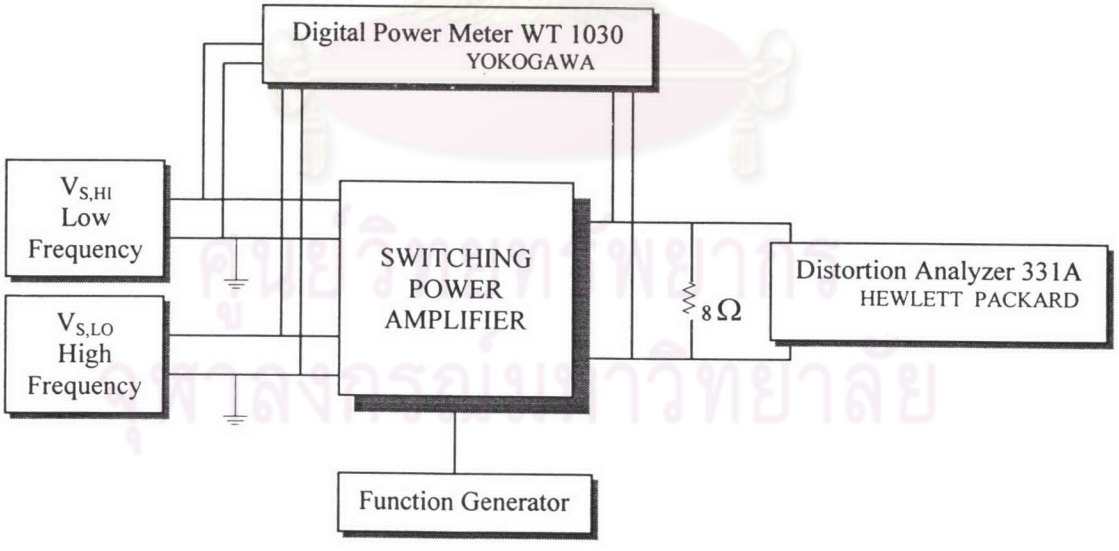
บทที่ 5

ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

ในบทนี้ได้นำวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ที่สร้างขึ้น มาทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ โดยในส่วนของประสิทธิภาพและความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเพียงชุดเดียว กับวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

การทดสอบประสิทธิภาพและความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมของวงจรที่สร้างขึ้น ทำการทดสอบด้วยเครื่องมือดังรูปที่ 5.1 โดยใช้ตัวต้านทานขนาด 8 Ω ต่อเป็นโหลด Digital Power Meter (WT1030) ทำหน้าที่วัดกำลังด้านเข้า P_{IN} และ กำลังด้านออก P_{OUT} เพื่อใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพ ส่วน Distortion Analyzer (331A) ใช้ในการวัดความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม ซึ่งค่าที่อ่านได้จะรวมถึงความถี่สวิตช์ด้วย ซึ่งในการวัด THD เราจะพิจารณาสเปคตรัมถึงความถี่ 20 kHz ส่วนที่เกินออกไปเราจะถือว่าลำโพงไม่ตอบสนอง เพราะฉะนั้นเราจะจำลองสัญญาณเสียงที่ออกลำโพงจริงๆ โดยการกรองความถี่ที่เกิน 20 kHz ออกไป เพื่อใช้ในการวัด THD



รูปที่ 5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพและความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม

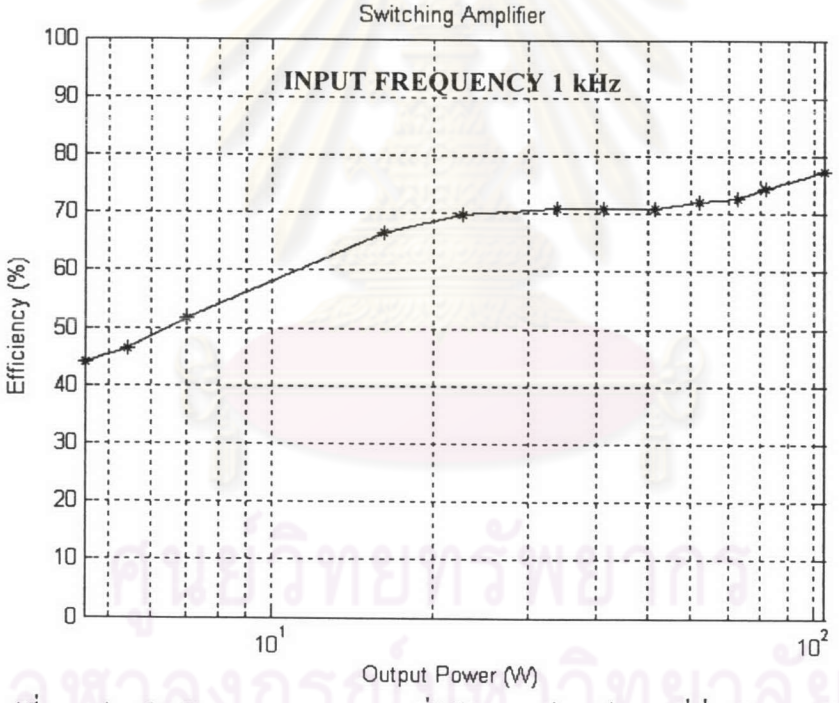
5.1 ประสิทธิภาพของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์

ในการวัดประสิทธิภาพของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์นั้น เราจะทำการวัดประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเพียงชุดเดียว และ ประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

5.1.1 ประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเพียงชุดเดียว

เมื่อทำการป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz แล้วทำการปรับขนาดสัญญาณด้านออกให้ได้กำลังด้านออกที่ต้องการ สามารถหาความสัมพันธ์ของกำลังด้านออกและประสิทธิภาพของวงจรขยายได้

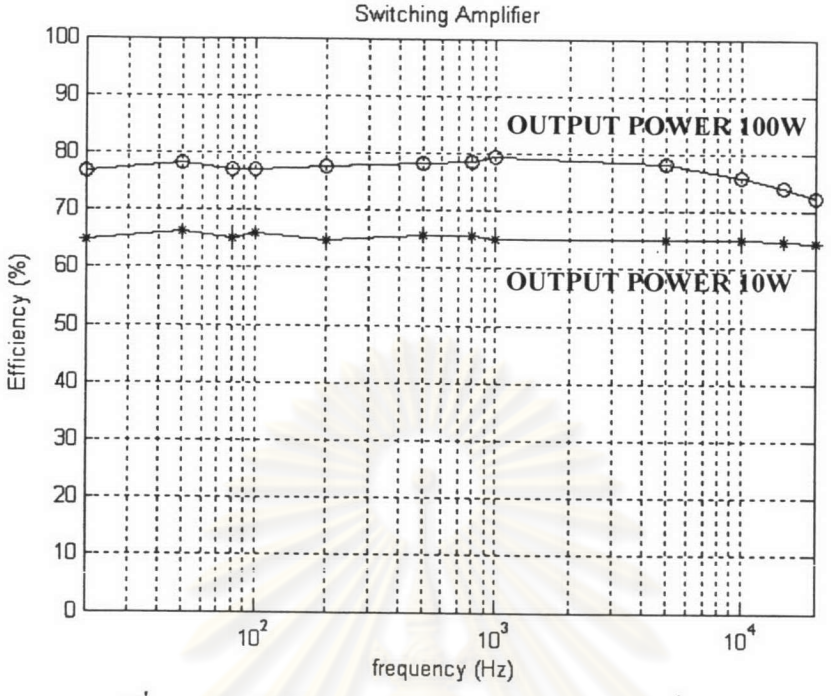
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังด้านออกและประสิทธิภาพของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ (80 kHz) เพียงชุดเดียว เมื่อทำการป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz



รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเพียงชุดเดียว

เมื่อทำการป้อนสัญญาณด้านเข้าในช่วงความถี่เสียง (20 Hz - 20 kHz) โดยทำการแปรค่ากำลังด้านออก 2 ค่า คือ 10 W และ 100 W สามารถหาความสัมพันธ์ของความถี่เสียง และ ประสิทธิภาพของวงจรขยายได้

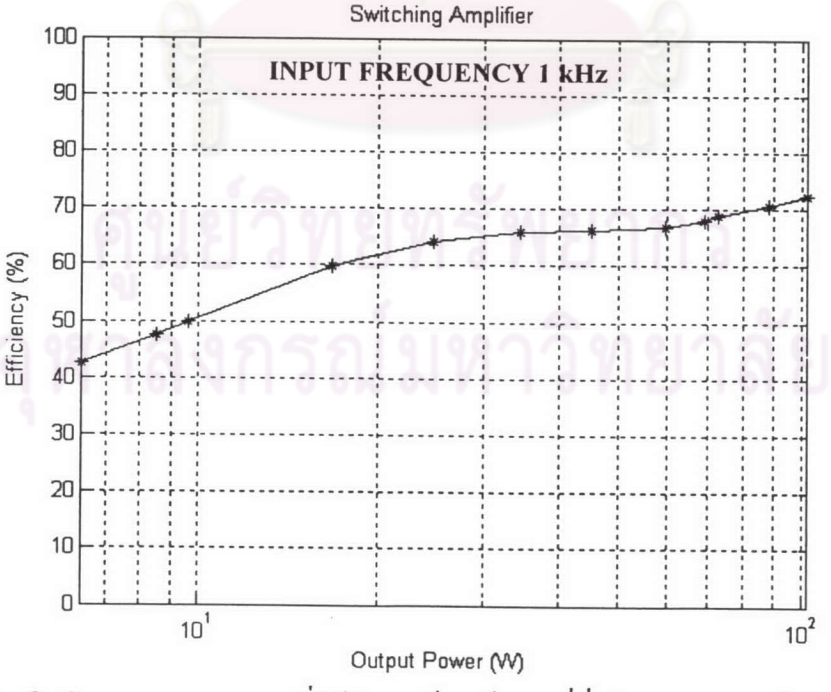
รูปที่ 5.3 แสดงประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเพียงชุดเดียว เมื่อทำการป้อนสัญญาณในช่วงความถี่เสียง แล้วทำการแปรค่ากำลังด้านออก 2 ค่า คือ 10 W และ 100 W



รูปที่ 5.3 ประสิทธิภาพของวงจรขยายในช่วงความถี่เสียง

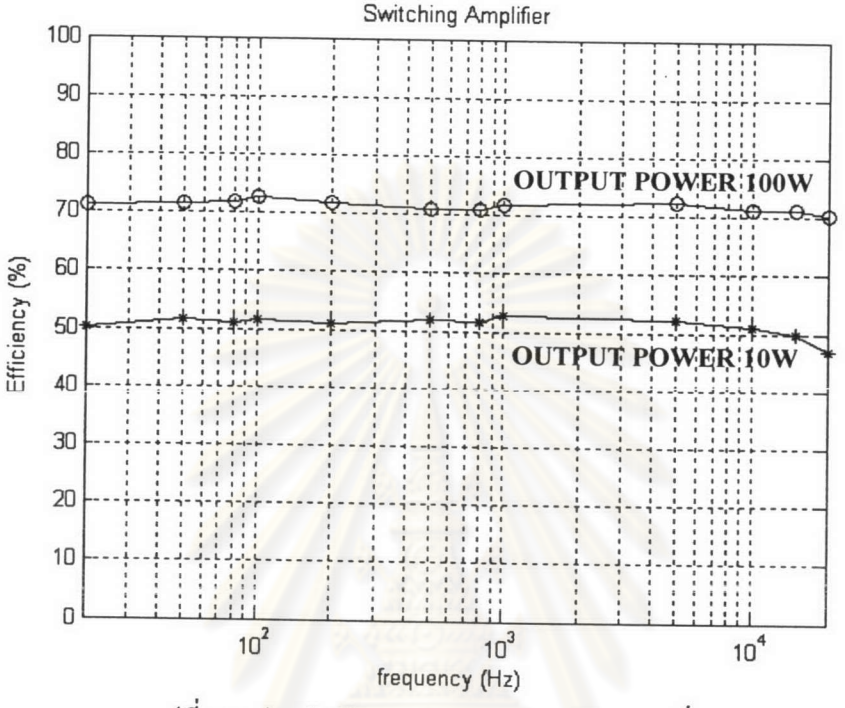
5.1.2 ประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังด้านออกและประสิทธิภาพของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เมื่อทำการป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz



รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

รูปที่ 5.5 แสดงประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ ร่วมกับ อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เมื่อทำการป้อนสัญญาณในช่วงความถี่เสียง แล้วทำการแปรค่ากำลังด้านออก 2 ค่า คือ 10 W และ 100 W

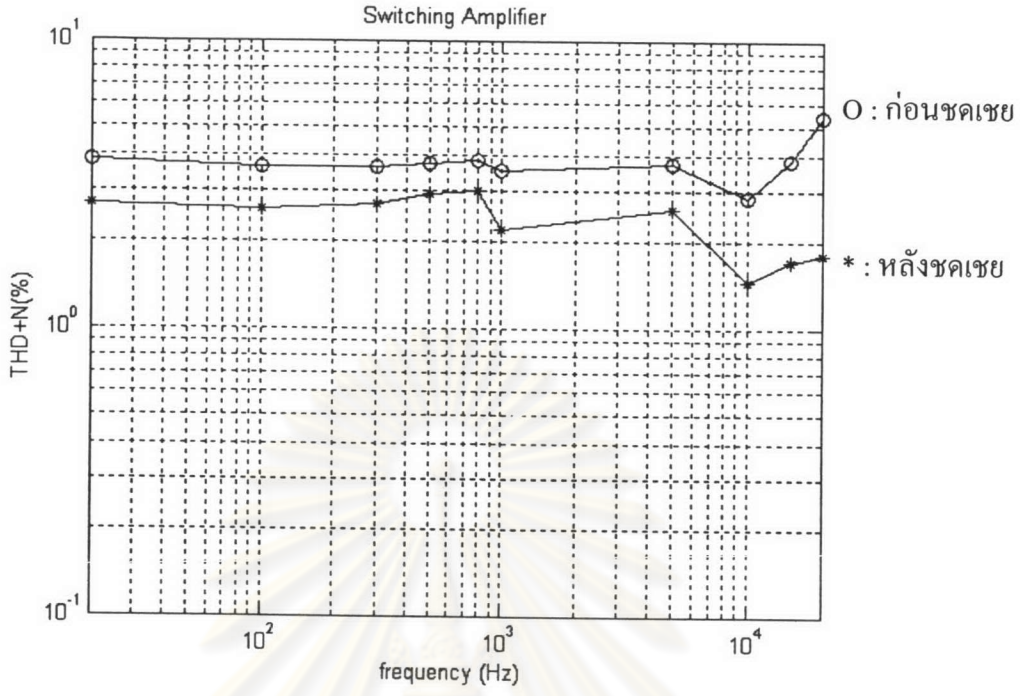


รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพของวงจรขยายกับความถี่

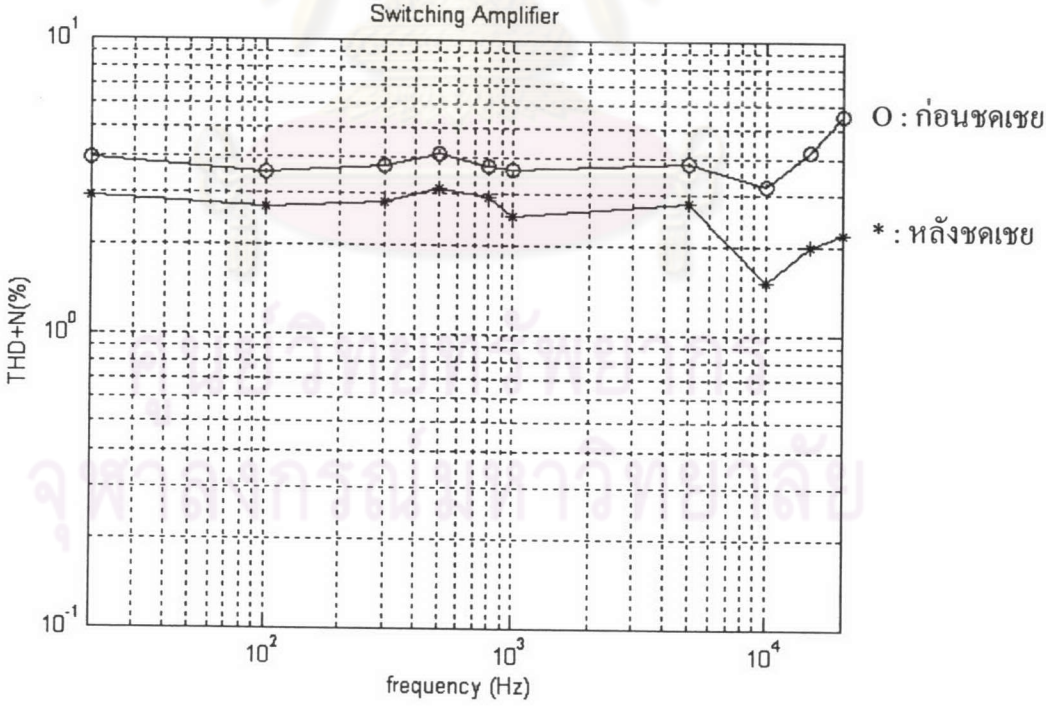
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง มีค่าต่ำกว่า วงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเพียงชุดเดียวเล็กน้อย เนื่องจากการใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (300 kHz) มาชดเชยความผิดเพี้ยนที่เกิดจากวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำนั้น ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟตรงเพิ่มขึ้นทำให้กำลังด้านเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น ประกอบกับความสูญเสียที่เกิดจากวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย

5.2 ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์

การวัดความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม (THD) ในย่านความถี่เสียงนั้น เราจะทำการวัดโดยการป้อนความถี่หลักมูลในย่านความถี่เสียง และทดลองวัดความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม (THD) ที่กำลังด้านออก 10 W และ 100 W ที่ความถี่หลักมูล 20Hz, 100Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 15kHz, 20kHz ตามลำดับ โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างก่อนทำการชดเชยกับหลังทำการชดเชย ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.6 และ รูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมที่กำลังด้านออก 10 W



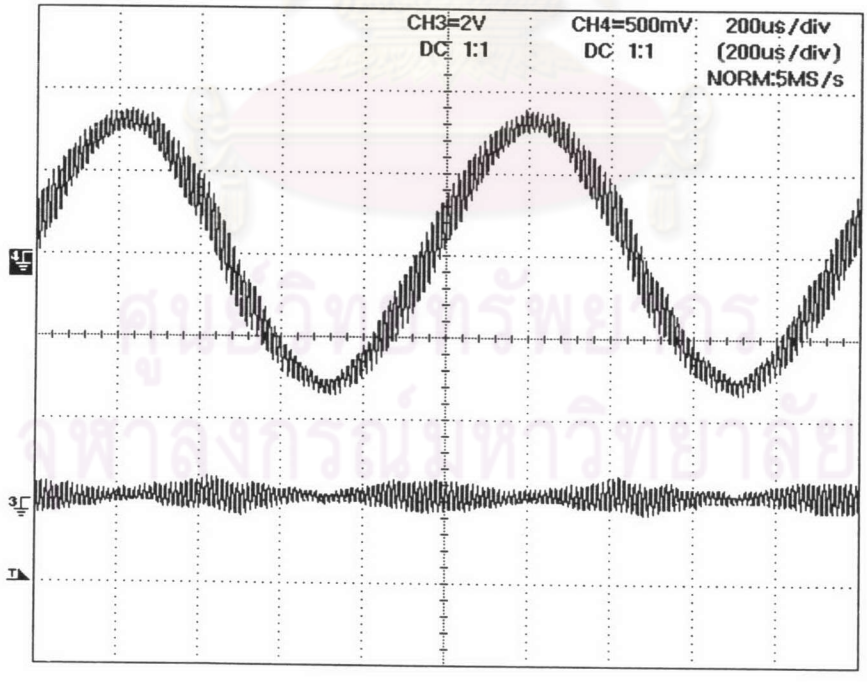
รูปที่ 5.7 ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมที่กำลังด้านออก 100 W

จากรูปที่ 5.6 และ 5.7 พบว่า การใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่สูงมาทำการชดเชยความเพี้ยนที่เกิดจากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ สามารถชดเชยความเพี้ยนได้ตลอดย่านความถี่เสียง แต่เนื่องจากสัญญาณผิดเพี้ยนที่เกิดจากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเมื่อนำมาขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแล้ว สัญญาณผิดเพี้ยนที่ได้รับการขยาย โดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง จะมีรูปร่างที่ไม่เหมือนกับสัญญาณผิดเพี้ยนก่อนที่จะได้รับการขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ทั้งนี้เนื่องจากผลของเวลาพัก (Deadtime) ในการขับนำสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ทำให้การชดเชย (Compensate) ทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

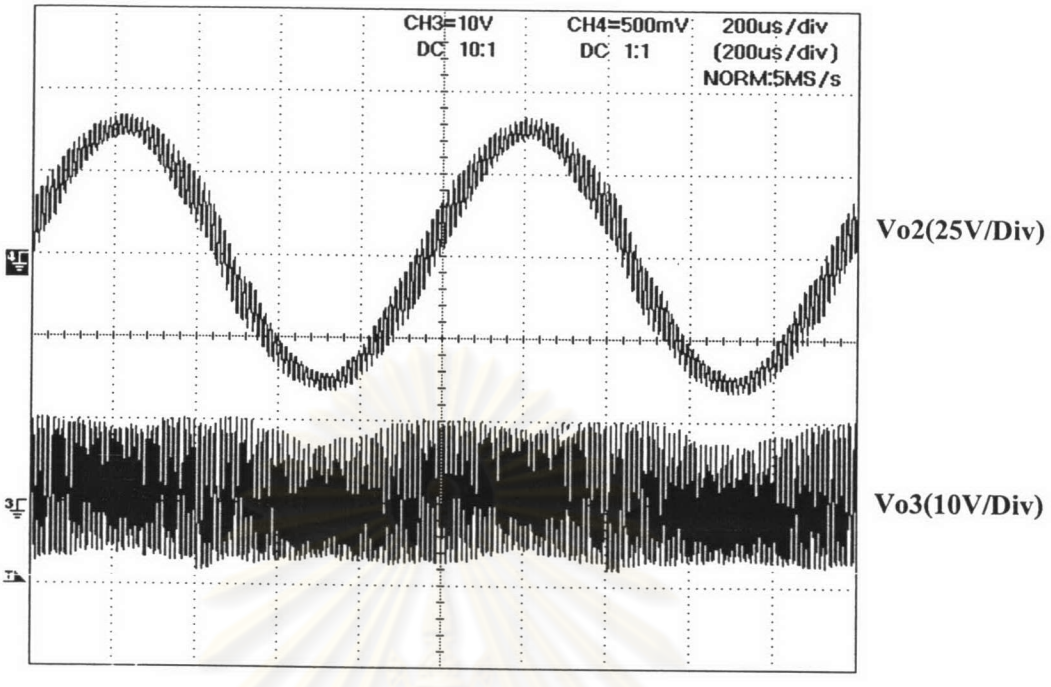
5.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลอง โดยการกำหนดเงื่อนไขในการทดลองดังนี้ สัญญาณอ้างอิง 1 kHz , 1.68 Vp สัญญาณสามเหลี่ยม 2 Vp , 80 kHz แหล่งจ่ายไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเท่ากับ + 120 V สัญญาณสามเหลี่ยม 0.5 Vp , 300 kHz แหล่งจ่ายไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงเท่ากับ + 20 V Dead Time = 0.3 us ความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำในอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับ 25 kHz และ ความถี่หักมุมของวงจรกรองผ่านต่ำในอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงมีค่าเท่ากับ 200 kHz ตัวประกอบคุณภาพ Q = 0.707

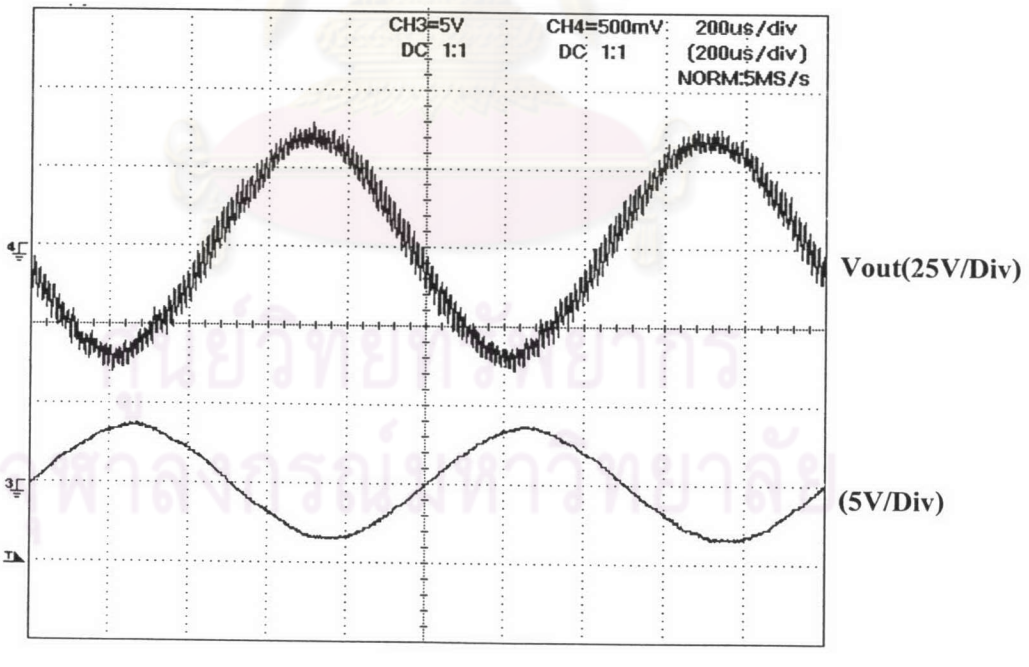
5.3.1 ความถี่สัญญาณอ้างอิง 1 kHz , 1.68 Vp



รูปที่ 5.8 แรงดันที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ (Vo1) และแรงดันผิดเพี้ยน (Verr) ที่ได้จากการลดทอนแรงดันVo1 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์

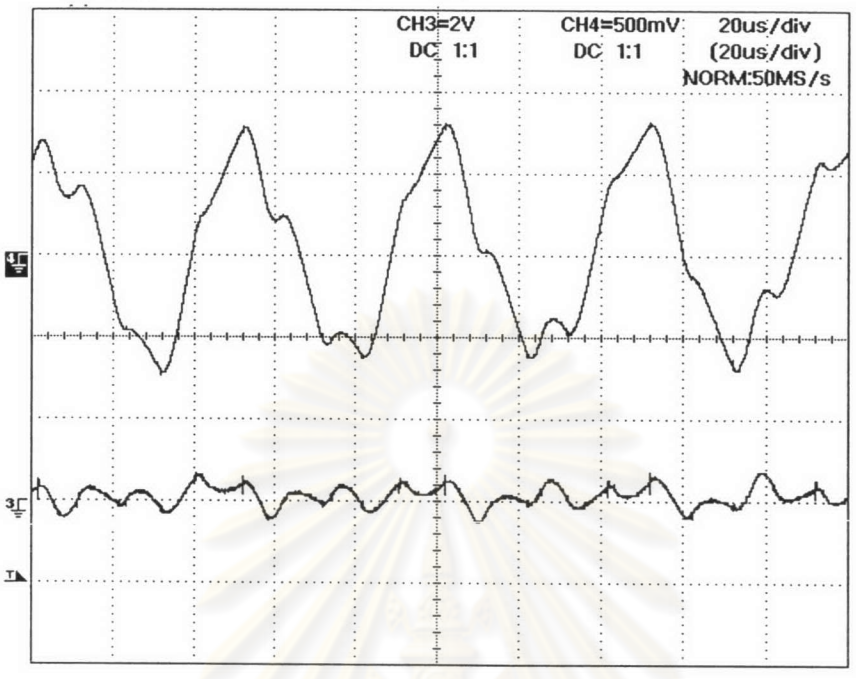


รูปที่ 5.9 แรงดันจากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำที่ได้รับการชดเชยเฟส (Vo2) และแรงดันผิดเพี้ยนที่ถูกขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (Vo3)

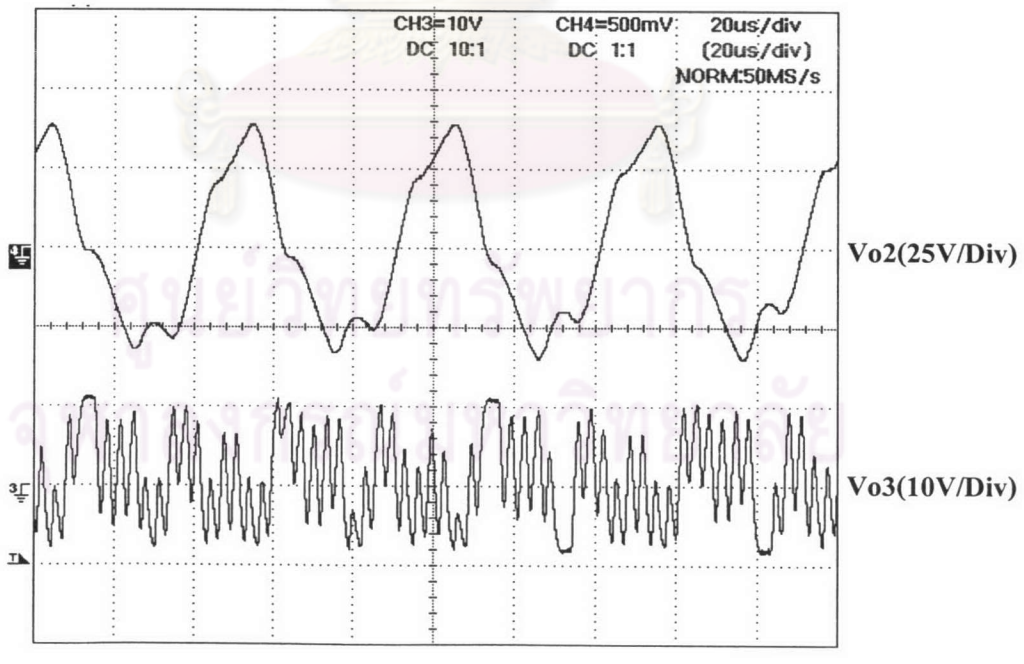


รูปที่ 5.10 แรงดันของสัญญาณด้านออก(Vout) ที่ได้จากการนำแรงดันVo2 มาหักล้างกับแรงดันVo3 และรูปจำลองสัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพงโดยการกรองความถี่ที่เกิน 20kHz ออกไป

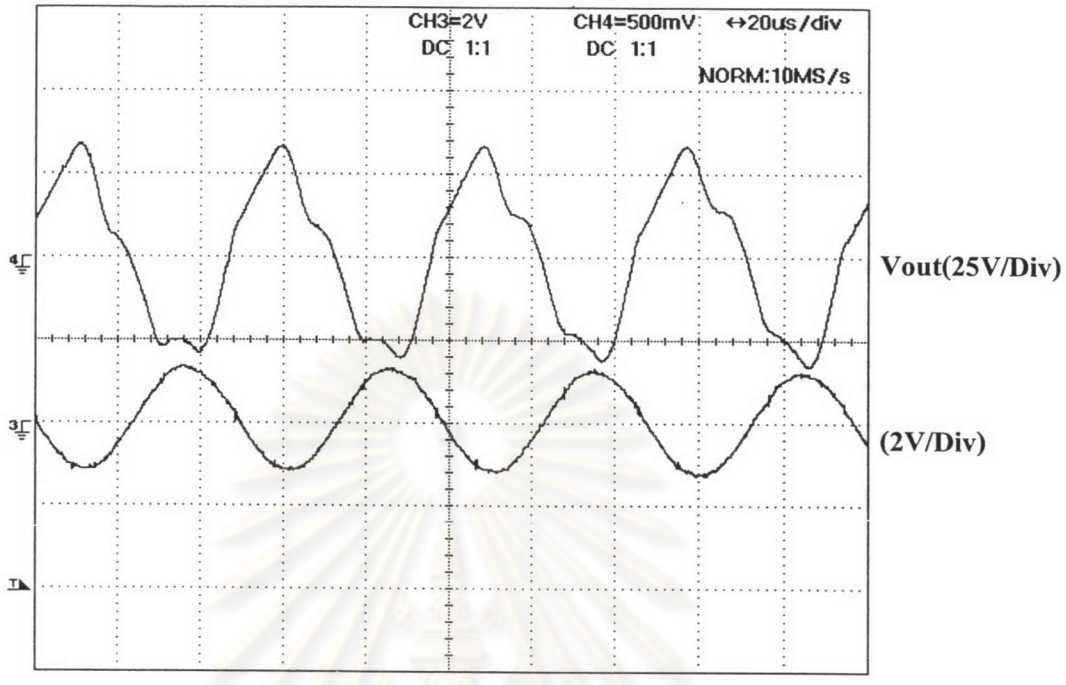
5.3.2 ความถี่สัญญาณอ้างอิง 20 kHz , 1.68 Vp



รูปที่ 5.11 แรงดันที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ (Vo1) และแรงดันผิดเพี้ยน (Verr) ที่ได้จากการลดทอนแรงดันVo1 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์



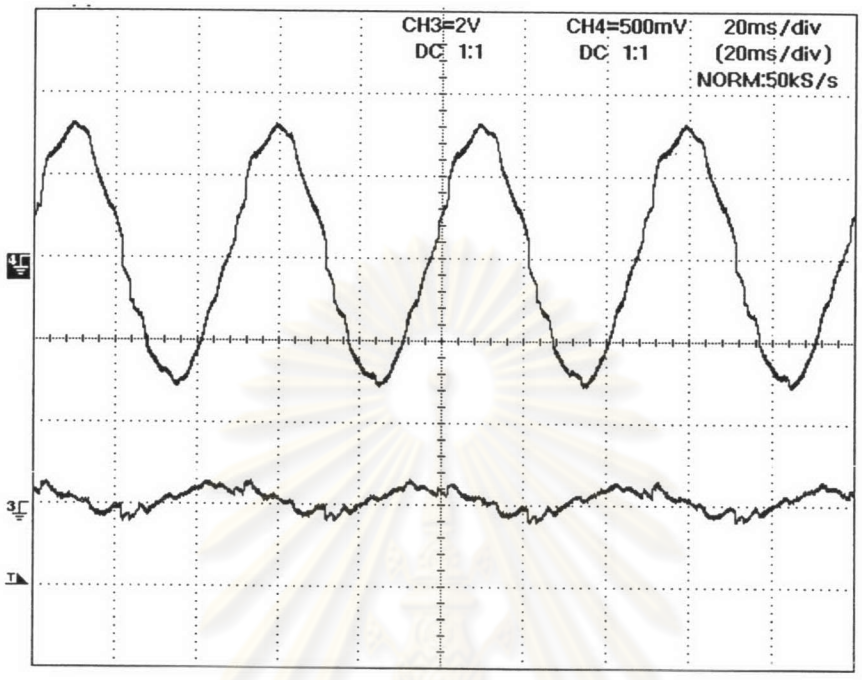
รูปที่ 5.12 แรงดันจากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำที่ได้รับการชดเชยเฟส (Vo2) และแรงดันผิดเพี้ยนที่ถูกขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (Vo3)



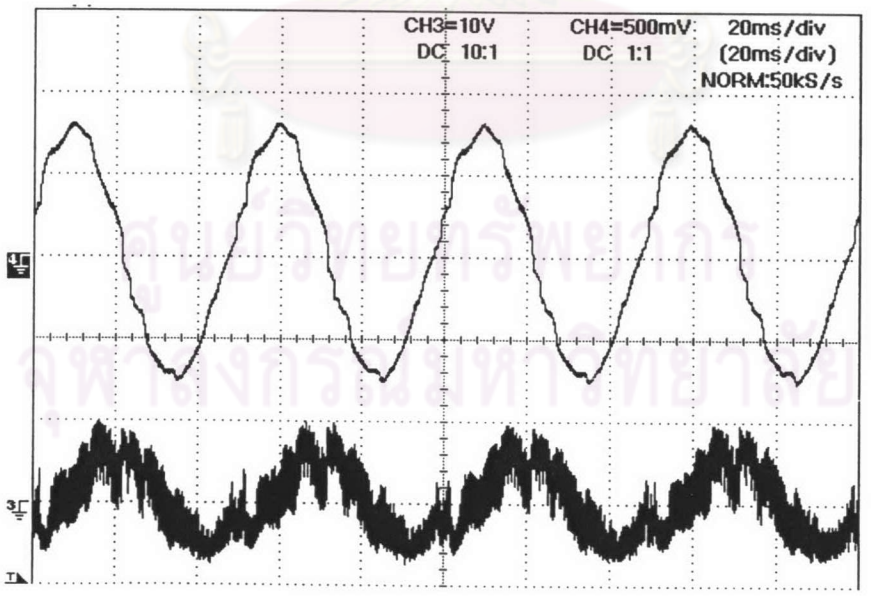
รูปที่ 5.13 แรงดันของสัญญาณด้านออก(Vout) ที่ได้จากการนำแรงดันVo2 มาหักล้างกับแรงดันVo3 และรูปจำลองสัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพงโดยการกรองความถี่ที่เกิน 20kHz ออกไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

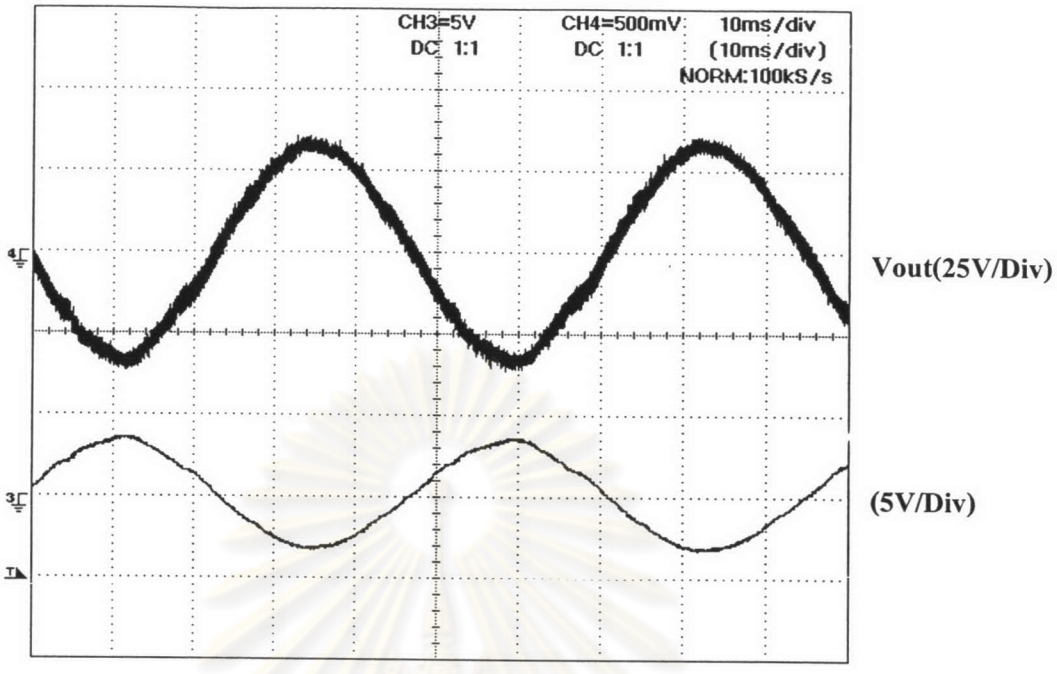
5.3.3 ความถี่สัญญาณอ้างอิง 20 Hz , 1.68 Vp



รูปที่ 5.14 แรงดันที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ (Vo1) และแรงดันผิดเพี้ยน (Verr)
ที่ได้จากการลดทอนแรงดันVo1 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์



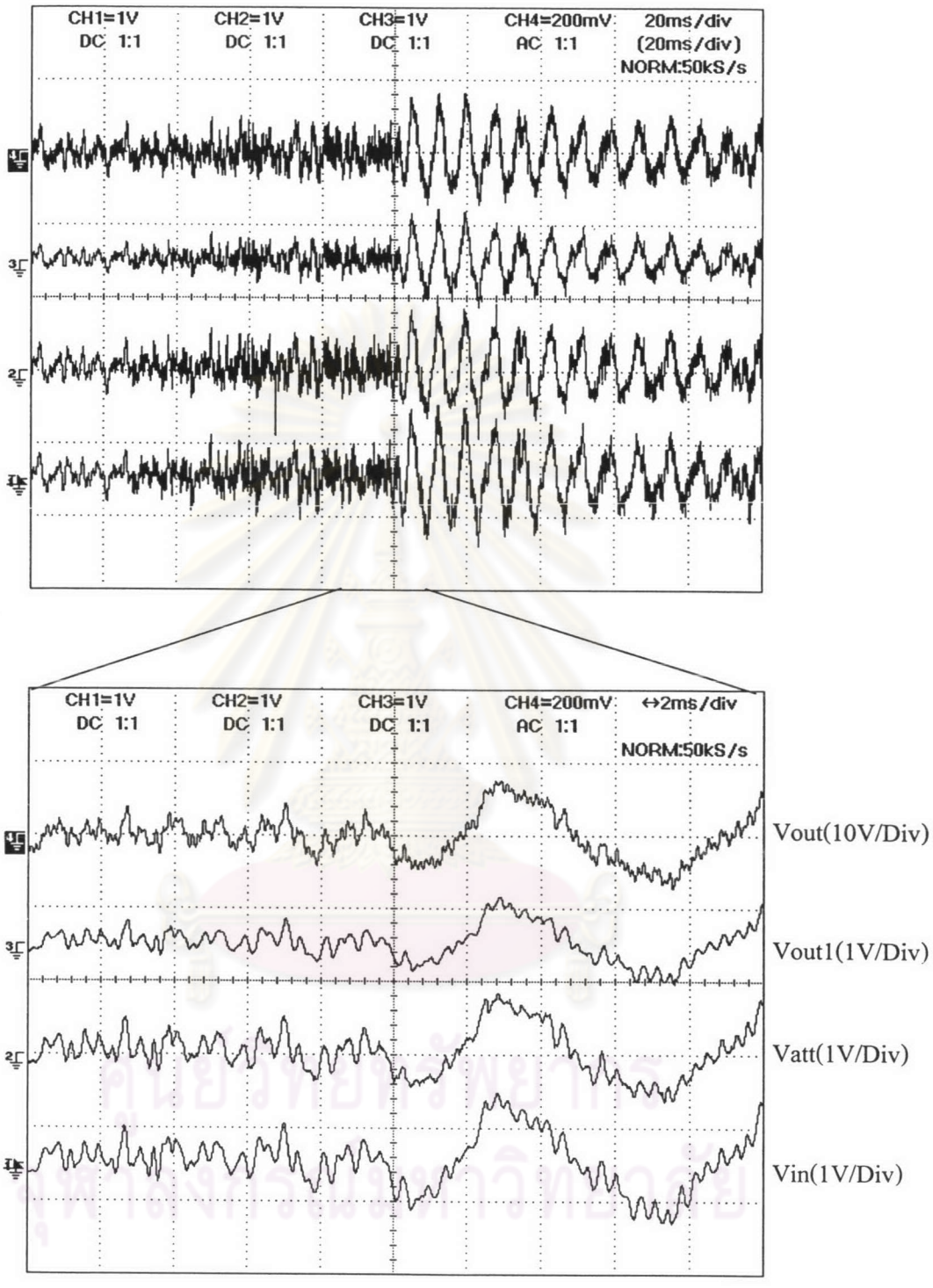
รูปที่ 5.15 แรงดันจากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำที่ได้รับการชดเชยเฟส (Vo2)
และแรงดันผิดเพี้ยนที่ถูกขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (Vo3)



รูปที่ 5.16 แรงดันของสัญญาณด้านออก(Vout) ที่ได้จากการนำแรงดันVo2 มาหักล้างกับแรงดันVo3 และรูปจำลองสัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพงโดยการกรองความถี่ที่เกิน 20kHz ออกไป

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า สัญญาณอ้างอิงความถี่ 20 Hz มีความเพี้ยนเกิดขึ้นเนื่องจากที่ความถี่ต่ำ จะทำให้เกิดระลอกของแรงดันที่กึ่งกลางบัสของอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำมากขึ้นส่งผลให้แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเมื่อทำการวัดเทียบกับกึ่งกลางบัส มีความเพี้ยนมากขึ้น ซึ่งหลังจากทำการชดเชย โดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแล้ว สัญญาณด้านออกของวงจรขยายมีความเพี้ยนน้อยลง ซึ่งสัญญาณด้านออกของวงจรขยายจะมีความถี่ 80 kHz และ 300 kHz รวมอยู่ด้วย ในการวัด THD เราจะทำการกรองความถี่ที่เกิน 20 kHz ออกไป เนื่องจากเราถือว่าลำโพงไม่ตอบสนองความถี่ที่เกิน 20 kHz ซึ่งการวัด THD โดยปกติ จะวัดที่ความถี่ 1 kHz

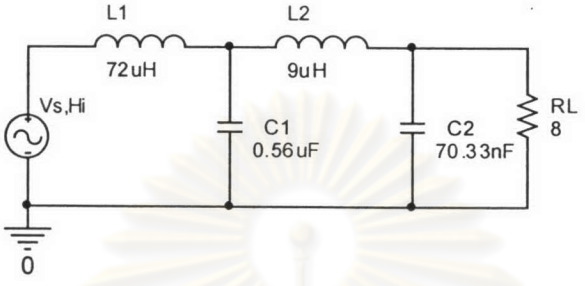
เมื่อทำการตรวจสอบการทำงานโดยการป้อนสัญญาณเสียง แล้วทำการวัดสัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพง (Vout) สัญญาณเสียงที่ได้ทำการลดทอน (Vatt) เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้าวงจรขยาย (Vin) และรูปจำลองสัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพง (Vout1) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.17



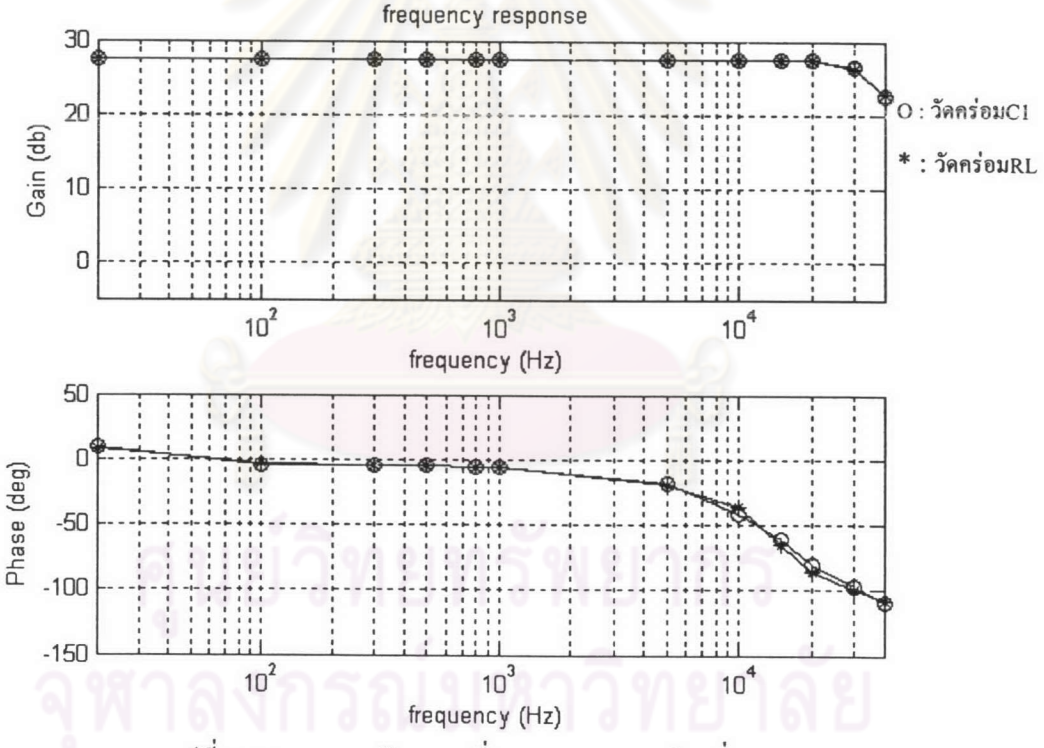
รูปที่ 5.17 สัญญาณด้านเข้า สัญญาณด้านออก สัญญาณลดทอน และรูปจำลองสัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพง เมื่อทำการป้อนสัญญาณเสียง

5.3.4 ผลตอบเชิงความถี่

ทดลองวัดผลตอบเชิงความถี่ เพื่อเปรียบเทียบผลตอบเชิงความถี่ของวงจรกรองผ่านต่ำในวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ ดังรูปที่ 5.18 โดยการวัดคร่อมตัวเก็บประจุ C1 เปรียบเทียบกับการวัดคร่อมโหลด R_L ผลตอบเชิงความถี่แสดงดังรูปที่ 5.19



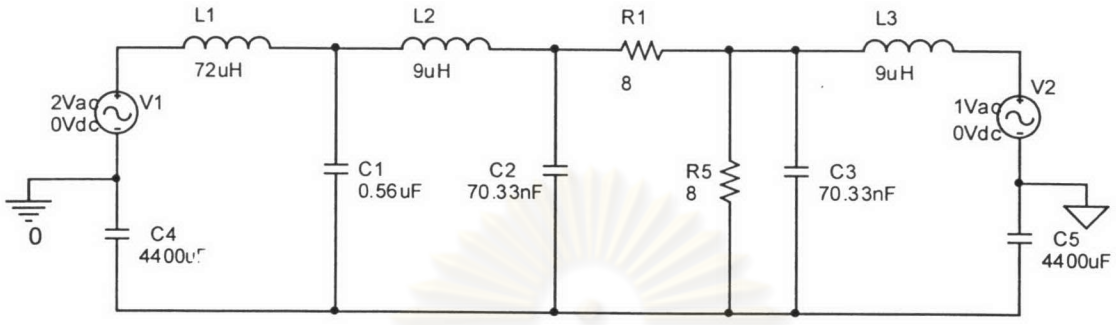
รูปที่ 5.18 วงจรกรองผ่านต่ำของอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ



รูปที่ 5.19 ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรกรองผ่านต่ำ

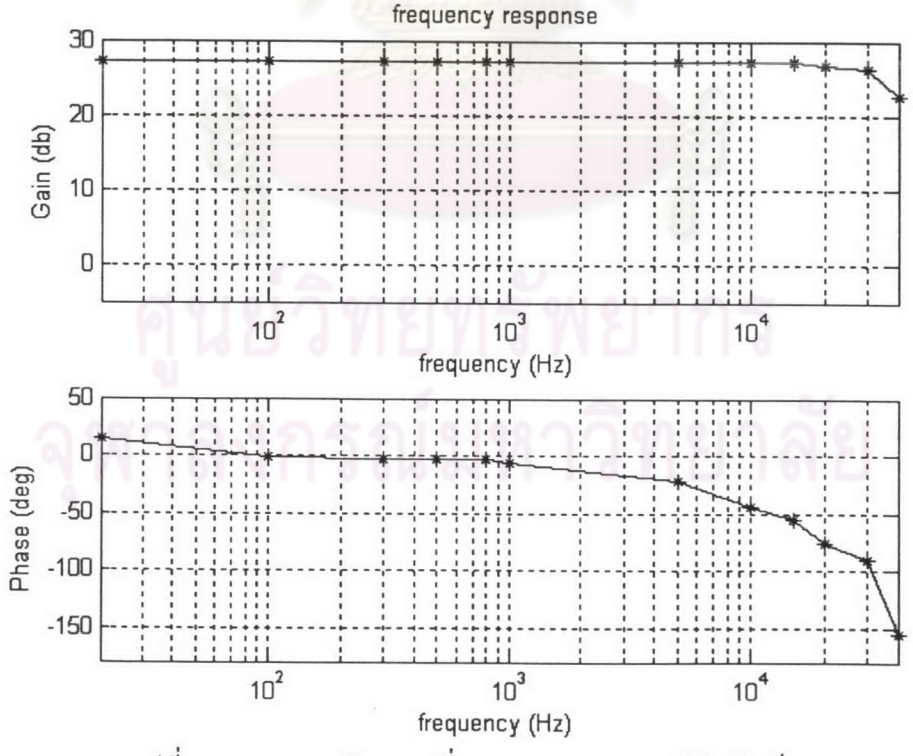
จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ผลตอบเชิงความถี่ โดยการวัดคร่อมตัวเก็บประจุ C1 เปรียบเทียบกับการวัดคร่อมโหลด R_L มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวงจรกรองผ่านต่ำที่ได้รับการชดเชยเฟส ไม่ทำให้ผลตอบเชิงขนาดและเฟสของวงจรเปลี่ยนไป ซึ่งในการนำไปใช้จริงเราสามารถ

มองวงจรขยายที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เป็นวงจรสมมูล ได้ดังรูปที่ 5.20



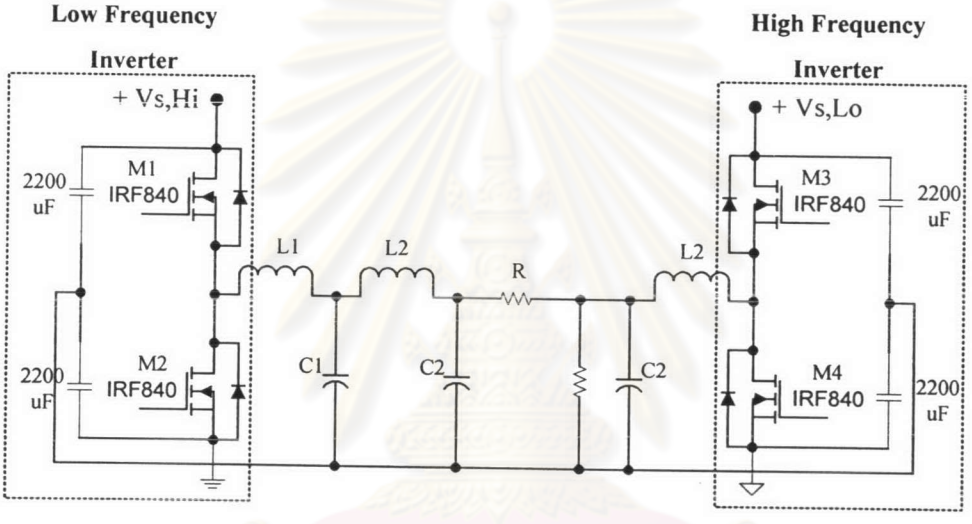
รูปที่ 5.20 วงจรสมมูลของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์

จากรูปที่ 5.20 เมื่อทำการวัดผลตอบเชิงความถี่ของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ โดยการวัดคร่อมความต้านทาน R1 ผลตอบเชิงความถี่แสดงดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์

ปัญหาในทางปฏิบัติของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ (คลาส ดี) ที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง คือ โครงสร้างของวงจรขยายที่ใช้จะต้องมีโหลดหรือความต้านทานต่ออยู่ทางด้านอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองใช้บริดจ์เรกติไฟเออร์ในการส่งผ่านพลังงาน ซึ่งส่งผลให้พลังงานไหลได้เพียงทิศทางเดียว แต่ในทางปฏิบัติเราต้องการให้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ และ อินเวอร์เตอร์ความถี่สูงจ่ายพลังงานมายังโหลดเพื่อมาชดเชย (Compensate) กัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องต่อความต้านทานทางด้านอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เพื่อเป็นทางผ่านให้อินเวอร์เตอร์ทั้งสองสามารถจ่ายพลังงานมายังโหลดได้



รูปที่ 5.22 วงจรสวิตช์กำลังที่ใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย