



การออกแบบเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก
(Ultrasonic Wave Generator Design)

โดย
นายชานนท์ ศรีศุมา B5311507
นายปรมินทร์ กันทะยอม B5312306
นายคมพิศิษฐ์ กระจาย โภชน์ B5319213



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 438499 ครงงานวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2553
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2556

การออกแบบเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก

คณะกรรมการสอบโครงการงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัญชัย ทองโสภิต)

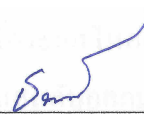
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน



(อาจารย์ ดร. บุญส่ง สุตะพันธ์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(อาจารย์ ดร. ชนเสกฐ์ ทศติกรพัฒน์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิชา 438499 โครงการงานวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ประจำปีการศึกษา 2556

โครงการงาน	การออกแบบเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก		
ผู้ดำเนินงาน	นายชานนท์ ศรีสุมา	B5311507	
	นายปรมินทร์ กั้นทะยอม	B5312306	
	นายคมพิศิษฐ์ กระจายโภชน์	B5319213	

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานูชัย ทองโสภา

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ภาคการศึกษา 3/2556

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ขับสัญญาณคลื่นเสียงอัลตราโซนิกไปยังหัวเพียโซอิเล็กทริกให้สามารถทำงานได้โดยมีการทำงานคือจ่ายแรงดันอินพุท 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ผ่านหม้อแปลงปรับค่าได้โดยปรับแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 110 โวลต์และจ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงรวมทั้งกรองสัญญาณรบกวน และควบคุมให้กระแสไหลลงที่เพื่อจ่ายให้กับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ทำการสวิตซ์ให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับออกมาซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นสแควร์เวฟที่มีความถี่สูงใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์โดยมีความถี่อยู่ ที่ 32 กิโลเฮิร์ตซ์ทำให้หัวเพียโซอิเล็กทริกทำงานและน้ำในถังเกิดการสั่นตามความถี่ จากการศึกษาโครงการนี้เมื่อทำการทดสอบเครื่องแล้วสามารถใช้งานได้เป็นที่น่าพอใจและตามวัตถุประสงค์

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgment)

ในการจัดทำโครงการเรื่องการออกแบบเครื่องกำเนิดความถี่เสียงย่านอัลตราโซนิกนี้ ในภาคการเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2556 นี้ ทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ สำหรับโครงการนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและการให้คำปรึกษาจากหลายฝ่ายดังนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ชาญชัยทองโสภากาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการผู้ที่มอบความรู้และโอกาสให้คณะผู้จัดทำและยังคอยให้คำปรึกษาต่างๆ
2. บุพการีอันเป็นที่รักที่คอยสนับสนุนและกำลังใจด้วยดีตลอดมา
3. สมาชิกภายในกลุ่มที่คอยช่วยเหลือกันและให้กำลังใจตลอดการทำงาน
4. เพื่อนกลุ่มอื่นๆที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือกัน

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายชานนท์ ศรีสุมา

นายปรมินทร์ กันทะยอม

นายคมพิศิษฐ์ กระจายโกชน์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า	
บทคัดย่อ	ก	
กิตติกรรมประกาศ	ข	
สารบัญ	ค	
สารบัญภาพ	จ	
สารบัญตาราง	ช	
บทที่ 1 บทนำ	1	
1.1 ความเป็นมา	1	
1.2 วัตถุประสงค์		3
1.3 ขอบข่ายโครงการ		3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน		3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ		4
บทที่ 2 ทฤษฎี		6
2.1 ประวัติความเป็นมาของเพียโซอิเล็กทริก		6
2.2 ลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก		7
2.3 ปรากฏการณ์ Piezoelectricity		8
2.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน		11
2.5 วงจรเรโซแนนซ์ของหัวเพียโซอิเล็กทริก		12
2.6 ไอซีเบอร์ TL494 สำหรับโหมคควบคุมจากแรงดัน		15
2.7 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาต์พุตของไอซี		16
2.8 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์		17
บทที่ 3 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุม		19
3.1 ออกแบบและสร้างวงจรของเพาเวอร์ซัพพลาย		21
3.2 ออกแบบและสร้างวงจรถ้าเนคคิ่นเสียงอัลตราโซนิก		26
3.3 ออกแบบและสร้างส่วนของบัฟเฟอร์		28
3.4 ออกแบบและสร้างไอโซเลเตอร์		30

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5 ออกแบบและสร้างวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	31
3.6 ออกแบบและสร้างวงจรเรโซแนนซ์	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	37
4.2. สัญญาณความถี่ควบคุม	38
4.3 สัญญาณที่ออกจากขาเกิดของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	40
4.4 รูปตัวอย่างผลการทดลอง	41
4.5 วิเคราะห์การทดสอบ	46
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	48
5.1 ส่วนประกอบแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	48
5.2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก	48
5.3 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน	48
5.4 ผลที่ได้จากโครงการนี้	49
5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	49
บรรณานุกรม	50
ประวัติผู้เขียน	

สารบัญรูปภาพ

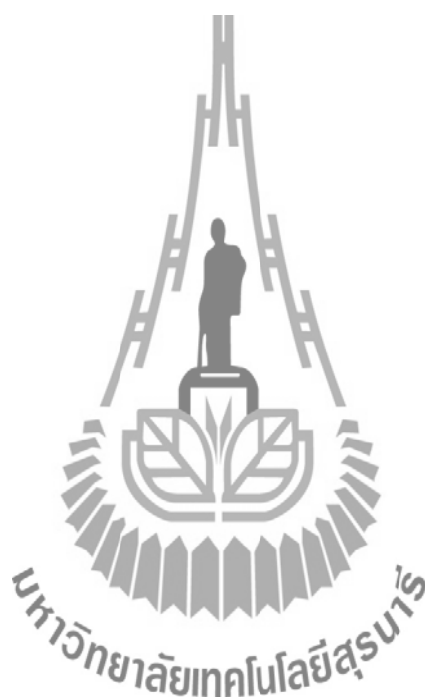
หน้า	
รูปที่ 1.1 แสดงผังไดอะแกรมโครงงาน	5
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของการแบ่งโครงสร้างของผลึก	8
รูปที่ 2.2 แสดงปรากฏการณ์Piezoelectricity	9
รูปที่ 2.3 แสดงการPoling of Piezoelectric Ceramics	10
รูปที่ 2.4 วงจรเรโซแนนซ์	12
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของกระแสกับความถี่ต้นกำเนิด	14
รูปที่ 2.6 แสดงการจัด โครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL494	15
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่	16
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494	16
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 2.10แสดงการนำกระแสของQ1และQ2	18
รูปที่ 3.1 แสดงผังงานไดโอดแกรมของโครงงาน	20
รูปที่ 3.2Power Supply High Voltage DC	21
รูปที่ 3.3Power Supply 24 V	21
รูปที่ 3.4ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ	22
รูปที่ 3.5ไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอ	22
รูปที่ 3.6วงจรปรับแรงดัน LM7824	23
รูปที่ 3.7ชุดวงจรปรับแรงดัน LM7824	23
รูปที่ 3.8วงจร LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI	25
รูปที่ 3.9วงจรบริดจ์ไดโอด และ LC ฟิลเตอร์	25
รูปที่ 3.10ชุดวงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง	26
รูปที่ 3.11วงจรกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก	27
รูปที่ 3.12ชุดวงจรในส่วนของไอซี TL494	27
รูปที่ 3.13วงจรของบัฟเฟอร์	28

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า	
รูปที่ 3.14 ชุดวงจรในส่วนของบัฟเฟอร์	29
รูปที่ 3.15 วงจรไอโซเลเตอร์	30
รูปที่ 3.16 ชุดไอโซเลเตอร์	31
รูปที่ 3.17 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	31
รูปที่ 3.18 ชุดวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	32
รูปที่ 3.19 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม	33
รูปที่ 3.20 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ขนาน	33
รูปที่ 3.21 วงจรเรโซแนนซ์	34
รูปที่ 3.22 ชุดวงจรเรโซแนนซ์(ก)	35
รูปที่ 3.23 ชุดวงจรเรโซแนนซ์(ข)	35
รูปที่ 3.24 วงจรรวมของโครงการ	36
รูปที่ 4.1 แรงดันเอาต์พุตของวงจรคงค่าแรงดัน	38
รูปที่ 4.2 เอาต์พุต A ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	38
รูปที่ 4.3 เอาต์พุต B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	39
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบเอาต์พุต A กับ B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่	40
รูปที่ 4.5 เอาต์พุต A และ B ที่ออกจากขาเกต	40
รูปที่ 4.6 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 1 นาที	41
รูปที่ 4.7 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 2 นาที	41
รูปที่ 4.8 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 3 นาที	42
รูปที่ 4.9 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 4 นาที	42
รูปที่ 4.10 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 5 นาที	43
รูปที่ 4.11 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 10 นาที	43
รูปที่ 4.12 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 60 โวลต์ กระแส 0.5 แอมป์	44
รูปที่ 4.13 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 80 โวลต์ กระแส 0.75 แอมป์	44

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า	
รูปที่ 4.14 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 100 โวลต์ กระแส 1 แอมป์	45
รูปที่ 4.15 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 120 โวลต์ กระแส 1.4 แอมป์	45
รูปที่ 4.16 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 140 โวลต์ กระแส 1.8 แอมป์	46
รูปที่ 4.17 เครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก	47



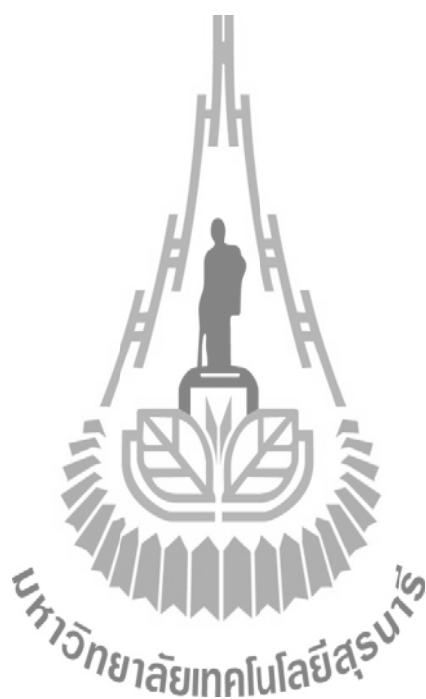
สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

1.1 ผลของควมถึต่างๆ ของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

2



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมากกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 10⁶ กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่หูของคนปกติไม่สามารถได้ยิน เพราะหูของคนปกติได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 16-16,000 เฮิร์ตซ์ ความถี่ที่สูงนี้ก่อให้เกิดผลทางเคมี (Chemical Effect) ผลทางชีววิทยา (Biological Effect) และผลทางฟิสิกส์ (Physical Effect) ในรูปแบบต่าง ๆ กล่าวคือ

คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่มีความแรงมากจะทำให้เกิดฟองอากาศ เกิดความดันสูง และเกิดความร้อนเฉพาะที่ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของเลือด ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ เกิดทารกทำลายเอนไซม์ ฆ่าแบคทีเรีย มีผลต่อการทำงานของหัวใจ เป็นต้น สำหรับทางเคมีพบว่าทำให้เกิดการออกซิเดชัน การสลายตัว การเปล่งแสง การเกิดผลึก เป็นต้น ส่วนผลทางฟิสิกส์มักเป็นผลทางตรงหรือทางอ้อมที่เกิดจากผลทางเคมีและผลทางชีววิทยาดังกล่าวข้างต้น ได้แก่การเกิดฟองอากาศ เกิดความร้อน เกิดความดัน เป็นต้น คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงที่ค่อนข้างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ มีราคาถูก และมีคุณสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความถี่ (ตารางที่ 1.1) ทำให้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกถูกนำมาประยุกต์ใช้งานมากมาย ทั้งในด้านการแพทย์ ด้านการสื่อสาร ด้านอุตสาหกรรม ในทางการแพทย์ถูกนำไปสร้างเครื่องวินิจฉัยเพศทารกในครรภ์ ใช้ตรวจรอยร้าวของกระดูก ใช้ตรวจสอบการอุดตันของเส้นเลือดเลี้ยงหัวใจ ใช้ทำลายเซลล์มะเร็ง ใช้ทำให้ผนังเซลล์แตกเพื่อศึกษาองค์ประกอบของเซลล์ กำจัดคราบหินปูนที่ฟัน ในทางอุตสาหกรรมถูกนำไปสร้างเครื่องเชื่อมพลาสติก เครื่องตรวจการรั่วของท่อ เครื่องตรวจการกัดกร่อนของโลหะ เครื่องชั่ง เครื่องล้างอัลตราโซนิก เครื่องล้างแผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดระดับ เครื่องวัดความหนาของแผ่นโลหะ เป็นต้น ไซชีวิตประจำวันถูกนำไปสร้างเป็น เครื่องซักผ้า เครื่องกันขโมย เครื่องล้างแว่นตา เครื่องวัดระยะทางการถอยของรถยนต์ ฯลฯ

ดังนั้นทางกลุ่มโครงการจึงได้ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ จึงได้มีการสร้างเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และกำลังงานได้

ตารางที่ 1.1 ผลของความถี่ต่างๆ ของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

ความถี่ (กิโลเฮิร์ตซ์)	ผล	ความถี่ (กิโลเฮิร์ตซ์)	ผล
3	Cavitation	330	มีผลต่อไวรัสมาก
4,8	Depolymerization	350	Depolymerization
5,7	ผลต่อไวรัสน้อย	365	Cavitation
8	Dispersion	380	เกิดตะกอน ผลทางเคมี
9	Cavitation Depolymerization	395	Emulsion
15	Cavitation	400	Depolymerization
20-100	Depolymerization	500	การเปล่งแสง
25	Cavitation	530	Degassing
100-500	ผลทางเคมี	575	Cavitation
175	Cavitation	600-700	Emulsion Dispersion
194	Degassing	722	Depolymerization
200-500	Emulsion	800	Cavitation
200-840	ผสมสารละลาย	1160	Emulsiono(น้อย)
214	Degassing Cavitation Emulsion	4,250-15,000	ไม่เกิด Cavitation
284	Depolymerization		
289	ผลทางเคมี		
300	Cavitation Depolymerization ผลทางเคมี ผลทางฟิสิกส์		

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสามารถนำความรู้ที่ได้จากภาคทฤษฎีของวิชาต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษา มาปฏิบัติและประยุกต์ใช้ เพื่อสร้างชิ้นงานขึ้นมาและสามารถนำมาใช้งานได้จริง
2. เพื่อศึกษาออกแบบ และสร้างเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่และกำลังงานของเครื่องได้
3. เพื่อศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์
4. เพื่อสามารถนำความรู้มาไปใช้งานได้จริง

1.3 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาและสร้างวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge rectifier)
2. ศึกษาและสร้างวงจรกำเนิดความถี่แบบพัลส์ด้วยไอเบอร์ TL494
3. ศึกษาและสร้างวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์
4. ศึกษาและสร้างหม้อแปลงความถี่สูงโดยใช้แกนเฟอร์ไรท์
5. ศึกษาการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์
6. ศึกษาการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

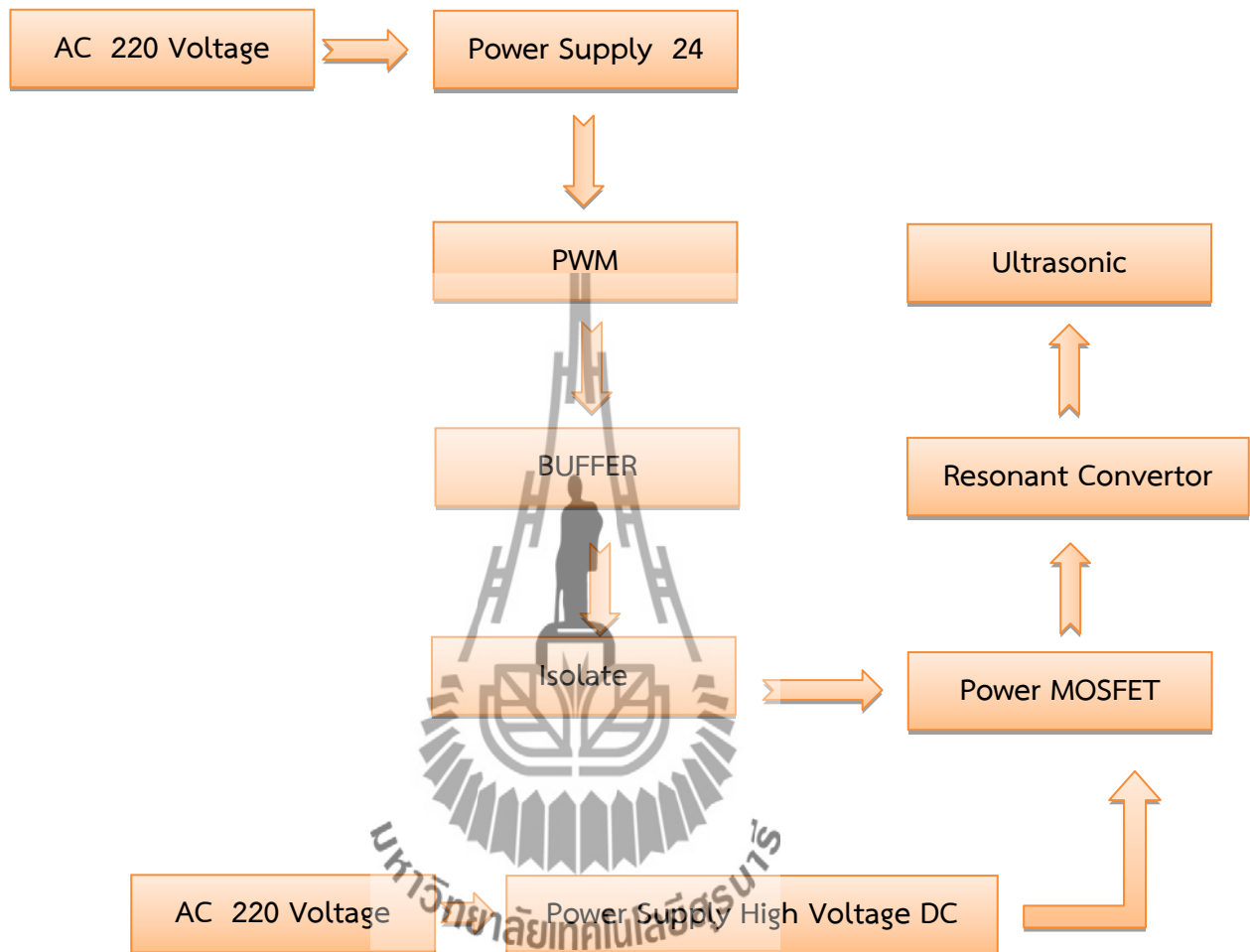
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับ โครงงาน
2. จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงงาน
3. ออกแบบวงจรควบคุมความถี่ (PWM)
4. ออกแบบลายวงจรและทำการกัดแผ่นปริ้น PCB
5. ออกแบบและสร้างวงจรเครื่องต้นแบบ
6. สร้างเครื่องต้นแบบ
7. ทดสอบและปรับปรุงแก้ไข
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
9. จัดทำรายงาน
10. ประเมินผลโครงงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการมาประกอบวิชาชีพได้
- 2.สามารถนำความรู้ที่ได้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
- 3.สามารถนำความรู้ที่ได้ทางทฤษฎีและปฏิบัติมาประยุกต์ใช้ในงานอื่นได้
- 4.สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานได้
- 5.รู้จักการคิด การวิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ
- 6.สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้





รูปที่ 1.1 ฟังไคอะแกรมโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎี

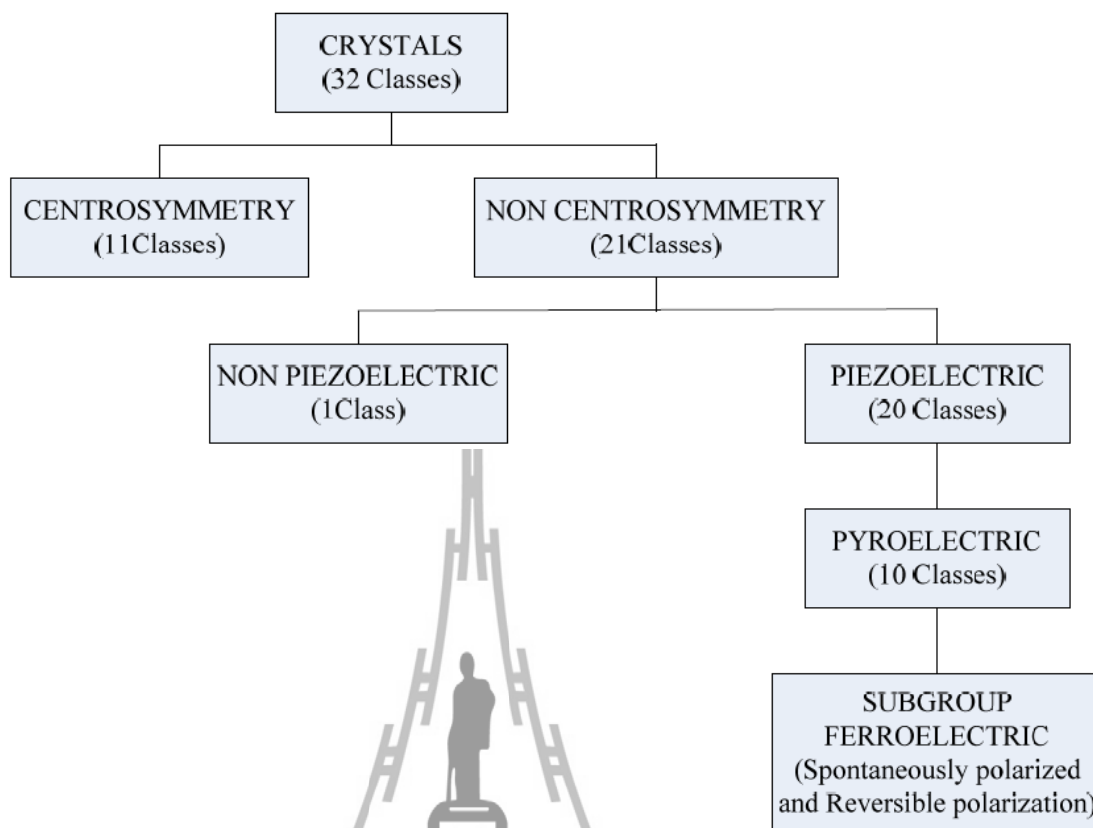
2.1 ประวัติความเป็นมาของเพียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1880 โดย Pierre Curies ได้ศึกษาผลของความดันต่อการเกิดประจุไฟฟ้าของผลึกควอตซ์ (Quartz) ดีเกลือ (Rochelle Salt) อัญมณี (Tourmaline) ว่าสามารถให้กำเนิดไฟฟ้าได้เมื่อมีแรงกดกระทำต่อผลึก เขาให้ชื่อกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า ปรากฏการณ์ “เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect)” ต่อมาในปี ค.ศ. 1881 Gabriel Lippmann ได้ศึกษาค้นพบปรากฏการณ์ย้อนกลับได้โดยพิจารณาจากหลักเทอร์โมไดนามิกส์ คือ ถ้าให้ไฟฟ้าเข้าไปในผลึก ผลึกก็จะสั้นได้ วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ได้รับแรงกดดัน (Mechanical Stress) จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการประจุไฟฟ้า (Electric Charge) หรือ การจัดเรียงตัวทางแสงขึ้น(Polarization) เรียกว่า “ผลทางตรง” (Direct Effect) เมื่อนำวงจรต่อเข้ากับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกภายใต้แรงอัดจะมีกระแสไหลเข้าวงจรและหากเปลี่ยนเป็นแรงดึงจะเกิดกระแสไหลในทิศตรงข้าม การประยุกต์จากผลทางตรงเช่น ไมโครโฟน และสัญญาณโซนาร์ เป็นต้นวัสดุเพียโซอิเล็กทริกภายใต้สนามไฟฟ้าจะเกิดแรงเครียดอัดภายในผลึก (Compression Strain) ทำให้วัสดุเกิดการบิดรูปไปจากเดิม และหากกลับทิศทางของสนามจะเกิดแรงเครียดดึง (Tensile Strain) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า “ผลทางอ้อม” (Indirect Effect, Converse Effect) งานประยุกต์ผลทางอ้อมเช่น เตาจุดแก๊ส, ทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducers) แอคชูเอเตอร์ (Actuators) เป็นต้น Piezoelectric เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่มาจากคริสตัลต่อรวมไปถึงคริสตัลธรรมชาติทั้งควอตซ์ (Quartz) ดีเกลือ (Rochelle Salt) และอัญมณี (Tourmaline) รวมกับเซรามิก เช่น แบเรียมไททาเนต และ ลีดไซโคเนต เมื่อใช้ความดันทางกลปรับให้เข้ากับวัสดุเหล่านี้โครงสร้างที่เป็นคริสตัลจะสร้างสนามไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับความดัน ทำให้โครงสร้างถูกเปลี่ยนรูปร่างจนทำให้เกิดการเปลี่ยนมิติของวัสดุการทดลองที่เกี่ยวข้องระหว่างปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) กับ โครงสร้างของคริสตัลถูกเผยแพร่ในปี ค.ศ. 1880 โดย Pierre และ Jacques Curie การทดลองของเขาศึกษาถึงการวัดการเปลี่ยนแปลงของผิวหน้าซึ่งปรากฏอยู่บนคริสตัล ที่ได้รับจากความเครียดทางกล ในวงการทางวิทยาศาสตร์ผลการทดลองนี้ถือว่าเป็นการค้นพบที่สำคัญ และถูกตั้งชื่อให้อย่างรวดเร็วว่า “Piezoelectricity” และเพื่อทำให้เกิดความต่างกับการทดลองปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์อื่น เช่น Contact Electricity หรือ Pyroelectric พี่น้อง Curies ได้พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันแบบหนึ่งต่อหนึ่งระหว่างผลกระทบทางไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ

ความเครียดทางกลในคริสตอลซึ่งเป็นผลมาจากการทดลองในเรื่องของการเกิด Microscopic-Crystallographic อันเป็นจุดเริ่มต้นของไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric)

2.2 ลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

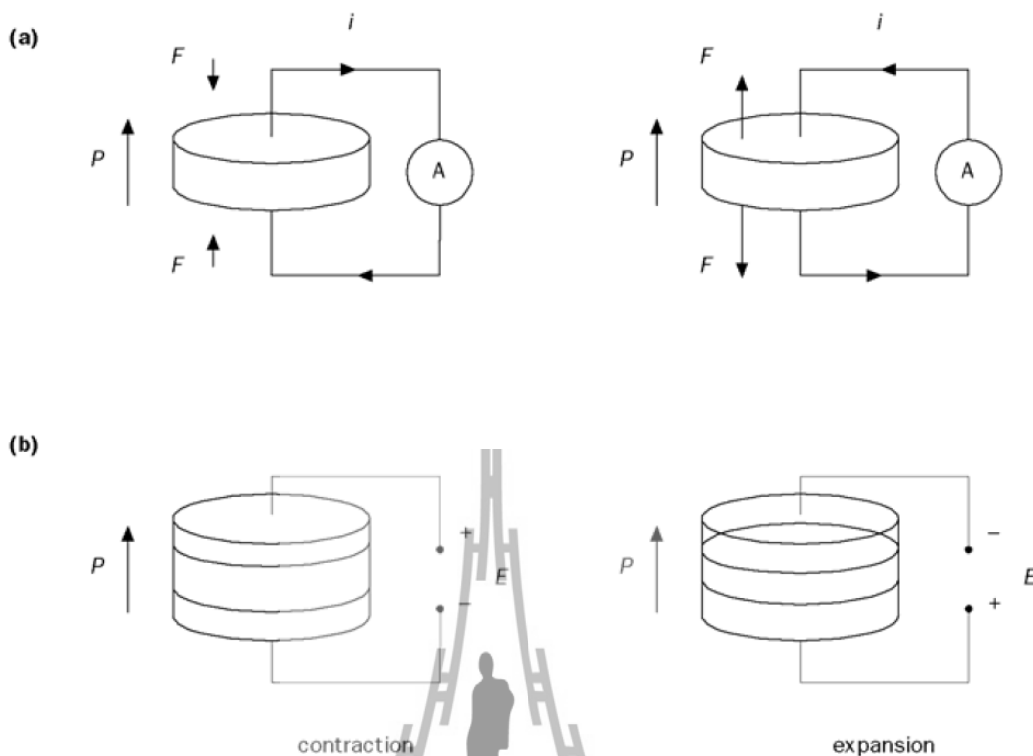
นักฟิสิกส์ศาสตร์ได้แบ่งระบบโครงสร้างผลึกเป็น 7 ระบบโดยโครงสร้างผลึกสามารถแบ่งเป็น 32 กลุ่ม (Classes or Point Groups) ผลึกทั้ง 32 กลุ่มสามารถแบ่งหมวดได้ดังรูปที่ 1 ผลึกที่มีศูนย์กลางสมมาตร (Centro symmetry) มีอยู่ 11 กลุ่มและผลึกที่ไม่มีศูนย์กลางสมมาตร (Non Centrosymmetry) มีอยู่ 21 กลุ่มในจำนวนนี้มีผลึกถึง 20 กลุ่มสามารถแสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้ผลึกที่แสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกจะแบ่งออกไปอีก 10 กลุ่มโดยเป็นผลึกที่มีทิศทางการโพลาไรซ์ (dipoles) ตามธรรมชาติแม้จะไม่มีแรงเค้นหรือสนามไฟฟ้ามากระทำขนาดการโพลาไรซ์สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบรอบตัวหรือรอบทิศทางตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และบางกลุ่มเป็นแบบให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีทั้งแบบที่เป็น Spontaneously Polarization และ Reversible Polarization ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Ferroelectric” ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ “Pyroelectric” สารสังเคราะห์ Polycrystalline Materials ประกอบด้วยผลึกจำนวนมากที่มีทิศทางขั้วไฟฟ้ากระจายหลากหลายทิศ ทำให้ทิศการโพลาไรซ์ได้ผลลัพธ์เป็นศูนย์และไม่สามารถตรวจวัดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้ การจัดทิศขั้วสามารถทำได้โดยการจ่ายสนามไฟฟ้าเพื่อให้ทิศขั้วอยู่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้ามากที่สุดจึงทำให้สามารถตรวจสอบปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้วิธีการดังกล่าวเรียกว่าการโพล (Poling)



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของการแบ่งโครงสร้างของผลึก

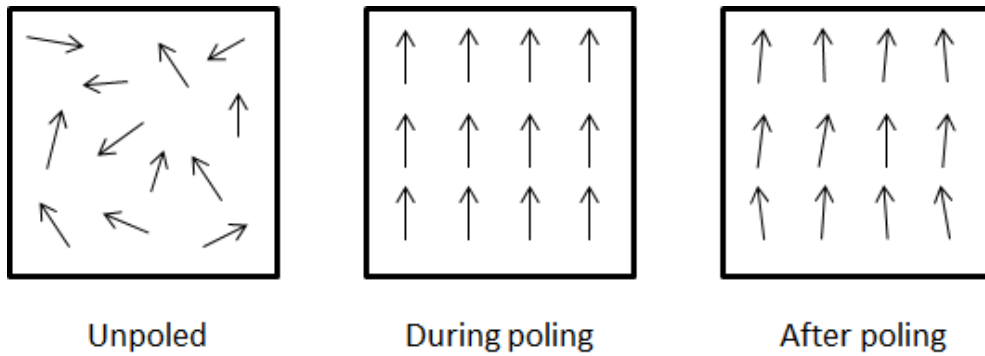
2.3 ปรากฏการณ์ Piezoelectricity

จากเหตุผลข้างต้นที่ผ่านมาเพราะความไม่สมมาตรกับจุดศูนย์กลางของผลึกเซลล์ (Non Centrosymmetry) เมื่อมีแรงกดจะทำให้ Dipole เกิดขึ้นและเป็นผลทำให้เกิดกระแสขึ้นในทำนองกลับกันเมื่อมีแรงดึงจะทำให้ Dipole เกิดขึ้นและเป็นผลทำให้เกิดกระแสขึ้นเช่นกันดังรูปที่ 2a ในทำนองเดียวกันเมื่อเราป้อนแรงดันบนพีโซอิเล็กทริก เซรามิกตัวเซรามิกจะขยายและหดตัวซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลดังรูปที่ 2.2(2b)



รูปที่ 2.2 แสดงปรากฏการณ์ Piezoelectricity

เพียโซอิเล็กทริก ทรินั้นจะมีการ Polarization ตามธรรมชาติซึ่งแตกต่างจาก Ferroelectric สารเพียโซอิเล็กทริกนั้นหลังจากการตัดให้เป็นชิ้นใหม่ๆ Dipoles ที่มีอยู่ในส่วน (Grains) ต่างๆ นั้น ไม่ได้เรียงไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการ Poling เพื่อให้ Dipoles ต่างๆ เรียงไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 3 ซึ่งหากปราศจากกระบวนการ Poling แล้วสารเพียโซจะไม่แสดงสมบัติพิเศษใดๆ เลยการ Poling จะกระทำที่อุณหภูมิคูรี (Curie Temperature, T_c)



รูปที่ 2.3 แสดงการ Poling of Piezoelectric Ceramics

สมการที่อธิบายเกี่ยวกับผลของปรากฏการณ์ Piezoelectric เขียนได้ดังนี้

$$D = dE + \epsilon^T E \quad 2.1$$

$$S = S^E T + dE \quad 2.2$$

เมื่อ D = ระยะประจุเคลื่อนที่ (Electric Displacement)

T = ความเค้น (Stress)

E = สนามไฟฟ้า (Electric Field)

S = ความเครียด (Strain)

d = ค่าคงที่ของเพียโซ (Piezoelectric Coefficient)

ϵ = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)

s = ค่าของวัสดุที่ใช้ (Material Compliance)

ค่าของเพียโซอิเล็กทริกจะเกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงเค้นอาจจะเขียนในรูปของแรงดันหรือค่าที่มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อนิวตันต่อตารางเมตรดังสมการ

$$g = \frac{\text{OpenCircuitElectricField}}{\text{AppliedMechanical Stress}} \quad 2.3$$

ซึ่งค่า g เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ d ดังนี้

$$g = \frac{d}{\epsilon} = \frac{d}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad 2.4$$

เมื่อ ϵ = ค่าความซึมซาบ (Permittivity)

ϵ_r = ค่าคงที่ของสารไดอิเล็กตริก (Relative Permittivity)

ϵ_0 = ค่าความซึมซาบสมบูรณ์ (Permittivity in free space $\approx 8.854 \times 10^{-12}$ F/m)

ส่วนค่าความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลหรือในทางกลับกันของเพียโซอิเล็กตริก (Piezoelectric Coupling Factor) สามารถหาได้ดังนี้

$$K = \sqrt{\frac{\text{Energy Output}}{\text{Total Mechanical Energy Input}}} \quad 2.5$$

ซึ่งค่า K นั้นจะเป็นผลปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กตริกทั้งผลทางตรง (Direct Effect) และผลทางอ้อม (Converse Effect) ทั้งสองกรณีและค่าของ k นั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

2.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

2.1.3.1 Piezoelectric Buzzers นำไปใช้โดยอาศัยการสั่นนำแผ่นเพียโซเซรามิกติดกับแผ่นโลหะบางเมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าแผ่นเพียโซเซรามิกก็จะเกิดการสั่นทำให้เกิดเสียงขึ้นใช้ในการเตือนภัยสัญญาณเสียงเครื่องคิดเลขและนาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์

2.1.3.2 Blood Pressure Sensors นำไปใช้โดยอาศัยความดันใช้แผ่นเพียโซเซรามิกเป็นตัวรับสัญญาณของความดันโลหิตแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2.1.3.3 Ultrasonic Sensors นำไปใช้โดยอาศัยการตรวจจับเสียงนำแผ่นเพียโซเซรามิกที่ใช้ในการ Sensor ไว้ที่หลังของรถเมื่อเวลาารถถอยหลังแผ่นเพียโซเซรามิกจะส่งคลื่นเหนือเสียงออกไปเมื่อคลื่นวิ่งชนวัตถุด้านหลังรถและสะท้อนกลับให้ส่งเป็นสัญญาณเตือนเป็นเสียง

2.1.3.4 Filters นำไปใช้โดยอาศัยการสั่นการสั่นของเพียโซเซรามิกขึ้นกับขนาดของตัวสาร ดังนั้นสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของตัวสารเท่านั้นจะทำให้ตัวสารสั่นอย่างแรงด้วยสมบัติดังกล่าวสามารถกรองคลื่นรบกวนที่เกิดจากการการสัมผัสผิวหน้าได้

2.1.3.5 Underground Water Pressure นำไปใช้วัดแรงดันน้ำใต้ดินโดยใช้เพียโซเซรามิกวัดแรงดันน้ำที่หัวโดยใช้ Strain Gauge ที่ติดตั้งไว้ภายใน Pneumatic Piezometer วัดแรงดันน้ำโดยอาศัยการสั้นสะเทือนของเส้นลวดPiezometer

2.5 วงจรเรโซแนนซ์ของหัวเพียโซอิเล็กทริก

วงจรเรโซแนนซ์ในส่วนของกระบวนการการเรโซแนนซ์จะประกอบด้วยส่วนของค่าตัวเก็บประจุ, ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความต้านทานโดยทั่วไปแล้ววงจรเรโซแนนซ์จะใช้อยู่ 2 ประเภทคือการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ในรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงการต่อวงจรทั้ง 2 ประเภทเมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าคงสมการที่ 2.8 คือพลังงานจะถูกเก็บอยู่ในอุปกรณ์ที่ชักนำกระแสสลับแล้วจะถ่ายเทไปยังส่วนของตัวเก็บประจุสมการที่ 2.9 ทำให้การคำนวณจำนวนของพลังงานที่เก็บในตัวเก็บประจุได้ง่ายขึ้นการเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่ชักนำกระแสสลับและตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนไปเป็นในรูปของพลังงานจำนวนของพลังงานสูงสุดจะถูกเก็บสะสมไว้อยู่ที่ตัวนำ

$$i = \sqrt{2}I \sin \omega t [A], \text{ กระแสที่ไหลในวงจร} \quad 2.6$$

$$V_C = \frac{1}{C} \int idt = -\frac{\sqrt{2}I}{\omega C} \cos \omega t [V], \text{ แรงดันคร่อมหัวเพียโซ} \quad 2.7$$

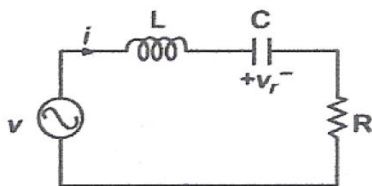
$$E_L = \frac{1}{2} Li^2 = LI^2 \sin^2 \omega t [J], \text{ พลังงานที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ} \quad 2.8$$

$$E_C = \frac{1}{2} CV_C^2 = \frac{I^2}{\omega^2 C} \cos^2 \omega t [J], \text{ พลังงานจากตัวเก็บประจุ} \quad 2.9$$

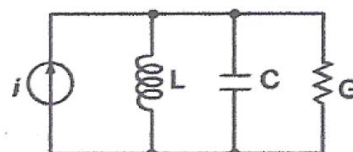
$$E_L + E_C = LI^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = LI^2 \frac{I^2}{\omega^2 C} [J] \quad 2.10$$

เพราะพลังงานจำนวนหนึ่งมีการสูญเสียไปกระบวนการเรโซแนนซ์จำนวนพลังงานที่ถูกเก็บในตัวนำจึงมีการลดลงในช่วงที่มีการเปลี่ยนรูปการเรโซแนนซ์ในการเรโซแนนซ์ทางความถี่ ซึ่งจะเกี่ยวกับความเร็วของการส่งพลังงานซึ่งจะได้จากตัวเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำดังแสดงในสมการที่ 2.14

ในส่วนของการตอบสนองทางการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.11 และสมการที่ 2.12 ขนาดของอิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรมจะได้ดังสมการที่ 2.13



(ก) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



(ข) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.4 วงจรเรโซแนนซ์

$$X_L = j\omega L = j2\pi fL [\Omega], \text{ ความต้านทานจากตัวเหนี่ยวนำ 2.11}$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi fC} [\Omega], \text{ ความต้านทานจากตัวเก็บประจุ} \quad 2.12$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} [\Omega] \quad 2.13$$

ที่ความถี่เรโซแนนซ์ในรูปของค่าความเหนี่ยวนำดังสมการที่ 2.11 และในรูปของตัวเก็บประจุดังสมการที่ 2.12 คือสมการเดียวกันเมื่อระดับแรงดันและกระแสที่ป้อนให้กับวงจรมีค่าเท่ากัน สมการของความถี่เรโซแนนซ์สามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.14

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad 2.14$$

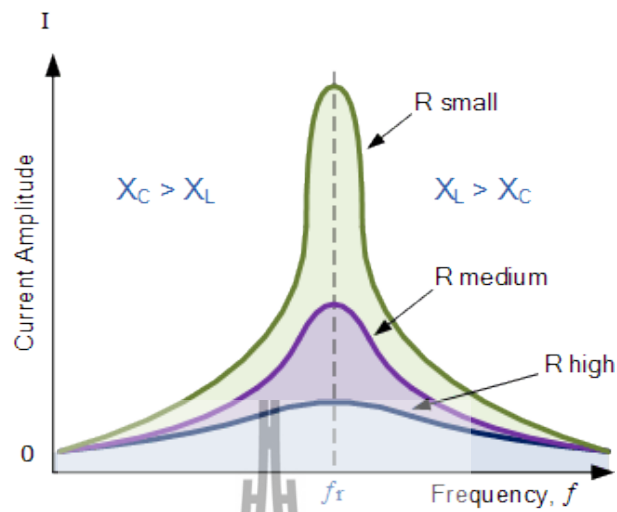
คุณสมบัติของความต้านทานสามารถเรียกอีกอย่างว่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะซึ่งสามารถแสดงในสมการที่ 2.15

$$Z_0 = X_L = X_C = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$X_0^2 = X_L \times X_C = \frac{L}{C} \quad 2.15$$

จากสมการทั้งหมดจะเห็นได้ว่าความต้านทานเป็นส่วนน้อยส่วนมากจะเป็นค่าความเหนี่ยวนำค่าตัวเก็บประจุมากกว่าที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์รูปพลังงานที่ได้จะมีลักษณะที่เป็นกราฟดังรูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของกระแสกับความถี่ต้นกำเนิดจะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่ที่น้อยไปหรือมากไปทำให้เกิดการไม่แมตซ์กันค่าของกระแสและกำลังงานที่ได้ก็จะมีค่าน้อยแต่เมื่อค่าของค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุเกิดการแมตซ์กันก็จะทำให้กระแสที่ได้มีค่าสูงสุดทำให้ได้กำลังงานสูงสุดในการเกิดช่วงความถี่เรโซแนนซ์ด้วยจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ของการปรับเปลี่ยนความถี่ให้มากหรือน้อยกว่าช่วงความถี่เรโซแนนซ์ค่าของความเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเป็นส่วนที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปรับเปลี่ยนความถี่

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad 2.16$$



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของกระแสกับความถี่ต้นกำเนิด

ส่วนของความสัมพันธ์ของสูตรที่ได้จากการทำให้เมตซ์กันซึ่งก็จะมีส่วนของกระแสส่วนของแรงดันที่ป้อนให้ส่วนของตัวเก็บประจุส่วนของความเหนี่ยวนำและส่วนของความถี่โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$I = \frac{2\pi P}{V}, P = IV \quad 2.17$$

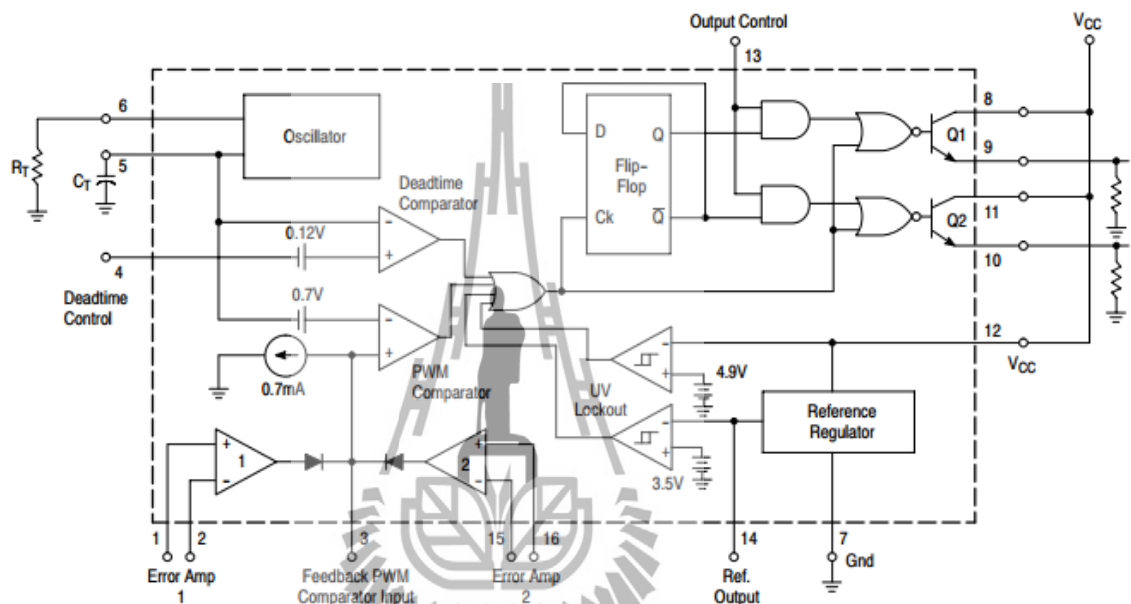
$$C = \frac{1}{2\pi fV} \quad 2.18$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad 2.19$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad 2.20$$

2.6 ไอซีเบอร์ TL494 สำหรับกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

ไอซีเบอร์ TL494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494 แสดงในรูป การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

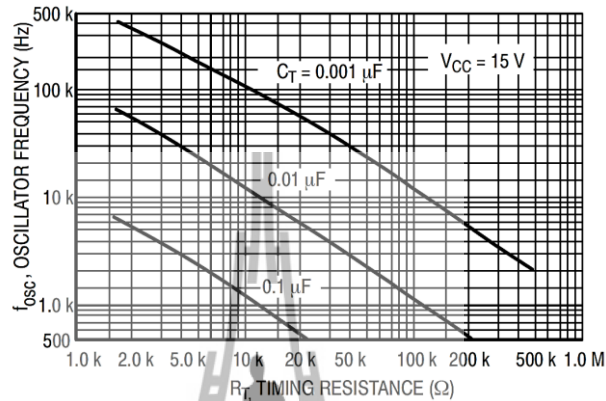


รูปที่ 2.6 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL494

จากรูปวงจรถา 5 และขา 6 จะทำการต่อกับ C_T และ R_T ตามลำดับ ซึ่งเป็นการกำหนดค่าความถี่เอาต์พุต ซึ่งออกจากขาที่ 9 และ 10 ของ Q_1 และ Q_2 ตามลำดับ โดยมีขาที่ 13 ควบคุมการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ว่าจะให้อาต์พุตที่ออกมา มีเฟสตรงกันหรือกลับกัน

การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

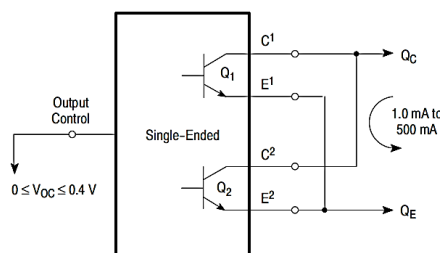
วงจรของ TL494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่ที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ กำหนดโดยค่าของ R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะ กำหนดได้จาก



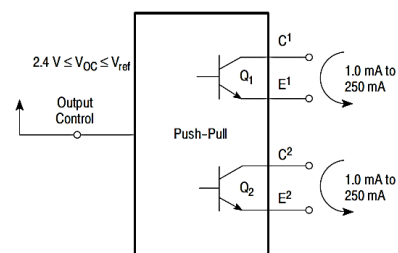
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_T , C_T ในการกำหนดความถี่

2.7 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาต์พุตของไอซี

เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output Control) โดยขณะที่ C_T ดิซชาร์จเอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_T จะมีสถานะเป็น “High” และหยุดการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น “High” โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 Vref) Q_1 และ Q_2 จะสลับการทำงานตามจังหวะของ Flip-Flop เพื่อใช้ขับคอนโทรลเลอร์แบบ พูช - พูล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณพื้นฐานของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น “Low” โดยการต่อกราวด์ (ยกเลิก Flip-Flop) Q_1 และ Q_2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q_1 และ Q_2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณพื้นฐานของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลา)



Single Ended Configuration



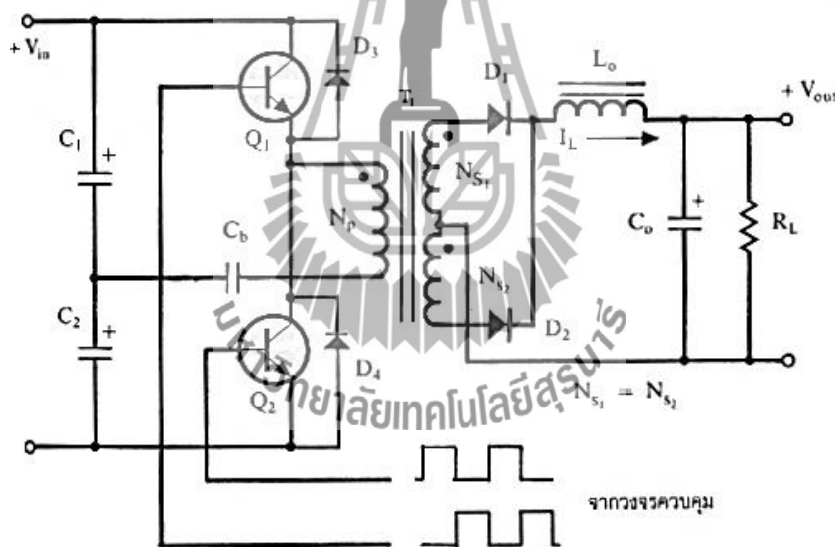
Push-Pull Configuration

รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494

TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{cc} \leq 40$ โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm 1.5\%$ ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70°C

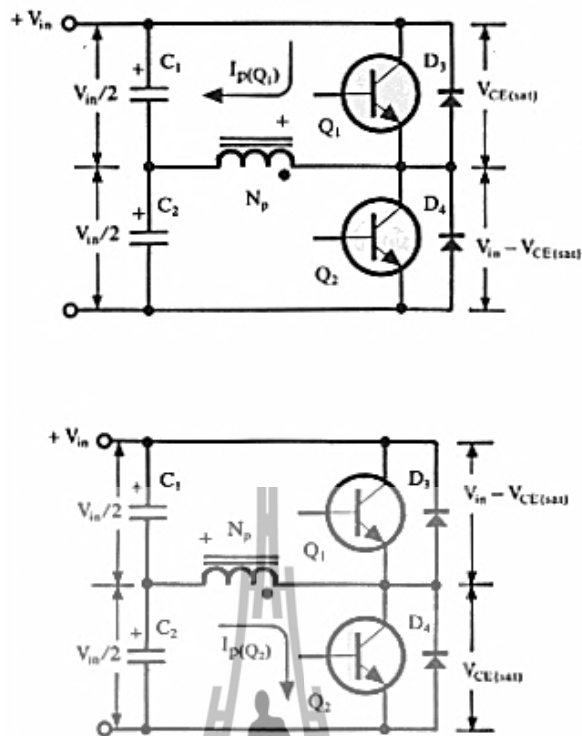
2.8 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพุลสคอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจัดวงจรจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูก และหาได้ง่ายกว่า และลดข้อจำกัดเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงได้มาก รวมทั้งยังไม่มีปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้ด้วย



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูป การทำงานเป็นดังต่อไปนี้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ถูกกำหนดให้มีความเท่ากัน ต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดันแรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับพุลสคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการ



พิจารณาวจร จะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_b อยู่ในวงจร โดยให้ปลายของขดไฟโพรมารี่ N_p ที่ต่ออยู่กับ C_b นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ดังแสดงในรูป

รูปที่ 2.10 (บน) ขณะ Q_1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q_2 นำกระแส

เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแส และ Q_2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ ส่วนแรงดันตกคร่อมของไฟโพรมารี่ N_p จะมีค่าเท่ากับ $V_{in/2} - V_{ce(sat)}$ หรือมีค่าเท่ากับ $V_{in/2} - V_{ce(sat)}$ นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแส และ Q_1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_1 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมที่ขดไฟโพรมารี่ N_p ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ $V_{in/2} - V_{ce(sat)}$ เนื่องจาก $V_{ce(sat)}$ มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น ผลของการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ที่ด้านเซคันดารีจะมีลักษณะเดียวกันกับ พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์

สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องให้กำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก วงจรเรโซแนนซ์ของหัวเพียโซอิเล็กทริก วงจรกำเนิดความถี่โดยไอซี TL494 และวงจรฮาล์ฟบริดจคอนเวอร์เตอร์ เป็นต้น

บทที่ 3

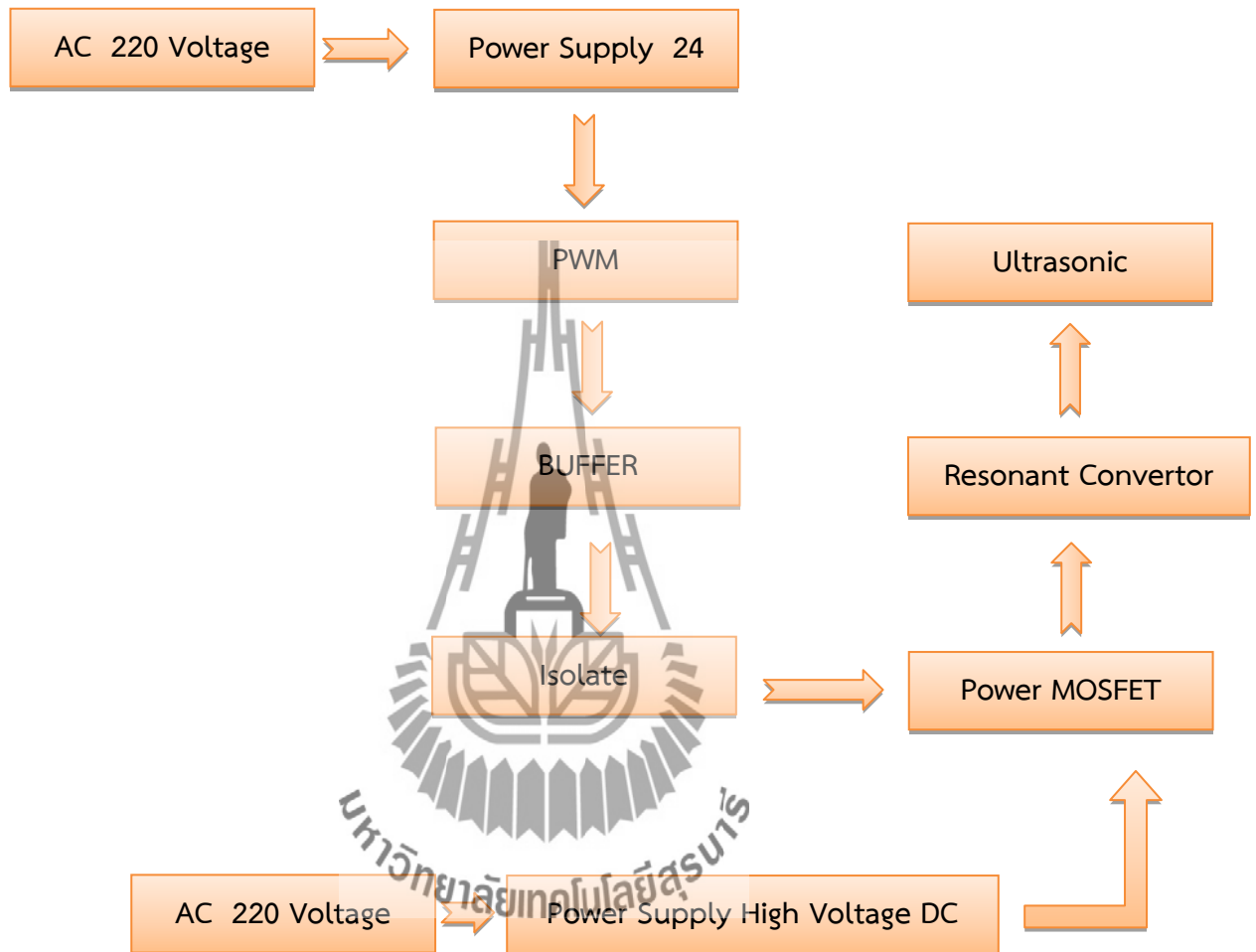
การออกแบบและสร้างวงจรควบคุม

การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมระบบนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบวงจร และเลือกใช้ไอซีและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อให้ได้วงจรที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

วงจรควบคุมการทำงานของระบบนี้มีส่วนของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งเป็นส่วนที่จ่ายไฟ ให้กับวงจรต่างๆทั้งส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดันที่เป็นส่วนให้กำเนิดสัญญาณความถี่ส่วน วงจรขยายสัญญาณส่วนของบัฟเฟอร์และส่วนของวงจรภาคกำลังซึ่งส่วนของวงจรภาคกำลังจะใช้ วงจรการทำงานแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะใช้ไอซีเบอร์ TL494 ในการควบคุมการทำงานของ มอสเฟตที่ต่อวงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์อีกทีหนึ่งซึ่ง ไอซีเบอร์นี้เป็น ไอซีที่ออกแบบมาเพื่อควบคุม การทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทำงานจากโหมดควบคุมจากแรงดันและจะมีสัญญาณที่เอาท์พุท 2 ขาคือขา 9และขา 10โดยพัลส์ที่ได้จะเป็นพัลส์ที่สลับการทำงานกันเพื่อควบคุมมอสเฟตให้ทำงาน สลับกันแต่สัญญาณที่ได้มีแรงดันที่เอาท์พุทน้อยกว่าที่จะทำให้มอสเฟตทำงานได้ดังนั้นจึงใช้ วงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณทำให้ได้แรงดันตามที่ต้องการได้แต่ลักษณะ ของพัลส์ยังไม่ดีพอจึงใช้วงจรบัฟเฟอร์เข้ามาช่วยเพื่อให้ได้สัญญาณและแรงดันตามที่ต้องการ

สัญญาณที่ได้จะป้อนเข้าส่วนของวงจรภาคกำลังซึ่งต่อวงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของมอสเฟตและสัญญาณที่ออกจากส่วนของวงจรภาคกำลังจะป้อนเข้าที่ วงจรชดเชยโซแนนซ์ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บค่าเพื่อชดเชยอิเหนกทริกที่เป็นส่วนทำให้เกิดคลื่นเสียง อัลตราโซนิค

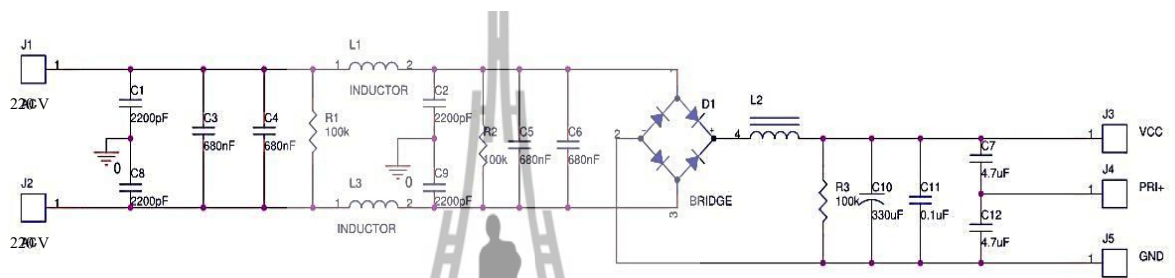
บล็อกไดอะแกรมของโครงการ



รูปที่ 3.1 แสดงผังไดอะแกรมของโครงการ

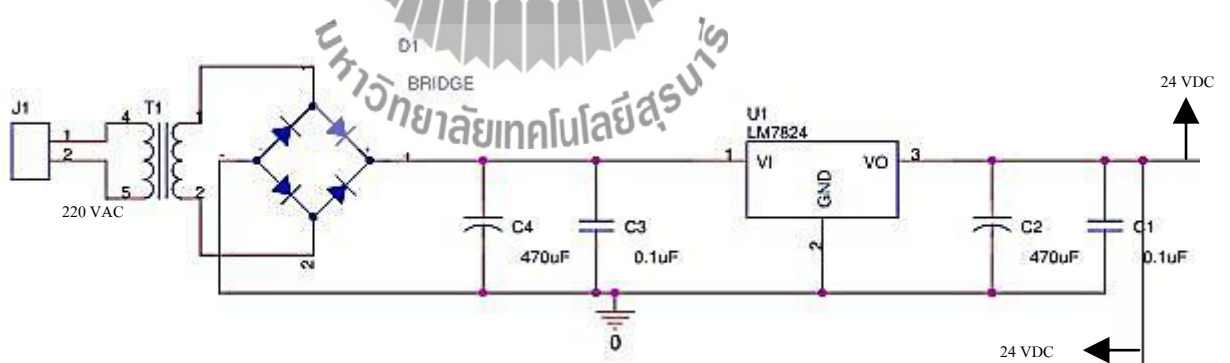
3.1 ออกแบบวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

จากรูปที่ 3 ของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งเป็นส่วนที่จ่ายไฟให้กับวงจรต่าง ๆ ทั้งส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดันที่เป็นส่วนให้กำเนิดสัญญาณความถี่ ส่วนวงจรขยายสัญญาณบัฟเฟอร์และส่วนของวงจรภาคกำลัง ซึ่งแต่ละส่วนต้องการไฟที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบเพื่อจ่ายไฟให้แต่ละส่วนให้ได้พอดีเพื่อประสิทธิภาพของแต่ละวงจร



รูปที่ 3.2 Power Supply High Voltage DC

จะทำการออกแบบให้มีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ดี ซึ่งสัญญาณที่เข้ามารบกวนวงจรจะเป็นสัญญาณที่มีความถี่สูง จึงได้ออกแบบให้มีการลดทอนระดับของสัญญาณความถี่สูง ๆ

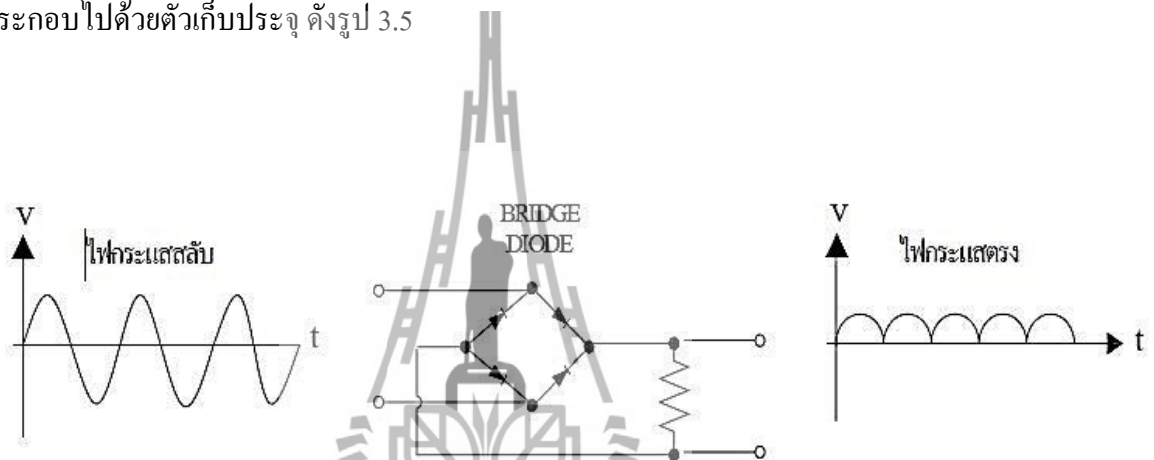


รูปที่ 3.3 Power Supply 24 V

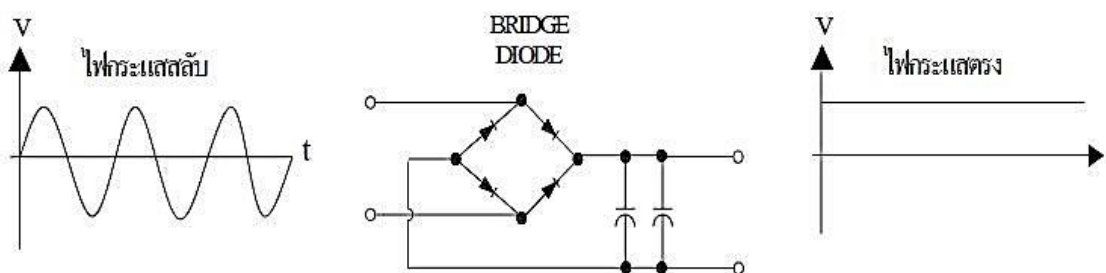
ออกแบบให้รับสัญญาณไฟบ้าน $220 V_{ac}$ ผ่านหม้อแปลงเพื่อลดทอนระดับแรงดันแล้วผ่านบริดจ์ไดโอดเรียงกระแสเพื่อนำไปเข้าขา VI ของไอซี LM7824 ซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็นแรงดันกระแสตรง 24 V แต่ต้องให้แรงดันที่เข้ามายังขา VI มีขนาดมากกว่า 24 V

3.1.1 เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรควบคุมจากแรงดันและบัฟเฟอร์

วงจรชุดนี้เป็นวงจรที่ต้องการเอาท์พุท 24 dc V เพื่อที่จะเป็นไฟเลี้ยงให้กับชุดวงจรควบคุมจากแรงดันและบัฟเฟอร์ โดยวงจรชุดนี้จะรับไฟ 220VAC ผ่านหม้อแปลง 24 ac V เพื่อทำการแปลงแรงดันลง แล้วผ่านเข้าวงจรบริดจ์ไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง แรงดัน DC ที่ได้อาจจะมีความถี่ไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 3.4 ดังนั้นถ้าต้องการให้วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอขึ้น แล้วจะต้องมีวงจรกรองกระแส โดยที่วงจรกรองกระแสประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ ดังรูป 3.5

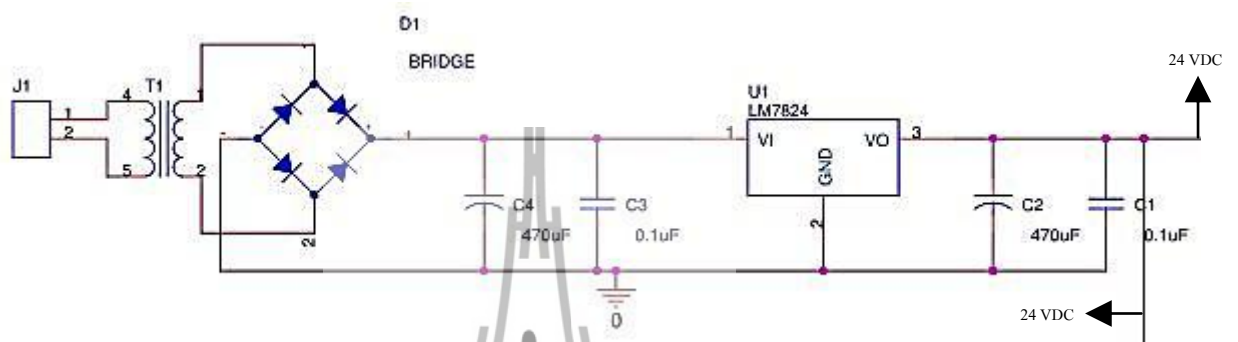


รูปที่ 3.4 ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ

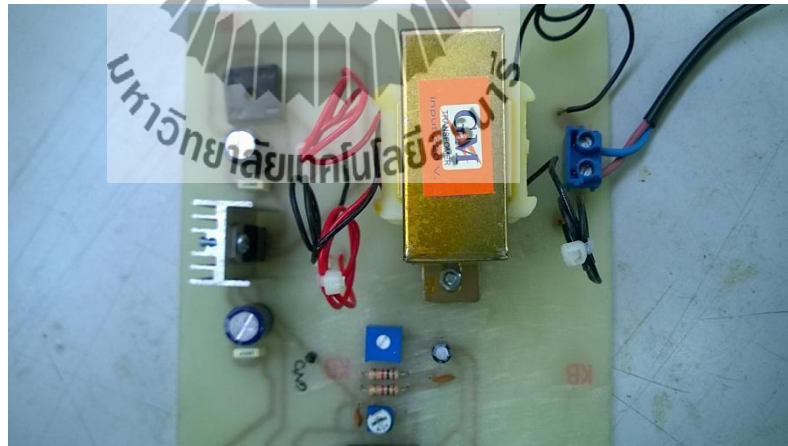


รูปที่ 3.5 ไฟฟ้ากระแสตรงที่สม่ำเสมอ

วงจรชุดในส่วนของวงจรควบคุมแรงดันและบัฟเฟอร์จะต้องการแรงดันหรือไฟเลี้ยง 24 dc V เท่านั้นดังนั้นจึงใช้หม้อแปลงที่มีขนาด 24 ac V เมื่อผ่านวงจรบริดจ์และวงจรกรองกระแสจะได้ค่าแรงดันเท่ากับ $24 \sqrt{2}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 34 dc V และใช้ไอซีเบอร์ LM7824 เพื่อปรับแรงดันให้ได้ 24 dc V



รูปที่ 3.6 วงจรปรับแรงดัน LM7824



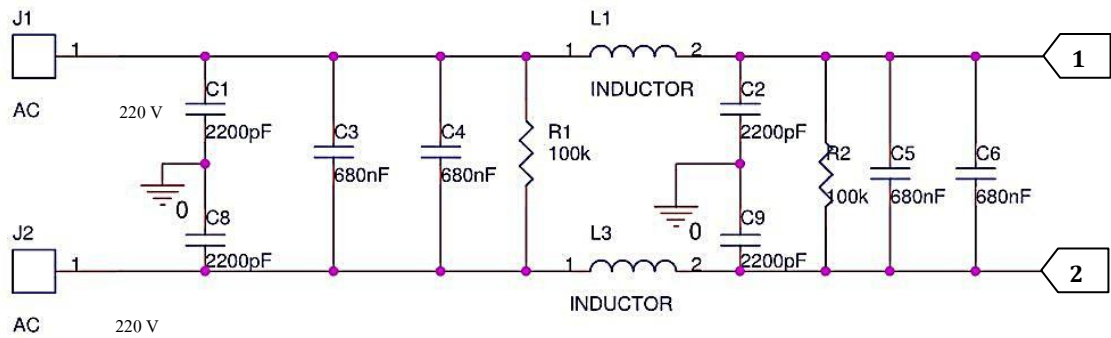
รูปที่ 3.7 ชุดวงจรปรับแรงดัน LM7824

3.1.2 เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง

วงจรชุดนี้จะต้องการแรงดันประมาณ 300 Vdc มาเป็นไฟเลี้ยงให้กับส่วนของ วงจรภาคกำลัง โดยวงจรส่วนนี้จะรับไฟกระแสสลับ 220 AC ผ่านวงจรลดสัญญาณรบกวน RFI แล้วเข้ามาสู่ วงจรบริดจ์ไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง เอาท์พุทที่ออกจากวงจรบริดจ์ ไดโอดจะมีการต่อ RLC Filter ตัวเก็บประจุอยู่ 2 ตัวขนาด 4.7 μF และก็จะเป็เอาท์พุทของ เพาเวอร์ซัพพลายในส่วนนี้

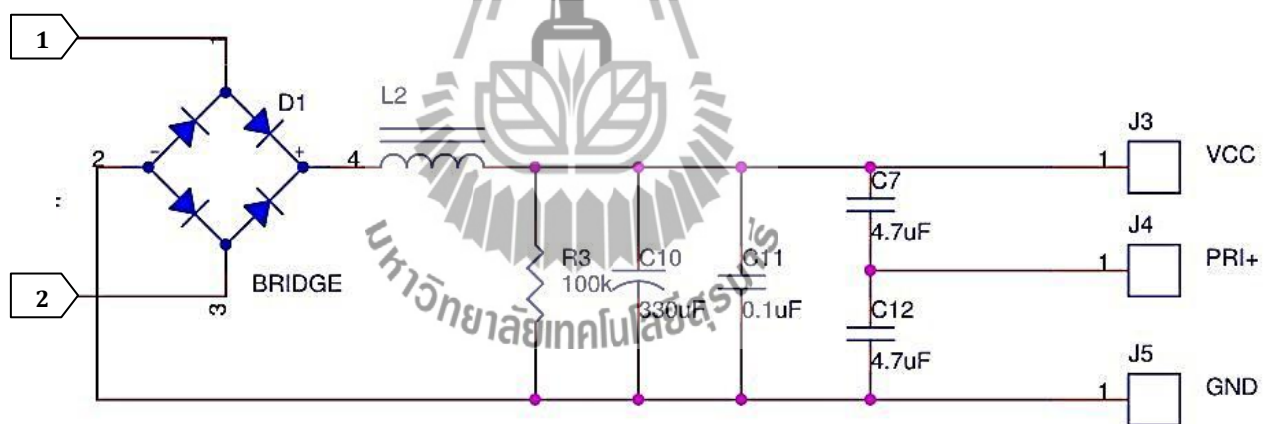
3.1.2.1 วงจรลดสัญญาณรบกวนRFI

เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลังเป็นการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลันที่ค่ากระแสสูงๆ เพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นแหล่งกำเนิด สัญญาณรบกวน RFI ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง จำเป็นต้องมีฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอก ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวน RFI ที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันโดยทั่วไปก็คือ การต่อ LC ฟิลเตอร์ คั่นที่อินพุตกับระบบแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณ RFI ทั้งที่สัญญาณโหมดความแตกต่าง (Differential mode)และที่สัญญาณโหมดรวม (Common mode)การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์อาจทำได้ ดังรูปที่ 3.8และต่อตัวต้านทาน R ไว้ในวงจรมีไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุทิ้งไปได้



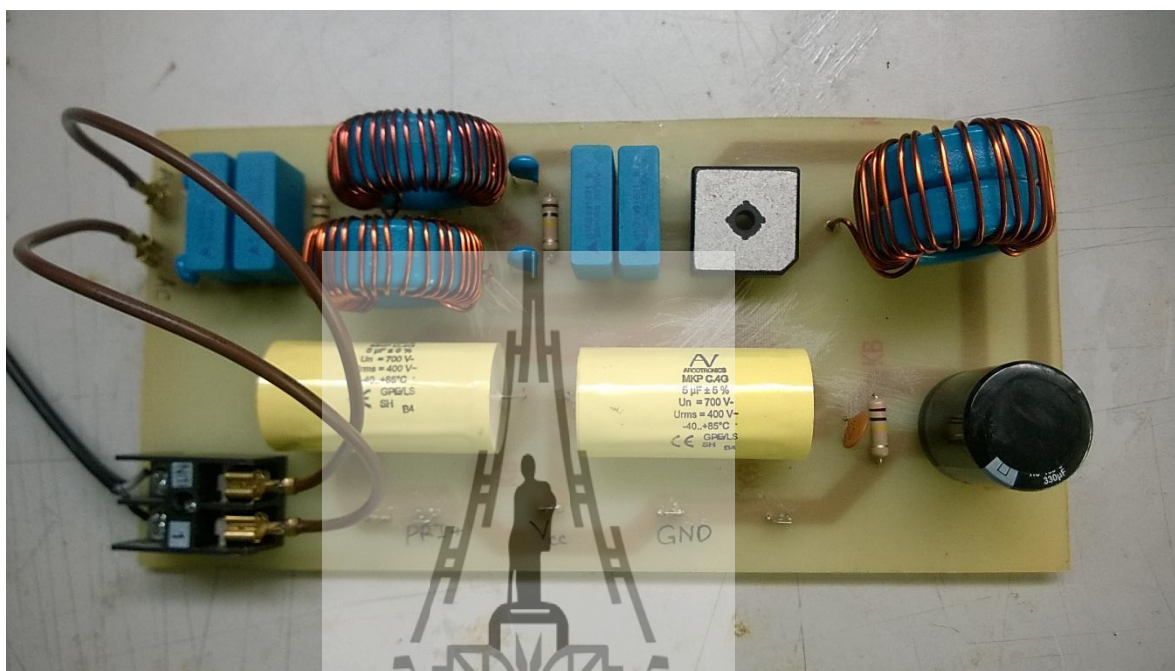
รูปที่ 3.8 วงจร LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI

จากวงจรจะเห็นได้ว่าการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม และต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน เพื่อลดทอนระดับสัญญาณของสัญญาณความถี่สูง ๆ ให้น้อยลงไป



รูปที่ 3.9 วงจรบริดจ์ไดโอด และ LC ฟิลเตอร์

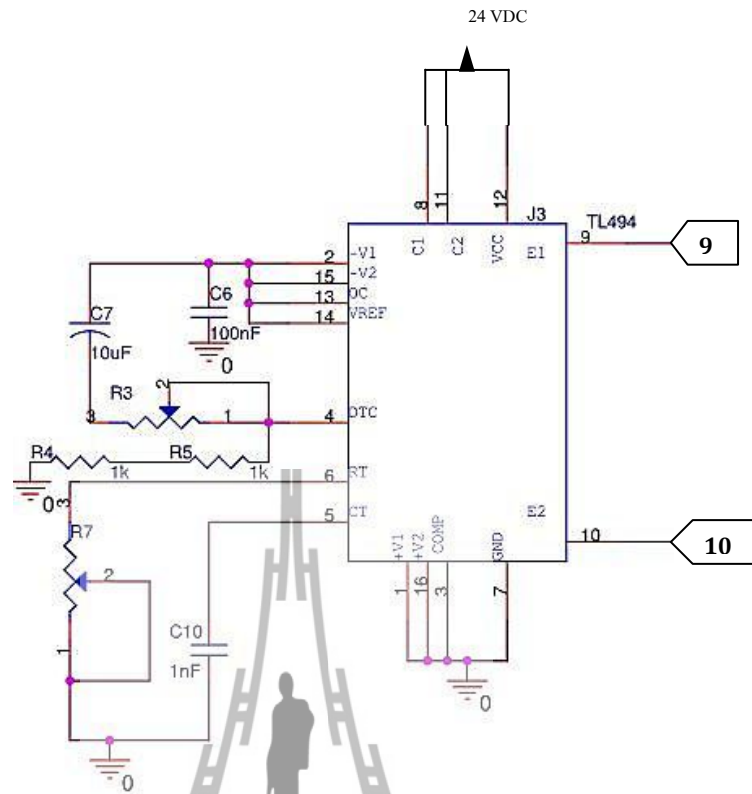
จากการทำงานของวงจรเมื่อสัญญาณผ่านบริดจ์ไดโอดเข้ามาจะผ่าน จะผ่านตัวเหนี่ยวนำ เพื่อทำการกรองสัญญาณความถี่สูงให้มีระดับสัญญาณน้อยลง



รูปที่ 3.10 ชุดวงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในส่วนของวงจรภาคกำลัง

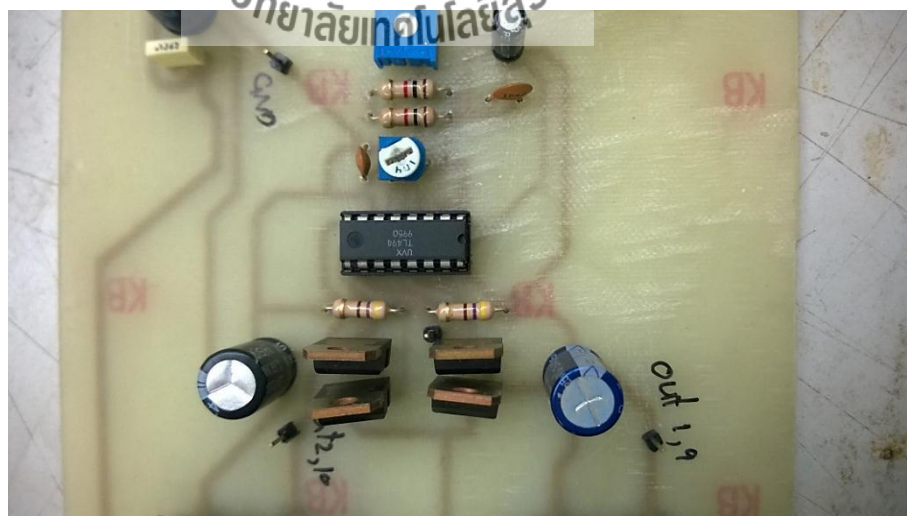
3.2 ออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

สำหรับวงจรกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นส่วนที่จะควบคุมการทำงานของวงจรภาคกำลังเพื่อเป็นการกำหนดการทำงานของมอสเฟตแต่ละตัว โดยที่ส่วนของวงจรภาคกำลังมีแบบวงจรเป็นแบบ ฮาร์ฟบริดจ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ไอซีที่ต้องมีเอาต์พุต 2 ขา มาควบคุม จึงได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งเป็น ไอซีที่มีเอาต์พุต 2 ขา และมีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำมาเป็นวงจรควบคุม



รูปที่ 3.11 วงจรกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

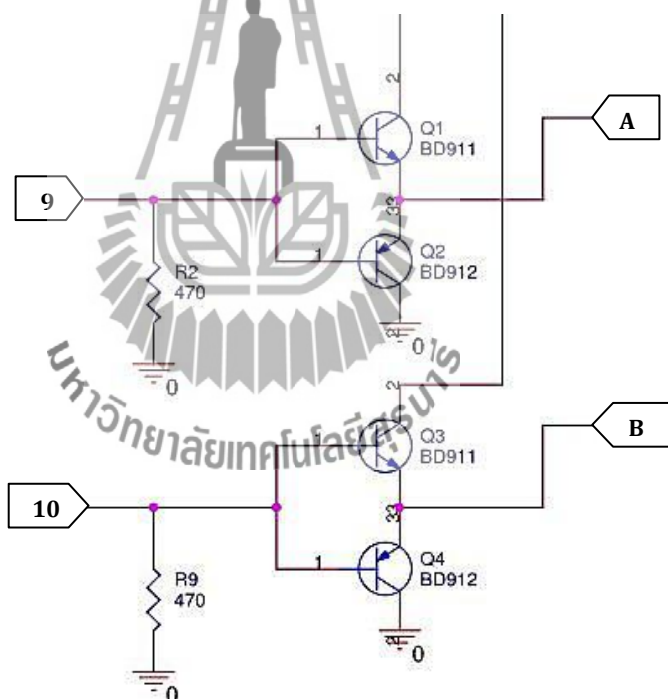
ไอซีตัวนี้ต้องการไฟเลี้ยง 24 โวลต์คือ C1,C2 และ Vcc และมี 2 เอาท์พุทคือ E1 และ E2คือขาที่ 9,10 ตามลำดับ และขาที่ใช้ในการปรับความถี่คือขาที่ 6 โดยใช้ R7 ซึ่งเป็นตัวปรับค่าได้



รูปที่ 3.12 ชุดวงจรในส่วนของไอซี TL494

3.3 ออกแบบวงจรบัฟเฟอร์

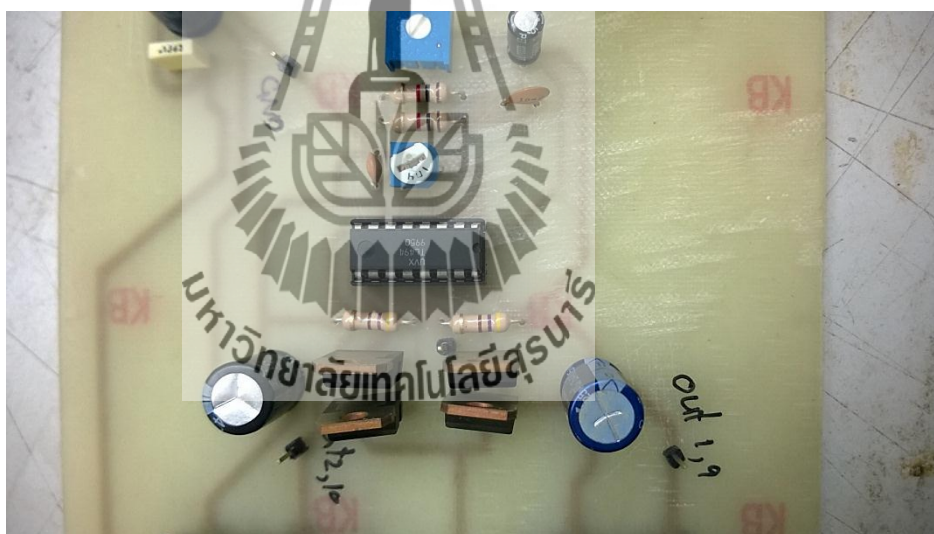
บัฟเฟอร์หรือวงจรกันชนเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติคือความต้านทานอินพุตมีค่าสูง ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำและมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 คือเมื่อแรงดันเข้ามาเท่าใดแรงดันที่เอาต์พุตก็จะออกไปเท่านั้น และยังทำให้สัญญาณที่ได้เป็นสี่เหลี่ยมมากขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ทำให้วงจรทำงานมีความเสถียรมากขึ้น ไม่มีการรบกวนด้วย จากการที่บัฟเฟอร์มีความต้านทานอินพุตสูงทำให้ไม่กระทบต่อสัญญาณของวงจรภาคหน้าและจากการที่ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำทำให้สามารถจ่ายกระแสไปยังโหลดได้มาก ซึ่งสามารถทำให้ต่อโหลดที่มีความต้านทานต่ำได้แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการจ่ายกระแสขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของบัฟเฟอร์ด้วย



รูปที่ 3.13 วงจรของบัฟเฟอร์

ทำการออกแบบให้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก A และ B มีลักษณะเหมือนกันกับสัญญาณอินพุต โดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP ต่อกันดังรูป

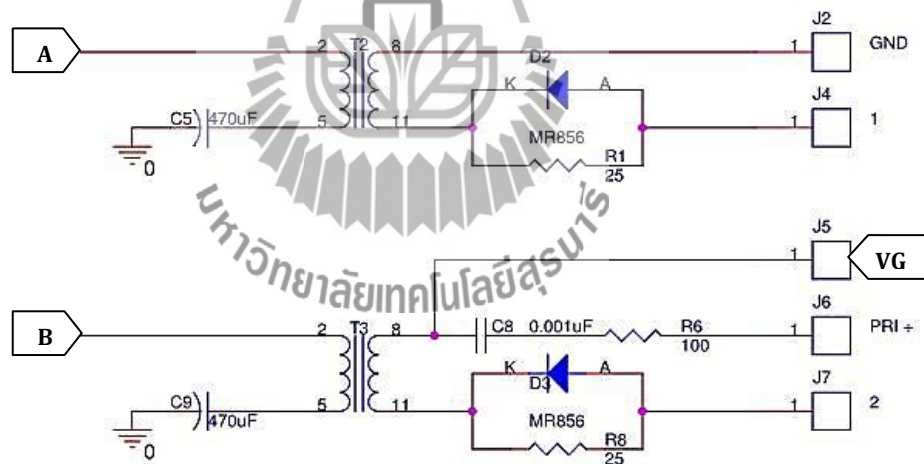
จากรูปที่ออกแบบจะใช้บัฟเฟอร์ 2 ชุดด้วยกัน เนื่องจากแต่ละชุดจะมีเอาต์พุตอยู่ 1 เอาต์พุต โดยสัญญาณที่ออกจากตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่ จะมี 2 เอาต์พุต จะผ่านวงจรบัฟเฟอร์เพื่อให้สัญญาณเสถียรและเป็นสี่เหลี่ยม มากขึ้น ชุดละ 1 อินพุต โดยชุดแรกคือคู่ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 และชุด 2 จะเป็นชุดของคู่ทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ชุดของบัฟเฟอร์ที่ออกแบบจะใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD911 จะเป็นชนิด NPN ส่วน BD912 จะเป็นชนิด PNP ซึ่งทั้งสองเบอร์นี้จะใช้ทำงานคู่กัน จากรูปที่ 3.13 สัญญาณความถี่จะออกจาก จุด A และ จุด B แล้วเข้าคู่ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 คู่ทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ตามลำดับ และ R2,R9 จะต่อเพื่อให้ลดสัญญาณรบกวนและเพื่อทำให้สัญญาณ ที่ออกมาจาก จุด A และ จุด B เป็น 0 V และกำหนดให้เอาต์พุตออกจากบัฟเฟอร์เป็น เอาต์พุต A และ B



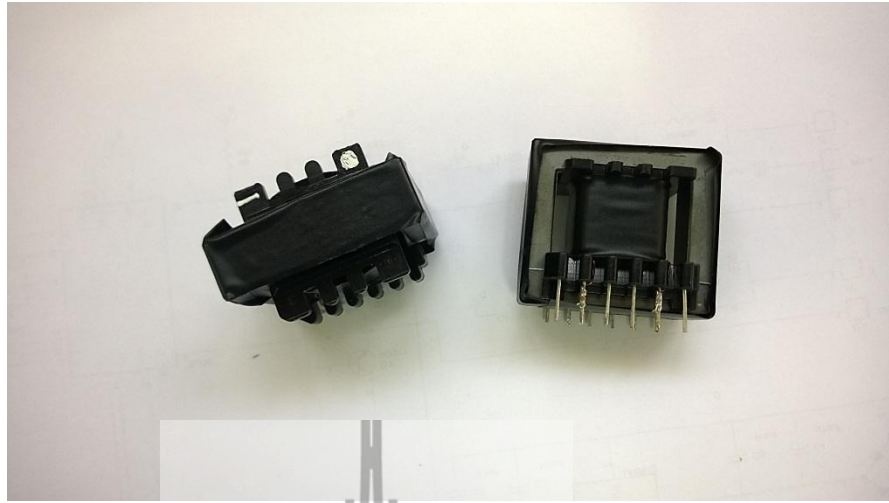
รูปที่ 3.14 ชุดวงจรในส่วนของบัฟเฟอร์

3.4 ออกแบบวงจร ไอโซเลเตอร์

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบไอโซเลเตอร์ซึ่งใช้หม้อแปลง 2 ตัว คือ T2 และ T3 โดยหม้อแปลงที่ใช้จะเป็นแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งจะนำเอาขดลวดอาน้ำยามาพันจุดละ 60 รอบโดยสัญญาณอินพุตชุดแรกที่ป้อนเข้าไปจะสัญญาณ 2 และ 5 ซึ่งเอาที่พุกที่ได้โดยการอินดิษฐ์ผ่านแกนเฟอร์ไรต์จะเป็นสัญญาณ 8 และสัญญาณ 11 ที่มีกราวด์แยกกันอย่างอิสระ ส่วนอีกชุดหนึ่งก็เหมือนสัญญาณชุดแรกเช่นกันแล้วมีการใส่ C5 และ C9 ที่มีค่าเท่ากับ $470\ \mu\text{H}$ เพื่อทำการ Block สัญญาณ DC ที่ต่อเข้ากับวงจรบัฟเฟอร์ ซึ่งวงจรบัฟเฟอร์จะมีสัญญาณ DC ลอยมาทำให้สัญญาณไม่เป็นศูนย์ ดังนั้น C5 และ C9 ทำให้สัญญาณ DC ที่ลอยมาเป็นศูนย์ แล้วได้มีการใส่ไดโอดขนานกับตัวต้านทานคือ D2,R1 และ D3,R8 เพื่อทำการลดสัญญาณ Overshoot ที่ออกมาจากหม้อแปลง และได้ใส่ C8,R6 เป็นวงจร snubber เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรขณะทำงานปกติ

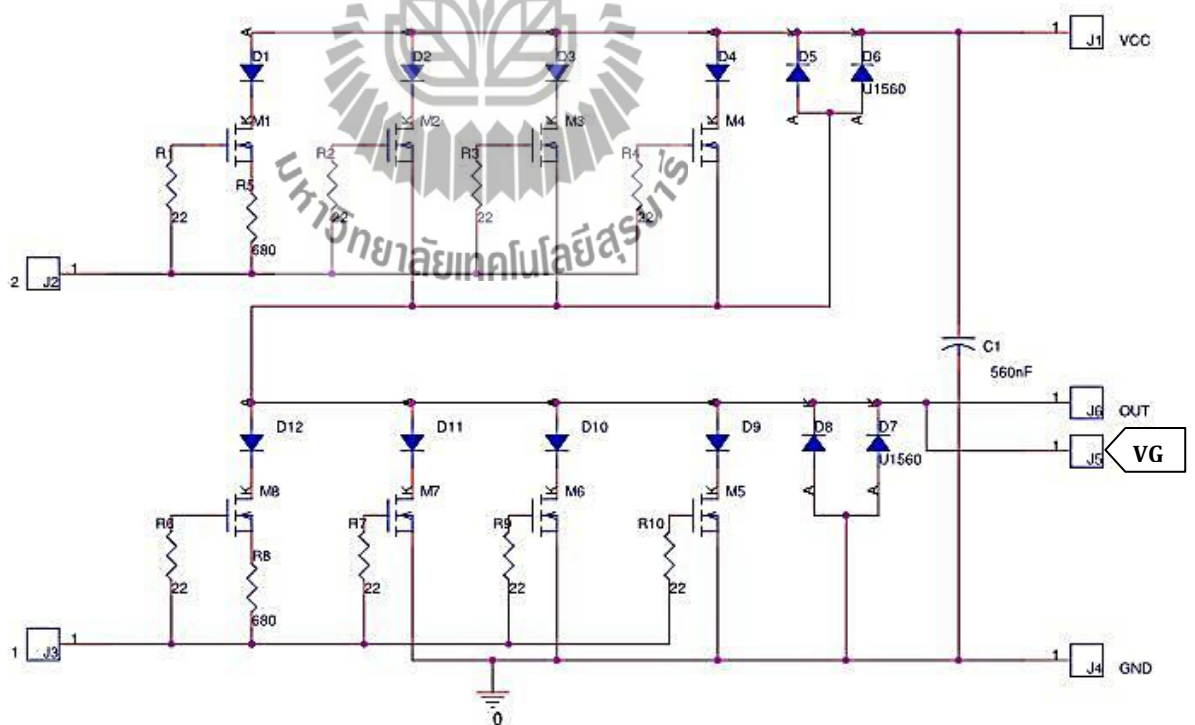


รูปที่ 3.15 วงจร ไอโซเลเตอร์



รูปที่ 3.16 ชุคไอโซเลเตอร์

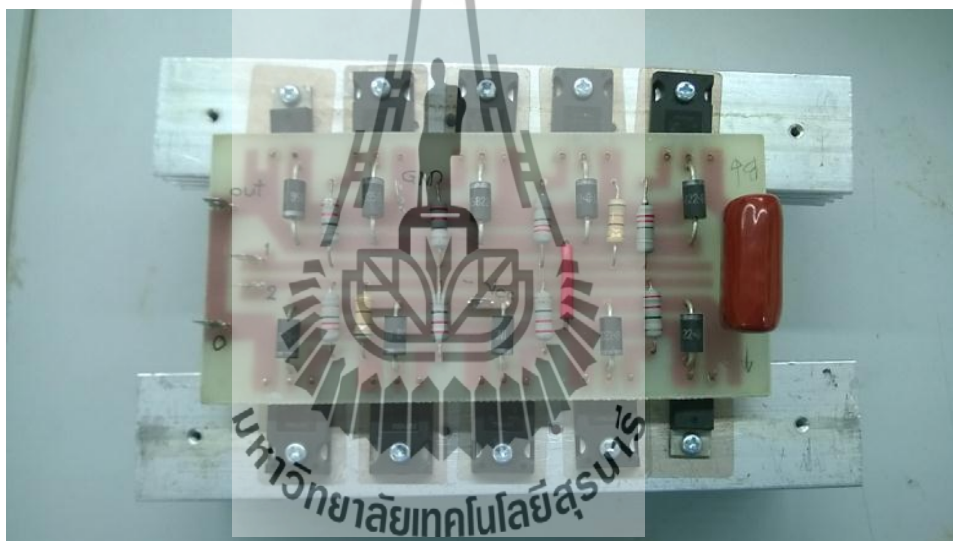
3.5 การออกแบบวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.17 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบนั้นใช้ MOSFET เบอร์ IRFP460 เป็นเบอร์ที่หาได้ตามท้องตลาด และใช้ไดโอดที่เป็น Fast Recovery เพื่อให้ทันต่อการสวิตช์ของสัญญาณ จากรูปที่ 3.18M1 และ M8 เป็นการต่อเพื่อทำการไบแอส ให้กับ MOSFET อีก 3 ตัว คือ M2,M3,M4 และ M5,M6,M7 ที่ใช้ MOSFET3 ตัวนั้นเพื่อที่จะเพิ่มกระแสให้กับเอาต์พุต แล้วเพื่อไม่ให้ MOSFET ไม่ต้องรองรับกระแสมากเกินไปในขณะที่ทำงาน และ R1 ถึง R10 ไว้สำหรับไบแอสให้ MOSFET ทำงาน และ D5,D6 และ D7,D8 เพื่อป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ขณะที่ MOSFET หยุดนำกระแส



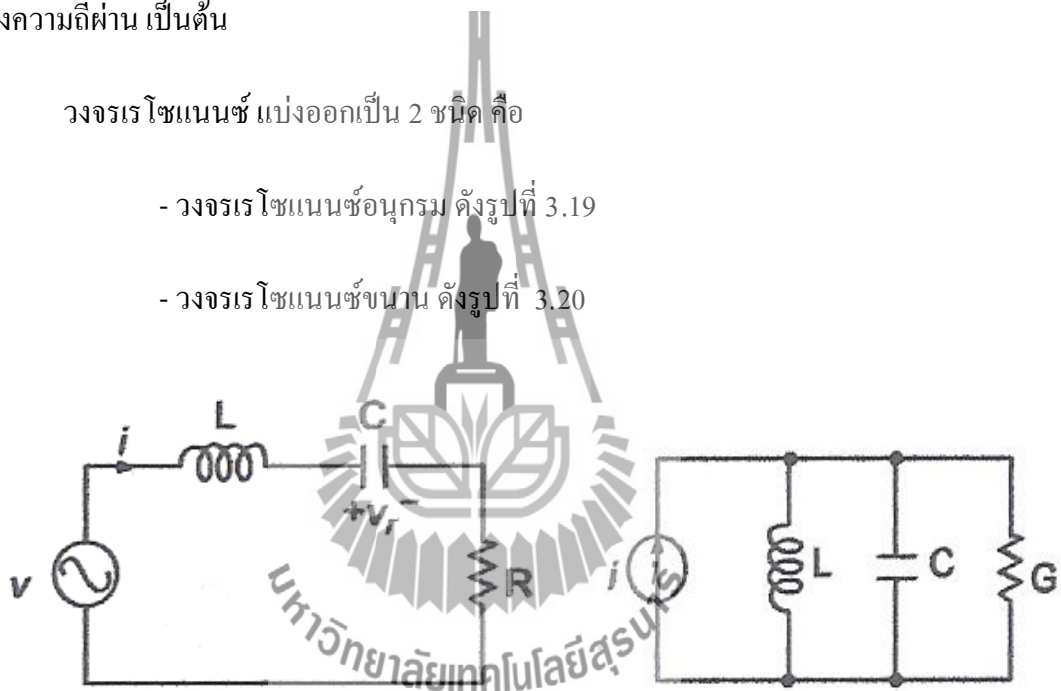
รูปที่ 3.18 ชุดวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

3.6 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์เป็นวงจรผสมระหว่างตัวเก็บประจุ กับ ขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีความสำคัญในการใช้งานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยผลต่อสัญญาณกระแสสลับของขดลวดและตัวเก็บประจุซึ่งแตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม จะทำให้เกิดผลต่อแรงดันในกระแสดตรง และกระแสสลับในลักษณะต่างๆ เช่น เกิดการจ่ายและรับกระแสให้ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสัญญาณกระแสสลับตกคร่อมวงจรขึ้น เมื่อวงจรได้รับแรงดันกระแสดตรงจะเกิดการต่อต้านและยอมให้สัญญาณกระแสสลับบางความถี่ผ่าน เป็นต้น

วงจรเรโซแนนซ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม ดังรูปที่ 3.19
- วงจรเรโซแนนซ์ขนาน ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม รูปที่ 3. 20 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ขนาน

ในนี้ได้ออกแบบเป็นแบบอนุกรม โดยจะใช้ตัวเก็บประจุหรือหัวเพียโซอิเล็กทริกที่ขานานกันจำนวน 10 หัว จึงได้ค่าตัวเก็บประจุ 40 nF และกำหนดความถี่ 32 kHz แล้วทำการคำนวณแมทซ์ซิงของวงจรเรโซแนนซ์เพื่อให้ได้เอาต์พุตที่ถ่านไอออนพลังงานได้สูงสุด โดยใช้สูตรความถี่เรโซแนนซ์เพื่อหาการแมทซ์ซิงของ L

ความถี่เรโซแนนซ์

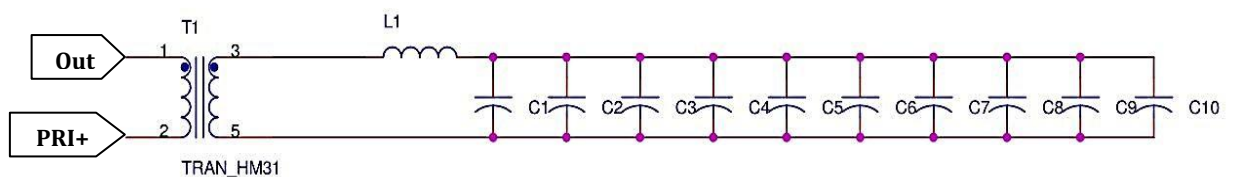
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$L = \left(\frac{1}{2\pi f_0}\right)^2 \times \left(\frac{1}{C}\right)$$

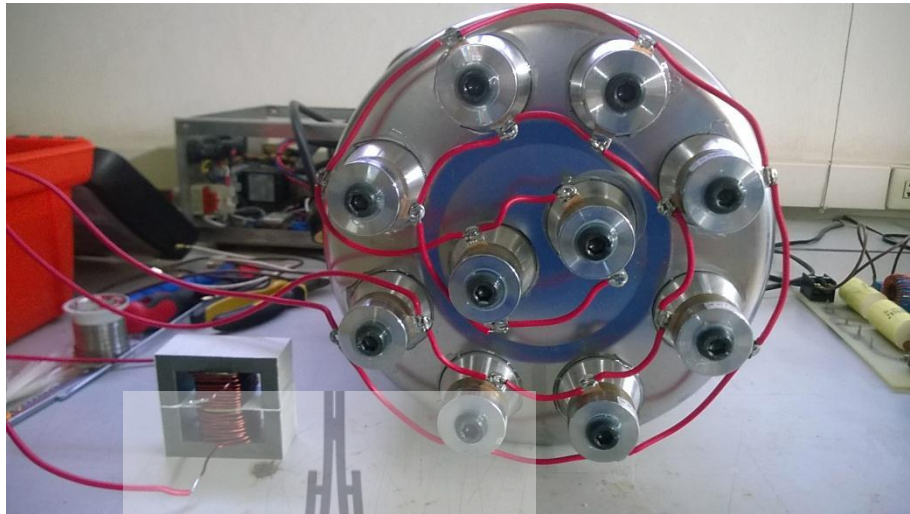
$$L = \left(\frac{1}{2\pi(32 \times 10^3)}\right)^2 \times \left(\frac{1}{(40 \times 10^{-9})}\right)$$

$$L = 618 \mu H$$

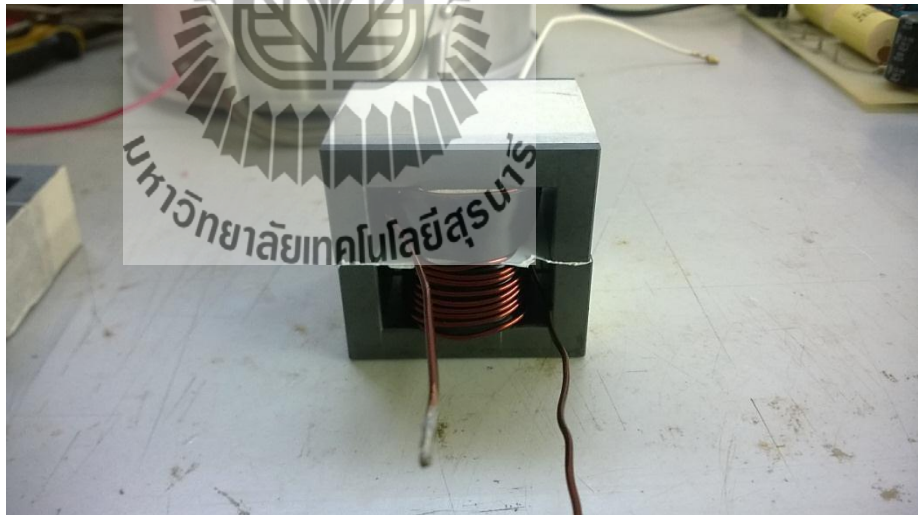
จากผลการคำนวณที่ได้ตัวเหนี่ยวนำที่แมทซ์กับค่า C และความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์ คือ 618 μH



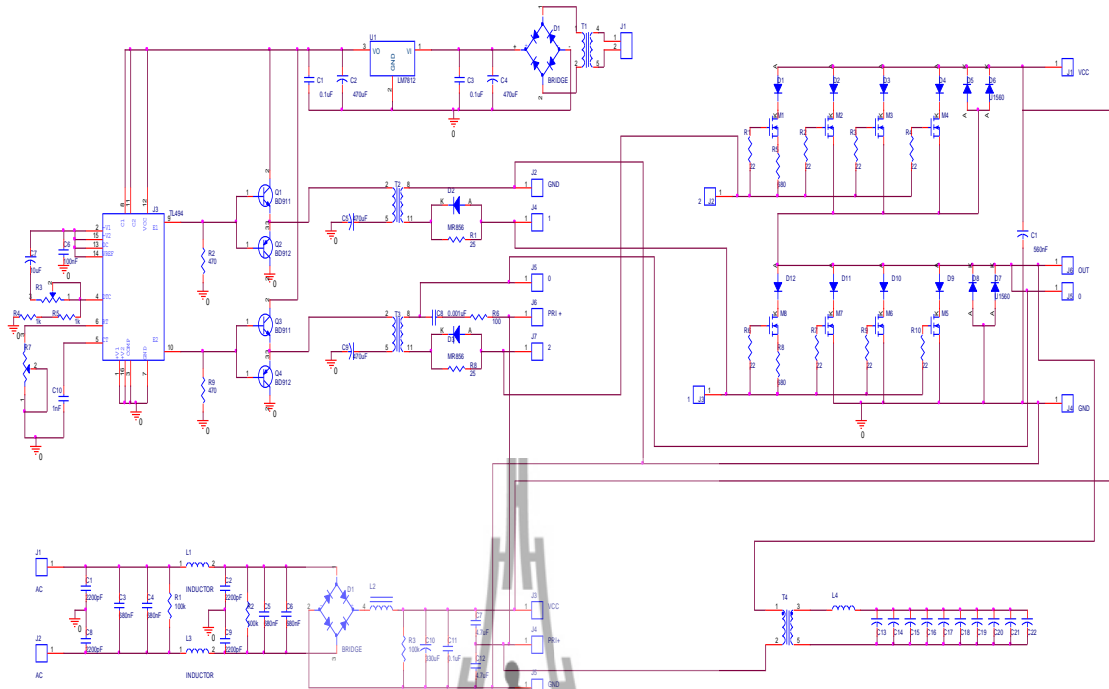
รูปที่ 3.21 วงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 3.22 ชุดวงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 3.23 ชุดวงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 3.24 วงจรรวมของโครงการ

สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสร้างวงจรที่ใช้เพื่อกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ซึ่งได้เริ่มทำการออกแบบตั้งแต่ในส่วนของทเวออร์ซัพพลาย การออกแบบและสร้างในส่วนของวงจรให้กำเนิดความถี่โดยใช้ไอซี TL494 การออกแบบและสร้างในส่วนของบัพเฟอร์ วงจรโอไซเลเตอร์ เพื่อทำการแยกแหว่งฝั่งแรงต่ำกับแรงสูง แล้วออกแบบและสร้างวงจรรวมจอร์ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อทำการตัดต่อแรงดันให้ออกมามีความถี่ตามที่ต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับวงจรเรโซแนนซ์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ในส่วนภาคท้ายของวงจร เพื่อให้ได้ส่งผ่านกำลังงานสูงที่สุดไปยังโหลด

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก ประกอบด้วยวงจรหลาย ๆ ส่วนดังนี้

1. วงจรของเพาเวอร์ซัพพลาย
2. วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์กำเนิดสัญญาณความถี่
3. วงจรบัฟเฟอร์
4. วงจรอินเวอร์เตอร์
5. โพลครีโซแนนซ์

ผลการวัดสัญญาณแต่ละชุดเป็นดังต่อไปนี้

4.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรชุดนี้เป็นวงจรปรับแรงดันซึ่งจะรับสัญญาณอินพุตที่ออกจากหม้อแปลง 24 AC V ผ่านวงจรเรกติไฟเออร์เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและต่อเข้ากับไอซีที่มีคุณสมบัติคงค่าแรงดันได้ ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ LM7824 เพื่อปรับแรงดันตามที่ต้องการ ในรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสัญญาณมีแรงดันเอาต์พุต 24 VDC RMS



รูปที่ 4.1 แรงดันเอาต์พุตของวงจรค่าแรงดัน

4.2. สัญญาณความถี่ควบคุม

สัญญาณของวงจรให้กำเนิดสัญญาณความถี่ จะมีสัญญาณเอาต์พุตทั้งหมด 2 เอาต์พุต โดยจะกำหนดเป็น A(ขา 9), B(ขา 10) จากผลการวัดสัญญาณดังรูปข้างล่าง สัญญาณเอาต์พุตทั้ง 2 เอาต์พุตจะได้แรงดันที่ 24 V ที่ความถี่ 32.6 KHz และเมื่อนำสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับจะเห็นว่าสัญญาณ A และ B จะมีสัญญาณที่ตรงข้ามกัน



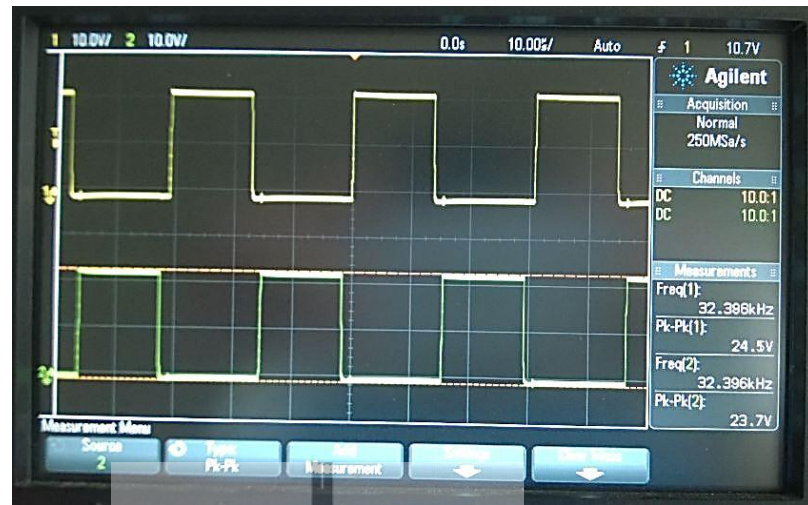
รูปที่ 4.2 เอาต์พุต A ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

จากรูปที่ 4.3 เป็นรูปสัญญาณเอาต์พุต A ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่จะเห็นว่ามีความถี่ 32.61 kHz และจะเห็นว่าช่วงคาบเวลาที่มีความถี่ 24.1 Vp-p -กับ 0 โวลต์จะมีช่วงคาบเวลาที่เท่ากันสัญญาณชนิดนี้จะเป็นสัญญาณที่ไปควบคุมการทำงานของวงจรรหัสรีเฟรช และ มี Duty cycle 44.8%



รูปที่ 4.3 เอาต์พุต B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

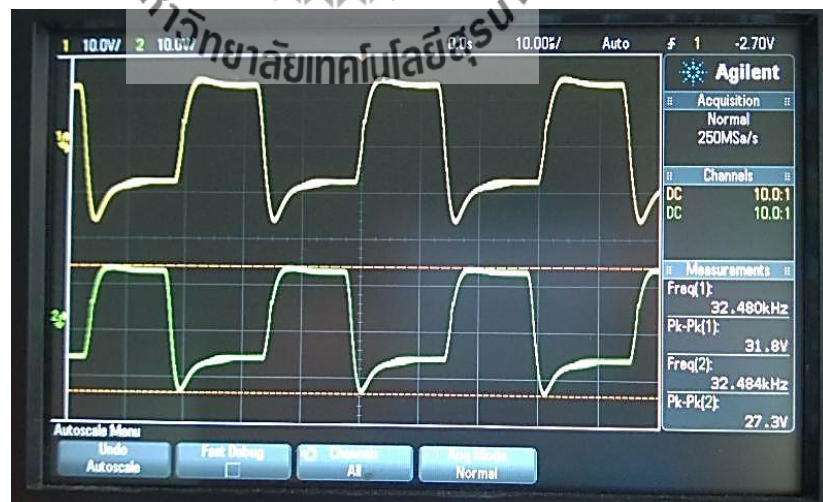
จากรูปที่ 4.4 เป็นรูปสัญญาณเอาต์พุต B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่และจะเห็นว่ามีความถี่ 32.167 kHz ซึ่งจะเห็นว่ามีความถี่ที่ใกล้เคียงกันกับเอาต์พุตของ A และความถี่ที่ใกล้เคียงกันด้วย ซึ่งสัญญาณ A กับ B จะมีรูปสัญญาณที่มีลักษณะตรงกันข้ามกันดูได้จากรูปที่ 4.4 สัญญาณชนิดนี้จะเป็นสัญญาณที่ไปควบคุมการทำงานของวงจรรหัสรีเฟรช และ มี Duty cycle 44.8%



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบเอาต์พุต A กับ B ของ ตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่

4.3 สัญญาณที่เข้าขาเกตของวงจรรหัสพับริดจ์คอนเวอร์เตอร์

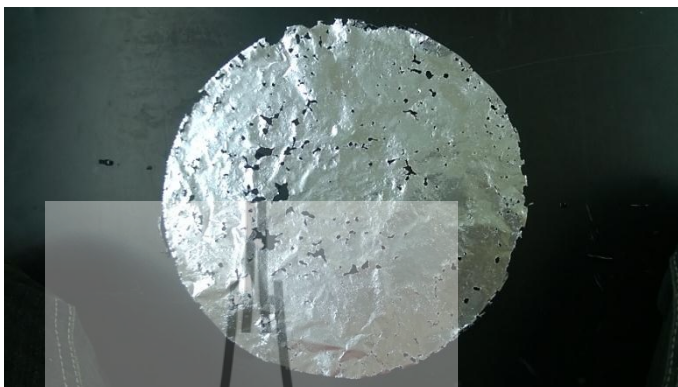
จากรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขาเกตจะมีรูปสัญญาณของแต่ละเอาต์พุตเหมือนกับตัวให้กำเนิดสัญญาณความถี่ แต่สัญญาณที่ออกจากขาเกตนี้จะมีแรงดันทั้งบวกและลบโดยแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 26–32 Vp-p ที่สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขาเกตนี้เป็นสัญญาณควบคุมมอสเฟตของแต่ละชุดซึ่งมอสเฟตที่ใช้ในการออกแบบวงจรรหัสพับริดจ์นี้ใช้เบอร์ IRFP460



รูปที่ 4.5 เอาต์พุต A และ B ที่ออกจากขาเกต

4.4 รูปตัวอย่างผลการทดลอง

ทำการทดสอบโดยใช้แผ่นฟอยล์ขนาดเท่ากัน ปริมาณน้ำเท่ากัน และคงค่าแรงดันไว้ที่ 110 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 1 นาที

เห็นได้ว่าฟอยล์เกิดการฉีกขาด โดยเริ่มจากการที่เป็นจุดเล็ก ๆ ก่อน แล้วเมื่อเวลาผ่านไปจะกลายเป็นจุดใหญ่ ๆ



รูปที่ 4.7 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 2 นาที

เกิดการฉีกขาดของฟอยล์มากกว่าตอนที่ใช้เวลาในการทดสอบเพียง 1 นาที



รูปที่ 4.8 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 3 นาที

เกิดการฟุ้งกระจายของฟอยล์มากกว่าตอนที่ใช้เวลาในการทดสอบเพียง 2 นาที



รูปที่ 4.9 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 4 นาที

เกิดการฟุ้งกระจายของฟอยล์มากกว่าตอนที่ใช้เวลาในการทดสอบเพียง 3 นาที



รูปที่ 4.10 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 5 นาที
เกิดการรื้อขาดของฟอยล์มากกว่าตอนที่ใช้เวลาในการทดสอบเพียง 4 นาที



รูปที่ 4.11 การทดสอบการเรโซแนนซ์ เวลา 10 นาที
เกิดการรื้อขาดของฟอยล์มากกว่าการทดสอบที่ผ่านมามา

จากนั้นลองทำการทดสอบโดยใช้แผ่นฟอยล์ขนาดเท่ากัน ปริมาณน้ำเท่ากัน และคงค่าเวลาไว้ที่ 2 นาที ในระดับแรงดันต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 60 โวลต์

จากรูปจะเห็นได้ว่าเกิดรูพรุนที่ฟอยล์จำนวนมากแต่มีขนาดเล็ก



รูปที่ 4.13 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 80 โวลต์

จากรูปจะเห็นว่ารูพรุนที่ฟอยล์มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าการทดสอบที่แรงดัน 60 โวลต์



รูปที่ 4.14 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 100 โวลต์

จากรูปจะเห็นว่ารูฟรอนที่พอลิมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าการทดสอบที่แรงดัน 80 โวลต์



รูปที่ 4.15 การทดสอบการเรโซแนนซ์ แรงดัน 120 โวลต์

จากรูปจะเห็นว่ารูฟรอนที่พอลิมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าการทดสอบที่แรงดัน 100 โวลต์



รูปที่ 4.16 การทดสอบการเรโซแนนซ์แรงดัน 140 โวลต์

จากรูปจะเห็นว่ารูพรุนที่พอยล์มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าการทดสอบที่ค่าแรงดันที่ผ่านมา

4.5 วิเคราะห์การทดสอบ

จากผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า ที่แรงดันคงที่แผ่นพอยล์จะมีการฉีกขาดมากขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น โดยเห็นได้จากรูปที่ 4.11 แรงดัน 110 V เวลา 10 นาทีจะมีการฉีกขาดของแผ่นพอยล์มากที่สุดเนื่องจากมีพลังงานกลที่เปลี่ยนแปลงมาจากพลังงานไฟฟ้ามากระทำกับแผ่นพอยล์นานที่สุดแต่เมื่อให้เวลาคงที่แล้วทำการเพิ่มค่าแรงดันกลับทำให้แผ่นพอยล์จะมีการฉีกขาดมากขึ้นตามแรงดันที่เพิ่มขึ้น โดยเห็นได้จากรูปที่ 4.16 แรงดัน 140 โวลต์จะมีการฉีกขาดของแผ่นพอยล์มากที่สุดในระยะเวลาที่เท่ากันที่ 2 นาทีเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่เข้าไปเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีค่ามากกว่า

สรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการทดสอบผลที่ได้จากการให้กำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกว่าเป็นอย่างไร ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้นั้น เห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนค่าของแรงดันและระยะเวลาแล้วแต่มีผลต่อผลการทดสอบทั้งสิ้น ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าทั้งกำลังงานและเวลามีผลต่อการฉีกขาดของแผ่นพอยล์



รูปที่ 4.17 เครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก



บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด โดยอธิบายส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ผลการทดลองโดยรวม รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นและจำกัดในการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบแบบเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำประกอบด้วย

1. วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุท
2. วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์ PWM
3. วงจรบัฟเฟอร์
4. วงจรอินเวอร์เตอร์
5. โหลดเรโซแนนซ์

5.2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

1. ใช้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 20-40 kHz
2. ใช้แรงดัน 24 และ 311 โวลต์
3. ใช้กระแส 4 แอมป์
4. ให้พลังงานในรูปของคลื่นกล

5.3 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน

MOSFET บางตัวที่ใช้ในการทดลองคุณภาพไม่ดีพอจึงทำให้พังได้ง่าย ไม่มีเครื่องมือวัดกระแสที่ความถี่สูงจึงทำให้ไม่สามารถบอกกระแสในส่วนความถี่สูงได้ อุปกรณ์ชิ้นส่วนที่ใช้ทำโครงการใช้ค่อนข้างเยอะและมีราคาแพงจึงทำให้งบประมาณที่ใช้มีไม่เพียงพอในการทำโครงการนี้ให้ออกมาสมบูรณ์เท่าที่ควร

5.4 ผลที่ได้จากโครงการนี้

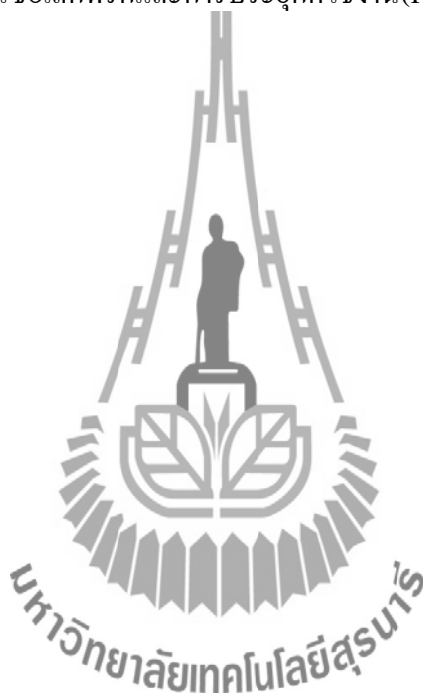
1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก
2. สามารถนำความรู้ที่ได้นำไปประยุกต์ในอนาคตได้
3. ทำให้มีความรู้ในการออกแบบวงจร
4. สามารถใช้เครื่องมือวัดได้
5. ได้เรียนรู้การออกแบบวงจรและขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้
6. มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานและวิธีการออกแบบจากการศึกษาข้อมูลของไอซีแต่ละตัว
7. รู้จักการคิด การวิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ
8. สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานได้

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้นมาและได้ทำการทดสอบพบว่าผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ แต่ก็ยังคงมีปัญหาบางอย่างบางจุดที่ต้องแก้ไข เนื่องจากเวลาที่จำกัดและอีกทั้งยังขาดประสบการณ์ในการทำงานอีกด้วย เครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้นมานี้ยังที่จะพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ เช่น การทำความสะอาดชิ้นงาน การใช้สกัดสาร เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] สุวัฒน์ คั่น, เทคนิคและการออกแบบ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ 2537
- [2] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง1, ถาวร สุวรรณกิจ2 วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2552 THE JOURNAL OF APPLIED SCIENCE; Vol.8, No 1, June 2009
- ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน (Piezoelectric Effect and Application)



ประวัติผู้เขียน



นายชานนท์ ศรีสุมา เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2534
ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 208 หมู่ที่ 6 ตำบลสระยายโสม อำเภออุทุมพร
จังหวัดสุพรรณบุรี จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุทุมพร
จังหวัดสุพรรณบุรี ปีการศึกษา 2552 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรม วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นายคมพิศิษฐ์ กระจายโกชน์ เกิดเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ.
2534 ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 540/2 หมู่ที่ 5 ตำบลนาโพธิ์ อำเภอเสวี
จังหวัดชุมพร จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวีวิทยา
จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2552 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา
วิศวกรรมวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นายปรมินทร์ กันทะยอม เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2534
ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 281 หมู่ที่ 4 ตำบลโป่งทุ่ง อำเภอค้อยเต่า
จังหวัดเชียงใหม่ จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน ชีรกันท์
จังหวัดลำพูน ปีการศึกษา 2552 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรม วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา