

บทที่ 6

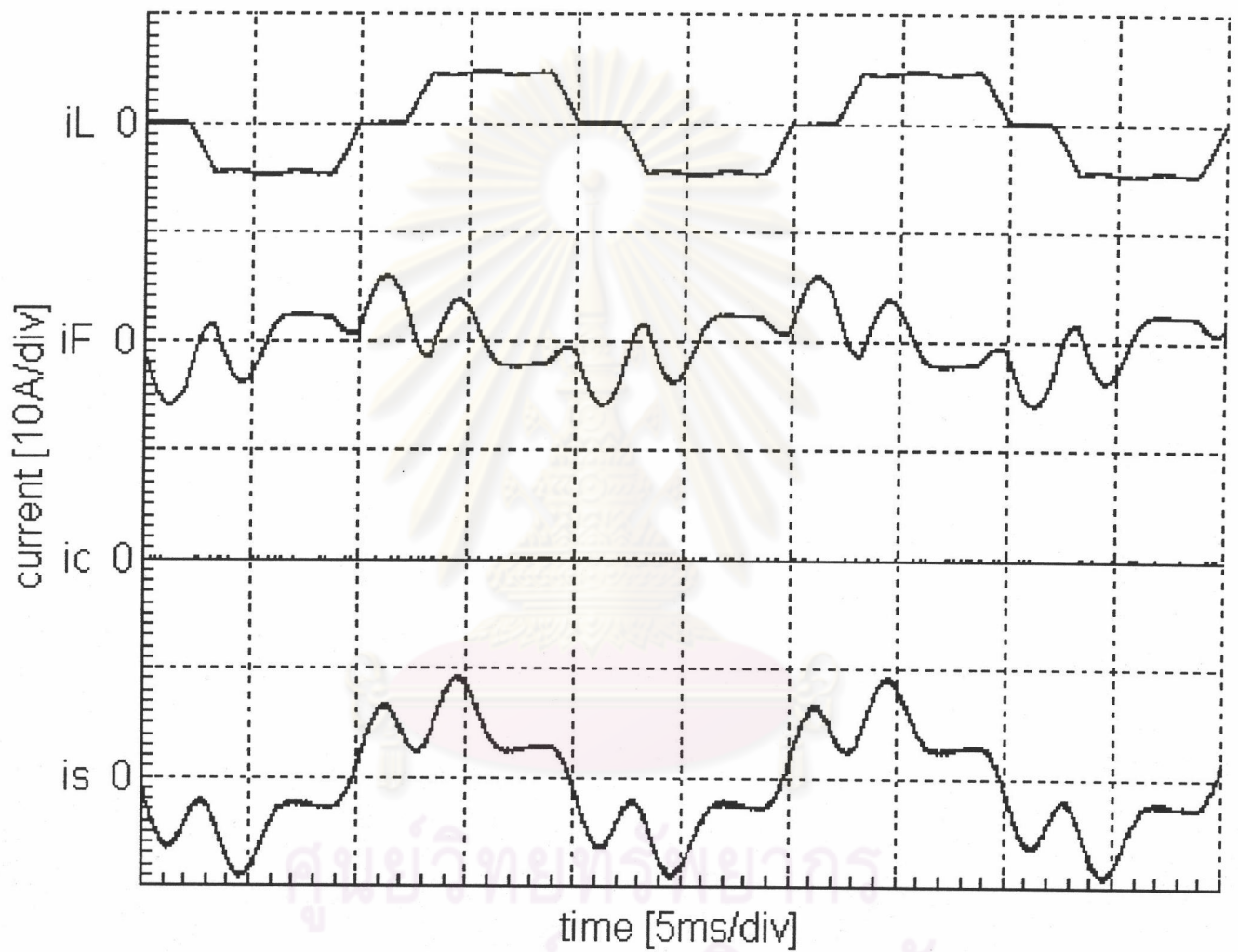
ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดฮาร์มอนิกของระบบวงจรกรองแยกที่พจนานแบบไฮบริดเราจะทำการทดสอบการทำงานของระบบตามที่ได้ออกแบบมา โดยอาศัยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาตามที่กล่าวในบทที่ 6 โดยระบบที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะเป็นระบบเดียวกับที่ใช้ในการจำลองผลการทำงานคือจะเป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย 380 V. 50 Hz อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย (Z_s) มีค่าเป็น $j2.67 \Omega$ (0.046 pu.) ต่อร่วมกับโหลดวงจรเรียงกระแส 3 เฟสขนาด 2.5 kVA ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน 35Ω และตัวเหนี่ยวนำ 16 mH

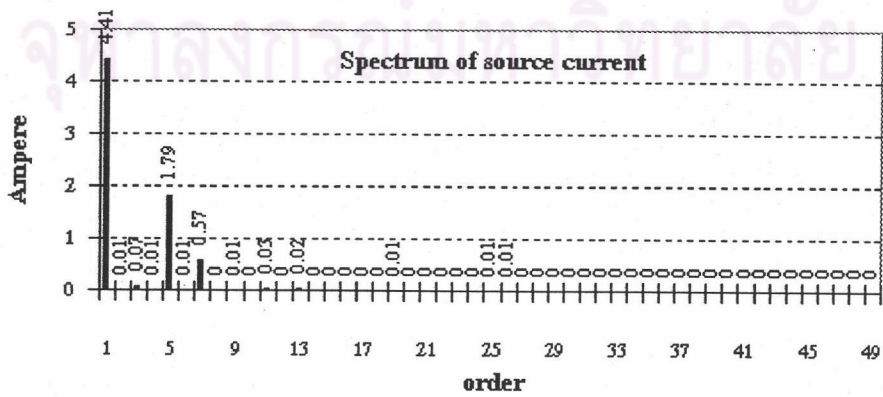
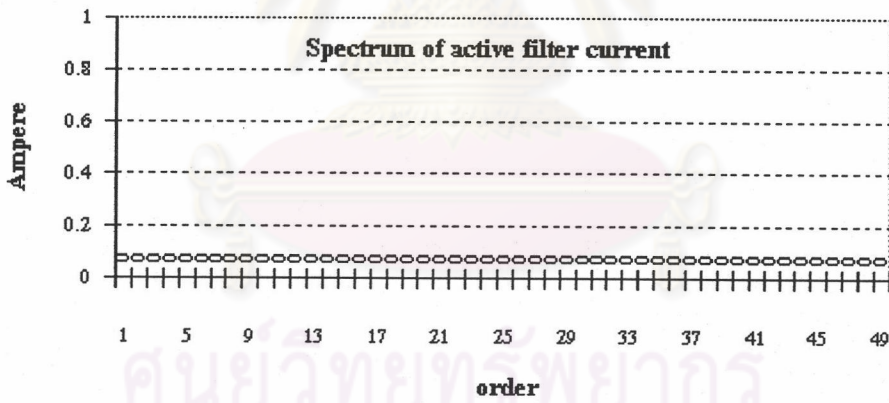
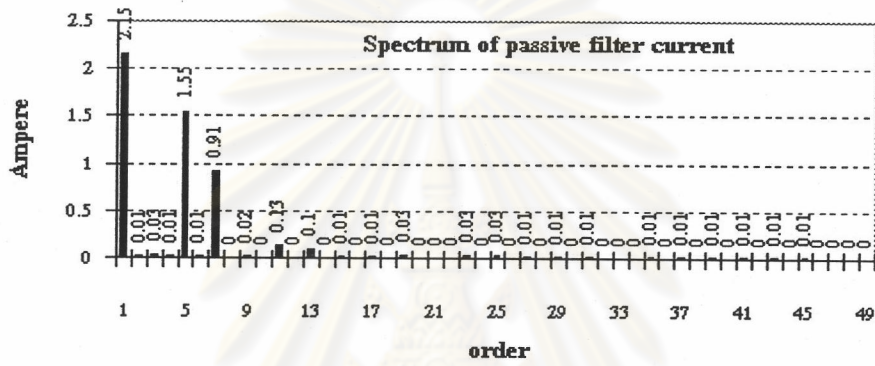
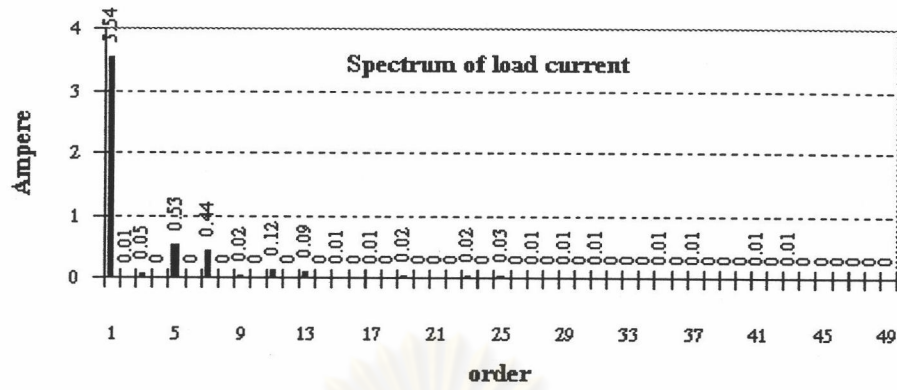
สำหรับผลการทดสอบการทำงานของระบบที่จะนำเสนอในบทนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบในกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

กรณีที่ 1. ระบบที่ใช้วงจรกรองพาสซีฟแบบผ่านความถี่สูงเพียงอย่างเดียว(PF) ระบบที่มีลักษณะเช่นนี้จะพบได้ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปที่ใช้ตัวเก็บประจุในการจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟเพื่อชดเชยตัวประกอบกำลัง ผลการทดสอบแสดงเป็นรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบดังรูปที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานจะพบว่าวงจรกรองพาสซีฟซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นวงจรกรองผ่านความถี่สูงจะสามารถกำจัดฮาร์มอนิกอันดับสูง (ตั้งแต่ อันดับที่ 11 ขึ้นไป) ได้ดี แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาองค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 จะพบว่ามีค่ามากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเรโซแนนซ์ขึ้นระหว่างตัวเก็บประจุในวงจรกรองพาสซีฟ ($C_{hp}=33.8\mu F$) กับตัวเหนี่ยวนำของแหล่งจ่าย ($L_s=8.5$ mH) นั่นเอง โดยเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่จะอยู่ในช่วงความถี่ประมาณ 300 Hz (ดูรูปที่ 3.9 เมื่อ $K=0$) จึงทำให้องค์ประกอบฮาร์มอนิกที่ 5 และ 7 กระจายให้มีความมากขึ้น

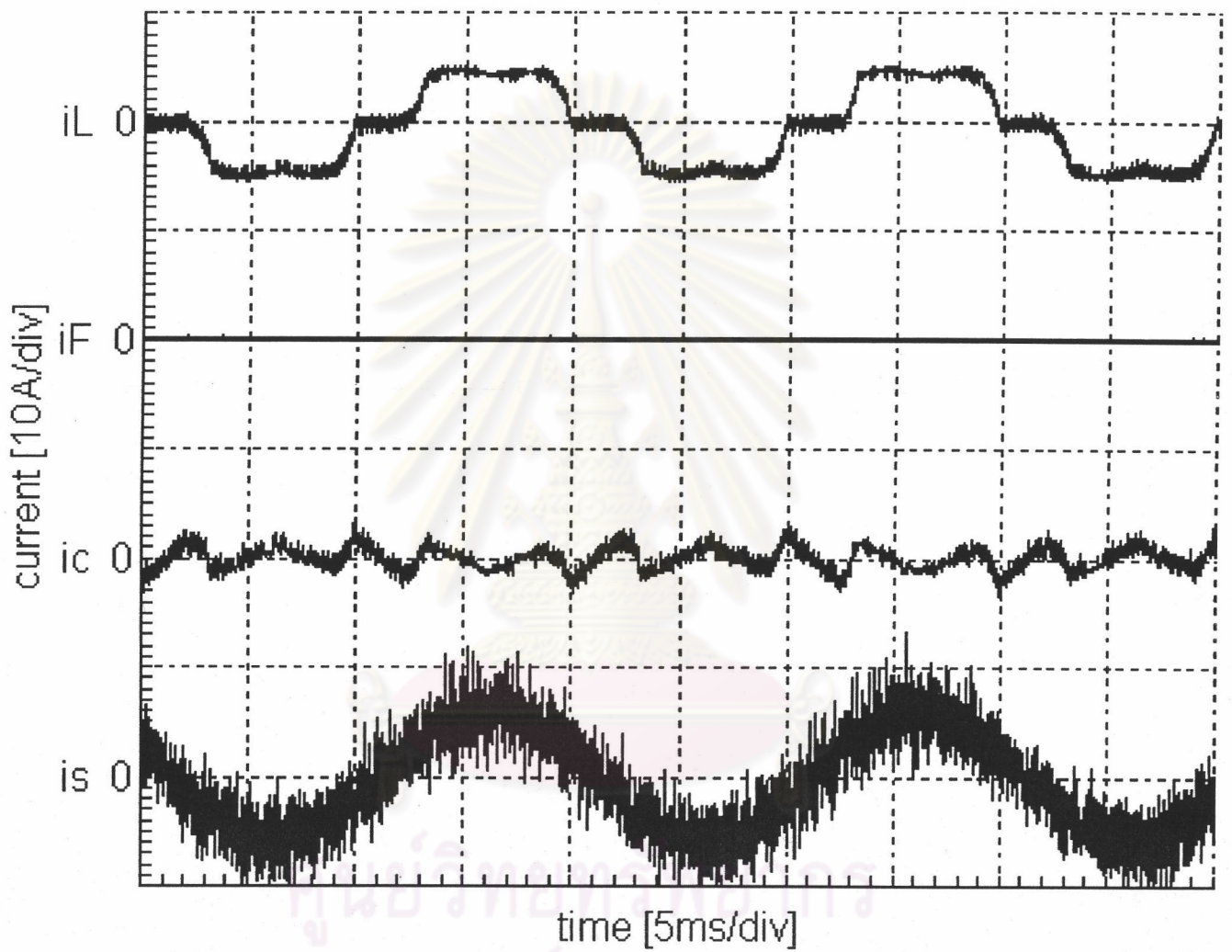
กรณีที่ 2. ระบบที่ใช้วงจรกรองแยกทีฟเพียงอย่างเดียว(AF) จะได้ผลการทดสอบเป็นรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบดังรูปที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานที่ได้จะเห็นได้ว่าวงจรกรองแยกทีฟสามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกจนทำให้กระแสทางด้านแหล่งจ่ายมีลักษณะใกล้เคียงไซน์มากขึ้น สังเกตได้จากค่า THD ที่ลดลงเหลือเพียง 4.04 % (ดูตารางที่ 6.1) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการลดทอนของกระแสฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับจะพบว่า กระแสฮาร์มอนิกอันดับสูงจะถูกลดทอนลงไปได้น้อยกว่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับต่ำดังจะเห็นได้จากปริมาณฮาร์มอนิกที่เหลืออยู่ในกระแสทางด้านแหล่งจ่ายเมื่อ



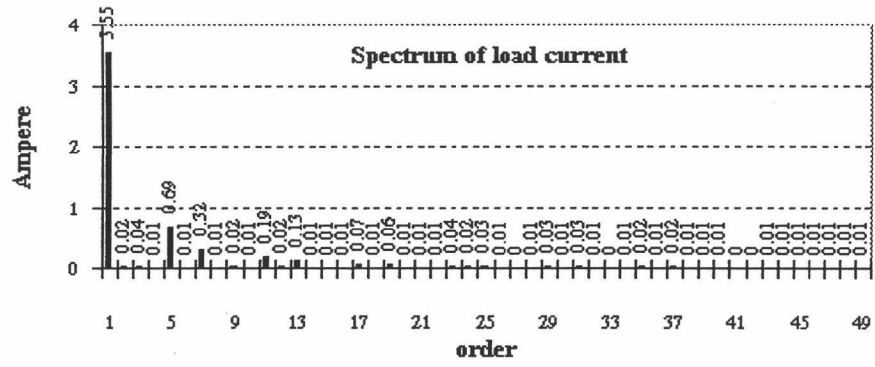
รูปที่ 6.1 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองพาสซีฟ



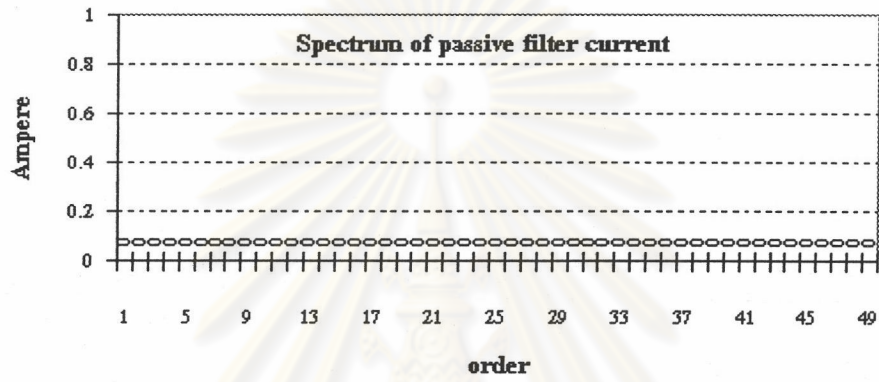
รูปที่ 6.2 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองพาสซีฟ



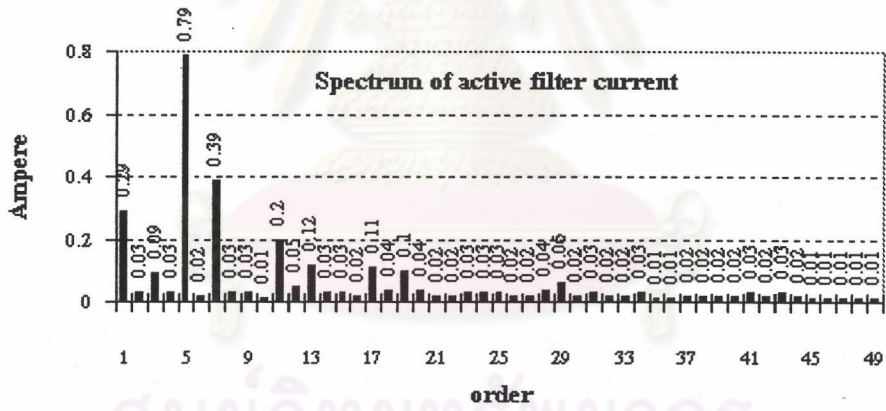
รูปที่ 6.3 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้เฉพาะวงจรกรองแอกทีฟเท่านั้น



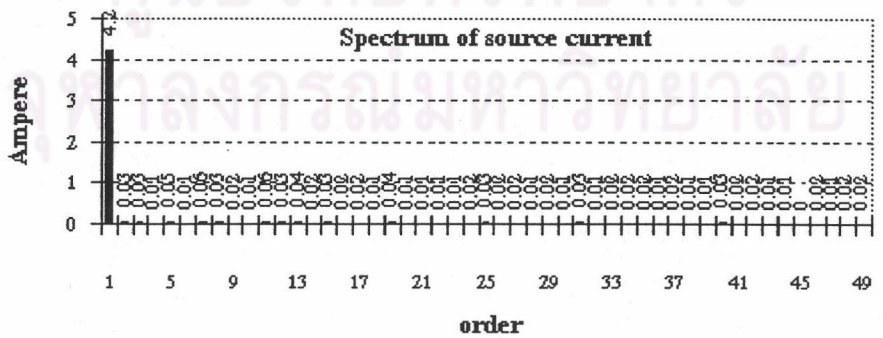
$I_L = 3.64 \text{ A}$



$I_F = 0 \text{ A}$



$I_c = 1.00 \text{ A}$



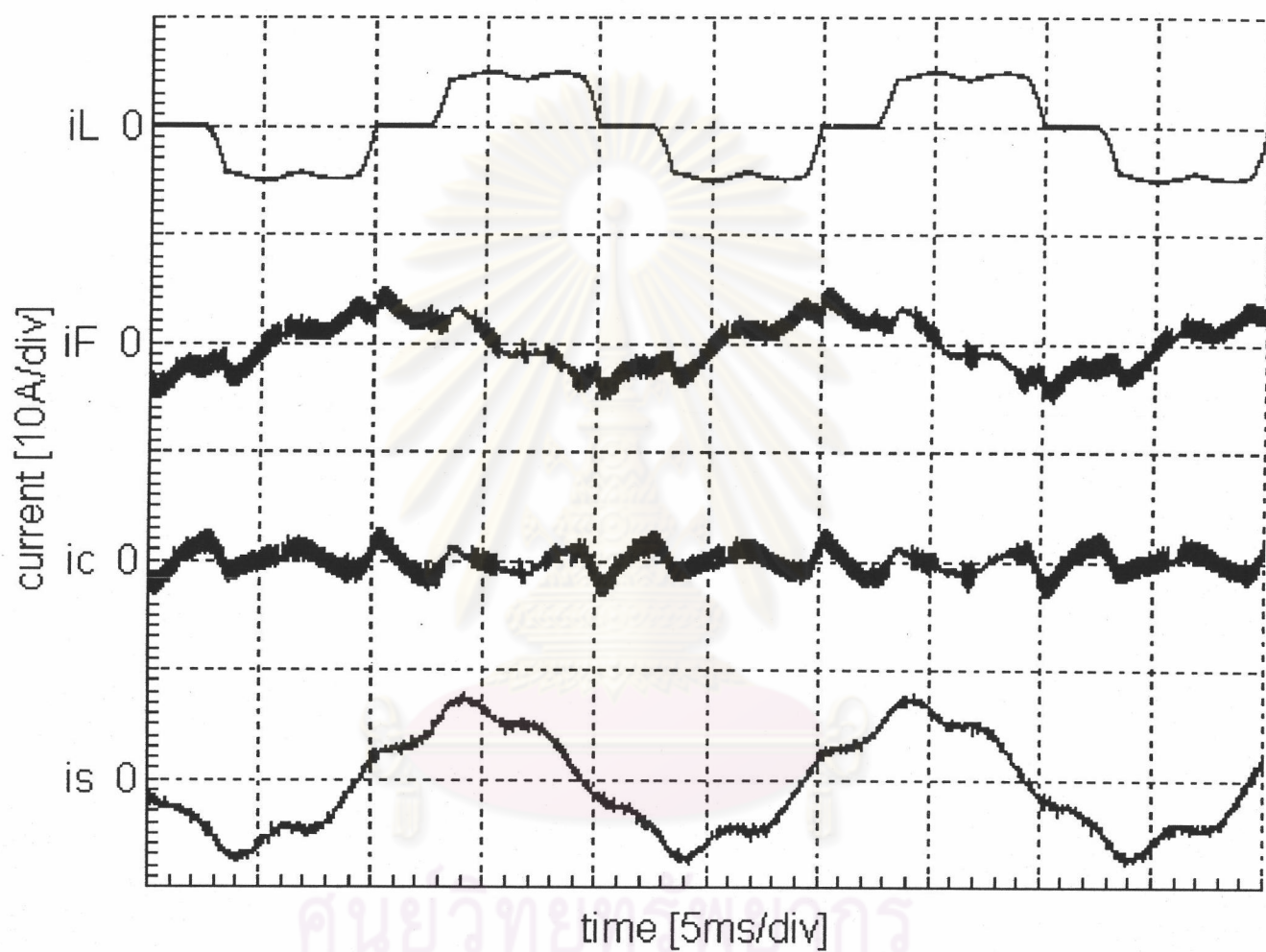
$I_s = 4.2 \text{ A}$

รูปที่ 6.4 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้เฉพาะวงจรกรองแอกทีฟเท่านั้น

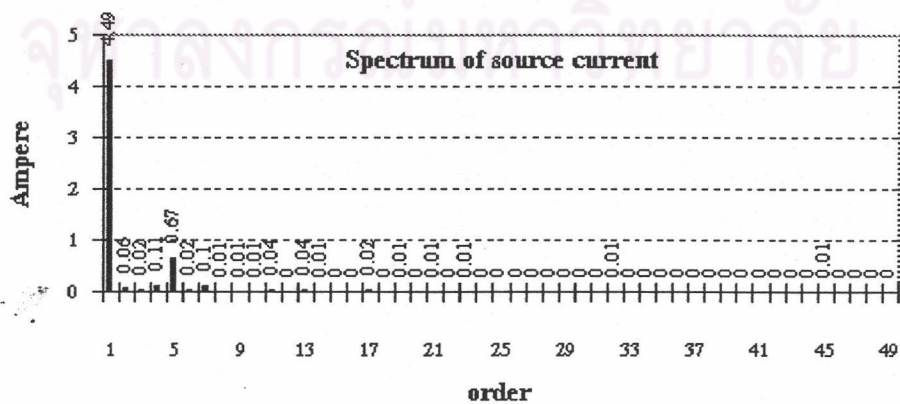
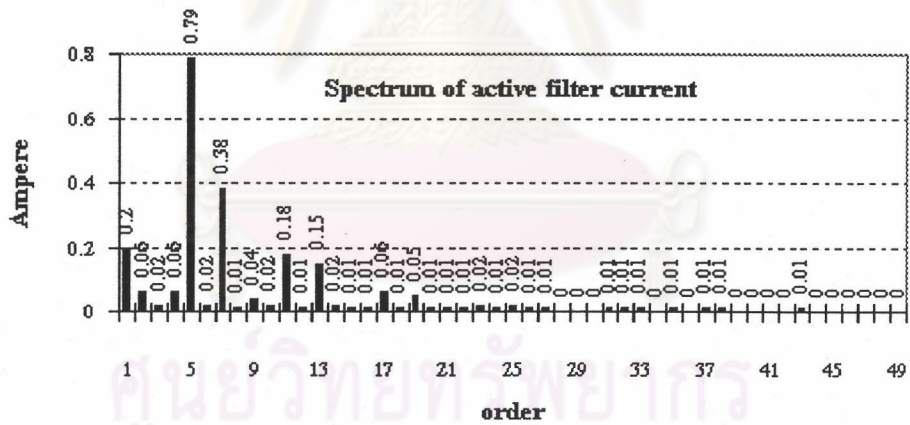
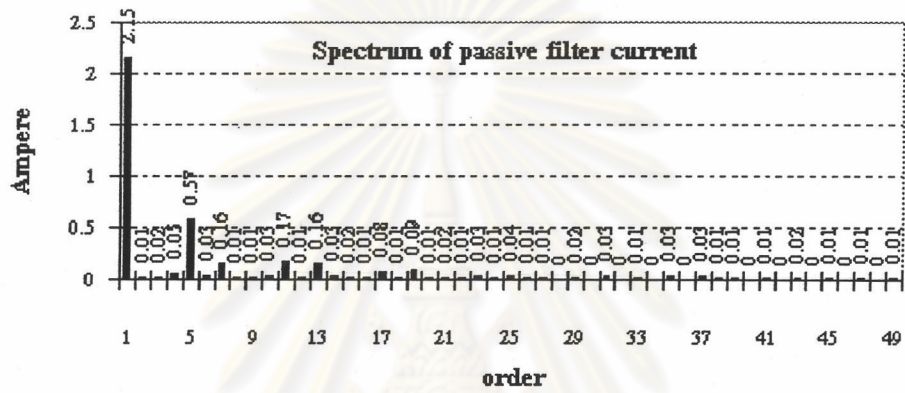
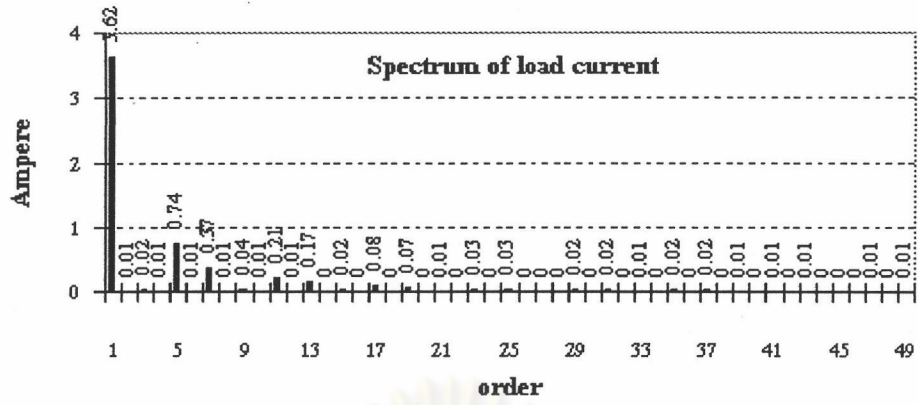
เทียบกับกระแสไหล โดยที่ฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 $|i_{sh}|/|i_{Lh}|$ ($h=5$) มีค่าเท่ากับ 0.07 ในขณะที่ค่า $|i_{sh}|/|i_{Lh}|$ ($h=11$) ของฮาร์มอนิกที่ 11 มีค่าเท่ากับ 0.32 (ดูรูปที่ 6.4) แสดงให้เห็นว่าวงจรกรองแอกทีฟจะมีลักษณะสมบัติในการกรองฮาร์มอนิกอันดับสูงไม่ดีเท่ากับฮาร์มอนิกอันดับต่ำซึ่งเป็นเพราะว่าในการสร้างกระแสชดเชยสำหรับฮาร์มอนิกอันดับสูงจะต้องใช้การควบคุมกระแสที่มีความเร็วสูงซึ่งทำได้ยากในทางปฏิบัติ นอกจากนี้แล้วการใช้วงจรกรองแอกทีฟเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีวงจรกรองความถี่การสวิตช์จะทำให้กระแสทางด้านแหล่งจ่ายที่ได้มีความถี่การสวิตช์ปะปนเข้ามาด้วยดังรูปที่ 6.3 (โดยปกติแล้วการใช้วงจรกรองแอกทีฟเพียงอย่างเดียวจะต้องมีวงจรกรองความถี่การสวิตช์รวมอยู่ด้วย)

กรณีที่ 3. ระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดโครงสร้างแบบที่ 1 จะได้ผลการทดสอบเป็นรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบดังรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ จุดประสงค์ของการใช้วงจรกรองแบบไฮบริดก็คือเป็นการรวมเอาข้อดีของทั้งวงจรกรองพาสซีฟและวงจรกรองแอกทีฟมาใช้ในการกำจัดฮาร์มอนิก โดยวงจรกรองแอกทีฟจะทำหน้าที่หลักในการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับต่ำของระบบซึ่งลักษณะสมบัติการกรองฮาร์มอนิกอันดับต่ำของวงจรกรองแอกทีฟดีกว่าฮาร์มอนิกอันดับสูงดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในกรณีที่ 2 และวงจรกรองพาสซีฟซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นวงจรกรองผ่านความถี่สูงจะทำหน้าที่ในการกรองกระแสฮาร์มอนิกอันดับสูงที่เหลือของระบบโดยที่วงจรกรองพาสซีฟชนิดผ่านความถี่สูงจะมีขนาดเล็กกว่าวงจรกรองพาสซีฟที่กรองความถี่ต่ำ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการทำงานที่ได้ จะพบว่าองค์ประกอบของกระแสในส่วนของฮาร์มอนิกอันดับที่ 7 เป็นต้นไปสามารถที่จะถูกลดทอนลงไปได้ดี แต่เมื่อพิจารณาองค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 แล้วกลับพบว่าไม่สามารถถูกลดทอนลงไปได้มาก กล่าวคือมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 หลงเหลืออยู่ในกระแสทางด้านแหล่งจ่ายค่อนข้างมาก ($|i_{sh}|/|i_{Lh}|$ ($h=5$) = 0.91) ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวสอดคล้องกับผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 2 (รูปที่ 4.4 และ 4.5) และสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน (ดูคำอธิบายในบทที่ 3 และ 4)

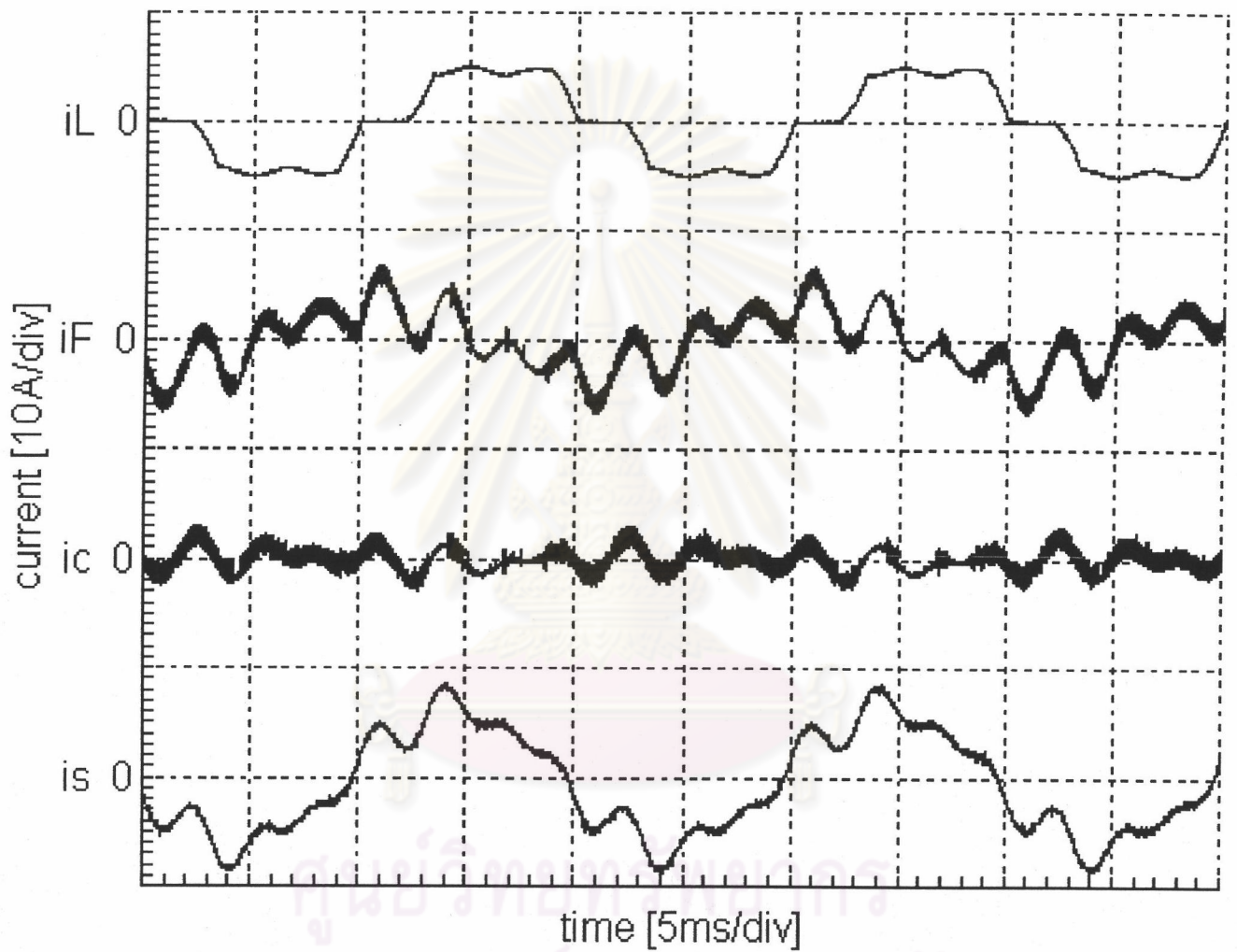
กรณีที่ 4. ระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดโครงสร้างแบบที่ 2 (เมื่อฟังก์ชันควบคุม $G(s) = K$) โดยในการทดสอบเราได้ทำการเปลี่ยนค่าอัตราขยาย K เป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ 1 , 5 , 10 และได้ผลการทดสอบเป็นรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบดังรูปที่ 6.7-6.12 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานจะพบว่าเมื่อใช้ค่าอัตราขยาย $K = 1$ (รูปที่ 6.7-6.8) รูปคลื่นกระแสทางด้านแหล่งจ่ายที่ได้จะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่ 5 และ 7 หลงเหลืออยู่มาก (มากกว่าที่มีอยู่เดิมในกระแสไหล) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าโดยหลักการแล้วการใช้โครงสร้างวงจรที่มีการป้อนกลับ (โครงสร้างแบบที่ 2) จะเป็นแนวทางที่



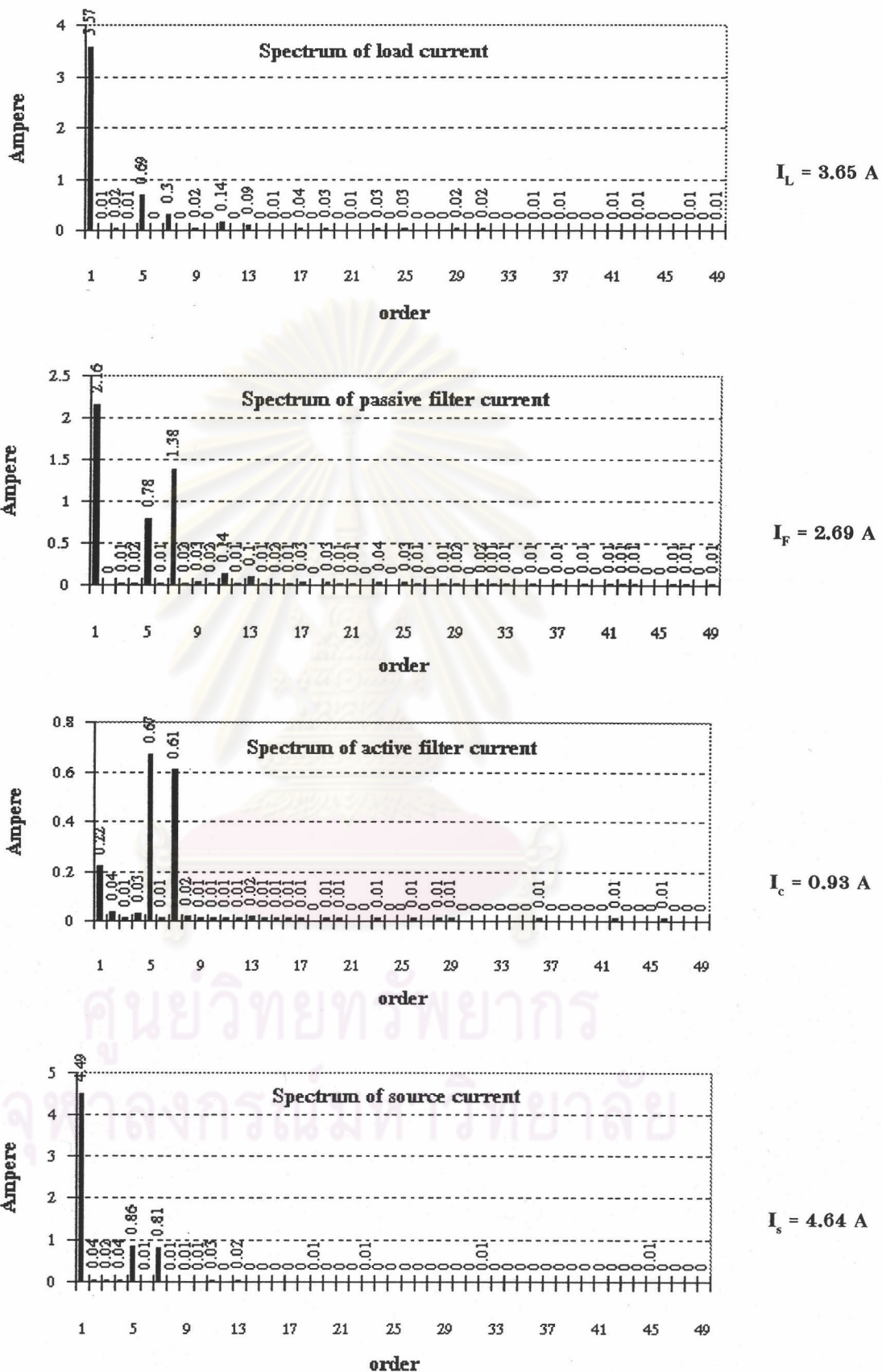
รูปที่ 6.5 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 1



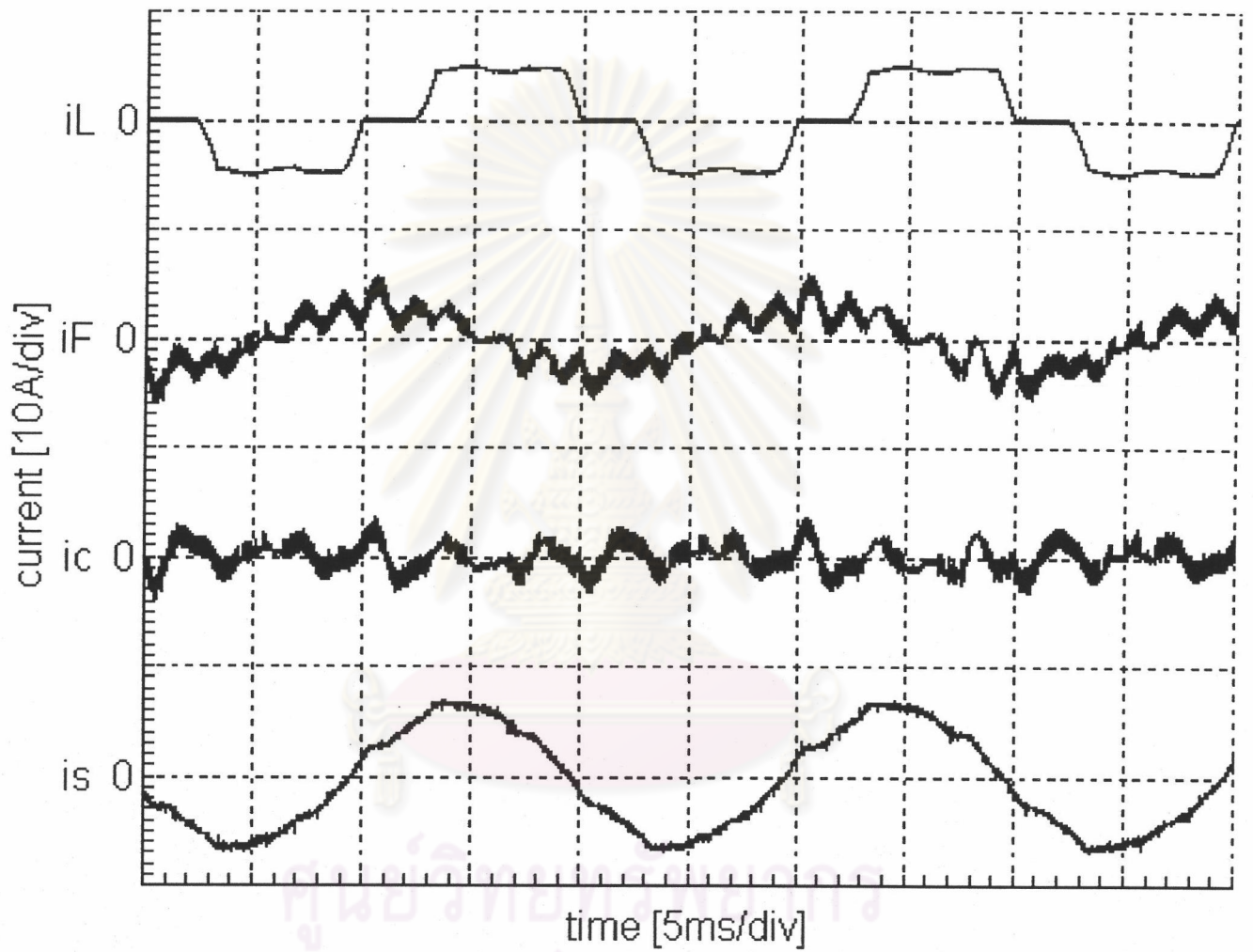
รูปที่ 6.6 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 1



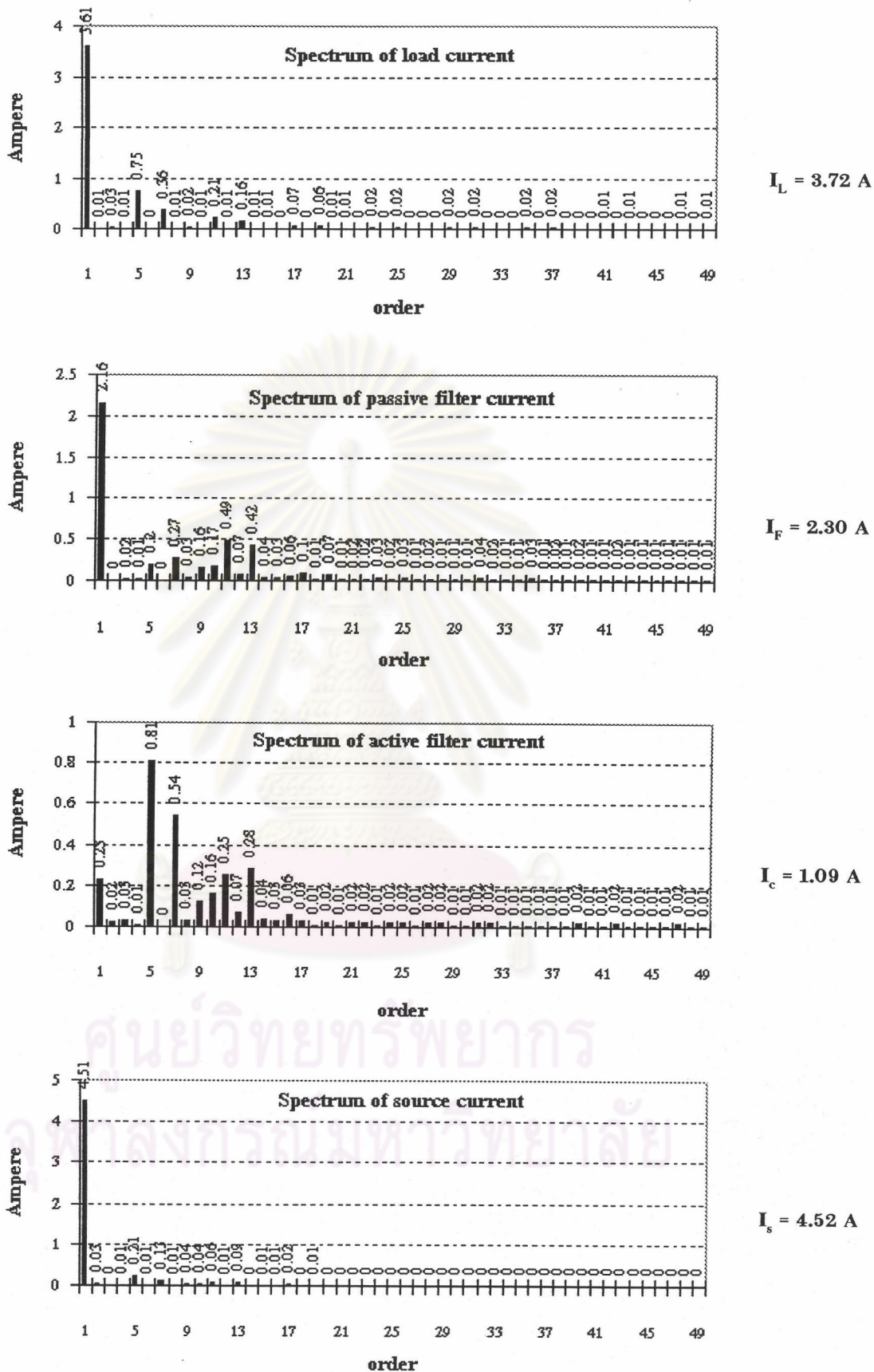
รูปที่ 6.7 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K$ ($K=1$)



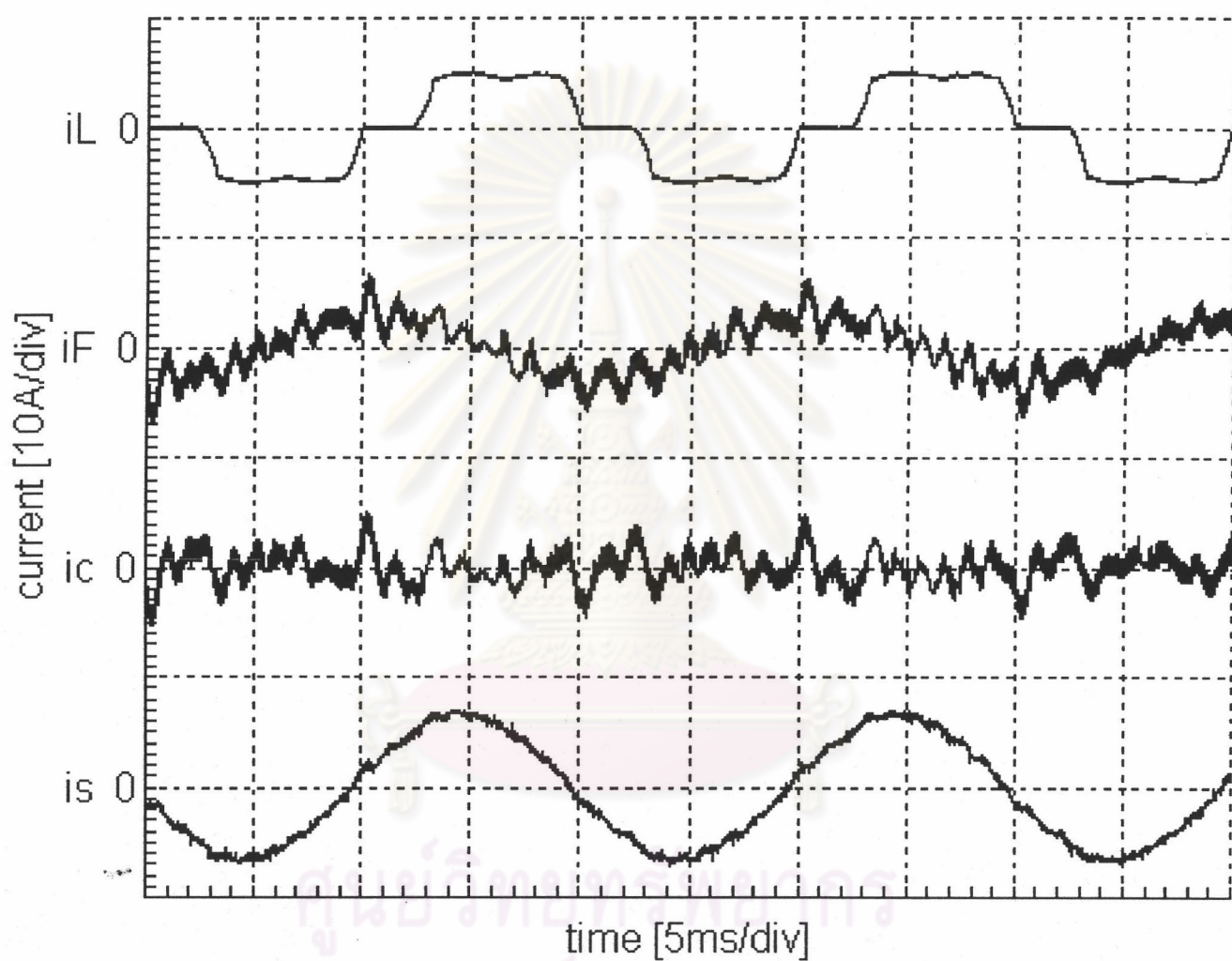
รูปที่ 6.8 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K$ ($K=1$)



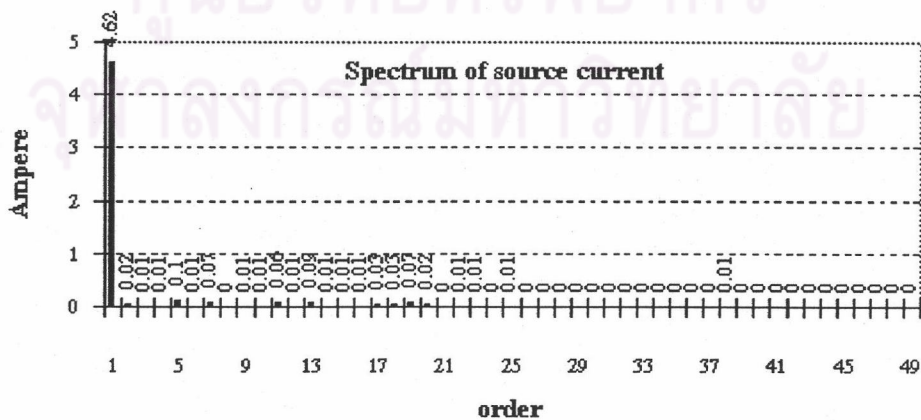
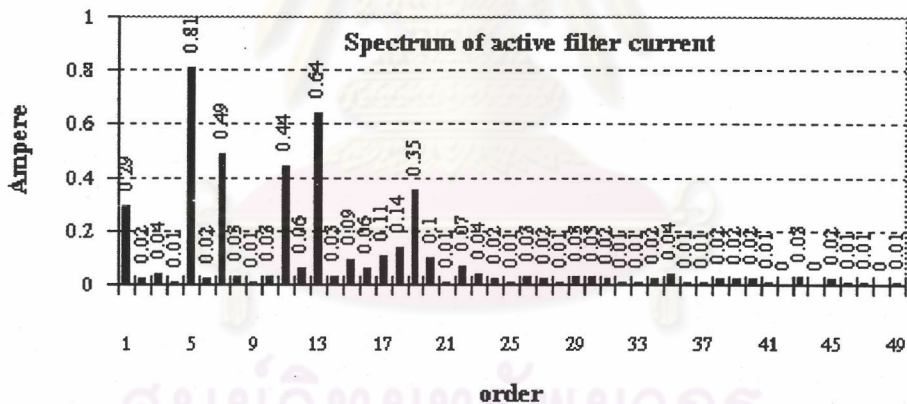
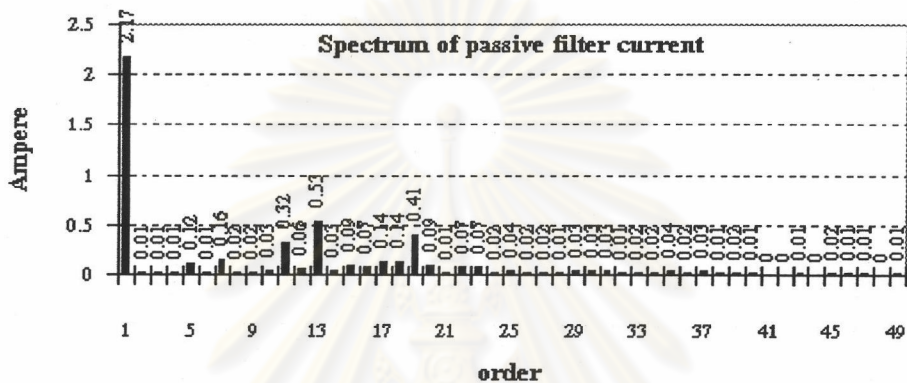
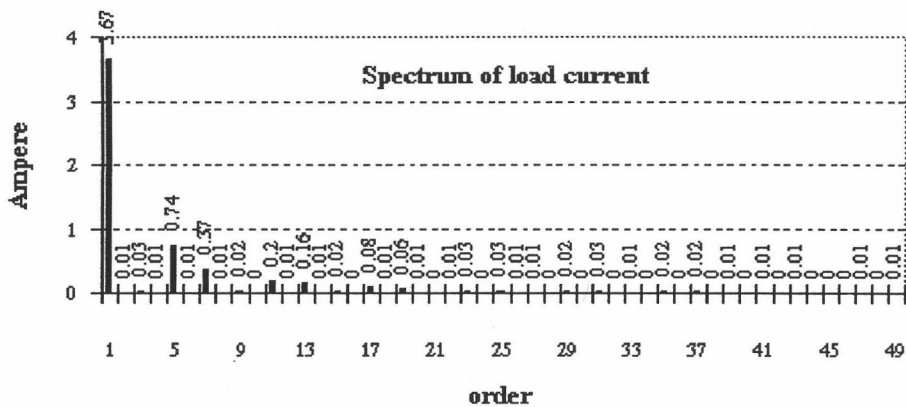
รูปที่ 6.9 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K$ ($K=5$)



รูปที่ 6.10 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K$ ($K=5$)



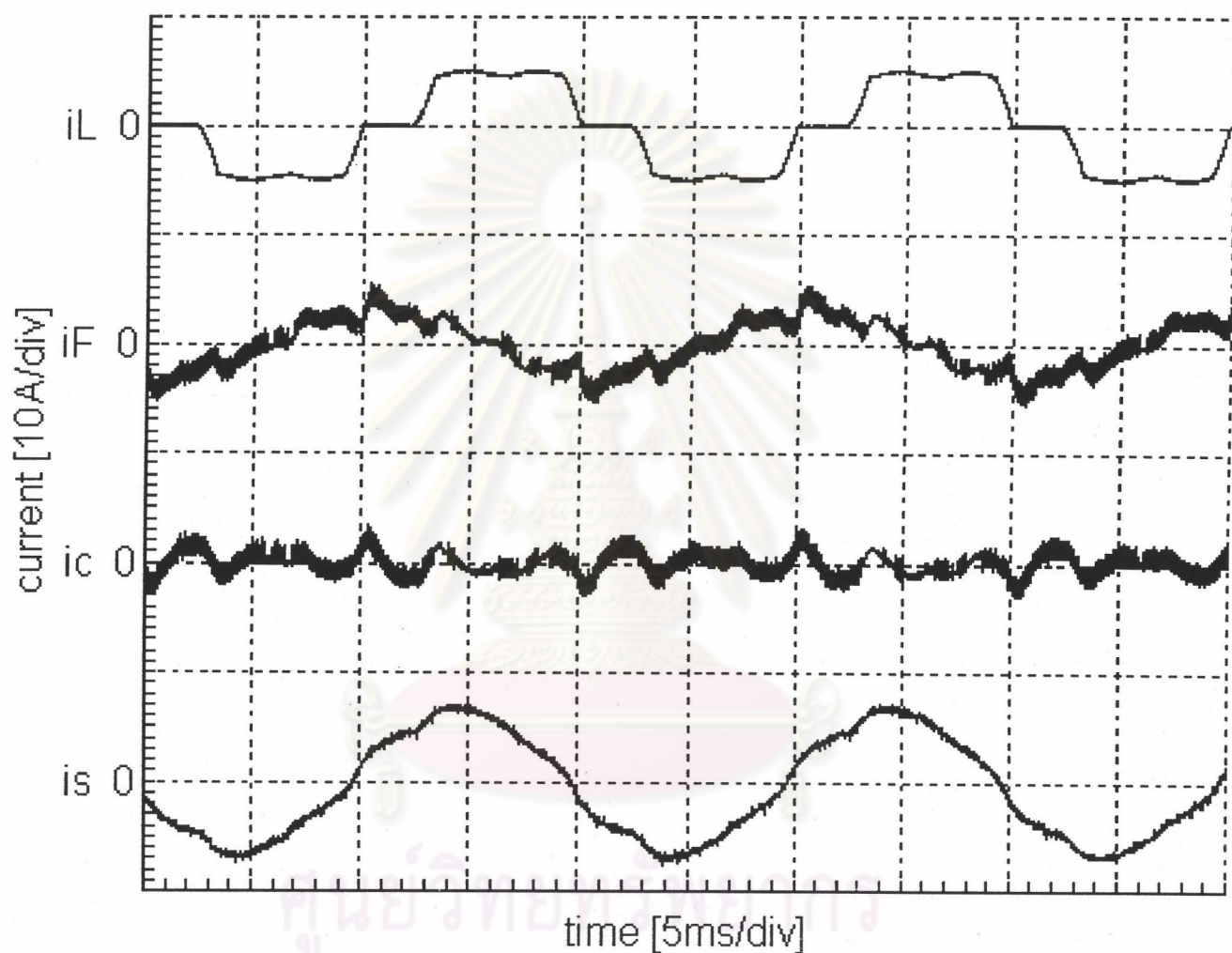
รูปที่ 6.11 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟพหุนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = K$ ($K=10$)



รูปที่ 6.12 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s)=K$ ($K=10$)

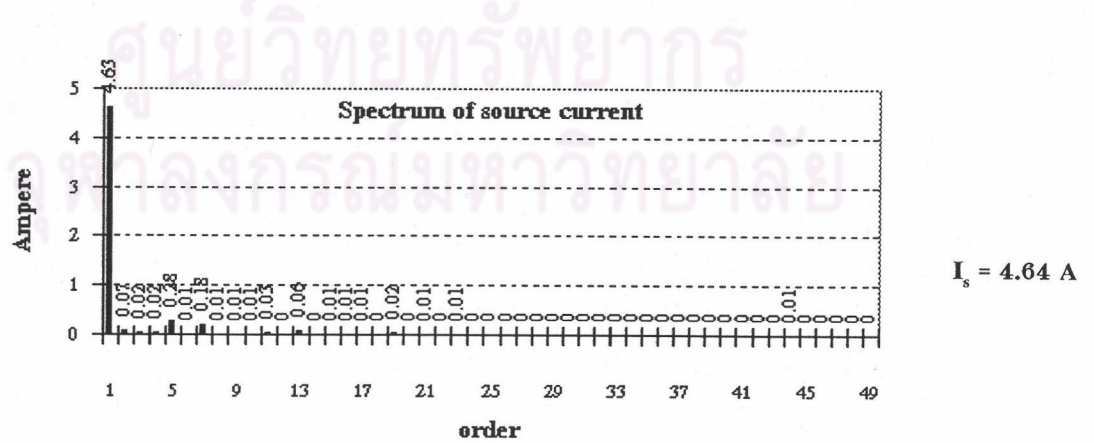
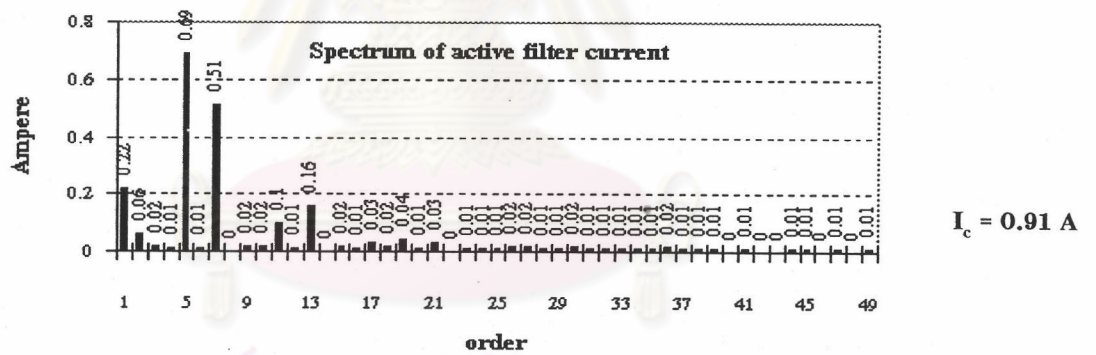
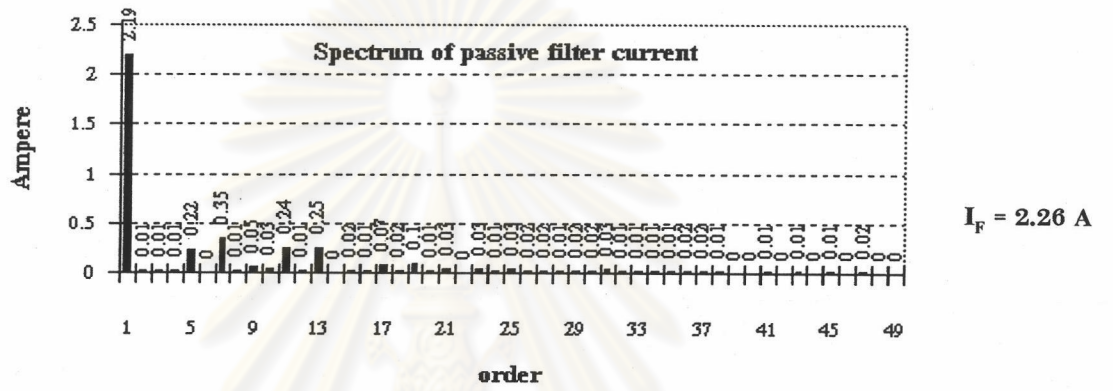
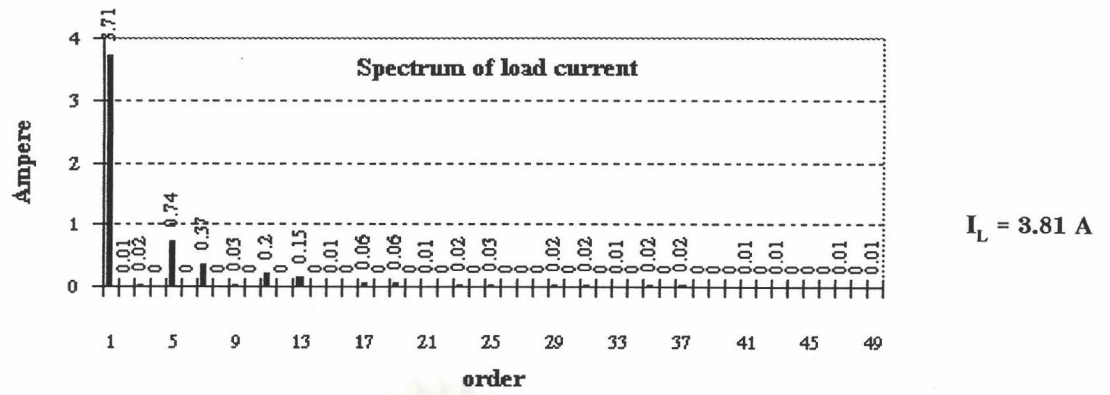
สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในวงจรที่เป็นแบบวงรอบเปิด (โครงสร้างแบบที่ 1) ได้ แต่เนื่องจากในกรณีนี้การเกิดเรโซแนนซ์ทำให้มีการขยายตัวของกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 และ 7 ก่อนข้างสูงมาก (ดูรูปที่ 3.9 เมื่อ $K=0$) ทำให้การใช้อัตราขยายของตัวควบคุมที่ต่ำ ไม่เพียงพอที่จะลดทอนฮาร์โมนิกในส่วนที่เกิดเรโซแนนซ์ลงมาได้มาก เพื่อที่จะลดทอนกระแสฮาร์โมนิกดังกล่าวลงมาให้ได้มากขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้อัตราขยายของตัวควบคุมที่มีค่ามากขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในกรณีที่ $K = 5$ (รูปที่ 6.9-6.10) และ $K = 10$ (รูปที่ 6.11-6.12) ซึ่งสามารถที่จะลดทอนกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 และ 7 ลงมาได้มากขึ้นโดยลำดับ หรืออาจอธิบายได้ว่าการใช้ค่าอัตราขยาย K ที่มากขึ้นจะทำให้วงจรกรองแอกทีฟมีค่าตัวเหนี่ยวนำเสมือนที่ต่ำลง กระแสฮาร์โมนิกจึงแยกไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเสมือนได้มากขึ้นกระแสทางด้านแหล่งจ่ายจึงมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกลดลง แต่อย่างไรก็ตามการที่ตัวเหนี่ยวนำเสมือนมีค่าที่ต่ำลงนี้ (K มากขึ้น) จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนสูงขึ้น ($\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) (ดูรูปที่ 3.9) ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีที่ $K = 5$ และ $K=10$ ความถี่เรโซแนนซ์จะอยู่ประมาณฮาร์โมนิกอันดับที่ 11-13 เป็นผลทำให้กระแสทางด้านแหล่งจ่ายในกรณีนี้ ($K=5$ และ $K=10$) มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 และ 13 หลงเหลืออยู่มากกว่ากรณีที่ $K = 1$ (สเปกตรัมของ i_s ในรูปที่ 6.8 , 6.10 และ 6.12)

กรณีที่ 5. ระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดโครงสร้างแบบที่ 2 (เมื่อฟังก์ชันควบคุม $G(s) = \frac{KT_s}{1+Ts}$ และ $T = 0.5$ ms.) โดยในการทดสอบเราได้ทำการเปลี่ยนค่าอัตราขยาย K เป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ 5 , 10 , 15 , 17 และได้ผลการทดสอบเป็นรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบดังรูปที่ 6.13-6.20 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานจะพบว่า เมื่อใช้อัตราขยาย K มากขึ้นจะสามารถลดทอนกระแสฮาร์โมนิกลงมาได้มากขึ้นเหมือนในกรณีที่ $G(s) = K$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน สิ่งหนึ่งที่สังเกตได้จากผลการทดลองในกรณีนี้ก็คือ ในขณะที่ใช้ค่าอัตราขยาย K ค่าสูง ($K \geq 10$) ก็ยังสามารถลดทอนฮาร์โมนิกอันดับสูง(อันดับที่ 11 และ 13)ได้ดีกว่ากรณีที่ใช้ $G(s) = K$ (กรณีที่ 4) ซึ่งอธิบายได้ว่าในกรณีที่ $G(s) = \frac{KT_s}{1+Ts}$ วงจรกรองแอกทีฟจะทำตัวเป็นตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทาน ซึ่งตัวต้านทานเสมือนนี้จะช่วยทำให้เกิดการหน่วงเรโซแนนซ์ลงมาได้ดังจะเห็นจากรูปที่ 3.10 กล่าวคือในกรณีนี้นอกจากจะมีตัวเหนี่ยวนำเสมือนที่จะช่วยเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ให้สูงขึ้นแล้วยังจะมีตัวต้านทานเสมือนคอยช่วยหน่วงขดเรโซแนนซ์ให้ต่ำลงมาอีกด้วย จึงทำให้สามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามจะพบว่า ในกรณีที่อัตราขยาย K เท่ากัน กรณีนี้จะมีลักษณะสมบัติการกรองฮาร์โมนิกอันดับต่ำ(อันดับที่ 5 และ 7) ที่เร็วกว่ากรณีที่ $G(s) = K$ (ดูรูปที่ 3.9-3.10) ทั้งนี้เนื่องมาจากในกรณีนี้จะมีตัวต้านทานเสมือนต่ออนุกรมอยู่ ซึ่งการที่ความต้านทาน

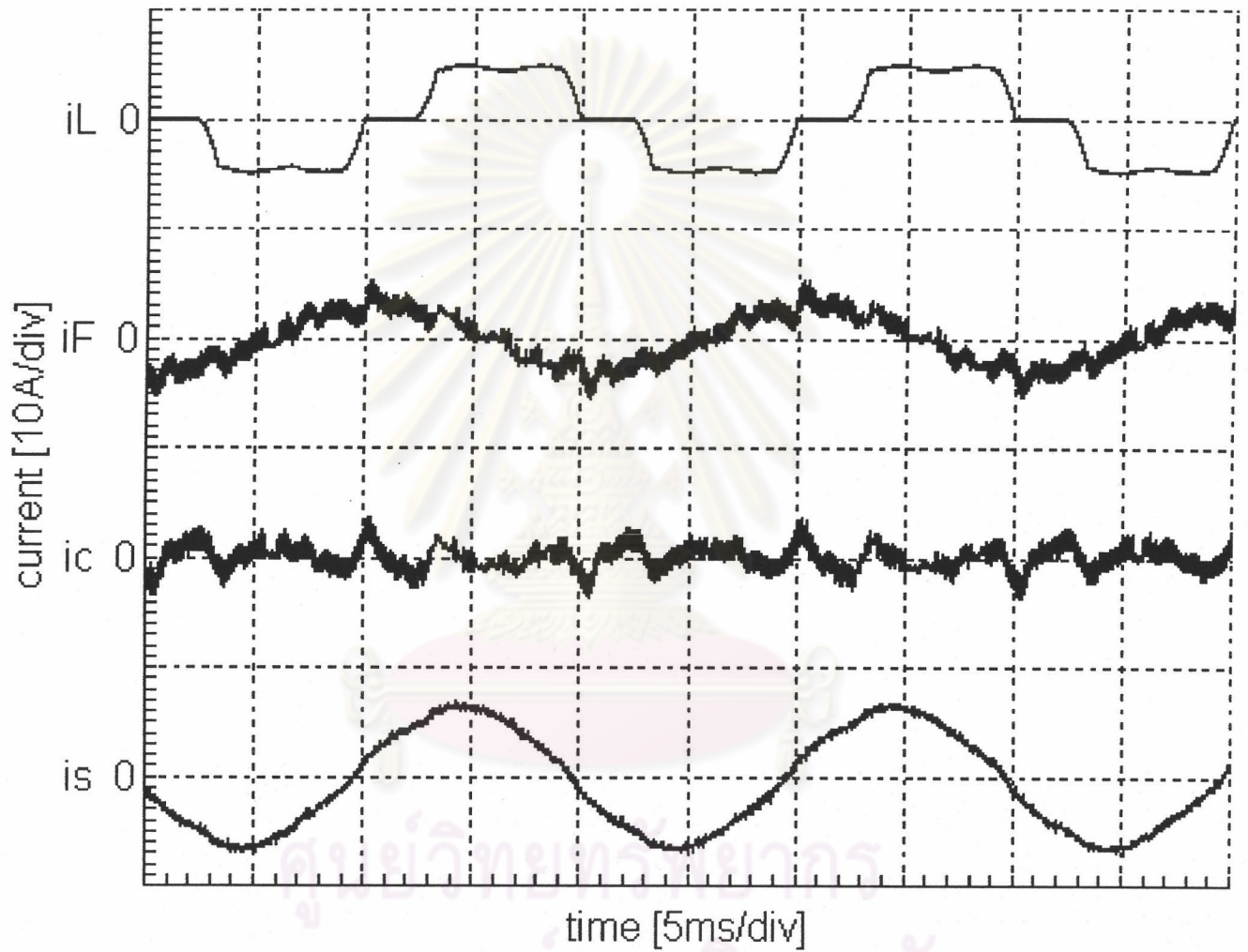


รูปที่ 6.13 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟพหุนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$

($K=5$, $T=0.5\text{ms.}$)

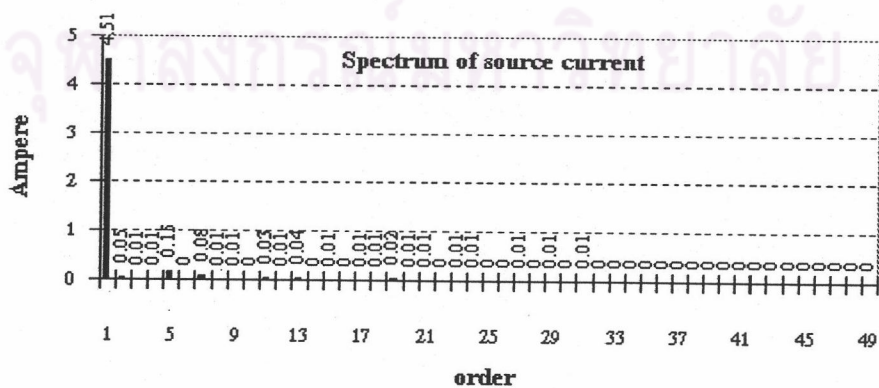
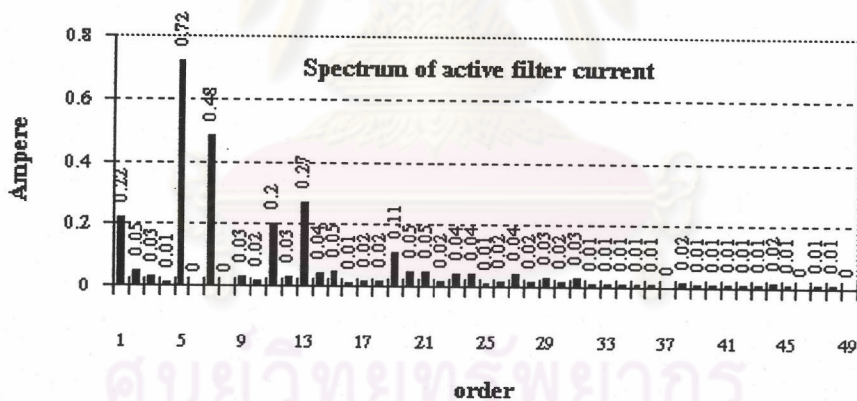
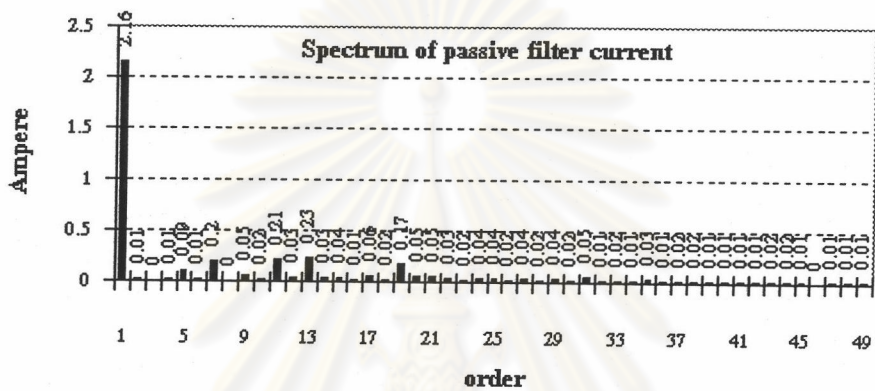
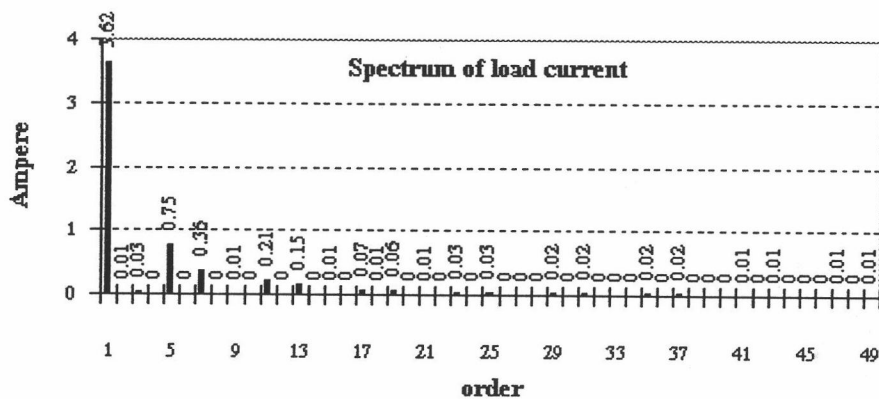


รูปที่ 6.14 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟฟอนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$
 (K=5 , T=0.5ms.)

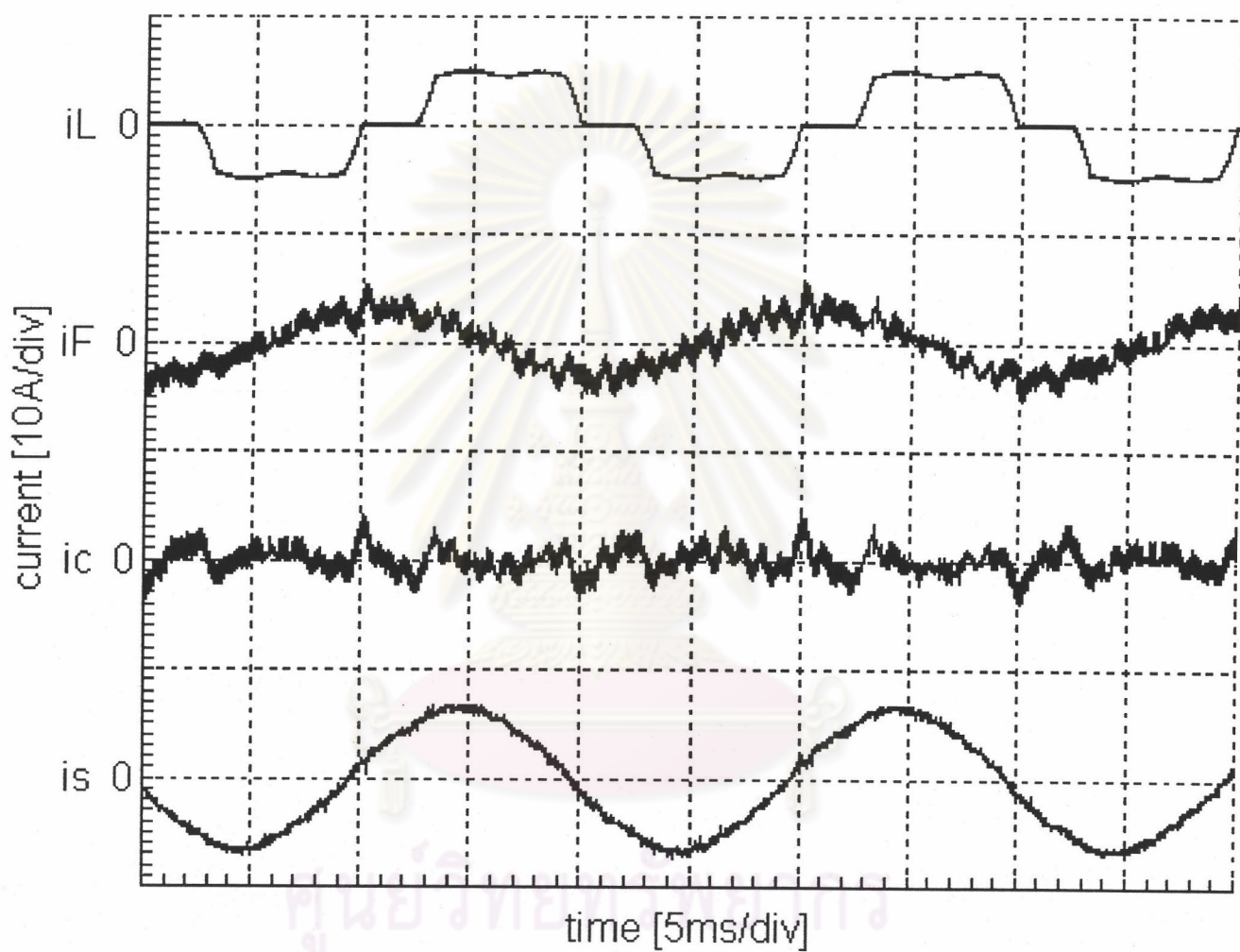


รูปที่ 6.15 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$

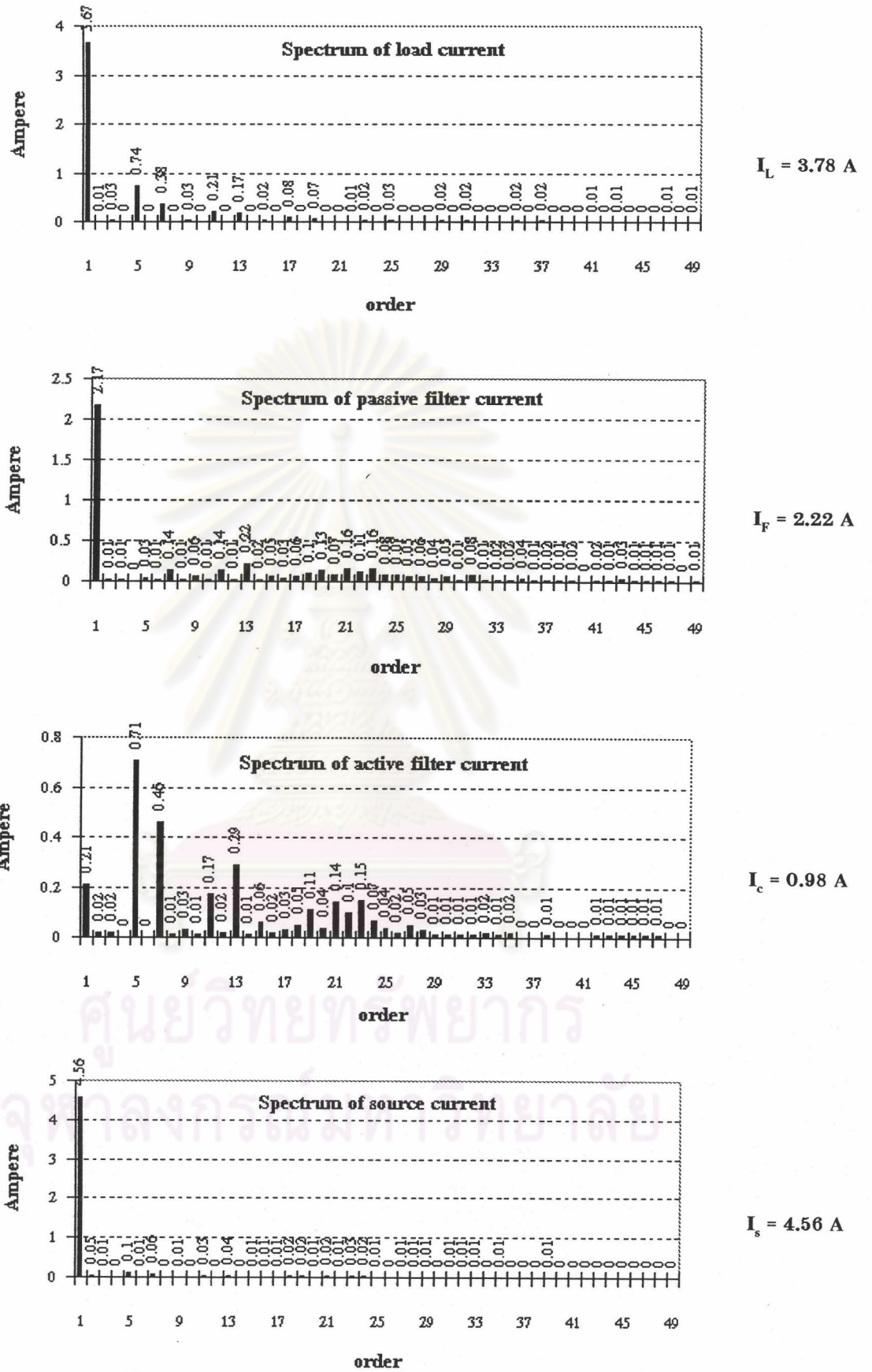
($K=10$, $T=0.5$ ms.)



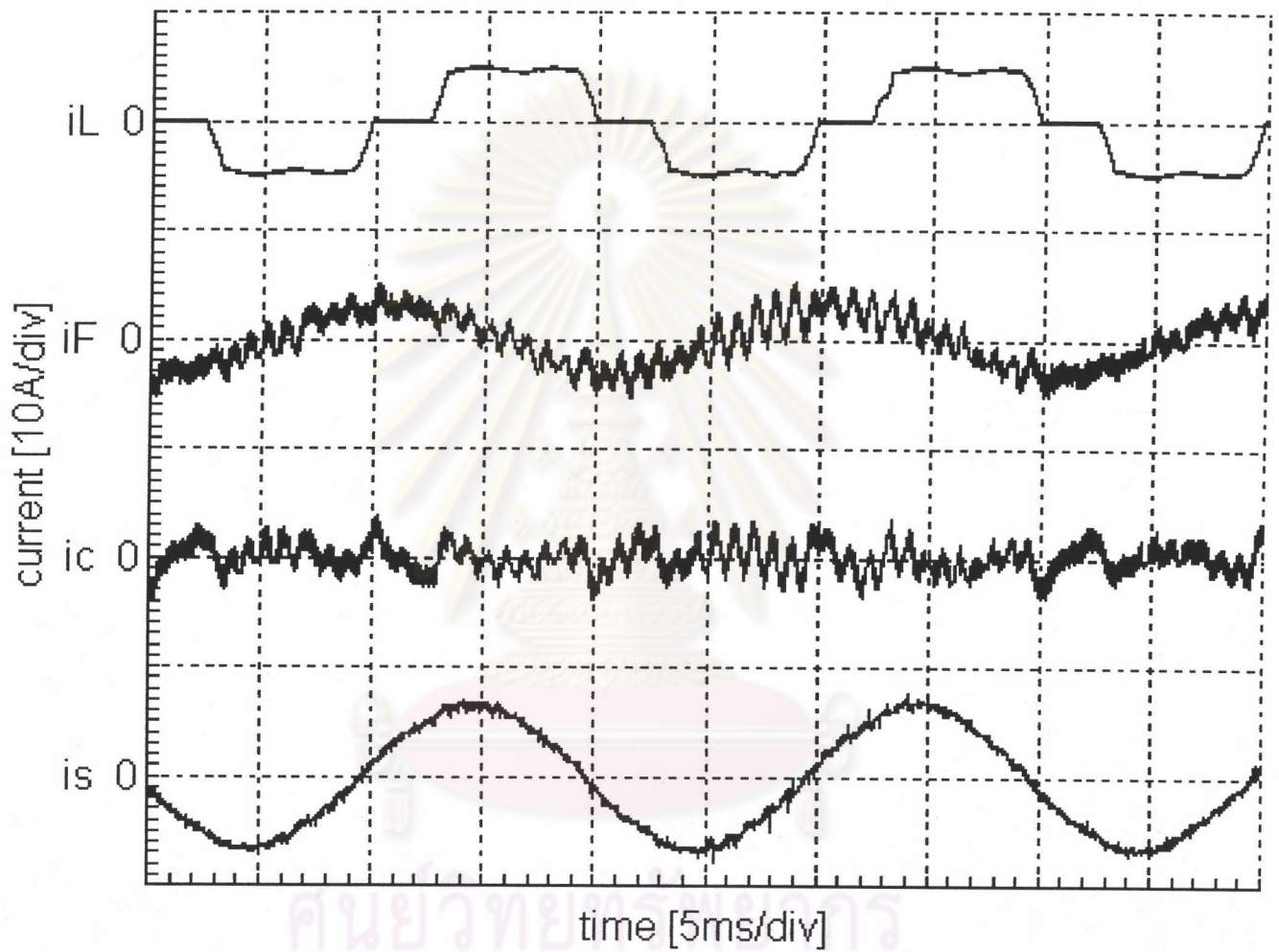
รูปที่ 6.16 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่พิกัดแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$
 (K=10 ,T=0.5ms.)



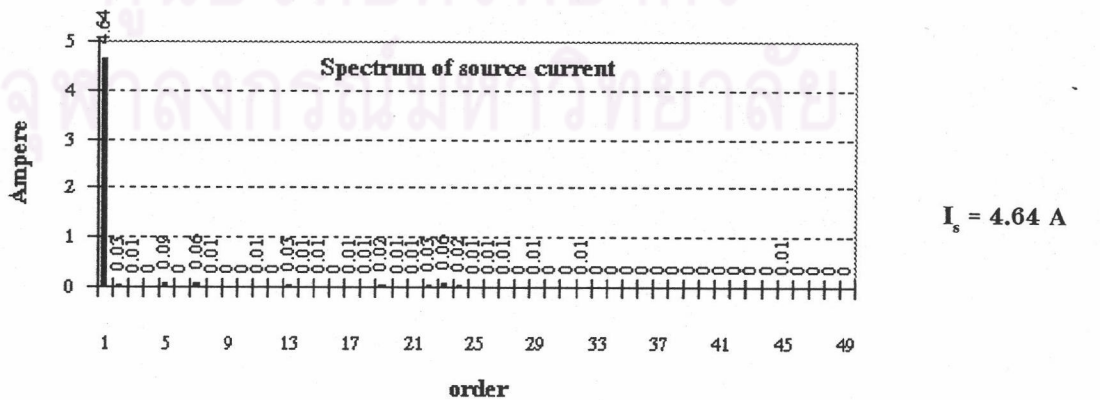
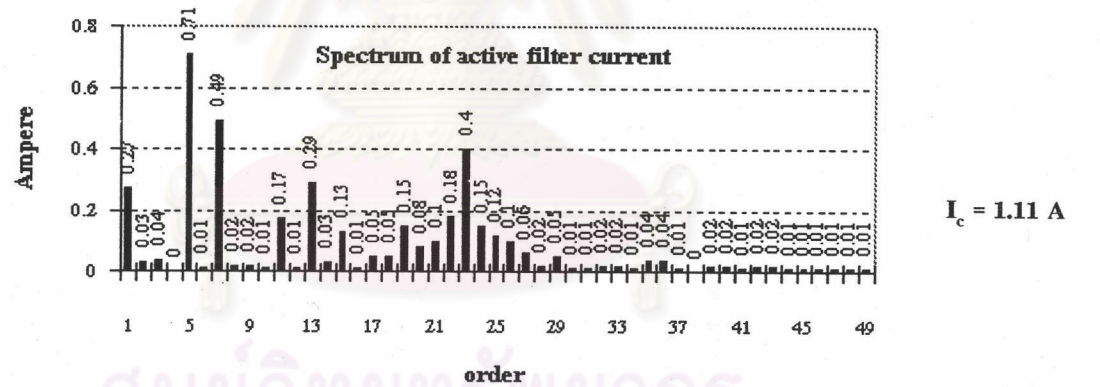
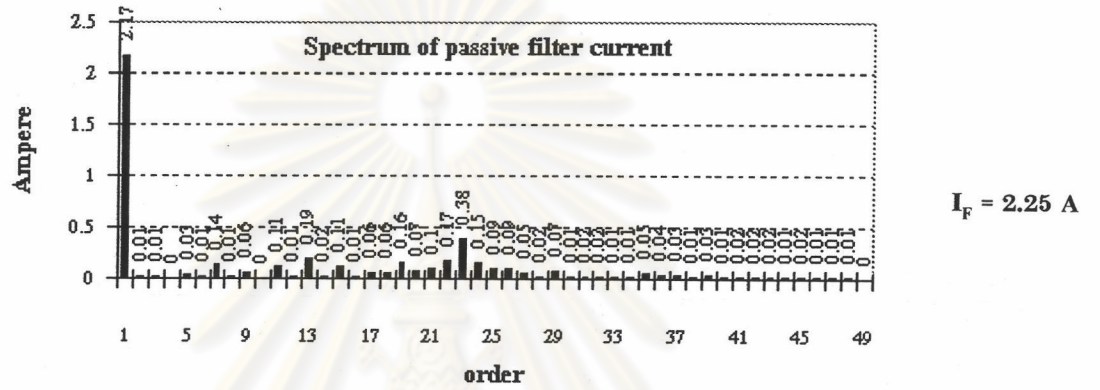
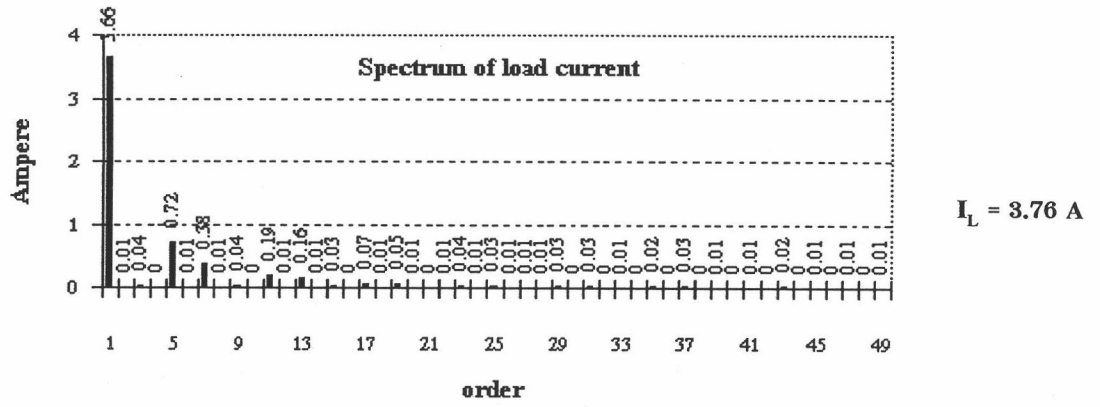
รูปที่ 6.17 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$
 (K=15 , T=0.5ms.)



รูปที่ 6.18 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกที่พิกัดแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$
($K=15$, $T=0.5\text{ms.}$)



รูปที่ 6.19 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$
 (K=17 , T=0.5ms.)



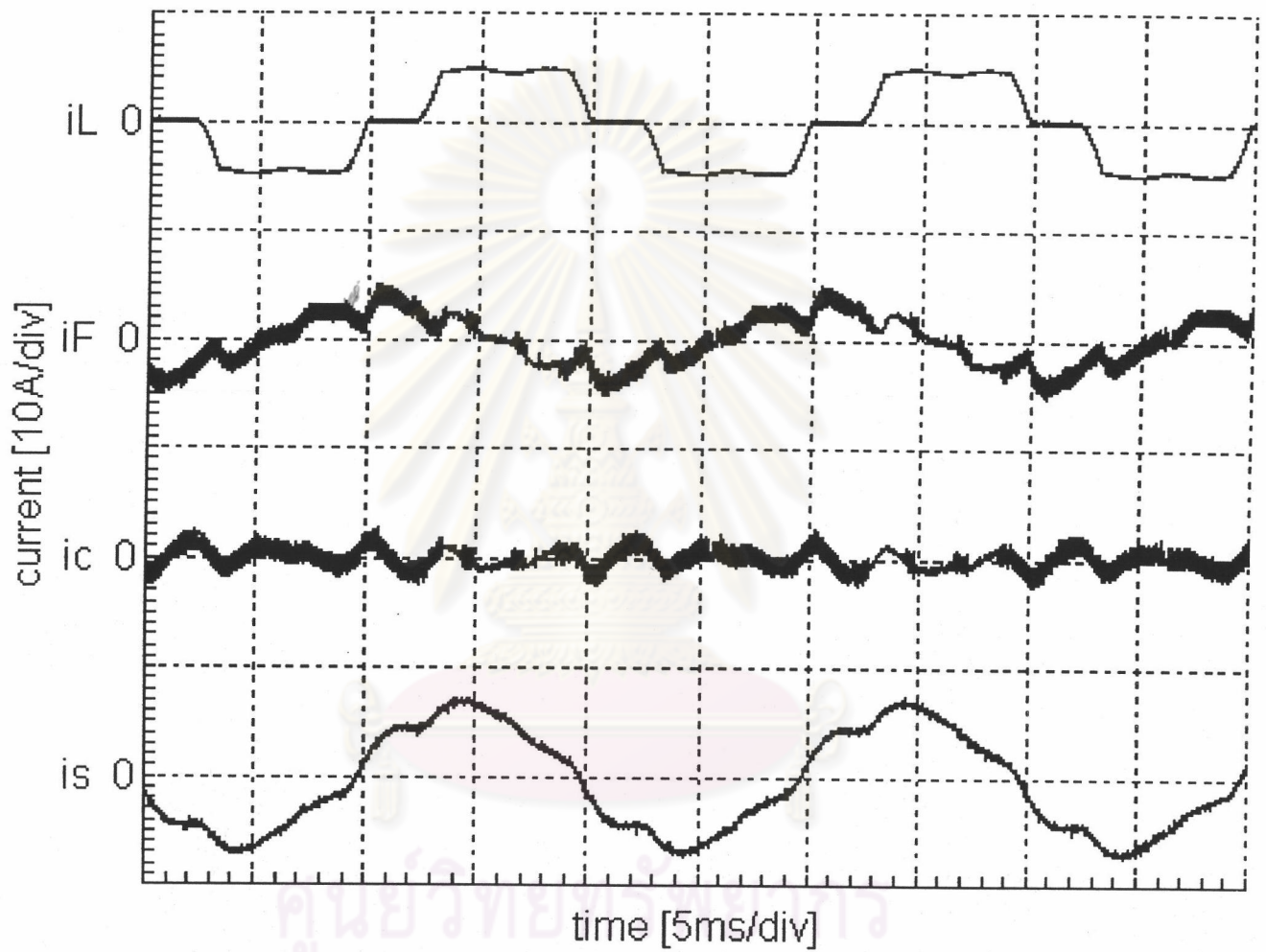
รูปที่ 6.20 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่พิกานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$
 (K=17 , T=0.5ms.)

เสมือนมีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ทุกความถี่ จึงทำให้ที่ความถี่ต่ำอิมพีแดนซ์เสมือนมีค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย (อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย L_s มีลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำ จึงมีค่าต่ำที่ความถี่ต่ำ) กระแสฮาร์โมนิกอันดับต่ำจึงไหลไปทางอิมพีแดนซ์เสมือนได้น้อยลงนั่นเอง

กรณีที่ 6. ระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดโครงสร้างแบบที่ 2 (เมื่อฟังก์ชันควบคุม $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$ และ $T = 0.2$ ms.) โดยในการทดสอบเราได้ทำการเปลี่ยนค่าอัตราขยาย K เป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ 5 , 10 , 15 , 20 , 24 และได้ผลการทดสอบแสดงเป็นรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของกระแส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบได้ดังรูปที่ 6.21-6.30 ตามลำดับ จากผลการทดสอบการทำงานจะพบว่าคุณสมบัติการกรองมีแนวโน้มเหมือนกับในกรณีที่ 4 และ 5 คือเมื่ออัตราขยาย K มากขึ้นจะสามารถลดทอนฮาร์โมนิกลงมาได้มากขึ้นซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน สิ่งที่จะสังเกตได้จากผลการทดสอบในกรณีนี้ก็คือ ในกรณีนี้จะมีการหน่วงเรโซแนนซ์ลงมามากกว่าในกรณีที่ใช้ $T=0.5$ ms. (กรณีที่ 5) ซึ่งการหน่วงเรโซแนนซ์ลงมามาก ๆ (โดยเพิ่มความต้านทานเสมือนโดยลดค่า T) นี้จะส่งผลทำให้ลักษณะสมบัติการกรองที่ความถี่ต่ำ ๆ เหวลงนั่นเอง (อธิบายได้เหมือนกับกรณีที่ 5) (ดูรูปที่ 3.10-3.11) ซึ่งทำให้จำเป็นต้องใช้อัตราขยาย K ค่าสูงขึ้น

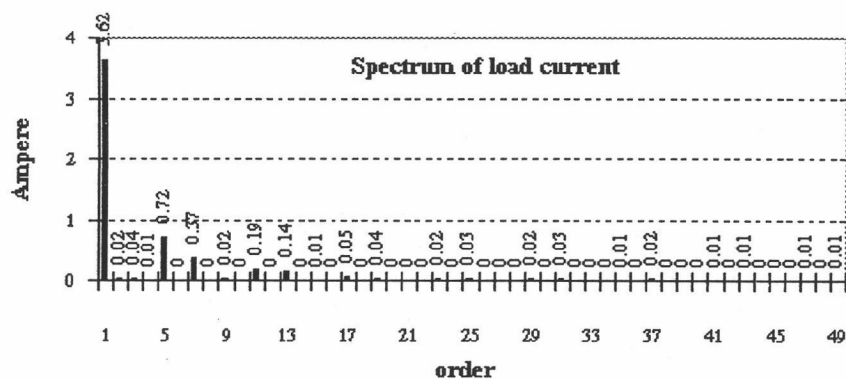
จากผลการทดสอบการทำงานของระบบในกรณีต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมา 6 กรณีนั้น เราสามารถแสดงค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์โมนิกและค่าองค์ประกอบความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังตารางที่ 6.1

สิ่งที่เหมือนกันของผลการทดลองในกรณีที่ 4, 5 และ 6 ก็คือเมื่อค่าอัตราขยาย K สูงขึ้นวงจรกรองจะยังสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้ดียิ่งขึ้นจนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ภายใต้มาตรฐาน (IEEE 519-1992) โดยจะเห็นได้ว่ามีเพียงในกรณีที่ 4 เมื่อ $K = 1$ และกรณีที่ 6 เมื่อ $K = 5$ เท่านั้นที่ไม่อยู่ในมาตรฐาน (IEEE 519-1992) แต่เมื่อสังเกตค่ากระแสชดเชยทั้งหมดคิดเป็นค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (root-mean-square value) (คิดตั้งแต่ความถี่หลักมูลถึงฮาร์โมนิกอันดับที่ 49) ที่วงจรกรองแอกทีฟต้องจ่ายในแต่ละกรณีจะพบว่าเมื่อค่าอัตราขยาย K มีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่ากระแสชดเชยดังกล่าวมีค่ามากขึ้นด้วยนั่นคือการใช้ค่าอัตราขยาย K มากขึ้นจะทำให้วงจรกรองแอกทีฟมีขนาด kVA ใหญ่ขึ้นด้วยนั่นเอง นอกจากนี้แล้วเมื่อเราเพิ่มค่าอัตราขยาย K มากขึ้นถึงค่าหนึ่งจะสังเกตได้ว่ารูปคลื่นกระแสชดเชย i_c จะเกิดการแกว่งขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการเริ่มขาดเสถียรภาพของระบบนั่นเอง และจะเห็นได้ว่าค่าอัตราขยาย K ที่ทำให้ระบบเริ่มขาดเสถียรภาพที่ได้จากการทดลองนี้ สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบในกรณีที่คิดผลการประวิงเวลาในบทที่ 3 จากเงื่อนไขต่าง ๆ ข้างต้นทั้งในเรื่องลักษณะสมบัติการกรอง ขนาด kVA ของวงจรกรองแอกทีฟ และเสถียรภาพของระบบ จะเห็นได้ว่าระบบที่เหมาะสมต่อการใช้งานก็คือระบบวงจรถูกกรอง

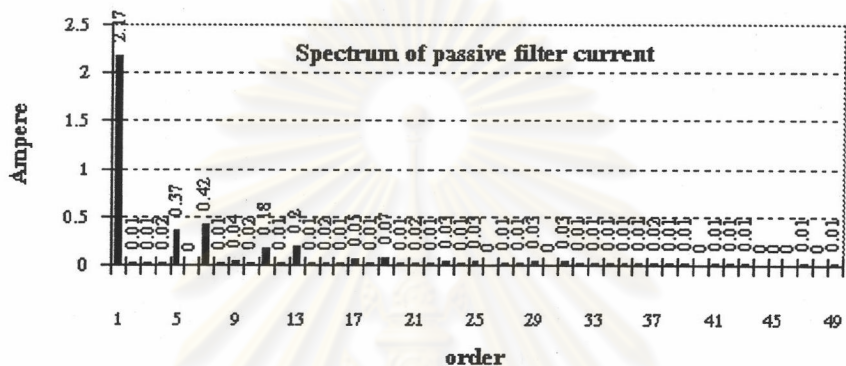


รูปที่ 6.21 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$

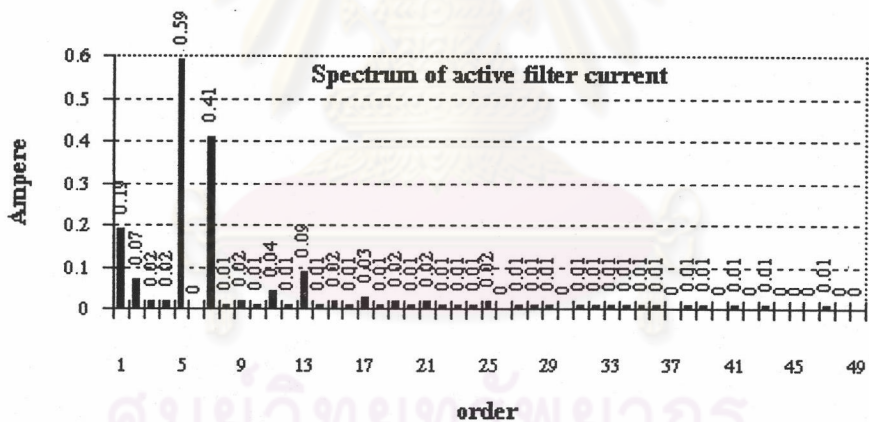
($K=5$, $T=0.2$ ms.)



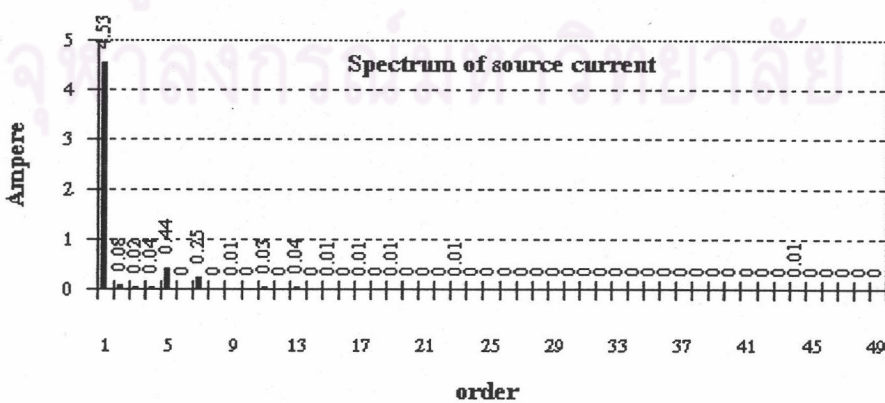
$I_L = 3.72 \text{ A}$



$I_F = 2.26 \text{ A}$



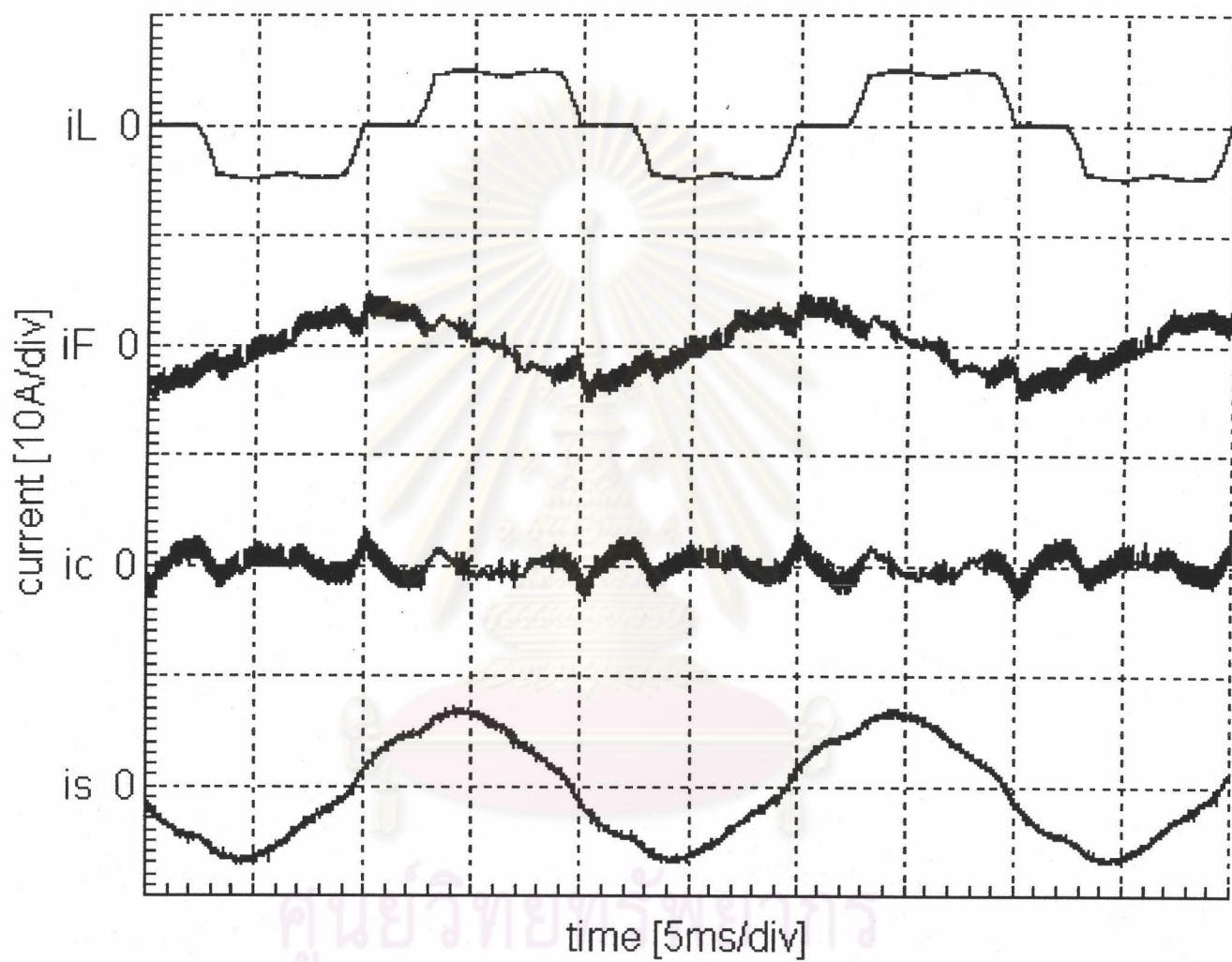
$I_c = 0.75 \text{ A}$



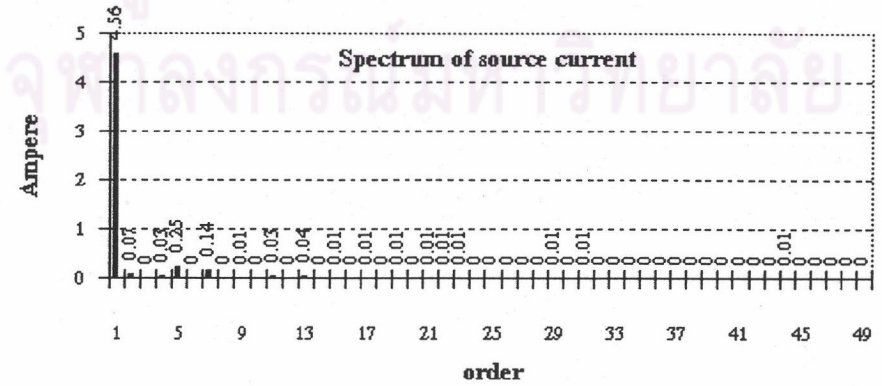
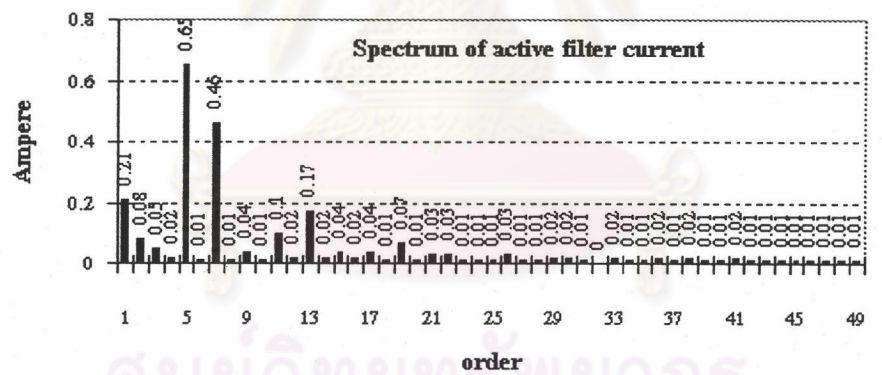
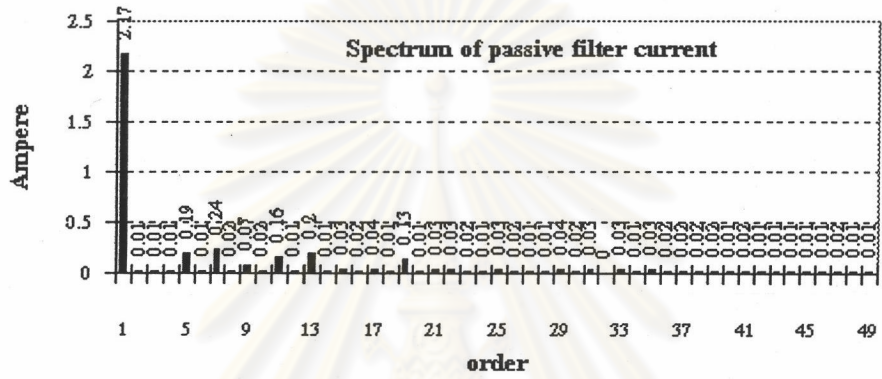
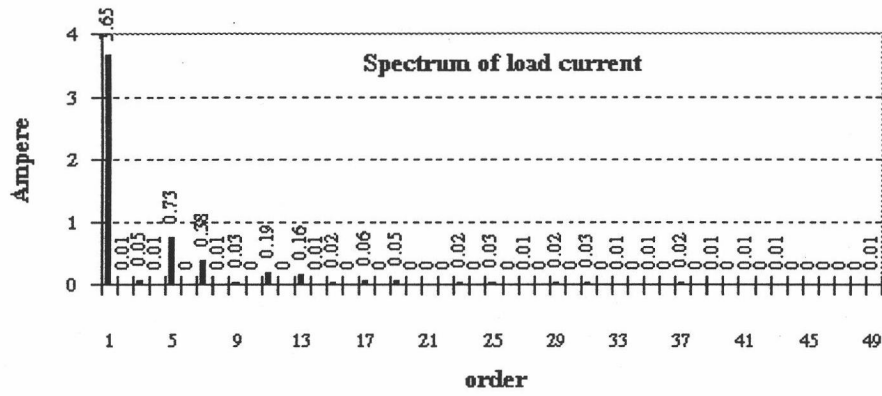
$I_s = 4.56 \text{ A}$

รูปที่ 6.22 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$

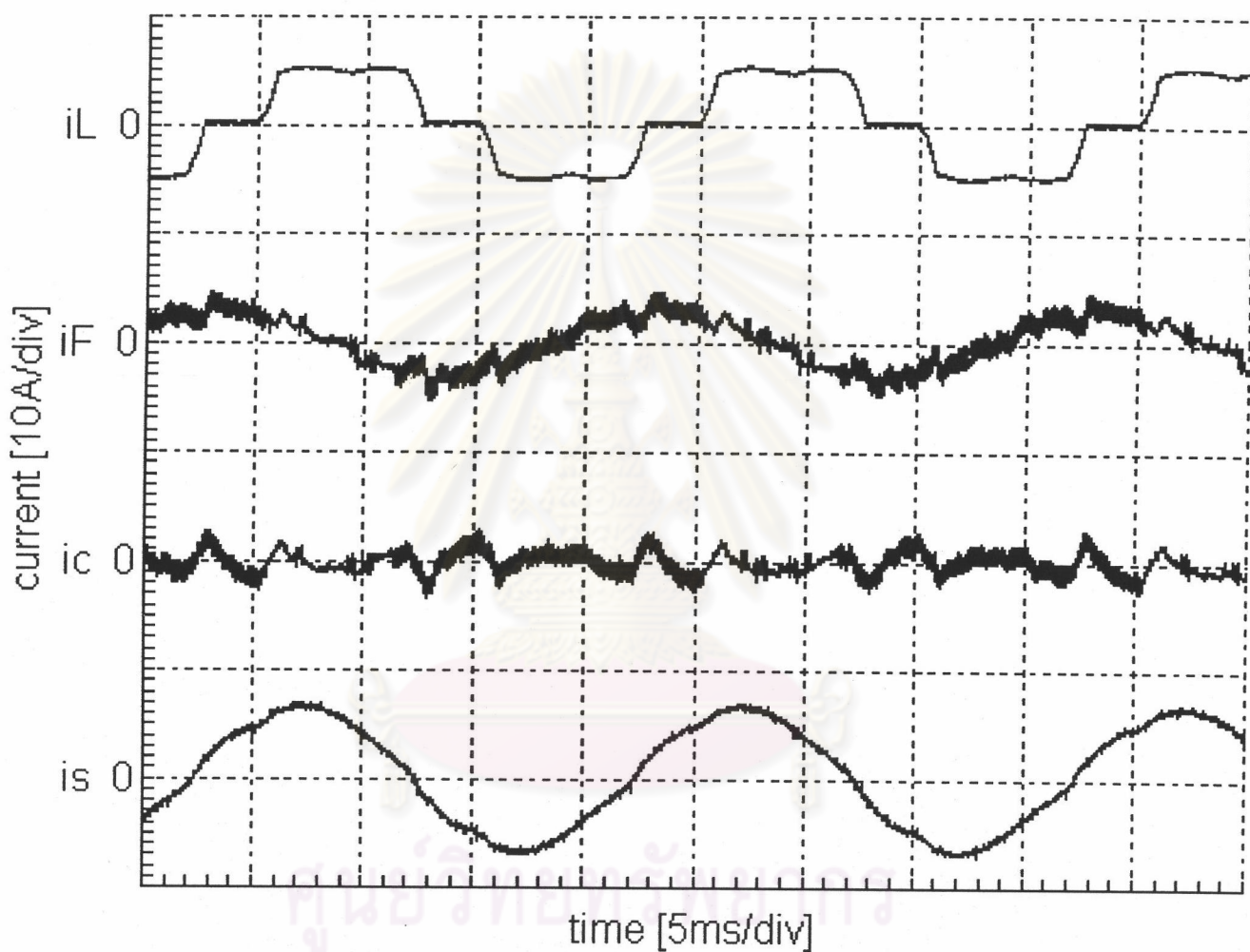
(K=5, T=0.2 ms.)



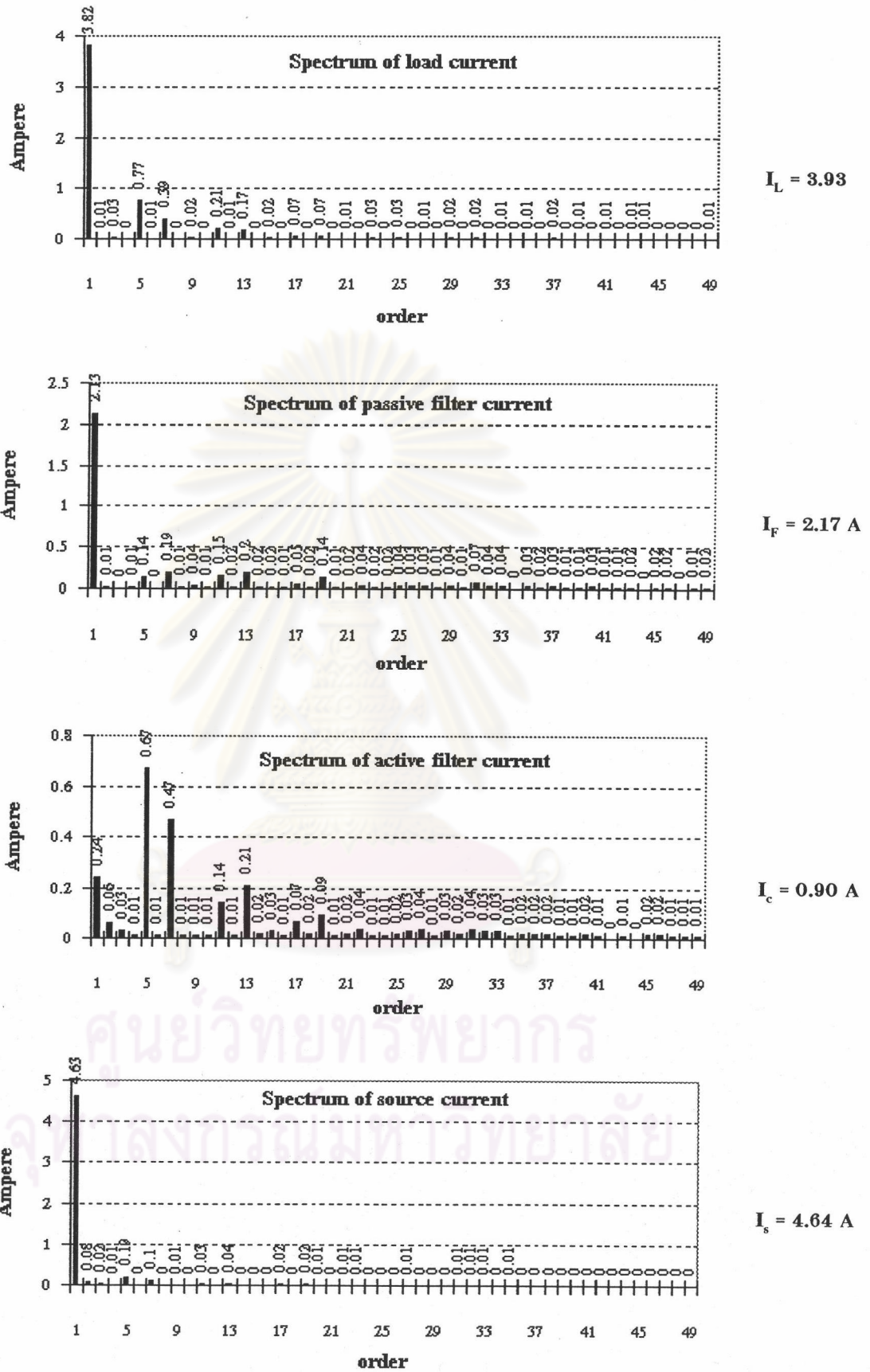
รูปที่ 6.23 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$
 ($K=10$, $T=0.2$ ms.)



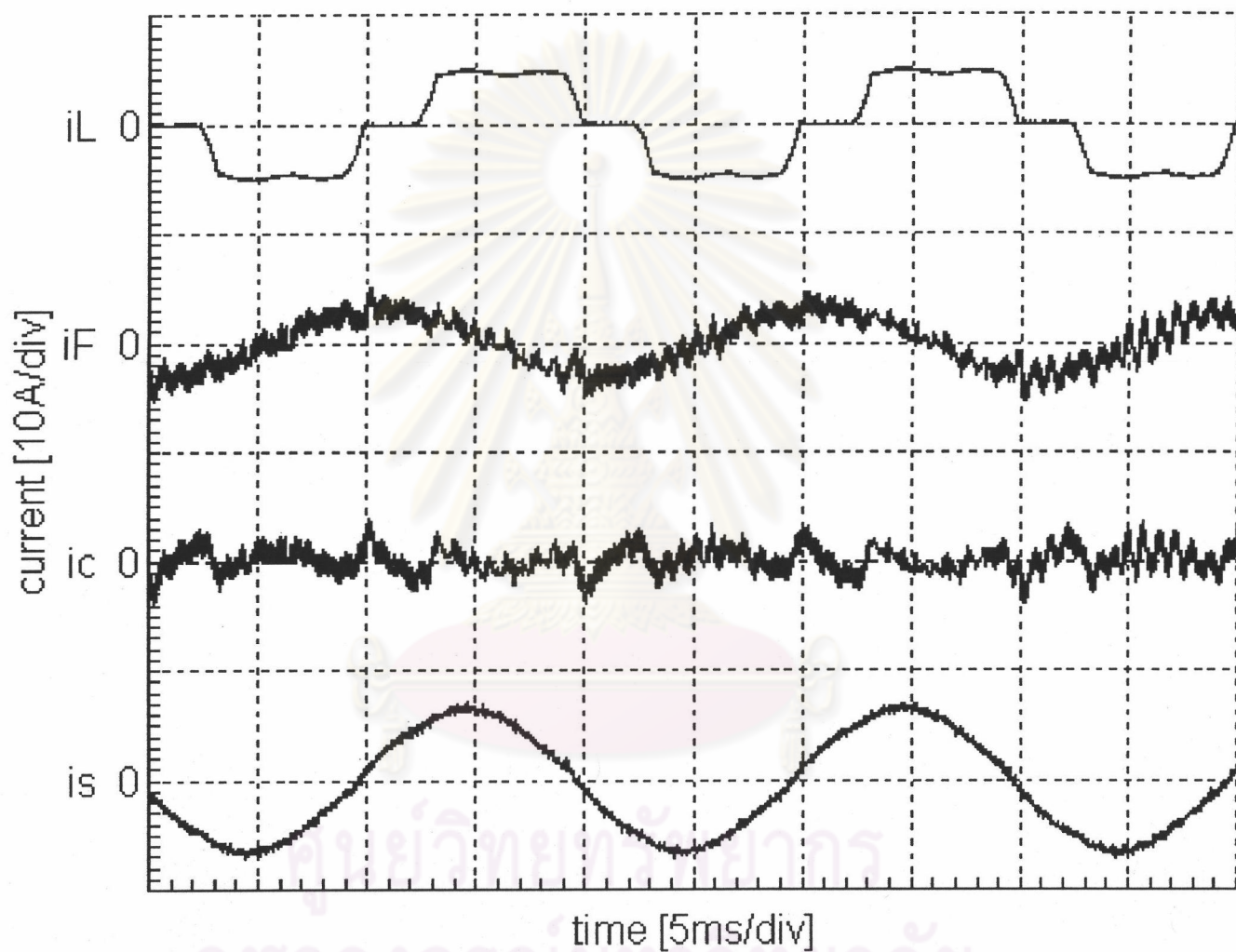
รูปที่ 6.24 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$
 (K=10 ,T=0.2 ms.)



รูปที่ 6.25 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$
 (K=15 ,T=0.2 ms.)

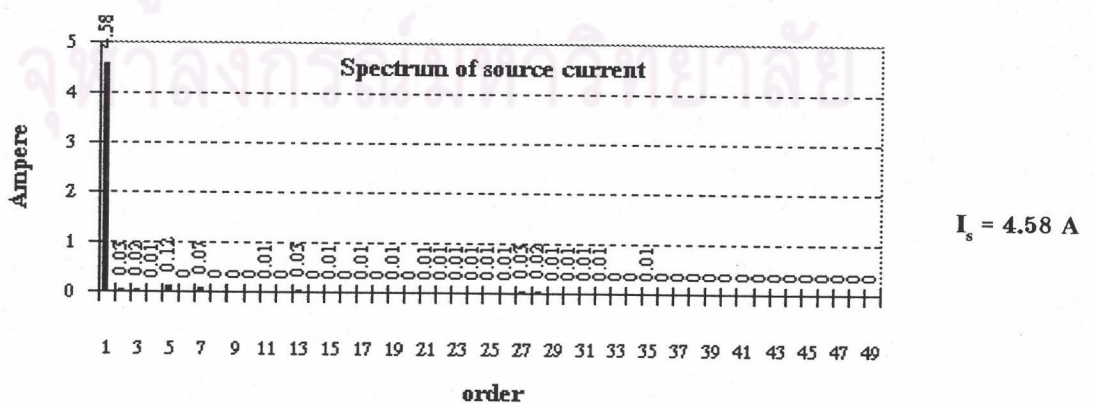
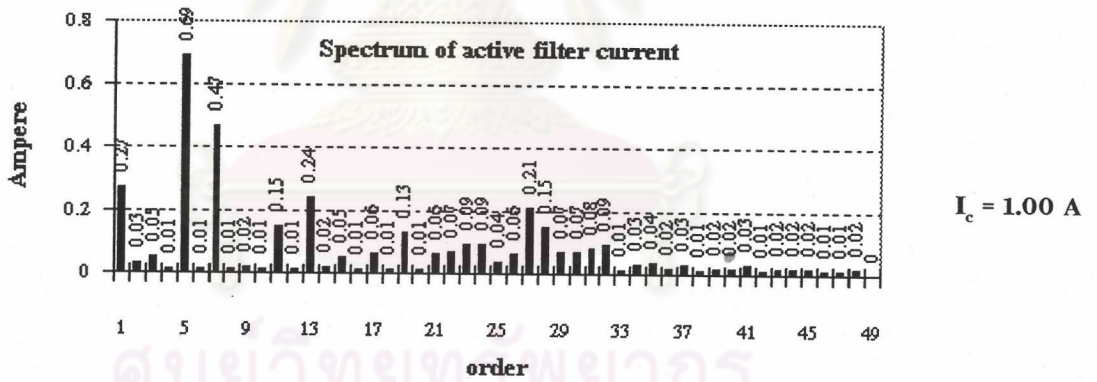
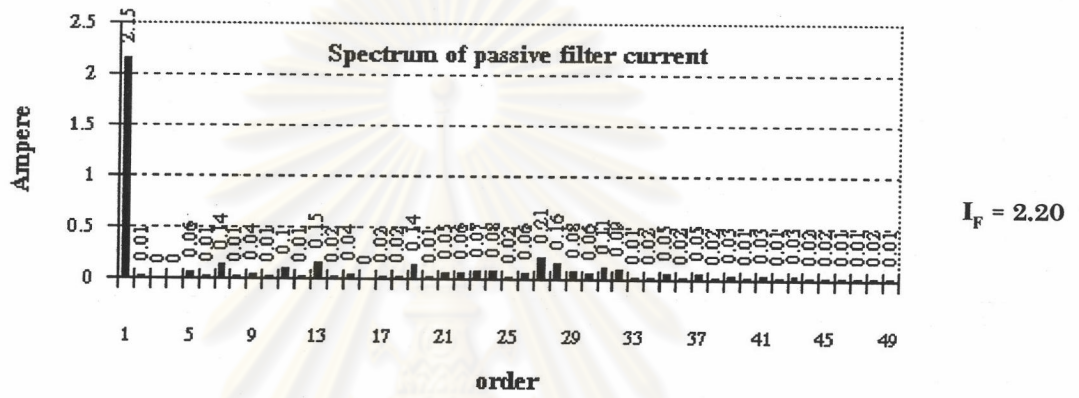
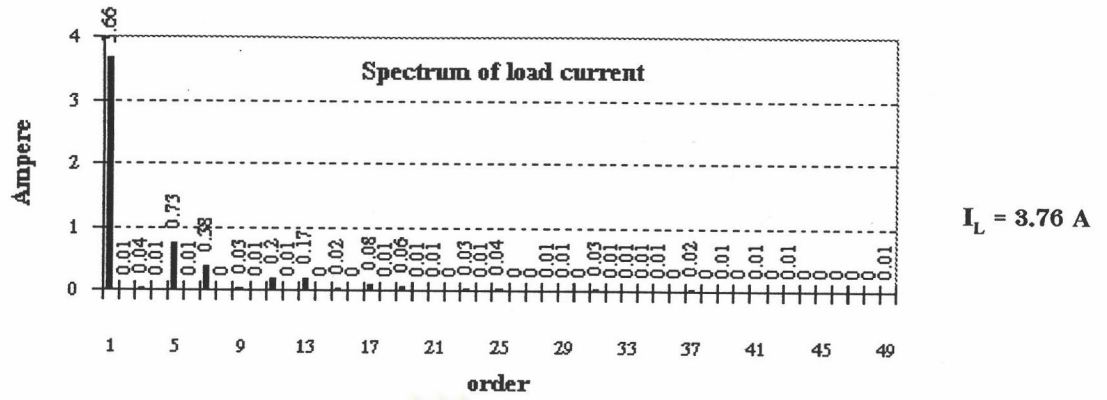


รูปที่ 6.26 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟที่พจนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$
($K=15, T=0.2$ ms.)



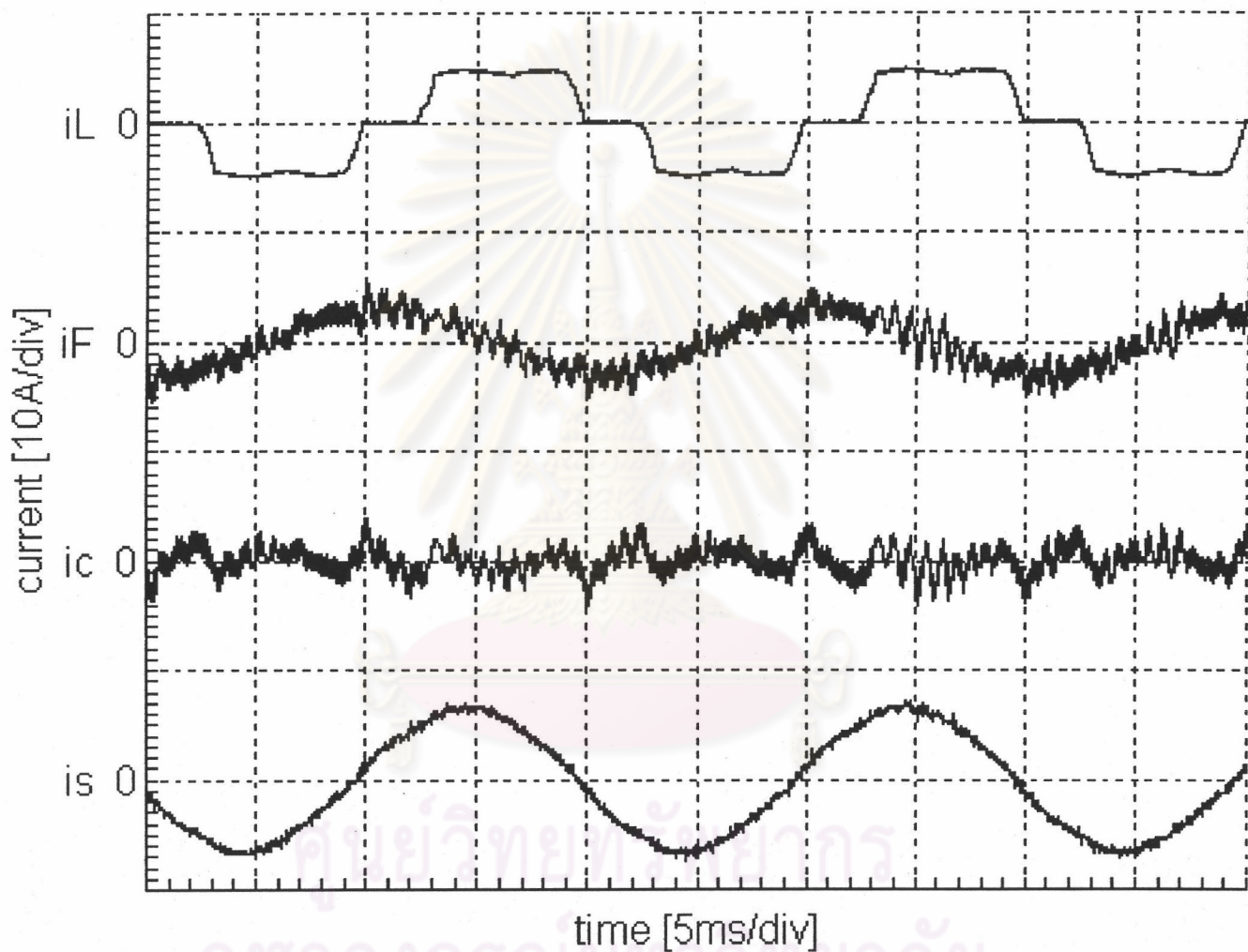
รูปที่ 6.27 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1+Ts}$

($K=20$, $T=0.2$ ms.)



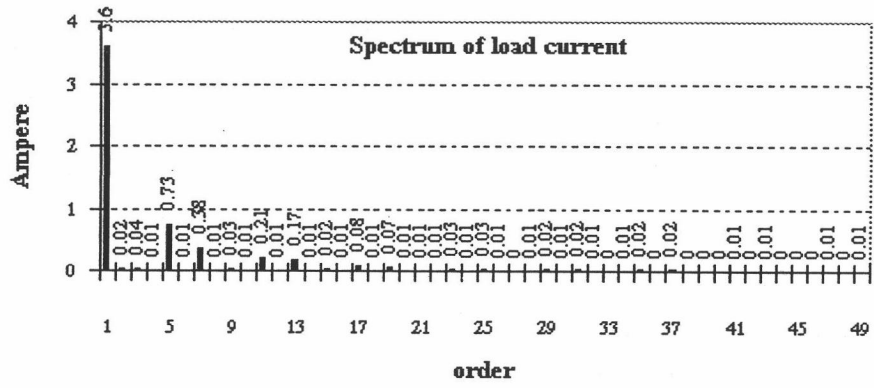
รูปที่ 6.28 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟพหุนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$

(K=20 ,T=0.2 ms.)

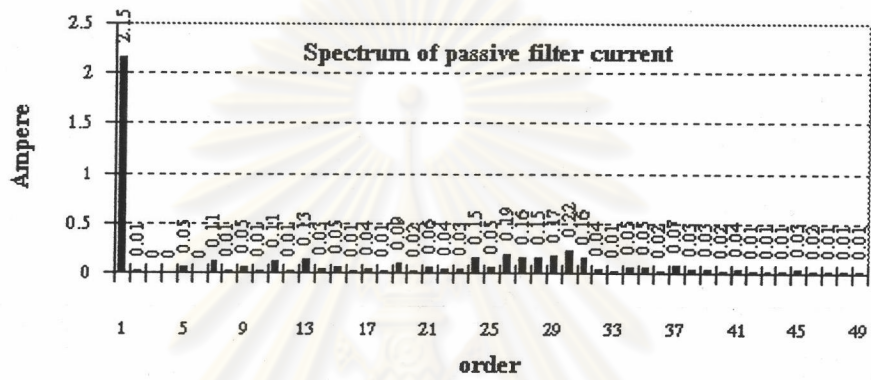


รูปที่ 6.29 รูปคลื่นกระแสของระบบที่ใช้วงจรรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$

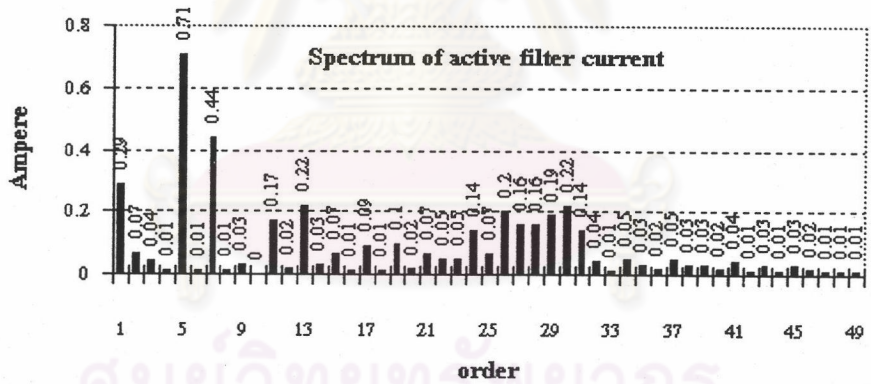
($K=24$, $T=0.2$ ms.)



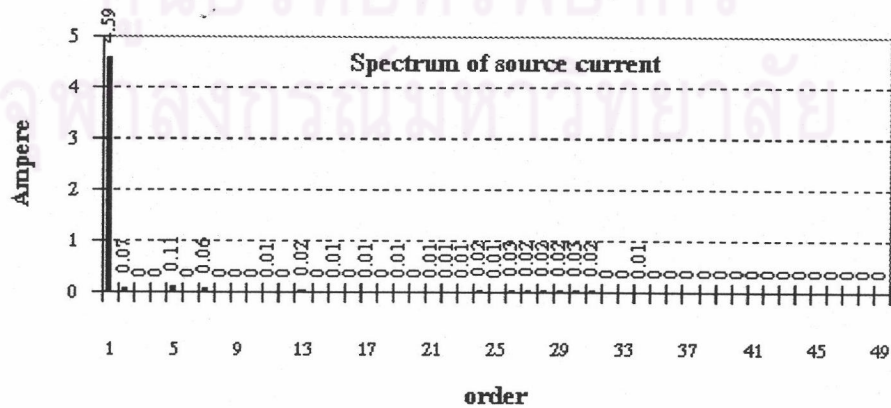
$I_L = 3.72 \text{ A}$



$I_F = 2.22 \text{ A}$



$I_c = 1.06 \text{ A}$



$I_s = 4.59 \text{ A}$

รูปที่ 6.30 สเปกตรัมของกระแสของระบบที่ใช้วงจรกรองแอกทีฟขนานแบบไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อ $G(s) = \frac{KTs}{1 + Ts}$

($K=24, T=0.2 \text{ ms.}$)

ไฮบริดแบบที่ 2 เมื่อฟังก์ชันควบคุมเป็นแบบ $\frac{KTs}{1+Ts}$ ($T=0.5ms$) โดยใช้ค่าอัตราขยาย K ในช่วง

10-15

ตารางที่ 6.1 ค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์มอนิกและค่าองค์ประกอบความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม
ของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อใช้วงจรกรองในกรณีต่าง ๆ

order			1	5	7	11	13	17	19	THD
no filter			100	19.67	8.92	4.17	2.87	1.11	1.03	22.30
PF			100	40.53	12.98	0.70	0.44	0.04	0.15	42.60
AF			100	1.14	1.36	1.52	1.00	0.55	1.02	4.04
hybrid I			100	14.99	2.12	0.78	0.83	0.35	0.24	15.46
hybrid II	G(s)=K	K=1	100	19.13	17.98	0.58	0.55	0.07	0.12	26.30
		K=5	100	4.65	2.97	1.40	1.99	0.34	0.28	6.26
		K=10	100	2.19	1.45	1.34	2.01	0.55	1.55	4.09
	G(s)=KTs/(1+Ts) (T=0.5ms)	K=5	100	6.14	3.89	0.72	1.23	0.27	0.41	7.60
		K=10	100	3.40	1.88	0.69	0.99	0.14	0.53	4.32
		K=15	100	2.18	1.38	0.62	0.81	0.22	0.43	3.25
		K=17	100	1.90	1.27	0.25	0.72	0.17	0.42	3.14
	G(s)=KTs/(1+Ts) (T=0.2ms)	K=5	100	9.73	5.52	0.64	0.96	0.28	0.21	11.45
		K=10	100	5.59	2.98	0.62	0.89	0.19	0.26	6.68
		K=15	100	4.17	2.27	0.66	0.84	0.37	0.34	5.26
		K=20	100	2.70	1.53	0.32	0.56	0.14	0.32	3.49
		K=24	100	2.50	1.33	0.26	0.48	0.27	0.19	3.55