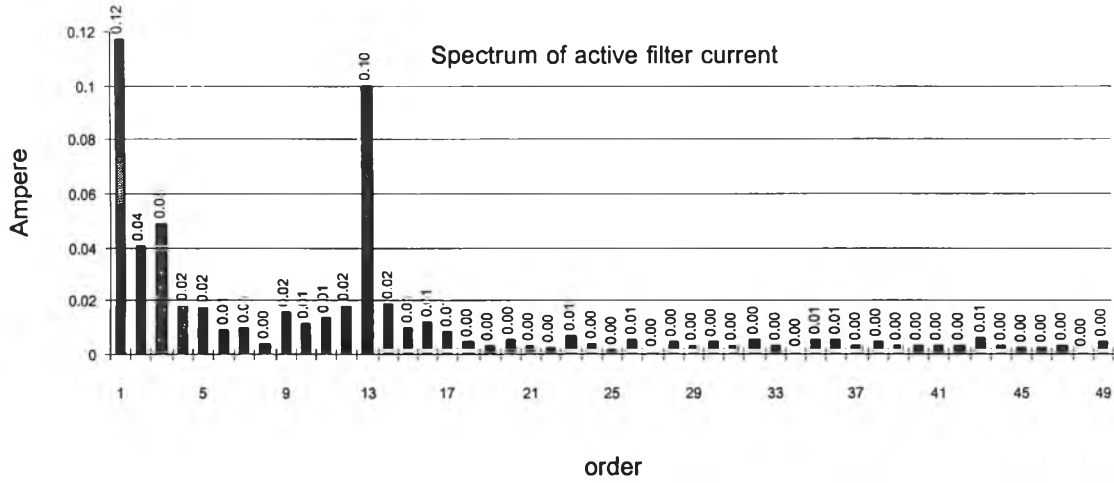
รูปที่ 6.35 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ซดเซยผลของเวลาประวิง



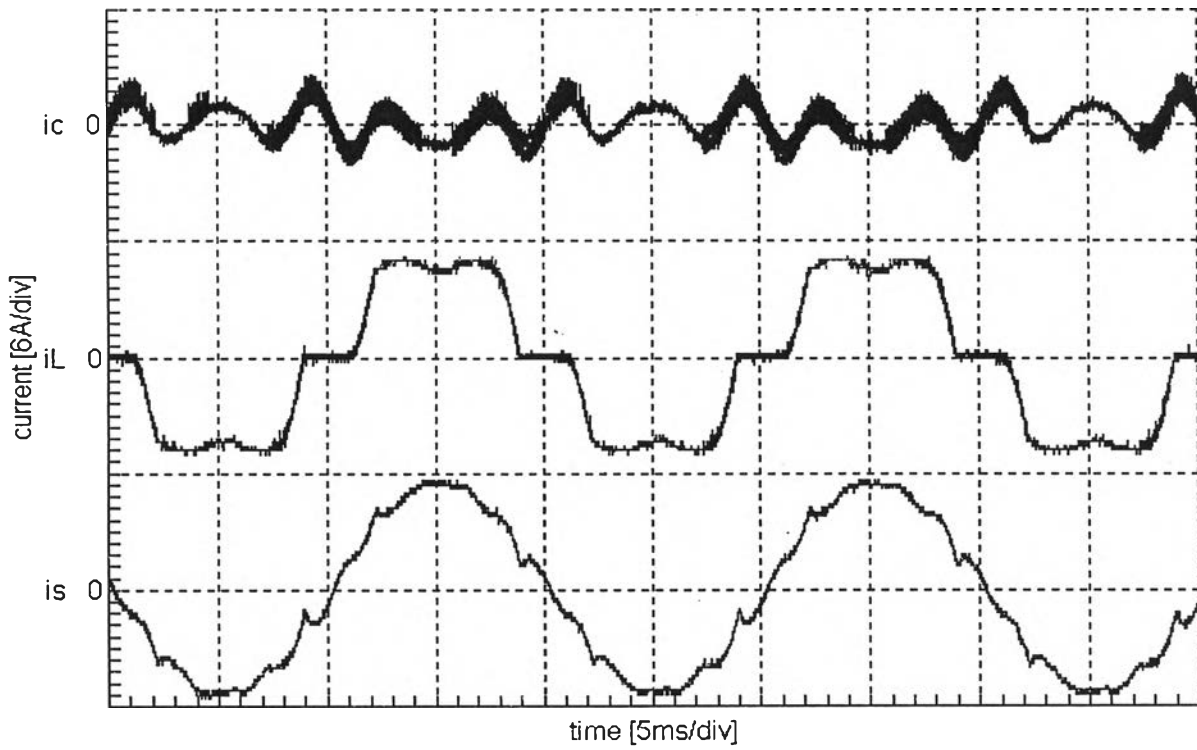
รูปที่ 6.36 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจักรกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ซดเซยผลของเวลาประวง



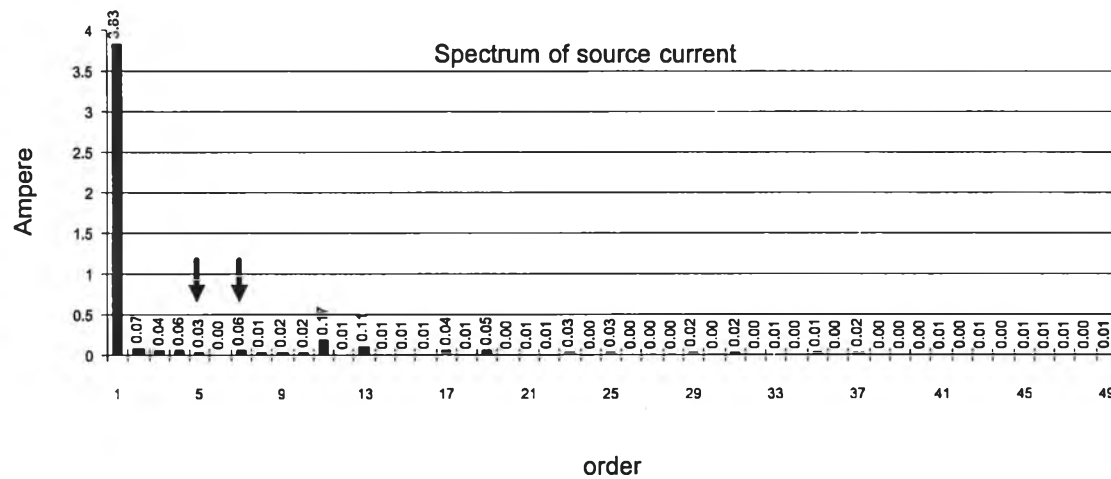
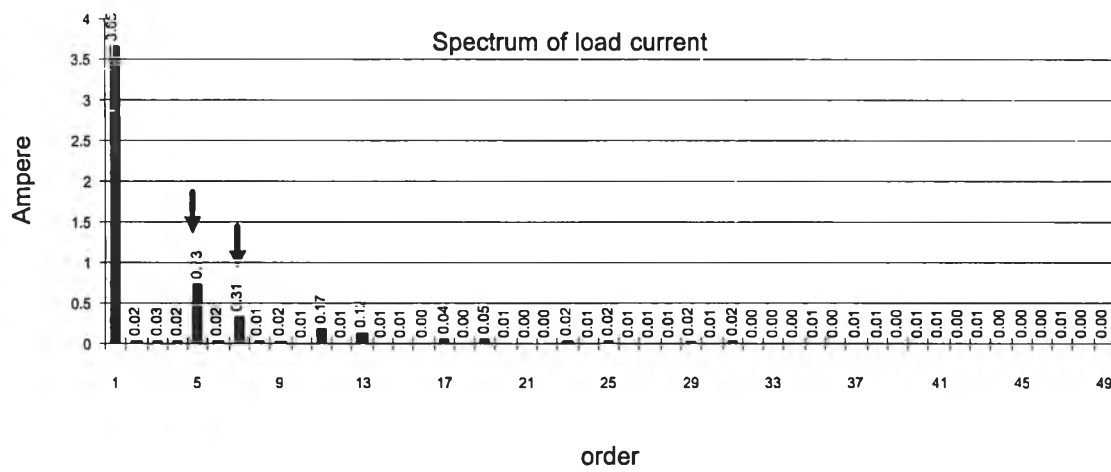
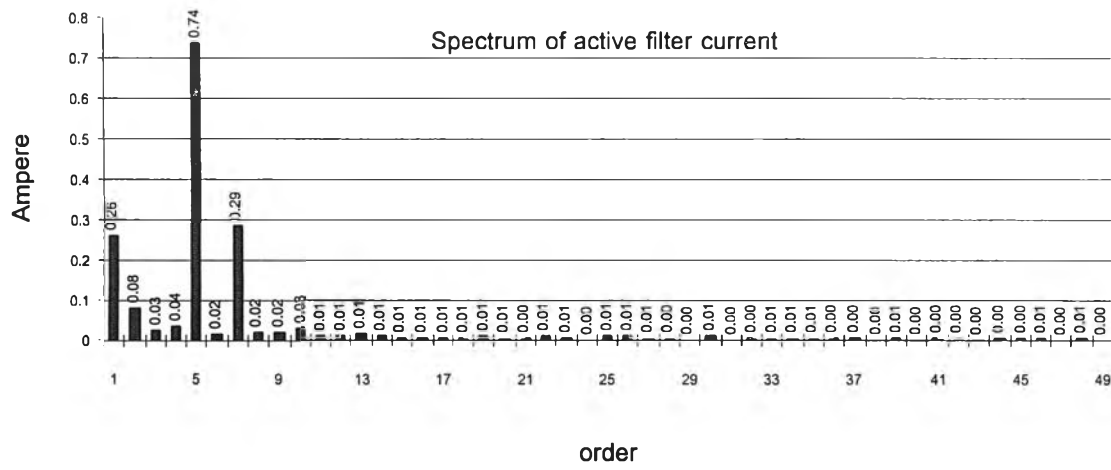
รูปที่ 6.37 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ซดเซพผลของเวลาประวิง



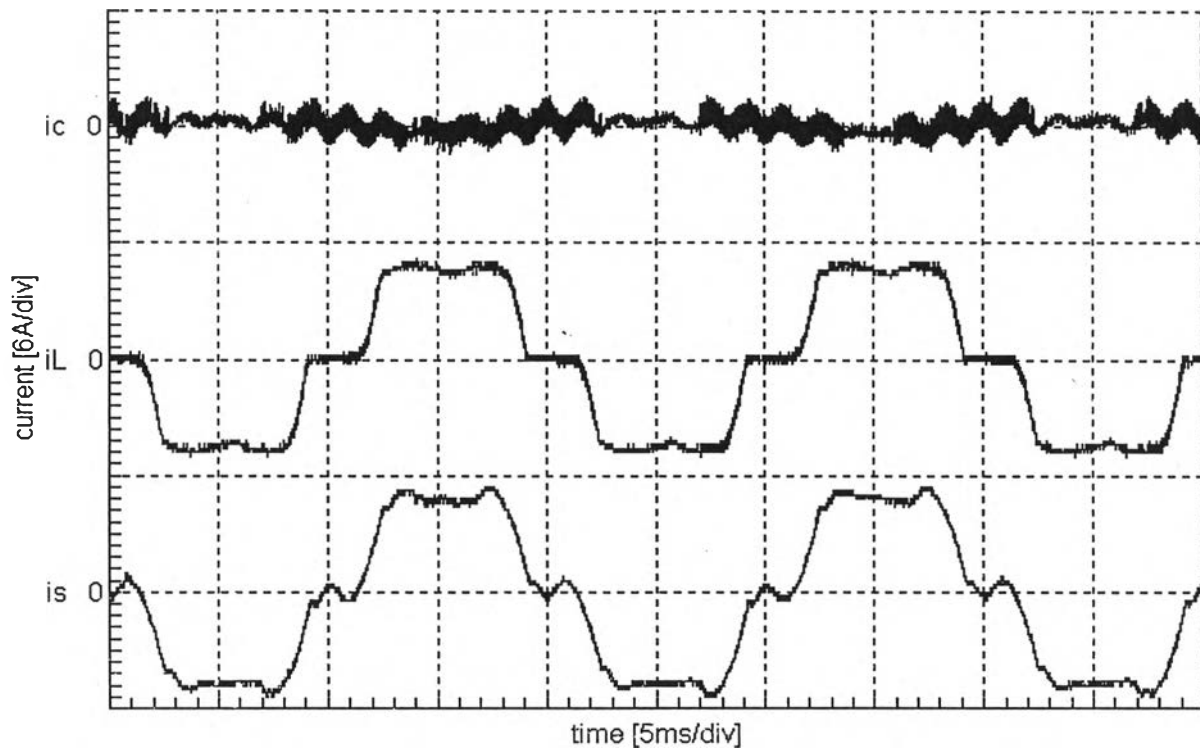
รูปที่ 6.38 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 13 ซดเซกผลของเวลาประวิง



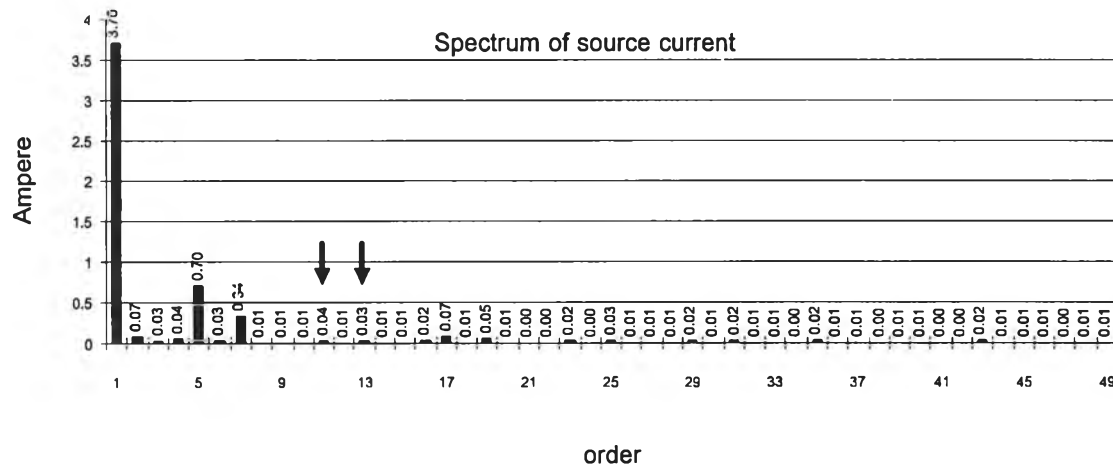
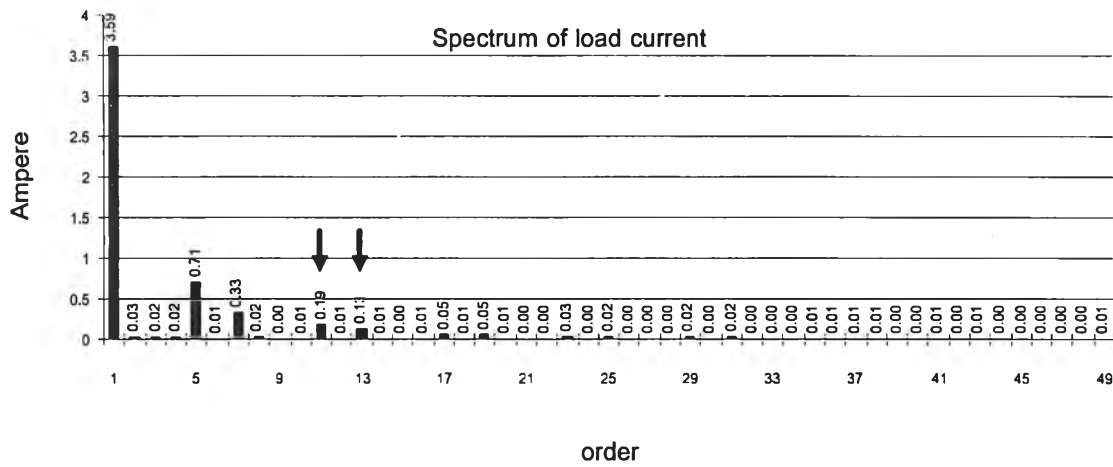
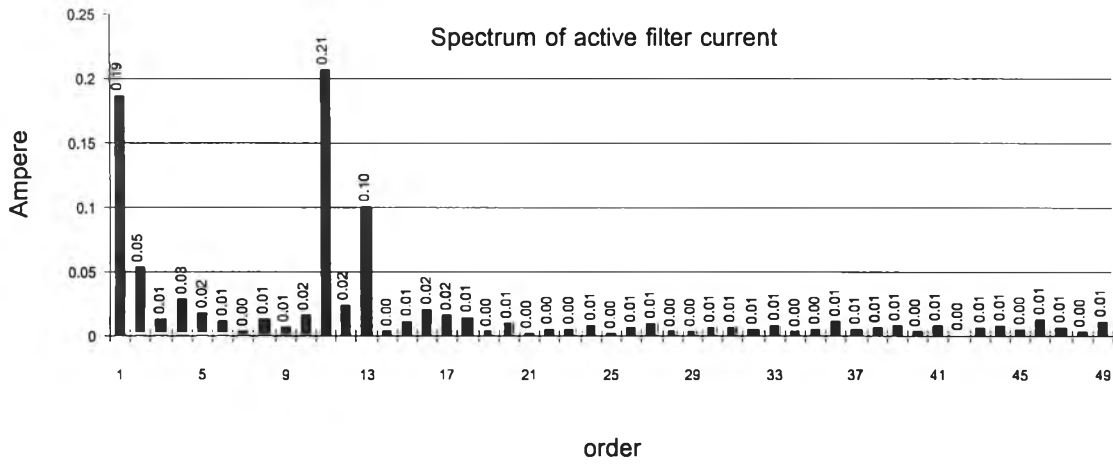
รูปที่ 6.39 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ซดเซยผลของเวลาประวิง



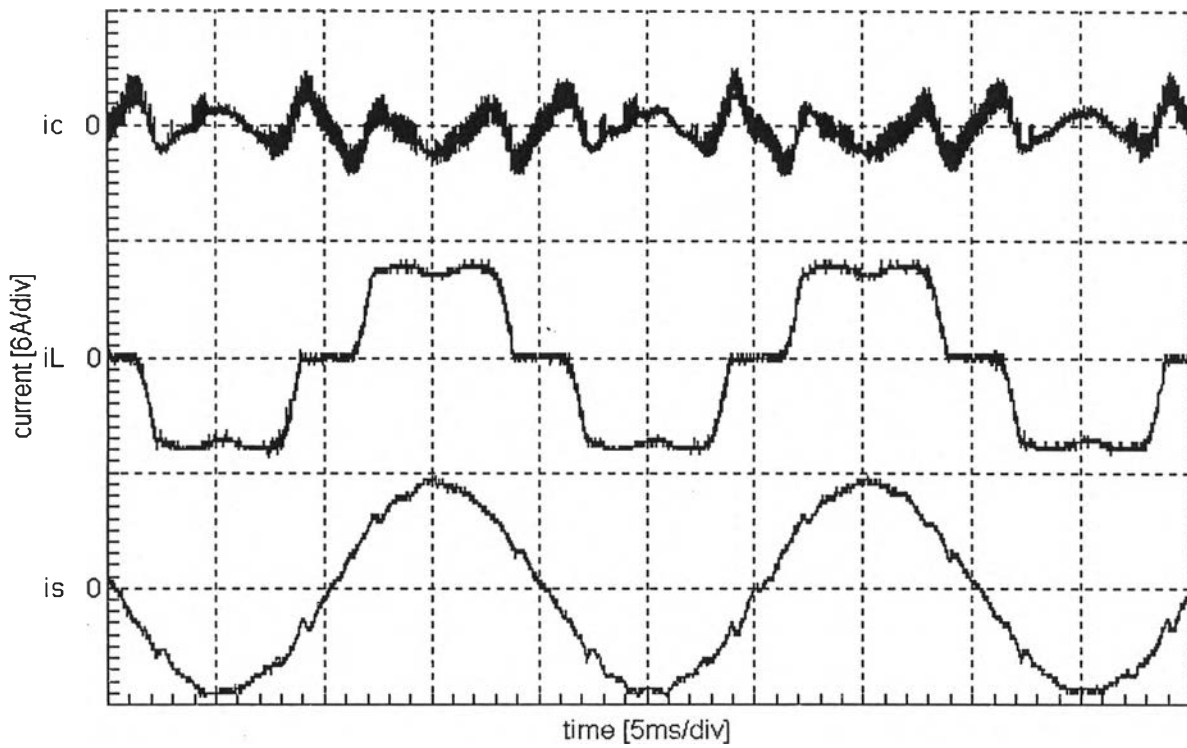
รูปที่ 6.40 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังตัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ซดเซพผลของเวลาประวิง



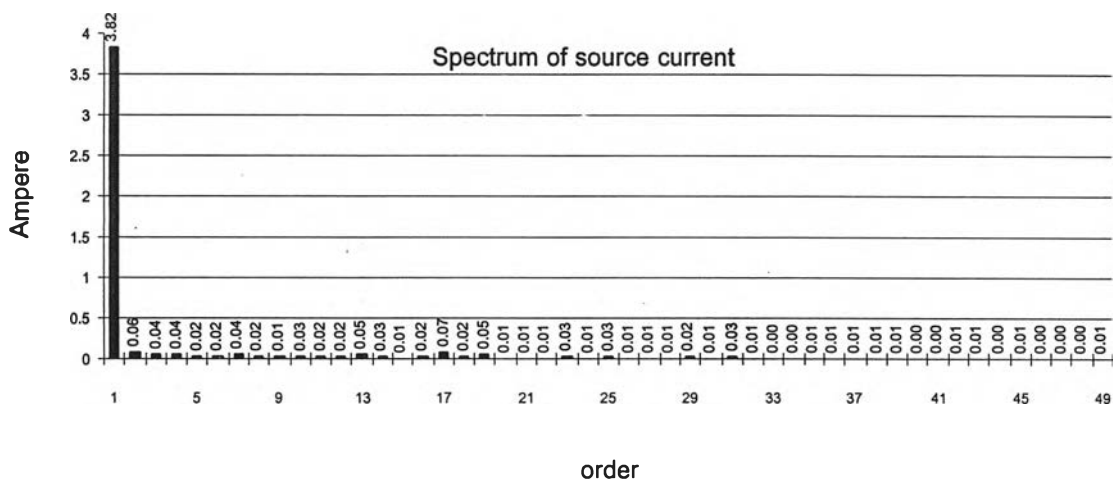
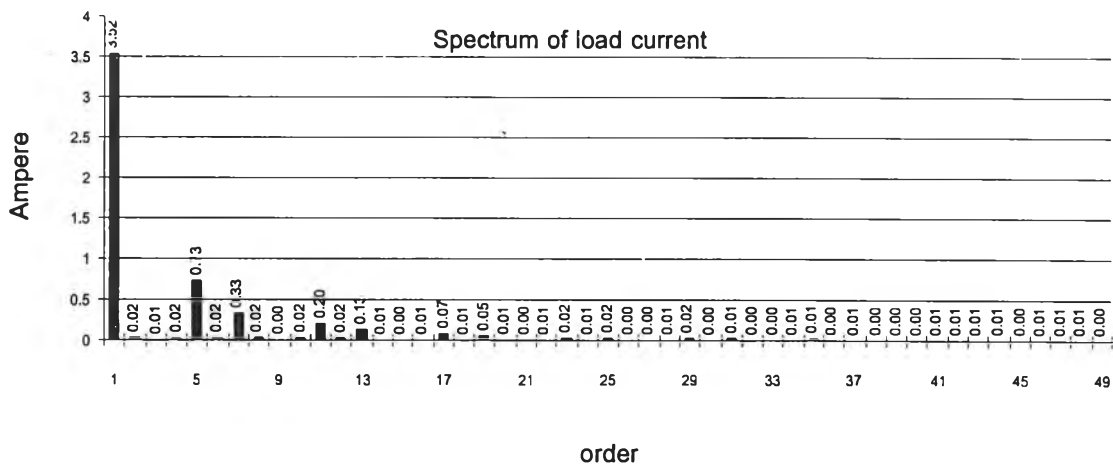
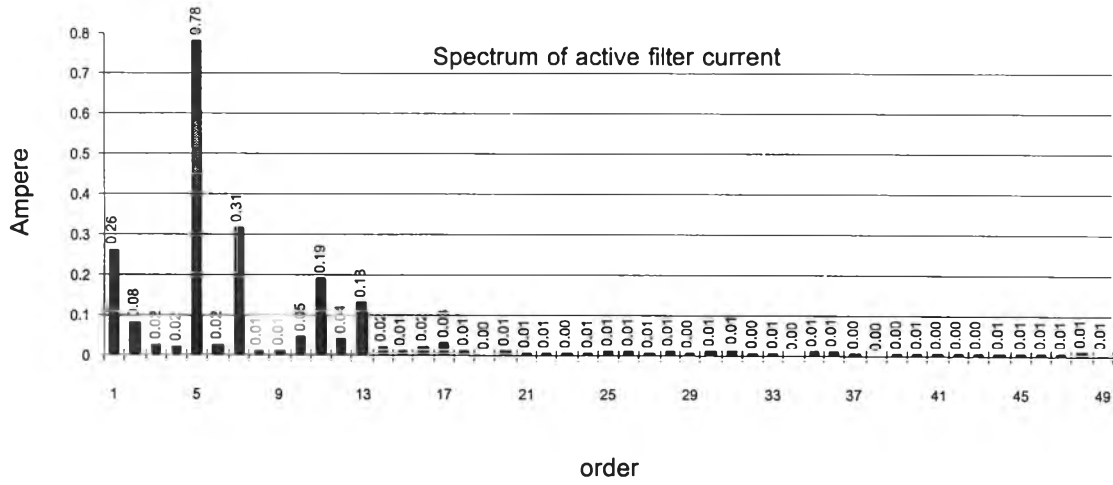
รูปที่ 6.41 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ซดเซพผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.42 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจักรกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 และ 13 ซดเซพผลของเวลาประเวง



รูปที่ 6.43 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 7 11 และ 13 ซดเซยผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.44 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่กำลังจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 7 11 และ 13 ซดเซยผลของเวลาประเวิง

3. การทดลองกำจัดฮาร์มอนิกโดยใช้ตัวตรวจจับที่มีคาบการสุ่มต่างๆกัน

ในการทดลองนี้เราจะใช้วงจรกรองกำลังที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบทดลองกำจัดฮาร์มอนิก 1 อันดับ โดยจะทดสอบกับฮาร์มอนิกอันดับ 5 ซึ่งเป็นอันดับต่ำ และฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ซึ่งเป็นอันดับค่อนข้างสูงเพื่อศึกษาถึงผลของคาบการสุ่มที่มีต่อคุณสมบัติการกรอง เราจะทำการทดสอบการทำงานทั้งที่มีการชดเชยและไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง

3.1 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ใช้คาบการสุ่ม 81.3 ไมโครวินาที

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.45 เมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.46 เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของกระแสที่ได้ทั้ง 2 กรณีแสดงในรูปที่ 6.47 และ 6.48 ตามลำดับ ในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จะลดลงจาก 0.75 A เหลือ 0.16 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.21 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดลงจาก 0.73 A เหลือเพียง 0.04 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.05 เราจะเห็นได้ว่าคุณสมบัติการกรองเมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะไม่ค่อยดีนัก แต่เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิงแล้วจะได้ผลการกรองที่ดีไม่ด้อยไปกว่าการใช้คาบการสุ่ม 55.6 ไมโครวินาที

3.2 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.49 เมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.50 เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของกระแสที่ได้ทั้ง 2 กรณีแสดงดังรูปที่ 6.51 และ 6.52 ตามลำดับ ในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จะลดลงจาก 0.74 A เหลือ 0.19 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.26 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดลงจาก 0.73 A เหลือเพียง 0.02 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.03 ในกรณีที่ไม่มีชดเชยผลของเวลาประวิงความยาวของคาบเวลาการสุ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้วงจรกรองกำลังมีคุณสมบัติการกรองแยกลง แต่เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิงแล้วคุณสมบัติการกรองที่ได้จะดีไม่ด้อยไปกว่าการใช้คาบการสุ่มสั้นๆ

3.3 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ใช้คาบการสุ่ม 81.3 ไมโครวินาที

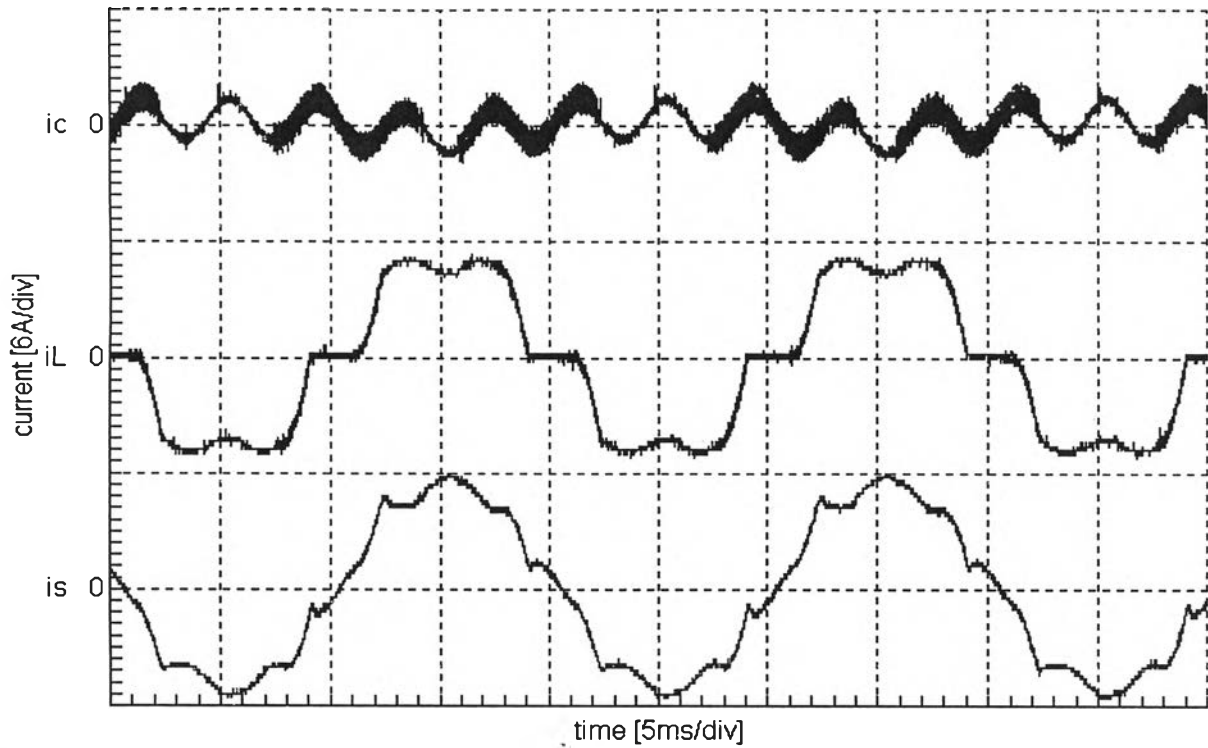
ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.53 เมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.54 เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของกระแสที่ได้ทั้ง 2 กรณีแสดงดังรูปที่ 6.55 และ 6.56 ตามลำดับ ในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 จะลดลงจาก 0.17 A เหลือ 0.09 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.53 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์มอนิกจะลดลง

0.18 A เหลือเพียง 0.05 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.28 คุณสมบัติการกรองเมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงจะไม่ดีเช่นเดียวกันกับกรณีกำจัดฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 และเมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิงแล้วเราจะได้คุณสมบัติการกรองที่ดีขึ้นเช่นกัน

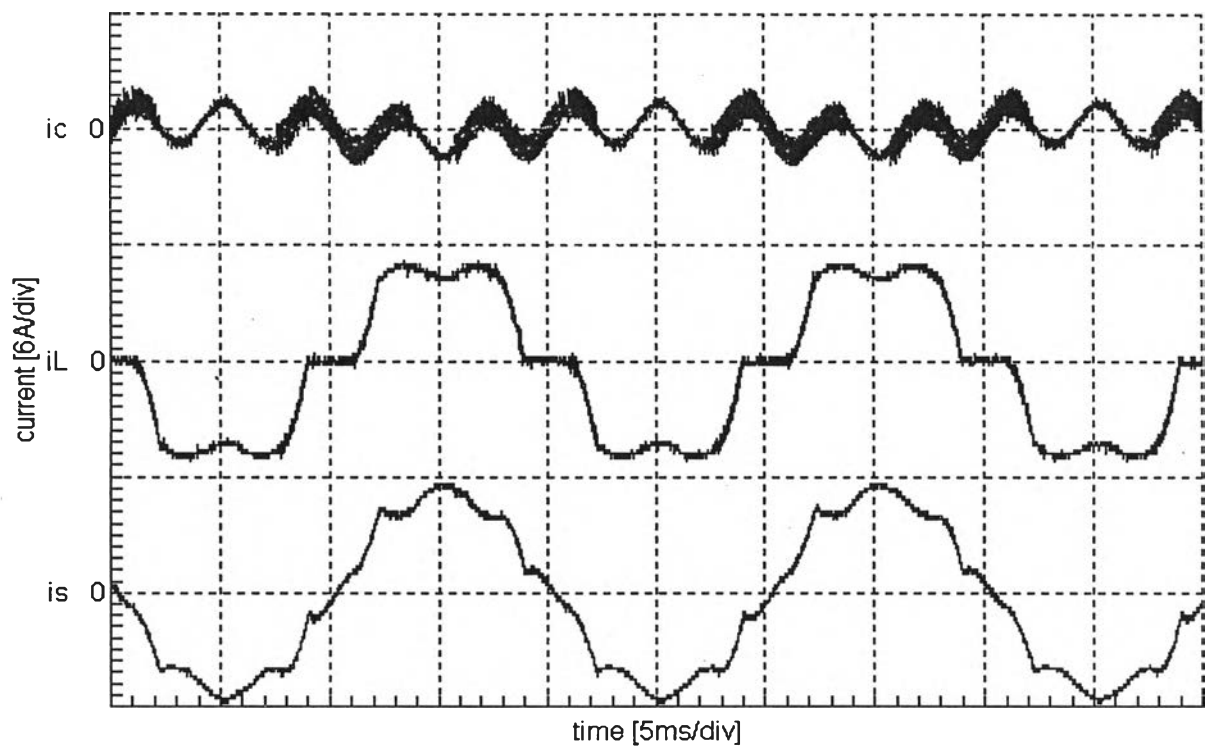
3.4 วงจรกรองกำจัดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 ใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที

ผลการทดสอบแสดงรูปคลื่นสัญญาณของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.57 เมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิง และรูปที่ 6.58 เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิง สเปกตรัมของกระแสที่ได้ทั้ง 2 กรณีแสดงดังรูปที่ 6.59 และ 6.60 ตามลำดับ ในกรณีไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 จะลดลงจาก 0.17 A เหลือ 0.13 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=11}$ มีค่าเท่ากับ 0.76 และในกรณีชดเชยผลของเวลาประวิง กระแสฮาร์โมนิกจะลดลงจาก 0.17 A เหลือเพียง 0.03 A อัตราการลดทอนมีค่าเท่ากับ 0.18 เราจะเห็นได้ว่าการเพิ่มเวลาการสุ่มทำให้คุณสมบัติการกรองเมื่อไม่ชดเชยผลของเวลาประวิงด้อยลงเช่นเดียวกันกับกรณีฮาร์โมนิกที่ 5 แต่เมื่อทำการชดเชยผลของเวลาประวิงแล้วจะได้คุณสมบัติการกรองที่ดีไม่ด้อยไปกว่าการใช้คาบการสุ่มสั้นๆ

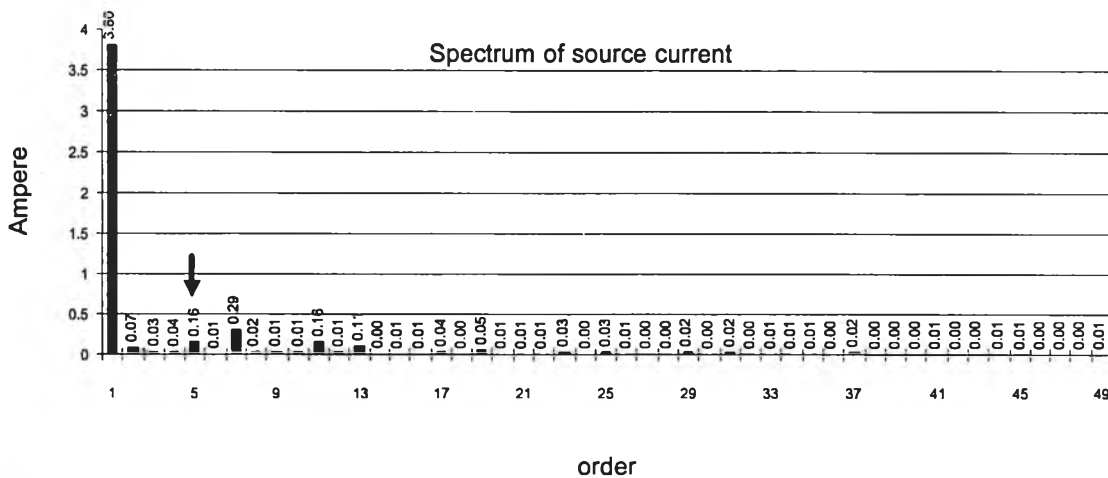
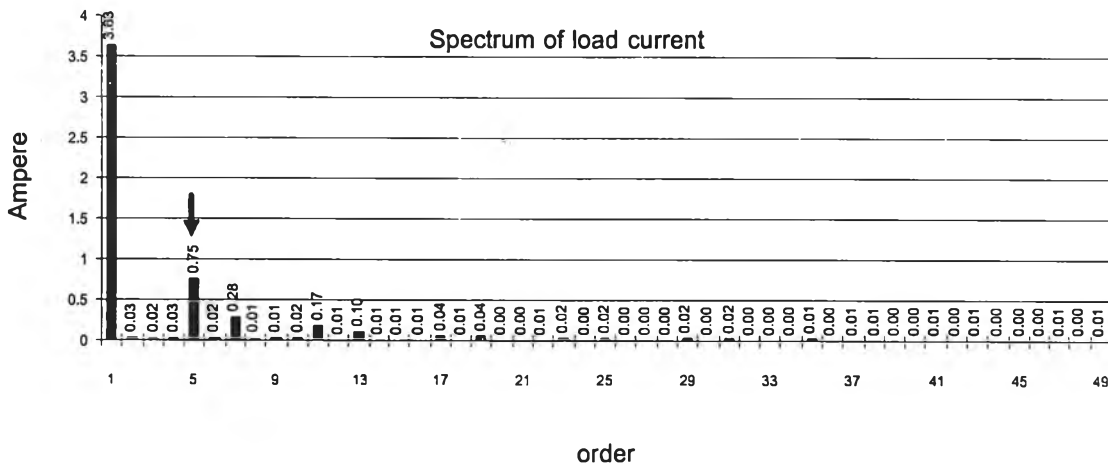
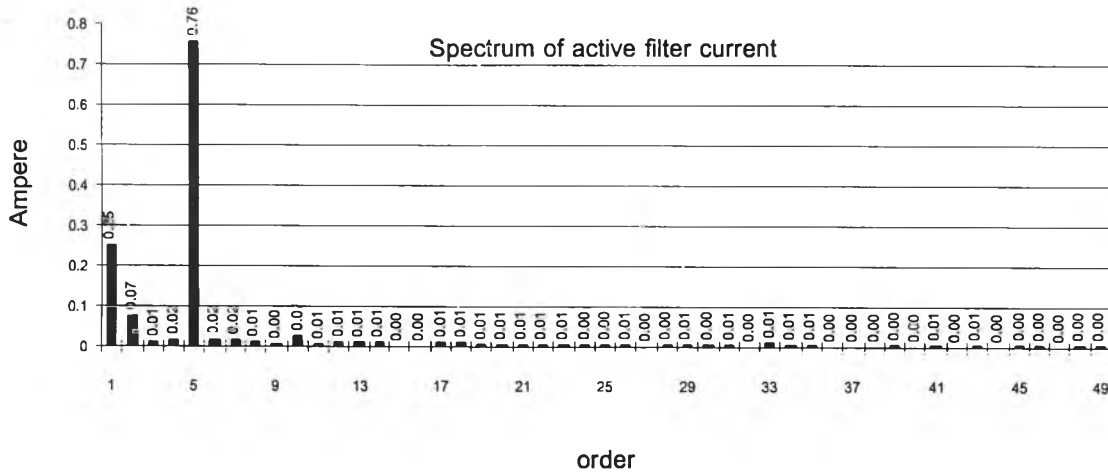
การทดลองที่ 3 แสดงให้เห็นถึงผลของคาบการสุ่มที่มีต่อคุณสมบัติการกรองของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ เมื่อเราไม่ทำการชดเชยผลของเวลาประวิงคาบการสุ่มจะมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติการกรอง ยิ่งคาบการสุ่มยาวขึ้นคุณสมบัติการกรองก็จะเลวลงซึ่งเป็นผลมาจากเวลาประวิงที่มากขึ้นตามคาบการสุ่ม อย่างไรก็ตามเมื่อชดเชยผลของเวลาประวิงเราจะพบว่าคาบการสุ่มที่ยกมาเป็นตัวอย่างในการทดลองทั้งหมดสั้นเพียงพอที่จะทำให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟยังคงสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ดีพอๆกัน สังเกตว่าเราทดสอบการกำจัดฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 และ 11 ซึ่งฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 นั้นมีความถี่เท่ากับ 550 Hz เมื่อเราเปรียบเทียบกับความถี่การสุ่มที่ต่ำที่สุด(คาบการสุ่มยาวที่สุด)ที่ใช้ในการทดลองคือ 5100 Hz เราจะเห็นว่าความถี่การสุ่มยังคงมากกว่าความถี่สัญญาณกว่า 10 เท่า ซึ่งให้ความละเอียดของสัญญาณเพียงพอ สังเกตว่าความถี่การสุ่มที่เพียงพอ นั้นไม่ขึ้นอยู่กับความถี่การสวิตช์แต่อย่างใด(ในที่นี้ความถี่การสวิตช์มีค่าประมาณ 10 kHz) เราจึงสามารถสรุปได้ว่าคาบการสุ่มมีผลต่อคุณสมบัติการกรองและการชดเชยผลของเวลาประวิง เป็นสิ่งที่จำเป็น โดยเฉพาะในกรณีที่เรากำลังต้องการใช้คาบการสุ่มที่ยาวเพื่อลดจำนวนจุดข้อมูลใน 1 คาบของสัญญาณมูลฐาน(20ms)อันจะทำให้การจัดการข้อมูลง่ายขึ้น



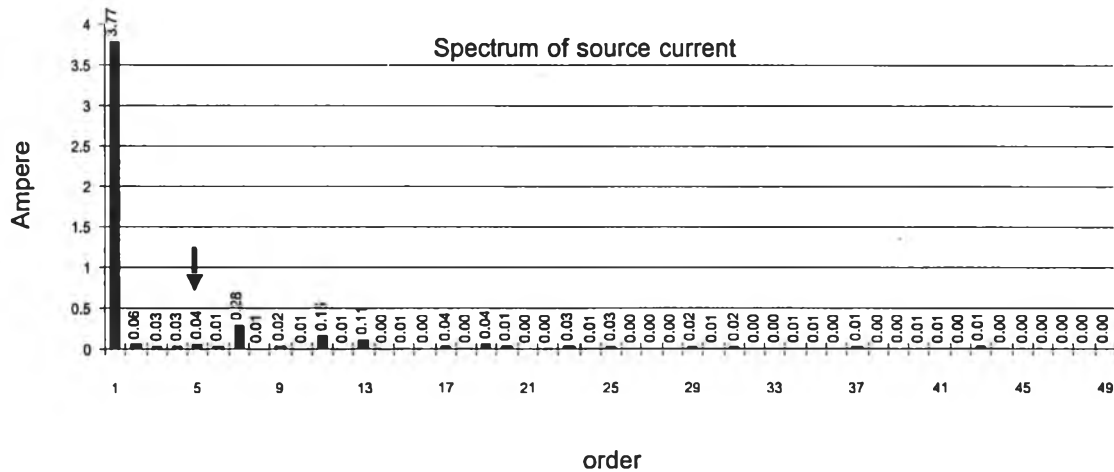
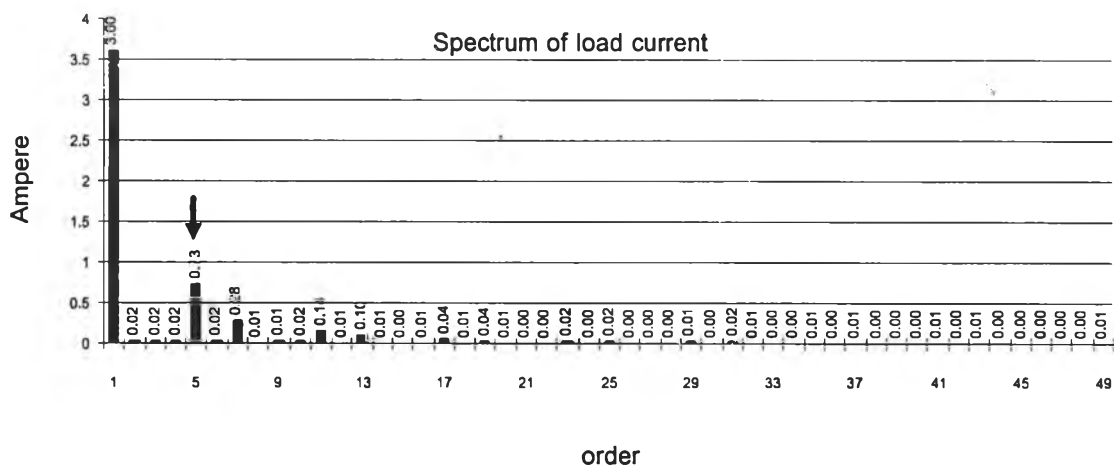
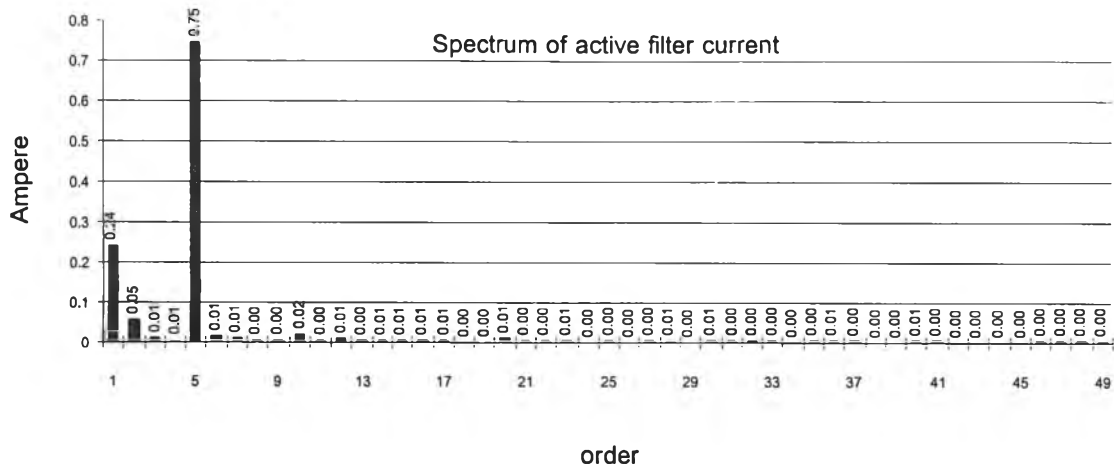
รูปที่ 6.45 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็ม คาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



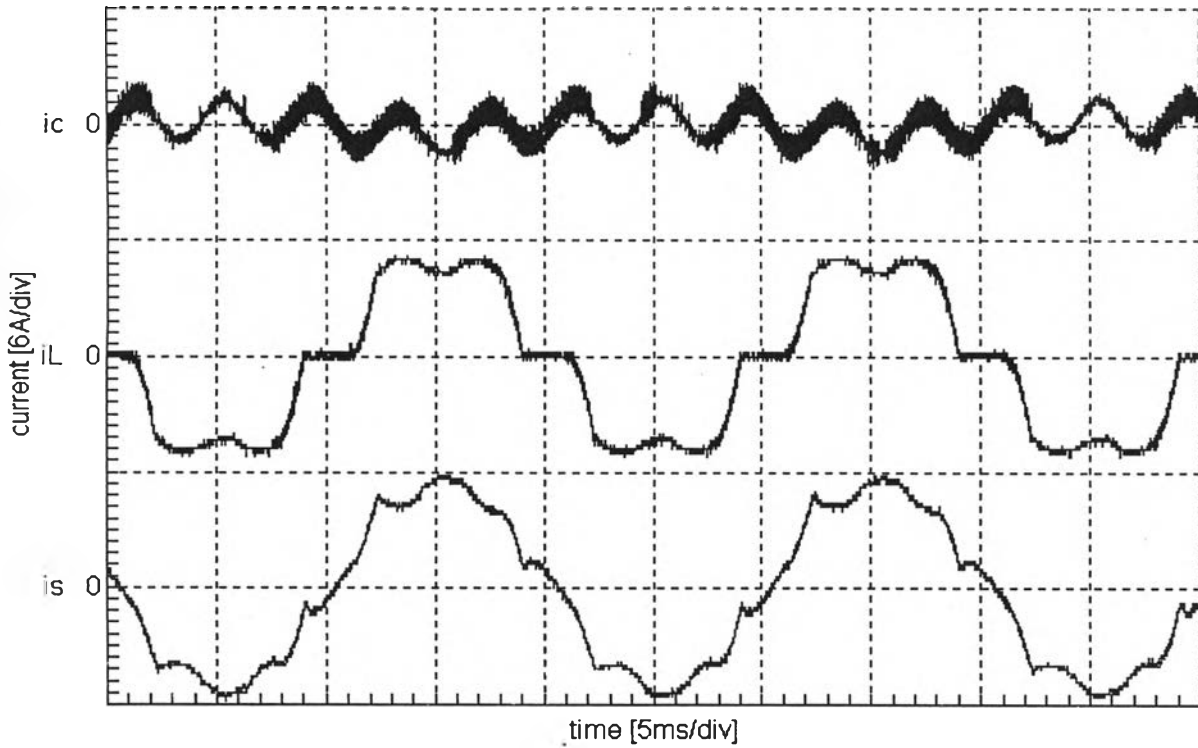
รูปที่ 6.46 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็ม คาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ชัดชัดผลของเวลาประวิง



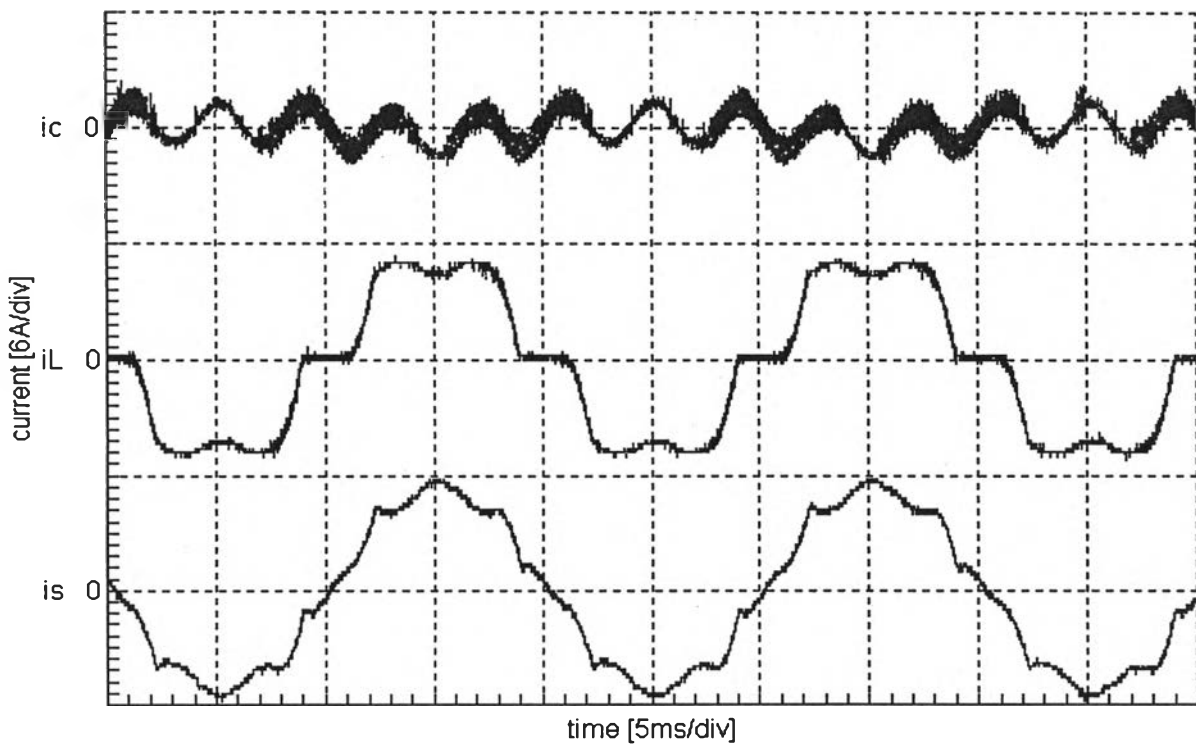
รูปที่ 6.47 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



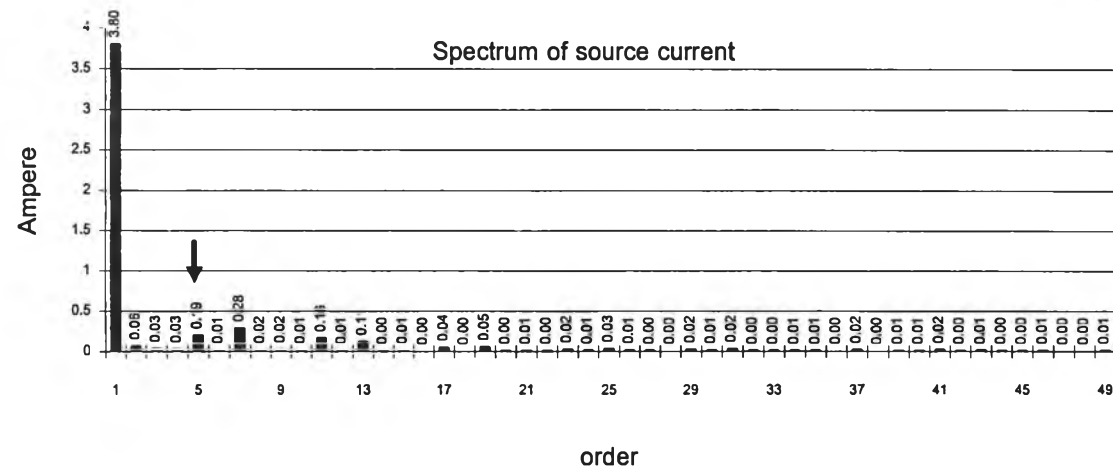
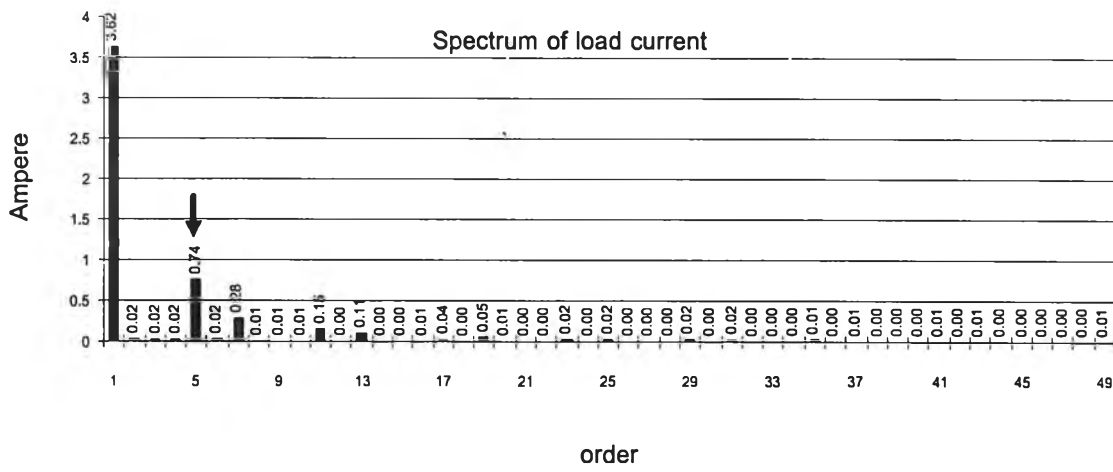
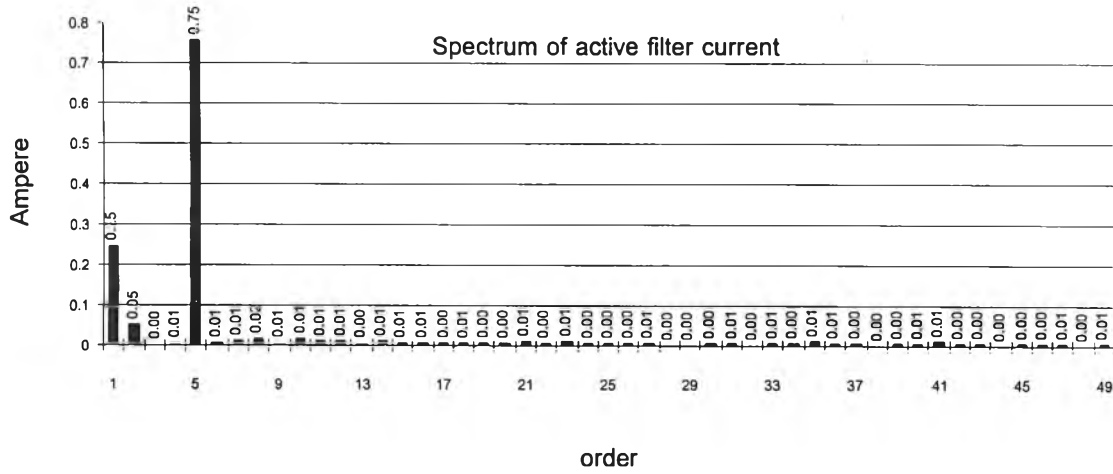
รูปที่ 6.48 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิก อันดับที่ 5 ขดเซพผลของเวลาประวิง



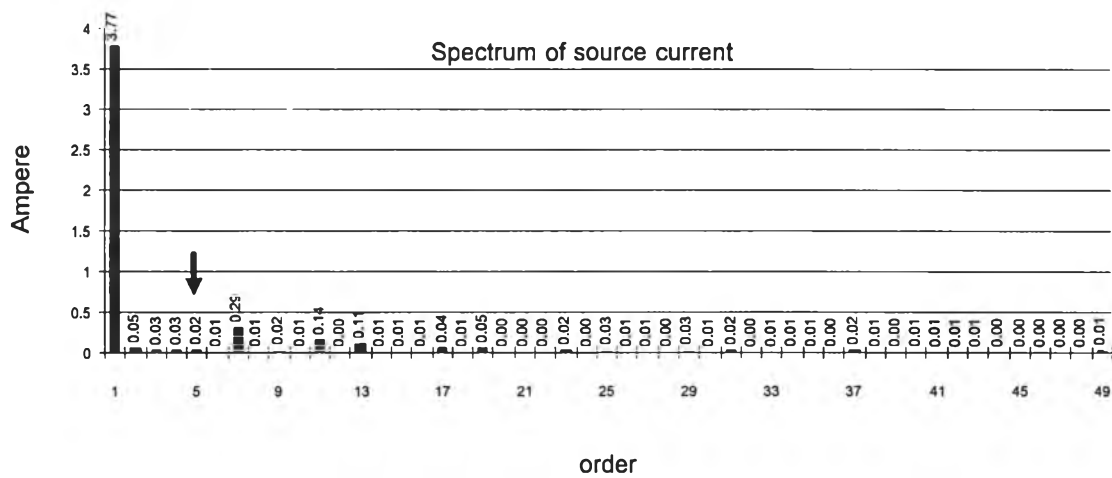
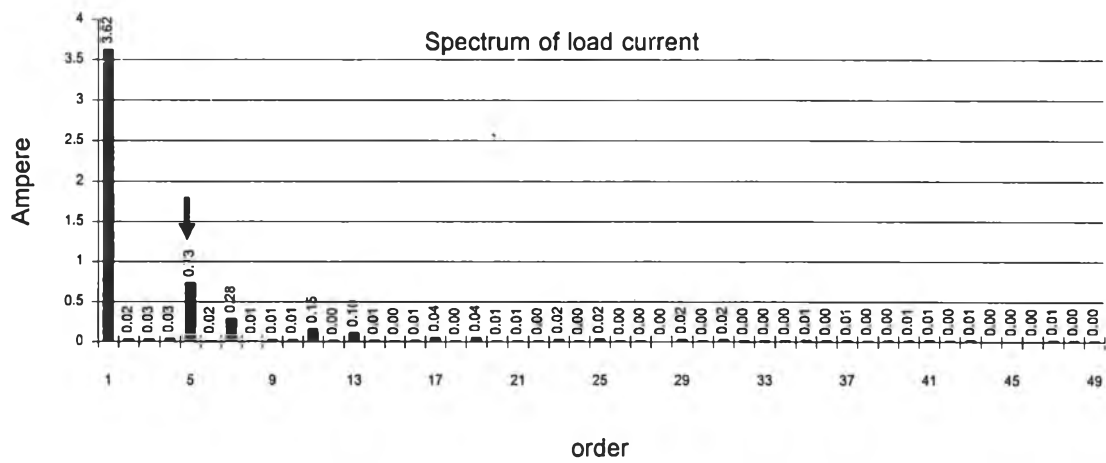
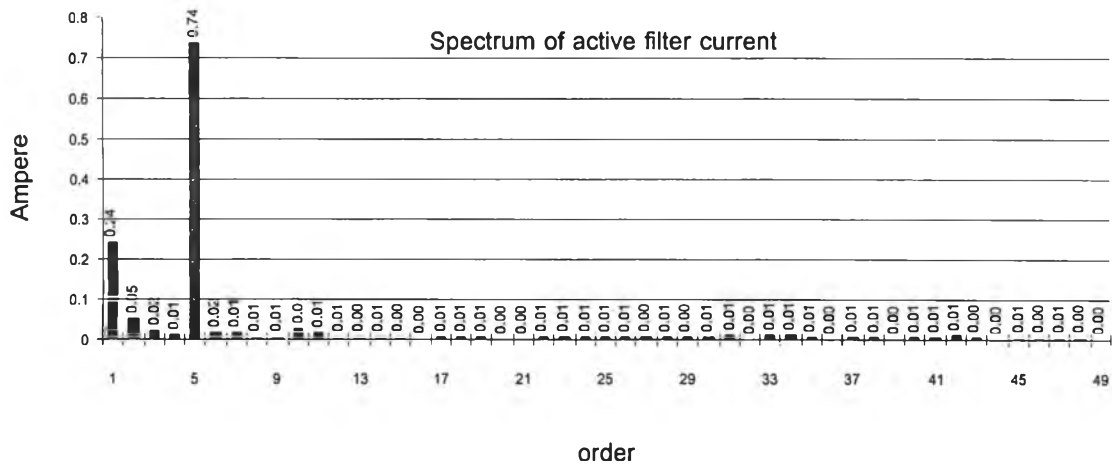
รูปที่ 6.49 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



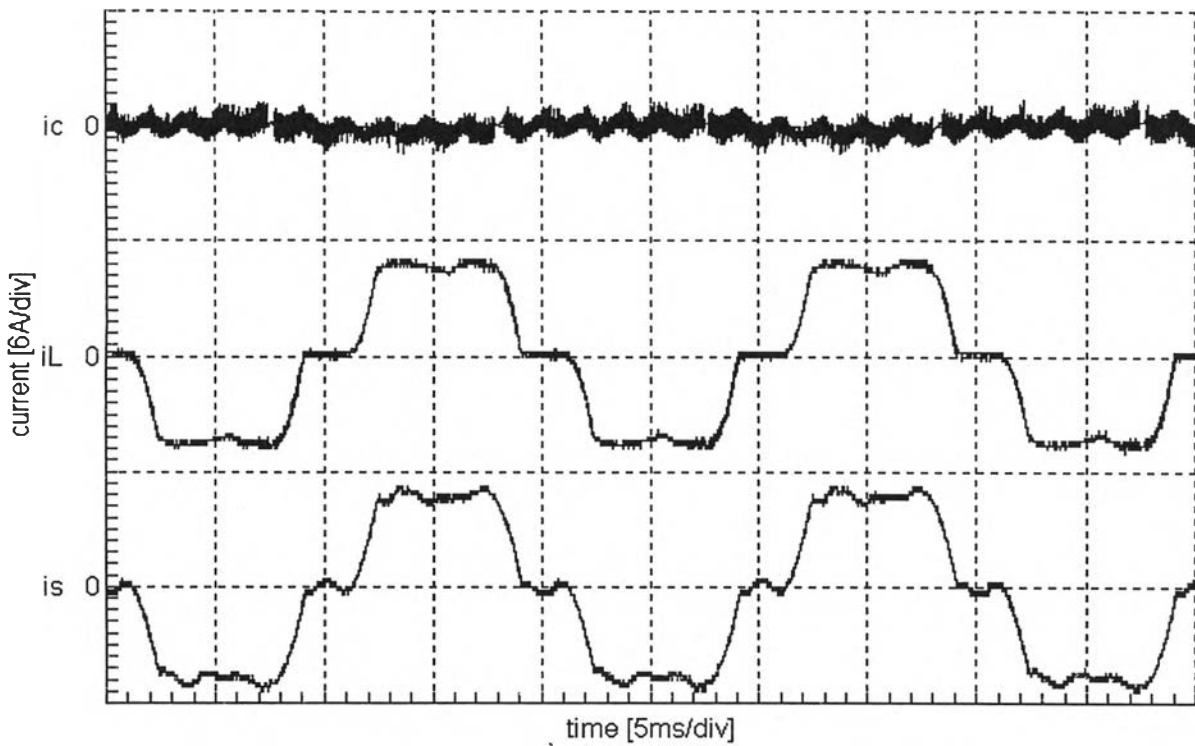
รูปที่ 6.50 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ชัดเจนผลของเวลาประวิง



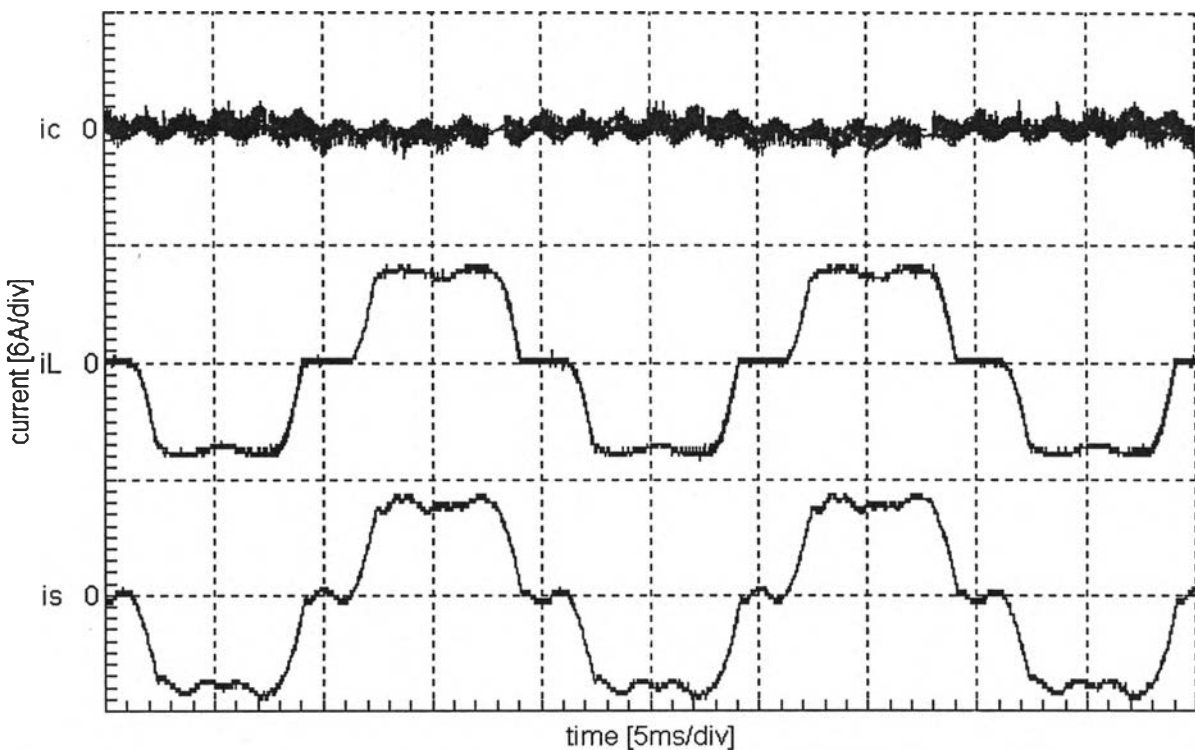
รูปที่ 6.51 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



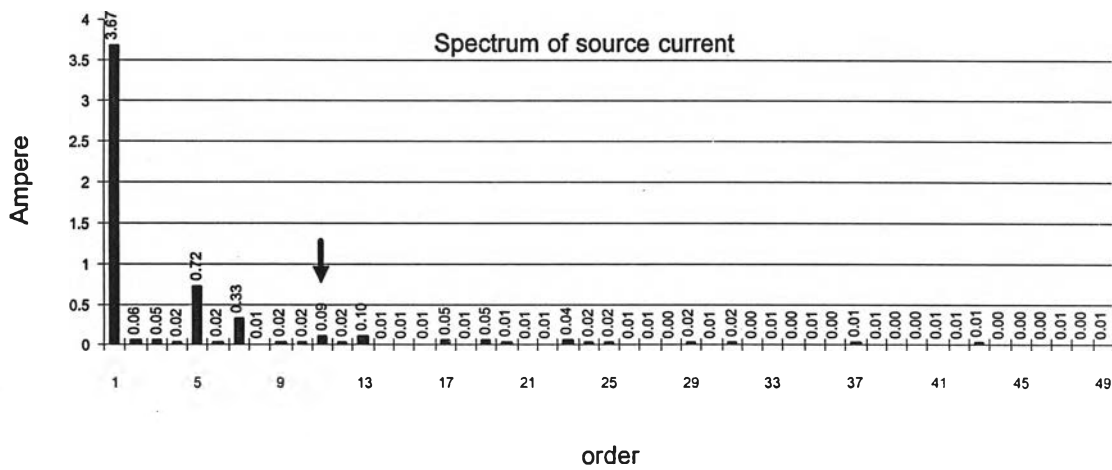
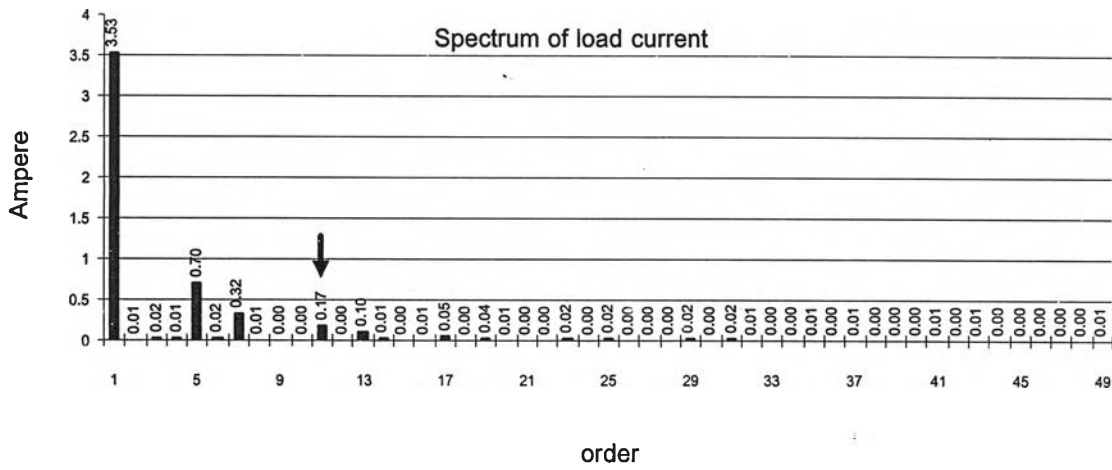
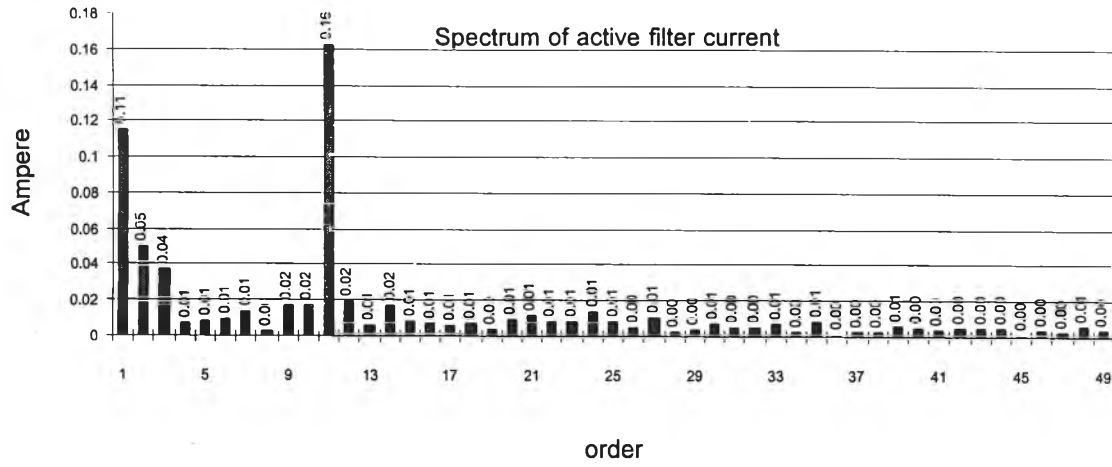
รูปที่ 6.52 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



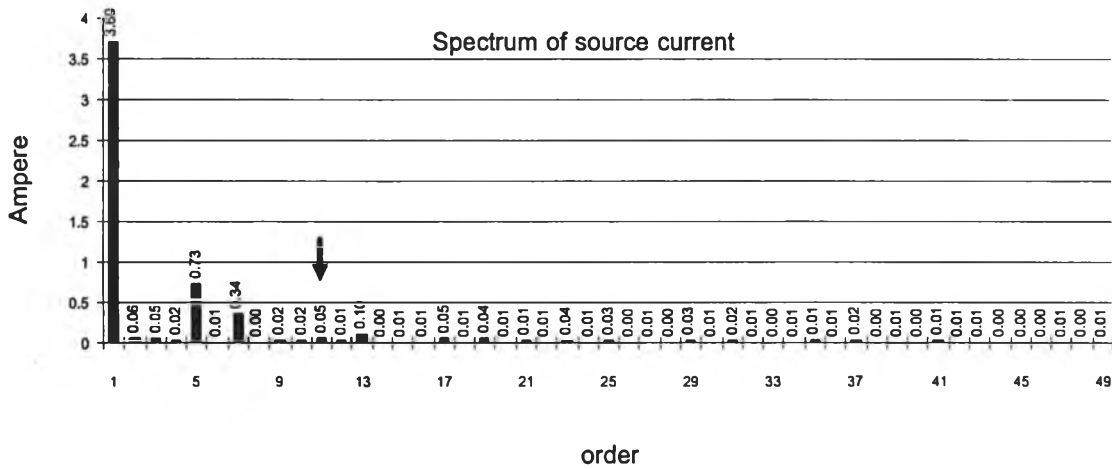
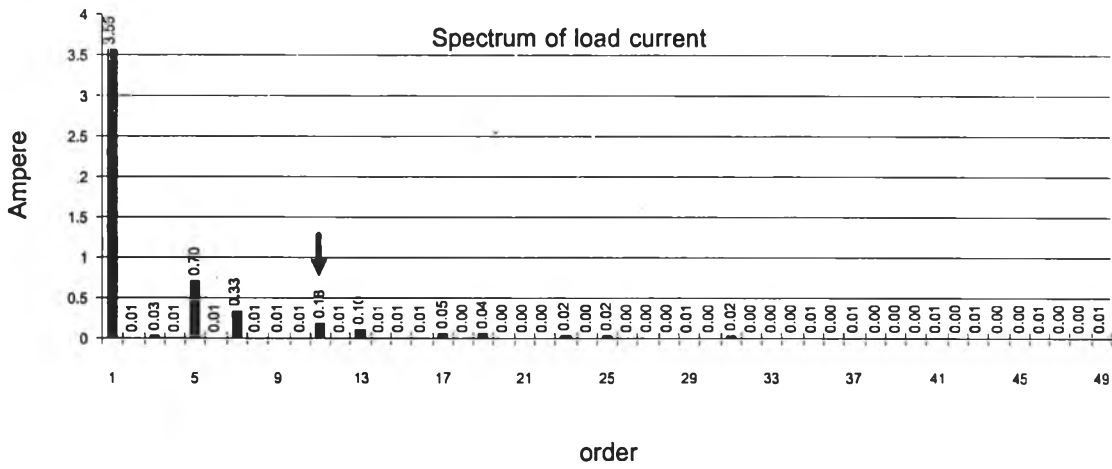
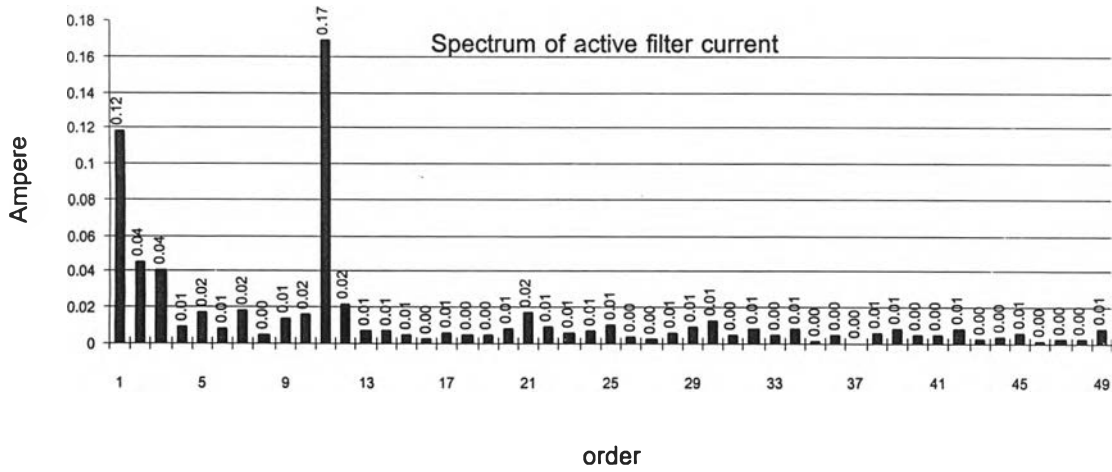
รูปที่ 6.53 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



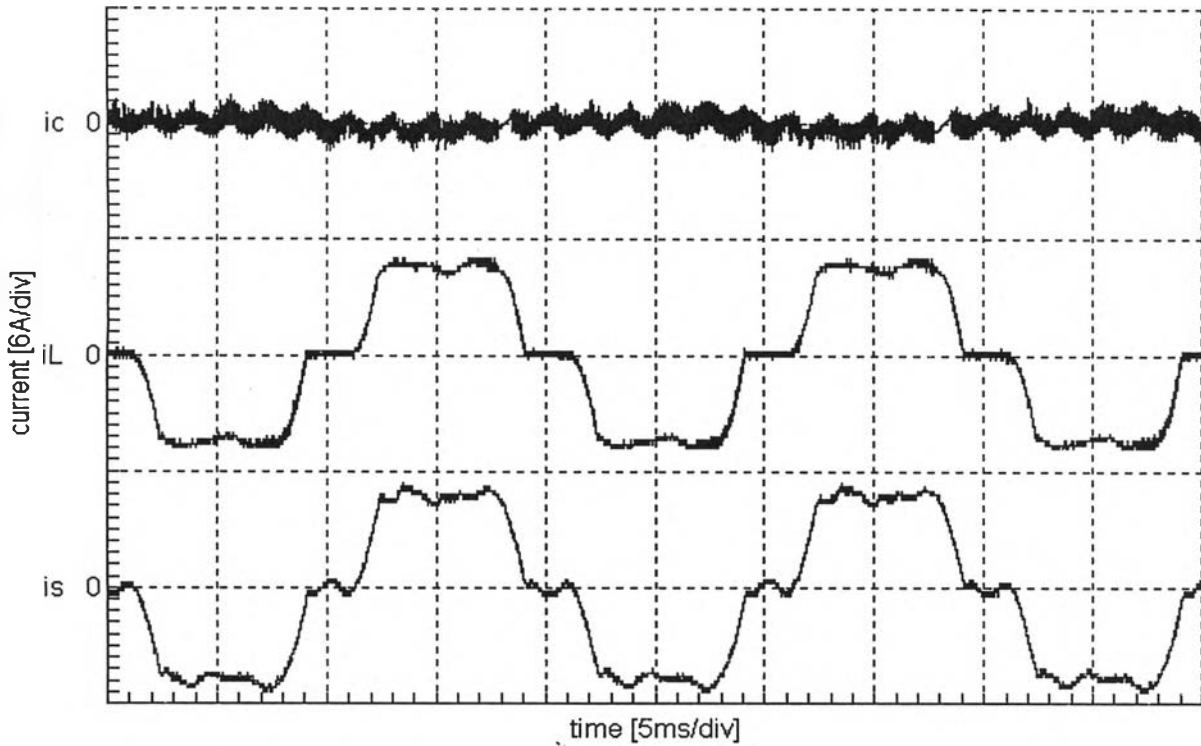
รูปที่ 6.54 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ชัดชัดผลของเวลาประวิง



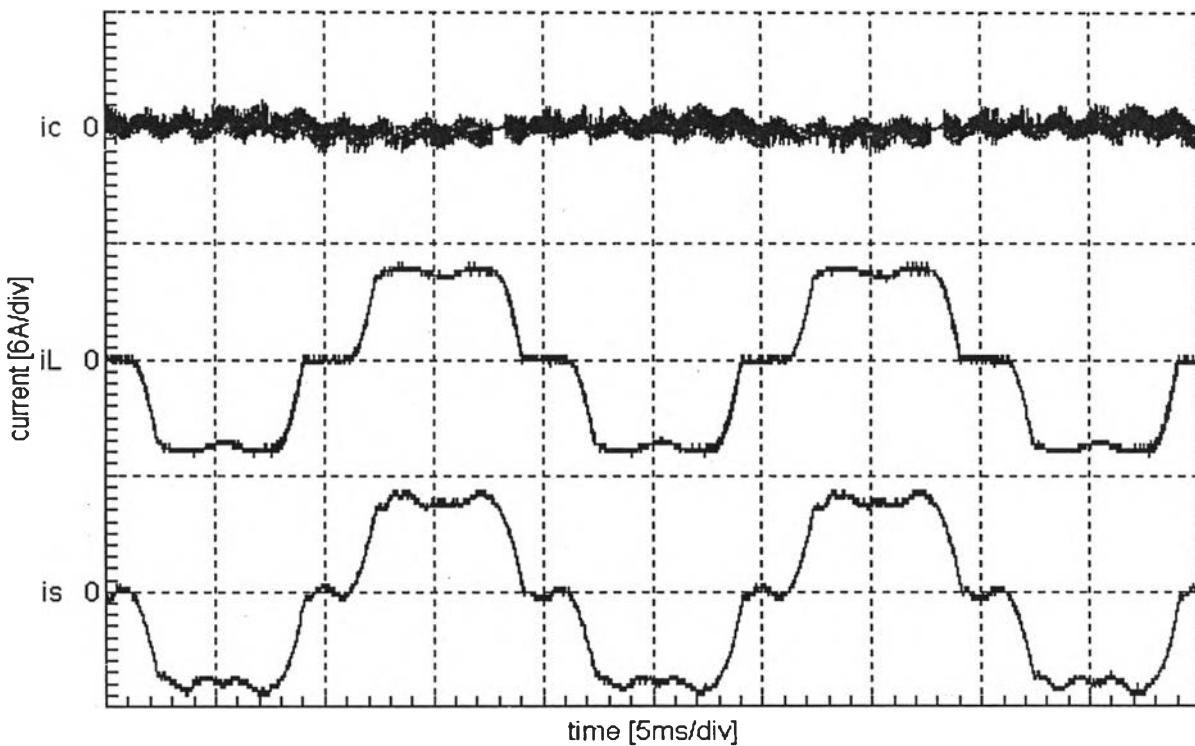
รูปที่ 6.55 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



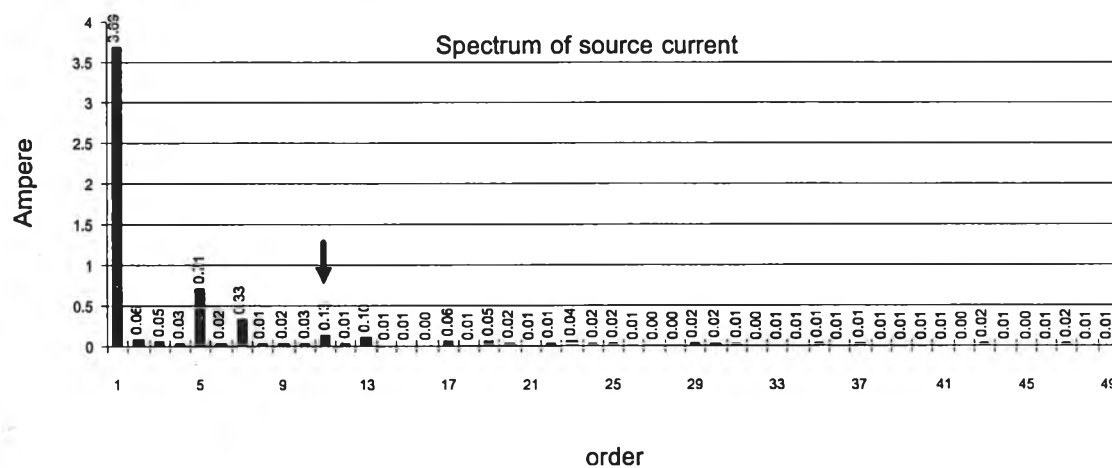
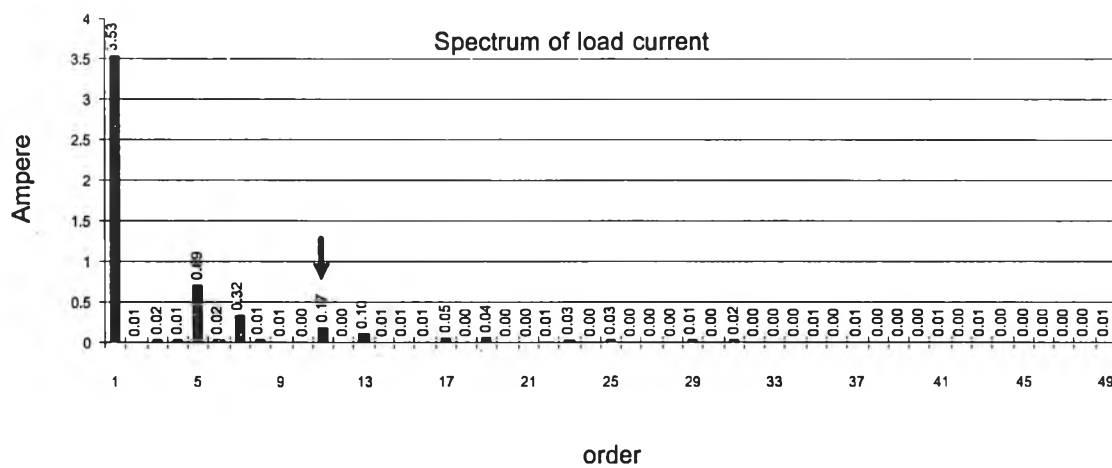
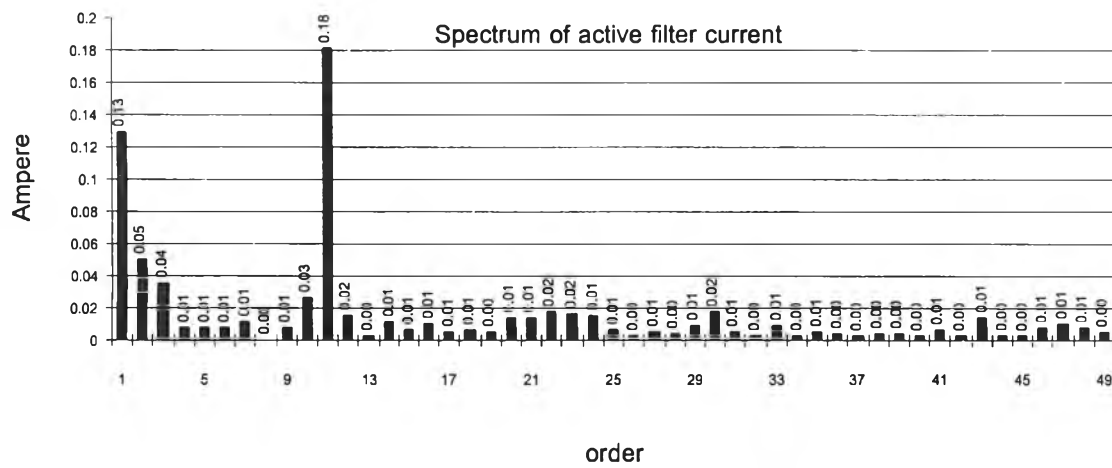
รูปที่ 6.56 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 83.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ซดเซพผลของเวลาประวิง



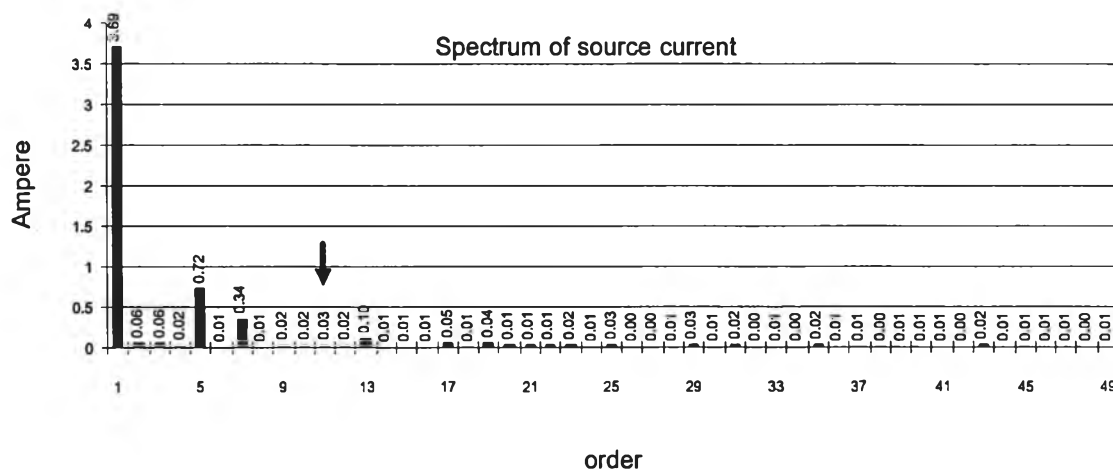
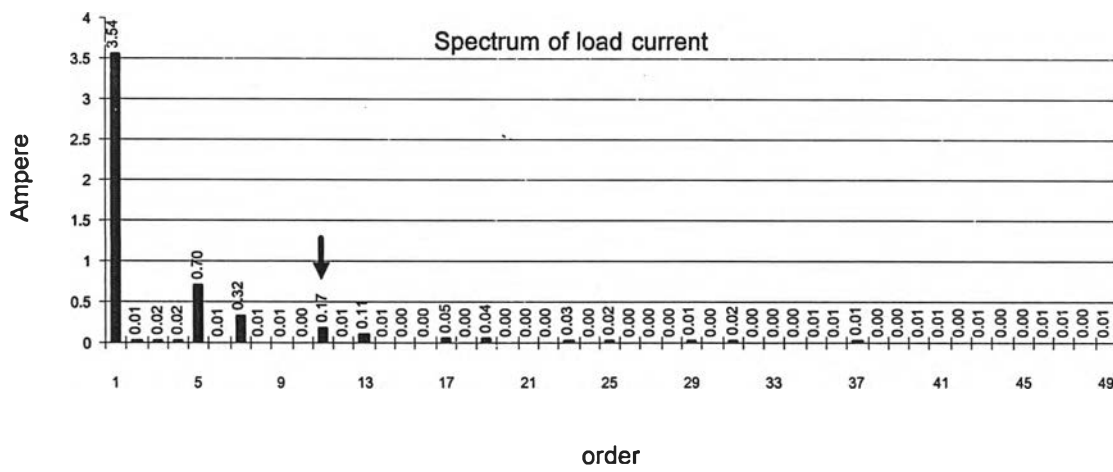
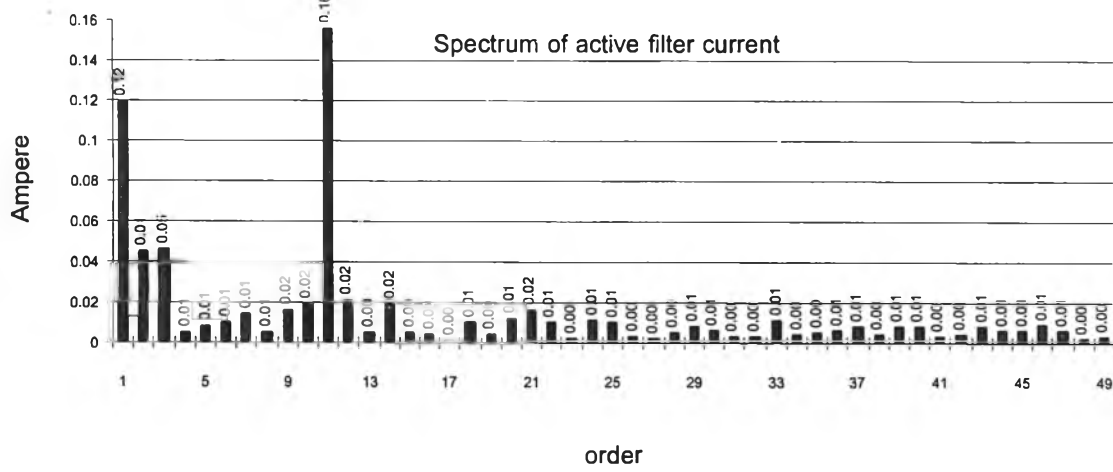
รูปที่ 6.57 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ไม่ชัดเจนของเวลาประวิง



รูปที่ 6.58 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ชัดชัดของเวลาประวิง



รูปที่ 6.59 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ไม่ชัดเจนผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.60 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วย Recursive DFT แบบเต็มคาบใช้คาบการสุ่ม 196.1 ไมโครวินาที กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 11 ซดเซพผลของเวลาประวิง

4. การทดลองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรรองบนแกนหมุน

ในที่นี้เราจะทำการทดลองกำจัดกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรรองบนแกนหมุน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการกรองกับแบบที่ใช้ Recursive DFT วงจรรองสัญญาณที่ใช้จะเป็นวงจรรองผ่านค่าธรรมชาติซึ่งจะทดสอบกับวงจรรองที่มีความถี่หักมุมต่างๆกัน ในการทดลองจะทำการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 โดยใช้คาบการสุ่ม 55.6 ไมโครวินาทีและมีการชดเชยผลของเวลาประวิง

4.1 วงจรรองผ่านค่ามีความถี่หักมุม 10 Hz

เราได้ผลการทดสอบแสดงเป็นรูปคลื่นของสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.61 และ 6.62 ตามลำดับ วงจรรองกำลังแอกทีฟในการทดลองนี้สามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ได้ดีพอสมควร โดยกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จะลดลงจาก 0.74 A เหลือ 0.10 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.14 โดยที่กระแสชดเชยจะจ่ายเฉพาะกระแสชดเชยฮาร์มอนิกที่ 5 และกระแสความถี่มูลฐานเพื่อควบคุมบัสไฟตรงเป็นส่วนใหญ่ ฮาร์มอนิกอื่นๆในระบบมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่อย่างไรก็ดีการใช้ความถี่หักมุมของวงจรรองผ่านค่าค่านี้จะทำให้ผลตอบสถานะชั่วครู่ชั่วคราวจะแสดงต่อไปในหัวข้อการทดลองถัดไป

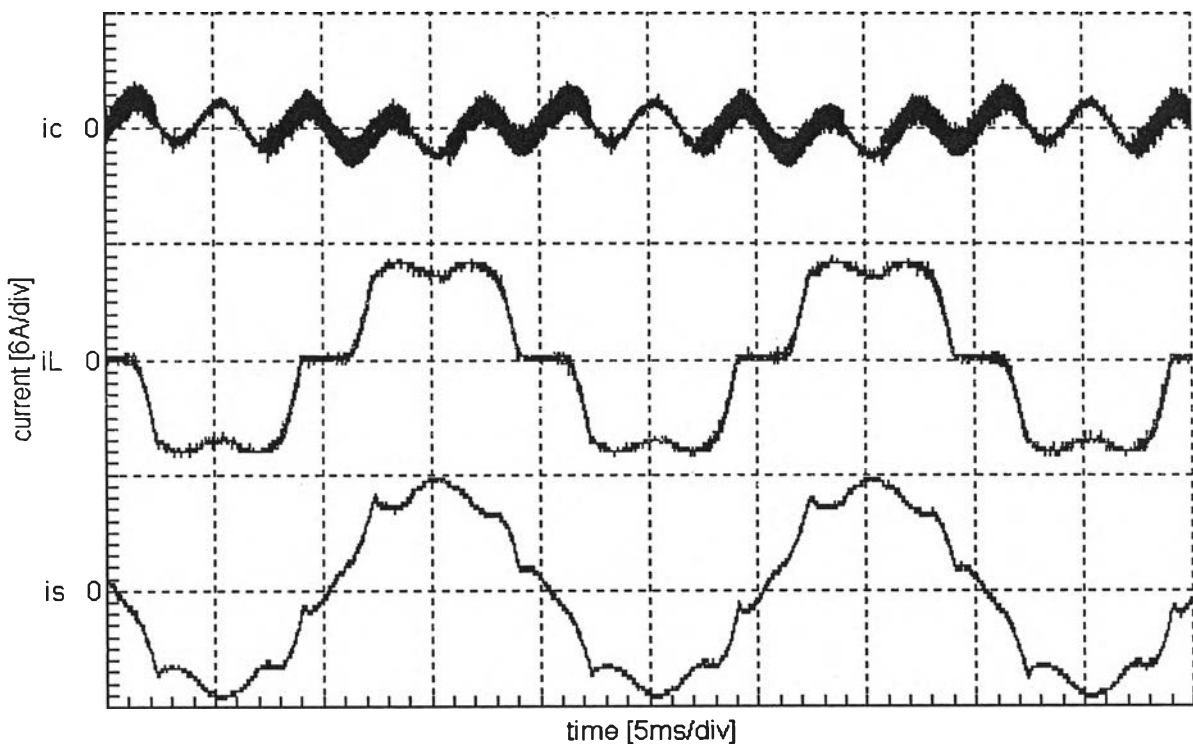
4.2 วงจรรองผ่านค่ามีความถี่หักมุม 20 Hz

ผลการทดสอบในกรณีที่มีความถี่หักมุมสูงขึ้นเป็น 50 Hz แสดงเป็นรูปคลื่นของสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบได้ดังรูปที่ 6.63 และ 6.64 ตามลำดับ วงจรรองกำลังแอกทีฟในการทดลองนี้สามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ได้ดีพอสมควร โดยที่กระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จะลดลงจาก 0.74 A เหลือ 0.06 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่าเท่ากับ 0.08 แต่เมื่อเราพิจารณาการทดลองนี้เทียบกับการทดลองที่ 4.1 จะพบว่ากระแสความถี่มูลฐานที่ปะปนมาในกระแสชดเชยที่ต้องจ่ายโดยวงจรรองกำลังแอกทีฟจะมากขึ้นจากเดิม 0.28 A (รูปที่ 6.62) เป็น 0.36 A กระแสส่วนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากตัวตรวจจับกรองความถี่มูลฐานทิ้งได้ไม่ดีพอ เนื่องจากเราใช้ความถี่หักมุมค่าสูงขึ้นนั่นเอง (ดูบทที่ 2) กระแสที่ต้องจ่ายเพิ่มนี้จะเป็นภาระแก่วงจรรองกำลังของเราโดยไม่จำเป็น

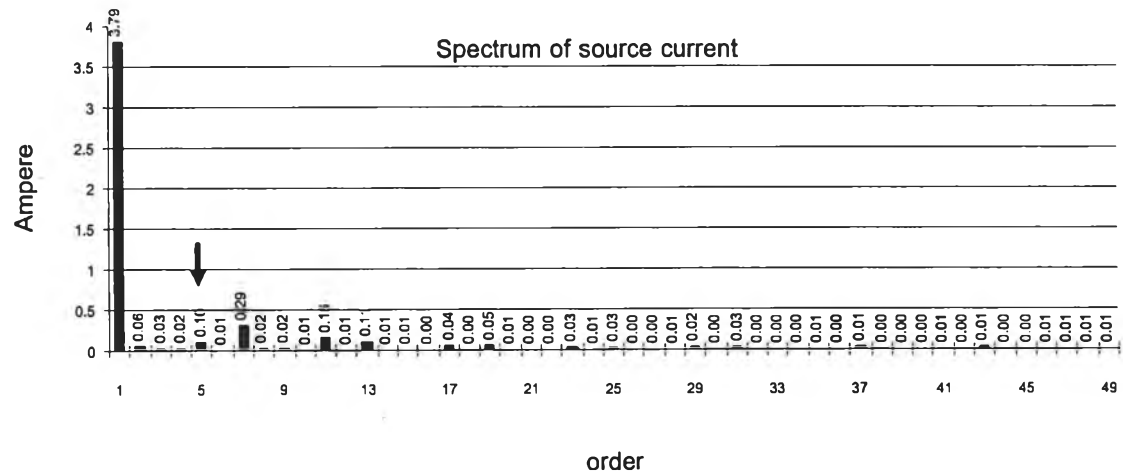
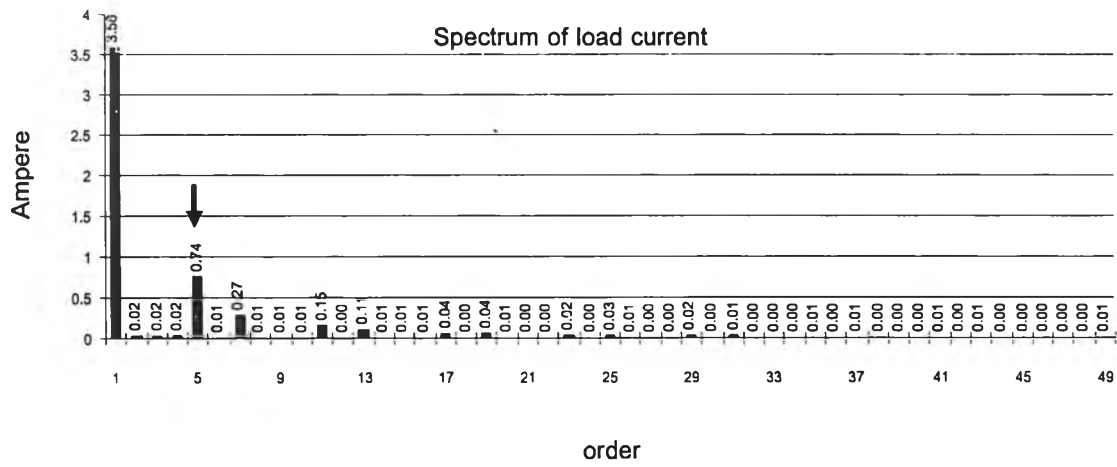
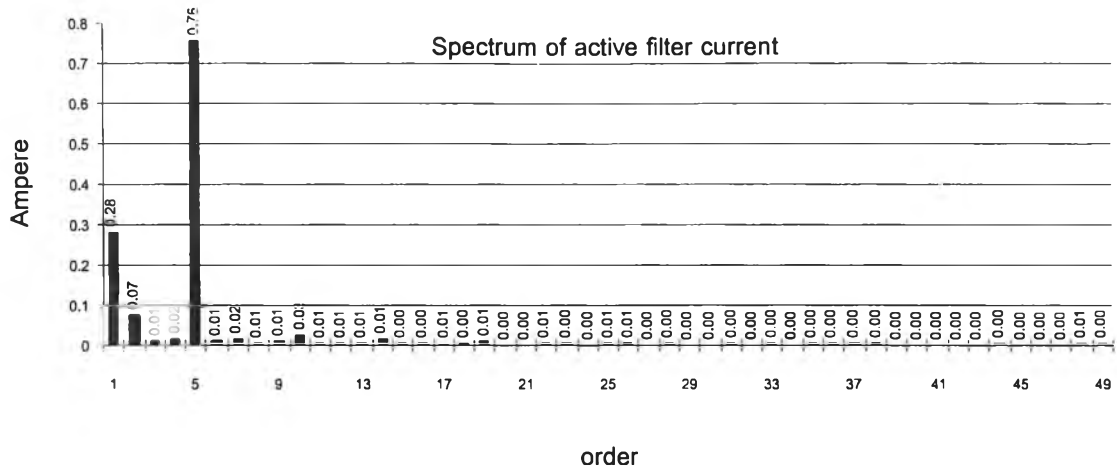
4.3 วงจรรองผ่านค่ามีความถี่หักมุม 50 Hz

เมื่อเราเพิ่มความถี่หักมุมให้สูงขึ้นไปอีกจะได้ผลการทดสอบแสดงเป็นรูปคลื่นของสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.65 และ 6.66 ตามลำดับ กระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 จะลดลงจาก 0.74 A เหลือ 0.06 A อัตราการลดทอน $|i_{sh}|/|i_{Lh}|_{h=5}$ มีค่า

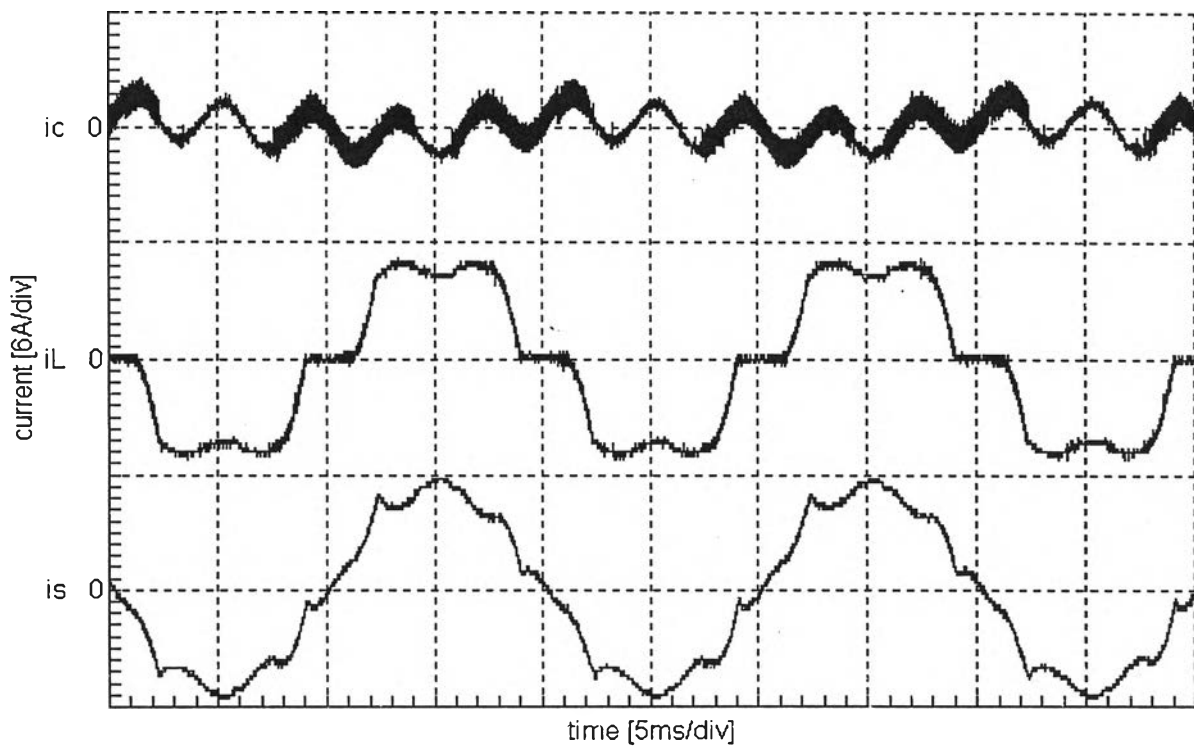
เท่ากับ 0.08 ในการทดลองนี้เราจะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงแม้ว่าวงจรรอกกำลังแอกทีฟในการทดลองนี้สามารถกำจัดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ได้ดี แต่วงจรรอกกำลังแอกทีฟต้องจ่ายกระแสชดเชยอันเนื่องมาจากความถี่มูลฐานที่รอกไม่หมดค่อนข้างมาก และยังคงจ่ายฮาร์โมนิกที่ 7 ที่รอกไม่หมดประมาณ 0.04 A ด้วยเช่นกัน กระแสฮาร์โมนิกที่ไม่ใช่อันดับ 5 ที่ผ่านตัวตรวจจับนี้ จะมีการเลื่อนเฟสไปตามคุณสมบัติเชิงความถี่ของตัวตรวจจับ ทำให้กระแสฮาร์โมนิกในส่วนนี้ที่จ่ายออกจากวงจรรอกกำลังแอกทีฟไม่สามารถไปหักล้างกับกระแสฮาร์โมนิกทางด้านโหลดได้พอดี ซึ่งนอกจากจะไม่ช่วยลดทอนฮาร์โมนิกทางด้านแหล่งจ่ายแล้วยังมีแนวโน้มที่จะไปเพิ่มฮาร์โมนิกด้วย



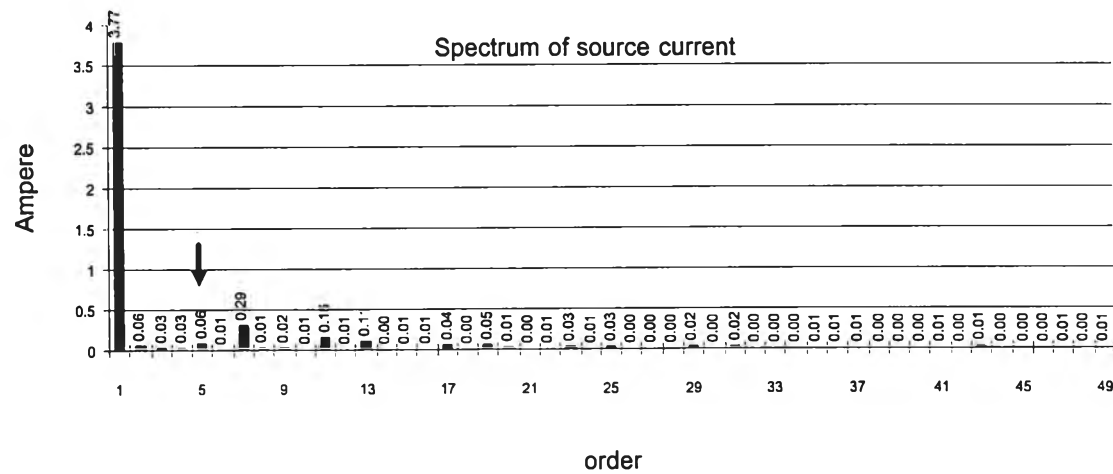
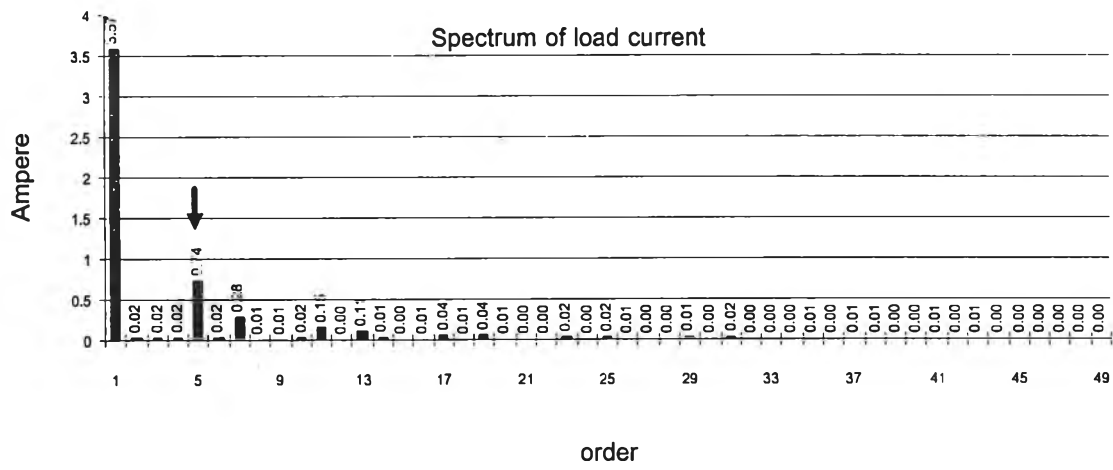
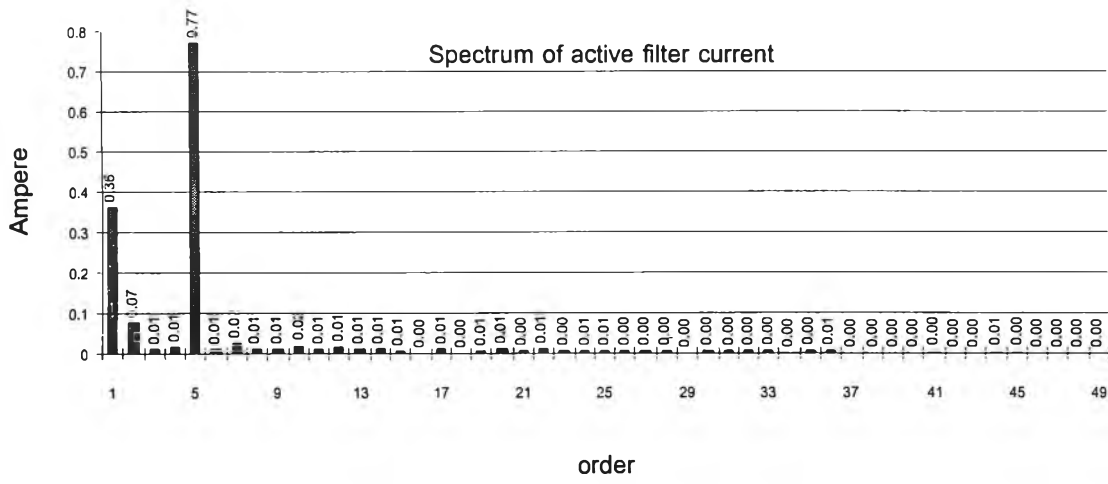
รูปที่ 6.61 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์โมนิกด้วยวิธีวงจรรอกบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 10 Hz กำจัดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ชดเชยผลของเวลาประวิง



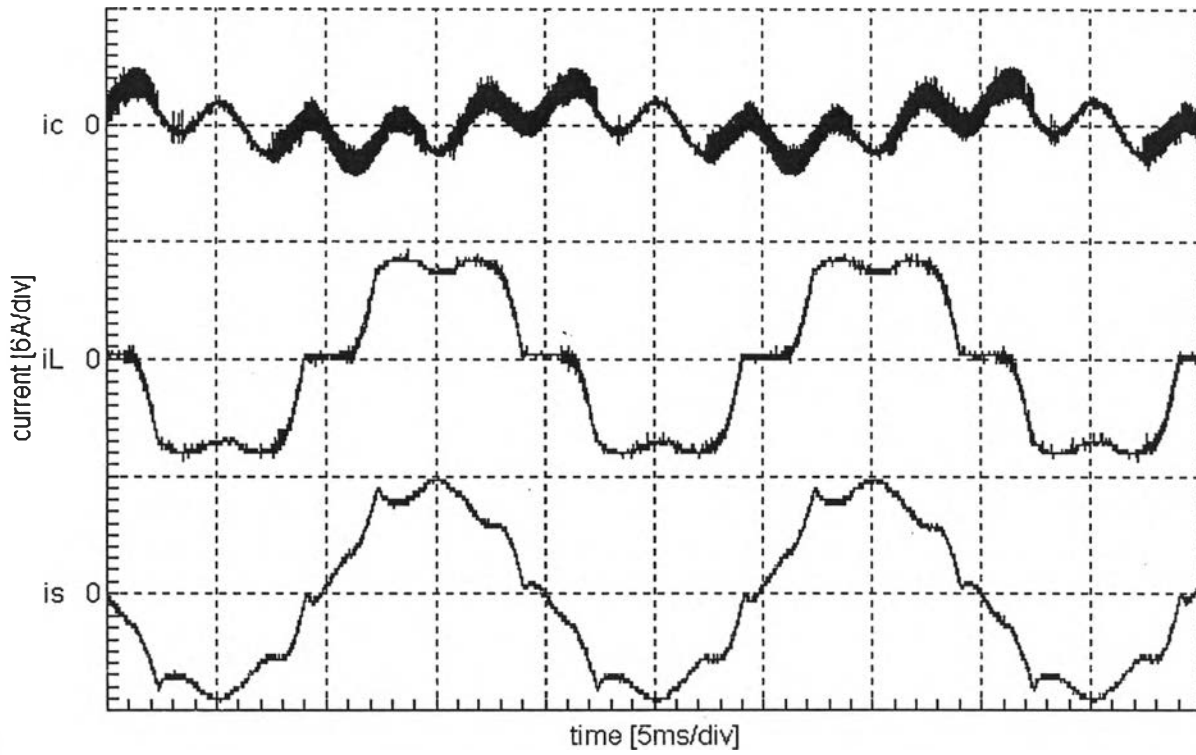
รูปที่ 6.62 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 10 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซยผลของเวลาประวิง



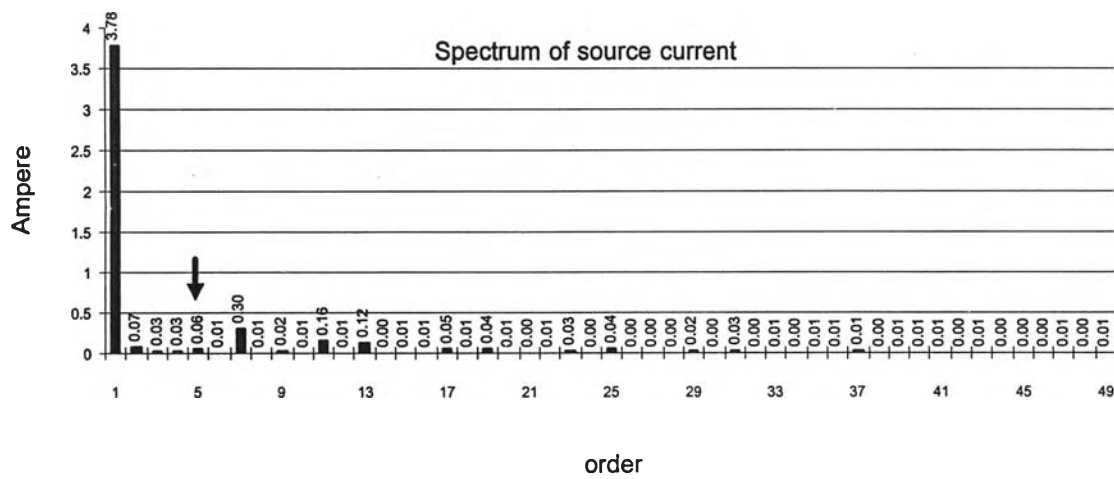
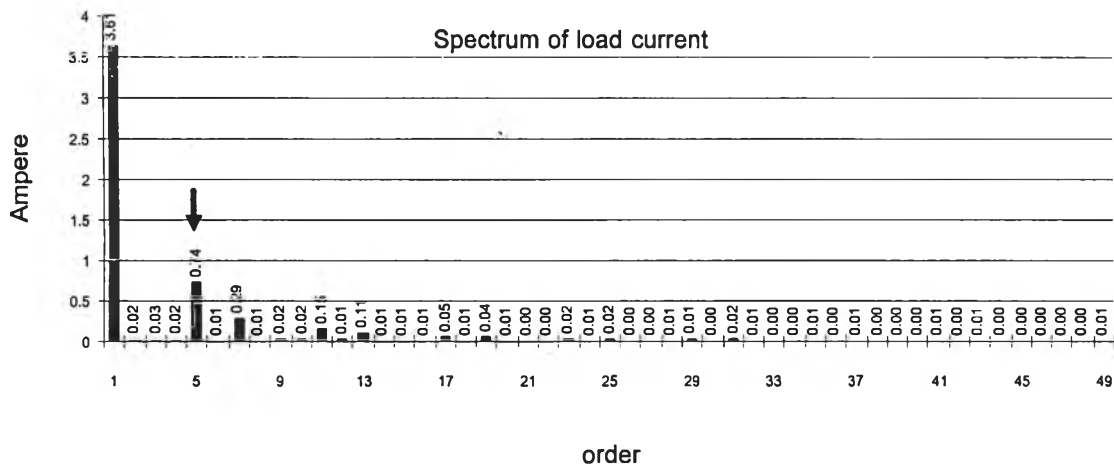
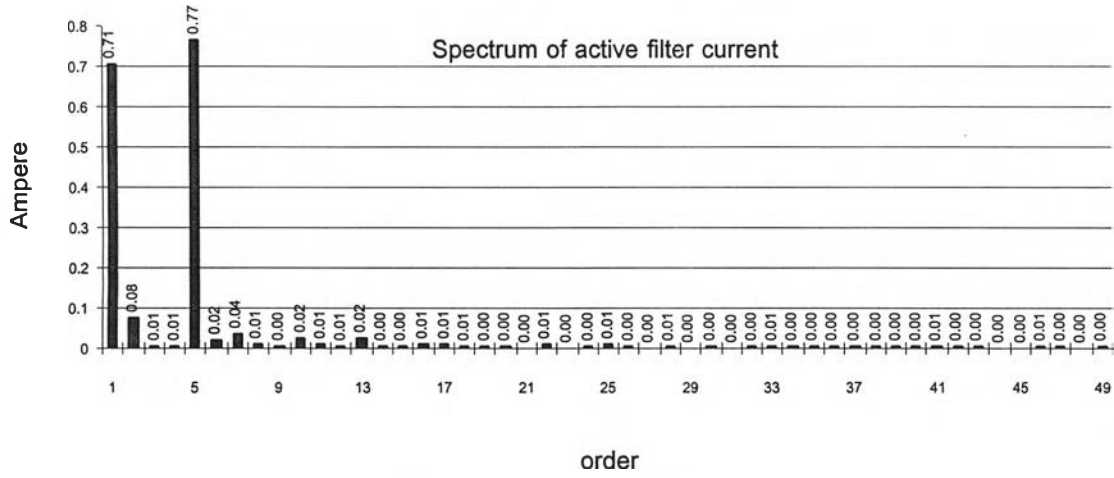
รูปที่ 6.63 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 20 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.64 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 20 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.65 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 50 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง



รูปที่ 6.66 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 50 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซดเซพผลของเวลาประวิง

5. ผลตอบสภาวะชั่วคราวของการตรวจฮาร์โมนิกด้วยวิธีการต่างๆ

ในที่นี้เราจะทำการทดสอบวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้การตรวจฮาร์โมนิกแบบต่างๆ เพื่อศึกษาผลตอบสภาวะชั่วคราวของการทำงานเมื่อกระแสไหลคมีเปลี่ยนแปลงแบบขั้น

5.1 วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบ กำจัดฮาร์โมนิกทุกอันดับ

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลคของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโพลคมาเป็นโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.67 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลคของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.68 จากผลการทดลองวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ดีและมีช่วงเวลาสภาวะชั่วคราวโดยประมาณเป็นไปตามทฤษฎีคือเท่ากับ 1 คาบ 20 ms

5.2 วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบเต็มคาบ กำจัดฮาร์โมนิกอันดับที่ 5

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลคของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโพลคมาเป็นโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.69 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลคของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.70 จากผลการทดลองวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ดีและจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากรูปที่ 6.69 ว่าวงจรกรองกำลังมีช่วงเวลาสภาวะชั่วคราวเป็นไปตามทฤษฎีคือเท่ากับ 1 คาบ 20 ms

5.3 วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบ กำจัดฮาร์โมนิกทุกอันดับ

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลคของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโพลคมาเป็นโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.71 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลคของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโพลคตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.72 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบมาใช้ตรวจฮาร์โมนิกจะทำให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ได้มีผลตอบสนองที่รวดเร็วกว่าแบบเต็มคาบโดยใช้เวลาประมาณ 3.3 ms และสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ดีทั้งในสภาวะชั่วคราวและในสภาวะอยู่ตัวตามทฤษฎี ดังนั้นการตรวจฮาร์โมนิกด้วยวิธีนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้ตรวจฮาร์โมนิกที่มีการเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา

5.4 วงจรกรองกำลังแอกทิฟที่ใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบ กำจัดฮาร์มอนิกอันดับที่ 5

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโพลมาเป็นโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.73 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.74 จากผลการทดลองวงจรกรองกำลังแอกทิฟที่ได้มีผลตอบสนองที่รวดเร็วมก และสามารถกำจัดฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ได้ดีทั้งในสภาวะชั่วคราวและในสภาวะอยู่ตัว

5.5 วงจรกรองกำลังแอกทิฟที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้เท่ากับ 10 Hz กำจัดฮาร์มอนิกอันดับที่ 5

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโพลมาเป็นโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.75 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.76 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่ใช้ความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำมีค่าจะทำให้วงจรกรองกำลังแอกทิฟที่ได้มีผลตอบสนองที่ช้าและจะสังเกตได้ว่าจะมีกระแสความถี่มูลฐานปะปนออกมากับกระแสชดเชยมากกว่าการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้ Recursive DFT (เปรียบเทียบรูปที่ 6.74 กับ 6.76)

5.6 วงจรกรองกำลังแอกทิฟที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้เท่ากับ 20 Hz กำจัดฮาร์มอนิกอันดับที่ 5

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโพลมาเป็นโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.77 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโพลของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโพลตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.78 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำมีค่าสูงขึ้น วงจรกรองกำลังแอกทิฟที่ได้จะมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 5.5 ซึ่งใช้ค่าความถี่หักมุมเท่ากับ 10 Hz แต่อย่างไรก็ตามก็จะมีกระแสความถี่มูลฐานปะปนออกมากับกระแสชดเชยมากขึ้นด้วย

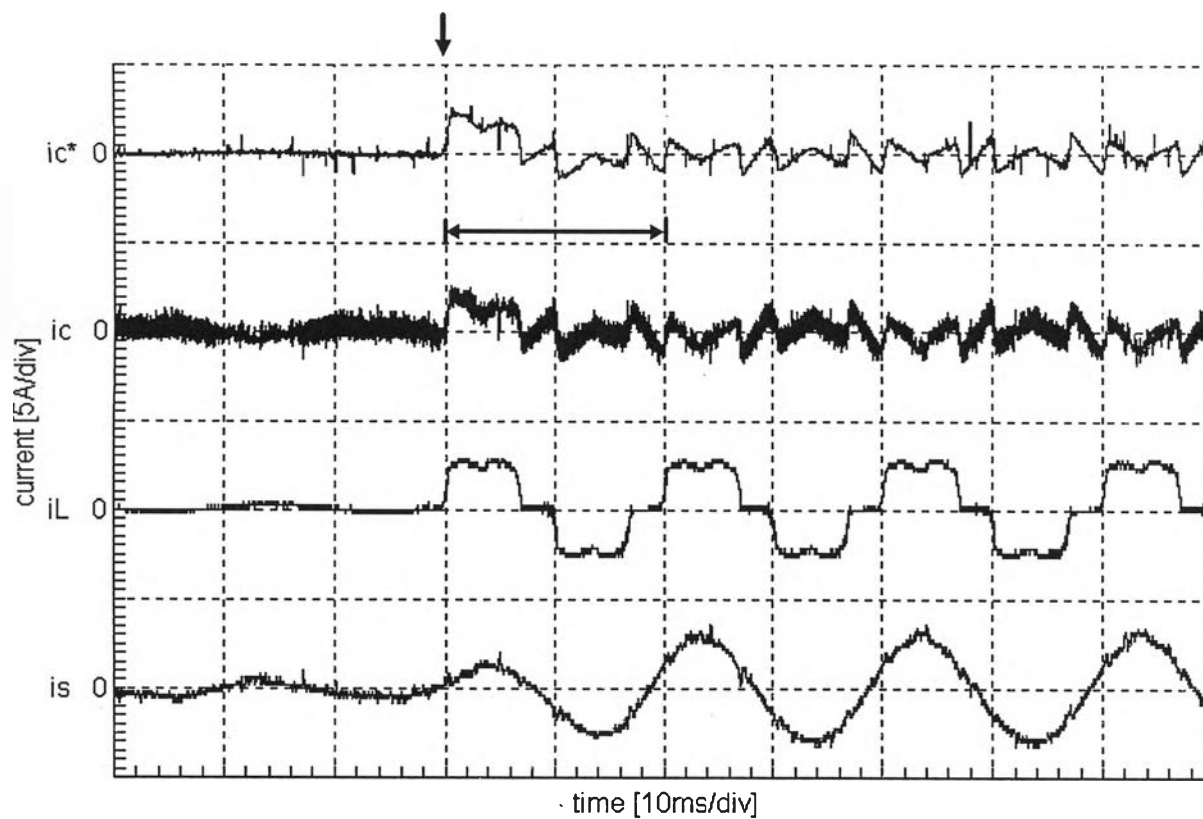
5.7 วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรกรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้เท่ากับ 50 Hz กำจัดฮาร์มอนิกอันดับที่ 5

ผลการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโหลดของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากไม่มีโหลดมาเป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแส ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบดังรูปที่ 6.79 และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงโหลดของวงจรเรียงกระแสอย่างฉับพลันจากโหลดตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 71 โอห์มมาเป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำ 16 mH และตัวต้านทาน 45 โอห์ม จะได้รูปคลื่นของสัญญาณกระแสดังรูปที่ 6.80 ในการทดลองนี้เราใช้ความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำค่าสูงผลตอบสภาวะชั่วคราวของการทำงานจะสั้น แต่วงจรกรองกำลังก็ต้องจ่ายกระแสความถี่มูลฐานที่กรองทิ้งไม่หมดมากขึ้นตาม

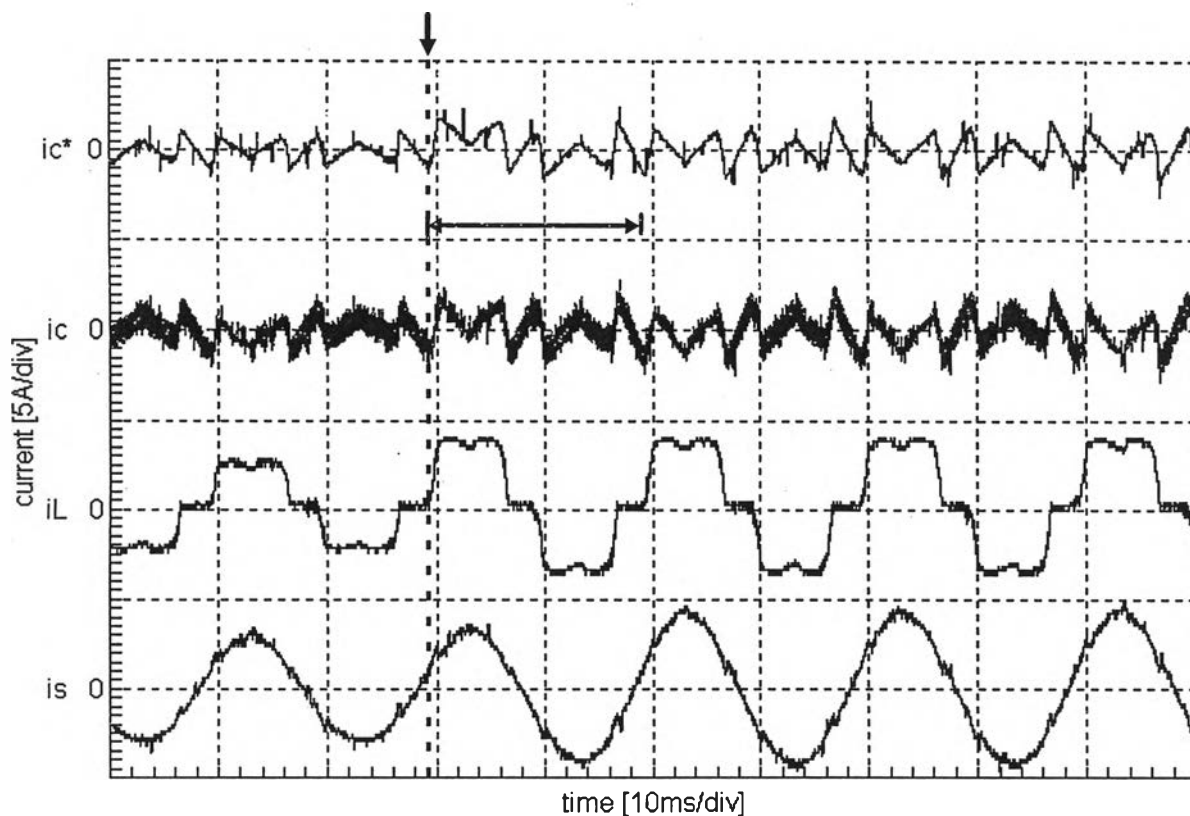
จากผลการทดลองทั้งหมดเราจะเห็นได้ว่าการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้ Recursive DFT เป็นวิธีการที่ให้ผลการทำงานดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีคือ

- 1) ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกได้อย่างแม่นยำจึงทำให้วงจรกรองกำลังสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้ดี
- 2) สามารถกำจัดเฉพาะกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ต้องการได้โดยไม่ทำให้ฮาร์มอนิกอันดับอื่นมีการเปลี่ยนแปลง
- 3) มีผลตอบสภาวะชั่วคราวที่รวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อใช้ Recursive DFT แบบ 1/6 คาบ

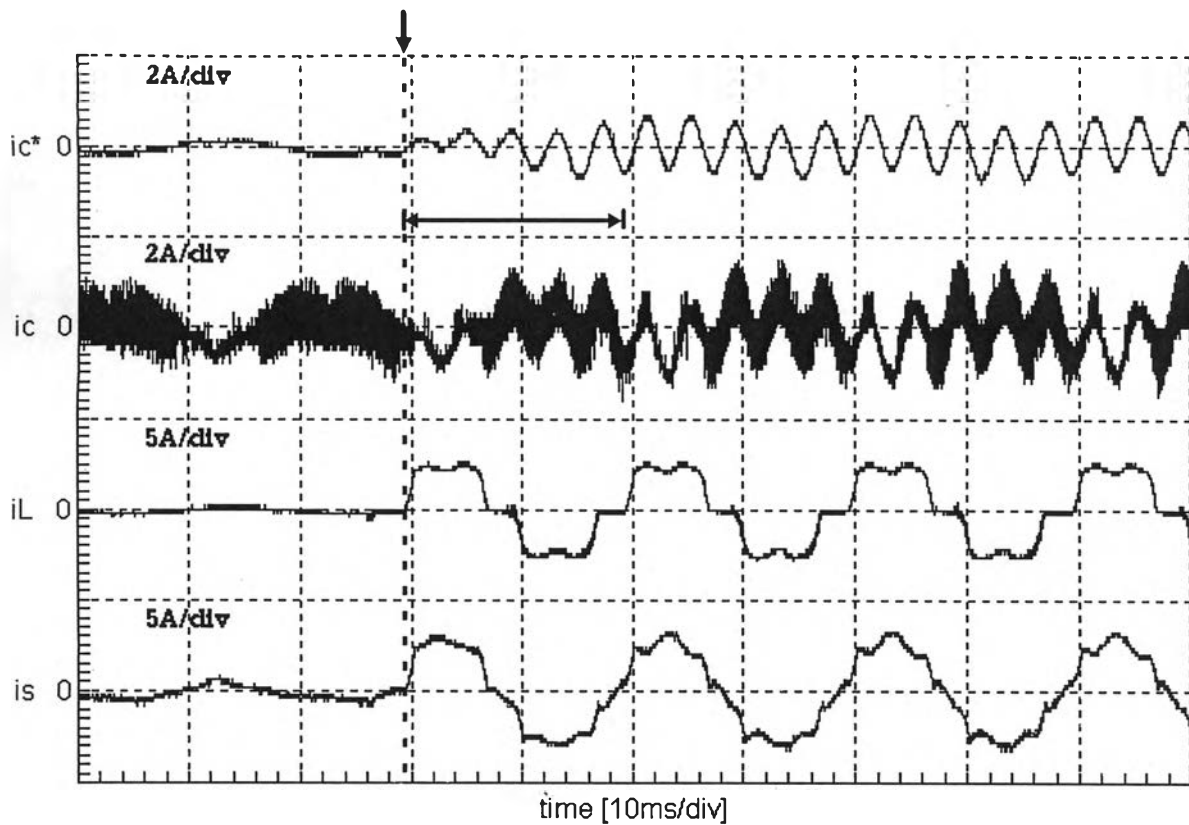
จากการทดลองในหัวข้อที่ 4 และ 5 เมื่อพิจารณาการกำจัดฮาร์มอนิกเฉพาะอันดับเราจะเห็นได้ว่าการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้ Recursive DFT จะดีกว่าการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้วิธีวงจรกรองบนแกนหมุนธรรมดาซึ่งไม่สามารถให้คุณลักษณะการแยกแยะฮาร์มอนิกที่ดีพร้อมไปกับสภาวะชั่วคราวที่สั้นได้



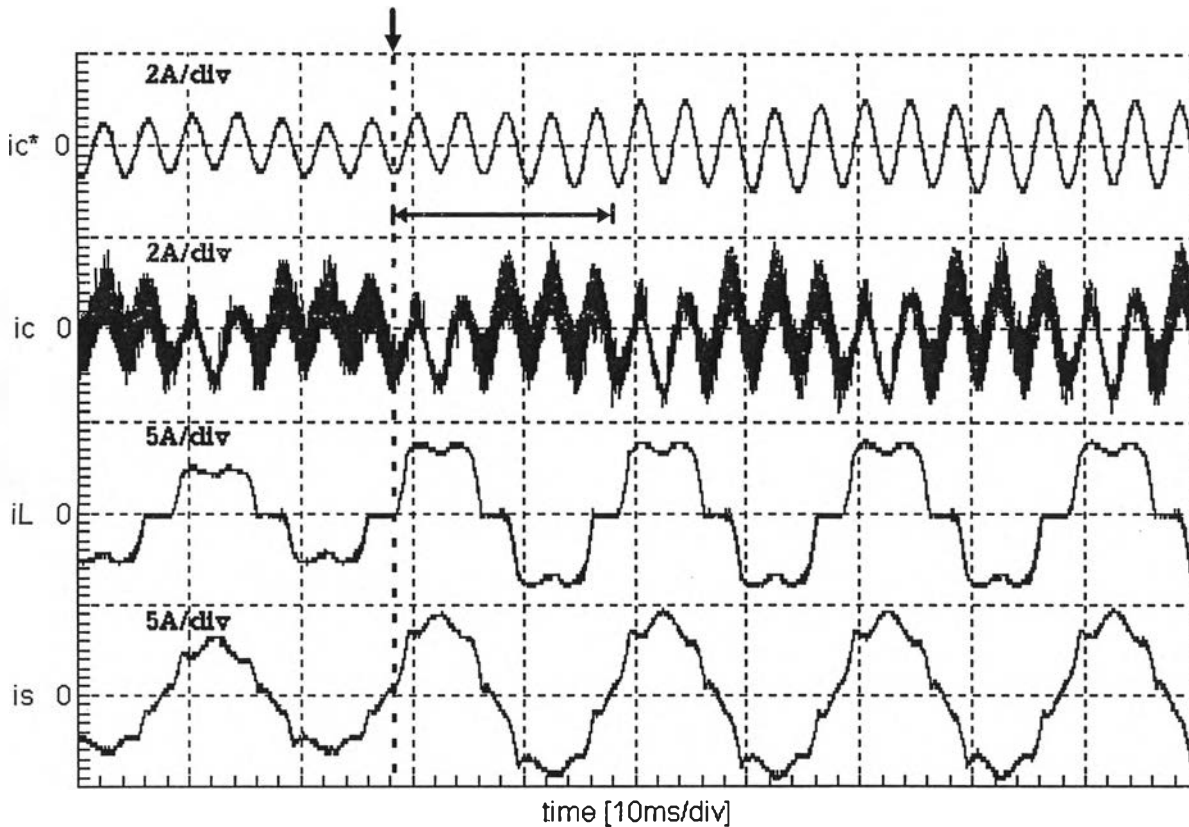
รูปที่ 6.67 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



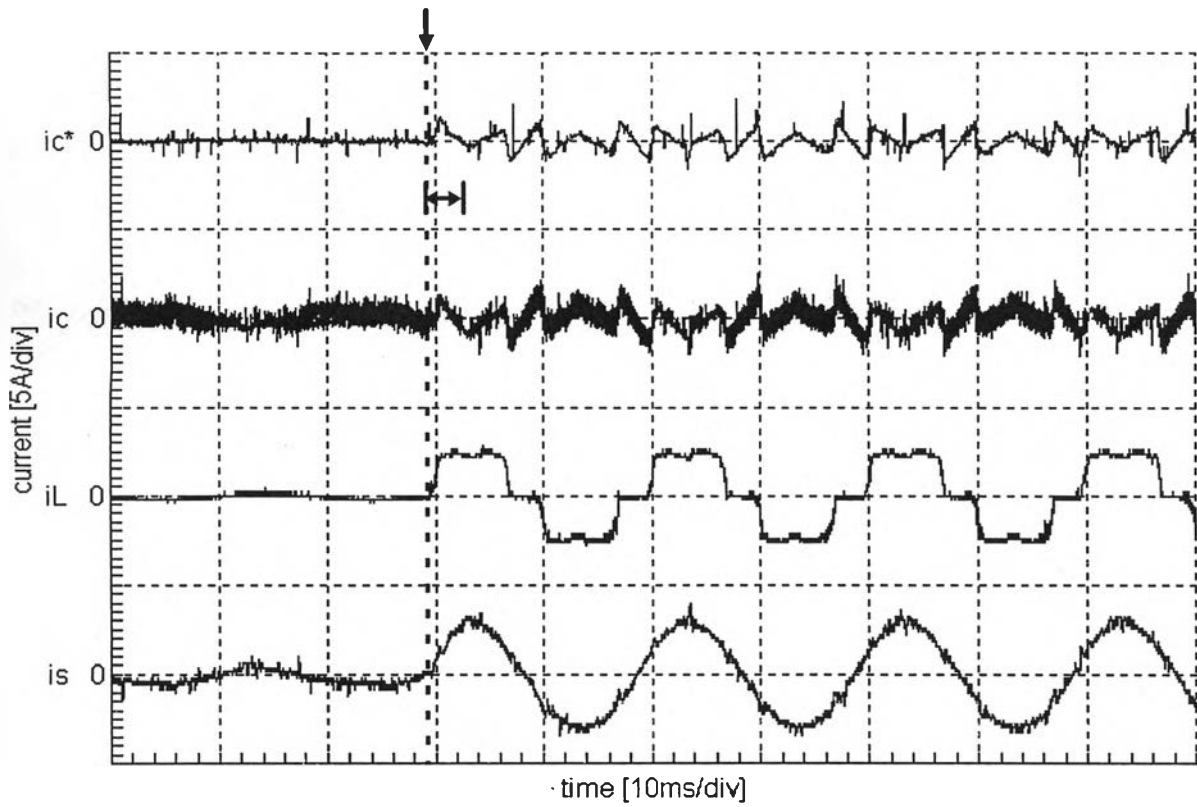
รูปที่ 6.68 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ เมื่อ โหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45โอห์ม



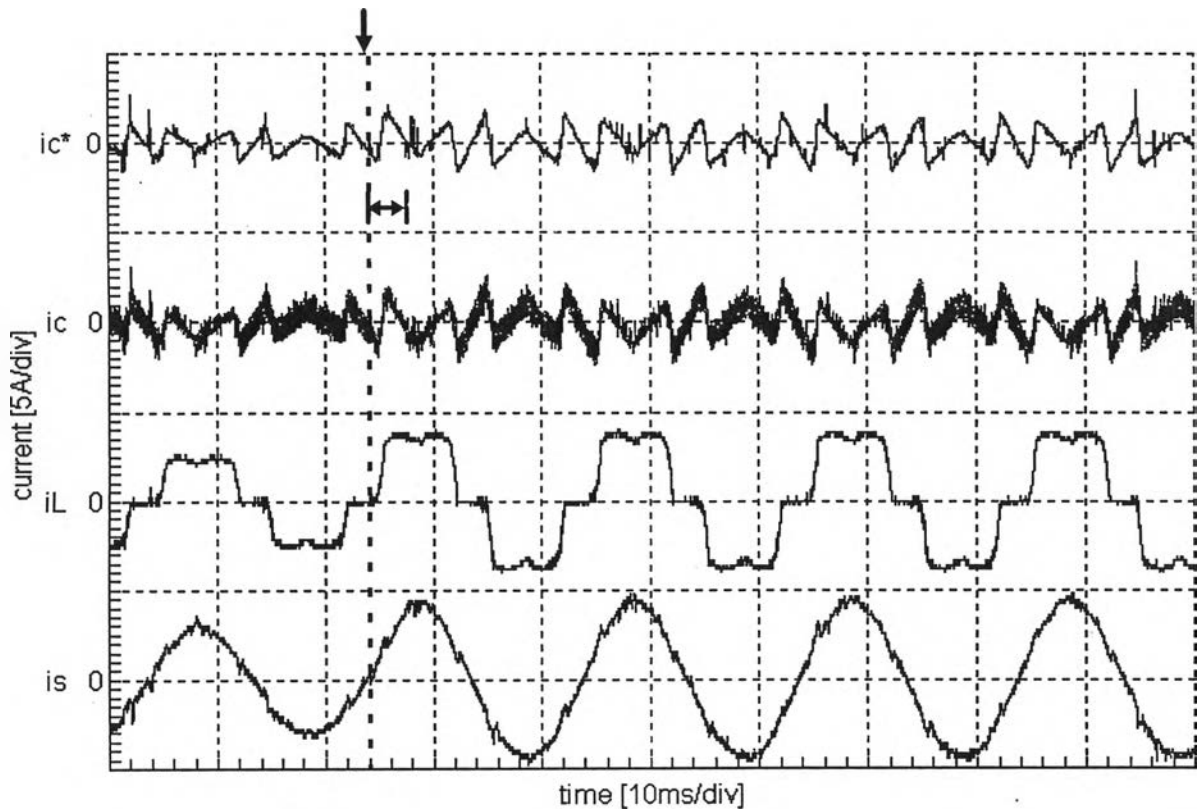
รูปที่ 6.69 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



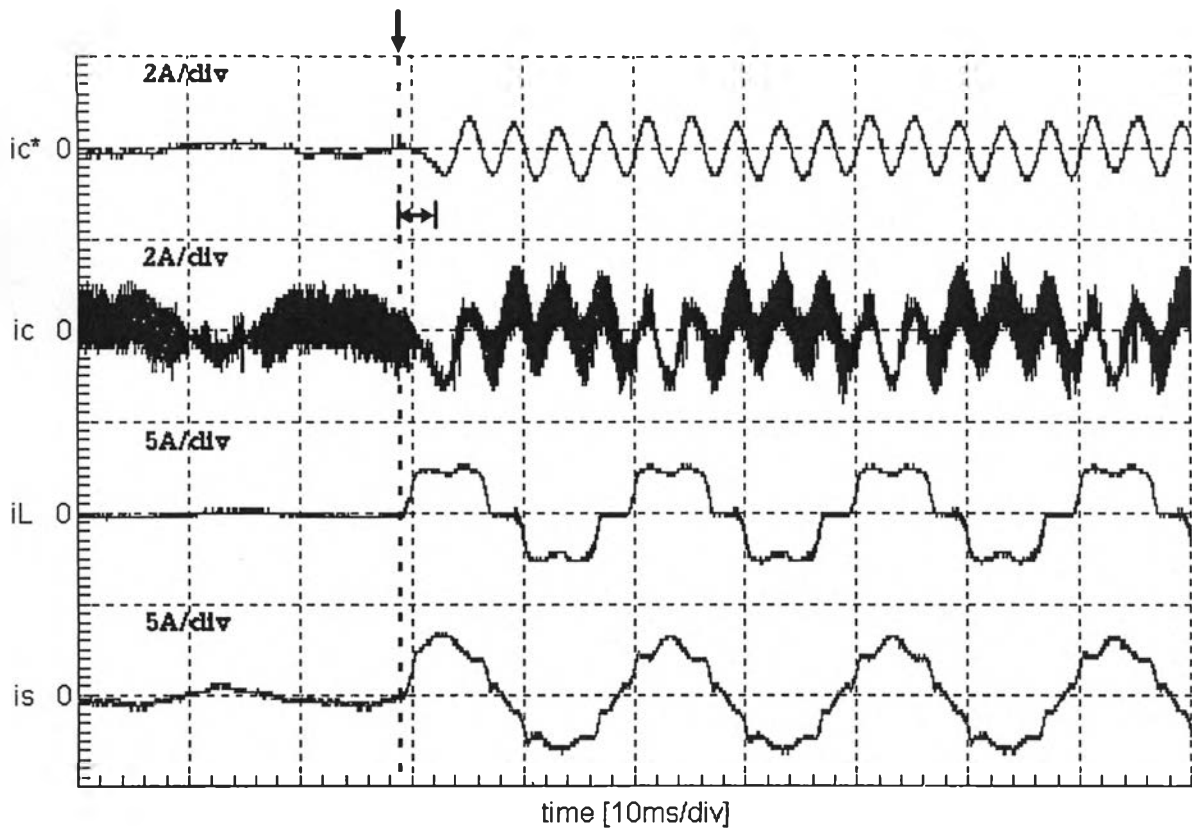
รูปที่ 6.70 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบเต็มคาบที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อโหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม



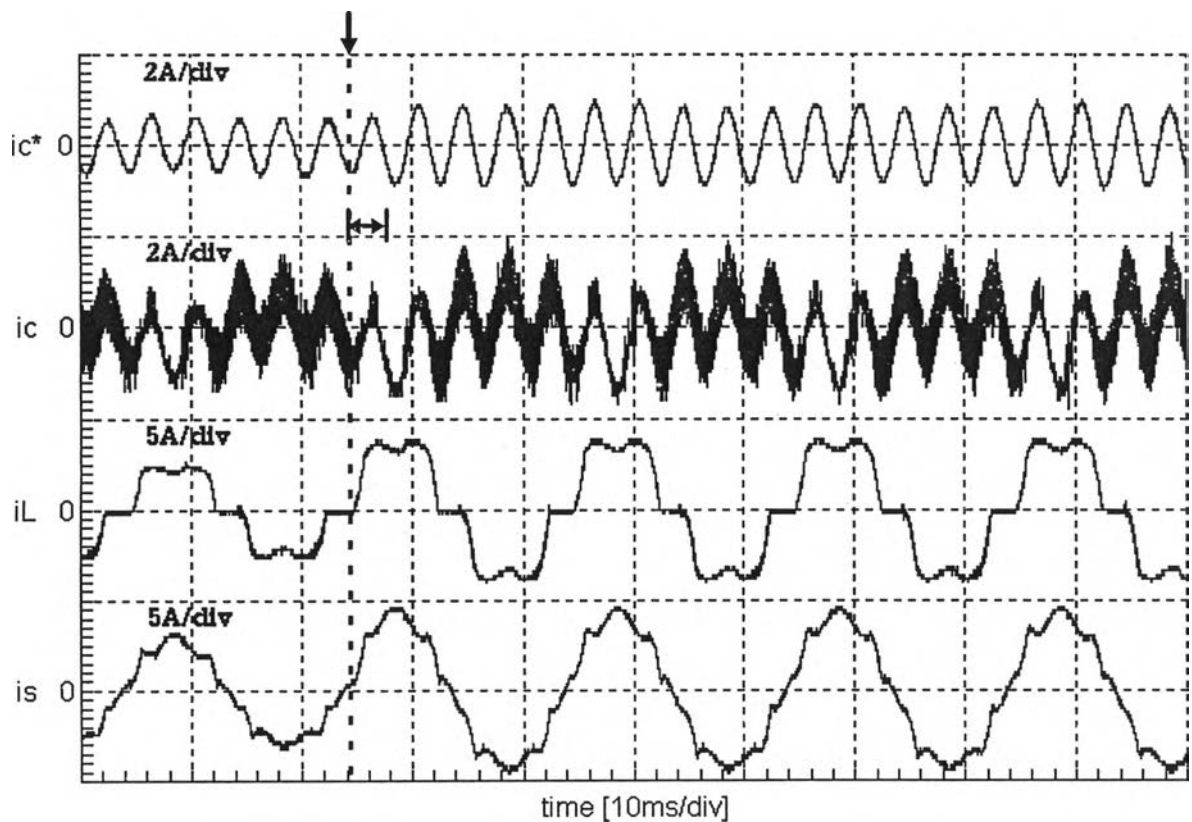
รูปที่ 6.71 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบ 1/6 คาบ ที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



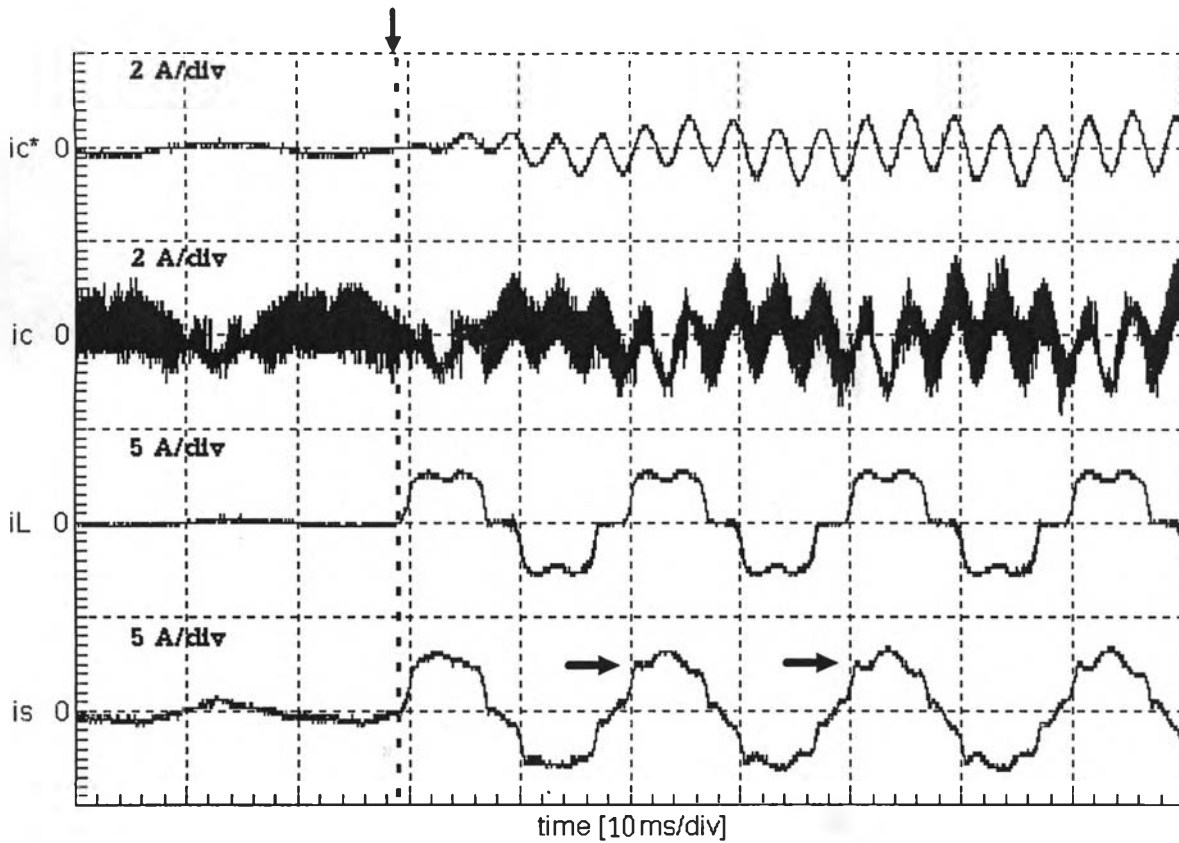
รูปที่ 6.72 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบ 1/6 คาบ ที่กำจัดกระแสฮาร์มอนิกทุกอันดับ เมื่อโหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม



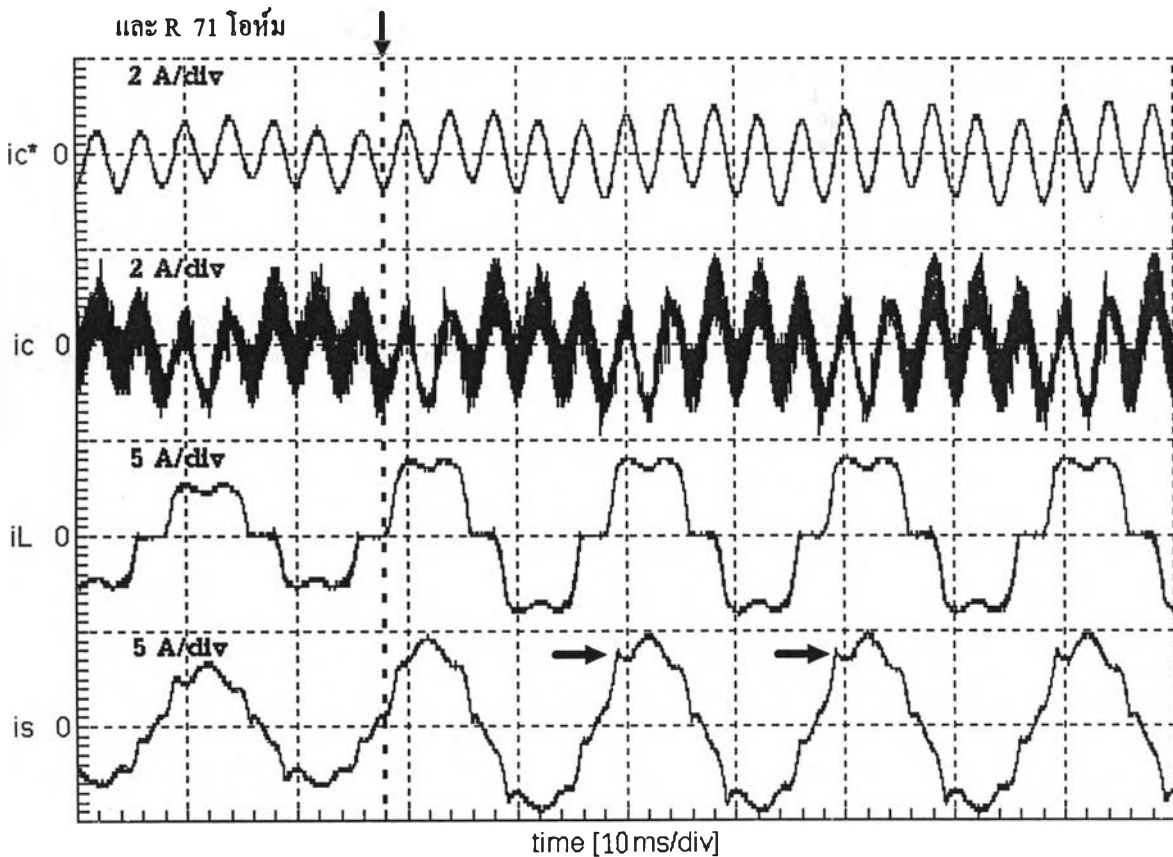
รูปที่ 6.73 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่
กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



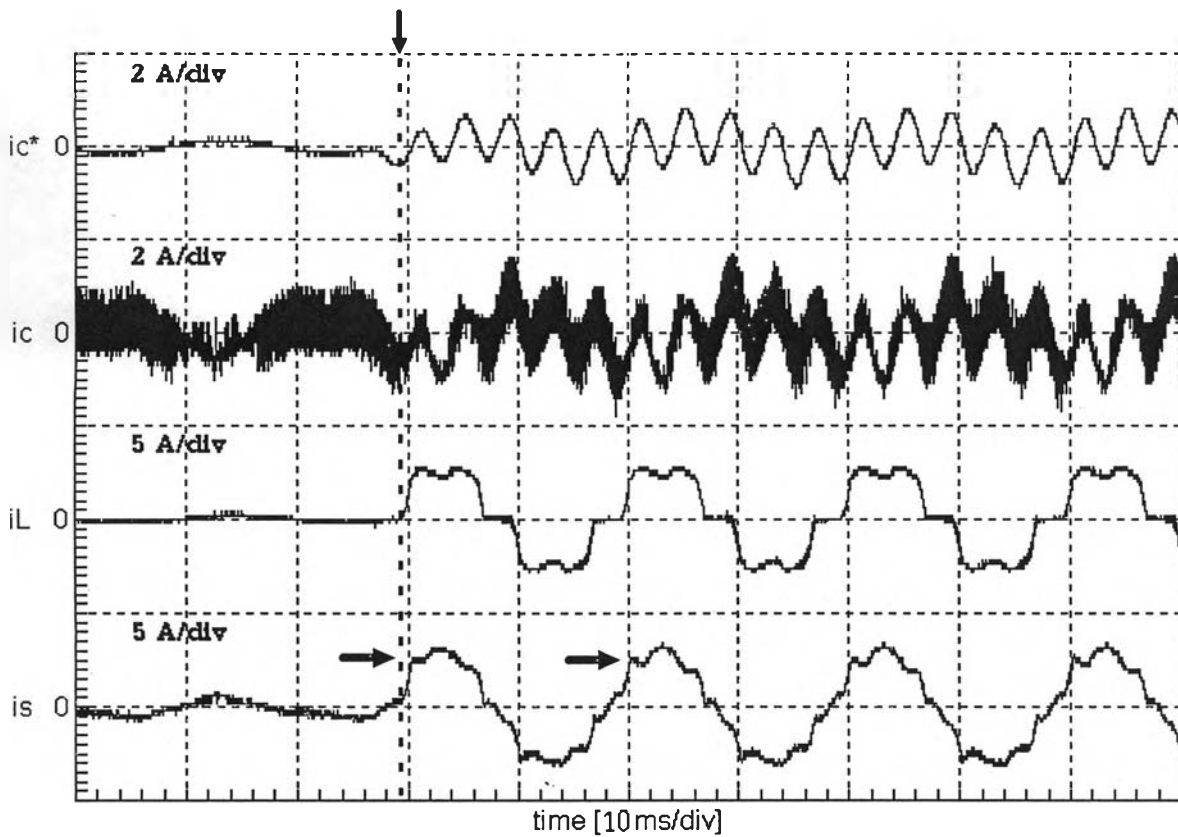
รูปที่ 6.74 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธี Recursive DFT แบบ 1/6 คาบที่
กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อโหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม



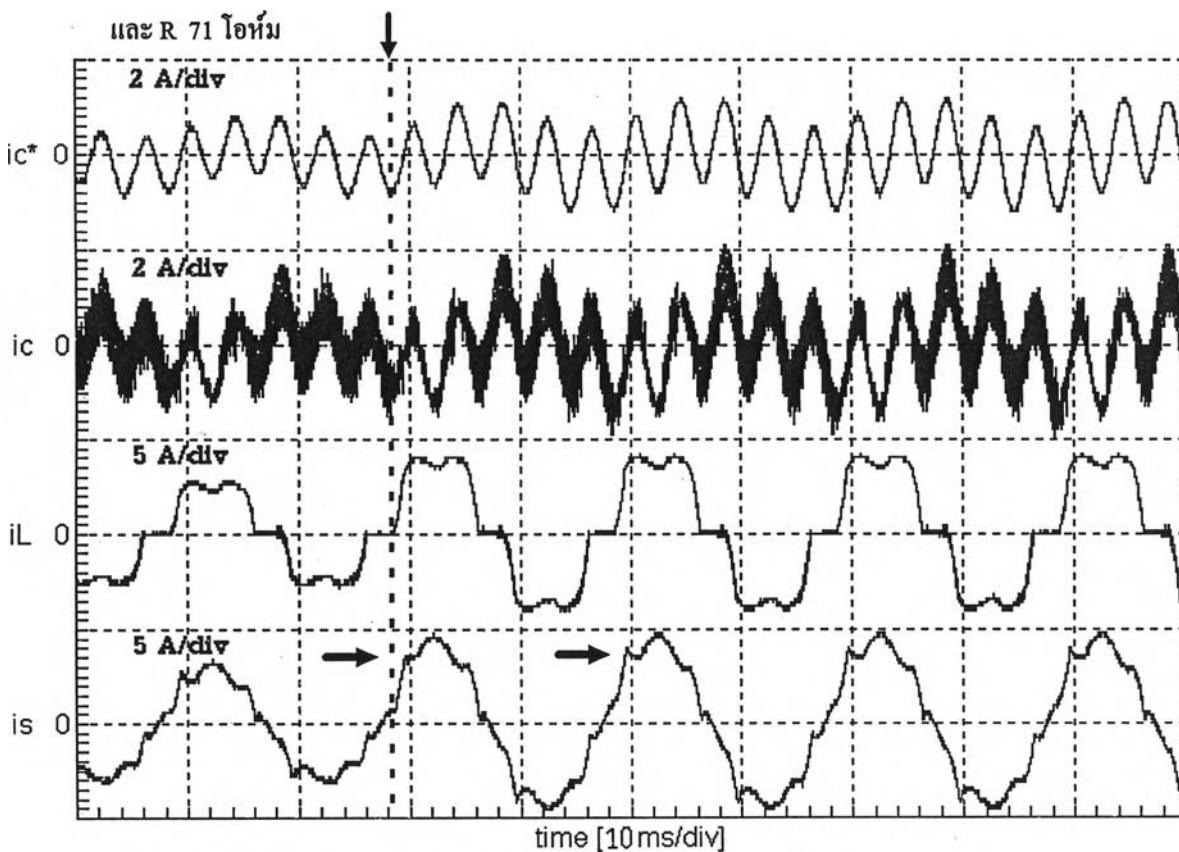
รูปที่ 6.75 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรงอบบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 10 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



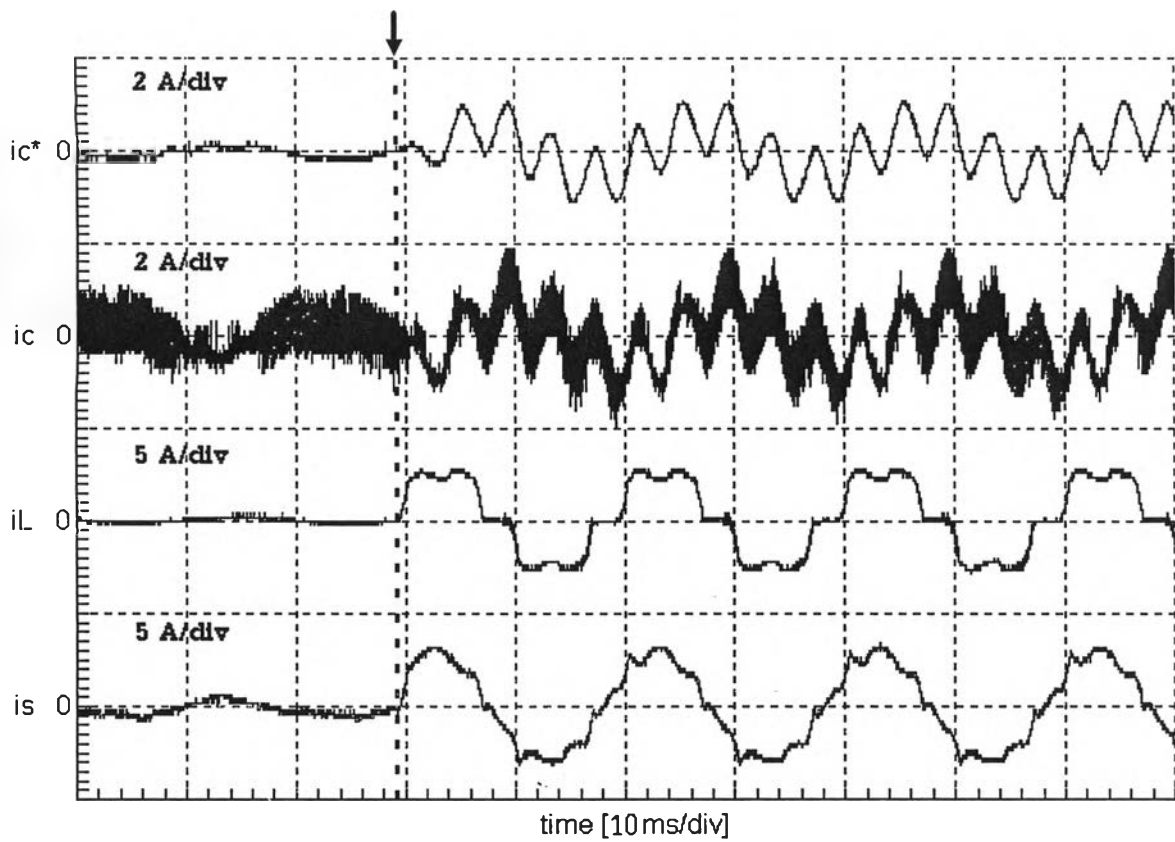
รูปที่ 6.76 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรงอบบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 10 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อโหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม



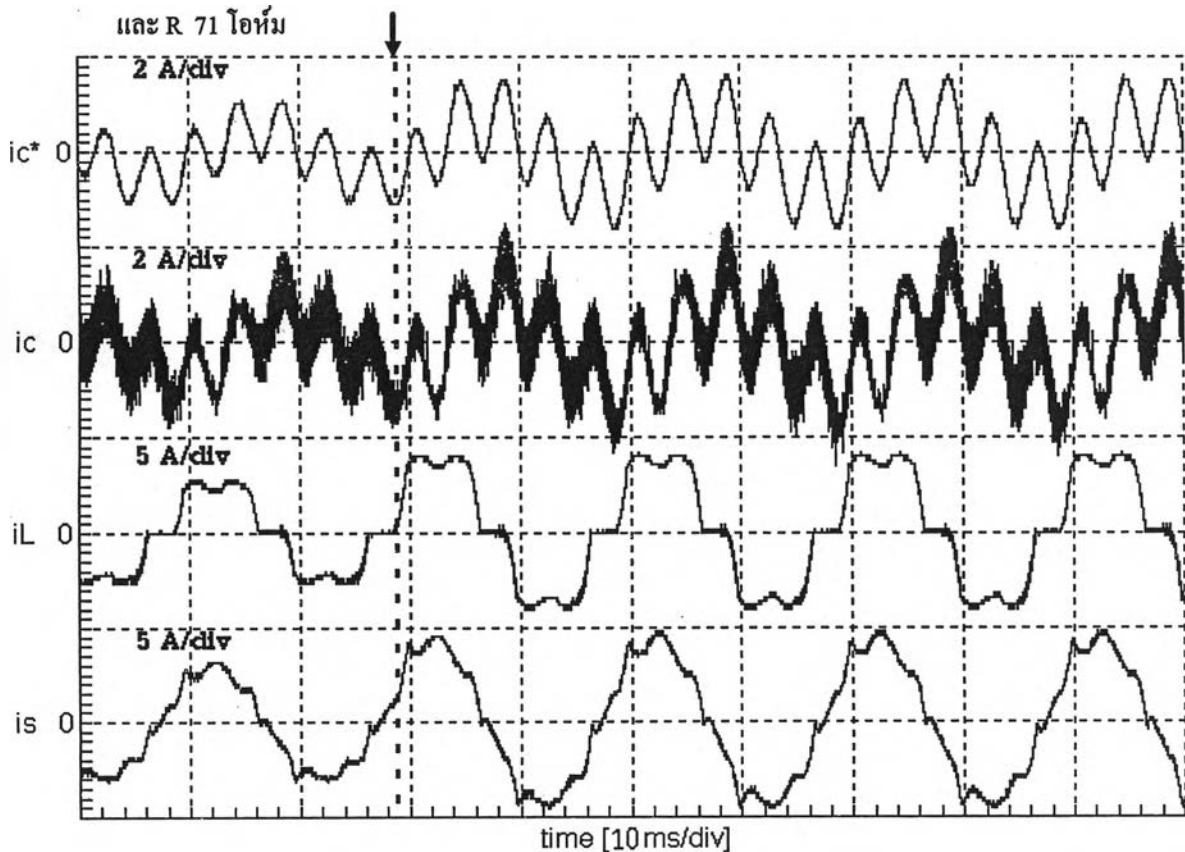
รูปที่ 6.77 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 20 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



รูปที่ 6.78 รูปคลื่นกระแสสถานะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 20 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อโหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม



รูปที่ 6.79 รูปคลื่นกระแสสภาวะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 50 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อเริ่มต่อวงจรเรียงกระแสซึ่งมีโหลดเป็น L 16 mH และ R 71 โอห์ม



รูปที่ 6.80 รูปคลื่นกระแสสภาวะชั่วครู่ของระบบที่ใช้การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีวงจรรองบนแกนหมุนที่มีความถี่หักมุม 50 Hz กำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เมื่อโหลดเปลี่ยนค่า R จาก 71 เป็น 45 โอห์ม