

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในขั้นตอนการดำเนินงานสร้างชุดจำลองของคลื่นอัลตราโซนิกในการบำบัดน้ำเสีย
สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้เป็นหัวข้อหลักๆดังนี้

3.1แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.ศึกษาข้อมูลและแนวทาง	---	---	---									
2.วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูล			---	---	---							
3.การคำนวณและการออกแบบ				---	---	---	---					
4.ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน								---	---	---		
5.วิเคราะห์ สรุปผล และแก้ไข ข้อผิดพลาด									---	---	---	
6.เขียนคู่มือการใช้งาน	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7.จัดทำปฏิญานิพนธ์	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8. นำเสนอ												---

แสดงแผนการดำเนินงาน

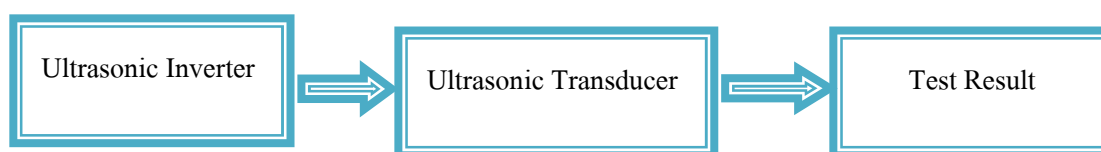
—————

แสดงการดำเนินงานจริง

3.2 การคำนวณและการออกแบบ

ในการจำลองการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการบำบัดน้ำเสีย (Ultrasonic waves in wastewater treatment) นั้นได้แบ่งการทำงานต่างๆ ไว้ในหัวข้อหลักๆดังนี้

การทำงาน



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

การทำงานและการออกแบบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์การทำงานนั้นจะแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

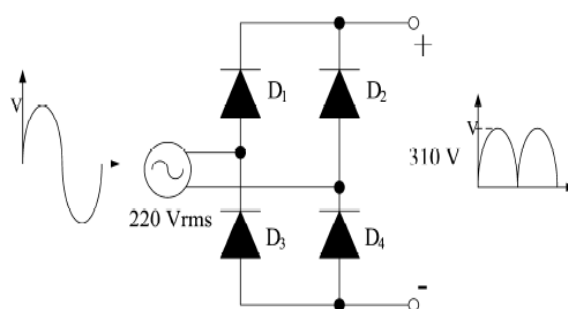
1) ภาคนำเนิดสัญญาณ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณอัลตราโซนิกขึ้นมา และส่งไปภาคอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากกำลังในส่วนนี้ยังมีกำลังที่ต่ำ

2) ภาคอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงกำลังจากภาคนำเนิดสัญญาณที่รับเข้ามาให้มีกำลังแรงขึ้น

3) ทรานสดิวเซอร์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ขยายกำลังจากภาคอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

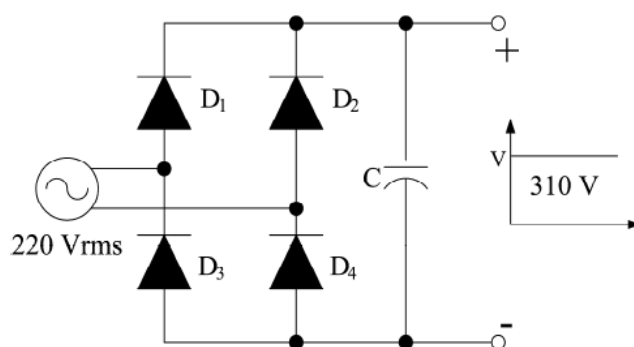
ส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วย 5 ส่วนต่อไปนี้

1) วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Vrms, 50 Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 310 V เพื่อเป็นแรงดันขาเข้าให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในวงจรส่วนนี้ได้ใช้ไดโอดบริดจ์แบบฟูลบริดจ์เบอร์ D25XB60 ทำหน้าที่ดังกล่าวสามารถแสดงรูปที่ 3.2



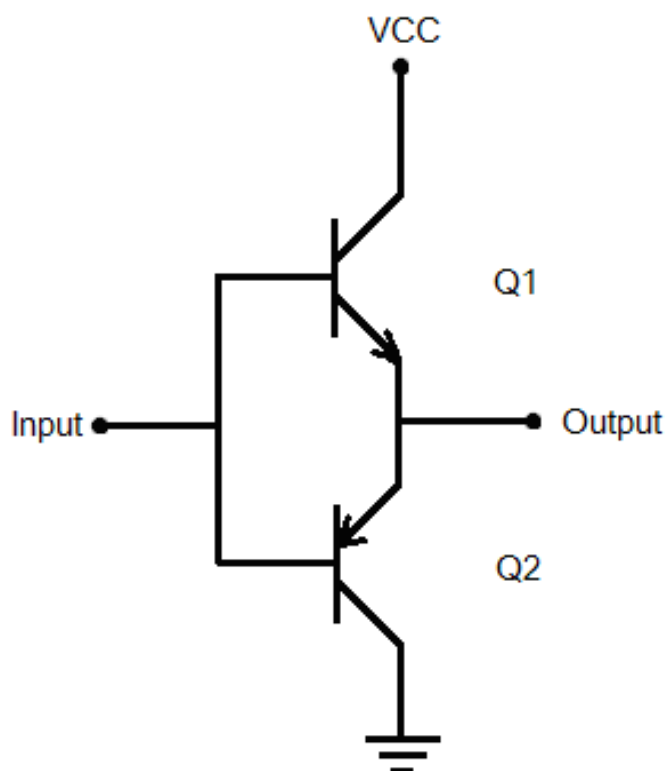
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

2) วงจรดีซีลิงก์ (DC link) ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าดีซีที่ได้จากวงจรส่วนเร็กไฟยให้เรียบโดยปราศจากคลื่นรบกวน เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น และนำไปเป็นแรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งในส่วนนี้ได้ใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับวงจรเร็กไฟย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรดีซีลิงก์ (DC link)

3) วงจรพืซพูล (Push Pull) Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงาน ถ้าอินพุตเป็นลอจิก 1 Q_1 จะนำกระแสและทำให้สัญญาณจากด้านอินพุตผ่านไปด้านเอาต์พุตเพื่อไปขับให้กับหม้อแปลง Switching ความถี่สูงได้ และเมื่ออินพุตเป็นลอจิก 0 จะทำให้ Q_2 นำกระแส จึงทำให้กระแสที่ไหลกลับจากหม้อแปลงวิ่งมาเข้าที่ขามิตเตอร์ที่ Q_2 ได้

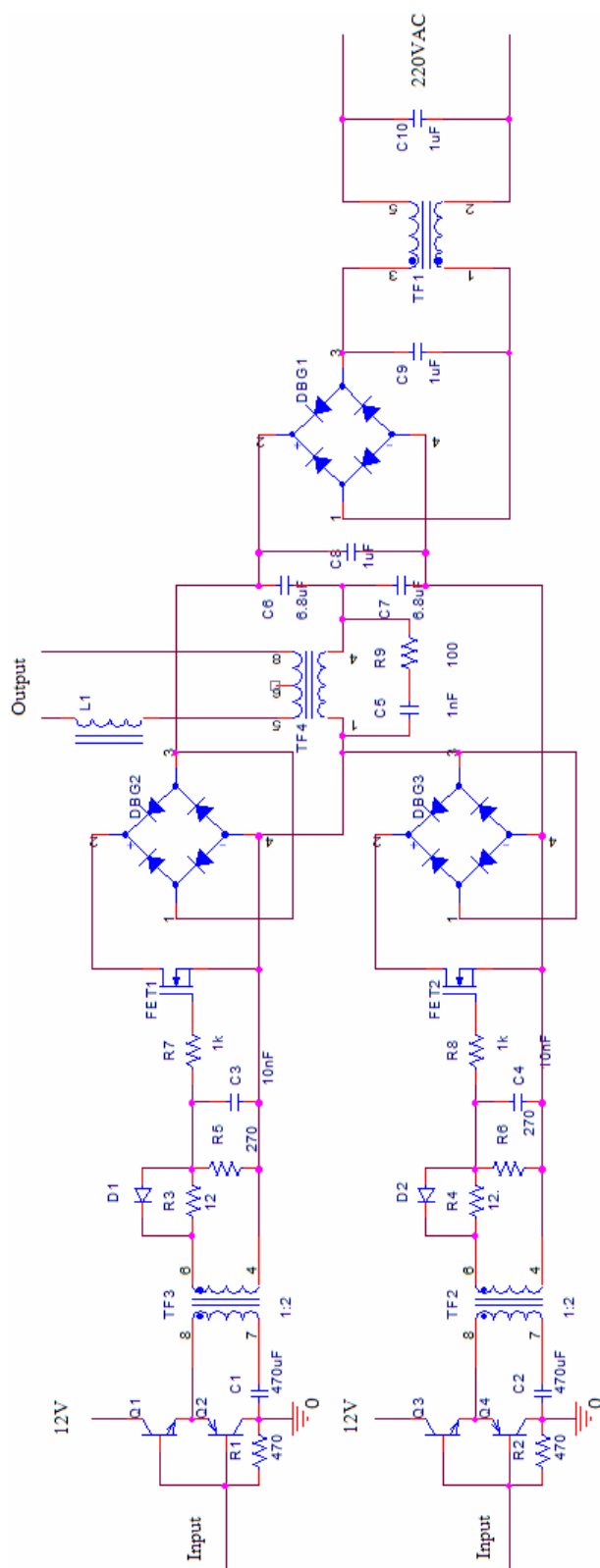


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรพวงพูลใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD911 และ BD91

4) วงจร Power Mosfet ทำหน้าที่เพิ่มกำลังให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยที่หลักการทำงานจะคล้ายกับวงจร Push Pull คือ มอสเฟตแต่ละตัวจะทำงานสลับกัน โดยเมื่อ FET1 นำกระแส FET2 จะหยุดนำกระแส เพราะ FET1 และ FET2 ถูกควบคุมให้ทำงานอย่างละครึ่งไซเคิล ถึงแม้จะเป็นมอสเฟตชนิดเดียวกัน

5) หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer) ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันที่มีความถี่สูงที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยที่ตัวทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกต้องการแรงดัน 120 Vrms ดังนั้นหม้อแปลงความถี่จะทำการปรับระดับแรงดัน

วงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ เมื่อนำวงจรเรียงกระแส วงจรดีซีลิงค์ วงจรพวงพูล วงจร Power Mosfet และหม้อแปลงความถี่สูง จะได้วงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์

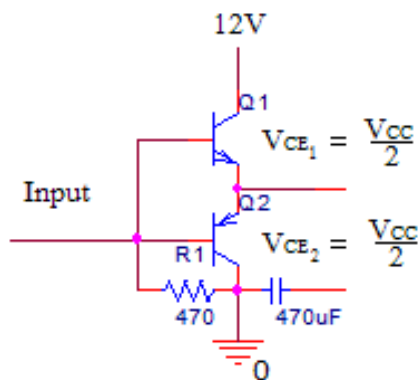
หลักการทำงานของวงจร คือ เริ่มต้นด้วยการเรีกติฟายที่ไดโอดบริดจ์ DBG1 ซึ่งจะได้เป็นแรงดันไฟกระแสตรงออกมา โดย C17 และ C18 จะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟอย่างละครึ่ง คาปาซิเตอร์ทั้งสองนี้จะทำหน้าที่เหมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันบวกและแรงดันลบผ่านโหลดไปครบวงจรที่กราวด์ แต่การที่จะจ่ายแรงดันผ่านไปลงกราวด์ได้นั้น จำเป็นจะต้องให้ FET1 และ FET2 นั้นนำกระแส โดยเมื่อกระแสที่ผ่านการเรีกติฟายมาแล้วนั้นจะถูกจัดทิศทางการไหลของกระแสโดยไดโอดบริดจ์ DBG2 และ DBG3 และเมื่อมีสัญญาณไซน์เคลิบวกเข้ามาที่ด้านอินพุตผ่านเข้ามาทางขา Base ของ Q1 จะทำให้ Q1 นำกระแส จึงทำให้ขั้วสัญญาณผ่านไปยังหม้อแปลง TF3 โดยหม้อแปลงจะมีอัตราส่วนรอบเท่ากับ 1:2 และเมื่อ Q1 หยุดนำกระแส จะทำให้หม้อแปลง TF3 มีกระแสไหลย้อนกลับมาผ่าน Q2 ลงกราวด์ไปได้ หม้อแปลง TF3 ทำหน้าที่เพิ่มกระแสให้กับวงจร Power Mosfet เพื่อที่จะนำไปขับให้กับขา Gate ของ Power Mosfet เพื่อให้ FET1 ทำงาน เมื่อ FET1 ทำงานก็จะทำให้กระแสไหลผ่านจากขา Drain ไปยังขา Source ได้ จึงทำให้กระแสไหลผ่านไปยังหม้อแปลง TF4 ผ่านโหลดได้ และเมื่อมีสัญญาณไซน์เคลิบวกเข้ามาทางด้านอินพุต หลักการทำงานก็จะคล้ายกับช่วงแรก คือ เมื่อสัญญาณเข้าทางขา Base ของ Q3 จะทำให้ Q3 นำกระแสผ่านไปยังหม้อแปลง TF2 โดยหม้อแปลง TF2 มีอัตราส่วน 1:2 และเมื่อ Q3 หยุดนำกระแสจะทำให้กระแสจากหม้อแปลง TF2 ไหลย้อนกลับมาผ่าน Q4 ลงกราวด์ไปได้ และในส่วนของหม้อแปลง TF2 ก็จะทำให้หน้าที่เพิ่มกระแสเพื่อนำไปขับให้กับขา Gate ของวงจร Power Mosfet เพื่อให้ FET2 ทำงาน เมื่อ FET2 ทำงาน จะทำให้กระแสไหลผ่านจากขา Drain ไปยังขา Source ได้ ช่วงนี้จะเสมือนว่าโหลดได้รับการจ่ายแรงดันแบบกลับขั้วอยู่ รูปคลื่นสัญญาณที่ออกทางด้านเอาต์พุตจึงมีทั้งไซน์เคลิบวกและไซน์เคลิบลบ

การคำนวณ

1) ทำการคำนวณวงจรพืซพูล โดยกระแสที่ขาคอลเล็กเตอร์ (I_C) และอิมิตเตอร์ (I_E) มีทิศทางเดียวกันในทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว เนื่องจากต่ออนุกรมกัน กระแส (I_C) ทั้งสองจึงเท่ากัน และแรงดัน (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย (V_{CC})

$$V_{CE1} = \frac{V_{CC}}{2} = \frac{12}{2} = 6V$$

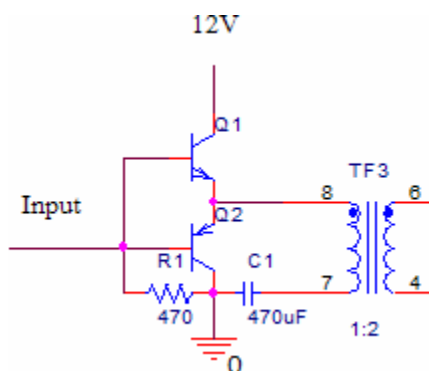
$$V_{CE2} = \frac{V_{CC}}{2} = \frac{12}{2} = 6V$$



รูปที่ 3.6 การคำนวณวงจรพุชพูล

2) ทำการคำนวณแรงดันที่ผ่านหม้อแปลงแบบ Step-Up Transformer เพื่อให้ได้แรงดันที่ด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงเพื่อนำไปขับหลอด

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p = \frac{2}{1} \times 6 = 12V$$



รูปที่ 3.7 การคำนวณแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลง TF3

3) คำนวณหาความต้านทานเพื่อจัดไบแอสให้กับมอสเฟต

จาก Data sheet Mosfet ให้ $V_{GS} = 10 V$

คำนวณหาค่า R_3 และ R_5 ดังนี้

กำหนด กระแส $I_1 = 42.55 mA$

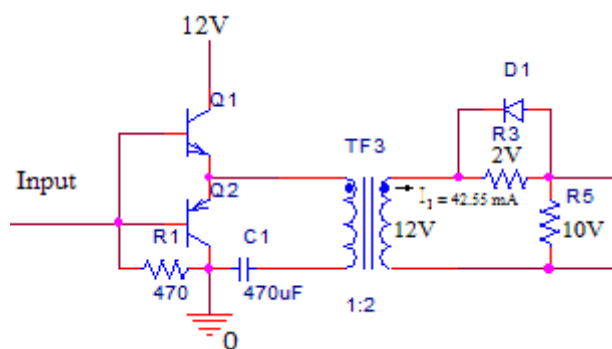
ดังนั้น

$$V_{R5} = I_1 \times R_5$$

$$R_5 = \frac{V_{R5}}{I_1} = \frac{10V}{42.55mA} = 235\Omega$$

$$V_{R3} = I_1 \times R_3$$

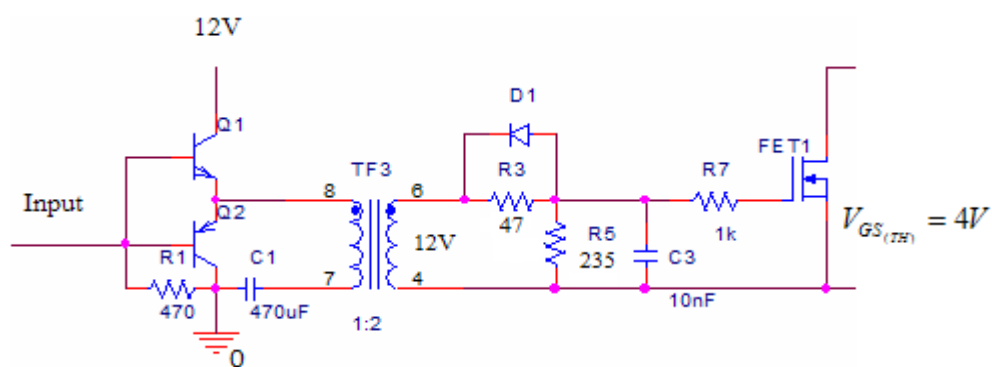
$$R_3 = \frac{V_{R3}}{I_1} = \frac{2V}{42.55mA} = 47\Omega$$



รูปที่ 3.8 การคำนวณหาค่าความต้านทาน R_3 และ R_5

4) เลือกใช้ Mosfet เบอร์ IRFP460 เนื่องจากทนแรงดัน $V_{DS} = 500V$, $I_D = 20A$ และ

$$V_{GS(TH)} = 4V$$

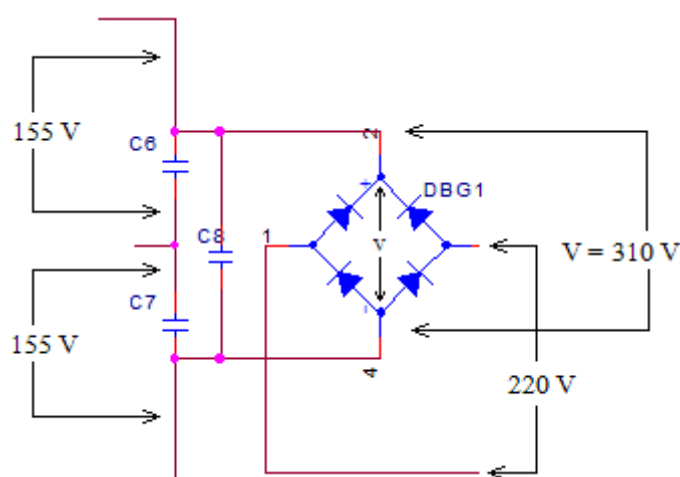


รูปที่ 3.9 การคำนวณวงจร Power Mosfet

5)คำนวณการใช้งานไดโอด เมื่อแรงดัน 220 V ผ่าน Diode DBG1 ทำให้แรงดันเรียบขึ้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V = 220 \times \sqrt{2} = 310V$$

จึงทำการเลือกใช้ไดโอดบริดจ์เบอร์ D25XB60 เพราะสามารถทนแรงดันได้ถึง 600 V และทนกระแสได้ถึง 25 A แรงดันที่ออกจากไดโอดบริดจ์จะถูกแบ่งไปอย่างละครึ่งจาก C6 และ C7 จึงทำให้ C6 และ C7 มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 155 V เพื่อไปขับมอเตอร์อย่างละชุด



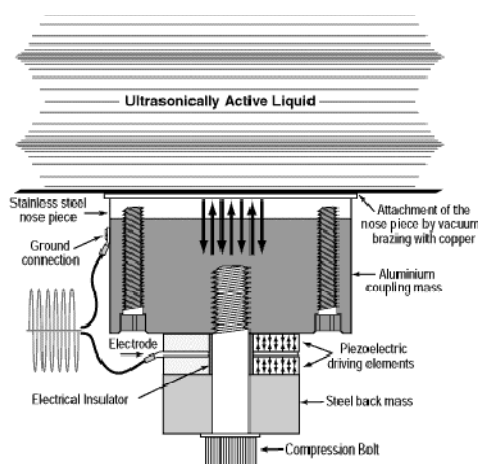
รูปที่ 3.10 การคำนวณไดโอดเรียงกระแส

6) คำนวณการเลือกใช้หม้อแปลงเอาต์พุต โดยหัวทรานสดิวเซอร์นั้นจะใช้แรงดันตั้งแต่ 120 V จึงทำการพันหม้อแปลงแบบ 1:1 ที่ระดับ Gain 1 และที่ Gain 2 และ Gain 3 ทำการพันขดลวดเพิ่มไปอย่างละ 3 รอบ เพื่อให้กับหัวทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการใช้ระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยหม้อแปลงนั้นจะใช้โปรแกรมในการคำนวณ

หลักการออกแบบอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

การออกแบบอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ Driving element ภาคกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกในโครงงานนี้ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดความถี่ โดยมีความถี่ตั้งแต่ 10 kHz ถึง 175 kHz ส่วนที่สองคือ Coupling mass ทำหน้าที่ทำให้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แมชชิงกับความถี่ที่ต้องการนำไปใช้ซึ่งในโครงงานนี้คือความถี่ที่ 40 kHz ส่วนที่

สามคือรางน้ำเป็นส่วนที่ติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ และเป็นรางสำหรับรองรับน้ำเสีย ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

การออกแบบอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ

1) Driving element คือ ภาควิชาเคมีอัลตราโซนิก ซึ่งการกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกโดยแผ่นเพียโซอิเล็กทริกประกอบด้วยสารเซรามิกสองชั้นประกบกันโดยวางขั้วไดโพลไฟฟ้าภายในอะตอมให้มีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปที่สารเซรามิกสองชั้นโดยชั้นหนึ่งจ่ายไฟฟ้าบวกอีกชั้นหนึ่งจ่ายไฟฟ้าลบจะทำให้สารเซรามิกโก่งตัวทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงเกิดการสั่นที่สอดคล้องหรือความถี่เรโซแนนซ์กับความถี่สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ต้องทำการจัดซื้อมาแสดงลักษณะแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแสดงดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 ลักษณะแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

2) Coupling mass เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าความจุ (Capacitive) ที่ทำให้อัตราโชนิกทรานสดิวเซอร์แมชชีงกับความถี่ที่ต้องการนำไปใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.13 และการคำนวณหาปริมาตรของ Coupling mass สามารถคำนวณหาได้สมการ 3.1



รูปที่ 3.13 Coupling mass

ในการทำ Coupling mass ต้องใช้alumina 99.5% เพราะจะมีค่าของ Relative permittivity ของวัสดุใดๆ (ϵ_r) เท่ากับ 10.3 จึงทำให้อัตราโชนิกทรานสดิวเซอร์แมชชีงกับความถี่ที่ต้องการนำไปใช้งานได้ ซึ่งค่า Relative permittivity แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า Relative Permittivity ของวัสดุใดๆ (ϵ_r)

วัสดุ	Relative Permittivity (ϵ_r)
PTFE woven glass laminate	2.4 to 2.55
PTFE ceramic filled	10.2
PTFE glass cloth ceramic powder filled	6
Alumina	9.7 to 10.3
Sapphire	9
Glass bonded mica	7.5

$$C = \epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (3.1)$$

ϵ_o = ค่า Permittivity ของสุญญากาศ = 8.85 pF/m

ϵ_r = ค่า Relative Permittivity ของวัสดุ ๆ

A = พื้นที่เพลตที่ร่วมกัน (m^2)

d = ระยะที่เพลตแยกห่างจากกัน (m)

จากสมการค่าความจุ (C) สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเปลี่ยนค่า d, A หรือ ϵ_r ประยุกต์ใช้กับความถี่ที่ใช้งานในการหา Coupling mass ที่ความถี่ 40 kHz เราทราบว่าจากภาคอินเวอร์เตอร์ค่าอิมพีแดนซ์ (Z_o) มีค่าเท่ากับ 40 โอห์ม, L มีค่าเท่ากับ 2.56 μH ระยะที่เพลตแยกห่างจากกันของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (d) เท่ากับ 2.27 mm และค่า Relative permittivity (ϵ_r) ของอลูมิเนียมเท่ากับ 10.3

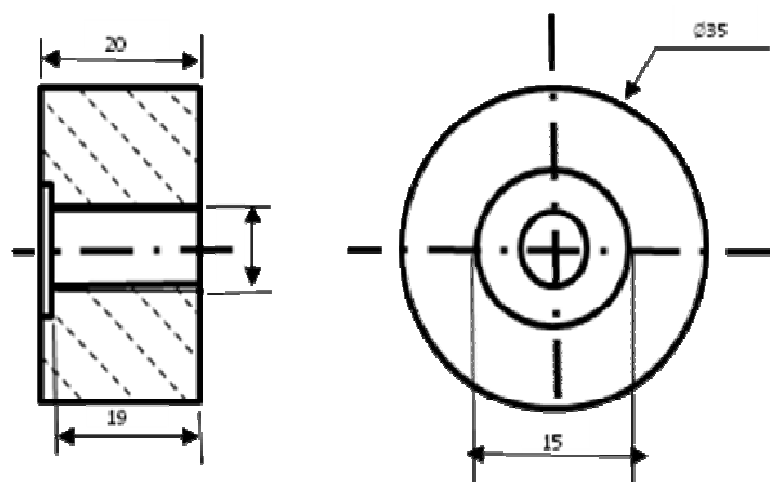
$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.2)$$

$$C = \left(\frac{2.56 \mu H}{40^2} \right) = 1600 \text{ pF}$$

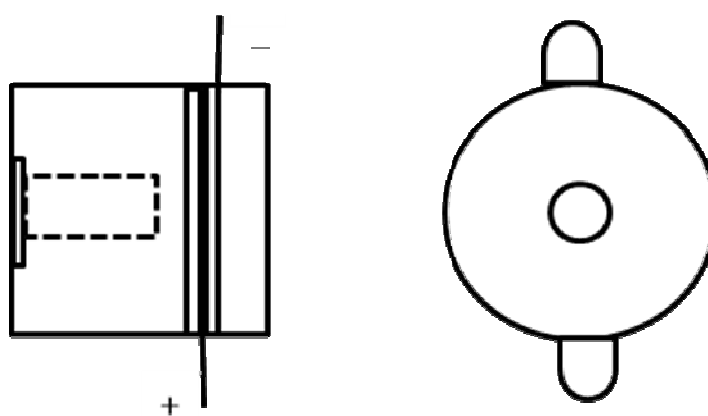
ค่าความจุ (C) มีค่าเท่ากับ 1600 pF สามารถนำมาหาปริมาตรของ coupling mass ได้จากสมการที่ 3.1

$$A = \left\{ \frac{(1600 \times 10^{-12}) \times 2.27 \times 10^{-3}}{(8.85 \times 10^{-12}) \times 10.3} \right\}$$

เมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ของ Coupling mass ที่ความถี่ 40 kHz หาพื้นที่ได้เท่ากับ 3.98 cm^2 แสดงดังรูปที่ 3.14 และ 3.15



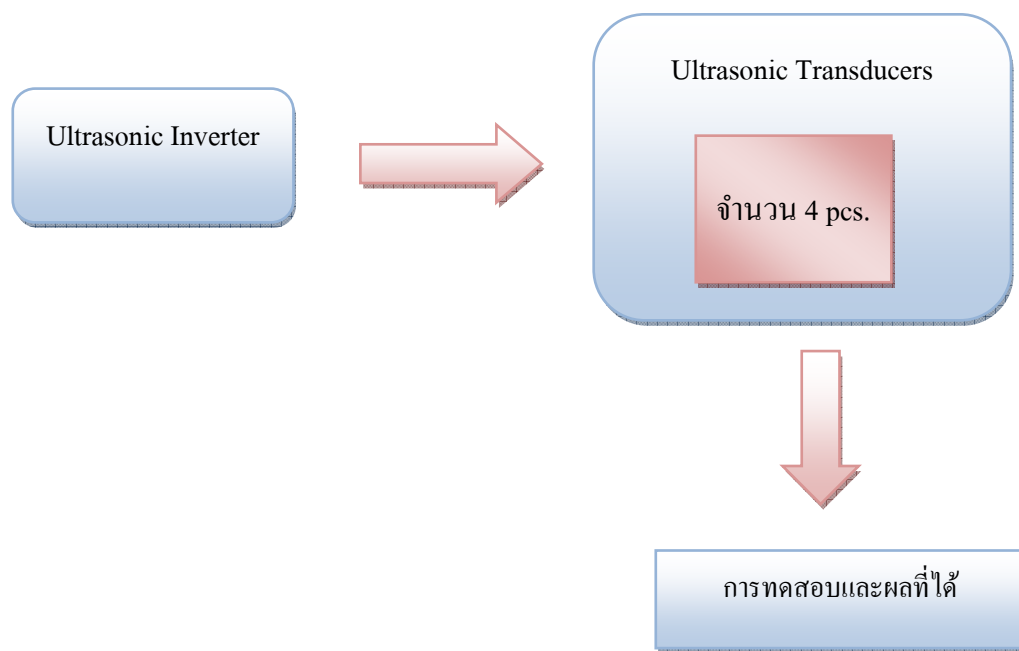
รูปที่ 3.14 Coupling mass ที่ความถี่ 40 kHz



รูปที่ 3.15 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ความถี่ 40 kHz

จากรูปที่ 3.14 คือขนาดรูปร่างของการออกแบบ Alumina coupling mass ที่ความถี่ 40 kHz มาประกอบเป็นทรานสดิวเซอร์ดังรูปที่ 3.15

วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.16 แสดงวิธีการทดสอบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่จับทรานสดิวเซอร์

ในโครงการวิจัยระยะแรกนี้ จะทำการทดสอบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์และอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ว่าสามารถปล่อยกำลังงานได้ตามที่ออกแบบไว้ได้หรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยป้อนไฟ 220Vac เพื่อส่งเข้าไปในส่วนของ Inverter และ Inverter มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 20 kHz ถึง 50 kHz เพื่อส่งไปตัว transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ประมาณ 20 kHz ถึง 40 kHz ในการทดสอบเบื้องต้นจะใช้ transducer จำนวน 4 หัว มีกำลังขับรวม 200 W โดยประมาณ