บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ (Switching audio power amplifier) กำลังอยู่ในความสนใจของนักวิจัยหลายแห่งที่ตั้งใจจะนำมาแทนที่วงจรขยายเสียงแบบเชิงเส้น (Linear audio power amplifer) ด้วยคุณสมบัติเด่นในเรื่องประสิทธิภาพสูงและขนาดที่เล็กลง จึงเหมาะกับงานที่มีขีดจำกัดในเรื่องพลังงานแหล่งจ่ายและพื้นที่สำหรับการติดตั้งวงจรขยายเสียง เช่นในรถยนต์หรือพาหนะอื่น ๆ และ ในการออกหน่วยเคลื่อนที่ในถิ่นทุรกันดารของบางหน่วยราชการ วงจรขยายเสียงที่มีประสิทธิภาพสูงและคุณภาพเสียงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางย่อมเป็นที่ต้องการ วงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับงานดังกล่าว นอกจากนี้ทิศทางในอนาคตอันใกล้ผู้บริโภคจะอยู่ในโลกของดิจิตอลเป็นส่วนใหญ่ เช่นระบบโทรศัพท์มือถือ ระบบโฮมเธียเตอร์ ระบบอินเตอร์เนต และระบบมัลติมีเดียต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้วงจรขยายสัญญาณเสียงที่มีความใกล้ชิดกับระบบดิจิตอลอย่างวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์จึงมีความเหมาะสมกับงานดังกล่าวมากกว่าวงจรขยายเสียงแบบเชิงเส้นเช่นกัน แต่ด้วยคุณภาพเสียงที่อาจจะด้อยกว่าวงจรขยายแบบเชิงเส้นอยู่ จึงได้มีงานศึกษาวิจัยหลายฉบับพยายามที่จะปรับปรุงคุณภาพสัญญาณขาออกของวงจรขยายเสียงให้ดีขึ้นในหลากหลายวิธี เป็นต้นว่า การปรับเปลี่ยนระดับแหล่งจ่ายสำหรับวงจรขยายให้มีหลายระดับทั้งแบบขั้น (Step level) และ แบบต่อเนื่อง (Continuous level) ตามขนาดของสัญญาณขาเข้า

วงจรขยายเสียงคลาสดี (Class-D audio power amplifier) เป็นวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ชนิดหนึ่ง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกมาทำวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณด้านออก ปกติแล้วสัญญาณด้านออกของวงจรขยายคลาสดีจะประกอบด้วยสัญญาณหลักมูลหรือสัญญาณความถี่ที่มอดูเลต สัญญาณความถี่การสวิตช์ และสัญญาณผิดเพี้ยนอื่น ๆ ซึ่งในทางอุดมคติแล้วเราต้องการสัญญาณออกที่มีแต่สัญญาณหลักมูลอย่างเดียว แต่ในทางปฏิบัติยังเหลือองค์ประกอบสัญญาณความถี่การสวิตช์อยู่อันเนื่องจากขีดจำกัดด้านความสามารถของวงจรกรองผ่านต่ำ สัญญาณผิดเพี้ยนส่วนหนึ่งจะเกิดจากผลของเวลาพัก (dead time) ของสวิตช์ ซึ่งสามารถประมาณแรงดันผิดเพี้ยนส่วนนี้ได้จากสมการที่ 1.1

$$\Delta V_o = (\frac{\Delta t}{T})V_s \qquad (1.1)$$

โดยที่ ΔV_o คือ แรงดันผิดเพี้ยนด้านออกวงจรขยายคลาสดี

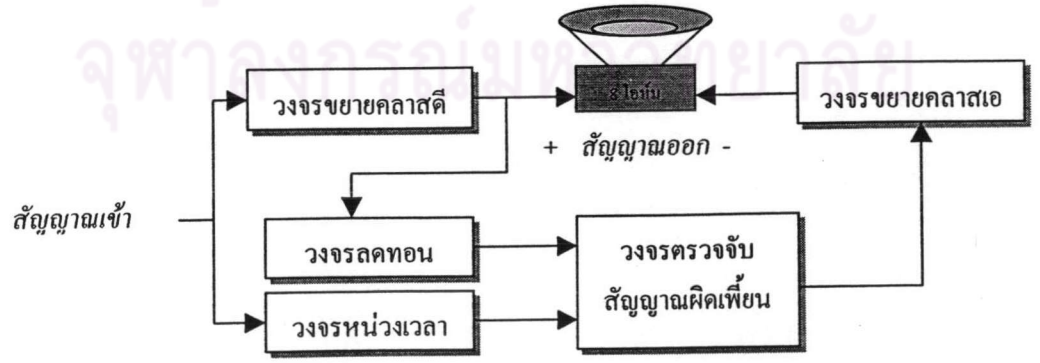
Δt คือ เวลาพัก

T คือ คาบการสวิตช์

V_s คือ แรงดันแหล่งจ่ายไฟตรงวงจรอินเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรขยายเสียงโดยทั่วไปจะเน้นถึงอัตราขยายที่ราบเรียบ การเลื่อนเฟสแปรตามความถี่แบบเชิงเส้น (Linear phase shift) และความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion หรือ THD) ต่ำ ในอุดมคติ เราสามารถสร้างวงจรขยายคลาสดีที่ปราศจากความเพี้ยนได้โดยเลือกความถี่การสวิตช์ที่สูงเป็นอนันต์และเวลาพัก(Δt)เข้าใกล้ศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความถี่การสวิตช์สูงเป็นอนันต์และเวลาพักเป็นศูนย์ได้เนื่องจากขีดจำกัดของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง อีกทั้งกำลังสูญเสียจากการสวิตช์จะสูงเป็นอนันต์เช่นกัน ดังนั้นการเลือกความถี่การสวิตช์จึงจำเป็นต้องพิจารณาความต้องการและข้อจำกัดต่างๆ ประกอบกัน ทั้งนี้ ความถี่การสวิตช์ต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ต้องการขยาย ยิ่งความถี่การสวิตช์สูงอันดับของวงจรกรองผ่านต่ำก็สามารถลดต่ำลงได้ทำให้เกิดผลดีคือง่ายต่อการสร้างและลดปัญหาการเลื่อนเฟสบริเวณความถี่สูง

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะเสนอแนวทางปรับปรุงคุณภาพสัญญาณออกจากวงจรขยายเสียงคลาสดี (Class-D audio amplifier) โดยการนำวงจรขยายคลาสเอมาร่วม ภาพรวมวงจรขยายของงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 1.1 หลักการที่สำคัญของแนวคิดนี้คือ สัญญาณเสียงจะถูกขยายโดยวงจรขยายเสียงคลาสดีเป็นหลัก ซึ่งสัญญาณออกจากวงจรขยายคลาสดีจะมีองค์ประกอบสัญญาณผิดเพี้ยนปนอยู่ สัญญาณออกนี้จะถูกแบ่งเป็นสองทาง ทางหนึ่งนำไปป้อนที่ขาข้างหนึ่งของโหลด (ลำโพง) อีกทางหนึ่ง จะนำไปแยกองค์ประกอบสัญญาณผิดเพี้ยน แล้วนำไปผ่านวงจรขยายคลาสเอ ด้วยอัตราขยายที่กว้างและราบเรียบของวงจรขยายคลาสเอจึงสามารถครอบคลุมองค์ประกอบสัญญาณผิดเพี้ยนที่สำคัญได้ สัญญาณที่ออกจากวงจรขยายคลาสเอจะถูกป้อนเข้าอีกขาที่เหลือของโหลด ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองข้าง ซึ่งจะมีรูปร่างสัญญาณที่ใกล้เคียงกับสัญญาณขาเข้า



รูปที่ 1.1 ภาพรวมวงจรขยายในงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาแนวทางปรับปรุงสมรรถนะของวงจรขยายเสียงคลาสดีเพื่อลดค่า THD โดยการนำองค์ประกอบสัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปผ่านวงจรขยายคลาสเอ แล้วนำไปหักล้างกับสัญญาณที่ออกจากคลาสดีที่มีองค์ประกอบสัญญาณที่ผิดเพี้ยนเพื่อให้สัญญาณที่ตกคร่อมลำโพงมีรูปร่างใกล้เคียงกับสัญญาณขาเข้าอันเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของวงจรขยายเสียง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างวงจรขยายเสียงคลาสดีกำลังออกประสิทธิผล 100วัตต์ โหลด 8 โอห์ม
2. วงจรขยายมีผลตอบเชิงความถี่ 20Hz - 20kHz
3. ค่าผลรวมของความผิดเพี้ยน(THD)ไม่เกิน 1% (ขณะจ่ายกำลัง 10W - 100W)
4. ศึกษาความสัมพันธ์ของความถี่การสวิตช์คลาสดีและแรงดันแหล่งจ่ายของวงจรขยายคลาสเอและประสิทธิภาพ

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาและออกแบบวงจรคลาสดีและวงจรควบคุม
2. ศึกษาและออกแบบวงจรคลาสเอและวงจรควบคุม
3. จำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ , วิเคราะห์ และ ปรับปรุงให้ได้ตามเป้าหมาย
4. สร้างชุดวงจร
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
6. ประเมินผลและเขียนวิทยานิพนธ์
7. สอบวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาวิธีการออกแบบวงจรขยายเสียงคลาสดี
2. สร้างทางเลือกใหม่ในการออกแบบวงจรขยายเสียงคลาสดี
3. เรียนรู้ปัญหาการออกแบบวงจรขยายเสียงทั้งคลาสดี , คลาสเอ และแหล่งจ่ายไฟตรง
4. ประยุกต์ใช้ความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับงานด้านเครื่องเสียง
5. ผลการศึกษา วิจัยสามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย