เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

Environmental Friendly Mosquito Larva Exterminator

สนับสนุนจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพ
รัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

Environmental Friendly Mosquito Larva Exterminator

สนับสนุนจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพ
รัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

Environmental Friendly Mosquito Larva Exterminator

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการนำหลักการของคลื่นเสียงในย่านอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) มาใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงที่อาศัยอยู่ในแอ่งน้ำและบริเวณที่มีน้ำขังโดยลูกน้ำอาจจะนำพาโรคติดต่อมาสู่คนได้ โดยจะมีการออกแบบวงจรสร้างความถี่โดยเรียกว่าเครื่องก่อกระแสสลับ (Oscillator) ซึ่งจะเป็นเครื่องกำเนิดความถี่แล้วส่งต่อไปยังหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกเพื่อจะใช้เป็นตัวปล่อยคลื่นยิงลงไปใต้น้ำเพื่อกำจัดลูกน้ำยุงเพื่อให้คลื่นน้ำไปตีลูกน้ำให้ลูกน้ำเสียชีวิต ภายในเวลาไม่เกิน 1 วินาที ซึ่งในปัจจุบันโรคติดต่อที่มียุงเป็นพาหะมีหลายโรค ดังนั้นจึงได้ประดิษฐ์คิดค้นเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เพื่อกำจัดให้พาหะนำโรคลดน้อยลง และเพื่อลดจำนวนผู้ป่วยที่มีโรคติดต่อที่เกิดมาจากยุงให้ลดลงต่อไปในที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การออกแบบสร้างเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี และการทำงานของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์รวมถึงศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา

28 พฤศจิกายน 2554

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.4 ขอบเขตการทำงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 วงจรชีวิต ลักษณะของลูกน้ำยุง การกำจัดยุงในรูปแบบต่าง ๆ แนวคิดการกำจัดลูกน้ำยุง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	3
2.2 วงจรชีวิตของยุง	3
2.2.1 ไข่ (eggs)	4
2.2.2 ลูกน้ำ (larva)	5
2.2.3 ตัวโม่ง (pupa)	6
2.2.4 ตัวเต็มวัย (adult)	6
2.3 ลักษณะของลูกน้ำยุง	7
2.4 การกำจัดลูกน้ำยุงในรูปแบบต่าง ๆ	8
2.4.1 การควบคุมโดยวิธีทางชีววิทยา	8
2.4.2 การใช้ทรายอะเบท	9
2.5 แนวคิดในการกำจัดลูกน้ำยุง	10
2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการกำจัดลูกน้ำยุง	11
2.6.1 ทฤษฎีของระบบอัลตราโซนิค	11
2.6.2 สมบัติและหลักการของคลื่น	14

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงหลักการทำงาน	
3.1 บทนำ	17
3.2 การออกแบบเครื่องกำจัดลูกน้ำยุง	17
3.3 หลักการทำงาน	17
3.4 แบตเตอรี่ 12 VDC	18
3.5 Inverter	19
3.6 Ultrasonic Circuit (Oscillator)	20
3.7 หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก (Piezo-electric Transducer)	24
3.8 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุง	25
บทที่ 4 ผลการทดลอบประสิทธิภาพ	
4.1 บทนำ	26
4.2 ผลการทดลอบประสิทธิภาพ	26
4.2.1 วัดค่าไฟที่บริดจ์ไดโอด	26
4.2.2 วัดค่าการกินกระแสของ Oscillator	27
4.2.3 วัดค่าแรงดัน Input	27
4.2.4 กราฟความถี่ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (I) และค่าตัวเหนี่ยวนำ (L)	28
4.2.5 การทดสอบวงจร 1 เครื่อง 2 หัว	29
4.2.6 การทดสอบวงจร 2 เครื่อง 2 หัว	30
4.3 การกำจัดลูกน้ำยุง	34
4.4 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงแบบต่าง ๆ	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทนำ	41
5.2 สรุปผล	41
5.3 ข้อเสนอแนะ	42
แหล่งข้อมูลอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรชีวิตของยุง	3
รูปที่ 2.2 ไข่ยุง (Eggs)	4
รูปที่ 2.3 ลูกน้ำยุง (Larva)	5
รูปที่ 2.4 ตัวโม่ง (Pupa)	5
รูปที่ 2.5 ตัวเต็มวัย (Adult)	6
รูปที่ 2.6 รูปแสดงการอยู่บนผิวน้ำของลูกน้ำยุง	7
รูปที่ 2.7 รูปแสดงผนังเซลล์ ของลูกน้ำยุง	7
รูปที่ 2.8 ทรายอะเบท	9
รูปที่ 2.9 การใช้ปลาหางนกยุงกำจัดลูกน้ำยุง	10
รูปที่ 2.10 โครงสร้างหัวเปียโซอิเล็กทริก	12
รูปที่ 2.11 หัวเปียโซอิเล็กทริก	13
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของคลื่น	14
รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงานของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุง	17
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงแบตเตอรี่ 12 VDC	18
รูปที่ 3.3 Inverter	19
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงเซอร์กิตวงจรกำจัดลูกน้ำยุง	20
รูปที่ 3.5 วงจร Oscillator	21
รูปที่ 3.6 แกนชนิด วงแหวน หรือ เทอรอยด์ (Ring Cores or Teroids)	22
รูปที่ 3.7 แกนชนิด อี-ไอ (E-I Cores)	22
รูปที่ 3.8 ตัวเหนี่ยวนำพันแกนเทอร์รอย	23
รูปที่ 3.9 หม้อแปลงไฟฟ้า	23
รูปที่ 3.10 ลำโพงอัลตราโซนิค	24
รูปที่ 3.11 ฝาท่อครอบลำโพงอัลตราโซนิค	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.12 หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก	24
รูปที่ 3.13 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงที่ประกอบทุกส่วนแล้วพร้อมทดสอบ	25
รูปที่ 4.1 วัดค่าแรงดันกระแสตรงที่ออกจากบริด์ไดโอด	26
รูปที่ 4.2 แสดงการวัดค่าการกินกระแสของ Oscillator	27
รูปที่ 4.3 วัดค่าแรงดัน Input	27
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการกินกระแสของค่า L	28
รูปที่ 4.5 จุดแสดงการปรับค่า L	29
รูปที่ 4.6 การทดสอบวงจร 1 เครื่อง 2 หัว	29
รูปที่ 4.7 การปล่อยคลื่นของหัวเปียโซสองเครื่อง	30
รูปที่ 4.8 คลื่น 2 หัว โดยปล่อยคลื่นไปทางเดียวกัน	30
รูปที่ 4.9 การหักล้างและการแทรกสอดกันของคลื่น (ก) (ข)	31
รูปที่ 4.10 การทดสอบการปล่อยคลื่น2 หัวโดยการหันหน้าเข้าหากัน (คลื่นชนกัน)	32
รูปที่ 4.11 การแทรกสอดกันของคลื่น	32
รูปที่ 4.12 ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 10 เซนติเมตร	33
รูปที่ 4.13 ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 20 เซนติเมตร	33
รูปที่ 4.14 ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 30 เซนติเมตร	34
รูปที่ 4.15 แสดงการกำจัดลูกน้ำยุง	35
รูปที่ 4.16 การกำจัดยุงในกระถางน้ำขัง	35
รูปที่ 4.17 การกำจัดลูกน้ำยุงที่มีสิ่งกีดขวาง	36
รูปที่ 4.18 การกำจัดลูกน้ำยุงในกระถางที่มีต้นไม้น้ำ	36
รูปที่ 4.19 การกำจัดลูกน้ำที่มีปลาหางนกยุงอยู่ด้วย	37
รูปที่ 4.20 การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว	37
รูปที่ 4.21 การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว	38
รูปที่ 4.22 การกำจัดลูกน้ำในสถานที่ต่าง ๆ 1	38
รูปที่ 4.23 การกำจัดลูกน้ำในสถานที่ต่าง ๆ 2	39
รูปที่ 4.24 การทดสอบกำจัดลูกน้ำในสถานที่ต่าง ๆ	39
รูปที่ 4.25 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงแบบใช้ไฟบ้าน	40

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงความเร็วของเสียงในน้ำ -- ในหน่วย SI	15

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

เนื่องจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย มีการเกิดโรคภัยไข้เจ็บมากขึ้นส่วนหนึ่งของโรคภัยเหล่านี้จะมี "ยุง" เป็นพาหะนำโรค จึงได้คิดค้นวิธีที่จะลดพาหะนำโรคเหล่านั้น วิธีที่คิดค้นการกำจัดหรือการลดพาหะขึ้นมาเป็นวิธีการที่ใช้น้ำคลื่นเสียงในย่านความถี่สูงเป็นคลื่นน้ำไปกระทบในระยะที่ยุงอยู่ในระยะตัวอ่อนซึ่งอาศัยอยู่ในน้ำ วิธีการนี้จะเป็นการไปตัดวงจรชีวิตของยุงไม่ให้เข้าสู่ระยะเป็นตัววิธีนี้จะช่วยลดโรคติดต่อที่มียุงเป็นพาหะนำโรคได้ และจะเป็นประโยชน์กับประชากรภายในประเทศและต่างประเทศต่อไปในอนาคต

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยุงเป็นสัตว์ปีกขนาดเล็กที่สร้างความรำคาญและเป็นพาหะนำโรคต่างๆอย่างเช่น ไข้มาเลเรีย ไข้เลือดออก ไข้สมองอักเสบ โรคชิคุนกุนยา ฯลฯ และงบประมาณค่าใช้จ่ายในแต่ละปีจำนวนรวมเป็นหลักพันล้านบาท ที่ใช้ในการป้องกันและดูแลผู้ป่วยที่ยุงเป็นผู้นำพาเชื้อโรคมาให้ การกำจัดยุงที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีและกำจัดในแต่ละช่วงวงจรชีวิตของยุ่งที่แตกต่างกัน อย่างเช่นการใช้สารเคมีในช่วงตัวเต็มวัยจะใช้การพ้นยาฆ่า ในช่วงที่เป็นลูกน้ำยุงนิยมใช้ทรายอะเบทใส่ลงไปในแหล่งน้ำที่มีลูกน้ำยุงอาศัยอยู่ ส่วนวิธีทางธรรมชาติจะใช้ แบคทีเรีย ปลาหางนกยุง ถ้าเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า อย่างเช่นใช้หลอดไฟดักยุง ไม้ตียุงไฟฟ้า ฯลฯเป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการกำจัดยุงโดยวิธีฆ่าในช่วงวงจรที่เป็นตัวลูกน้ำยุง โดยการใช้คลื่นความถี่สูงย่านอุลตร้าโซนิค(Ultrasonic) ปล่อยลงไปในน้ำที่มีลูกน้ำยุงอาศัยอยู่ แรงดันของคลื่นจะกระแทกลำตัวของลูกน้ำยุงทำให้ลูกน้ำยุงตายโดยง่าย แต่สัตว์น้ำอื่นๆที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไม่มีผลกระทบ ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ไม่มีสารเคมีตกค้าง และช่วยลดการนำเข้าอุปกรณ์และสารเคมีได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งงานวิจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรวมอย่างมากมายอีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เป็นการออกแบบวงจร สร้าง และทดสอบการใช้งาน เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในการทดแทนวิธีการกำจัดยุงในแบบเดิมๆที่ผ่านมา ไม่ว่าจะ

เป็นการใช้สารเคมี หรือวิธีทางธรรมชาติ เป็นต้น รวมถึงการใช้งานที่ง่าย ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายว่าวิธีเดิมๆที่ผ่านมา

1.4 ขอบเขตการทำงาน

ทำการศึกษา ออกแบบวงจร สร้างทดสอบ เปรียบเทียบผลการใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคที่มีผลแต่ละช่วงของวงจรชีวิตยุง และปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สะดวกในการใช้งาน มีราคาถูก รวมถึงตีพิมพ์เผยแพร่และแสดงผลงานนวัตกรรมสำหรับภาคเอกชนหรือบุคคลทั่วไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ได้เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเป็นมิตรกับธรรมชาติ ประสิทธิภาพสูง ใช้งานที่ง่าย ราคาถูก ช่วยลดการนำเข้าสารเคมีและอุปกรณ์กำจัดยุง สามารถนำไปใช้ได้ในทุกครัวเรือนทุกชุมชน ทุกหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน มีผลกระทบต่อชุมชนโดยรวมอย่างมาก รวมทั้งนำเสนอเป็นบทความเพื่อตีพิมพ์และส่งประกวดผลงานนวัตกรรมเผยแพร่สำหรับผู้สนใจ

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เป็นงานวิจัยประยุกต์ซึ่งดำเนินการตามกรอบงาน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาวงจรชีวิตของยุง
2. ศึกษาวิธีการกำจัดยุงในแต่ละช่วงของวงจรชีวิตที่ผ่านมา
3. ศึกษาคลื่นอุลตร้าโซนิคที่มีผลแต่ละช่วงของวงจรชีวิตยุง
4. ออกแบบสร้างเครื่องอุลตร้าโซนิคที่ปรับกำลังงานปรับช่วงความถี่ได้
5. ทดสอบผลการทำงานของเครื่องอุลตร้าโซนิคกับแต่ละช่วงของวงจรชีวิตยุง
6. วิเคราะห์ผลการทดสอบ ทำการปรับปรุงแก้ไขประสิทธิภาพสูงสุด ใช้งานง่าย มีราคาถูก

บทที่ 2
วงจรชีวิต ลักษณะของลูกน้ำยุง การกำจัดยุงในรูปแบบต่าง ๆ แนวคิดการกำจัดลูกน้ำยุง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

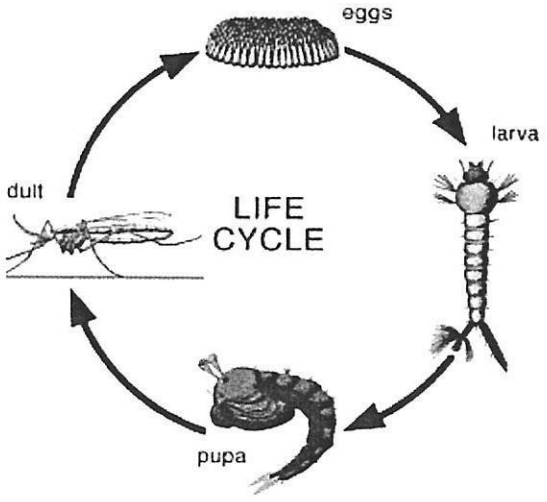
2.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงวงจรชีวิตของยุงในรูปแบบต่าง ๆ และอธิบายถึงลักษณะของลูกน้ำยุงว่ามีลักษณะอย่างไร รวมไปถึงแนวคิดและทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงและศึกษาผลกระทบที่มีต่อสัตว์ชนิดอื่นรวมทั้งสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน และมีการนำเสนอทฤษฎีหลักการวิธีการกำจัดลูกน้ำยุง

2.2 วงจรชีวิตของยุง

ในโลกนี้มียุงอยู่ประมาณ 3,500 ชนิด (Species) ในประเทศไทยมียุงกว่า 437 ชนิด ยุงบางชนิดก่อความรำคาญโดยการดูดกินเลือดมนุษย์และสัตว์เป็นอาหารเท่านั้น แต่อีกหลายชนิดนอกจากจะดูดกินเลือดเป็นอาหารแล้วยังดูดกินน้ำหวานจากพืชด้วย นอกจากนี้ยุงยังเป็นพาหะนำโรคร้ายแรงต่าง ๆ มาสู่คน และสัตว์อีกด้วย

วงจรชีวิตของยุงมี 4 ระยะคือ **ไข่ ลูกน้ำ ตัวโม่ง** และ **ตัวเต็มวัย**



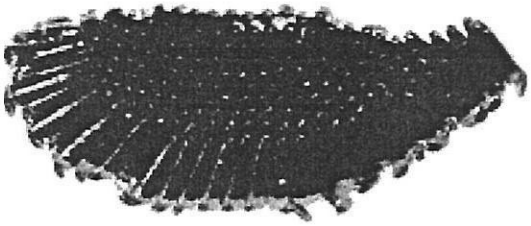
รูปที่ 2.1 วงจรชีวิตของยุง

2.2.1 ไข่ (Eggs)

ไข่ยุงมีขนาดเล็กมากประมาณ 1 มิลลิเมตรเท่านั้น มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไข่ยุงมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของยุง กล่าวคือ

- **ไข่ยุงก้นปล่อง** (Anopheles eggs) มีทุ่นลอยใส ๆ ติดอยู่ด้านข้างของไข่ ช่วยพยุงให้ไข่ลอยน้ำได้ ยุงก้นปล่องชอบวางไข่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ
- **ไข่ยุงลาย** (Aedes eggs) ไข่จะเกาะติดอยู่ตามขอบผนังภาชนะกักเก็บน้ำ เหนือระดับน้ำเล็กน้อย เช่น ตามโอ่งน้ำ กะลา เป็นต้น ยุงลายชอบวางไข่ในน้ำที่ใสและนิ่ง
- **ไข่ยุงรำคาญ** (Culex eggs) ไข่จะเรียงตัวเกาะกันเป็นแพอยู่บนผิวน้ำ ยุงรำคาญชอบวางไข่ในน้ำที่สกปรก
- **ไข่ยุงเสือ** ยุงลายเสือ หรือยุงแมนโซเนีย (Mansonia) มักเกาะติดอยู่ตามขอบใต้ใบพืชน้ำบางชนิดอยู่ปริ่มน้ำ

ยุงวางไข่ครั้งละประมาณ 100 ฟอง ระยะฟักไข่ประมาณ 2 วัน ก็จะออกมาเป็นลูกน้ำ



รูปที่ 2.2 ไข่ยุง (Eggs)

2.2.2 ลูกน้ำ (Larva)

เป็นตัวอ่อนที่อาศัยอยู่ในน้ำนิ่ง จะโผล่ขึ้นมาหายใจเอาอากาศที่ผิวน้ำด้วยท่อหายใจ (Siphon tube) จะลอกคราบตัวเอง 4 ครั้ง ลอกครั้งหนึ่งจะโตขึ้นเรื่อย ๆ ลูกน้ำจะกินพวกจุลชีพและสารอินทรีย์ในน้ำเป็นอาหาร และไม่เกิน 10 วันยุงจะเติบโตเต็มที่กลายเป็นตัวโม่ง

ลูกน้ำยุงมี 4 ระยะ คือ

ระยะที่1 ลูกน้ำขนาดเล็กที่ฟักออกจากไข่

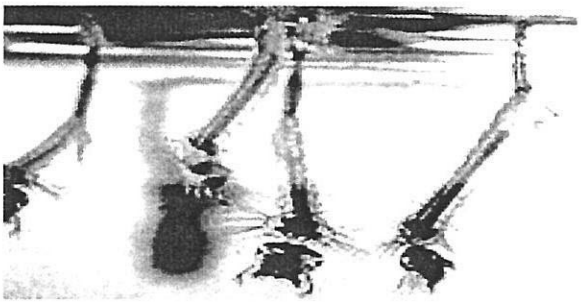
ระยะที่2 มีขนาดโตขึ้นจากการกินอาหาร แต่มีรูปร่างเหมือนเดิม

ระยะที่3 มีขนาดโตขึ้นจากการกินอาหาร แต่มีรูปร่างเหมือนเดิม

ระยะที่4 เป็นระยะสุดท้ายก่อนที่จะกลายเป็น **ตัวโม่ง**

การเปลี่ยนรูปร่างแต่ละครั้ง ยุงจะมีการลอกคราบเสมอ ลูกน้ำยุงแต่ละชนิดมีรูปร่างลักษณะ การเกาะที่ผิวน้ำ และนิสัยการกินอาหารแตกต่างกันไป เช่น

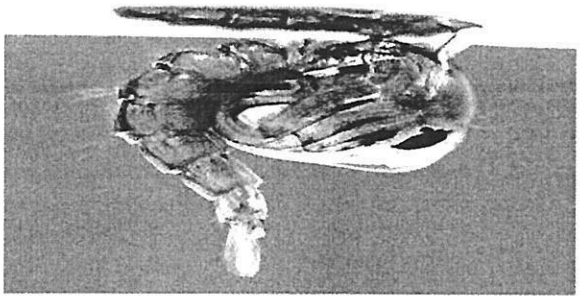
- **ลูกน้ำยุงก้นปล่อง** จะลอยตัวขนานกับผิวน้ำ และหาอาหารที่ผิวน้ำ เพราะไม่มีท่อหายใจ
- **ลูกน้ำยุงลาย** มีท่อหายใจสั้น มักเกาะที่ผิวน้ำโดยห้อยหัวอยู่ใต้น้ำ และหาอาหารที่ก้นภาชนะ
- **ลูกน้ำยุงรำคาญ** มีท่อหายใจยาว เกาะที่ผิวน้ำโดยห้อยหัวอยู่ใต้น้ำเช่นกัน แต่หาอาหารทีแขวนลอยอยู่ในน้ำ



รูปที่ 2.3 ลูกน้ำยุง (Larva)

2.2.3 ตัวโม่ง (Pupa)

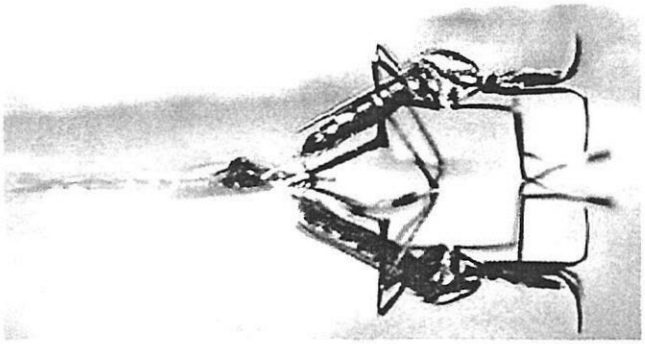
(Pupa) หรือที่เรียกว่า "ตัวโม่ง" จะเคลื่อนไหวช้าลงหรืออยู่นิ่ง แต่หากถูกรบกวนจะเคลื่อนที่ได้อย่างว่องไวและจะไม่กินอาหาร ช่วงระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 2 วัน ยุงจะออกจากเปลือกดักแด้ กลายเป็นยุงตัวเต็มวัยอย่างสมบูรณ์ ช่วงแรกที่ออกมาจากเปลือกดักแด้ มันจะยังเกาะอยู่บนผิวน้ำระยะหนึ่ง จนทุกส่วนของตัวแข็งแรง ปีกยืด แข็งและแห้งพอก็จะบินออกไป



รูปที่ 2.4 ตัวโม่ง (Pupa)

2.2.4 ตัวเต็มวัย (Adult)

เมื่อตัวโม่งเจริญเต็มที่ เปลือกหุ้มบริเวณส่วนหัวของตัวโม่งเริ่มปริออก ตัวยุงที่อยู่ภายในจะค่อย ๆ ดันตัวออกมา และคลี่ปีกออก และจะเกาะอยู่บนผิวน้ำประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง เพื่อให้ปีกแข็งแรงพอที่จะบินได้ตามปกติ ยุงมักอาศัยบริเวณแหล่งเพาะพันธุ์ตลอดชีวิต **ตัวผู้** กินอาหารพวกน้ำหวานจากพืชโดยไม่กินเลือด และมีอายุสั้นกว่ายุงตัวเมีย โดยเฉลี่ยมีอายุประมาณ 1 สัปดาห์ **ยุงตัวเมีย** ปกติก็กินน้ำหวานจากพืช แต่เมื่อได้รับการผสมพันธุ์แล้ว ก็จะกินเลือดของคนหรือสัตว์ เพื่อหาโปรตีนและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของไข่



รูปที่ 2.5 ตัวเต็มวัย (Adult)

2.3 ลักษณะของลูกน้ำยุง

ลูกน้ำยุง ลักษณะของมันคือ มีลำตัวคล้ายตัวหนอน มีขน แต่มีขนาดลำตัวที่เล็กกว่ามาก ลูกน้ำยุงจะมีลำตัวยาว 1-2 มิลลิเมตร แล้วแต่ชนิดของลูกน้ำยุง ซึ่งการว่ายอยู่ในน้ำของลูกน้ำยุงแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไป เช่น ยุงก็จะว่ายน้ำเป็นรูปตัว S เป็นต้น ลูกน้ำยุ่งจะชอบลอยอยู่บนผิวน้ำ โดยจะเอาส่วนหางชี้ขึ้น แล้วเอาหัวดิ่งลงใต้น้ำ แต่เมื่อเวลาลูกน้ำยุงถูกรบกวนบนผิวน้ำมันก็จะว่ายลงใต้น้ำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันตัวเอง รูปร่างของลูกน้ำมีลักษณะผนังเซลล์บาง ๆ ปกคลุมตัวเอาไว้ และมีลำตัวเป็นปล้อง ๆ แล้ว มีขนอยู่ที่ผนังเซลล์ของตัวลูกน้ำยุง ลูกน้ำจะมีอายุประมาณ 10-14 วัน โดยประมาณ ก่อนที่จะกลายเป็นตัวโม่ง ฉะนั้นจะอาศัยช่วงเวลาใน10 วันนี้กำจัดลูกน้ำ เพราะเป็นช่วงที่กำจัดง่ายและได้ผลมากที่สุด

รูปที่ 2.6 รูปแสดงการอยู่บนผิวน้ำของลูกน้ำยุง

รูปที่ 2.7 รูปแสดงผนังเซลล์ ของลูกน้ำยุง

2.4 การกำจัดลูกน้ำยุงในรูปแบบต่าง ๆ

2.4.1 การควบคุมโดยวิธีทางชีววิทยา

1. เชื้อรา (Fungi)

เชื้อรา หลายสกุลพบว่า มีผลในการกำจัดยุงได้ โดยบางชนิดพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณในตัวของลูกน้ำยุงได้ ทำให้ลูกน้ำตาย แต่วิธีการใช้เชื้อรานี้ยังมีปัญหาอยู่บ้างทางด้านอุตสาหกรรมการผลิต เพราะต้องทำให้ได้เหมือนที่เชื้อราดำรงชีวิตอยู่ในธรรมชาติ ปัญหาทางด้านวงจรชีวิต และรูปแบบการผลิตต้องเหมาะสมด้วย ตัวอย่างของเชื้อราได้แก่ เชื้อราในสกุล *Metarhizium, Tolypocladium, Penicillium* เป็นต้น

2. แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรีย เป็นจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงได้ผลดี แบคทีเรียที่นำมาใช้เป็นสายพันธุ์ Bacillus thuringiensis serotype H-14 (หรือ israelensis) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ Bti การเกิดพิษของแบคทีเรียเกิดขึ้นโดยเมื่อลูกน้ำกินแบคทีเรียเหล่านี้เข้าไป สารพิษจะทำปฏิกิริยาทำให้เกิดความเป็นพิษในกระเพาะอาหาร ทำให้ลูกน้ำยุงตายภายในเวลาไม่ถึงชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ ลำตัวของลูกน้ำยุงที่ตายจะมีสีซีด ปัจจุบันมีการผลิตแบคทีเรียนี้เป็นอุตสาหกรรมในรูปแบบผงละลายน้ำ เม็ด หรือออกมาในรูปของเหลว สารพิษสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ แต่ข้อเสียคือ ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ในธรรมชาติ อาจต้องใช้ร่วมกับสารเคมี แต่สารเคมีที่ใช้นี้มีความปลอดภัยสูงต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม แบคทีเรียอีกชนิดหนึ่งคือBacillus sphaericus (Bs) สามารถสร้างสปอร์เช่นเดียวกัน ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ แต่จะเพิ่มจำนวนได้เองในแหล่งน้ำสะอาดและแหล่งน้ำสกปรกที่มีอินทรียวัตถุสูงและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงรำคาญแต่ไม่สามารถป้องกันกำจัดลูกน้ำยุงลายได้

3. โปรโตซัว (Protozoa)

สามารถทำลายลูกน้ำยุงได้ แต่ประสิทธิภาพจะช้ากว่าแบคทีเรีย

4. ไมโครพลาสมา (Mycoplasma) สกุล Spiroplasma

สามารถใช้ควบคุมยุงลายได้ แต่ประสิทธิภาพจะช้า ทำให้ลูกน้ำยุงตายระหว่างการเจริญเติบโต หรือถ้ากลายเป็นตัวเต็มวัยได้จะทำให้บินไม่ได้หรือมีความผิดปกติ

5. ไวรัส (Virus)

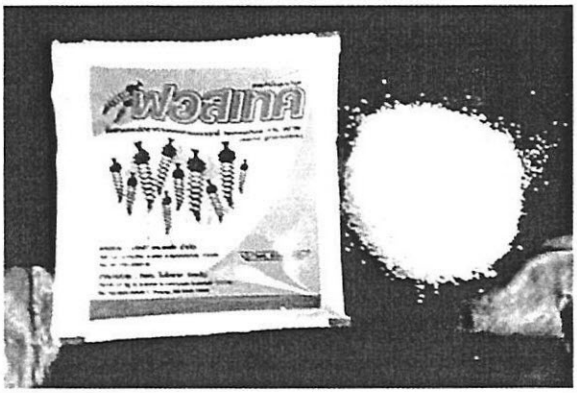
เชื้อ Densovirus เป็นเชื้อที่มีอยู่แล้วในยุงลายบ้าน

2.4.2 การใช้ทรายอะเบท

ทรายอะเบท เป็นชื่อทางการค้า ซึ่งความจริงแล้วทรายอะเบทเป็นเม็ดทรายที่ถูกเคลือบด้วยสารเคมี ในปัจจุบันเราจะใช้คำว่าทรายกำจัดลูกน้ำยุงลาย หรือทรายเคมีฟอส แทนคำว่าทรายอะเบท สารเคมีฟอสเป็นสารเคมีสังเคราะห์โดยมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ สารเคมีฟอสออกพิษรุนแรงแรงต่อลูกน้ำของยุง หรือแมลงหวี่ เพราะฉะนั้นเราจึงใช้คุณสมบัติด้านนี้ของสารเคมีฟอสในการกำจัดลูกน้ำยุงลาย สารนี้มีการผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น ผลิตในรูปแบบน้ำ ผง หรือเม็ด

แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การนำสารเคมีฟอสมาเคลือบเม็ดทรายที่เรียกว่าทรายเคมีฟอส หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า ทรายอะเบท ซึ่งส่วนใหญ่เม็ดทรายที่เคลือบมีสารออกฤทธิ์ 1% หรือ 2% เวลา

ใช้จะต้องนำไปใส่ในน้ำในอัตราส่วนการใช้ คือ ทรายอะเบท 1 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร โดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์แยกต่างหาก ซึ่งสัดส่วนการใช้ทรายอะเบทจะมีสัดส่วนปรากฏอยู่ในแต่ละซอง



รูปที่ 2.8 ทรายอะเบท

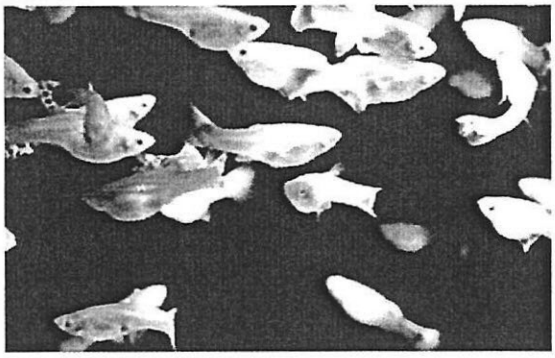
ข้อดีของทรายอะเบท

1. เมื่อใส่ทรายอะเบทในที่มีน้ำขัง จะป้องกันไม่ให้เกิดลูกน้ำได้นานประมาณ 3 เดือน
2. เป็นสารเคมีที่มีอันตรายน้อย ถ้าใส่ตามอัตราส่วนที่กระทรวงสาธารณสุข จะไม่เกิดอันตรายทั้งคนและสัตว์เลี้ยง

ข้อเสียของทรายอะเบท

1. มีกลิ่นเล็กน้อยกลิ่นนี้สามารถกำจัดได้เมื่อเปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ประมาณ 2 – 3 วัน
2. ทรายอะเบทมีฤทธิ์ฆ่าลูกน้ำตัวเต็มวัยของยุงไม่ได้ ดังนั้นขณะที่มีการระบาดของไข้เลือดออก การใช้ทรายอะเบทจะแก้ไขปัญหาไม่ทันต่อเหตุการณ์ จะต้องฉีดพ่นสารเคมีอื่นจึงจะทำลายยุงที่มีไวรัสได้

วิธีกำจัดลูกน้ำยุงยังอีกหลากหลายวิธีที่ยังไม่ได้กล่าวในนี้ ซึ่งบางวิธีเป็นวิธีที่กำจัดง่าย เช่น คว่ำภาชนะที่มีน้ำขัง ปล่อยปลาหางนกยุง เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การใช้ปลาหางนกยุงกำจัดลูกน้ำยุง

2.5 แนวคิดในการกำจัดลูกน้ำยุง

ยุง เป็นสัตว์ปีกที่มีขนาดเล็กที่สร้างความรำคาญให้แก่มนุษย์และยังเป็นพาหะนำโรคต่างๆ มาสู่มนุษย์ และสัตว์ เช่น โรคไข้มาลาเรีย ไข้เลือดออก ไข้สมองอักเสบ โรคเท้าช้าง โรคชิคุนกุนยา และโรคอื่น ๆ อีกหลายโรค ซึ่งในแต่ละปีมีค่าใช้จ่ายในการกำจัด ป้องกันและดูแลผู้ป่วยที่ได้รับโรคจากยุงเป็นเงินจำนวนมากถึงหลักพันล้านบาทต่อปี โดยในปัจจุบันมีวิธีหลายวิธี ทั้งการใช้สารเคมีพ่นเพื่อกำจัดยุงในตัวเต็มวัย การใช้ควันพ่นในบริเวณกว้างเพื่อกำจัดยุง การใช้แบคทีเรียกำจัดยุง การใช้ทรายอะเบทเทลงในน้ำตอนที่ยุงเป็นลูกน้ำ ซึ่งทรายอะเบทคือ ทรายที่เคลือบสารเคมี และการใช้ปลาหางนกยุงปล่อยเพื่อให้ไปกำจัดโดยการให้ปลาหางนกยุงไปกินลูกน้ำที่อยู่ในน้ำ แต่ในโครงงานสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้จะนำเสนอการประดิษฐ์ คิดค้นเพื่อเป็นแนวทางใหม่ในการกำจัดยุงในช่วงที่ยังอยู่ในน้ำตั้งแต่ไข่ลูกน้ำยุง จนไปถึงตัวโม่ง แต่ในระยะลูกน้ำจะเห็นผลมากที่สุด การกำจัดจะใช้วิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ปล่อยลงในน้ำเกิดเป็นคลื่นน้ำมีแรงกระแทกไปกระแทกลูกน้ำทำให้ลูกน้ำตายในที่สุด แต่จะมีผลกระแทกเฉพาะลูกน้ำแต่สัตว์ชนิดอื่นจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม และไม่มีสารเคมีตกค้าง

แนวคิดที่นำเสนอคือ การกำจัดลูกน้ำยุงโดยการใช้คลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิค (Ultrasonic Wave) หย่อนลงไปในน้ำเพื่อให้คลื่นทำให้เกิดแรงดันน้ำให้แรงดันน้ำไปกระแทกลูกน้ำยุงเพื่อทำให้ลูกน้ำยุงตาย โดยคลื่นที่ไปกระแทกลูกน้ำยุงจะไปทำอันตรายกับยุง กล่าวคือ เมื่อลูกน้ำยุงโดนคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิคที่ปล่อยลงไป คลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิคจะไปทำลายผนังเซลล์ของลูกน้ำยุงทำให้ผนังเซลล์และทำลายประสาทหูของลูกน้ำยุงแตกจนลูกน้ำยุงทนไม่ไหว และตายในที่สุด รวมถึงยุงในระยะที่เป็นตัวโม่ง ซึ่งได้คำนวณลักษณะความถี่ช่วงที่ลูกน้ำยุงได้รับอันตราย แต่สัตว์ชนิดอื่น ๆ จะไม่ได้รับอันตราย เพราะสัตว์แต่ละชนิดรับความถี่ที่ได้ยินไม่เท่ากัน เช่น มนุษย์จะได้ยินตั้งแต่ 3-20 kHz และสัตว์ชนิดอื่น ๆ จะได้รับคลื่นเสียงแตกต่างกันไปในคลื่นเสียงย่านอัล

ตราโซนิค จึงเกิดแนวคิดที่จะนำคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิคลงไปใต้น้ำในที่สุด และมีเปียโซอิเล็คทริก เป็นตัวปล่อยคลื่นไปกำจัดลูกน้ำยุง

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการกำจัดลูกน้ำยุง

2.6.1 ทฤษฎีของระบบอัลตราโซนิค

คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงโดยเฉลี่ยสูงเพียงประมาณ 15 kHz เท่านั้น แต่มนุษย์ที่มีอายุน้อย อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่าผู้ใหญ่ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่า "อัลตราโซนิค" จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป และจะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิคมาใช้เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางซึ่งสามารถควบคุมคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่นแต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิค อย่างเช่น 40 kHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มิลลิเมตร เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง

คลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิคกระจายไปในอากาศได้ หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้ มีชื่อเรียกว่า อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ในปัจจุบันอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่

แบบเปียโซอิเล็คทริก (Piezo-electric Transducer)

ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

แบบแมกนีโตสตริคทีฟ (Magnetostrictive Transducer)

ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

แบบอิเลคโตรสตริคทีฟ (Electrostrictive Transducer)

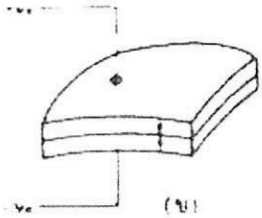
ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

แต่วิธีที่ใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงที่จะนำเสนอต่อไปนี้คือ **แบบเปียโซอิเล็คทริก**

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็คทริก

ภายในตัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ แบบเปียโซอิเล็คทริก เป็นแบบที่มีใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งได้รับการพัฒนากันมาในระดับหนึ่ง จะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้า เพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ชิ้นสารเซรามิคนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิค 2 ชิ้น ประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกันดังรูป

(ก)



(ข)

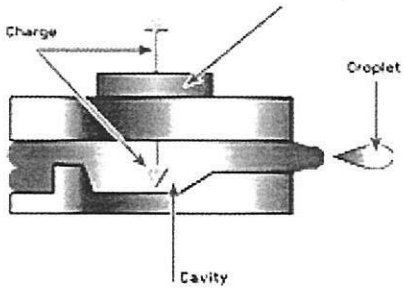
รูปที่ 2.10

(ก).โครงสร้างภายในตัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็คทริกที่ใช้สารเซรามิค

(ข).เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิคโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิค กระจายออกไป

ชิ้นสารเซรามิคถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดีเพื่อไม่ให้การสั่นขณะที่มันทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอกตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 เซนติเมตร ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิคเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชีลด์ สำหรับบางยี่ห้อจะมีต่อขาหนึ่งติดกับตัวถังมาให้ หากพลิกดูขา 2 ขาที่โผล่ออกมาจากตัวถังจะมีขาหนึ่งติดกับตัวถัง

เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิคดังรูป (ข) จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากหรือน้อย หรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไปโดยทั่วไป กำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณร้อยละ 10 ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาท์พุทจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้มาก ในทำนองกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นสารเซรามิคเข้ามาจะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็คทริกก็คือ มีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 MW เรียกว่าหากเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานทางด้านไฟสลับจะลดลง



รูปที่ 2.11หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก

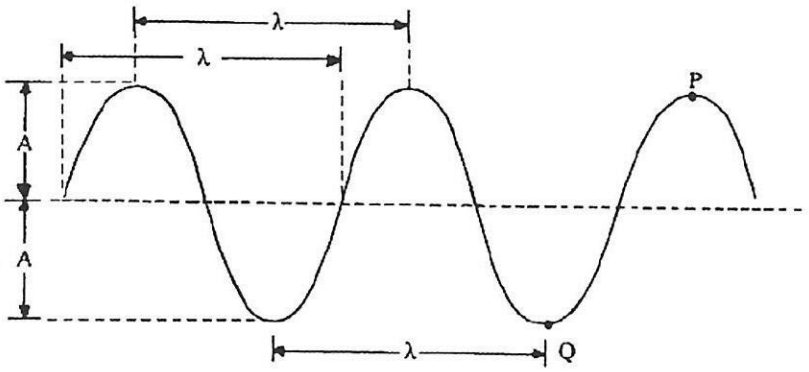
2.6.2 สมบัติและหลักการของคลื่น

ส่วนประกอบของคลื่น

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของคลื่น จะเห็นลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของคลื่น 3 ประการ คือ ความยาวคลื่น ความถี่ และอัตราเร็วของคลื่น นอกจากนี้คลื่นยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่



2.12 ส่วนประกอบของคลื่น

การกระจัด (Displacement) คือ ระยะที่คลื่นเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งสมดุล

แอมปลิจูด (Amplitude) คือ ขนาดของการกระจัดสูงสุดของอนุภาคของตัวกลางที่คลื่นผ่านจากตำแหน่งสมดุลเดิม ใช้สัญลักษณ์ A มีหน่วยเป็นเมตร

ความยาวคลื่น (Wave length) คือ ระยะที่น้อยที่สุดระหว่างจุด 2 จุดบนคลื่นที่มีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกันทุกประการ เราใช้สัญลักษณ์ l แทนความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร

ความถี่ของคลื่น (Frequency) คือ จำนวนคลื่นที่ผ่านจุด ๆ หนึ่ง ในหนึ่งหน่วยเวลาหรือจำนวนรอบที่แหล่งกำเนิดคลื่นหรือตัวกลางสั่นได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ใช้สัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

คาบของคลื่น (Period) คือ ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ความยาวคลื่น หรือเวลาที่แหล่งกำเนิดคลื่นหรือตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านครบ 1 รอบ ใช้สัญลักษณ์ T มีหน่วยเป็นวินาที

อัตราเร็วคลื่น (Wave speed) คือ ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา ใช้สัญลักษณ์ v มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

หน้าคลื่น (Wave front) คือ แนวสมดุลที่เชื่อมระหว่างตำแหน่งเดียวกันบนคลื่นหลาย ๆ ขบวนโดยหน้าคลื่นจะตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

เฟส (Phase) คือ การบอกตำแหน่งบนคลื่น โดยเปรียบเทียบการเคลื่อนที่หรือการสั่นของคลื่น 1 รอบ กับการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ใช้สัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็น องศา หรือ เรเดียน ซึ่งมุม 1π เรเดียน เทียบได้เท่ากับ 57.3 องศา มุม 360 องศา เทียบได้เท่ากับ 2π เรเดียน

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบของคลื่น

เมื่อพิจารณาจากความหมายของคาบและความถี่ของคลื่น จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = \frac{1}{t}$$

เนื่องจากในเวลา t วินาที คลื่นเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 1 เมตร

ดังนั้น

$$v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

ในน้ำจืดการเดินทางเสียงที่เกี่ยวกับ 1497 m/s อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้น

$$\lambda = \frac{1497\,m/s}{35000\,Hz} \qquad \lambda = 0.042m$$

ความเร็วของเสียงในน้ำ -- ในหน่วย SI

อุณหภูมิ ($\circ c$)	**ความเร็วของเสียง** (m/s)
0	1,403
5	1,427
10	1,447
20	1,481
30	1,507
40	1,526
50	1,541
60	1,552
70	1,555
80	1,555
90	1,550
100	1,543

ตารางที่ 1 แสดงความเร็วของเสียงในน้ำ -- ในหน่วย SI

คลื่นทุกชนิดแสดงสมบัติ 4 อย่าง คือการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน

1. การสะท้อน (reflection) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวาง แล้วเปลี่ยนทิศทางกลับสู่ตัวกลางเดิม

2. การหักเห (refraction) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ต่างกัน แล้วทำให้อัตราเร็วเปลี่ยนไป

3. การเลี้ยวเบน (diffraction) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวาง ทำให้คลื่นส่วนหนึ่งอ้อมบริเวณของสิ่งกีดขวางแผ่ไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนั้น

4. การแทรกสอด (interference) เกิดจากคลื่นสองขบวนที่เหมือนกันทุกประการเคลื่อนที่มาพบกัน แล้วเกิดการซ้อนทับกัน ถ้าเป็นคลื่นแสงจะเห็นแถบมืดและแถบสว่างสลับกัน ส่วนคลื่นเสียงจะได้ยินเสียงดังเสียงค่อยสลับกัน

บทที่ 3
การออกแบบเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงหลักการทำงาน

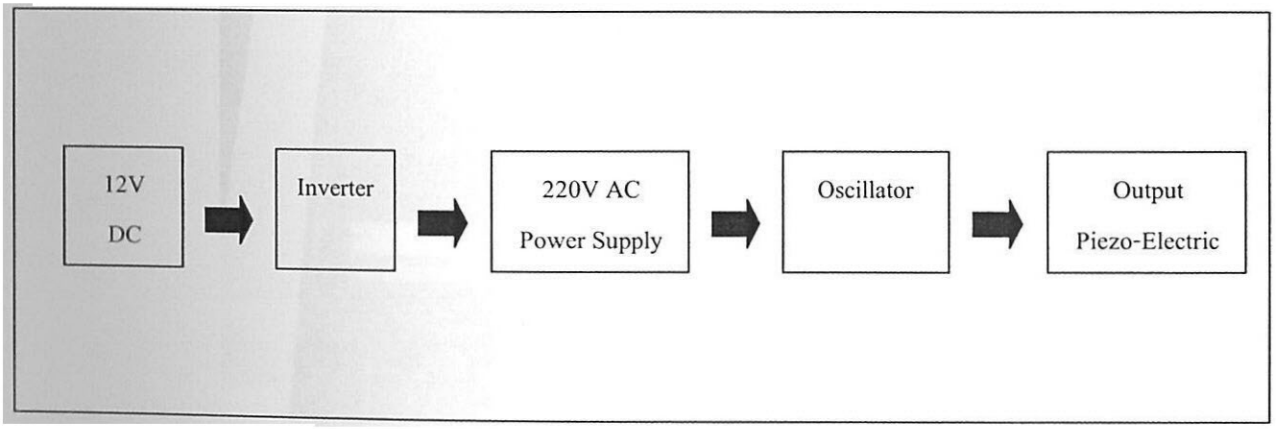
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรกำจัดลูกน้ำยุง โดยจะมีการออกแบบวงจรเซอร์กิต ค่าต่าง ๆ ในวงจรและแสดงขั้นตอนการประกอบเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงเพื่อใช้งานจริงในการกำจัดลูกน้ำยุง เมื่อได้วงจรและการประกอบเสร็จสิ้นแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุง ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

3.2 การออกแบบเครื่องกำจัดลูกน้ำยุง

การออกแบบวงจรกำจัดลูกน้ำยุงซึ่งได้อธิบายถึงหลักการและทฤษฎีไว้ในบทที่ 2 ดังที่กล่าวมาแล้ว ในบทนี้ก็จะมาถึงการทำเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงมาเพื่อใช้งานจริงแล้ว โดยจะเริ่มจากการออกแบบวงจรสร้างความถี่ (Oscillator) ซึ่งการออกแบบจะศึกษาจากวงจรต่างๆ การกำหนดค่าต่างที่ใช้ในวงสร้างความถี่ เช่น ค่า ตัวเก็บประจุ (C) ค่าตัวเหนี่ยวนำ (L) ค่าความต้านทาน (R)
ค่าหม้อแปลง (Transformer) เพื่อให้วงจรมีความพอดีกับค่าของหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก ซึ่งหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก จะแปลงไฟฟ้าเป็นคลื่นออกทางหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกไปกำจัดลูกน้ำยุง

3.3 หลักการทำงาน



รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงานของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุง

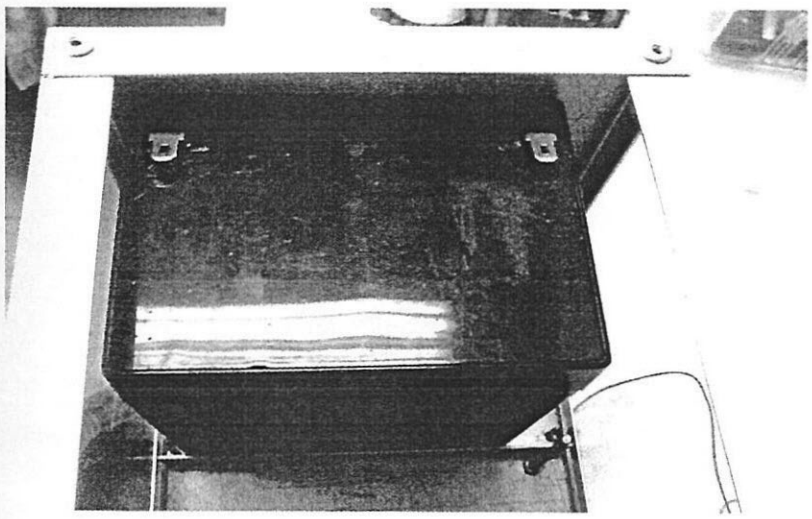
จากบล็อกไดอะแกรม แสดงให้เห็นถึงระบบการทำงานของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยจะเริ่มจากแบตเตอรี่ไฟฟ้ากระแสตรง 12 VDC เข้าไปยัง Inverter ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงจาก

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านฝั่งอินพุต 220 VAC ผ่านวงจรเรียงกระแสไฟฟ้ากำลังสูงให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปริมาณ 310 VDC (15A) เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้วงจรขยายกำลัง โดยที่วงจรสามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 30 – 100 kHz ผ่านวงจรขยายกำลังมาเป็นสัญญาณควบคุมความถี่ที่ภาคขยายกำลัง และกำลังไฟฟ้าที่ได้จะส่งต่อไปยังภาควงจรเรโซแนนซ์และขวดลวดหม้อแปลงความถี่สูงกำลังสูงจากนั้นจะส่งต่อไปยังเอาท์พุทคือไปที่ตัวปล่อยคลื่นแบบเปียโซอิเล็คทริกโดยมีกำลังงานเอาท์พุทขนาดประมาณ 100 Watt

โดยเครื่องจำจัดลูกน้ำยุงได้สร้างไว้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นทั้งแบบที่จ่ายไฟจากแบตเตอรี่เพื่อให้ใช้ได้สะดวกตามสวน ไร่ นา และตามสถานที่ที่สายไฟโยงไปไม่ถึง และแบบที่จ่ายไฟจาก 220VAC ซึ่งแบบนี้สามารถจ่ายไฟจากไฟบ้านได้เลย โดยไม่ต้องผ่านแบตเตอรี่

3.4 แบตเตอรี่ 12 VDC

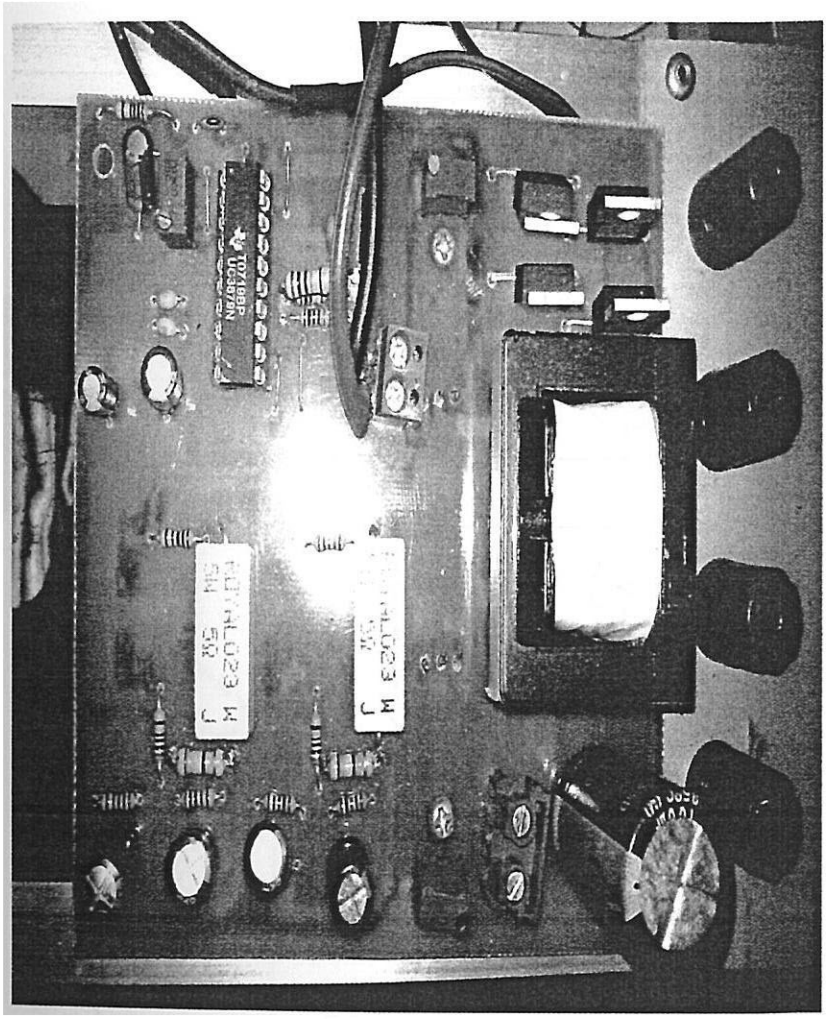
แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปให้วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) เพื่อทำการนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ดำเนินการแปลงออกไปยังเอาท์พุท หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก (Piezo-electric Transducer) เพื่อใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงต่อไป ในการใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้านี้จะใช้เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำขังที่ที่ไม่สามารถใช้ไฟฟ้า 220 VAC ได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงต่อไป



รูปที่ 3.2 แบตเตอรี่

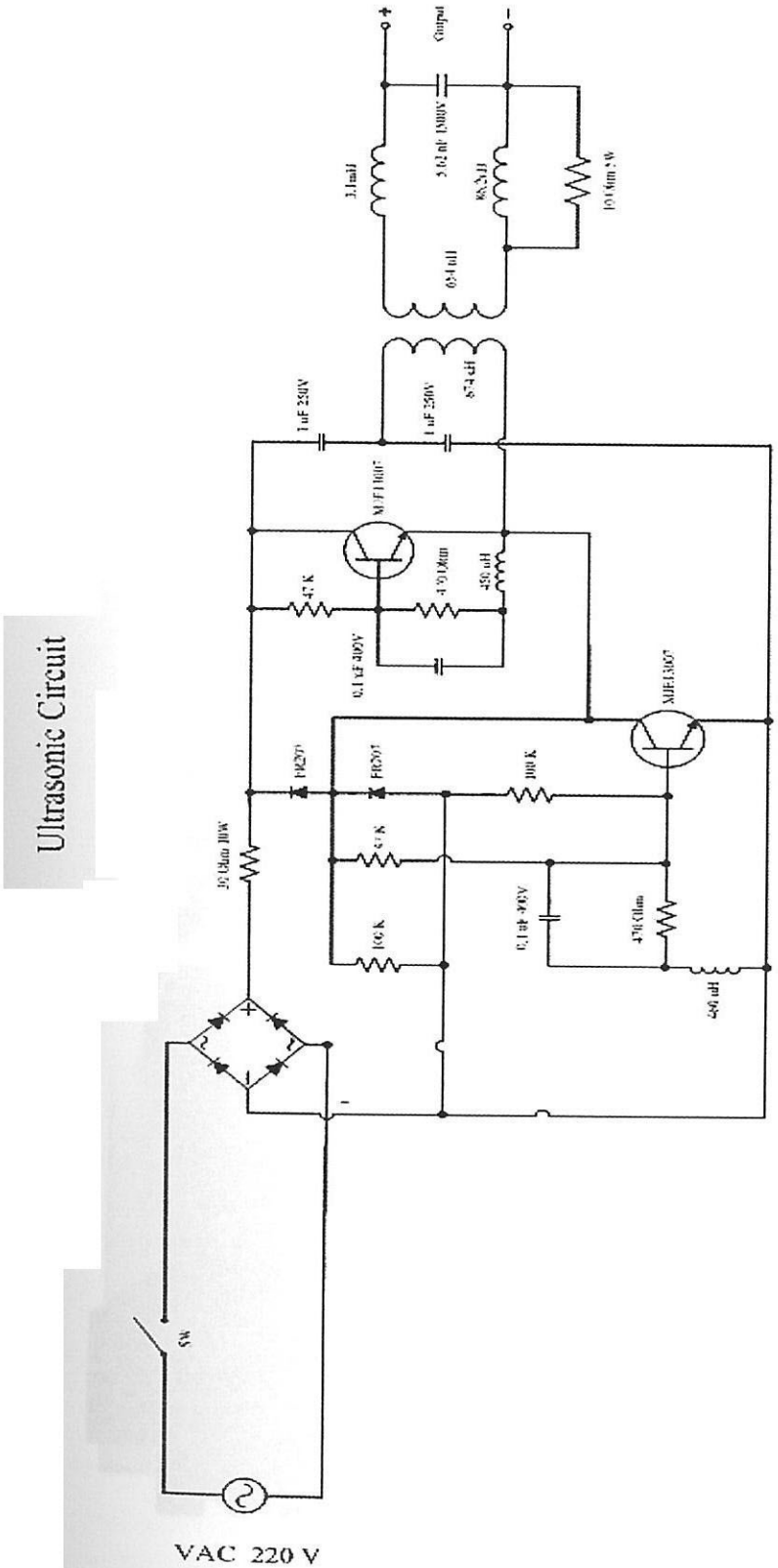
3.5 Inverter

Inverter เป็นวงจรที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่จ่ายมาจากแบตเตอรี่ 12 VDC ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC เพื่อทำการแปลงให้กระแสไฟฟ้าสามารถเข้าสู่และใช้ในวงจรกำเนิดความถี่ได้และเพื่อให้วงจรกำเนิดความถี่ ทำงานได้ต่อไป ซึ่งถ้าไม่ทำการให้กระแสไฟฟ้าผ่าน Inverter เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้า โดยใช้ไฟจากแบตเตอรี่โดยตรงเลยจะวงจรจะไม่สามารถทำงานได้



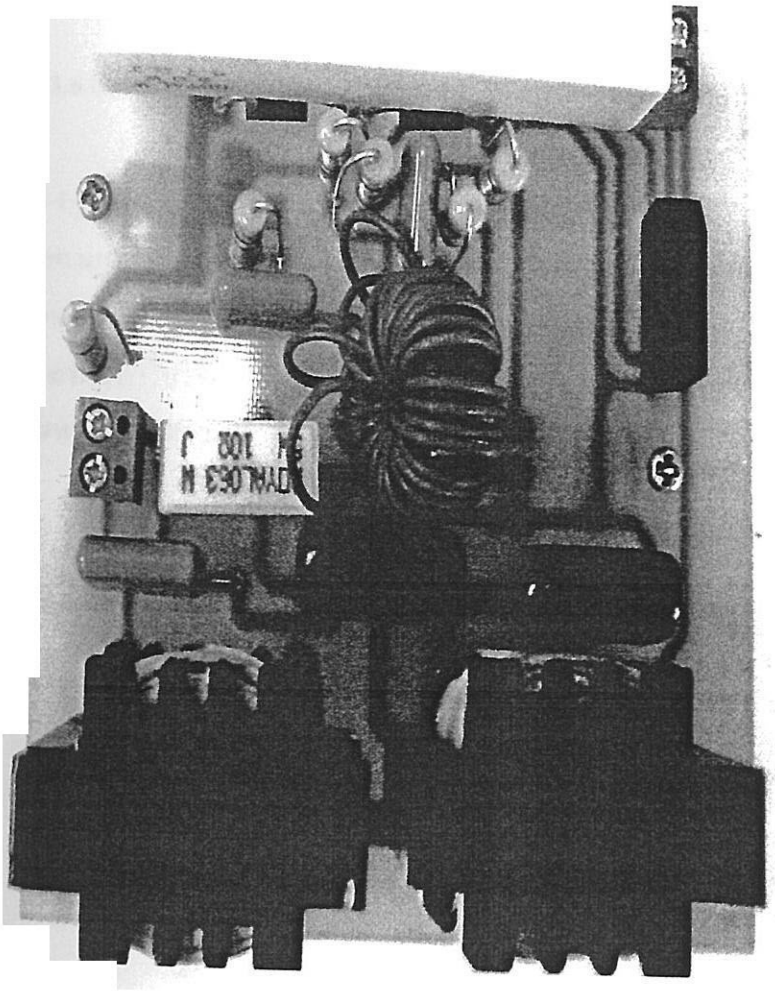
รูปที่ 3.3 Inverter

3.6 Ultrasonic Circuit (Oscillator)



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงเซอร์กิตวงจรกำจัดลูกน้ำยุง

จากรูปแสดงวงจรอัลตราโซนิคแบบ Self Oscillator โดยวงจรจะเริ่มจากไฟ 220 VAC ตรงเข้าไปที่สวิทซ์ปิด - เปิด ต่อไปยังวงจรบริดจ์ไดโอด (Diode Bridge) เพื่อแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ประมาณ 310 VDC จากนั้นจะแยกไฟบวกลบ โดยที่ด้านไฟบวกจะผ่านไปยังตัวต้านทาน (R) 30 Ohm 10W เพื่อลดทอนกระแสไม่ให้กระแสเกินในวงจรแล้วผ่านไปยังไดโอดเพื่อกันกระแสไม่ให้ไหลช็อตในวงจร ส่วนไฟลบจะผ่านไปยัง Amp MOSFET 1 และ 2 สเตรทเพื่อทำการแมตซ์ชิ่ง-(Matching) ทำให้เกิดการ Oscillate โดยเป็นการแมตซ์ชิ่ง(Matching) วงจร R, L, C แล้วผ่านไปยังหม้อแปลงเพื่อทำการแปลงกระแสเพื่อจ่ายไฟออกไปยังเอาท์พุทคือ หัวสั่นแบบเปียโซอิเล็คทริก ซึ่งหัวสั่นแบบเปียโซอิเล็คทริกทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุซึ่งจะมีค่าประมาณ 4 nH



รูปที่ 3.5 วงจร Oscillator

หม้อแปลงและแกนเทอร์รอยด์

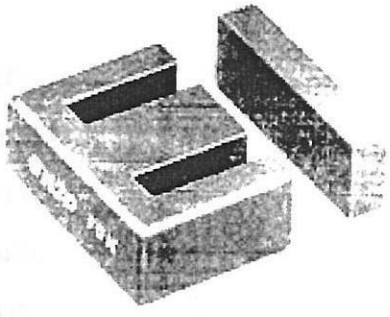
แกนชนิดวงแหวน หรือเทอรอยด์ (Ring Cores or Teroids)

ลักษณะของแกนเทอรอยด์ แกนชนิดนี้มักจะมีการออกแบบและผลิตโดยมีพารามิเตอร์ของการคัปปลิ้ง (Coupling) ที่หลากหลายไปตามวัสดุที่ใช้ผลิตแกน ตามความต้องการใช้งาน (ซึ่งมักจะบอกตาม โค้ดสี (Color Code) ที่ตัวแกน)

รูปที่ 3.6 แกนชนิด วงแหวน หรือ เทอรอยด์ (Ring Cores or Teroids)

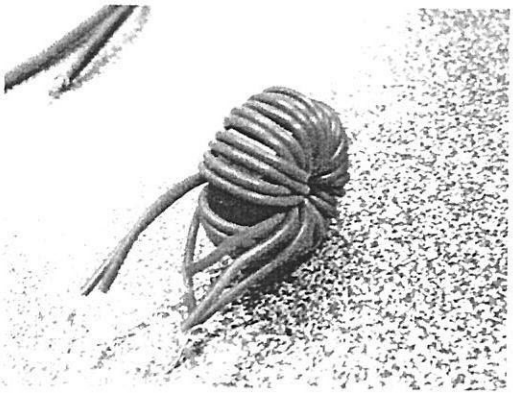
แกนชนิด อี-ไอ (E-I Cores)

รูปร่างของแกนชนิด E ซึ่งจะมีทั้งหมด 2 ชิ้นประกบกัน แกนชนิดนี้ถูกออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานสำหรับหม้อแปลงกำลัง และใช้เป็นตัวกรอง (filter) ที่ความถี่ไม่สูงมาก เพราะแกนชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่ความถี่สูงๆเนื่องจากผลของแกนกลางที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยม ซึ่งทำให้เกิดความต้านทานของขดลวด และ ค่าตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลที่สูง

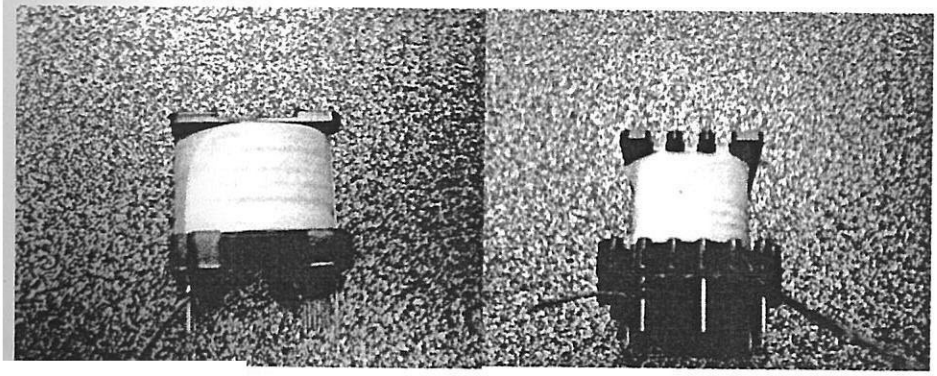


รูปที่ 3.7 แกนชนิด อี-ไอ (E-I Cores)

ในการสร้างเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงนั้นจะมีการพันแกนเทอร์รอยด์และหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการการแมตซ์ชิ่ง (Matching) เพื่อให้ทำการ Oscillate และหม้อแปลงเพื่อทำการจ่ายไฟให้ออกไปยังเอาท์พุท



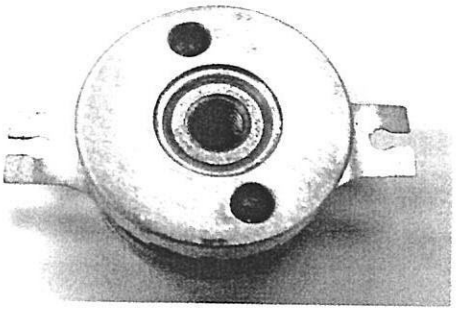
รูปที่ 3.8 ตัวเหนี่ยวนำพันแกนเทอร์รอย



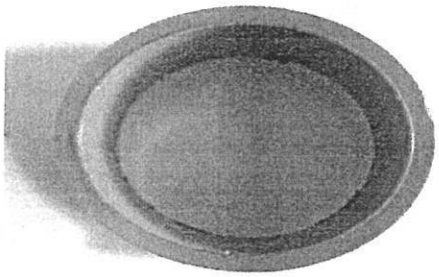
รูปที่ 3.9 หม้อแปลงไฟฟ้า

3.7 หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก (Piezo-electric Transducer)

หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกทำมาจากการนำลำโพงอัลตราโซนิคมาทำการอัดฉนวนให้เกิดความแน่นหนักมิดชิดและไม่รั่ว เพื่อที่จะเอาหัวสั่นลงไปในน้ำ โดยการนำฝาปิดท่อน้ำมาตัดให้ได้รูปเท่ากับความหนาของลำโพงอัลตราโซนิคแล้วทำการไขสกรูให้อุดร่องลำโพงอัลตราโซนิคไว้ เมื่ออุดร่องลำโพงเสร็จก็จะทำการนำแผ่นเพลทที่เป็นวงกลมตัดพอดีขนาดของท่อ แล้วทำการเชื่อมด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงติดกับสกรูที่ไขไว้ที่ลำโพงอัลตราโซนิคแล้วทำการหล่อเรซินเพื่อให้ลำโพงยึดติดกับท่อและเพื่อให้เรซินเป็นฉนวนไม่ให้ขั้วของลำโพงเกิดการลัดวงจรในขณะที่ปล่อยคลื่นออกไป

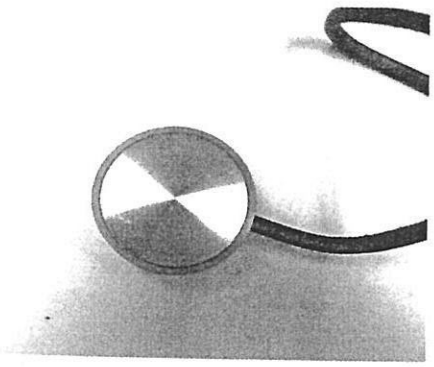


รูปที่ 3.10 ลำโพงอัลตราโซนิค



รูปที่ 3.11 ฝาท่อครอบลำโพงอัลตราโซนิค

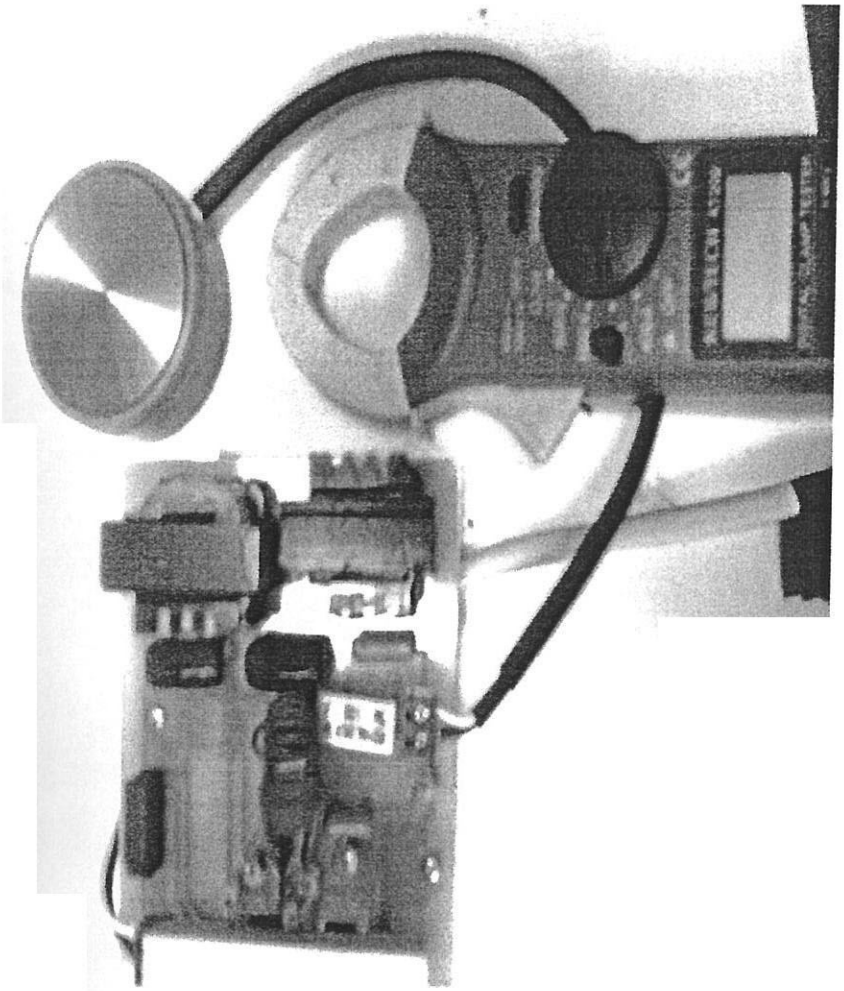
เมื่อทำการหล่อเรซินและนำแผ่นเพลทปิดหน้าลำโพงอัลตราโซนิคสำเร็จแล้วจะได้หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก ซึ่งแผ่นเพลทที่ปิดด้านหน้าของตัวลำโพงอัลตราโซนิคไว้จะเป็นทำให้เปียโซอิเล็คทริกทำงานโดยในหัวสั่นจะทำการโก่งงอซึ่งเร็วมากนับเป็นหมื่นรอบต่อวินาทีดันคลื่นออกมาจากหน้าแผ่นเพลท เมื่อหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกสมบูรณ์แล้วก็จะได้เห็นดังรูป



รูปที่ 3.12 หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก

3.8 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุง

หลังจากที่ได้ออกแบบและสร้างวงจรความถี่ Oscillator และหัวสั่นแบบเปียโซอิเล็คทริกแล้ว ก็จะนำมาประกอบกันและนำเครื่องกำจัดลูกลุกน้ำยุงมาทดสอบประสิทธิภาพในด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นการทดสอบที่หัวเดียวและการใช้ทดสอบหลาย ๆ หัวเพื่อดูประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ที่วงจรสามารถทำได้ ซึ่งการทดสอบและบันทึกผลจะได้นำเสนอในบทต่อไป



รูปที่ 3.13 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงที่ประกอบทุกส่วนแล้วพร้อมทดสอบ

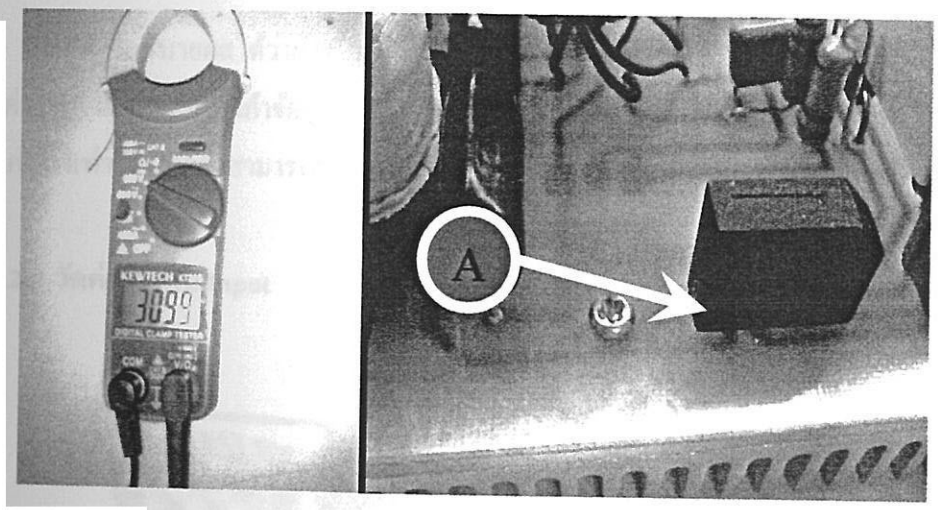
บทที่ 4
ผลการทดลอบประสิทธิภาพ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงซึ่งได้ทำกา นำเสนอการออกแบบไว้ในบทก่อนหน้านี้ รายละเอียดที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อ กำจัดลูกน้ำยุงโดยจะทำการวัดค่าต่าง ๆ เพื่อต้องการนำมาวิเคราะห์ผล สรุปผลเพื่อนำข้อมูลอันเป็ ประโยชน์ไปใช้เพื่อสร้างสิ่งต่อยอดความคิดของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงต่อไป

4.2 ผลการทดลอบประสิทธิภาพ

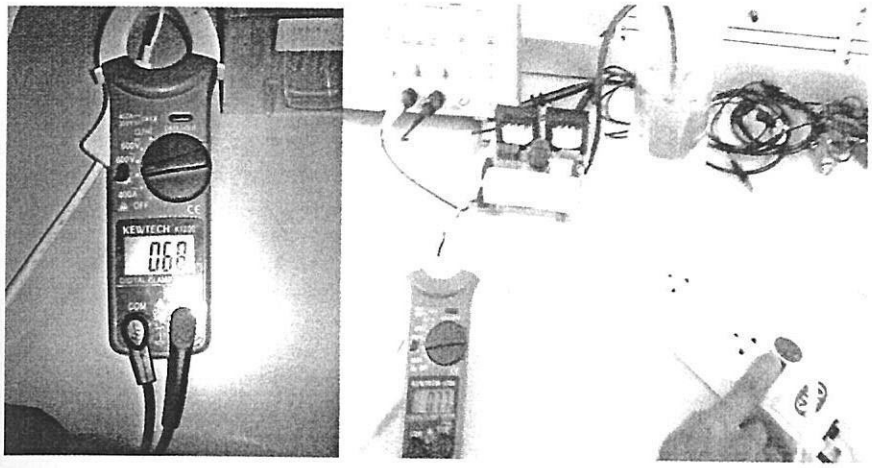
4.2.1 วัดค่าไฟที่บริดจ์ไดโอด



รูปที่ 4.1 วัดค่าแรงดันกระแสตรงที่ออกจากบริดจ์ไดโอด

จากรูปอธิบายผลได้ว่าเมื่อวัดไฟแรงดันกระแสตรงที่ออกมาจากบริดจ์ไดโอดซึ่งได้ ค่าประมาณ 310 VDC ซึ่งผลที่ออกมีค่าใกล้เคียงกะวงจรที่ออกแบบไว้คือ บริดจ์ไดโอดมีหน้าที่ แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการจ่ายไฟเข้าถือว่ามีประสิทธิภาพดี

4.2.2 วัดค่ากระแสของ Oscillator



รูปที่ 4.2 แสดงการวัดค่าการกินกระแสของ Oscillator

จากรูปอธิบายผลได้ว่าเมื่อวัดค่าการกินกระแสของ Oscillator ได้ประมาณ 0.7 A จากการคำควณค่าไฟฟ้าเมื่อนำเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงไปใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าใช้ไฟฟ้าไปเท่าไหร่และเสียค่าไฟเท่าไร และยังสามารถประเมินความรุนแรงของกระแสแก้ปัญหาเมื่อมีกระแสเกินได้

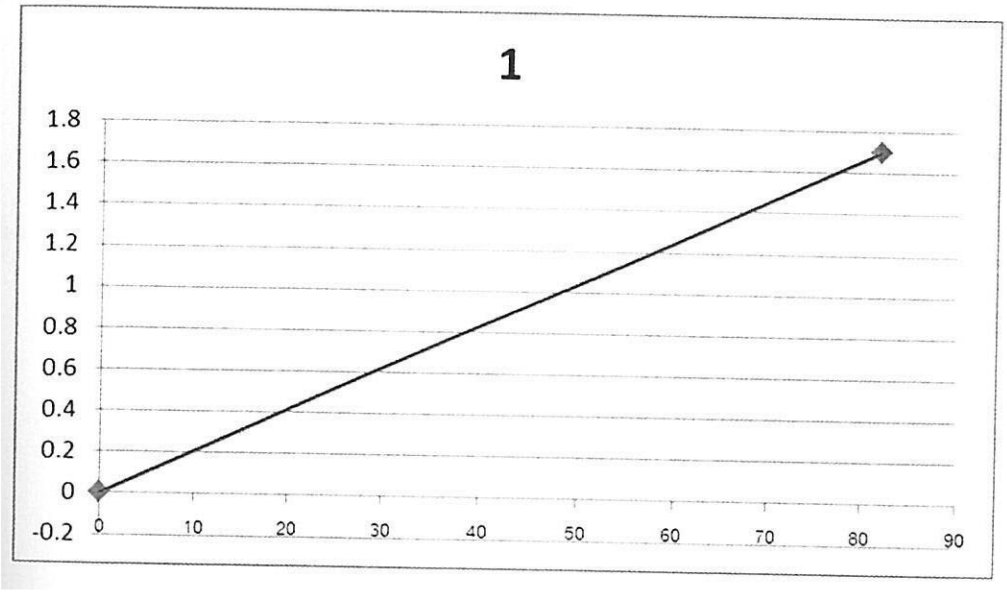
4.2.3 วัดค่าแรงดัน Input

รูปที่ 4.3 วัดค่าแรงดัน Input

จากรูปอธิบายผลได้ว่าเมื่อวัดค่าแรงดันอินพุท จะมีค่าแรงดันเข้า ประมาณ 200 V ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าแรงดันที่ไม่ถึง 220 V อาจเกิดจากการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าได้แปลงไปเป็นพลังงานในรูปอื่นไปแล้ว

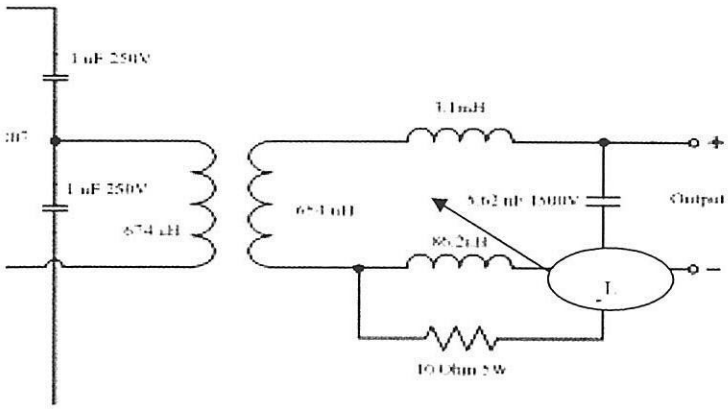
เมื่อได้ทดลองประสิทธิภาพของเครื่องกำกัดลูกน้ำยุง 1 เครื่อง ต่อ 1 หัวแล้ว ต่อไปจะทำกรทดสอบเมื่อมี 1 เครื่องแต่มีหัวตั้งแต่ 2 หัวขึ้นไป

4.2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (I) และค่าตัวเหนี่ยวนำ (L)



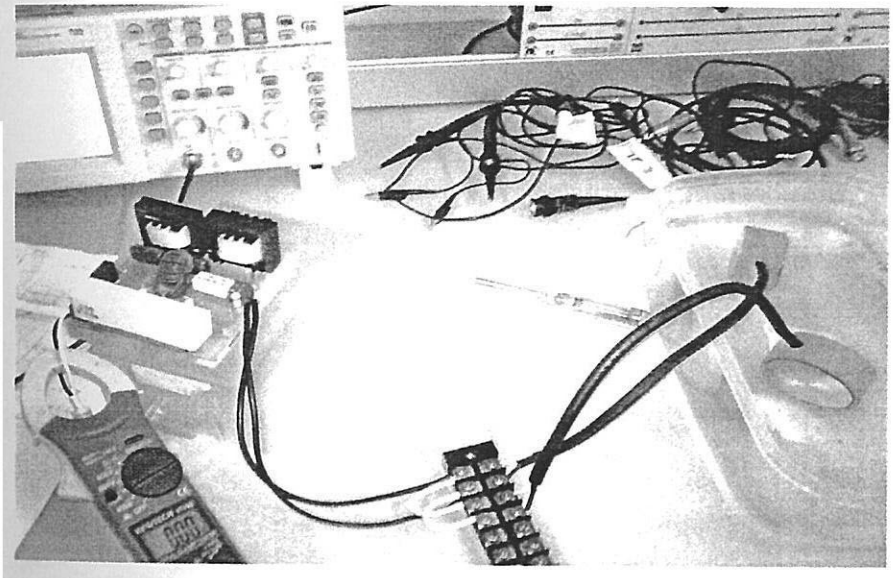
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการกินกระแสของค่า L

จากกราฟอธิบายการใช้กระแสในวงจรเมื่อปรับเปลี่ยนค่า L ได้ คือเมื่อมีการปรับค่า L มากการกินกระแสจะมีค่ามาก และจะใช้กระแสในวงจรจะมากเช่นกัน หากให้ค่า L อยู่ที่ 42 μ_H การใช้กระแสในวงจรจะอยู่ที่ประมาณ 0.8 A ถ้าค่า L มีค่า 65 μ_H การใช้กระแสในวงจรจะอยู่ที่ประมาณ 1.2 A และถ้าค่า L มีค่า 82 μ_H การใช้กระแสในวงจรจะอยู่ที่ประมาณ 1.7 A สรุปได้ว่า ค่า L มีผลต่อความถี่และการการใช้กระแสในวงจร เมื่อปรับค่า L



รูปที่ 4.5 จุดแสดงการปรับค่า L

4.2.5 การทดสอบวงจร 1 เครื่อง 2 หัว

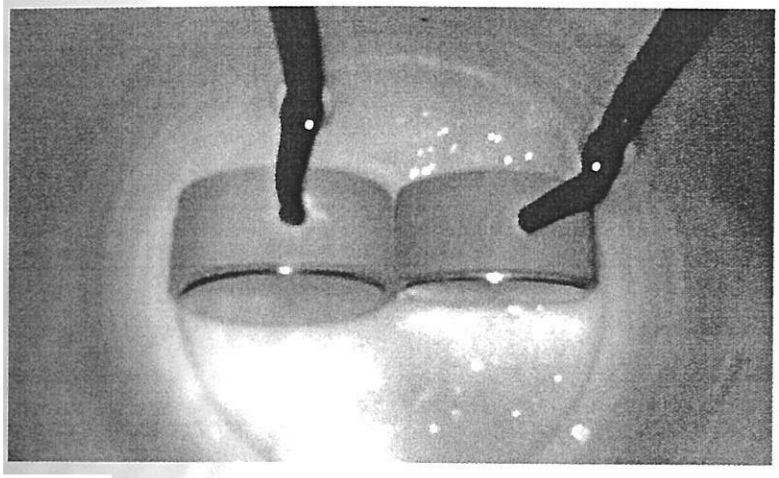


รูปที่ 4.6 การทดสอบวงจร 1 เครื่อง 2 หัว

จากรูปและการทดลองจริง อธิบายผลได้ว่า เมื่อทำการต่อหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก 2 หัวเข้ากับวงจรความถี่ (Oscillator) เครื่องเดียวปรากฏว่าเครื่องไม่ทำงาน เป็นเพราะค่า C ที่หัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ไม่แมตซ์กับวงจรดังนั้น จะต้องทำการแมตช์วงจรใหม่เพื่อให้ใช้ได้กับ 2 หัว และหลายๆ หัวในที่สุด

เมื่อไม่สามารถทดสอบ 1 เครื่องต่อหลายหัวได้ ต่อไปจะเปลี่ยนการทดสอบหลายเครื่องต่อหลายหัว โดยทำการสร้างวงจรความถี่ขึ้นมาหลายๆเครื่องแต่ละเครื่องใช้หนึ่งหัวแล้วหย่อนลงไปในน้ำพร้อมกันจากนั้นดูประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงเมื่อมีหลายเครื่องหลายหัวต่อไป

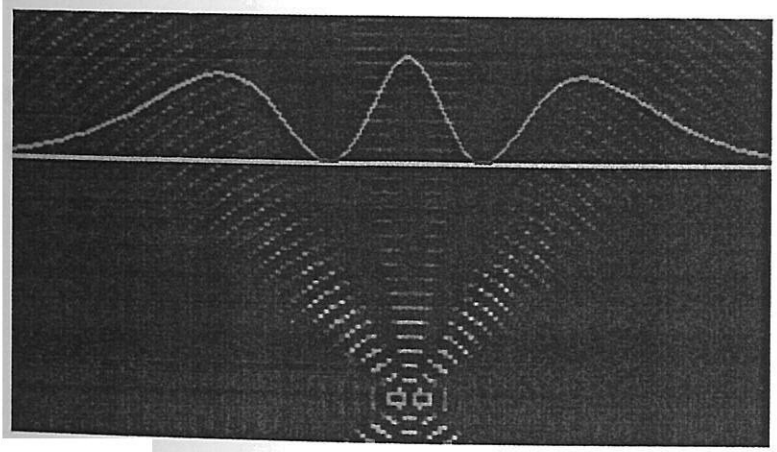
4.2.6 การทดสอบ 2 เครื่อง 2 หัว



รูปที่ 4.7 การปล่อยคลื่นของหัวเปียโซสองเครื่อง

จากรูปและการทดลองจริง อธิบายผลได้ว่า เมื่อทำการต่อหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก 2 หัว แล้วทำการเปิดเครื่องเพื่อปล่อยคลื่นอัลตราโซนิคลงในน้ำ และเมื่อปล่อยคลื่นลงในน้ำแล้วคลื่นอัลตราโซนิคของทั้งสองเครื่องมีการแทรกสอดกันของคลื่นจึงทำให้มีการหักล้างและการเสริมกันดังจะอธิบายต่อไปนี้

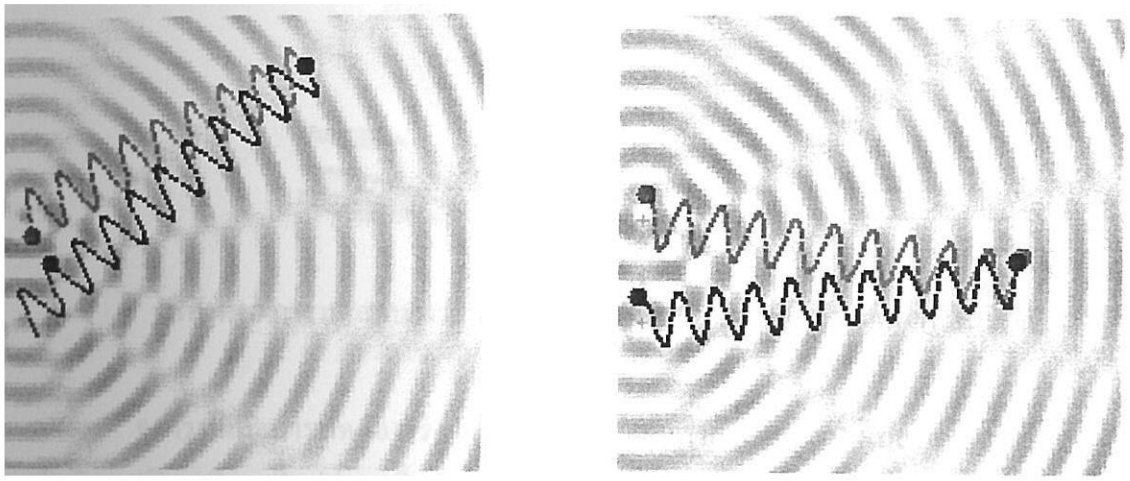
การทดสอบคลื่น 2 หัว โดยปล่อยคลื่นไปทางเดียวกัน



รูปที่ 4.8 คลื่น 2 หัว โดยปล่อยคลื่นไปทางเดียวกัน

จากรูปและการทดลองจริง อธิบายผลได้ว่า เมื่อทำการต่อหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก 2 หัว แล้วจัดวางระยะห่างของหัวเปียโซอิเล็คทริก จะเกิดการหักล้างและแทรกสอดกันของคลื่นอุลตร้าโซนิคโดยสามารถอธิบายการเกิดการหักล้างและการแทรกสอดกันได้ดังรูปต่อไปนี้

การหักล้างและการแทรกสอดกันของคลื่น



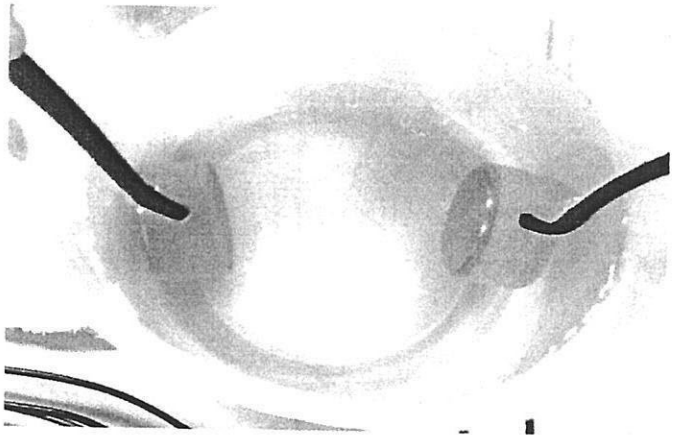
(ก) (ข)

รูปที่ 4.9 การหักล้างและการแทรกสอดกันของคลื่น

จากกราฟ (ก) จะแสดงให้เห็นว่าตรงส่วนที่ไม่มีสันของคลื่นหรือส่วนที่มีการหักล้างกันนั้นจะมีเฟสของคลื่นตรงกันข้ามกัน 180 องศา ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการหักล้างกันทำให้ไม่เกิดคลื่นตามทฤษฎี

จากกราฟ (ข) จะแสดงให้เห็นถึงการเสริมกันของคลื่นหรือคือส่วนที่มีลูกคลื่นโดยบริเวณนี้มีการรวมกันของคลื่นทั้งสองซึ่งมีเฟสเดียวกัน

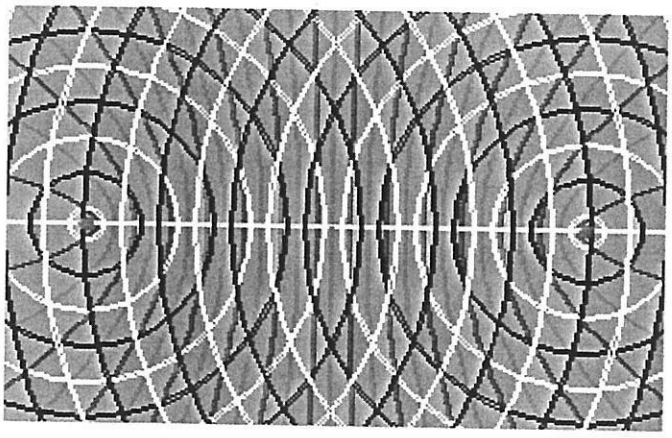
การทดสอบการปล่อยคลื่น2 หัวโดยการหันหน้าเข้าหากัน (คลื่นชนกัน)



รูปที่ 4.10 การทดสอบการปล่อยคลื่น2 หัวโดยการหันหน้าเข้าหากัน (คลื่นชนกัน)

จากรูปและการทดลองจริง อธิบายผลได้ว่า เมื่อทำการต่อหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก 2 หัว แล้วทำการเปิดเครื่องเพื่อปล่อยคลื่นอัลตราโซนิคลงในน้ำ และเมื่อปล่อยคลื่นลงในน้ำแล้วคลื่นอัลตราโซนิคของทั้งสองเครื่องมีการแทรกสอดกันของคลื่นจึงทำให้มีการหักล้างและการเสริมกันดังจะอธิบายต่อไปนี้

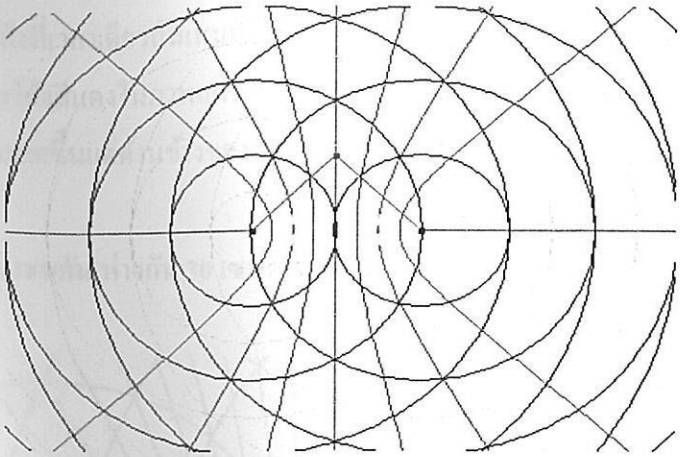
การแทรกสอดกันของคลื่น



รูปที่ 4.11 การแทรกสอดกันของคลื่น

จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าตรงส่วนที่มีการหักล้างกันนั้นจะมีเฟสของคลื่นตรงกันข้ามกัน 180 องศา ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการหักล้างกันทำให้ไม่เกิดคลื่นตามทฤษฎีและจากกราฟจะเห็นอีกว่าการปล่อยคลื่นสองลูกเข้าหากันโดยตรงมีแนวโน้มไปในทางของการหักล้างกันเป็นส่วนใหญ่

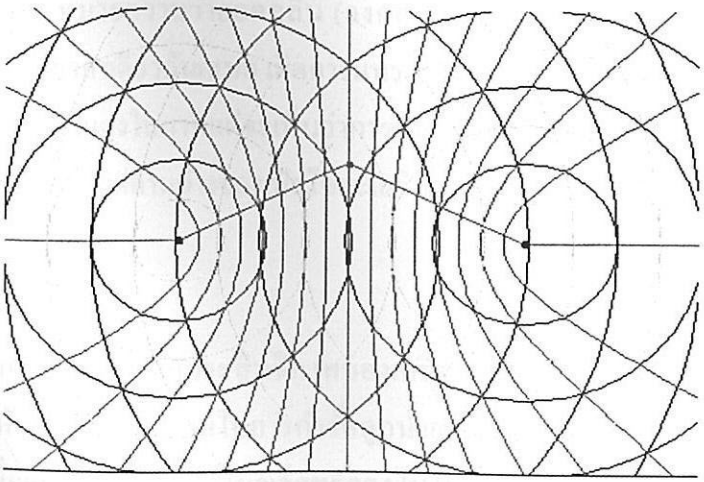
ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.12 ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 10 เซนติเมตร

ตรงจุดที่ความแตกต่างของเส้นทางการเคลื่อนที่ของคลื่นทั้งสอง คลื่นจะมีเฟสตรงกัน และรวมกันแบบเสริมกัน หมายความว่ายอดคลื่น (วงกลมสีดำ) มาถึงที่เวลาเดียวกัน และท้องคลื่น (วงกลมสีเทา) ก็มาถึงที่เวลาเดียวกันเสมอ เกิดการแทรกสอดแบบสร้างเสริม (แอมปลิจูดสูงสุด) จุดเหล่านี้จะอยู่บนเส้นโค้งสีแดงในภาพ

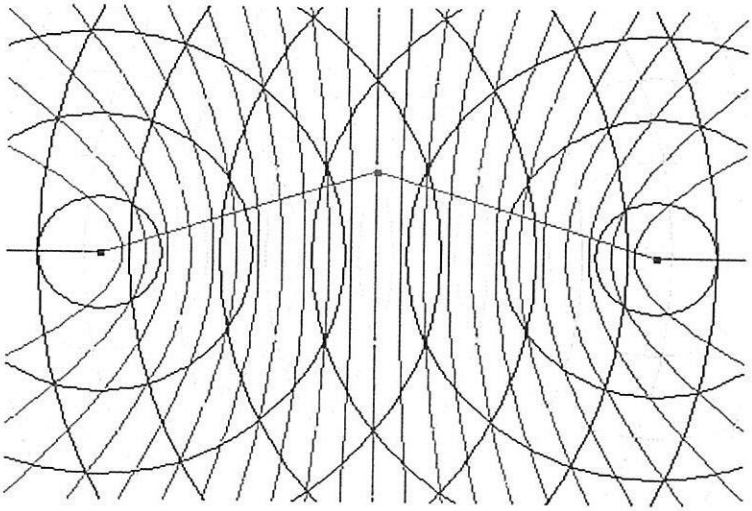
ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.13 ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 20 เซนติเมตร

ตรงจุดที่ความแตกต่างของเส้นทางการเคลื่อนที่ของคลื่นทั้งสอง คลื่นจะมีเฟสตรงกันและรวมกันแบบเสริมกัน หมายความว่ายอดคลื่น (วงกลมสีดำ) มาถึงที่เวลาเดียวกัน และท้องคลื่น (วงกลมสีเทา) ก็มาถึงที่เวลาเดียวกันเสมอ เกิดการแทรกสอดแบบสร้างเสริม (แอมปลิจูดสูงสุด) จุดเหล่านี้จะอยู่บนเส้นโค้งสีแดงในภาพแต่จะเห็นว่าการปล่อยคลื่นของระยะห่าง 20 เซนติเมตร มีการหักล้างกันของคลื่นมากขึ้นแต่ด้านข้างของเปียโซจะเสริมกันมากขึ้นเช่นกัน

ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 ปล่อยคลื่นจาก 2 หัวชนกัน ห่างกัน 30 เซนติเมตร

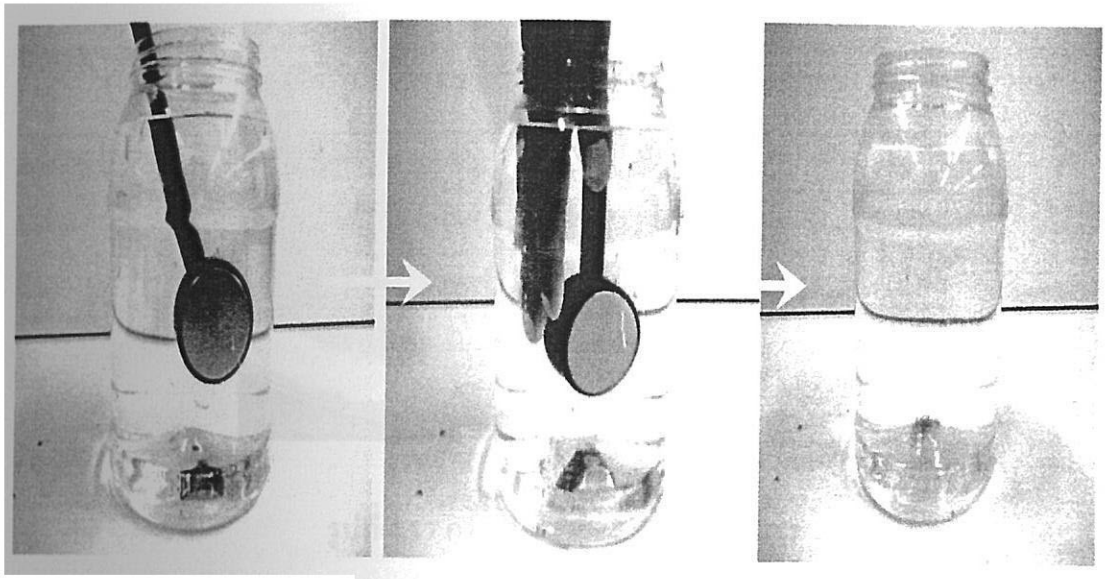
ตรงจุดที่ความแตกต่างของเส้นทางการเคลื่อนที่ของคลื่นทั้งสอง คลื่นจะมีเฟสตรงกันและรวมกันแบบเสริมกัน หมายความว่ายอดคลื่น (วงกลมสีดำ) มาถึงที่เวลาเดียวกัน และท้องคลื่น (วงกลมสีเทา) ก็มาถึงที่เวลาเดียวกันเสมอ เกิดการแทรกสอดแบบสร้างเสริม (แอมปลิจูดสูงสุด) จุดเหล่านี้จะอยู่บนเส้นโค้งสีแดงในภาพแต่จะเห็นว่าการปล่อยคลื่นของระยะห่าง 30 เซนติเมตร มีการหักล้างกันของคลื่นมากขึ้นแต่ด้านข้างของเปียโซจะเสริมกันมากขึ้นเช่นกัน

4.3 การกำจัดลูกน้ำยุง

หลังจากทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงเรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการกำจัดลูกน้ำยุง ดังจะเห็นในภาพที่ 4.15 แสดงผลการกำจัดลูกน้ำยุง เมื่อจุ่มหัวสั่นแบบเปียโซอิเล็คทริกลงไปในน้ำปรากฏว่าลูกน้ำตายและเมื่อนำมือจุ่มลงในน้ำ พบว่าหัวสั่นไม่มีไฟฟ้ารั่วจึงไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์อื่น ๆ ขณะใช้งาน

4.3.1 การทดสอบการกำจัดลูกน้ำยุง

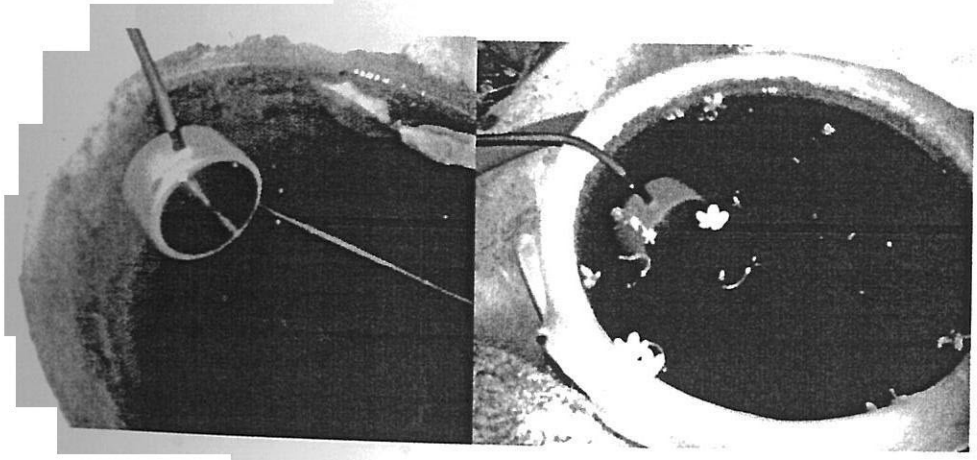
การทดสอบกำจัดลูกน้ำยุงได้ผลคือ ลูกน้ำยุงตายและตัวที่ไม่ตายก็จะไม่สามารถพัฒนาวงจรชีวิตได้ และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังปรากฏใน รูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงการกำจัดลูกน้ำยุง

4.3.2 การกำจัดลูกน้ำยุงในกระถางน้ำขัง

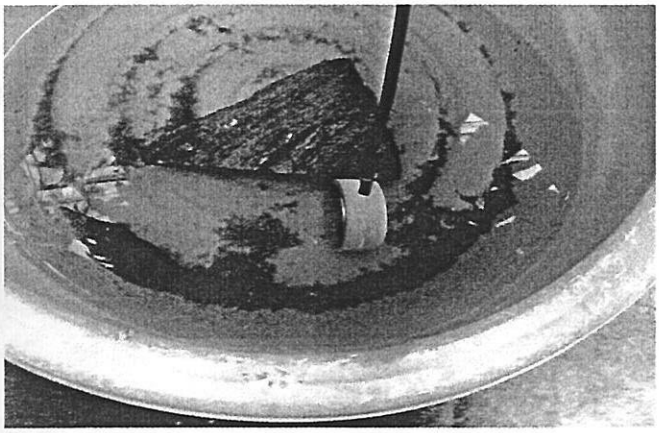
การกำจัดลูกน้ำยุงในกระถางน้ำขัง ปรากฏกว่าก็ยังได้ผลดี ลูกน้ำยุงตายดังปรากฏในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การกำจัดยุงในกระถางน้ำขัง

4.3.3 การกำจัดลูกน้ำยุงในน้ำที่มีสิ่งกีดขวาง

การกำจัดลูกน้ำยุงในน้ำที่มีสิ่งกีดขวาง ปรากฏว่า ก็ยังสามารถฆ่าลูกน้ำยุงตายได้ดังเห็นใน รูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การกำจัดลูกน้ำยุงที่มีสิ่งกีดขวาง

4.3.4 การกำจัดลูกน้ำยุงในกระถางที่มีต้นไม้ในน้ำ

การกำจัดลูกน้ำยุงในกระถางที่มีต้นไม้น้ำ ได้ผลปรากฏว่าลูกน้ำยุงตายแต่อาจจะมีลูกน้ำยุงที่รอดเพราะการแออัดของต้นไม้ในน้ำแต่ก็จะไม่สามารถพัฒนาวงจรชีวิตได้ดัง รูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 การกำจัดลูกน้ำยุงในกระถางที่มีต้นไม้น้ำ

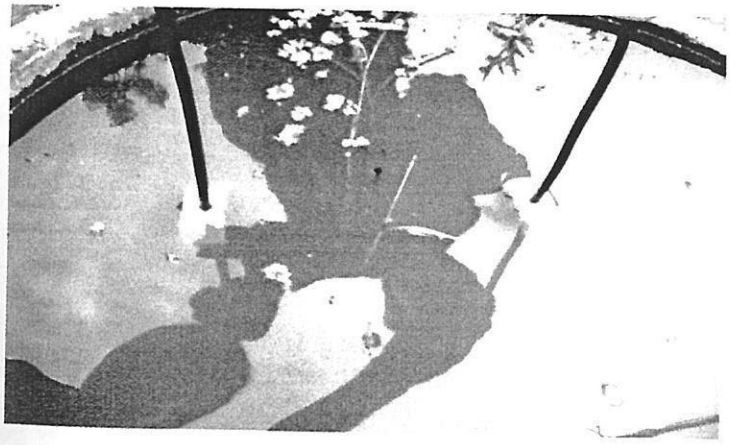
4.3.5 การกำจัดลูกน้ำที่มีปลาหางนกยุงอยู่ด้วย

การกำจัดลูกน้ำที่มีปลาหางนกยุงอยู่ด้วย ผลปรากฏว่าลูกน้ำยุงตาย แต่ปลาหางนกยุงไม่ตาย และพบว่าปลาหางนกยุงจะว่ายน้ำไปมาเพราะได้รับคลื่นอัลตราโซนิคไปกระทบเกล็ดของปลาหางนกยุง

รูปที่ 4.19 การกำจัดลูกน้ำที่มีปลาหางนกยุงอยู่ด้วย

4.3.6 การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว

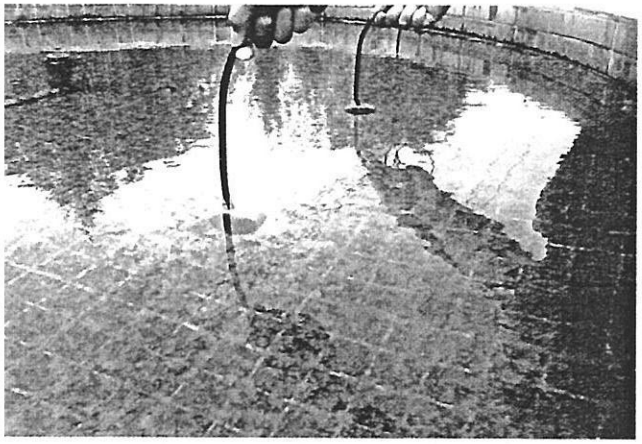
การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว ได้ผลปรากฏว่ากำจัดลุกน้ำยุงตายแต่จะมีการแทรกสอดของคลื่นอัลตราโซนิค จากหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริก โดยรับรู้ได้จากเสียงที่สอดแทรกของหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกทั้ง 2 หัว ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว

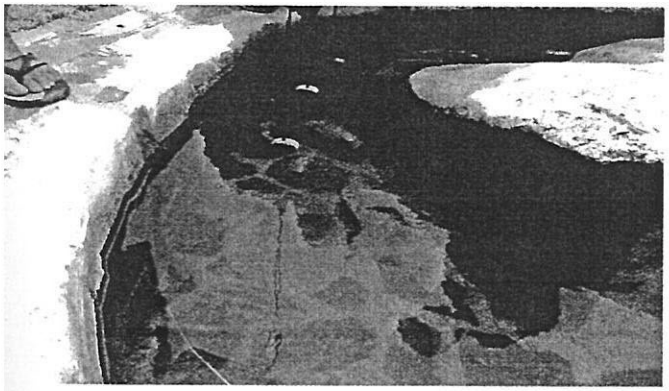
4.3.7 การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 3 หัว

การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 3 หัว ได้ผลปรากฏว่ากำจัดลุกน้ำยุงตายแต่จะมีการแทรกสอดของคลื่นอัลตราโซนิค จากหัวสั่นเปียโซ่อิเล็คทริก โดยรับรู้ได้จากเสียงที่สอดแทรกของหัวสั่นเปียโซอิเล็คทริกทั้ง 3 หัว ดังรูปที่ 4.21 คล้าย ๆ กับ การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว



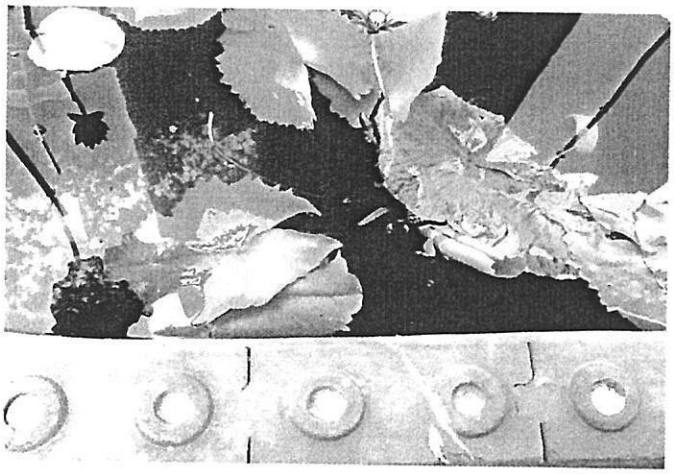
รูปที่ 4.21 การกำจัดลูกน้ำโดยใช้เปียโซ 2 หัว

และยังได้มีการไปทดสอบกำจัดอีก หลาย ๆ สถานที่ซึ่งก็ได้ผลการทดสอบในระดับดี

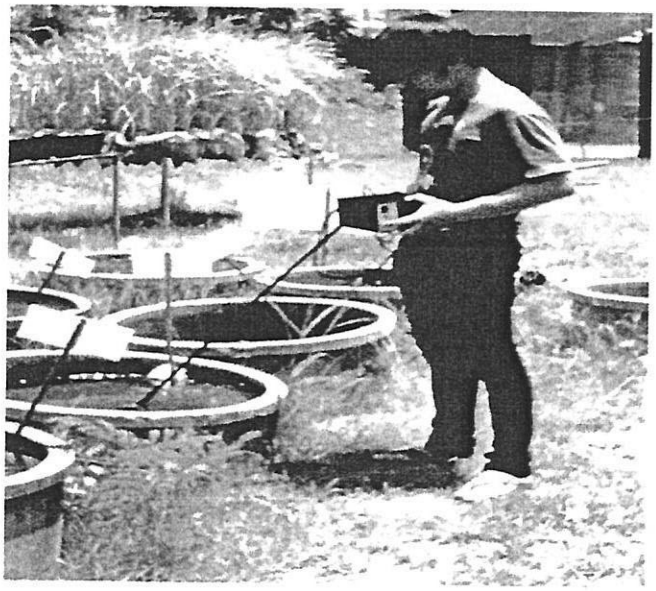


รูปที่ 4.22 การกำจัดลูกน้ำในสถานที่ต่าง ๆ 1

จากผลการทดสอบก็จะเห็นว่าการกำจัดลูกน้ำยุงได้ผลและยังสามารถนำเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงไปกำจัดในอีกหลาย ๆ แหล่งน้ำได้



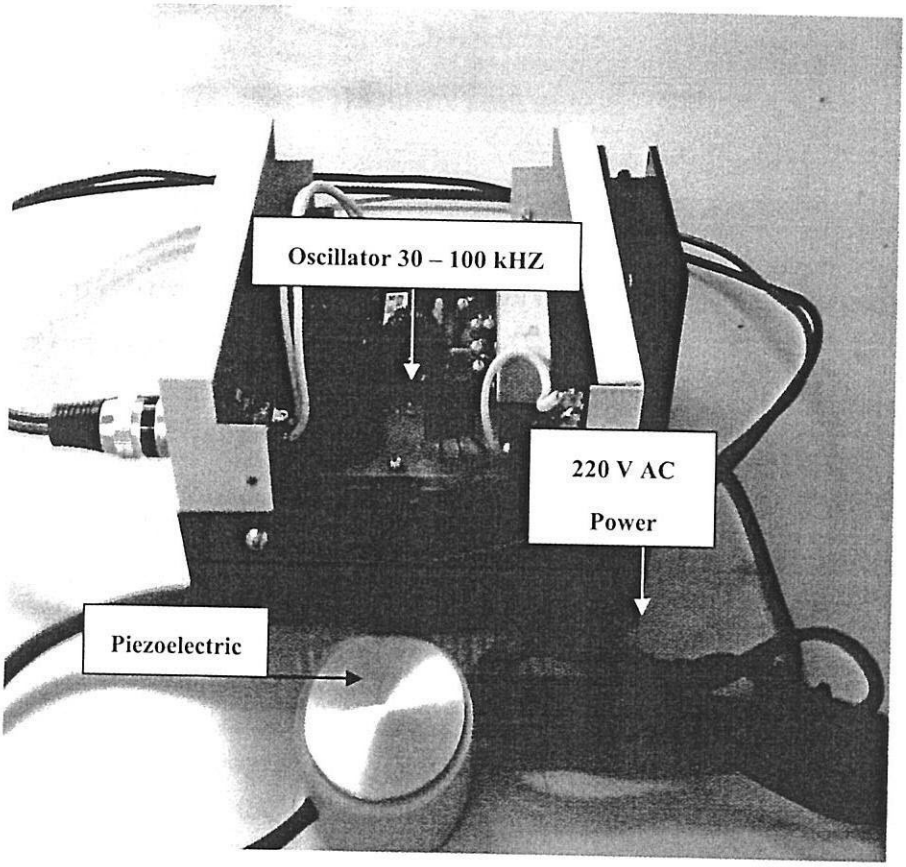
รูปที่ 4.23 การกำจัดลูกน้ำในสถานที่ต่าง ๆ 2



รูปที่ 4.24 การทดสอบกำจัดลูกน้ำในสถานที่ต่าง ๆ

4.4 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงแบบต่าง ๆ

เมื่อลองไปทดสอบการกำจัดลูกน้ำยุงในสถานที่จริง ปรากฏว่าประสิทธิภาพของเครื่องดี และเมื่อประกอบเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงเสร็จแล้ว จะแสดงเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งแบบที่ใช้แบตเตอรี่ และแบบที่ใช้ไฟบ้าน และนำไปใช้งานจริงต่อไป



รูปที่ 4.25 เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงแบบใช้ไฟบ้าน

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทำปฏิบัติการทั้งหมด รวมไปถึงข้อเสนอแนะในการทำปฏิบัติการ

5.2 สรุปผล

1. เครื่องกำจัดลูกน้ำสามารถกำจัดลูกน้ำยุงได้ภายในช่วงระยะเวลาของการเป็นลูกน้ำและตัวโม่งซึ่งกินระยะเวลาประมาณ 8-10 วันหลังจากการฟักจากไข่
2. การใช้หัวเปียโซควรต่อให้ถูกขั้วของหัวเนื่องจากหัวเปียโซมีขั้วสามารถช็อตได้
3. การใช้เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงสามารถทำให้เกิดผลได้สำเร็จจริง
4. จากการทดลองการใช้หัวเปียโซ 2 หัว ในวงจรเดียวไม่สามารถทำให้เกิดสัญญาณของคลื่นเสียงอัลตราโซนิคได้เนื่องจากวงจรไม่แมตซ์กับการต่อสองหัว
5. จากการทดลองพบว่าการใช้หัวต่อ 2 หัว ในการปล่อยคลื่นพร้อมกันในน้ำสามารถทำให้คลื่นมีความแรงขึ้นได้จริงเนื่องจากการเสริมกันของคลื่นแต่ในทางกลับกันก็ทำให้ช่วงคลื่นบางช่วงหายไปเนื่องจากการหักล้างกันของคลื่นด้วยเช่นกัน
6. จากการทดลองพบว่าการใช้หัวต่อ 3 หัว ในการปล่อยคลื่นพร้อมกันในน้ำสามารถทำให้คลื่นมีความแรงขึ้นได้จริงเนื่องจากการเสริมกันของคลื่นแต่ในทางกลับกันก็ทำให้ช่วงคลื่นบางช่วงหายไปเนื่องจากการหักล้างกันของคลื่นด้วยแต่ในการหักล้างกันของคลื่นจะลดน้อยลงกว่าของ 2 หัว
7. จากการทดลองพบว่าการจัดว่างหัวเปียโซในระยะทางที่ต่างกันสามารถทำให้การแทรก สอดของคลื่นต่างกันด้วยรวมถึงการว่างในระนาบที่ต่างกัน
8. เมื่อนำปัจจัยต่างๆมารวมกันสามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกำจัด ลูกน้ำยุงสามารถทำได้โดยการจัดว่างและการเพิ่มหัวปล่อยสัญญาณให้อยู่ในจุดที่เหมาะสม

5.3 ข้อเสนอแนะ

การกำจัดลูกน้ำยุงซึ่งเป็นพาหะของโรคต่าง ๆ ด้วยวิธีการของเครื่องกำจัดลูกน้ำยุงเป็นทางเลือกที่ใหม่และไม่เกิดมลพิษอีกวิธีหนึ่ง ที่สามารถช่วยในการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อสารเคมีต่าง ๆ ในการกำจัดยุงเนื่องจากมีราคาที่แพงและมีระยะเวลาในการใช้งานสั้นและเป็นมลพิษต่อสิงแวดล้อม

บรรณานุกรม

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2550). **การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัตว์ในขณะเจริญเติบโต.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://school.obec.go.th/webkrusun/animal/page_sara/page4.htm

กรีน นาโนเทคโนโลยี. (2554). **สาระน่ารู้ เรื่อง ยุง.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://www.bugsfear.com/article?id=48172&lang=th

OKeel. (2551). **ยุงการเมือง ร้ายกว่า ยุงที่ร้ายกว่าเสือ.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://www.oknation.net/blog/keeluaey/2008/08/26/entry-1

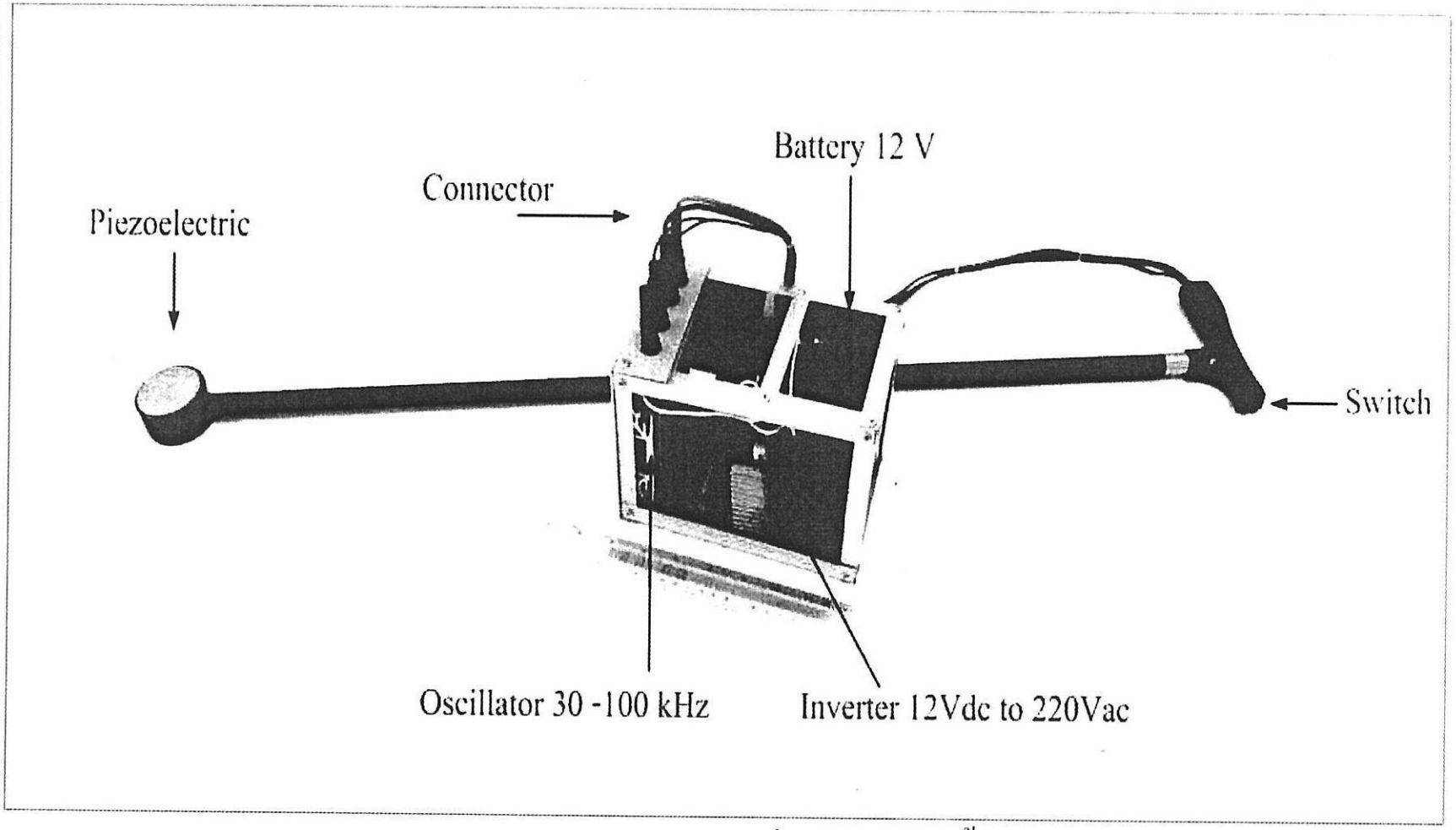
JCC2U. (2549). **การควบคุมโดยวิธีทางชีววิทยา.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://www.jcc2u.com/jcc2006/contentdetail.asp?content=C38

มนทิรา ทองสาริ. (2551). **ทรายอะเบท กำจัดยุงลาย.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://www.thaihealth.or.th/healthcontent/article/6320

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. (2010). **คลื่น.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/88/wave.html

Engineering ToolBox. (2010). **Speed of Sound in Water.** ได้จาก [ออนไลน์]: http://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-water-d_598.html

ภาคผนวก



รูปแสดงตัวเครื่องกำจัดลูกน้ำยุง

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

DB3 /DB4 / DC34

TRIGGER DIODES

FEATURES

- V_{BO} : 32V / 34V / 40V VERSIONS
- LOW BREAKOVER CURRENT

DO 35
(Glass)

DESCRIPTION

High reliability glass passivation insuring parameter stability and protection against junction contamination.

ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter		Value	Unit
P	Power dissipation on printed circuit (L = 10 mm)	Ta = 65 °C	150	mW
I_{TRM}	Repetitive peak on-state current	tp = 20 µs F= 100 Hz	2	A
Tstg Tj	Storage and operating junction temperature range		- 40 to + 125 - 40 to + 125	°C °C

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th\ (j-a)}$	Junction to ambient	400	°C/W
$R_{th\ (j-l)}$	Junction-leads	150	°C/W

DB3 / DB4 / DC34

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Tj = 25°C)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value			Unit
				DB3	DC34	DB4	
V_{BO}	Breakover voltage *	C = 22nF ** see diagram 1	MIN	28	30	35	V
			TYP	32	34	40	
			MAX	36	38	45	
$[I+V_{BO}I-I-V_{BO}I]$	Breakover voltage symmetry	C = 22nF ** see diagram 1	MAX	± 3			V
$I\Delta V\pm I$	Dynamic breakover voltage *	$\Delta I = [I_{BO}$ to I_F=10mA] see diagram 1	MIN	5			V
V_O	Output voltage *	see diagram 2	MIN	5			V
I_{BO}	Breakover current *	C = 22nF **	MAX	100	50	100	µA
tr	Rise time *	see diagram 3	TYP	1.5			µs
I_B	Leakage current *	V_B = 0.5 V_{BO} max see diagram 1	MAX	10			µA

* Electrical characteristic applicable in both forward and reverse directions.
** Connected in parallel with the devices.

DIAGRAM 1 : Current-voltage characteristics

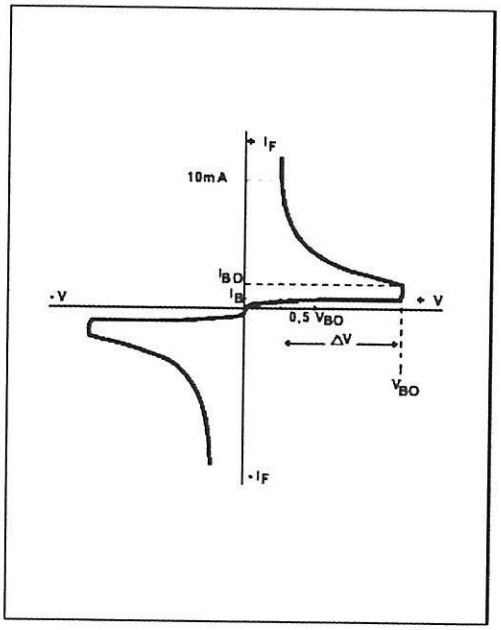


DIAGRAM 2 : Test circuit for output voltage

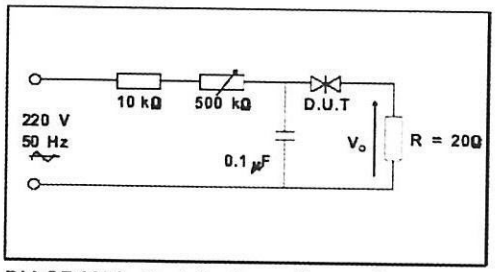
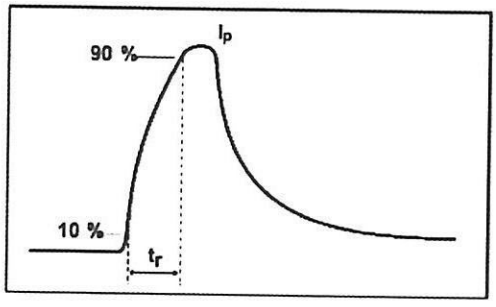


DIAGRAM 3 : Test circuit see diagram 2.
Adjust R for Ip=0.5A



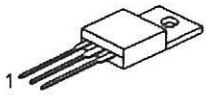
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

UTC UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD

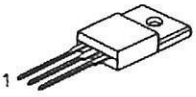
MJE13007

NPN SILICON TRANSISTOR

NPN BIPOLAR POWER TRANSISTOR FOR SWITCHING POWER SUPPLY APPLICATIONS



TO-220



TO-220F

*Pb-free plating product number: MJE13007L

■ DESCRIPTION

The UTC **MJE13007** is designed for high–voltage, high–speed power switching inductive circuits where fall time is critical. It is particularly suited for 115 and 220 V switch mode applications.

■ FEATURES

* $V_{CEO(SUS)}$: 400 V
* 700 V Blocking Capability

■ ORDERING INFORMATION

Order Number		Package	Pin Assignment			Packing
Normal	Lead Free Plating		1	2	3	
MJE13007-TA3-T	MJE13007L-TA3-T	TO-220	B	C	E	Tube
MJE13007-TF3-T	MJE13007L-TF3-T	TO-220F	B	C	E	Tube

MJE13007L-TA3-T (1)Packing Type (2)Package Type (3)Lead Plating	(1)T: Tube (2) TA3: TO-220, TF3: TO-220F (3) L: Lead Free Plating, Blank: Pb/Sn

MJE13007 NPN SILICON TRANSISTOR

■ ABSOLUTE MAXIMUM RATING

PARAMETER		SYMBOL	RATINGS	UNIT
Collector-Emitter Sustaining Voltage		V_{CEO}	400	V
Collector-Emitter Breakdown Voltage		V_{CBO}	700	V
Emitter-Base Voltage		V_{EBO}	9.0	V
Collector Current	Continuous	I_C	8.0	A
	Peak (1)	I_{CM}	16	A
Base Current	Continuous	I_B	4.0	A
	Peak (1)	I_{BM}	8.0	A
Emitter Current	Continuous	I_E	12	A
	Peak (1)	I_{EM}	24	A
Total Device Dissipation	T_C = 25 .	P_D	80	W
Operating and Storage Junction Temperature Range		T_J, T_{STG}	-65 ~ +125	δ

Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which the device could be permanently damaged. Absolute maximum ratings are stress ratings only and functional device operation is not implied.

■ THERMAL DATA

PARAMETER	SYMBOL	RATINGS	UNIT
Thermal Resistance Junction to Case	θ_{JC}	1.56	. /W
Thermal Resistance Junction to Ambient	θ_{JA}	62.5	. /W

Note 1: Pulse Test: Pulse Width = 5.0 ms, Duty Cycle≤10%.
Measurement made with thermocouple contacting the bottom insulated mounting surface of the package (in a location beneath the die), the device mounted on a heatsink with thermal grease applied at a mounting torque of 6 to 8•lbs.

■ ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C=25 . , unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Collector-Emitter Sustaining Voltage	$V_{CEO(SUS)}$	I_C=10mA, I_B=0	400			V
Collector Cutoff Current	I_{CBO}	V_{CBO}=700V			0.1	mA
		V_{CBO}=700V, T_C=125 .			1.0	mA
Emitter Cutoff Current	I_{EBO}	V_{EB}=9.0V, I_C=0			100	μA
DC Current Gain	h_{FE1}	I_C=2.0A, V_{CE}=5.0V	8.0		40	
	h_{FE2}	I_C=5.0A, V_{CE}=5.0V	5.0		30	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	I_C=2.0A, I_B=0.4A			1.0	V
		I_C=5.0A, I_B=1.0A			2.0	V
		I_C=8.0A, I_B=2.0A			3.0	V
		I_C=5.0A, I_B=1.0A, T_C=100 .			3.0	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(SAT)}$	I_C=2.0A, I_B=0.4A			1.2	V
		I_C=5.0A, I_B=1.0A			1.6	V
		I_C=5.0A, I_B=1.0A, T_C=100 .			1.5	V
Current-Gain-Bandwidth Product	f_T	I_C=500mA, V_{CE}=10V, f=1.0 MHz	4.0	14		MHz
Output Capacitance	C_{ob}	V_{CB}=10V, I_E=0, f=0.1MHz		80		pF
Resistive Load (Table 1)						
Delay Time	t_D	V_{CC}=125V, I_C=5.0A, I_{B1}=I_{B2}=1.0A, t_p=25μs, Duty Cycle≤ 1.0%		0.025	0.1	μs
Rise Time	t_R			0.5	1.5	
Storage Time	t_S			1.8	3.0	
Fall Time	t_F			0.23	0.7	

* Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%

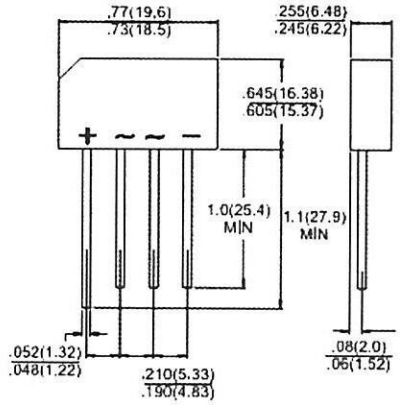
TSC

KBL401G THRU KBL407G

Single Phase 4.0 AMPS. Glass Passivated Bridge Rectifiers

Voltage Range
50 to 1000 Volts
Current
4.0 Amperes

KBL



Dimensions in inches and (millimeters)

Features

- ✧ UL Recognized File # E-96005
- ✧ Glass passivated junction
- ✧ Ideal for printed circuit board
- ✧ Reliable low cost construction
- ✧ High surge current capability
- ✧ High temperature soldering guaranteed: 260°C / 10 seconds / 0.375" (9.5mm) lead length at 5 lbs. (2.3 Kg) tension
- ✧ Leads solderable per MIL-STD-202, Method 208

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25℃ ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	Symbol	KBL 401G	KBL 402G	KBL 403G	KBL 404G	KBL 405G	KBL 406G	KBL 407G	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current @T_A = 50℃	$I_{(AV)}$	4.0							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)	I_{FSM}	150							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 4.0A	V_F	1.1							V
Maximum DC Reverse Current @ T_A=25℃ at Rated DC Blocking Voltage @ T_A=125℃	I_R	10 500							uA uA
Typical Thermal Resistance (Note)	$R\theta_{JA}$ $R\theta_{JL}$	19 2.4							℃/W
Operating Temperature Range	T_J	-55 to +150							℃
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55 to +150							℃

Note: Thermal Resistance from Junction to Ambient and from Junction to Lead Mounted on P.C.B. With 0.6" x 0.6" (16mm x 16mm) Copper Pads.

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (KBL401G THRU KBL407G)

FIG.1- MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT PER BRIDGE ELEMENT

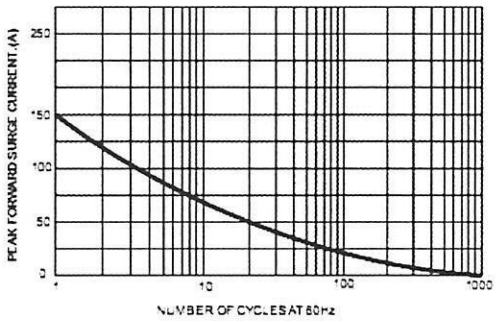


FIG.2- MAXIMUM FORWARD CURRENT DERATING CURVE

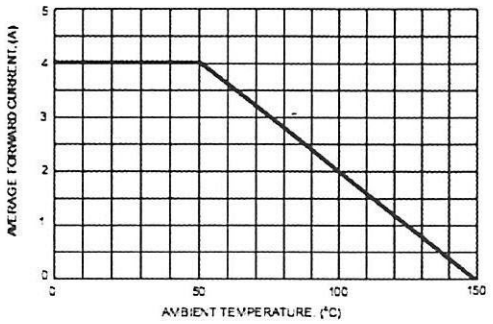


FIG.3- TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

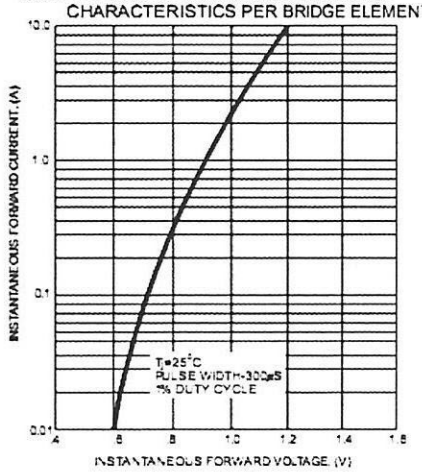
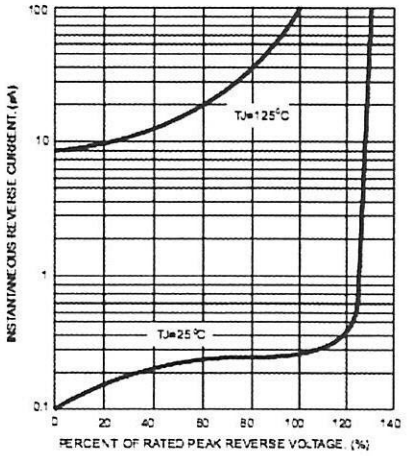


FIG.4- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT



This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี