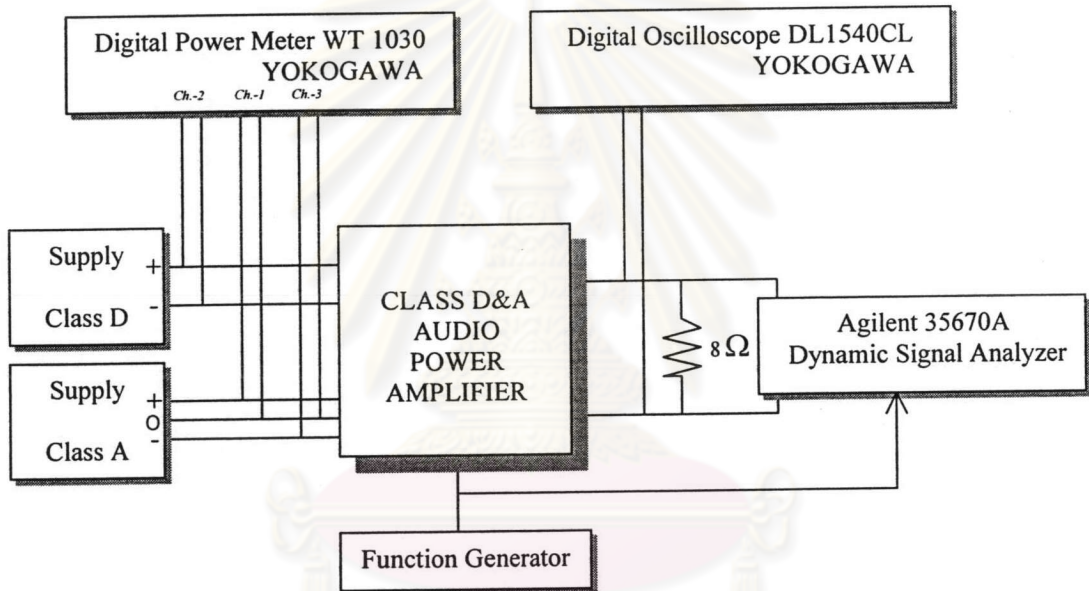


บทที่ 4

ผลการทดสอบระบบ

ในบทนี้ได้นำวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอที่สร้างขึ้น มาทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมและประสิทธิภาพ โดยทำการเปรียบเทียบกับวงจรขยายคลาสดี การวัดความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมและประสิทธิภาพของวงจรขยายที่สร้างขึ้น จะทำการทดสอบด้วยเครื่องมือและวิธีการดังรูปที่ 4.1



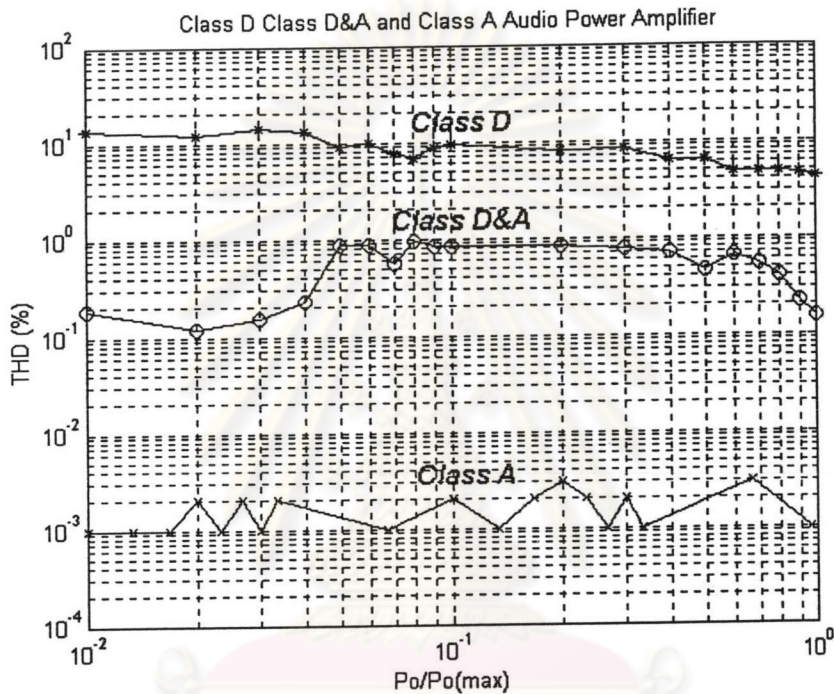
รูปที่ 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมและประสิทธิภาพ

4.1 ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวม (Total Harmonic Distortion : THD)

การวัดความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวม จะใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณพลวัต (Dynamic Signal Analyzer : Agilent 35670A) หลักการทำงานของเครื่องนี้จะนำสัญญาณที่ตรวจจับได้ไปวิเคราะห์บนพื้นฐาน FFT (Fast Fourier Transform Based) โดยผู้ใช้สามารถเลือกย่านความถี่ที่จะวิเคราะห์ ซึ่งในกรณีนี้คือ 20Hz-20kHz ในการวัดค่า THD ก็ทำการป้อนความถี่หลักมูล (Fundamental frequency) และจำนวนฮาร์โมนิกที่ต้องการวัด จะวัด THD ทั้งด้านขาออก (จากวงจรขยาย) และด้านขาเข้า (จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์) ค่า THD ทางด้านขาเข้าเพื่อพิจารณาประกอบ

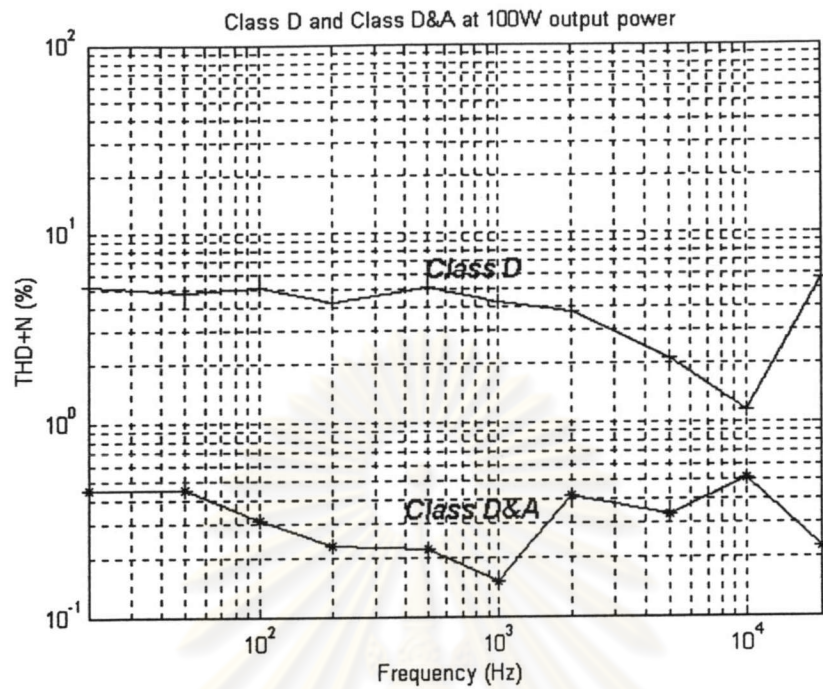
หากค่า THD ด้านขาเข้ามีค่าต่ำพอ ค่า THD ด้านขาออกก็จะเป็นค่า THD ของวงจรขยายนี้จริงภายใต้เงื่อนไขนั้น ๆ

ผลการวัด THD ของวงจรขยายคลาสดี กับ วงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ณ ความถี่การสวิตช์ 80kHz ที่กำลังด้านออกตั้งแต่ 1วัตต์ ถึง 100วัตต์ และวงจรขยายคลาสเอ ที่กำลังด้านออก 0.03วัตต์ ถึง 2.89วัตต์ แสดงในรูปที่ 4.2

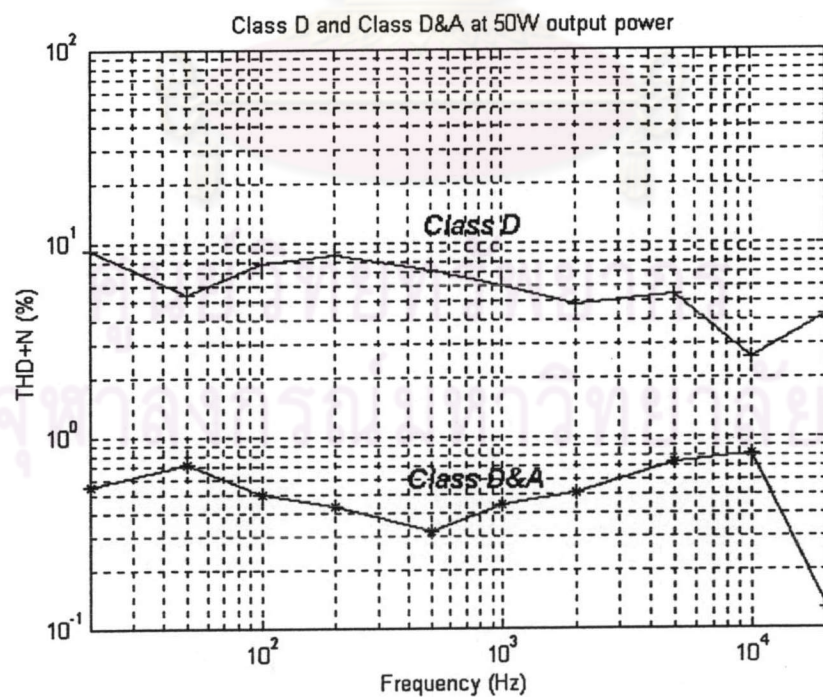


รูปที่ 4.2 ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมของวงจรขยายคลาสดี คลาสดีร่วมกับคลาสเอและคลาสเอ ที่ความถี่ 1kHz แกนนอนเป็นกำลังด้านออก P_o ต่อกำลังด้านออกสูงสุด $P_o(max)$

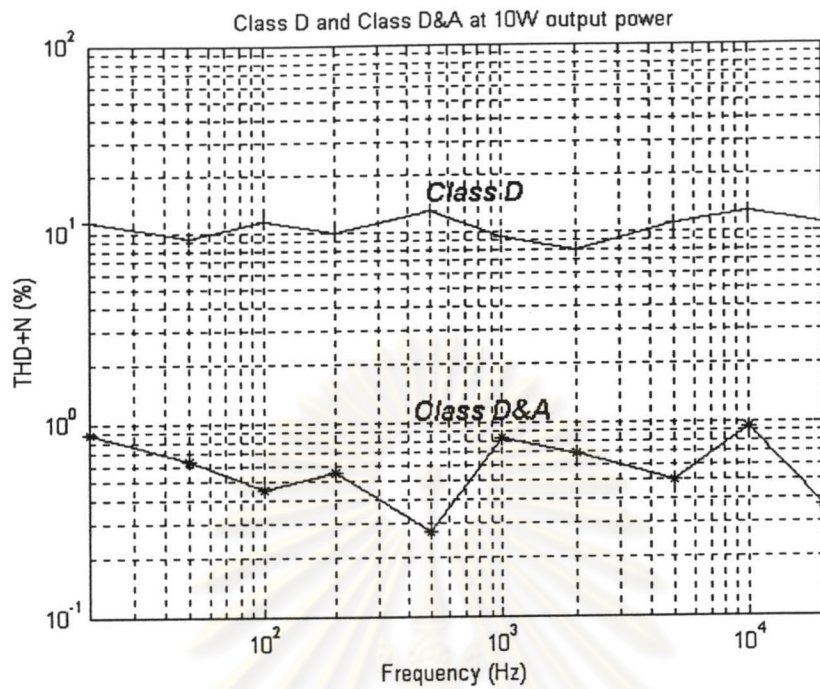
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าหลังการต่อวงจรขยายคลาสเอเข้ากับวงจรขยายคลาสดี สามารถช่วยลดค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมของวงจรขยายได้จริง ตลอดย่านกำลังออกตั้งแต่ 1 วัตต์ ถึง 100วัตต์ ของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ



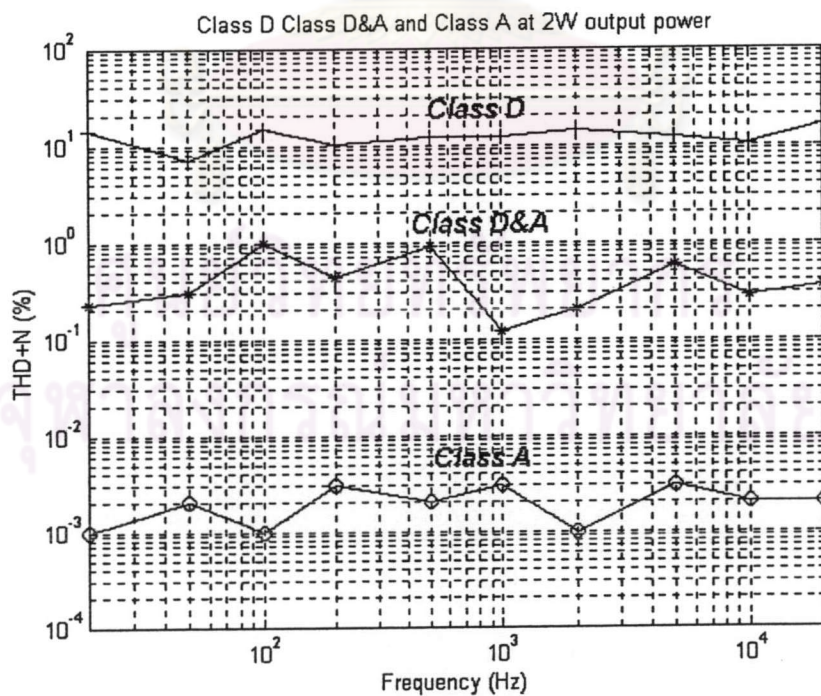
รูปที่ 4.3 ค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมในย่านความถี่เสียง 20Hz ถึง 20kHz
ที่กำลังด้านออก 100วัตต์



รูปที่ 4.4 ค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกรวมในย่านความถี่เสียง 20Hz ถึง 20kHz
ที่กำลังด้านออก 50วัตต์



รูปที่ 4.5 ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมในย่านความถี่เสียง 20Hz ถึง 20kHz ที่กำลังด้านออก 10วัตต์



รูปที่ 4.6 ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมในย่านความถี่เสียง 20Hz ถึง 20kHz ที่กำลังด้านออก 2วัตต์

4.2 ประสิทธิภาพ

ในการหาประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสนั้น จะคำนวณจากค่ากำลังด้านเข้า (P_i) และกำลังด้านออก (P_o) ซึ่งทั้งค่ากำลังด้านเข้าและกำลังด้านออกจะได้อาจจากการวัด โดยจะใช้เครื่องวัดกำลัง(Digital Power Meter , WT1030) ทำการวัดกำลังด้านเข้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงของวงจรขยายคลาสดีและกำลังด้านเข้าจากแหล่งจ่ายไฟตรงวงจรขยายคลาสดีซึ่งมีระดับแรงดันบวกและลบ ผลรวมของกำลังด้านเข้าทั้งสองจะเป็นกำลังด้านเข้ารวมทั้งหมด ส่วนกำลังด้านออกของวงจรขยายนี้จะพิจารณาจากระดับแรงดันด้านออกที่ตกคร่อมความต้านโหลดขนาด 8 โอห์ม ซึ่งวัดแรงดันจากคิวิตอลออสซิลโลสโคป (DL1540CI) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังด้านออกและแรงดันด้านออกตามสมการที่ (4.1)

$$P_o = \frac{V_o^2}{2R_L} \quad (4.1)$$

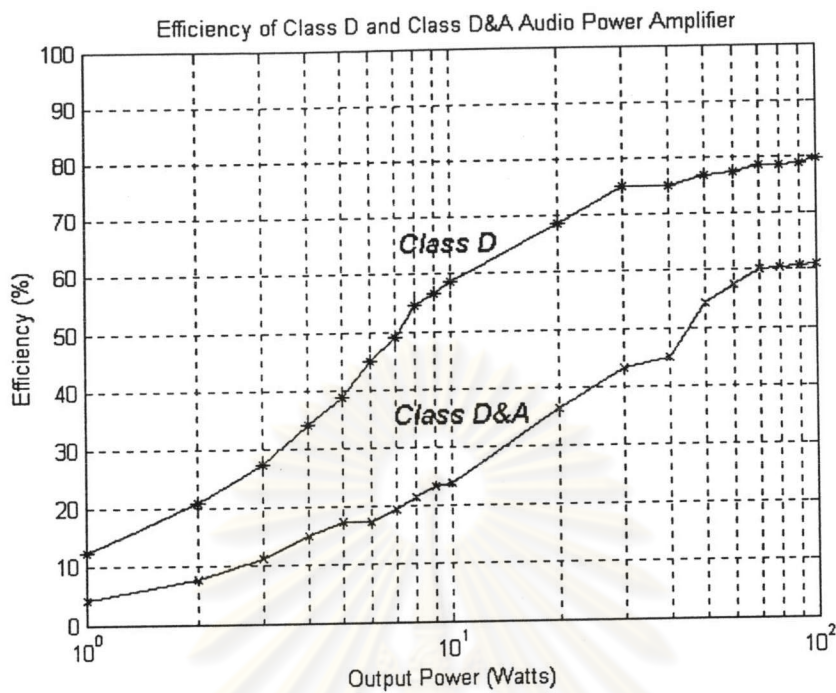
โดยที่ P_o คือ กำลังด้านออก

V_o คือ แรงดันด้านออก ที่ตกคร่อมความต้านโหลด 8 โอห์ม

R_L คือ ความต้านโหลด 8 โอห์ม

ผลการวัดประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดีและวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสดีที่กำลังด้านออกตั้งแต่ 1วัตต์ถึง 100วัตต์ โดยป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1kHz ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7

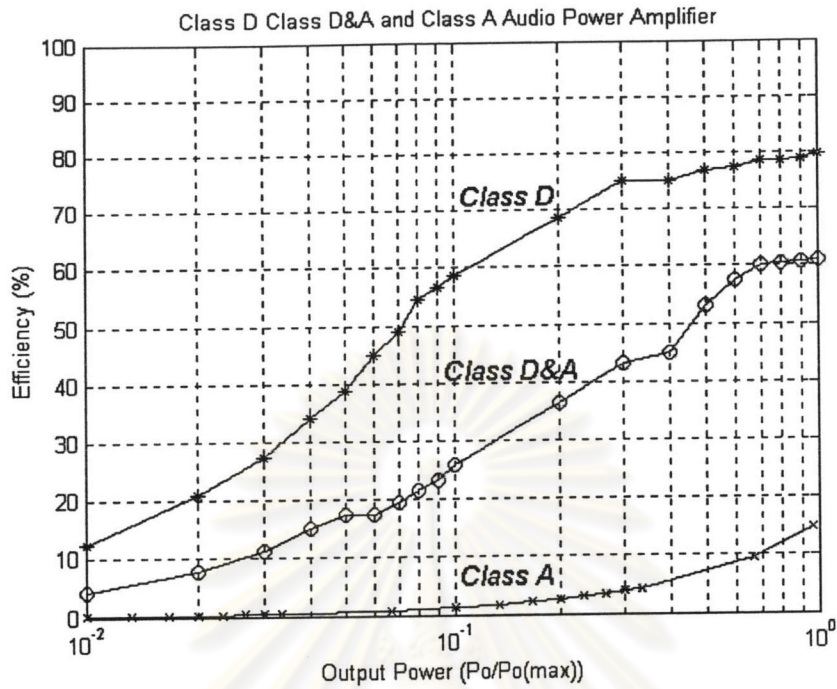
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดีและวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ
ที่กำลังด้านออก 1วัตต์ ถึง 100วัตต์ ณ ความถี่ 1kHz

จากรูปที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอจะต่ำกว่าของวงจรขยายคลาสดี อันเนื่องจากประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสเอที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรขยายทั้งสามดังรูปที่ 4.8 โดยคิดเทียบกำลังด้านออกต่อกำลังด้านออกสูงสุด (maximum output power $P_{o(max)}$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

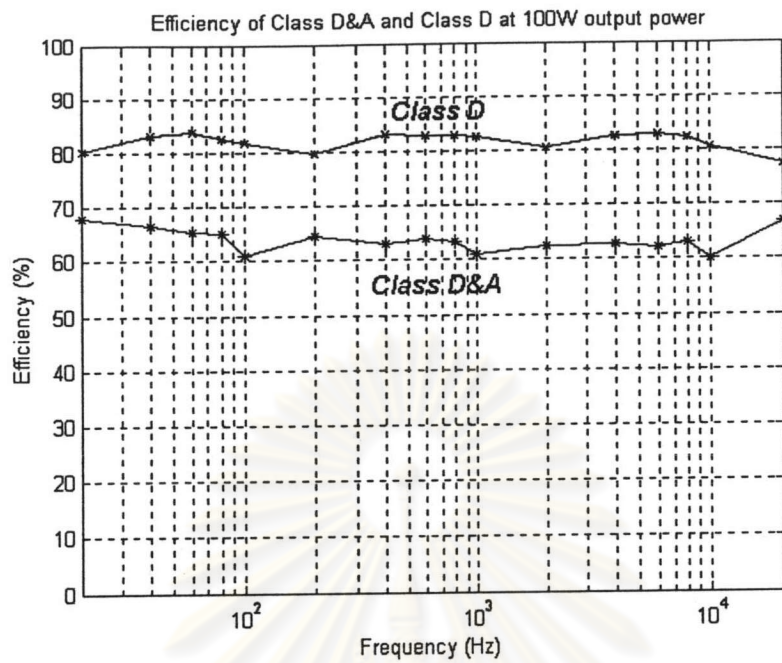


รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดี คลาสดีร่วมกับคลาสเอและคลาสเอ ที่ความถี่ 1kHz แกนนอนเทียบกำลังด้านออก P_o ต่อกำลังออกสูงสุด $P_o(\max)$

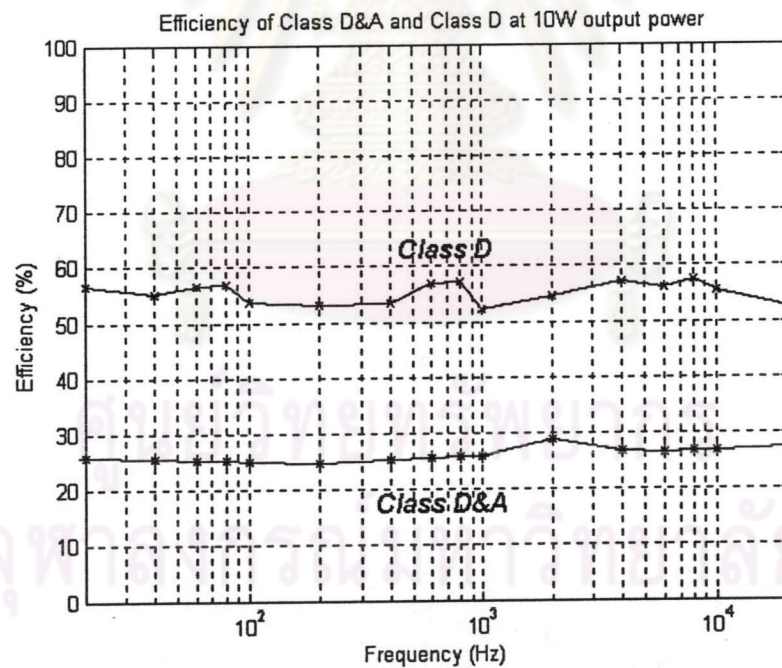
รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพของวงจรขยายทั้งสามที่กำลังด้านออกค่าต่าง ๆ โดยคิดเทียบกับกำลังออกสูงสุดที่วงจรขยายแต่ละชนิดจะจ่ายได้ $P_o(\max)$ ของวงจรขยายคลาสดี และวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอคือ 100วัตต์ ส่วนของวงจรขยายคลาสเอคือ 3 วัตต์

เมื่อทำการป้อนสัญญาณด้านเข้าในช่วงความถี่เสียง (20 Hz - 20 kHz) แล้ววัดประสิทธิภาพของวงจรขยาย โดยทำที่กำลังด้านออกคือ 10 W และ 100 W ได้ผลการทดลองที่กำลังออก 100วัตต์ ตามรูปที่ 4.9 และกำลังออก 10วัตต์ ตามรูปที่ 4.10

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพในย่านความถี่เสียง 20Hz ถึง 20kHz ที่กำลังด้านออก 100วัตต์



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพในย่านความถี่เสียง 20Hz ถึง 20kHz ที่กำลังด้านออก 10วัตต์

ที่กำลังด้านออก 10วัตต์ และ 100วัตต์ ประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาสดีเฉลี่ยประมาณ 80% และ 55% ตามลำดับ ส่วนของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับเอ ประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณ 65% และ 25% ตามลำดับ

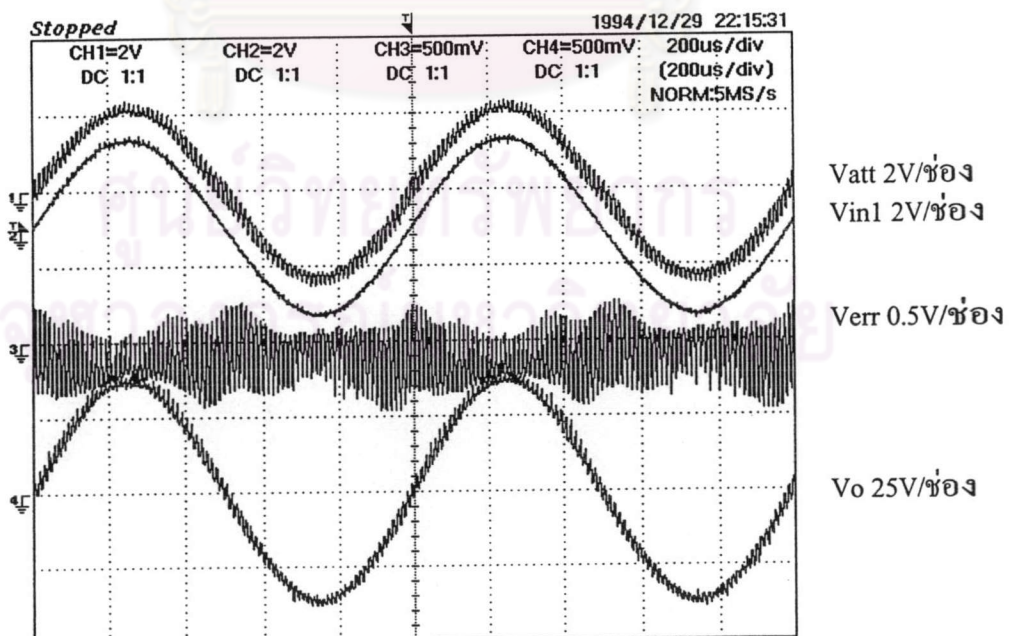
4.3 สมรรถนะด้านอื่น ๆ

เป็นการทดสอบสมรรถนะของวงจรถยาย ที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณทางเวลา เช่น เวลาหน่วง (Delay time) อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) และการเลื่อนเฟส (Phase shift) โดยการทดสอบจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือคุณสมบัติของวงจรถยาย ตามตารางที่ 4.1 โดยการทดสอบจะทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่และขนาดต่างๆ แล้วพิจารณาผลตอบสนองของวงจรถยาย

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวงจรถยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ

ลำดับ	คุณสมบัติวงจรถยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ
1	สัญญาณสามเหลี่ยม : ขนาด 3 Vp ความถี่ 80kHz
2	แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง : คลาสดี 120 V : คลาสเอ +/- 9 V
3	โหลด : ความต้านทาน 8 โอห์ม

4.3.1 ความถี่สัญญาณอ้างอิง 1 kHz ขนาด 2.48 Vp



รูปที่ 4.11 รูปคลื่นของวงจรถยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ความถี่ 1kHz

โดยที่ V_{att} คือ สัญญาณออกจากวงจรขยายคลาสดีที่ลดทอนแล้ว

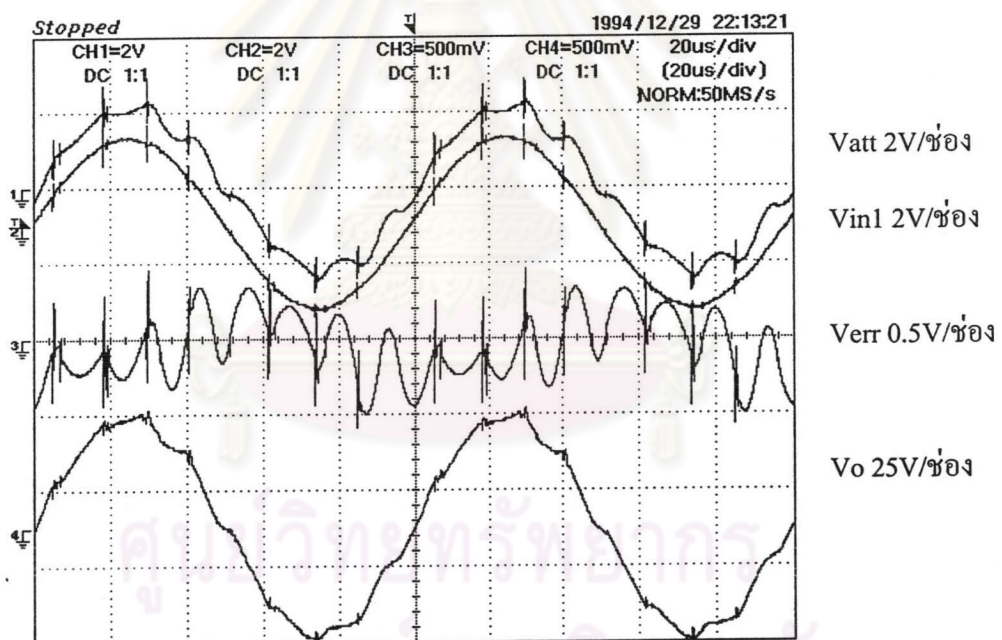
V_{in1} คือ สัญญาณเข้าที่ผ่านวงจรหน่วงเวลาแล้ว

V_{err} คือ สัญญาณผิดเพี้ยนที่ออกจากวงจรตรวจจับสัญญาณผิดเพี้ยน

V_o คือ สัญญาณออกจากวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ

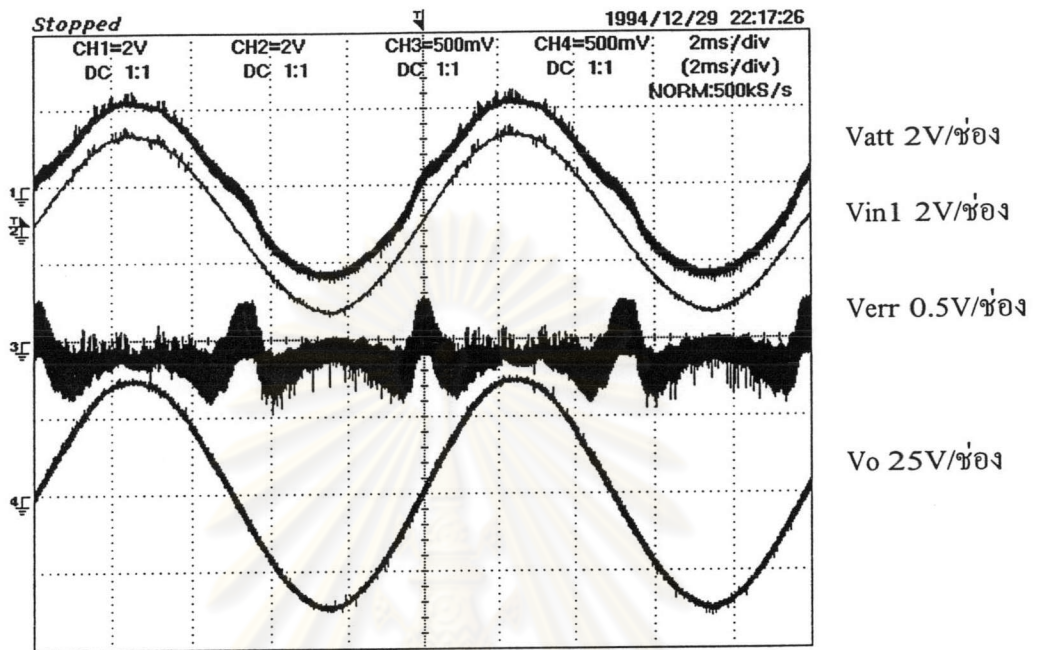
พบว่าที่ระดับสัญญาณไซน์ด้านเข้าขนาด 2.48 V_p จะให้สัญญาณออก 40 V_p หรือคิดเป็นกำลังด้านออก 100 วัตต์

4.3.2 ความถี่สัญญาณอ้างอิง 10 kHz ขนาด 2.48 V_p



รูปที่ 4.12 รูปคลื่นของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ความถี่ 10 kHz

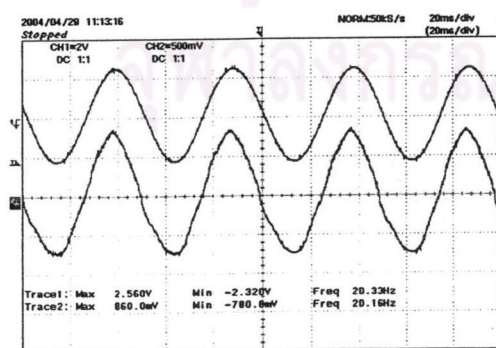
4.3.3 ความถี่สัญญาณอ้างอิง 100Hz ขนาด 2.48 Vp



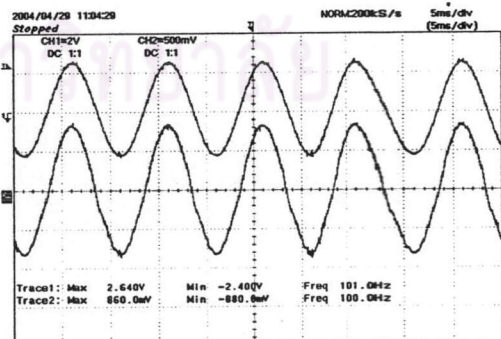
รูปที่ 4.13 รูปคลื่นของวงจรขยายคลาสิคพร้อมกับคลาสิเอ ความถี่ 100Hz

4.3.4 ผลตอบเชิงความถี่

ทำการทดสอบวงจรขยายคลาสิคพร้อมกับคลาสิเอเพื่อหาผลตอบเชิงความถี่ ที่กำลังด้านออก 100วัตต์ ในย่าน ความถี่ 20Hz ถึง 20kHz ได้ผลตามรูปที่ 4.14 โดยช่องสัญญาณที่ 1 เป็นสัญญาณด้านเข้า สเกล 2V/DIV ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 เป็นสัญญาณด้านออก สเกล 25V/DIV

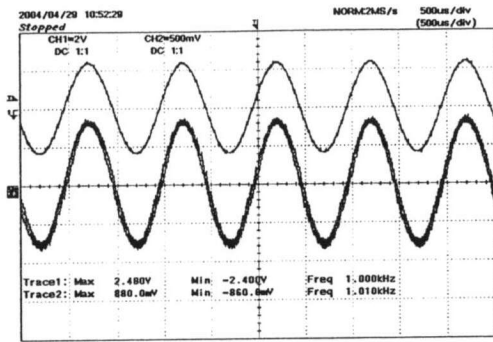


(ก) 20 Hz

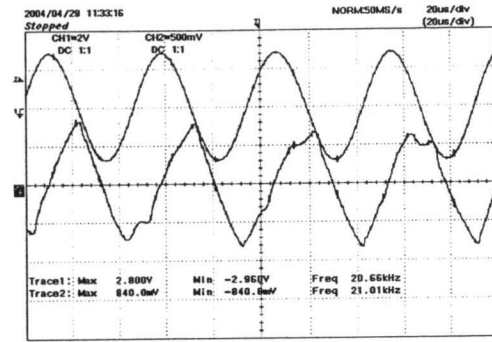


(ข) 100 Hz

รูปที่ 4.14 รูปคลื่นแรงดันด้านเข้าและด้านออกของวงจรขยายคลาสิคพร้อมกับคลาสิเอ



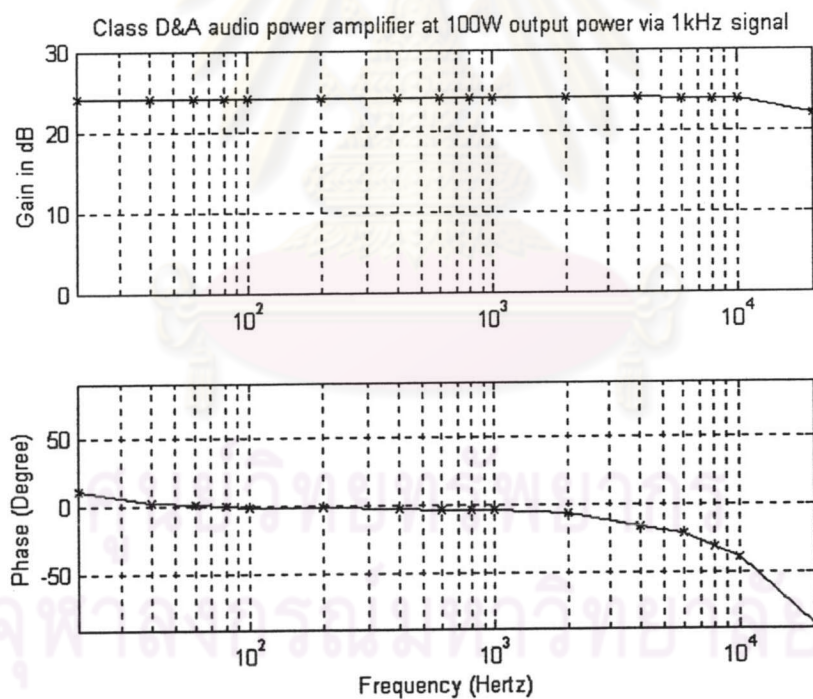
(ค) 1kHz



(ง) 20kHz

รูปที่ 4.14 รูปคลื่นแรงดันด้านเข้าและด้านออกของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ (ต่อ)

นำผลการทดสอบมาพล็อตโบเด เพื่อแสดงผลตอบเชิงความถี่ของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรขยายคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ที่กำลังด้านออก 100วัตต์

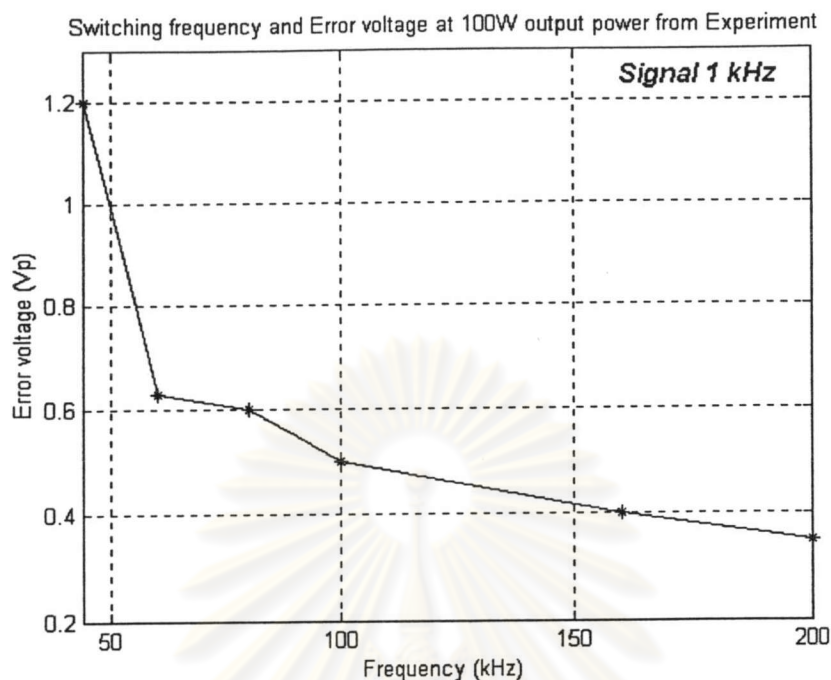
4.4 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่การสวิตช์ และ ขนาดสัญญาณผิดเพี้ยน

ทำการแปรค่าความถี่การสวิตช์ ที่ 44.1kHz 60kHz 80kHz 100kHz 160kHz และ 200kHz โดยรักษาขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมไว้ที่ 3 Vp ขนาดเวลาพัก 100nSec ระดับแรงดันไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ 120 โวลต์ สัญญาณเข้าความถี่ 1kHz โดยปรับขนาดของสัญญาณเข้าจนกว่าจะได้สัญญาณออกขนาด 40 Vp หรือเทียบได้กับกำลังออก 100 วัตต์ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่การสวิตช์และขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยน

ความถี่การสวิตช์ (kHz)	ขนาดสัญญาณผิดเพี้ยน (Vp)
44.1	1.20
60	0.62
80	0.60
100	0.50
160	0.40
200	0.35

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการเพิ่มความถี่การสวิตช์ขึ้นสามารถลดขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยนได้ เนื่องจากองค์ประกอบการสวิตช์จะถูกวงจรกรองผ่านตัว LC ลดทอนจนมีขนาดเล็กมากที่ความถี่สูง แต่การเพิ่มความถี่การสวิตช์ไม่เป็นผลดีในแง่ประสิทธิภาพของระบบเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสวิตช์มากขึ้น จากตาราง 4.2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟเส้นดังรูปกราฟที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความถี่การสวิตช์และขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยน

4.5 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาพัก(Dead time)กับขนาดสัญญาณผิดเพี้ยน

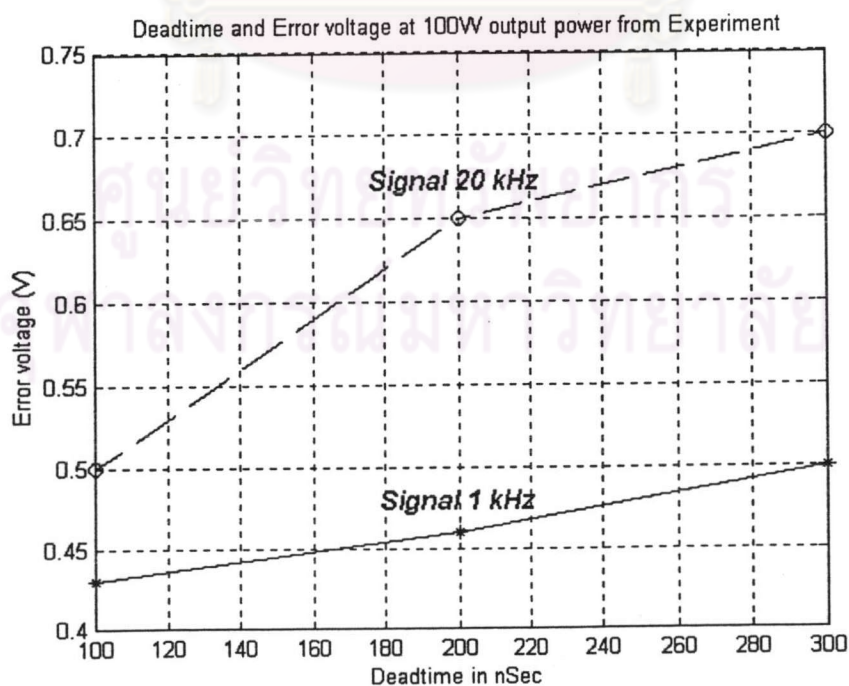
จากข้อมูลผู้ผลิตของมอสเฟตกำลังเบอร์ IRF840 มีพิกัดแรงดัน 500 โวลต์ กระแสสูงสุด 8 แอมป์ เวลาเริ่มนำกระแสสูงสุด 42 nSec เวลาหยุดนำกระแสสูงสุด 30 nSec จึงเลือกที่จะตั้งเวลาพักให้มากกว่า 42 nSec เพื่อป้องกันการทะลุผ่าน (Shoot through) ของกึ่งแรงดันไฟตรงด้านบนและด้านล่าง แต่การตั้งเวลาพักไว้มากเกินไปจะทำให้สัญญาณออกมีขนาดเล็กลง รวมทั้งขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยนย่อมจะมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรมีการเลือกเวลาพักให้เหมาะสม ดังนั้นภายหลังจากที่ได้ออกแบบระบบขับนำเกทและสวิตช์ควรจะทดสอบว่าค่าควรตั้งเวลาพักเท่าไร

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาพักและขนาดสัญญาณผิดเพี้ยน จึงทำการแปรค่าเวลาพัก ที่ 300nSec 200nSec และ 100nSec โดยรักษานขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมไว้ที่ 3 Vp ความถี่การสวิตช์ 80kHz สัญญาณเข้าความถี่ 1kHz และ 20kHz ขนาดประมาณ 2.4 Vp ระดับแรงดันไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ 120 โวลต์ ขณะทดลองจะปรับขนาดของสัญญาณเข้าจนกว่าจะได้สัญญาณออก 40Vp หรือเทียบได้กับกำลังออก 100 วัตต์ เนื่องจากโดยปกติยิ่งเราลดเวลาพักลงแรงดันออกจะเพิ่มขึ้นจึงต้องทำการควบคุมกำลังออกแต่ละการทดลองให้เท่ากัน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง
เวลาพักและขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยน

เวลาพัก (nSec)	ขนาดสัญญาณผิดเพี้ยน (V)	
	1 kHz	20 kHz
100	0.43	0.5
200	0.46	0.65
300	0.5	0.7

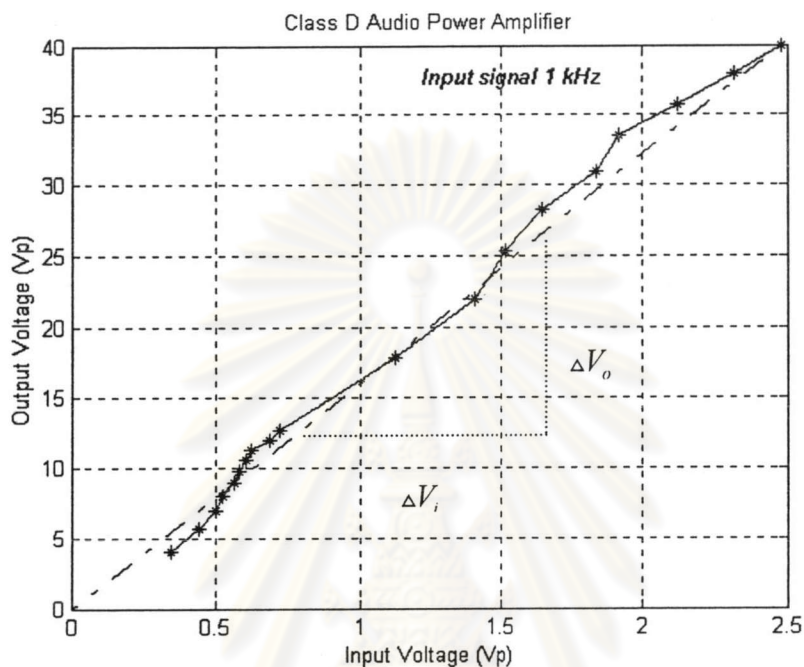
จากตารางที่ 4.3 พบว่าทั้งผลการจำลองและผลการทดลองสอดคล้องในแง่การลดเวลาพักแล้วขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยนเล็กน้อย อธิบายได้จากการที่เวลาพักเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีกรับนำสวิตซ์ไวงาน ดังนั้นแรงดันด้านออกจะขึ้นกับทิศของกระแสไหลลงจะทำให้ไดโอดที่ขนานกับสวิตซ์ไวงานกึ่งใดทำงาน ซึ่งถ้าไดโอดดังกล่าวทำงานย่อมทำให้แรงดันด้านออกมีค่าเท่ากับกึ่งของแรงดันไฟตรงที่ไดโอดนั้นต่ออยู่ด้วย แต่ความแตกต่างของผลการจำลองและผลการทดลองจะเป็นแง่ของขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยนจากการทดลองจะมีขนาดใหญ่กว่าการจำลอง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากเครื่องมือวัดและความไม่เป็นอุดมคติของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร จากตาราง 4.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟเส้นดังรูปกราฟที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาพักและขนาดของสัญญาณผิดเพี้ยน

4.6 ผลการทดสอบเพื่อหาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย

ทำการป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz ค่าต่าง ๆ ให้กับ วงจรขยายคลาสดี แล้ว วัดขนาดสัญญาณด้านออก นำค่าที่ได้มาหาอัตราขยายสัญญาณ ได้ผลตามรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้าและแรงดันด้านออก ที่ความถี่ 1kHz

นำค่าขนาดสัญญาณด้านเข้า (V_i) และสัญญาณด้านออก (V_o) จากรูปที่ 4.18 มาประมาณอัตราขยายแรงดัน (A_v) ได้ค่าอัตราขยายแรงดัน 16.129 เท่า ดังสมการที่ (4.2)

$$A_v = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \frac{40}{2.48} = 16.129 \quad (4.2)$$

4.7 ผลการทดสอบกับสัญญาณเสียง

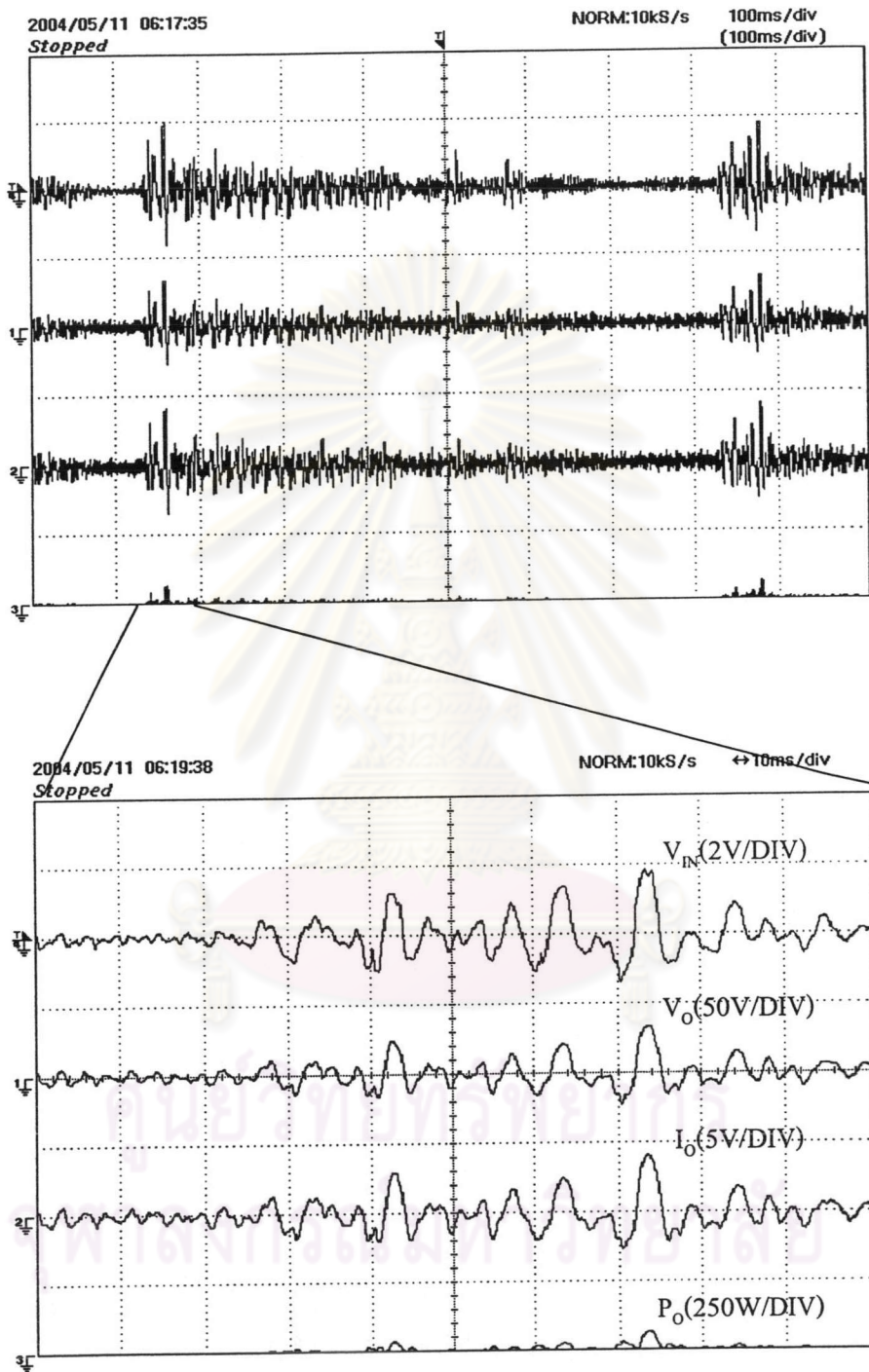
ทำการป้อนสัญญาณเสียงเข้าไปแล้ววัดแรงดันด้านเข้า แรงดันด้านออก กระแสด้านออก แล้วคำนวณกำลังด้านออกด้วยออสซิลโลสโคป ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.19

โดยที่ V_{IN} คือแรงดันด้านเข้า (V)

V_o คือแรงดันด้านออก (V)

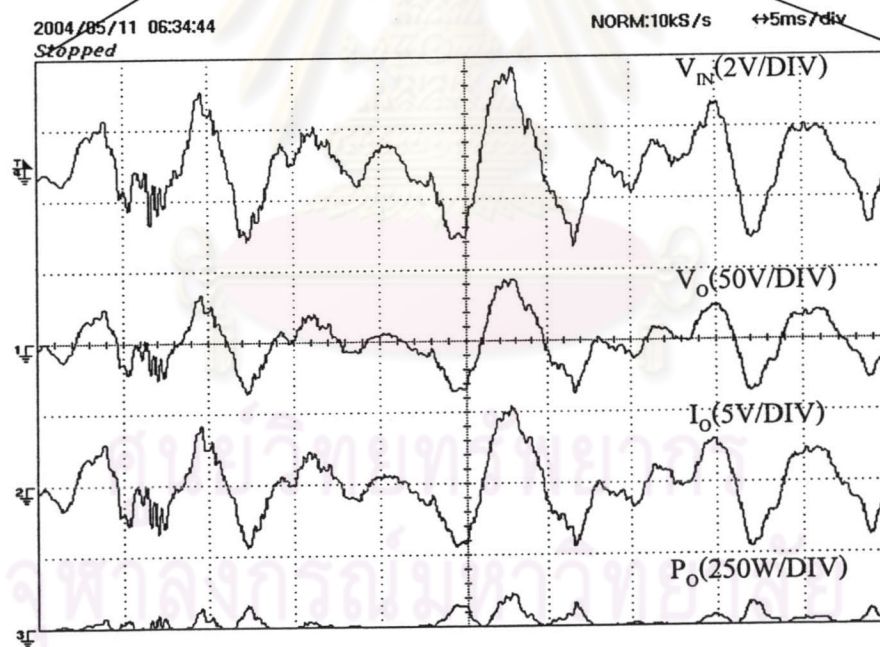
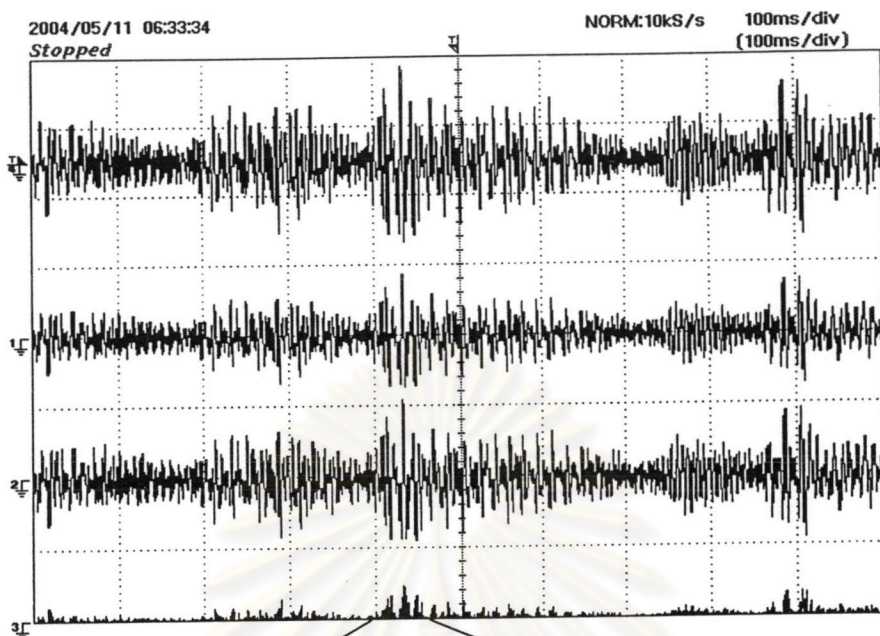
I_o คือกระแสด้านออก (A)

P_o คือกำลังด้านออก (W) จาก $P_o = V_o \times I_o$ อาศัยการคำนวณจากออสซิลโลสโคป



(ก)

รูปที่ 4.19 รูปคลื่นของวงจรขยายเสียงคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ทดสอบด้วยสัญญาณเสียง



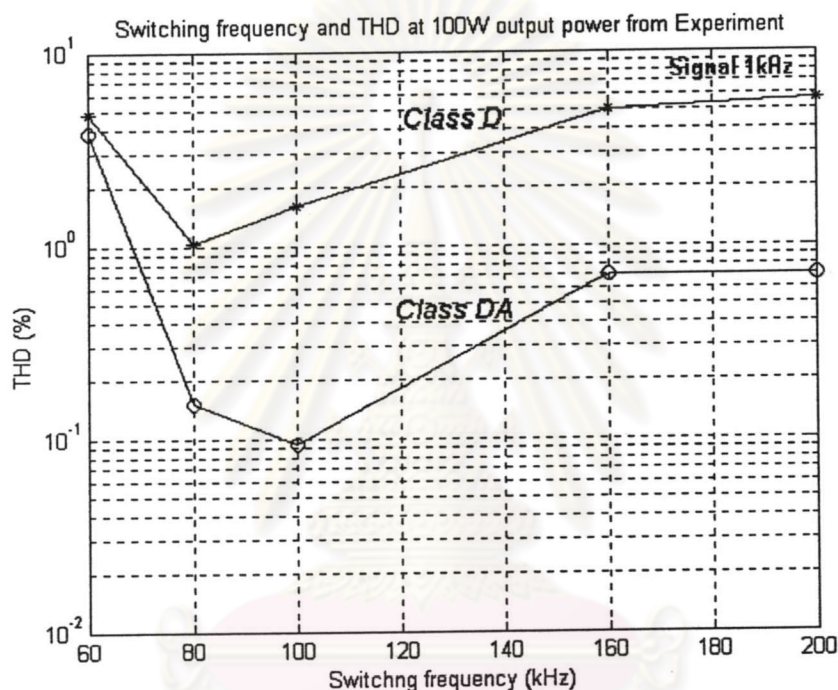
(ข)

รูปที่ 4.19 รูปคลื่นของวงจรขยายเสียงคลาสดีร่วมกับคลาสเอ ทดสอบด้วยสัญญาณเสียง

(ต่อ)

4.7 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่การสวิตช์และค่าTHD

ทำการแปรค่าความถี่การสวิตช์ของวงจรขยายคลาสดีและวงจรขยายคลาสดีเอที กำลังด้านออก 100วัตต์ สัญญาณ 1kHz เวลาพัก 100mSec เลือกค่าที่ต่ำสุด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของมอสเฟต IRF840 แล้ววัดค่า THD ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.20

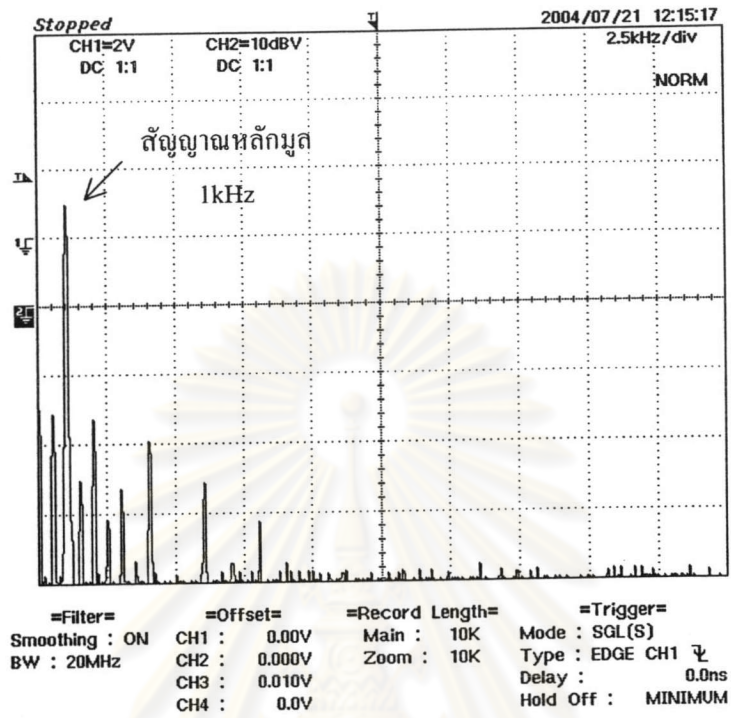


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่การสวิตช์กับค่าTHD จากการทดลอง

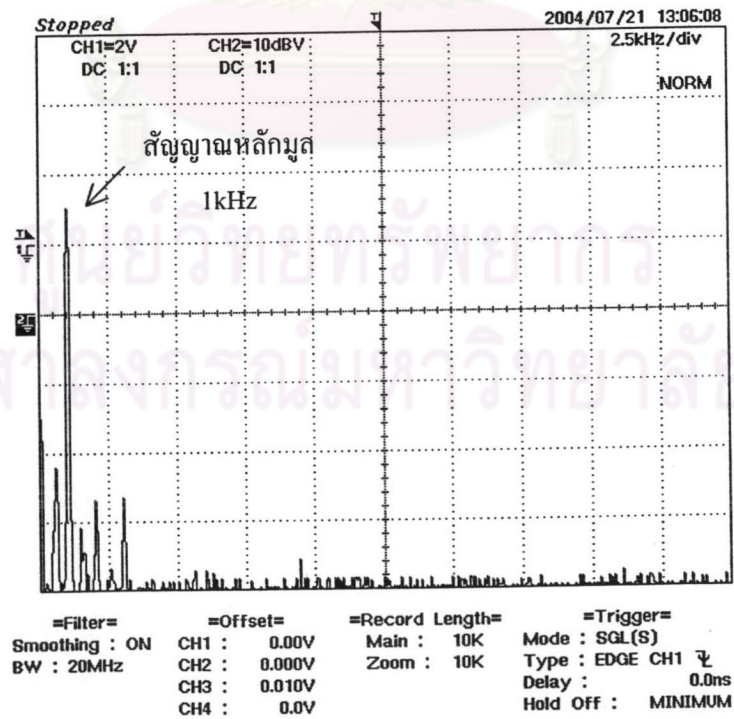
จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าพบว่าค่า THD ไม่ได้ขึ้นกับความถี่การสวิตช์โดยตรง ดังนั้นความพยายามที่จะลดค่า THD ด้วยการเพิ่มความถี่การสวิตช์แต่เพียงอย่างเดียว จะทำได้เพียงการลดองค์ประกอบค่าระลอกของความถี่การสวิตช์ในแรงดันด้านออกของวงจรขยาย แต่องค์ประกอบแรงดันผิดเพี้ยนอื่น ๆ ไม่สามารถลดลงได้ นั่นหมายความว่า ที่ความถี่การสวิตช์สูง โดยที่เวลาพักยังเท่าเดิม สัดส่วนเวลาพักต่อคาบการสวิตช์ย่อมมากขึ้นด้วย THD ของวงจรขยายย่อมสูงตาม ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยโครงสร้างใหม่ของวงจรขยายคลาสดีที่เสนอ พิจารณาจากเส้นกราฟ Class DA (ล่าง) เปรียบเทียบกับวงจรขยายคลาสดีที่กำลังออกและความถี่การสวิตช์เดียวกัน

รูปที่ 4.20 แสดง FFT ของวงจรขยายคลาสดี (ก่อนการชดเชย) และ รูปที่ 4.21 แสดง FFT ของวงจรขยายคลาสดีเอ (หลังการชดเชย) ที่ความถี่การสวิตช์ 100kHz

ความถี่การสวิตช์ 100kHz



รูปที่ 4.21 FFT ของวงจรถ่ายคลาสดี THD 1.622% (ก่อนการชดเชย)



รูปที่ 4.22 FFT ของวงจรถ่ายคลาสดีเอ THD 0.094% (หลังการชดเชย)