สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบเสียงดิจิตอลประสิทธิภาพสูงสำหรับสถานที่สาธารณะ

High Efficiency Digital Public Address Sound System

ผู้วิจัย ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล

RCH
TK
5103.75
ด1435

สขหมู่.....
เลขทะเบียน.....114507
วัน,เดือน,ปี.....20 ส.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b.12292072
i.....

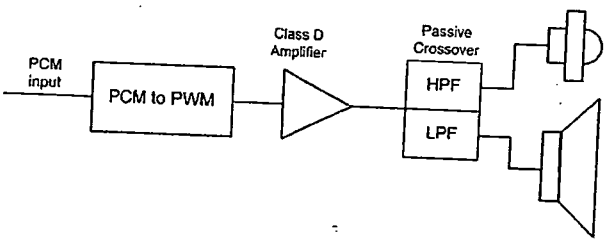
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

ระบบเสียงในที่สาธารณะเป็นรูปแบบหนึ่งในการเชื่อมโยงข่าวสารโดยเฉพาะพื้นที่ชุมชนขนาดเล็กเช่นหมู่บ้านซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยบ้านล้อมรอบวัดและโรงเรียน ซึ่งเป็นระบบพื้นฐานที่สำคัญในการกระจายข่าวสารต่างๆไปสู่ชาวบ้านในชุมชน ซึ่งในระบบเดิมใช้การขยายเสียงแบบอนาลอก ผ่านสายส่ง และผ่านลำโพง ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะในการใช้งานจริงประกอบด้วยทั้งตัวขับเสียงแบบฮอนตัวเดี่ยว (single horn driver) หรือแบบหลายตัวขับเสียง (multi-driver) ในการขยายสัญญาณเสียงนั้นโดยทั่วไปการขยายสัญญาณเสียงใช้กำลังขับ(เกนการขยายสัญญาณ)ที่สูงและใช้นิยมใช้ทั้งเครื่องขยายสัญญาณเสียงแบบหลอด (Tube amplifier) หรือเครื่องขยายสัญญาณเสียงแบบโซลิดสเตทโดยใช้วิธีการไบอัสแบบคลาสบี (Class-B amplifier)หรือ คลาสเอบี (Class-AB amplifier) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการขยายสัญญาณเสียงน้อยกว่า 50 % ซึ่งหมายถึงการสิ้นเปลืองในการใช้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับมากขึ้นในการใช้งาน ในด้านเทคนิคการสร้างเครื่องขยายสัญญาณเสียงด้วยหลอดสุญญากาศ ในปัจจุบันมีราคาสูงทั้งต้นทุนในการสร้างและการซ่อมบำรุง เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่ของการสร้างขึ้นกับราคาของอุปกรณ์หลักต่างๆเช่นหลอดสุญญากาศ(Vacuum tube), หม้อแปลงแม็ทชิ่งอิมพีแดนซ์(matching impedance transformer) นอกจากนี้โครงสร้างของเครื่องมีขนาดใหญ่ ทำให้น้ำหนักมากไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย และต้นทุนของโลหะในการผลิตตัวถังทั้งแบบโลหะชุบหรืออลูมิเนียมราคาสูงมาก ในส่วนของเครื่องขยายเสียงโซลิดสเตทเช่นกัน ต้นทุนจะขึ้นกับขนาดของกำลังขยายซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดโดยตรงของหม้อแปลงในภาคจ่ายกำลังไฟฟ้าและขนาดของพื้นที่แผงโลหะอลูมิเนียมในการระบายความร้อน ซึ่งเป็นตัวกำหนดต้นทุนโดยตรง ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ต้องการลดปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างระบบเสียงสำหรับสถานที่สาธารณะโดยใช้เทคโนโลยีระบบเสียงดิจิตอลที่ให้ทั้งประสิทธิภาพสูงในการลดความสิ้นเปลืองในการใช้กำลังไฟฟ้าและต้นทุนในการสร้างหรือซ่อมบำรุงเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก โดยโครงสร้างของระบบขยายสัญญาณเสียงดิจิตอลแสดงดังรูปซึ่งแสดงสำหรับระบบเสียง 1 ด้าน (1 Channel) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในลักษณะหลายช่องสัญญาณได้ (Multi-channel) หรือในระบบเสียงรอบทิศทาง(Surround sound system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 โครงสร้างของดิจิตอลไบแอมปลิฟลายเออร์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อลดความสิ้นเปลืองของการใช้กำลังไฟฟ้าสลับโดยใช้การขยายสัญญาณแบบสวิทชิ่งคลาสดีดิจิตอลไบแอมปลิฟลายเออร์
- เพื่อลดความซับซ้อนของการคำนวณด้วยการประมวลผลแบบหลายอัตราสุ่มตัวของสัญญาณดิจิตอล PWM โดยใช้การเพิ่มความถี่สุ่มด้วยวงจรอนาล็อก
- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้กำลังต่อความผิดพลาดทางเฟสโดยใช้ตัวกรองแบบใกล้เคียงเฟสเชิงเส้นที่มีคุณสมบัติ In-phase ในช่วง crossover สำหรับตัวแบ่งความถี่แบบ 2 ทาง
- เพื่อสร้างระบบด้วยชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่และสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

ขอบเขตของโครงการวิจัย

- สร้างระบบขยายสัญญาณเสียงแบบสวิทชิ่งคลาสดีดิจิตอลไบแอมปลิฟลายเออร์ พร้อมด้วยระบบลำโพงแบบ 3 ตัวขับ(Three-way loudspeaker system) สำหรับงาน PA(Public address)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายสัญญาณเสียงคลาส-ดี (Class-D Amplifier)

การขยายสัญญาณในย่านออดิโอ (20 Hz – 20 kHz) หรือเรียกทั่วไปว่าการขยายเสียงที่ใช้โครงสร้างแบบวงจรขยายคลาส-ดีนั้น จะให้มีประสิทธิภาพในการขยายสัญญาณกำลังที่สูงกว่าวงจรขยายแบบเดิม ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ในทางปฏิบัติประสิทธิภาพจะลดเหลือประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการสูญเสียในการสวิทชิ่งและความต้านทานของตัวอินดักเตอร์ทั้งในส่วนของ Demodulation filter และตัวขับเสียง(Loudspeaker drivers) ในวงจรขยายสัญญาณทั่วไปนั้นการขยายสัญญาณจะใช้ในช่วงที่วงจรขยายมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งจะได้ผลของประสิทธิภาพมากเมื่อเราจ่ายกำลังให้แก่วงจรในช่วงดังกล่าว โดยวงจรขยายแบบคลาส-เอ จะมีประสิทธิภาพดังกล่าวเพียง 25% ของกำลังจากแหล่งจ่ายกำลังไฟในขณะที่วงจรขยายคลาส-บีมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียง 2 เท่า (50 %) เมื่อใช้งานจริงในการขยายสัญญาณเสียง

นอกจากประสิทธิภาพในการขยายสัญญาณที่ค่อนข้างต่ำแล้วในความต้องการกำลังขยายสัญญาณที่สูงขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในเชิงพานิชย์ของงาน PA แล้ว โครงสร้างแบบเดิมจะมีขนาดที่ใหญ่และมีน้ำหนักมากเนื่องจากต้องใช้ขนาดของทรานสฟอร์มเมอร์, ภาคจ่ายไฟกระแสตรง., แผงของตัวระบายความร้อนของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขนาดใหญ่ และ มีผลโดยตรงที่ทำให้ขนาดของตัวถังของเครื่องขยายดังกล่าวมีขนาดใหญ่ มีผลทำให้ราคาต้นทุนสูงขึ้นและการลดต้นทุนเพื่อแข่งขันในเชิงการตลาดทำได้ยาก ดังนั้นวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้โดยสามารถแก้ไขปัญหาหลายๆอย่างของเครื่องขยายที่ใช้โครงสร้างแบบเดิมทั้งด้านประสิทธิภาพของการขยายต่อกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย, ความต้องการกำลังขยายที่สูงขึ้น, ขนาดที่เล็กลงมาก โดยการใช้การขยายสัญญาณแบบคลาสดี ที่อาศัยการสวิทชิ่งของเพาเวอร์มอสเฟทที่ถูกควบคุมการสวิทช์ด้วยสัญญาณไบนารี่ที่แปรผันความกว้างของพัลซ์(PWM: Pulse width modulation) ตามระยะห่างระหว่างการตัดของสัญญาณอนาลอกอินพุทกับสัญญาณคลื่นพาห์รูปสามเหลี่ยม(Triangle wave)

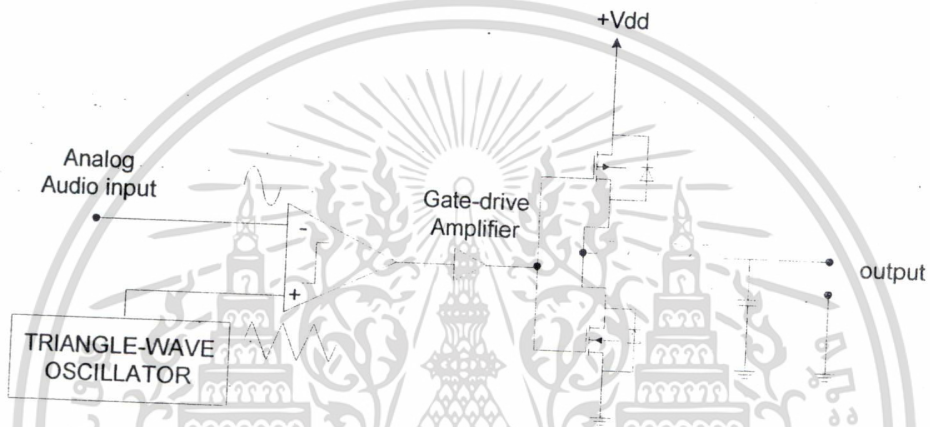
สิ่งที่น่าสนใจในวงจรขยายสัญญาณเสียงคลาส-ดีนั้นคือความซับซ้อนของวงจรขยายที่น้อยมากเมื่อเทียบกับวงจรขยายแบบเดิม โดยมีหลักพื้นฐานคือใช้การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (PWM) โดยการมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ นั้นเป็นการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่คงตัว แต่ความกว้างของสัญญาณ (Duty Cycle) นั้นมีค่าไม่คงตัว โดยขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุท เมื่อสัญญาณอินพุทมีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นความกว้างของสัญญาณก็จะเพิ่มขึ้นและจะได้ผลตรงข้ามกันเมื่อสัญญาณอินพุทมีแอมพลิจูดลดลง วงจรขยายคลาส ดี ใช้ประโยชน์จากการแปลงสัญญาณเข้าเป็นพัลส์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

PWM โดยสัญญาณพัลซ์จะเปลี่ยนแปลงค่าความ กว้างของพัลซ์โดยแปรผันตามระดับของสัญญาณอินพุทที่สุ่มได้หลังจากนั้นนำสัญญาณ PWM นี้ไปควบคุมการแบบสวิตช์เปิดปิดของเพาเวอร์มอสเฟทในภาคขยายกำลังก่อนนำไปใช้ในการขับลำโพงในระบบ โดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) หรือ Demodulation filter เพื่อทำหน้าที่แยกสัญญาณออดิโอออกจากสัญญาณ PWM ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2

จะเห็นได้ว่าภาคขยายกำลังทำหน้าที่เปิดปิด เหมือนสวิตช์เท่านั้น จึงทำให้เกิด ความสูญเสียกำลังน้อย ลงมาก สามารถลดความร้อนลงได้ แต่ข้อเสียที่สำคัญอันหนึ่งของการขยายแบบคลาสดีคือการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนในย่านความถี่วิทยุ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใช้สัญญาณ PWM แบบไบโพล่าร์สามระดับ



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการขยายสัญญาณคลาสดีแบบไม่มีการป้อนกลับ

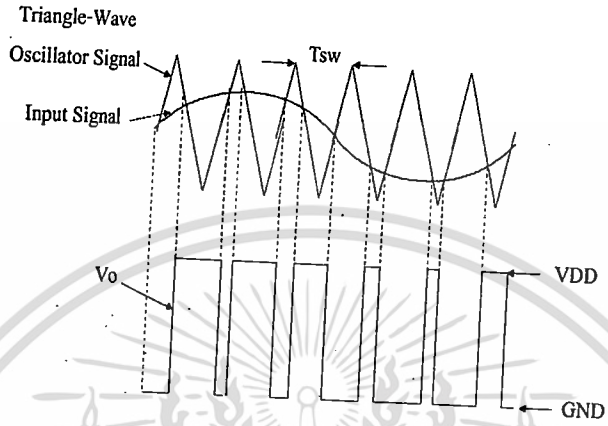
โครงสร้างของวงจรขยายสัญญาณเสียงคลาสดี

โครงสร้างอย่างง่ายของวงจรขยายสัญญาณเสียงคลาสดีนั้น มี 2 แบบ คือ แบบฮาร์ฟบริดจ์ (Half-Bridge : สำหรับเอาท์พุท 2 สัญญาณ) และแบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge : สำหรับเอาท์พุท 4 สัญญาณ) ซึ่งในแต่ละแบบนั้นต่างก็เหมาะกับการใช้งานที่ต่างกัน เช่น ฮาร์ฟบริดจ์ เป็นวงจรอย่างง่ายและมีความยืดหยุ่นมากกว่าวงจรขยายแบบฟูลบริดจ์ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อด้วยโครงสร้างแบบดั่งเดิม แต่มีข้อเสียคือถ้าหากมีการออกแบบและขับแรงดันไม่ถูกต้องอาจจะทำให้เกิดการปัมท์ปิ่ง (Bus Pumping) ระหว่างภาคจ่านกำลังไฟกับเพาเวอร์มอสเฟทซึ่งสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อระบบไฟเลี้ยง แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและลำโพง ส่วนอีกรูปแบบหนึ่งคือวงจรขยายสัญญาณเสียงคลาสดีแบบฟูลบริดจ์นั้น ต้องการแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรเพียงครึ่งหนึ่งของวงจรขยายสัญญาณเสียงคลาสดีแบบฮาร์ฟบริดจ์ที่ระดับกำลังงานเท่ากัน แต่วงจรนั้นมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นแต่สามารถแก้ไขปัญหาของ Bus pumping ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
114507

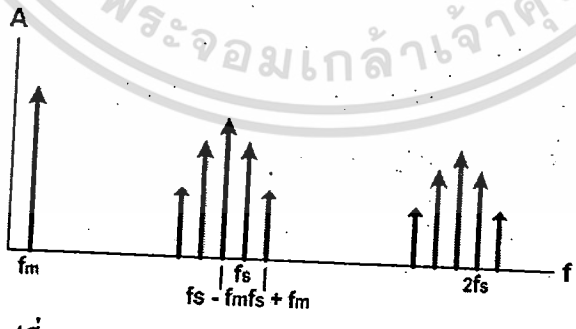
การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (PWM : Pulse Width Modulation)

การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (PWM) คือการมอดูเลตที่ทำให้เกิดสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากันทุกพัลส์ แต่มีความกว้างของพัลส์ (Duty Cycle) ในแต่ละพัลส์ต่างกัน โดยที่ความกว้างของพัลส์ จะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุท ซึ่งหากสัญญาณอินพุทมีแอมพลิจูดสูง ความกว้างของพัลส์จะมีค่ามากกว่าตอนที่อินพุทมีแอมพลิจูดต่ำ ดังรูป



รูปที่ 3 แสดงการมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์

การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (PWM) นั้นจัดเป็นการมอดูเลตแบบเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงสถานะ "ON" ของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้นั้นจะแปรผันไปตามสัญญาณอินพุทที่ถูกป้อนเข้ามา ซึ่งประโยชน์ของการเป็นมอดูเลตเชิงเส้นนั้นคือ เราสามารถทำการดีมอดูเลตได้ง่าย โดยสามารถแปลงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต มาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแล้วจะได้สัญญาณอินพุทตามเดิม สำหรับคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ต่ำที่ทำการมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ โดยกำหนดให้นำสัญญาณอินพุท (f_m) มาทำการมอดูเลตกับสัญญาณที่มีความกว้างของคลื่นพาห์มีค่าคงที่ (f_s) และสามารถแสดงการกระจายสเปกตรัมของสัญญาณ PWM ได้ดังรูปที่ 4



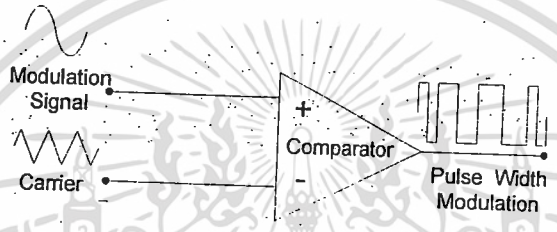
รูปที่ 4 สเปกตรัมของการมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสเปคตรัมของสัญญาณออดิโอ(fm) จะอยู่ในช่วงความถี่ต่ำเพราะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ในขณะที่สเปคตรัมของ PWM จะอยู่ที่ความถี่สูงกว่าซึ่งประกอบด้วย สเปคตรัมของสัญญาณสุ่ม(Triangle wave) และสัญญาณออดิโอ รวมทั้งเทอม Higher harmonic ของ Triangle wave

การสร้างสัญญาณมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์

เราสามารถสร้างสัญญาณมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์นั้นสามารถทำได้ โดยการนำสัญญาณอินพุทมาเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม โดยใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) ดังที่แสดงในรูปที่ 5 จากรูปสัญญาณที่ได้จะมีค่าลอจิกสูง เมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุทมีค่ามากกว่าสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

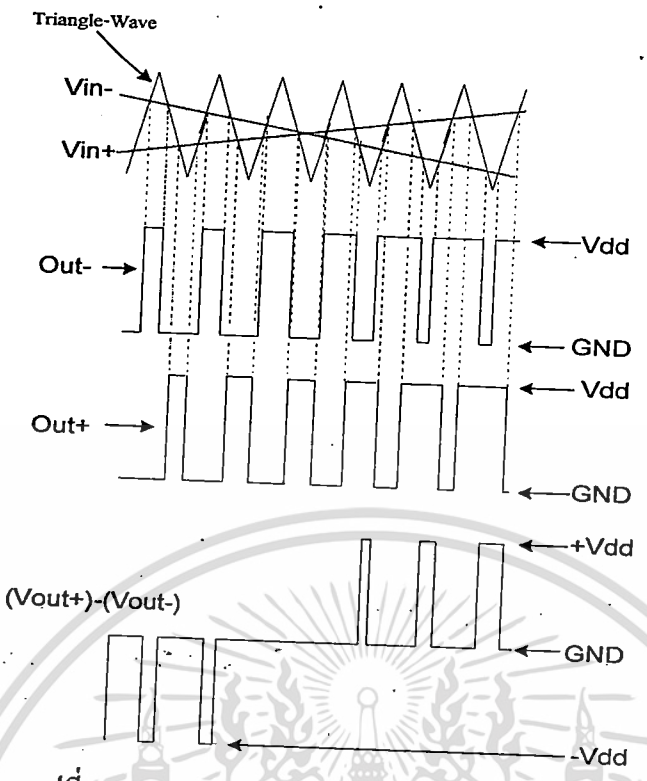


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุท กับสัญญาณพาหะ

การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์

The Pulse Center (Symmetrical PWM) เป็นการสร้างสัญญาณมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ ที่มีระยะห่างของศูนย์กลางของแต่ละพัลส์มีค่าคงที่ โดยเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุทมีค่าสูงกว่าสัญญาณพาห์ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีความกว้างพัลส์มาก และเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุทมีค่าต่ำกว่าสัญญาณพาห์ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตก็จะมีความกว้างของพัลส์ลดลง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าว่าการสร้างสัญญาณมอดูเลตแบบนี้คือจะได้พัลส์ที่เป็นสมมาตรที่จุดกึ่งกลางของสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต (รูปแสดงสัญญาณพาห์แบบสมมาตรนั้นได้แสดงตัวอย่างไว้ในรูปที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

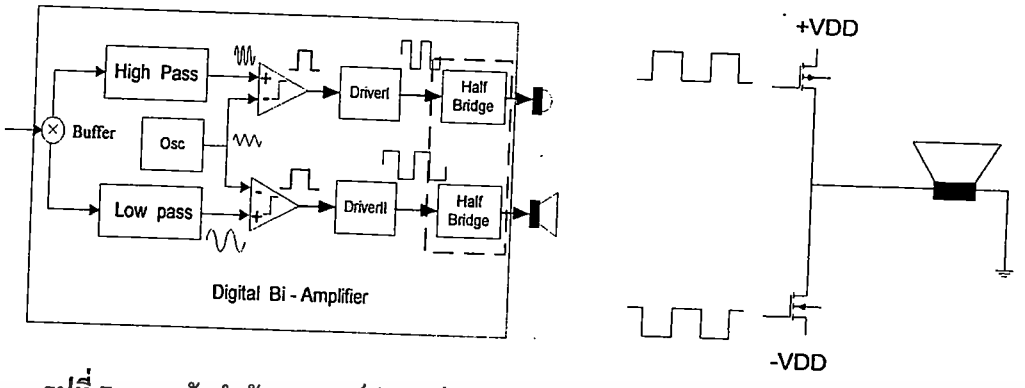


รูปที่ 6 แสดงสัญญาณ PWM แบบสมมาตรสัญญาณสามระดับ

2. วิธีการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีเป้าหมายที่ต้องการความซับซ้อนของโครงสร้างวงจรขยายต่ำและใช้งานในภาคสนามของ PA ดังนั้นจึงเลือกใช้วงจรขยายคลาวดีสวิทชิ่งที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้การออสซิเลทด้วยตัวเอง(Closed-loop control PWM with self-oscillation) หรือเรียกอย่างสั้นว่า Self-Oscillation PWM(SOPWM) และใช้การแบ่งช่วงความถี่สำหรับการขยายออกเป็น 2 ช่วงคือความถี่ต่ำและความถี่สูงด้วยวงจรกรองความถี่แบบคู่ที่ให้ผลตอบสนองเฟสใกล้เคียงเชิงเส้นเพื่อลดเทอมสูญเสียของการต่างเฟสโดยเรียกระบบนี้ว่า ดิจิตอลไบแอมปลิพลายเออร์ (DBA: Digital Bi-amplifier) [8-9] แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 วงจรขับกำลังแบบฮาร์ฟบริจด์(HB Power stage) สำหรับระบบดิจิตอลไบแอมป์

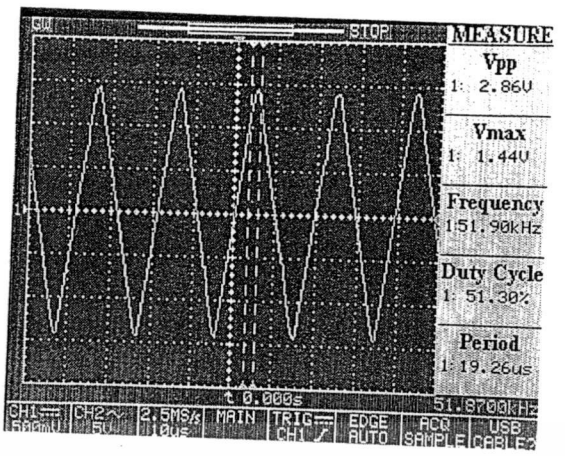
โดยข้อดีของโครงสร้างในรูปที่ 7 มี 2 ข้อคือ การกำเนิดความถี่ของวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมสามารถแยกเป็นอิสระจากกันทำให้การนบกวนในช่วงความถี่ต่ำและสูงสามารถลดเป็นอิสระจากกันได้ และผลของโหลดอิมพีแดนซ์ของตัวขับลำโพงสามารถแยกเป็นอิสระจากัน

3. ผลการวิจัย

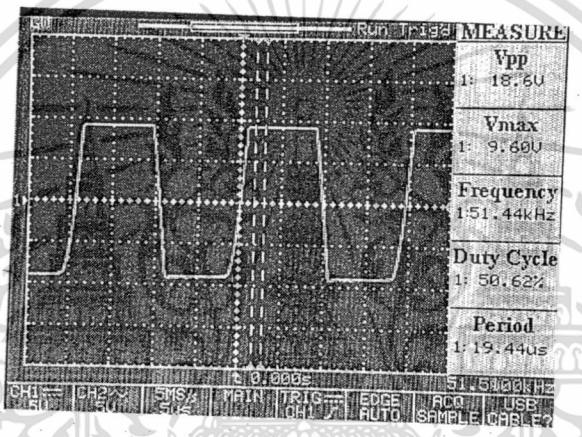
3.1 ผลการวัดสัญญาณคลื่นพาห์รูปสามเหลี่ยม

แสดงผลการทดลองของรูปสัญญาณจากวงจรพัลส์วิทมอด (Pulse Width Modulation)ซึ่งวัดสัญญาณที่เอาท์พุทของวงจรPWMซึ่งจะได้รูปสัญญาณสามเหลี่ยมโดยที่มีความถี่แซมปลิ้งที่50 kHz (สำหรับสัญญาณออดิโอในช่วงความถี่ต่ำ) และสามารถปรับค่าของแอมพลิจูดได้ถึง 4 Vpp ในการทดลองนี้จะตั้งค่าแอมพลิจูดไว้ที่2.86V_{p-p} ดังแสดงในรูปที่ 7 และเมื่อนำสัญญาณเสียงอนาล็อกมาทำการมอดดูเลตกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมจะได้รูปพัลส์โดยมีความถี่ที่เอาท์พุทวัดได้เท่ากับ51KHzมีแอมพลิจูดเท่า18.6Vpp ดังแสดงในรูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 สัญญาณเอาท์พุทสามเหลี่ยมอ้างอิงที่ความถี่แซมปลิ้ง 50 kHz

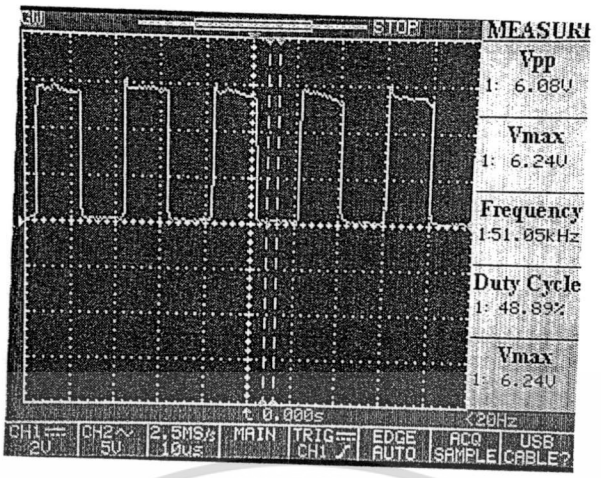


รูปที่ 9 สัญญาณเอาท์พุทพัลส์วิทธ์มอดูเลชั่น ที่ความถี่แซมปลิ้ง 50 kHz

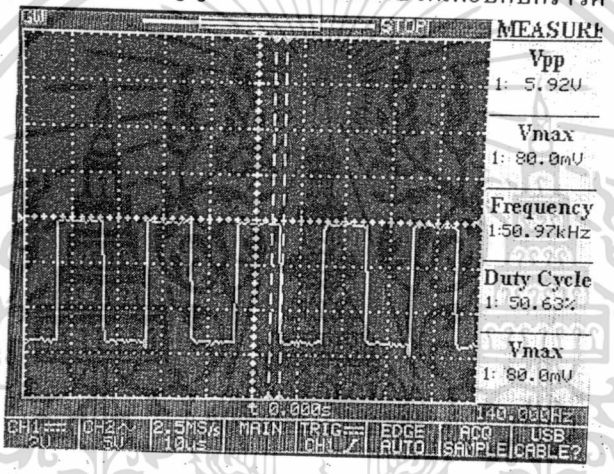
3.2 ผลการวัดสัญญาณไบโพล่าร์

การทดลองของวงจรขับกำลังจะเห็นได้ว่ารูปของวงจรขับกำลังเมื่อวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขาเกทของมอสเฟสเบอร์ IRF9530N เทียบกับกราวด์นั้นจะได้สัญญาณทางด้านซีกบวกกับกราวด์ที่ความถี่ 51KHz แอมพลิจูดที่วัดได้เท่ากับ6.08Vpp ดังแสดงในรูปที่ 9 และเมื่อวัดสัญญาณที่ขาเกทของมอสเฟสเบอร์ IRF530Nเทียบกราวด์จะได้สัญญาณเอาท์พุทเป็นซีกลบกับกราวด์ซึ่งมีความถี่ที่ 51KHzและแอมพลิจูดที่วัดได้เท่ากับ6.08Vppเช่นเดียวกันกับซีกบวกจึงทำให้สัญญาณนี้เมื่อนำมารวมกันแล้วจะกลายเป็นสัญญาณสามระดับจะประกอบด้วยสัญญาณบวก,กราวด์และสัญญาณลบจึงเรียกว่าสัญญาณแบบไบโพลาดังแสดงในรูปที่ 10.1 และ 10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.1 สัญญาณไบโพลาร์ด้านบวกเทียบกับกราวด์



รูปที่ 10.2 สัญญาณไบโพลาร์ด้านลบเทียบกับกราวด์

ตารางที่ การเปรียบเทียบเอาต์พุตของคลาสบี

Supply (V)	Current (A)	Load	Power
± 24 V	1.5 A	8 Ω	36 w
± 24 V	2 A	8 Ω	48 w
± 24 V	3 A	8 Ω	72 w
± 24 V	5 A	8 Ω	120 w
± 36 V	1.5 A	8 Ω	54 w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±36 V	2 A	8 Ω	72 w
±36 V	3 A	8 Ω	108 w
±36 V	5 A	8 Ω	180 w

4. วิจารณ์

ในการทดสอบจริงในห้องทดลองของวงจรขยายคลาสดีสวิทชิ่งแอมป์แบบ Filterless ที่ใช้หลักการสร้างสัญญาณ PWM แบบ 2 ระดับให้เป็นแบบ bipolar 3 ระดับ นั้นเหมาะสมกับการใช้งานที่ไม่ต้องการกำลังขยายสูงเช่น การใช้เป็นวงจรขยายสำหรับลำโพงในทีวีจอแบนแบบ LCD , LED monitors และ Mobile telephone hand sets และยังไม่เหมาะสมกับการใช้งาน PA ที่ต้องการกำลังขับสูงเพราะเกิดปัญหาของความร้อนในขดลวด voice coils ของ loudspeaker drivers โดยเฉพาะกับ Tweeter

ในส่วนของ DBA นั้นหากต่องการนำไปใช้งานที่มีความละเอียดสูงเช่นในลักษณะ Audio hifidelity amplifier อาจต้องการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุม THD ให้มีขนาดต่ำกว่า 0.2% โดยการออกแบบวงจรกรองสัญญาณ PWM และรูปแบบของวงจรป้อนกับที่เหมาะสมกับการใช้งาน

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบขยายสัญญาณเสียงแบบสวิทชิ่งคลาสดีดิจิตอลไบแอมปลิฟลายเออร์ขนาดกำลังขยาย 200 W. พร้อมด้วยระบบลำโพงแบบ 3 ตัวขับที่ประกอบด้วยตัวขับเสียงต่ำ 8 นิ้ว, ตัวขับเสียงกลาง 3.5 นิ้วและตัวขับเสียงสูงแบบ tapered hall tweeter ต่อ 1 ข้างสำหรับงาน PA ในระบบสเตริโอ ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาด 100-150 ตรม. โดยมีขนาดของ PCB 4.5*3.5 ตารางนิ้ว ต่อ 1 ภาคขยาย(โดยมีแผงวงจรทั้งหมด 4 แผงสำหรับ DBA)

บรรณานุกรม

[1] S. M. Munk and K. S. Anderson, "State of the Art Digital Pulse Modulated Amplifier System," AES 23rd International Conference, pp. 1-18, MAY 23-25, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[2] C. Pascual and et al., "High-Fidelity PWM Inverter for Digital Audio Amplification: Spectral Analysis, Real-Time DSP Implementation, and Results, " IEEE Trans. PE., Vol. 18, No. 1, pp. 473-485, JAN., 2003.

[3] A. R. Oliva, S. S. Ang and T. V. Vo, "A Multi-Loop Voltage Feedback Filterless Class-D Switching Audio Amplifier Using Unipolar Pulse-Width Modulation, " IEEE Trans. CE., Vol. 50, No. 1, pp.312-319, Feb. 2004.

[4] P. Reviriego, J.Parera and R. Garcia, "Linear-Phase Crossover Design Using Digital IIR Filter," Jounal of the Audio Eng. Society, Vol.46, No.5, pp.406-410, May, 1998.

[5] D. Sookcharoenphol , K. Janjitrapongvej and S.Tomiyama, " Realization of Linear Phase Loudspeaker Crossover Network By Using IIR Filter, " AES 32nd International Conference, pp. 119-127, 2007.

[6] W. Schubler and P. Steffen, "Halfband Filters and Hilbert Transforms, " Circuit System and Signal Processing, Vol. 17, No. 2, pp. 137-164, 1998.

[7] Selesnick, "Low-Pass Filters Realizable as All-Pass Sums: Design via a New Flat Delay Filter, " IEEE Transaction on CAS-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 46, No. 1, pp. 40-50, JAN., 1999.

[8] D. Sookcharoenphol, and C. Chakreeteekapakvisit, " A New Realization of Linear-Phase Magnitude Complementary Network for Digital Bi-Amplifier, "AES 37nd International Conference, 2009.

[9] D. Sookcharoenphol, and K. Janjitrapongvej, " A New Realization of Low Sensitivity Linear-Phase Magnitude Complementary Filter Pair, " TENCON, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้