

## วงจรรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย

### Simple Full range Class D Amplifier Circuit

สุเทพ ทัพพะวัช<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถ.เพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ จังหวัดกรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-457-0068 ต่อ 5210, 5233 E-mail: suthep.thu@siam.edu

#### บทคัดย่อ

วงจรรขยายเสียงคลาสดีนี้เป็นวงจรรขยายตลอดย่านความถี่เสียง โดยวงจรประกอบไปด้วย ไอซี อาร์ แอล ซี และทรานซิสเตอร์ การผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณพื่นเลื้อยใช้ไอซีออปแอมป์ การป้อนกลับจะมีทั้งสัญญาณอนาล็อกทางเอาต์พุตและสัญญาณพัลส์ อีกทั้งวงจรรองความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบอันดับสอง ผลที่ได้ทำให้สัญญาณเสียงทางเอาต์พุตมีความสมบูรณ์ ผลจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมโปรติอุสที่แหล่งจ่ายไฟ  $\pm 4.5$  โวลต์ เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตกรณีต่อโหลด 4 โอห์ม และ 8 โอห์ม แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ -0.16 มิลลิโวลต์ และ -0.32 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 2.3 โวลต์พีค-ทูปีก ตลอดย่านความถี่เสียง สัญญาณเอาต์พุตสามารถสวิงสูงสุดประมาณ 40 โวลต์พีคต่อกับโหลด 4 โอห์ม และ 8 โอห์ม ให้กำลังวัตต์ 200 วัตต์ และ 100 วัตต์ตามลำดับ

คำสำคัญ: คลาสดี, ตลอดย่านความถี่

#### Abstract

This Class D Amplifier is Full range Amplify. By circuit component of IC R L C and Transistor. The mixer of audio with sawtooth signal by use Op-amp, Negative Feedback of output analog and digital signal, The Second order Low-pass filter. The result showed that the good output signal. Simulation by Proteus set test showed voltage source  $\pm 4.5$ V. In case no input signal, with connecting a load at 4 $\Omega$  and 8 $\Omega$ , output voltage equal to -0.16mV and -0.32mV respectively. When the experiment used input signal is 2.3V<sub>p-p</sub>, the maximum fluctuation of output signal is about to 40V<sub>p</sub> at full range. With connecting a load at 4 $\Omega$  and 8 $\Omega$ , the output power are of 200W and 100W respectively.

Keywords: Class D, Full range

#### 1. บทนำ

คลาสของเครื่องขยายเสียงที่รู้จักกัน[1-3] จะแบ่งตามลักษณะการทำงานของเทคโนโลยีการออกแบบ ชื่อเรียกของคลาสจึงเป็นตัวแทนบอกลักษณะการทำงานของวงจร โดยมีอยู่สองกลุ่ม ได้แก่ วงจรรขยายที่มีหลักการทำงานแบบอนาล็อก และวงจรรขยายที่มีหลักการทำงานแบบดิจิทัล ถ้าหากกล่าวถึงวงจรรขยายที่ประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจะต้งนึกถึงวงจรรขยายคลาสดี(Class D) การทำงานเริ่มจากการผสมสัญญาณพื่นเลื้อยกับสัญญาณเสียงด้านอินพุต ได้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง ผ่านภาคขยายแล้วกรองสัญญาณด้วยวงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านเพื่อเอาสัญญาณพัลส์ออกให้เหลือแต่สัญญาณเสียง

วงจรรขยายคลาสดีมีการออกแบบมาหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นวงจรรแบบดิครีท[4] และวงจรรที่ใช้ไอซี[5] ข้อดีในยุคเริ่มแรกของคลาสดี คือ จะตอบสนองความถี่สูงไม่ถี่ จึงนิยมนำมาขับเสียงต่ำไปจนถึงเสียงกลาง เพราะไม่ต้องการรายละเอียดของเสียงมากนัก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและออกแบบให้สามารถตอบสนองตลอดย่านความถี่เสียงได้ดี อย่างไรก็ตามนักเล่นเครื่องเสียงยังวิจารณ์ว่าคุณภาพเสียงยังไม่ดีเท่ากับคลาสเอบี แต่ข้อดีของวงจรรขยายคลาสดีที่เด่นชัด คือมีขนาดวงจรเล็ก ประหยัดพลังงานและเกิดความร้อนน้อย เมื่อเทียบกับวงจรรขยายคลาสอื่นในขนาดวัตต์ที่เท่ากัน

บทความวิจัยนี้จึงพัฒนางจรรขยายคลาสดีที่ตอบสนองตลอดย่านความถี่เสียงจากวงจรรเดิม[6]ที่มีขนาดวงจรที่เล็ก แต่สัญญาณเสียงทางเอาต์พุตยังไม่ดี ดังนั้นจึงนำวงจรรดังกล่าวมาปรับปรุงคุณภาพเสียงให้ดีขึ้น โดยอาศัยหลักการป้อนกลับทั้งสัญญาณอนาล็อกทางด้านเอาต์พุตและสัญญาณพัลส์ ร่วมกับใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง[7]

#### 2. ทฤษฎีและหลักการ

##### 2.1 หลักการทำงานของคลาสดี[8]

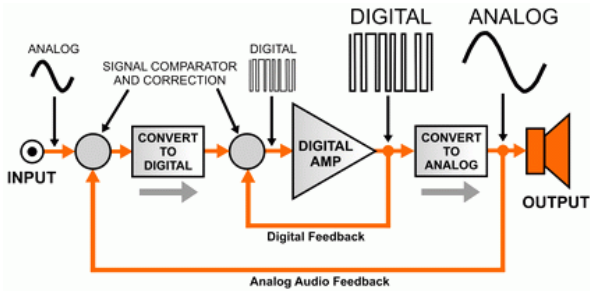
การทำงานเริ่มจากแปลงสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นขยายสัญญาณดิจิทัลแล้วนำสัญญาณที่ขยายแล้วแปลงกลับมาเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยระหว่างกระบวนการจะมีการส่ง

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

8<sup>th</sup> ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand

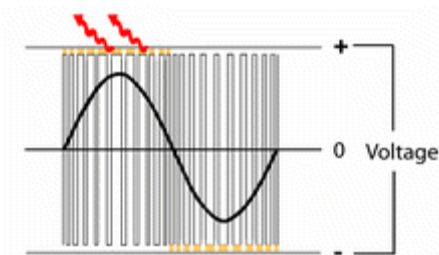
สัญญาณอนาล็อกด้านเอาต์พุตย้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอนาล็อกด้านอินพุต(พร้อมกับสร้างสัญญาณพื้นเลื้อย) ทำให้คลื่นสัญญาณเสียงเอาต์พุตที่ออกมา มีการปรับรูปคลื่นสัญญาณให้ตรงตามสัญญาณที่เข้ามายิ่งขึ้น ส่วนการป้อนกลับแบบดิจิทัลช่วยให้สัญญาณพัลซ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จากหลักการดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 2. รูปคลื่น ไชน์เทียบกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นของคลาสดี

### 2.2 กำลังสูญเสียเป็นความร้อนในคลาสดี

การพิจารณาการสูญเสียกำลังเป็นความร้อนในรูปที่ 2 เป็นสัญญาณรูปคลื่น ไชน์ทางเอาต์พุต และสัญญาณพัลซ์ก่อนเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเทียบกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากความต่างระหว่างสัญญาณออกจริงกับแรงดันไฟเลี้ยง เห็นได้ว่าความร้อนจะเกิดตอนที่ทรานซิสเตอร์อยู่สถานะอนเท้านั้นและความร้อนที่เกิดขึ้นยังขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณพัลซ์



รูปที่ 2. รูปคลื่น ไชน์เทียบกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นของคลาสดี

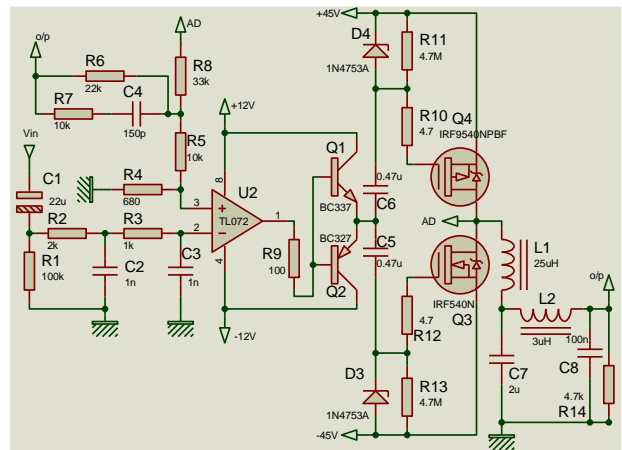
## 3 การออกแบบ

### 3.1 วงจรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย

การออกแบบใช้ไอซี TL072 ทำหน้าที่แรก คือสร้างสัญญาณพื้นเลื้อยขึ้นมาจากตัวไอซีเองด้วยวิธีนำสัญญาณเสียง(อนาล็อก)ด้านเอาต์พุตป้อนกลับผ่าน R6 R7 และ C4 หน้าที่ที่สอง คือผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณพื้นเลื้อยให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลซ์ออกทางขา 1 หน้าที่

สุดท้ายปรับปรุงสัญญาณพัลซ์ที่ขา 1 จากการป้อนกลับสัญญาณดิจิทัลผ่านทาง R8 โดยการป้อนกลับทั้งสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล จะถูกรวมสัญญาณโดยผ่าน R5 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน R5 จะมีผลต่ออัตราการขยายของวงจรและสัญญาณป้อนกลับด้วย ดังนั้นเมื่อได้ค่า R5 ที่เหมาะสมแล้วจะคงที่ไว้ หากต้องการปรับเพิ่ม/ลดอัตราการขยายของวงจร ทำได้โดยเพิ่ม/ลดค่าความต้านทาน R4 สำหรับ R1-R3 และ C1-C3 เป็นวงจรกรองความถี่ให้ย่านความถี่เสียงผ่าน

ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะรับสัญญาณพัลซ์มาขับสัญญาณให้กับทรานซิสเตอร์คู่เอาต์พุตผ่านทาง C5-C6 ไปยังทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลซ์ออกไปเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอันดับสอง ส่วน R14 ต่อไว้เพื่อป้องกันการเสียหายจากการไม่ได้ต่อโหลดเพราะขณะที่ไม่ได้ต่อโหลด เมื่อมีสัญญาณอินพุตวงจรจะไม่สร้างสัญญาณพัลซ์และทำให้ Q4 อยู่สถานะอนตลอค มีผลให้เกิดความร้อนและเสียหายได้ โดยวงจรที่ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย

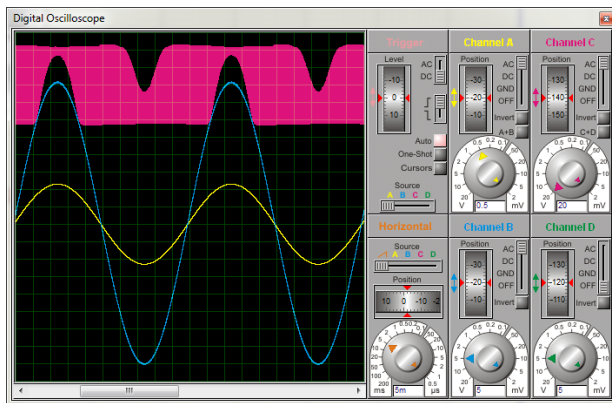
### 3.2 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมโปรติอุส

การทดลองเป็นการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมโปรติอุส เงื่อนไขการทดลองคือวงจรต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟ  $\pm 45$  โวลต์ และต่อโหลดตัวต้านทาน 4 โอห์ม เมื่อเริ่มต้นการทดลองให้ป้อนสัญญาณแรงดันอินพุตรูปคลื่น ไชน์เข้าที่อินพุต  $V_{in}$  ขนาด 2.3 โวลต์ที่ค-ทุ-พิค ที่ความถี่ 20 เฮิร์ต ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 4 จากนั้นทดลองต่อด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความถี่เป็น 1 กิโลเฮิร์ต และ 20 กิโลเฮิร์ต ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยที่ความหมายของสี่เส้นสัญญาณคือ สีเหลืองเป็นสัญญาณอินพุต สีฟ้าเป็นสัญญาณเอาต์พุต และสีเขียวเป็นสัญญาณพัลซ์ที่ถูกขยาย ณ จุด AD

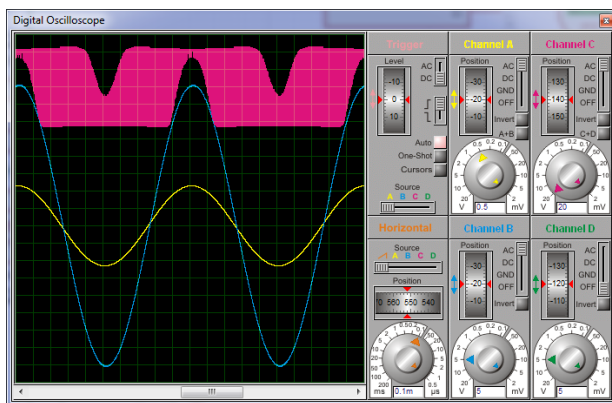
## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

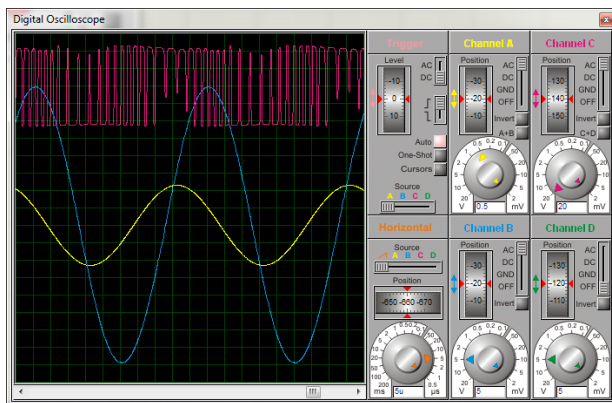
8<sup>th</sup> ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand



รูปที่ 4 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์กับสัญญาณพัลส์ ณ จุด AD



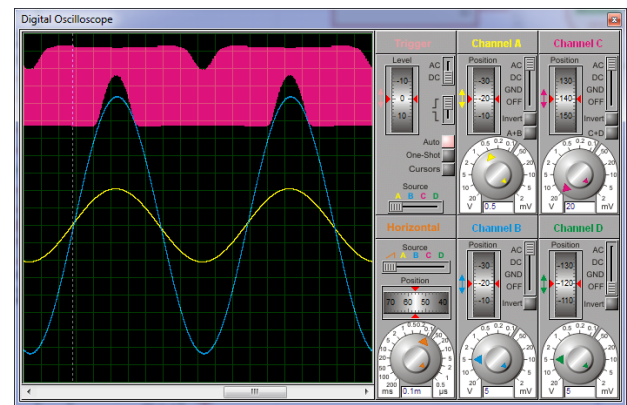
รูปที่ 5 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์กับสัญญาณพัลส์ ณ จุด AD



รูปที่ 6 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์กับสัญญาณพัลส์ ณ จุด AD

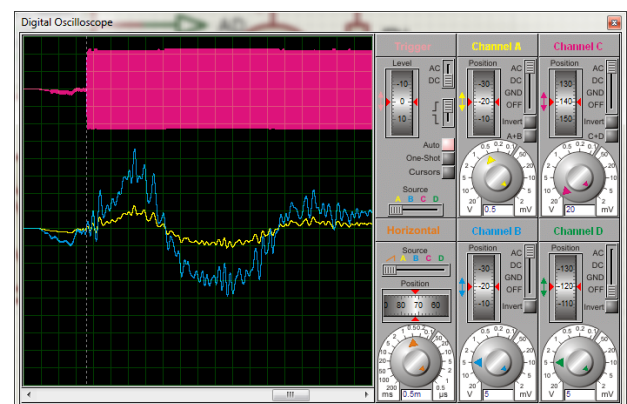
จากรูป 4-6 เป็นกรณีป้อนแรงดันอินพุตค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางด้านเอาต์พุตจะเห็นว่าค่อนข้างสมบูรณ์ แต่ที่ความถี่เสียง 20 เฮิร์ตซ์ และ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ในรูปที่ 4 และ 5 สัญญาณเอาต์พุตจะ

มีผิดเพี้ยนตรงจุดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณบ้างเล็กน้อยคือปรากฏสัญญาณพัลส์ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุตไม่เรียบสนิท แต่หากขนาดแรงดันอินพุตลดต่ำกว่า 2.3 โวลท์ที่ค-ท-พิก ดังปรากฏในรูปที่ 7 ที่ลดขนาดของสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ 2.1 โวลท์ที่ค-ท-พิก ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ความผิดเพี้ยนตรงจุดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณเอาต์พุตจะไม่ปรากฏให้เห็น ส่วนสัญญาณพัลส์แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่เสียงสูงจำนวนพัลส์ของสัญญาณพัลส์จะน้อย และที่ความถี่เสียงต่ำจำนวนพัลส์ของสัญญาณพัลส์จะถี่มาก เนื่องจากความถี่ในการออน/ออฟของสัญญาณพัลส์ดังกล่าวเกิดจากความถี่เดียวของสัญญาณพื้นเสียงที่มาผสมกับสัญญาณเสียง ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์จะเกิดในช่วงความถี่เสียงต่ำมากที่สุด



รูปที่ 7 แรงดันอินพุตสัญญาณไซน์ขนาด 2.1 โวลท์ที่ค-ท-พิก

จากนั้นทดลองโดยป้อนสัญญาณเสียงด้วยไฟล์เสียง “ภูมิแพ้กรุงเทพ.wav” ที่ขนาดแอมพลิจูด 2.3 โวลท์ที่ค-ท-พิก ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 สัญญาณเสียง ภูมิแพ้กรุงเทพ.wav กับสัญญาณพัลส์ ณ จุด AD

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

8<sup>th</sup> ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มมีสัญญาณอินพุตเข้ามา วงจรจะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งในการสร้างสัญญาณพัลซ์(รอการสร้างสัญญาณพินเฉื่อย) จากนั้นสัญญาณพัลซ์จะปรับเปลี่ยนความกว้างหรือแคบของการติดตามความถี่สัญญาณเสียง โดยที่การสวิตซ์ของสัญญาณพัลซ์จะออน/ออฟเกือบเต็มช่วงบวกและลบของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของคลาสดี ส่วนสัญญาณเสียงทางด้านเอาต์พุตก็ตอบสนองได้ดีตลอดย่านความถี่เสียง

## 4. สรุป

จากผลจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมโปรติอุส สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กรณีที่ยังไม่มีสัญญาณเสียงทางอินพุต ค่าแรงดันเอาต์พุตเข้าใกล้ 0 โวลต์ โดยที่เมื่อต่อโหลด 4 โอห์ม และ 8 โอห์ม แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ -0.16 มิลลิโวลต์ และ -0.32 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

2. กรณีป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 2.3 โวลต์พีค-ทู-พีค สัญญาณเอาต์พุตสามารถสวิงได้สูงสุด 40 โวลต์พีค(สัญญาณไม่ผิดเพี้ยน) ต่อกับ โหลด 4 โอห์ม และ 8 โอห์ม ให้กำลังวัตต์ที่ 200 วัตต์ และ 100 วัตต์ ตามลำดับ

3. ความร้อนของวงจรจะเกิดจากทรานซิสเตอร์คู่เอาต์พุตและปริมาณความร้อนสะสมเป็นผลจากการทำงานในย่านความถี่เสียงต่ำมากที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Dong itsound. คลาส(Class)เพาเวอร์แอมป์ คืออะไร [Online]. Available: <http://www.itsound.net>
- [2] นาย ศรายุทธ คงดา ใบความรู้ที่ 3 เรื่อง คลาสของวงจรขยายเสียง [Online]. Available: <FTP://srt.cmtc.ac.th/.../ใบความรู้ที่ 3 คลาสของวงจรขยายเสียง.pdf>
- [3] นาย เสกสรรค์ สุวรรณศิลป์ (2015, Jan. 10) ความรู้พื้นฐาน EEEngine [Online]. Available: <http://www.powertech-audio.com>
- [4] Darkamikaze (2012, August 30) Fully Discrete D Amplifier(WIP) [Online]. Available: <http://www.diyaudio.com>
- [5] Admin. TPA3251D2 เพาเวอร์แอมป์คลาสดี 2x175W Stereo [Online]. Available: <http://www.semi-journal.com>
- [6] M.zivkoviv. (2013, March 16) Class D Amplifier with IRF540 / IRF9540 100W [Online]. Available: <http://www.elitesecurity.org>
- [7] ชาญุศิลป์ นิลสาย, ศรีสวัสดิ์ เกื้อทอง. เครื่องขยายเสียง สเตอริโอ คลาสดี [Online]. Available: <http://www.te.kmutnb.ac.th/msn/classdproject.pdf>

- [8] D-TECH. New class d switching technology [Online]. Available: <http://www.tafnaudio.com/dtech.htm>



นายสุเทพ ทัพธวัช

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม  
วุฒิสถาบันปริญญาโท สาขาวิศวกรรม  
อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง