บทที่ 6

ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

<u>ผลการจำลองการทำงาน</u>

โดยอาศัยหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ถึงบทที่ 5 เราจะทำการจำลองการทำงานของระบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อตรวจสอบในเบื้องต้นว่าระบบทำงานได้ตามต้องการหรือไม่ ในที่นี้เราสมมุติเงื่อนไขการทำงานที่ค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายมีค่าตกลง 20 โวลต์ โครงสร้างของระบบที่ใช้ในการจำลองและการทดสอบในบทนี้แสดงในรูปที่ 6.1 วงจรกรองกำลังพาสซีฟที่ใช้มีค่าดังแสดงในตารางที่ 6.1 สำหรับแนวทางในการออกแบบนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค โหลดที่ใช้เป็นวงจรควบคุมเรียงกระแส 3 เฟส ที่มีค่ามุมจุดชนวนที่ 30 องศาต่อกับระบบการไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงแรงดันแบบออโต้ และในการจำลองนั้นเราจะถือว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานในลักษณะอุดมคติสร้างแรงดันได้ตามต้องการ โดยจำลองเป็นแหล่งจ่ายแรงดันได้ และโหลดแทนได้ด้วยแหล่งจ่ายกระแส ผลการจำลองที่แสดงในรูปที่ 6.2 ถึง 6.5 เป็นการเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบในกรณีต่างๆดังนี้คือ

1.ระบบที่มีเพียงวงจรกรองกำลังพาสซีฟแบบขนาน(รูปที่ 6.2)

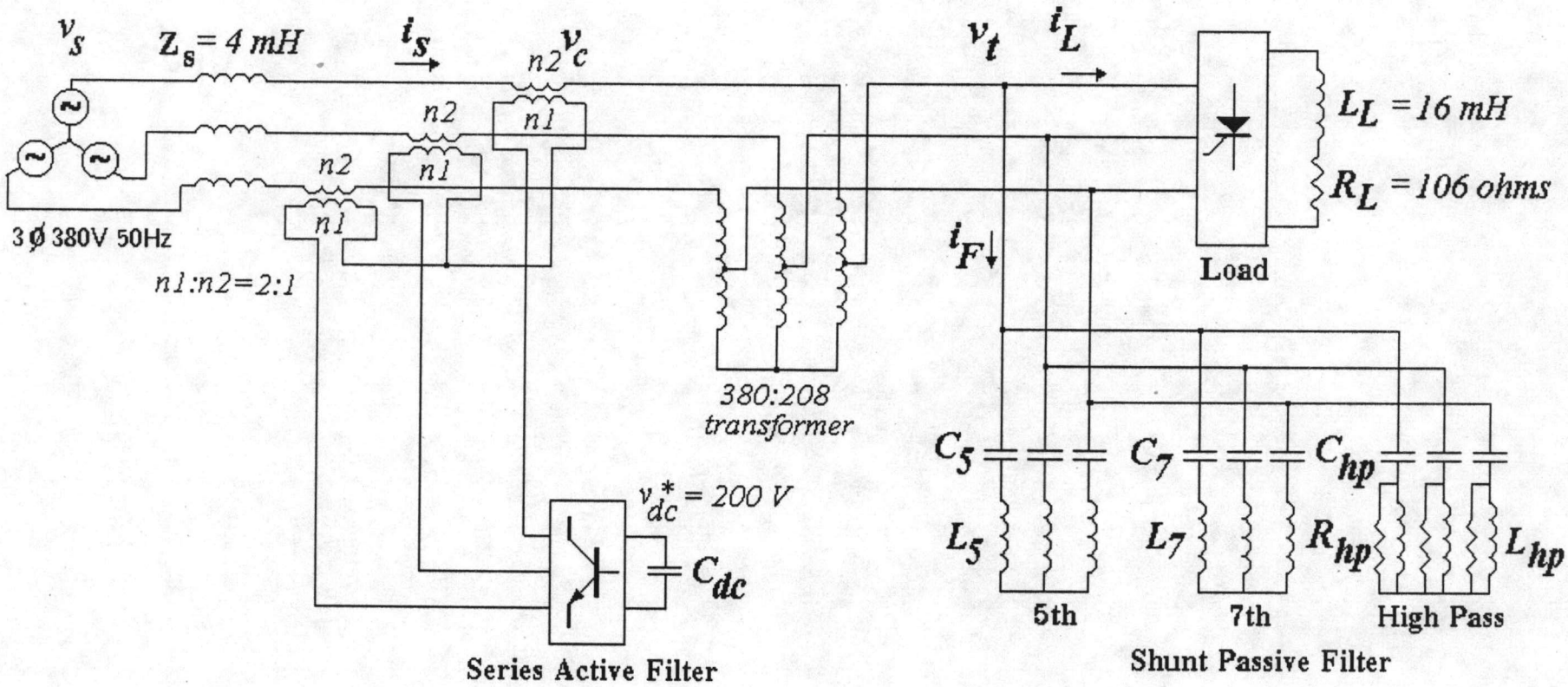
2.ระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมเฉพาะลดกระแสฮาร์มอนิกอย่างเดียว โดยใช้ K=65 (รูปที่ 6.3)

3.ระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมเฉพาะการรักษาระดับแรงดันคร่อมโหลด (รูปที่ 6.4)

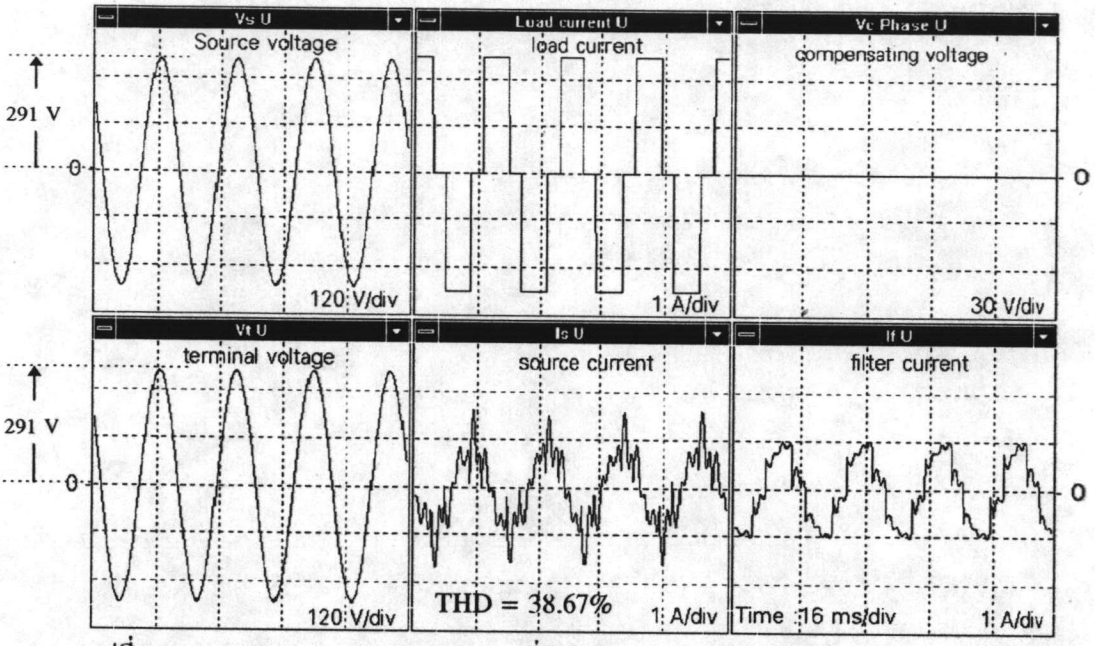
4.ระบบที่ใช้กรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมลดกระแสฮาร์มอนิก และ รักษาระดับแรงดันคร่อมโหลด(รูปที่ 6.5)

ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

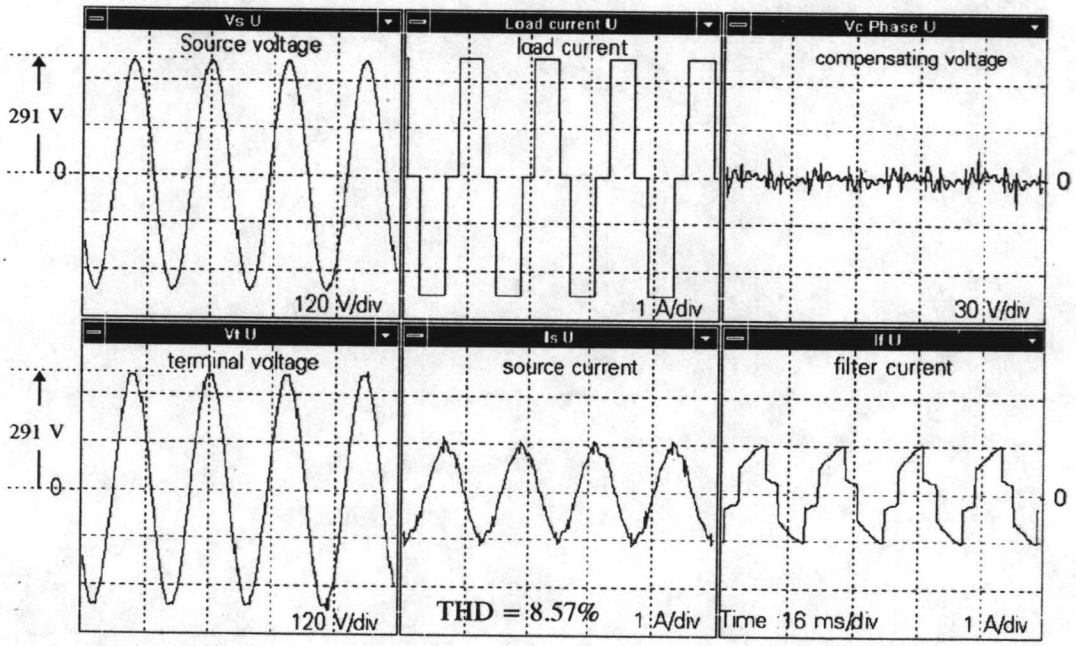
ค่าเมื่อมองจาก	L5 (mH)	C5 (μF)	L7 (mH)	C7 (μF)	Lhp (mH)	Chp (μF)	Rhp (ohms)
ด้านปฐมภูมิ	54.10	7.49	56.42	3.89	2.25	22.47	16.02
ด้านทุติยภูมิ	16.211	25	16.906	13	0.675	75	4.8



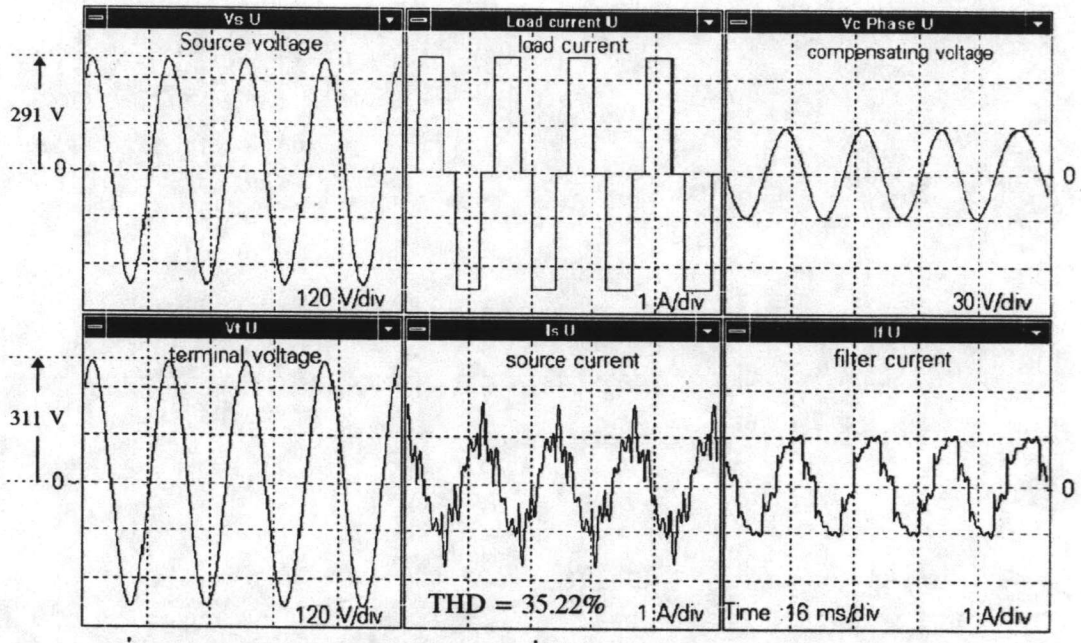
รูปที่ 6.1 ระบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมที่ใช้ในการทดสอบ



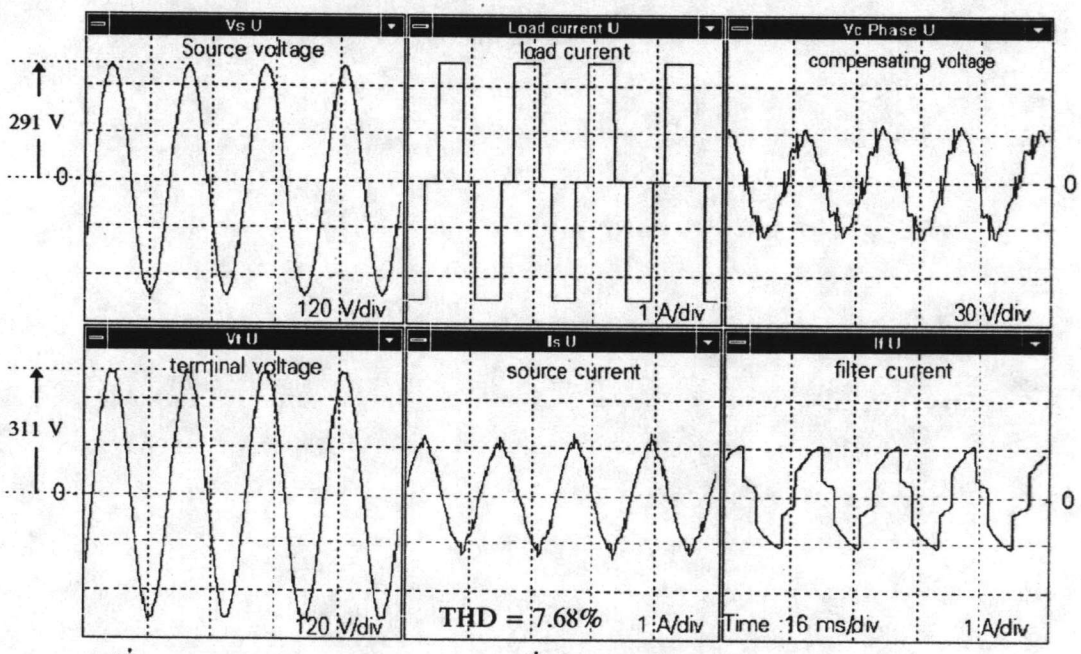
รูปที่ 6.2 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่มีเพียงวงจรกรองกำลังพาสซีฟแบบขนาน



รูปที่ 6.3 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม
เฉพาะลดกระแสฮาร์มอนิกอย่างเดียว



รูปที่ 6.4 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม เฉพาะการรักษาระดับแรงดันคร่อมโหลด



รูปที่ 6.5 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม ลดกระแสฮาร์มอนิกและรักษาระดับแรงดันคร่อมโหลด

จากผลการจำลองในรูปที่ 6.2 ซึ่งเป็นระบบที่มีเพียงวงจรกรองกำลังพาสซีฟแบบขนานเท่านั้น จะเห็นได้ว่ากระแสฮาร์มอนิกบางส่วนจะถูกกรองทิ้งไปโดยวงจรกรองแบบพาสซีฟแบบขนาน แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีกระแสฮาร์มอนิกไหลกลับไปยังแหล่งจ่าย โดยจะสังเกตได้จากค่าองค์ประกอบความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม (THD) ที่มีค่าสูงถึง 38.67% และระดับแรงดันที่ตก

คร่อมโหลดก็จะมีค่าเท่ากับระดับแรงดันที่มาจากแหล่งจ่ายซึ่งยังคงมีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ต้องการ ในผลการจำลองตามรูปที่ 6.3 จะเป็นระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมเฉพาะลดกระแสฮาร์มอนิกอย่างเดียว โดยจะสังเกตได้จากค่าแรงดันชดเชย (compensating voltage) ซึ่งจะมีเฉพาะแรงดันชดเชยในส่วนของความถี่ฮาร์มอนิกเท่านั้น จากผลการจำลองในรูปนี้จะเห็นได้ว่ากระแสฮาร์มอนิกจากโหลดจะถูกบังคับให้ไหลไปยังวงจรกรองกำลังแบบพาสซีฟ แทนที่จะไหลกลับไปยังแหล่งจ่าย โดยจะสังเกตได้จากค่า THD ของกระแสจากแหล่งจ่ายที่จะมีค่าลดลงเหลือเพียง 8.57% สำหรับผลการจำลองในรูปที่ 6.4 จะเป็นการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมเฉพาะการรักษาระดับแรงดันคร่อมโหลด โดยจะสังเกตได้จากค่าแรงดันชดเชยซึ่งจะมีเฉพาะแรงดันชดเชยในองค์ประกอบของความถี่หลักมูลเท่านั้น จากผลการจำลองนี้จะเห็นได้ว่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะมีค่าคงที่ตามต้องการคือมีค่า r.m.s. เป็น 220 V ถึงแม้ว่าระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายจะมีค่าลดลง และเมื่อวัดค่าตัวประกอบการกระจัด (displacement factor, DF) เมื่อมองที่โหลดจะมีค่าเท่ากับ 0.71 แต่เมื่อมองจากแหล่งจ่ายจะมีค่าตัวประกอบการกระจัดเท่ากับ 0.77 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันที่สร้างขึ้นจะช่วยให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบเมื่อมองจากแหล่งจ่ายมีค่าตัวประกอบกำลังที่ดีขึ้น ผลการจำลองในรูปที่ 6.5 เป็นการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมลดกระแสฮาร์มอนิก และ รักษาระดับแรงดันตกคร่อมโหลดพร้อม ๆ กัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากแรงดันชดเชยที่สร้างขึ้นจะเห็นว่ามีแรงดันชดเชยทั้งที่เป็นองค์ประกอบของความถี่หลักมูลและความถี่ฮาร์มอนิกรวมอยู่ด้วยกัน โดยจากผลการจำลองจะเห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่ได้ และสามารถที่จะลดกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าไปในแหล่งจ่ายให้มีค่าลดลงได้ด้วย โดยจะเห็นได้จากค่า THD ที่มีค่าลดลงเหลือเพียง 7.68% และค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าคงที่ตามต้องการคือ มีแรงดันเฟส r.m.s. เป็น 220 V ซึ่งผลที่ได้เหล่านี้เป็นการยืนยันถึงสมรรถภาพของระบบที่ได้นำเสนอ

<u>ผลการทดสอบการสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิก</u>

ในที่นี้เราจะทำการทดลองกับระบบจริงที่ได้สร้างขึ้นตามที่ได้แสดงในรูปที่ 6.1 โดยในอันดับแรกเราจะทำการทดสอบระบบการควบคุมในส่วนการสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกก่อน โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในบทที่ 2 การทดสอบจะกระทำโดยใช้ระบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟร่วมกับโหลดวงจรควบคุมเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์ ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งค่ากระแสโหลดของเฟส U สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 6.6 เมื่อระบบยังไม่ได้มีการสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกมีแต่วงจรกำลังกรองแบบพาสซีฟเท่านั้น รูปสัญญาณและสเปกตรัมของกระแสด้านแหล่งจ่ายและกระแสที่ไหลผ่านวงจรกรองกำลังแบบพาสซีฟ สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8 ตามลำดับ จากนั้นได้ทำ

การทดสอบโดยการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้ความถี่ในการสวิตช์ 6 kHz โดยในการทดสอบได้ทำการเปลี่ยนค่าอัตราขยาย K เป็นค่าต่างๆ ดังนี้คือ 30,50,65,70 ผลการทดสอบการวัดรูปของสัญญาณและสเปกตรัมของกระแสด้านแหล่งจ่ายได้แสดงในรูปที่ 6.9,6.11,6.13,6.15 ตามลำดับ รูปกระแสและสเปกตรัมของสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านวงจรกรองกำลังพาสซีฟแสดงไว้ในรูปที่ 6.12,6.14,6.16,6.18 ตามลำดับ ซึ่งจากการวัดค่า THD ของกระแสด้านแหล่งจ่ายที่ค่าอัตราขยาย K ค่าต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.2 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่ากระแสฮาร์มอนิกจะถูกผลักดันให้ไหลลงสู่วงจรกรองกำลังพาสซีฟมากกว่าที่จะไหลไปกลับสู่แหล่งจ่าย โดยการแบ่งไหลของกระแสฮาร์มอนิกจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองและอิมพีแดนซ์ของทางด้านแหล่งจ่าย เมื่อค่า K มีค่ามากเราจะสามารถประมาณอัตราส่วนดังกล่าวได้ตามสมการ(6.1)

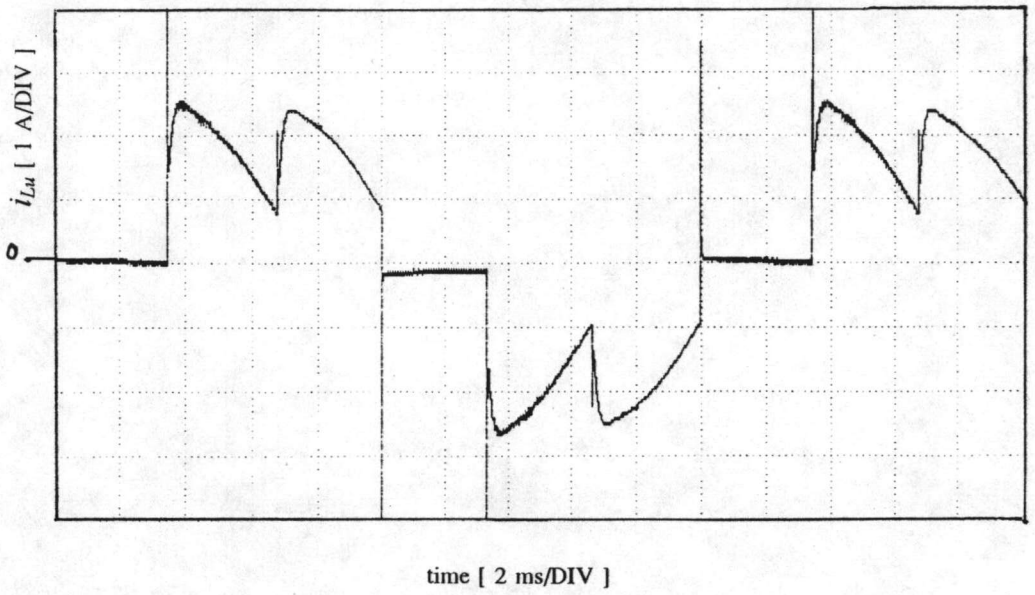
$$\frac{i_{sn}}{i_{fn}} \approx \frac{|Z_{fn}|}{K} \tag{6.1}$$

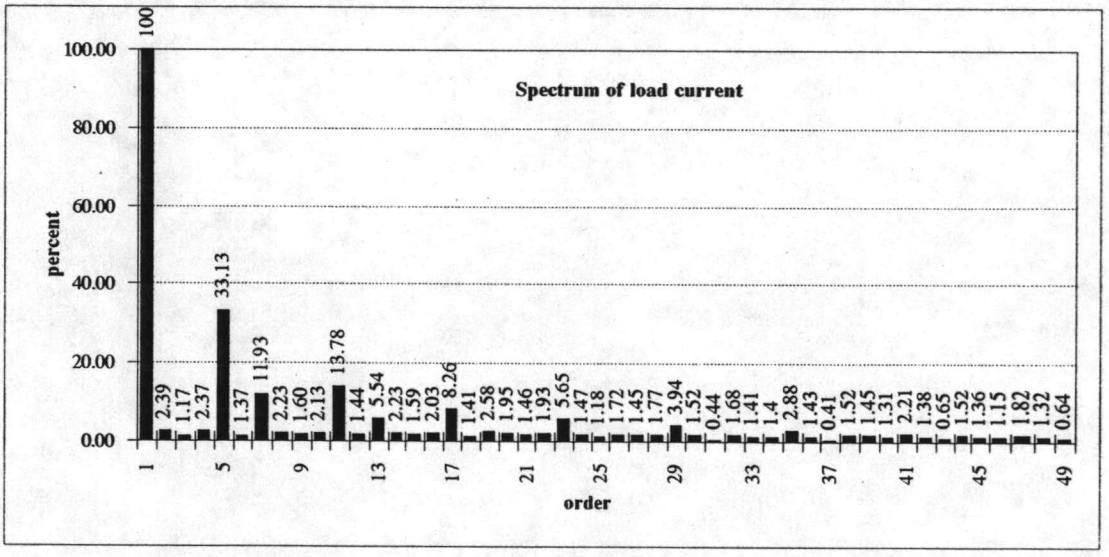
โดยที่ i_{sn} = ค่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ n ที่ไหลผ่านไปยังแหล่งจ่าย

i_{fn} = ค่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ n ที่ไหลผ่านวงจรกรองกำลังพาสซีฟ

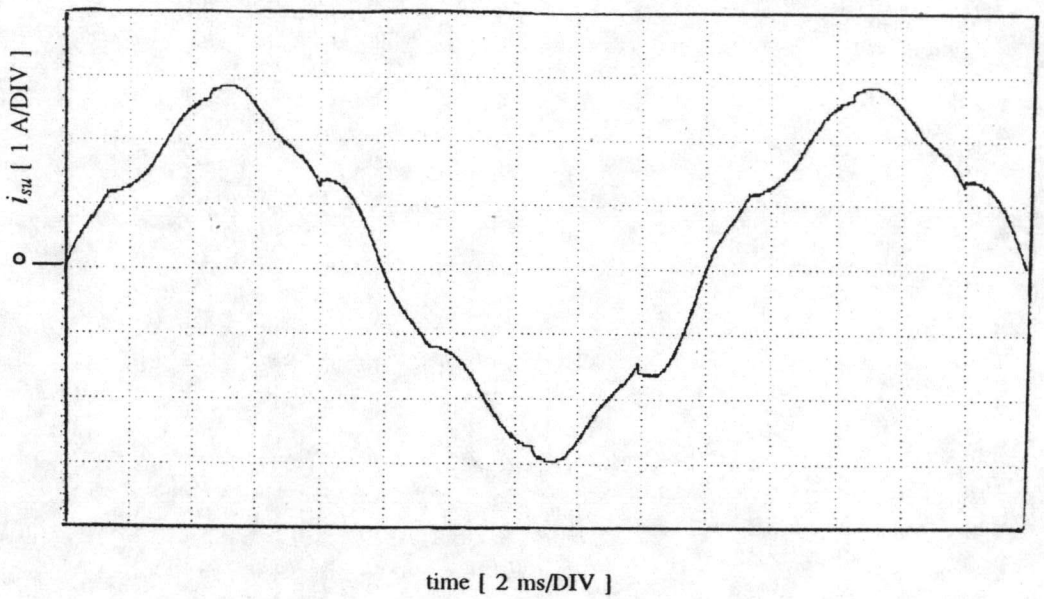
Z_{fn} = ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองกำลังพาสซีฟที่ความถี่ฮาร์มอนิกอันดับที่ n

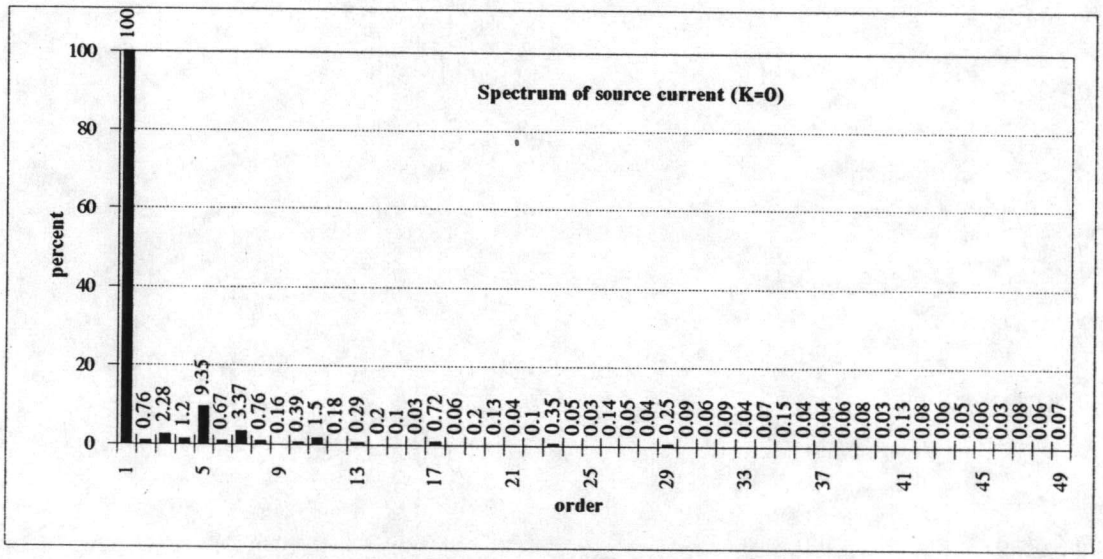
เช่นในการทดสอบขณะที่ใช้ค่าอัตราขยาย K = 60 ทำการวัดค่ากระแสจากแหล่งจ่ายในลำดับที่ 5 (i_{s5}) = 0.0743 แอมแปร์ ค่ากระแสผ่านวงจรกรองกำลังพาสซีฟในลำดับที่ 5 (i_{f5}) = 0.1817 แอมแปร์ ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองกำลังพาสซีฟที่ความถี่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 (Z_{f5}) = 25.16 โอห์ม (ดูภาคผนวก ค)ซึ่งผลที่ได้ตรงตามในสมการที่(6.1) จากผลการทดสอบที่ได้จากการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราขยาย K สูงขึ้น รูปคลื่นกระแสจากแหล่งจ่ายมีแนวโน้มที่จะมีค่า THD ลดลง ในทางตรงกันข้ามค่า THD ของกระแสที่ไหลผ่านวงจรกรองกำลังพาสซีฟก็จะมีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบพบว่าเมื่อมีการเพิ่มค่าอัตราขยาย K มากขึ้นกว่าค่า 50 รูปคลื่นกระแสจากแหล่งจ่ายจะมีลักษณะเกิดการแกว่งมากขึ้น และ ค่าของ THD จะมีค่าเพิ่มขึ้นแทนที่จะลดลง



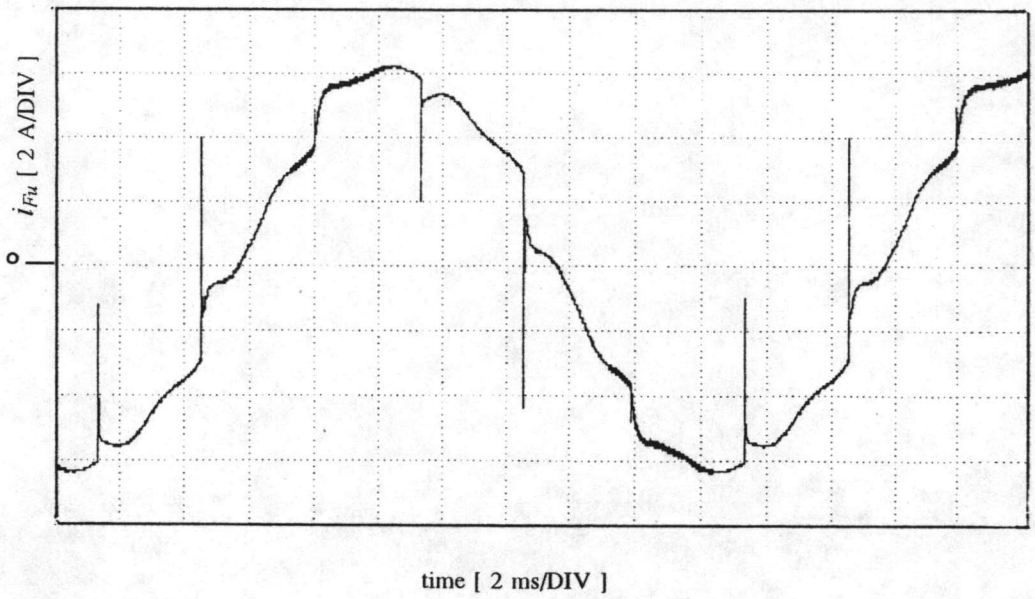


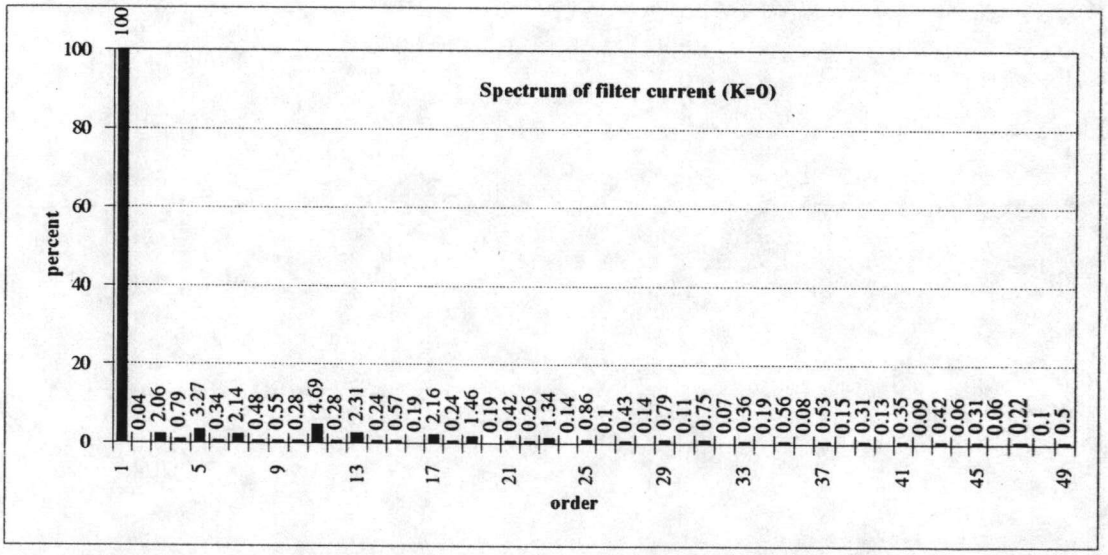
รูปที่ 6.6 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสโหลด



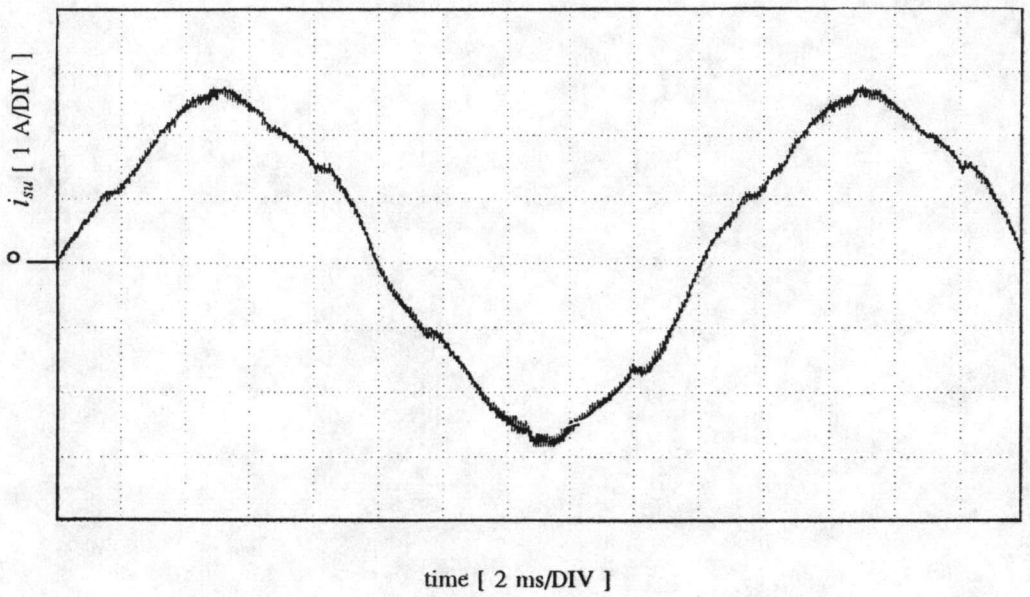


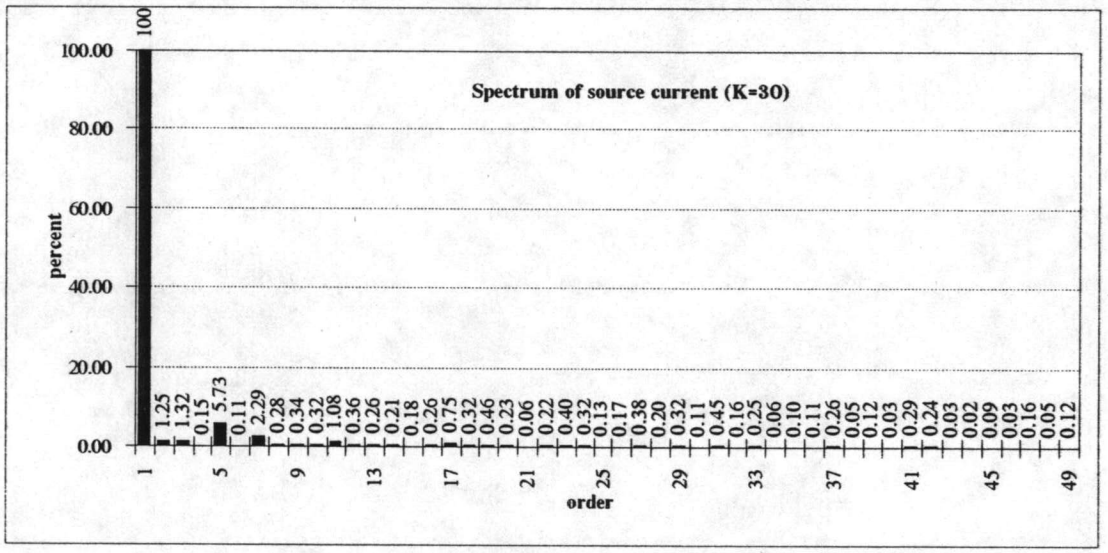
รูปที่ 6.7 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสด้านแหล่งจ่าย (K=0)





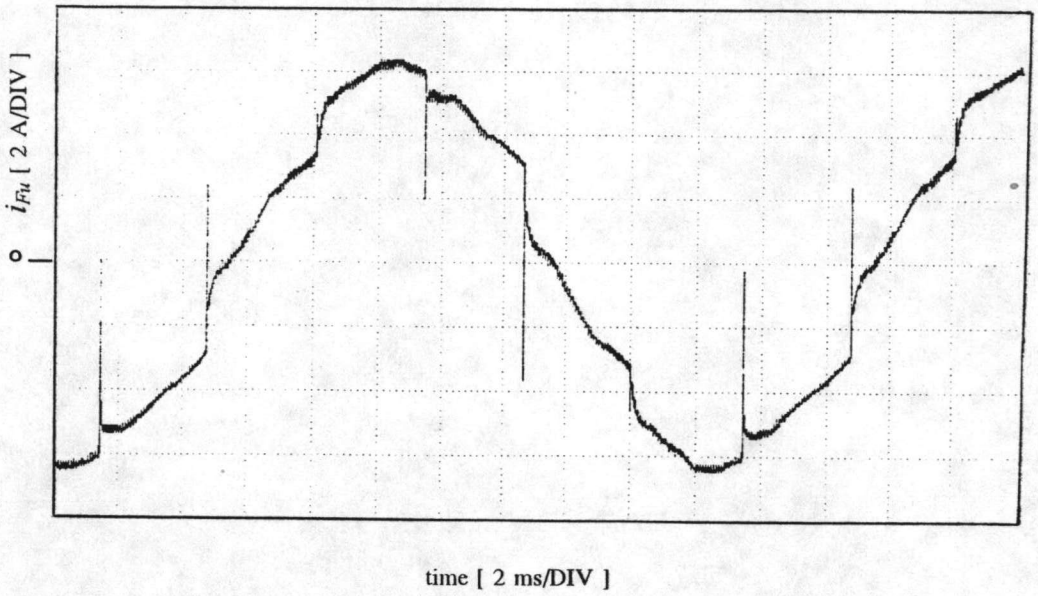
รูปที่ 6.8 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองแบบพาสซีฟ (K=0)

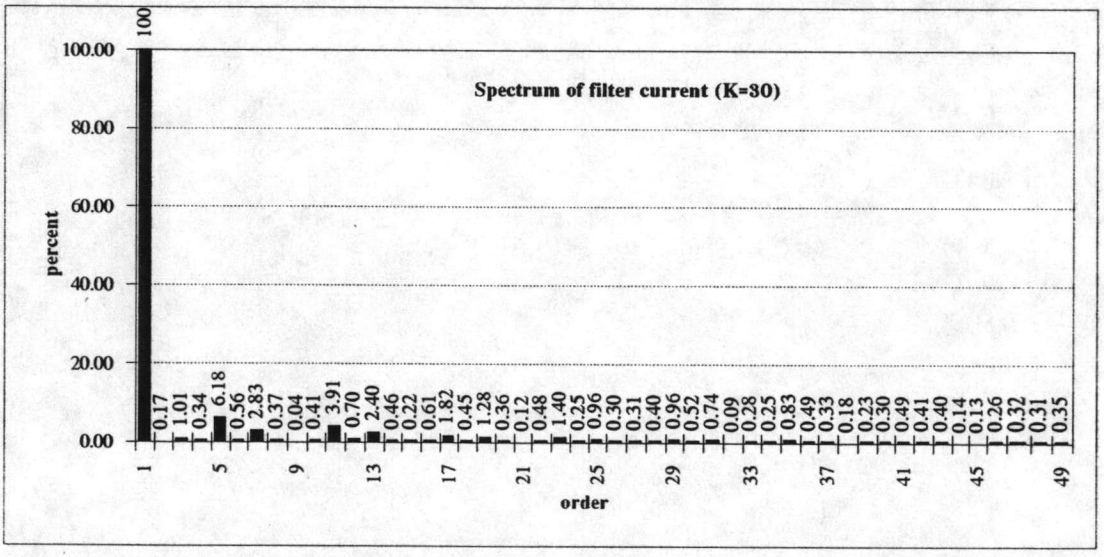




รูปที่ 6.9 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

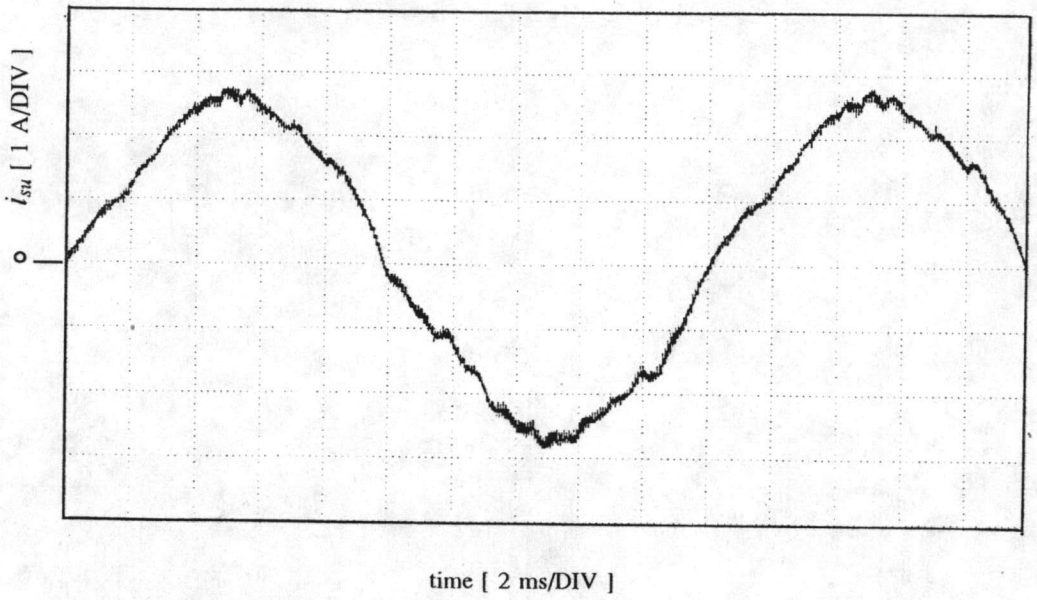
ที่ K = 30 , switching frequency 6 kHz

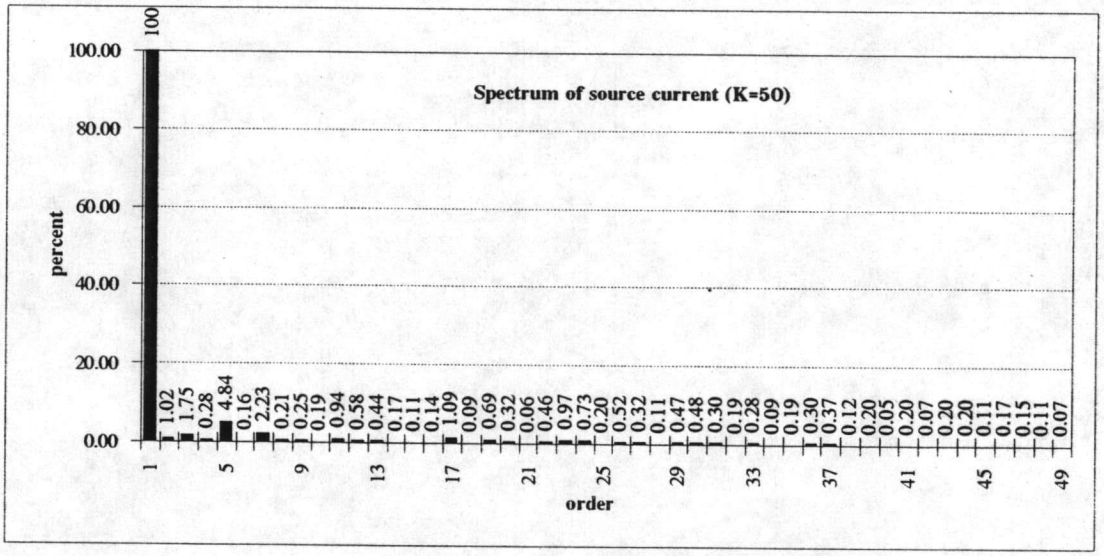




รูปที่ 6.10 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

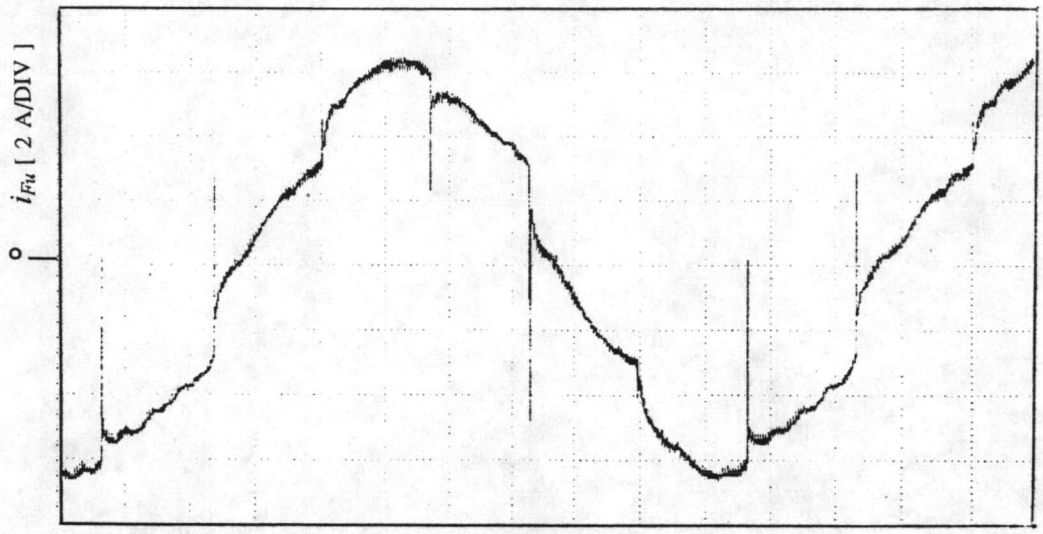
ที่ K = 30 , switching frequency 6 kHz

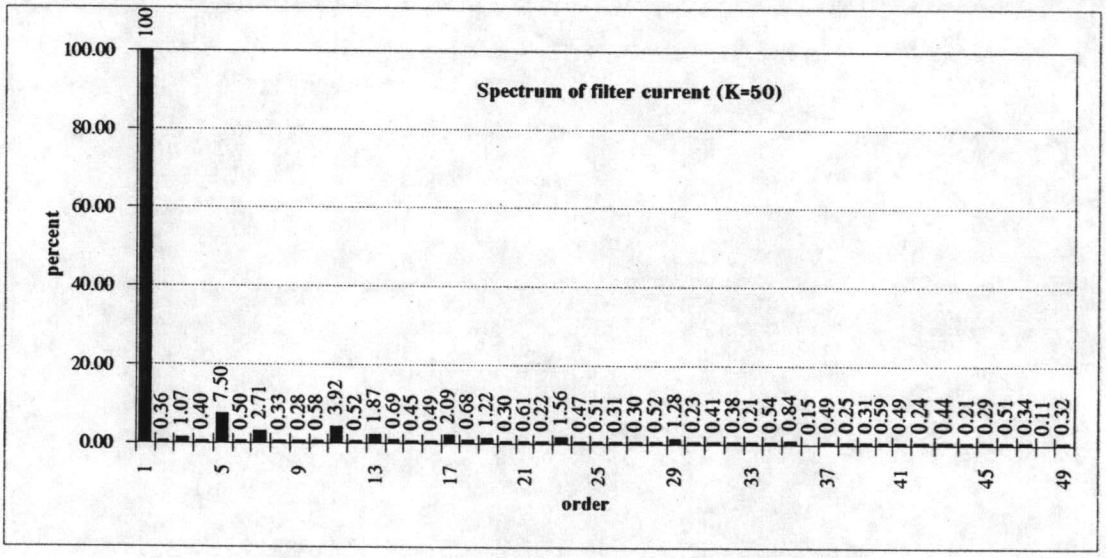




รูปที่ 6.11 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

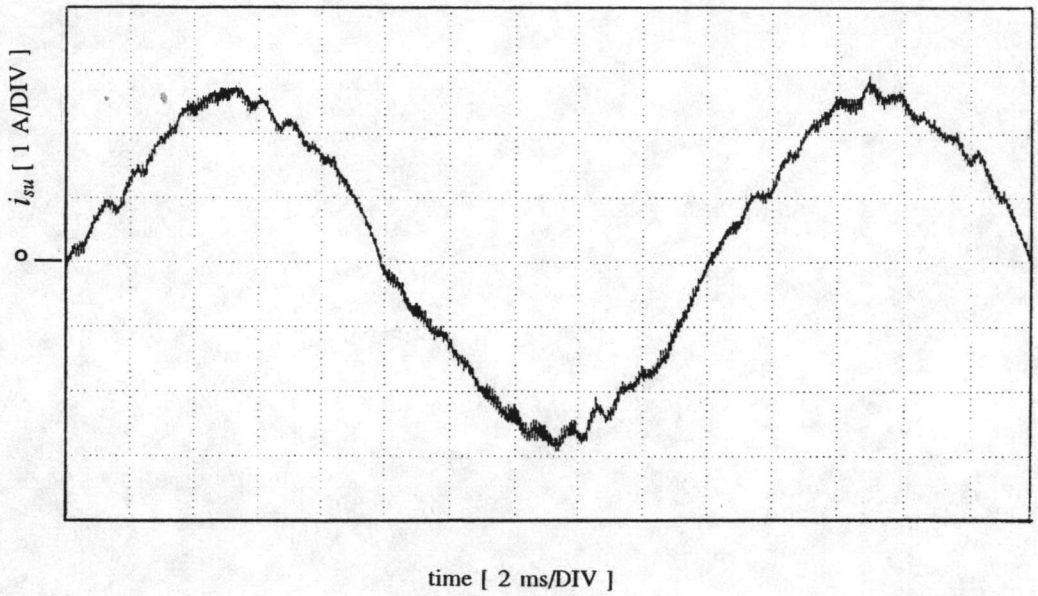
ที่ K = 50 , switching frequency 6 kHz

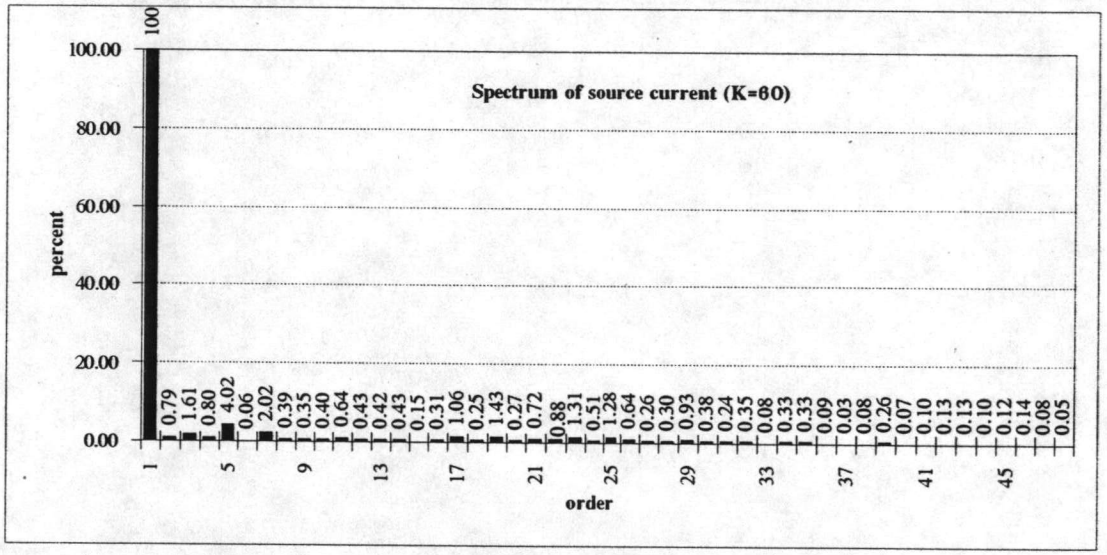




รูปที่ 6.12 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

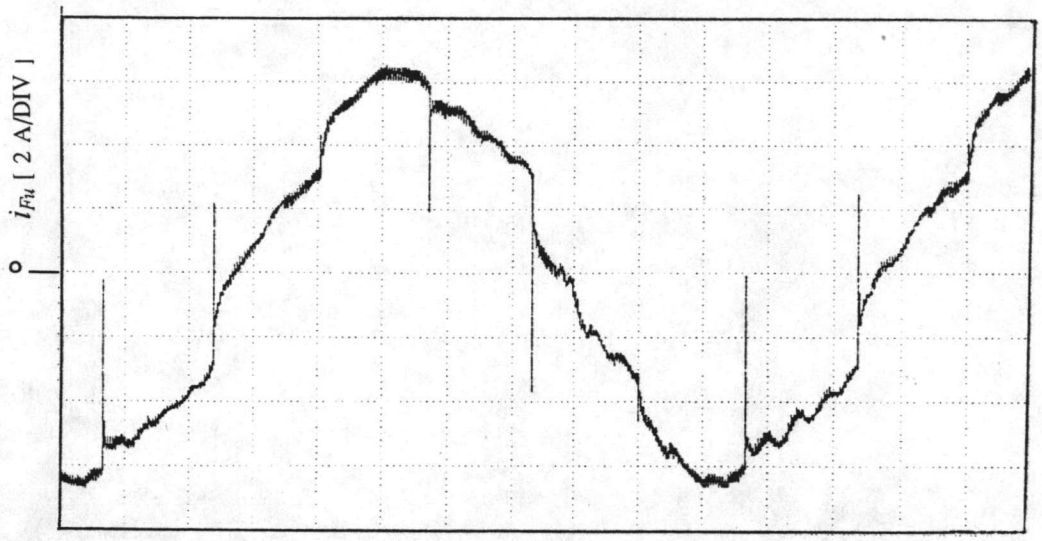
ที่ K = 50 , switching frequency 6 kHz

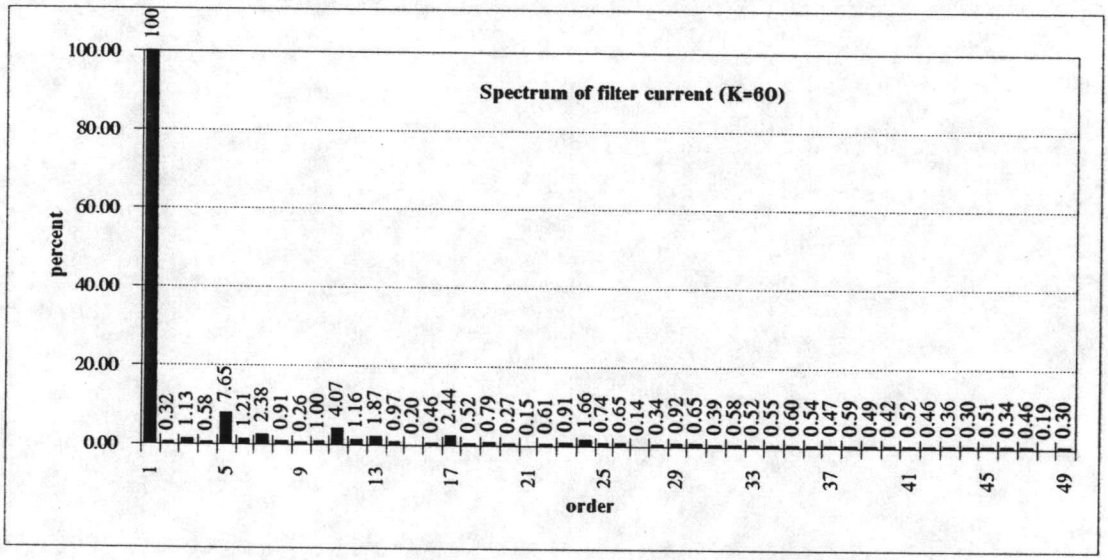




รูปที่ 6.13 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

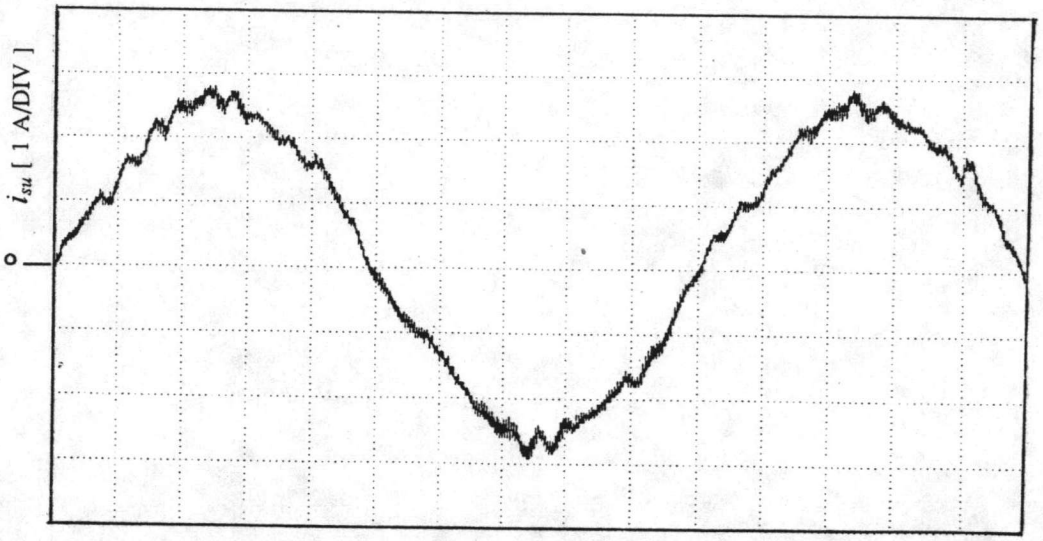
ที่ K = 60 , switching frequency 6 kHz

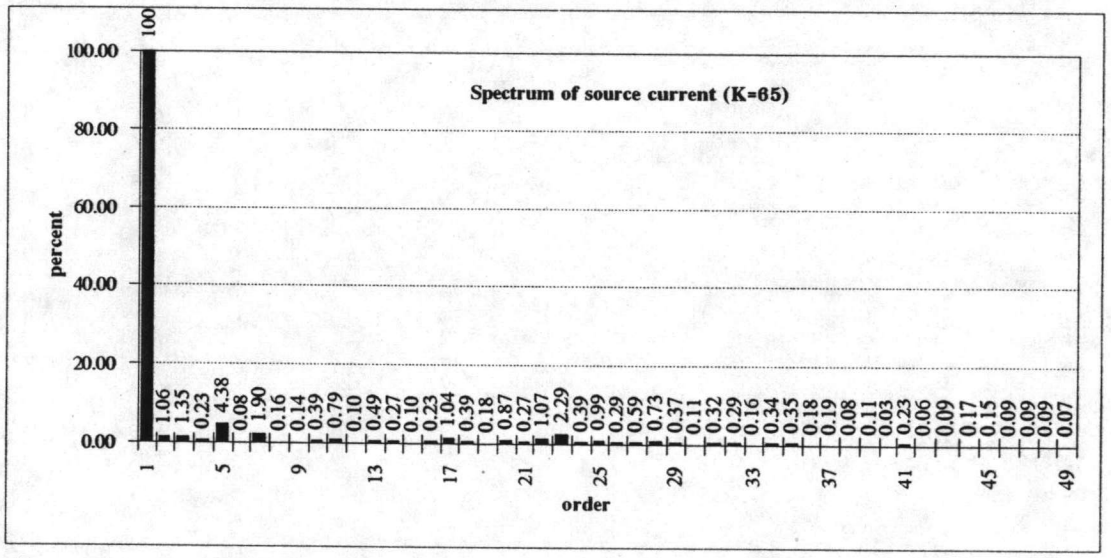




รูปที่ 6.14 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

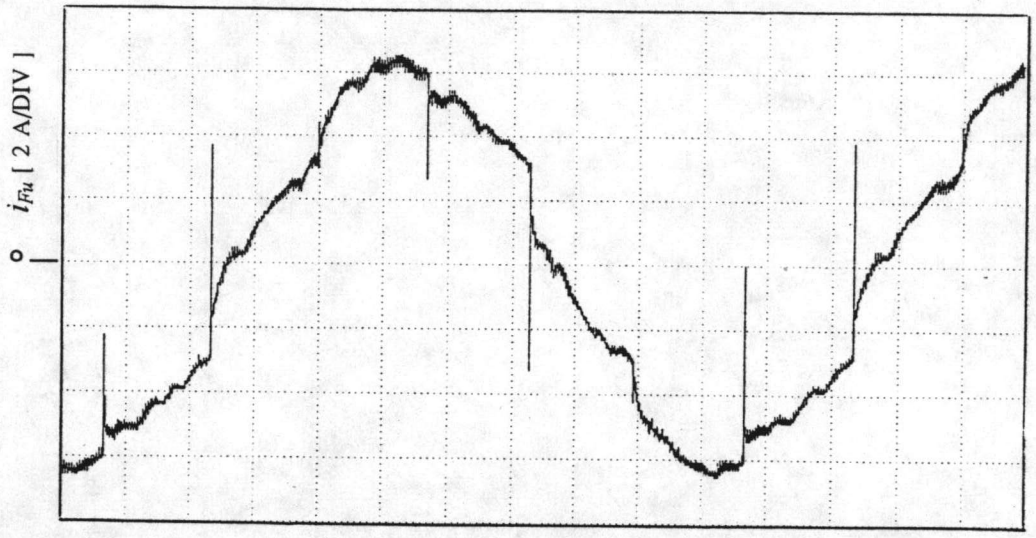
ที่ K = 60 , switching frequency 6 kHz

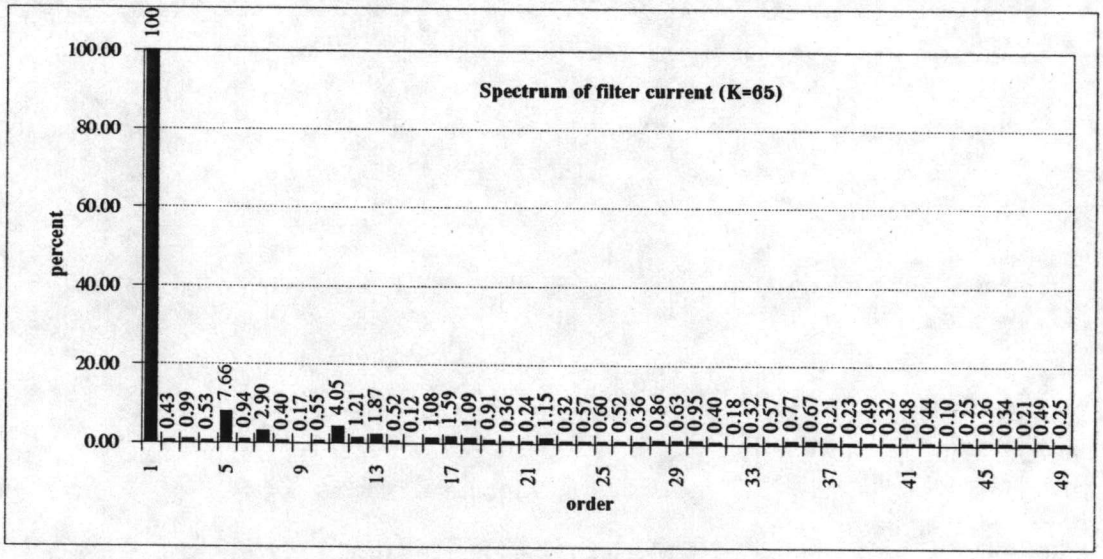




รูปที่ 6.15 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

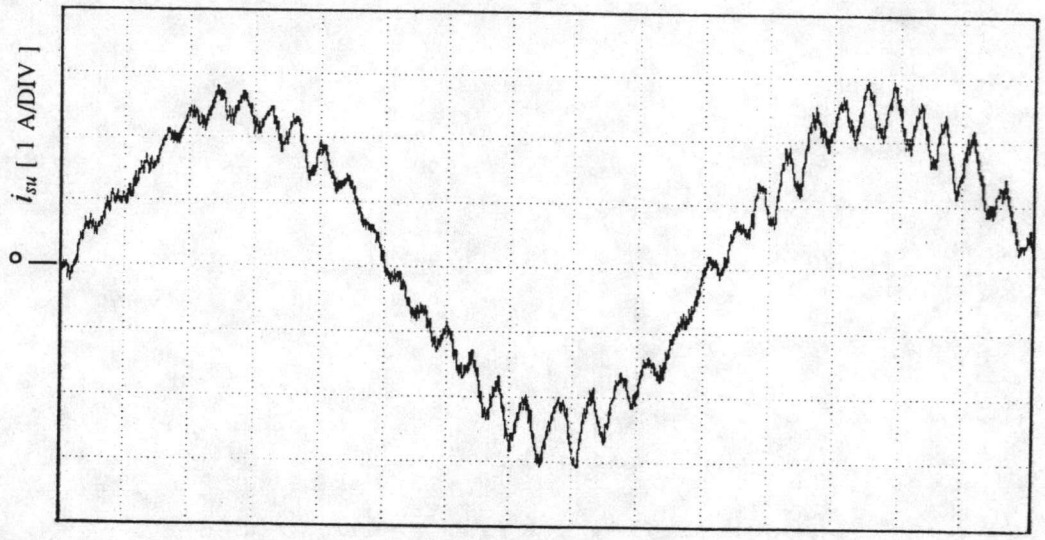
ที่ K = 65 , switching frequency 6 kHz

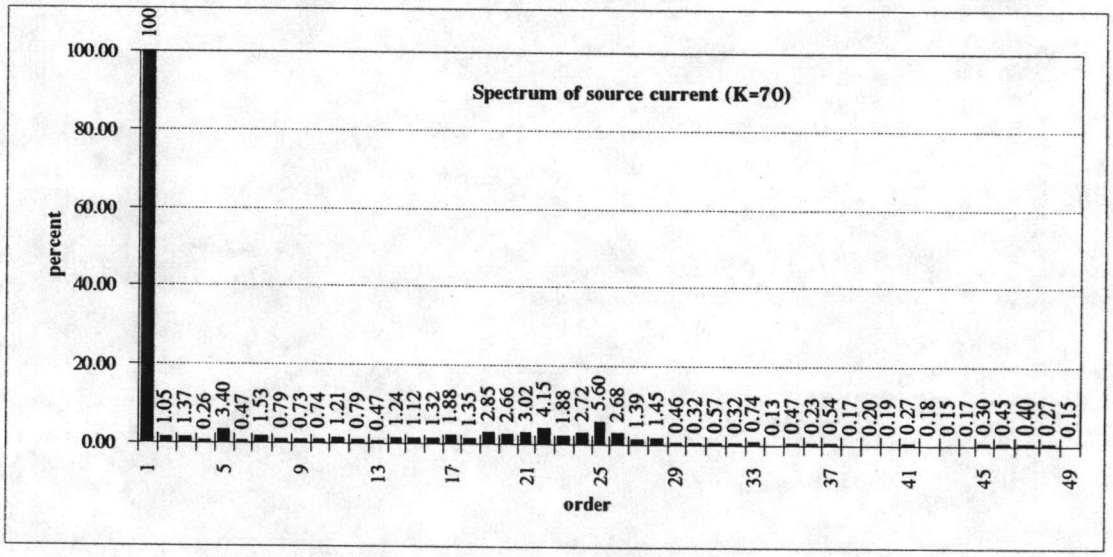




รูปที่ 6.16 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

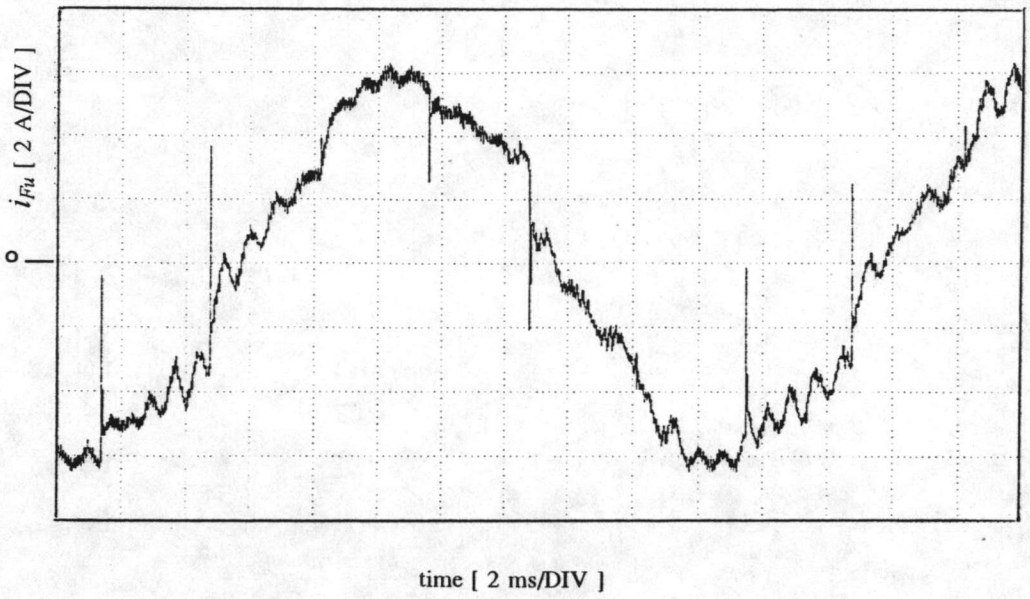
ที่ K = 65 , switching frequency 6 kHz

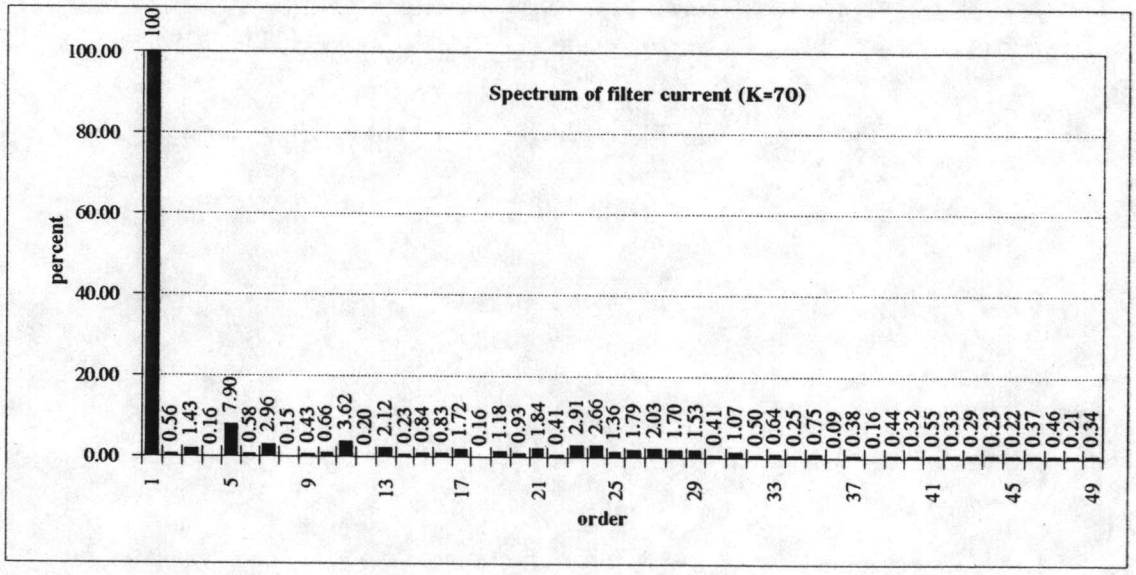




รูปที่ 6.17 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

ที่ K = 70 , switching frequency 6 kHz





รูปที่ 6.18 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

ที่ K = 70 , switching frequency 6 kHz

ตารางที่ 6.2 ค่าส่วนประกอบกระแสฮาร์มอนิกและ THD ของกระแสจากแหล่งจ่าย
เมื่อใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟลดกระแสฮาร์มอนิก (switching frequency 6 kHz)

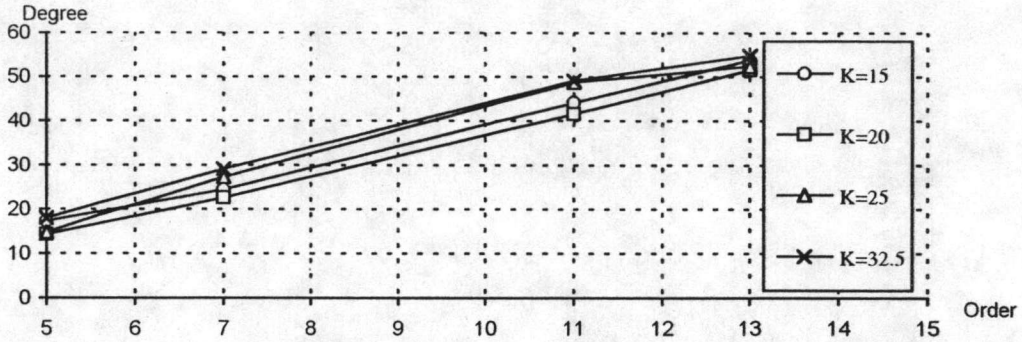
order	Spectrum of source current (%)					
	K=0	K=30	K=50	K=60	K=65	K=70
1	100	100	100	100	100	100
5	9.35	5.73	4.84	4.02	4.38	3.40
7	3.37	2.29	2.23	2.02	1.90	1.53
11	1.50	1.08	0.94	0.64	0.79	1.21
13	0.29	0.26	0.44	0.42	0.49	0.47
THD(%)	10.52	6.75	6.28	6.02	6.21	11.37

<u>ผลของการประวิงเวลา (delay time) ต่อการสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิก</u>

จากการที่เกิดปัญหาในเรื่องของการเกิดการแกว่งของกระแสในระบบ จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้รูปคลื่นกระแสจากแหล่งจ่ายมีแนวโน้มที่จะเกิดการแกว่งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าอัตราขยาย K มากกว่าค่า 50 จากการทดสอบทำการวัดค่ามุมเฟสต่างระหว่างสัญญาณกระแสจากแหล่งจ่ายและแรงดันที่ได้สร้างขึ้น ได้ข้อมูลดังแสดงได้ดังในตารางที่ 6.3 ซึ่งเมื่อนำค่ามุมเฟสต่างระหว่างสัญญาณกระแสจากแหล่งจ่ายและสัญญาณแรงดันที่สร้างขึ้นที่ค่าความถี่ฮาร์มอนิกอันดับต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์จะได้กราฟดังแสดงได้ในรูปที่ 6.19 ซึ่งจากผลการทดสอบนี้พบว่าสัญญาณของแรงดันที่สร้างขึ้นเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกและสัญญาณกระแสจากแหล่งจ่ายเกิดมีค่ามุมเฟสต่าง (phase shift) ดังแสดงในรูปที่ 6.9 แทนที่จะมีค่ามุมเฟสตรงกัน (in phase)

ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของค่ามุมเฟสต่างระหว่างกระแสและแรงดัน
กับค่าความถี่สัญญาณที่ฮาร์มอนิกอันดับต่าง ๆ

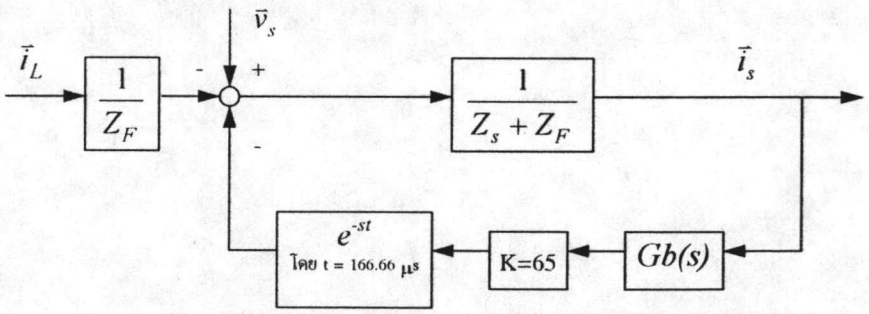
Order	ค่ามุมเฟสต่าง			
	at K=15	at K=20	at K=25	at K=32.5
5	17.2 องศา	14.3 องศา	14.8 องศา	17.9 องศา
7	24.3 องศา	22.5 องศา	27.2 องศา	29.1 องศา
11	44.2 องศา	41.6 องศา	48.7 องศา	49.1 องศา
13	53.9 องศา	51.6 องศา	52.4 องศา	54.8 องศา



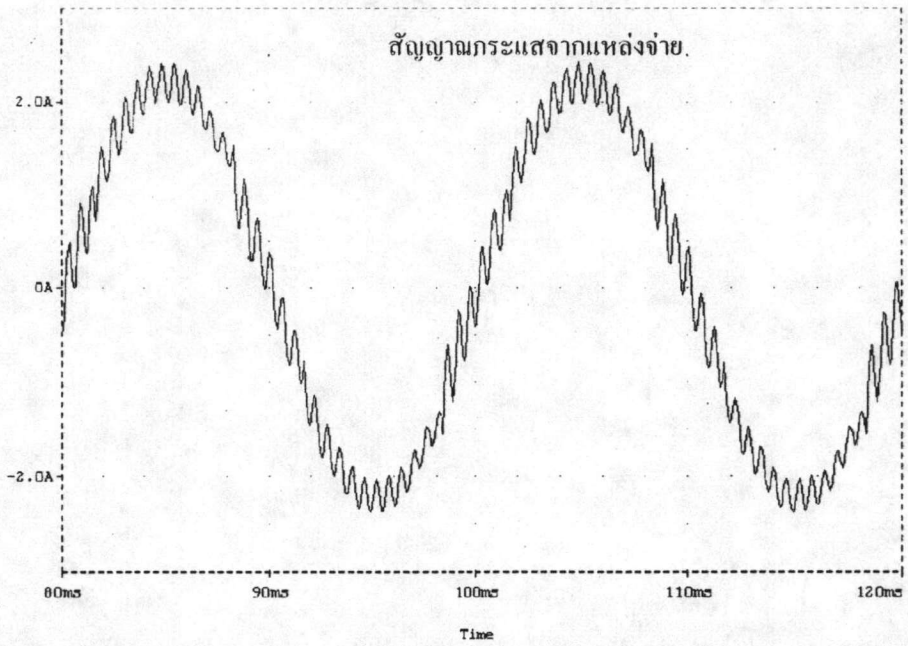
รูปที่ 6.19 มุมเฟสต่างของกระแสจากแหล่งจ่ายและแรงดันที่สร้างขึ้น ณ ค่าความถี่ฮาร์มอนิกอันดับต่าง ๆ

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปกราฟตามรูปที่ 6.19 จะเห็นว่าค่ามุมเฟสต่างระหว่างสัญญาณของกระแสจากแหล่งจ่ายและสัญญาณแรงดันที่สร้างขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าความถี่ฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ในลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 6.3 ไปคำนวณกลับหาค่าเวลาประวิง (delay time) ในทุก ๆความถี่ฮาร์มอนิก จะพบว่าค่าเวลาหน่วงจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าคาบเวลาของความถี่สวิตช์ (1/6 kHz = 166.66 μs) จึงสรุปได้ว่าค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากผลของการประวิงเวลา (delay time) อันเกิดจากการคำนวณในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งผลของการประวิงเวลานี้น่าจะเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดการแกว่งของกระแส

ดังนั้นจากข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับผลของการประวิงเวลานี้ จึงได้ทำการจำลองการทำงานของระบบตามรูปที่ 6.20 ด้วยโปรแกรม PSPICE โดยรวมผลของการประวิงเวลาเข้าไปในระบบด้วย ผลจำลองการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบที่ใช้จำลองผลการประวิงเวลา

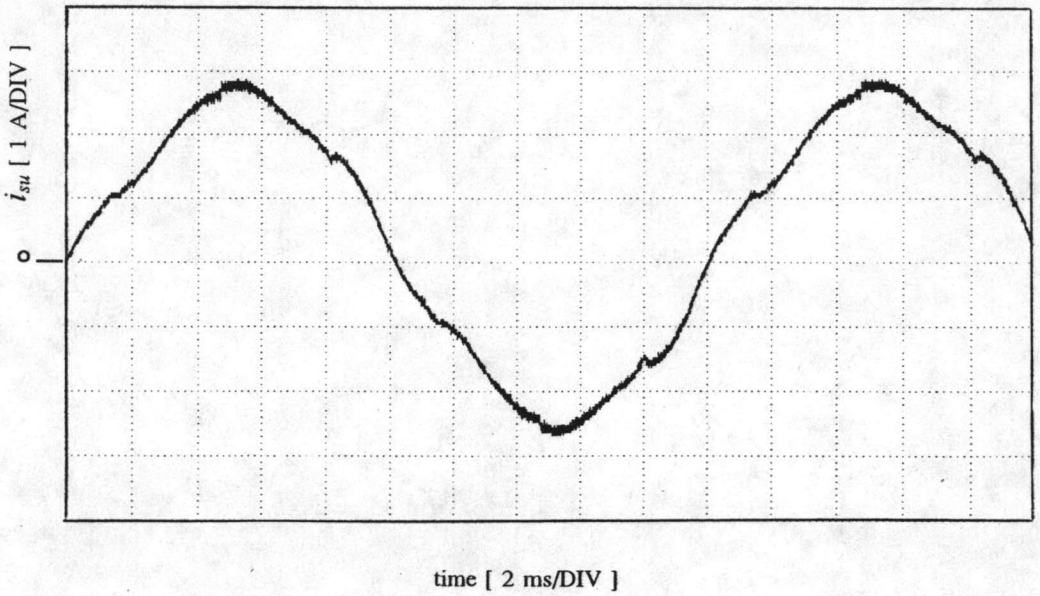


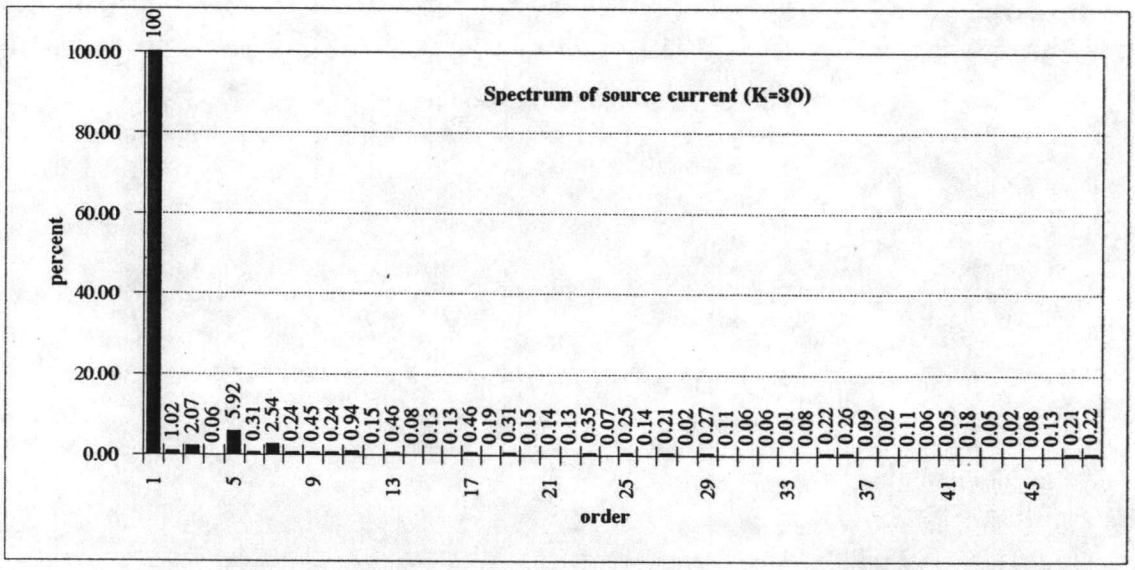
รูปที่ 6.21 ผลจำลองการทำงานเมื่อรวมผลของการประวิงเวลาเข้าไปในระบบ

จากผลจำลองการทำงานพบว่าค่ากระแสจากแหล่งจ่ายเกิดการแกว่งเหมือนกับผลที่ได้จากการทดลองจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปรากฏการณ์การแกว่งของกระแสแหล่งจ่ายนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของการประวิงเวลาของการคำนวณ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการลดเวลาการคำนวณลงเหลือ 100 ไมโครวินาที กล่าวคือเพิ่มความถี่ของการสวิตช์เป็น 10 kHz เพื่อที่จะลดผลของการแกว่งของกระแสแหล่งจ่าย และทำให้เราสามารถที่จะเพิ่มค่าอัตราขยาย K ได้ค่าตามที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบได้แสดงรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง

<u>ผลการทดสอบการสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สวิตช์ 10 kHz</u>

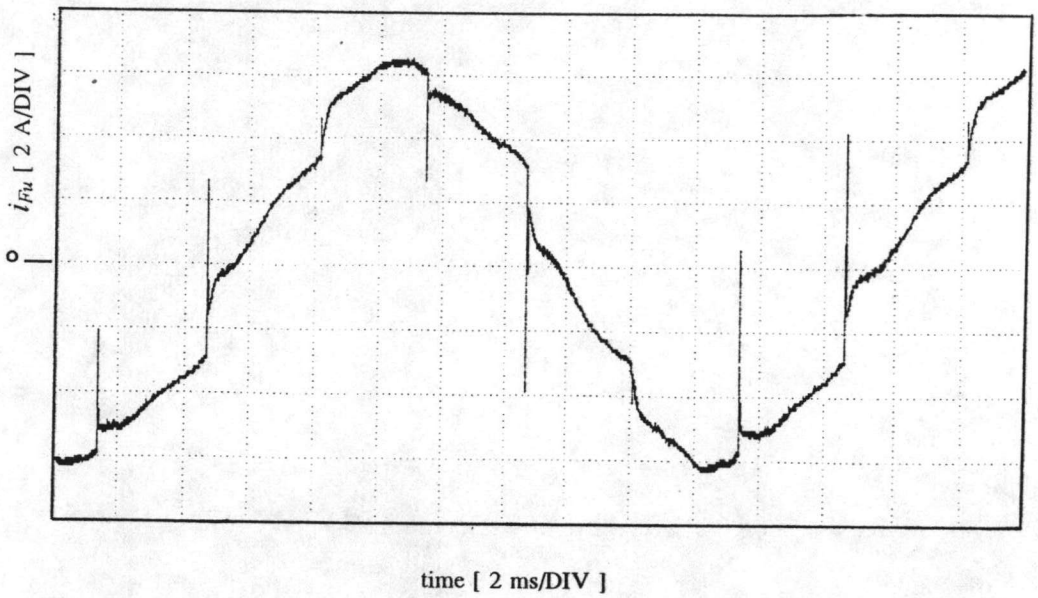
หลังจากที่ทำการเปลี่ยนค่าความถี่สวิตช์ของระบบจากเดิม 6 kHz ไปเป็น 10 kHz แล้ว ได้ทำการทดสอบระบบใหม่ โดยโหลดที่ใช้เป็นวงจรควบคุมเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์ ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเช่นเดิม และในการทดสอบได้ทำการเปลี่ยนค่าอัตราขยาย K เป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ 30, 50, 60, 65, 75, 80, 85, 90 ผลการทดสอบที่แสดงถึงรูปของสัญญาณและสเปกตรัมของกระแสด้านแหล่งจ่ายได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.22, 6.24, 6.26, 6.28, 6.30, 6.32, 6.34, 6.36 ตามลำดับ ส่วนรูปกระแสและสเปกตรัมของกระแสที่ไหลผ่านวงจรกรองกำลังพาสซีฟแสดงได้ดังในรูปที่ 6.23, 6.25, 6.27, 6.29, 6.31, 6.33, 6.35, 6.37 ตามลำดับ ซึ่งจากการวัดค่า THD ของกระแสด้านแหล่งจ่ายที่ค่าอัตราขยาย K ค่าต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.4

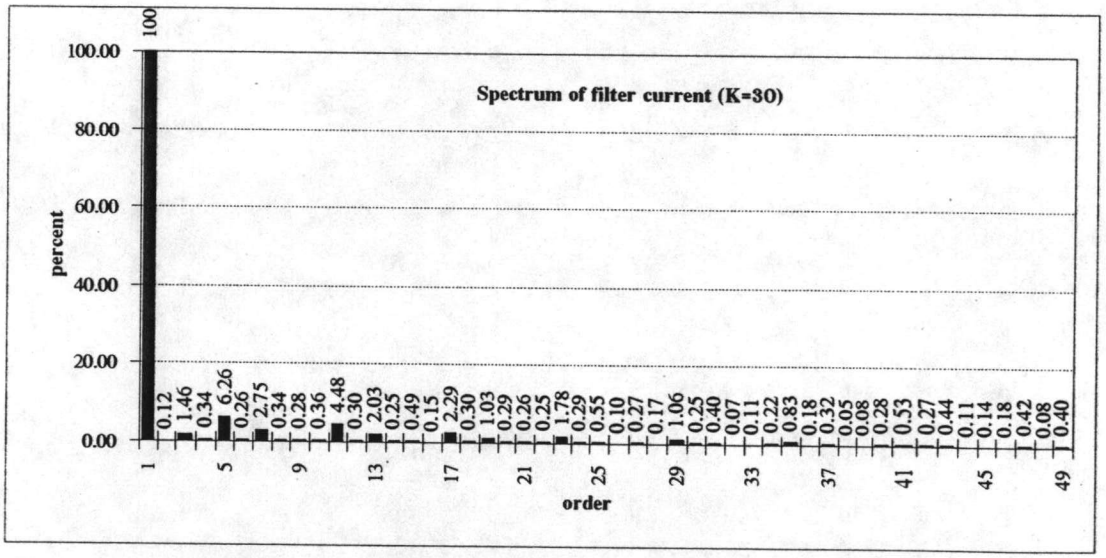




รูปที่ 6.22 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

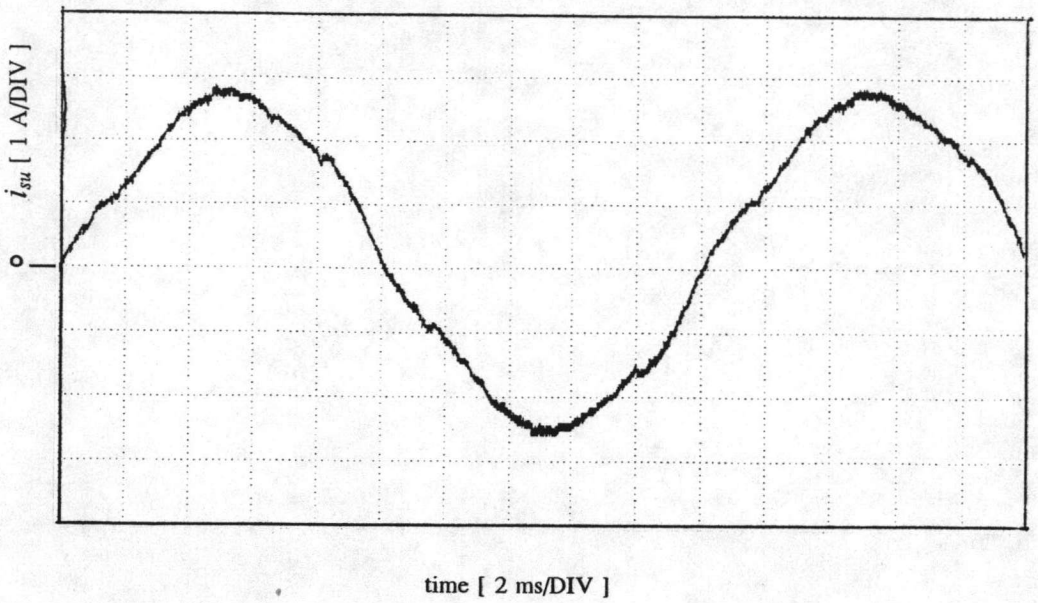
ที่ K= 30 , switching frequency 10 kHz

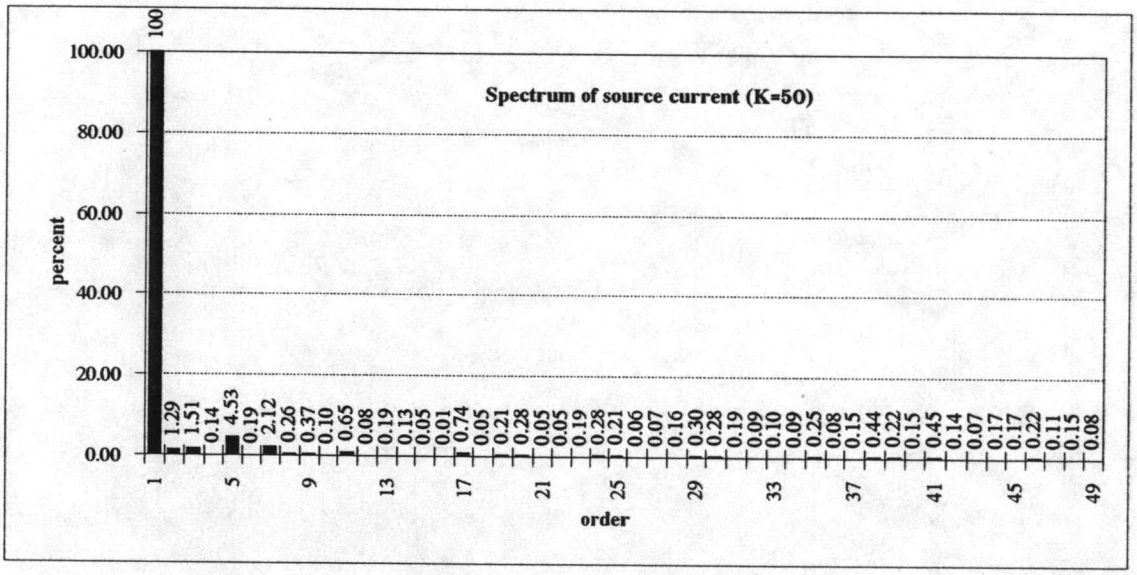




รูปที่ 6.23 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

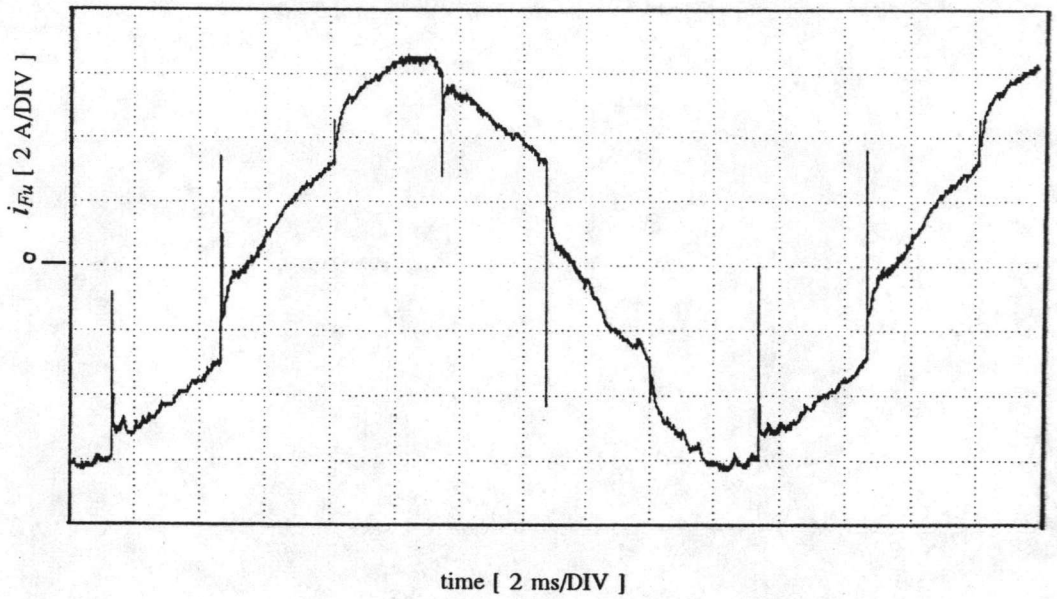
ที่ K= 30 , switching frequency 10 kHz

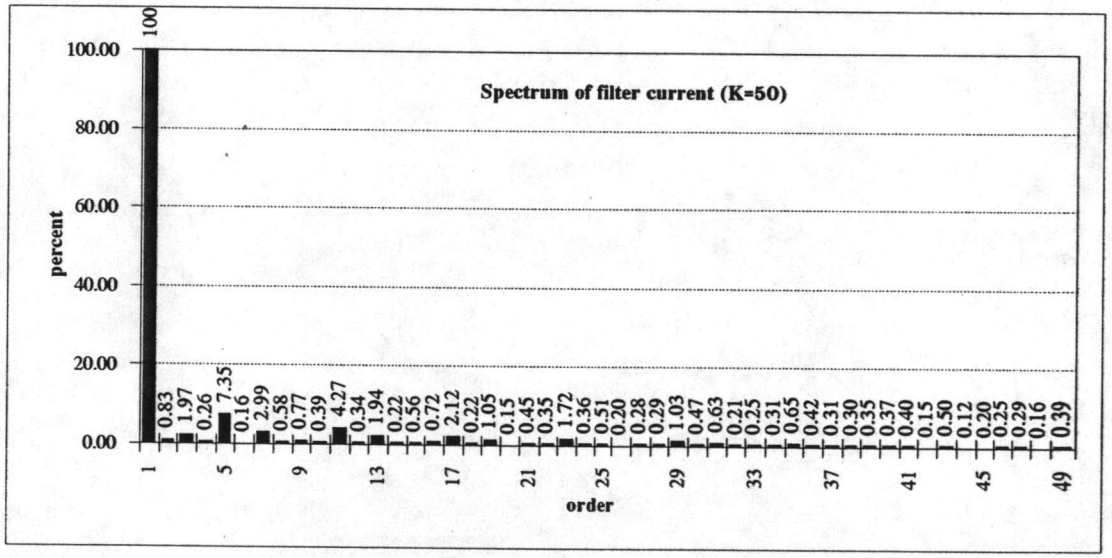




รูปที่ 6.24 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

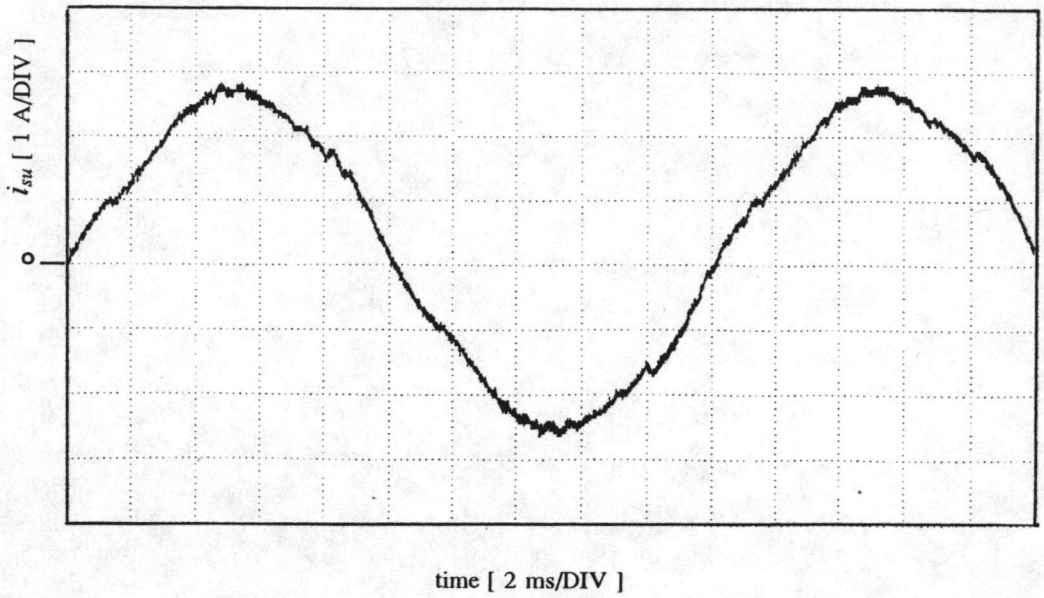
ที่ K= 50 , switching frequency 10 kHz

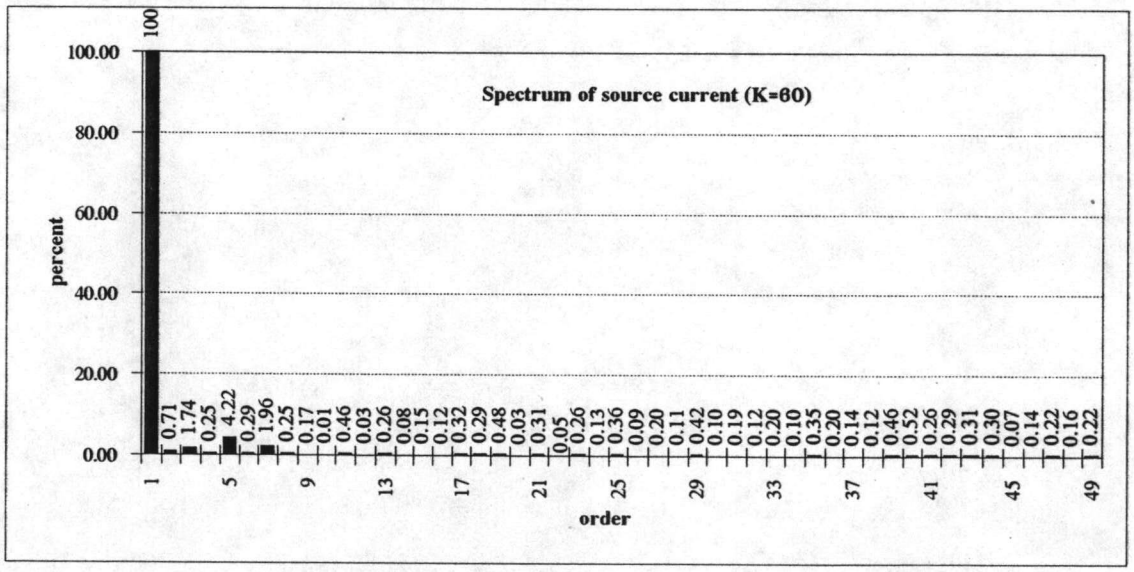




รูปที่ 6.25 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

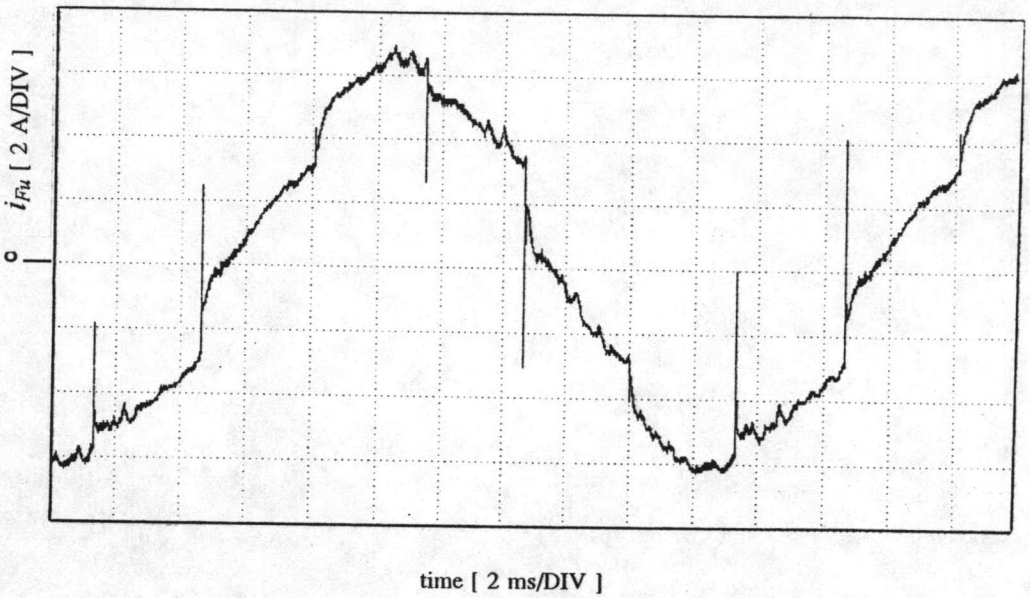
ที่ K= 50 , switching frequency 10 kHz

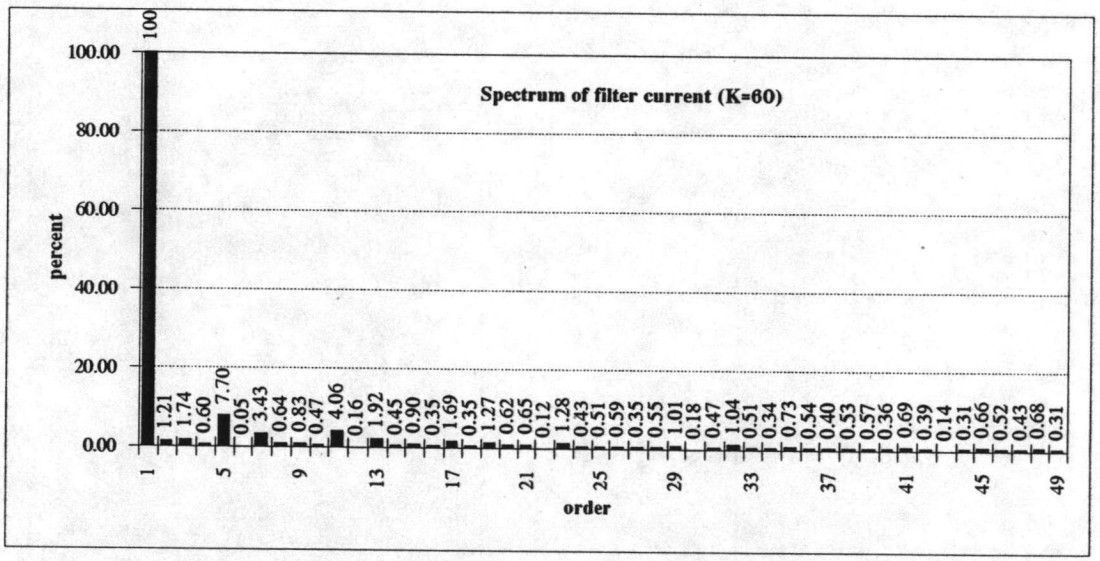




รูปที่ 6.26 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

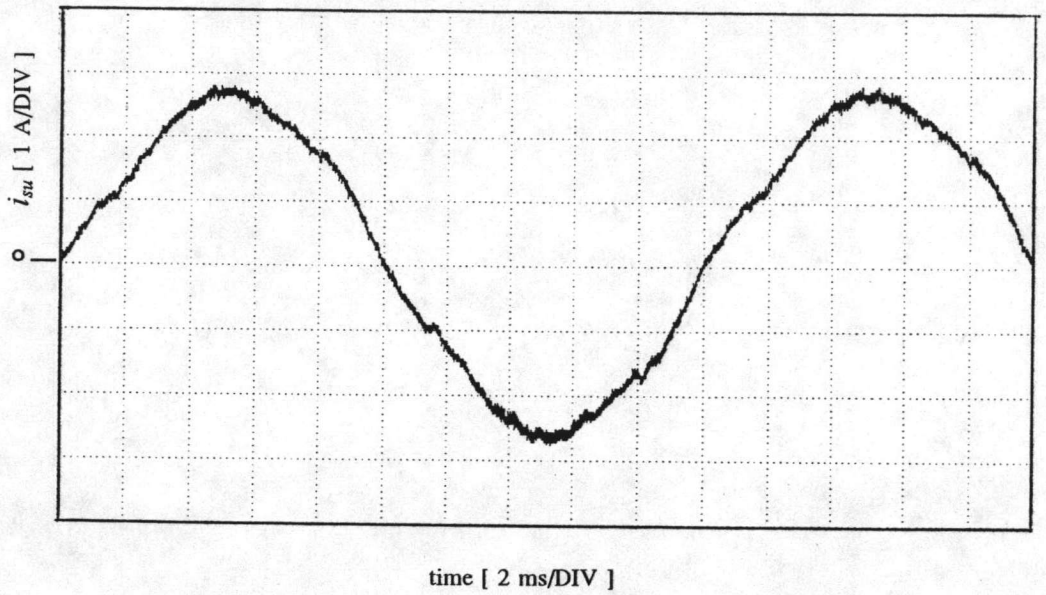
ที่ K= 60 , switching frequency 10 kHz

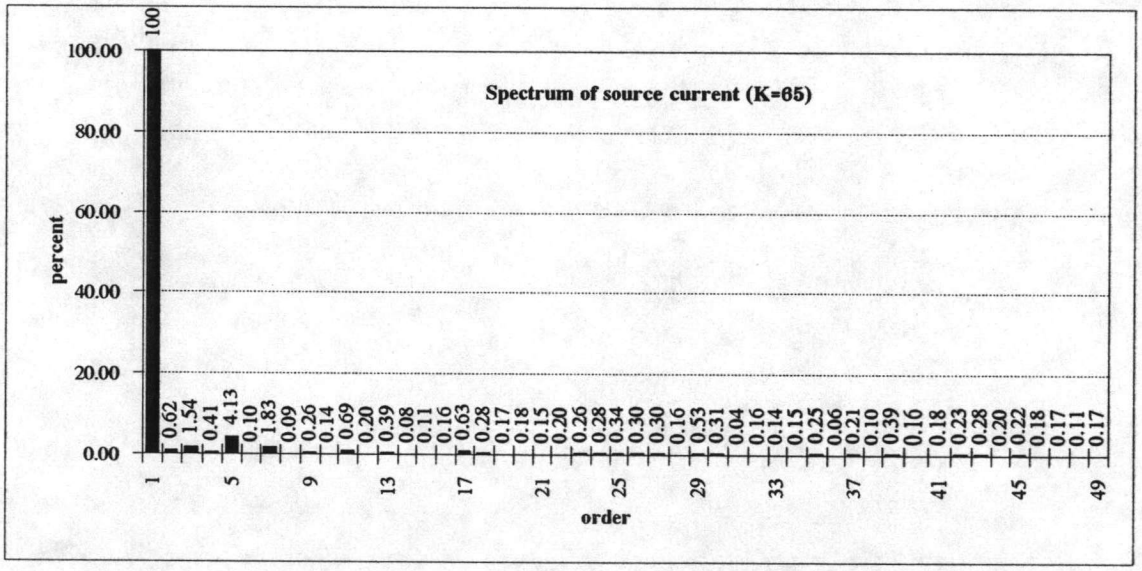




รูปที่ 6.27 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

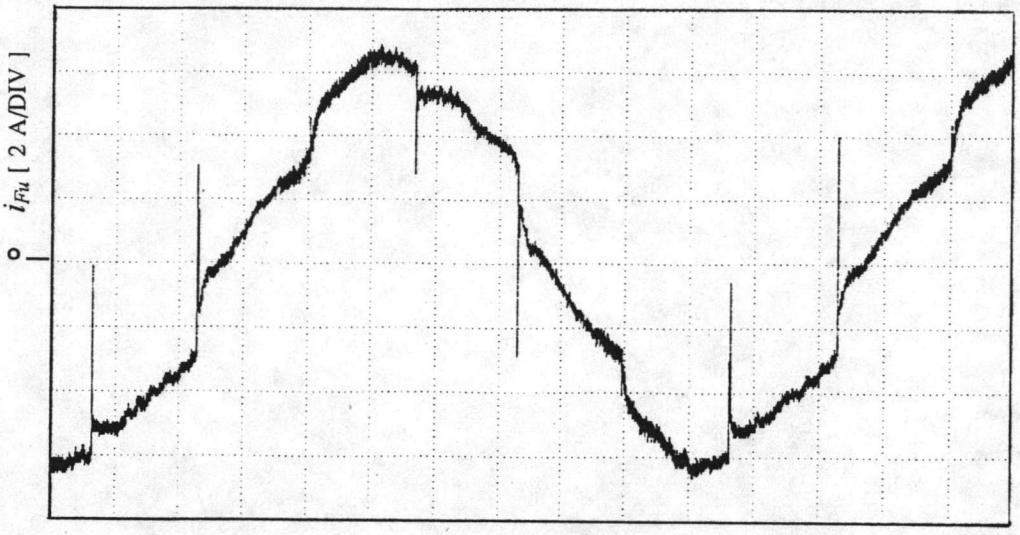
ที่ K= 60 , switching frequency 10 kHz

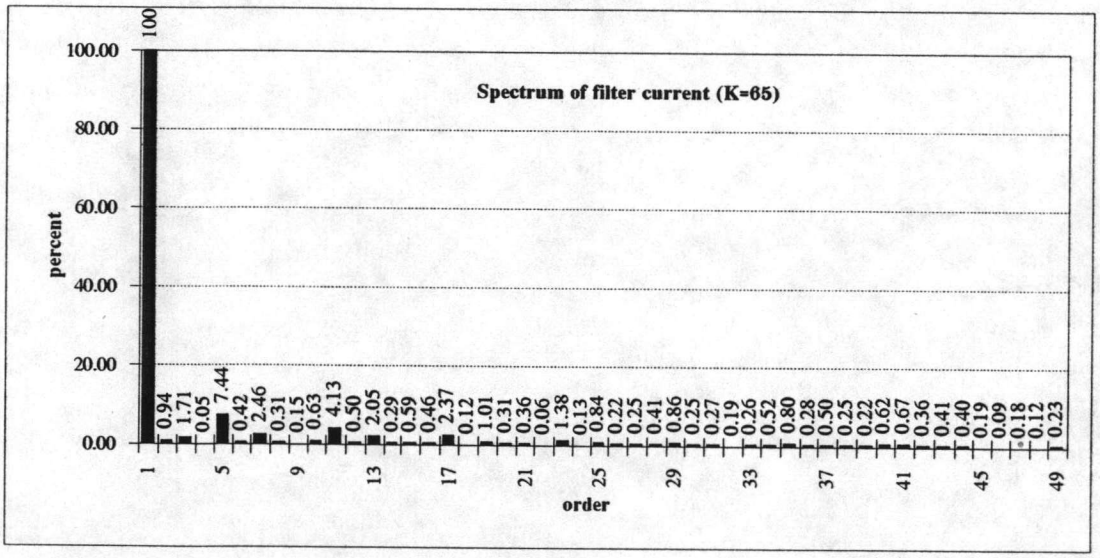




รูปที่ 6.28 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

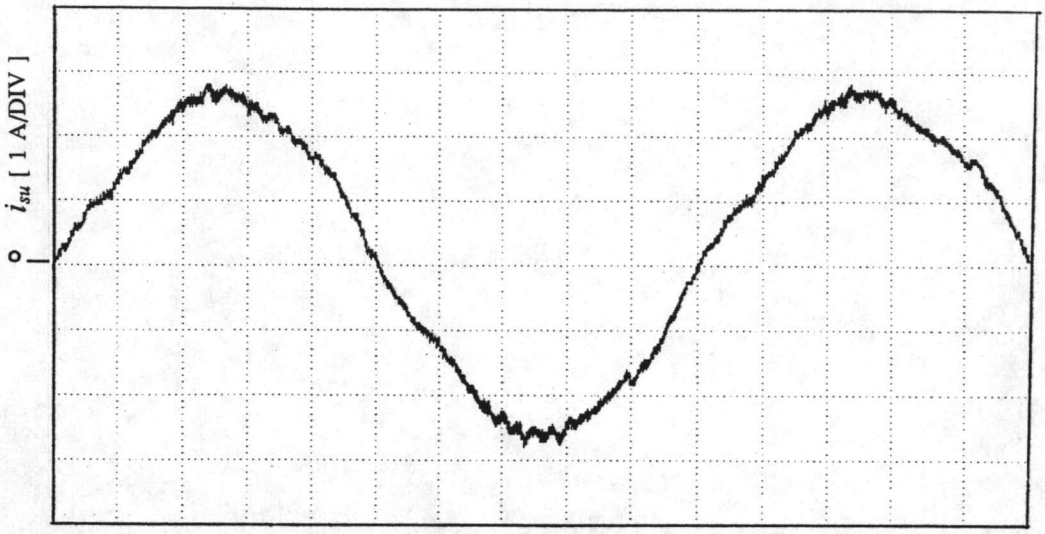
ที่ K= 65 , switching frequency 10 kHz

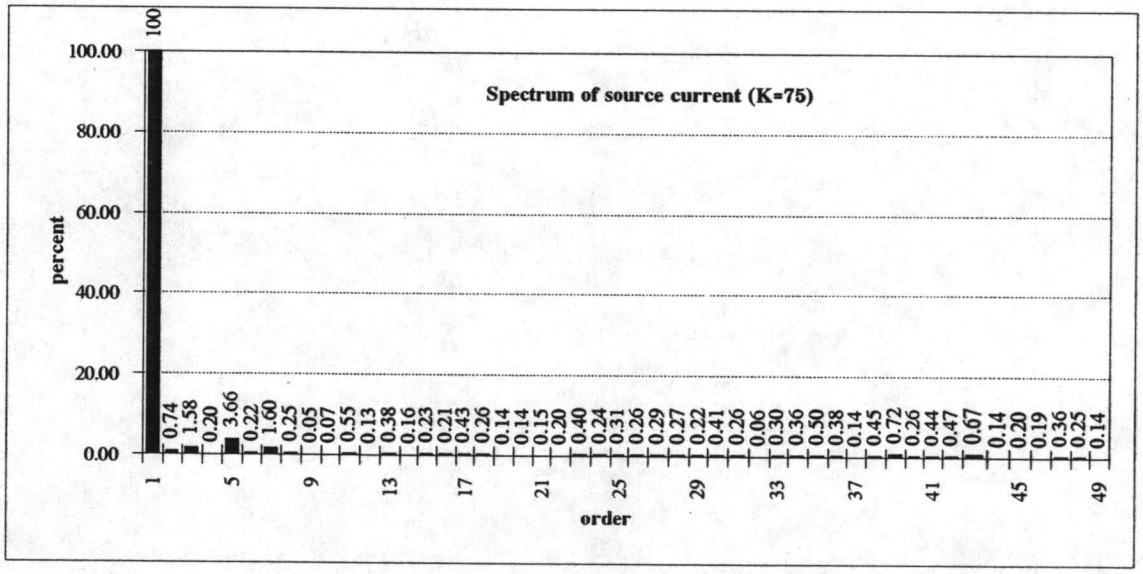




รูปที่ 6.29 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

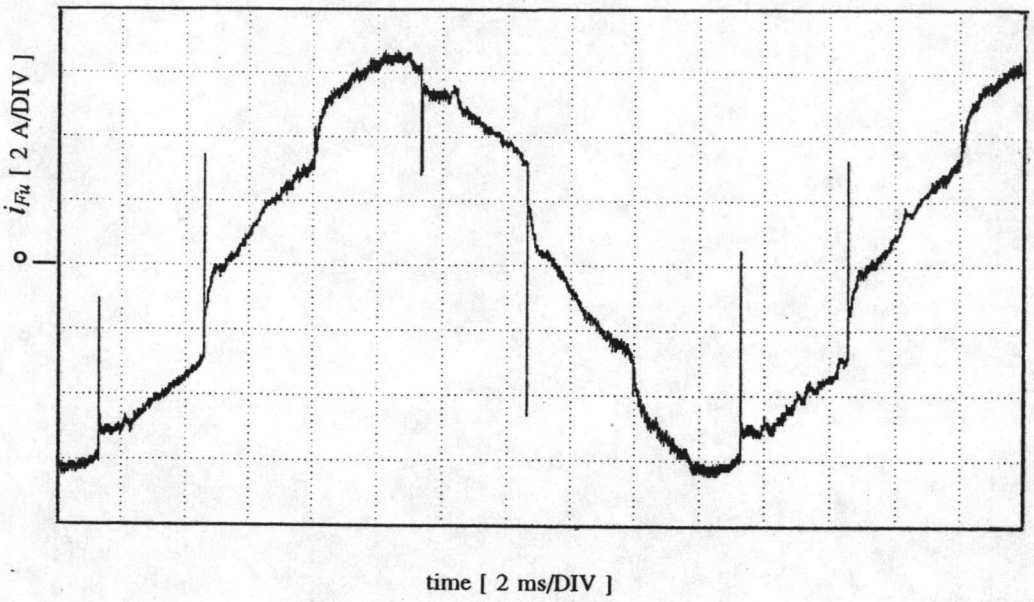
ที่ K= 65 , switching frequency 10 kHz

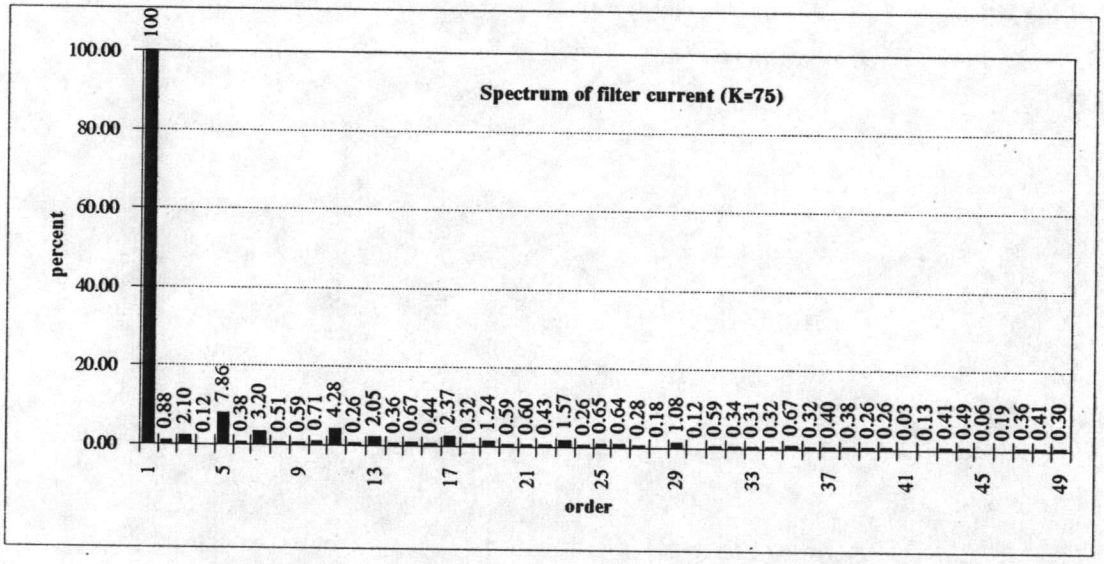




รูปที่ 6.30 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

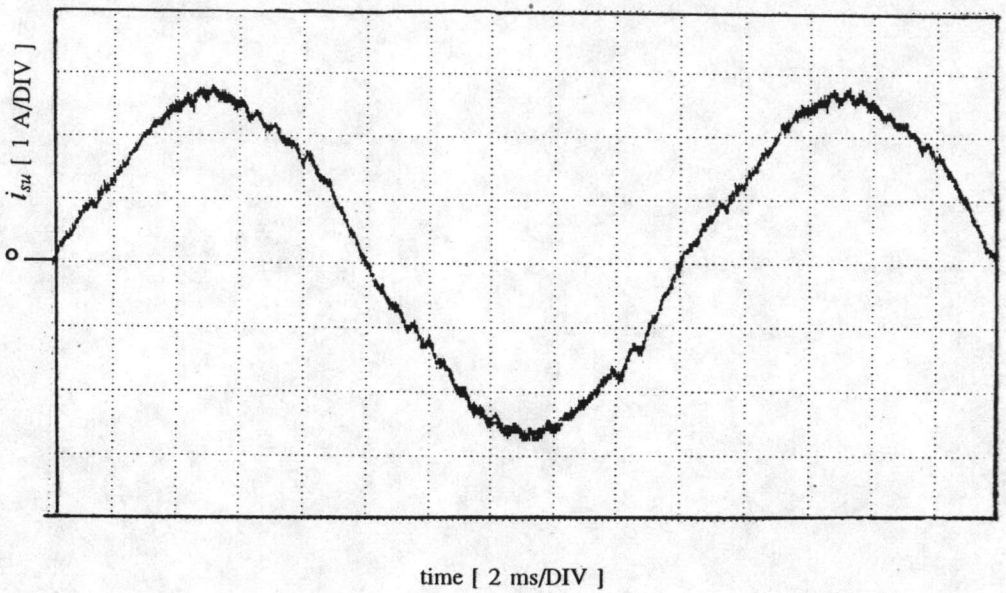
ที่ K= 75 , switching frequency 10 kHz

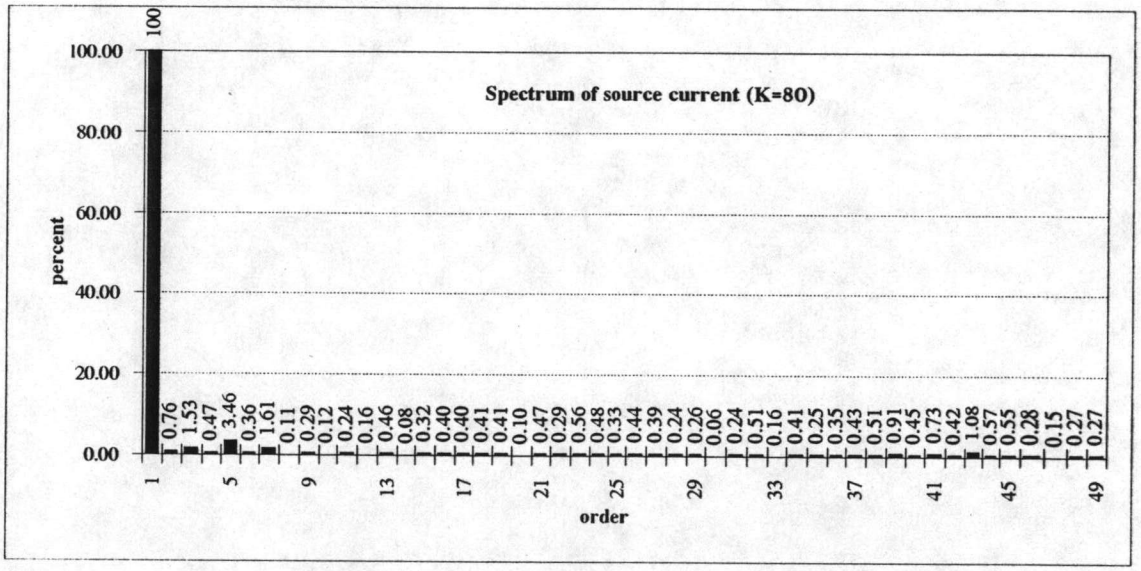




รูปที่ 6.31 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

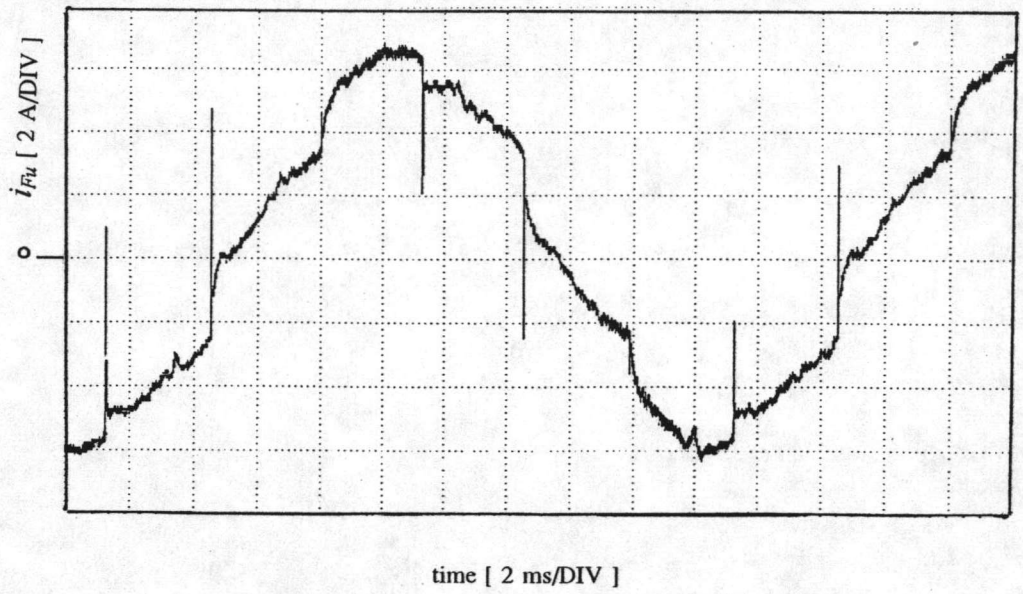
ที่ K= 75 , switching frequency 10 kHz

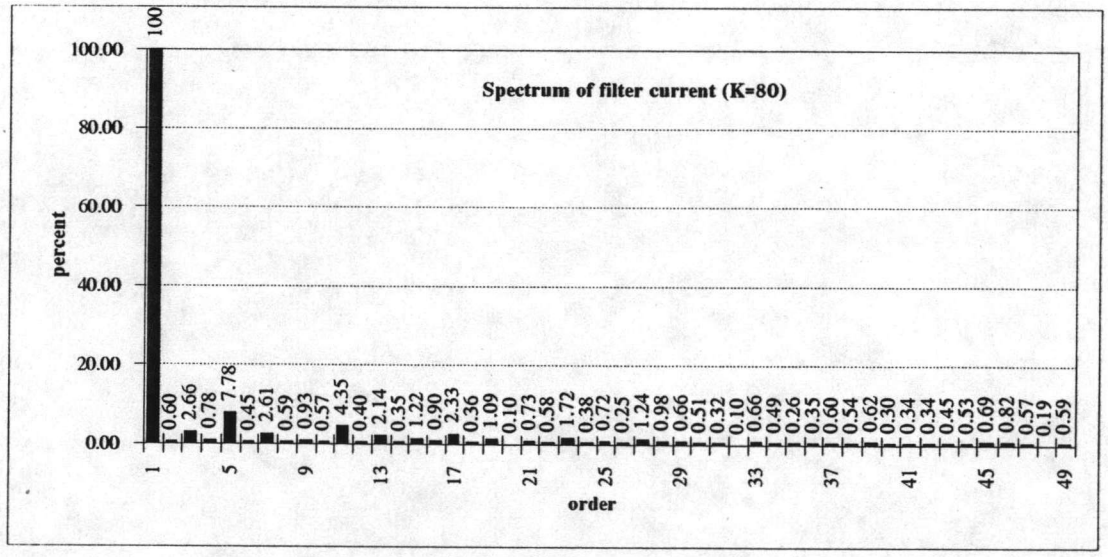




รูปที่ 6.32 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

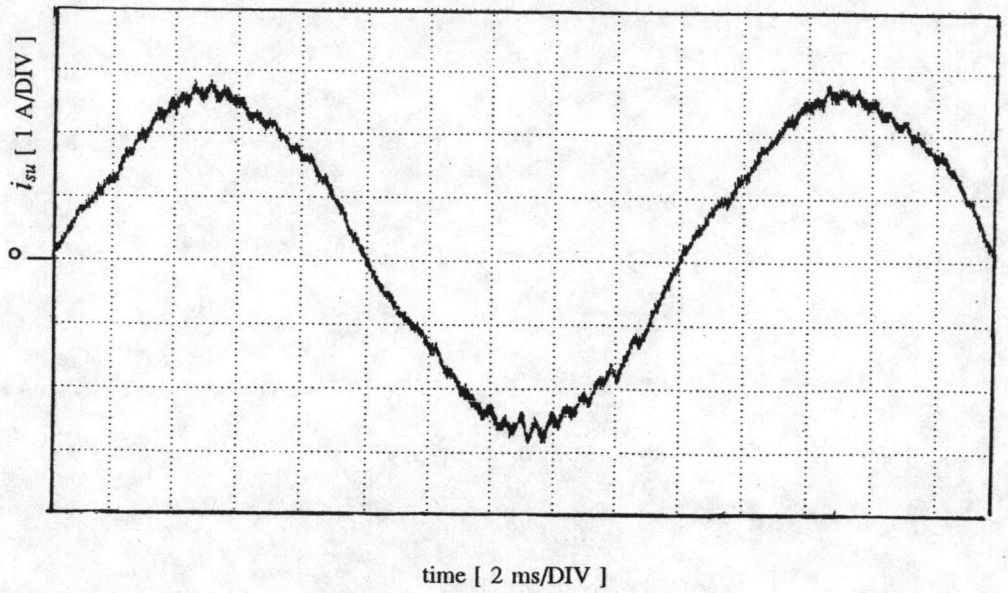
ที่ K= 80 , switching frequency 10 kHz

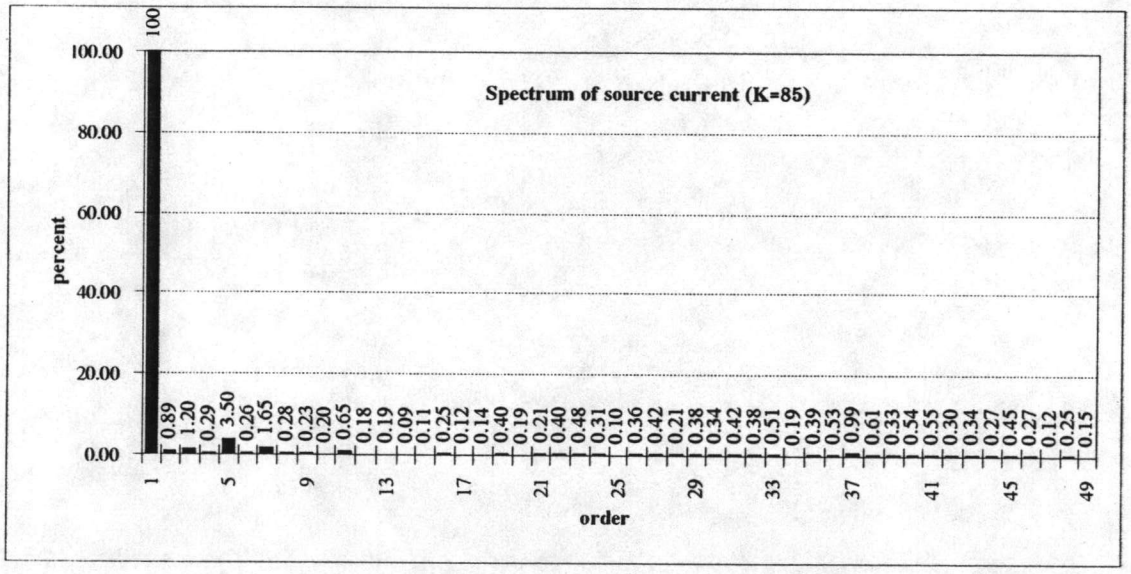




รูปที่ 6.33 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

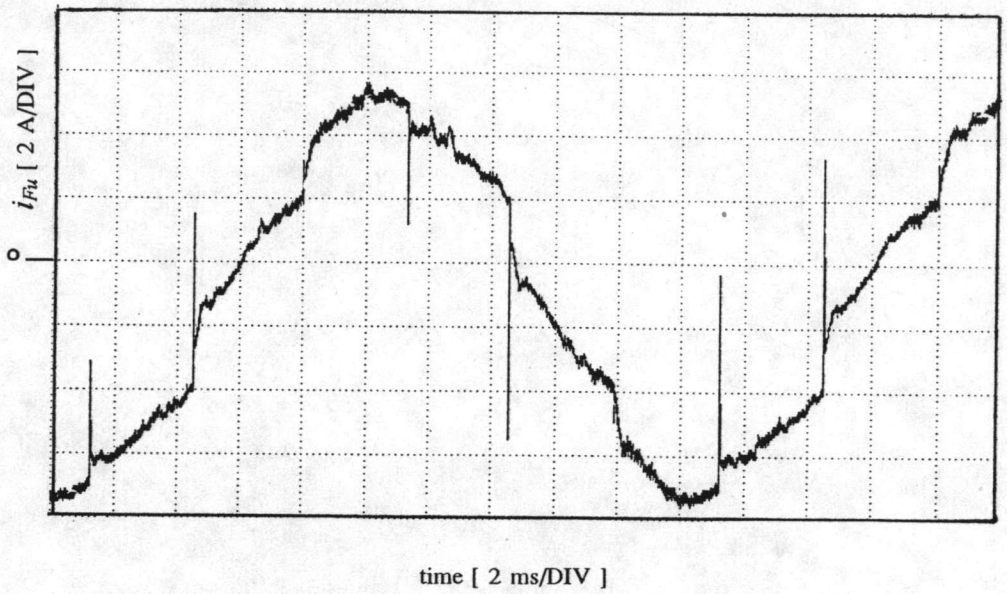
ที่ K= 80 , switching frequency 10 kHz

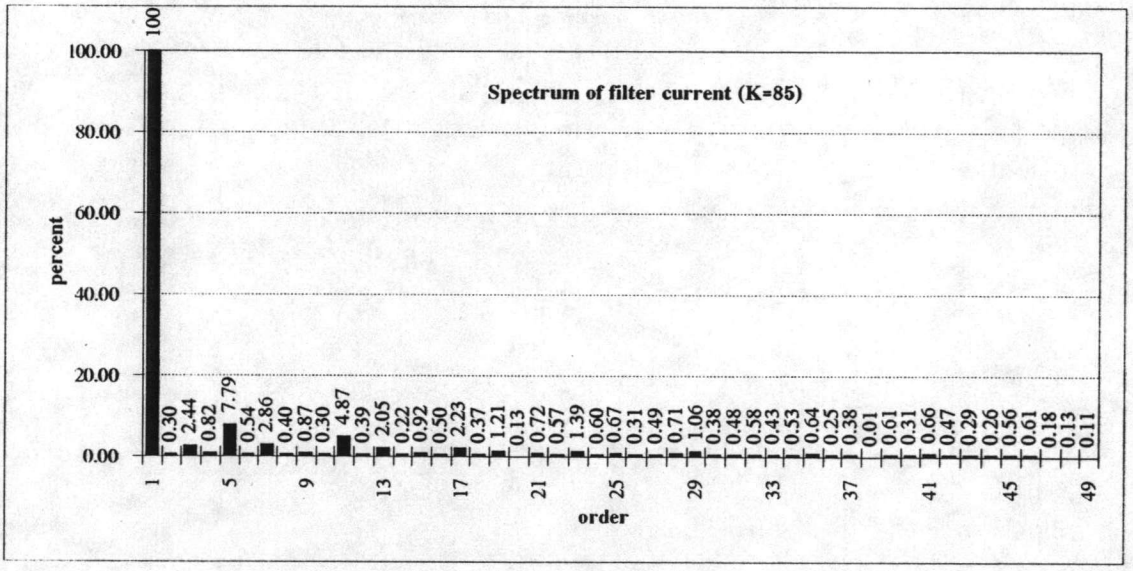




รูปที่ 6.34 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

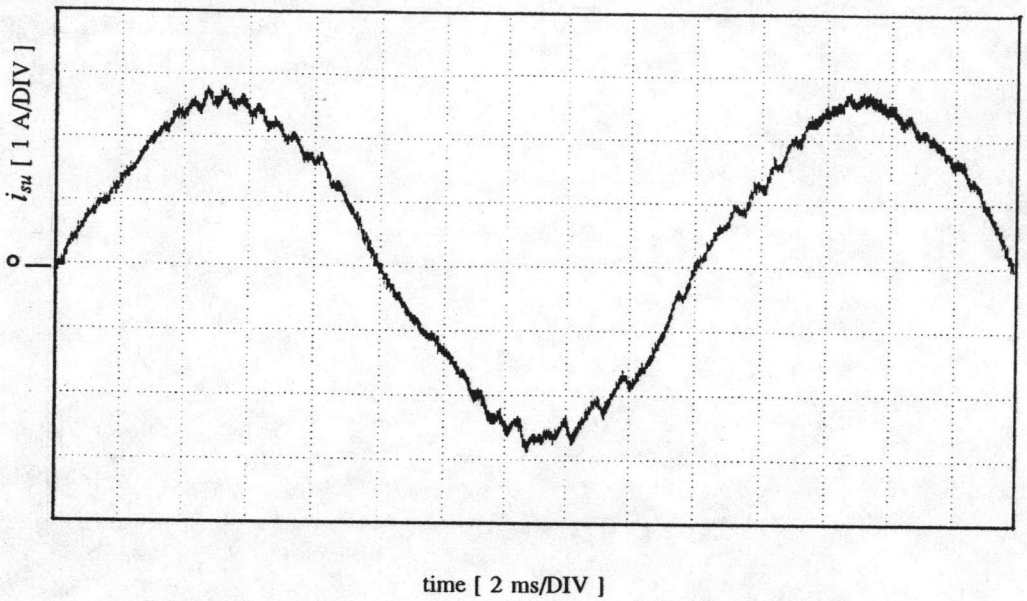
ที่ K= 85 , switching frequency 10 kHz

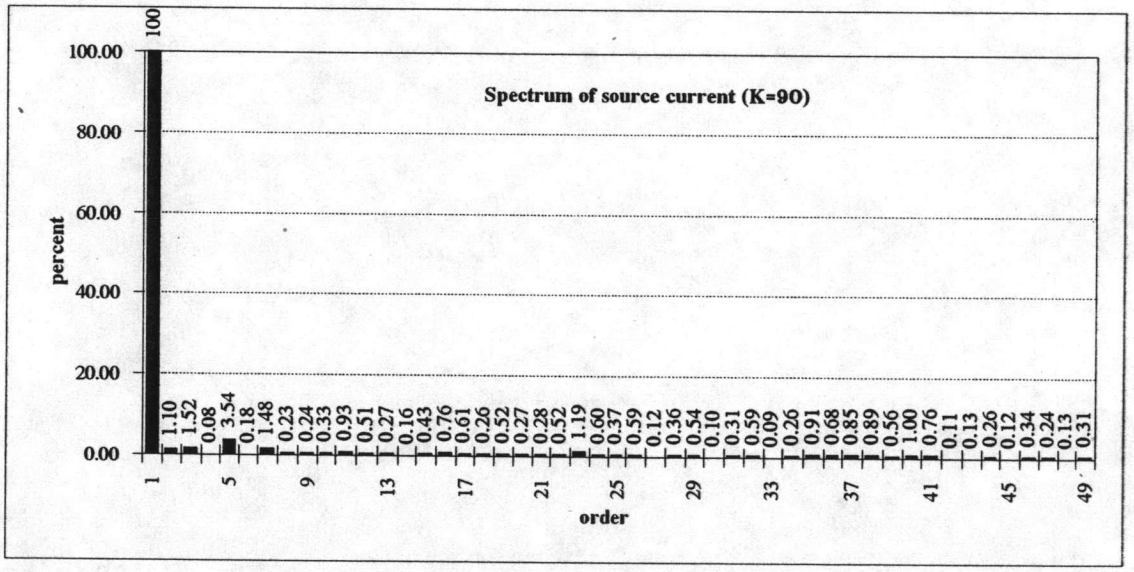




รูปที่ 6.35 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

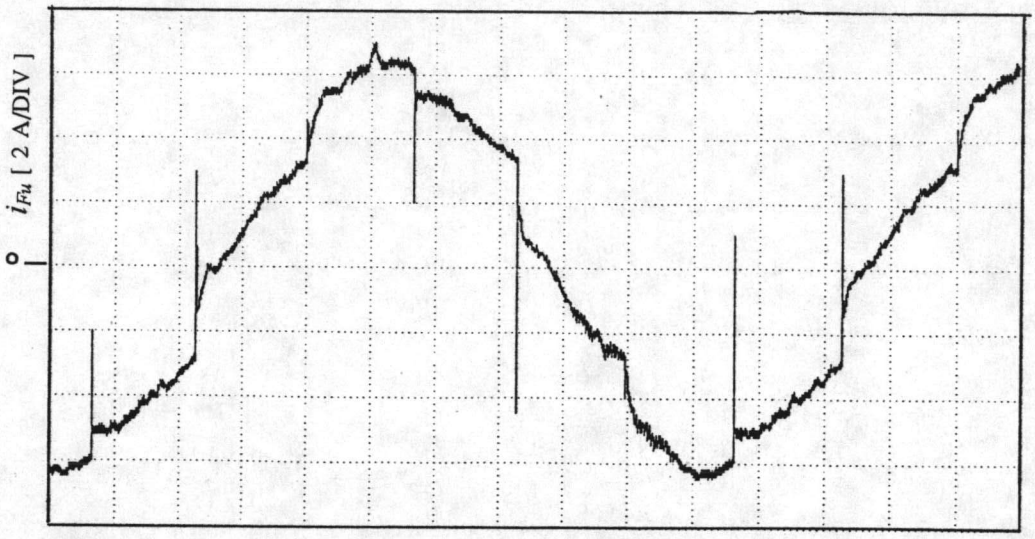
ที่ K= 85 , switching frequency 10 kHz

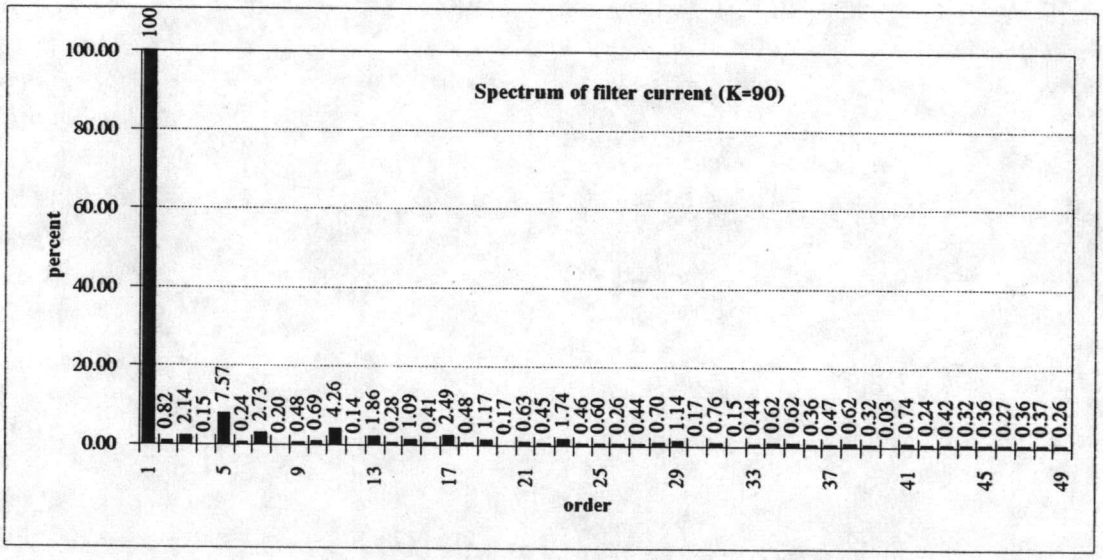




รูปที่ 6.36 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่าย

ที่ K= 90 , switching frequency 10 kHz





รูปที่ 6.37 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟ

ที่ K= 90 , switching frequency 10 kHz

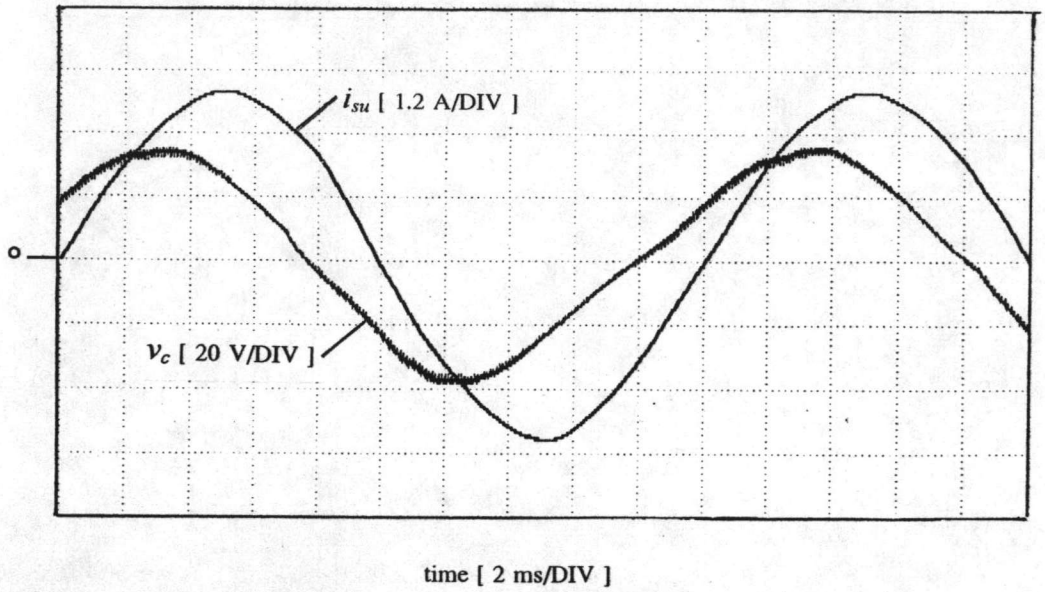
จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการที่เราลดค่าการประวิงเวลาของการคำนวณในไมโครคอนโทรลเลอร์ลง จากเดิม 166.66 μs ให้เหลือ 100 μs ทำให้เราสามารถที่จะเพิ่มค่าอัตราขยาย K ได้มากขึ้นจนได้ค่าตามที่ต้องการคือ K=65 ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราขยาย K กระแสฮาร์มอนิกก็จะถูกผลักดันให้ไหลลงสู่วงจรกรองกำลังพาสซีฟมากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากค่า THD ของกระแสจากแหล่งจ่ายที่มีค่าลดลง และขณะที่อัตราขยาย K=65 ค่า THD ของกระแสจากแหล่งจ่ายมีค่าลดลงเหลือ 5.14% และที่ K=75 ลดลงเหลือ 4.87% แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มค่าอัตราขยาย K มากขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ระบบเกิดการแกว่งของกระแสจากแหล่งจ่ายได้ โดยค่าอัตราขยาย K ที่ทำให้เกิดการแกว่งของกระแสมีค่าสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี (ดูภาคผนวก ง)

ตารางที่ 6.4 ค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์มอนิกและค่าองค์ประกอบความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม ที่ค่าอัตราขยาย K ค่าต่างๆ (switching frequency10 kHz)

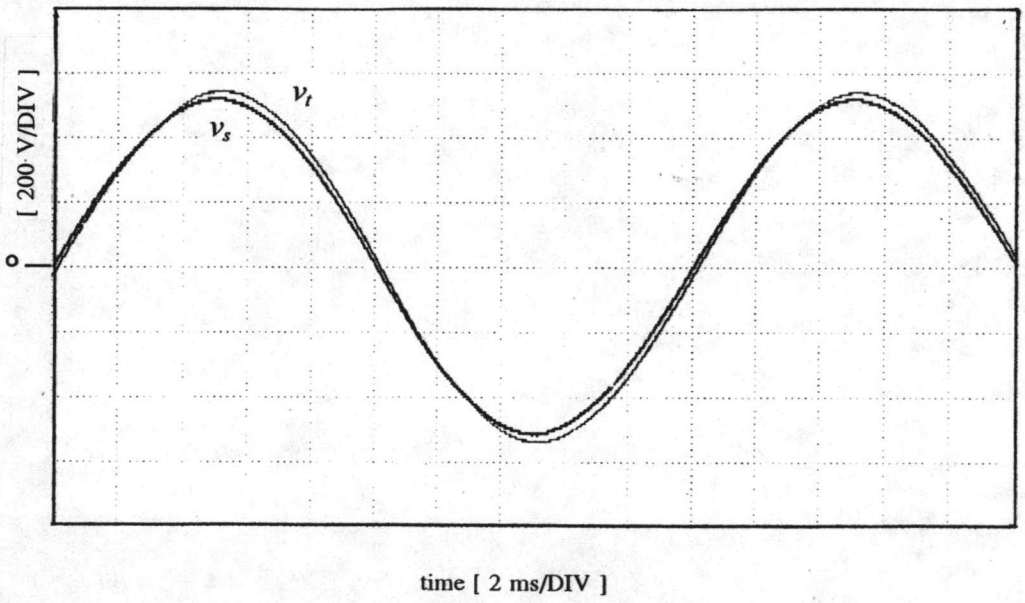
order	Spectrum of current (%)								
	K=0	K=30	K=50	K=60	K=65	K=75	K=80	K=85	K=90
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	9.35	5.92	4.53	4.22	4.13	3.66	3.46	3.5	3.54
7	3.37	2.54	2.12	1.96	1.83	1.60	1.61	1.65	1.48
11	1.50	0.94	0.65	0.46	0.69	0.55	0.24	0.65	0.93
13	0.29	0.46	0.19	0.26	0.39	0.38	0.46	0.19	0.27
THD(%)	10.52	7.04	5.62	5.22	5.14	4.87	4.84	5.05	5.49

<u>ผลการทดสอบการสร้างแรงดันเพื่อรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่</u>

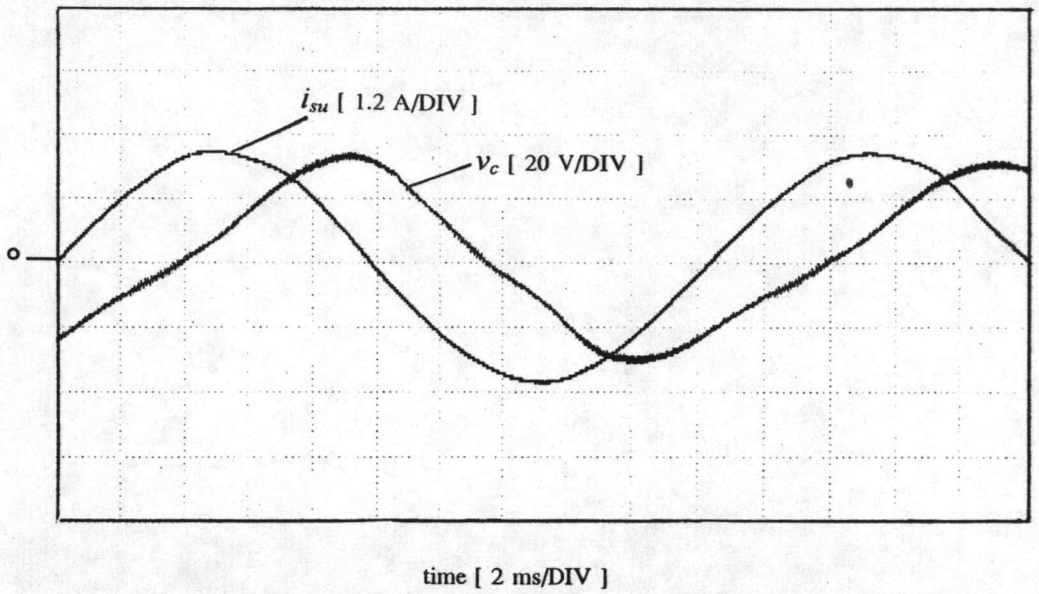
จากทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เราได้ทำการสอบระบบโดยให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟทำหน้าที่ในการรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่แต่เพียงอย่างเดียว (ยังไม่รวมการทำหน้าที่ในการลดกระแสฮาร์มอนิกเข้าไป) ในการทดสอบเราจะทำการลดค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายลงเหลือค่าแรงดันระหว่างสายประมาณ 360 V และให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟทำหน้าที่ชดเชยแรงดันตกคร่อมโหลดให้ได้ค่าที่ต้องการคือค่าแรงดันระหว่างสาย 380 V สำหรับโหลดที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้เราจะใช้โหลดที่มีลักษณะที่เป็น (1) โหลดแบบตัวเก็บประจุและ (2) โหลดที่เป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ (กระแสมีรูปคลื่นเป็นไซน์) ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังในรูปที่ 6.38 - 6.41 และเมื่อทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆของระบบจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 6.5 และ ตารางที่ 6.6 ตามลำดับ



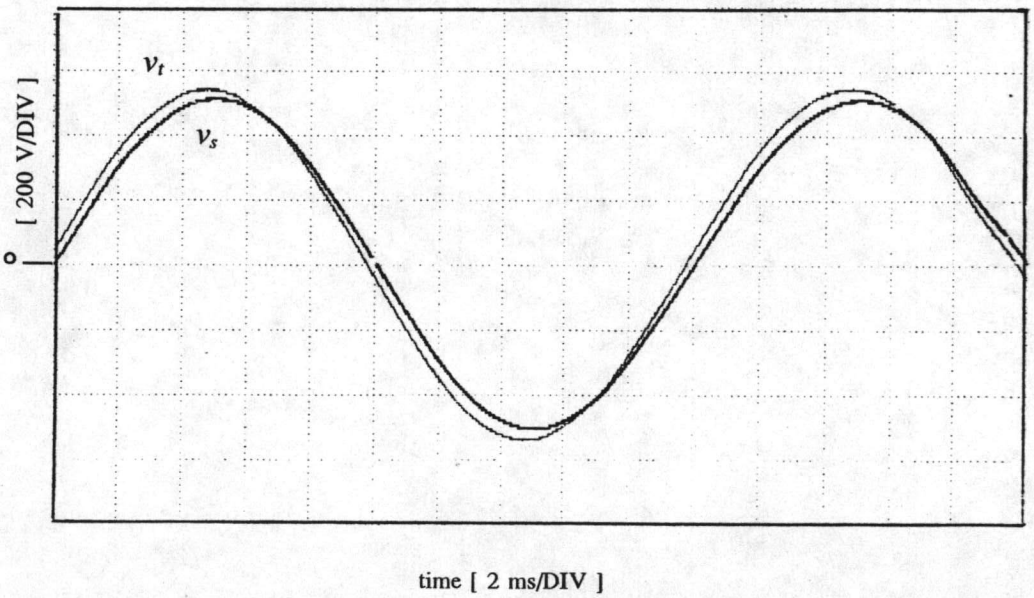
รูปที่ 6.38 สัญญาณกระแสจากแหล่งจ่าย (i_s) และแรงดันชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ (v_c) ในกรณีโหลดเป็นแบบตัวเก็บประจุ (กระแสมีรูปคลื่นเป็นไซน์)



รูปที่ 6.39 สัญญาณแรงดันระหว่างสายจากแหล่งจ่าย (v_s) และแรงดันระหว่างสายตกคร่อมโหลด (v_t) ในกรณีโหลดเป็นแบบตัวเก็บประจุ (กระแสมีรูปคลื่นเป็นไซน์)



รูปที่ 6.40 สัญญาณกระแสจากแหล่งจ่าย (i_s) และแรงดันชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ (v_c) ในกรณีโหลดเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ (กระแสมีรูปคลื่นเป็นไซน์)



รูปที่ 6.41 สัญญาณแรงดันระหว่างสายจากแหล่งจ่าย (v_s) และแรงดันระหว่างสายตกคร่อมโหลด (v_t) ในกรณีโหลดเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ (กระแสมีรูปคลื่นเป็นไซน์)

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าระบบสามารถที่จะรักษาค่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่ตามต้องการคือแรงดันระหว่างสาย 380 V ไม่ว่าลักษณะของโหลดที่ต่ออยู่กับระบบจะเป็นแบบตัวเก็บประจุ หรือ ตัวเหนี่ยวนำ และจะเห็นได้ว่าในกรณีที่โหลดมีลักษณะเป็นแบบตัวเก็บประจุ วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมจะสร้างแรงดันที่ล้าหลังกระแสทำให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟประพฤติตัวเสมือนตัวเหนี่ยวนำ และ ในกรณีที่โหลดมีลักษณะเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมจะสร้างแรงดันที่นำหน้ากระแสและประพฤติตัวเสมือนเป็นตัวเก็บประจุ นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบกำลัง ของระบบเมื่อมองจากแหล่งจ่ายจะมีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงขึ้นกว่าที่มองที่โหลดโดยตรง นั้นคือวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถปรับมุมค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้ดีขึ้นด้วย

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบระบบรักษาระดับแรงดันเมื่อโหลดมีลักษณะเป็นแบบตัวเก็บประจุ

ตัวแปรระบบ	ค่า r.m.s.	มุมเฟส (องศา)
i_s [A]	2.3	0
แรงดันเฟส v_s [V]	209.6	-84.6
แรงดันเฟส v_t [V]	219.4	-87.8
แรงดันเฟส v_c [V]	12.0	39.4

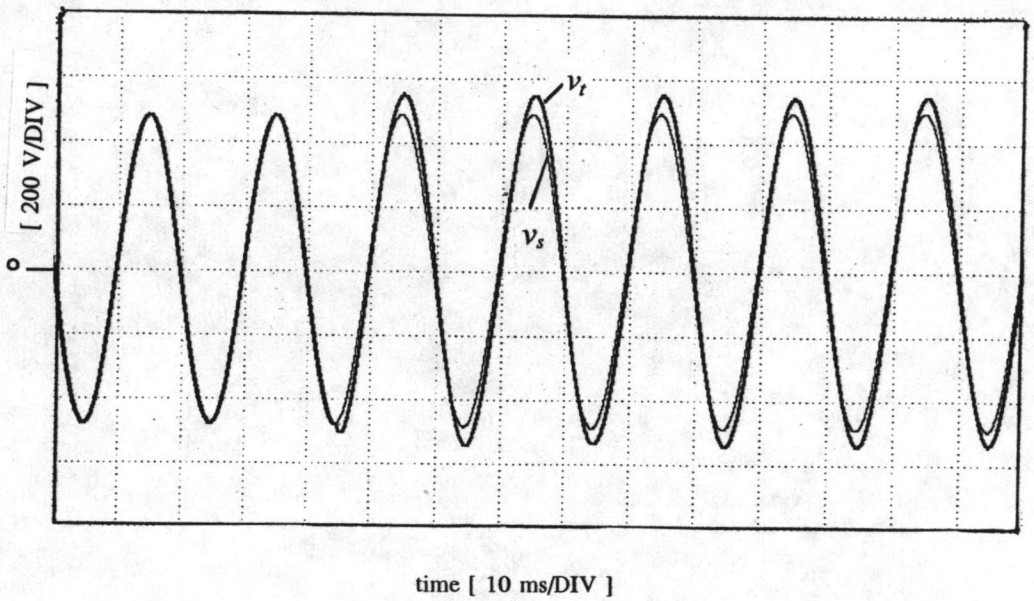
ค่าตัวประกอบกำลัง	
มองจากแหล่งจ่าย	มองที่โหลด
0.09 (Lead)	0.04 (Lead)

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบระบบรักษาระดับแรงดันเมื่อโหลดมีลักษณะเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำ

ตัวแปรระบบ	ค่า r.m.s.	มุมเฟส (องศา)
i_s [A]	1.5	0
แรงดันเฟส v_s [V]	207.3	68.9
แรงดันเฟส v_t [V]	220.0	73.4
แรงดันเฟส v_c [V]	20.4	-66.3

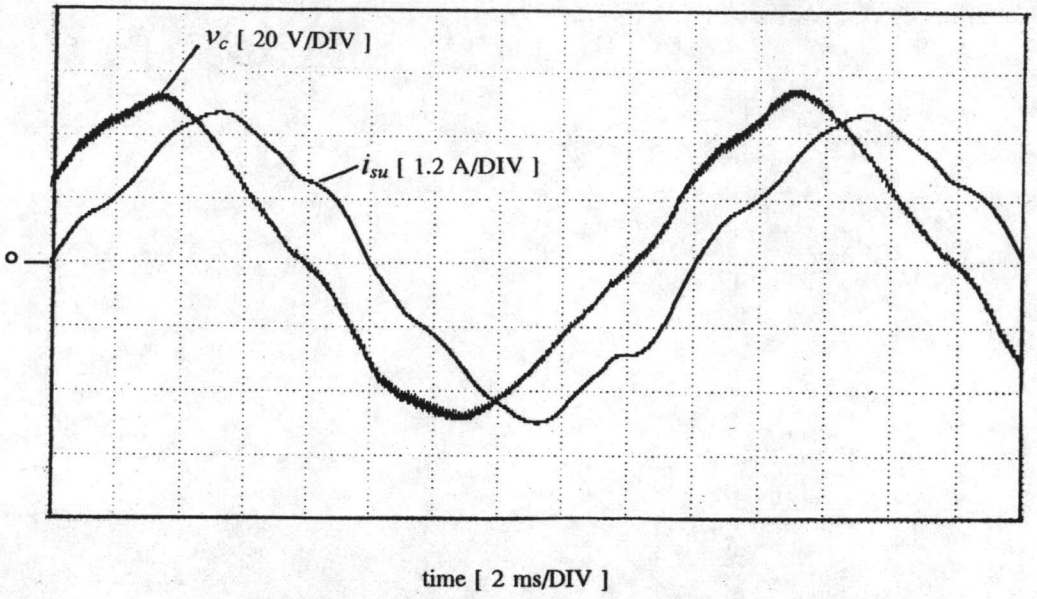
ค่าตัวประกอบกำลัง	
มองจากแหล่งจ่าย	มองที่โหลด
0.36 (Lag)	0.26 (Lag)

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบเชิงพลวัตโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างช่วงที่ระบบไม่มีการชดเชยแรงดันและในช่วงที่มีการชดเชยแรงดัน ในการทดสอบนี้ได้ทำการลดค่าแรงดันระหว่างสายจากแหล่งจ่ายลงเหลือ 345 V ผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 6.42 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถสร้างแรงดันชดเชยเพื่อรักษาให้ค่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าคงที่ตามที่ต้องการคือ แรงดันระหว่างสาย 380 V และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่าระบบมีผลตอบสนองพลวัตที่ดี

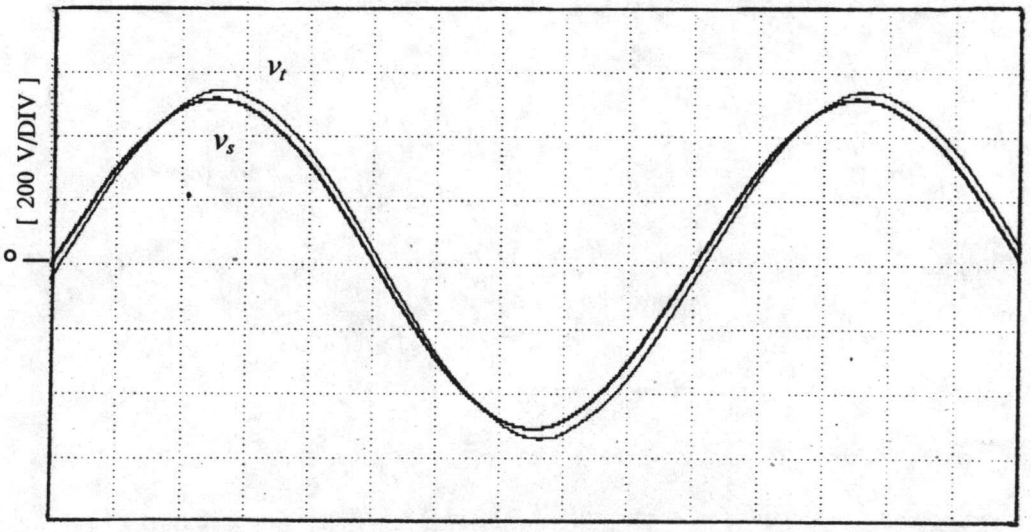


รูปที่ 6.42 การเปรียบเทียบระหว่างช่วงที่ไม่มีการชดเชยแรงดันและในช่วงที่มีการชดเชยแรงดัน

หลังจากทำการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดในกรณีที่โหลดมีกระแสที่เป็นรูปคลื่นไซน์เรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการทดลองโดยเปลี่ยนลักษณะของโหลด โดยนำมาทดสอบกับโหลดที่มีกระแสฮาร์มอนิกปนอยู่ด้วย เพื่อทดสอบว่าระบบจะยังคงรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดในกรณีที่กระแสมีฮาร์มอนิกปนอยู่ด้วยได้หรือไม่ ในการทดสอบนี้จะใช้โหลดที่เป็นวงจรควบคุมเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเหมือนเดิม ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 6.43 และ 6.44 และเมื่อทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆของระบบจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 6.7 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบยังคงสามารถที่จะรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่ได้แม้ว่ากระแสจากแหล่งจ่ายจะมีฮาร์มอนิกปนอยู่ด้วย



รูปที่ 6.43 สัญญาณกระแสจากแหล่งจ่าย (i_s) และแรงดันชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ (v_c) ในกรณีที่โหลดมีลักษณะเป็นแบบที่มีฮาร์มอนิกปนอยู่



รูปที่ 6.44 สัญญาณแรงดันระหว่างสายจากแหล่งจ่าย (v_s) และแรงดันระหว่างสายตกคร่อมโหลด (v_t) ในกรณีที่โหลดมีลักษณะเป็นแบบที่มีฮาร์มอนิกปนอยู่

ตารางที่ 6.7 ผลการทดสอบระบบรักษาระดับแรงดันเมื่อโหลดมีลักษณะเป็นแบบที่มีฮาร์มอนิกปนอยู่

ตัวแปรระบบ	ค่า r.m.s.	มุมเฟส (องศา)
i_s [A]	1.9	0
แรงดันเฟส v_s [V]	208.4	-63.1
แรงดันเฟส v_t [V]	218.8	-67.7
แรงดันเฟส v_c [V]	16.5	40.3

ค่าตัวประกอบกำลัง	
มองจากแหล่งจ่าย	มองที่โหลด
0.45 (Lead)	0.38 (Lead)

<u>ผลการทดสอบการสร้างแรงดันเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกและรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลด</u>

หลังจากทำการทดสอบระบบแยกในแต่ละส่วนเรียบร้อยแล้ว จึงนำส่วนของการลดกระแสฮาร์มอนิกและส่วนของการรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดทั้งสองส่วนมารวมกัน แล้วทำการทดสอบการทำงานของระบบใหม่ โดยจะทำการทดสอบกับโหลดที่มีลักษณะเป็นโหลดแบบวงจรควบคุมเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเหมือนเดิม และค่าระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายมีค่าตกลง 25 โวลต์ (ระดับแรงดันระหว่างสาย 355 โวลต์) ซึ่งผลการทดสอบรูปคลื่นของกระแสด้านแหล่งจ่ายและกระแสที่ไหลผ่านวงจรกรองกำลังพาสซีฟ รวมทั้งค่าสเปกตรัมของสัญญาณทั้งสองแสดงได้ตามรูปที่ 6.45 ถึงรูปที่ 6.60 ค่าองค์ประกอบกระแสที่ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5, 7, 11,13 และค่า THD ของกระแสด้านแหล่งจ่าย ที่ค่าอัตราขยาย K ค่าต่างๆ มีค่าสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 6.8

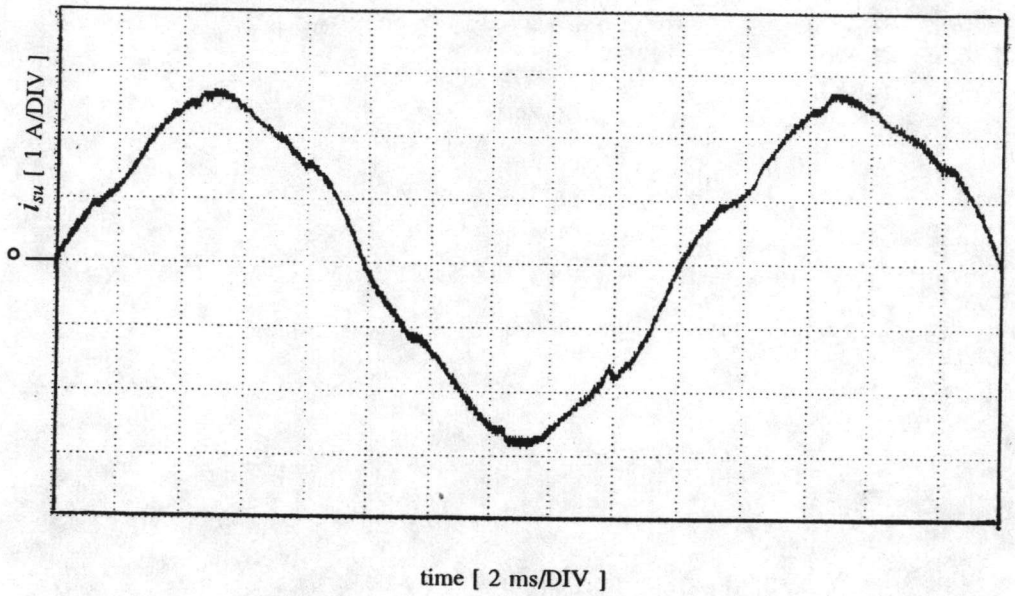
การทดสอบแสดงให้เห็นว่าหลังจากได้ที่ทำการรวมส่วนของการลดกระแสฮาร์มอนิกและส่วนที่ทำหน้าที่ในการรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดเข้าด้วยกันแล้ว ระบบสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้องเหมือนกับตอนที่แยกทดสอบแต่ละส่วน โดยจะเห็นได้ว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมนี้สามารถที่จะผลักดันให้กระแสฮาร์มอนิกไหลลงสู่วงจรกรองกำลังพาสซีฟได้มากขึ้นเหมือนกับการทดลอบที่ผ่านมา และจะได้ว่าค่า THD ของกระแสจากแหล่งจ่ายจะมีค่าลดลงเหลือเพียง 4.80% ที่ค่าอัตราขยาย K=65 และมีค่า 4.86% ที่ K=75 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (IEEE std 519-1992) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 5% นอกจากนี้แล้วยังเห็นได้ว่าในขณะที่วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมทำหน้าที่ในการลดกระแสฮาร์มอนิกอยู่นั้น วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบ

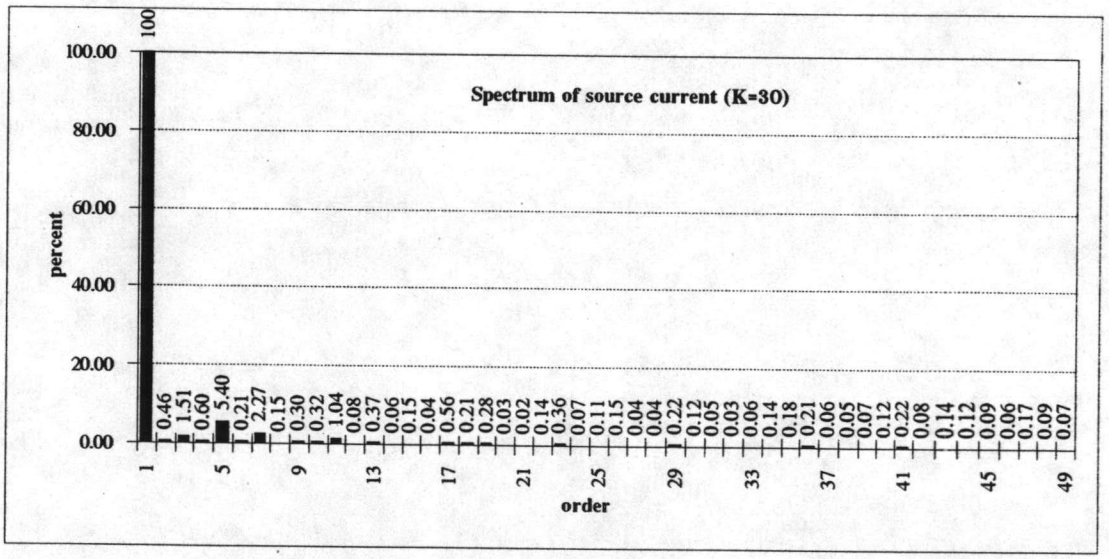
อนุกรมยังสามารถที่จะทำหน้าที่ในการชดเชยค่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่ได้ไปพร้อมๆกัน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราขยาย K ค่า THD ของกระแสด้านแหล่งจ่ายก็จะมีค่าลดลงเหมือนกับกรณีที่ใช้ระบบสำหรับลดกระแสฮาร์มอนิกเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราขยาย K มากขึ้นก็จะทำให้ค่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าตกลงเล็กน้อย โดยจะเห็นได้จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 6.8 ทั้งนี้เป็นเพราะในการแยกส่วนองค์ประกอบความถี่หลักมูลและองค์ประกอบความถี่ฮาร์มอนิกออกจากกันนั้น ระบบไม่สามารถที่จะกรองแยกองค์ประกอบทั้งสองส่วนออกจากกันโดยเด็ดขาด เนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของวงจรกรองที่สร้างโดยซอฟต์แวร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำให้ยังคงมีองค์ประกอบความถี่หลักมูลปนอยู่ในส่วนขององค์ประกอบความถี่ฮาร์มอนิกเล็กน้อย แต่เมื่อถูกคูณด้วยอัตราขยาย K ที่มีค่าสูง ผลของส่วนที่ปนอยู่เล็กน้อยนี้ก็จะปรากฏขึ้นมาเป็นแรงดันซึ่งจะไปหักล้างกับแรงดันชดเชยส่วนที่สร้างเพื่อรักษาระดับแรงดัน ซึ่งมีความถี่เป็นความถี่หลักมูลเช่นเดียวกัน ทำให้ค่าระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าตกลง แต่สำหรับค่าอัตราขยาย K=65 หรือ K =75 ที่ถือว่าเหมาะสมในการลดกระแสฮาร์มอนิกนั้น ระดับแรงดันยังคงมีค่าตามที่ต้องการหรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

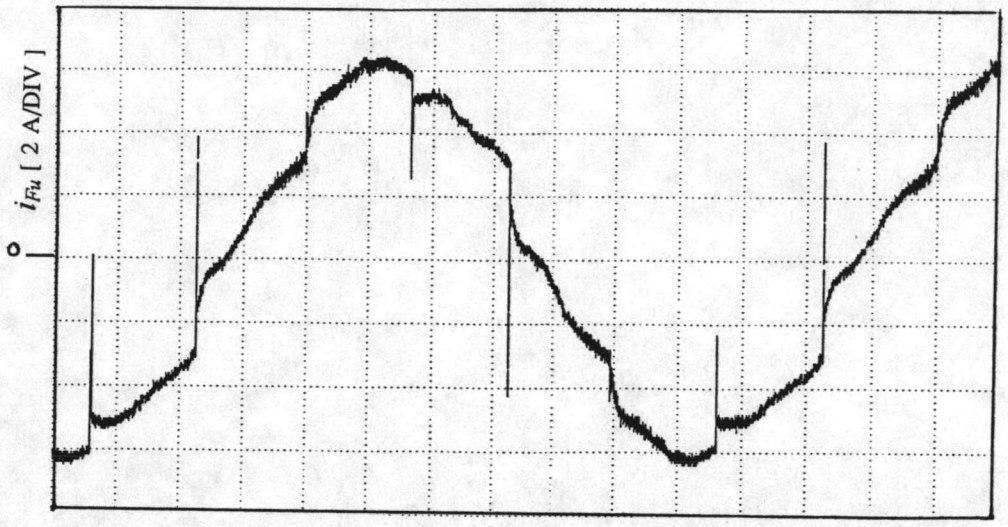
ตารางที่ 6.8 ค่าองค์ประกอบกระแสฮาร์มอนิก ค่าองค์ประกอบความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม และค่าแรงดันตกคร่อมโหลด เมื่อใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟลดกระแสฮาร์มอนิกและ รักษาระดับแรงดัน

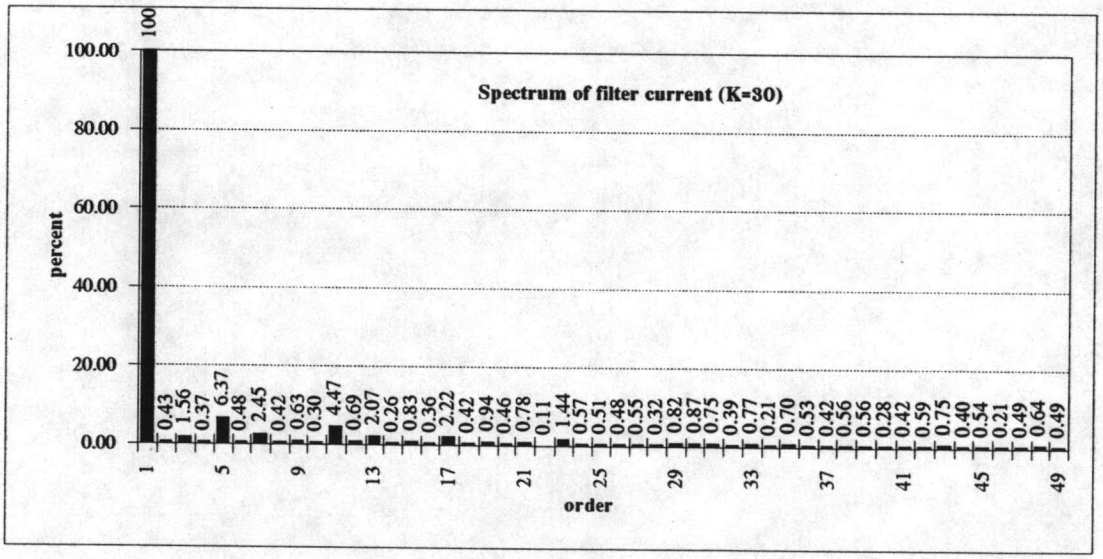
order	Spectrum of current (%)							
	K=30	K=50	K=60	K=65	K=75	K=80	K=85	K=90
1	100	100	100	100	100	100	100	100
5	5.40	4.24	3.86	3.85	3.50	3.29	4.10	8.17
7	2.27	1.84	1.82	1.47	1.54	1.66	1.87	2.76
11	1.04	0.84	0.69	0.61	0.44	0.39	0.19	4.35
13	0.37	0.22	0.24	0.01	0.24	0.23	0.91	1.80
THD(%)	6.31	5.37	4.88	4.80	4.86	5.34	5.77	11.46
v_t [V]	381	380	380	380	379	379	378	378



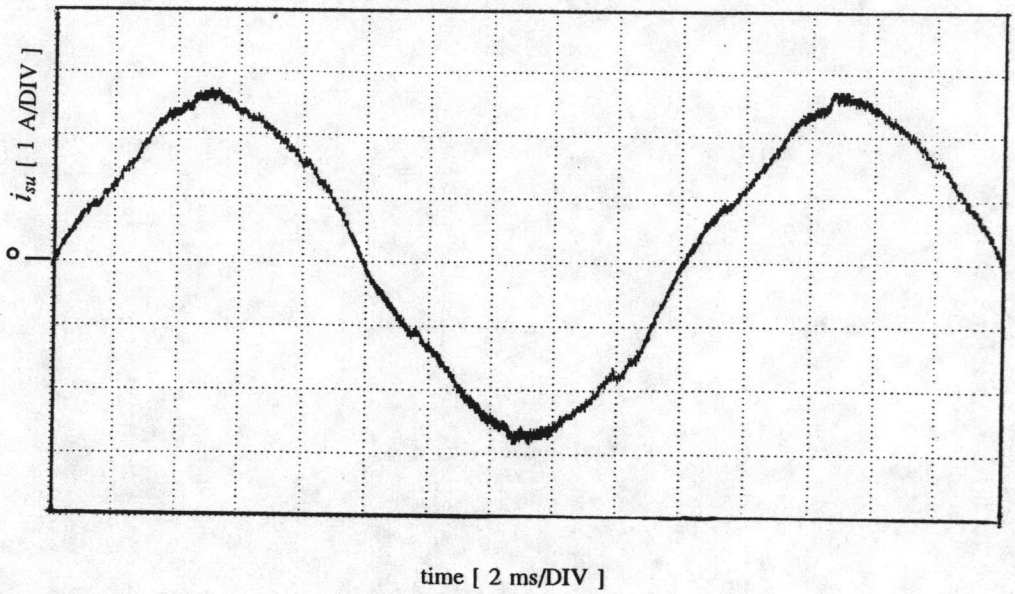


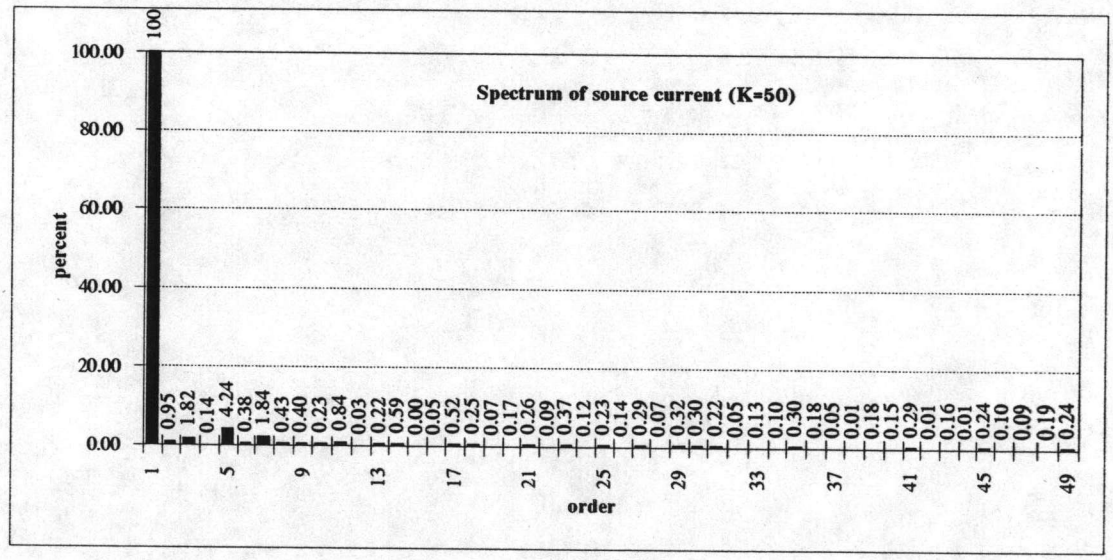
รูปที่ 6.45 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 30



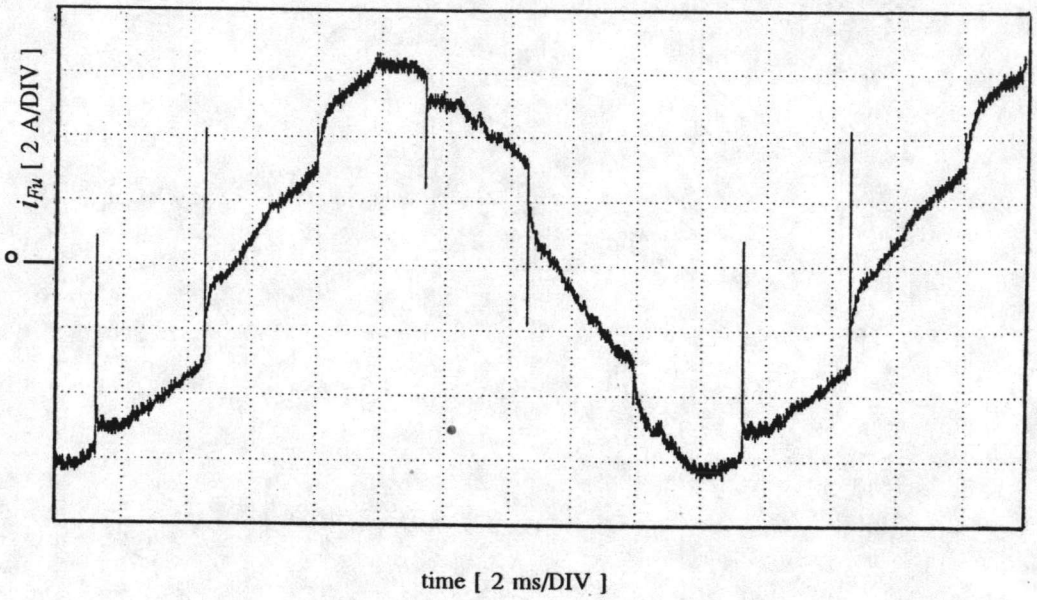


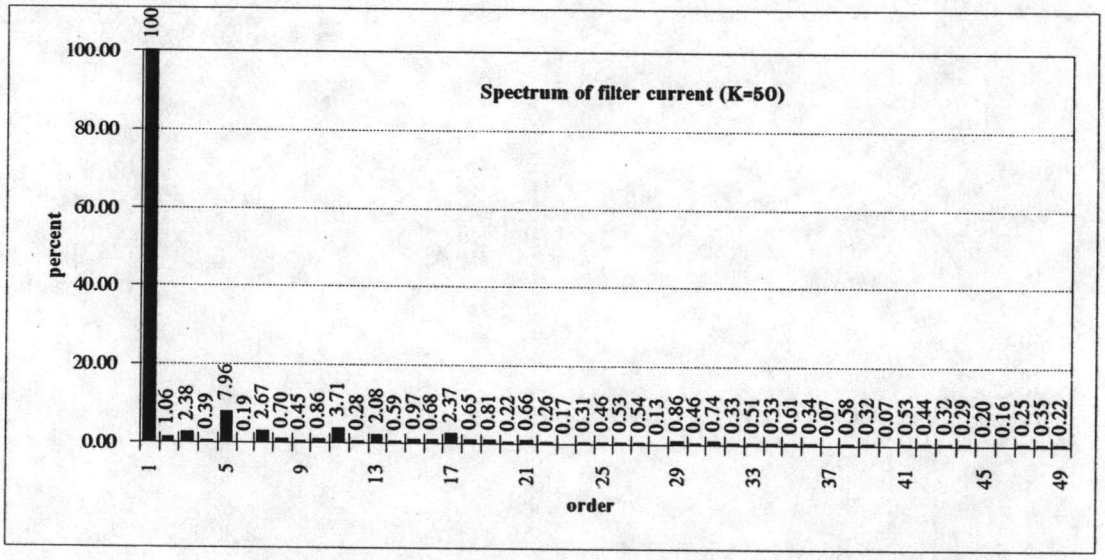
รูปที่ 6.46 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 30



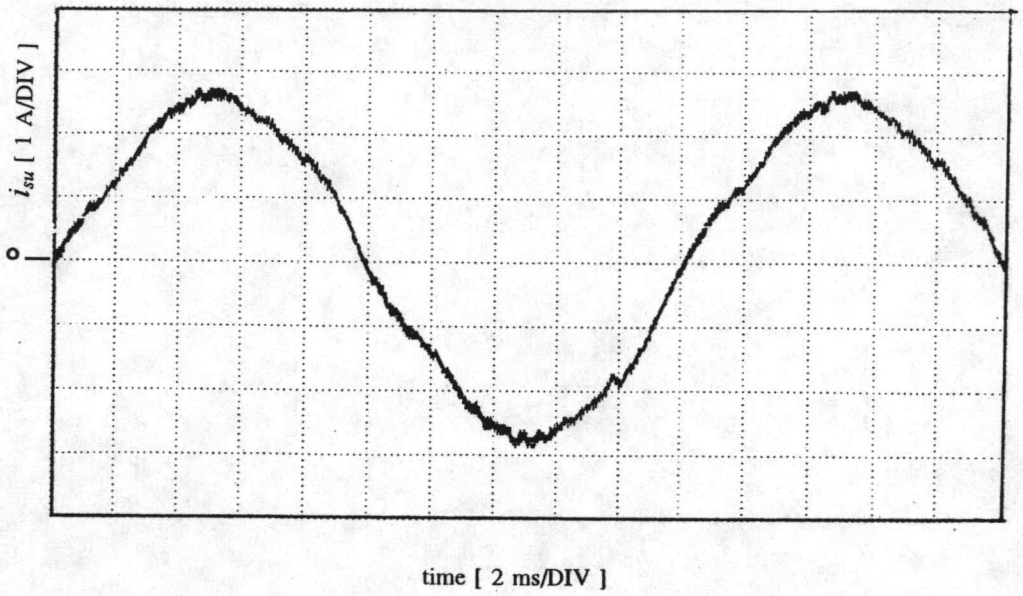


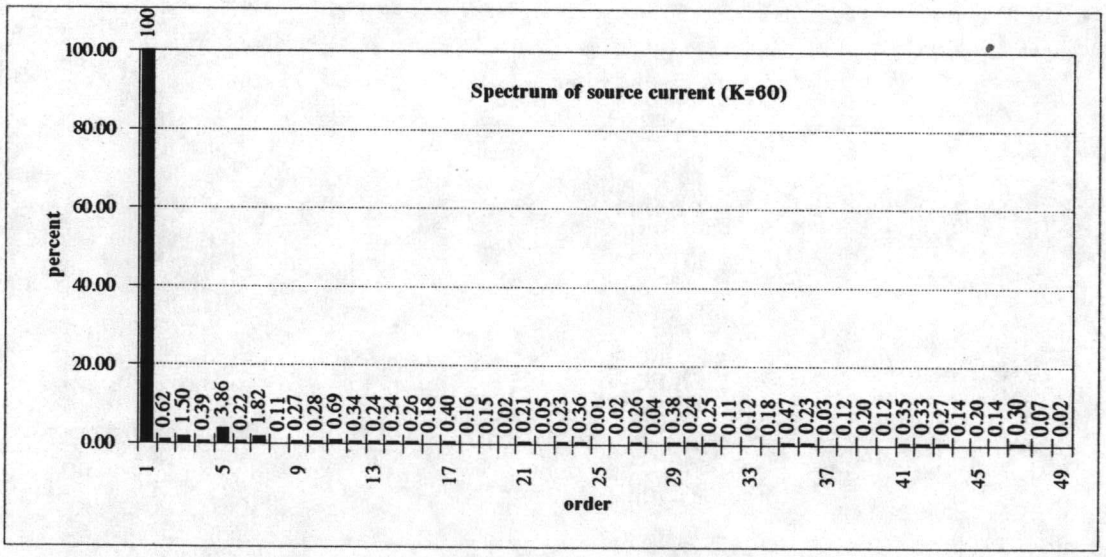
รูปที่ 6.47 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 50



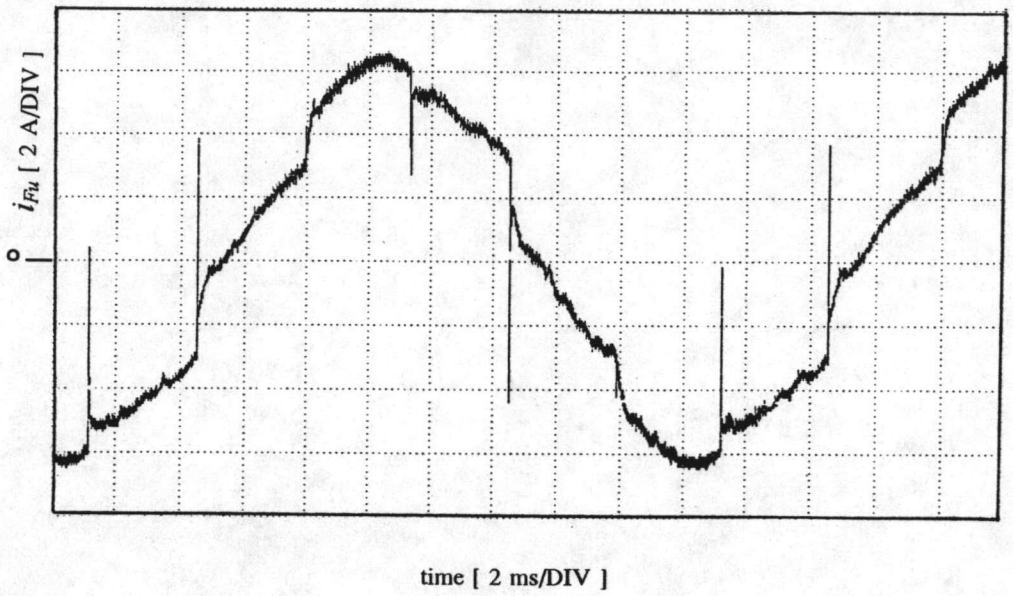


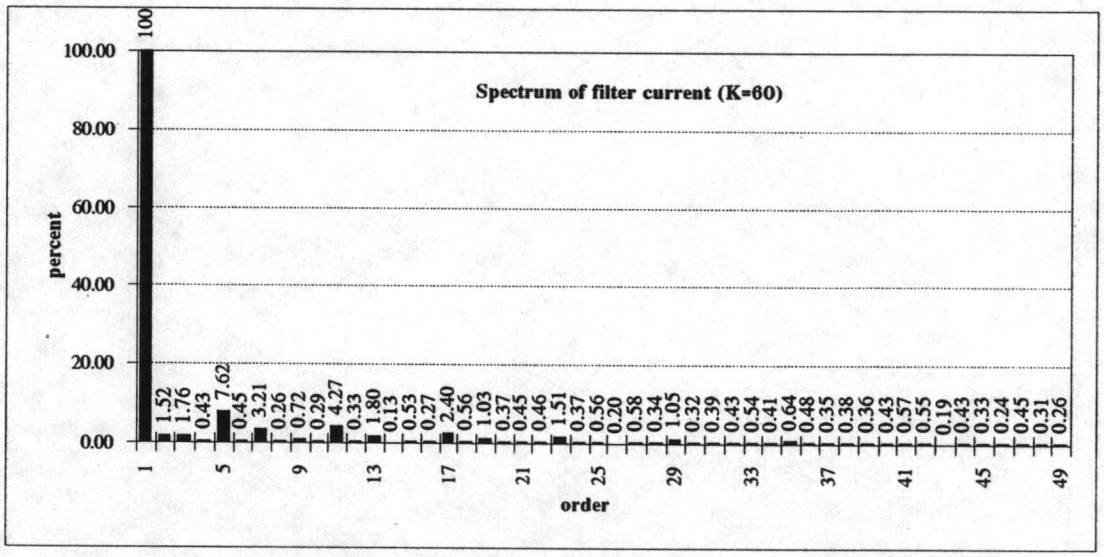
รูปที่ 6.48 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 50



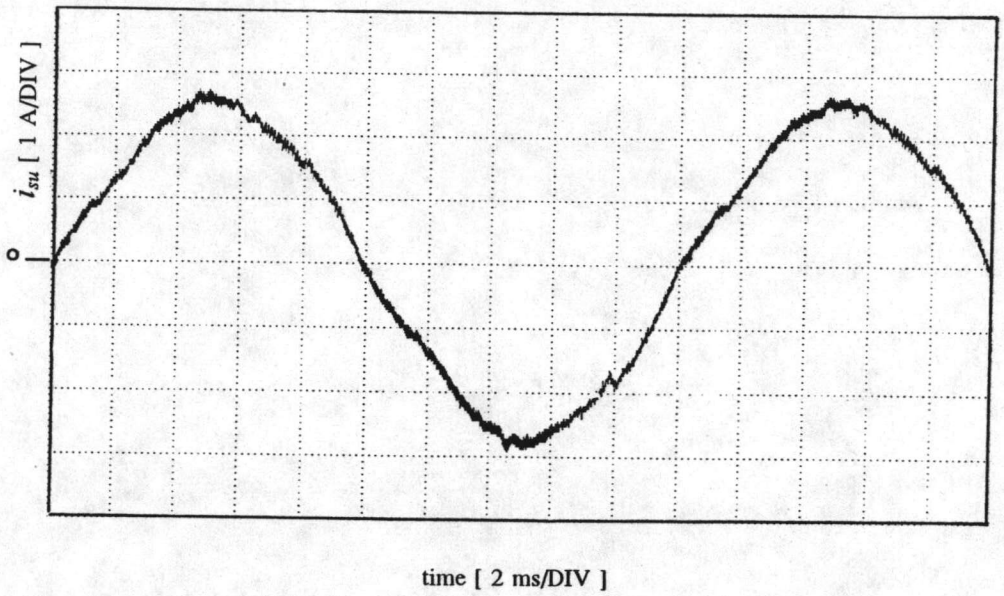


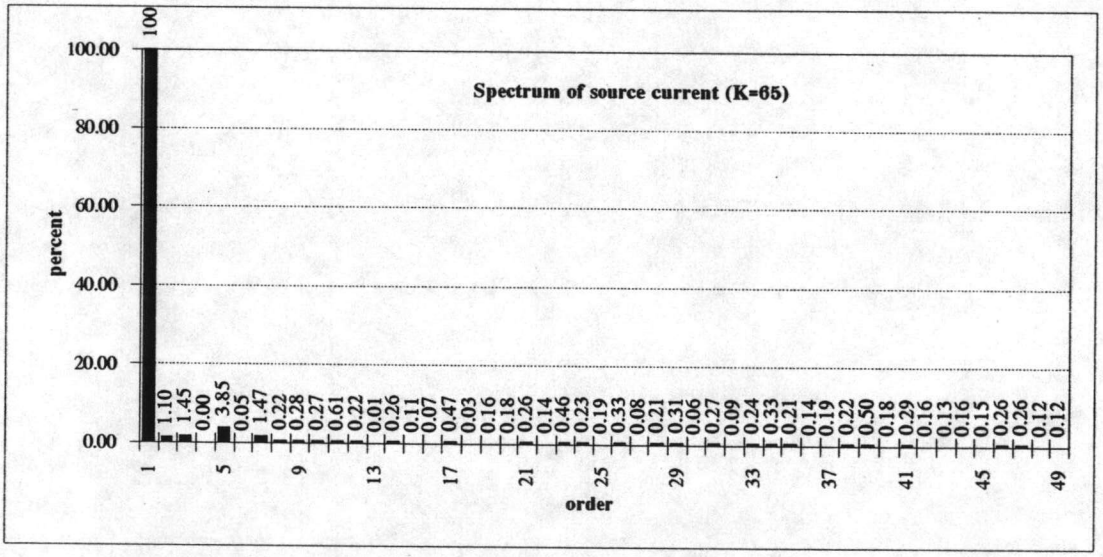
รูปที่ 6.49 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ
ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 60



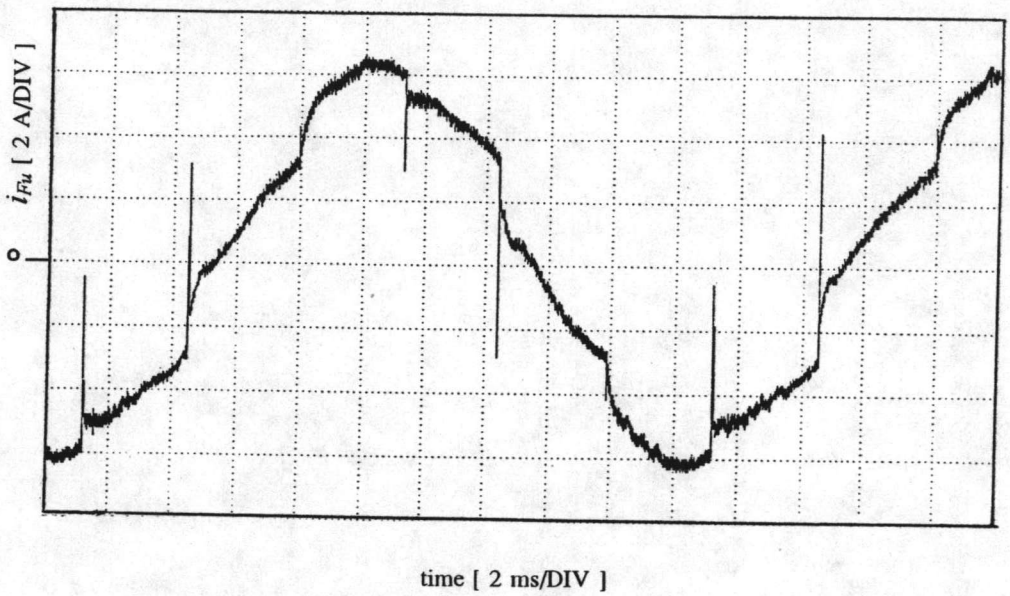


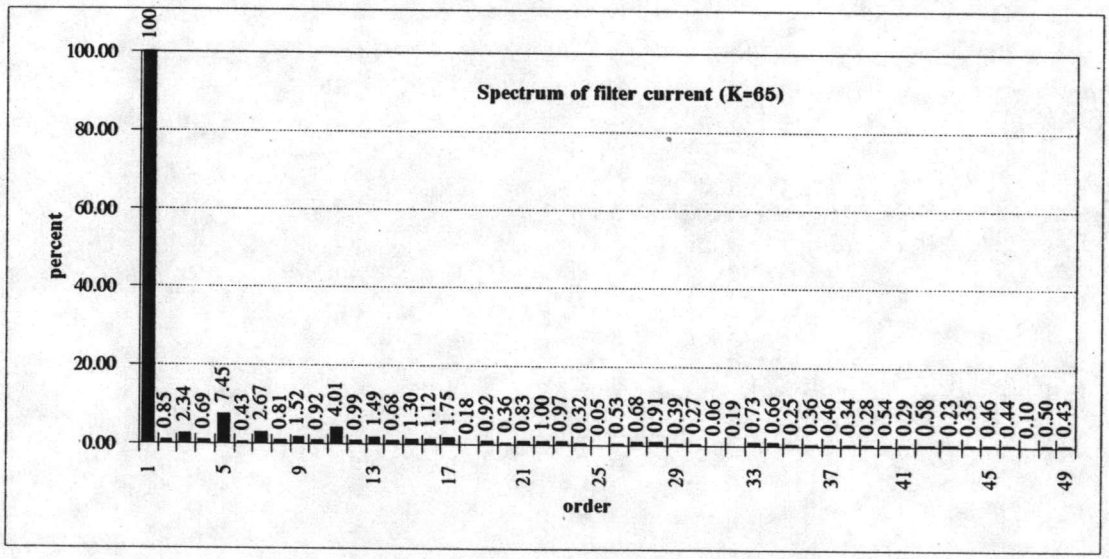
รูปที่ 6.50 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 60



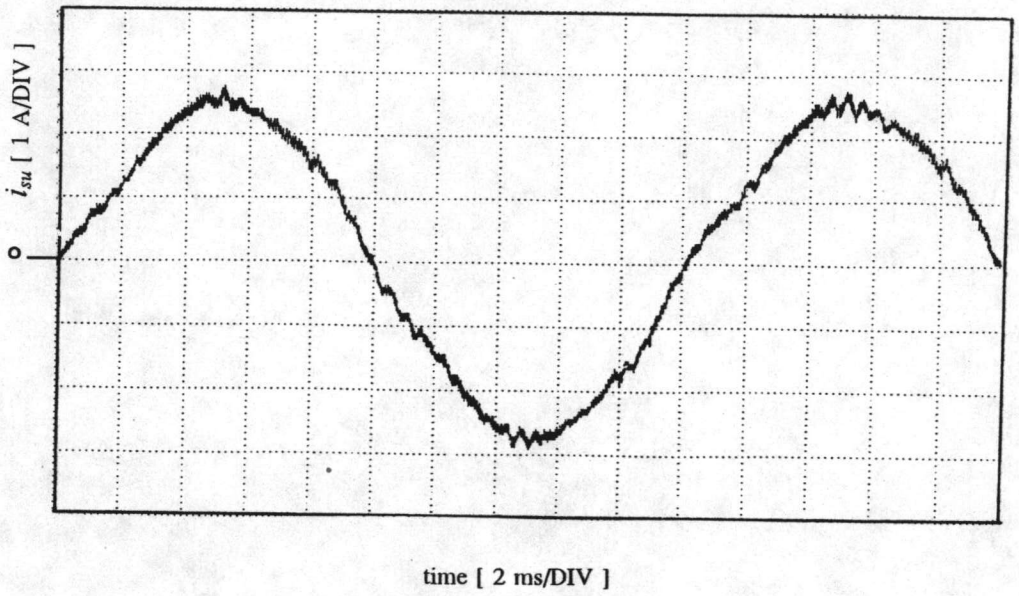


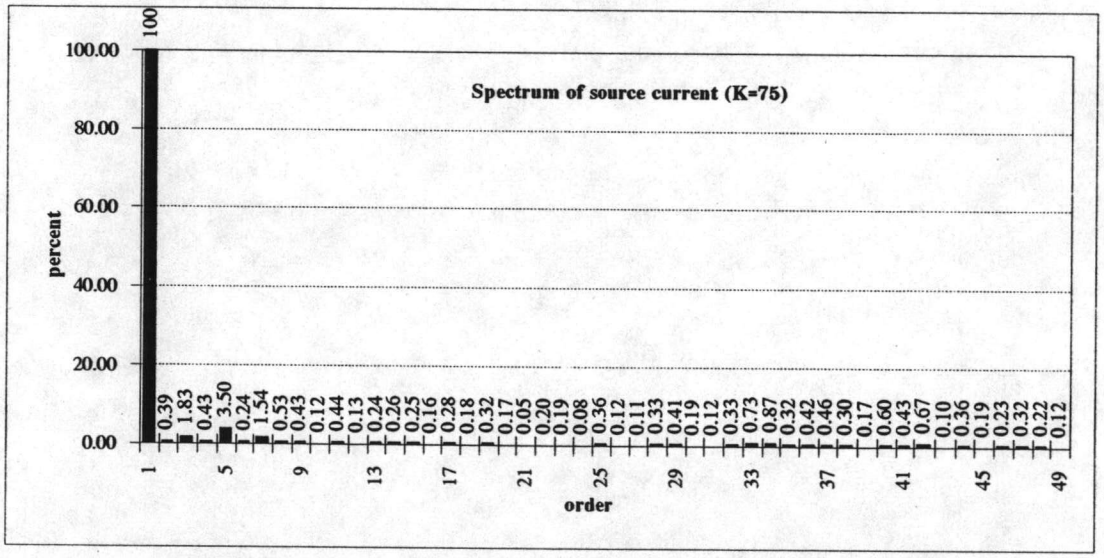
รูปที่ 6.51 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 65



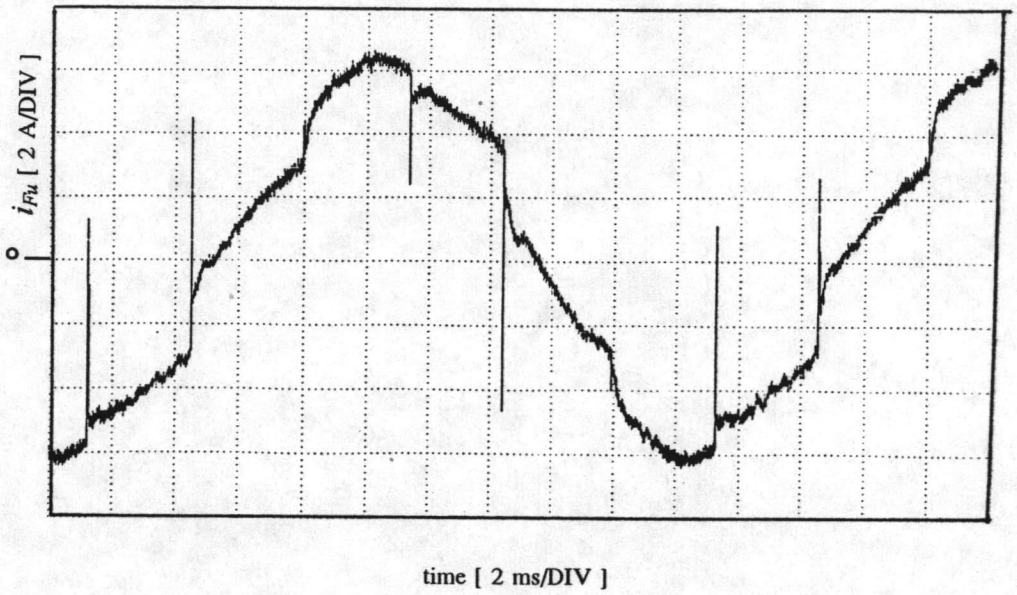


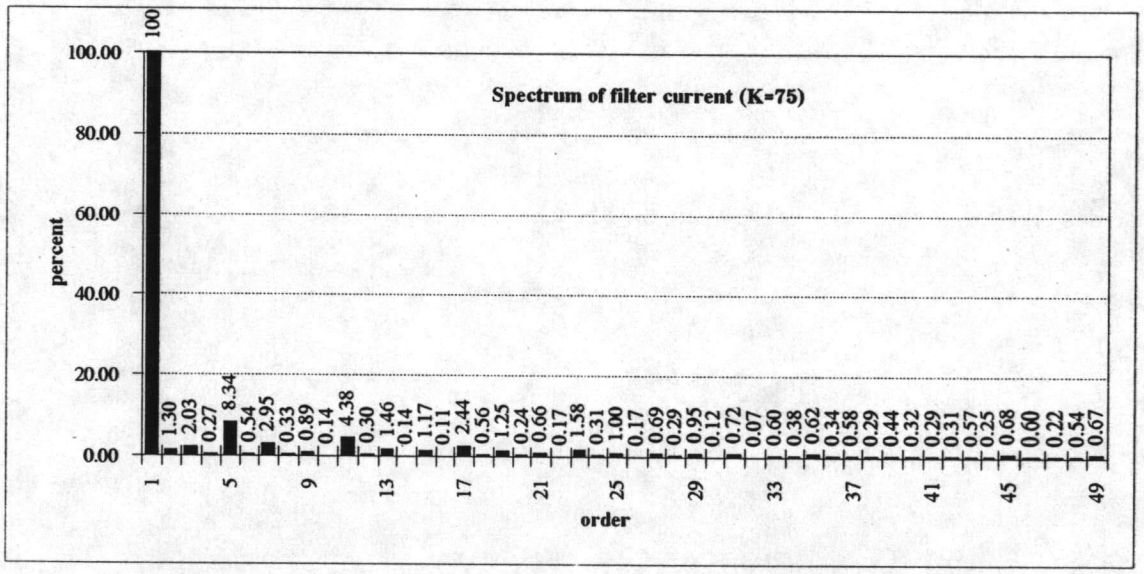
รูปที่ 6.52 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 65



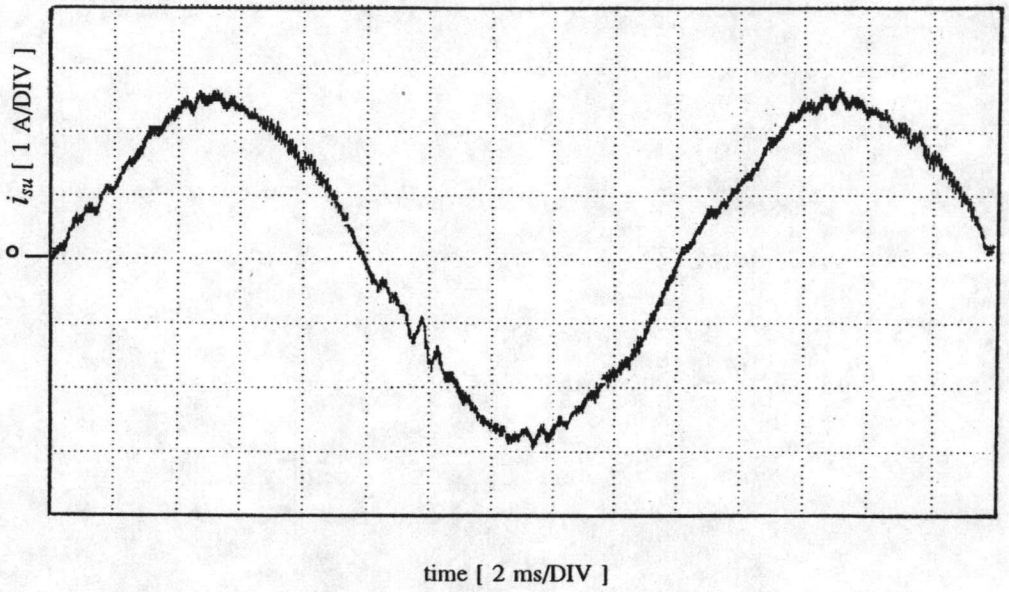


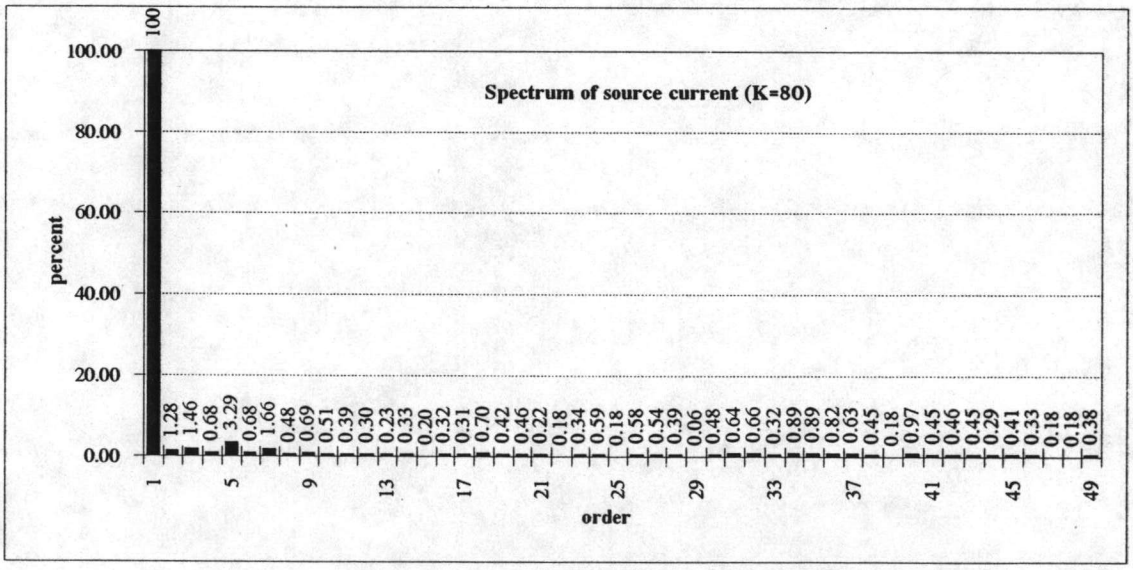
รูปที่ 6.53 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 75



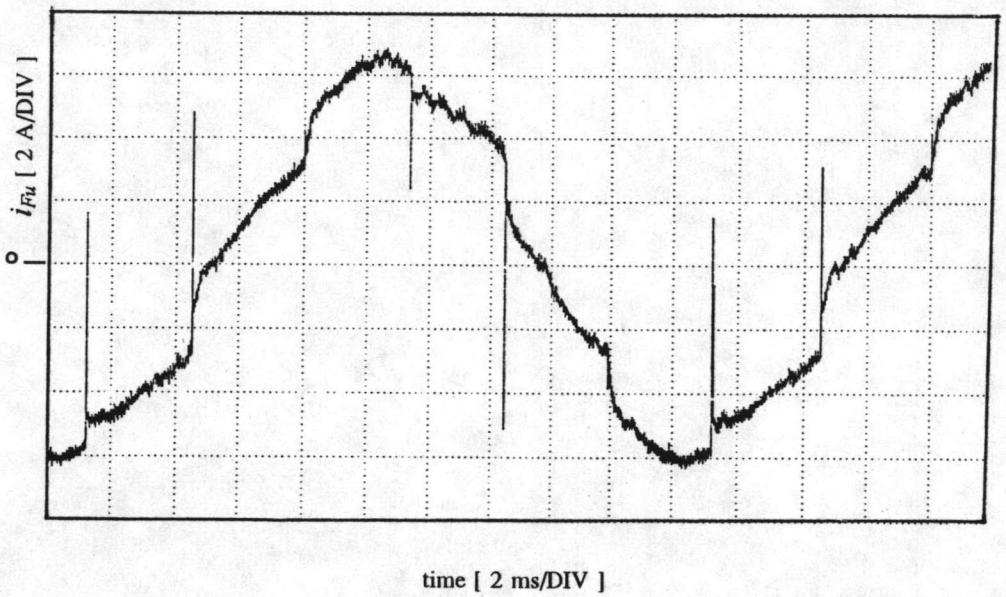


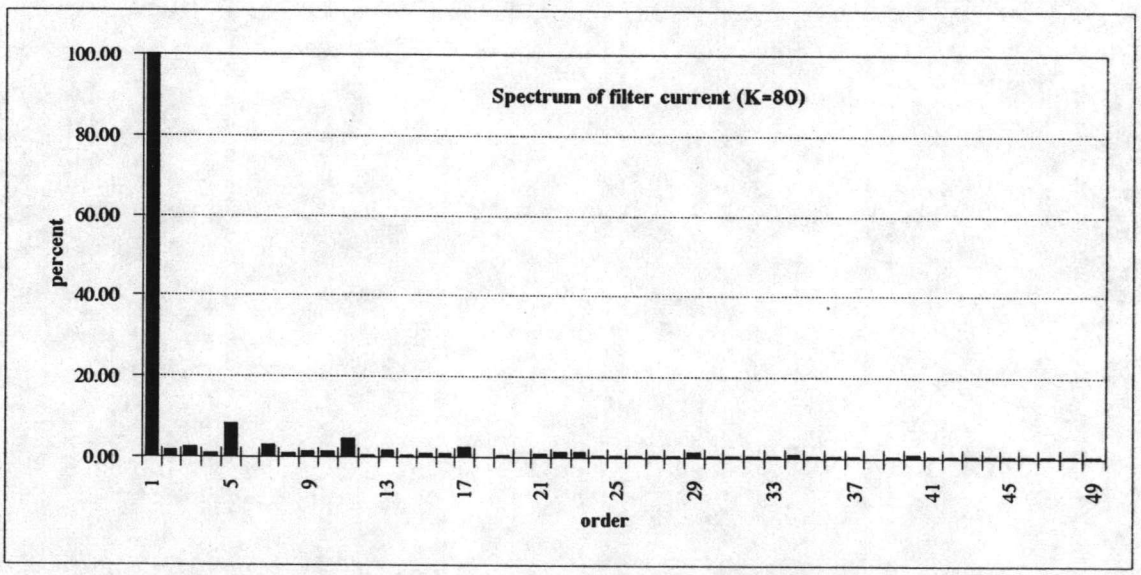
รูปที่ 6.54 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 75



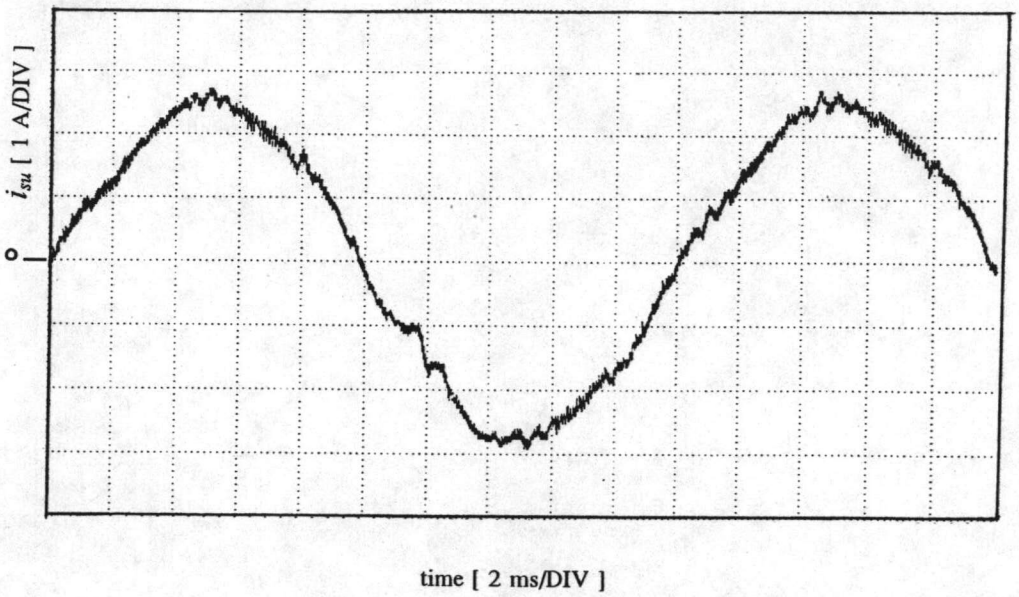


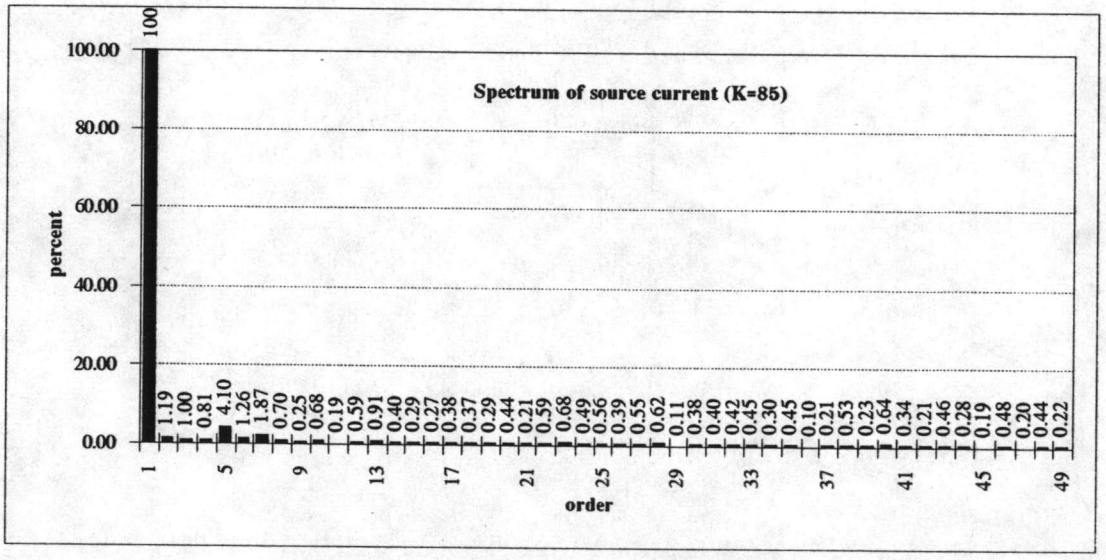
รูปที่ 6.55 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ
ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 80



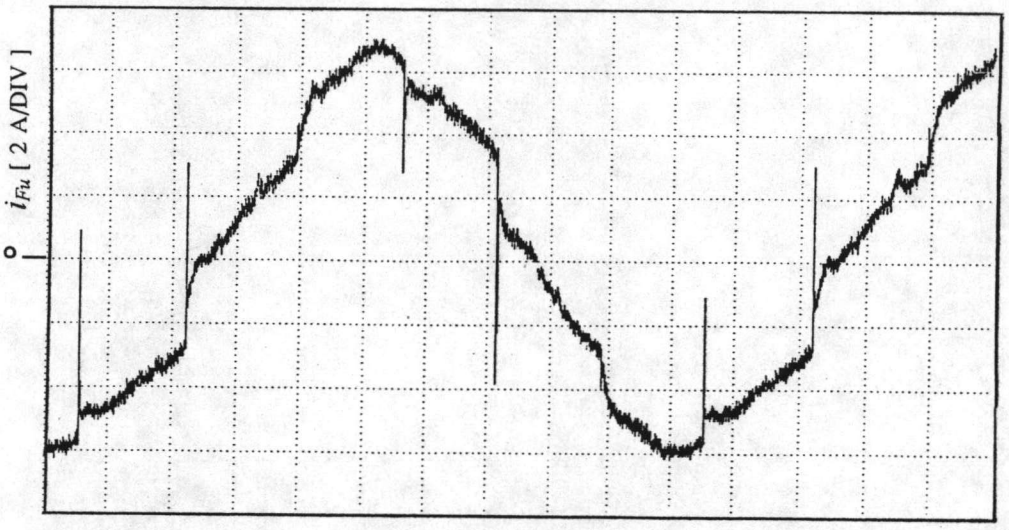


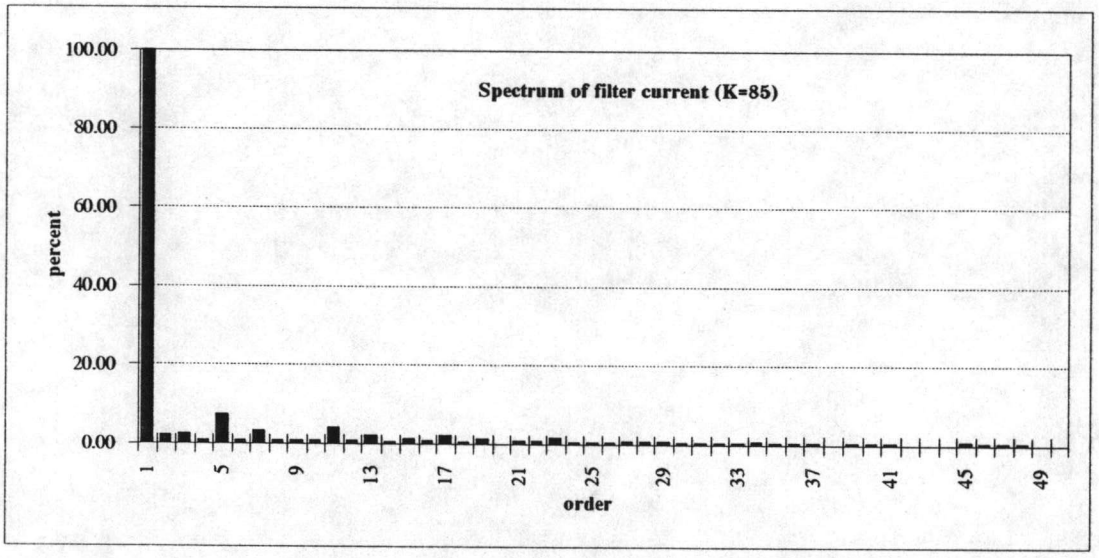
รูปที่ 6.56 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 80



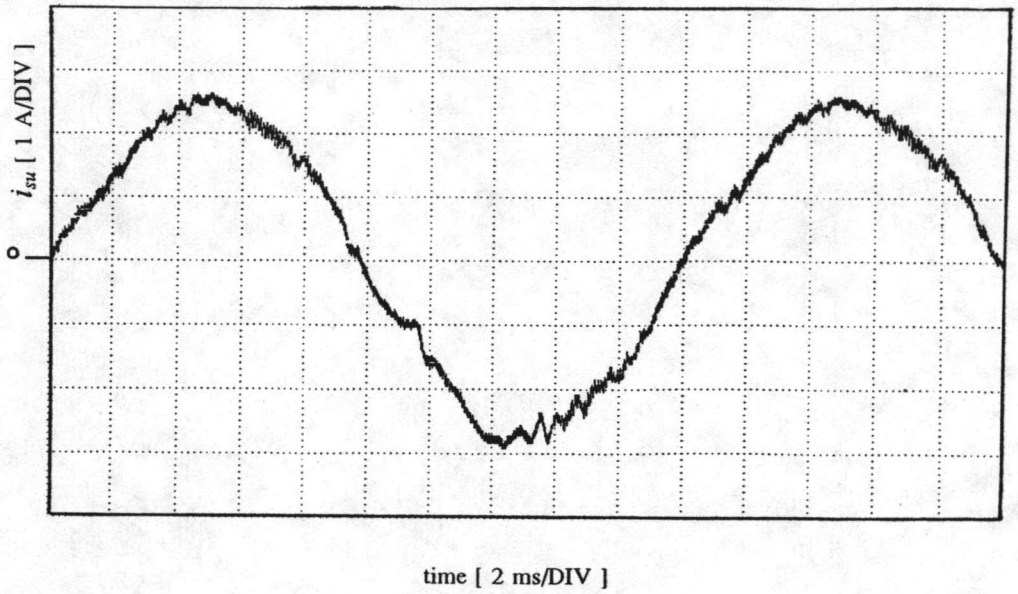


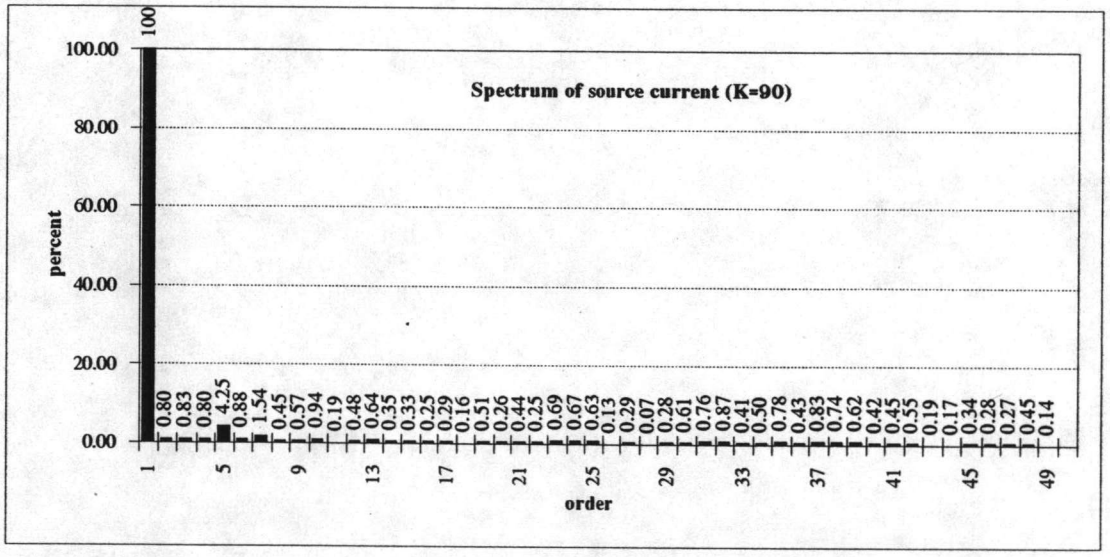
รูปที่ 6.57 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟ
ทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 85



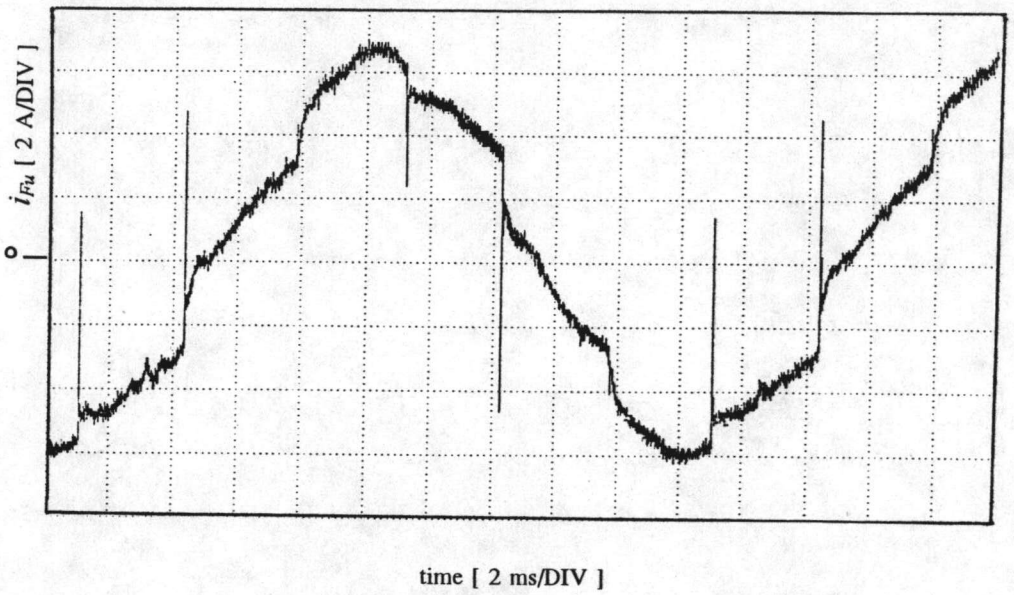


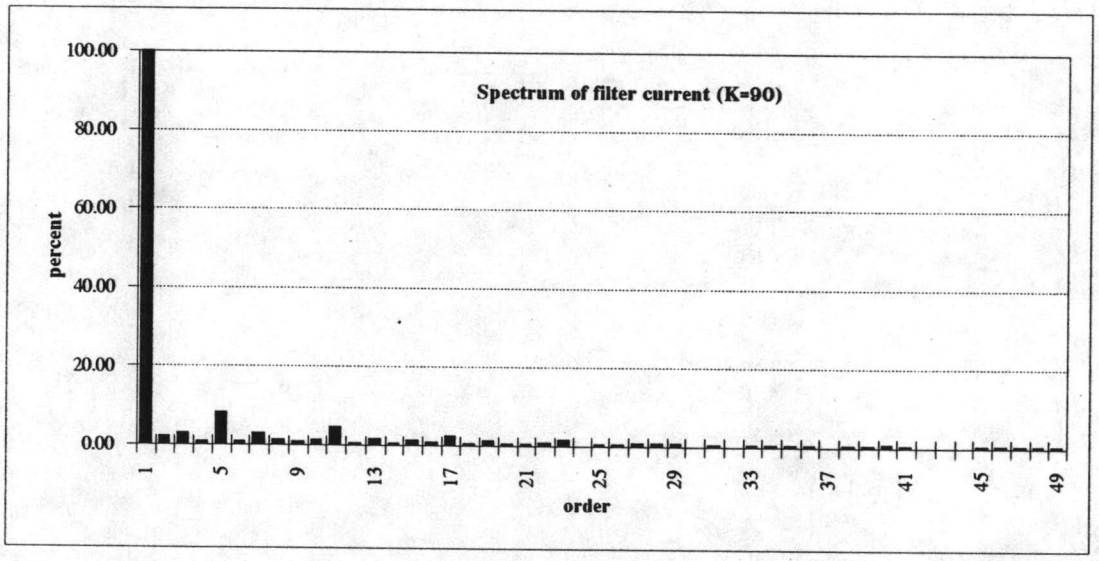
รูปที่ 6.58 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 85





รูปที่ 6.59 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 90





รูปที่ 6.60 สัญญาณและสเปกตรัมของกระแสผ่านวงจรกรองพาสซีฟขณะที่วงจรกรองแอกทีฟทำหน้าที่ลดกระแสฮาร์มอนิกและชดเชยแรงดัน , K= 90