

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้
หลักการความหนาแน่นพัลส์

Ultrasonic Cleaner for Electronic Board Using Pulse Density Modulation



รายงานการวิจัยบรรยายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

RCH

QC

๒44

๒๕๕๓ค

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 114475

วันที่เดือนปี 20 ส.ค. 2554

b.12011766

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เสนอการสร้างเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก และทำการเปรียบเทียบสัญญาณ ของโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในสร้างสัญญาณเปรียบเทียบระหว่าง PWM, PWM แบบเลื่อนเฟส และ PDM ให้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ขนาด 700 W เพื่อขับหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โดยทดสอบที่ความถี่โซนแนนท์ 30 kHz เพื่อหารูปแบบ ที่ให้ประสิทธิภาพออกมามากที่สุดในการทำ ความสะอาดอุปกรณ์ที่ผิวเรียบ และผิวไม่เรียบ โดยจะมุ่งเน้นในการนำไปใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ประเภทไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ตัวกลางของเหลวที่ใช้ทำความสะอาดเป็นน้ำยาเอนกประสงค์ (WD-40) หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ จะทำหน้าที่กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล คลื่นอัลตราโซนิกเมื่อผ่านของเหลวจะทำให้เกิดกระบวนการคาวิเทชัน และอิมโพลชัน ซึ่งเป็นขบวนการในการทำ ความสะอาด สัญญาณแบบ PWM คือป้อนสัญญาณแบบต่อเนื่องทำให้เกิดฟองคาวิเทชันจนมีขนาดใหญ่ และแตกตัวลงจนเกิดอิมโพลชัน จึงได้นำมาป้อนสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้ PS-PWM และ PDM ทำให้ฟองคาวิเทชันมีขนาดไม่ใหญ่จนแตกตัว จึงมีคาวิเทชันมากกว่าป้อนสัญญาณแบบ PWM เพื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่ผิวไม่เรียบ โดยการทดลองได้ชั่งน้ำหนักก่อน และหลังชำระล้างด้วยสัญญาณ PWM, PS-PWM และ PDM น้ำหนักได้หายไป 5.86, 6.51 และ 8.06 กรัมตามลำดับ ซึ่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่ผิวไม่เรียบจะมีประสิทธิภาพกว่าเนื่องจากขนาดฟองคาวิเทชันที่มีขนาดเล็กนั่นเอง

นอกจากนี้รายงานการวิจัยนำเสนอเพิ่มเติมในการลดขนาดหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เหลือ 1 หัว ในตอนท้าย เพื่อให้สามารถชำระล้างงานขนาดเล็กได้ด้วย ดังรายละเอียดที่นำเสนอในรายงานการวิจัย

ABSTRACT

This thesis presents the comparison of Control Signal Patterns ultrasonic cleaner by using the microprocessor for generating PWM, PWM phase shift control and PDM patterns, these patterns are supplied in the 700 W full-bridge inverter to drive the ultrasonic transducers. Resonant frequency (30 kHz) is tested in order to find the efficiency of ultrasonic cleaner which one should be the best in flat and not flat equipment. The cleaning is focus on electrical and electronic equipment by used WD-40 is liquid medium fill in the tank. Ultrasonic transducer can generate ultrasonic wave to transfer electrical energy to mechanical energy. Cavitation and implosion are occurred in liquid when ultrasonic wave travels through liquid medium in the process of cleaning. The PWM pattern is fed in continuous signal to generate maximum cavitation bubbles and implosion occurred when the bubbles is exploded. Then, uncontinuous signals : PS-PWM and PDM patterns is used to control the size of cavitation bubbles in order not to get maximum size. The cavitation of uncontinuous signal is occurred more than that of continuous signal and used in a rough equipment board. The test is measured in weight from before and after cleaning by feeding PWM, PS-PWM and PDM signal patterns. The weight is gone approximately 5.86, 6.51 and 8.06 g, respectively. When used uncontinuous signal for rough equipment board will have efficacy because of small sizes of cavitation babbles.

In addition, the last section in this report presents the design of ultrasonic cleaner by using 1 transducer for a small work piece. The experimental results can be also done on the last section.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ณรงค์ เสนาจิตร ซึ่งเคยเป็นนักศึกษาปริญญาโทของข้าพเจ้า และปัจจุบันเป็นอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในการช่วยเหลืองาน

ขอขอบคุณ นายชาญกิต บัวศรี นักศึกษาปริญญาโทของข้าพเจ้าที่เป็นริ้วแรงในการต่อชิ้นงานให้

และท้ายสุดที่จะลืมไม่ได้ ต้องขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้งบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ในการช่วยเหลืองานวิจัย

อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....I	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II	II
กิตติกรรมประกาศ.....III	III
สารบัญ.....IV	IV
สารบัญตาราง.....VI	VI
สารบัญรูป.....VII	VII
บทที่ 1 บทนำ.....1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....3	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....3	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....4	4
บทที่ 2 ทฤษฎีการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก.....5	5
2.1 ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิก.....5	5
2.2 การใช้คลื่นอัลตราโซนิกทำความสะอาด.....7	7
2.2.1 Cavitation and Implosion.....7	7
2.2.2 ประโยชน์ของคลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการทำความสะอาด และการชำระล้าง.....8	8
2.3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์.....13	13
2.4 เร็คติไฟายและอินเวอร์เตอร์.....18	18
2.4.1 เร็คติไฟาย.....18	18
2.4.2 อินเวอร์เตอร์.....19	19
2.5 พีดีบีลิวเอ็มฟลูอิดริคจ์คอนเวอร์เตอร์.....21	21
2.6 พีดีบีลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟสฟลูอิดริคจ์คอนเวอร์เตอร์.....24	24
2.7 พีดีเอ็มฟลูอิดริคจ์คอนเวอร์เตอร์.....30	30
2.8 ฮาร์โมนิก.....33	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	37
บทที่ 3 วงจรควบคุมและสร้างสัญญาณ.....	38
3.1 บทนำ.....	38
3.2 การสร้างสัญญาณ PWM.....	42
3.3 การสร้างสัญญาณ PS-PWM.....	45
3.4 การสร้างสัญญาณ PDM.....	48
3.5 สรุป.....	50
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง.....	51
4.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	51
4.2 ผลการทดลอง.....	56
4.3 สรุป.....	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและการวิเคราะห์.....	65
5.1 บทสรุป.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก	
แทนบทที่ 3, 4 และ 5	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คำที่วัดความสกปรกก่อนและหลังชำระล้างเปรียบเทียบกัน ทั้งสามรูปแบบสัญญาณ.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI ึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คลื่นเสียงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน.....	6
2.2 คลื่นเสียงที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า.....	6
2.3 ธรรมชาติของคลื่นเสียงที่มีช่วงอัดและขยาย.....	7
2.4 กระบวนการการเกิดควิเตชั่นและ อิมโพชั่น.....	8
2.5 หน้าสัมผัสของชิ้นงานที่มีคราบสกปรกติดอยู่โดยชิ้นงานแช่อยู่ในน้ำยาทำความสะอาด.....	9
2.6 น้ำยาที่ติดกับคราบสกปรกเกิดการอิมตัว และแสดงให้เห็นว่าน้ำยาที่ยังไม่อิมตัว เข้าไปไม่ถึง.....	9
2.7 กระบวนการควิเตชั่น และอิมโพชั่น ช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำยาทำความสะอาด.....	10
2.8 อนุภาคที่ไม่ละลายในสารละลายซึ่งเกาะติดชิ้นงานอยู่.....	11
2.9 การทำความสะอาดโดยใช้แปรง.....	12
2.10 ผลของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ.....	13
2.11 เมคคานิคเคิลทรานสดิวเซอร์.....	14
2.12 เปียโซอิเล็กทริก.....	16
2.13 อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบ เปียโซอิเล็กทริก.....	17
2.14 วงจรฟลูวเฟร็กติฟายเออร์.....	19
2.15 อินเวอร์เตอร์ (a) แบบฮาล์ฟบริดจ์ (b) แบบฟูลบริดจ์.....	20
2.16 พีดีบีลิวเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	21
2.17 สัญญาณการทำงานของพีดีบีลิวเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	22
2.18 การทำงานของ PWM ที่สภาวะ 1 ถึง 2.....	23
2.19 การทำงานของสัญญาณ PWM แบบเลื่อนเฟส.....	25
2.20 การทำงานของ PWM แบบเลื่อนเฟสที่สภาวะ 1 ถึง 8.....	29
2.21 การทำงานของสัญญาณ PDM.....	31
2.22 การทำงานของสัญญาณ PDM ที่สภาวะที่ 1 ถึง 3.....	32
2.23 แสดงถึงฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มุมต่างๆทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน.....	34
3.1 หลักการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค.....	38
3.2 หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่อยู่ใต้ห้องแทงค์ (tank) ที่บรรจุของเหลวที่ใช้ทำ ความสะอาด.....	39
3.3 คลื่นเสียงอัลตราโซนิคเมื่อผ่านตัวกลางของเหลว และเกิดกระบวนการทำความสะอาด.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 รูปวงจรไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC 30F2010.....	40
3.5 วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต.....	41
3.6 วงจรภาคกำลัง.....	41
3.7 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของสัญญาณควบคุมทั้ง 3 แบบคือ PDM, PWM, PS-PWM ที่ใช้ขับโหลด(หัวอัลตราโซนิค).....	42
3.8 Flowchart การสร้างรูปสัญญาณ PWM.....	44
3.9 คาบเวลาที่ใช้เขียนโปรแกรมรูปสัญญาณแบบ PWM.....	44
3.10 ช่วงสัญญาณที่แบ่งเป็น 8 ช่วงเพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรม.....	45
3.11 Flowchart การสร้างรูปสัญญาณแบบ PS-PWM.....	47
3.12 Flowchart การสร้างรูปสัญญาณแบบ PDM.....	49
4.1 วงจรสมมูล อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ทั่วไป.....	51
4.2 วัดค่าอิมพีแดนซ์ที่หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์.....	51
4.3 รูปแรงดันและกระแส ที่หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์โดยการซิมูเลตด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการป้อนรูปสัญญาณ PWM.....	52
4.4 รูปแรงดันและกระแส ที่หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์โดยการซิมูเลตด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการป้อนรูปสัญญาณ PS-PWM.....	53
4.5 กำลังไฟฟ้าที่ความถี่รอบๆความถี่เรโซแนนท์.....	53
4.6 รูปแรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณแบบ (a) PWM (b) PS-PWM (c) PDM.....	55
4.7 รูปวงจรที่วัดค่า.....	56
4.8 ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่แรงดันต่างๆ.....	56
4.9 ค่าประสิทธิภาพกับกำลังงานไฟฟ้าต่างๆ.....	57
4.10 วัดค่าฮาร์มอนิกของแรงดันเอซีอินพุต.....	58
4.11 วัดค่าฮาร์มอนิกของแรงกระแสเอซีอินพุต.....	58
4.12 น้ำยาที่ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้.....	59
4.13 บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ชำระล้างในการทดลอง.....	59
4.14 รูปชั่งน้ำหนักก่อนชำระล้าง และน้ำหนักหลังชำระล้าง (a) PS-PWM (b) PDM (c) PWM.....	63
4.15 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค.....	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ความสะอาดกลายเป็นสิ่งมุ่งเน้นที่สำคัญในหลาย ๆ โรงงาน เช่น โรงงาน อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งให้ความสำคัญกับความสะอาดอยู่แล้วนั้น ก็ได้ให้ความสำคัญมากขึ้น ทำให้เกิดความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการทำความสะอาด

การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เป็นกระบวนการทำความสะอาดประเภทจุ่มและล้างในของเหลว (immersion cleaning) ที่มีประสิทธิภาพ สามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้หลายชนิด เช่น เศษผงของเครื่องจักร น้ำมัน อนุภาคสิ่งสกปรกเล็กๆ ได้เป็นอย่างดี

ระบบการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ประกอบด้วย ทรานสดิวเซอร์(transducer) วงจรขับ แทงค์ (tank) และตัวกลางของเหลว ตัวทรานสดิวเซอร์ จะแปลงพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดให้เป็นการสั่นสะเทือนจากพลังงานเสียง ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะถูกส่งผ่านแพร่กระจายไปตามแทงค์ และจะผลิตฟองอากาศวิเดชั่น (cavitations) ขึ้นมาในตัวกลางของเหลวภายในแทงค์ บรรจุฟองอากาศเหล่านี้จะจัดวางตัว (formation) และยุบตัวลง (collapse) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการขัดถูขึ้น (scrubbing) ซึ่งจะใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจากแต่เดิมได้ใช้สัญญาณ Pulse - Width Modulation (PWM) [1] ในการทำให้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ทำงานเพื่อสร้างคลื่นอัลตราโซนิกผ่านตัวกลางของเหลวในแทงค์ ที่ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ รายงานวิจัยฉบับนี้นี้ได้ทดลองใช้รูปสัญญาณ Pulse Density Modulation (PDM) [2] และ Phase-Shifted Pulse - Width Modulation (PS-PWM) [3] ในการทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาของการทำความสะอาด และประสิทธิภาพของแต่ละรูปสัญญาณ เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส่วนใหญ่ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องมือแพทย์ ซึ่งอุปกรณ์ที่รายงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นนำมาใช้ทำความสะอาด คือ อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าเป็นหลัก เช่นแผงบอร์ดต่างๆ ซึ่งมักจะมีอุปกรณ์ตัวเล็กๆ จำนวนมากวางติดๆกัน ทำให้แผงวงจรพวกนี้มีซอกเล็กซอกน้อยจำนวนมาก เมื่อใช้ไปนานๆจะมีพวกฝุ่นผง หรือคราบสกปรกที่เกาะติด จากแต่เดิมใช้น้ำยาเอนกประสงค์แบบสเปรย์ ในการฉีดทำความสะอาดตามซอกเล็กๆ การทดลองนี้จึงได้นำน้ำยาเอนกประสงค์แบบของเหลวที่ไม่ทำลายเสียหายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มาใช้เป็นตัวกลาง

ของเหลวในแทงค์ เพื่อใช้กระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ทำให้น้ำยาแทรกซึม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในชอกเล็กๆ แล้วนำคราบสกปรกนั้นออกมาภายนอก จึงเป็นอีกทางเลือกในการทำ ความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

รายงานวิจัยฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาการทำ ความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยคลื่นอัลตราโซนิค ด้วยนำวิธีการเดิมที่มีอยู่มาปรับใช้ให้เข้ากับอุปกรณ์ที่จะชำระล้าง โดยวิธีการเดิมที่มีอยู่ ส่วนใหญ่นำไปใช้กับอุปกรณ์ ที่มีลักษณะราบเรียบ ไม่ขรุขระ จึงนิยมใช้ใน เครื่องมือที่ต้องการความสะอาด เช่นเครื่องมือทางการแพทย์ เมื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่มีลักษณะ เป็นชิ้นเล็กๆ จำนวนมาก เช่น อุปกรณ์แผงอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน กระบวนการทำความสะอาด ของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค จะเกิดฟองอากาศขึ้นมา เพื่อจะทำ ความสะอาด อุปกรณ์ ซึ่งกระบวนการทำความสะอาดจะกล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป เมื่ออุปกรณ์ที่จะทำ ความสะอาดมีชอกเล็กชอกน้อยจำนวนมาก จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กตาม ไป ด้วย จึงได้นำรูปแบบสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องมาป้อนให้กับหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ เพื่อ ศึกษากระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค เปรียบเทียบกับรูปแบบสัญญาณที่ ต่อเนื่องเพื่อดูประสิทธิภาพการทำ ความสะอาด และรูปคลื่นแบบไหนเหมาะกับอุปกรณ์ที่นำมา ชำระล้าง ชนิดไหน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากหลักการเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค กระบวนการสำคัญในการทำ ความสะอาดด้วยวิธีนี้คือ กระบวนการคาวิเทชัน และ อิมโพชั่น ซึ่งกระบวนการคาวิเทชัน เกิดจาก การที่คลื่นขยายตัวจนเกิดฟองอากาศ และโตขึ้นจนในที่สุดก็เกิดการยุบตัวอย่างรุนแรงของคาวิ เตชัน เป็นผลให้เกิดการ อิมโพชั่น ซึ่งจะทำให้คลื่น ช็อกเวฟ แผ่กระจายออกไปจากบริเวณที่ยุบตัว ซึ่งเราได้นำการสร้างคลื่นแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อว่า เมื่อเกิดการ คาวิเทชัน แล้วก็หยุดการสร้างคลื่น เพื่อให้คาวิเทชัน ยุบตัวลงในที่สุดเป็นผลให้เกิดการอิมโพชั่น เนื่องจากยังเกิดกระบวนการคาวิ เตชัน และ อิมโพชั่น มากเท่าไร ก็จะได้สำหรับอุปกรณ์ที่นำมาทำความสะอาด ที่มีรูปร่างที่ไม่ ราบเรียบ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เมื่อหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ได้สร้างคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิค และได้ถูกส่งผ่าน ตัวกลางที่ไม่ยืดหยุ่นเช่น น้ำหรือของเหลวทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แอมพลิฟูด หรือความดัง (Loudness) ของเสียงนั้นต่ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่แอมพลิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นนั้น ขนาดของความดันที่เป็นลบ (Negative Pressure) ในบริเวณที่คลื่นขยายตัว (Rarefaction) จะเป็นสาเหตุที่เพียงพอจะทำให้ของเหลวแตกตัวออกในที่สุดซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิตีชัน (Cavitation) จะแกว่ง (Oscillate) ภายใต้อิทธิพลของความดันที่เป็นบวก และจะโตขึ้นจนมีขนาดที่ไม่มีเสถียรภาพ ในที่สุดจะเกิดการยุบตัวลงอย่างรุนแรงของคาวิตีชัน เป็นผลให้เกิดการอิมโพลชัน (Implosion) ซึ่งจะทำให้คลื่น Shock Wave แผ่กระจายออกไปจากบริเวณที่ยุบตัว (Collapse) การยุบตัว (Collapse) และการอิมโพลชันของคาวิตีชันที่เกิดขึ้นจำนวนมากในของเหลวนั้นเป็นผลที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการกระตุ้นของคลื่นอัลตราโซนิคนั่นเอง

กระบวนการคาวิตีชัน และ อิมโพลชัน ของคลื่นอัลตราโซนิค นั้นจะกำจัดชั้นที่อิมตัวออกไปได้อย่างดี ทำให้สารทำลายใหม่ที่จะเข้ามาทำลายสามารถเข้ามาขจัดสิ่งสกปรกได้ต่อไปซึ่งจะเป็นประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจะทำความสะอาดบริเวณพื้นผิวที่ไม่เรียบ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค อุปกรณ์ที่ใช้สร้างคลื่นอัลตราโซนิคเพื่อให้เกิดกระบวนการทำความสะอาดเกิดขึ้นคือ หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ซึ่งอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ทำงานก็ต่อเมื่อ ป้อนสัญญาณที่ความถี่เรโซแนนท์ของหัว โดยแต่เดิมได้ป้อนสัญญาณแบบ PWM โดยความถี่เรโซแนนท์ได้มีหลายความถี่เนื่องจาก แต่ละความถี่ก็จะเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน และกระบวนการทำความสะอาดก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในเรื่องของกระบวนการทำความสะอาด ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องทำความสะอาด โดยได้ติดตั้งหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์หลายๆความถี่เรโซแนนท์ได้แก่ เพื่อทำให้เครื่องสามารถครอบคลุมในการทำความสะอาดอุปกรณ์ได้หลายชนิด [4] แต่ต้องสร้างตัวขับหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ขึ้นมาหลายความถี่ด้วย ทำให้แพงขึ้นเพราะจำนวนอุปกรณ์เพิ่มขึ้นมา รายงานวิจัยฉบับนี้ฉบับนี้ได้นำเสนอโดยการป้อนสัญญาณแบบ PS-PWM และ PDM เพื่อศึกษากระบวนการทำความสะอาด และประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบกัน

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในรายงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการป้อนรูปแบบสัญญาณ PS-PWM และ PDM เปรียบเทียบกับรูปแบบสัญญาณแบบเดิมที่ใช้ PWM แล้วทำการวัดรูปของสัญญาณ แรงดัน กระแส วัตต์ค่าฮาร์มอนิกและประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบสัญญาณที่ใช้ในหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยจะกล่าวถึง คลื่นเสียง อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกและกระบวนการทำความสะอาดที่เกิดขึ้น ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด เพาเวอร์มอสเฟต พีดีบีบลิวเอ็มฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ พีดีบีบลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟสฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ และ พีดีเอ็มฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์

บทที่ 3 กล่าวถึงวงจรควบคุม และวิธีการผลิตสัญญาณ PWM, PS-PWM และ PDM

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

ทฤษฎีการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของระบบการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค อุปกรณ์ในเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค วงจรและ การสร้างรูปแบบสัญญาณให้หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ทำการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้

2.1 ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิค

คลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) คือคลื่นเสียงที่อยู่เหนือกว่าขีดจำกัดที่มนุษย์ สามารถได้ยินหรือรับฟังได้ ความถี่ของคลื่นเสียงนั้นเป็นสิ่งที่แสดงถึงระดับ (Pitch) หรือความสูงต่ำ (Tone) ของมันเอง โดยที่ความถี่ต่ำจะให้ระดับเสียงที่ต่ำ (Bass Tone) ความถี่สูงจะให้ระดับเสียงที่สูง (Treble Tone)

คลื่นเสียงอัลตราโซนิคนั้นก็คือคลื่นเสียงที่มีระดับเสียง และความถี่สูงเกินกว่าความสามารถของมนุษย์จะรับฟังได้ด้วยหู ความถี่ที่สูงกว่า 18 kHz โดยทั่วไปจะพิจารณาให้เป็นคลื่นอัลตราโซนิค สำหรับความถี่คลื่นอัลตราโซนิคที่ใช้สำหรับทำความสะอาดนั้นจะอยู่ในช่วง 20,000 รอบต่อวินาทีหรือ 20 kHz ถึงเกินกว่า 100,000 kHz

ในการใช้งานทำความสะอาดทั่วไปส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมนั้น จะใช้ความถี่ในช่วง 20 kHz ถึง 50 kHz ความถี่ที่สูงกว่า 50 kHz จะใช้โดยทั่วไปในงานการทำความสะอาดขนาดเล็กที่ละเอียด ตั้งโต๊ะได้ เช่น ในร้านเพชรพลอย และร้านหมอพื้น

เพื่อที่จะเข้าใจถึงกลไกการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิคได้นั้น จำเป็นต้องมีพื้นฐานความเข้าใจในเรื่องคลื่นเสียงว่ามันกำเนิดขึ้นได้อย่างไร และมันสามารถเดินทางผ่านตัวนำหรือตัวกลางได้อย่างไรด้วย

ในพจนานุกรมนั้นให้คำจำกัดความคลื่นเสียงว่าเป็นการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนส่งผ่านตัวกลางที่สามารถยืดหยุ่นได้ เช่น ของแข็ง ของเหลว หรืออากาศ

คลื่นเสียงจะกำเนิดขึ้นได้นั้น ก็ต่อเมื่อมีการเคลื่อนที่ของตัวกลางนำคลื่นเสียงที่เกิดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง หรือแค่ครั้งเดียว เช่น การเกิดฟ้าผ่า หรือการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน

การเคลื่อนที่ของอากาศที่บริเวณ Cone ของลำโพง นั้นเป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับอธิบายการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวทางกล ขณะที่ Cone ของลำโพงเคลื่อนที่ถอยหลังและเดินหน้านั้น อากาศทางด้านหน้าของ Cone จะถูกอัดตัวและขยายตัวเพื่อทำให้คลื่นเสียงออกมา ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเดินทางตามอากาศมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งจะหายไปในที่มืด โดยส่วนมากเรามักจะรู้จักคลื่นเสียงว่าเป็นแบบชนิดนี้ซึ่งกำเนิดจากการเคลื่อนไหวทางกล ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 คลื่นเสียงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน

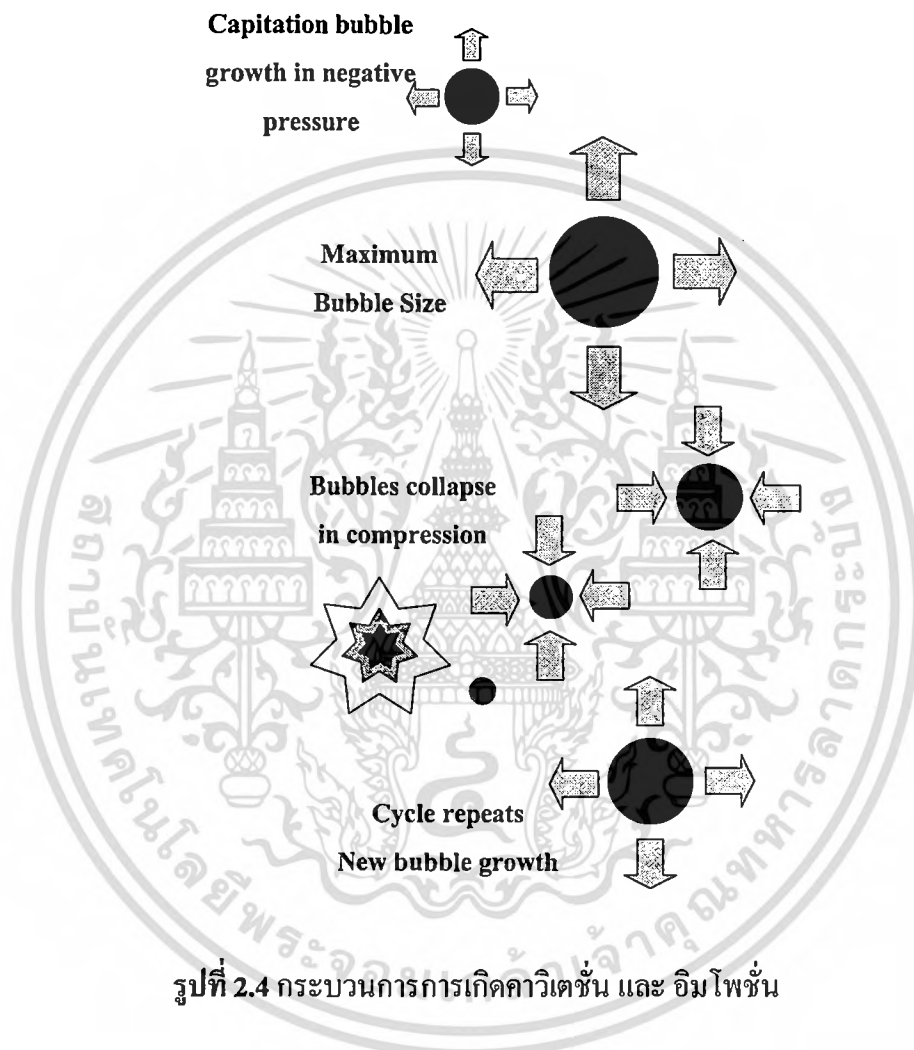
คลื่นเสียงอีกแบบที่กำเนิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า หรือที่เรียกว่า Shock นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความจุของอากาศอย่างทันทีทันใดซึ่งเป็นผลมาจากการคายประจุไฟฟ้าในอากาศ ตัวอย่างอื่นของการ Shock นี้ จะเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่น Single Compression ที่แพร่กระจายออกไปจากแหล่งกำเนิด ดังรูปที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้รูปที่ 2.2 คลื่นเสียงที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเตชัน เป็นผลให้เกิดการ อิมโพชั่น (Implosion) ซึ่งจะทำให้คลื่น Shock Wave แผ่กระจายออกไป จากบริเวณที่ยุบตัว (Collapse) การยุบตัว และการอิมโพชั่นของควาวิเตชัน ที่เกิดขึ้นจำนวนมากใน ของเหลว นั้นเป็นผลที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการกระตุ้นของคลื่นอัลตราโซนิคนั่นเอง

ได้มีการคำนวณว่า บริเวณที่เกิดอิมโพชั่น ของฟองอากาศควาวิเตชันนั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 10,000 องศาฟาเรนไฮด์ และมีความดันที่สูงกว่า 10,000 PSI

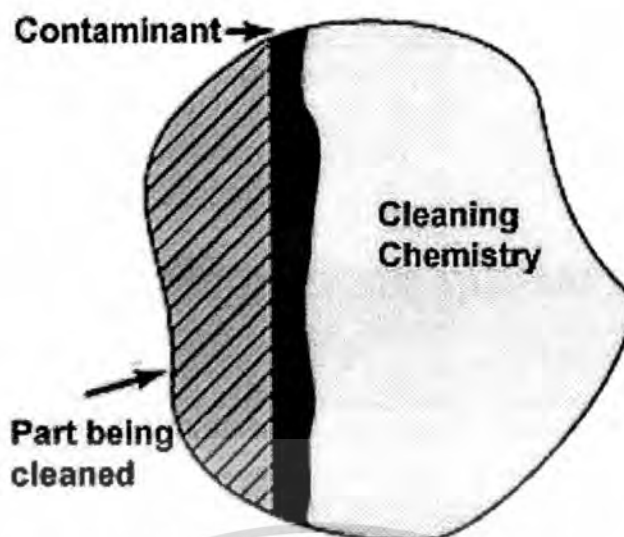


รูปที่ 2.4 กระบวนการเกิดควาวิเตชัน และ อิมโพชั่น

2.2.2 ประโยชน์ของคลื่นอัลตราโซนิค ในกระบวนการทำความสะอาดและการชำระล้าง

ในการทำความสะอาดนั้น สิ่งสกปรกจะถูกกำจัดโดยการทำให้ละลายรวมตัว หรือโดยการเคลื่อนย้ายขจัดออกทิ้ง หรือทั้งสองอย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน ขึ้นอยู่กับว่าสารละลายที่ใช้สามารถละลายสิ่งสกปรกเหล่านั้นได้หรือไม่ ผลที่เกิดทางกลเนื่องจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิค นั้นสามารถช่วยเพิ่มความเร็วของการรวมตัวหรือการขจัดออกทิ้งของสิ่งสกปรก ซึ่งจะเป็ประโยชน์ ในการทำความสะอาดรวมทั้งกระบวนการชำระล้างด้วย สารเคมีที่เหลืตกค้างจากการทำความสะอาด จะถูกกำจัดออกอย่างรวดเร็วโดยสิ้นเชิงด้วยกระบวนการชำระล้างของอัลตราโซนิค

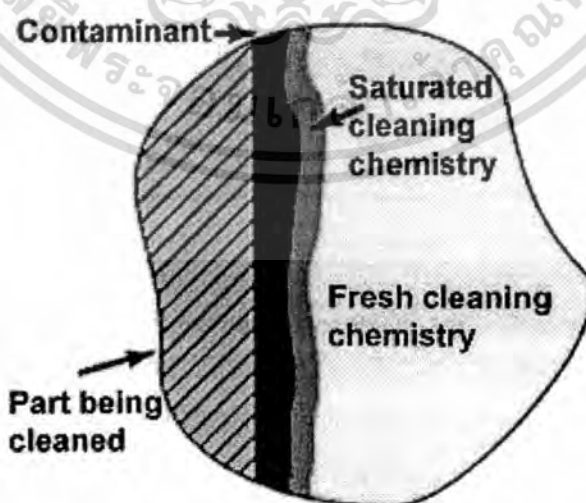
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หน้าสัมผัสของชิ้นงานที่มีคราบสกปรกติดอยู่โดยชิ้นงานแช่อยู่ในน้ำยาทำความสะอาด [4]

การจัดสิ่งสกปรกออกด้วยการทำลายรวมตัวนั้น สารเคมีที่เป็นตัวทำลายต้องเข้าไปถึงสิ่งสกปรกและทำลายสิ่งสกปรกออก กระบวนการทำความสะอาดจะเกิดบริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่างสารเคมีที่ทำความสะอาดกับสิ่งสกปรกเท่านั้น ดังรูปที่ 2.5

ขณะที่ตัวทำลายที่ใช้ทำความสะอาดกำลังรวมตัวทำลายสิ่งสกปรกอยู่นั้น จะเกิดชั้นของสารละลายหยุดลง ตัวทำลายไม่สามารถจับตัวกับสิ่งสกปรกได้อีก เนื่องจากเกิดการอิมตัวของสารละลายที่ทำความสะอาด และยังกันไม่ให้ตัวทำลายตัวใหม่ที่จะเข้ามาทำลายสามารถเข้ามาได้ ดังรูปที่ 2.6

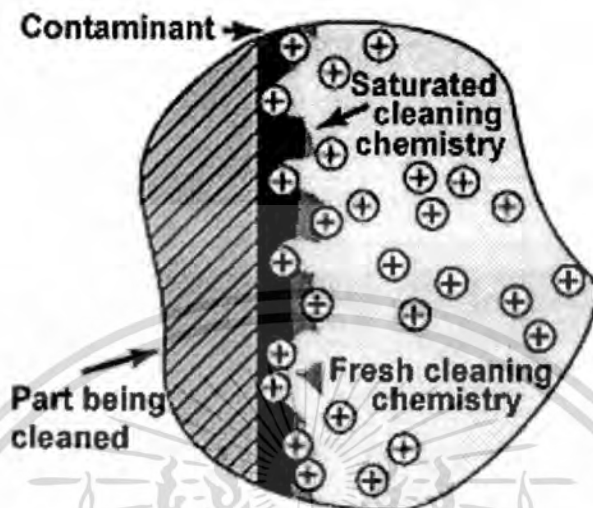


รูปที่ 2.6 น้ำยาที่ติดกับคราบสกปรกเกิดการอิมตัว และแสดงให้เห็นว่าน้ำยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่ยังไม่อิมตัวเข้าไม่ถึง [4]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการควาเวชันและอิมโพซันของคลื่นอัลตราโซนิคนั้นจะกำจัดชั้นที่อิมตัวออกไปได้อย่างดี ทำให้สารทำลายใหม่ที่จะเข้ามาทำลายสามารถเข้ามาจับสิ่งสกปรกได้ต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจะทำความสะอาดบริเวณพื้นผิวที่ไม่เรียบ [4] ดังรูปที่ 2.7



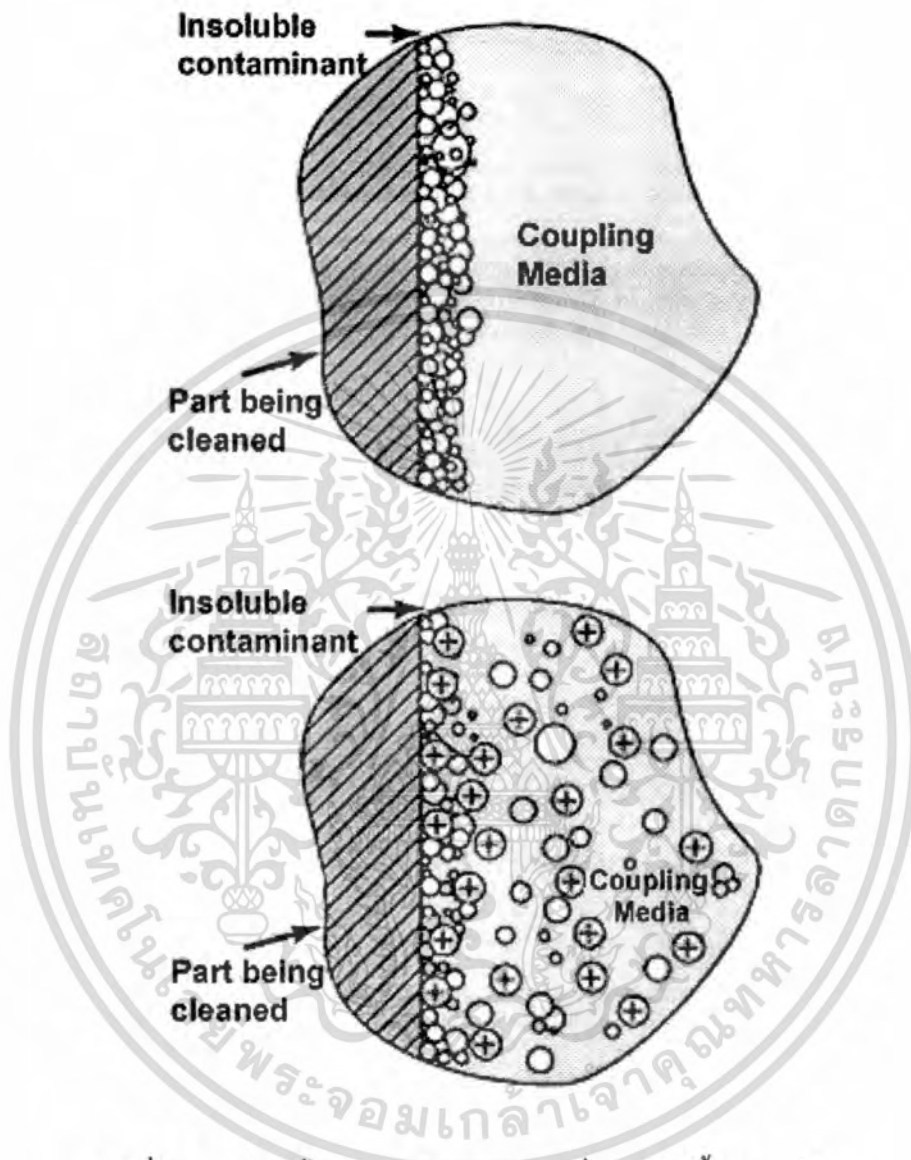
รูปที่ 2.7 กระบวนการควาเวชัน และอิมโพซัน ช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำยาทำความสะอาด [4]

ในระหว่างที่คลื่นเสียงมีความกดดันที่เป็นลบนั้น (Negative Pressure) ของเหลวจะแตกตัวออก และฟองอากาศควาเวชันก็จะเริ่มมีการจัดวางตัว ขณะที่ Negative Pressure ภายในฟองอากาศเพิ่มขึ้นนั้น ก๊าซที่ถูกทำลาย (Dissolved Gas) ในของเหลวที่มีควาเวชันจะเริ่มแพร่กระจายเข้ามาเข้าไปในฟองอากาศ ขณะที่ Negative Pressure ถูกลดลงในช่วงการขยายตัวของคลื่นเสียงและมีความดันสูงขึ้นจนถึงความดันบรรยากาศแล้วนั้น ฟองอากาศจะเริ่มยุบตัวลงเนื่องจากแรงตึงผิวของมันเองที่ตกลงมา

ในระหว่างช่วงการอัดตัวของคลื่นเสียง ก๊าซที่ฟุ้งกระจายอยู่ในฟองอากาศจะถูกอัดตัวและในที่สุดก็จะเริ่มแพร่กระจายเข้ามาในฟองอากาศอีกครั้ง อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ จะไม่สามารถสำเร็จได้จนกว่าฟองอากาศจะบรรจุเต็มไปด้วยก๊าซ ตั้งแต่ที่ก๊าซยังไม่เริ่มแพร่เข้ามาในฟองอากาศ กระทั่งฟองอากาศถูกอัดตัว และเมื่อฟองอากาศถูกอัดตัวแล้ว พื้นผิวหน้ารอบ ๆ ฟองอากาศที่ก๊าซสามารถแพร่เข้ามาได้จะถูกกด ด้วยเหตุผลนี้ฟองอากาศควาเวชันที่บรรจุก๊าซอยู่ซึ่งถูกจัดวางตัวอยู่ในของเหลว จะไม่ยุบตัวลงให้เกิดอิมโพซัน แต่จะอยู่ในรูปก๊าซที่ถูกอัดตัวให้มีขนาดเล็กๆ ในของเหลวมากกว่า ปรากฏการณ์นี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการลดขนาดของก๊าซในของเหลวลง ฟองอากาศขนาดเล็ก ๆ ที่มีก๊าซอยู่ภายในจะรวมกลุ่มเข้าด้วยกันจนกว่าจะเพียงพอให้มันลอยตัวขึ้นเหนือผิวหน้าของของเหลวในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 สิ่งสกปรกบางชนิดจะประกอบด้วย อนุภาคของสารที่ไม่สามารถทำละลายได้ ซึ่งจะเกาะติดกันอย่างหลวมๆ ด้วยแรงจากพันธะ Ionic และ Cohesive Force อนุภาคเหล่านี้สามารถกำจัดออกมาได้โดยเพียงแค่แยกแรงที่ดึงดูดมันเอาไว้ออกจากกัน



รูปที่ 2.8 อนุภาคที่ไม่ละลายในสารละลายซึ่งเกาะติดชิ้นงานอยู่ [4]

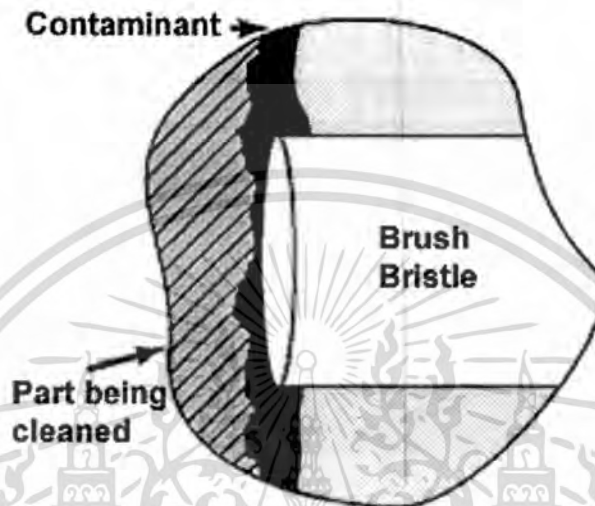
กระบวนการควาเวชัน และอิมโพชัน ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการใช้คลื่นอัลตราโซนิคจะกำจัดและเคลื่อนย้ายสิ่งสกปรกที่เกาะติดอย่างหลวมๆ เช่น ฝุ่นละอองที่ติดอยู่บริเวณพื้นผิว เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นนั้น ตัวกลาง Coupling Medium จำเป็นต้องสามารถทำให้อนุภาคเบียดเพื่อที่จะกำจัดออกไปได้

สิ่งสกปรกต่าง ๆ นั้น ตามธรรมชาติแล้วจะมีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยการรวมกันของส่วนที่สามารถทำละลายได้และส่วนที่ไม่ทำละลาย ผลที่ได้จากคลื่นอัลตราโซนิค นั้นมีอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากมาย เช่นในกรณีนี้คือ มันจะไปกระตุ้นกลไกการทำงาน ช่วยให้การทำละลายของสิ่งสกปรกที่ละลายได้ และการขจัดอนุภาคที่ไม่ทำละลายออกไป เกิดได้เร็วขึ้นกว่าเดิม

การทำงานของคลื่นอัลตราโซนิค ยังแสดงให้เห็นว่า ช่วยเพิ่มความเร็วหรือช่วยส่งเสริมในการเกิดปฏิกิริยาเคมีหลายๆ อย่างอีกด้วยและนี่เองอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ในบริเวณที่เกิดอิมโพซันจะมีระดับพลังงานที่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิและความดันที่สูงมาก



รูปที่ 2.9 การทำความสะอาดโดยใช้แปรง [4]

ตามที่ได้อธิบายและแสดงมาแล้วทั้งหมดนั้น พื้นผิวของส่วนที่จะถูกทำความสะอาด ได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นราบ ซึ่งในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากมากที่จะแบนราบ แต่จะประกอบไปด้วยเนิน หลุม ซึ่งขรุขระ ตามรูปจะแสดงให้เห็นว่า ทำไมพลังงานจากคลื่นอัลตราโซนิค จึงมีประสิทธิภาพดีกว่า และทำไมจึงช่วยเสริมในการทำความสะอาดมากกว่าทางเลือกอื่น ๆ เช่น การฉีดสเปรย์ทำความสะอาด การใช้แปรงขัด (รูปที่ 2.9) การใช้ลมเป่า หรือแม้แต่ Electro Cleaning ความช่วยเหลือของคลื่นอัลตราโซนิค ในการทำความสะอาดพื้นผิวของส่วนที่เป็นเชิงซ้อน (Complex Part) นั้นดีกว่าและเป็นเรื่องที่น่าทึ่งสนใจเป็นอย่างยิ่งอีกด้วย

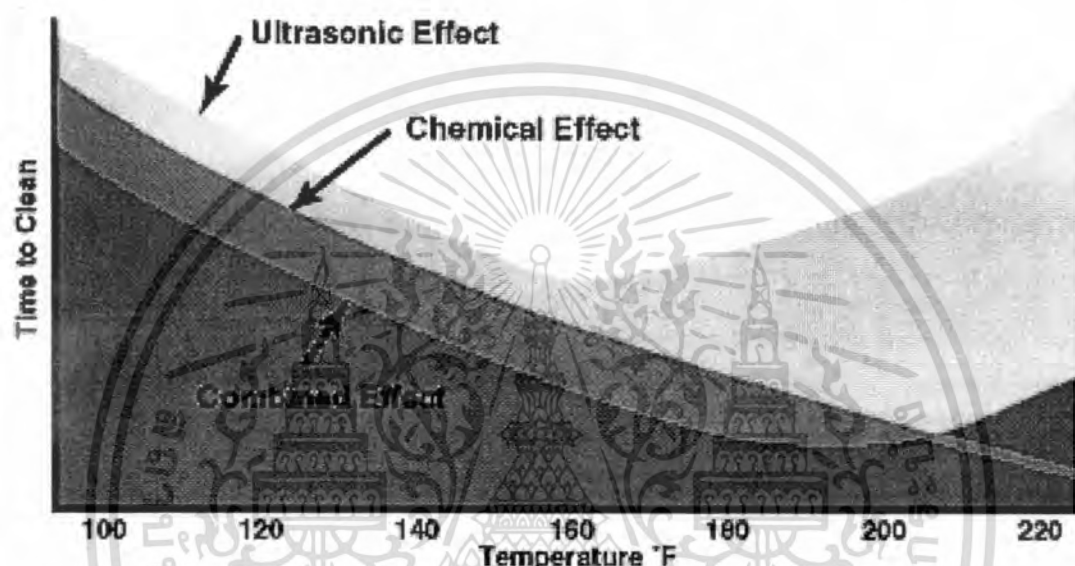
น้ำยาทำความสะอาดที่เราเลือกนำมาใช้นั้นได้ว่าเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพ ในกระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค น้ำยาที่เลือกใช้นั้น ควรที่จะสอดคล้องและเหมาะสมกับวัสดุที่เราจะทำความสะอาดและไม่ทำอันตรายต่อตัวชิ้นงาน ตลอดจนส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่บนชิ้นงานจึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการทำความสะอาด

โดยปกติน้ำยาทำความสะอาดแทบทุกชนิด มักจะสามารถนำมาใช้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ควรจะหลีกเลี่ยงสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารที่ใช้ในสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายแต่ละชนิดจะเกิดกระบวนการคาวิตีชันที่รุนแรงที่สุด ได้ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันไป เช่นน้ำบริสุทธิ์จะเกิดกระบวนการคาวิตีชันที่รุนแรงที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาฟาเรนไฮด์

แต่ทว่าในการพิจารณาว่าเราจะใช้อุณหภูมิที่ค่าเท่าไรนั้น ต้องพิจารณาจากเงื่อนไขอื่นด้วย จากรูปที่ 2.10 เช่น น้ำสะอาดมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดกระบวนการคาวิตีชันที่รุนแรงที่สุดที่ 160 องศาฟาเรนไฮด์ แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมจะใช้งานจะอยู่ที่ 180-190 องศาฟาเรนไฮด์ เพราะผลของปฏิกิริยาทางเคมีและกระบวนการคาวิตีชัน จะมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิต่างกันเนื่องจากปัจจัยต่างๆ [4]

ความหนืด (viscosity) ของสารที่ใช้ ควรจะมีค่าให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งกระบวนการคาวิตีชันที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากถ้าสารละลายมีความหนืดมาก มันจะไม่ตอบรับฟองคาวิตีชันได้เร็วพอ และการสั่นก็จะเกิดน้อยด้วย ซึ่งความหนืดของสารนี้พบว่ามันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

2.3 อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

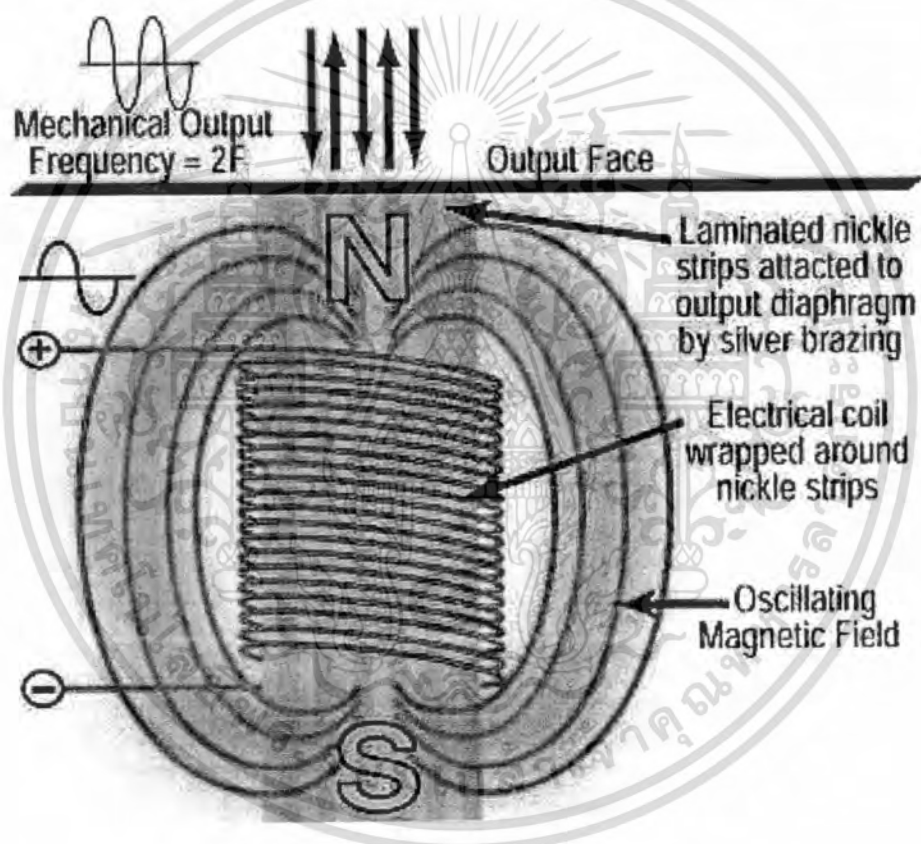
ทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. เมคคานิกเคิลทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers) รูปที่ 2.11

2. อิเล็กโตรเมคคานิกเคิลทรานสดิวเซอร์ (Electromechanical Transducers)

Electromechanical Transducers จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง ที่ใช้กันอยู่มี 4 ชนิด

1. แบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving Coil)
2. แบบอิเล็กโตรสแตติก (Electrostatic)
3. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)
4. แบบเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric)



รูปที่ 2.11 เมคคานิกเคิลทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers) [4]

แบบ Moving Coil นั้นคล้าย ๆ กับ Moving Coil ของลำโพง มีประโยชน์มากในการเป็นตัวสั่น (Vibrator) ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอะลูมิเนียมบาง ๆ วางไว้ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวี่งคอยล์ ใช้ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิค

แบบ Electrostatic ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่าง Parallel Plate Capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงขึ้น หลักใหญ่ของมันจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มี

เอกสารที่... คุณภาพสูง แต่ก็ใช้ทำให้เกิดการสั่นแบบอัลตราโซนิคในช่องแข็ง... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Piezoelectric และ Ferroelectric ในผลึกที่ประกอบด้วยโพล่าโมเลกุล (Polar Molecule) ซึ่งขาดจุดศูนย์กลางของความสมมาตร (Center of Symmetry) ถ้าตัดเอา Plate อันเนื่องมาจากผลึกนี้ แล้วทำให้เกิดการบิดงอ (Deform) ด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ Plate ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่า ไคเร็กเปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Direct Piezoelectric Effect) ถ้าศักย์ระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ Plate นี้เกิดบิดเบี้ยวไปได้เองเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า อินเวอร์สเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค (Inverse Piezoelectric Effect)

สำหรับแบบอินเวอร์สเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค จะเกิดโดยให้สนามไฟฟ้าระหว่าง Plate ทั้งสองทำให้จุดศูนย์กลางของประจุทั้งสองเคลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เซตบิดเบี้ยวไป ถ้ามีแผ่นควอทซ์ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดสั้นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ Plate นี้จะขยายและหดตัวด้วยความถี่เดียวกันกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่จะให้ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก สารไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นสารอิเล็กโทรสแตติก แต่ปกติแล้วผลนี้จะน้อยมาก แต่สารที่ให้ผลอย่างมากได้แก่ สารไททานเทท (Titanates) ซีคอนเทท (Zirconates) และในกรณีเช่นนี้เรียกว่า สารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซรามิก ซึ่งประกอบไปด้วยโดเมน (Domain) ที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันหลายๆ ถ้านำสารแบบนี้มาสักหนึ่งชนิด เอาไปเผาให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเคอริก (Curie Temperature) ของมัน แล้วทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูงๆ ทิศทางของขั้วของโดเมนต่างๆ จะวางตัวไปแนวเดียวกับสนามและจะยังคงอยู่ต่อไปเช่นนั้น แม้ว่าเราจะเอาสนามไฟฟ้าออกไป นั่นแสดงว่ามันแสดงคุณสมบัติ เช่น Permanent Electric บางทีมันจะเป็นสารเปียโซอิเล็กทริก ถ้าหากว่ามันประพฤติตัวไปตามสมการของเปียโซอิเล็กทริก

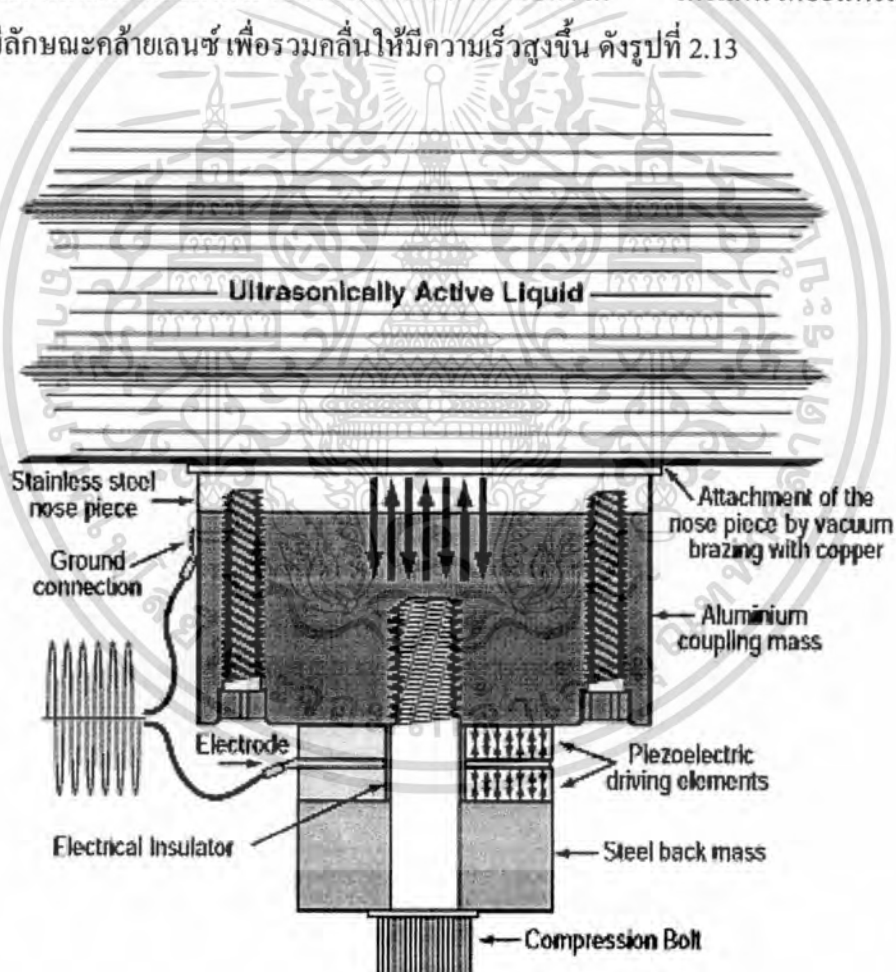
ทรานสดีวเซอร์ที่ใช้ในทางอัลตราโซนิคจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค และที่ใช้กันมากคือ ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz), แบเรียมติทานเทท (Barium titanate) และลีดเซอโคเนท (Lead zirconate titanate) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำทรานสดีวเซอร์ ยังแสดงคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุทางไฟฟ้าด้วย ค่าตัวเก็บประจุเป็นไมโครฟารัดจะได้สัดส่วนกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่ และหารด้วยความหนาโครงสร้างของทรานสดีวเซอร์มีความคล้ายตัวเก็บประจุที่ว่า อิเล็กโตรดที่อยู่สองข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิก คุณสมบัติบางประการของสารเซรามิกที่ได้รับความร้อน จะทำให้ไดโพล (dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไป ก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีกคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลาย ทรานสดีวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินเคอริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นค่าที่แสดงว่าทรานสดีวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ ทั้งแบเรียมติทานเทท และ ลีดเซอโคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกแร่ค่า
แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควอทซ์ 5-6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำมากและมีค่าคงที่ (Coupling constant) ต่ำมากจึงไม่ค่อยได้นำควอทซ์มาใช้ในเครื่องอัลตราโซนิกในปัจจุบัน

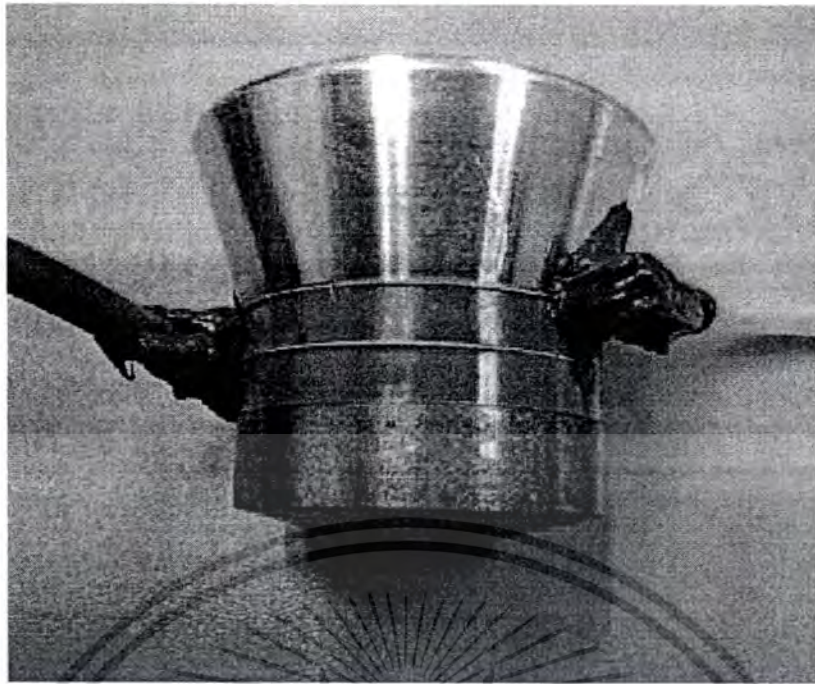
สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบ เปียโซอิเล็กทริกโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ชั้นสารเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz), แบเรียมติทานเนท (Barium titanate) ,เกลือร็อกเชล (Rochelle salt) ฯลฯ ดังรูปที่ 2.12 แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือชั้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเรียมติทานเนท ซึ่งได้จากการผสมสารติทานเนียมกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ $1300 - 1400^{\circ}\text{C}$ และผลิออกมาในรูปของชั้นสารเซรามิกซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

จากชั้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะถูกยึดกับแผ่นโคอะเฟรมซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ โดยแผ่นโคอะเฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนส์เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบ piezoelectric

ปรากฏการณ์แบบ piezoelectric สามารถอธิบายได้คือ เมื่อสภาวะปกติยังไม่มี ความดันหรือคลื่นมาตกกระทบกับชิ้นสารเซรามิก ประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ในชิ้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทิกที่ประกอบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทิกมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือคลื่นเสียงมาตกกระทบชิ้นสารเซรามิก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสารคือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทิกที่ประกบชิ้นสารเซรามิกอยู่ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลทิกทั้งสอง ขนาดของแรงดันตกคร่อมนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชิ้นสารเซรามิกที่ โถงงอไปมา

ทรานสดิวเซอร์แบบ piezoelectric สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า ในกรณีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล คือ ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกซึ่งการทำงานคือ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 - 100 kHz แรงดันที่ป้อนนี้จะทำให้ชิ้นสารเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยที่ด้านหนึ่งของชิ้นสารเซรามิกจะถูกกดกับแผ่นไดอะแฟรม เมื่อชิ้นสารเซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะแฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกับสัญญาณที่ป้อนเข้า ซึ่งคลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังเอาต์พุตสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกชิ้นนั้น ส่วนความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากนี้จะทำให้กำลังเอาต์พุตมีค่าลดลงกว่าความถี่เรโซแนนท์มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันการเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก โดยจะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่งๆ เพราะมันไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่นๆ มาป้อนก็จะสามารถสร้างแรงดันออกมาได้ เพียงแต่มีขนาดแรงดันไม่สูงมากนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นเกิดจากเมื่อมีความดันมาตกกระทบแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชั้นสารเซรามิกถูกบีบไปมา ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกบนชั้นสาร ทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบได้

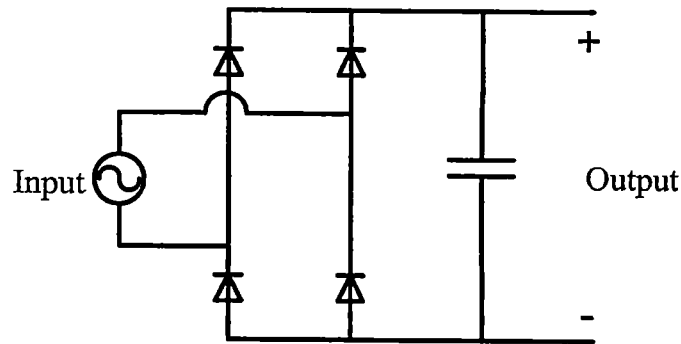
ระบบการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์(transducer) วงจรขับ แทงค์ (tank) และตัวกลางของเหลว ตัวทรานสดิวเซอร์ จะแปลงพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดให้เป็นการสั่นสะเทือนจากพลังงานเสียง ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะถูกส่งผ่านแทงค์กระจายไปตามแทงค์ และจะผลิตฟองอากาศคาวิเทชัน (cavitations) ขึ้นมาในตัวกลางของเหลวภายในแทงค์ บรรจุ ฟองอากาศเหล่านี้จะจัดวางตัว (formation) และยุบตัวลง (collapse) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการขัดถูขึ้น (scrubbing) ซึ่งจะใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี

ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดเสียง พื้นฐานทางคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก กระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก และอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ แต่ระบบการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกนั้น นอกจากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แล้ว ยังต้องมีวงจรขับหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่เป็นส่วนประกอบของวงจรขับดังจะได้อีกต่อไป

2.4 เร็กติไฟาย และอินเวอร์เตอร์

2.4.1 เร็กติไฟาย (Rectifier)

ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะประกอบไปด้วยวงจรเร็กติไฟายที่ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า เมื่อผ่านวงจรเร็กติไฟายจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรเร็กติไฟายนี้จะมีคุณสมบัติคือยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว โดยสามารถแบ่งวงจรออกเป็น 2 รูปแบบหลักๆคือ วงจรฮาล์ฟเวฟเร็กติไฟายเออร์ (Half wave rectifier) และวงจรฟูลเวฟเร็กติไฟายเออร์ (Full wave rectifier) ในวิทยานิพนธ์ได้นำวงจรฟูลเวฟเร็กติไฟายเออร์ดังรูปที่ 2.14 มาใช้เนื่องจากให้แรงดันไฟตรงที่สูงกว่าและเรียบกว่ามาก เนื่องจาก วงจรแบบนี้จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้าหรือด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะเป็ผลดีต่อหม้อแปลงไฟฟ้า และข้อดีอีกข้อคือจะมีค่าตัวประกอบระลอกคลื่น (Ripple factor) ต่ำกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวงจรฮาล์ฟเวฟเร็กติไฟายเออร์

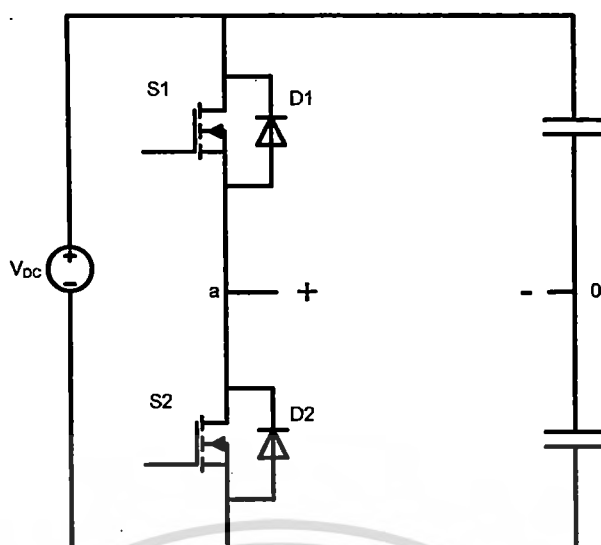


รูปที่ 2.14 วงจรฟลูวเฟร็กติฟายเออร์ (Full wave rectifier)

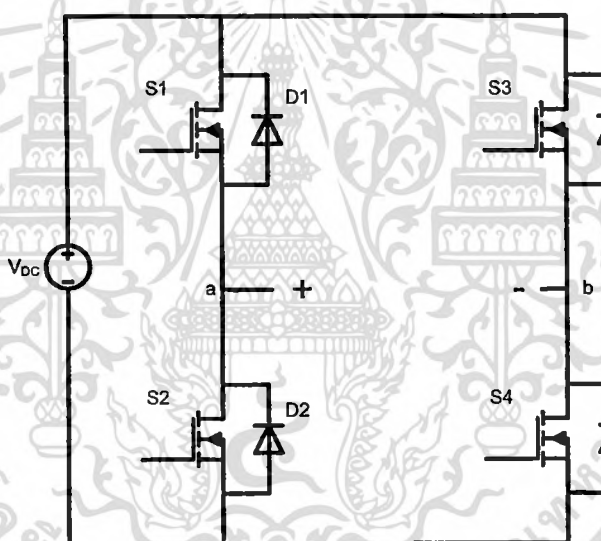
2.4.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์จะแบ่งออกเป็นสองชนิด [5] คือ แบบฮาล์ฟบริดจ์ (Half-bridge) และแบบฟลูบริดจ์ (Full-bridge) ในแบบฮาล์ฟบริดจ์ จะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและหากกำหนดให้ตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันคือ $V_s/2$ จุดกึ่งกลางแรงดันไฟฟ้า (จุด 0 ในรูปที่ 2.15 (a)) จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับบัสลบ (N) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (a) ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ จะประกอบไปด้วยสองกึ่ง ดังรูปที่ 2.15 (b) โดยแบบฟลูบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์สองเท่าจึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงขึ้น ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ อินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์

เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบ คือการทำงานของสวิตช์ S1, S4 กับ S2, S3 จะต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ของ S1, S4 กับ S2, S3 จะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งจะเรียกว่าเดดไทม์ (Dead time) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะสวิตช์ จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแสหรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส



(a)



(b)

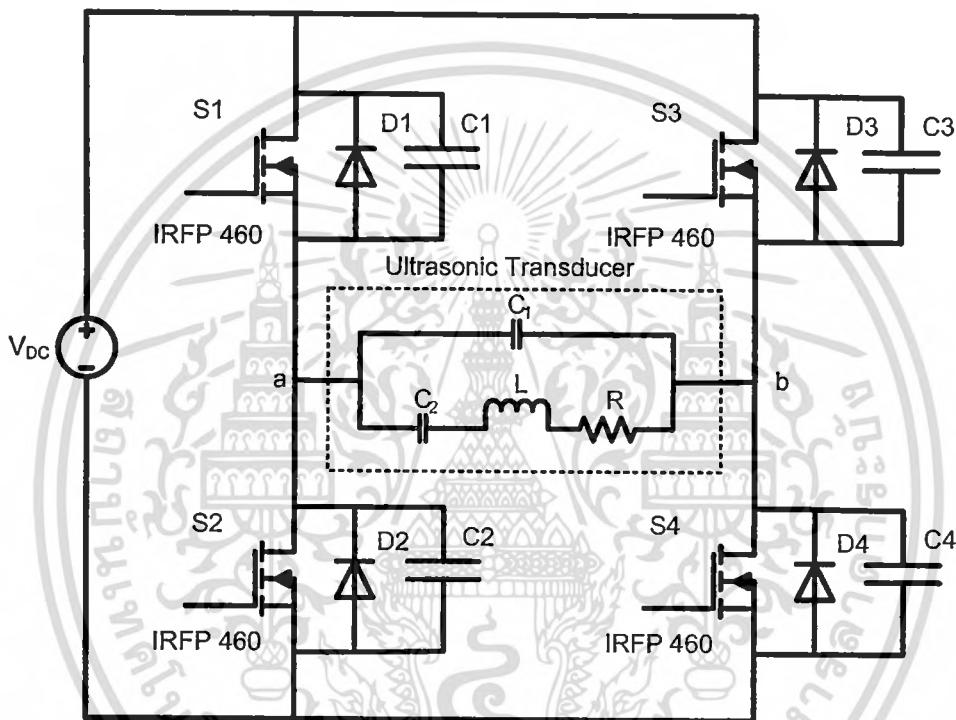
รูปที่ 2.15 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) (a) แบบฮาล์ฟบริดจ์ (b) แบบฟูลบริดจ์

จากวงจรที่ได้กล่าวมาแล้วนำมาสร้างชุดขับหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โดย
 วิทยานิพนธ์นี้ได้ ทดลองใช้วงจรขับสัญญาณป้อนให้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ 3 รูปแบบ
 สัญญาณ คือ PWM PS-PWM และ PDM เพื่อเปรียบเทียบวงจร และรูปสัญญาณที่ใช้ในการ
 ทดลอง จะกล่าวดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

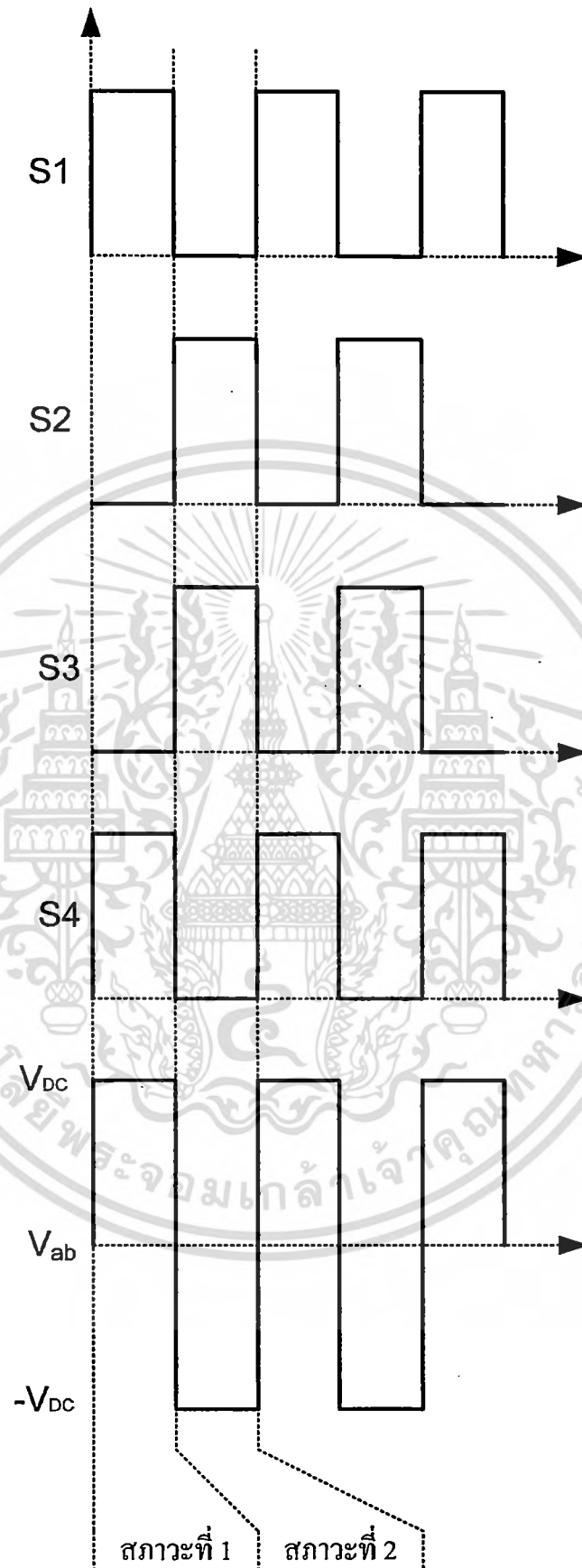
2.5 พีดีบีบลิวเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

พีดีบีบลิวเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (PWM Full - Bridge Converter) เป็นรูปแบบหนึ่งของแหล่งจ่ายกำลังงานแบบสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ มีหลักการทำงานโดยอาศัยการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ ส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปสู่โหลด ซึ่งใช้อุปกรณ์สวิตช์ทั้งหมด 4 ตัวด้วยกัน ดังแสดงที่รูป 2.16 การทำงานของอุปกรณ์สวิตช์จะทำงานพร้อมกันเป็นคู่ๆ คือ S1 คู่กับ S4 และ S2 คู่กับ S3 ทำงานสลับกันคู่ละครึ่งคาบเวลาการสวิตช์

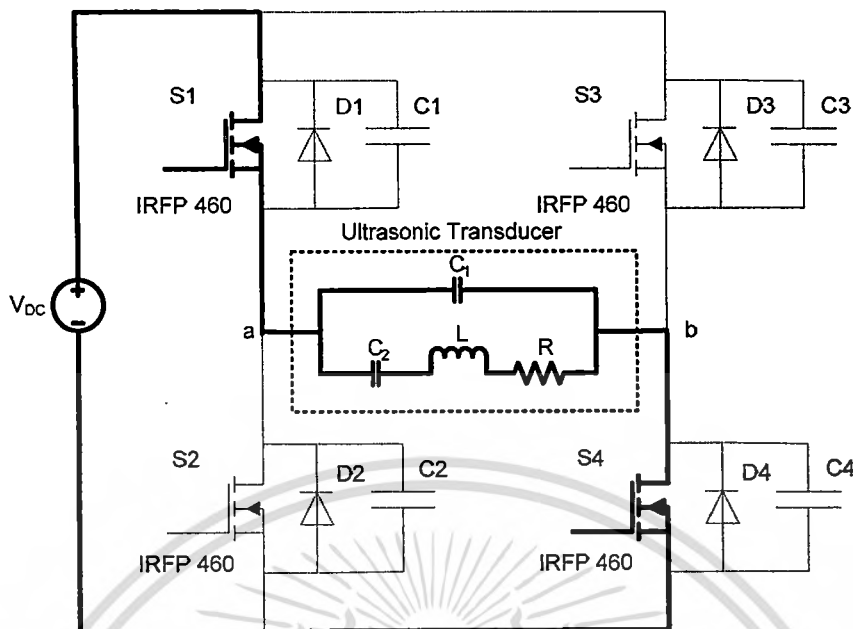


รูปที่ 2.16 พีดีบีบลิวเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

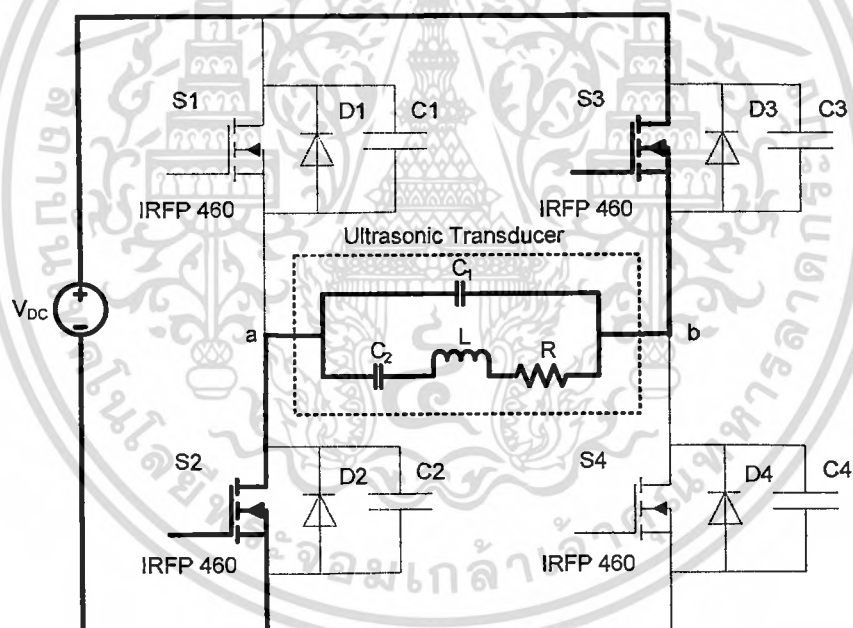
อุปกรณ์สวิตช์ที่ใช้คือ มอสเฟตทั้ง 4 ตัวจะทำงานแยกอิสระจากกัน โดยรับสัญญาณ PWM เพื่อจะทำงานเป็นคู่ๆ ให้ S1 และ S4 นำกระแสโดยที่ S2 และ S3 ยังคงหยุดนำกระแสอยู่ สลับกับการให้ S1 และ S4 หยุดนำกระแส แล้ก็ค่อย ให้ S2 และ S3 นำกระแส ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.17



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.17** สัญญาณการทำงานของพีคับปลิวเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ระโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สภาวะที่ 1



สภาวะที่ 2

รูปที่ 2.18 การทำงานของ PWM ที่สภาวะ 1 ถึง 2

การทำงานของ PWM แบ่งได้เป็น 2 สภาวะโดยการกำหนดการทำงานจากสัญญาณขับ เกทของอุปกรณ์สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ที่จุด ab มีลักษณะคล้ายสัญญาณสี่เหลี่ยม วงจรแบบเลื่อนเฟส ที่สภาวะการทำงานทั้ง 2 ดังรูปที่ 2.18

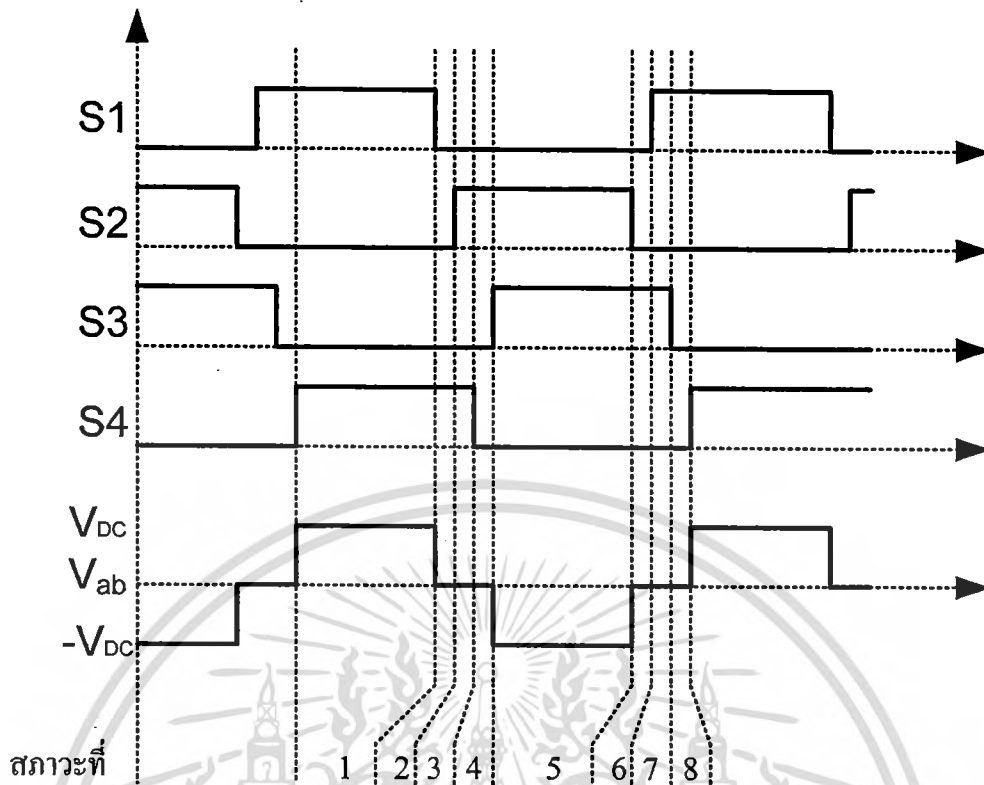
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 1 สวิตช์ S1 และ S4 turn on กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสตรงไหลผ่าน S1 ไปสู่อินดักเตอร์ และไหลผ่าน S4 กลับสู่แหล่งจ่ายกระแสตรง แรงดันตกคร่อมอินดักเตอร์เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายกระแสตรง

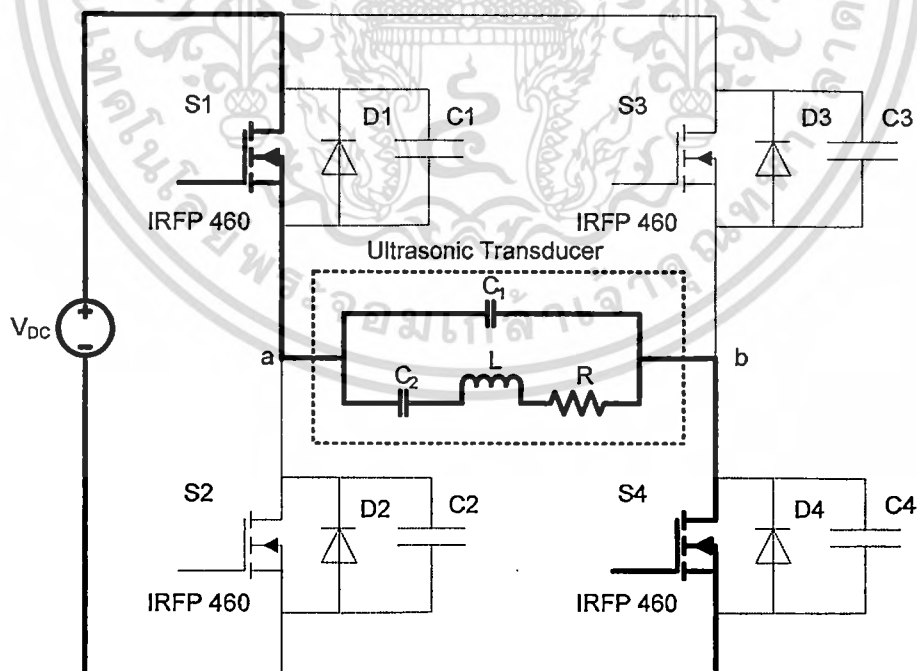
สภาวะที่ 2 S2 และ S3 turn on กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสตรงไหลผ่าน S3 ไปสู่อินดักเตอร์ เมื่อกระแสไหลผ่านอินดักเตอร์ จะเกิดการสะสมพลังงาน จากนั้นอินดักเตอร์ S2 กลับสู่แหล่งจ่ายกระแสตรง แรงดันตกคร่อมอินดักเตอร์เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายแต่มีค่าติดลบเพราะกลับขั้วกับสภาวะที่ 1

2.6 พีดีบีเอ็มแบบเลื่อนเฟสฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

พีดีบีเอ็มแบบเลื่อนเฟสฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Phase - Shift PWM Full - Bridge Converter) ดังในรูปที่ 2.19 มีโครงสร้างเหมือนกับ พีดีบีเอ็มฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.17 แต่มีลักษณะขั้วขาของอุปกรณ์สวิตช์แตกต่างกัน โดยปกติสัญญาณ PWM จะทำงานเป็นคู่ๆ ให้ S1 และ S4 นำกระแสโดยที่ S2 และ S3 ยังคงหยุดนำกระแสอยู่ สลับกับการให้ S1 และ S4 หยุดนำกระแส แล้วก็ค่อย ให้ S2 และ S3 นำกระแส ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ แต่ PWM แบบเลื่อนเฟส ช่วงเวลา S1 และ S4 นำกระแส S1 จะนำกระแส ก่อน S4 เป็นเวลา Φ และช่วงเวลาที่หยุดนำกระแส ก็จะช้ากว่า S1 เพราะช่วงนำกระแส ช้ากว่านั่นเอง ส่วน S2 และ S3 ก็เหมือนกัน ช่วงนำกระแส S3 จะช้ากว่า S2 เป็นเวลา Φ และช่วงหยุดนำกระแส ก็จะช้ากว่า S2 ด้วย จากรูปสัญญาณ V_{G1} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S1, V_{G2} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S2, V_{G3} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S3, V_{G4} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S4, V_{out} คือแรงดันที่อินดักเตอร์ ซึ่งจะนำไปใช้งาน

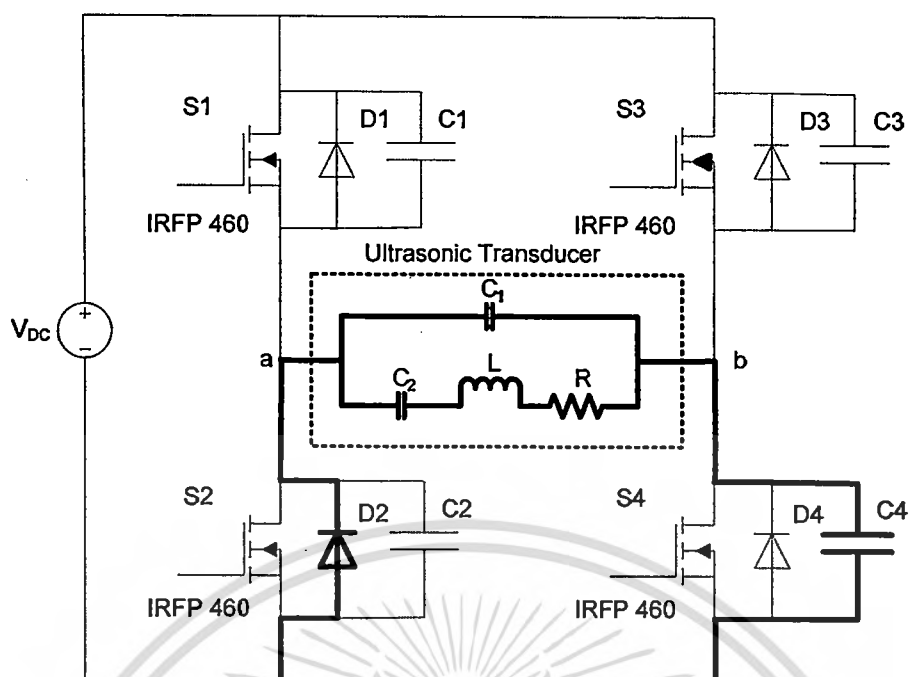


รูปที่ 2.19 การทำงานของสัญญาณ PWM แบบเลื่อนเฟส

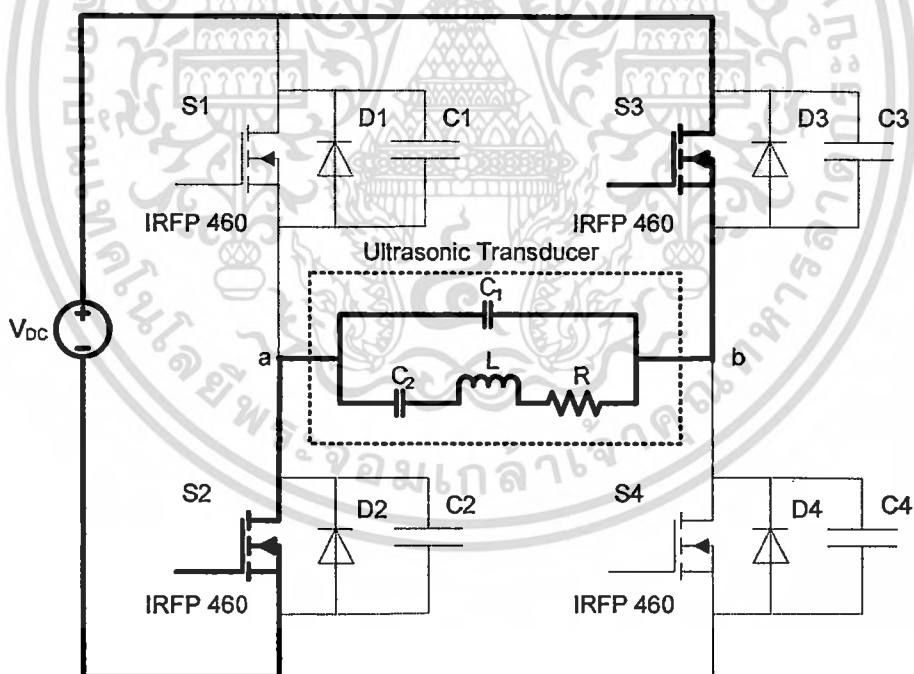


สภาวะที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

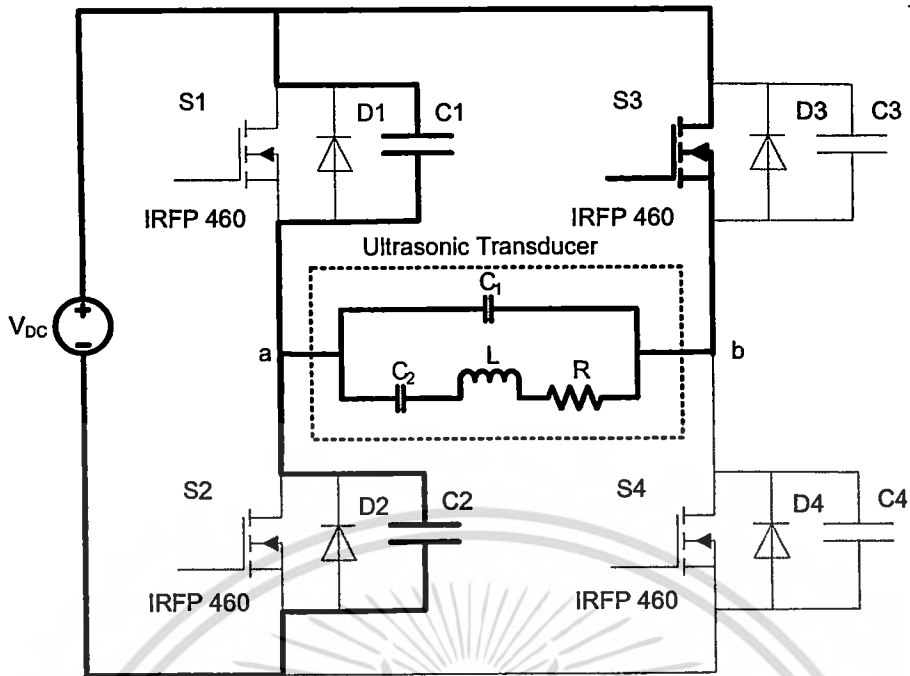


สถานะที่ 4

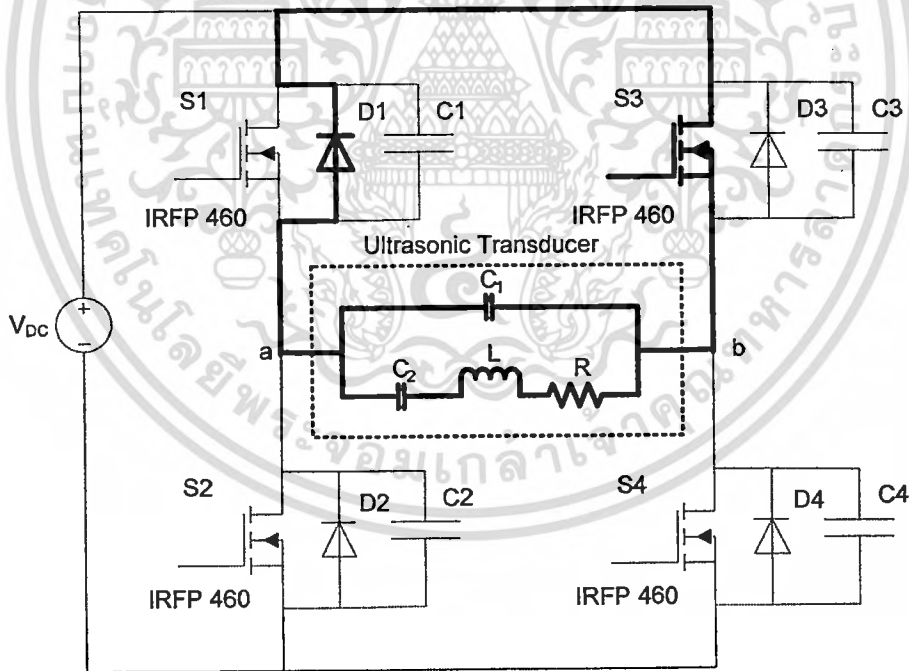


สถานะที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

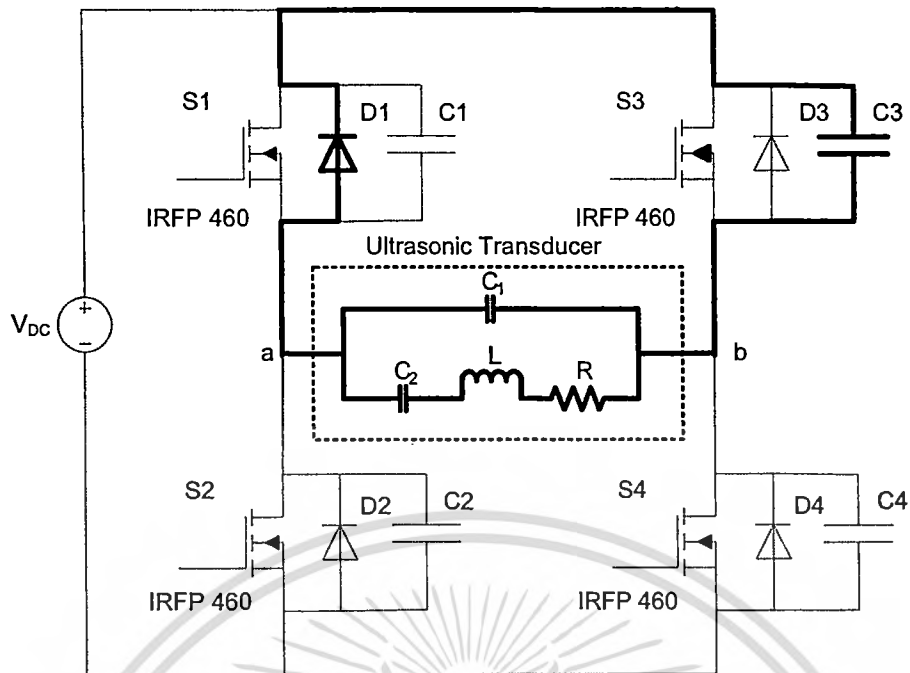


สภาวะที่ 6



สภาวะที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สถานะที่ 8

รูปที่ 2.20 การทำงานของ PWM แบบเลื่อนเฟสที่สถานะ 1 ถึง 8

การทำงานของ PWM แบบเลื่อนเฟสแบ่งได้เป็น 8 สถานะโดยการกำหนดการทำงานจากสัญญาณขับเกทของอุปกรณ์สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ที่จุด ab มีลักษณะคล้ายสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยที่จุดที่แรงดันเป็นศูนย์ เกิดจากการเลื่อนเฟสขั้วสัญญาณเกท ของคู่อุปกรณ์สวิตช์ วงจรของแหล่งจ่ายกำลังไม่ครบรอบ ทำให้แรงดันไม่สามารถปรากฏที่เอาต์พุต สัญญาณแรงดันที่ได้จึงเป็นศูนย์ วงจรแบบเลื่อนเฟสที่สถานะการทำงานทั้ง 8 ดังรูปที่ 2.20

สถานะที่ 1 สวิตช์ S1 และ S4 turn on กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสตรงไหลผ่าน S1 ไปสู่โหลด และไหลผ่าน S4 กลับสู่แหล่งจ่ายครบวงจร แรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายกระแสตรง

สถานะที่ 2 สวิตช์ S1 turn off ในขณะที่ S4 ยังคง turn on ตามรูปแบบของสัญญาณขับเกทที่จ่ายให้ S4 กระแสไหลต่อเนื่องที่ผ่าน S1 จะเปลี่ยนมาไหลผ่าน D2 แทน

สถานะที่ 3 ช่วงเวลาฟรีวีล (Free Wheeling) ในสถานะนี้แหล่งจ่ายไม่สามารถจ่ายกระแสให้ โหลดได้เพราะ S1 เปิดวงจรช่วงเวลานี้พลังงานที่สะสมในโหลด ไหลผ่าน S4 ไปสู่ D2 และไปที่โหลด ครบวงจร ช่วงเวลาฟรีวีลนี้ไดโอด D2 ได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัสทำให้ครบวงจรคืนพลังงาน เพื่อลดการเสียหายของอุปกรณ์สวิตช์จากการได้รับรีเวิร์สไบอัสที่สูงเกินขีดจำกัดได้ และแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากสวิตช์ S2 ได้ปิดวงจร D2 ได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 4 กระแสที่ไหลผ่าน S4 เปลี่ยนมาไหลผ่าน D4 กลับสู่โหลดจากการที่ S4 เปิด วงจรพลังงานที่สะสมในโหลด ลดลงเกือบหมด และ S2 turn on โดยที่ S4 turn off

สภาวะที่ 5 S2 และ S3 turn on กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสตรงไหลผ่าน S3 ไปสู่โหลด เมื่อกระแสไหลผ่านโหลด จะเกิดการสะสมพลังงาน จากนั้นไหลผ่าน S2 กลับสู่แหล่งจ่ายครบ วงจร แรงดันตกคร่อมโหลด เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายแต่มีค่าติดลบเพราะกลับขั้ว กับสภาวะที่ 1

สภาวะที่ 6 S2 turn off ในขณะที่ S3 ยังได้รับสัญญาณแรงดันขั้วเกทและ turn on อยู่ใน กรณีที่เป็นโหลดสะสมพลังงานกระแสจะไม่หยุดไหลอย่างทันทีทันใด แต่จะค่อยๆลดลง ดังนั้น กระแสไหลต่อเนื่องที่ผ่าน S2 จะเปลี่ยนมาไหลผ่าน C2 แทน S2 ที่เปิดวงจร กระแสไหลผ่าน S3 ไปสู่โหลด ครบวงจร

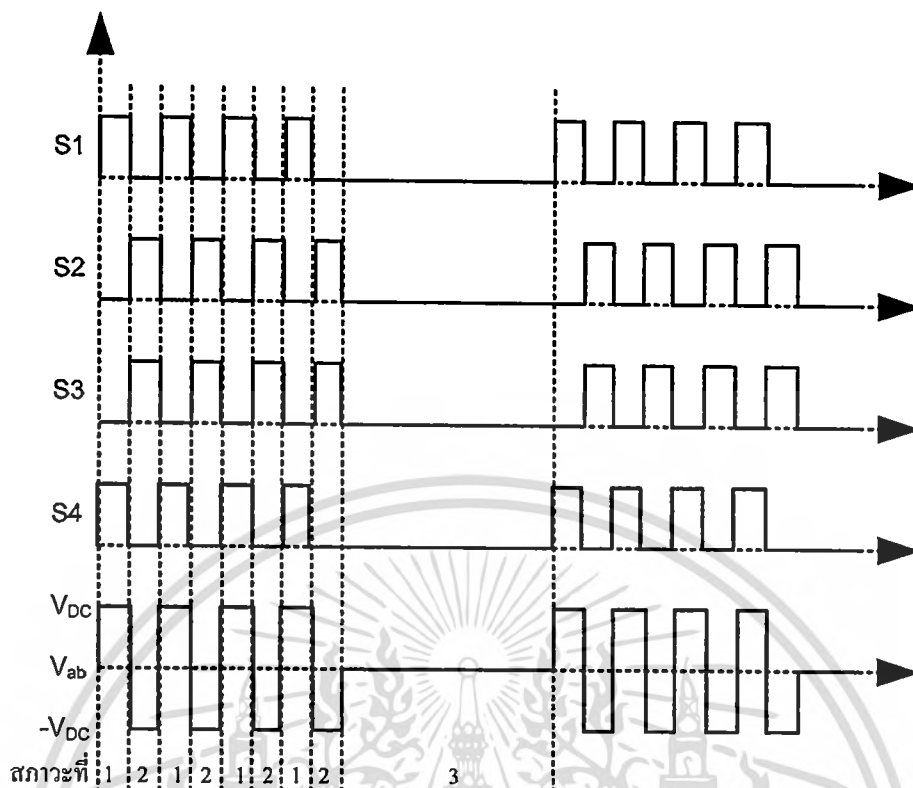
สภาวะที่ 7 ช่วงฟรีวีล เนื่องจาก S2 เปิดวงจร ตัดทางเดินกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงออก กระแสที่ไหลผ่านโหลด ทำให้พลังงานที่สะสมอยู่ถูกจ่ายออกมาเป็น กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน D1 ไปสู่ S3 ครบวงจร ช่วงเวลาฟรีวีลนี้ D1 นำกระแส เนื่องจากศักย์ไฟฟ้า ที่ขาซอส เริ่มสูงกว่าขาเดรน ในกรณีนี้แรงดันตกคร่อมสวิตช์จะถูกจำกัดให้เท่าแรงดันเริ่มต้นที่ตก คร่อมไดโอดลักษณะที่เกิดขึ้นแบบนี้ ช่วยลดการเสียหายของอุปกรณ์สวิตช์จากการได้รับรีเวิร์ส ไบอัสที่สูงเกินขีดจำกัด และเนื่องจาก S3 ปิดวงจรและ D1 ได้รับฟอร์เวิร์ด ไบอัส ทำให้แรงดันตก คร่อมโหลดมีค่าเท่ากับศูนย์

สภาวะที่ 8 S1 turn on และ S3 turn off กระแสไหลผ่าน S3 เปลี่ยนมาไหลผ่าน D3 กลับสู่ โหลด และ S1 หลังจากสภาวะนี้แล้ว คอนเวอร์เตอร์จะกลับไปเริ่มการทำงานที่สภาวะที่ 1 อีกครั้ง เป็นวงรอบการทำงานต่อไป

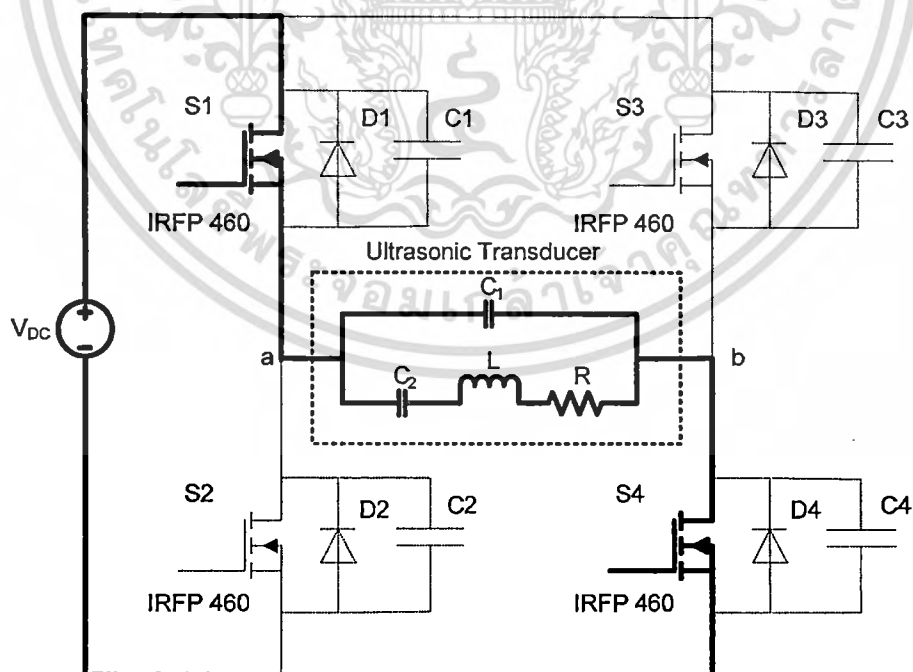
2.7 ฟีดแบ็กฟลูมูเลชันคอนเวอร์เตอร์

ฟีดแบ็กฟลูมูเลชันคอนเวอร์เตอร์ (Pulse Density Modulation Full Bridge Converter) มี โครงสร้างเหมือนกับ ฟีดแบ็กฟลูมูเลชันคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.17 แต่มีลักษณะขั้วขาเกท ของอุปกรณ์สวิตช์แตกต่างกัน

จากรูปที่ 2.21 แสดงถึงการทำงานของสัญญาณ PDM และรูปที่ 2.22 แสดงถึงแรงดันและ กระแสที่ออกมาจากวงจรภาคกำลังที่จ่ายให้โหลด โดยที่มอสเฟตจะทำงานเป็นคู่ๆ S1 กับ S4 turn on สลับกับ S2 กับ S3 ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ 4 คาบเวลา และหยุดจ่ายแรงดัน 4 คาบเวลาเช่นกัน โดย ช่วงหยุด S1, S2, S3 และ S4 turn off เพื่อที่จะทำให้แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ โดยจะจ่ายแรงดันเป็น สัญญาณและหยุด เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ

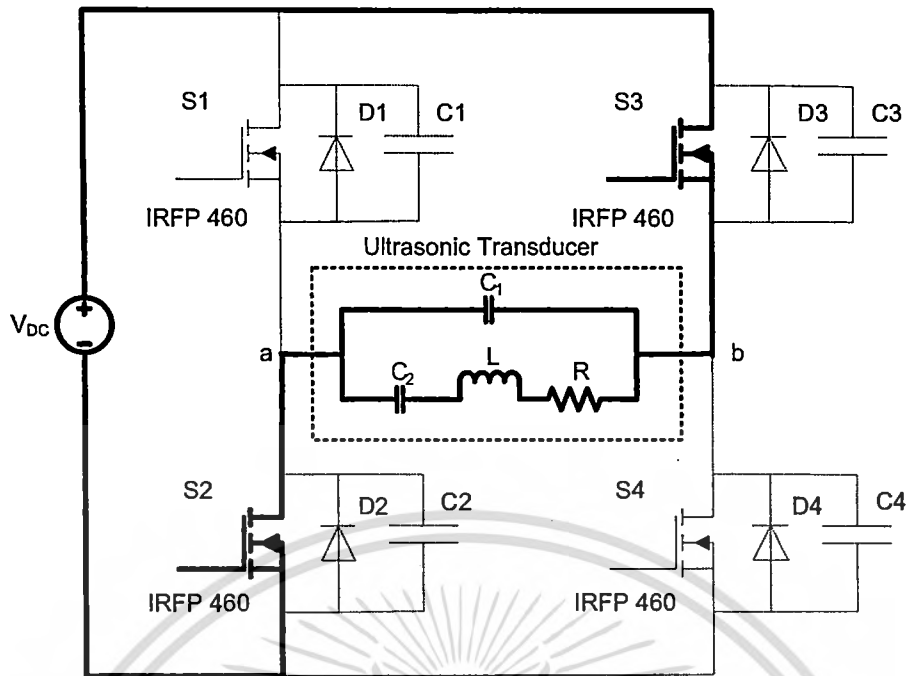


รูปที่ 2.21 การทำงานของสัญญาณ PDM

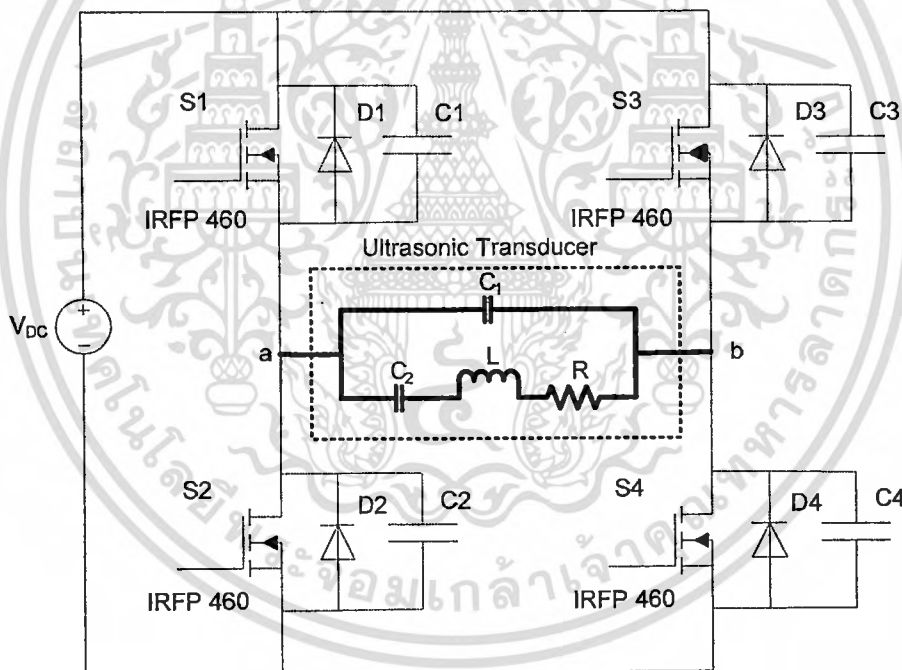


สถานะที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สถานะที่ 2



สถานะที่ 3

รูปที่ 2.22 การทำงานของสัญญาณ PDM ที่สถานะที่ 1 ถึง 3

สถานะที่ 1 สวิตช์ S1 และ S4 turn on กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสตรงไหลผ่าน S1 ไปสู่โหลด และไหลผ่าน S4 กลับสู่แหล่งจ่ายครบวงจร แรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 2 S2 และ S3 turn on กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสตรงไหลผ่าน S3 ไปสู่อโหลด เมื่อกระแสไหลผ่านโหลด จะเกิดการสะสมพลังงาน จากนั้นไหลผ่าน S2 กลับสู่แหล่งจ่ายครบวงจร แรงดันตกคร่อมโหลด เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายแต่มีค่าติดลบเพราะกลับขั้ว กับสภาวะที่ 1

สภาวะที่ 3 คือช่วงเวลาที่รูปสัญญาณที่โหลดเป็นศูนย์ S1, S2, S3 และ S4 turn off ทำให้ไม่มีกระแสจากแหล่งจ่ายไหลไปสู่อโหลด

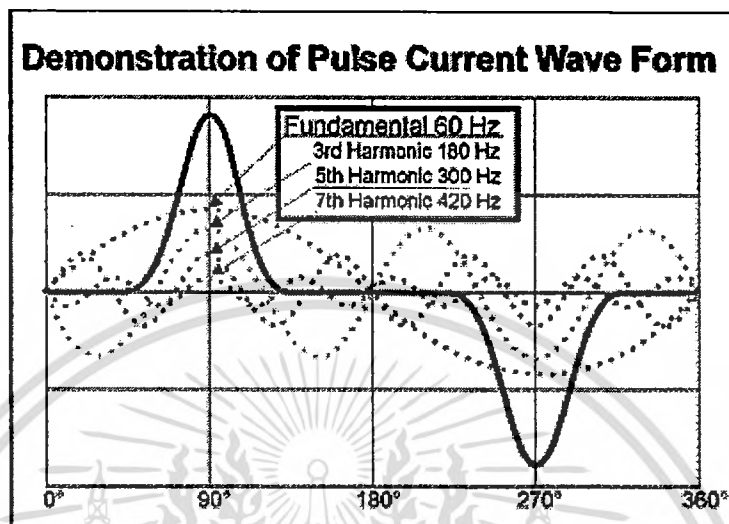
2.8 ฮาร์โมนิก (Harmonic)

ในปัจจุบันการไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากระบบไฟฟ้าและโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้น ได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงกว่าเดิมในอดีต ซึ่งคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสและแรงดัน คือถ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ อาจจะทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้ ซึ่งเป็นปัญหาค่าคุณภาพไฟฟ้าที่ต้องมีการป้องกันและแก้ไข โดยสาเหตุหลักที่ทำให้กระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ มีสาเหตุเกิดจากฮาร์โมนิกที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งเนื่องจากปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์ มีการใช้อุปกรณ์สมัยใหม่เทคโนโลยีสูงที่ทำจากอุปกรณ์ทางด้านโซลิตสเตรท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพและได้ปริมาณตามที่ต้องการและในอนาคตจะมีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิก เช่นคอนเวอร์เตอร์ (Convertor) ตัวเรียงกระแสกำลัง (Power Rectifier) และชุดขับเคลื่อนปรับความเร็ว (Adjustable - Speed Drive) เป็นต้น

ด้วยผลของการใช้อุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ดังกล่าวจะจ่ายกระแสฮาร์โมนิกเข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายในของผู้ใช้ไฟเอง หรือถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีพิกัดขนาดใหญ่ กระแสฮาร์โมนิกนั้นอาจไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าอื่นในบริเวณข้างเคียง จากผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ทำให้กระแสและแรงดันในระบบมีขนาดและรูปร่างเพี้ยน (Distortion) ไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายได้

ฮาร์โมนิก [6] (Harmonic) คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้าบ้านเรามีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่นฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 มีความถี่เป็น 150Hz และฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 มีความถี่เป็น 250Hz เป็นต้น

และผลของฮาร์มอนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเปลี่ยนไป จากสัญญาณคลื่นไซน์ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงถึงฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน [6]

ในทางคณิตศาสตร์สามารถให้อนุกรมฟูเรียร์อธิบายคุณลักษณะของฮาร์มอนิกส์ได้ โดยสัญญาณหรือฟังก์ชันที่เป็นคาบใดๆ สามารถกระจายให้อยู่ในรูปผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีความถี่ต่างๆเป็นฟังก์ชันคาบที่เขียนแทนด้วย $f(t)$ ดังสมการที่ 2.1

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad (2.1)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int f(t) \cos n\omega_0 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int f(t) \sin n\omega_0 t dt$$

เมื่อ T คือ 1 คาบของสัญญาณและ n คือเลขจำนวนเต็มบวก ในกรณีนี้ $n = 0$ จะเป็นความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หรือกรณีนี้ n มีค่ามากกว่าศูนย์เราเรียกความถี่นี้ว่าฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ n ซึ่งเป็นได้ทั้งลำดับคู่และคี่

ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมมาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิก โดยเทียบจากไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคนิคแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์โมนิก กับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกออกเป็น ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม

ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม (Total Harmonic Current Distortion : THD_I)

$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2 (rms)}}{I_1 (rms)} \times 100\% \quad (2.2)$$

ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (Total Harmonic Voltage Distortion : THD_V)

$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2 (rms)}}{V_1 (rms)} \times 100\% \quad (2.3)$$

$V_h (rms)$: ค่า rms ของแรงดันฮาร์โมนิกลำดับที่ h

$I_h (rms)$: ค่า rms ของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ h

$V_1 (rms)$: ค่า rms ของแรงดันที่มีความถี่หลักมูล

$I_1 (rms)$: ค่า rms ของกระแสที่มีความถี่หลักมูล

ผลกระทบของฮาร์โมนิกที่มีผลต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ปัญหาฮาร์โมนิกที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 กรณีคือ

- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดัน และกระแสฮาร์โมนิกที่มีขนาดและรูปคลื่นสัญญาณ ไซนัสผิดเพี้ยนไป

- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่า rms ของแรงดันหรือกระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์โมนิก หรือมีการขยายของแรงดันและกระแสฮาร์โมนิก ที่เกิดจากฮาร์โมนิกรีโซแนนซ์

ปัญหาฮาร์โมนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้านี้คือ

ผลของฮาร์โมนิกเรโซแนนซ์เกิดขึ้นในกรณีที่ความถี่เรโซแนนซ์ของระบบไปตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกทำให้เกิดการขยายขนาดของแรงดันและกระแสฮาร์โมนิก เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแส และแรงดันเกินพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่ง ทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพ การส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกทำให้ค่า rms ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น

ผลของกระแสฮาร์มอนิก Triplen (ลำดับที่3,6,9..) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกกลุ่มนี้จะรวมกันกันไหลอยู่ในสายนิวทรัล อาจทำให้สายนิวทรัลหรือหม้อแปลงเสียหายได้หากไม่มีการออกแบบรองรับไว้

ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดและกำลังสูญเสียสเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการในรับโหลดของหม้อแปลงลดลงไป (derating) ผลของแรงดันฮาร์มอนิกทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis - Loss) เพิ่มขึ้น

ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเล็กตริก (Dielectric Stress) กับตัวคาปาซิเตอร์ และอาจทำให้ฟิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการใช้งานปกติ ผลของแรงดันฮาร์มอนิกทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ และผลจากภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดขยายกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกขนาดใหญ่ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์มอนิก คาปาซิเตอร์ที่ออกแบบสร้างจากผู้ผลิตได้กำหนดตามมาตรฐาน IEEE Std. 18-1992

ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดความร้อนในตัวฟิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเวลากระแส (Time-Current Characteristic) ของฟิวส์เปลี่ยนไปกรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นฟิวส์จะขาดก่อนในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่ฟิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุจะเป็นเหตุมาจากฮาร์มอนิกในกรณีที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นกัน

ผลของฮาร์มอนิกทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงาน ของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิด Electromagnetic ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน rms ส่วนการทำงานของรีเลย์ชนิด Digital ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จากการ Sampling และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ โดยลักษณะที่ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดดังนี้

- ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่า (Pickup Values) ที่สูง โดยปกติรีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงานด้วยค่าเริ่มต่ำๆ

- กรณีที่มีกระแสฮาร์มอนิก Triplen มากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด (False Trip)

- ทำให้รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ทำให้โอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าโอิมพีแดนซ์ที่ทำการเซตตั้งที่ความถี่หลักมูล

- ทำให้รีเลย์สถิตแบบความถี่ต่ำ (Static Underfrequency Relay) มีความไวกว่าปกติ อาจเกสทำให้เกิดการทริปผิดพลาดหรือรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำให้รีเลย์กระแสและแรงดันเกิน (Overcurrent and Overvoltage Relay) ทำงานผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้

- ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง ผลของกระแสฮาร์มอนิกมีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ คือทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลา di / dt มีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้เมื่อมีฮาร์มอนิก ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน

ผลของฮาร์มอนิกทำให้มิเตอร์วัดค่าไฟฟ้า (Watt - Hour Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ประเภทจานเหนี่ยวนำ (Induction Disk) ทำการวัดค่าผิดพลาดได้ ซึ่งโดยปกติการปรับแต่งมิเตอร์นั้นจะทำการปรับแต่งที่ความถี่หลักมูล

ผลของฮาร์มอนิกต่อเครื่องจักรไฟฟ้า ทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสเกิดปรากฏการณ์ค็อกกิ้ง (Cogging) คือไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ จากการศึกษาที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส และทำให้เกิดการออสซิลเลตทางกลของเครื่องจักรไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดของเครื่องจักร

ผลของฮาร์มอนิกทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสารเช่นในระบบโทรศัพท์

ฮาร์มอนิกที่อยู่ในระบบไฟฟ้าเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าสำคัญเรื่องหนึ่ง เพราะปัจจุบันการใช้โหลดประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิก และโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารพาณิชย์นับวันมีการใช้โหลดดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ผลทำให้รูปคลื่นของแรงดันและกระแสเพี้ยนไปจากรูปไซน์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีการทำงานผิดพลาด หรืออาจเกิดการเสียหายได้

2.9 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นทฤษฎีของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค อุปกรณ์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคเพื่อนำมาใช้ในการทำความสะอาด วงจรและรูปแบบการสร้างสัญญาณที่นำมาใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ โดยในการสร้างสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบนั้นโครงสร้างของวงจรมันเหมือนกัน เพียงแต่สร้างสัญญาณที่มาขับเคลื่อน เพื่อให้ได้รูปสัญญาณที่โหลดตามต้องการเท่านั้น โดยสัญญาณที่สร้างมาจาก ไมโคร โปรเซสเซอร์ dsPIC ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยแต่ละรูปสัญญาณเพียงแต่เปลี่ยนตัวโปรแกรมเท่านั้น ที่การทดลองนี้เลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เพราะว่าง่ายต่อการปรับเปลี่ยนรูปสัญญาณทั้ง 3 รูปทำให้ไม่ว่าจะเลือกใช้วงจรไหนในการทำความสะอาดก็ไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มค่าใช้จ่าย

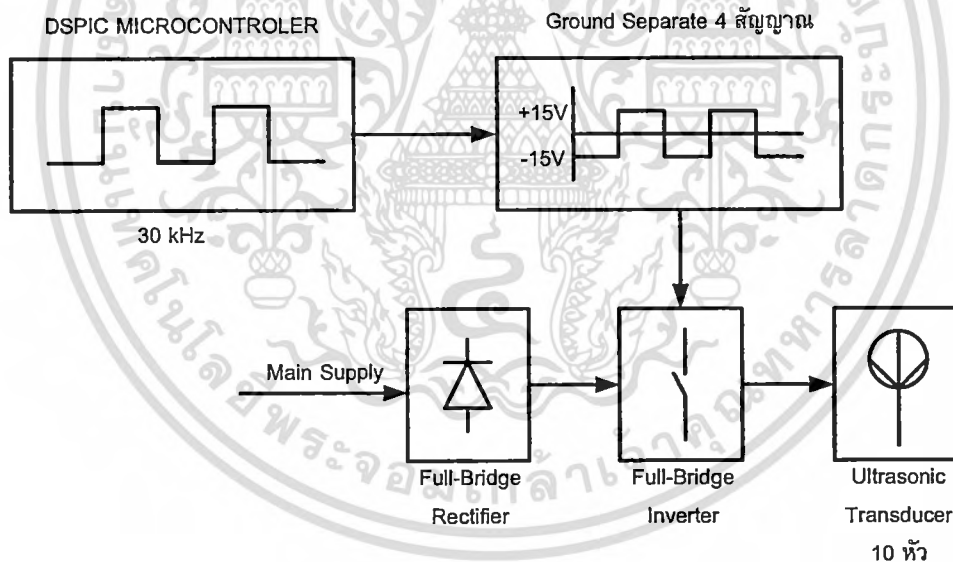
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรควบคุมและสร้างสัญญาณ

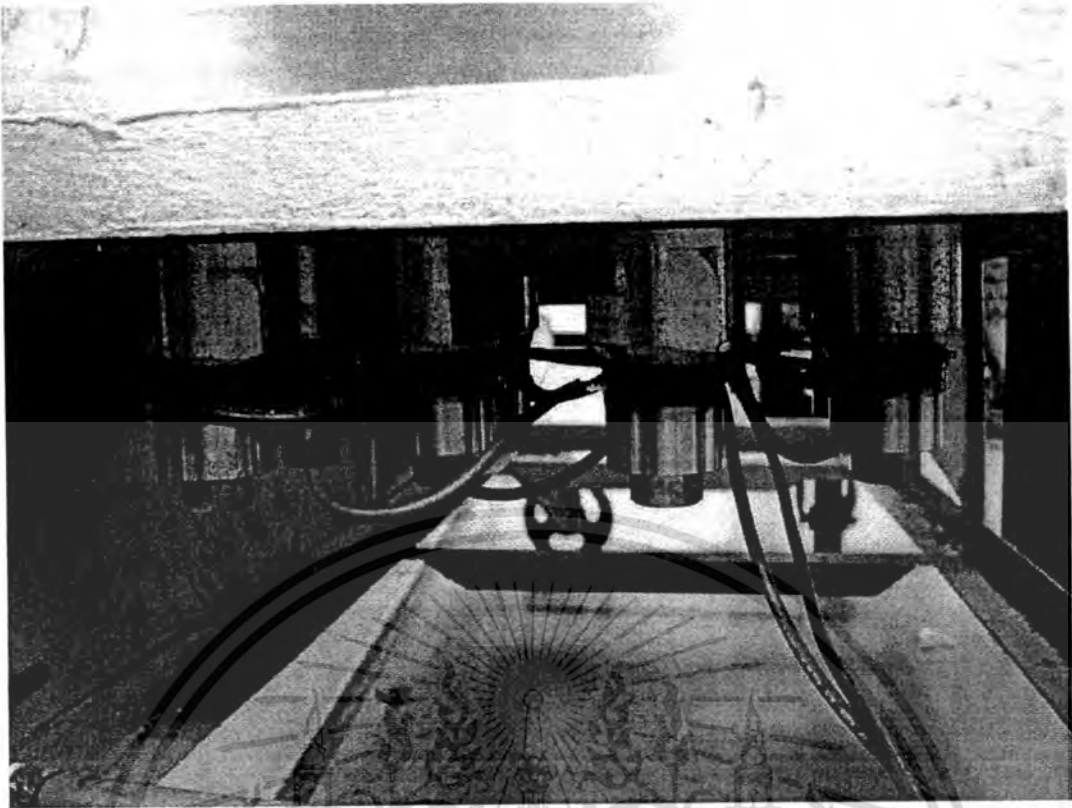
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การสร้างสัญญาณ PWM, PS-PWM และ PDM โดยไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC 30F2010 ดังรูปที่ 3.1 โดยการสร้างสัญญาณที่ความถี่เรโซแนนซ์ของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ 30 kHz เพื่อส่งต่อให้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์เพื่อสร้างสัญญาณให้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ต่อไปเพื่อทำให้เกิดกระบวนการทำความสะอาดที่ภายในแท่งบรรจุของเหลวที่ใช้ทำความสะอาด ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ถึงกระบวนการทำความสะอาดที่เกิดขึ้น และการสร้างคลื่นความถี่ย่านอัลตราโซนิกโดยหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์



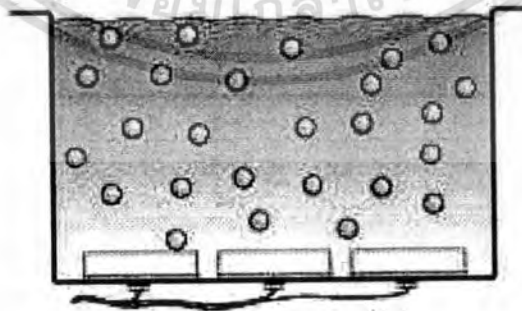
รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

หัวอัลตราโซนิกที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังนี้ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ใช้คือ 30 kHz 70W จำนวนที่ใช้ 10 หัว ต่อขนานกันกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ใต้ห้องแทงค์ (tank) ที่ใส่ของเหลว ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่อยู่ใต้ห้องแทงค์ (tank) ที่บรรจุของเหลวที่ใช้ทำความสะอาด

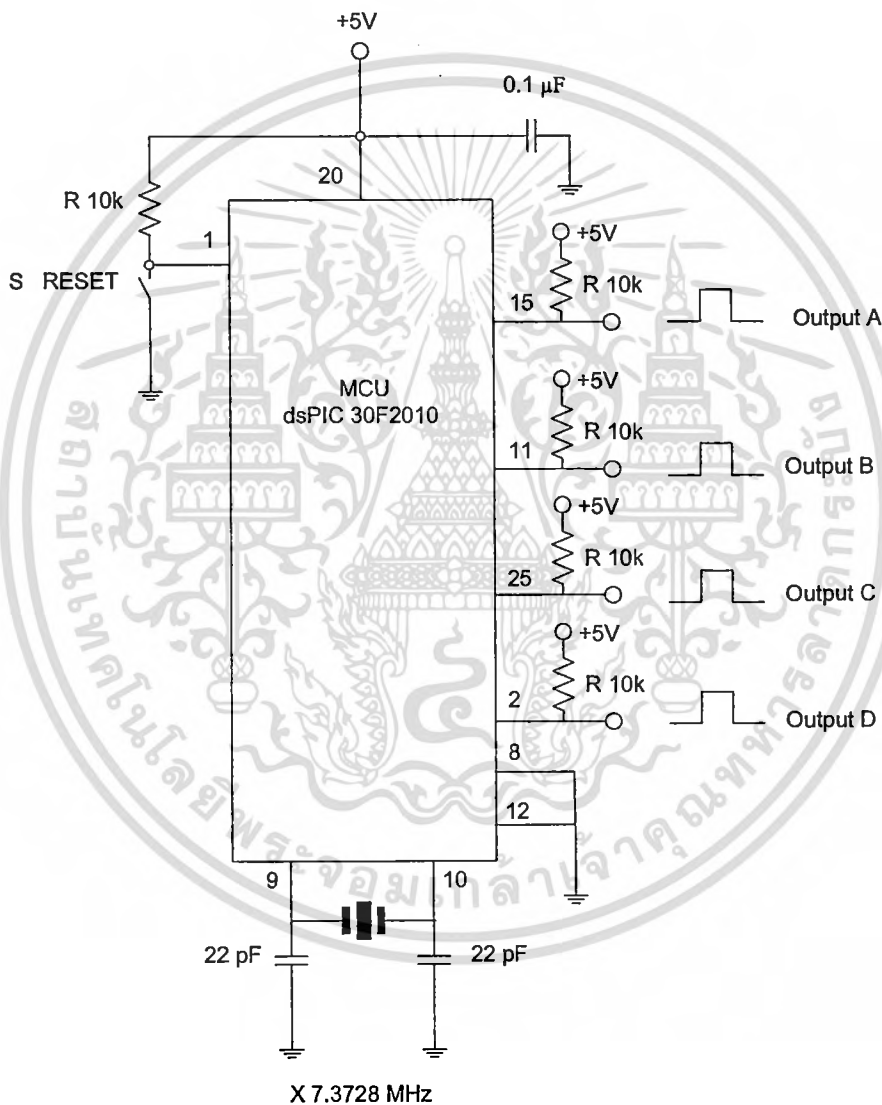
รูปที่ 3.3 แสดงถึงรูปของกระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เมื่อเกิดกระบวนการคาวิเทชัน และอิมโพชัน ที่ตัวกลางของเหลวในแทงค์ จะเกิดฟองอากาศคาวิเทชันเพื่อทำความสะอาดอุปกรณ์ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วเรื่อง ทฤษฎีการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก



รูปที่ 3.3 คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเมื่อผ่านตัวกลางของเหลว และเกิดกระบวนการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

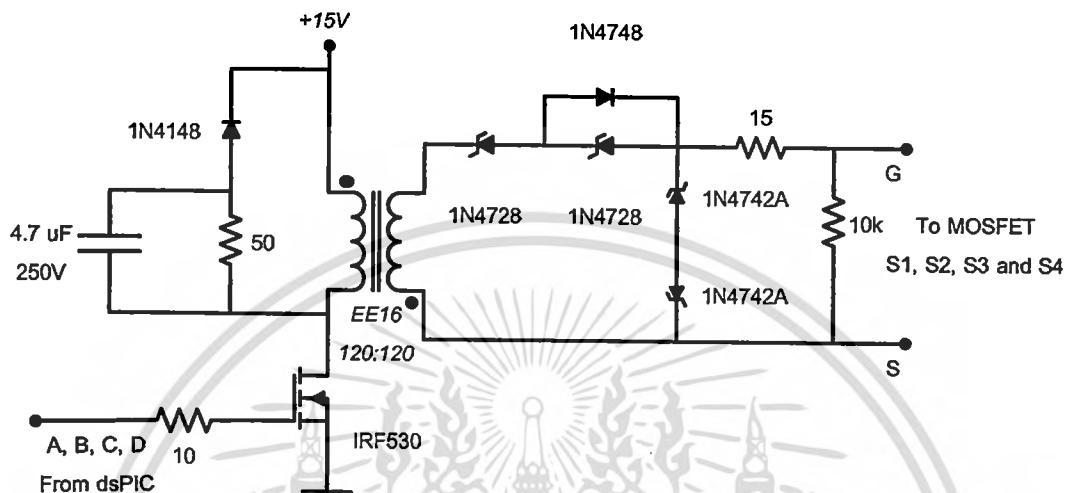
วงจรควบคุมที่ใช้สร้างสัญญาณ PWM, PS-PWM และ PDM นั้นได้มาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC 30F2010 [7] ดังรูปที่ 3.4 โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษา C ผ่านโปรแกรม MPLAB C30 ซึ่งได้ถูกเขียนให้มีเอาต์พุต ทั้งหมด 4 เอาต์พุต A, B, C และ D ออกมาจากขาที่ 15, 11, 25 และ 2 ตามลำดับโดยสร้างสัญญาณที่มีความถี่เรโซแนนท์ของ อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ 30 kHz เพื่อส่งต่อไปให้วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต ทั้ง 4 ชุด โดยวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ dsPIC ในการสร้างสัญญาณเพราะว่าสะดวกแก่การเปลี่ยนรูปสัญญาณให้กับชุดขับโพลด (หัวอัลตราโซนิค) เพราะไม่ต้องสร้างชุดสัญญาณ ทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 3.4 รูปวงจรไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC 30F2010

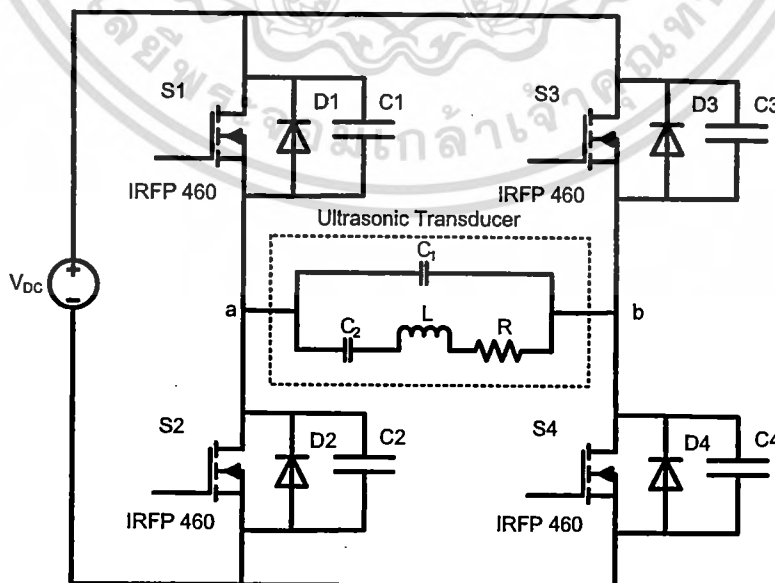
ในส่วนของวงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นจะใช้วงจรขับด้วยหม้อแปลงความถี่สูง โดยจะต่อมอสเฟตให้ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ เพื่อช่วยในการขยายสัญญาณให้มีค่ามากขึ้น โดยผ่านหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน 1:1 ซึ่งจากนั้นจะต่อขานานด้วยซีเนอริไดโอด เพื่อรักษาระดับแรงดันคร่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทให้คงที่ โดยค่าความต้านทานที่ต่อขนานด้านทุติยภูมิไว้เพื่อแบ่งกระแสที่ไหลผ่านซีเนอริไดโอด ดังรูปที่ 3.5 เพื่อส่งต่อไปยังวงจรภาคกำลัง โดยมีทั้งหมด 4 ชุด โดยรับสัญญาณจาก dsPIC จากรูปที่ 3.4 Output A, B, C และ D ส่งให้วงจรภาคกำลัง รูปที่ 3.6 โดยส่งให้ MOSFET S1, S2, S3 และ S4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต

วงจรภาคกำลังนี้เป็นวงจรที่ใช้อินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริจค์ ซึ่งใช้มอสเฟตทั้งหมด 4 ตัว ดังรูปที่ 3.6 โดยจะนำกระแส และหยุดการนำกระแส ตามจังหวะสัญญาณที่ถูกส่งมาจาก วงจรขับเกท ในรูปที่ 3.5

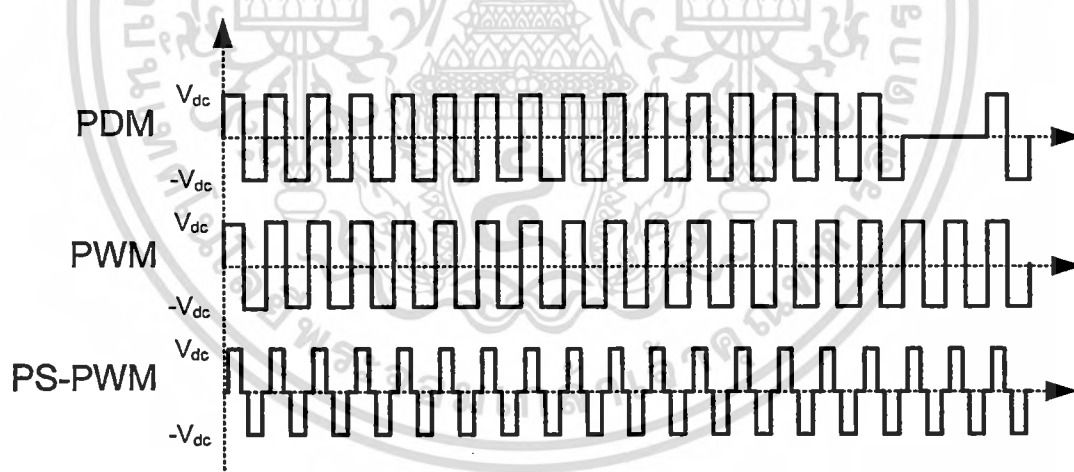


รูปที่ 3.6 วงจรภาคกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะที่ขอสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอสเฟตทั้ง 4 ตัวจะทำงานแยกอิสระจากกัน โดยรับสัญญาณ PWM จากวงจรขับเคลื่อนด้วยความถี่ 30 kHz การทำงานของสัญญาณที่ออกมาจากวงจรขับเคลื่อนโดยปกติสัญญาณ PWM จะทำงานเป็นคู่ๆ ให้ S1 และ S4 นำกระแสโดยที่ S2 และ S3 ยังคงหยุดนำกระแสอยู่ สลับกับการให้ S1 และ S4 หยุดนำกระแส แล้วก็ค่อย ให้ S2 และ S3 นำกระแส ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ แต่ PS-PWM ช่วงเวลา S1 และ S4 นำกระแส S1 จะนำกระแส ก่อน S4 เป็นเวลา Φ และช่วงเวลาหยุดนำกระแส ก็จะช้ากว่า S1 เพราะช่วงนำกระแส ช้ากว่านั่นเอง ส่วน S2 และ S3 ก็เหมือนกัน ช่วงนำกระแส S3 จะช้ากว่า S2 เป็นเวลา Φ และช่วงหยุดนำกระแส ก็จะช้ากว่า S2 ด้วย จากรูปสัญญาณ V_{G1} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S1, V_{G2} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S2, V_{G3} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S3, V_{G4} แสดงถึงคาบเวลาการทำงานของ S4, V_{ab} คือแรงดันที่โหลด ที่จะนำไปใช้งาน

การทำงานของสัญญาณ PDM โดยที่มอสเฟตจะทำงานเป็นคู่ๆ S1 กับ S4 นำกระแส สลับกับ S2 กับ S3 ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยการทดลองนี้ได้ใช้สัญญาณคาบเวลาทำงาน 16 คาบเวลา และหยุดจ่ายแรงดัน 2 คาบเวลาโดยช่วงหยุด S2 และ S4 นำกระแส เพื่อให้โหลดทั้ง 2 ด้านลงกราวด์เพื่อที่จะทำให้แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ โดยจะจ่ายแรงดันเป็นสัญญาณและหยุด เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ

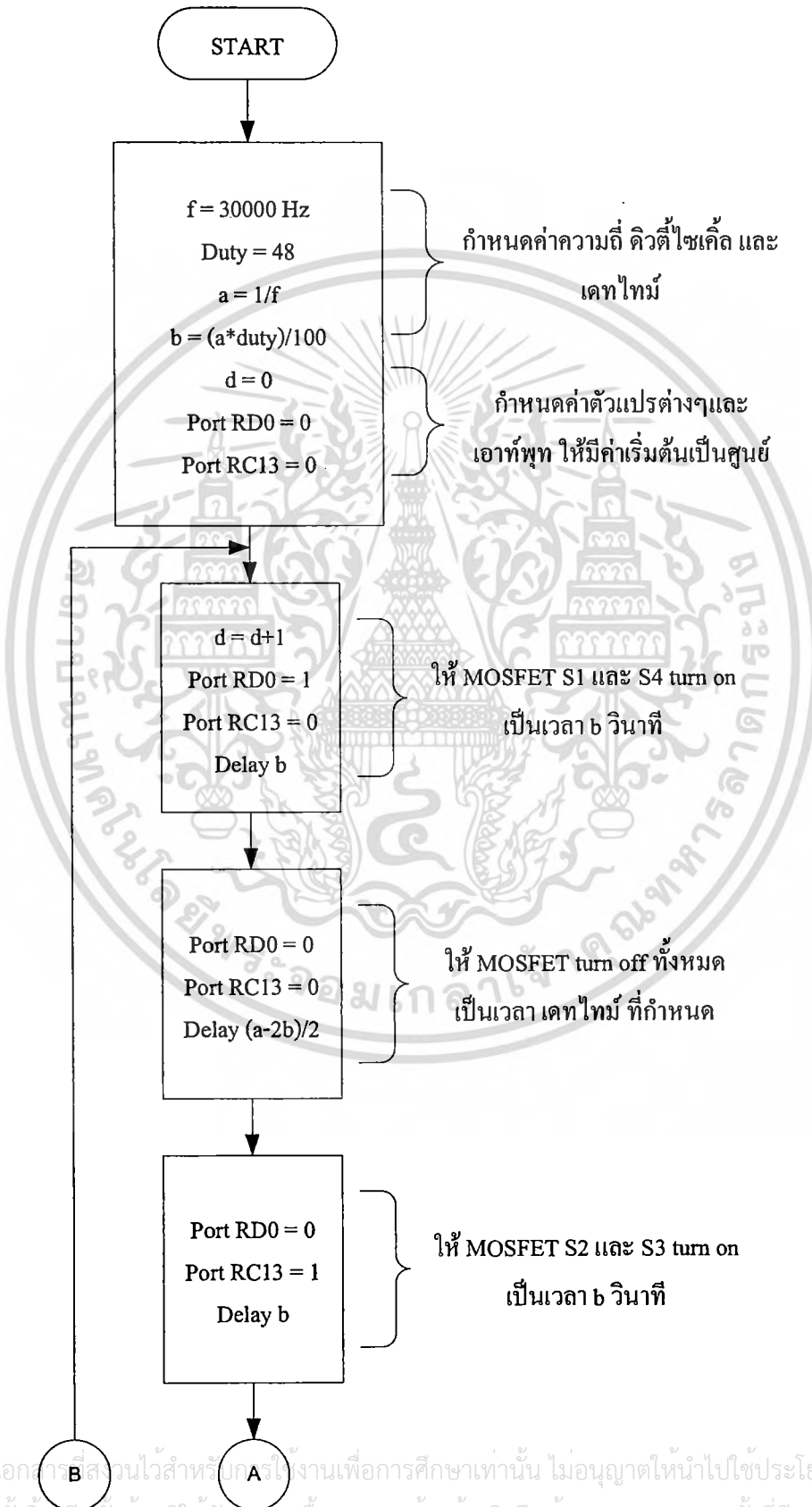


รูปที่ 3.7 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของสัญญาณควบคุมทั้ง 3 แบบคือ PDM, PWM และ PS-PWM ที่ใช้ในการขับโหลด (หัวอัลตราโซนิค)

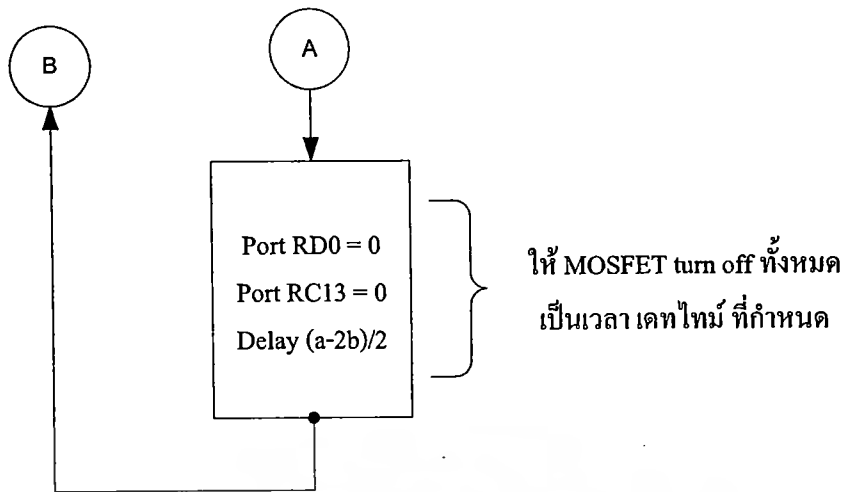
3.2 การสร้างสัญญาณ PWM

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างสัญญาณ PWM โดยได้กล่าวถึงรูปแบบสัญญาณ และสภาวะการทำงานไว้แล้วในบทที่ 2 โดยการสร้างสัญญาณนั้นได้มาจาก การเขียนโปรแกรมให้แก่ ตัวเอกสารณ์เป็นเอกสารที่ส่งถึงกรมวิทย์ฯ หรือกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ เพื่อใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแต่ Flowchart และตัวโปรแกรม ดังรูปที่ 3.8 เนื่องจากตัวที่สร้างสัญญาณจริงๆคือ dsPIC เท่านั้นแต่ต่างกันตรงที่ตัวโปรแกรม ไม่ได้มีการปรับแต่งตัว dsPIC เพิ่มเติมเมื่อเปลี่ยนรูปสัญญาณ

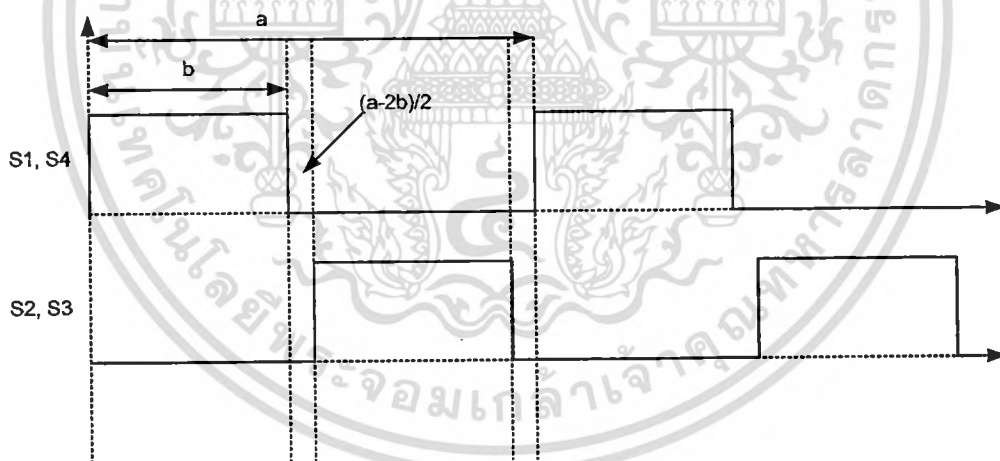


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 Flowchart การสร้างรูปสัญญาณแบบ PWM

รูปที่ 3.8 โปรแกรมในการสร้างรูปสัญญาณ PWM เริ่มต้นจากการกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการคือ 30 kHz และกำหนดค่าความถี่ไซเคิลไว้ที่ 48% แล้วจึงคำนวณค่าออกมาเป็นค่าคาบเวลาที่จะต้องทำงาน และหยุดของรูปสัญญาณแต่ละมอสเฟตดังรูปที่ 3.9



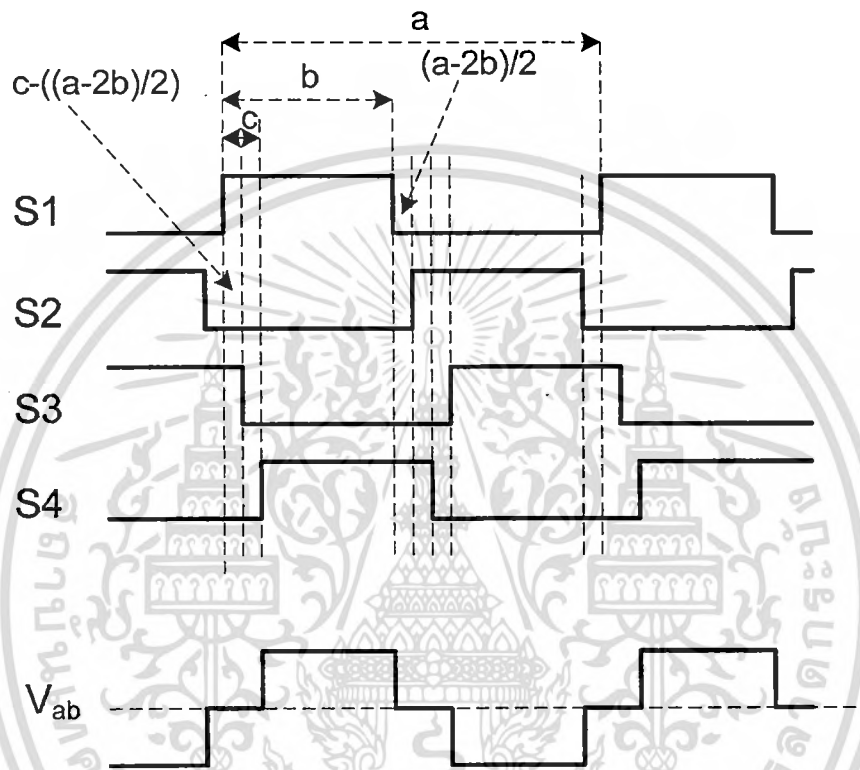
รูปที่ 3.9 คาบเวลาที่ใช้เขียน โปรแกรมรูปสัญญาณแบบ PWM

คำนวณได้ค่า $a = 33.33 \mu\text{s}$, $b = 15.99 \mu\text{s}$, $(a-2b)/2$ (คือช่วงเวลาเดทไทม์) $= 0.675 \mu\text{s}$, แล้วกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้เป็นศูนย์ และมอสเฟตทั้งหมดค่าเริ่มต้นให้ turn off จากนั้น ให้ S1 และ S4 turn on เป็นเวลา $15.99 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ turn off มอสเฟตทั้งหมดเป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ แล้ว S2 และ S3 ก็ turn on เป็นเวลา $15.99 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ turn off มอสเฟตทั้งหมดเป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างสัญญาณ PS-PWM

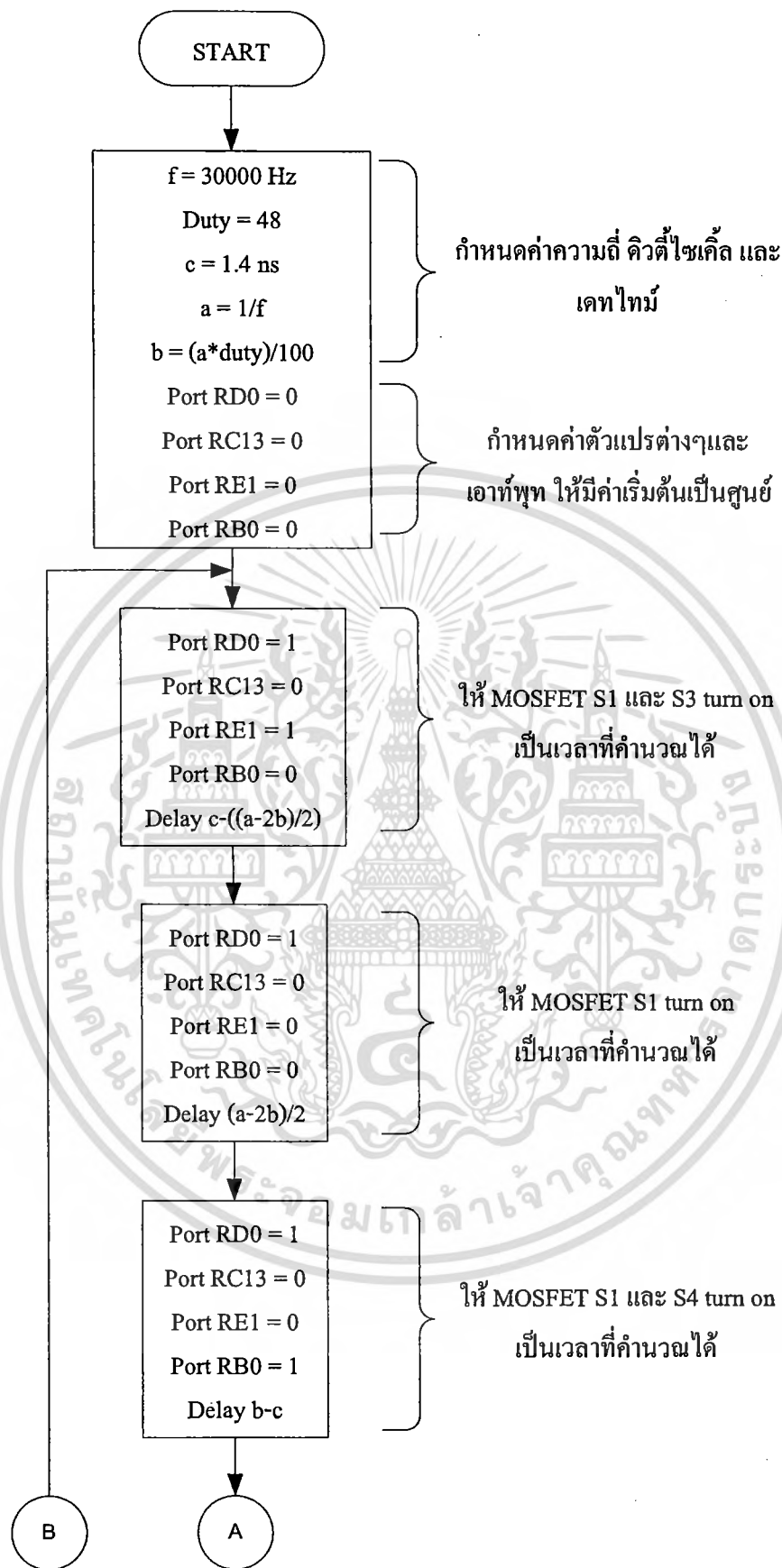
ในการสร้างสัญญาณ PS-PWM ซึ่งได้กล่าวถึงรูปแบบสัญญาณ และสภาวะการทำงานทั้งหมดไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งได้แบ่งช่วงสัญญาณเป็น 8 ช่วง ดังในรูปที่ 3.10 เพื่อเขียนเป็นโปรแกรมในการสร้างสัญญาณดังรูปที่ 3.11



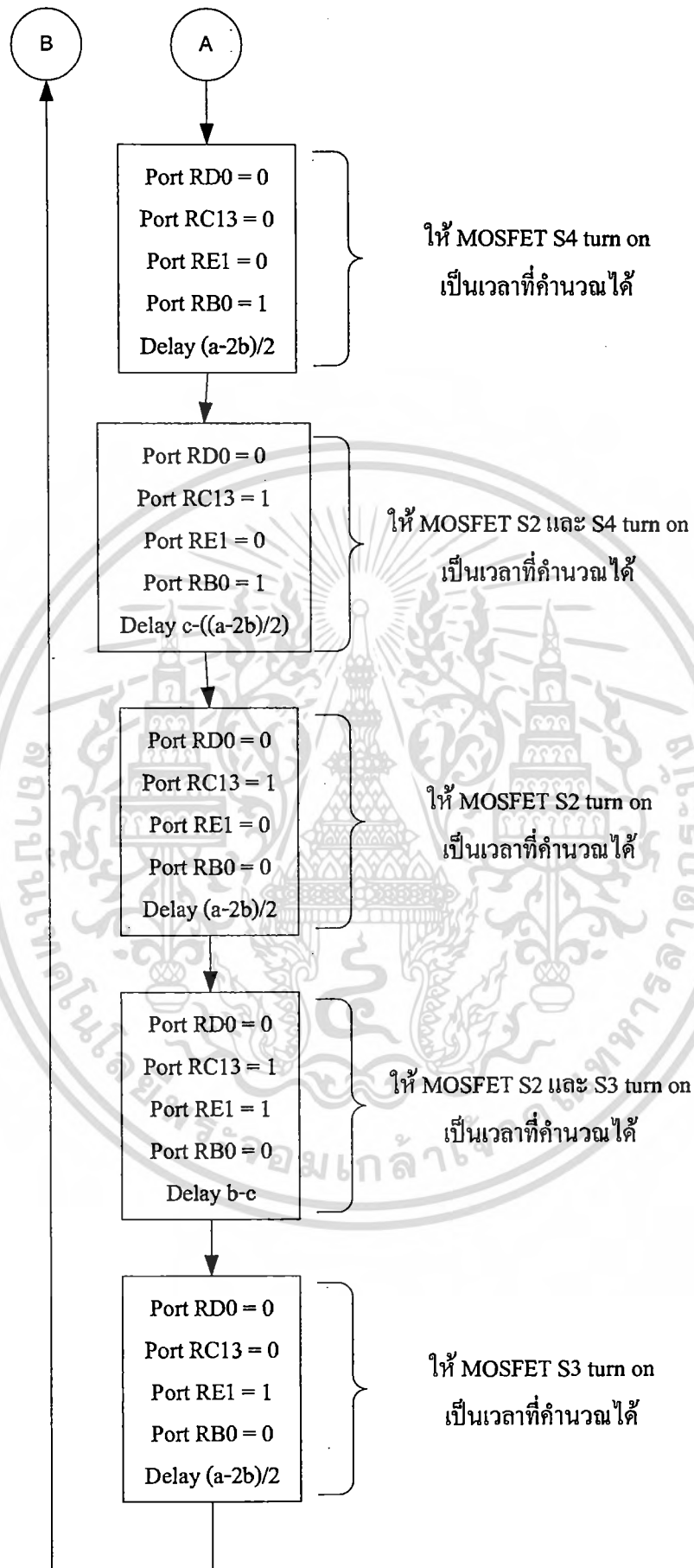
รูปที่ 3.10 ช่วงสัญญาณที่แบ่งเป็น 8 ช่วงเพื่อใช้ในการเขียน โปรแกรม

รูปที่ 3.11 โปรแกรมในการสร้างรูปสัญญาณ PWM เริ่มต้นจากการกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการคือ 30 kHz และกำหนดค่าความถี่ไซเคิลไว้ที่ 48% แล้วจึงคำนวณค่าออกมาเป็นค่าคาบเวลาที่จะต้องทำงาน และหยุดของรูปสัญญาณแต่ละมอสเฟตดังรูปที่ 3.10

คำนวณได้ค่า $a = 33.33 \mu\text{s}$, $b = 15.99 \mu\text{s}$, c (ค่าช่วงเวลาที่เลื่อนเฟส) $= 1.4 \text{ ns}$, $(a-2b)/2$ (คือช่วงเวลาเดทไทม์) $= 0.675 \mu\text{s}$, $c - ((a-2b)/2) = 0.673 \mu\text{s}$ แล้วกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้เป็นศูนย์ และมอสเฟตทั้งหมดค่าเริ่มต้นให้ turn off จากนั้น ให้ S1 และ S3 turn on เป็นเวลา $0.673 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ S1 turn on เป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ แล้ว S1 และ S4 ก็ turn on เป็นเวลา $15.98 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ S4 turn on เป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ แล้ว S2 และ S4 turn on เป็นเวลา $0.673 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ S2 turn on เป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ แล้ว S2 และ S3 ก็ turn on เป็นเวลา $15.98 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ S3 turn on เป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ



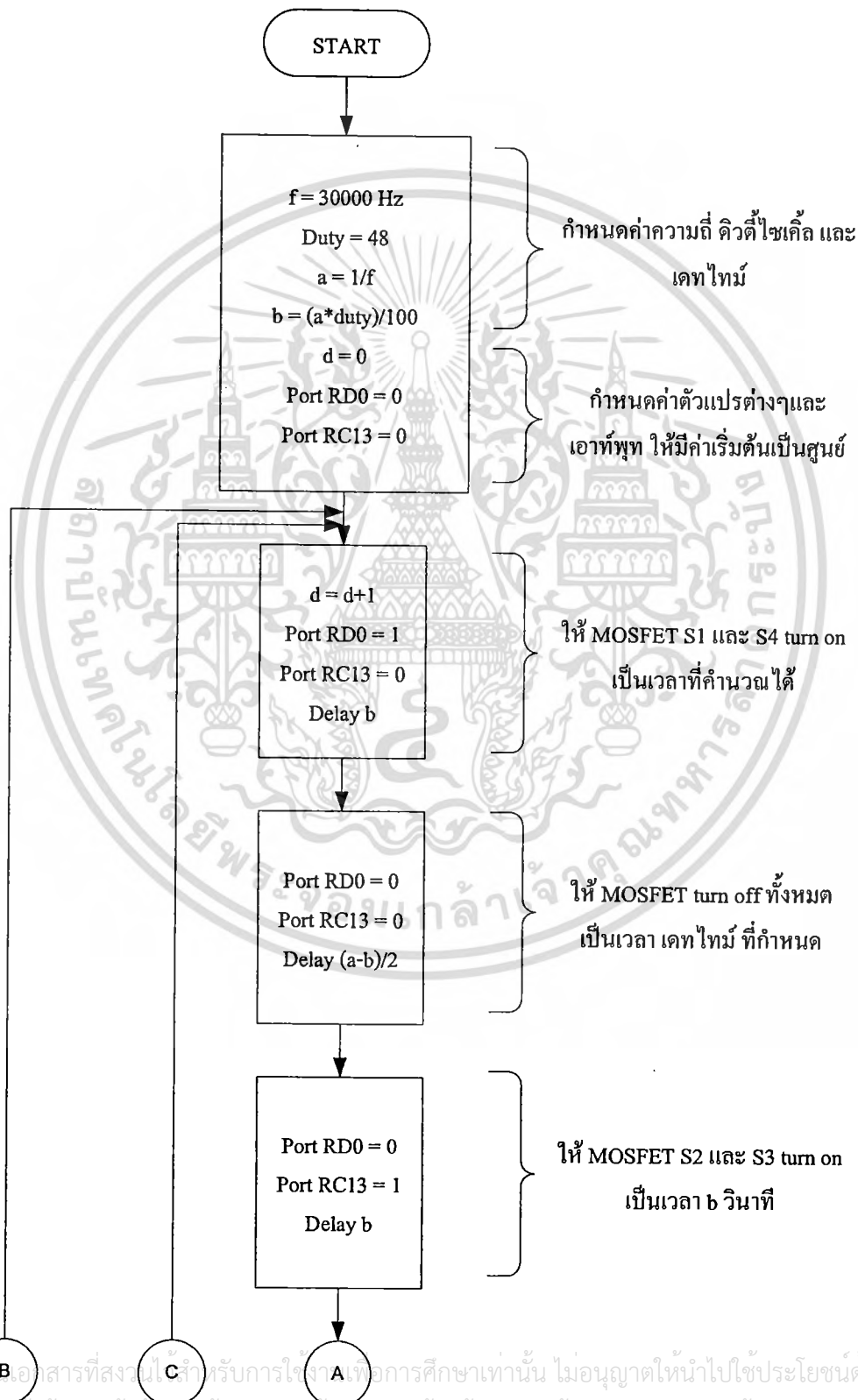
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

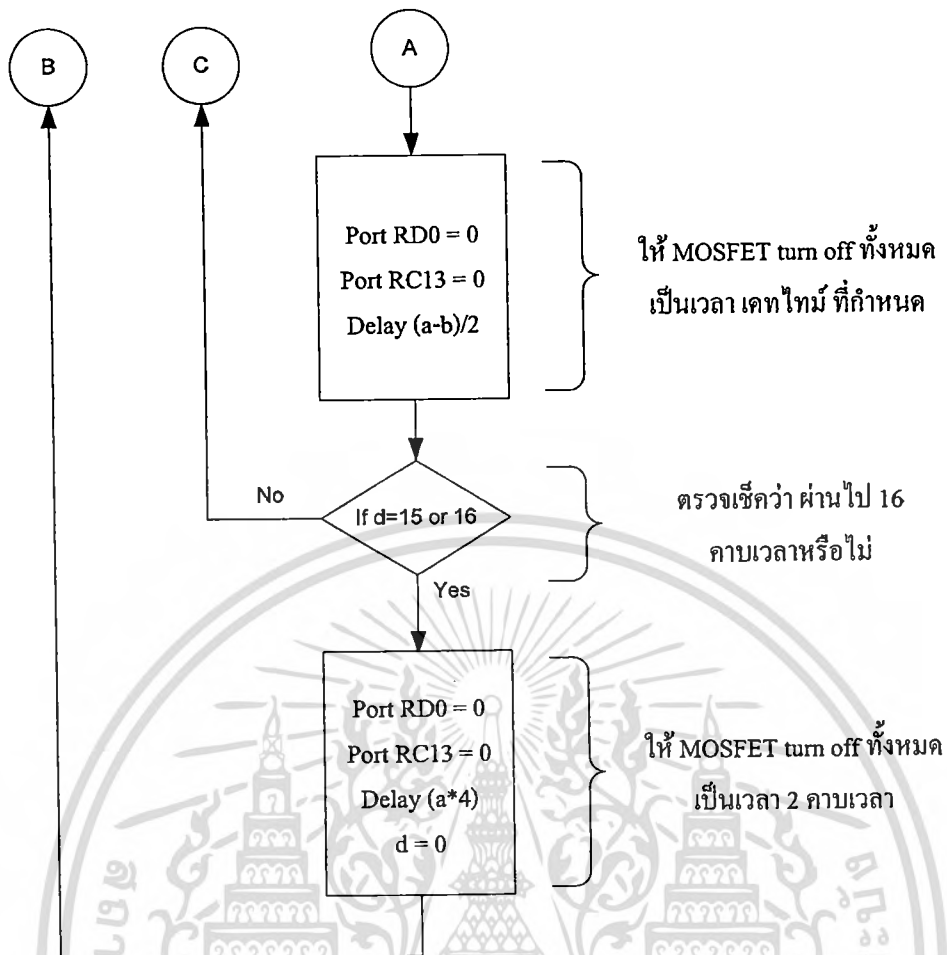


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.11 Flowchart การสร้างรูปสัญญาณแบบ PS-PWM
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การสร้างสัญญาณ PDM

ในการสร้างสัญญาณ PDM ซึ่งได้กล่าวถึงรูปแบบสัญญาณ และสภาวะการทำงานทั้งหมดไว้แล้วในบทที่ 2 รูปที่ 3.12 เพื่อเขียนเป็นโปรแกรมในการสร้างสัญญาณ





รูปที่ 3.12 Flowchart การสร้างรูปสัญญาณแบบ PDM

รูปที่ 3.12 โปรแกรมในการสร้างรูปสัญญาณ PDM เริ่มต้นจากการกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการคือ 30 kHz และกำหนดค่าดิวิตีไซเคิลไว้ที่ 48% แล้วจึงคำนวณค่าออกมาเป็นค่าคาบเวลาที่จะต้องทำงาน และหยุดของรูปสัญญาณแต่ละมอสเฟต

คำนวณได้ค่า $a = 33.33 \mu\text{s}$, $b = 15.99 \mu\text{s}$, $(a-2b)/2$ (คือช่วงเวลาเดทไทม์) = $0.675 \mu\text{s}$, แล้วกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้เป็นศูนย์ และมอสเฟตทั้งหมดค่าเริ่มต้นให้ turn off จากนั้น ให้ S1 และ S4 turn on เป็นเวลา $15.99 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ turn off มอสเฟตทั้งหมดเป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ แล้ว S2 และ S3 ก็ turn on เป็นเวลา $15.99 \mu\text{s}$ ช่วงเวลาเดทไทม์ turn off มอสเฟตทั้งหมดเป็นเวลา $0.675 \mu\text{s}$ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ และตรวจสอบว่าเป็นรอบที่ 15 และ 16 หรือเปล่า ถ้าใช่ก็ให้มอสเฟตทั้งหมด turn off

จากโปรแกรมที่เขียน ทั้ง 3 รูปแบบสัญญาณที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อนำไปโปรแกรมที่ ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อนำไปขับสัญญาณที่ขาเกต ของมอสเฟตเพื่อให้ได้รูปสัญญาณที่โหลด (หัวอัลตราโซนิกรานสคิวเซอร์) ตามต้องการ เพื่อให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิค ผ่านตัวกลาง

ของเหลวที่บรรจุภายในแท่ง และเกิดกระบวนการทำความสะอาดที่ได้กล่าวมาแล้ว เรื่อง ทฤษฎีการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

3.5 สรุป

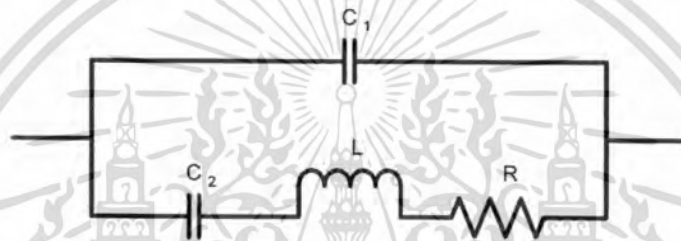
วงจรที่ใช้ขับหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์นับว่าเป็นส่วนที่สำคัญของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค ในบทที่ 3 นี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดของวงจรที่ใช้ในการทดลอง วงจรควบคุม และการสร้างสัญญาณทั้งสามรูปแบบนี้ได้ใช้วงจรแบบเดียวกันทั้งหมดรวมทั้งภาคกำลัง สัญญาณควบคุมที่ได้แตกต่างกันคือการปรับเปลี่ยน โปรแกรมนของไมโครโปรเซสเซอร์เพียงเท่านั้น ทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนรูปสัญญาณเพื่อใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ วิธีการเขียนโปรแกรมของแต่ละรูปสัญญาณ ได้กล่าวโดยละเอียดไว้แล้วในบทนี้ เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิคที่ใช้ทั่วไป ใช้การป้อนรูปสัญญาณ PWM แบบต่อเนื่อง ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดลองการป้อนสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง โดยได้เลือกรูปแบบ PS-PWM และ PDM มาใช้ในการสร้างคลื่นอัลตราโซนิคด้วยเพื่อเปรียบเทียบกันโดยการทดลอง ผลการทดลองดังจะ ได้กล่าวในบทต่อไป

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลอง และผลการทดลอง

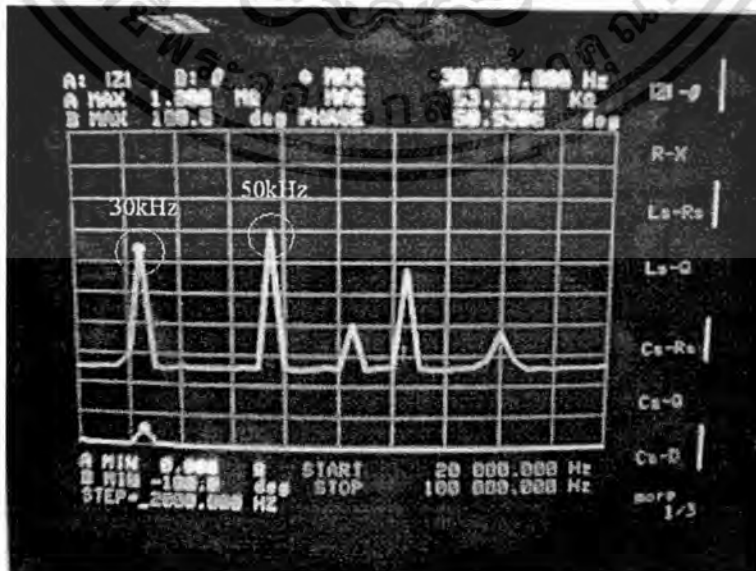
4.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการทดลอง และผลการทดลอง ซึ่งอุปกรณ์ที่สำคัญในการสร้างคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อให้เกิดกระบวนการทำความสะอาดที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ชนิดที่ใช้ยูนีเป็นชนิด เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ซึ่งมีวงจรสมมูลทั่วไปดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรสมมูล อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ทั่วไป

เมื่อนำหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ไปวัดที่เครื่อง RLC Analysis (HP 4194A) จึงได้ค่าออกมาดังนี้ $C_1 = 37.625 \text{ nF}$, $C_2 = 24.1 \text{ nF}$, $L = 460 \text{ } \mu\text{H}$, $R = 26.81 \Omega$ โดยวัดที่ความถี่ 30 kHz ดังรูปที่ 4.2 วัดค่าอิมพีแดนซ์ในช่วงความถี่ 20 kHz ถึง 100 kHz



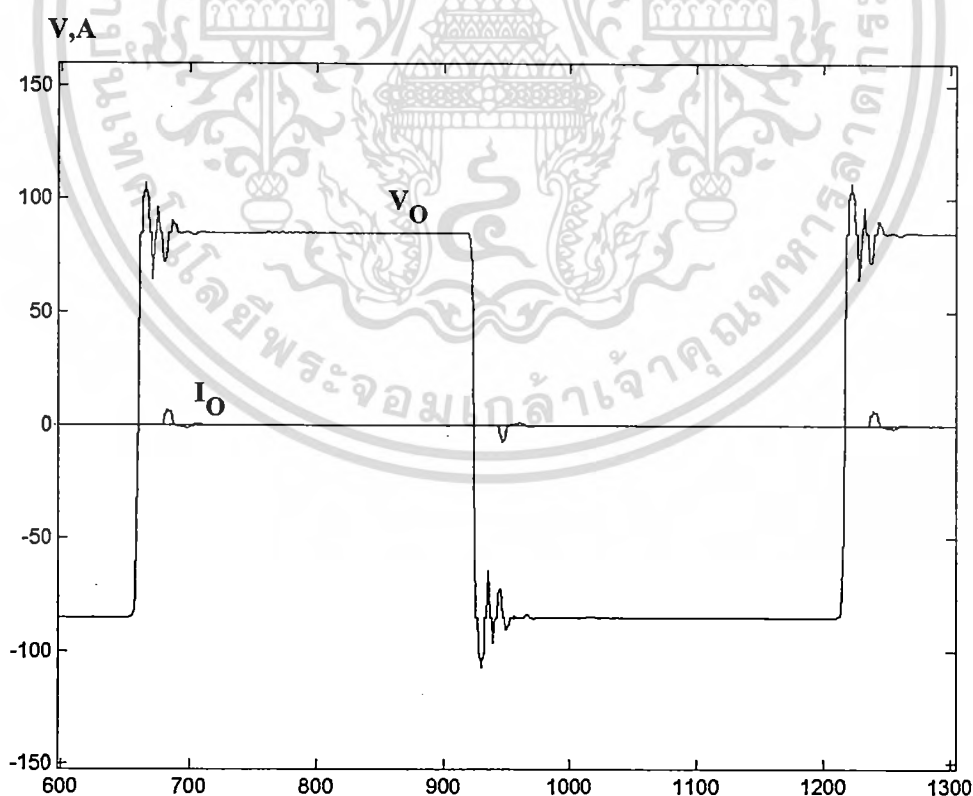
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 วัดค่าอิมพีแดนซ์ที่หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้ถ้าวงจรสมมูลเป็นวงจรอนุกรมจุดเรโซแนนซ์จะมีค่าต่ำสุด และถ้าวงจรสมมูลเป็นวงจรขนานจุดเรโซแนนซ์จะมีค่ายอดสูงสุดดังรูปที่ 4.2 ค่ายอดสูงสุดจะมีค่าเป็น ช่วงๆตามความถี่ ซึ่งเราเลือกใช้ช่วงที่มีค่ายอดสูงสุด เพราะว่าวงจรสมมูลเป็นแบบขนาน และจะได้ค่ากำลังงานออกมาสูงสุดดังสมการที่ (4.1)

$$P = I^2 R \quad (4.1)$$

เนื่องจากสถานะเรโซแนนซ์ $X_C = X_L$ จะเหลือแต่เฉพาะ R เท่านั้น ผลที่ได้จะเห็นว่าที่ความถี่ 30 kHz และ 50 kHz จะให้ค่ากำลังงานออกมาสูงสุดในย่าน 20-50 kHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการทำความสะดวกด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ย่านความถี่ที่สูงขึ้นไปนั้น จะเหมาะสำหรับใช้คลื่นอัลตราโซนิกในงาน วัดระยะทาง สแกนโครงสร้างในงาน โยธา และ อัลตราซาวด์ในงานทางการแพทย์ เป็นต้น แต่จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 50 kHz มีค่ากำลังสูงสุด เพื่อลดความเค้น (Stress) ของอุปกรณ์จึงเลือกค่าความถี่ที่ 30 kHz ในการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ที่การแนะนำที่ได้จาก Data Sheet [8]

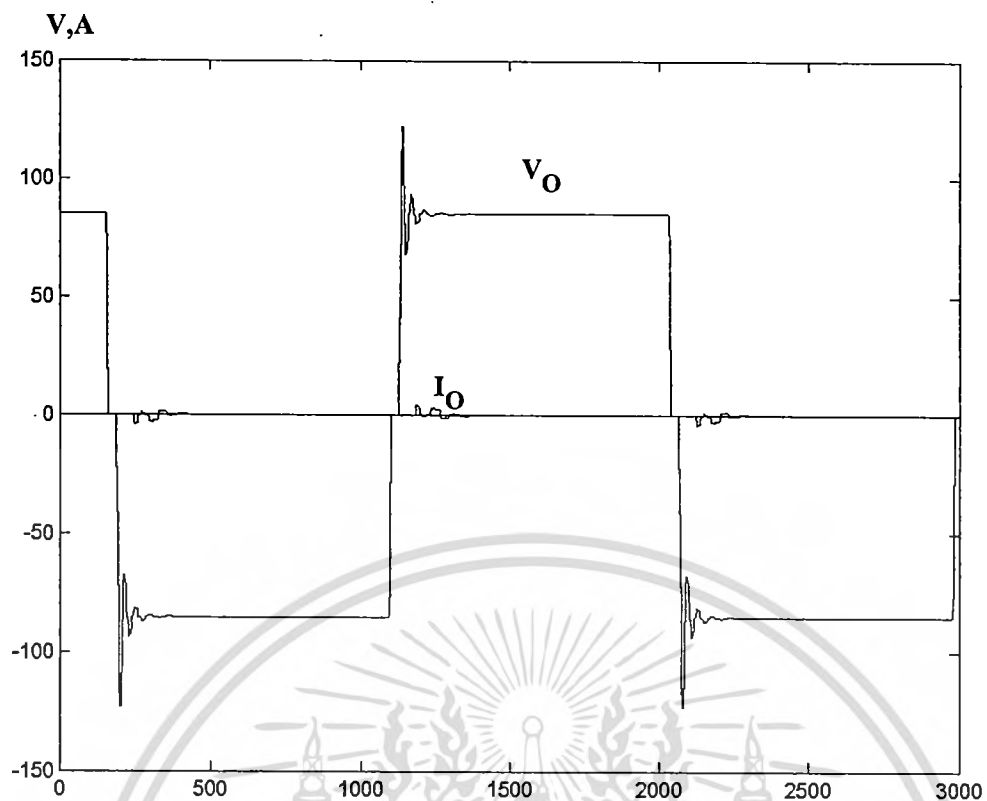
จากค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้นำไปซิมูเลตโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อดูรูปแรงดันและกระแส ที่หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 รูปแรงดัน และกระแสที่หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์โดยการซิมูเลต

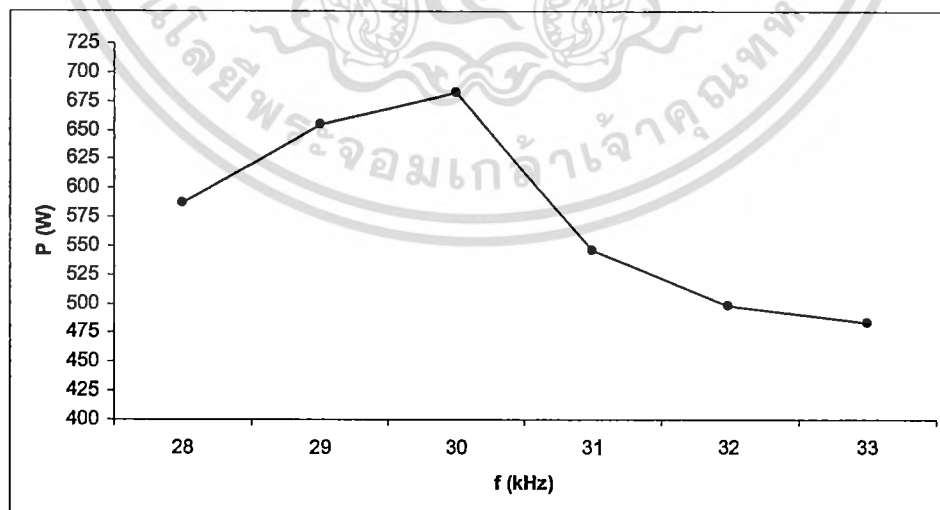
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง
ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการป้อนรูปสัญญาณ PWM

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปแรงดัน และกระแสที่หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ โดยการซิมูเลตด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการป้อนรูปสัญญาณ PS-PWM

จากนั้นจึงนำสัญญาณ PWM ป้อนที่หัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ความถี่รอบๆ ความถี่เรโซแนนท์ เพื่อดูว่าความถี่ 30 kHz ได้ค่ากำลังงานออกมาสูงสุด 682 W ดังรูปที่ 4.5



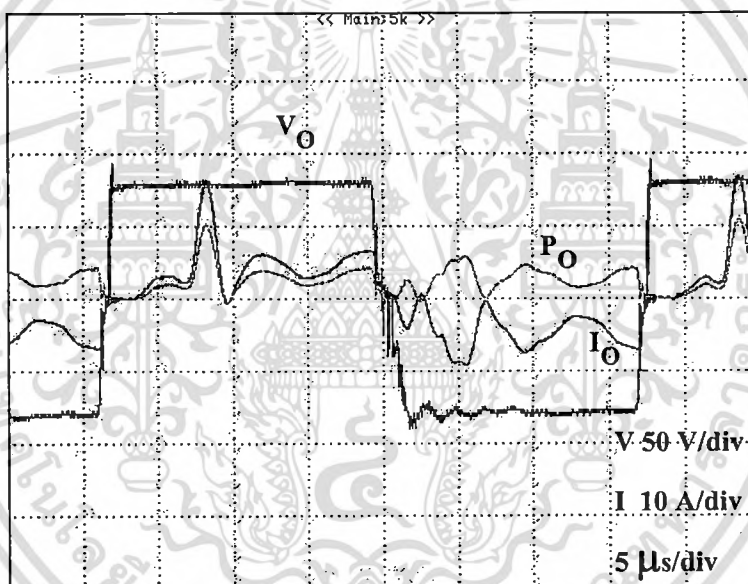
รูปที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าที่ความถี่รอบๆความถี่เรโซแนนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ได้ป้อนรูปสัญญาณการขับมอสเฟตทั้ง 3 แบบเมื่อวัดสัญญาณ ของแรงดันและกระแสออกมาได้ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า รูปสัญญาณของกระแสไม่ได้อยู่ในรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Waveform) ทำให้การคำนวณหาค่ากำลังเอาต์พุต ต้องหาโดยวิธี จากการหาค่าเฉลี่ยกำลังงานเอาต์พุต (P_o) ดังสมการที่ (4.2)

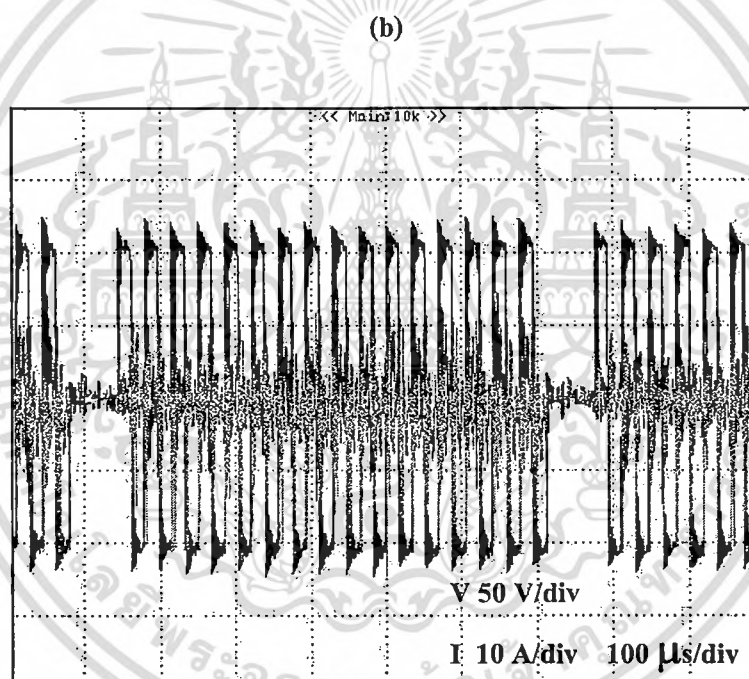
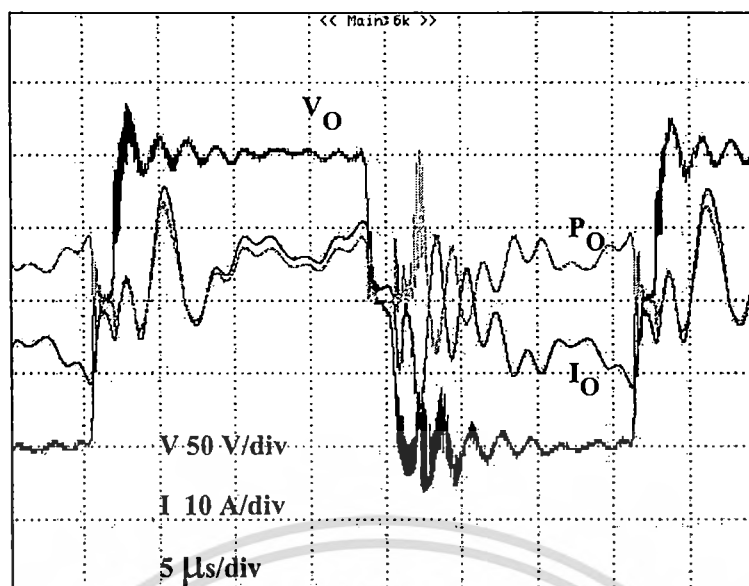
$$P_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o I_o dt \quad (4.2)$$

โดยที่ V_o คือแรงดันสถานะชั่วครู่ (instantaneous) และ I_o คือ กระแสสถานะชั่วครู่ การวัดค่าแรงดันและกระแส ได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป (YOKOGAWA DL1620) แล้วใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ ในการหาค่ากำลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



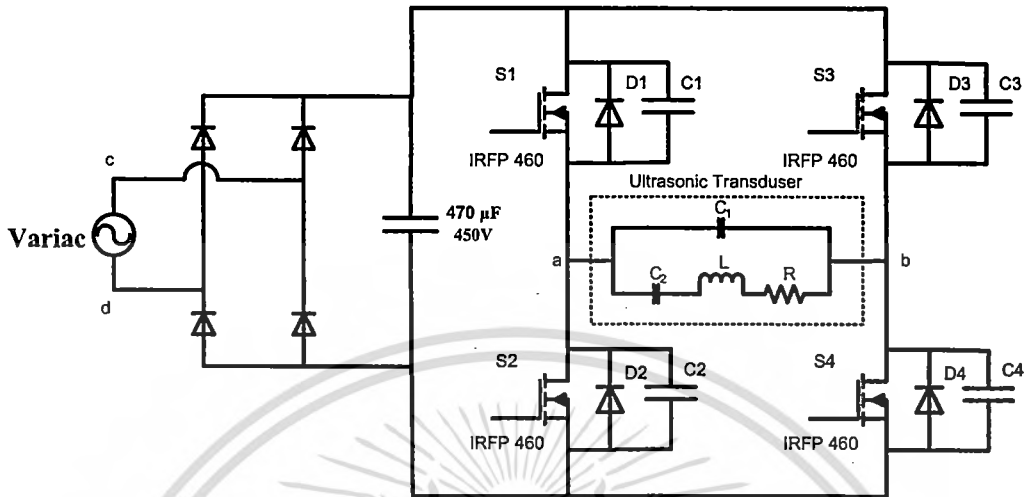
(c)

รูปที่ 4.6 รูปแรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณแบบ

(a) PWM (b) PS-PWM (c) PDM

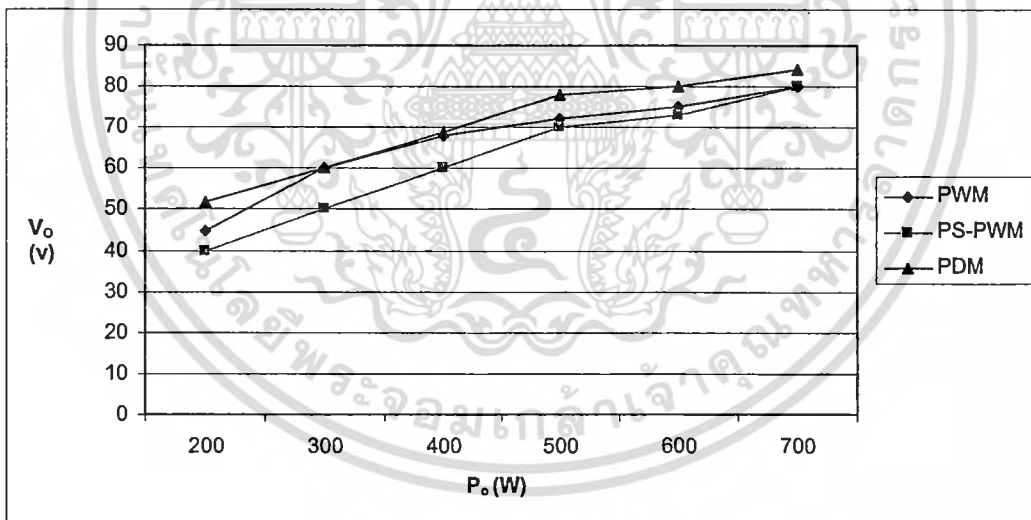
จากนั้นทำการวัด โดยการเพิ่ม ค่าแรงดันเพื่อดูค่ากำลังงาน ไฟฟ้าที่ออกมาของแต่ละรูปคลื่น โดยแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 โดยที่ V_{in} , I_{in} คือแรงดันและกระแสขาเข้าของวงจรเรกติไฟเออร์จุด cd จากรูปที่ 4.7 และ V_o , I_o คือแรงดันและกระแสของเอาต์พุต (โหลด) ของวงจรอินเวอร์เตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของจุด ab จากรูปที่ 4.6 และก็ทำการวัดเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ได้จากการควบคุมรูปแบบคลื่นทั้งสามแบบ ที่กำลังไฟฟ้าต่างๆกันที่ได้จากรูปที่ 4.6 จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9



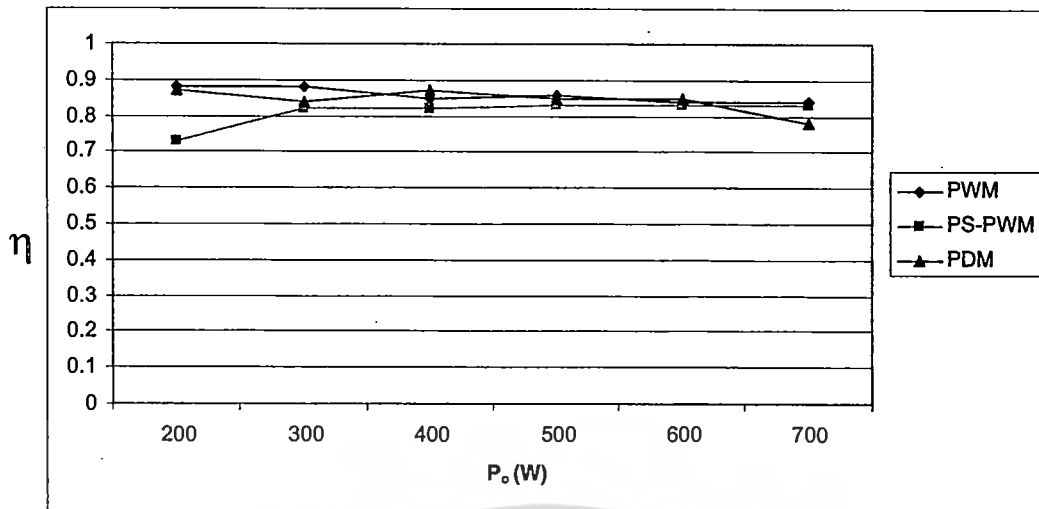
รูปที่ 4.7 รูปวงจรที่วัดค่า

4.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่แรงดันต่างๆ

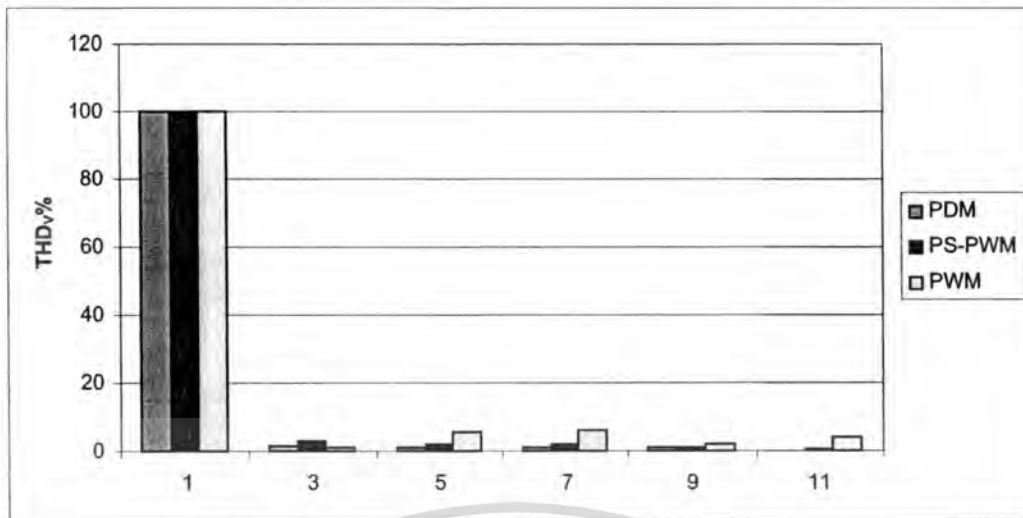
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



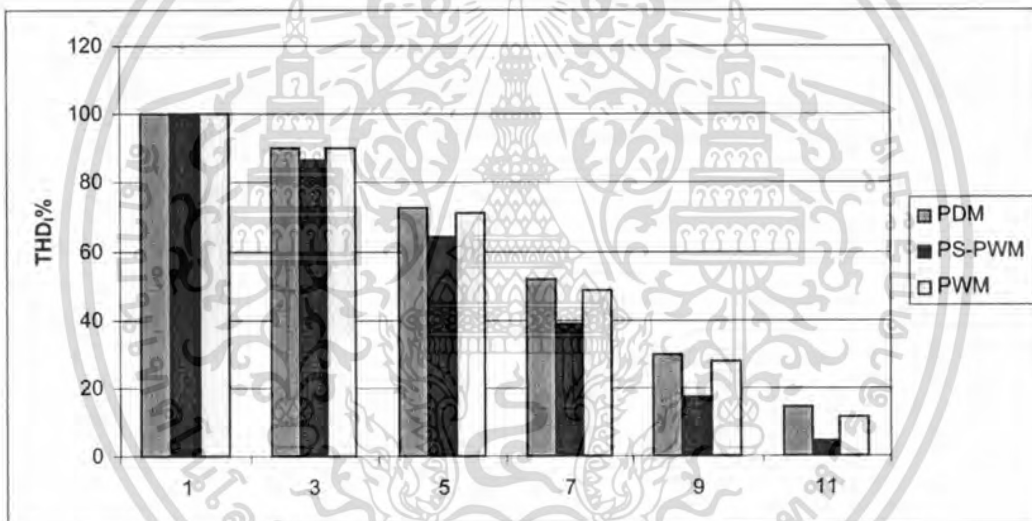
รูปที่ 4.9 ค่าประสิทธิภาพกับกำลังงานไฟฟ้าต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ที่กำลังงานไฟฟ้าที่เท่ากันของรูปสัญญาณทั้ง 3 แบบ รูปแบบ PDM ให้แรงดันเอาต์พุตมากกว่าทุกรูปคลื่น เนื่องจากค่าเฉลี่ยกระแสเอาต์พุตสูงกว่าจากการมีช่วงหยุดนำกระแส 2 คาบเวลาใน 18 คาบเวลา ในรูปที่ 4.9 ในกำลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 300 วัตต์ขึ้นไป รูปสัญญาณทั้ง 3 แบบ มีค่าประสิทธิภาพแตกต่างกัน 5-10% โดยประมาณ เนื่องจากผลจากฮาร์มอนิกของแรงดัน และกระแสที่เกิดขึ้นจากทางโหลด และไหลย้อนกลับไปทางแหล่งจ่ายเป็นผลทำให้รูปคลื่นแรงดัน และกระแสมีค่าสูงขึ้นและผิดเพี้ยนไปจากเดิมทำให้ประสิทธิภาพที่ออกมาจึงมีค่ามากกว่าความเป็นจริง และไม่แตกต่างกัน ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 เรื่องฮาร์มอนิกและผลกระทบที่เกิดจากฮาร์มอนิก

จากนั้นทำการวัดค่าฮาร์มอนิก (Harmonic) โดยใช้ เครื่องมือวัด Fluke 43B วัดทางด้านเอซีไลน์ออกมาได้ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 การวัดค่าฮาร์มอนิกจะเห็นได้ว่า ในการวัดที่แรงดัน รูปคลื่น PDM จะมีค่าแอมพลิจูดน้อยกว่าทุกรูป และในการวัดที่กระแส รูปคลื่น PS-PWM มีค่าแอมพลิจูดน้อยกว่าทุกรูป



รูปที่ 4.10 วัดค่าฮาร์มอนิกของแรงดันเอซีอินพุท



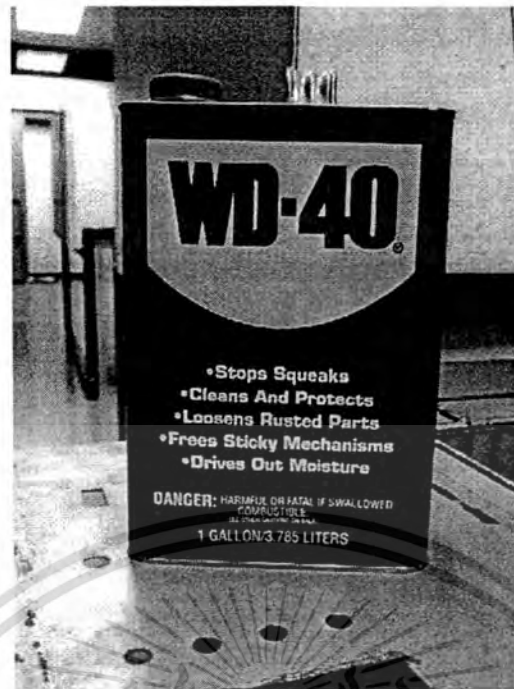
รูปที่ 4.11 วัดค่าฮาร์มอนิกของกระแสเอซีอินพุท

โดยที่ $THD_v\%$ ของแรงดันอินพุทเอซีไลน์สำหรับหัวอัลตราโซนิคเมื่อถูกกระตุ้นด้วย สัญญาณ PWM = 100, 0.8, 5.3, 6.2, 1.9, 4 PS-PWM = 100, 2.8, 2.2, 1.8, 1.2, 0.4 และ PDM = 100, 1.4, 1.1, 1.1, 0.9, 0.2 $THD_i\%$ ของกระแสอินพุทเอซีไลน์สำหรับหัวอัลตราโซนิคเมื่อถูก กระตุ้นด้วย สัญญาณ PWM = 100, 90.1, 71.2, 48.6, 28.1, 11.6 PS-PWM = 100, 86.8, 64, 38.9, 17.5, 4.6 และ PDM = 100, 89.9, 72.6, 51.7, 29.7, 14.5 ที่ $n = 1, 3, 5, 7, 9, 11$ ตามลำดับ

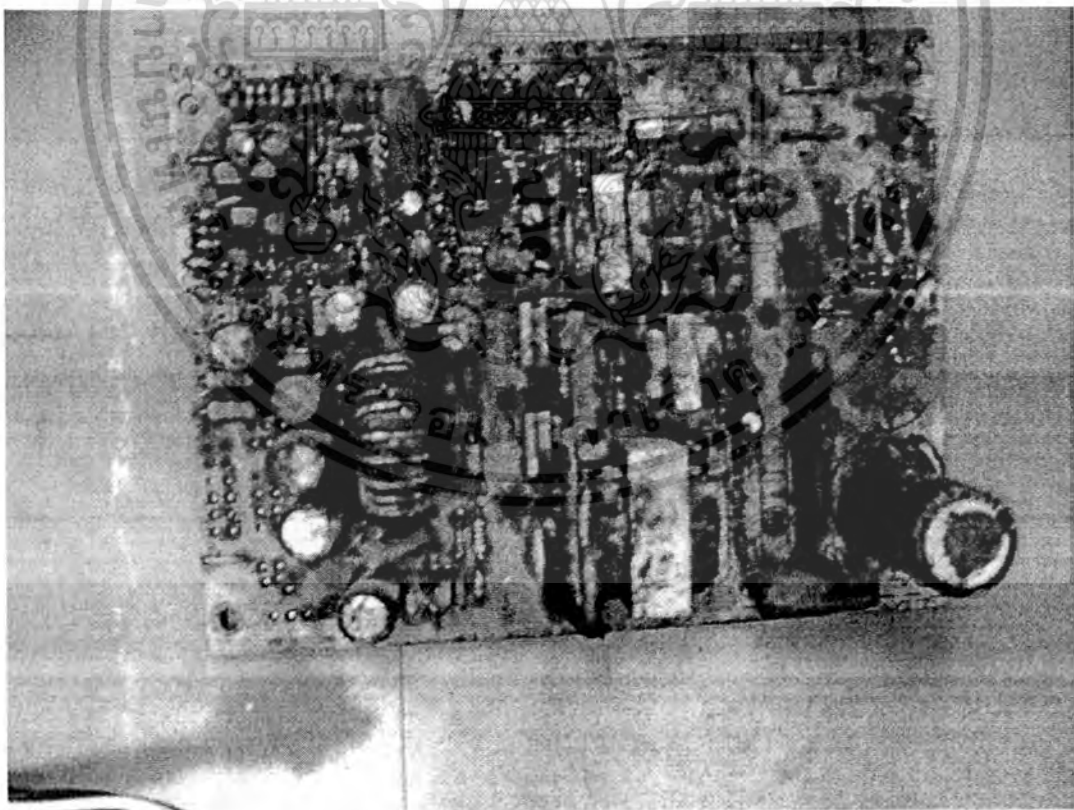
จากนั้นได้ทำการชำระล้างบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 15x18 เซนติเมตร 3 แผง ซึ่งมี อุปกรณ์บนบอร์ดดังแสดงในรูปที่ 4.13 และมีน้ำยาที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 4.12 ซึ่งใช้น้ำยา

3.785 ลิตร [9] ในถังขนาด 40 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 น้ำมันที่ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้



รูปที่ 4.13 บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ชำระล้างในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการวัดความสกปรกโดยได้นำบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 15x18 เซนติเมตร นำฝุ่นมาใส่แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปชำระล้าง เป็นเวลา 15 นาทีแล้วเป่าให้แห้ง และจึงนำมาชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.14 รูปข้างบนคือน้ำหนักก่อนไปชำระล้าง รูปด้านล่างคือน้ำหนักชำระล้างแล้ว โดยครั้งแรกชั่งน้ำหนักที่มีฝุ่นได้ 158.06 กรัม แล้วจึงนำไปชำระล้างแล้วเป่าให้แห้ง นำมาชั่งน้ำหนักหลังชำระล้างด้วยรูปสัญญาณ PS-PWM ได้น้ำหนัก 151.55 กรัม ครั้งที่สองชั่งน้ำหนักที่มีฝุ่นได้ 159.36 กรัม แล้วจึงนำไปชำระล้างแล้วเป่าให้แห้ง นำมาชั่งน้ำหนักหลังชำระล้างด้วยรูปสัญญาณ PDM ได้น้ำหนัก 151.30 กรัม ครั้งที่สามชั่งน้ำหนักที่มีฝุ่นได้ 158.05 กรัม แล้วจึงนำไปชำระล้างแล้วเป่าให้แห้ง นำมาชั่งน้ำหนักหลังชำระล้างด้วยรูปสัญญาณ PWM ได้น้ำหนัก 152.19 กรัม

จากการทดลองน้ำหนักที่หายไป หลังจากชำระล้าง โดยรูปสัญญาณ PS-PWM, PDM และ PWM คือ 6.51, 8.06, และ 5.86 กรัมตามลำดับและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองที่ได้ PDM จะได้ดีที่สุด รองลงมาคือ PS-PWM และ PWM ตามลำดับซึ่งเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่นำมาชำระล้างชนิดผิวไม่เรียบ ซึ่งจากการใช้สัญญาณแบบ PS-PWM ก็ทำให้ผลการชำระล้างดีกว่าแบบเดิมคือ PWM แต่เนื่องจากเมื่อปรับเลื่อนเฟสออกไปเยอะ กำลังงานไฟฟ้าที่โหลดก็จะตกลงต้องมีการปรับแรงดันเพิ่ม เมื่อจำเป็นต้องปรับเยอะเพื่อต้องการกระบวนการทำความสะอาดที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาชำระล้างนั้นก็ควรใช้แบบ PDM จะเหมาะกว่าแต่จะไม่มีการหมุนเวียนของสารตัวกลางที่ใช้ทำความสะอาด เนื่องจากแบบ PDM จะเกิดอิมโพลชันน้อยกว่าซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เรื่องกระบวนการทำความสะอาด

ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดความสกปรกก่อนและหลังชำระล้างเปรียบเทียบกันทั้งสามรูปแบบสัญญาณ

	น้ำหนัก (กรัม)				อุปกรณ์เปล่าๆ	%
	ก่อนชำระล้าง	หลังชำระล้าง	ฝุ่นที่หายไป	ความสะอาด		
PS-PWM	158.06	151.55	6.51	149.89	79.68	
PWM	158.05	152.19	5.86	149.89	71.81	
PDM	159.36	151.3	8.06	149.89	85.11	



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

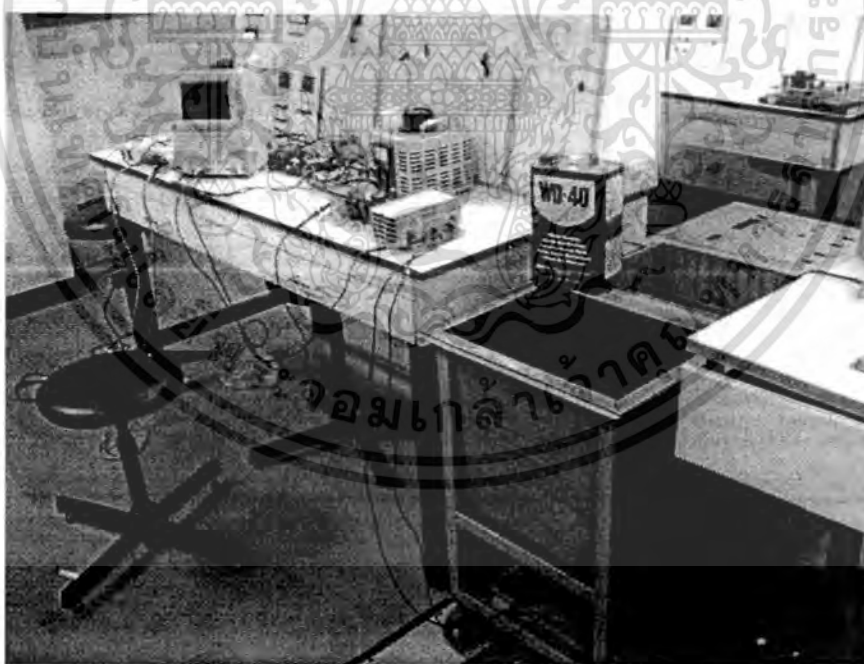
รูปที่ 4.14 รูปชั่งน้ำหนักก่อนชำระล้าง และน้ำหนักหลังชำระล้าง

(a) PS-PWM (b) PDM (c) PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุป

รูปที่ 4.15 คือเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ในทดลองนี้ จากการทดลองโดยป้อนรูปสัญญาณเพื่อสร้างคลื่นอัลตราโซนิก แบบต่อเนื่อง (PWM) และแบบไม่ต่อเนื่อง (PWM แบบเลื่อนเฟส และ PDM) นั้น จากปฏิกิริยากระบวนการทำความสะอาดจะเห็นได้ว่า เมื่อป้อนสัญญาณแบบ PWM และ PWM แบบเลื่อนเฟส จะเห็นว่าของเหลวเกิดการแกว่งตัว และมีฟองอากาศ ต่างกับ PDM ซึ่งของเหลวจะนิ่งแต่มีฟองอากาศมากกว่า เกิดฟองอากาศเร็วกว่า ซึ่งคลื่น 2 แบบแรก ต้องใช้เวลาเกือบครึ่งชั่วโมงถึงจะเกิดฟองอากาศ แต่ PDM ใช้เวลาแค่ 5 นาทีก็เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า และมีจำนวนมากกว่า ซึ่งแบบ PDM เหมาะแก่อุปกรณ์ที่ผิวไม่ราบเรียบ แต่จะไม่มี การหมุนเวียนของน้ำยาทำความสะอาด แบบ PWM และ PWM แบบเลื่อนเฟส เหมาะแก่การทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ผิวราบเรียบ และต้องการหมุนเวียนน้ำยาทำความสะอาด ซึ่งการใช้สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของรูปสัญญาณ PWM แบบเลื่อนเฟส กระบวนการเกิดฟองอากาศไม่เหมือนกับ PDM เพราะว่าการหยุดการสร้างคลื่นของ PWM แบบเลื่อนเฟสหยุดแล้วสร้างอย่างนี้ไปเรื่อยๆ แต่ PDM สร้างไปเรื่อยๆแล้วหยุดนานกว่า ทำให้ควาเวชันขุดตัวลงทำให้เกิดการอิมโพลชันน้อยกว่า ทำให้ไม่มีการหมุนเวียนของสารตัวกลางที่ใช้ทำความสะอาด



รูปที่ 4.15 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก อุปกรณ์ที่สำคัญคืออัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ เพื่อทำให้เกิดคลื่นความถี่ย่านอัลตราโซนิก เพื่อส่งผ่านตัวกลางของเหลว ทำให้เกิดกระบวนการทำความสะอาดเกิดขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ความถี่ย่านที่ใช้ทำความสะอาดคือ ช่วงความถี่ 20 kHz – 50 kHz ซึ่งแต่ละความถี่ก็เหมาะกับงานทำความสะอาดอุปกรณ์แต่ละประเภท อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะทำงานก็ต่อเมื่อ วงจรขับหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สร้างรูปสัญญาณไซน์, รูปสัญญาณสี่เหลี่ยม หรือ รูปสัญญาณพัลส์ ให้มีความถี่เท่ากับความถี่เรโซแนนท์ทางกลของหัวนั้น

การสร้างรูปสัญญาณที่นำมาใช้ในการขับหัวอัลตราโซนิก ได้มาจากตัวไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC โดยการเขียนโปรแกรมในการสร้างรูปสัญญาณทั้งสามแบบ แล้วส่งให้วงจรขับเกตมอสเฟตของวงจรภาคกำลัง เพื่อขับโหลด (หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์) จำนวน 10 หัว โดยการทดลองนี้ เลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อง่ายต่อการสร้างสัญญาณทั้งสามแบบ และไม่มีผลกับการเลือกใช้สัญญาณไหนในการทำความสะอาด

ในรายงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอ วิธีการป้อนคลื่นสัญญาณอีกสองชนิดให้กับหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการนำไปปรับใช้กับอุปกรณ์ที่จะนำมาชำระล้างให้เหมาะสม จากแต่เดิมที่ใช้คลื่นแบบ PWM เพียงอย่างเดียว ถ้าจะให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะกับ อุปกรณ์ที่มีซอกเล็กซอกน้อยก็จะต้องเปลี่ยนหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ให้มีความถี่สูงขึ้น และต้องสร้างสัญญาณที่มีความถี่สูงเท่ากับความถี่เรโซแนนท์ของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ด้วยซึ่งถ้ามีสัญญาณแบบ PDM ไปใช้ก็จะใช้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เพียงความถี่เรโซแนนท์เดียวแต่ปรับใช้ได้กับหลายอุปกรณ์ที่จะนำมาชำระล้าง

วิธีการที่นำเสนอในรายงานวิจัยฉบับนี้เป็นเทคนิคหนึ่งเท่านั้นที่ช่วยในการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกให้สามารถนำไปใช้ ชำระล้างอุปกรณ์ได้หลากหลายชนิดขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องมีหลายเครื่อง หลายความถี่เรโซแนนท์ของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โดยนำเครื่องเก่าที่มีอยู่เดิมนำมาปรับปรุง ตัวสร้างสัญญาณให้เป็นแบบ PDM หรือ PS-PWM

ในการทดลองได้ป้อนสัญญาณทั้งสามรูปแบบเพื่อเปรียบเทียบกัน โดยได้วัดค่ากำลังงานเฉลี่ยเอาต์พุต รูปสัญญาณ ค่าฮาร์มอนิก และผลการทดลอง ดังที่ได้แสดงไว้ในบทผลการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง โดยป้อนรูปสัญญาณเพื่อสร้างคลื่นอัลตราโซนิก แบบต่อเนื่อง (PWM) และแบบไม่ต่อเนื่อง (PS-PWM และ PDM) นั้น จากปฏิกิริยากระบวนการทำความสะอาดจะเห็นได้ว่า เมื่อป้อนสัญญาณแบบ PWM และ PS-PWM จะเห็นว่าของเหลวเกิดการแกว่งตัว และมีฟองอากาศ ต่างกับ PDM ซึ่งของเหลวจะนิ่งแต่มีฟองอากาศมากกว่า เกิดฟองอากาศเร็วกว่า ซึ่งคลื่น 2 แบบแรก ต้องใช้เวลาเกือบครึ่งชั่วโมงถึงจะเกิดฟองอากาศ แต่ PDM ใช้เวลาแค่ 5 นาทีก็เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า และมีจำนวนมากกว่า ซึ่งการใช้สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องของรูปสัญญาณ PWM แบบเลื่อนเฟส กระบวนการเกิดฟองอากาศ ไม่เหมือนกับ PDM เพราะว่าการหยุดการสร้างคลื่นของ PWM แบบเลื่อนเฟสหยุดแล้วสร้างอย่างนี้ไปเรื่อยๆ แต่ PDM สร้างไปเรื่อยๆ แล้วหยุดนานกว่า ทำให้ควาเวชันยุบตัวลงทำให้เกิดการอิมโพลชันน้อยกว่าตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว ในบทที่ 2 ในเรื่องของกระบวนการในการทำความสะอาด ในการทดลองทำความสะอาด PDM ดีที่สุดในการใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ผิวไม่เรียบ รองลงมาคือ PS-PWM และ PWM ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เป็นเครื่องทำความสะอาดที่มีเสียงดังรบกวน เนื่องจากหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ติดกับตัวถังอะลูมิเนียม และมีการสั่นทำให้ตัวหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ขัดถูกับตัวถังจนเกิดมีเสียงดัง ดังนั้นควรจะมีการปรับปรุงเรื่องการเก็บเสียงให้ดังน้อยลง โดยการทำให้ตัวถังเป็นระบบปิด แล้วใช้วัสดุเก็บเสียงปิดโดยรอบตัวเครื่อง ตัวถังที่ใช้อยู่เป็นอะลูมิเนียมขนาดความจุได้ 40 ลิตร ตัวโครงสร้างเครื่องเป็นเหล็กทำให้ตัวเครื่องทั้งหมดมีน้ำหนักมากถ้ามีการเปลี่ยนชนิดของตัวถังหรือโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา ก็จะทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และถ้ามีการเพิ่มหัว อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ให้มีจำนวนมากขึ้นก็จะทำให้เวลาในการทำความสะอาดน้อยลง และควรมีการทดลองเรื่องผลจากค่าเดดไทม์ของรูปแบบ PWM, PS-PWM และ PDM ซึ่งมีผลต่อกระบวนการทำความสะอาด

บรรณานุกรม

- [1] A. Jangwanitlert, P. Paisuwana and T. Vijaktakul, "Ultrasonic cleaner", Proc. in EECON 22, Kasetsart University, Vol 22, 2542.
- [2] H. Fujita and H. Akagi, "Control and Performance of a Pulse-Density-Modulated Series-Resonant Inverter for Corona Discharge Processes", IEEE Trans. on Industry Application, 1999, Vol. 35, pp. 621-627.
- [3] H. Kifune, Y. Hatanaka and M. Nakaoka, "Cost effective phase shifted pulse modulation soft switching high frequency inverter for induction heating applications", Proc. IEE Electrical Power Appl., 2004, Vol. 151, pp. 19-25.
- [4] <http://www.caebblackstone.com/technical.html>, CAE Blackstone co., Ltd. , Jamestown NY, 1998.
- [5] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
- [6] Wagner, V.E.; Balda, J.C.; Griffith, D.C.; McEachern, A.; Barnes, T.M.; Hartmann, D.P.; Phileggi, D.J.; Emmanuel, A.E.; Horton, W.F.; Reid, W.E.; Ferraro, R.J.; Jewell, W.T.; "Effects of harmonics on equipment", IEEE Transaction on Power Delivery, April 1993, Vol.8, No.2, pp.672-680
- [7] N. Pakdeechart, N. Wongsuntornchai and C. Reimpornjitwirai, "Basic dsPIC Microcontroller with C Programming (MPLAB C30)", Innovative experiment co., Ltd. , 2004
- [8] Belincourt, don. "Ultrasonic transducer materials." New-York, Plenum press, 1971.
- [9] <http://www.wd40.com>, WD-40 company co., Ltd. , California USA, 2007

ส่วนที่ 2

สามารถพิจารณาการจับหัวทธานสตีวเซอร์ เพียง 1 หัว และสามารถทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนเนื้อหาการออกแบบในบทที่ 3 การทดลองเพิ่มเติมในบทที่ 4 และบทสรุป ในบทที่ 5 ได้



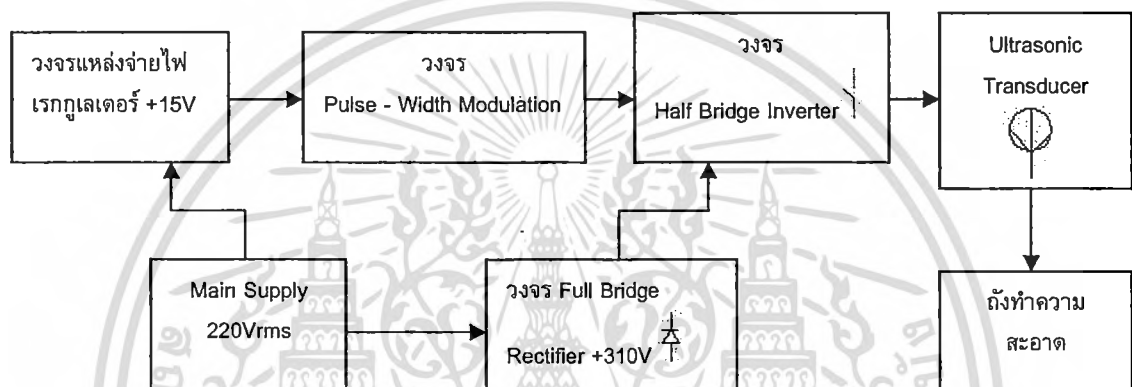
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบวงจรเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิก

3.1 บทนำ

ในส่วนนี้ได้ออกแบบเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของหัวอัลตราโซนิกและวงจรควบคุม ส่วนต่อมาเป็นการออกแบบไดอะแกรม (Diagram) ของถังทำความสะอาด โดยโครงสร้างของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกมีส่วนประกอบและหลักการทำงานของวงจรดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานรูปที่ 3.1

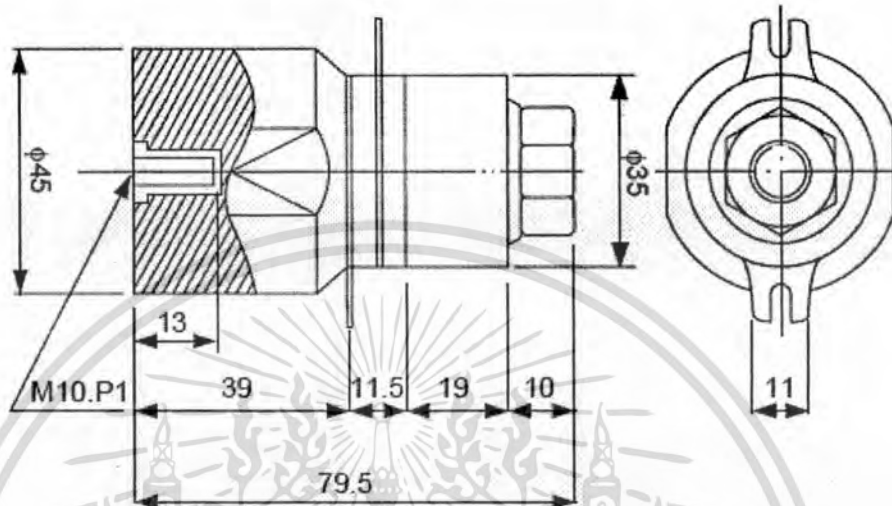


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของระบบอัลตราโซนิก

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายหลักการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิก ดังนี้ เริ่มจากใช้แหล่งจ่ายไฟ 220V 50Hz จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าเพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรง ซึ่งมีอยู่สองชุด ชุดแรกเป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟ +15V เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงวงจรควบคุม มอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse - Width Modulation) และวงจรขับเคลื่อน ชุดที่สองเป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟ +310V เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงวงจรภาคกำลัง (Half Bridge Inverter) การสร้างสัญญาณ Pulse ต้องสร้างสัญญาณที่ความถี่รีโซแนนซ์ของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ 28kHz แล้วปรับความถี่ค่าต่างๆ เพื่อส่งต่อไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์เพื่อสร้างสัญญาณให้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ทำให้หัวอัลตราโซนิกเกิดการสั่นด้วยความถี่รีโซแนนซ์ถ่ายเทพลังงานไปที่ตัวถัง ทำให้เกิดกระบวนการทำความสะอาดที่ภายในถังบรรจุของเหลวที่ใช้ทำความสะอาดซึ่งได้กล่าวในบทที่ 2 ถึงกระบวนการทำความสะอาดที่เกิดขึ้นและการสร้างคลื่นความถี่ย่านอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

3.2 หัวอัลตราโซนิกที่ใช้

การออกแบบจะเลือกหัวอัลตราโซนิกที่มีรายละเอียดดังนี้ เลือกใช้หัวอัลตราโซนิกที่มีขนาดความถี่โซนแนซเท่ากับ 28 kHz 70W แรงดันที่ใช้ 150AC Volt 0.25Amp อุณหภูมิไม่เกิน 80°C มีไดอะแกรมของหัวอัลตราโซนิกดังรูปที่ 3.2 จำนวนที่ใช้ 1 หัวติดตั้งได้ถึงที่ใส่ของเหลว



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมของหัวอัลตราโซนิก

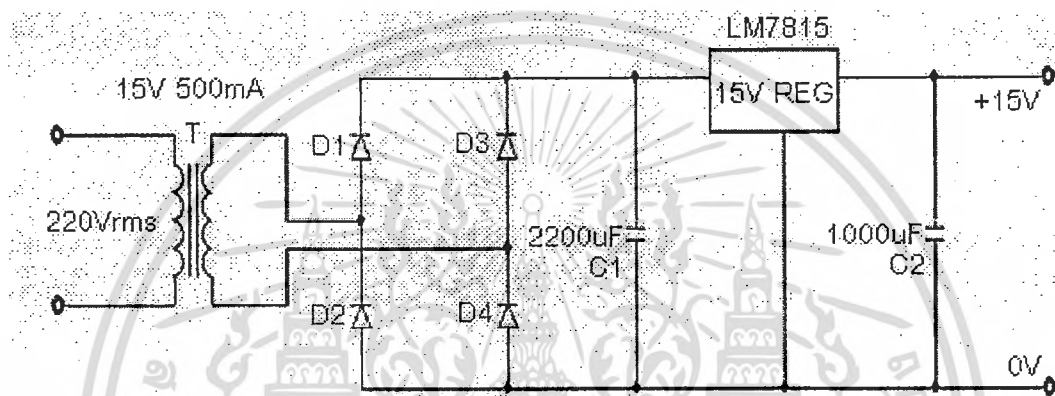
การออกแบบเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์และวงจรขั้วเกิด
2. วงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์
3. วงจรขั้วเกิดของเพาเวอร์มอสเฟส
4. แหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง
5. วงจรภาคกำลัง (Half Bridge Inverter)
6. ไดอะแกรมของถังทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์และวงจรขับเกต

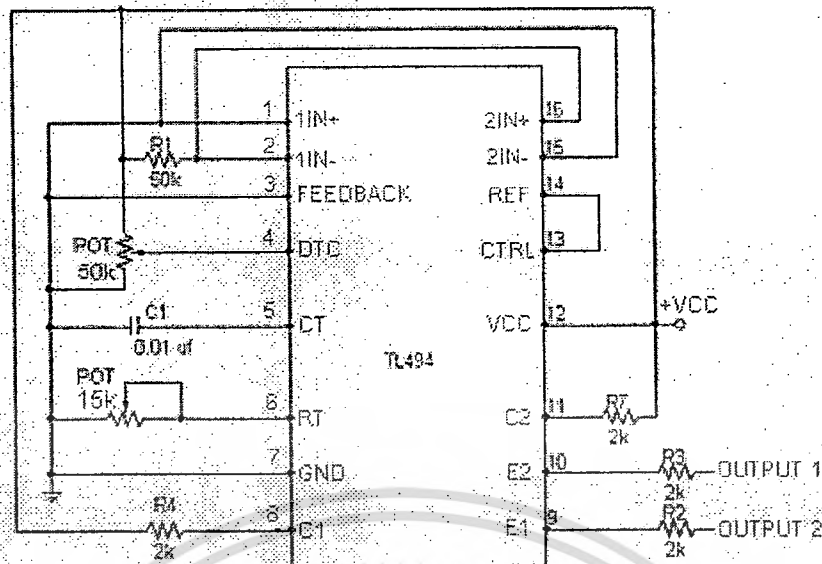
แหล่งจ่ายไฟ +15V สำหรับวงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์และวงจรขับเกตของ มอสเฟส ได้จากวงจรแหล่งจ่ายไฟใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM7815 เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ ออกมามีความเรียบและต่อเนื่องใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจร การทำงานของวงจรมีดังนี้ เมื่อจ่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าหม้อแปลงจะมีแรงดันไฟสลับที่ต้องการออกมาจากหม้อแปลง แรงดันไฟสลับนี้จะถูกเรียงกระแสโดยไดโอดแปลงเป็นไฟตรงซึ่งถูกต่อแบบบริดจ์จากนั้นจะผ่าน การกรองแรงดันให้เรียบขึ้นโดยตัวเก็บประจุและถูกทำให้แรงดันคงที่ด้วยไอซีเรกกูเลเตอร์ โดย วงจรแหล่งจ่ายไฟแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์และวงจรขับเกต

3.4 วงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์

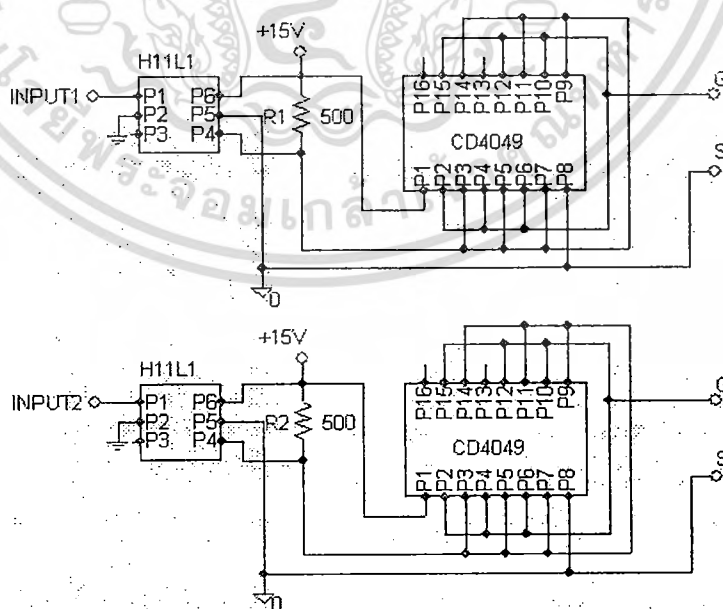
วงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมในส่วนนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไปขับนำเกตของ มอสเฟตกำลังทั้งสองชุดในวงจรคอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะต้องควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงช่วงจังหวะเวลาการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อให้ได้รูปคลื่นของแรงดันทางด้าน เออด์พุตที่ต้องการ วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้คือ เบอร์ TL 494 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยจะ รับแรงดัน 15 V เข้าที่ขา 12 และวงจร RC จะสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมพื้นเลื้อยออกมาเพื่อนำ สัญญาณที่ได้ไปมอดูเลตกับสัญญาณบ้อนกลับที่ได้จากวงจรของภาคขยายความต่างแล้วจะได้ สัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 9 และขา 10 โดยรูปคลื่นที่ได้ออกมานั้นจะมีความต่างเฟสกัน



รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์

3.5 วงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟต

วงจรขับเคลื่อนนี้จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าไปขับให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงาน โดยรับสัญญาณควบคุมการทำงานจากวงจรกำเนิดสัญญาณและผ่านไอซีออปโต เบอร์ H11L1 เพื่อทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างวงจรถูกกำเนิดสัญญาณควบคุมกับวงจรภาคกำลัง ผ่านไอซีขยายแรงดันและกระแส เบอร์ CD4049 เพื่อขยายสัญญาณให้แรงขึ้นพอที่จะสามารถขับแรงดันป้อนให้ขาเกตของมอสเฟตได้ แสดงดังรูปที่ 3.5

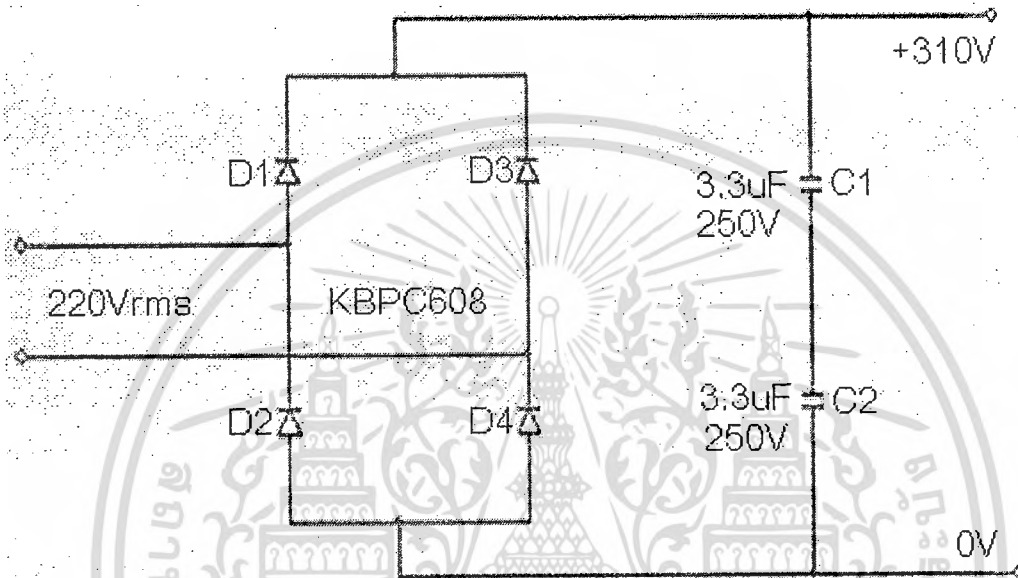


รูปที่ 3.5 วงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง

แหล่งจ่ายไฟของระบบจะประกอบไปด้วยวงจรเรกติไฟเออร์และวงจรกรองแรงดัน โดยจะรับแรงดันไฟจากแหล่งจ่ายไฟ 220V 50Hz 1Phase เพื่อทำการเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง 310V จ่ายไฟให้ชุดวงจรภาคกำลังเพื่อใช้ขับหัวทราวนสตีวเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟภาคกำลัง

3.7 วงจรภาคกำลัง (Half Bridge Inverter)

เป็นวงจรแปลงผันไฟตรง แบบฮาล์ฟบริดจ์ในรูปที่ 3.7 เพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 2 ตัวจะสลับการทำงานโดย Q1 จะนำกระแสก่อนในสัญญาณช่วงครึ่งคาบแรก ส่วนในครึ่งคาบหลัง Q2 จะนำกระแสแทน ส่วน Q1 หยุดนำกระแสทำให้แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีค่ายอดถึงยอดเท่ากับแรงดันไฟตรงที่ป้อนเลี้ยงวงจรในภาคกำลัง และมีความถี่เท่ากับการทำงานของ PWM, PWM long pulse, PWM short pulse ที่ขับเกตให้กับเพาเวอร์มอสเฟตทำงาน ในการเลือกพิกัดของเพาเวอร์มอสเฟตจะใช้วิธีพิจารณาแรงดันที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์ และกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ โดยเลือกใช้พิกัดของเพาเวอร์มอสเฟตที่มีพิกัดแรงดันสูงสุด 500V พิกัดกระแสสูงสุดเท่ากับ 20A ใช้มอสเฟสเบอร์ IRFP 460 ซึ่งมีพิกัดแรงดันและกระแสเพียงพอต่อการขับโหลดหัวทราวนสตีวเซอร์

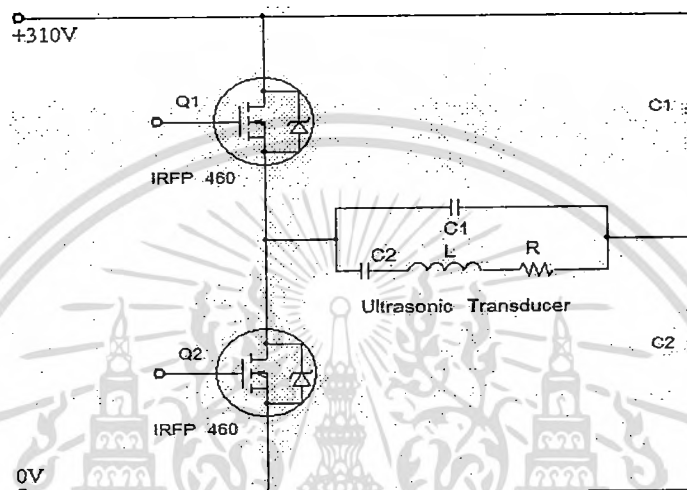
สูตรการคำนวณแรงดัน Output ภาคกำลังมี 2 สภาวะดังนี้

$$\text{สภาวะที่ 1} \quad \frac{V_{DC}}{2} - V_{ds(sat)}$$

$$\text{สภาวะที่ 2} \quad -\left(\frac{V_{DC}}{2} - V_{ds(sat)}\right)$$

เมื่อ V_{DC} คือ แรงดัน Input (V)

$V_{ds(sat)}$ คือ แรงดันตกคร่อมมอสเฟส (V)



รูปที่ 3.7 วงจรภาคกำลัง (Half Bridge Inverter)

สาเหตุที่เลือกใช้มอสเฟสในการขับโหลดหัวทรานสดิวเซอร์จะมีหลักการเลือกดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบความสามารถของอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง [2]

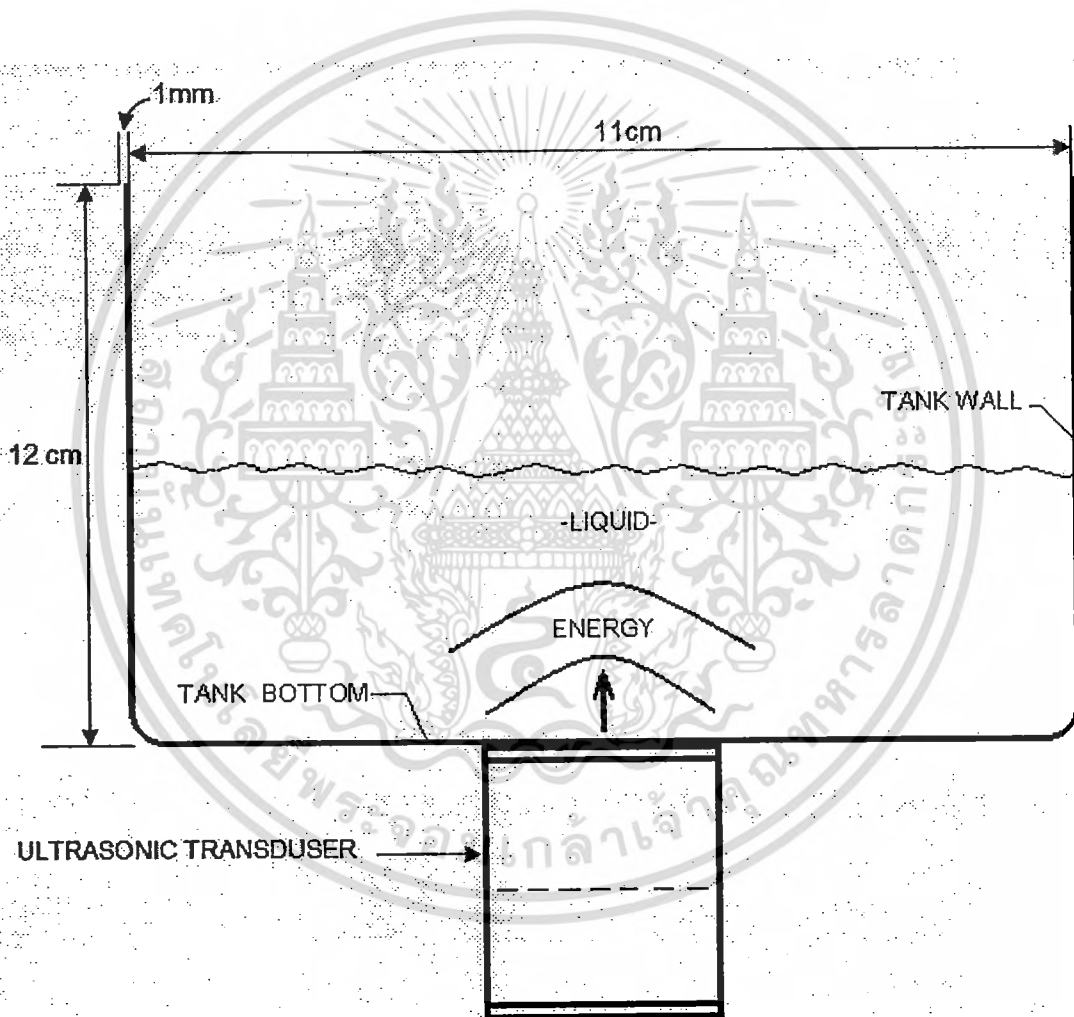
อุปกรณ์	ความสามารถ ส่งผ่านกำลัง	ความเร็วในการ สวิตช์ซิ่ง	ความสามารถ ทนไฟฟ้าลบ	ชนิดการ ควบคุม
จีทีโอ	สูง	ต่ำ	ได้	กระแสไฟฟ้า
บีเจที	กลาง	กลาง	ไม่ได้	กระแสไฟฟ้า
ไอจีบีที	กลาง	กลางและค่อนข้างสูง	ได้	แรงดันไฟฟ้า
มอสเฟสกำลัง	ต่ำ	สูง	ไม่ได้	แรงดันไฟฟ้า

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่ามอสเฟสกำลังสามารถตอบสนองความต้องการของวงจรภาคกำลังของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิคได้ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของหัวทรานสดิวเซอร์ คือ มีขนาดความถี่โซแนนซ์เท่ากับ 28 kHz กำลังไฟฟ้า 70W แรงดันที่ใช้ 150AC Volt 0.25Amp นอกจากนี้มอสเฟสกำลังยังมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์สวิตช์ชนิดอื่นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ไตอะแกรมตัวถังทำความสะอาด

ส่วนของไตอะแกรมตัวถังทำความสะอาดมีหลักการออกแบบ คือ การใช้กำลังวัตต์ของอัลตราโซนิกที่เหมาะสม คือ อย่างน้อย $UL\text{-Power watts} = 0.8 \text{ W/Sq.cm.}$ และให้ดีที่สุดคือ 1.6 W/Sq.cm และมากที่สุดที่ทำได้ไม่จำกัด โดยส่วนมากที่ทำขายกันเกือบทุกยี่ห้อ ทั้งในและต่างประเทศ อยู่ที่ $0.3 - 0.5 \text{ W /Sq.cm.}$ เท่านั้น ซึ่งคำนวณโดย เอากำลังวัตต์ตั้งหารด้วยพื้นที่ Sq.cm. [5] ดังนั้น ขนาดของไตอะแกรมตัวถังทำความสะอาดที่ออกแบบคือกำลังของหัวทรานสดิวเซอร์เท่ากับ 70 W ความกว้างของถังเท่ากับ 11cm ยาวเท่ากับ 11cm และสูงเท่ากับ 12cm ดังนั้นกำลัง ต่อ 1 Sq.cm เท่ากับ $70 \text{ W}/(11 \times 11) = 0.57 \text{ W/Sq.cm.}$ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ไตอะแกรมตัวถังทำความสะอาด

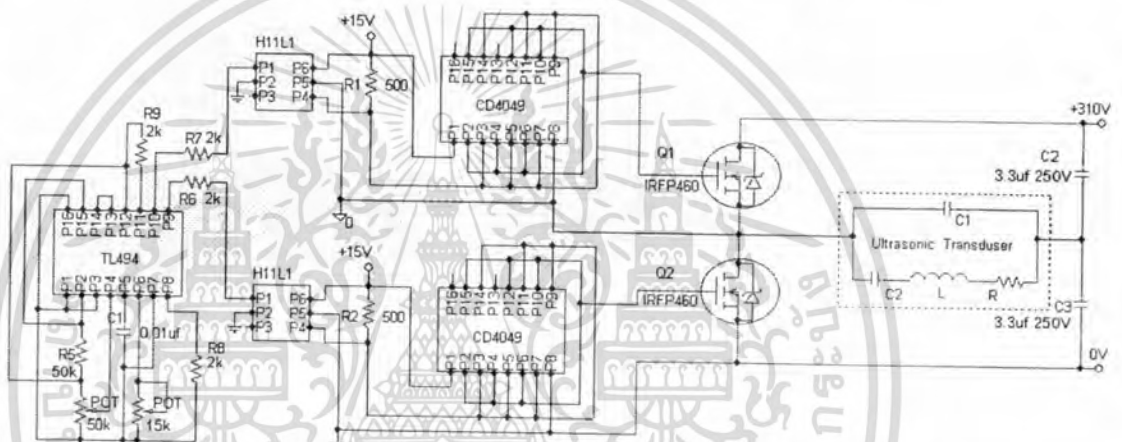
บทที่ 4

ทดสอบและเก็บผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาทำการทดสอบซึ่งการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่ การทดสอบสัญญาณและการทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิก

4.1 การทดสอบสัญญาณ

เมื่อนำวงจรที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาต่อเป็นวงจรก็จะได้วงจรรวมดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรรวมของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิก

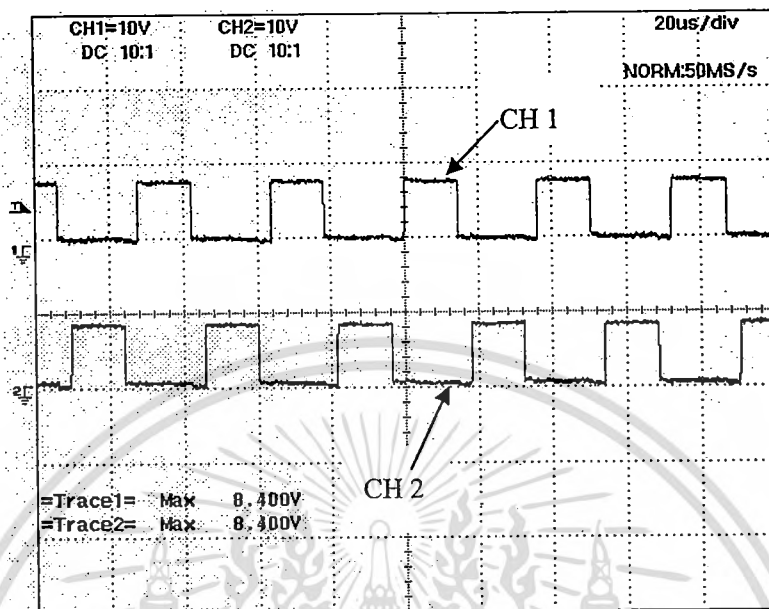
เมื่อนำวงจรดังรูปที่ 4.1 มาออกแบบสร้างเป็นตู้เครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกจะได้ตู้เครื่องดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตู้เครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกที่ประกอบเสร็จแล้ว

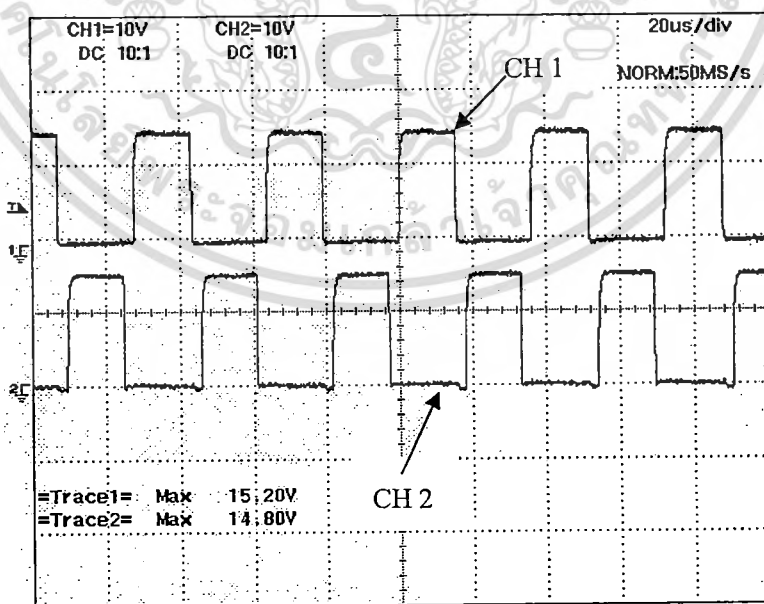
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการทดสอบวัดสัญญาณจากวงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่ขา 9 และขา 10 ของไอซี TL494 จะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัญญาณจากวงจรควบคุมมอดูเลตความกว้างพัลส์

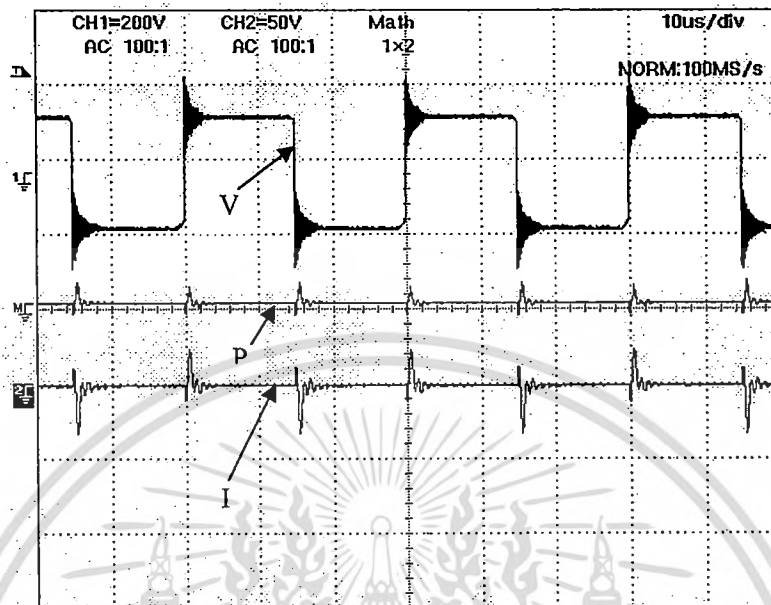
ทำการทดสอบวัดสัญญาณพัลส์ที่ผ่านการขยายสัญญาณโดยวงจรขับเคลื่อนที่ใช้ไอซี CD 4049 เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความแรงพอที่จะสามารถขับเคลื่อนของมอเตอร์ได้ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สัญญาณพัลส์ที่ใช้ขับเคลื่อนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ใช้ในการขับโหลดหัวอัลตราโซนิกรานสตีวเซอร์
แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาท์พุทที่ใช้ในการขับโหลดหัวอัลตราโซนิกรานสตีวเซอร์

สรุปผลการทดสอบสัญญาณ

ผลทดสอบสัญญาณพบว่าสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกมีรูปสัญญาณที่วัดได้มีความสอดคล้องและตรงกับสัญญาณตามทฤษฎีในบทที่ 2 รูปที่ 2.17 (หน้าที่ 21) จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกที่ได้ออกแบบนั้นสามารถทำงานตามเงื่อนไขและทฤษฎี

4.2 การทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่อง

การทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิก โดยใช้วิธีการทดสอบ 3 วิธี คือ

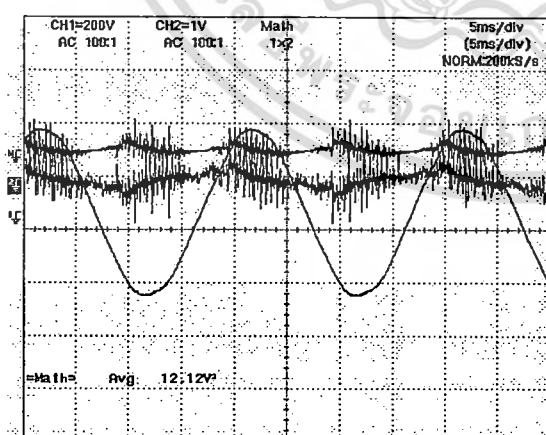
1. การทดสอบโดยใช้วิธีเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ f (Hz) กับ กำลังไฟฟ้า P (W)
2. การทดสอบโดยใช้วิธีเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลา Duty cycle (%) กับกำลังไฟฟ้า P (W)
3. การทดสอบโดยใช้วิธีการล้างวัสดุที่มีความสกปรกเทียบกับระยะเวลา

4.2.1 การทดสอบโดยใช้วิธีเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ f (Hz) กับ กำลังไฟฟ้า P (W)

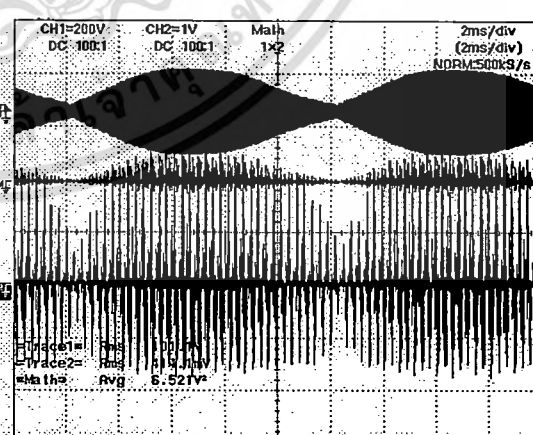
ทำการปรับความถี่ 22-33 kHz ใช้ค่า Duty cycle 40% แล้ววัดกำลังไฟฟ้าอินพุทเทียบกับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุทที่หัวอัลตราโซนิกโดยใช้ Oscilloscope(DL1520) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาความถี่รีโซแนนซ์แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1 ได้สัญญาณเอาต์พุทดังรูปที่ 4.6 (a-j)

ตารางที่ 4.1 ความถี่เทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทกับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุทที่ Duty cycle 40%

ความถี่ (kHz)	กำลังไฟฟ้าอินพุท (W)	กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (W)	ประสิทธิภาพ (%)
22	12	6	50.0
23	20	8	40.0
24	16	7	43.7
25	25	16	64.0
26	28	19	67.8
27	32	20	62.5
28	38	21	55.2
29	26	18	69.2
30	17	7	41.1
31	10	5	50.0
32	12	6	50.0
33	10	5	50.0



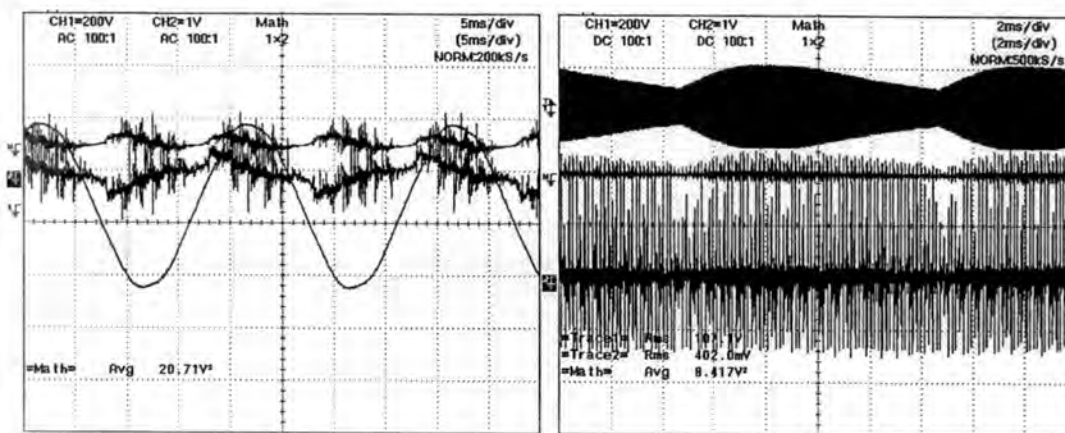
สัญญาณอินพุทที่ความถี่ 22kHz



สัญญาณเอาต์พุทที่ความถี่ 22kHz

(a) สัญญาณอินพุทและเอาต์พุทที่ความถี่ 22kHz

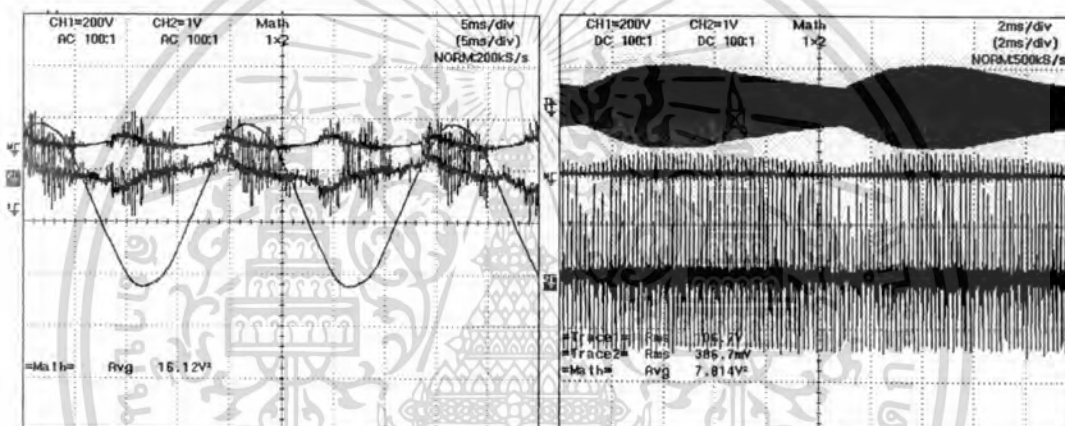
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 23kHz

สัญญาณเอาต์พุตที่มีความถี่ 23kHz

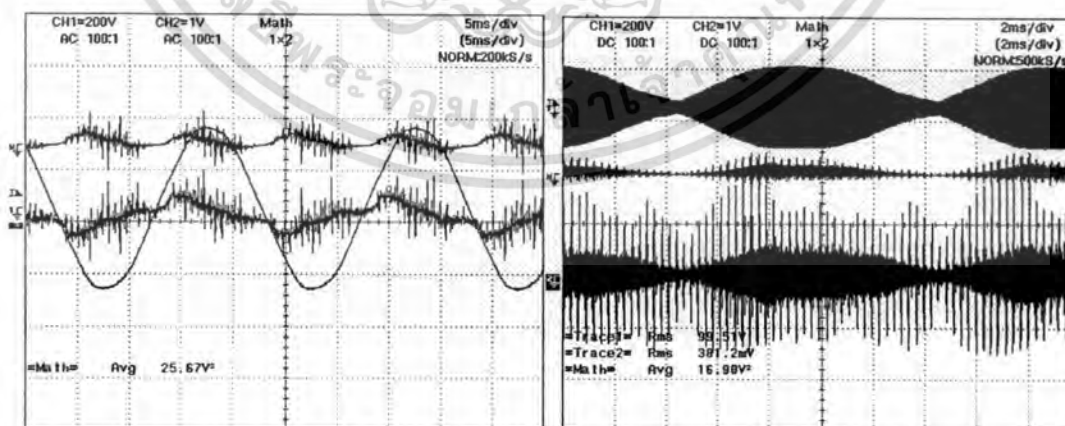
(b) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่มีความถี่ 23kHz



สัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 24kHz

สัญญาณเอาต์พุตที่มีความถี่ 24kHz

(c) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่มีความถี่ 24kHz

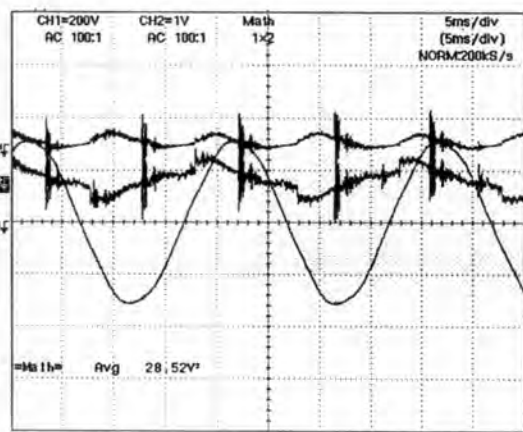


สัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 25kHz

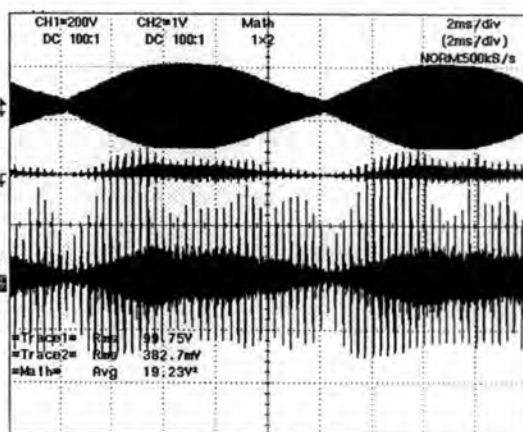
สัญญาณเอาต์พุตที่มีความถี่ 25kHz

(d) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่มีความถี่ 25kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

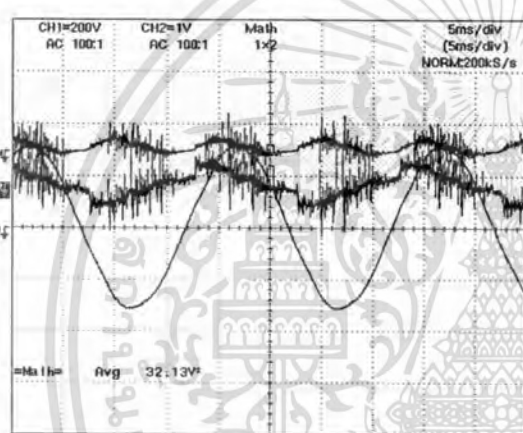


สัญญาณอินพุตที่ความถี่ 26kHz

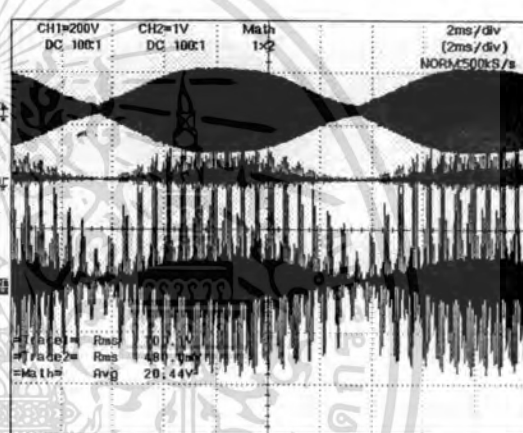


สัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ 26kHz

(e) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 26kHz

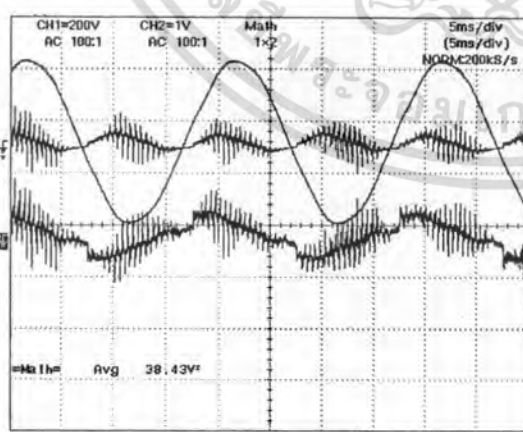


สัญญาณอินพุตที่ความถี่ 27kHz

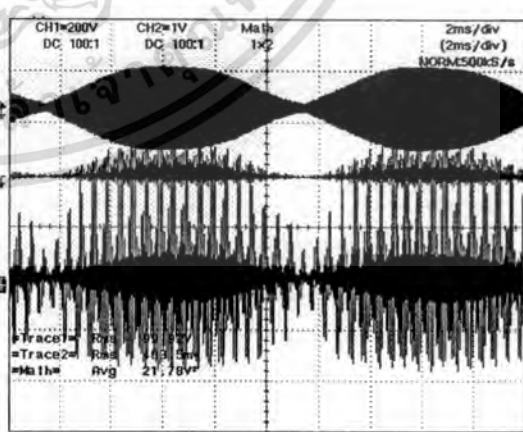


สัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ 27kHz

(f) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 27kHz



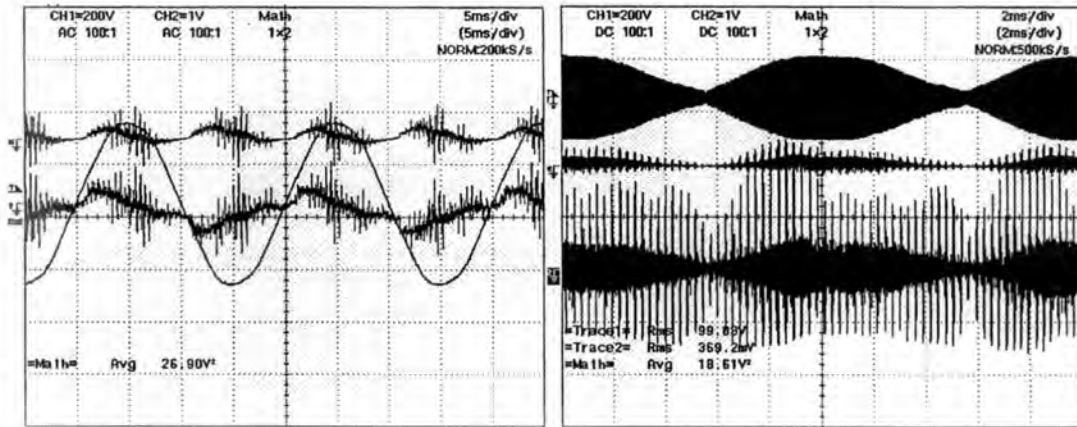
สัญญาณอินพุตที่ความถี่ 28kHz



สัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ 28kHz

(g) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 28kHz

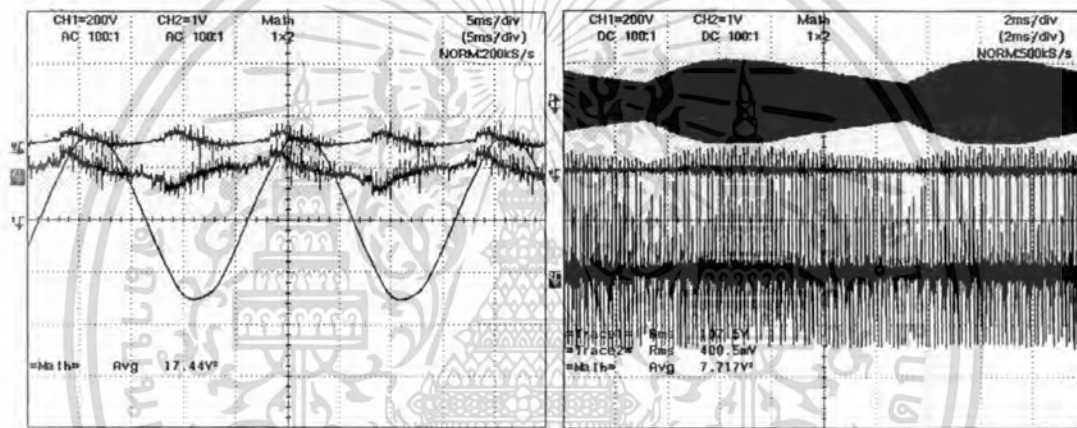
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณอินพุตที่ความถี่ 29kHz

สัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ 29kHz

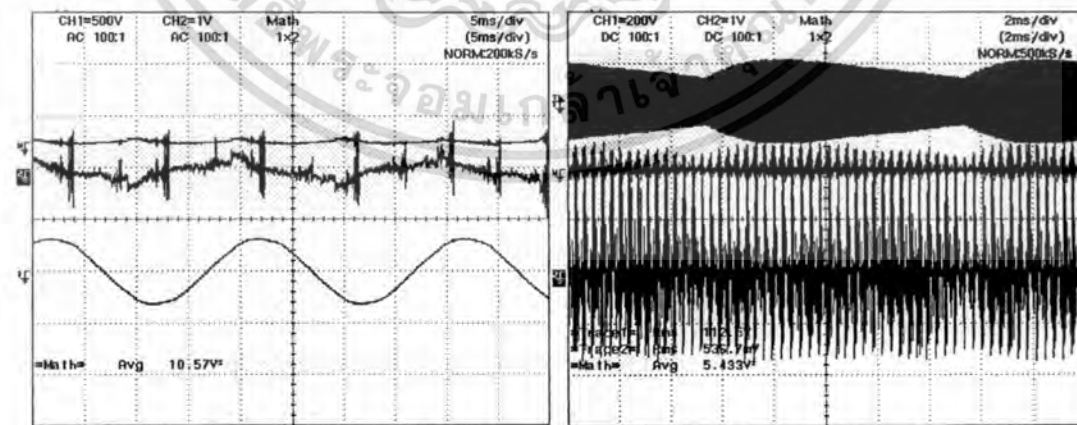
(h) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 29kHz



สัญญาณอินพุตที่ความถี่ 30kHz

สัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ 30kHz

(i) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 30kHz



สัญญาณอินพุตที่ความถี่ 31kHz

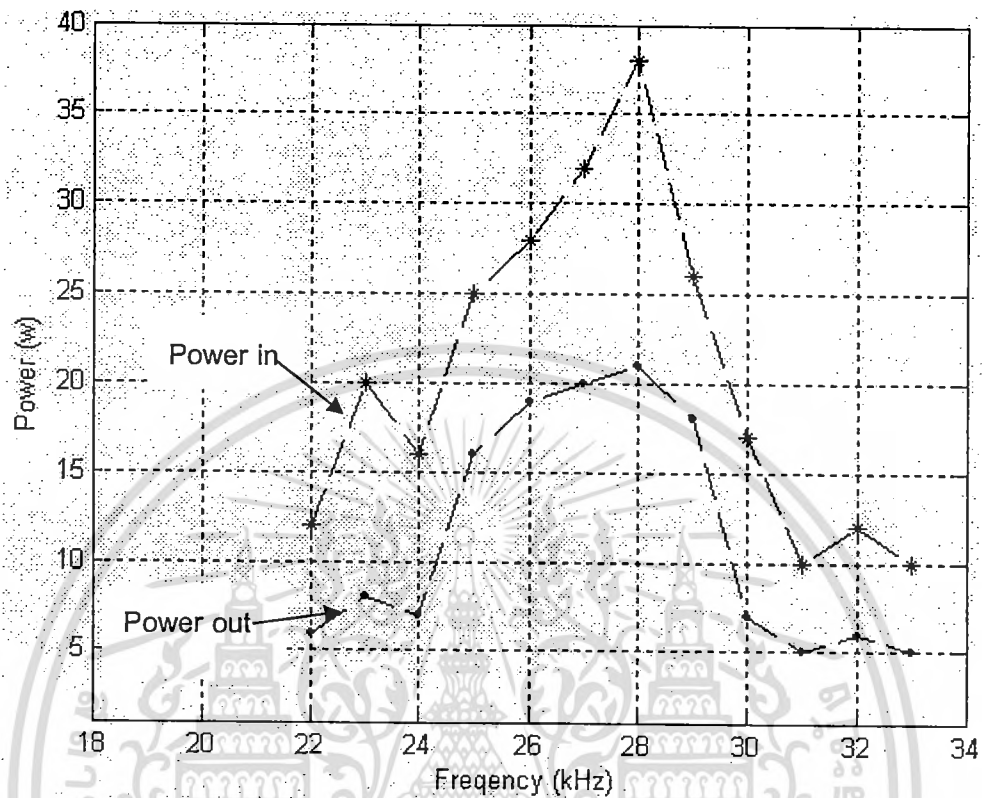
สัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ 31kHz

(j) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 31kHz

รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ความถี่ 22kHz-31kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบตามตารางที่ 4.1 จะได้กราฟดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความถี่

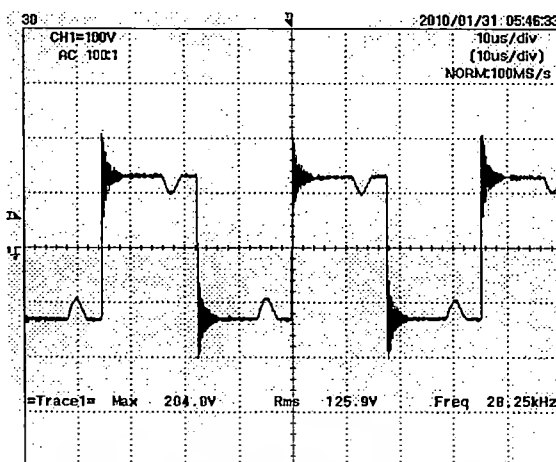
สรุปผลการทดสอบปรับความถี่ค่าต่างๆ

จากการทดสอบปรับความถี่ 22-33 kHz ทำให้ได้ความถี่ที่ต้องการคือ 28 kHz ตรงกับคู่มือของหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์โดยมีหลักการพิจารณาจากความถี่ที่ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ตามทฤษฎีของวงจรรีโซแนนซ์ คือ เมื่อเราป้อนแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมให้กับวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบไปด้วย R L และ C ทำให้เกิดการสั่นด้วยความถี่ที่เหมาะสม ทำให้ค่ารีแอกแตนซ์ $X_L = X_C$ เกิดการหักล้างกันเหลือแต่ค่าของอิมพีแดนซ์ $Z = R$ แรงดันและกระแสในวงจรมีเฟสตรงกันซึ่งทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าออกที่เอาต์พุตสูงสุด เรียกว่า สภาวะรีโซแนนซ์ (Resonance)

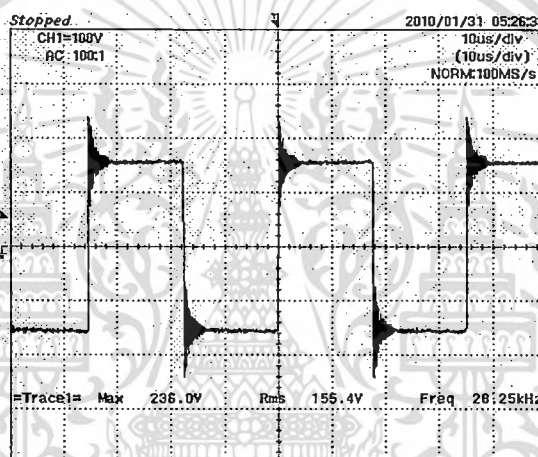
4.2.2 การทดสอบโดยใช้วิธีเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลา Duty cycle (%) กับกำลังไฟฟ้า P (W)

ทำการปรับ Duty cycle (%) ตั้งแต่ 30-45 % ใช้ความถี่ 28 kHz แล้ววัดกระแสอินพุตแรงดันอินพุต กำลังไฟฟ้าอินพุตโดยใช้ FLUKE 41B เพื่อใช้เปรียบเทียบหาขนาด Duty cycle ที่เหมาะสมกับเครื่องอัลตราโซนิค ได้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจาก Oscilloscope (DL1520) ดังรูปที่ 4.8 แล้วบันทึกการทดลองลงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขนาด Duty cycle 30%



ขนาด Duty cycle 40%

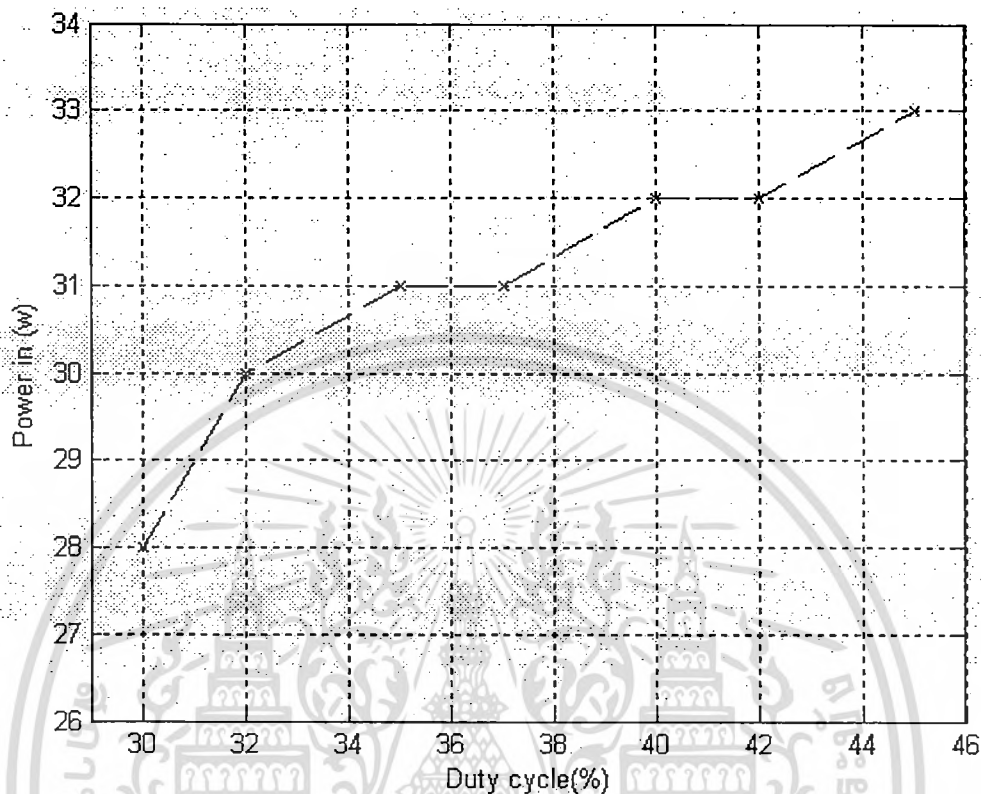
รูปที่ 4.8 การทดสอบปรับ Duty cycle เพื่อหาค่า Duty cycle ที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบหาขนาด Duty cycle ที่เหมาะสมกับความถี่ 28 kHz

ความถี่ (kHz)	Duty cycle (%)	แรงดันไฟฟ้าอินพุท (V)	กระแสไฟฟ้าอินพุท (A)	กำลังไฟฟ้าอินพุท (W)
28 kHz	30	222	0.28	28
28 kHz	32	220	0.28	30
28 kHz	35	221	0.30	31
28 kHz	37	220	0.30	31
28 kHz	40	221	0.31	32
28 kHz	42	221	0.31	32
28 kHz	45	222	0.32	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับค่า Duty cycle ต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบตามตารางที่ 4.2 จะได้กราฟดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและ Duty cycle

สรุปผลการทดสอบปรับ Duty cycle ค่าต่าง ๆ

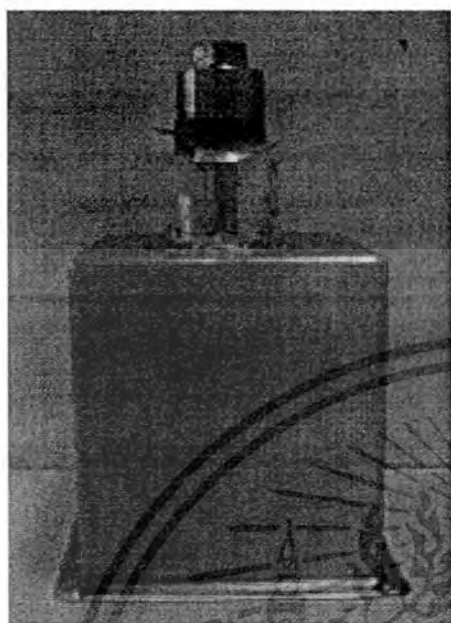
จากการทดสอบปรับค่า Duty cycle ตั้งแต่ 30-45 % โดยขั้นตอนในการปรับเราจะปรับค่าความถี่อยู่ที่ 28 kHz เมื่อทำการปรับ Duty cycle ตั้งแต่ 30-45% พบว่าเมื่อปรับ Duty cycle เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยแต่ไม่ควรปรับให้ต่ำหรือสูงเกินไป เพราะถ้าปรับให้ต่ำเกินไปจะทำให้เครื่องทำความสะอาดได้ช้า แต่ถ้าปรับให้สูงเกินไปจะทำให้หัวอัลตราโซนิกร้อนเกินไปและจะทำให้ทำความสะอาดไม่ได้ ในการทดสอบนี้จึงเลือกใช้ค่า Duty cycle ที่เหมาะสมคือ 40%

4.2.3 การทดสอบโดยใช้วิธีการล้างวัสดุที่มีความสกปรกเทียบกับระยะเวลา

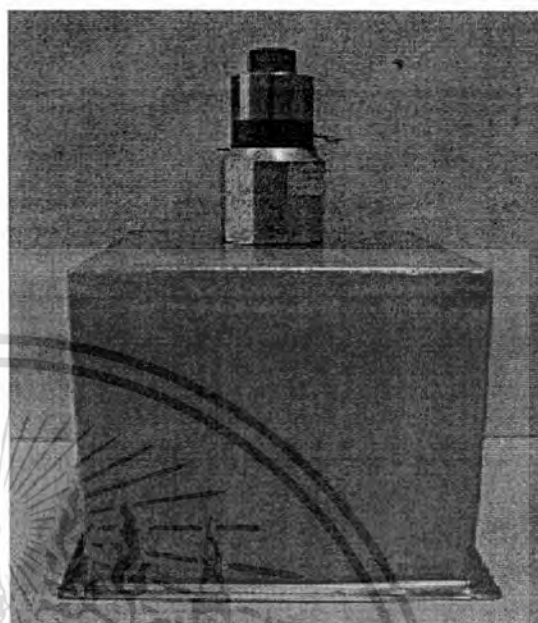
ในขั้นตอนนี้จะใช้ขนาดถังทำความสะอาดทั้งหมด 4 ใบ 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ได้แก่ ถังขนาดความกว้างคูณยาวคูณสูง เท่ากับ 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง), 11×11×12 cm หนา 2mm (เล็กหนา) และ 15×15×12 cm หนา 1mm (ใหญ่บาง), 15×15×12 cm หนา 2mm (ใหญ่หนา) ดังรูปที่ 4.10 และมีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่กับการชั่งน้ำหนัก ถังทั้ง 4 ใบ ดังรูปที่ 4.11 นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาขนาดของตัวถังที่ใช้ทำความสะอาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำความสะอาดได้ดีที่สุด ซึ่งในการทดสอบนี้เราจะใช้ความถี่ที่ 28 kHz และ Duty cycle ที่ 40%



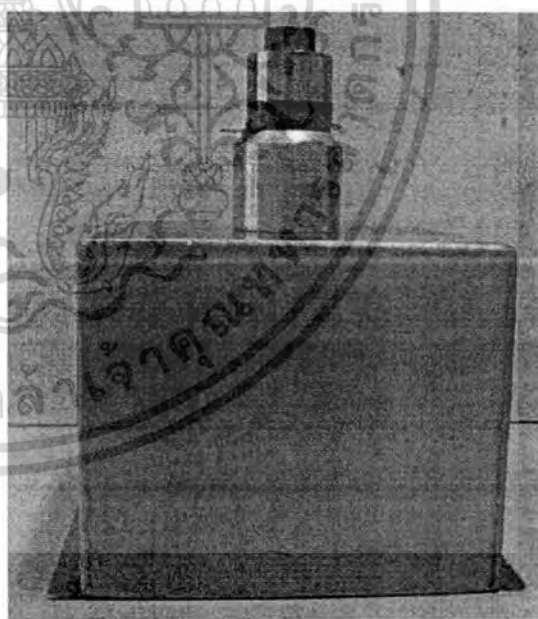
11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง)



11×11×12 cm หนา 2mm (เล็กหนา)



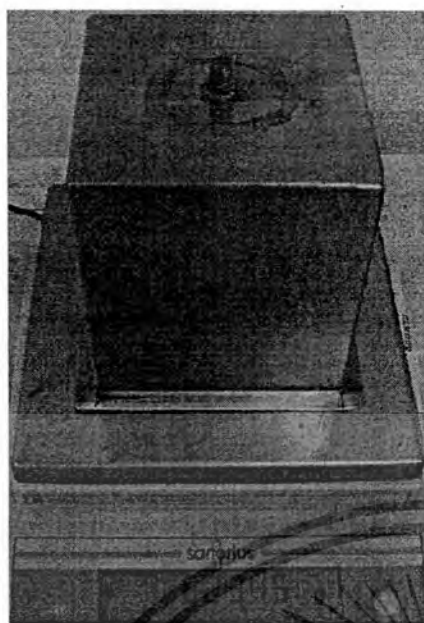
15×15×12 cm หนา 1mm (ใหญ่บาง)



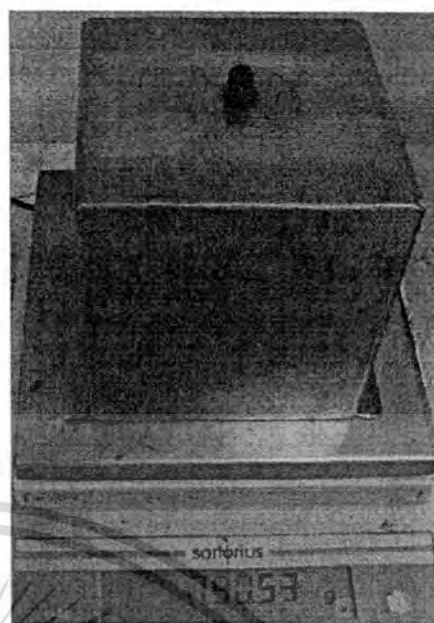
15×15×12 cm หนา 2mm (ใหญ่หนา)

รูปที่ 4.10 ถังทำความสะอาดทั้ง 4 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง)
กำลังวัตต์ 0.57 W/Sq.cm
น้ำหนักถึง 523.45 กรัม



11×11×12 cm หนา 2mm (เล็กหนา)
กำลังวัตต์ 0.57 W/Sq.cm
น้ำหนักถึง 790.53 กรัม



11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง)
กำลังวัตต์ 0.31 W/Sq.cm
น้ำหนักถึง 759.02 กรัม



11×11×12 cm หนา 2mm (เล็กหนา)
กำลังวัตต์ 0.31 W/Sq.cm
น้ำหนักถึง 1163.58 กรัม

รูปที่ 4.11 กำลังวัตต์ต่อพื้นที่และน้ำหนักถึงทำความสะอาดทั้ง 4 ไบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

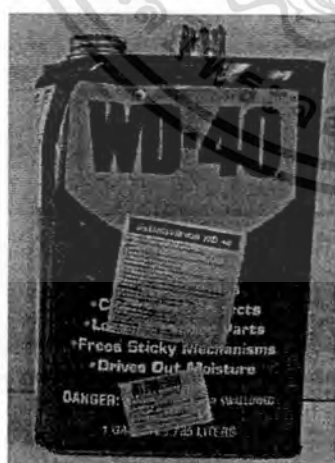
ขั้นตอนการทดสอบ

จัดเตรียมวัสดุที่ต้องการล้างทำความสะอาด ในการทดสอบนี้จะใช้ดัลบูลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm สูง 0.6 cm ที่ทำด้วยจาระบีอัดเข้าไปที่รูเล็กๆ ของดัลบูลูกปืนซึ่งเป็นจุดที่ทำความสะอาดเข้าถึงได้ยาก และใช้การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดการทดสอบครั้งนี้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วัสดุก่อนการล้างทำความสะอาดและปริมาณจาระบี

เตรียมน้ำยาที่จะใช้ทำความสะอาด ในปริญญาณิพลธ์เล่มนี้ได้ทำการทดสอบด้วยน้ำยาทำความสะอาดสองชนิด คือ น้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 และน้ำยาทำความสะอาด WD-40 ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งมีตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยาทำความสะอาดทั้งสองชนิดดังตารางที่ 4.3



น้ำยาทำความสะอาด WD-40



น้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500

รูปที่ 4.13 น้ำยาทำความสะอาดที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยา WD-40 และ MIRACHEM 500

ชนิดน้ำยา	คุณสมบัติ	การจัดสิ่งสกปรก	อัตราส่วน น้ำ : น้ำยา
WD-40	ไล่ความชื้นแทรกซึม คลายความตึงเครียด ป้องกันความชื้นและ ป้องกันการลัดวงจร ของระบบไฟฟ้า	โคลน จาระบี ยางมะตอย คราบ สกปรกต่างๆ ที่ ติดตามตัวถังรถยนต์	ไม่ใช่ : 1
MIRACHEM 500	ไม่มีส่วนผสมที่เป็น กรด ต่าง หรือ อันตราย ไม่ติดไฟ ไม่ทำลายพื้นผิว ไม่มี ฤทธิ์กัดกร่อน	จาระบีและน้ำมัน คราบคาร์บอน คราบฝุ่นและสิ่ง สกปรก	ไม่ใช่ : 1

การทดสอบทำความสะอาดด้วยขนาดถังทั้ง 4 ใบ 2 ขนาด


เติมน้ำยาทำความสะอาดลงในถังทำความสะอาดให้สูงจากกันถังจนท่วมวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยทำการทดสอบด้วยตัวถังที่มีขนาด กว้างคูณยาวคูณสูง เท่ากับ 11×11×12 cm หนา 1mm ,2 mm (เล็กบาง, เล็กหนา) เป็นระยะเวลา 1-3 นาที ระดับน้ำยา 1 cm จากนั้นทำการทดสอบด้วยตัวถังที่มีขนาด กว้างคูณยาวคูณสูง เท่ากับ 15×15×12 cm หนา 1mm ,2 mm (ใหญ่บาง, ใหญ่หนา) เป็นระยะเวลา 1-3 นาที ระดับน้ำยา 1 cm โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลำดับขั้นตอนการทดสอบทำความสะอาดด้วยขนาดถังทั้ง 4 ใบ 2 ขนาด

ขั้นตอนที่	ขนาดถัง	น้ำยา	ระดับน้ำยา	เวลา	ผลการ ทดสอบ
1	เล็กบาง	WD-40	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.5
2	เล็กหนา	WD-40	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.6
3	ใหญ่บาง	WD-40	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.7
4	ใหญ่หนา	WD-40	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.8
5	เล็กบาง	MIRACHEM 500	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.9
6	เล็กหนา	MIRACHEM 500	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.10
7	ใหญ่บาง	MIRACHEM 500	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.11
8	ใหญ่หนา	MIRACHEM 500	1 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.12

ขั้นตอนที่ 1 ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถังเล็กบางและน้ำยา WD-40

ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) (0.57W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา WD-40				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

ขั้นตอนที่ 2 ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หนา 2mm (เล็กหนา) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถังเล็กหนาและน้ำยา WD-40

ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หนา 2mm (เล็กหนา) (0.57W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา WD-40				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบถึงขนาด 15×15×12 cm หนา 1mm (ใหญ่บาง) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถังใหญ่บางและน้ำยา WD-40

ทำการทดสอบถึงขนาด 15×15×12 cm หนา 1mm (ใหญ่บาง) (0.31W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา WD-40				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบถึงขนาด 15×15×12 cm หนา 2mm (ใหญ่หนา) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถังใหญ่หนาและน้ำยา WD-40

ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หนา 2mm (ใหญ่หนา) (0.31W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา WD-40				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หน้า 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถึงเล็กบางและน้ำยา MIRACHEM 500

ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หน้า 1mm (เล็กบาง) (0.57W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา MIRACHEM 500				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

ขั้นตอนที่ 6 ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หน้า 2mm (เล็กหนา) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถึงเล็กหนาและน้ำยา MIRACHEM 500

ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หน้า 2mm (เล็กหนา) (0.57W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา MIRACHEM 500				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ทำการทดสอบถึงขนาด 15×15×12 cm หน้า 1mm (ใหญ่บาง) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถึงใหญ่บางและน้ำยา MIRACHEM 500

ทำการทดสอบถึงขนาด 15×15×12 cm หน้า 1mm (ใหญ่บาง) (0.31W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา MIRACHEM 500				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

ขั้นตอนที่ 8 ทำการทดสอบถึงขนาด 15×15×12 cm หน้า 2mm (ใหญ่หนา) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 วัสดุก่อนและหลังการล้างด้วยถึงใหญ่หนาและน้ำยา MIRACHEM 500

ทำการทดสอบถึงขนาด 11×11×12 cm หน้า 2mm (ใหญ่หนา) (0.31W/ Sq.cm.)				
ล้างด้วยน้ำยา MIRACHEM 500				
ระดับ น้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบทำความสะอาดด้วยขนาดถึงทั้ง 4 ใบ 2 ขนาด

จากการทดลองล้างวัสดุโลหะโดยใช้เครื่องล้างอัลตราโซนิคที่สร้างขึ้น โดยใช้ชิ้นงานโลหะคือ ตลับลูกปืนขนาดเล็กที่ใช้กับมอเตอร์พัดพวยจากระบบ แชนลงในถังล้างที่มีน้ำยาทำความสะอาดจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าถึงขนาด $11 \times 11 \times 12$ cm ทำความสะอาดได้ดีกว่าถึงขนาด $15 \times 15 \times 12$ cm โดยใช้เลาทำความสะอาดเพียง 2 นาทีและใช้ระดับน้ำยาที่ทำความสะอาดสูงจากกันถึงที่ใช้ทดสอบเพียง 1 cm และเห็นได้ชัดว่าขนาดของถึงมีผลต่อการทำความสะอาดชิ้นงาน โดยขนาดถึงที่มีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่ทำความสะอาดมาก จะทำให้ทำความสะอาดได้ดีกว่าขนาดถึงที่มีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่ทำความสะอาดน้อย ความหนาของถึงทำความสะอาดก็มีผลกับการทำความสะอาดเช่นกัน โดยขนาดถึงที่มีความหนา 1mm สามารถทำความสะอาดได้ดีกว่าถึงที่มีความหนา 2mm เพราะความหนาตัวถึงที่มีความหนา 1mm สามารถสะท้อนคลื่นและถ่ายเทพลังงานได้ดีกว่าถึงที่มีความหนา 2 mm

การทดสอบตามขั้นตอนที่ 1-8 ทำให้ได้ขนาดถึงที่ทำความสะอาดได้ดีที่สุด คือ ถึงขนาด $11 \times 11 \times 12$ cm หนา 1 mm (เล็กบาง) ที่ระดับน้ำยาสูงจากกันถึงที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 1 cm แสดงดังรูปที่ 4.14



(a) รูปการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถึงขนาด $11 \times 11 \times 12$ cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที



(b) รูปการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถึงขนาด $11 \times 11 \times 12$ cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที

รูปที่ 4.14 การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถึงขนาด $11 \times 11 \times 12$ cm หนา 1mm (เล็กบาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบน้ำยาทำความสะอาดทั้ง 2 ชนิด













แต่เนื่องจากระดับน้ำยา 1 cm ไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่า น้ำยาทำความสะอาดใดทำความสะอาดได้ดีที่สุด จึงมีการทดสอบเพิ่มระดับน้ำยาทำความสะอาดจากเดิม 1 cm เป็น 3 cm และ 5 cm โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ลำดับขั้นตอนการทดสอบน้ำยาทำความสะอาดทั้ง 2 ชนิด

ขั้นตอนที่	น้ำยา	ขนาดถัง	ระดับน้ำยา	เวลา	ผลการทดสอบ
1	WD-40	เล็กบาง	1,3,5 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.14
2	MIRACHEM 500	เล็กบาง	1,3,5 cm	1-3 นาที	ตารางที่ 4.15

ขั้นตอนที่ 1 ทำการทดสอบน้ำยา WD-40 ด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ระดับน้ำยา 1,3,5 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.14













ตารางที่ 4.14 การทดสอบน้ำยา WD-40 ที่ระดับน้ำยา 1, 3, 5 cm

การทดสอบล้างด้วยน้ำยา WD-40				
ถึงขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) (0.57W/ Sq.cm.)				
ระดับน้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				
3 cm				
5 cm				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ทำการทดสอบน้ำยา MIRACHEM 500 ด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ระดับน้ำยา 1, 3, 5 cm ระยะเวลา 1-3 นาที แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การทดสอบน้ำยา MIRACHEM 500 ที่ระดับน้ำยา 1, 3, 5 cm

การทดสอบล้างด้วยสอปน้ำยา MIRACHEM 500				
ถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) (0.57W/ Sq.cm.)				
ระดับน้ำยา	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				
3 cm				
5 cm				

สรุปผลการทดสอบน้ำยาทำความสะอาด

จากการทดสอบเห็นได้ชัดว่าน้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 สามารถจัด
 คราบจาระบีได้ดีกว่าน้ำยาทำความสะอาด WD-40 ในขณะที่ระดับน้ำยามีระดับเพิ่มสูงขึ้น 5 cm
 น้ำยาทำความสะอาด WD-40 ค่อยๆ ลดประสิทธิภาพการทำความสะอาดลงเมื่อระดับน้ำยามี
 ระดับเพิ่มสูงขึ้น เพราะน้ำยาทำความสะอาด WD-40 จะมีความหนืดกว่าน้ำยาทำความสะอาด
 MIRACHEM 500 และน้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 สามารถทำความสะอาดได้ดี
 โดยไม่ต้องใช้การขัดถูหรือใช้แปรงขัดทำความสะอาดใดๆ เป็นการลดแรงงานในการทำความสะอาด
 สะอาดรักษาสิ่งแวดล้อมและเครื่องอัลตราโซนิกมีต้นทุนในการสร้างไม่สูงมาก ซึ่งสามารถ
 นำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำความสะอาดชิ้นส่วนโลหะขนาดเล็ก และหากต้องการทำความสะอาด
 ชิ้นส่วนขนาดใหญ่ขึ้นจะต้องเพิ่มกำลังวัตต์ ขนาดถัง และจำนวนหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบทำความสะอาดแบบละเอียด

เมื่อได้ขนาดถังและน้ำยาทำความสะอาดที่ทำให้ได้การทำที่ดีที่สุดแล้วเราจะทำการทดสอบทำความสะอาดแบบละเอียดอีกที โดยการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังล้างทำความสะอาด ชั่งน้ำหนักตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางการทดสอบถังและน้ำยาที่ดีที่สุด

น้ำยา	ขนาดถัง	ระดับน้ำยา	เวลา	ผลการทดสอบ
MIRACHEM 500	เล็กบาง	1,3,5 cm	1-2 นาที	ตารางที่ 4.17

ทำการทดสอบแบบละเอียด โดยการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังล้างทำความสะอาดชั่งน้ำหนักด้วยขนาดถังและน้ำยาทำความสะอาดที่ทำให้ได้การทำที่ดีที่สุด คือ น้ำยา MIRACHEM 500 ด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ระดับน้ำยา 1, 3, 5 cm ระยะเวลา 1-2 นาที แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การทดสอบถังและน้ำยาที่ดีที่สุด

ทำความสะอาดด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) (0.57W/ Sq.cm.)						
ล้างด้วยสบู่ น้ำยา MIRACHEM 500						
ระดับน้ำยา	ก่อนล้าง	น้ำหนักก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	น้ำหนักหลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	น้ำหนักหลังล้าง 2 นาที
1 cm		10.9470 กรัม		10.6075 กรัม		10.5439 กรัม
3 cm		10.9628 กรัม		10.6094 กรัม		10.5569 กรัม
5 cm		10.9303 กรัม		10.6206 กรัม		10.5583 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.17 นำชิ้นงานมาชั่งและถ่ายรูปวิธีการชั่งน้ำหนักที่ถูกต้องคือจะต้องไม่มีปัจจัยภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น อากาศ ฝุ่น เสียง เป็นต้น รูปหลังล่าง 1 นาที ที่ระดับน้ำยา 1, 3, 5 cm แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปการชั่งน้ำหนักหลังล่าง 1 นาที ที่ระดับน้ำ 1cm



รูปการชั่งน้ำหนักหลังล่าง 1 นาที ที่ระดับน้ำ 3cm



รูปการชั่งน้ำหนักหลังล่าง 1 นาที ที่ระดับน้ำ 5cm

รูปที่ 4.15 วิธีการชั่งน้ำหนักที่ถูกต้องหลังล่าง 1 นาที ที่ระดับน้ำยา 1, 3, 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการทดสอบทำความสะอาดแบบละเอียด

จากการทดสอบแบบละเอียดพบว่าเมื่อระดับน้ำยาสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราใช้น้ำหนักที่มีความละเอียดสูง ซึ่งมีจุดทศนิยมละเอียดถึง 4 ตำแหน่ง

การทดสอบล้างชิ้นงานโดยใช้น้ำเปล่าทำความสะอาด

เมื่อได้ขนาดถังและน้ำยาทำความสะอาดที่ทำให้ได้การทำที่ดีที่สุดแล้วเราจะทำการทดสอบทำความสะอาดแบบไม่ใช้น้ำยาทำความสะอาด โดยใช้เพียงน้ำเปล่าทำความสะอาดกลับลูกปืนที่ทาด้วยจาระบีแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การทดสอบล้างด้วยน้ำเปล่าที่ระดับน้ำ 1 cm

การทดสอบล้างด้วยน้ำเปล่า				
ถึงขนาด 11×11×12 cm หน้า 1mm (เล็กบาง) (0.57W/ Sq.cm.)				
ระดับน้ำ	ก่อนล้าง	หลังล้าง 1 นาที	หลังล้าง 2 นาที	หลังล้าง 3 นาที
1 cm				

สรุปผลการทดสอบล้างชิ้นงานโดยใช้น้ำเปล่าทำความสะอาด

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิคทำความสะอาดโดยใช้เพียงน้ำเปล่าทำความสะอาดกลับลูกปืนที่ทาด้วยจาระบีไม่ได้ และจะต้องใช้น้ำยาที่ใช้ทำความสะอาดจาระบีโดยเฉพาะจึงจะทำความสะอาดได้

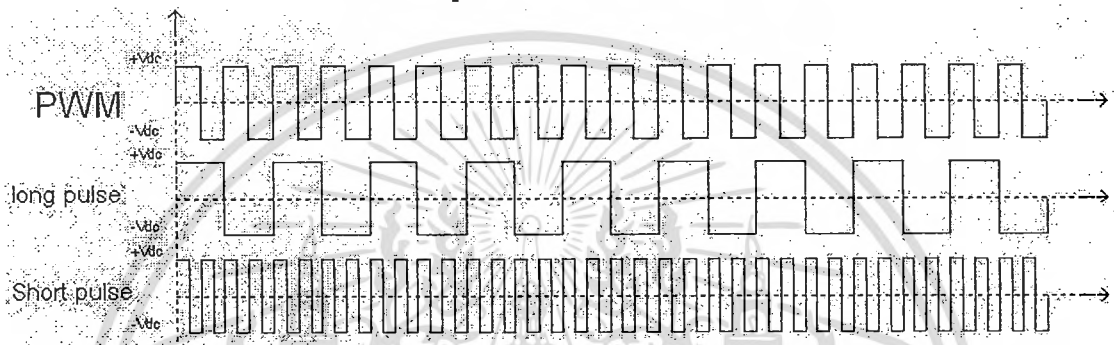
สรุปได้ว่าการใช้เครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิคกับครบสกปรกใดๆ จะต้องใช้น้ำยาเป็นตัวทำละลาย และน้ำยาที่ใช้จะต้องเจาะจงว่าสามารถขจัดคราบสกปรกชนิดนั้นได้

บทที่ 5

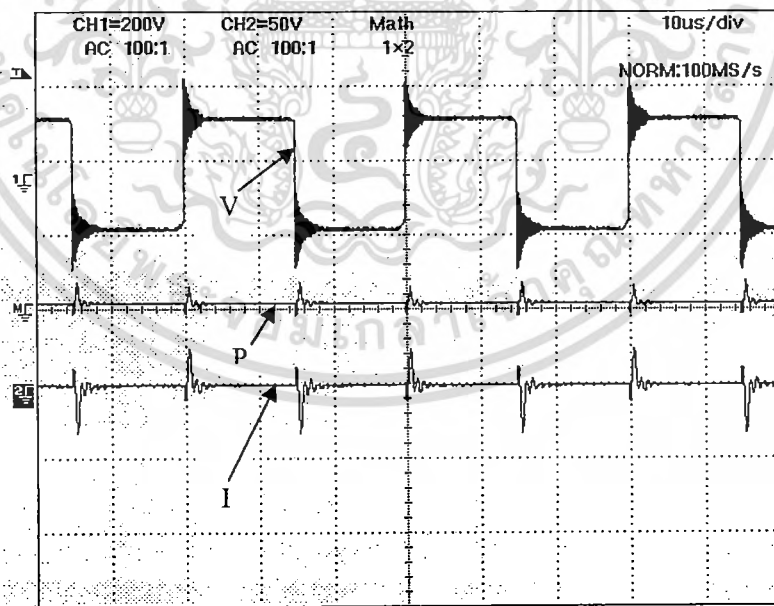
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดสอบสัญญาณ

ผลทดสอบสัญญาณพบว่าสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิคมีรูปสัญญาณแรงดันที่วัดได้มีความสอดคล้องและตรงกับสัญญาณตามทฤษฎีในบทที่ 2 การทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิคที่ได้ออกแบบนั้นสามารถทำงานตามเงื่อนไขและทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 5.1



(a) รูปสัญญาณแรงดัน



(b) รูปสัญญาณแรงดันเอาท์พุท

รูปที่ 5.1 รูปสัญญาณแรงดัน เทียบแรงดันเอาท์พุทเครื่องที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดสอบปรับความถี่ค่าต่าง ๆ

จากการทดสอบปรับความถี่ 22-33 kHz ทำให้ได้ความถี่ที่ต้องการคือ 28 kHz ตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โดยมีหลักการพิจารณาจากความถี่ที่ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ตามทฤษฎีของวงจรรีโซแนนซ์ คือ เมื่อเราป้อนแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมให้กับวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบไปด้วย R L และ C ทำให้เกิดการสั่นด้วยความถี่ที่เหมาะสม ทำให้ค่ารีแอคแตนซ์ $X_L = X_C$ เกิดการหักล้างกันเหลือแต่ค่าของอิมพีแดนซ์ $Z = R$ ดังสมการ

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

แรงดันและกระแสในวงจรมีเฟสตรงกันซึ่งทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าออกที่เอาต์พุตสูงสุด เรียกว่า สภาวะรีโซแนนซ์ (Resonance)

การหาค่า L หรือ C เพื่อทำให้เกิดสภาวะรีโซแนนซ์

เมื่อกำหนดความถี่รีโซแนนซ์ f_r มาให้ เราก็สามารถที่จะเขียนเป็นสูตรใหม่ เพื่อหาค่า L และ C ที่ทำให้วงจรเกิดสภาวะรีโซแนนซ์ ซึ่งจะหาได้ดังนี้คือ

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

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

เมื่อยกกำลังสองสมการข้างบนทั้งสองข้าง จะได้

$$(\sqrt{LC})^2 = \left(\frac{1}{2\pi f_r}\right)^2$$

$$LC = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2}$$

$$\text{ดังนั้น } L = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 L}$$

5.3 สรุปผลการทดสอบปรับ Duty cycle ค่าต่าง ๆ

จากการทดสอบปรับค่า Duty cycle ค่าต่าง ๆ โดยขั้นตอนในการปรับเราจะคงค่าความถี่อยู่ที่ 28 kHz เมื่อทำการปรับ Duty cycle ตั้งแต่ 30-45% พบว่าเมื่อปรับ Duty cycle เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยแต่ไม่ควรปรับให้ต่ำหรือสูงเกินไปเพราะถ้าไม่วางกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับให้ต่ำเกินไปจะทำให้เครื่องทำความสะอาดได้ช้า แต่ถ้าปรับให้สูงเกินไปจะทำให้หัวอัลตราโซนิกร้อนเกินไปและจะทำให้ทำความสะอาดไม่ได้ ในการทดสอบนี้จึงเลือกใช้ค่า Duty cycle ที่เหมาะสมคือ 40%

5.4 สรุปผลการทดสอบทำความสะอาดด้วยขนาดถังทั้ง 4 ใบ 2 ขนาด

จากการทดลองล้างวัสดุโลหะโดยใช้เครื่องล้างอัลตราโซนิคที่สร้างขึ้น โดยใช้ชิ้นงานโลหะคือ ตลับลูกปืนขนาดเล็กที่ใช้กับมอเตอร์ทำด้วยจาระบี แช่ลงในถังล้างที่มีน้ำยาทำความสะอาด จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าถังขนาด 11×11×12cm ทำความสะอาดได้ดีกว่าถังขนาด 15×15×12 cm โดยใช้เวลาทำความสะอาดเพียง 2 นาทีและใช้ระดับน้ำยาที่ทำความสะอาดสูงจากกันถึงที่ใช้ทดสอบเพียง 1cm และเห็นได้ชัดว่าขนาดของถังมีผลต่อการทำความสะอาดชิ้นงาน โดยขนาดถังที่มีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่ทำความสะอาดมาก จะทำความสะอาดได้ดีกว่าขนาดถังที่มีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่ทำความสะอาดน้อย ซึ่งมีหลักการคำนวณหา กำลังวัตต์ต่อพื้นที่ทำความสะอาดดังต่อไปนี้

กำลังวัตต์ของหัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์เท่ากับ 70W

ถังขนาด 11×11×12cm มีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่เท่ากับ $70/(11 \times 11) = 0.57\text{W/ Sq.cm.}$

ถังขนาด 15×15×12cm มีกำลังวัตต์ต่อพื้นที่เท่ากับ $70/(15 \times 15) = 0.31\text{W/ Sq.cm.}$

ความหนาของถังทำความสะอาดก็มีผลกับการทำความสะอาดเช่นกัน โดยขนาดถังที่มีความหนา 1mm สามารถทำความสะอาดได้ดีกว่าถังที่มีความหนา 2mm เพราะความหนาตัวถังที่มีความหนา 1mm สามารถสะท้อนคลื่นและถ่ายเทพลังงานได้ดีกว่าถังที่มีความหนา 2 mm

การทดสอบทำให้ได้ขนาดถังที่ทำความสะอาดได้ดีที่สุด คือ ถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1 mm (เล็กบาง) ที่ระดับน้ำยาสูงจากกันถึงที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 1 cm แสดงดังรูปที่ 4.13



(a) รูปการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

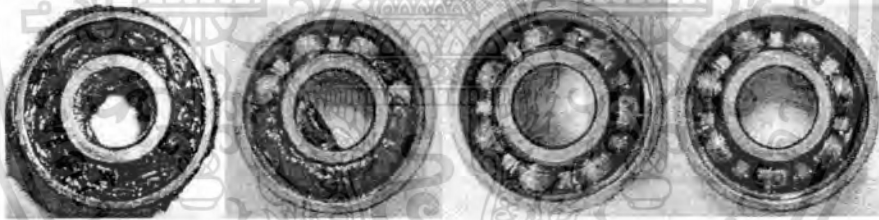


(b) รูปการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 1 cm ระยะเวลา 1-3 นาที

รูปที่ 5.2 การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง)

5.5 สรุปผลการทดสอบน้ำยาทำความสะอาด

จากการทดสอบเห็นได้ชัดว่าน้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 สามารถขจัดคราบจระบีได้ดีกว่าน้ำยาทำความสะอาด WD-40 ในขณะที่ระดับน้ำยามีระดับเพิ่มสูงขึ้น 5 cm ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา WD-40 ระดับน้ำยา 5 cm ระยะเวลา 1-3 นาที



รูปที่ 5.4 การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยถังขนาด 11×11×12 cm หนา 1mm (เล็กบาง) ด้วยน้ำยา MIRACHEM 500 ระดับน้ำยา 5 cm ระยะเวลา 1-3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 น้ำยาทำความสะอาด WD-40 ค่อยๆ ลดประสิทธิภาพการทำความสะอาดลงเมื่อระดับน้ำยาเพิ่มสูงขึ้น เพราะน้ำยาทำความสะอาด WD-40 จะมีความหนืดกว่าน้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 ดังนั้นการทดสอบนี้จึงเลือกใช้น้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 และน้ำยาทำความสะอาด MIRACHEM 500 สามารถทำความสะอาดได้ดีโดยไม่ต้องใช้การขัดถูหรือใช้แปรงขัดทำความสะอาดใดๆ เป็นการลดแรงงานในการทำความสะอาดรักษาสิ่งแวดล้อมและเครื่องอัลตราโซนิกมีต้นทุนในการสร้างไม่สูงมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำความสะอาดชิ้นส่วนโลหะขนาดเล็กและหากต้องการทำความสะอาดชิ้นส่วนขนาดใหญ่ขึ้นจะต้องเพิ่มกำลังวัตต์ ขนาดถัง และจำนวนหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

5.6 สรุปผลการทดสอบทั้งหมด

จากการทดสอบทั้งหมดสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการทดสอบสัญญาณทางไฟฟ้าทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้
 - 1.1 เลือกความถี่โซแนนซ์ที่ 28kHz ซึ่งทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด
 - 1.2 เลือก Duty cycle ที่ 40%
2. จากการทดสอบทำความสะอาดด้วยขนาดถังทั้ง 4 ใบ 2 ขนาดได้ข้อสรุปดังนี้
 - 2.1 เลือกใช้ขนาดถัง 11×11×12cm หนา 1mm (เล็กบาง) เนื่องจากมีน้ำหนักเบา (523.54 กรัม) การสั่นหรือถ่ายเทพลังงานได้สูง
 - 2.2 เลือกใช้ถังที่มีขนาดกำลังวัตต์ต่อพื้นที่สูงๆ ในการทดลองนี้ คือ ขนาด 11×11×12cm หนา 1mm (เล็กบาง) ซึ่งมีขนาดกำลังวัตต์ต่อพื้นที่เท่ากับ 0.57W/Sq.cm.
3. จากการทดสอบเพิ่มระดับน้ำยาได้ข้อสรุปดังนี้
 - 3.1 ระดับน้ำยาสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดลดลงเนื่องจากแรงดันของน้ำมีมากขึ้น
4. จากการทำความสะอาดด้วยน้ำยาทั้งสองชนิด คือ WD-40และMIRACHEM 500ได้ข้อสรุปดังนี้
 - 4.1 เลือกใช้น้ำยา MIRACHEM 500 เพราะน้ำยามีความหนืดน้อยสามารถสร้างฟองอากาศ (Cavitations) ได้เยอะกว่าน้ำยา WD-40

5.7 สรุปและข้อแนะนำ

จากการทดลองทั้งหมดของเครื่องทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกพบว่าเครื่องจะทำงานได้จะต้องใช้ความถี่ที่อยู่ในสภาวะรีโซแนนซ์ของหัวอัลตราโซนิกคือ 28 kHz (ขึ้นอยู่กับชนิดของหัวอัลตราโซนิก) และเลือกใช้ค่า Duty cycle ที่เหมาะสมกับวงจร การเลือกค่า Duty cycle 40% ส่วนการเลือกใช้ขนาดถังทำความสะอาดนั้นให้เลือกใช้ขนาดถังที่มีพื้นที่การทำความสะอาดตั้งแต่ 0.3 W/Sq.cm.ขึ้นไปจะทำความสะอาดได้ดี ระดับน้ำยาและชนิดของน้ำยาควรเลือกให้เหมาะสมและต้องแน่ใจว่าน้ำยาสามารถทำลายหรือขจัดสิ่งสกปรกนั้นๆ ได้

เอกสารนี้เนื่องจากการทำความสะอาดที่ดีที่สุดและเร็วที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับน้ำยาทำความสะอาดด้วย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้นจะมีเสียงค่อนข้างดัง เพราะหัวอัลตราโซนิกนิกทรานสดิวเซอร์มีการสั่นและเสียดสีกับตัวถังทำความสะอาด ดังนั้นควรมีฝาปิดถังทำความสะอาดให้มิดชิด เพื่อกันเสียงรบกวน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] A. Jangwanitlert, P. Paisuwana and T. Vijaktakul, "Ultrasonic cleaner", Proc. in EECON 22, Kasetsart University, Vol 22, 2542.
- [2] H. Fujita and H. Akagi, "Control and Performance of a Pulse-Density-Modulated Series-Resonant Inverter for Corona Discharge Processes", IEEE Trans. on Industry Application, 1999, Vol. 35, pp. 621-627.
- [3] H. Kifune, Y. Hatanaka and M. Nakaoka, "Cost effective phase shifted pulse modulation soft switching high frequency inverter for induction heating applications", Proc. IEE Electrical Power Appl., 2004, Vol. 151, pp. 19-25.
- [4] <http://www.caebblackstone.com/technical.html>, CAE Blackstone co., Ltd., Jamestown NY, 1998.
- [5] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
- [6] Wagner, V.E.; Balda, J.C.; Griffith, D.C.; McEachern, A.; Barnes, T.M.; Hartmann, D.P.; Phileggi, D.J.; Emmanuel, A.E.; Horton, W.F.; Reid, W.E.; Ferraro, R.J.; Jewell, W.T.; "Effects of harmonics on equipment", IEEE Transaction on Power Delivery, April 1993, Vol.8, No.2, pp.672-680
- [7] N. Pakdeechart, N. Wongsuntornchai and C. Reimpornjitwirai, "Basic dsPIC Microcontroller with C Programming (MPLAB C30)", Innovative experiment co., Ltd., 2004
- [8] Belincourt, don. "Ultrasonic transducer materials." New-York, Plenum press, 1971.
- [9] <http://www.wd40.com>, WD-40 company co., Ltd., California USA, 2007