ปีการศึกษา 2532

การขยายสัญญาณแบบคลาสดี

(CLASS D POWER AMPLIFIER)

โดย

1.นายธีรสันต์ กูลมงคลรัตน์ 29.1075

2.นายนิรันดร์ ว่องไววุฒิกุลเดช 29.1082

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มนัส สังวรศิลป์

026879

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

เรื่อง การขยายสัญญาณแบบคลาสดี

(CLASS D POWER AMPLIFIER)

ผู้จัดทำ

1.นายธีรสันต์ กูลมงคลรัตน์ 29.1075

2.นายนิรันดร์ ว่องไววุฒิกุลเดช 29.1082

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ชนัส สังวรศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026879

วงจรขยายกำลังแบบคลาสดี

(CLASS D POWER AMPLIFIER)

นายธีรสันต์ กูลมงคลรัตน์ 29.1075

นายนิรันดร์ ว่องไววุฒิกุลเดช 29.1082

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มนัส สังวรศิลป์

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

การขยายสัญญาณแบบคลาสดี เป็นการขยายสัญญาณแบบหนึ่ง ซึ่งอาศัยหลักการของ pulse width modulation คือ การนำเอาคลื่นพาหะ (คลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม)มาทำการ modulate กับ สัญญาณ input โดยใช้ voltage comparator เปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณ input โดย output ที่ได้ จะเป็น pulse ที่มีความกว้างของสัญญาณเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณ input

สัญญาณที่ได้จากการ modulate จะถูกนำไปขับภาค output ซึ่งทำงานในลักษณะของ switching และนำสัญญาณที่ได้จากภาคนี้ มาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านต่อไป ซึ่งจะได้สัญญาณเอาพุทที่มีลักษณะเหมือนอินพุท

ข้อดีของวงจรขยายสัญญาณแบบคลาสดี คือ การสูญเสียของพลังงานจะมีน้อยโดยมีประสิทธิภาพเกือบ 100 %

ส่วนข้อเสียของวงจรขยายแบบนี้คือ ต้องการวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ดีมากๆ และการสวิทช์ของกระแสสูงๆ ทำให้เกิด noise ขึ้น ซึ่งเรียกว่า electromagnetic interference (EMI)

สำหรับจุดประสงค์ของ project นี้ คือการใช้วงจรขยายกำลังแบบคลาสดีเพื่อไดรว์โยคในจอมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLASS D POWER AMPLIFIER

MR.TEERASAN KOONMONGKOLRAT 29.1075

MR.NIRAN WONGWAIWUTTIKULDEJ 29.1082

ADVISOR

ASSOCIATE PROFESSOR MANUS SUNGWORASIL

ABSTRACT

A class-d amplifier is one which its fundamental component is a pulse-width modulator. By using a sawtooth generator and a voltage comparator , a pulse-width modulator can be constructed.

A pulse-width modulator will produce a train of pulses having widths that are proportional to the level of the amplifier's input signal.

The output of pulse-width modulator is used for driving the output stage of the class-d amplifier , causing it to switch on and off as the pulses switch between high and low.

The principal advantage of a class-d amplifier is that it may have a very high efficiency , approaching 100% .

The principal disadvantage are the need for a very good low pass filter and the fact that high-speed switching of heavy currents generates noise through electromagnetic coupling , called electromagnetic interference , or EMI

The purpose of this project is to use a "class-d power amplifier" for driving the yoke-coil which used in a monitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

1.บทนำ	หน้าที่	1
2.ทฤษฎี	"	3
2.1 พัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์	"	4
2.2 ไดรเวอร์	"	6
2.3 วงจรขยายในภาคเอาพุท	"	6
2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	"	7
2.5 วงจรป้อนกลับ	"	10
3.การออกแบบและการสร้าง	"	11
3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	"	11
3.2 วงจรพัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์	"	17
3.3 วงจรไดรเวอร์	"	21
3.4 วงจรสวิทชิ่งแอมปลิฟลายเออร์	"	23
3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	"	26
3.6 วงจรป้อนกลับ	"	27
4.ผลการทดลอง	"	28
5.สรุปและวิจารณ์	"	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1 บทนำ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการขยายสัญญาณแบบต่างๆโดยย่อ เพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการขยายสัญญาณแบบต่างๆ เพื่อแสดงเหตุผลว่า ทำไมจึงเลือกใช้การขยายสัญญาณแบบคลาสดี

-การขยายแบบคลาสเอ เป็นการขยายสัญญาณแบบที่ให้ผลการขยายสัญญาณดีที่สุด โดยไม่มีความเพี้ยนของสัญญาณ(distortion) แต่ให้ผลทางด้านกำลังขยายสัญญาณต่ำที่สุด (low efficiency) และสำหรับการขยายแบบคลาสเอนี้ ในภาวะที่รอสัญญาณ(quiescent) จะเกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปในรูปพลังงานความร้อนประมาณ 75-80% ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

-การขยายแบบคลาสบี และ คลาสเอบี ซึ่งโดยทั่วไปใช้การขยายโดยวงจรที่เรียกว่าพุช-พูล (push-pull)และวงจรคอมพลีเมนทารี่ (complementary) ซึ่งใช้หลักการขยายสัญญาณแบบครึ่งคลื่น ข้อดีของวงจรนี้ ก็คือ ในภาวะรอสัญญาณจะเกิดการสูญเสียพลังงานน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคลาสบี เมื่อเทียบกับคลาสเอบี แต่คลาสบีจะทำให้เกิดความเพี้ยน (cross over distortion) ในการแก้ปัญหานี้ ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบวงจรขยายแบบคลาสเอบี เพื่อกำจัดความเพี้ยนดังกล่าว แต่ในขณะเดียวกัน วงจรขยายสัญญาณแบบคลาสเอบี ก็ยังคงมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน และแน่นอนยังคงมีความเพี้ยนของสัญญาณอยู่บ้าง

-การขยายแบบคลาสซี เป็นการออกแบบการทำงานในย่านไม่ลิเนียร์(non linear) เพื่อให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณ และ ทำให้เกิดการรวมตัวและการหักล้างของสัญญาณทางความถี่ ทำให้เกิดสัญญาณใหม่เกิดขึ้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็คือ การทำงานของวงจรมิกเซอร์ (mixer) ในเครื่องรับวิทยุทั่วไป

-การขยายสัญญาณแบบคลาสจี และคลาสเอช เป็นการออกแบบเพื่อขยายให้ได้กำลังขยายสูงสุด โดยใช้ power supply และ heatsink ขนาดเล็ก การขยายใช้ power transistors ขยายกำลังสองชุด และ power transistors ชุดสุดท้าย จะมีไฟเลี้ยงพิเศษสำหรับการขยายโดยเฉพาะ คุณสมบัติในการขยายแบบคลาสจีและเอชให้ผลในการรับสัญญาณดีมาก แต่ในการออกแบบ ยังคงจำเป็นต้องใช้ขนาดของ amplifier ที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภาคไฟเลี้ยงของชุด amplifier ดังกล่าว จะทำให้รูปแบบของชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

amplifier มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น

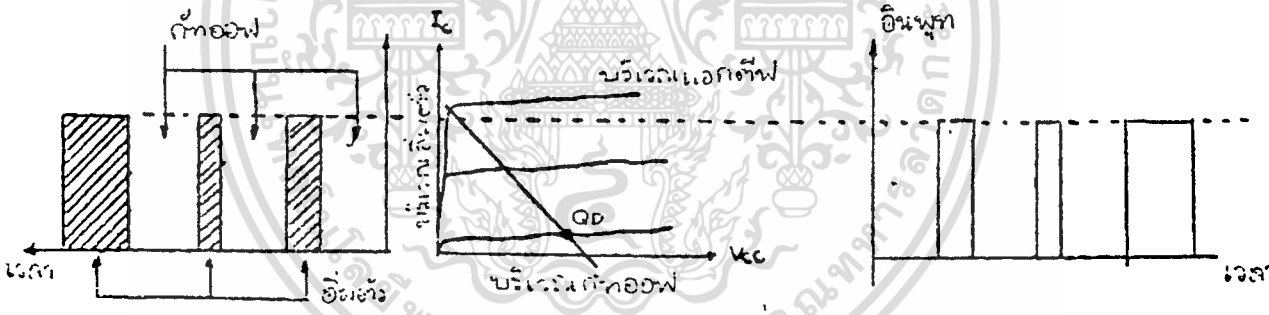
-การขยายสัญญาณแบบคลาสดี เป็นการขยายสัญญาณแบบ switching amplifier และลักษณะการขยายแบบนี้ จะบังคับให้ power transistor อยู่ในภาวะon หรือ cutoff เต็มรูปสัญญาณ ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนน้อยที่สุด เนื่องจากในสภาวะคัทออฟ จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน power transistor และ ในภาวะ on หรือ อิ่มตัว (saturation) นั้นความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัว power transistor จะน้อยมาก เกือบเท่ากับศูนย์ ทำให้การขยายแบบคลาสดีนี้เกือบไม่มี power dissipation เลย แต่ในทางปฏิบัติ ย่อมจะต้องมีการสูญเสียบ้าง แต่ยังคงสูญเสียน้อยกว่าการขยายสัญญาณแบบอื่นๆทั้งหมด ส่วนข้อเสียของวงจรขยายแบบนี้ คือ ความเพี้ยนของสัญญาณจะมีสูง ทำให้ต้องการวงจร low pass filter ที่มีคุณภาพดีมากๆ และการสวิทช์ของกระแสสูงๆ ทำให้เกิดน้อยส์ขึ้น ซึ่งเรียกว่า electromagnetic interference (EMI)เกิดขึ้น ทำให้วงจรในภาคขยายต้องมีการชีลด์อย่างดีเพื่อลดผลรบกวนที่จะมีต่ออุปกรณ์เครื่องใช้อื่นๆ

สำหรับจุดประสงค์ของ projectนี้ ก็เพื่อใช้ class d power amplifierในการไดร์ว์ yoke-coil ในจอมอนิเตอร์ ซึ่งมีอินพุทเป็นสัญญาณ sawtooth และไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความเพี้ยนของสัญญาณมากนัก ดังนั้น เพื่อให้การสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด และประสิทธิภาพมากที่สุด จึงเลือกใช้การขยายสัญญาณแบบคลาสดี โดยใช้ power mosfet ซึ่งใช้งานได้ดีที่ความถี่สูง แทน power transistor ในภาคเอาพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2 ทฤษฎี

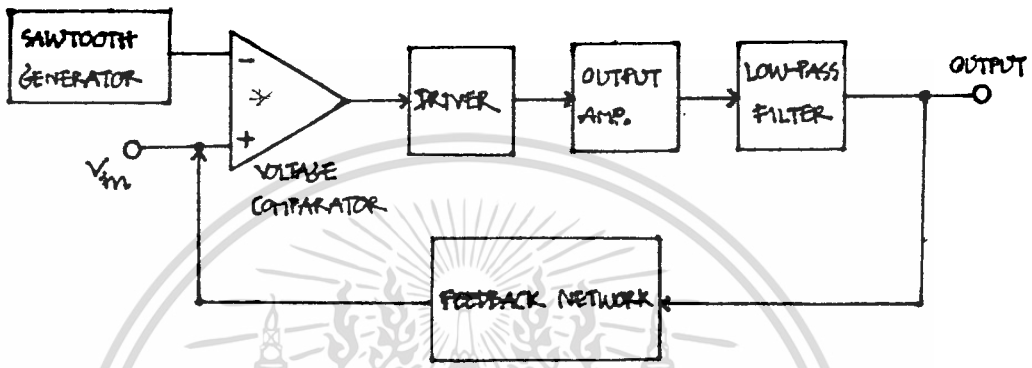
การขยายสัญญาณแบบคลาสดี เป็นการขยายสัญญาณในลักษณะของสวิทชิ่ง คือ เอาพุทของการขยายสัญญาณแบบนี้ จะถูกสวิทช์ให้เป็น on และ off โดยแทบจะไม่มีช่วงของการทำงานแบบลิเนียร์เลย ช่วงเวลาเดียวเท่านั้น ที่ภาคเอาพุทจะทำงานแบบลิเนียร์ ก็คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการสวิทช์จากการ saturate ไป cutoff ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมากๆหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือ ภาคเอาพุทจะเป็นแบบ digital power switch ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ทำให้การขยายแบบคลาสดี มีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าการขยายสัญญาณแบบอื่นๆทั้งหมดโดย การขยายสัญญาณแบบคลาสดีนี้ กระแสที่ไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ จะมีลักษณะเป็น square pulse โดยจุดปฏิบัติการของการไบอัส แสดงดังรูป 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทำงานของวงจรขยายสัญญาณแบบคลาสดี

สามารถแสดงในลักษณะของบล็อคไดอะแกรมดังนี้



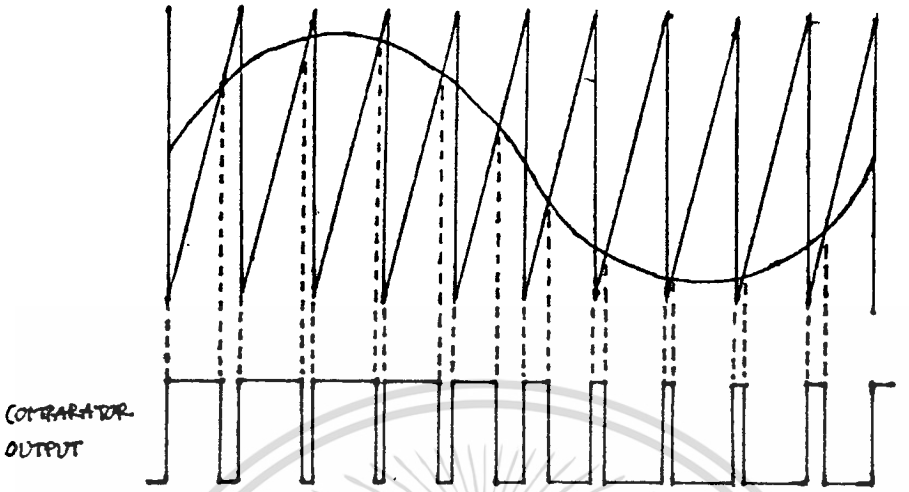
โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดการทำงานของวงจรในส่วนต่างๆโดยละเอียดต่อไป

2.1 นัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์ (pulse-width modulator)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากในวงจรขยายแบบคลาสดี โดยจะทำหน้าที่ให้กำเนิดนัลซ์ ซึ่งจะส่งไปยังภาคไดรเวอร์ต่อไป โดยนัลซ์ที่ได้ จะมีลักษณะเป็นนัลซ์ที่มีความกว้างของสัญญาณเปลี่ยนไปเป็นสัดส่วนตามขนาดของสัญญาณอินพุท

โดยเมื่อระดับสัญญาณอินพุทต่ำ, นัลซ์จะแคบ และเมื่อระดับสัญญาณอินพุทสูง, นัลซ์จะกว้าง ดังแสดงในรูป 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป2.2 แสดงลักษณะของสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น

ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อสัญญาณอินพุทเพิ่มขึ้นและลดลง จะทำให้ความกว้างของพัลซ์เพิ่มขึ้นและลดลงด้วย โดยเป็นสัดส่วนตรงกันกับสัญญาณอินพุท

ส่วนรูป2.3 แสดงการสร้างพัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์ โดยการใช้วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (triangular generator) และ วงจรโวลเตจคอมพาราเตอร์ (voltage comparator) โดยความเป็นเชิงเส้น (linearity)ของพัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์ จะขึ้นอยู่กับความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณสามเหลี่ยม

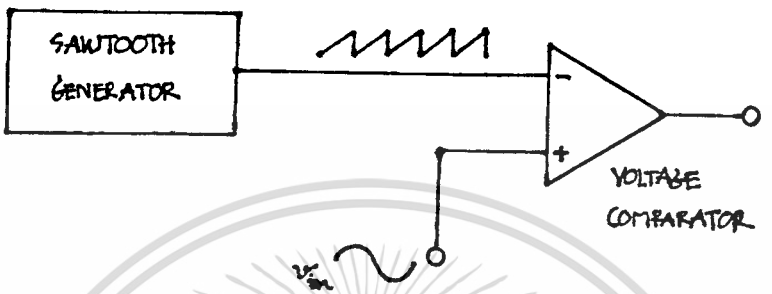
สัญญาณอินพุทและสัญญาณสามเหลี่ยมจะถูกนำไปรวมกัน โดยใช้วงจรโวลเตจคอมพาราเตอร์ โดยสัญญาณอินพุทป้อนเข้าที่ non inverting input และสัญญาณสามเหลี่ยมป้อนเข้าที่ inverting input

เมื่อสัญญาณสามเหลี่ยมมีขนาดสูงกว่าสัญญาณอินพุท เอาพุทของคอมพาราเตอร์จะเป็น "0" (low) เมื่อสัญญาณสามเหลี่ยมมีขนาดต่ำกว่าสัญญาณอินพุท เอาพุทของคอมพาราเตอร์จะเป็น "1" (high) โดยทั้งนี้ โวลเตจของสัญญาณสามเหลี่ยม (peak-to-peak voltage) ต้องมีขนาดใหญ่กว่าโวลเตจของสัญญาณอินพุท

โดยความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม ควรจะมีความถี่มากกว่าสัญญาณอินพุทอย่างน้อยสิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่า โดยจากหลักการนี้ จะได้พัลซ์ที่มีความกว้างของพัลซ์เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณอินพุท



รูป2.3 แสดงการสร้างพัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์

2.2 ภาคไดรเวอร์ (driver)

เมื่อได้สัญญาณจากส่วนพัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์แล้ว สัญญาณที่ได้จะถูกนำมาผ่านภาคไดรเวอร์เพื่อไดรว์ภาคเอาพุทต่อไป โดยจะเป็นตัวไดรว์ให้ภาคเอาพุทสวิทช์ on และ offในขณะที่สัญญาณพัลซ์ที่เข้ามาสวิทช์ high และ low

2.3 วงจรขยายในภาคเอาพุท (Output Switching Amplifier)

วงจรขยายในภาคเอาพุท จะประกอบด้วย power mosfet 2 ตัว สลับกันทำงาน โดยจะทำงานในลักษณะของพุชพูล (push-pull) โดยขณะที่มอสเฟทตัวหนึ่ง on อีกตัวหนึ่งจะ off การทำงานของมอสเฟสทั้งสอง จะถูกควบคุมโดยสัญญาณจากภาคไดรเวอร์ เพื่อให้มอสเฟททั้งสอง on และ off ตามลักษณะของสัญญาณพัลซ์ที่เข้ามาซึ่งถูกสวิทช์เป็น high และ low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter)

วงจรส่วนนี้ ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่สูงออก ให้เหลือแต่สัญญาณความถี่ต่ำ โดยสัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลท จะเป็นการผสมระหว่างคลื่นพาหะ (คลื่นสามเหลี่ยม) กับสัญญาณอินพุท โดยคลื่นพาหะจะเป็นคลื่นที่มีความถี่สูง และสัญญาณอินพุทจะเป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ

ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะกรองเอาคลื่นสามเหลี่ยมออกให้เหลือแต่สัญญาณอินพุท โดยการใช้วงจรที่ประกอบด้วย L และ C

ในรูปที่2.5 แสดงตัวอย่างวงจรซึ่งเป็นแบบ L โดยวงจรกรองทั้งหมดอาศัยข้อดีจากความจริงที่ว่า ตัวเก็บประจุกับคอยล์ทำงาน กลับกันในกรณีของกระแสสลับ นั่นคือ ค่าอินดักทีฟรีแอคแตนท์ (inductive reactance) เพิ่มขึ้นตามความถี่ ส่วนค่าคาพาซิทีฟ รีแอคแตนท์ (capacitive reactance)ลดลงตามความถี่ ดังนั้นในวงจร

กรองความถี่ต่ำ จะมีค่ารีแอคแตนซ์ลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น จึงเป็นการบายพาสความถี่สูง แต่จะมีค่ารีแอคแตนซ์เพิ่มขึ้นต่อความถี่ต่ำสำหรับกรณี parallel unit (ตัวเก็บประจุต่อคร่อมลายน์)และจะมีค่ารีแอคแตนท์ต่อความถี่สูงเพิ่มขึ้น และ ผ่านความถี่ต่ำไปได้ในกรณีของ series unit (คอยล์ต่อกับลายน์)

วงจรฟิลเตอร์ส่วนใหญ่ ผลคูณของอิมพีแดนซ์ที่ได้จากค่าความจุและความเหนี่ยวนำจะคงที่ตลอดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ (เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกลับกันของค่ารีแอคแตนซ์) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าคาพาซิตีฟ รีแอคแตนซ์ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความถี่แล้ว ค่าอินดัคตีฟรีแอคแตนซ์จะเพิ่มขึ้นด้วยจำนวนที่เท่ากัน จากคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของวงจรที่มีค่าคงที่ตลอดนี้ เราจึงเรียกว่าวงจร constant-k filter

ปัญหาอย่างหนึ่ง ที่มักพบกับวงจรฟิลเตอร์แบบ L พื้นฐานดังกล่าว ก็คือ มันไม่อาจให้ความถี่ความถี่คัทออฟ (f_c) ที่ sharp ได้ ด้วยเหตุนี้หากต้องการให้ความถี่คัทออฟ sharp มากๆแล้ว ก็ต้องเพิ่มคอยล์อีกชุดหนึ่งเข้าไปดังแสดงในรูปที่2.6 วงจรแบบนี้ เรียกว่าวงจรฟิลเตอร์แบบ T โดยในวงจรฟิลเตอร์แบบ T นี้ ค่าของตัวเก็บประจุ Cไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกรณีของแบบ L และสมการคงเหมือนกัน ทั้งนี้ค่าความเหนี่ยวนำทั้งหมดของ L_1 และ L_2 ต้องให้มีค่าเท่าเทียมกับของคอยล์ชุดเดียวในแบบ L ซึ่งโดยปกติแล้ว ค่าความเหนี่ยงนำทั้งหมดที่ต้องการจะได้จากการแบ่งค่ากันระหว่าง 2 คอยล์ ดังนั้น แต่ละคอยล์ในวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ T ก็จะมีค่า เป็นครึ่งหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ความชัน (sharpness) ของความถี่ สามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไปอีกตัวหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่2.7 ซึ่งวงจรแบบนี้มีชื่อเรียกว่าแบบพาย โดยในวงจรฟิลเตอร์แบบพายนี้ ค่าของ L ไม่เปลี่ยน แต่ค่าของตัวเก็บประจุทั้งหมด (c_1 และ c_2) จะต้องมีค่าเท่ากับค่าของตัวเก็บประจุตัวเดียวในวงจรฟิลเตอร์แบบ L ดังนั้นโดยปกติแล้วตัวเก็บประจุแต่ละตัวในวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาย จะเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความจุที่ต้องการ

ในกรณีที่เราต้องการจุดคัทออฟที่ชัดเจน แน่นอนมากๆและ sharp ด้วย ซึ่งไม่อาจกรองได้จากวงจรกรองแบบ constant-k เราจะใช้วงจรกรองแบบ m-derived

วงจรนี้ออกแบบให้มีการลดทอนที่ความถี่เฉพาะที่เหนือกว่าความถี่คัทออฟ (f_c) อย่างไม่สิ้นสุด (infinite) โดยที่อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์จะเกี่ยวข้องกับค่าคงที่ "m" (m-constant) ซึ่งในรูปสมการเป็นความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างความถี่คัทออฟ (f_c) กับความถี่ของการลดทอนอนันต์ (infinite attenuation) หรือ f_∞ ซึ่งค่าคงที่ "m"นี้ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และปกติจะมีค่าประมาณ 0.6

โดยสมการที่ใช้ในการกำหนดค่าต่างๆของวงจร สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_1 = mR/3.1416f_c$$

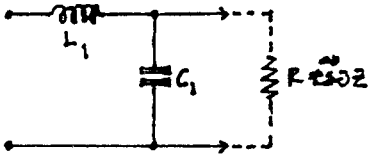
$$L_2 = (1-m^2)R/(4m*3.1416*f_c)$$

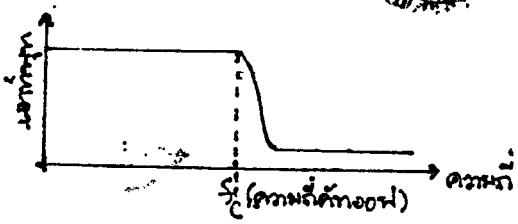
$$C_1 = m/(3.1416*f_c*R)$$

$$m(constant) = sqr\{(1-(f_c^2)/f_\infty\}$$

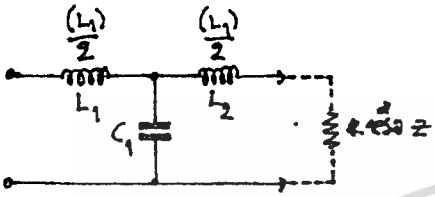
$$C_2 = \{(1-m)^2\}/(4*m*3.1416*f_c*R)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

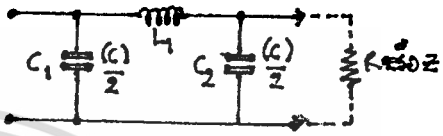




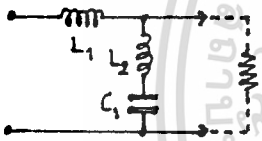
รูปที่ 2.5 วงจรแบบ L, LOW-PASS, CONSTANT-K FILTER



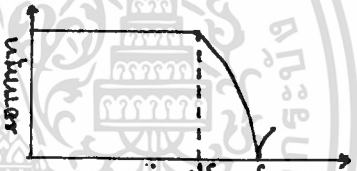
รูปที่ 2.6 วงจรแบบ T, LOW-PASS, CONSTANT-K FILTER



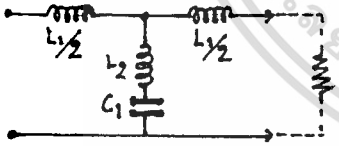
รูปที่ 2.7 วงจรแบบ π, LOWPASS, CONSTANT-K FILTER



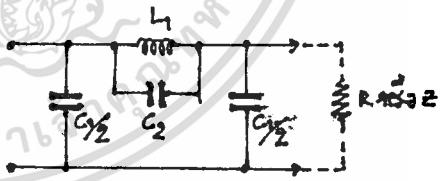
ก) ชนิดผ่านต่ำ



ข) ความถี่



ค) แบบ T



ง) แบบ π

วงจรกรองความถี่ต่ำ m-derived

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
026879

2.5 วงจรป้อนกลับ (feedback circuit)

วงจรในส่วนนี้ เป็นวงจรที่ใช้การป้อนกลับแบบลบ เพื่อลดความเพี้ยนของสัญญาณที่จะเกิดขึ้นที่ภาคเอาพุท โดยวงจรนี้จะเซนต์กระแสจากภาคเอาพุท แล้วทำการป้อนกลับแบบโวลเตจมายังภาคอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3 การออกแบบและการสร้างวงจร

วงจรขยายกำลังแบบคลาสดี ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

3.2 วงจร pulse width modulator

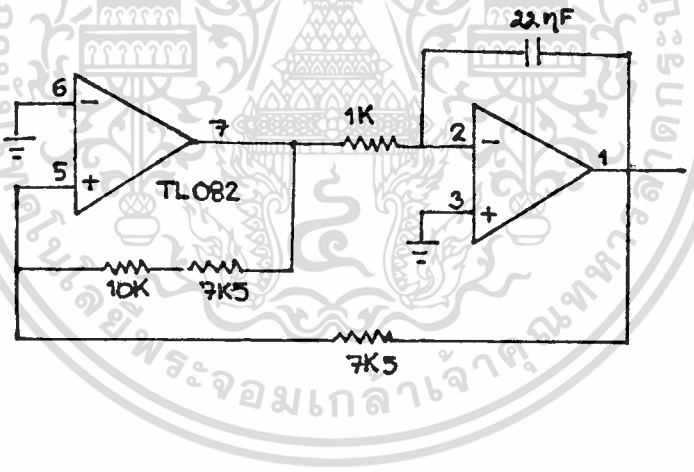
3.3 วงจร driver

3.4 วงจร switching amplifier

3.5 วงจร low pass filter

3.6 วงจร feedback

3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม



รูป 3.1 แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

วงจรนี้ประกอบด้วยออปแอม 2 ตัว สามารถสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม(square wave) กับ สัญญาณสามเหลี่ยม (triangular wave) ได้

โดยออปแอมตัวแรก ถูกต่อในลักษณะของคอมพาราเตอร์ซึ่งมี reference voltage ที่ 0 โวลต์ เอาท์พุทที่ได้ออกมาจะเป็น square wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนออปแอมตัวที่สอง ถูกต่อในลักษณะของอินทีเกรเตอร์ (integrator) โดยจะอินทีเกรตสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เข้ามา ดังนั้นเอาพุทที่ได้จะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม

แอมปลิจูดของ square wave จะถูกกำหนดโดย output swing ของออปแอมตัวแรก และ แอมปลิจูดของคลื่นสามเหลี่ยม จะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของ R_1/R_2 และขนาดของสัญญาณสี่เหลี่ยม

ส่วนความถี่ของการออสซิเลชั่น เป็นดังสมการต่อไปนี้

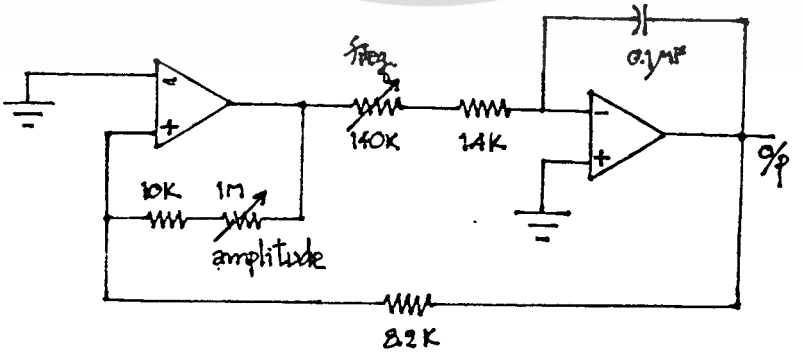
$$f_o = R_2/4CRR_1$$

แอมปลิจูดของสัญญาณสามเหลี่ยม เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$V_t = V_{sq}R_1/R_2$$

ใน project นี้ ต้องการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีขนาด 10 V_{pp} และมีความถี่ 20 kHz ค่าต่างๆที่คำนวณๆได้ จะอยู่ในรูปที่ 3.1

นอกจากนี้ วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมได้มีการออกแบบเพื่อความสะดวกโดยไม่ต้องมาคำนวณค่าต่างๆโดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวปรับทั้งทางด้านแอมปลิจูดและความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูป3.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

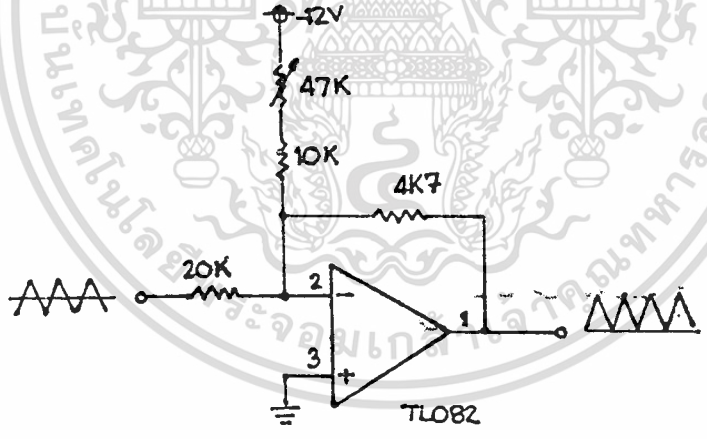
คลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากรูป 3.1 มีขนาด 10 V_{pp} และ มีความถี่ 20 kHz ซึ่งจะ swing จาก -5 โวลต์ถึง 5 โวลต์ แต่เนื่องจากมีส่วนของสวิทชิ่งแอมปลิฟลายเออร์ต่ออยู่ในลักษณะของวงจรขนาน โดยมี power mosfet 2 ตัว คือ P และ N channel สลับกันทำงาน ดังนั้นสัญญาณที่จะไปไดรว์เกทของ mosfet จึงควรแยกเป็น 2 ชุด คือ ทางชุดบวกและทางชุดลบ โดยสัญญาณทางชุดบวกจะไปไดรว์ p channel mosfet และสัญญาณทางชุดลบจะไปไดรว์ n channel mosfet

วิธีการยกระดับคลื่นสามเหลี่ยม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน

3.1.1 ยกระดับคลื่นสามเหลี่ยมขึ้นมาอยู่ที่ชุดบวก

3.1.2 ยกระดับคลื่นสามเหลี่ยมลงมาที่ชุดลบ

3.1.1 การยกระดับคลื่นสามเหลี่ยมมาที่ชุดบวก



รูปที่3.3 แสดงวงจรยกระดับสัญญาณสามเหลี่ยมมาชุดบวก

วงจรนี้ใช้หลักการของ summing amplifier คืออินพุทของวงจรมี 2 ส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยสัญญาณสามเหลี่ยมจากวงจรรูป3.1 และ ไฟเลี้ยง DC -12 โวลต์

วิธีการคำนวณ จะใช้หลักการของ super position คือ จะแยกคิดอินพุทของแต่ละตัว แล้วนำเอาพุทที่ได้มารวมกัน

ก. อินพุทเป็นสามเหลี่ยม จะถูกความต้านทาน 20k และ 4.7k ลดทอนลง ดังสมการต่อไปนี้

$$V_o = -R_f V_1 / R_1$$

$$= 4.7*10/20$$

$$= 2.35 \text{ volt}$$

เอาพุทจากส่วนนี้ จะเป็นคลื่นสามเหลี่ยมที่มีขนาดเท่ากับ 2.35 โวลต์

ข. อินพุทเป็นไฟเลี้ยง -12 โวลต์

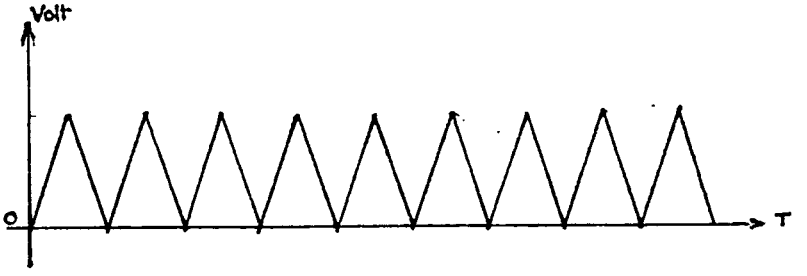
$$V_o = -R_f V_2 / R_2$$

$$= -4.7*(-12)/57$$

$$= 1 \text{ volt}$$

เอาพุทจากส่วนนี้ จะเป็นไฟ DC มีขนาด 1 โวลต์

เมื่อนำเอาพุทของทั้งสองส่วนมารวมกัน จะได้คลื่นสามเหลี่ยมที่ถูกยกระดับขึ้นมาที่ชีกบวก ดังแสดงในรูปที่ 3.4

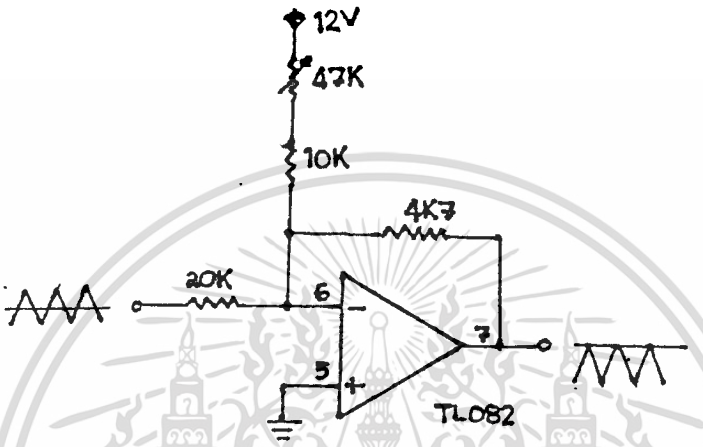


รูป3.4 แสดงสัญญาณสามเหลี่ยมที่ถูกยกระดับไปชีกบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในส่วนนี้นับว่ามีความสำคัญต่อระบบ โดยเฉพาะดีซีออฟเซ็ท สามารถแก้ไขได้โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ ดังแสดงในรูป 3.3

3.1.2 การยกระดับคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมลงไปที่ซีกลบ



รูปที่3.5 แสดงวงจรยกระดับคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมไปซีกลบ

วงจรนี้ ใช้หลักการเดียวกัน กับวงจรที่ยกระดับสัญญาณไปซีกบวก ต่างกันตรงที่สัญญาณอินพุทที่เป็นไฟเลี้ยง DC กล่าวคือ วงจรที่จะยกระดับคลื่นสามเหลี่ยมไปซีกลบจะป้อนอินพุท +12 โวลต์ดีซี ส่วนวงจรที่จะยกระดับคลื่นสามเหลี่ยมขึ้นไปทางซีกบวก จะป้อนอินพุทเป็นไฟเลี้ยง -12 โวลต์ดีซี

วิธีการคำนวณ

ก. อินพุทเป็นสามเหลี่ยม จะถูกความต้านทาน 20k และ 4.7k ลดทอนสัญญาณลงดังสมการ

$$V_o = -V_i * R_f / R_i$$

$$= 10 * 4.7 / 20$$

$$= 2.35 \text{ volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาพุทที่ได้จากส่วนนี้ จะเป็นคลื่นสามเหลี่ยมที่กลับเฟสกับอินพุทและมีขนาด 2.35 โวลต์

ข. อินพุทเป็นไฟเลี้ยง +12 โวลต์ดีซี

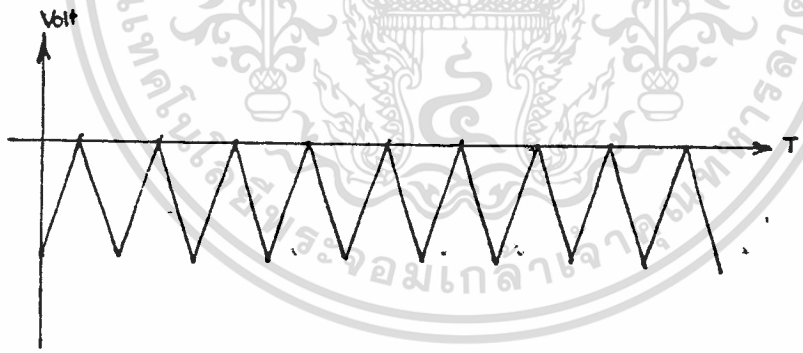
$$V_o = -V_i * R_f / R_i$$

$$= -12 * 4.7 / 57$$

$$= -1 \text{ volt}$$

เอาพุทที่ได้จากส่วนนี้จะเป็นไฟดีซี มีขนาด -1 โวลต์

เมื่อรวมเอาพุทที่ได้เข้าด้วยกัน จะได้คลื่นสามเหลี่ยม ที่ถูกยกระดับลงมาที่ซีกลบ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูป3.6 แสดงสัญญาณสามเหลี่ยมที่ถูกยกระดับมาซีกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรมัลติวิดมอดดูเลเตอร์

ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

2. วงจรโวลเตจคอมพาราเตอร์ ซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบสัญญาณอินพุทกับสัญญาณสามเหลี่ยม โดยอาศัยหลักการที่ว่า

-ถ้าสัญญาณที่ป้อนเข้าขา non inverting มากกว่าสัญญาณที่เข้าขาinverting เอาพุทที่ได้จะเท่ากับไฟบวก

-ถ้าสัญญาณที่ป้อนเข้าขา non inverting น้อยกว่าสัญญาณที่เข้าขาinverting เอาพุทที่ได้จะเท่ากับไฟลบ

เพราะฉะนั้นเอาพุทที่ได้จากคอมพาราเตอร์จะเป็นพัลซ์ที่ swing ทั้งขึ้นบวกและลบ

ใน project นี้ ใช้ LM311 เป็นคอมพาราเตอร์ เปรียบเทียบสัญญาณอินพุทกับคลื่นสามเหลี่ยม โดยการป้อนให้สัญญาณอินพุทเข้าที่ขา inverting และสัญญาณสามเหลี่ยมป้อนเข้าที่ขา non inverting การป้อนสัญญาณเพื่อเข้ามาเปรียบเทียบกันนั้น มีความสำคัญมาก เพราะถ้าป้อนขาสลับกัน จะมีผลทำให้วงจรในส่วน switching amplifier ไม่ทำงาน เนื่องจากสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นนี้จะเป็นตัวควบคุมการไหลของกระแสของ power mosfet คือเป็นสัญญาณที่จะควบคุมให้ power mosfet สวิทช์ on หรือ off

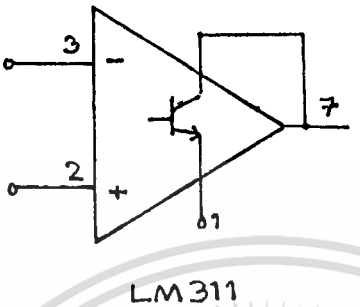
ข้อกำหนดที่สำคัญ

1. ความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยมกับสัญญาณอินพุท กำหนดให้ความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยมมีค่ามากกว่าสัญญาณอินพุท อย่างน้อย 10 เท่า

2. แอมปลิจูดของคลื่นสามเหลี่ยมต้องมากกว่าแอมปลิจูดของสัญญาณอินพุท

3. เนื่องจาก LM311 สามารถเลือกช่วง swing ของเอาพุทได้ กล่าวคือ ภายใน LM311 ที่ส่วนเอาพุทจะมีทรานซิสเตอร์ต่ออยู่ในลักษณะดังรูป 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

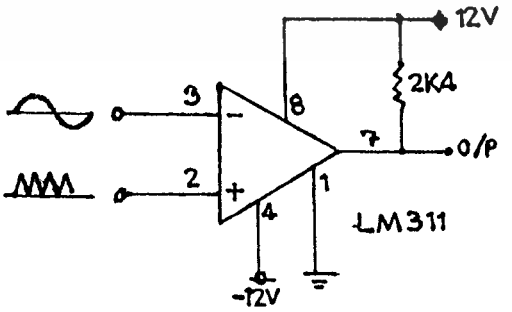


รูป3.7 แสดงส่วนเอาพุทภายใน LM311

จากรูป3.7 ที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ คือ ขา 7 และที่ขาอีมิตเตอร์ คือ ขา 1 ของ LM311

-ถ้าป้อนให้ที่ขาคอลเลคเตอร์เป็นไฟบวก และอีมิตเตอร์เป็นกราวด์ เอาพุทที่ได้จะ swing ในช่วงศูนย์ถึงไฟบวก

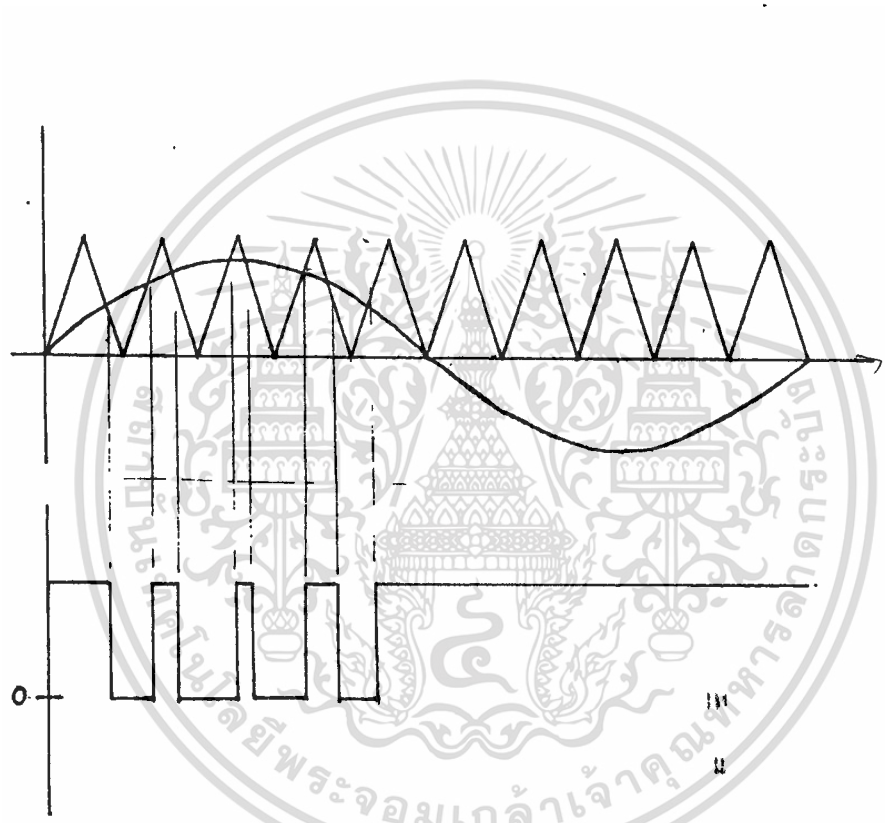
-ถ้าป้อนให้ที่ขาคอลเลคเตอร์เป็นกราวด์ และที่ขาอีมิตเตอร์เป็นไฟลบ เอาพุทที่ได้จะ swing ในช่วงศูนย์ถึงไฟลบ



รูปที่3.8 แสดงวงจรพัลซ์วิดมอดดูเลเตอร์ทางฝีกบวก

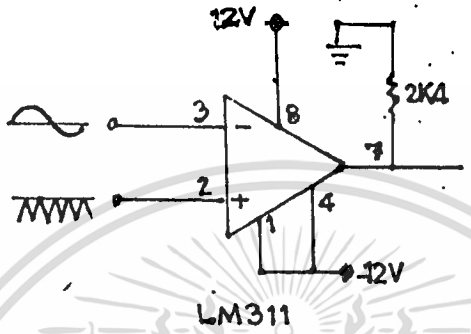
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่3.8 แสดงถึงการใช้ LM311 เป็นคอมพาราเตอร์สำหรับเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมทางขึกบวก กับ สัญญาณอินพุท โดยต่อขาหนึ่งลงกราวด์ และเอาพุทขา 7นั้น มีความต้านทาน 2.4k กับไฟบวก ดังนั้นเอาพุทที่ได้จากขา7 จะ swing จากช่วงศูนย์ถึงไฟบวก ดังแสดงในรูปที่3.9



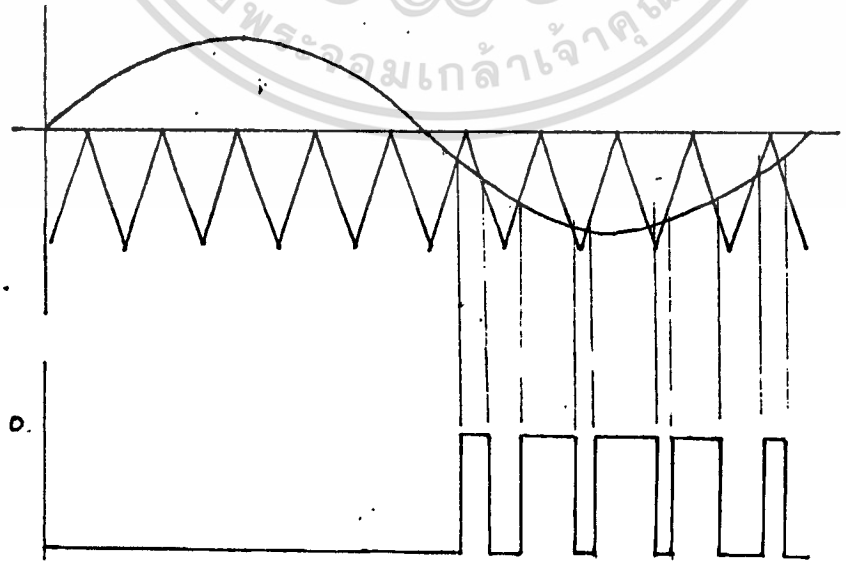
รูปที่3.9 แสดงสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นทางขึกบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.10 แสดงวงจรพัลช์วิดมอดดูเลชั่นทางชีกลบ

ในรูป3.10 ใช้ LM311 เป็นคอมพาราเตอร์สำหรับเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมทางชีกลบ กับ สัญญาณอินพุท โดยการต่อขา 1 ลงไฟลบ และเอาพุทขา7 มีความต้านทาน 2.4k ต่อเชื่อมกับกราวด์ ดังนั้น เอาพุทที่ได้จากขา7 จะ swing จากช่วงศูนย์ถึงไฟลบ ดังแสดงในรูปที่3.11



รูปที่3.11 แสดงสัญญาณพัลช์วิดมอดดูเลชั่นทางชีกลบ

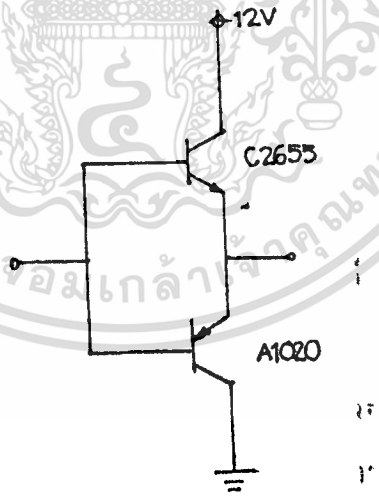
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรไดรเวอร์ (driver)

วงจรส่วนนี้มีหน้าที่เพิ่มกระแสให้มากขึ้น เพื่อที่จะไปไดรว์ power mosfet ให้สามารถทำงานได้ คือ มีกระแสเพียงพอในการชาร์จคาปาซิเตอร์ ที่อยู่ภายใน power mosfet ให้เต็มได้

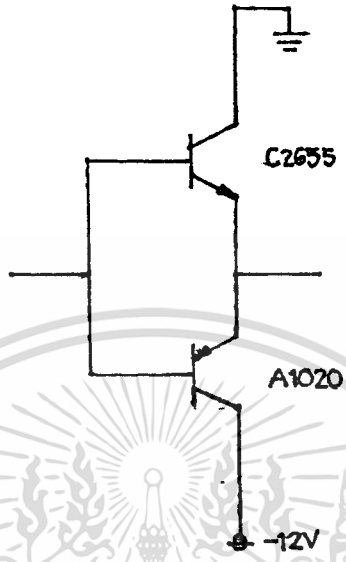
วงจรไดรเวอร์ ควรจะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ที่ทนกระแสได้สูง เพราะถ้าทรานซิสเตอร์ทนกระแสได้ต่ำ ทรานซิสเตอร์อาจพังได้ เนื่องจากการดิสชาร์จของคาปาซิสเตอร์ที่อยู่ภายใน power mosfet ผ่านทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ power mosfet อยู่ในสภาวะ off

ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว ถูกต่ออยู่ในลักษณะของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ทั้งสองชุด โดยวงจรไดรเวอร์ของ power mosfet ชนิด p channel จะต่อขาคอลเลคเตอร์ของ npn transistor เข้าไฟบวก และ ต่อขาคอลเลคเตอร์ของ pnp transistor ลงกราวด์ เพื่อให้สัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นมีการ swing อยู่ในช่วงศูนย์ถึงไฟบวก ดังแสดงในรูปที่3.12



รูปที่3.12 แสดงวงจรภาคไดรเวอร์ของ power mosfet ชนิด p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.13 แสดงวงจรภาคไดรเวอร์ power mosfet ชนิด n

ในรูปที่3.13 ขาคอลเลคเตอร์ของ npn transistor จะถูกต่อลงกราวด์และขาคอลเลคเตอร์ของ pnp transistor จะต่อลงไฟลบ ดังนั้นสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นที่ผ่านภาคไดรเวอร์มา จะมีการ swing อยู่ในช่วงศูนย์ถึงไฟลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรสวิทชิ่งแอมปลิฟลายเออร์ (switching amplifier)

ในส่วนนี้ใช้ power mosfet เป็นตัวสวิทช์ โดยมีหลักการว่า power mosfet ทั้ง ชนิด p และ n 2 ตัว จะสลับกันทำงาน โดยมีสัญญาณนัลซ์วิดมอดดูเลชั่น ป้อนเข้าที่ขาเกท เป็นตัวควบคุมการเปิดและปิด channel ของ power mosfet

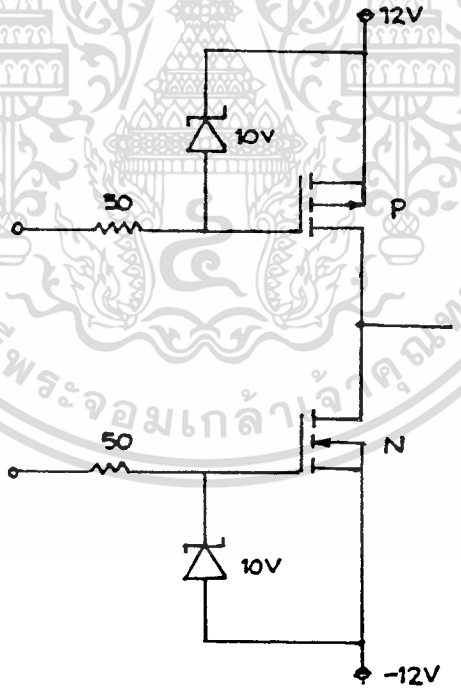
คุณสมบัติและการใช้งานของ power mosfet

1. จะใช้โวลเตจควบคุมที่ขาเกทของ power mosfet

2. power mosfet จะ on หรือ ทำงาน ก็ต่อเมื่อโวลเตจที่คร่อมขาเกทและซอร์ท มากกว่า threshold voltage ซึ่งส่วนใหญ่ จะมีค่าประมาณ 5 โวลต์

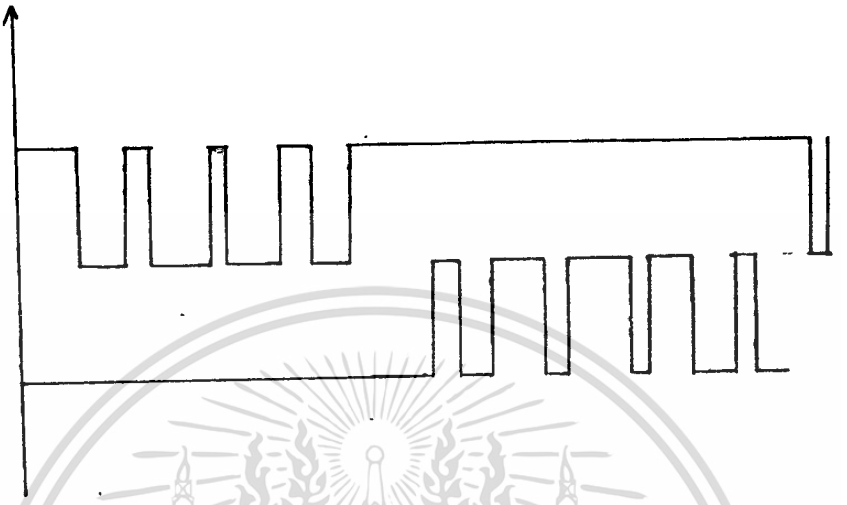
และ ถ้าโวลเตจที่คร่อมขาเกท และซอร์ทต่ำกว่า threshold voltage จะทำให้ power mosfet อยู่ในสภาวะ off หรือไม่ทำงาน

3. power mosfet เหมาะที่จะใช้กับสัญญาณที่มีความถี่สูง



รูปที่3.14 แสดงวงจรในส่วน switching amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.15 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นที่ขาเกทของ power mosfet ชนิด n และชนิด p

อธิบายการทำงาน

-สัญญาณ PWM ทางซีกบวก จะมีลักษณะเป็นช่วงไฟบวกสลับกับพัลซ์ที่ swing บวกกับศูนย์ โดยถ้าสัญญาณเป็นไฟบวก โวลเตจที่ขาเกทและซอร์ทจะเป็นจุดเดียวกัน มอสเฟทชนิด p จะไม่ทำงาน และช่วงที่สัญญาณเป็น 0 จะมีโวลเตจตกคร่อมขาเกทและซอร์ทเท่ากับ 12 โวลท์ ทำให้มอสเฟทชนิด p ทำงาน

-สัญญาณ PWM ทางซีกลบ จะมีลักษณะเป็นช่วงไฟลบสลับกับพัลซ์ที่ swing อยู่ในช่วงไฟลบถึงศูนย์ โดยถ้าสัญญาณที่ขาเกทเป็นไฟลบ โวลเตจที่ขาเกทและซอร์ทจะเป็นจุดเดียวกัน มอสเฟทชนิด n จะไม่ทำงาน และช่วงที่สัญญาณที่ขาเกทเป็น 0 จะมีโวลเตจตกคร่อมเกทกับซอร์ทเท่ากับ 12 โวลท์ ทำให้มอสเฟทชนิด n ทำงาน

จากรูปที่3.15 จะเห็นว่า ช่วงที่ PWM ทางซีกบวกเป็นไฟบวกตลอดนั้น ทาง PWM ทางซีกลบ จะมีการสวิงในช่วง 0 กับไฟลบ ดังนั้น PWM ทางซีกบวก จะทำให้มอสเฟทชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p ไม่ทำงาน ขณะที่ PWM ทางชีกลบมีการสวิง 0 ถึงไฟลบ จะทำให้มอสเฟท n นั้นทำงานในช่วงที่สัญญาณที่ขาเกทเป็นศูนย์ และหยุดทำงานในช่วงที่ขาเกทเป็นไฟลบ

ในช่วงเวลาต่อมา PWM ทางชีกบวก จะมีลักษณะเป็นพัลซ์สวิงในช่วง 0 ถึงไฟบวก ขณะที่ PWM ทางชีกลบ จะเป็นไฟลบตลอด ดังนั้น PWM ทางชีกลบ จะทำให้มอสเฟทชนิด n ไม่ทำงาน ขณะที PWM ทางชีกบวกมีการสวิงจาก 0 ถึงไฟบวก ทำให้มอสเฟทชนิด p ทำงานในช่วงที่สัญญาณที่ขาเกทเป็นศูนย์ และ หยุดทำงานในช่วงที่เกทเป็นไฟบวก

สรุปการทำงาน

1. มอสเฟทชนิด p จะหยุดทำงานเมื่อ สัญญาณที่ขาเกทเป็นไฟบวก

2. มอสเฟทชนิด n จะหยุดทำงานเมื่อ สัญญาณที่ขาเกทเป็นไฟลบ

3. มอสเฟทชนิด n และ p จะทำงาน เมื่อสัญญาณที่ขาเกทเป็นศูนย์ คือมีโวลเตจคร่อมขาเกทกับซอร์ท

4. ขณะที่มอสเฟทชนิด p ทำงาน มอสเฟทชนิด n จะไม่ทำงาน และขณะที่มอสเฟทชนิด n ทำงาน มอสเฟทชนิด p จะไม่ทำงาน

5. ลักษณะของสัญญาณพัลซ์ จะมีช่วงเวลาในการ on เป็นช่วงแคบๆ สลับกับช่วงเวลาที่มัน off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter)

สัญญาณ PWM ที่ออกจากภาคสวิทชิ่งแอมปลิฟลายเออร์ จะถูกนำมาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อที่จะกรองเอาสัญญาณสามเหลี่ยมออกจากสัญญาณอินพุท โดยที่สัญญาณสามเหลี่ยมจะมีความถี่ 20 kHz และสัญญาณอินพุทมีความถี่ประมาณ 200 Hz ดังนั้น วงจรกรองความถี่ต่ำที่ออกแบบควรมีจุด f_c (cutoff frequency) ที่ประมาณ 2 kHz และเนื่องจากมีการกำหนดจุดคัทออฟที่แน่นอนและ sharp ด้วย จึงใช้วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ m-derive ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_1 = (m*R)/(3.1416*f_c)$$

$$L_2 = (1-m^2)*R/(4m*3.1416*f_c)$$

$$C_1 = m/(3.1416*f_c*R)$$

กำหนดให้ f_c = 2.5 kHz , m = 0.6 , R = 8 ohm

แทนค่า $L_1 = (0.6*8)/(3.1416*2.5*10^3)$

$= 600$ microH

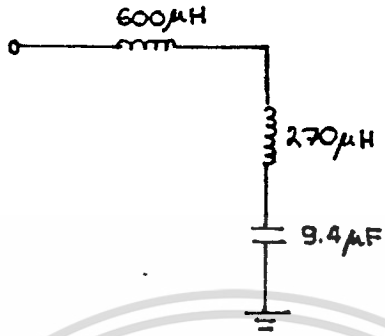
$L_2 = (1-0.6^2)*8/(4*0.6*3.1416*2.5*10^3)$

$= 270$ microH

$C_1 = 0.6/3.1416*2.5*10^3*8$

$= 9.4$ microF

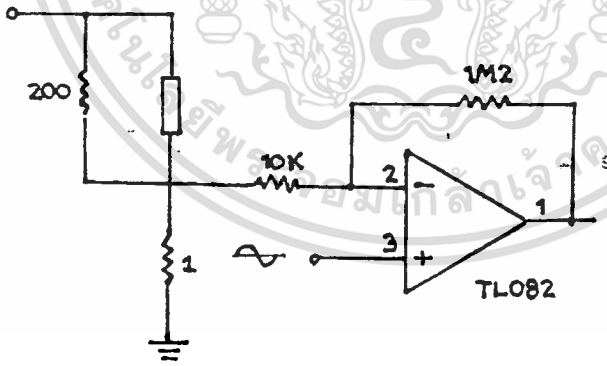
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.16 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

3.6 วงจรฟีดแบค (feedback circuit)

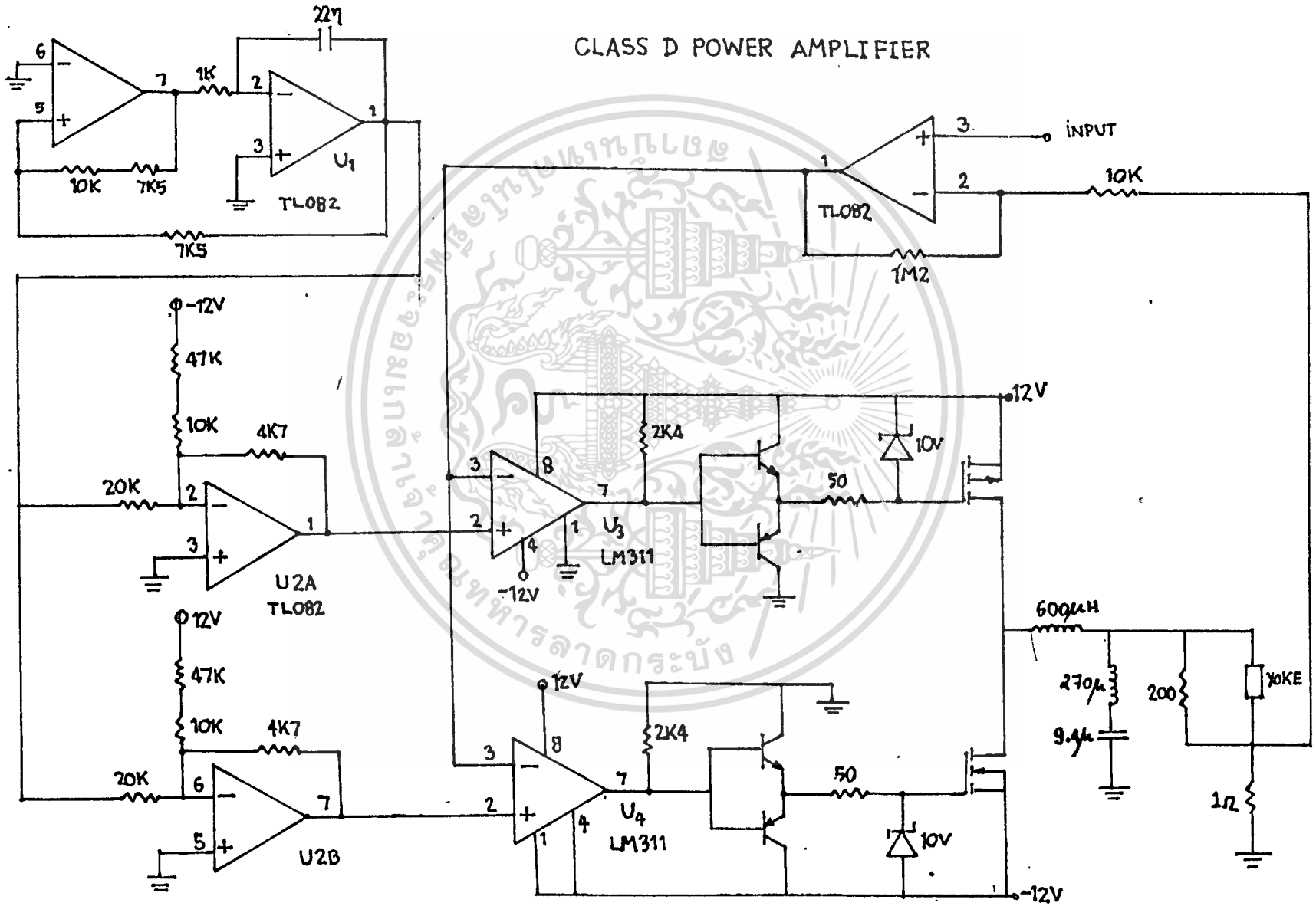
สามารถสร้างวงจรได้ดังแสดงในรูป 3.17



รูป 3.17 แสดงวงจรป้อนกลับแบบลบ

ในวงจร จะใช้ R_{1ohm} เป็นตัวเซนส์กระแสจากภาคเอาพุท แล้วทำการป้อนกลับมายังภาคอินพุท โดยป้อนกลับเป็นแบบโวลเตจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

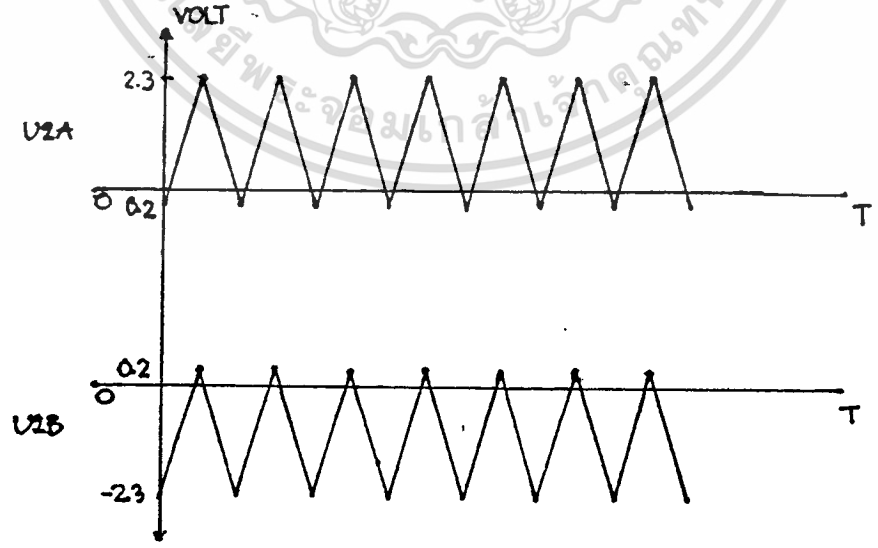

CLASS D POWER AMPLIFIER
22n
1K
10K
7K5
7K5
U1
TL082
INPUT
10K
TL082
1M2
-12V
47K
10K
4K7
20K
U2A
TL082
12V
47K
10K
4K7
20K
U2B
2K4
10V
50
U3
LM311
-12V
12V
2K4
50
U4
LM311
10V
-12V
600μH
270μ
9.4μ
200
10KE
1Ω

บทที่4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากบทนี้ จะแสดงผลจวบส่วนต่างๆของวงจร โดยมีหัวข้อต่างๆดังนี้

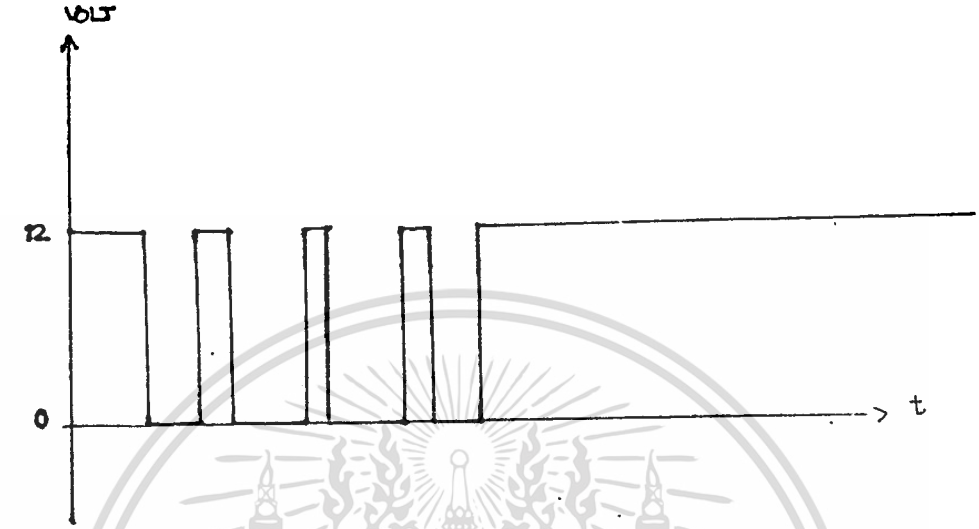
4.1 แสดงผลสัญญาณสามเหลี่ยม (เอาพุทของ U_1)

4.2 แสดงผลสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งถูกยกระดับไปชีกบวกและชีกลบ (เอาพุทของ U_{2A} และ U_{2B})



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

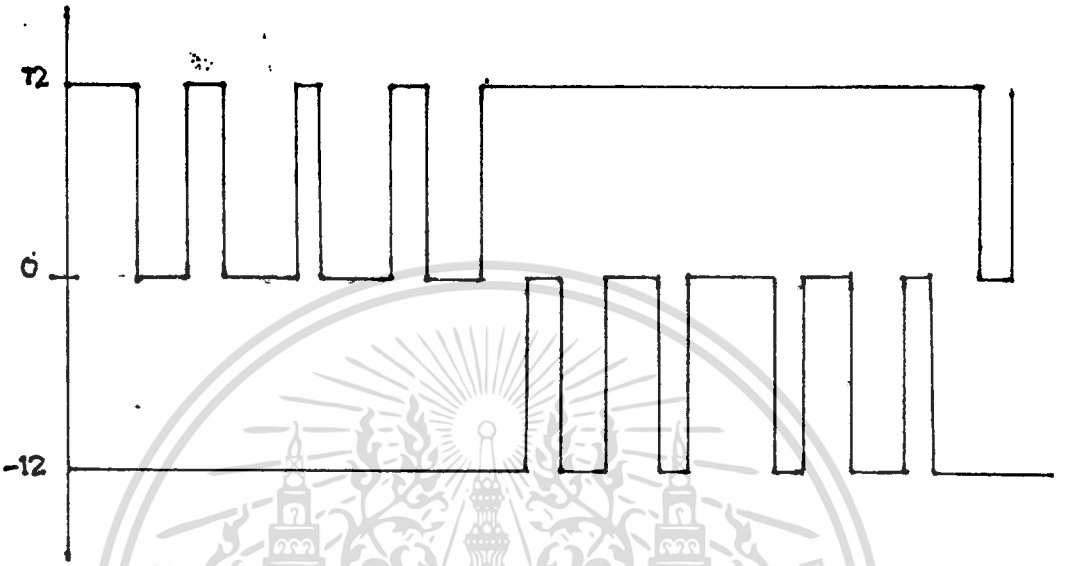
4.3 แสดงผลสัญญาณ PWM ทางขึ้นบวก (เอาพุทของ U_3)



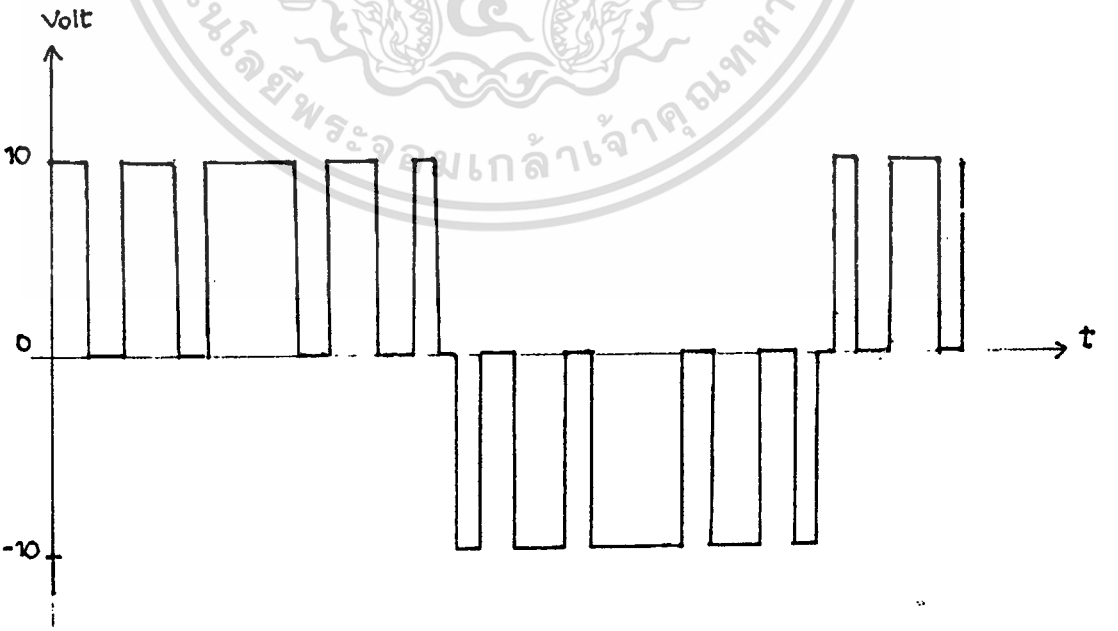
4.4 แสดงผลของสัญญาณ PWM ทางขึ้นลบ (เอาพุทของ U_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 แสดงผลของสัญญาณ PWM ที่ขาเกทของมอสเฟทชนิด P เทียบกับ สัญญาณ PWM ที่ขาเกทของมอสเฟทชนิด N

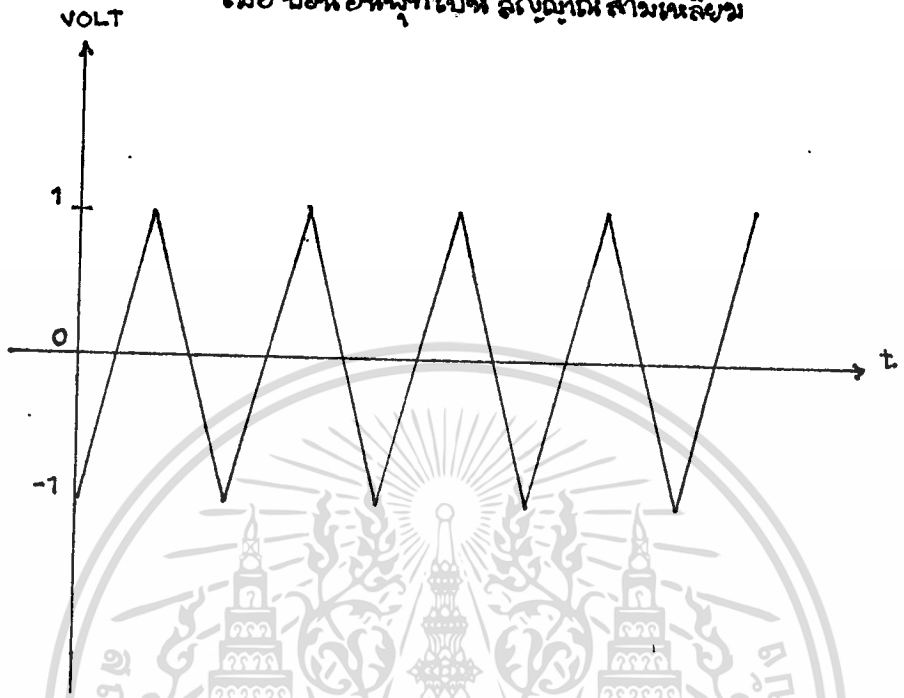


4.6 แสดงผลส่วนเอาท์พุทของส่วนสวิทชิ่งแอมปลิฟลายเออร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 แสดงสัญญาณเอาพุทของระบบ (วัดคร่อม R 1 ohm)
เมื่อ ป้อน อินพุทเป็น สัญญาณสามเหลี่ยม



4.8 ผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของวงจร

V_o (VOLT)	I_1 (AMP)	I_2 (AMP)	$P_s = (I_1+I_2)\times 12$ (Watt)	$P_o = V_o^2/8R$ (Watt)	$Eff = \frac{P_o}{P_s}\times 100$ (%)
20	0.27	0.26	6.36	6.25	98.2
15	0.13	0.11	3.6	3.51	97.5
10	0.07	0.06	1.68	1.56	92.8
5	0.02	0.02	0.48	0.39	81.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าประสิทธิภาพของวงจร สามารถวัดและคำนวณค่าต่างๆได้ดังนี้

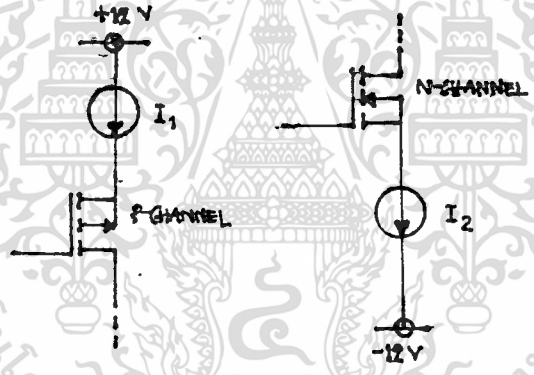
1. การหาค่า P_{in} สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P_{in} = I_1|V_1| + I_2|V_2|$$

โดย $V_1 = 12$ volt

$V_2 = -12$ volt

ส่วนกระแส I_1 และ I_2 สามารถหาค่าได้จากการวัด ดังแสดงในรูป



2. การหาค่า P_o สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P_o = V_o^2/8R$$

โดย V_o = โวลเตจที่วัดคร่อมโหลด

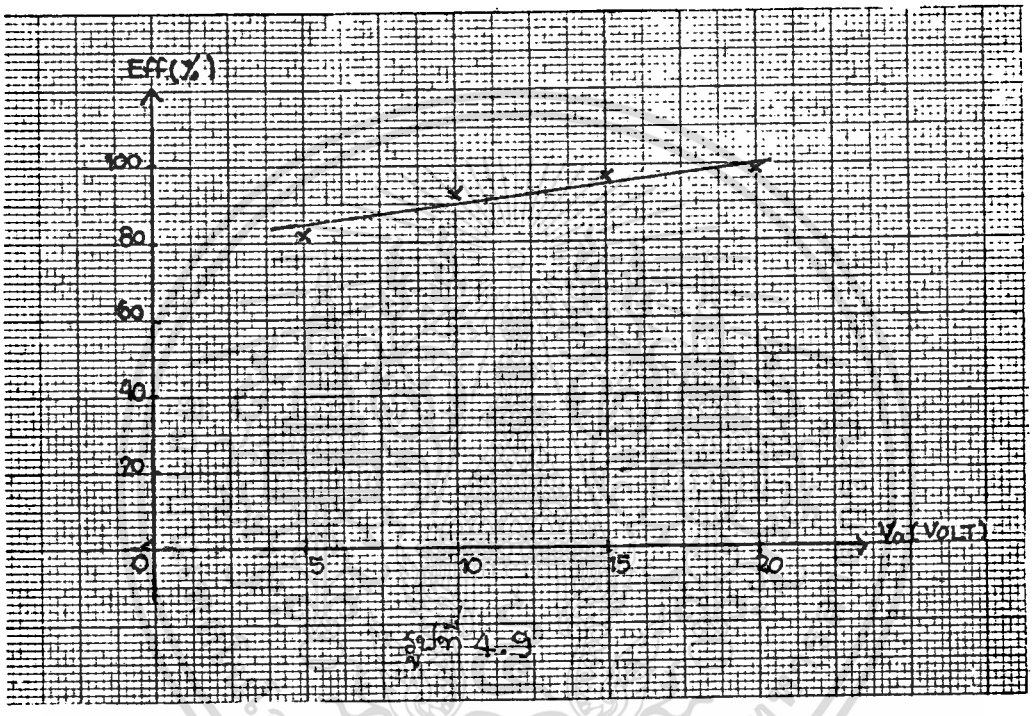
$R = 8$ ohm

3. การหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency)

$$\text{Efficiency} = (P_o/P_{in})*100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ 4.8 จะพบว่า ประสิทธิภาพของวงจรจะสูงสุดเมื่อ V_o มีค่า maximum โดยที่สัญญาณเอาท์พุทยังคงไม่เพี้ยน โดยจะมีประสิทธิภาพสูงถึง 98 % ซึ่งนับว่า มีความสูญเสียความร้อนที่ตัว power mosfet น้อยมากและเมื่อ V_o มีค่าลดต่ำลง ประสิทธิภาพของวงจรจะลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

วงจรขยายกำลังแบบคลาสดี เป็นวงจรขยายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีการใช้สัญญาณ PWM มาควบคุมการสวิทช์ของ power mosfetให้มีการ on และ off โดยในช่วงที่มอสเฟท on เกือบจะไม่มีโวลเตจตกคร่อมมอสเฟทเลย และ ในช่วงที่มอสเฟท off เกือบจะไม่มีกระแสไหลผ่านมอสเฟท ดังนั้น การสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนที่ตัวมอสเฟทจึงมีน้อยมาก ขนาดของ heat sink ที่ติดจึงมีขนาดเล็ก

ข้อเสียของวงจร คือ ความเพี้ยนของสัญญาณเอาพุทจะมีมาก เนื่องจากวงจรนี้ต้องนำเอาสัญญาณสามเหลี่ยมมาทำการมอดดูเลทกับสัญญาณอินพุท จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำที่ดีมากๆ เพื่อที่จะกรองเอาสัญญาณสามเหลี่ยมออกให้หมด ให้เหลือแต่สัญญาณอินพุท เพื่อลดความเพี้ยนดังกล่าว จึงควรมีการแยกสัญญาณจากเอาพุทมายังอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เนื่องมาจากการให้คำปรึกษาที่ดี จาก รศ.มนัส สังวรศิลป์ , อาจารย์ประภากร สุวรรณะ , อาจารย์พิชัย คูศิริวานิชกร และพี่ๆ ในแผนกชีวะอิเลคทรอนิกส์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านด้วยดีตลอดมา จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ.ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1.Theodore F. Bogart , "Electronic devices and circuits" , Columbus : Merrill publishing company , pp.692-697 , 1986

2.Howard M. Berlin , "Design of op amp. circuit with experiment" , Howard W. Sam , 1980

3.วารสาร คอมพิวเตอร์ อิเลคทรอนิกส์ เวิลด์ ฉบับ เดือนสิงหาคม 2527

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า