สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานผลการวิจัย

โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประจำปี 2549

ชื่อโครงการวิจัย

เครื่องขยายกำลังงานเสียงคลาสดีประสิทธิภาพสูงโดยใช้ซิกมา-เดลต้ามอดูเลชั่น

RCH
TK
7871.58
.P6
จ563ค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....84510
วัน,เดือน,ปี.....13 ต.ค. 2551

ผู้รับผิดชอบโครงการวิจัย

หัวหน้าโครงการ : ผศ.ดรจีรสุดา โกษียาภรณ์

ผู้ร่วมโครงการ : รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

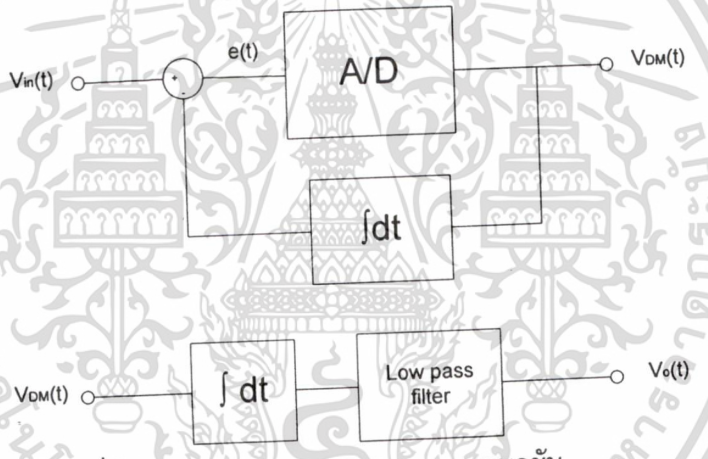
b.....11993807
ล.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในการติดต่อสื่อสารหรือการส่งผ่านข้อมูลนั้นมีหลากหลายวิธีการ ในการสื่อสารยุคแรกจะเป็นการสื่อสารแบบอนาลอก ซึ่งการสื่อสารแบบอนาลอกนั้น การผิดพลาดมักเกิดขึ้นได้ง่าย โดยเกิดความผิดเพี้ยนของตัวกลางและทำให้การสื่อสารนั้นไม่สัมฤทธิ์ผล จนเกิดการส่งผ่านข้อมูลแบบดิจิตอล ที่มี 2 สถานะ คือ 0 และ 1 ที่ทำให้ระบบการสื่อสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น การ มอดูเลตที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอลมีหลายวิธี และหนึ่งในหลายวิธี เหล่านั้นก็คือ คือ เดลตา-มอดูเลชัน

การมอดูเลตสัญญาณแบบเดลตา-มอดูเลชันนั้น เป็นการมอดูเลตพัลซ์แบบใช้ค่าแตกต่างสัญญาณที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยที่สุด ซึ่งการเข้ารหัสเพียง 1 บิต แสดงถึงสภาวะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสัญญาณ ระบบเดลตา-มอดูเลชันแสดงดังรูปที่ 1.1

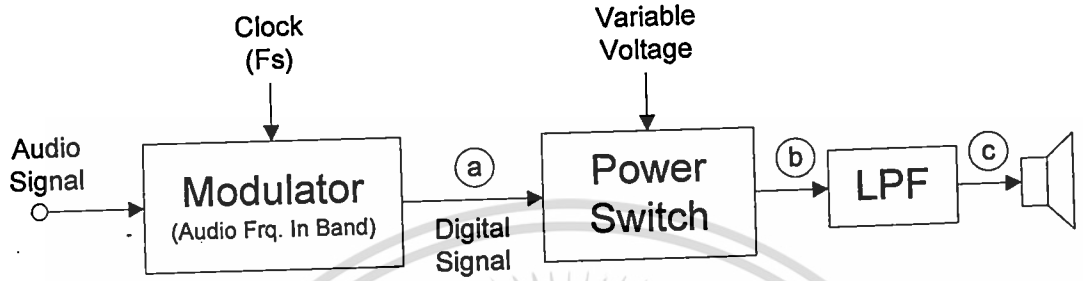


รูปที่ 1.1 ระบบการมอดูเลตแบบเดลตา-มอดูเลชัน

ในปัจจุบันเดลตา-มอดูเลชัน ไม่ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารมากนัก เพราะการสื่อสารในปัจจุบันนั้นมีความก้าวหน้าขึ้นไปมาก และเน้นถึงความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูล แต่กลับได้เปรียบในเรื่องของแบนด์วิธ เนื่องจากใช้แบนด์วิธต่ำกว่าการสื่อสารแบบอื่นๆ มาก และอาจจะเป็นข้อได้เปรียบ หากในอนาคตมีการขยายตัวของระบบการสื่อสารที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วงจรเดลตา-มอดูเลชัน มาสร้างวงจรขยายกำลังงานเสียง ที่มีการทำงานแบบสวิตซ์ชิ่ง ซึ่งเป็นวงจรขยายกำลังเสียงที่ใช้เทคนิคการขยายเสียงคลาสดี มีหลักการทำงานตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การขยายกำลังงานเสียงคลาสดี

ซึ่งสัญญาณเสียงผ่านมอดูเลเตอร์ เป็นการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ที่จุด a โดยสัญญาณดิจิตอลที่ได้ จะต้องยังมีองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณเสียงอยู่ด้วย หลังจากนั้นจะนำสัญญาณดิจิตอลมาเข้าสู่วงจรขับสัญญาณเพื่อจัดเฟสและยกระดับสัญญาณ โดยใช้ควบคุมทรานซิสเตอร์ในส่วนภาคขยายกำลัง และเมื่อนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter : LPF) ก็จะได้สัญญาณเสียงที่มีกำลังงานเพิ่มขึ้นกลับคืนมาที่จุด C เพื่อนำไปขับลำโพงต่อไป ซึ่งการมอดูเลตแบบเดลตา-มอดูเลชันนั้น ยังมีข้อดีในเรื่องของภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวน และ มีอัตราการสูญเสียพลังงานน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

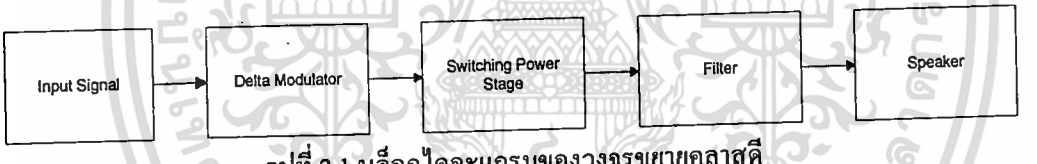
ทฤษฎีและหลักการออกแบบ

วงจรขยายกำลังงาน (Power Amplifier) คืออุปกรณ์ที่ส่งผ่านและขยายกำลังงานของสัญญาณที่ทางขาเข้าของวงจรที่มีกำลังงานต่ำไปยังทางออกตามที่ต้องการ ในอุดมคติแล้ววงจรขยายกำลังงานนั้นจะไม่มีความสูญเสียเกิดขึ้น ซึ่งในโครงงานได้ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรขยายกำลังงานเสียงคลาสดี โดยอาศัยการมอดูเลตสัญญาณแบบเดลตา-มอดูเลชัน

2.1 วงจรขยายกำลังคลาสดี

ทรานซิสเตอร์ทำงานในลักษณะของสวิตช์ซึ่ง โดยมีมุมในการนำกระแสเป็น 0 องศา คือ นำกระแสอิ่มตัว (Saturation) กับไม่นำกระแส (Cut off) ในระหว่างที่มีการสวิทช์ ทรานซิสเตอร์อาจนำกระแสข้ามผ่านวงที่เป็นเชิงเส้น (Linear region) ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม (Rectangular pulse) การหลีกเลี่ยงช่วงที่เป็นเชิงเส้นนี้ เป็นพื้นฐานที่ทำให้ภาคเอาท์พุทของคลาสดี มีประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปแล้ว วงจรขยายคลาสดี ที่ออกแบบดีนั้นอาจมีประสิทธิภาพสูงถึง 90%

บล็อกไดอะแกรมของวงจรขยายคลาสดี อย่างง่าย ๆ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขยายคลาสดี

จากรูปที่ 2.1 สัญญาณเดลตา-มอดูเลชัน ถูกส่งเข้าสู่ภาค switching power จะขยายกำลัง แล้ววงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะกรององค์ประกอบ switching ความถี่สูงออกจากสัญญาณเอาท์พุท ทำให้ได้เป็นสัญญาณเสียงที่ขยายใหญ่ขึ้น

นอกจากนี้ถ้าเพิ่มลูปป้อนกลับ (Feedback Loop) อีกหนึ่งลูปหรือมากกว่าจะเป็นการลดความเพี้ยนรวมทางฮาร์โมนิคส์ (Total Harmonics Distortion : THD) ของสัญญาณเอาท์พุทอีกด้วย

วงจรขยายกำลังคลาสดี อาศัยหลักการทำงานของวงจรเดลตา-มอดูเลชันโดยสัญญาณอินพุทที่ได้จากวงจรเดลตา-มอดูเลชันจะถูกนำไปป้อนให้แก่วงจรสวิทช์ต่อไป หลังจากสัญญาณถูกขยายแล้วก็จะถูกนำไปป้อนผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อให้ได้สัญญาณเอาท์พุท ที่มีรูปร่างเช่นเดียวกับสัญญาณอินพุท แต่แตกต่างกันตรงที่ขนาดแอมพลิจูด ของสัญญาณที่ถูกขยายขึ้นไป

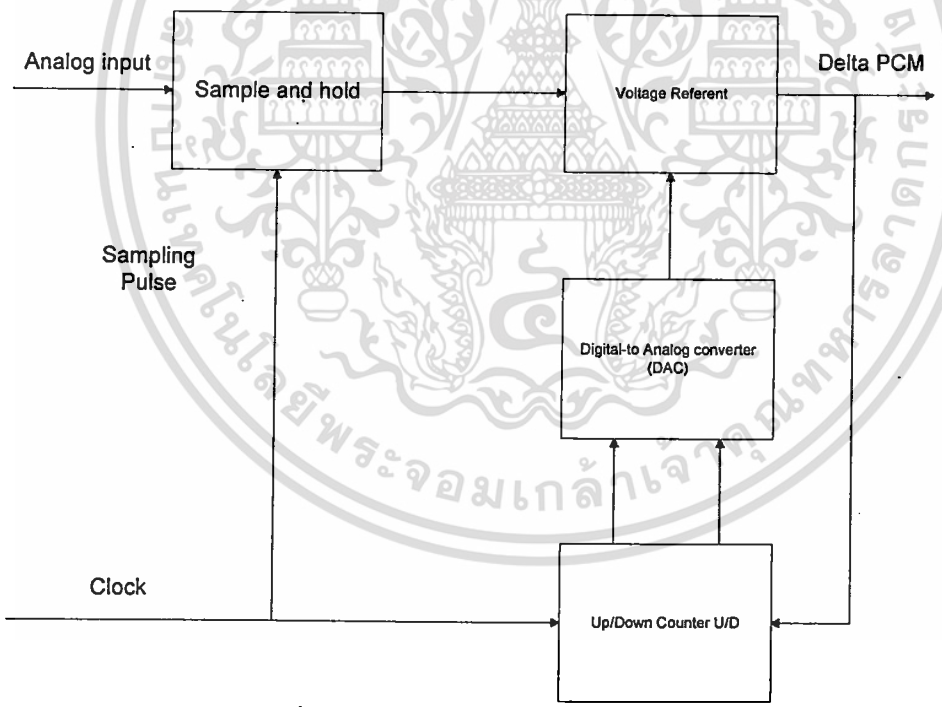
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวงจรขยายคลาสดี คือ มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ทำให้ประหยัดพลังงาน มีสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์น้อย ทำให้ขนาดของแผ่นระบายความร้อน (Heat Sink) เล็กลง น้ำหนักเบาขึ้น ซึ่งจะเหมาะสำหรับเครื่องที่ต้องการให้มีขนาดเล็ก และมีอายุใช้งานของแบตเตอรี่ นานๆ

ข้อเสีย มาจากการทำงานที่เป็นแบบสวิตซ์ชิ่ง ซึ่งจะทำให้คุณภาพเสียงยังไม่ดีเท่าที่ควร คือยังมีความเพี้ยนสูง เมื่อเทียบกับวงจรขยายกำลังแบบอื่นๆ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้ความถี่ในการทำงานที่สูงขึ้น แต่ก็ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานสูงและมีราคาสูงตามไปด้วย

2.2 เดลตา-มอดูเลชัน (Delta Modulation : DM)

ระบบการมอดูเลตรหัสพัลส์แบบใช้ค่าแตกต่างในสัญญาณที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยที่สุด การมอดูเลตในระบบนี้มีชื่อว่า การมอดูเลตแบบเดลตา (delta modulation) ซึ่งนิยมเรียกย่อว่า ดีเอ็ม (DM) ในระบบนี้จะทำการควอนไทซ์ค่าความแตกต่างของสัญญาณโดยใช้รหัสที่มีความยาวเพียง 1 บิต เพื่อแสดงถึงสภาวะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสัญญาณ แทนที่จะใช้เพื่อแสดงค่าขนาดของระดับสัญญาณ

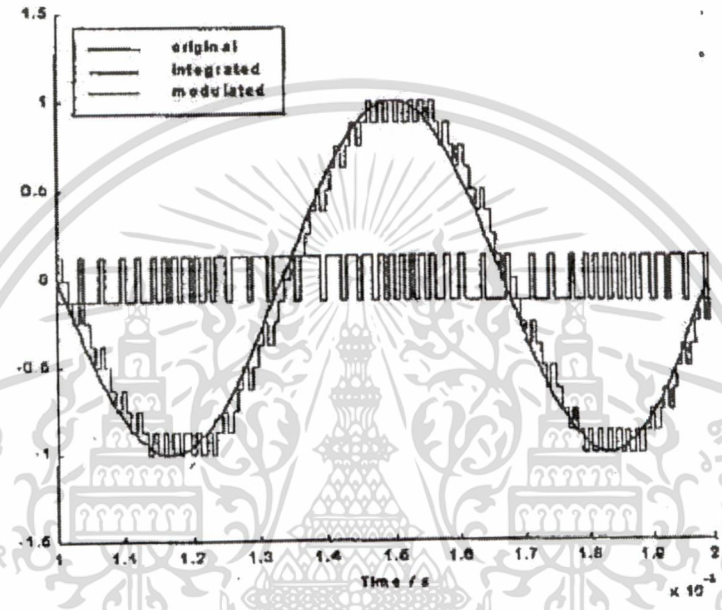


รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของเดลตา-มอดูเลชัน

จากรูปที่ 2.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมของเดลตา-มอดูลัน สัญญาณอนาลอกที่ป้อนให้แก่วงจรดีเอ็มจะถูกแซมปลิ้ง และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสัญญาณพีเอเอ็ม (PAM) แล้วสัญญาณพีเอเอ็ม จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (DAC) ซึ่งเป็นสัญญาณในรูปโวลเตจที่เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัญญาณจากการแซมปลิ้งก่อนหน้านั้น ถูกเก็บไว้ที่อัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์ (up/down counter) ในรูปตัวเลขฐานสอง การที่อัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์จะนับขึ้นหรือนับลงตามค่าสัญญาณแซมปลิ้งก่อนหน้านั้น ว่าจะมีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่ากระแสแซมปลิ้ง อัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบและมีสัญญาณคล็อค (Clock signal) เดียวกันกับอัตราการแซมปลิ้ง



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานตามทฤษฎีการเข้ารหัสแบบเดลตา-มอดูเลชัน

รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานตามทฤษฎี การเข้ารหัสแบบเดลตา-มอดูเลชัน เริ่มต้นให้ค่าอัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์มีค่าเป็นศูนย์ และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกให้ค่าเอาท์พุทเป็น 0 โวลท์ด้วย เมื่อแซมปลิ้งแรกถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณพีเอเอ็มจะถูกเทียบกับ 0 โวลท์ ค่าเอาท์พุทจากคอมพาเรเตอร์เป็นลอจิก 1 อีก ถ้ามีสัญญาณคล็อค (Clock) ถัดไป ขณะนี้เอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกจะมีโวลเตจเท่ากับขนาดของสเต็ปไซค์ที่น้อยที่สุด (minimum step size)

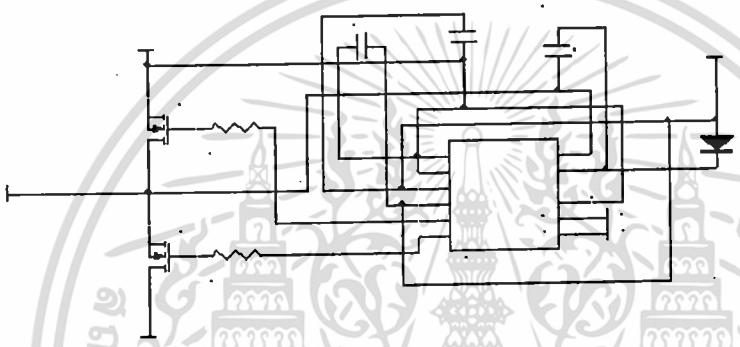
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าของขั้นต่าง ๆ จะเท่ากับความถี่ของคล็อคที่ใช้หาค่าแซมปลิ้ง อัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์จะมีการนับขึ้น จนกระทั่งผลเอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกมีค่ามากกว่าค่าแซมปลิ้งจากสัญญาณอนาลอก หลังจากนั้นอัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์จะมีการนับขึ้น จนกระทั่งผลเอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกมีค่ามากกว่าค่าแซมปลิ้งจากสัญญาณอนาลอก หลังจากนั้นอัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์จะเริ่มนับลงเรื่อย ๆ จนผลเอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกมีค่าต่ำกว่าขนาดสัญญาณแซมปลิ้ง ในสภาวะที่เกิดขึ้นในทฤษฎีที่แสดงในรูป 2.3 ค่าเอาท์พุทจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก จะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณอินพุทในแต่ละครั้งที่อัพแอนด์ดาวน์เคาน์เตอร์นับขึ้น จะส่งลอจิก 1 ไปตามสายส่งทุกครั้งที่อัพแอนดาวน์เคาน์เตอร์นับลง ก็จะส่งลอจิก 0 ส่งไปตามสายส่งเช่นกัน

2.3 ภาคขับสัญญาณ

วงจรในส่วนนี้มีหน้าที่ในการจัดเฟสและยกระดับสัญญาณในส่วนที่ได้จากเดลตา-มอดูเลชัน เพื่อมาควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ในส่วนของภาคขยายกำลัง



รูปที่ 2.4 วงจรขับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรกรองความถี่ (Filter)

วงจรกรองความถี่ (Filter) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกผ่านสัญญาณ โดยวงจรกรองจะยอมให้สัญญาณเฉพาะบางย่านความถี่ผ่านไปได้เท่านั้น เราจะเรียกย่านความถี่ที่วงจรกรองยอมให้ผ่านว่า ย่านความถี่ผ่าน (Passband) และย่านความถี่ที่วงจรกรองจะกั้นไว้ไม่ให้ผ่านว่า ย่านความถี่หยุด (Stopband)

วงจรกรองเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในงานทางด้านวิศวกรรมหลาย ๆ ด้าน เช่น ใช้ในเครื่องขยายภาคต้น (Pre-amplification) วงจรปรับเท่า (Equalizer) และตัวปรับเสียง (Tone-Control) ของระบบเครื่องเสียง (Audio System)

-ใช้ในวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ไม่ต้องการในระบบสื่อสาร

-ใช้ในการกำจัดไซด์แบนด์ (Sideband) ในระบบสื่อสารแบบไซด์แบนด์เดี่ยว (Single sideband)

-ใช้ในการดีมอดูเลต (Demodulate) สัญญาณ

-ใช้ในการตรวจจับ (Detect) สัญญาณที่มอดูเลตแบบดิจิตอล โดยเราเรียก วงจรกรองที่ทำหน้าที่นี้ว่า Matched Filter

-ใช้ในระบบสื่อสารมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time-Division Multiplexing) และแบบแบ่งความถี่ (Frequency-Division Multiplexing)

-ใช้ในการแก้ปัญหาการทับซ้อน (Aliasing) ที่อาจเกิดขึ้นจากการชักตัวอย่าง (Sampling) สัญญาณอนาลอกในการประมวลผลแบบดิจิตอล (Digital Signal Processing)

-ใช้ในการแปลงสัญญาณที่ได้จากการชักตัวอย่าง (Sampled Signals) ไปเป็นสัญญาณอนาลอก

-ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณ

-ใช้ในการแก้ปัญหาการรบกวนข้ามสัญญาณ (Intersymbol Interference : ISI) ในการส่งข้อมูลดิจิตอล โดยเราเรียกวงจรกรองที่ทำหน้าที่นี้ว่า วงจรกรองส่วนผ่านข้อมูล (Data Transmission Line) และสายเคเบิล

-ใช้ในอุปกรณ์ชีวการแพทย์ (Biomedical Equipment) เช่น เยื่อประสาทหูเทียม (Artifical Cochlea)

โดยทั่วไป วงจรกรองความถี่ แบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ เช่น

1. วงจรกรองความถี่ ชนิด อนาลอก หรือ ดิจิตอล
2. วงจรกรองความถี่ ประเภท Passive หรือ Active
3. วงจรกรองความถี่ ย่านความถี่เสียง (Audio Frequency) หรือ (Radio Frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แต่แบ่งวงจรกรองความถี่โดยแบ่งตามลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรกรองความถี่แล้ว สามารถแบ่งวงจรกรองความถี่ ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. วงจรกรองความถี่แบบเฉื่อยงาน (Passive Frequency) เป็นวงจรกรองสัญญาณแบบต่อเนื่องที่ประกอบไปด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และขดลวดเหนี่ยวนำ โดยไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยาย เช่น ไอซี หรือ ทรานซิสเตอร์ รวมอยู่ในวงจร วงจรกรองประเภทนี้สามารถใช้ในการกรองสัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่สัญญาณไฟตรง (DC) ไปจนถึงประมาณ 300 MHz อย่างไรก็ตามเราไม่นิยมใช้วงจรกรองแบบพาสซีฟในย่านความถี่ต่ำ เนื่องจากจะต้องใช้ขดลวดเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ซึ่งมีความสูญเสียมาก ดังนั้นโดยทั่วไปวงจรกรองความถี่แบบเฉื่อยงานจะถูกใช้งานตั้งแต่ย่านความถี่เสียง (Audio Frequency) ความถี่สัญญาณภาพ (Vedio Frequency) ไปจนถึงย่านความถี่วิทยุสูงมาก (VHF)

2. วงจรกรองความถี่แบบไวงาน (Active Filter) เป็นวงจรกรองสัญญาณแบบต่อเนื่องที่ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณจำพวกทรานซิสเตอร์ หรือไอซี ในรูปของออปแอมป์ และตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ ทำงานร่วมกัน วงจรกรองความถี่แบบไวงานที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ วงจรกรอง active RC และ วงจรกรองตัวเก็บประจุสวิทช์ (ซึ่งวงจรกรองทั้งสองแบบสามารถใช้งานย่านความถี่ไฟตรง – 500 kHz) ส่วนวงจรกรองแบบ Gm-C นั้นสามารถใช้งานในช่วงความถี่สูงกว่านี้ได้

วงจรกรองความถี่แบบไวงาน และแบบเฉื่อยงาน แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 5 แบบ

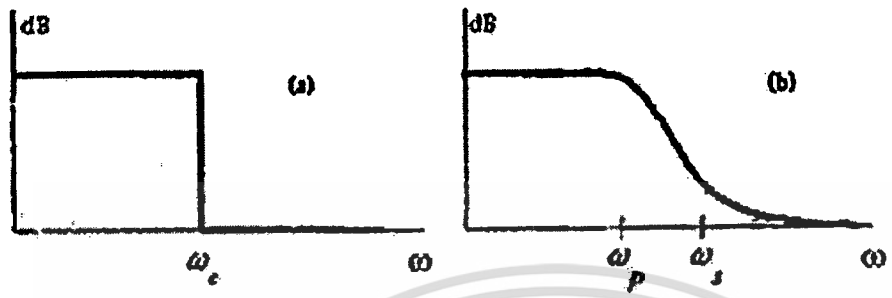
1. Low pass Filter
2. High pass Filter
3. Band pass Filter
4. Band Reject หรือ Bandstop Filter
5. Allpass Filter

ซึ่งในโครงงานนี้ได้ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ประเภทเฉื่อยงาน เนื่องจากวงจรกรองความถี่ชนิดเฉื่อยงานนี้ สามารถนำไปใช้งานในขอบเขตของกำลังไฟฟ้าอย่างไม่จำกัด ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 100 kW

84510

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)



รูปที่ 2.5 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

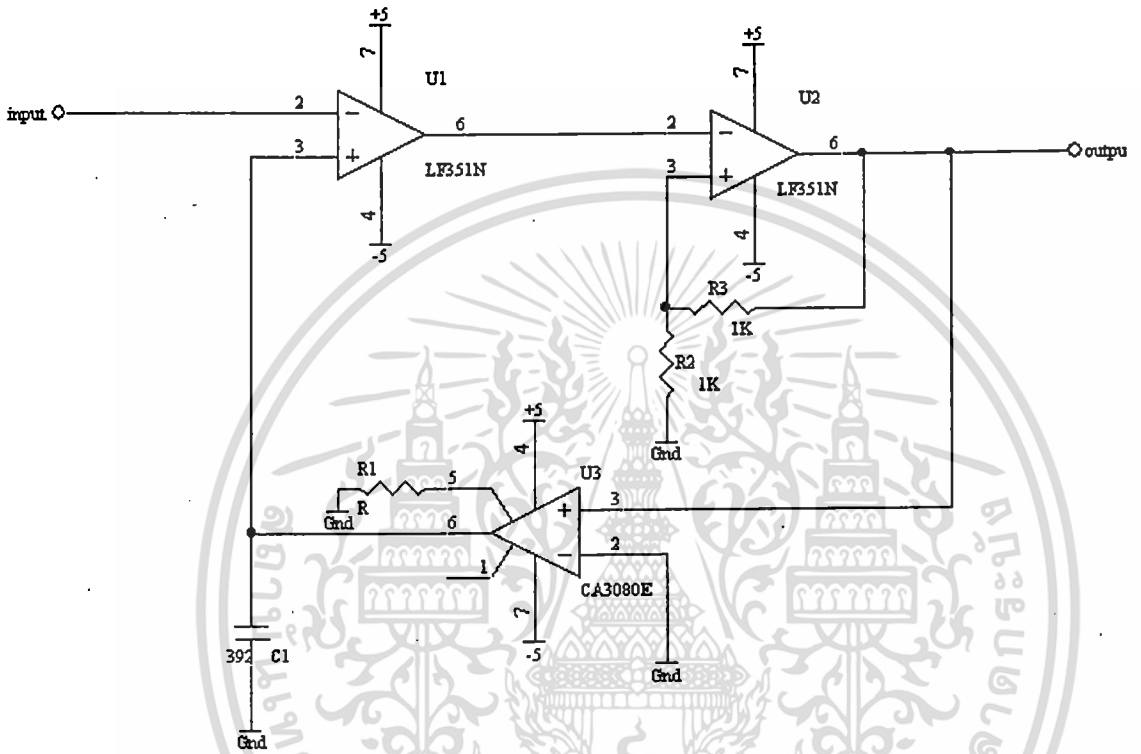
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านแต่จะกั้นสัญญาณความถี่สูงไว้ ดังรูปที่ 2.5 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติ โดยนิยามเราเรียกย่านความถี่ที่วงจรกรองยอมให้ผ่านว่า ย่านความถี่ผ่าน (Passband) หรือ แบนด์วิธ (Bandwidth) ของวงจร ส่วนย่านความถี่ที่วงจรไม่ยอมให้ผ่านไปเรียกว่า ย่านความถี่หยุด (Stop band)

ในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างวงจรกรองที่มีผลตอบสนองเป็นดังรูป ที่ 2.5 (a) ได้ รูปที่ 2.2 (b) แสดงผลตอบสนองของวงจรกรองที่ได้มาจากการประมาณผลตอบสนองในอุดมคติโดยนิยามแบนด์วิดธ์ใหม่ว่า คือ ย่านความถี่ที่อัตราขยายของวงจรยังตกลงมาจากอัตราขยายสูงสุด (สังเกตว่าค่าอัตราขยายสูงสุดสำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอาจจะไม่ใช้อัตราขยายสัญญาณไฟตรงของวงจร) ไม่เกินค่าที่กำหนด (โดยปกติจะกำหนดให้ตกลงมาได้ไม่เกิน 3 dB) จะเห็นว่า ย่านความถี่ผ่านของวงจรจะอย่างระหว่าง 0 ถึง ω_p และย่านความถี่หยุดของวงจรจะเป็นช่วงความถี่ที่มากกว่า ω_s ส่วนย่านความถี่ที่อยู่ระหว่าง ω_p และ ω_s นั่นเราจะเรียกว่า ย่านความถี่เปลี่ยน (Transition Band)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณและการสร้าง

3.1 วงจรเดลตา-มอดูเลชัน



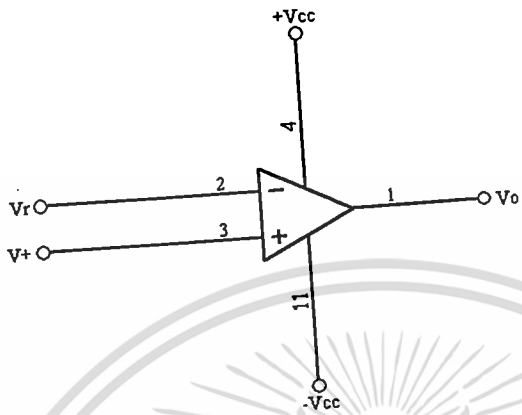
รูปที่ 3.1 วงจรเดลตา-มอดูเลชัน

วงจรเดลตา-มอดูเลชัน ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. วงจรคอมพาราเตอร์ (Comparator)
2. วงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmittrigger Comparator)
3. โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 วงจรคอมพาราเตอร์ (Comparator)



รูปที่ 3.2 วงจรคอมพาราเตอร์ (Comparator)

$V_o = AV_i$ สมมุติ $A = \infty$

ถ้า $V_i > 0$, V_o จะเป็น ∞

ถ้า $V_i < 0$, V_o จะเป็น $-\infty$

แต่ในที่นี้ V_o จะ Saturation ที่ $\pm V_{cc}$

$$V_o = AV_i$$

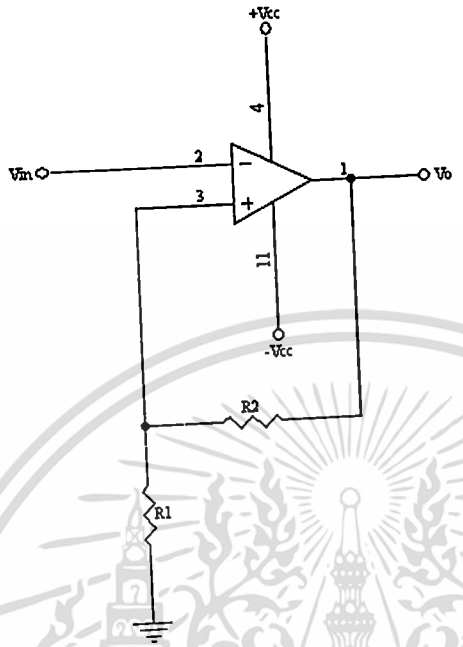
$$V_o = V_{in} - V_r$$

$$V_o = A(V_{in} - V_r)$$

เพราะฉะนั้น ทำให้ gain มีค่าสูงมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmittrigger Comparator)



รูปที่ 3.3 วงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmittrigger Comparator)

V_o จะได้ 2 ค่าคือ $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$

หา V_r โดยใช้ Voltage Divider

$V_i > 0$, $V_o = +V_{cc}$

$V_i < 0$, $V_o = -V_{cc}$

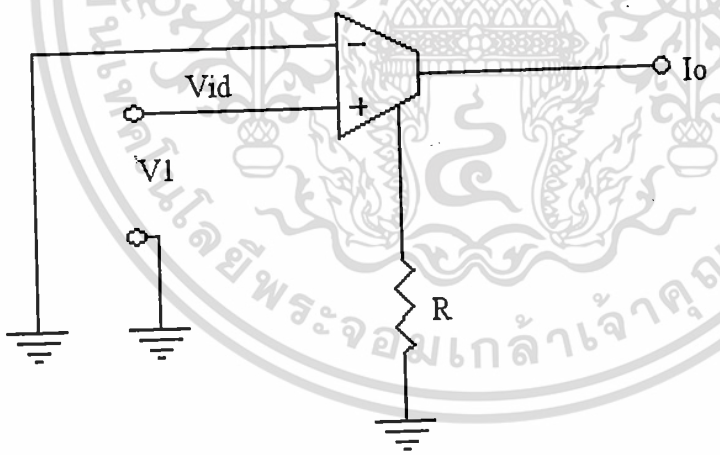
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงการหาค่า V_o โดยการใช้ Voltage Divider

$$V_r = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2} = V_o k$$

เมื่อ $k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ซึ่งสังเกตได้ว่า V_r จะขึ้นอยู่กับ V_o

3.1.3 โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier)



รูปที่ 3.5 โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier)

จากรูป

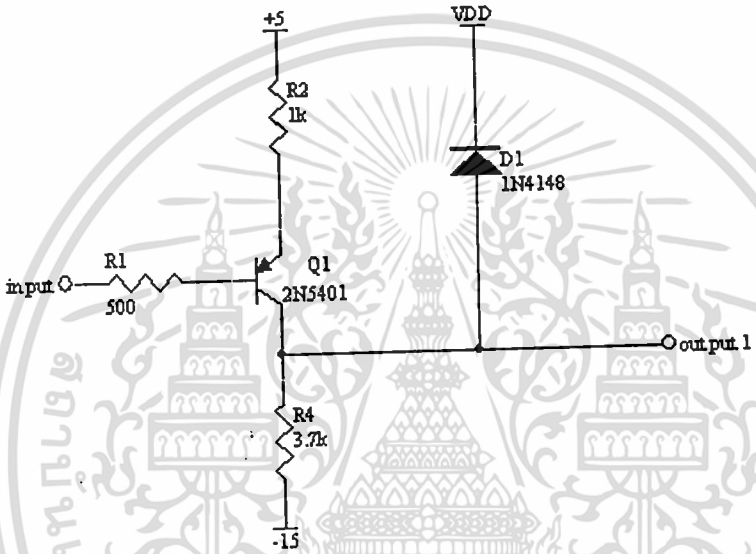
$$I_{o1} = \frac{(V_{cc} - V_{BE})V_{id}}{2RV_T} = (\frac{(V_{cc} - V_{BE})}{2RV_T})V_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift) และวงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay)

3.2.1. วงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift)

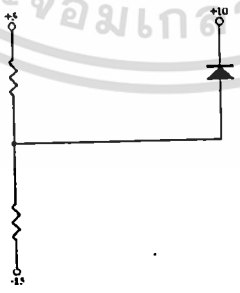
เนื่องจากแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้น ไม่สามารถทำงานได้ในช่วงลบของสัญญาณอนาลอกได้ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มในส่วนของวงจรจัดระดับสัญญาณขึ้นก่อนที่จะป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เป็นการแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบพีซีเอ็ม โดยที่นำส่วนของวงจรจัดระดับสัญญาณเพิ่มเติมในระบบพีซีเอ็ม ซึ่งวงจรจัดระดับสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift)

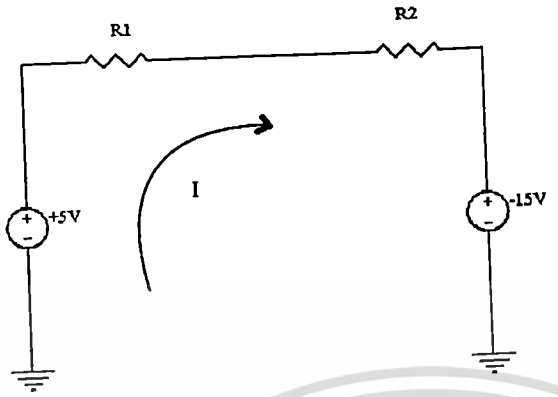
กรณี Transistor on

วงจรสมมูล



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลของวงจรจัดระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดง Voltage ตกคร่อม R_2 กรณี Transistor on

เราต้องการ Voltage ตกคร่อม R_2 = 12 Volt

ทำการตั้งสมการโดยการวน Loop จะได้

$$-5 + IR_1 + IR_2 - 15 = 0$$

$$I(R_1 + R_2) = 20 \quad (1)$$

จากสมการ เราต้องการ

$$12 = IR_2$$

$$I = \frac{12}{R_2} \quad (2)$$

แทน(2)ลงใน(1)

$$\frac{12}{R_2}(R_1 + R_2) = 20$$

$$12R_1 + 12R_2 = 20R_2$$

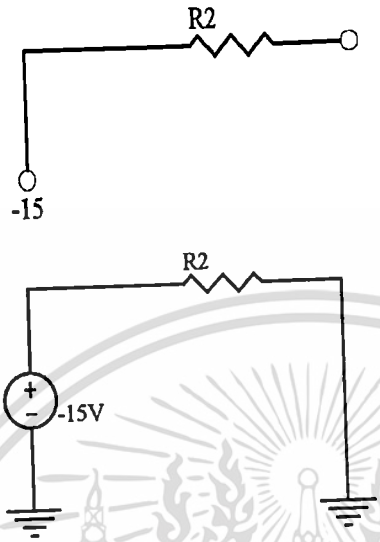
$$12R_1 = 8R_2$$

$$R_1 = \frac{8}{12}R_2 = \frac{2}{3}R_2$$

เพราะฉะนั้น เราได้อัตราส่วนระหว่าง R_1 กับ R_2 ที่ทำให้ Voltage ตกคร่อม R_2 =12 Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี Transistor off



รูปที่ 3.8 แสดง Voltage ตกคร่อมที่ R_2 กรณี Transistor off

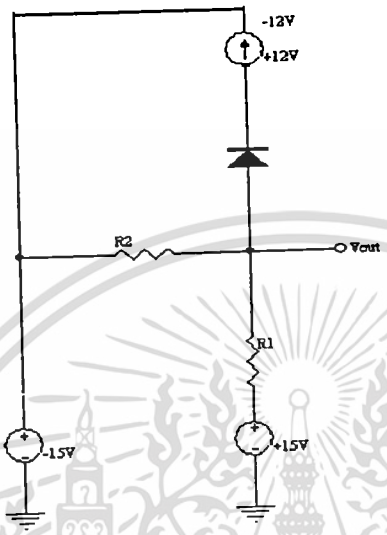
เพราะฉะนั้น V ตกคร่อม R_2 = -15 Volt

จุดประสงค์การต่อ Diode เพื่อที่จะควบคุมการ swing ของ Voltage ของ output ว่าเราต้องการให้ค่าสูงสุดอยู่ตรง ณ จุดใด เช่น การทดลองเราต้องการให้มีค่าสูงสุดอยู่ที่ -3 และต่ำสุดอยู่ที่ -15 เพราะเราจะใช้ช่วง -3 กับ -15 ซึ่งเป็นช่วงการทำงานของ Delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

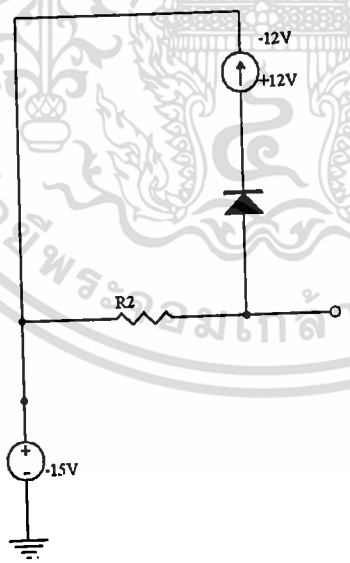
ดังนั้นเราจะต่อวงจร ดังนี้

Transistor on



รูปที่ 3.9 เมื่อต่อ Diode กรณี Transistor on

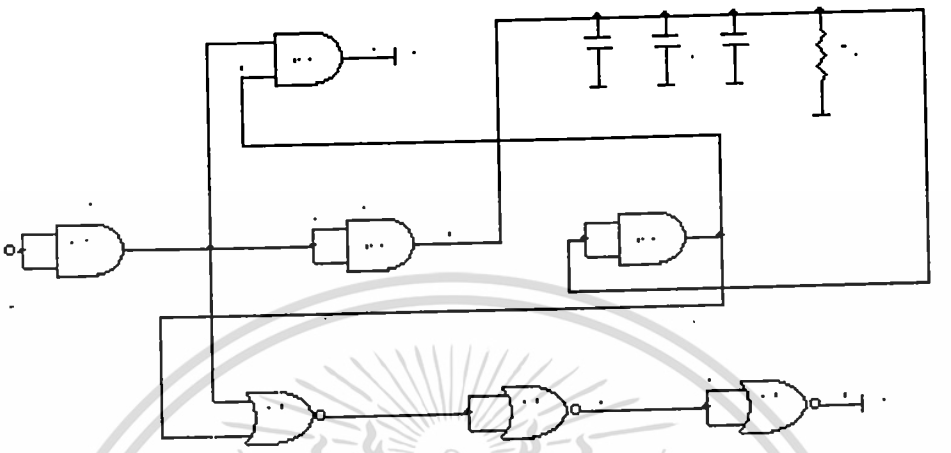
Transistor off



รูปที่ 3.10 เมื่อต่อ Diode กรณี Transistor off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

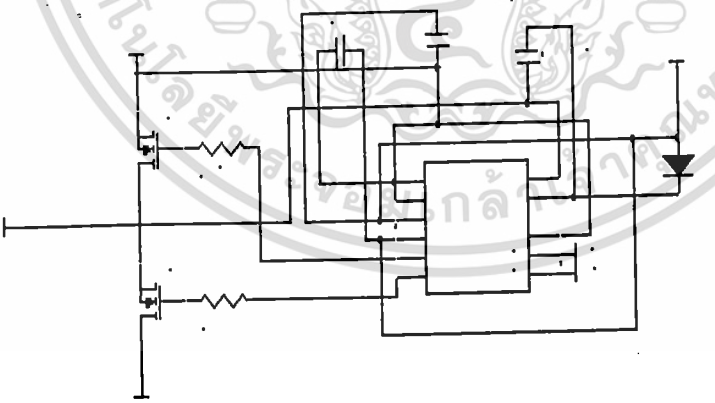
3.2.2 วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay)



รูปที่ 3.11 วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay)

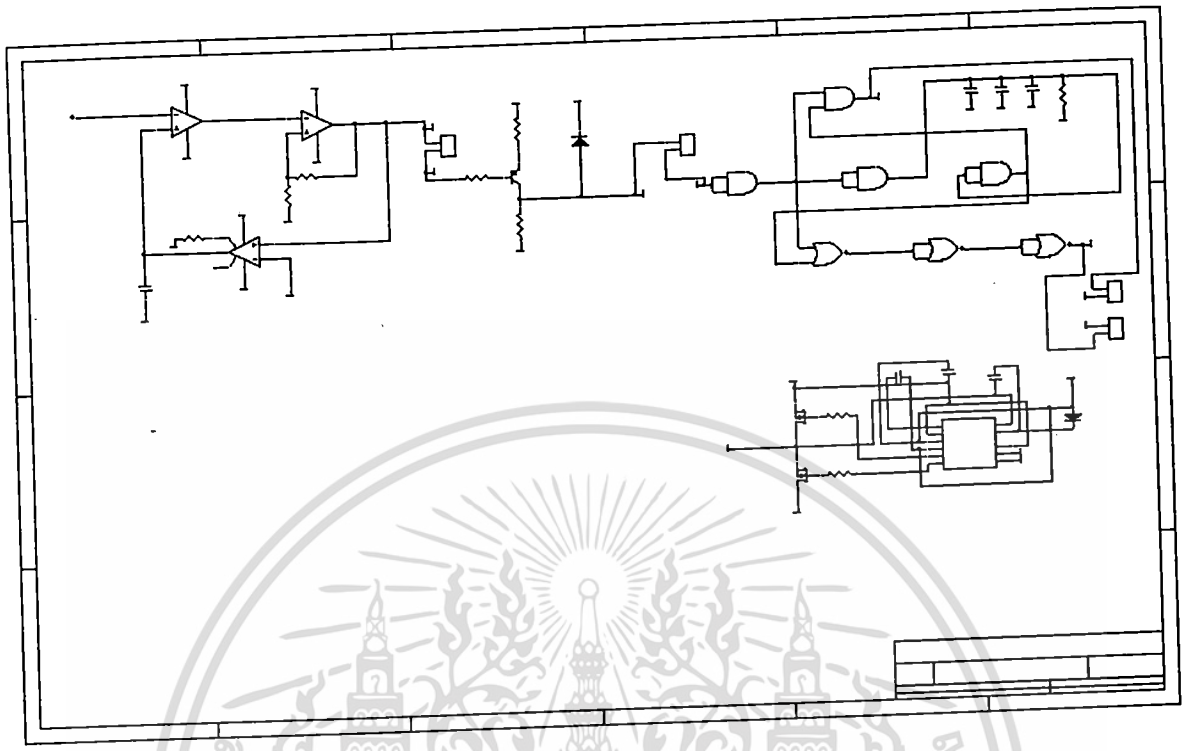
3.3 วงจรขับกำลัง (Driver Circuit)

วงจรในส่วนนี้ทำหน้าที่เพิ่มกระแสให้มากขึ้น เพื่อที่จะไป Drive Power MOSFET ให้ สามารถทำงานได้ คือ มีกระแสเพียงพอที่ทำให้ MOSFET เกิดการเหนี่ยวนำจนเกิดแชนแนลที่ใช้นำกระแส



รูปที่ 3.12 วงจรขับกำลัง (Driver Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

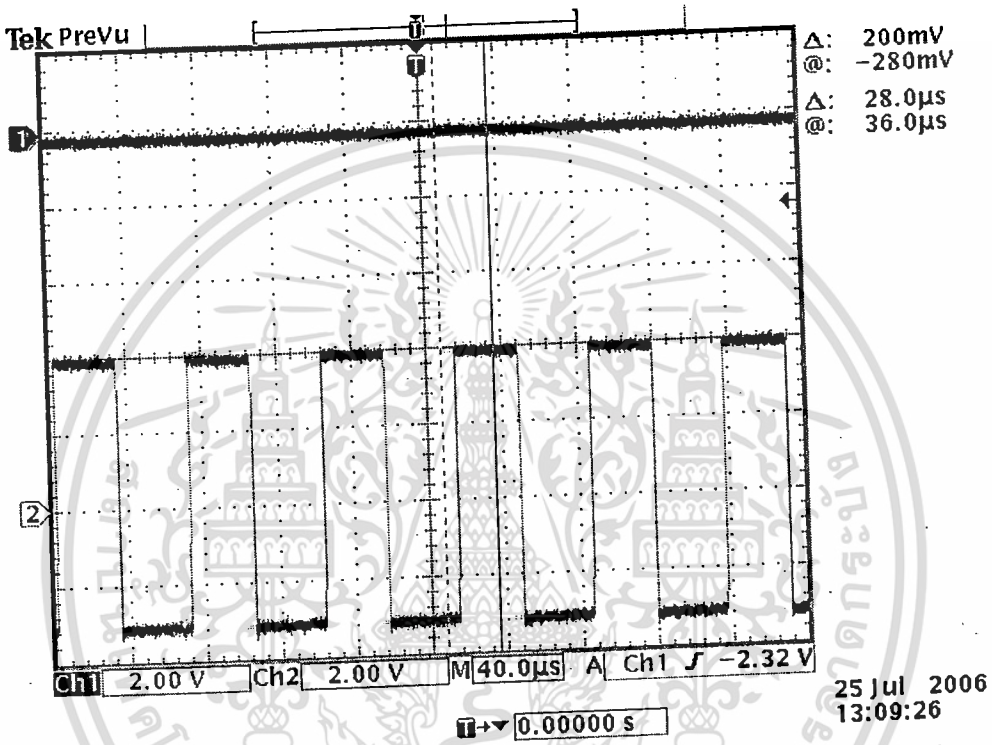


รูปที่ 3.13 วงจรขยายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองและผลการทดลอง

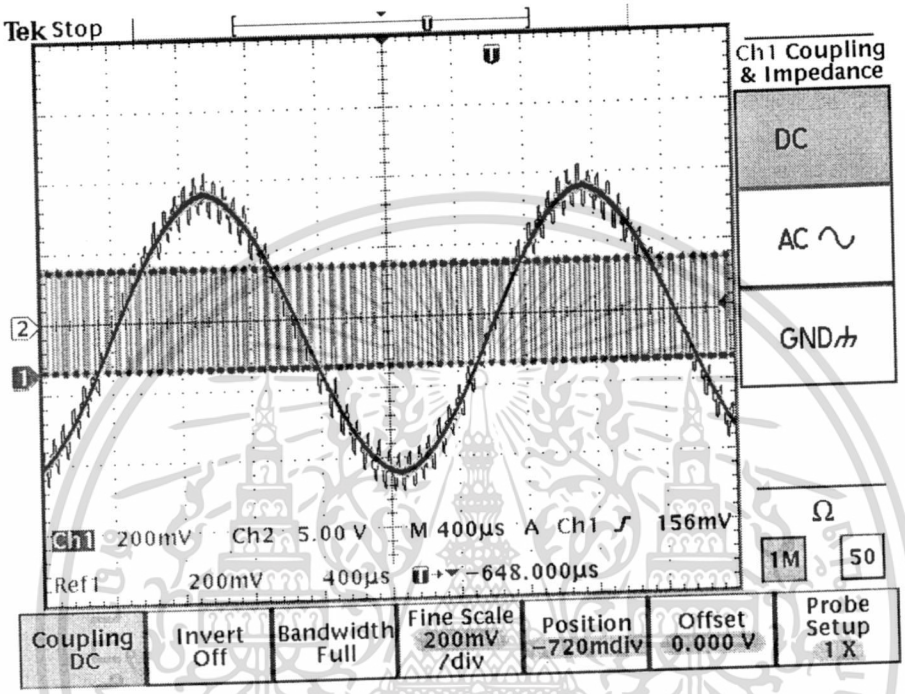
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรเคลตา-มอดูเลชันเทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณกราวด์ที่ Channel 1 เอาท์พุทที่ Channel 2 ได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.1 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรเคลตา-มอดูเลชัน เมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณกราวด์ที่ Channel 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

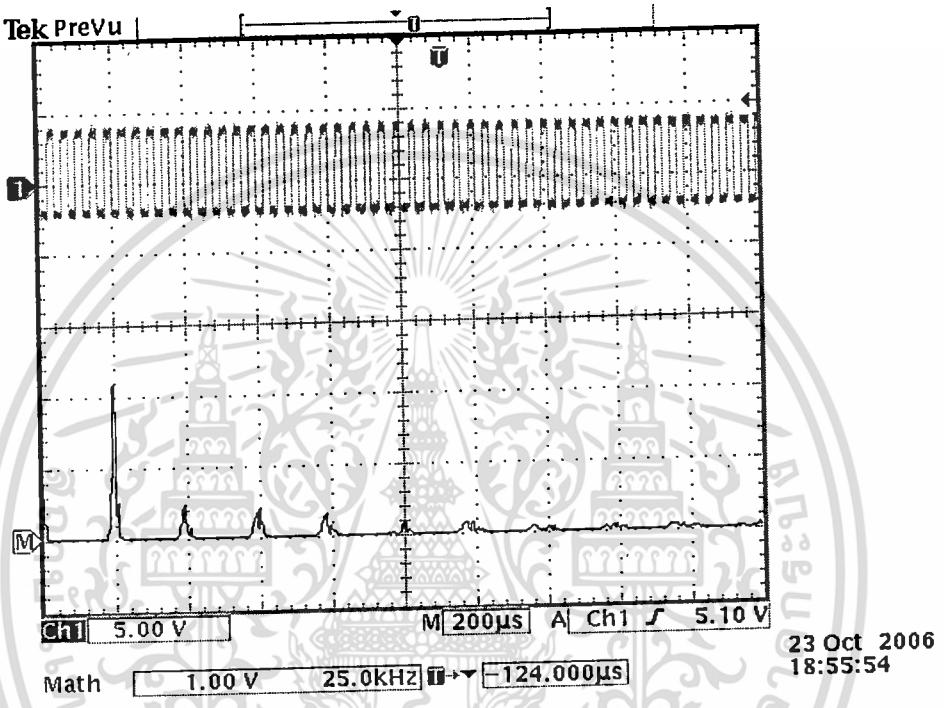
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรเคลตา-มอดูเลชันเทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณไซน์เวฟที่ Channel 1 เอาท์พุทที่ Channel R1 ได้เป็นสัญญาณที่มอดูเลตกับสัญญาณไซน์เวฟ และChannel 2 เป็นสัญญาณที่ออกจากวงจรเคลตา-มอดูเลชันที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Duty Cycle



รูปที่ 4.2 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรเคลตา-มอดูเลชันเทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณไซน์เวฟที่ Channel 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

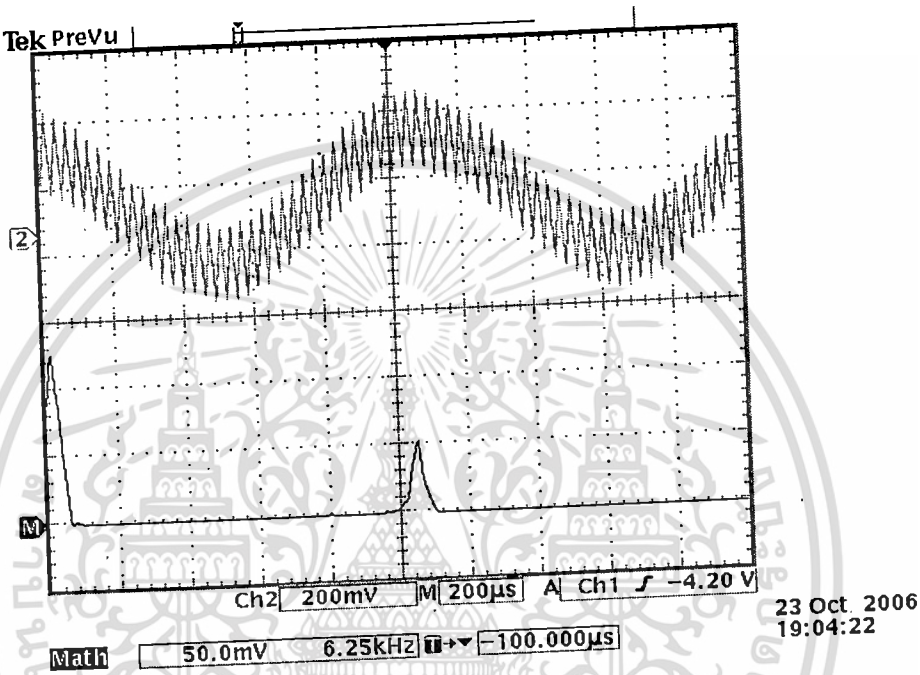
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรเดลตา-มอดูเลชันเทียบกับสเปคตรัมของสัญญาณในโดเมนความถี่ จะเห็นว่ามีสัญญาณความถี่สูงขี่บนสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นความถี่ที่เราไม่ต้องการ เพราะฉะนั้นเราจะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในการกำจัดความถี่สูงทิ้ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.3 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรเดลตา-มอดูเลชันเทียบกับสเปคตรัมของสัญญาณในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

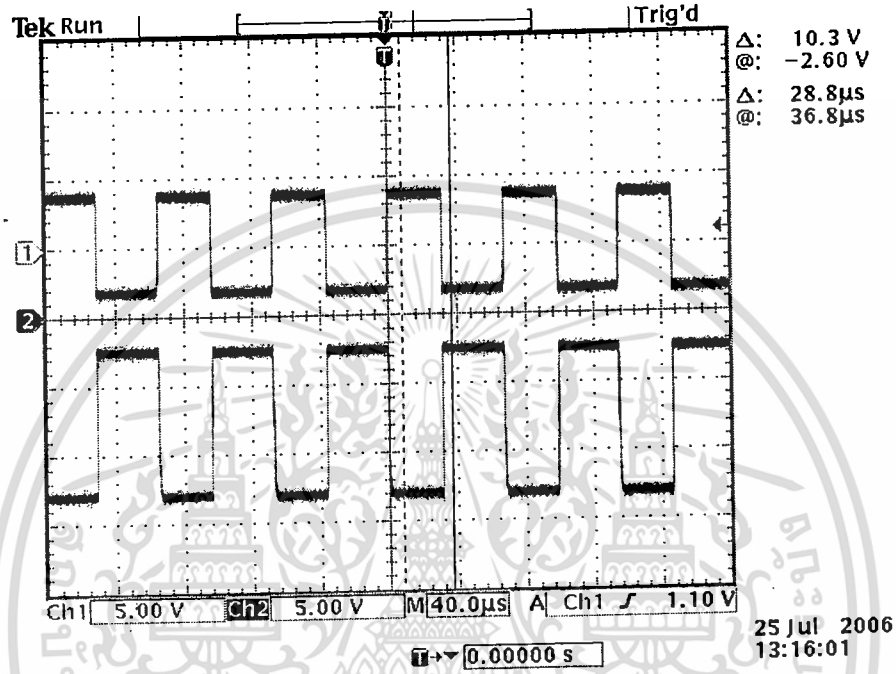
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่เกิดจากการมอดูเลต แล้วทำการพล็อตสเปคตรัมในโดเมนความถี่ จะเห็นว่ามีความถี่สูงเกิดขึ้น ซึ่งเป็นความถี่ที่ไม่ต้องการ เพราะฉะนั้นจงใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อกำจัดความถี่สูงทิ้ง



รูปที่ 4.4 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่เกิดจากการมอดูเลต แล้วทำการพล็อตสเปคตรัมในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

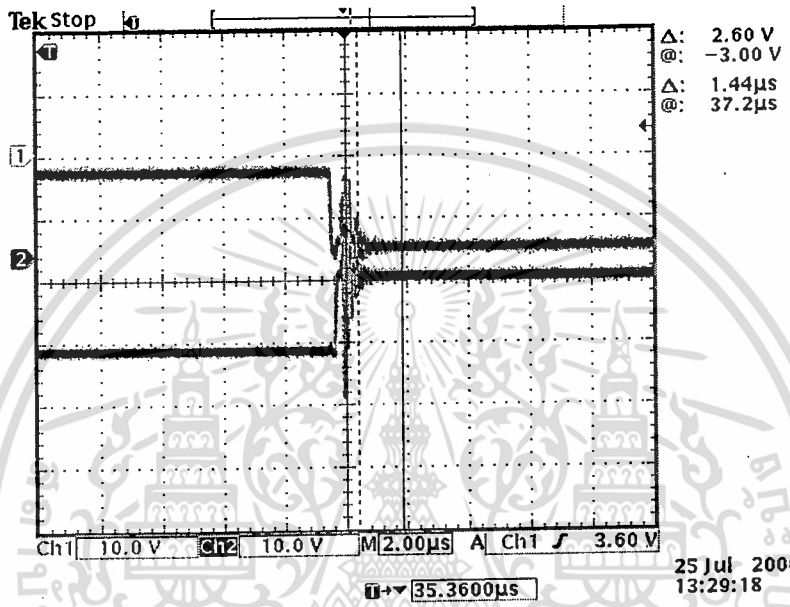
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift) เทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ Channel 1 เอาท์พุทที่ Channel 2 ได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.5 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift) เทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ Channel 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

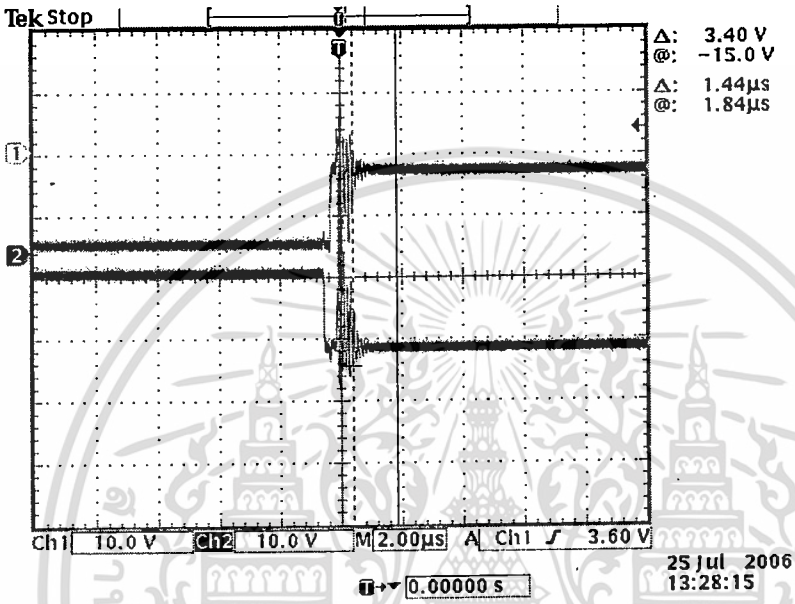
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay) เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่ออกจากวงจรจัดระดับสัญญาณ (Level shift) ที่ Channel 1 เอาท์พุท (HIN) Channel 2 เอาท์พุท (LIN)ได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่กลับเฟสกันและมีการหน่วงเวลาเกิดขึ้น



รูปที่ 4.6 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay) เทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ออกจากวงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift) ที่ Channel 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

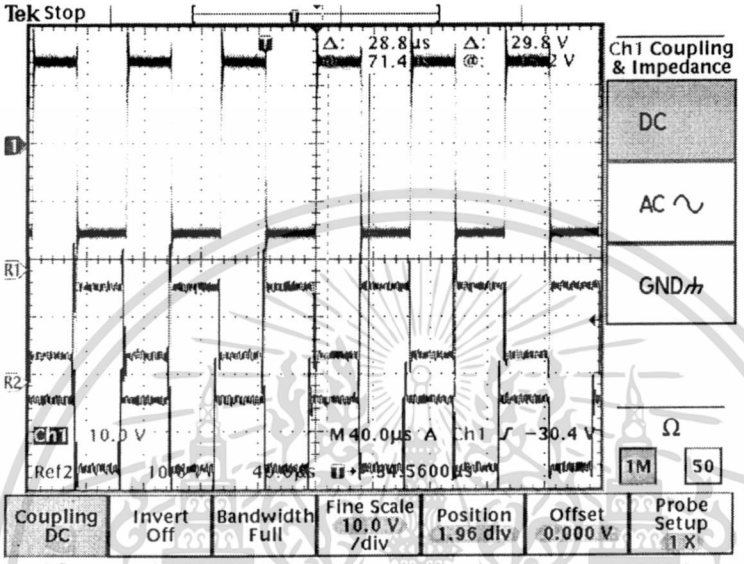
วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay) เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ออกจากวงจรจัดระดับสัญญาณ (Level shift) ที่ Channel 1 เอาท์พุท (HIN) Channel 2 เอาท์พุท (LIN)ได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีการกลับเฟสกันและมีการหน่วงเวลาเกิดขึ้น



รูปที่ 4.7 วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ (Delay) เทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ออกจากวงจรจัดระดับสัญญาณ (Level Shift) ที่ Channel 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรขับสัญญาณ (Driver) เทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ Channel R1 และที่ Channel R2 เอาท์พุทที่ Channel 1 ได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.8 วัดสัญญาณเอาท์พุท ที่วงจรขับสัญญาณ (Driver)เทียบกับสัญญาณอินพุท เมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ Channel R1 และที่ Channel R2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้