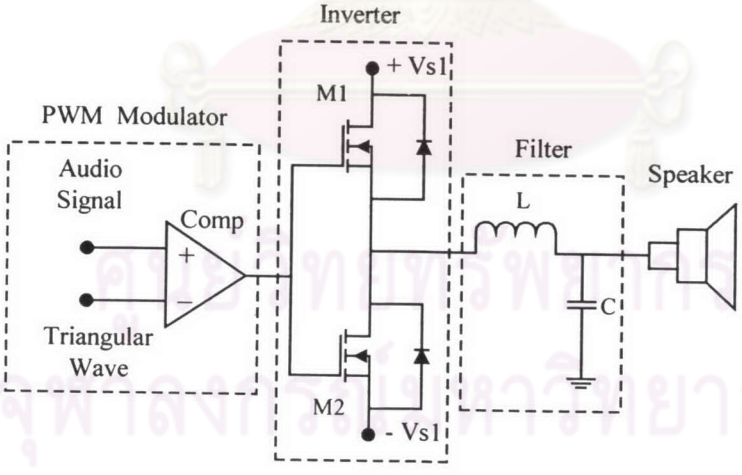
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวงจรขยายเสียงใช้วงจรขยายแบบเชิงเส้น (Linear Amplifier) ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำและขนาดใหญ่ ทำให้วงจรขยายแบบเชิงเส้นไม่เหมาะสมที่จะใช้กับงานที่ต้องการกำลังด้านออกที่สูงได้ เนื่องจากกำลังด้านออกที่สูงจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียที่มากขึ้น และยังต้องใช้ตัวระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ (Switching Amplifier) ที่มีการสูญเสียต่ำและ ขนาดเล็ก ทำให้มีผู้ศึกษาและพัฒนาวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์มากขึ้น

หลักการทำงานของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ (Class D) คือ การนำสัญญาณเสียงไปมอดูเลตกับสัญญาณสามเหลี่ยม เพื่อแปลงเป็นสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulated Signal) สัญญาณ PWM จะถูกขยายโดยอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้รับการขยายจะถูกกรองโดยวงจรกรองผ่านต่ำเพื่อสร้างสัญญาณเสียงขึ้นมาใหม่ แล้วนำไปขับลำโพง ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ (Class D)

วงจรขยายที่ดีควรมีลักษณะดังนี้คือ อัตราขยายที่ราบเรียบ (Flat Response) ความสัมพันธ์ระหว่างการเลื่อนเฟส (Phase Shift) กับความถี่เป็นแบบเชิงเส้น ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมต่ำ (Total Harmonic Distortion ; THD)

ในทางทฤษฎี เราสามารถสร้างสัญญาณด้านออกของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ ที่ปราศจากความเพี้ยนได้ โดยการเลือกความถี่สวิตช์เป็นอนันต์ (Antonio and Rosana, 1994; Grant, 1989) แต่ในทางปฏิบัติความถี่สวิตช์จะถูกจำกัดโดยคุณสมบัติของสวิตช์กำลัง ซึ่งทำให้เกิดระลอก(Ripple)ของสัญญาณด้านออก

แนวทางในการลดทอนค่าระลอก(Ripple)ของสัญญาณด้านออกในวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ (Himmelstoss and Edelmosser, 1997) มีดังนี้

1. เลือกความถี่ในการสวิตช์ที่สูง เมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ของวงจรขยาย การเลือกความถี่ในการสวิตช์ที่สูง ทำให้ค่าระลอกของสัญญาณด้านออกมีค่าต่ำ จึงสามารถใช้วงจรกรองอันดับต่ำได้ แต่ผลที่ตามมาคือวงจรขยายมีการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์มาก เราอาจจะใช้เทคนิคเรโซแนนซ์มาช่วยลดการสูญเสียขณะสวิตช์ (Kazimierczuk, 1991) ซึ่งการวิเคราะห์วงจรและการควบคุมอาจทำได้ยากเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของลำโพง

2. เลือกวงจรกรองที่มีอันดับสูงขึ้นทำให้สามารถเลือกใช้ความถี่ในการสวิตช์ที่ต่ำลง การเลือกวงจรกรองที่มีอันดับสูงๆนั้นจะช่วยลดทอนค่าระลอกของสัญญาณด้านออกลงได้มาก แต่ผลเสียก็คือทำให้เกิดการเลื่อนเฟสของสัญญาณด้านออกบริเวณความถี่สูงมากตามไปด้วย

3. ใช้แหล่งจ่ายกระแสหรือแรงดันที่มีการตอบสนองทางพลวัตที่รวดเร็วเพื่อชดเชยค่าระลอกของสัญญาณ (โดยการต่อขนานหรืออนุกรมตามลำดับ) (Himmelstoss and Edelmosser, 1997; Jung, Kim and Cho, 1998; van der Zee and van Tuijl, 1999) วิธีการสุดท้ายมีข้อดีคือเราสามารถลดความถี่ในการสวิตช์ลงมาเหลือเพียงสองเท่าของแบนด์วิดท์ ทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์มีค่าลดลงเป็นอย่างมาก แต่ก็ยังมีข้อด้อยคือทำให้เกิดการสูญเสียในแหล่งจ่ายแทน และวงจรมีความซับซ้อนมากขึ้น

เนื่องจากประสิทธิภาพของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์นั้นขึ้นกับความถี่สวิตช์และแหล่งจ่ายไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นถ้าเราต้องการกำลังด้านออกที่สูงขึ้นและใช้ความถี่สวิตช์ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ของวงจรขยาย จะทำให้เกิดการสูญเสียในสวิตช์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ลดต่ำลง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงสร้างของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเป็นหลักในการขยายสัญญาณ เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ (Switching Loss) และ นำค่า

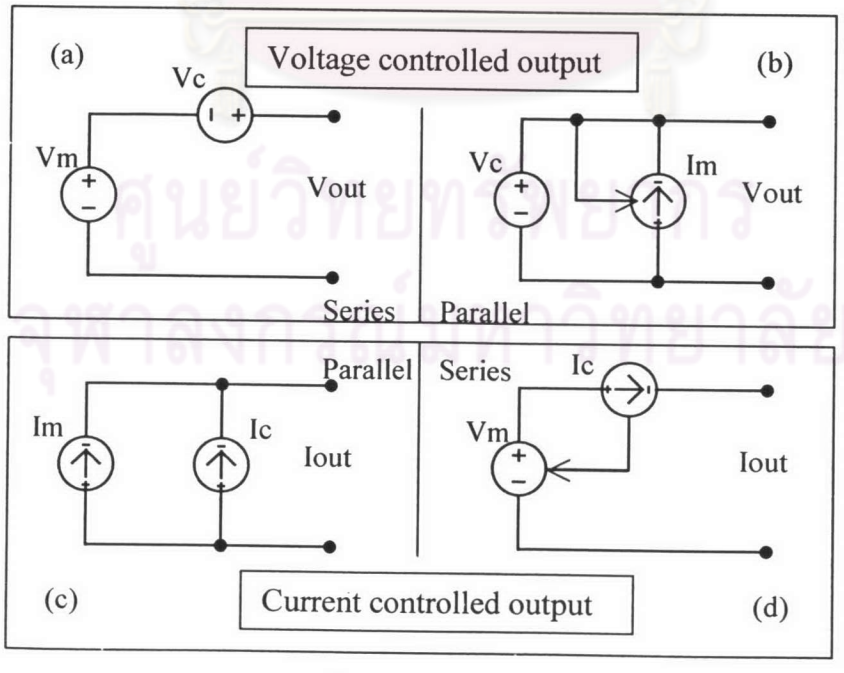
ระลอกของสัญญาณด้านออกมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์แล้วทำการขยายด้วยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงเพื่อนำไปหักล้างกับระลอกของสัญญาณด้านออกที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ

1.2 โครงสร้างต่างๆของวงจรขยายเสียง

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์มาใช้ร่วมกับวงจรขยายแบบเชิงเส้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงสร้างใหม่ของวงจรขยายที่ถูกนำเสนอโดย (Yundt, 1986) และมีคุณสมบัติที่สำคัญอยู่ 4 ประการ ดังต่อไปนี้

1. วงจรขยายหลัก (Main Amplifier) อาจจะให้สัญญาณด้านออก (Output) เป็นกระแส หรือแรงดันก็ได้
2. วงจรขยายชดเชยค่าผิดพลาด (Error Compensate Amplifier) ที่ใช้ร่วมกับวงจรขยายหลัก อาจจะให้สัญญาณด้านออก (Output) เป็นกระแสหรือแรงดันก็ได้
3. วงจรขยายทั้งสองสามารถต่อแบบอนุกรม (Series) หรือแบบขนาน (Parallel) ก็ได้
4. วงจรขยายหลักถูกควบคุมด้วยตัวแปรทางด้านออก (Output Variable) หรือ อยู่ในวงรอบ (Loop) การแปรเปลี่ยนของอิมพีแดนซ์ (Impedance) ทางด้านออก

จากคุณสมบัติทั้ง 4 ข้อที่กล่าวมานี้ ทำให้เกิดโครงสร้างพื้นฐานของวงจรขยาย 4 แบบ ซึ่งเป็นการนำวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์มาใช้ร่วมกับวงจรขยายแบบเชิงเส้น (Switch-Mode Assisted Linear Amplifier; SMALA) ดังแสดงในรูปที่ 1.2

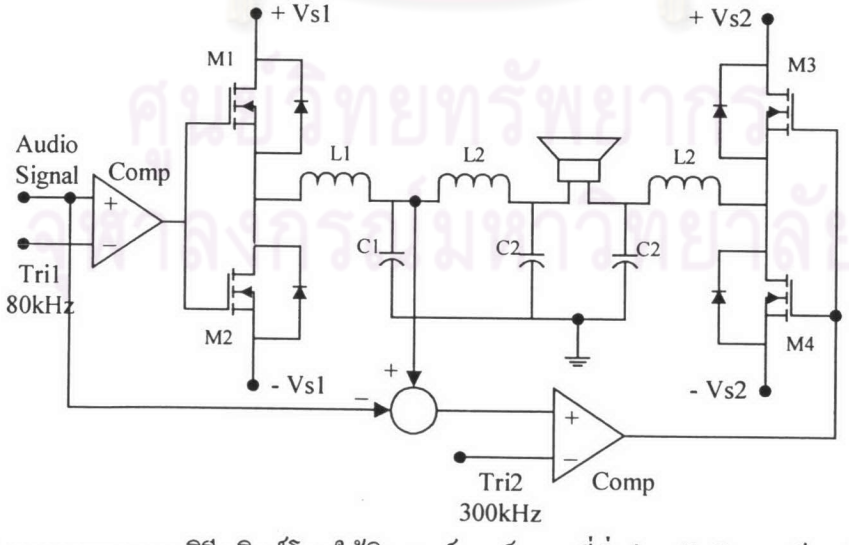


รูปที่ 1.2 โครงสร้างทั้ง 4 แบบของวงจรขยาย (SMALA)

จากโครงสร้างทั้ง 4 แบบ ในรูปที่ 1.2 นำมาซึ่งโครงสร้างใหม่ (New Topology) ของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ (Class D) โดยใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำหรือคลาสดีความถี่ต่ำ ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงหรือคลาสดีความถี่สูง โดยที่อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำเป็นวงจรขยายหลัก และอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงเป็นวงจรขยายเพื่อชดเชยค่าผิดพลาด ซึ่งแตกต่างจากโครงสร้างทั้ง 4 แบบ เนื่องจากใช้วงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ ทั้งในส่วนของวงจรขยายหลักและวงจรขยายชดเชยค่าผิดพลาด

1.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์

โครงสร้างของวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half Bridge) 2 ชุด โดยชุดแรกใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำกับแหล่งจ่ายไฟตรงค่าสูง ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายหลัก และชุดที่สองใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่สูงกับแหล่งจ่ายไฟตรงค่าต่ำ ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายชดเชยค่าผิดพลาด ซึ่งเมื่อนำอินเวอร์เตอร์ทั้งสองชุดมาทำงานร่วมกัน ทำให้สามารถมองวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ (Full Bridge) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ การนำสัญญาณเสียงไปมอดูเลตกับสัญญาณสามเหลี่ยม เพื่อแปลงเป็นสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulated Signal) สัญญาณPWM จะถูกขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้รับการขยายจะถูกกรองโดยวงจรกรองผ่านต่ำสัญญาณเสียงที่ได้จะยังคงมีความเพี้ยนอยู่ เราจะนำสัญญาณที่มีความเพี้ยนนี้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงทางด้านเข้า ค่าผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ได้จะนำไปมอดูเลตกับสัญญาณสามเหลี่ยม เพื่อแปลงเป็นสัญญาณ PWM สัญญาณPWM จะถูกขยายโดยอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง และนำไปชดเชยค่าผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำโดยการป้อนเข้าสู่ลำโพง



รูปที่ 1.3 วงจรขยายแบบวิธีสวิตช์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

1.4 วัตถุประสงค์

ศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง โดยนำสัญญาณที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำไปทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์ สัญญาณผิดเพี้ยนที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง หลังจากนั้นเราจะนำสัญญาณที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ไปทำการหักล้างกับสัญญาณที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำโดยการป้อนเข้าสู่ลำโพง

1.5 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

พัฒนาวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ที่คุณสมบัติดังนี้คือ

1. Bandwidth 20Hz-20kHz
2. กำลังด้านออกประสิทธิผล 100W
3. ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม(THD) เท่ากับ 1%
4. ปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงกว่า 70% (ในขณะจ่ายกำลังสูงสุด)
5. ศึกษา การออกแบบวงจรขยาย แบบวิธีสวิตช์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เพื่อลดการสูญเสียในระบบ

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

1. ศึกษา วิธีการออกแบบวงจรขยาย แบบวิธีสวิตช์ที่เหมาะสม โดยใช้อินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำร่วมกับอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง
2. จำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์การทำงาน
3. ออกแบบวงจรขยายคลาสดีความถี่ต่ำหรืออินเวอร์เตอร์ความถี่ต่ำ
4. ออกแบบวงจรขยายคลาสดีความถี่สูงหรืออินเวอร์เตอร์ความถี่สูง
5. ทดลองสร้างวงจรในแต่ละส่วนพร้อมทั้งทดสอบการทำงาน
6. ประกอบวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกัน และทดลองเพื่อหาข้อบกพร่อง
7. ปรับปรุงการทำงานให้ได้ตามเป้าหมาย
8. ประเมินผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาการออกแบบวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์
2. เรียนรู้ปัญหาการออกแบบวงจรขยาย แบบวิธีสวิตช์ ที่ใช้คลาสดีความถี่ต่ำ ร่วมกับคลาสดีความถี่สูง
3. ผลการศึกษาและวิจัยสามารถนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย