ผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการปรับสภาพน้ำเพื่ออุตสาหกรรม การเพาะปลูกพืช

นายณัฐกุล พวงประโคน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2565

THE EFFECT OF WATER TREATMENT FOR PLANT INDUSTRY USING MAGNETIC FIELD

NATTAKUN POUNGPRAKHON

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2022

ผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการปรับสภาพน้ำเพื่ออุตสาหกรรม
การเพาะปลูกพืช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)
ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สำราญ สันทาลุนัย)
กรรมการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐกุล พวงประโคน : ผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการปรับสภาพน้ำเพื่ออุตสาหกรรมการเพาะปลูกพืช (THE EFFECT OF WATER TREATMENT FOR PLANT INDUSTRY USING MAGNETIC FIELD) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา, 76 หน้า

คำสำคัญ: ขดลวดเหนี่ยวนำ/สนามแม่เหล็กไฟฟ้า/การเจริญเติบโตของพืช/การบำบัดน้ำด้วยสนามแม่เหล็ก

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบจากการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการปรับสภาพน้ำเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะปลูกพืช โดยทำการออกแบบตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กด้วยขดลวดเหนี่ยวนำทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ (1) การพันขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ขด (2) การพันขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ขด ในทิศทางเดียวกัน (3) การพันขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ขด ในทิศทางสลับกัน (4) การพันขดลวดเหนี่ยวนำ 4 ขด ในทิศทางเดียวกัน และ (5) การพันขดลวดเหนี่ยวนำ 4 ขด ในทิศทางสลับกัน โดยแต่ละรูปแบบ พันบนท่อ PVC เพื่อทดสอบการให้พลังงานสนามแม่เหล็กด้วยการไหลผ่านของน้ำ ทำการศึกษาด้วยการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio สำหรับการวิเคราะห์ผลของสนามแม่เหล็ก และทำการทดสอบผลการปรับสภาพน้ำโดยใช้ชุดวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 10 W เป็นแหล่งจ่ายกำลังงานให้กับขดลวดเหนี่ยวนำทั้ง 5 รูปแบบ ใช้เวลาในการเวียนน้ำ 10 นาที 30 นาที และ 60 นาที ที่ปริมาณน้ำ 40 ลิตร และตรวจสอบผล โดยการนำน้ำในการทดสอบแต่ละรูปแบบมาเพาะเลี้ยงผักบุ้งเพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโต พบว่าน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กและมีเวลาการให้สนามแม่เหล็กที่นาน จะมีแนวโน้มทำให้ผักบุ้งมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านสนามแม่เหล็ก และพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำแบบที่ 5 จะมีแนวโน้มทำให้ผักบุ้งสูงขึ้นกว่าน้ำปกติและน้ำที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำแบบอื่น ๆ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตมากกว่าประมาณ 35.58 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา..............................

ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..............................

NATTAKUN POUNGPRAKHON : THE EFFECT OF WATER TREATMENT FOR PLANT INDUSTRY USING MAGNETIC FIELD. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHANCHI TONGSOPA, Ph.D., 76 PP.

Keyword: INDUCTION COIL/MAGNETIC FILED/PLANT GROWTH/MAGNETIC-TREATED WATER

This paper studies the growth of plants resulting from the use of magnetic-treated water. The emitter is designed by using a PVC pipe with inductance coils for inducting a magnetic wave, divided into 5 types are one winding induction coil, two winding induction coils in the same direction, two winding induction coils in alternate directions, four winding induction coils in the same direction, and four winding induction coils in alternate directions. The simulation results are simulated by using CST Microwave Studio for analyze the magnetic field distribution that has an effect on the water. In addition, the five prototypes of inductance coils on pipe are constructed to be tested by watering real plants. When 40 liters of water flowed through the proposed pipe that surrounded by a magnetic field for 10, 30, and 60 minutes. It was found that the magnetic field generated by the four winding induction coils in alternate directions results in a transformation of water suitable for plant growth with 35.58 %, compared to the growth of plants grown by watering the elder does not pass through the magnetic field.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Electronic Engineering
Academic Year 2022

Student's Signature P. Nattakon.
Advisor's Signature T. Chanchai

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยได้รับการช่วยเหลือ ทางด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคล ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนวทางการแก้ไขปัญหา รวมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ให้คำแนะนำในทางวิชาการและข้อแก้ไขเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งการให้โอกาศในการศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สำราญ สันทาลุนัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านอุปกรณ์และแนวทางในการออกแบบระบบ รวมทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมต่อระบบที่ออกแบบเพื่อให้การออกแบบระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยแนะนำและช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนวิทยนิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนใน การทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่แนะนำและให้ความรู้ด้าน ต่าง ๆ และขอกราบขอบคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัย ที่แนะนำสั่งสอนอบรมเลี้ยงดู ให้ความรัก และสนับสนุนทางการศึกษามาอย่างดีโดยตลอด อีกทั้งคอยเป็นกำลังใจทำให้ผู้วิจัยเกิดแรงผลักดันและต่อสู้ในยามที่ผู้วิจัยมีความท้อแท้และทุกข์ยาก ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านมาได้และประสบความสำเร็จในชีวิต สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา รวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

ณัฐกุล พวงประโคน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 1
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ 3
1.7 ปริทัศน์วรรณกรรม 3
1.8 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์ 7
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8
2.1 กล่าวนำ 8
2.2 คุณสมบัติของน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช 8
2.2.1 ค่า EC ในน้ำ 8
2.2.2 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 8
2.3 ทฤษฎีการเกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 9
2.3.1 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) 9
2.4 ความเหนี่ยวนำร่วมกัน 12
2.4.1. ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดสองขดที่มีทิศเดียวกัน 14
2.4.2. ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดสองขดที่มีทิศต่างกัน 15
2.5 ทฤษฎีการกำเนิดสัญญาณแบบ PWM 16
2.6 โหลดเรโซแนนซ์ (Resonant load) 16
2.7 สรุป 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การศึกษาและออกแบบระบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 24
3.1 บทนำ 24
3.2 การออกแบบวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 25
3.2.1 ภาคจ่ายไฟ (Switching supply) 26
3.2.2 ภาคกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) 28
3.2.3 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) 28
3.2.4 ภาคขับสัญญาณ 29
3.2.5 ภาคเรโซแนนซ์ (Resonance) 30
3.3 การออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 35
3.3.1 การจำลองผลของความเข้มสนามแม่เหล็กของตัวปล่อยคลื่น 37
3.4 การออกแบบวิธีการทดลองและเก็บผล 43
3.5 สรุป 46
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 47
4.1 บทนำ 47
4.2 การวัดผลจากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวปล่อยคลื่น 48
4.2.1 วัดแรงดันไฟฟ้าวงจรภาคจ่ายไฟ 48
4.2.2 วัดสัญญาณที่วงจรกำเนิดสัญญาณ 52
4.2.3 วัดสัญญาณที่วงจรบัฟเฟอร์ 53
4.2.4 วัดสัญญาณที่วงจร H-bridge 56
4.2.5 วัดสัญญาณที่วงจรเรโซแนนซ์ 58
4.3 การวัดผลของน้ำเมื่อผ่านตัวปล่อยคลื่น 59
4.4 การวัดผลการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดจากการใช้น้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่น 60
4.4 สรุป 64
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 69
5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยนิพนธ์ 69
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 66
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต 66
รายการอ้างอิง 67
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 68
ประวัติผู้เขียน 76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ข้อมูลข้อดีและข้อเสียโหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน 17
2.2 การเปรียบเทียบลักษณะของอุปกรณ์ คลื่นแรงดันและกระแส
โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน..... 18
2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน 22
4.1 ผลการวัดทางไฟฟ้าของวงจรสวิตชิ่ง 52
4.2 ผลการวัดทางไฟฟ้าของวงจรบัฟเฟอร์..... 55
4.3 อัตราของความสูงผักบุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำปกติ 63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 การอาบเมล็ดข้าวในสนามไฟฟ้า ... 3
1.2 การออกแบบสนามไฟฟ้า ... 4
1.3 ขดลวดโซลินอยด์และการต่อวงจรสำหรับสนามแม่เหล็ก ... 4
1.4 การเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่ออาบสนามไฟฟ้า ... 5
1.5 การเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่ออาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ... 5
1.6 โรงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ที่ใช้ในการวิจัย ... 6
1.7 ผักไฮโดรโปนิกส์หลังจากปลูกมา 5 สัปดาห์ ... 6
2.1 แกนที่ถูกพันด้วยลวดตัวนำ ... 11
2.2 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม ... 11
2.3 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน ... 12
2.4 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบผสม ... 12
2.5 ความสัมพันธ์ของฟลักซ์แม่เหล็กกับระยะห่าง ... 14
2.6 สนามแม่เหล็กเมื่อขดลวดมีทิศทางเดียวกัน ... 14
2.7 สนามแม่เหล็กเมื่อขดลวดมีทิศทางตรงข้ามกัน ... 15
2.8 แสดงสัญญาณเปิด (HIGH) และปิด (LOW) ... 16
3.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ... 25
3.2 วงจร Stepdown 5 V 3A ... 27
3.3 วงจร Stepdown 2-30 V 5A ... 27
3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ... 28
3.4 วงจรบัฟเฟอร์ ... 29
3.5 L298n motor driver ... 29
3.6 ลักษณะวงจรภายในไอซี L298n ... 30
3.7 สัญญาณที่ออกจากเอาต์พุต ... 30
3.8 วงจรเรโซแนนซ์ความถี่ 3 kHz ... 31
3.9 วงจรเรโซแนนซ์ความถี่ 7 kHz ... 32
3.10 วงจรรวมของเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ... 32
3.11 PCB ฝั่ง Top layer ... 33
3.12 PCB ฝั่ง Bottom layer ... 33
3.13 บอร์ดเมื่อเสร็จสมบูรณ์ ... 34
3.14 การพันขดลวดแบบที่หนึ่ง ... 35
3.15 การพันขดลวดแบบที่สอง ... 35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.16 การพันขดลวดแบบที่สาม 36
3.17 การพันขดลวดแบบที่สี่........ 36
3.18 การพันขดลวดแบบที่ห้า 36
3.19 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่หนึ่ง 37
3.20 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่สอง 38
3.21 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่สาม 39
3.22 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่สี่........ 40
3.23 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่ห้า 41
3.24 ลักษระกราฟแบบต่างๆเมื่อนำมาเทียบกัน 42
3.25 ตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กทั้ง 5 แบบ........ 44
3.26 ระบบการเวียนน้ำผ่านขดลวด........ 45
4.1 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุ้งระหว่างน้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นกับน้ำปกติ 47
4.2 ตำแหน่งของวงจรที่จะวัด........ 48
4.3 วงจรสวิตซิ่งฝั่งอินพุต 12 V 5A ก .สัญญาณไฟฟ้า ข. แรงดันไฟฟ้า........ 49
4.4 วงจรสวิตซิ่งฝั่งเอาต์พุต 12 V 5A ก .สัญญาณไฟฟ้า ข. แรงดันไฟฟ้า........ 50
4.5 แรงดันไฟฟ้าฝั่งอินพุตของวงจร Step Down ทั้งสองวงจร 51
4.6 แรงดันไฟฟ้าฝั่งเอาต์พุตของวงจร Step Down 5 V 3A 51
4.7 แรงดันไฟฟ้าฝั่งเอาต์พุตของวงจร Step Down 2-30V 5A........ 51
4.8 สัญญาณที่ความถี่ 3 กิโลเฮิรตซ์........ 52
4.9 สัญญาณที่ความถี่ 7 กิโลเฮิรตซ์........ 53
4.10 สัญญาณที่วงจรบัฟเฟอร์ในช่วงความถี่ที่ 3 กิโลเฮิรตซ์ 54
4.11 สัญญาณที่วงจรบัฟเฟอร์ในช่วงความถี่ที่ 7 กิโลเฮิรตซ์........ 55
4.12 สัญญาณที่วงจร H-bridgในช่วงความถี่ที่ 3 กิโลเฮิรตซ์ 56
4.13 สัญญาณที่วงจร H-bridgในช่วงความถี่ที่ 7 กิโลเฮิรตซ์ 57
4.14 สัญญาณที่วงจรเรโซแนนซ์........ 58
4.15 การวัดค่า Electrical Conductivity (EC) ในน้ำ........ 59
4.16 ค่า EC ในน้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นและช่วงเวลาต่าง ๆ 60
4.17 น้ำผ่านขดลวด 10 นาที........ 61
4.18 น้ำผ่านขดลวด 40 นาที........ 61
4.19 น้ำผ่านขดลวด 60 นาที........ 62
4.20 น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 ที่เวลาต่างๆเทียบกับน้ำที่ไม่ผ่านขดลวด 63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันการปลูกพืชได้มีการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก รวมถึงการใช้ปุ๋ยเคมี สารกำจัดวัชพืช สารเร่งการเจริญเติบโต สิ่งเหล่านี้ก่อให้มีสารเคมีตกค้างในผลผลิต และตามมาด้วยปัญหาด้านสุขภาพทั้งทางเกษตรกรและผู้บริโภค อีกทั้งการใช้สารเคมีในการผลิตยังมีต้นทุนสูง ในปัจจุบันมีการปลูกพืชปลอดสารพิษ ซึ่งจะช่วยลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรและสารปนเปื้อนจากการตกค้างของสารเคมี ทั้งนี้การเพาะยังปลูกทำได้ง่าย ในส่วนการดูแลรักษาพืชปลอดสารพิษจะใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพ น้ำหมักชีวภาพ และสารไล่แมลงซึ่งสามารถผลิตเองได้ทั้งหมด ทั้งนี้การปลูกพืชปลอดสารพิษยังมีส่วนช่วยเพิ่มรายได้ของผลผลิต นอกจากวิธีการเพาะพืชโดยไม่ใช้สารเคมี แล้วยังมีกระบวนการเพาะพืชโดยไม่ใช้ดินหรือที่เรียกว่า ไฮโดรโปนิกส์ การเพาะปลูกพืชด้วยวิธีนี้เป็นการเพาะพืชโดยไม่ใช้วัสดุสำหรับการเพาะปลูกซึ่งจะเป็นการปลูกพืชในธาตุอาหารของพืช โดยรากจะสัมผัสกับสารอาหารโดยตรงซึ่งแบ่งวิธีปลูกได้ 3 แบบ คือ NFT (Nutrient Film Technique) เป็นกระบวนการที่สารละลายธาตุอาหาร ไหลหมุนเวียนและรากพืชจะได้รับสารอาหารอย่างเต็มที่ DRF (Dynamic Root Floating Technique) เป็นกระบวนการให้สารอาหารต่อรากพืชโดยตรงและมีการเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจน และ DTF(Deep Flow Technique) ระบบการปลูกจะให้สารอาหารไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่องและหมุนเวียนเหมือนการปลูกพืชแช่น้ำ โดยน้ำจะไหลผ่านรากพืชอย่างสม่ำเสมอและในปัจจุบันมีการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาช่วยในการเพาะปลูกพืชและมีการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการเจริญเติบโตของพืช อาทิเช่น ระบบน้ำพลังแม่เหล็กเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์ (Nuttapon Phurahong, 2020), ผลกระทบของการอาบสนามไฟฟ้าและแม่เหล็กคงที่ต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวเจ้าแดง(Khamla Senglathsamy,2015),Impact of magnetic water on plant growth(Jaime A. Teixeira da Silva,2014) ซึ่งพบว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีส่วนช่วยให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้น

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญและมีความสนใจที่จะศึกษาออกแบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กสำหรับการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการเจริญเติบโตของพืชและศึกษาการพันขดลวดเหนี่ยวนำในแบบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพว่าการพันขดลวดแบบใดมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดและตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่มีต่อน้ำและวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กที่มีต่อพืช

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1.3.2 ออกแบบและสร้างตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

1.3.3 ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อน้ำและพืช

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษาการปรับสภาพน้ำเพื่อการเพาะปลูกพืชด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1.4.2 เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1.4.3 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการพันลวดตัวนำแบบต่าง ๆ

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2) ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
3) ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัยเป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) ออกแบบวิเคราะห์เครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสม
3) ออกแบบวิเคราะห์การพันขดลวดเหนี่ยวนำให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม

1.5.3 สถานที่ทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.5.4 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2) ออสซิลโลสโคป
3) เครื่องวัด RLC

1.5.5 การเก็บรวรวมข้อมูล

1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2) เก็บรวบรวมผลจากการออกแบบ สร้างและทดสอบวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็ก

1.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับการสร้างวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กและการพันขดลวดเหนี่ยวนำแบบต่างๆจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิศวกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ

1.6.1 ได้วงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการพันขดลวดตัวนำอย่างมีประสิทธิภาพ

1.6.2 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการที่ได้ศึกษาและวิจัยมาประกอบวิชาชีพได้

1.6.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ได้

1.6.4 ได้ทักษะการคิด การวิเคราะห์และการออกแบบ

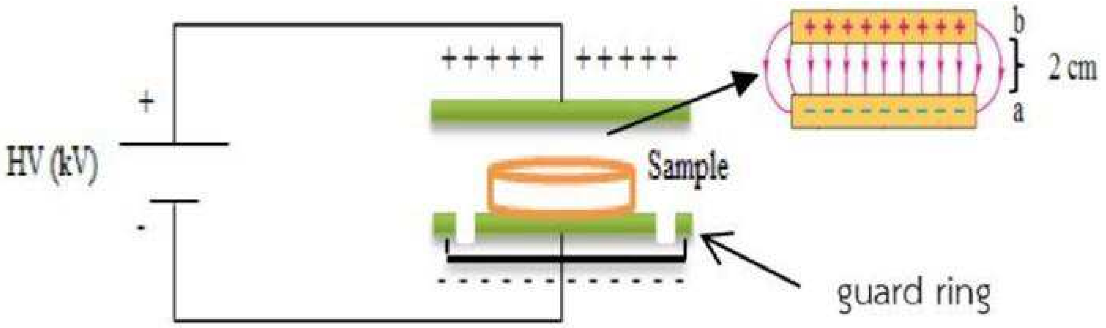
1.7 ปริทัศน์วรรณกรรม

เพื่อศึกษาแนวทางของงานวิจัยและหาทิศทางของงานวิจัยว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ รวมถึงศึกษาปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา ในการสืบค้นหาข้อมูลจะอยู่ในฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและมีชื่อเสียง เช่น IEEE SCOPUS นอกจากนี้การสืบค้นข้อมูลงานวิจัยได้สืบค้นข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งข้อมูลที่สืบค้นมาจะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาจะกล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ทำการศึกษาด้วยกันอยู่ 2 ส่วน คือ ผลกระทบของการอาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคงที่ต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวจ้าวแดง และ ระบบน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของการอาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคงที่ต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวจ้าวแดงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยืนยันว่าสนามแม่เหล็กมีผลกระทบต่อพืช โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและทดลองใช้ไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอาบเมล็ดข้าวเพื่อหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมในการอาบเมล็ด

รูปที่ 1.1 การอาบเมล็ดข้าวในสนามไฟฟ้า

จากรูปที่ 1.1 เป็นการอาบเมล็ดข้าวในสนามไฟฟ้า โดยการเกิดสนามไฟฟ้าจะเกิดระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนานดังรูปที่ 1.2 โดยใช้แผ่นตัวนำไฟฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ 2 เซนติเมตร นำเมล็ดข้าวไปอาบในสนามแม่เหล็กจำนวน 30 เมล็ดต่อการอาบแต่ละครั้ง กำหนดความเข้มของสนามไฟฟ้า 0.5, 1 และ 3 kV/m ใช้ระยะเวลาในการอาบ 1, 10, 20, และ 30 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 การออกแบบสนามไฟฟ้า

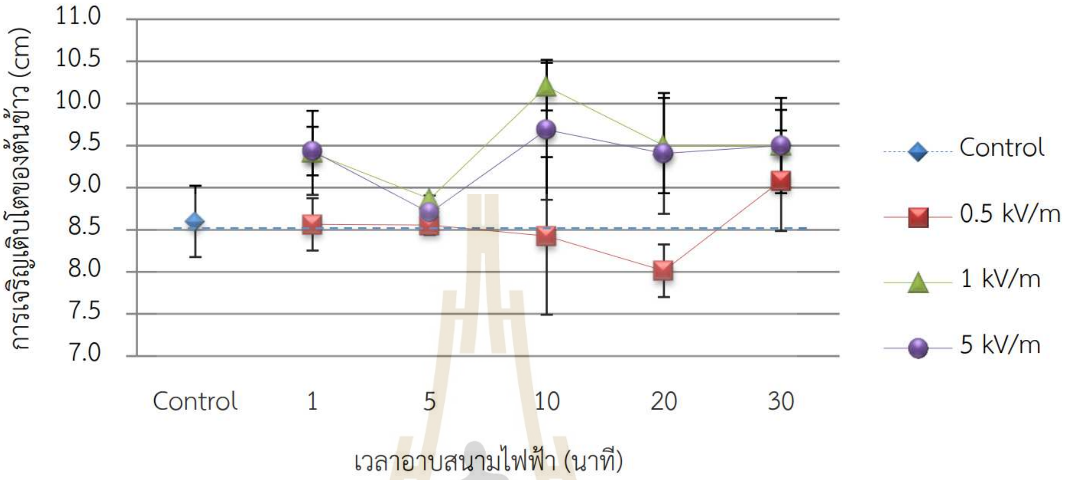
การอาบเมล็ดข้าวด้วยสนามแม่เหล็กจะใช้ขดลวดโซลินอยด์โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และความยาว 30 เซนติเมตร พันขดลวดจำนวน 3,825 รอบ ลักษณะของวงจรจะเป็นดังรูปที่ 1.3 โดยจะใส่ตัวอย่างโดยมีระยะที่สนามแม่เหล็กคงที่ คือระยะห่างจากปลายทั้งสองด้ายของขดลวด 9 เซนติเมตร นำเมล็ดข้าวจำนวน 30 เมล็ด วางในท่อและกำหนดให้ความเข้มสนามแม่เหล็ก 10, 20 และ 40 mT ระยะเวลาในการอาบ 5, 10 ,20 ,30 ,40 ,50 ,60 ,70 และ 80 นาที ตามลำดับ

รูปที่ 1.3 ขดลวดโซลินอยด์และการต่อวงจรสำหรับสนามแม่เหล็ก

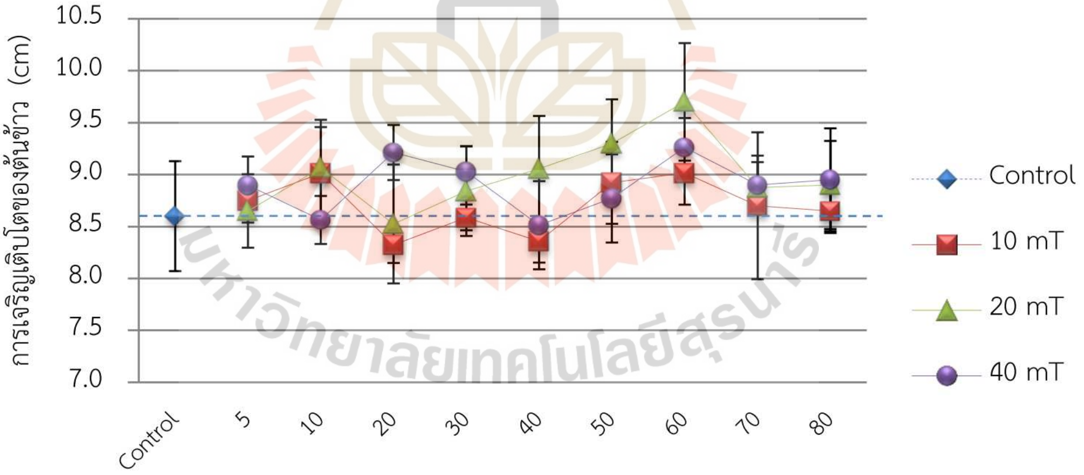
เมื่อนำไปคำนวณหาตัวชี้วัดของการงอกและการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยการวัดจะวัดดัชนีของการงอก ร้อยละการงอกสุดท้าย การเจริญเติบโตของต้นข้าว และดัชนีความแข็งแรง สำหรับสนามไฟฟ้าค่าความเข้มที่มีความเหมาะสมคือ 1 kv/m ความเข้มของสนามไฟฟ้าค่านี้ส่งผลให้ค่าตัวแปรที่ทำการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วัดมีอัตราที่เพิ่มขึ้นมากกว่าพืชที่ใช้ค่าความเข้มอื่น ๆ และพืชที่เป็นกลุ่มควบคุม และในส่วนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าค่าความเข้มที่มีความเหมาะสมคือ 20 mT ซึ่งเป็นค่าความเข้มที่เหมาะสมมากที่สุดกว่าค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กค่าอื่น ๆ เนื่องจากตัวแปรที่ทำการวัดมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าความเข้มค่าอื่น ๆ และพืชที่เป็นกลุ่มควบคุม



รูปที่ 1.4 การเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่ออาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 1.5 การเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่ออาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ระบบน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์ โดยงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่ผักไฮโดรโปนิกส์ประเภทกรีนโอ๊คเนื่องจากเป็นผักที่นิยมในปัจจุบัน ในการทดลองงานวิจัยนี้ได้นำน้ำผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 0.4, 0.5, และ 0.6T จากนั้นนำน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กไปใช้ในการเพาะปลูก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 1.6 โรงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ที่ใช้ในการวิจัย

จากการทดลองพบว่าสนามแม่เหล็กส่งผลให้ผักไฮโดรโปนิกส์มีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้น และผลของความต่างของความเข้มของสนามแม่เหล็กไม่มีความแตกต่างกันในสัปดาห์แรก เมื่อผ่านไป 2-3 สัปดาห์จะพบว่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กขนาด 0.6 T จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด โดยอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น 19.8 4 และ 45.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 4-5 อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น 16.34 และ 15.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากใช้เวลา 5 สัปดาห์พบว่าผักไฮโดรโปนิกส์ระหว่างการใช้น้ำปกติในการเพาะปลูกและการใช้น้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กจะส่งผลให้ผักไฮโดรโปนิกส์มีอัตราการเจริญเติบโตที่มากกว่าน้ำปกติ

รูปที่ 1.7 ผักไฮโดรโปนิกส์หลังจากปลูกมา 5 สัปดาห์

โดยสรุปแล้วน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กที่ 0.4 T ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์เพิ่มขึ้น 14.23 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้ม 0.5 T การเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์เพิ่มขึ้น 15.62 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้ม 0.6 T การเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์เพิ่มขึ้น 15.67 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นเหตุสนับสนุน ในเรื่องผลของสนามแม่เหล็กที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงเป็นเหตุผลให้ผู้วิจัยได้ออกแบบและศึกษาผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยได้ออกแบบการพันขดลวดเหนี่ยวนำ 5 แบบ เพื่อศึกษาว่าการพันขดลวดแบบใดมีผลทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีที่สุดโดยจะใช้ผักบุ้งเป็นตัวอย่างการสังเกตุผลในงานวิจัยนี้ โดยจะนำน้ำที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำทั้ง 5 แบบซึ่งจะประกอบด้วย (1) การพันแบบ 1 ขด (2) การพันแบบ 2 ขด ในทิศทางเดียวกัน (3) การพันแบบ 2 ขด ในทิศทางสลับกัน (4) การพันแบบ 4 ขด ในทิศทางเดียวกัน และ (5) การพันแบบ 4 ขด ในทิศทางสลับกัน ซึ่งแต่ละรูปแบบพันบนท่อ PVC สำหรับการศึกษาผลกระทบต่อไป

1.8 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท และภาคผนวก

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีผลกระทบของสนามแม่เหล็กต่อคุณสมบัติของน้ำ ทฤษฎีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าและวงจรเรโซแนนซ์

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรบัฟเฟอร์ วงจรไดรมอเตอร์ และวงจรเรโซแนนซ์

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของการพันขดลวดเหนี่ยวนำแบบต่าง ๆ

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการทดลอง วัดการทดลองและคุณสมบัติของการพันขดลวดเหนี่ยวนำโดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับการสรุปผลการวิจัยของวงจรในบทต่างๆ ทั้งหมด ปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะและแนวทางที่แก้ไขรวมทั้งแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

การออกแบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการออกแบบการพันขดลวดเหนี่ยวนำแบบต่าง ๆ สามารถแบ่งหลักการและทฤษฎีหลัก ๆ ได้ดังนี้ คือ คุณสมบัติของน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทฤษฎีการเกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการออกแบบและศึกษาเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งการออกแบบการพันขดลวดทั้ง 5 แบบ โดยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะได้กล่าวในบทนี้ คือ ทฤษฎีการเหนี่ยวนำร่วมกัน ทฤษฎีการเกิดสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม (PWM) และทฤษฎีของโหลดเรโซแนนซ์ ซึ่งการออกแบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีความรู้ในทุก ๆ ส่วน จึงจะสามารถสร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ดังมีรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.2 คุณสมบัติของน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.2.1 ค่า EC ในน้ำ

ค่า EC หรือ Electrical Conductivity คือ ค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของสิ่งต่างๆซึ่งสามารถใช้ค่า EC วัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำได้เช่นกัน โดยปกติน้ำบริสุทธิ์จะมีค่านำกระแสไฟฟ้าต่ำหรือมีค่าใกล้ศูนย์ แต่เมื่อมีการเติมสารละลายต่างๆ ลงในน้ำเช่น การเติมปุ๋ยหรือธาตุอารหารของพืชลงในน้ำจะทำให้ค่านำกระแสไฟฟ้าหรือ EC สูงขึ้น ดังนั้น ค่า EC จะเป็นหน่วยวัดปริมาณปุ๋ยหรือธาตุอาหารที่ละลายในน้ำได้ และจะต้องปรับการผสมปุ๋ยหรือธาตุอาหารของพืชให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของการปลูกในแต่ละช่วง ซึ่งพืชในแต่ละชนิดและแต่ละช่วงการปลูกจะมีความต้องการปุ๋ยไม่เท่ากันซึ่งความต้องการปุ๋ยหรือธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น (EC) จะขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก คือ ชนิดและสายพันธุ์พืช

อายุพืชหรือช่วงการเติบโต และ สภาพอากาศ หรือ ฤดูกาล พืชสายพันธุ์ต่างๆ ส่งผลต่อความต้องการค่าปุ๋ยที่มี EC ต่างกันเนื่องจากพืชแต่ละสายพันธุ์มีอัตราการคายน้ำจากปากใบไม่เท่ากัน การคายน้ำจากปากใบของพืชจะทำให้เกิดแรงดันที่รากของพืช ซึ่งแรงดันดังกล่าวจะส่งผลให้รากดูดน้ำเข้าไปเลี้ยงต้นพืช หากค่า EC มีค่าสูงกว่าความต้องการพืชนั้นๆ จะมีผลกระทบต่อพืชทำให้พืชไม่สามารถดูดซึมน้ำได้เพียงพอและทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ และพืชจะเกิดภาวะขาดน้ำดังนั้นจึงต้องให้ค่า EC เหมาะสมกับความต้องการของพืชชนิดนั้น ๆ

2.2.2 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำโดยการเคลื่อนย้ายขั้วอะตอมส่งผลให้น้ำมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายได้ดีขึ้นโดยลดแรงตึงผิว และเพิ่มความสามารถในการละลาย การเพิ่มพลังงานให้น้ำจะทำให้การจัดเรียงตัวของไฮโดรเจนบอนด์ ส่งผลให้เพิ่มการนำไฟฟ้า (EC) คุณสมบัติเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตพืชได้ซึ่งจะช่วยในการดูดซึมการใช้ประจุในเซลล์ของพืช

(cytoplasm) ซึ่งเต็มไปด้วยประจุที่ตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงประจุตามผนังเซลล์จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักยภาพทางประจุของเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์ของพืชสามารถดูดซับและสะสมแร่ธาตุได้ดีขึ้นทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

2.3 ทฤษฎีการเกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวเหนี่ยวนำ และหลักการการเหนี่ยวนำไฟฟ้าซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบการพันขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.3.1 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง โดยมีการนำมาใช้งานเป็นส่วนประกอบของวงจรกรองความถี่ เป็นต้น โดยหน่วยของตัวเหนี่ยวนำคือ เฮนรี่ โดยตัวเหนี่ยวนำจะมีลักษณะการนำลวดตัวนำมาพันเป็นขด อาจพันบนแกนชนิดต่าง ๆซึ่งส่วนใหญ่แล้วแกนจะทำจากเหล็กเฟอร์ไรต์ หรืออาจจะพันเป็นแบบไม่มีแกน (แกนอากาศ) ซึ่งแกนที่กล่าวมานั้นจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดจะมีพลังงานสะสมอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กชั่วคราว และเมื่อกระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดแรงดันไฟฟ้าในตัวลวดเหนี่ยวนำ เมื่อมีกระแสไหลผ่าน ลวดตัวนำจะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กขึ้น ซึ่งการเหนี่ยวนำนี้จะถูกกำหนดโดยปริมาณฟลักซ์แม่เหล็กผ่านวงจรดังสมการที่ 2.1

$$L = \frac{d\Phi}{di} \tag{2.1}$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (เฮนรี่)
Φ คือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)
i คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเกิดจากมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำซึ่งเป็นผลให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีความสอดคล้องไปตามกฎของแอมแปร์ กฎของแอมแปร์จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำ หากลวดตัวนำไม่มีกระแสไหลผ่านจะส่งผลให้ไม่มีสนามแม่เหล็กที่ลวดตัวนำ ในทางตรงข้ามเมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำ เป็นดังสมการที่ 2.2

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \tag{2.2}$$

จากกฎของไมเคิล ฟาราเดย์ จะอธิบายปรากฏการณ์ของสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงในขดลวดซึ่งเมื่อสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด โดยขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีลักษระแปรผันโดยตรงกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ

ฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อมีจำนวนขดลวดจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในขดลวดทุก ๆ รอบ เพราะฉะนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดแต่ละรอบจะมีค่าเท่ากันดังนั้น ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถหาได้จาก สมการที่ 2.3

$$\varepsilon = N\frac{d\phi}{dt} \tag{2.3}$$

โดยที่ B คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวา (T)
μ_0 คือ ความซาบซึมได้ของสุญญากาศมีค่าเท่ากับ $4\pi\times10^{-7}$ (H/m)
I คือ กระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ภายในเส้นทางปิดล้อม (A)
r คือ รัศมีของลวดตัวนำ (m)
ε คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (v)
N คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
$d\phi/dt$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กต่อการเปลี่ยนแปลงเวลา

ลวดตัวนำหรือตัวนำอื่น ๆ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำเพราะฉะนั้น ลวดตัวนำจะมีค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับการพันขดลวดเข้าไปที่คอยล์ ซึ่งถ้าจำนวนเส้นฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สนามแม่เหล็กและการเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น โดยเมื่อพันลวดตัวนำจำนวนรอบที่มากจำนวน ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนของเส้นฟลักซ์แม่เหล็กจะยิ่งมากขึ้นด้วย อีกทั้งปัจจัยของการเหนี่ยวนำยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของคอยล์และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งมีอย่างน้อย 4 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ จำนวนการพันของขดลวดเหนี่ยวนำ แทนสัญลักษณ์ N เมื่อมีจำนวนของขดลวดตัวนำพันหลายรอบจะส่งผลให้สนามแม่เหล็กในขกลวดเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่สองคือ พื้นที่หน้าตัดของแกน แทนสัญลักษณ์ A พื้นที่หน้าตัดของแกนจะมีปัจจัยต่อเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อพื้นที่หน้าตัดแกนมีมากขึ้นก็จะส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กมีมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยทำให้สนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่สาม คือ วัสดุที่นำมาทำแกน แทนสัญลักษณ์ μ ซึ่งวัสดุที่ถูกนำมาทำเป็นแกนจะมีหลายชนิด เช่น แกนอากาศ เหล็ก เฟอร์ไรท์ เป็นต้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะเพิ่มค่าความเข้มสนามแม่เหล็กต่าง ๆ กัน โดยวัสดุต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติที่เรียกว่าค่าความซาบซึม (Permeability) โดยวัสดุที่นำมาทำแกนจะมีค่าความซาบซึมไม่เท่ากัน ถ้าค่าความซาบซึมมีค่ามากจะส่งผลให้มีค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้น และปัจจัยที่สี่ คือ ความยาวของแกน แทนสัญลักษณ์ l ความยาวของแกนจะส่งผลต่อสนามแม่เหล็กเมื่อ ถ้าแกนมีความยาวมากจะทำให้สนามแม่เหล็กน้อยลง แต่ถ้าความยาวของแกนสั้นลง สนามแม่เหล็กจะเพิ่มมากขึ้นเพราะฉะนั้น ค่าความเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับ จำนวนการพันขดลวด พื้นที่หน้าตัดของแกน ความยาวของแกน ซึ่งแกนนั้นจะขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ถูกนำมาทำแกนด้วย ในกรณีของแกนอากาศ จะมีค่าความซาบซึมเท่ากับ $4\pi\times10^{-7}$ H/m ดังนั้น ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะส่งผลต่อค่าความเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.4

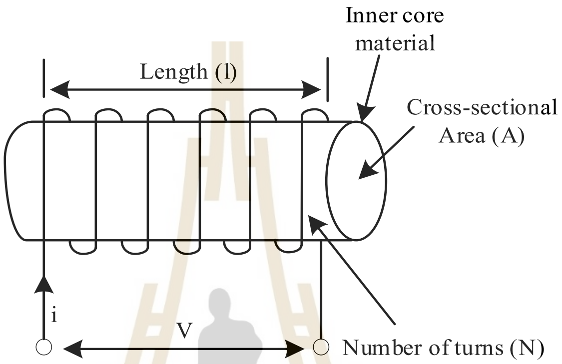
$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \qquad (2.4)$$

โดยที่ N คือจำนวนรอบที่พันขดลวด (รอบ)

μ คือค่าความซาบซึมวัสดุที่นำมาทำเป็นแกน (H/m)

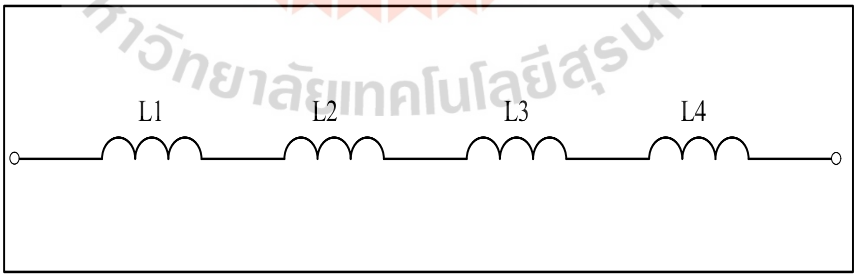
A คือพื้นที่หน้าตัดของแกน (m^2)

l คือความยาวของแกน (m)



รูปที่ 2.1 แกนที่ถูกพันด้วยลวดตัวนำ

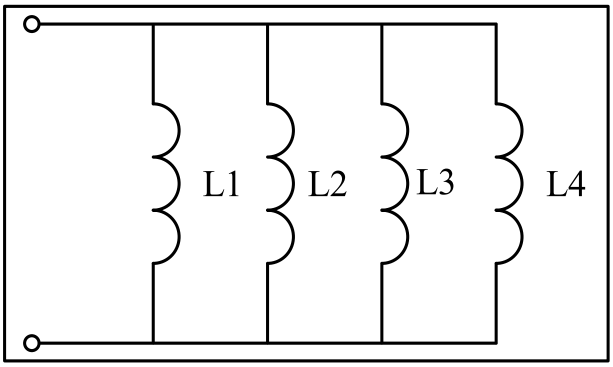
การต่อตัวเหนี่ยวนำสามารถต่อได้วงจรได้ 3 แบบ การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม จะนำตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัวขึ้นไปมาต่ออนุกรม การต่อลักษณะนี้จะเพิ่มความยาวของลวด ทำให้มีค่าความเหนี่ยวนำของวงจรรวมเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น $L_r = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$ ลักษณะการต่อวงจรจะเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม

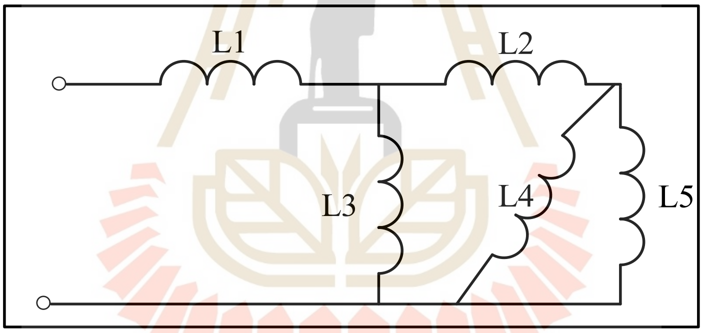
การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน จะนำตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัวขึ้นไปมาต่อขนาน การต่อลักษณะนี้ค่าความเหนี่ยวนำรวมของวงจร จะมีค่าน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำน้อยที่สุดที่ต่ออยู่ภายในวงจร ค่าความเหนี่ยวนำรวมสามารถหาได้จาก $1/L_t = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4$ การต่อวงจรแบบขนานจะเป็นดังรูปที่ 2.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.3 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน

การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบผสม จะเป็นการนำตัวเหนี่ยวนำมาต่ออนุกรมและขนานกัน ค่าความเหนี่ยวนำ รวมทั้งหมด จะมีการวิเคราะห์ว่าต่อกันในลักษณะใดการคำนวณจะใช้วิธีเดียวกับการต่อวงจร ผสมกับของตัวต้านทาน ลักษระการต่อวงจรจะเป็นไปดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 ความเหนี่ยวนำร่วมกัน

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า i_1 ภายในขดลวดที่ 1 ส่งผลให้เกิดเส้นแรง $\varnothing_1$ และส่วนของ $\varnothing_1$ ที่ต่อหรือตัดกับขดลวดที่ 2 เท่ากับ $\varnothing_{12}$ จะส่งผลเกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในขดลวดที่ 2 เป็นดังสมการที่ 2.5

$$E_{M2} = -M_{12}\left[\frac{di_1}{dt}\right] \tag{2.5}$$

กำหนดให้ M_{12} คือ ความเหนี่ยวนำร่วมจากขดที่สองไปยังขดที่หนึ่ง ในทางกลับกันถ้ามีกระแสไฟฟ้าจากขดที่ 2 จะทำให้เกิด เส้นแรง $\varnothing_2$ ที่ต่อกับขดลวดที่ 1 เท่ากับ $\varnothing_{21}$ จึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในขดลวดที่ 1

$$E_{M1} = -M_{21}\left[\frac{di_1}{dt}\right]$$

$$E_{12} = M_{21} = M \qquad (2.6)$$

เส้นแรงเชื่อมต่อ (Fluck Linkage) จะขึ้นอยู่กับระยะห่างและทิศทางการวางตัวของแกนขดลวดทั้งสอง นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับค่าความซาบซึมของแม่เหล็ก (Permeability) ของตัวกลาง ดังนั้นส่วนหนึ่งของเส้นแรงทั้งหมดที่เชื่อมต่อขดลวดจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อ (Coefficient of Coupling)

$$k = \left(\frac{\varnothing_{12}}{\varnothing_1}\right) = \left(\frac{\varnothing_{12}}{\varnothing_2}\right), k \le 1$$

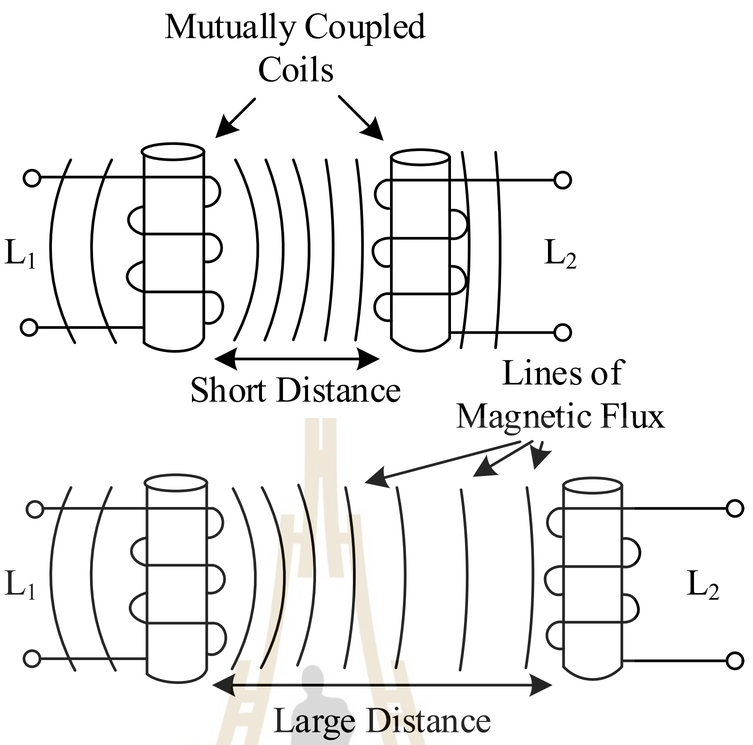
$$M = \left(\frac{N_1\varnothing_{21}}{i_2}\right)$$

$$L_1 = \frac{N_1\varnothing_1}{i_1}, L_2 = \frac{N_2\varnothing_2}{i_2}$$

โดยที่ N_1, N_2 คือ จำนวนรอบของขดลวด

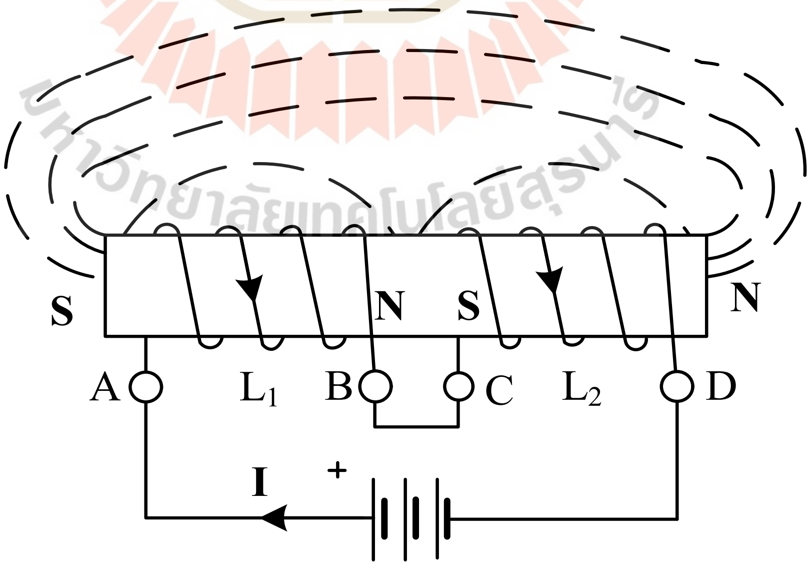
$$k = \left(\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}\right) \qquad (2.7)$$

ปริมาณของการเหนี่ยวนำร่วมกันที่เชื่อมโยงขดลวดหนึ่งไปยังอีกขดลวดหนึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งสัมพัทธ์ของขดลวดทั้งสองอย่างมาก หากขดลวดตัวที่หนึ่งตั้งอยู่ถัดจากขดลวดอีกเส้นหนึ่งในระยะที่น้อย ฟลักซ์แม่เหล็กเกือบทั้งหมดที่สร้างขึ้นจากขดลวดแรกจะเกิดการเหนี่ยวนำกับขดลวดที่สองทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ามากในทางกลับกันหากขดลวดทั้งสองห่างกันปริมาณของฟลักซ์แม่เหล็กจากขดลวดแรกไปยังขดลวดที่สองจะอ่อนลงทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กดังนั้นผลของการเหนี่ยวนำร่วมจะขึ้นอยู่กับระยะทางของขดลวดทั้งสอง



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของฟลักซ์แม่เหล็กกับระยะห่าง

2.4.1. ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดสองขดที่มีทิศเดียวกัน



รูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กเมื่อขดลวดมีทิศทางเดียวกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กระแสที่ไหลระหว่างจุด A และ D ผ่านขดลวดคู่สะสมทั้งสองนั้นอยู่ในทิศทางเดียวกัน จากสมการสำหรับแรงดันตกคร่อมแต่ละขดลวดจะเปลี่ยนแปลงไปจากความสัมพันธ์ระหว่างขดลวดทั้งสองเนื่องมาจาก ผลของการเหนี่ยวนำร่วมกัน การเหนี่ยวนำตัวเองของขดลวดแต่ละตัว L_1 และ L_2 ตามลำดับจะเหมือนเดิม แต่ด้วยการเพิ่ม M แสดงถึงการเหนี่ยวนำร่วมกัน

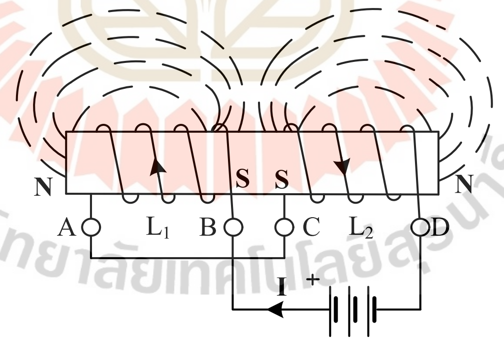
$$L_T \frac{di}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + 2\left(M \frac{di}{dt} \right) \tag{2.8}$$

โดยที่ $2M$ แสดงถึงผลกระทบต่อขดลวด L_1 ต่อ L_2 และขดลวด L_2 ต่อ L_1 โดยการหารสมการข้างต้นด้วย $\frac{di}{dt}$ เราสามารถย่อให้เป็นนิพจน์สุดท้ายสำหรับการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำรวมของวงจรเมื่อตัวเหนี่ยวนำเชื่อมต่อกันแบบสะสมและได้ดังนี้

$$L_{total} = L_1 + L_2 + 2M \tag{2.9}$$

2.4.2. ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดสองขดที่มีทิศต่างกัน

หากขดลวดตัวใดตัวหนึ่งกลับด้านโดยมีกระแสเดียวกันไหลผ่านแต่ละขดลวดแต่จะมีทิศทางตรงกันข้ามการเหนี่ยวนำร่วมกัน M ที่อยู่ระหว่างขดลวดทั้งสองจะหายไปและจะเกิดสนามแม่เหล็กโดยรอบของแต่ละขด



รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กเมื่อขดลวดมีทิศทางตรงข้ามกัน

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่ขดลวดแรก และการเหนี่ยวนำร่วมกันของขดลวดที่สองนั้นตรงกันข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำตนเองในขดลวดที่ 1 เนื่องจากขณะนี้กระแสเดียวกันไหลผ่านแต่ละขดลวดในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อมีลักษณะเช่นนี้ M จึงมีเครื่องหมายลบ เมื่อสนามแม่เหล็กของขดลวดทั้งสองมีการเชื่อมต่อกันอย่างต่างกัน ทำให้เราได้สมการสุดท้ายสำหรับการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำรวมของวงจรเมื่อตัวเหนี่ยวนำเชื่อมต่อต่างกันดังสมการ

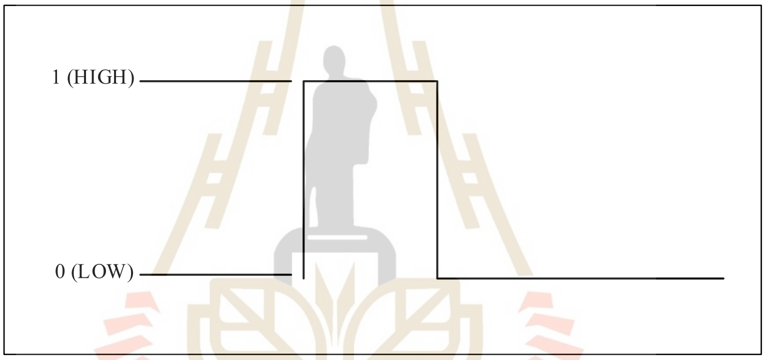
$$L_{total} = L_1 + L_2 - 2M \tag{2.10}$$

จากนั้นสมการสุดท้ายสำหรับตัวเหนี่ยวนำคู่แบบอนุกรมจะได้ดังสมการ

$$L_{total} = L_1 + L_2 \pm 2M$$

2.5 ทฤษฎีการกำเนิดสัญญาณแบบ PWM

PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation เป็นเทคนิคที่ผสมบิตของข้อมูลเข้ากับสัญญาณโดยบิตข้อมูลคือความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งการใช้ความกว้างของสัญญาณพัลส์จะสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าครั้งละ 1 บิต ในหนึ่งช่วงเวลา ซึ่งลักษณะของสัญญาณพัลส์จะมีลักษณะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมซึ่งสัญญาณที่ถูกสร้างออกมาจะ เปิด (HIGH) และ ปิด (LOW) สลับกันซึ่งสัญญาณในรูปแบบนี้เมื่อนำไปจำลองในรูปของสัญญาณไฟฟ้า เมื่อสัญญาณเปิด จะได้สัญญาณไฟฟ้า 5 โวลต์ และในช่วงสัญญาณปิด จะได้สัญญาณไฟฟ้า 0 โวลต์ ลักษณะสัญญาณจะเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณเปิด (HIGH) และปิด (LOW)

การทำงานจะทำงานตามการเปิดปิดของสัญญาณ ซึ่งจะเป็นการนำสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ โดยเมื่อสัญญาณอยู่ในช่วงเปิด อุปกรณ์จะมีการทำงาน และเมื่อสัญญาณิยู่ในช่วงปิด อุปกรณ์จะหยุดการทำงาน เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่สัญญาณออกมาทั้งหมดจะเรียกช่วงเวลาตรงนี้ว่า ความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse width)

2.6 โหลดเรโซแนนซ์ (Resonant load)

โหลดเรโซแนนซ์ คือ วงจรที่ประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บระจุ (C) และ ตัวเหนี่ยวนำ (L) การนำโหลดเรโซแนนซ์ไปใช้งานกับวงจรอินเวอเตอร์ความถี่สูง จะมีข้อดีคือการลดการสูญเสียภายในสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ จำพวก ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต ไอจีบีที ไม่ให้มีความร้อนสะสมภายในตัวของสวิตซ์ และมีข้อเสียคือ เมื่อความถี่ใกล้จุดความถี่เรโซแนนซ์กระแสภายในวงจรจะสูงมาก ส่งผลให้มีแรงดันตกคร่อมภายในวงจรเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การเลือกใช้สวิตซ์ จะต้องใช้ตัวที่สามารถทนตอแรงดันตกคร่อมขณะ สวิตซ์ปิด ได้สูง และ ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถเก็บพลังงานได้มาก โหลดเรโซแนนซ์สามารถต่อวงจรได้ 2 แบบ คือ แบบ

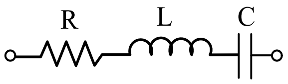
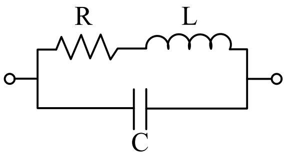
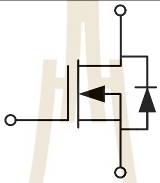
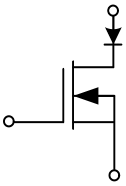
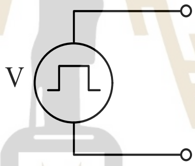
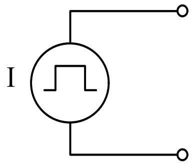
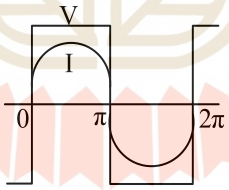
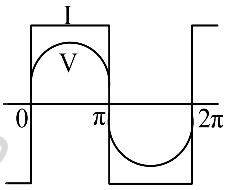
อนุกรมและแบบขนาน ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปดังแสดงใน ตารางที่ 2.1 และโครงสร้างของวงจร จะเห็นได้ว่าโหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมจะใช้แหล่งจ่ายชนิดแรงดันคงที่ เนื่องเพราะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ในการกรองแรงดันให้เรียบร้อย

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลข้อดีและข้อเสียโหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน

ชนิดโหลดเรโซแนนซ์	ข้อดี	ข้อเสีย
อนุกรม	-โครงสร้างง่าย -จ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรวจากวงจรเรียงกระแสโดยไม่ต้องปรับแรงดัน -กำลังไฟฟ้าที่จ่ายสามารถปรับความถี่ได้	-ขณะป้อนสัญญาณเพื่อขับวงจรจะเอาโหลดออกจากวงจรได้ -ไม่สามารถทนทานการลัดวงจรที่โหลดได้ -การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการปรับความถี่สวิตซ์ให้มีความถี่ที่ไม่ตรงกับความถี่เนโซแนนซ์จะส่งผลให้กระแสจะไม่เป็นรูปซายน์ มีผลให้เกิดฮามอนิกส์
ขนาน	-ขณะป้อนสัญญาณสามารถนำโหลดออกจากวงจรได้ -สามารถทนการลัดวงจรที่เกิดขึ้นที่โหลดได้ -อุปกรณ์ L และ C ที่ใช้ในวงจรเรโซแนนซ์ไม่จำเป็นต้องมีพิกัดแรงดันสูง เนื่องจากกระแสเป็นรูปคลื่นสแควร์ จึงมีค่า peak คงที่ ที่ตำแหน่งเรโซแนนซ์	-ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรงจากวงจรเรียบกระแสแต่ต้องมีการปรับแรงดันการใช้สวิตซ์ควบคุม -จำเป็นต้องมี coke เนื่องจากเป็น constant current -มีขนาดใหญ่จากมี coke และวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าให้กับวงจร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบลักษณะของอุปกรณ์ คลื่นแรงดันและกระแสโหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม และขนาน

วงจร	วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน
โหลด		
สวิตซ์		
แหล่งจ่าย		
คลื่นเอาต์พุต		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การต่อเรโซแนนซ์ในวงจรแบบอนุกรม RLC กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะแรงดันไฟฟ้าท่านั้น โดย

แรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน (V_R) จะมีเฟสเดียวกับกระแสไฟฟ้า I

แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุ (V_C) จะมีเฟสตามหลังกระแสไฟฟ้า I อยู่ 90°

แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ (V_L) จะมีเฟสนำหน้ากระแสไฟฟ้า I อยู่ 90°

จะได้

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$$

ดังนั้น

$$V = \sqrt{V_R^2 + \left(V_L - V_C\right)^2} \tag{2.11}$$

และมุมเฟสของความต่างศักย์รวม

$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

ดังนั้น

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_L - V_C}{V_R}\right) \tag{2.12}$$

ถ้า $V_C = V_L$ แรงดันไฟฟ้ารวมในวงจรจะเท่ากับ V_R (เนื่องขาเฟส V_C ต่างจาก V_L อยู่ $180°$ ทำให้ค่าทั้งสองหักล้างกันเป็นศูนย์)
จะได้

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

ดังนั้น

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.13}$$

ค่าความถี่ f_r นี้คือ “ค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant)” ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ มีค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่ามากที่สุด
จากสมการที่ 2.13 เนื่องจาก $V_R = I_R$, $V_L = IX_L$, $V_C = IX_C$
จะได้

$$V = \sqrt{(IR)^2 + \left(IX_L - IX_C\right)^2}$$

$$V = I\sqrt{R^2 + \left(X_L - X_C\right)^2}$$

$$\frac{V}{I}=\sqrt{R^2+\left(X_L-X_C\right)^2}$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$Z=\sqrt{R^2+\left(X_L-X_C\right)^2} \tag{2.14}$$

จากสมการที่ 2.14 ความต้านทานภายในวงจรจะเรียกว่า “อิมพิแดนซ์ (Impedance)” เขียนแทนสัญลักษณ์ Z โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Z=\frac{V}{I}$$

และมุมเฟสของความต้านทานรวม

$$\tan\theta=\frac{X_L-X_C}{R}$$

$$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{X_L-X_C}{R}\right) \tag{2.15}$$

การต่อเรโซแนนซ์ในวงจรแบบขนาน RLC แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะกระแสไฟฟ้าเท่านั้นจะได้

$$I^2=I_R{}^2+\left(I_C-I_L\right)^2$$

ดังนั้น

$$I=\sqrt{I_R{}^2+\left(I_C-I_L\right)^2}$$

และมุมเฟสของกระแสรวม

$$\tan\theta=\frac{I_C-I_L}{I_R}$$

ดังนั้น

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C - I_L}{I_R}\right) \tag{2.16}$$

ถ้า $I_C = I_L$ กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรจะเท่ากับ I_R (เนื่องจากเฟส I_C ต่างจาก I_L อยู่ $180°$ ทำให้ค่าทั้งสองหักล้างกันเป็นศูนย์
จะได้

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

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

ค่าความถี่ f_r นี้เรียกว่า "ค่าความถี่เรโซแนนซ์(Resonant)" ซึ่งมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าน้อยที่สุด
จากสมการ

$$I = \sqrt{I_R^{\,2} + (I_C - I_L)^2}$$

เนื่องจาก $I_R = \dfrac{V}{R}, I_C = \dfrac{V}{X_C}, = I_L = \dfrac{V}{X_L}$ และ $V = V_R = V_C = V_L$

จะได้

$$I = \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_C} - \frac{V}{X_L}\right)^2}$$

$$I = V\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$$

$$\frac{V}{Z} = V\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้น

$$\frac{1}{Z}=\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\frac{1}{X_C}-\frac{1}{X_L}\right)^2} \tag{2.17}$$

และมุมเฟสของความต้านทานรวม

$$\tan\theta=\frac{\frac{1}{X_C}-\frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}}$$

ดังนั้น

$$\tan\theta=\tan^{-1}=\left(\frac{\frac{1}{X_C}-\frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}}\right) \tag{2.18}$$

จากสมการและคำอธิบายที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถนำมาสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนานได้ดัง ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน

คุณสมบัติ	เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม	เรโซแนนซ์ชนิดขนาน
ความถี่เรโซแนนซ์ f_r	$f_r=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_r=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R	สูงสุดที่ f_r	คงที่ที่ V_O
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R	ค่าคงที่ที่ $\frac{V_O}{R}$	ต่ำสุดที่ f_r
คุณสมบัติ	เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม	เรโซแนนซ์ชนิดขนาน
ค่า Q	$Q=\frac{2\pi f_R L}{R}$	$Q=\frac{R}{2\pi f_R L}$
ค่าแบนด์วิดซ์,BW	BW = $\frac{f_r}{Q}$	BW = $\frac{f_r}{Q}$
สภาวะ Impedance ที่จุดต่ำกว่า f_r	Capacitive	Inductive

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน (ต่อ)

คุณสมบัติ	เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม	เรโซแนนซ์ชนิดขนาน
สภาวะ Impedance ที่จุดสูงกว่า f_r	Inductive	Capacitive
เมื่อเปลี่ยนค่า R	เพิ่มค่า R,ค่า BW เพิ่ม	เพิ่มค่า R,ค่า BW ลด
เมื่อเปลี่ยนค่า $\frac{L}{C}$	เพิ่มค่า $\frac{L}{C}$, ค่า BW ลด	เพิ่มค่า $\frac{L}{C}$, ค่า BW ลด

2.7 สรุป

บทที่สองจะกล่าวถึงทฤษฎีการเกิดน้ำกระด้าง ทฤษฎีการหาความกระด้างของน้ำ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และอธิบายการเกิดคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมรวมทั้งการคำนวณหาโหลดเรโซแนนซ์ ทฤษฎีที่กล่าวมานี้จะเป็นส่วนที่จะใช้ศึกษาและนำมาอ้างอิงเพื่อออกแบบเครื่องและตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารวมทั้งการทดสอบผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การศึกษาและออกแบบระบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการศึกษาและการออกแบบวงของเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และหลักการทำงานของเครื่องรวมทั้งการวิเคราะห์ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจำลองผลผ่านโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวปล่อยคลื่นแบบต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตัวปล่อยคลื่นออกเป็น 5 แบบ จากการศึกษาพบว่าสนามแม่เหล็กมีอิทธิพลทำให้คุณสมบัติของน้ำสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้ดังนั้นผู้วิจัย จึงออกแบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และวิเคราะห์เก็บผลหาประสิทธิภาพของตัวปล่อยคลื่นที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปใช้งานซึ่งจะได้กล่าวในบทนี้

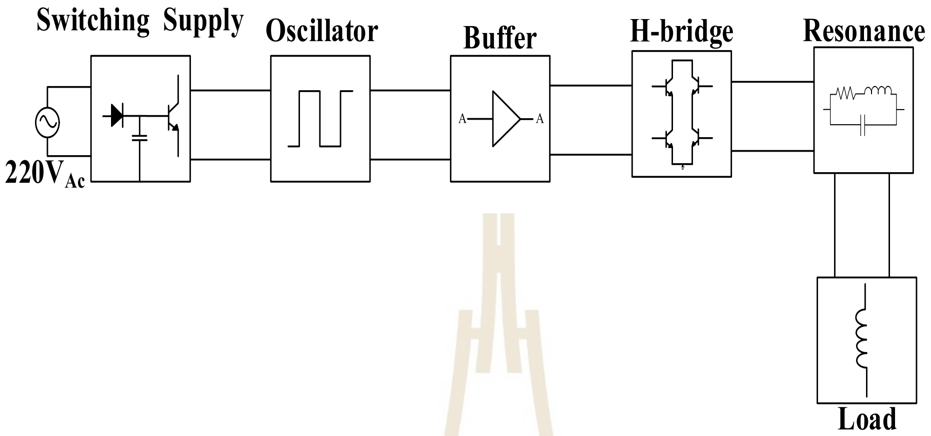
จาการออกแบบเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายให้ตัวปล่อยคลื่น จากการออกแบบวงจรและระบบของเครื่องจะสามารถแบ่งออกได้ส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. การออกแบบวงจรในส่วนของภาคจ่ายไฟ (Switching supply)
2. การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นพัลส์ (Oscillator)
3. การออกแบบวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)
4. การศึกษาวงจร H-bridge และการประยุกต์ใช้
5. การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์ (Resonance)
6. การออกแบบตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่าง ๆ (Load)
7. การวิเคราะห์ความเข้มของสนามแม่เหล็กของตัวปล่อยคลื่น
8. การออกแบบวิธีการทดลองและการเก็บผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 การออกแบบวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การออกแบบวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงดังแผนภาพบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การสร้างวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กเป็นการสร้างกระแสไฟฟ้าความถี่ในช่วงหลัก กิโลเฮิรตซ์ โดยจะมีความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่น โดยจะเกิดการเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำของตัวปล่อยคลื่นซึ่งทำให้มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวปล่อยคลื่น โดยหลักการทำงานของระบบวงจรเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็ก จะถูกแบ่งเป็น 6 ส่วน ซึ่งในแต่ละส่วนจะทำงานสัมพันธ์กัน เมื่อมีไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ถูกจ่ายเข้าไปให้กับวงจร ไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ จะผ่านส่วนที่หนึ่งของวงจร คือ ในส่วนของสวิตชิ่งซัพพลายโดยส่วนนี้จะเป็นส่วนที่แปลงไฟจากไฟฟ้าสลับเป็นไฟกระแสตรงซึ่งมีไฟฟ้าแรงดัน 12 โวลต์เลี้ยงวงจรทั้งวงจร และในส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน และมีไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณมีขนาดแรงดัน 5 โวลต์และ ไฟเลี้ยงขนาด 2-30 โวลต์ ใช้สำหรับขับแรงดันให้กับวงจร H-bridge ในส่วนที่ 2 ของระบบจะเป็นส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณในส่วนนี้จะสร้างสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้ขับวงจร H-bridge ให้ทำงานตามความถี่ที่ต้องการซึ่งก่อนที่สัญญาณจะไปสู่วงจร H-bridge นั้นจะต้องผ่านวงจรบัฟเฟอร์ซึ่งจะเป็นส่วนประกอบที่ 3 ของวงจรทำหน้าที่ป้องกันวงจรกำเนิดสัญญาณไม่ให้ได้รับความเสียหาย และช่วยในเรื่องของสัญญาณที่ส่งไปไม่ให้มีความผิดเพี้ยน เมื่อสัญญาณผ่านวงจรในส่วนนี้แล้วสัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจร H-bridge ซึ่งจะเป็นส่วนที่ 4 จะทำหน้าที่ขับสัญญาณตามสัญญาณที่เกิดจากวงจรกำเนิดสัญญาณ ก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งไปที่ตัวปล่อยคลื่น (load) สัญญาณจะผ่านวงจรเรโซแนนซ์ จะเป็นส่วนประกอบของวงจรส่วนที่ 5 จะทำหน้าที่ลดความสูญเสียของพลังงานที่ถูกขับจากวงจร H-bridge ไปที่ตัวปล่อยคลื่น ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของวงจร H-bridge ไม่ให้เกิดความร้อนมากจนเกินไป และในส่วนที่ 6 ส่วนสุดท้ายของระบบวงจรจะเป็นในส่วนที่จะถูกนำไปใช้งานโดยในส่วนนี้จะเป็นตัวปล่อยคลื่น ที่เกิดจากการพันขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบลวดตัวนำ และสนามแม่เหล็ก

ที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับความถี่จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ถูกออกแบบไว้ โดยในการออกแบบวงจรในส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

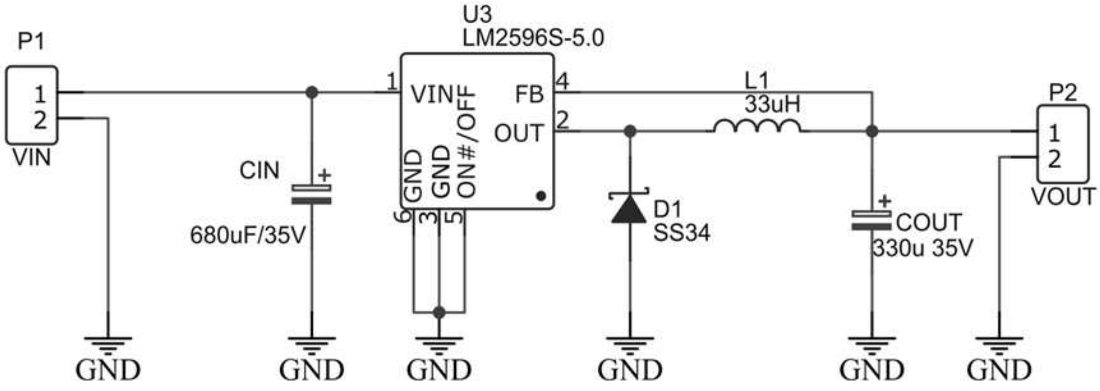
3.2.1 ภาคจ่ายไฟ (Switching supply)

ภาคจ่ายไฟนี้จะประกอบไปด้วยสามส่วน ส่วนที่หนึ่งจะเป็นวงจร Switching Power supply ส่วนที่สองเป็นวงจร Step Down 5 V 3A และในส่วนที่สามจะเป็นวงจร Step Down 2-30V 5A ในส่วนที่หนึ่งเป็นวงจร Switching power supply โดยจะใช้ 12V 5A เพราะเป็นส่วนหลักในการจ่ายไฟให้กับวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กดังนั้นจึงต้องให้วงจร Switching power supply สามารถจ่ายกระแสไฟให้ได้เพียงพอที่จะใช้เลี้ยงไฟทั้งระบบ โดยในที่นี้จะนำวงจรสำเร็จมาใช้งานซึ่งจะอธิบายการออกแบบและหลักการทำงานของวงจร เมื่อทำการศึกษาภายในวงจรจะเป็นการใช้ไอซีเบอร์ NCP1200 ซึ่งเป็นไอซีสวิตชิ่งจะออกแบบได้ง่ายและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับไอซีสวิตชิ่งตัวอื่นๆ ซึ่งในวงจรนี้จะเป็นวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

3.2.1.1 การออกแบบวงจร Stepdown 5 V 3A

ส่วนที่สองจะเป็นวงจร Step Down 5 V 3A วงจรนี้มีหน้าที่ลดแรงดันให้ได้ 5 V และสามารถจ่ายกระแสได้ 3A ในส่วนนี้จะใช้เลี้ยงวงจรในภาคกำเนิดสัญญาณซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไปในวงจรกำเนิดสัญญาณนั้นจะใช้แรงดันที่ 5 V ดังนั้นจึงต้องปรับแรงดันของวงจร Step Down ไปที่ 5V ก่อนนำไปต่อกับภาคกำเนิดสัญญาณ การออกแบบวงจร Stepdown จะยกตัวอย่างการออกแบบโดยใช้ไอซี LM2596 ซึ่งจะเป็นวงจร Stepdown 5V 3A วงจร Stepdown จะมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจร บั๊คคอนเวอเตอร์ (Buck converter) ซึ่งจะเป็นวงจรที่ใช้สำหรับลดแรงดันลงตามที่ต้องการออกแบบ ข้อแตกต่างระหว่าง บั๊คคอนเวอเตอร์ กับ ไอซีเรกูเลตทั่วไปนั้นคือ ค่ากระแสไฟฟ้า ไอซีเรกูเลตทั่วไปจะให้กระแสไฟฟ้าได้เพียง 0.8 A แต่วงจรบั๊คคอนเวอเตอร์ สามารถให้กระแสได้มากกว่าซึ่งอยู่ที่การออกแบบและเลือกใช้ไอซีนั้นเอง ไอซีเบอร์ LM2596-5.0 จะสามารถออกแบบได้กระแสสูงสุดที่ 3 A ซึ่งจะสามารถออกแบบแรงดันเอาต์พุตได้สองโหมด คือ สามารถออกแบบให้มีค่าคงที่ได้และออกแบบให้ปรับค่าได้ ไอซีเบอร์นี้สามารถใช้ลดแรงดันอินพุตได้สูงสุด 40 V ให้เหลือแรงดันที่ต้องการอาจจะเป็นแบบคงที่เช่น 3.3 V , 5V หรือจะใช้โหมดปรับค่าได้ก็ทำได้เช่นกัน

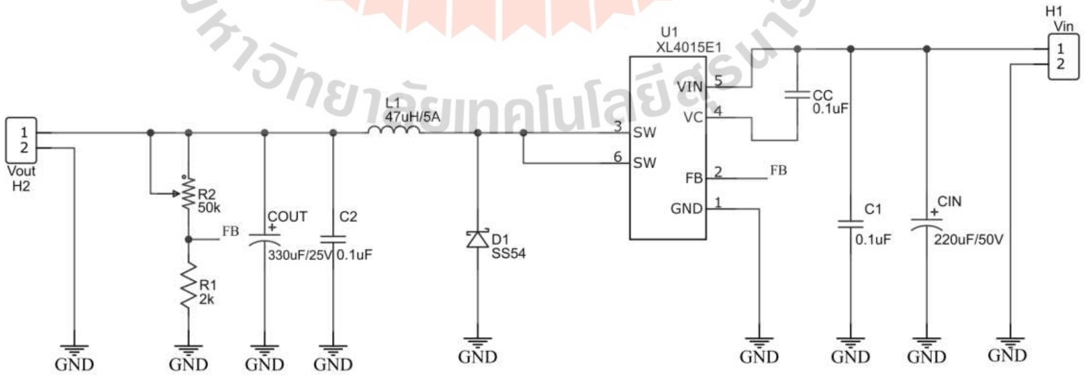
การออกแบบวงจร Stepdown จะต้องกำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการออกแบบ V_{IN} ,V_{OUT} และ I_{OUT} โดยจะต้องกำหนดให้เป็นค่าสูงสุดที่ต้องการออกแบบในที่นี้ต้องการออกแบบแรงดันเอาต์พุตสูงสุดที่ 5 โวลต์ และกระแสสูงสุดที่ 3 แอมป์ โดยมีแรงดันอินพุตสูงสุดที่ 12 โวลต์ ดังนั้น V_{IN} = 12 V, V_{OUT} = 5V และ I_{OUT} =3A



รูปที่ 3.2 วงจร Stepdown 5 V 3A

3.2.1.2 การออกแบบวงจร Stepdown 2-30 V 5A

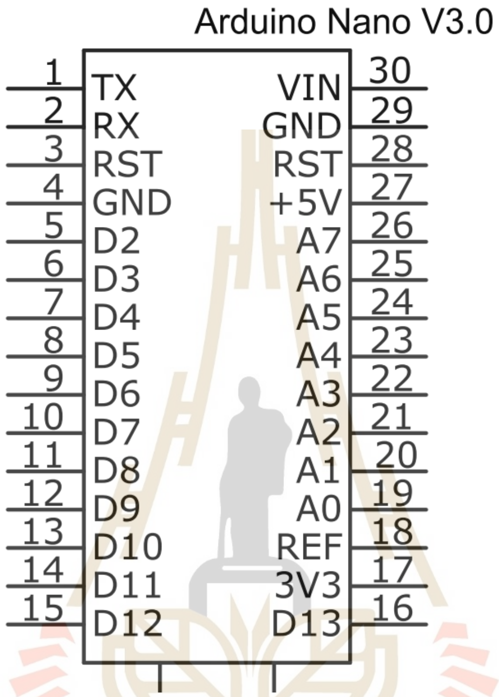
ส่วนที่สามซึ่งจะเป็นวงจร Step Down 2-15 V 5A วงจรนี้จะใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับภาคขับสัญญาณไปที่ขดลวดเพราะฉะนั้นวงจรจะมีกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุดแต่จะไม่เกินแหล่งจ่ายไฟหลักที่เลี้ยงให้กับวงจรทั้งหมดเพราะกระแสทั้งหมดของวงจรจะใช้ได้ไม่เกินจากแหล่งจ่ายหลักดังนั้นจึงใช้ Step Down 2-15 V 5A โดยวงจรนี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 2-30 V ซึ่งการปรับค่าแรงดันนั้นจะเป็นการเพิ่มกำลังงานให้กับโหลดซึ่งจะเป็นขดลวด ในการออกแบบวงจรนี้จะใช้ไอซี Stepdown เบอร์ XL4015 ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 5 A สามารถจ่ายแรงดันอินพุตสูงสุดได้ 40 V จาก Datasheet ของไอซี XL4015 จะมีข้อมูลที่มีการทดสอบแล้วว่าได้เอาต์พุตกี่โวลต์กี่แอมป์ โดยข้อมูลของวงจรใน Datasheet จะเป็นวงจรที่ลดแรงดันคงที่ไม่มีการปรับค่าได้ แต่ในที่นี้การออกแบบต้องการให้ปรับค่าได้ 2-30 V ซึ่งลักษณะการต่อวงจรที่ได้แรงดันเอาต์พุต 5 V และมีกระแส 5 แอมป์ จะเป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจร Stepdown 2-30 V 5A

3.2.2 ภาคกำเนิดสัญญาณ (Oscillator)

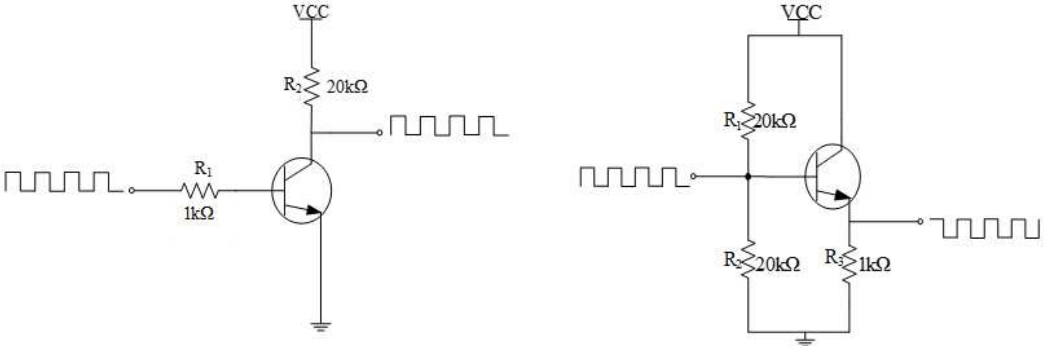
สำหรับการออกแบบวงจรในส่วนนี้จะออกแบบโดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลักมาทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณ โดยในการสร้างสัญญาณนั้น วงจรจะสร้างออกมาในรูปของสัญญาณพัลส์ (PWM) ที่ความถี่ในหลักกิโลเฮิรตซ์โดยจะให้สัญญาณที่ถูกสร้างมาแบ่งความถี่ออกเป็น 2 ช่วงความถี่



รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM

3.2.3 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

วงจรบัฟเฟอร์จะเป็นส่วนที่ต่อจากวงจรกำเนิดสัญญาณจะเป็นวงจรกันชนที่มีคุณสมบัติคือค่าความต้านทานอินพุตมีค่าสูงความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำและจะมีอัตราขยาย 1 เท่า ซึ่งจากที่วงจรบัฟเฟอร์มีความต้านทานอินพุตสูงทำให้ไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณที่จ่ายเข้ามาและที่ค่าความต้านทานเอาต์พุตต่ำทำให้สามารถจ่ายกระแสไปได้มาก โดยในที่นี้ได้ออกแบบแบ่งวงจรบัฟเฟอร์ออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของสัญญาณที่ไม่กลับเฟส และในส่วนของสัญญาณที่กลับเฟส ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่จะใช้ขับวงจร H-bridge ในการออกแบบวงจรบัฟเฟอร์สามารถใช้ออปแอมป์ทรานซิสเตอร์หรือเป็นไอซีที่สำเร็จแล้วได้เช่นกันแต่ในที่นี้ผู้วิจัยจะใช้ทรานซิสเตอร์ ลักษณะของการต่อวงจรจะเป็นไปดังรูปที่ 3.4

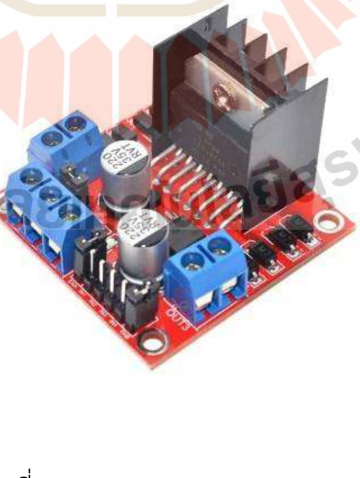


(ก) (ข)

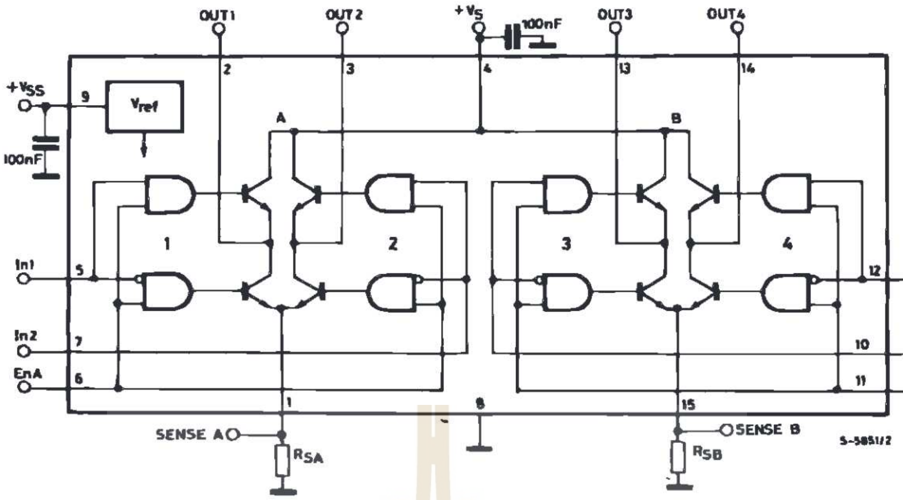
รูปที่ 3.4 วงจรบัฟเฟอร์ (ก) วงจรบัฟเฟอร์แบบไม่กลับเฟส (ข) วงจรบัฟเฟอร์แบบกลับเฟส

3.2.4 ภาคขับสัญญาณ

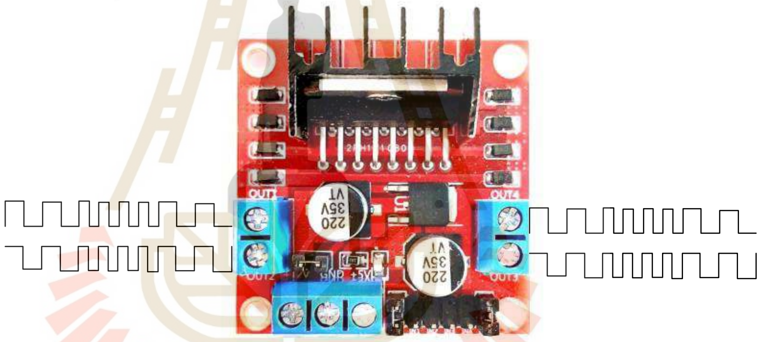
ในส่วนของวงจรในภาคขับสัญญาณทางผู้วิจัยได้ศึกษาวงจรซึ่งสามารถออกแบบได้ โดยใช้ ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต หรือเป็นไอซีที่ใช้ขับสัญญาณก็ได้เช่นกันเพื่อง่ายต่อการออกแบบในที่นี้ จึงใช้ไอซีที่เป็นโมดูลแล้วโดยเป็นไอซีเบอร์ L298n motor driver ซึ่งสามารถขับกระแสได้สูงสุด 2 A ลักษณะไอซี L298n motor driver โมดูลเป็นดังรูปที่ 3.5 ในการขับสัญญาณนั้นสามารถขับสัญญาณออกได้ 2 เอาต์พุต ซึ่งลักษณะของวงจรภายในไอซี L298n จะเป็นวงจร H-Bridge หรือเป็น Full-bridgeดังรูปที่ 3.6 และลักษณะของสัญญาณที่จะออกจากเอาต์พุตจะเป็นไปดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 L298n motor driver



รูปที่ 3.6 ลักษณะวงจรภายในไอซี L298n



รูปที่ 3.7 สัญญาณที่ออกจากเอาต์พุต

3.2.5 ภาคเรโซแนนซ์ (Resonance)

วงจรในส่วนนี้เป็นวงจรที่ต่อจากเอาต์พุตของวงจร H-bridge ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ L และ C ซึ่งโดยปกติแล้ววงจรเรโซแนนซ์สามารถต่อแบบขนานหรือแบบอนุกรม แต่ในที่นี้การออกแบบวงจรจะออกแบบการโดยต่อแบบขนาน ในการออกแบบนี้จะคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่มีความเหมาะสมกับความถี่ และ ค่าความเหนี่ยวนำ โดยในที่นี้เราทราบความถี่จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่สร้างสัญญาณพัลส์ออกมา และค่าความเหนี่ยวนำจากตัวปล่อยคลื่นที่มีการพันขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งในการคำนวณจะอาศัยสมการ

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

เมื่อย้ายข้างสมการเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุจะได้สมการ

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

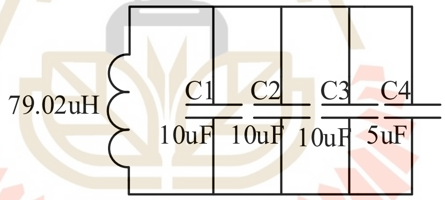
จากการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณผู้วิจัยได้ออกแบบให้สัญญาณมีความถี่ 2 ช่วงความถี่คือ 1-5 kHz และ 5-10 kHz ในส่วนของค่าความเหนี่ยวนำของตัวปล่อยคลื่นจะถูกวัดโดยเครื่องมือวัด RLC วัดค่าได้ 79.02 uH

คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ความถี่ 3 kHz

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 \times \left(3\times10^3\right)^2 \left(79.02\times10^{-6}\right)}$$

$$C_1 = 35\mu F$$

ดังนั้นค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับความถี่ 3 kHz คือ $35\mu F$ แต่ในทางปฏิบัติค่าตัวเก็บประจุ $35\mu F$ หาได้ยากจึงใช้การขนานค่าตัวเก็บประจุ เพื่อให้ได้ค่าตามที่คำนวณซึ่งลักษณะของวงจรจะเป็นไปดังรูปที่ 3.8



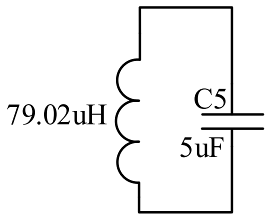
รูปที่ 3.8 วงจรเรโซแนนซ์ความถี่ 3 kHz

คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ความถี่ช่วง 7 kHz

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 \times \left(7\times10^3\right)^2 \left(79.02\times10^{-6}\right)}$$

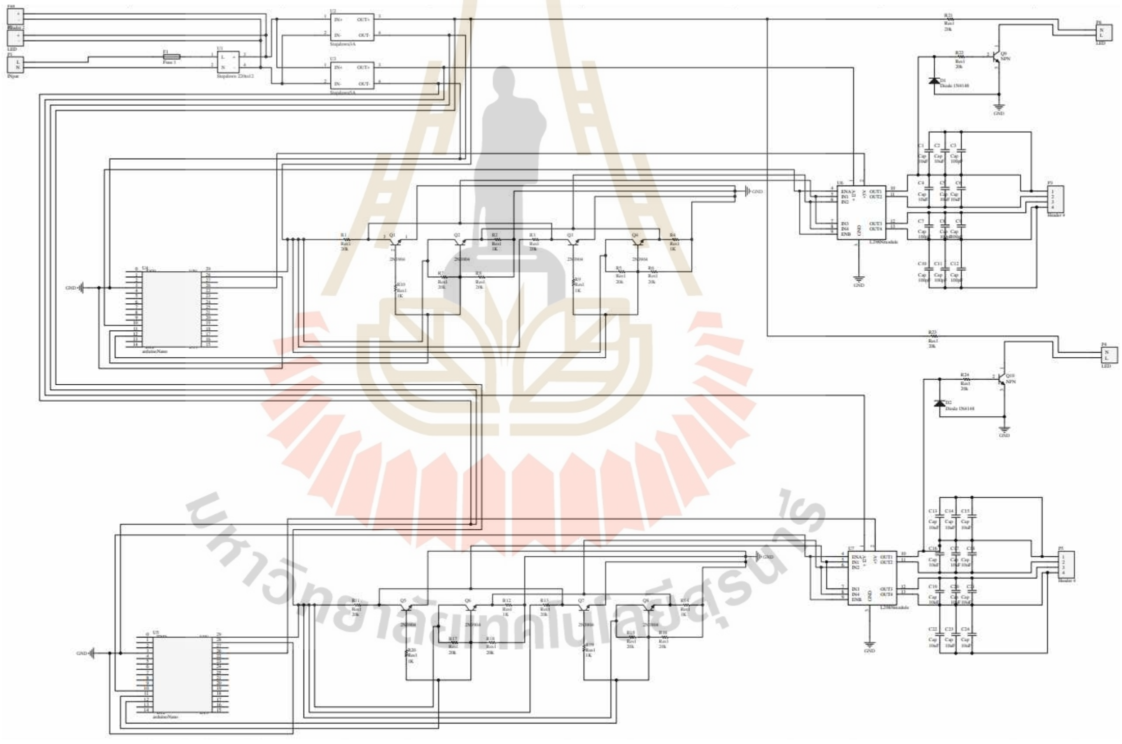
$$C_2 = 5.6\mu F$$

ดังนั้นค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับความถี่ช่วง 7 kHz คือ $5.6\mu F$ แต่ในทางปฏิบัติค่าตัวเก็บประจุ $5.6\mu F$ จะถูกใช้ค่าตัวเก็บประจุโดยการประมาณค่าในที่นี้จะใช้ค่าตัวเก็บประจุที่ $5\mu F$ ลักษณะของวงจรจะเป็นไปดังรูปที่ 3.9



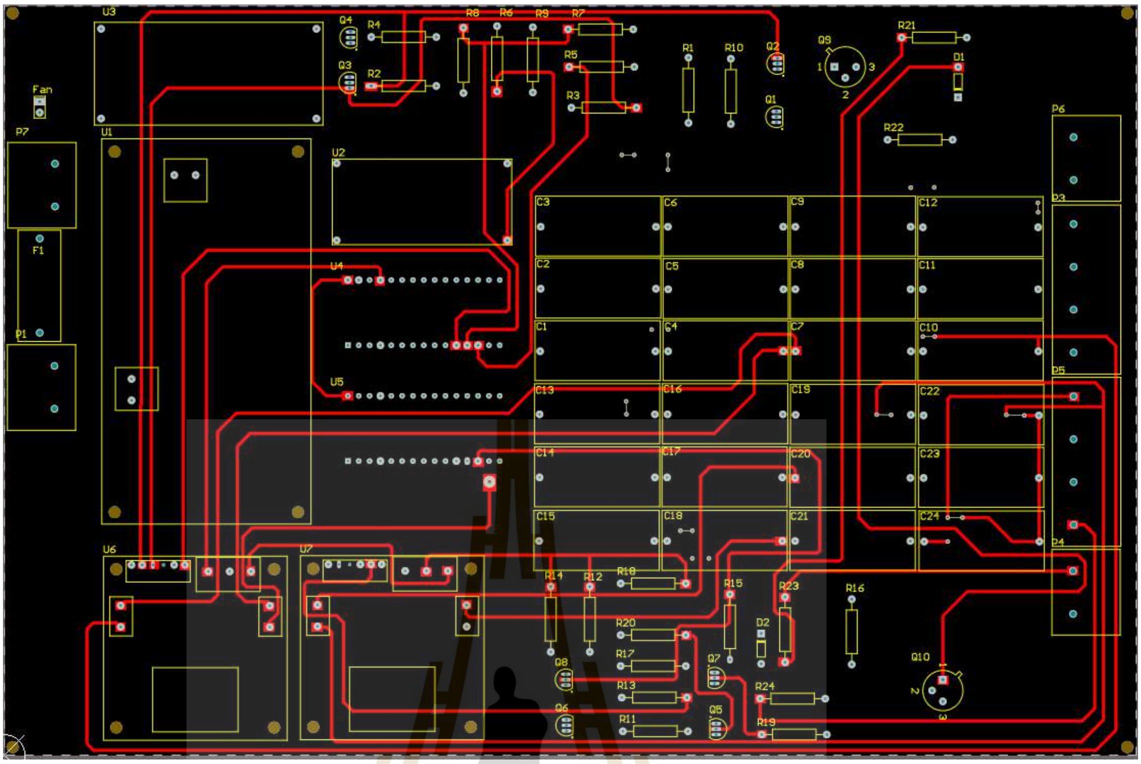
รูปที่ 3.9 วงจรเรโซแนนซ์ความถี่ 7 kHz

เมื่อออกแบบวงจรครบทุกส่วนแล้วจะได้วงจรรวมดังรูป 3.10 ซึ่งในวงจรรวมนี้ถูกออกแบบให้สามารถขับพลังงานให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ 8 ขด ที่กำลังงานรวมทั้งหมด 10 วัตต์ โดยในส่วนของ PCB นั้นผู้วิจัยได้ออกแบบเป็น 2 layer โดยรูปที่ 3.11 จะเป็นในฝั่ง Top layer และ รูปที่ 3.12 จะเป็น Bottom layer และรูปที่ 3.13คือบอร์ด PCB ที่เสร็จสมบูรณ์

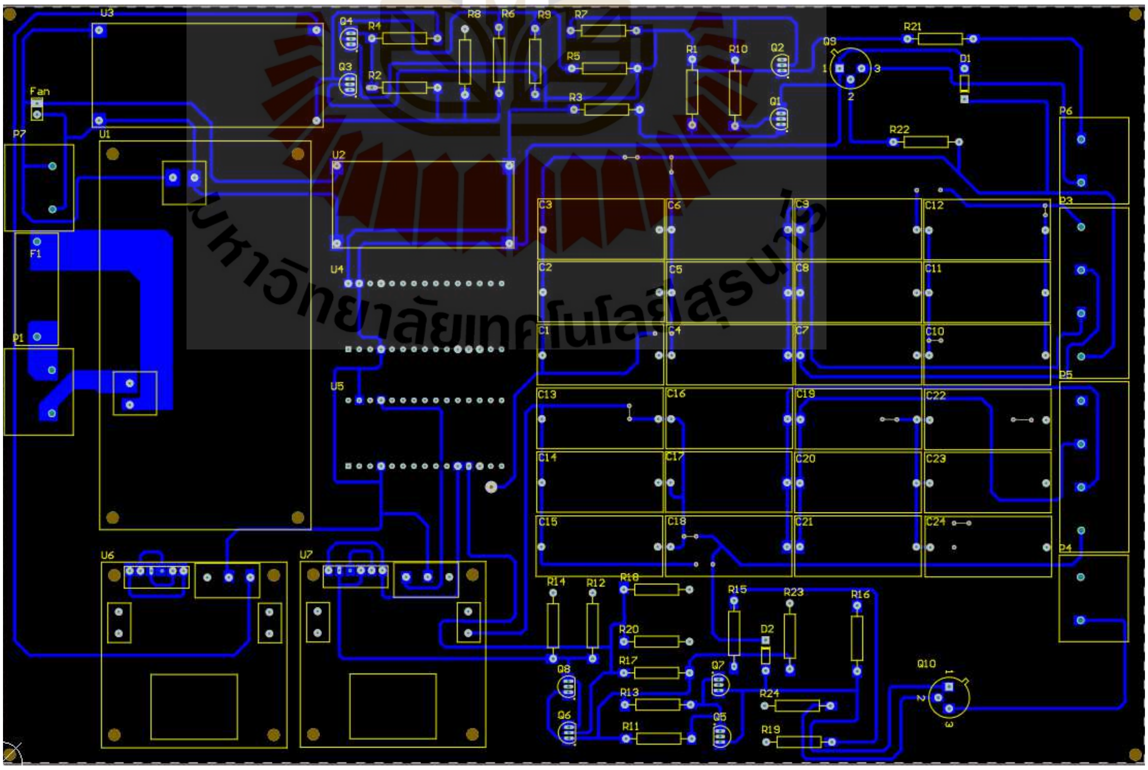


รูปที่ 3.10 วงจรรวมของเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

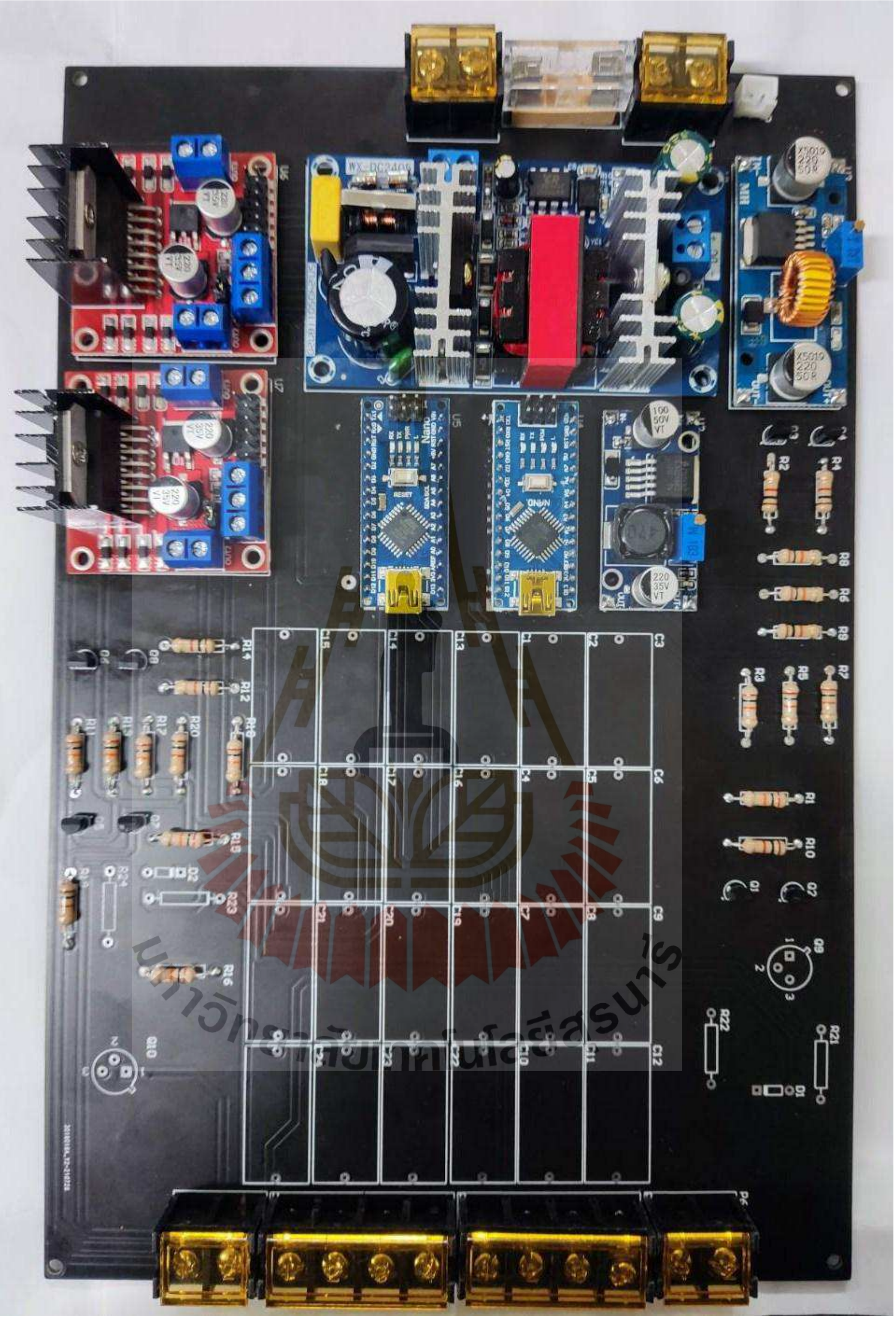


รูปที่ 3.11 PCB ฝั่ง Top layer



รูปที่ 3.12 PCB ฝั่ง Bottom layer

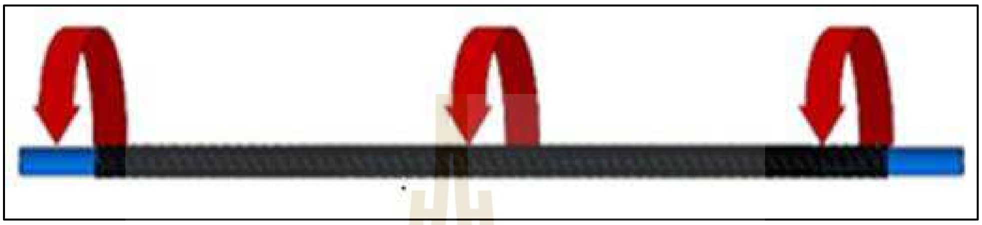
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.13 บอร์ดเมื่อเสร็จสมบูรณ์

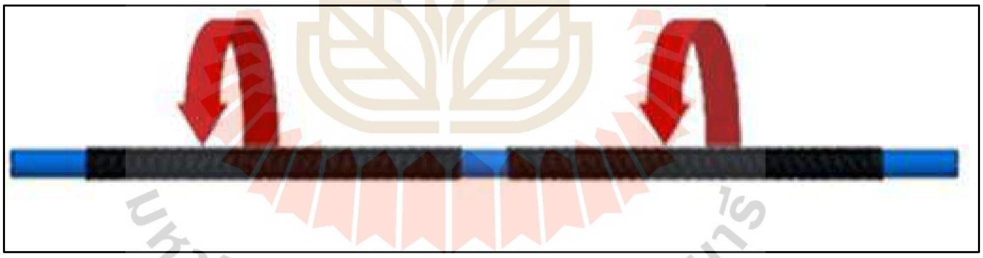
3.3 การออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะอาศัยลวดตัวนำซึ่งจะใช้สายไฟขนาด 1.5 มิลลิเมตร พันรอบวัสดุเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งแกนที่ใช้พันขดลวดจะใช้ท่อน้ำ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว ที่ความยาวท่อ 1 เมตร เปรียบเสมือนเป็นแกนอากาศ ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบตัวปล่อยคลื่นออกเป็น 5 แบบ และในแต่ละแบบนั้นจะมีค่าความเหนี่ยวนำที่เท่า ๆ กัน โดยการออกแบบตัวปล่อยคลื่นแบบต่าง ๆ เป็นไปดังนี้



รูปที่ 3.14 การพันขดลวดแบบที่หนึ่ง

การพันขดลวดแบบที่หนึ่ง ในรูปที่ 3.14 เป็นการพันขดลวดให้อยู่ในลักษณะตามเข็มนาฬิกาทิศทางเดียวตลอดทั้งการพันโดยความยาวของขดลวดจะอยู่ที่ 80 เซนติเมตร

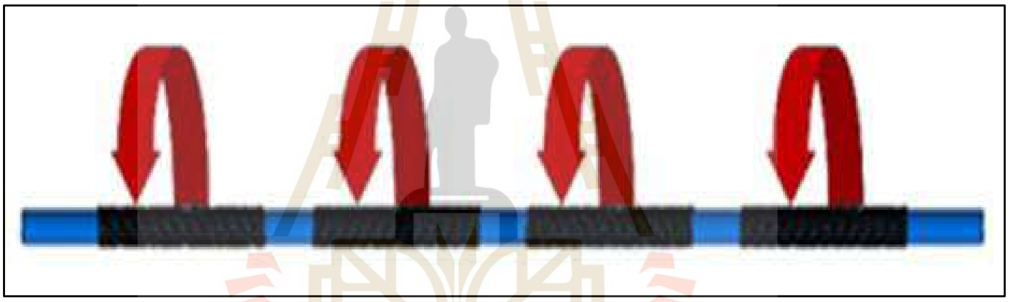


รูปที่ 3.15 การพันขดลวดแบบที่สอง

การพันขดลวดแบบที่สองในรูปที่ 3.15 ลักษณะของการพันขดลวด จะแบ่งขดลวดออกเป็นสองขดโดยทั้งสองขดจะพันในทิศทางเดียวกันความยาวในการพันขดลวดแต่ละฝั่งจะอยู่ที่ฝั่งล่ะ 40 เซนติเมตร

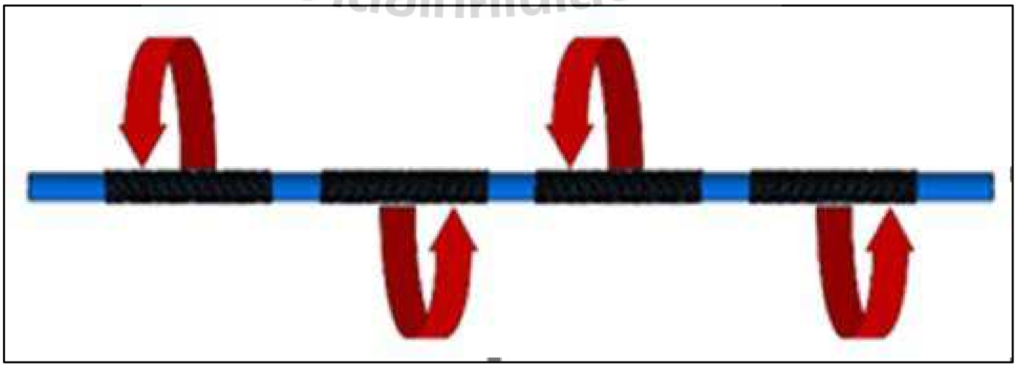
รูปที่ 3.16 การพันขดลวดแบบที่สาม

การพันขดลวดแบบที่สาม รูปที่3.16 ลักษณะการพันขดลวดจะถูกแบ่งออก เป็นสองส่วนเช่นเดียวกันกับแบบที่สองแต่ทิศทางการพันขดลวดแต่ละฝั่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ความยาวในการพันขดลวดแต่ละฝั่งจะอยู่ที่ 40 เซนติเมตร



รูปที่ 3.17 การพันขดลวดแบบที่สี่

การพันขดลวดแบบที่สี่รูปที่ 3.17 จะแบ่งขดลวดออกเป็นสี่ส่วนโดยมีความยาวของขดลวดในแต่ละขดที่ 20 เซนติเมตร และลักษณะการพันจะพันให้อยู่ในทิศทางเดียวกัน

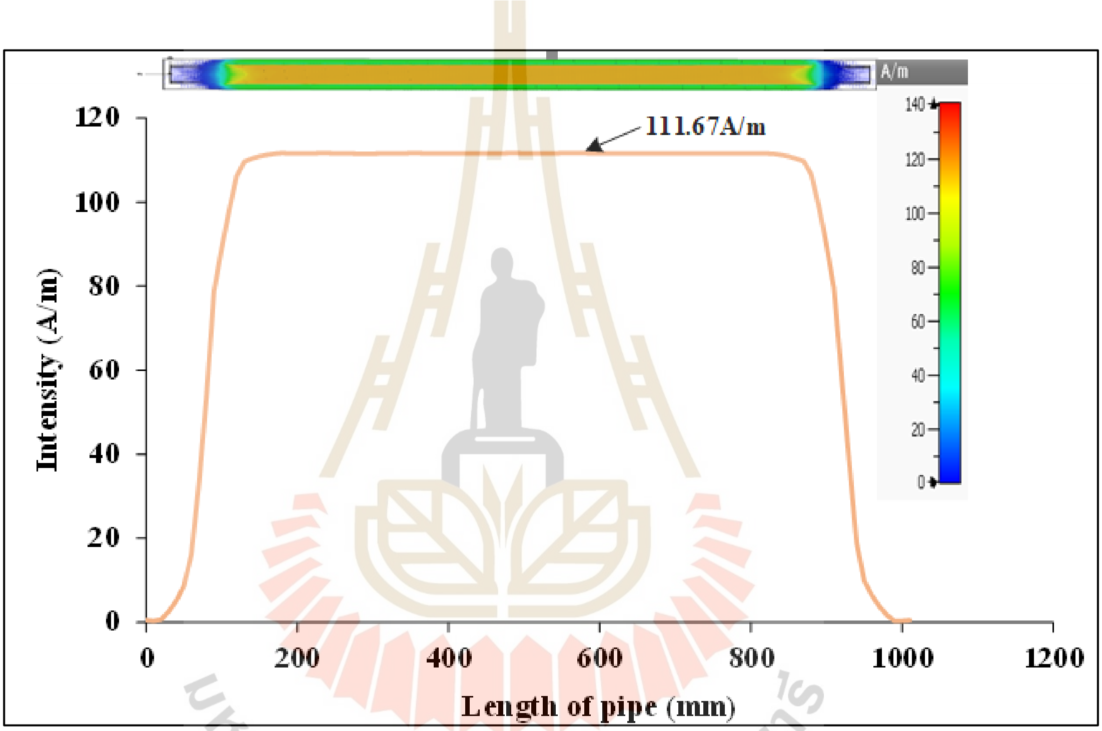


รูปที่ 3.18 การพันขดลวดแบบที่ห้า

การพันขดลวดแบบที่ห้ารูปที่ 3.18 จะแบ่งขดลวดเหนี่ยวนำเป็นสี่ส่วนเช่นเดียวกับแบบที่สี่ แต่ลักษณะการพันขดลวดจะมีทิศทางกันพันต่างกันโดยแต่ละขดจะพันสลับทิศทางกัน และระยะการพันแต่ละขดจะอยู่ที่ 20 เซนติเมตร

3.3.1 การจำลองผลของความเข้มสนามแม่เหล็กของตัวปล่อยคลื่น

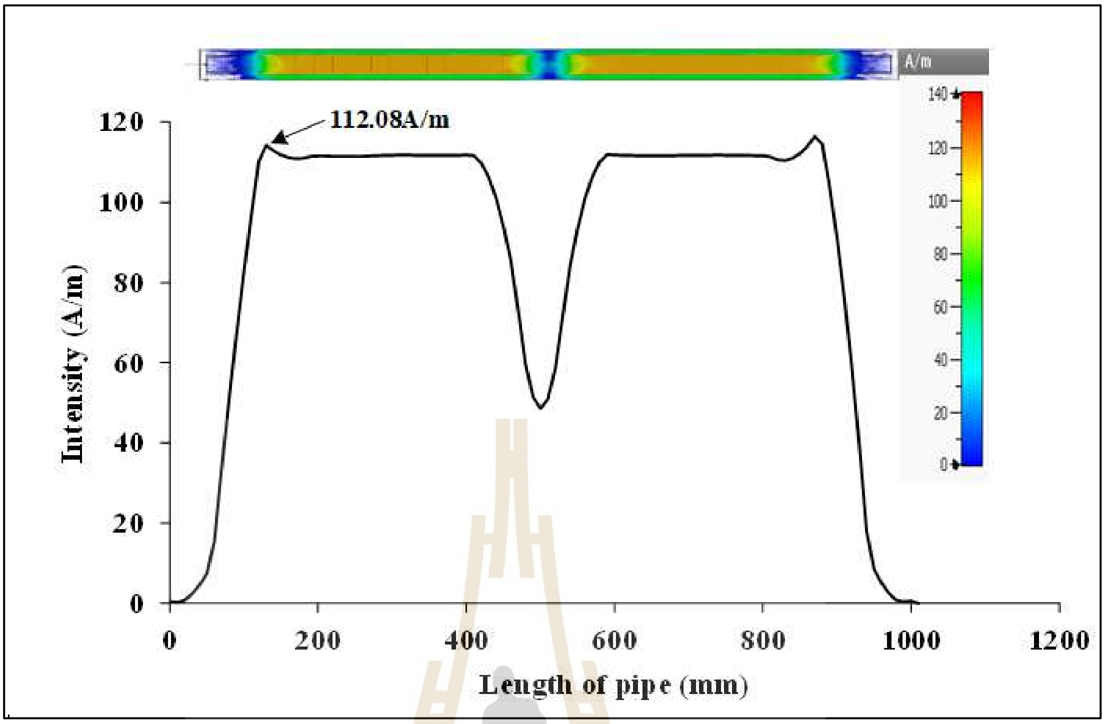
การจำลองผลของสนามแม่เหล็กจากรูปแบบการพันขดลวดแบบต่าง ๆ จะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio โดยผลการจำลองจะเป็นการแผ่ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดเหนี่ยวนำทั้ง 5 แบบ เพื่อทำการวิเคราะห์และเทียบกับผลการทดลองว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีผลอย่างไรต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลที่ได้จากการจำลองของขดลวดเหนี่ยวนำทั้ง 5แบบได้ผลการจำลองดังนี้



รูปที่ 3.19 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่หนึ่ง

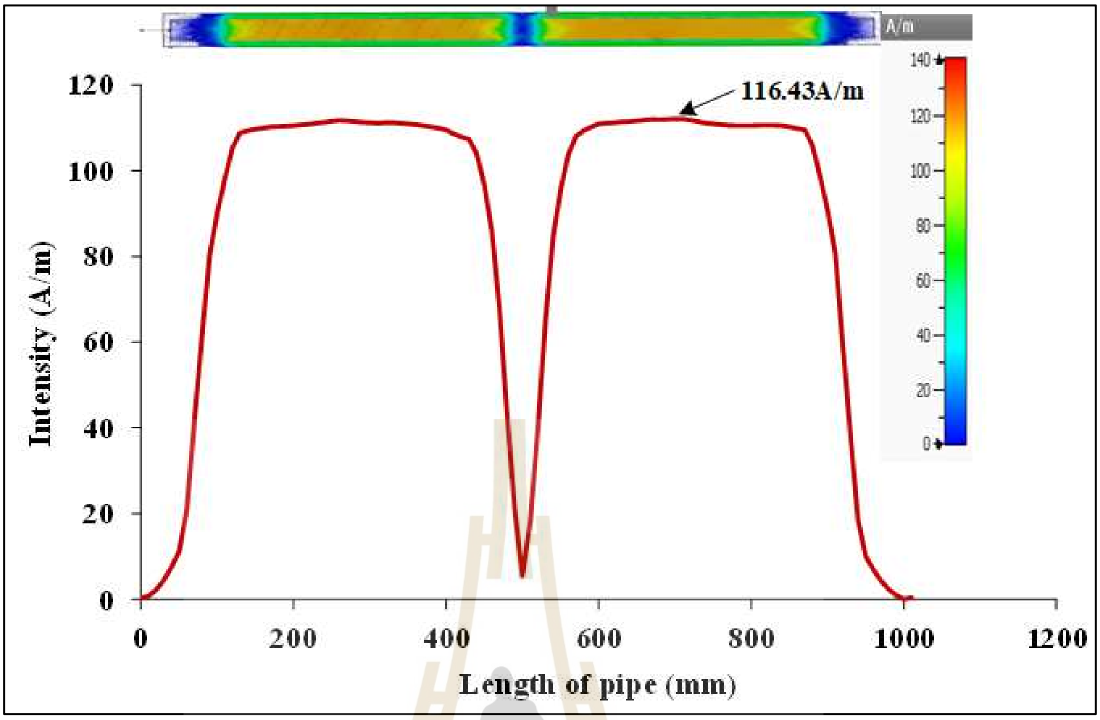
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 3.19 จะเป็นการจำลองผลของการพันขดลวดแบบที่หนึ่งจะเห็นว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะแผ่บริเวณที่มีขดลวดมากที่สุดและในบริเวณที่ไม่มีขดลวดจะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเช่นกันแต่มีไม่มาก เมื่อพล็อตกราฟความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะพบว่าที่จุดเริ่มต้นกราฟจะค่อย ๆ ชันขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดสูงสุดและเมื่อถึงจุดสูงสุดของกราฟจะมีลักษณะคงที่ไปตามระยะที่มีขดลวด จนถึงจุดสิ้นสุดของระยะที่มีขดลวดกราฟจะค่อยๆชันลงจนเป็นศูนย์



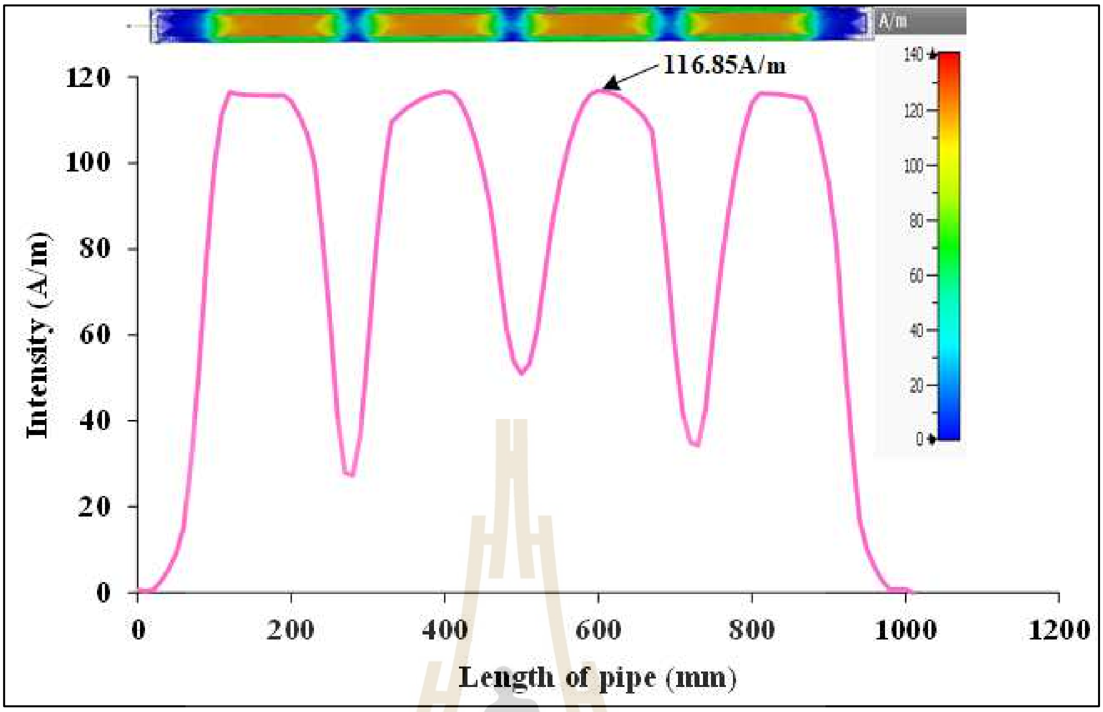
รูปที่ 3.20 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่สอง

จากรูปที่ 3.20 จะเป็นการจำลองผลของขดลวดแบบที่สองความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจะแบ่งออกเป็นสองฝั่งอย่างชัดเจนโดยบริเวณรอบๆที่ไม่มีขดลวดก็จะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเช่นกัน จากกราฟ ในจุดเริ่มต้นที่กราฟจะค่อยๆขึ้นและคงที่เมื่อถึงจุดสูงสุดและจะคงที่จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของขดลวดขดที่หนึ่งซึ่งก็คือตรงกลางระหว่างขดลวดกราฟจะค่อย ๆ ลดลงจนเกือบเป็นศูนย์และเมื่อมาถึงจุดเริ่มต้นของขดลวดขดที่สองกราฟจะค่อยๆขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและจะคงที่และเมื่อถึงจดสิ้นสุดของขดลวดขดที่สองกราฟจะค่อยๆลดลงจนเป็นศูนย์



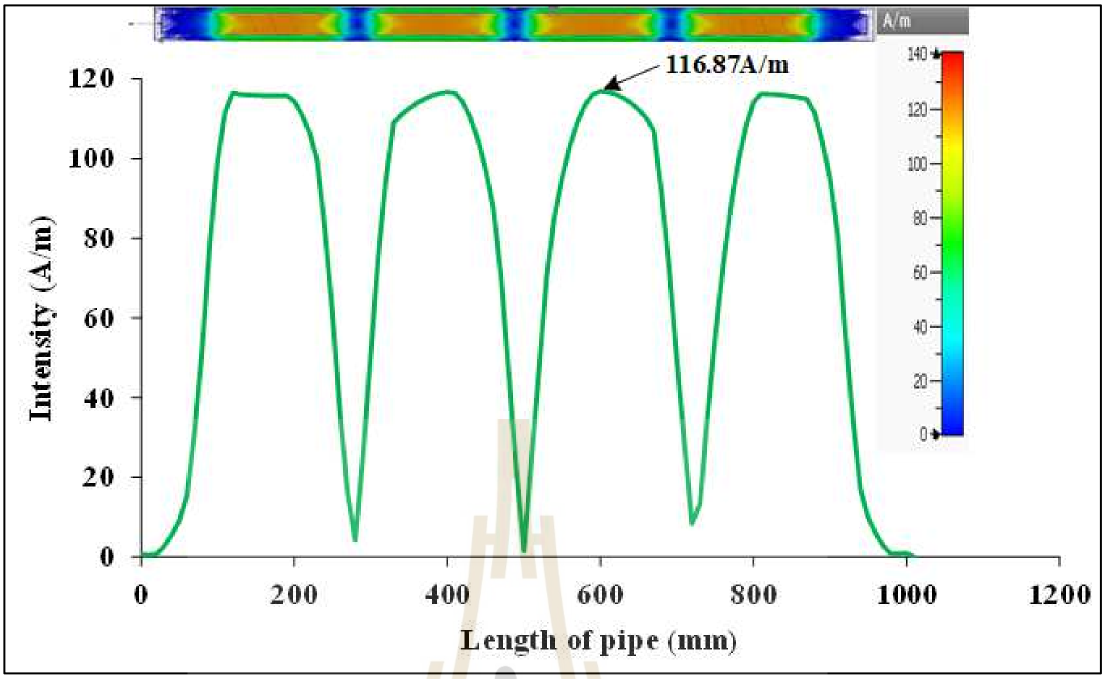
รูปที่ 3.21 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่สาม

รูปที่ 3.21 จะเป็นขดลวดแบบที่สามความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับรูปที่ 3.20 แต่บริเวณตรงกลางระหว่างขดลวดจะพบว่าในรูปที่ 3.20 จะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากกว่า รูปที่ 3.21โดยจะสังเกตได้บริเวณตรงกลางของรูปที่ 3.20 จะพบว่าขดลวดทั้งสองฝั่งจะมีความเข้มสนามแม่เหล็กของแต่ละขดแผ่เข้ามาบริเวณตรงกลางแต่จะมีค่าไม่มากเท่ากับบริเวณที่มีขดลวดซึ่งเมื่อสังเกตจากรูปที่ 3.21 จะพบว่าบริเวณตรงกลางจะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กแต่จะน้อยกว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณตรงกลางของรูปที่ 3.20 และกราฟที่ได้ก็จะมีลักษณะที่คล้ายกันกับแบบที่สองแต่บริเวณตรงกลางจะไม่ลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์จึงสรุปได้ว่าเมื่อสนามแม่เหล็กมีการดึงดูดเข้าหากันจะมีความเข้มสานามแม่เหล็กเกิดขึ้น



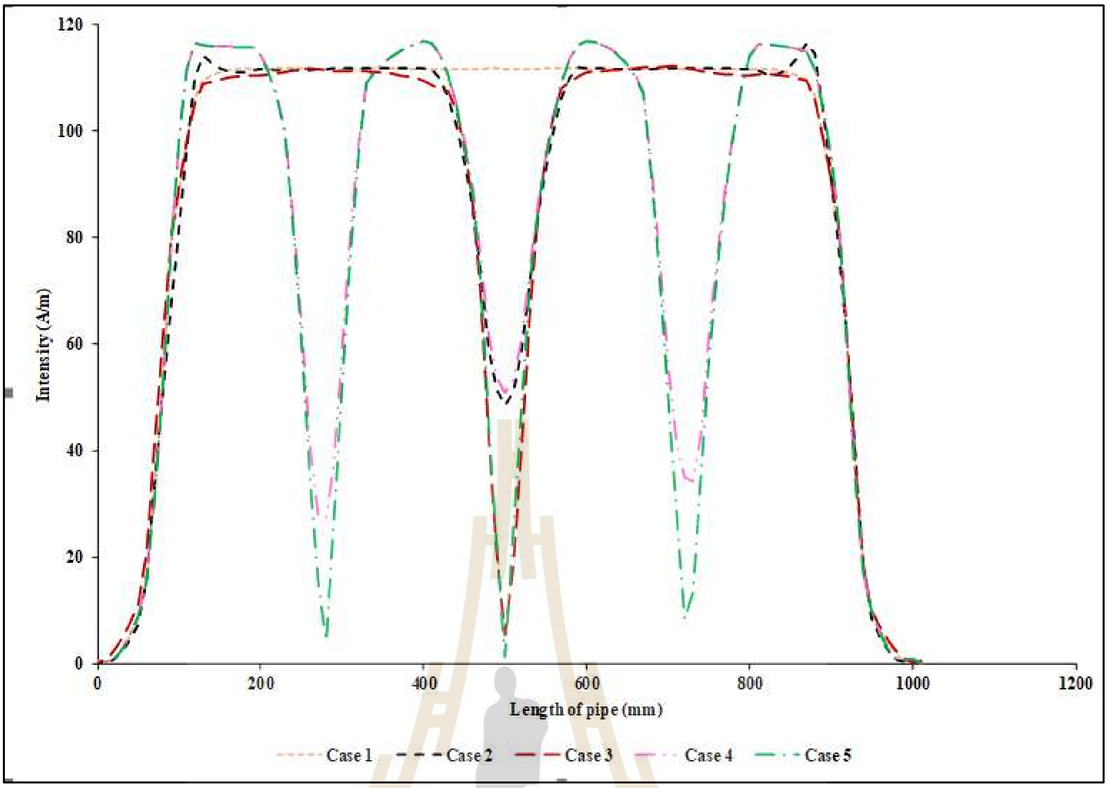
รูปที่ 3.22 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่สี่

จากรูปที่ 3.22 จะเป็นขดลวดแบบที่สี่ ซึ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ชุดโดยลักษณะการแผ่จะมีลักษณะคล้ายกันกับรูปที่ 3.20 โดยลักษณะของการแผ่ความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีการแผ่ออกเป็น 4 ชุด ตามจำนวนของขดลวดและเมื่อดูสนามแม่เหล็กบริเวณที่มีขดลวดจะมีขนาดสั้นกว่าการแผ่ความเข้มสนามแม่เหล็กของรูปที่ 3.20 และความเข้มบริเวณที่ไม่มีขดลวดเมื่อเทียบกับรูปที่ 3.19, 3.20 และ 3.21 พบว่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของรูปที่ 3.22 จะมีการแผ่มากกว่า ลักษณะกราฟจะค่อยชันขึ้นและจะคงที่ เมื่อถึงจุดสูงสุดจะคงที่ไปตามระยะของขดลวดและจะค่อย ๆ ลดลงจนเกือบถึงศูนย์ เมื่อถึงจุดสิ้นสุดของขดลวด และจะค่อยๆชันขึ้นเมื่อเข้าสู่จุดเริ่มต้นของขดลวดถัดไปและก็จะค่อยๆชันลงจนเข้าใกล้ศูนย์เมื่อถึงจุดสิ้นสุดจะเป็นเช่นนี้ไปตลอดทั้งท่อ



รูปที่ 3.23 ผลการจำลองผลของขดลวดแบบที่ห้า

รูปที่ 3.23 การแผ่จะแผ่ออกเป็น 4 ชุด เช่นเดียวกันกับรูปที่ 3.22 และพบว่าจะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณที่ไม่มีขดลวดจะมีการแผ่มากกว่า รูปที่ 3.19, 3.20 และ 3.21 และเมื่อสังเกตบริเวณตรงกลางระหว่างขดของรูปที่ 3.22 ความเข้มบริเวณนี้จะมีน้อยกว่ารูปที่ 3.22 ความเข้มของสนามแม่เหล็กทั้ง 5 แบบ จะมีความเข้มมากในบริเวณที่มีขดลวดพันและจะมีการแผ่ออกไปรอบๆ ของขดลวดซึ่งจะมีความเข้มน้อยกว่าเมื่อมีระยะห่างจากขดลวด ลักษณะกราฟจะค่อยชันขึ้นและจะคงที่เมื่อถึงจุดสูงสุดจะคงที่ไปตามระยะของขดลวดและจะค่อย ๆ ลดลงจนเกือบถึงศูนย์เมื่อถึงจุดสิ้นสุดของขดลวดและจะค่อยๆชันขึ้นเมื่อเข้าสู่จุดเริ่มต้นของขดลวดถัดไปและก็จะค่อยๆชันลงจนเข้าใกล้ศูนย์เมื่อถึงจุดสิ้นสุด แต่บริเวณตรงกลางระหว่างท่อกราฟจะไม่ลดลงจนใกล้ศูนย์เพราะยังมีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ในบริเวณนั้น



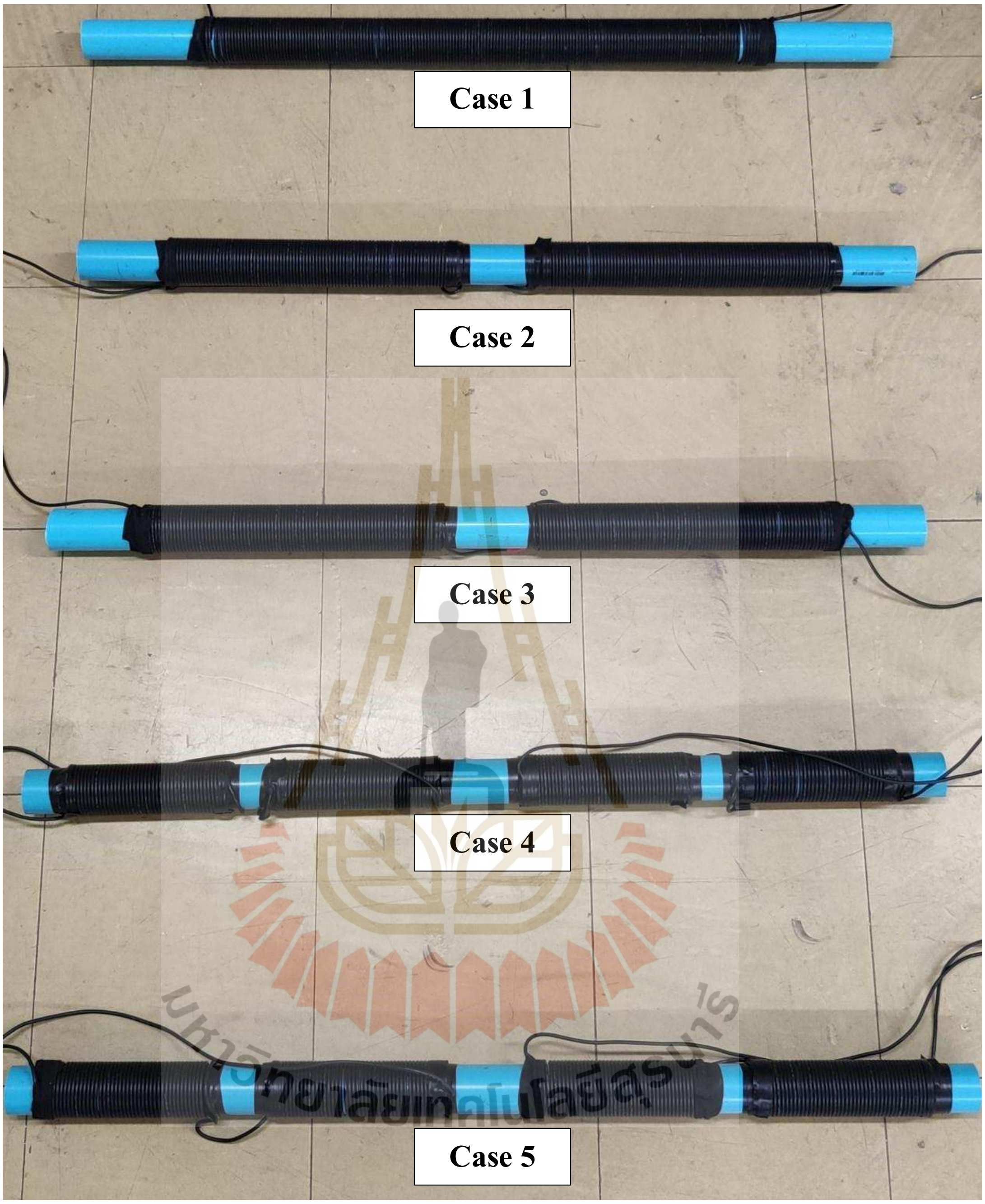
รูปที่ 3.24 ลักษระกราฟแบบต่างๆเมื่อนำมาเทียบกัน

เมื่อนำข้อมูลของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 5 แบบมาพล็อตในรูปของกราฟดังรูปที่ 3.24 จะเป็นกราฟของความเข้มสนามแม่เหล็กแต่ละแบบ ซึ่งจากกราฟทั้ง 5 แบบ ที่จุดเริ่มต้นของกราฟความเข้มของสนามแม่เหล็กจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดของกราฟ และบริเวณจุดสิ้นสุดของกราฟความเข้มจะค่อยๆลดลงจนเป็นศูนย์ จากรูปกราฟความเข้มแบบที่หนึ่งเมื่อความเข้มเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดความเข้มจะมีค่าคงที่ตลอดจนถึงจุดสิ้นสุด แต่ลักษณะของกราฟความเข้มสนามแม่เหล็กแบบที่สองและสาม เมื่อถึงจุดสูงสุดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีค่าคงที่ไปจนถึงจุดกึ่งกลางของกราฟจะพบว่าค่าความเข้มจะค่อยๆลดลงและจะค่อยๆเพิ่มขึ้นไปที่จุดสูงสุดอีกครั้งและจะมีค่าคงที่ไปจนถึงจุดสิ้นสุด ซึ่งเมื่อสังเกตจากรูปบริเวณตรงกลางกราฟของความเข้มสนามแม่เหล็กแบบที่สองและสามจะแตกต่างกันโดยแบบที่สองค่าความเข้มจะลดลงไปที่ค่าหนึ่ง แต่แบบที่สามค่าความเข้มจะลดลงจนเป็นศูนย์ และกราฟความเข้มสนามแม่เหล็กแบบที่สี่และห้าจากรูปจะพบว่ามีลักษณะคล้ายกับกราฟความเข้มสนามแม่เหล็กแบบที่สองและสามโดยจากรูปจะสังเกตได้ว่าเมื่อค่าความเข้มไปถึงจุดสูงสุดและจะคงที่ไประยะหนึ่ง ซึ่งเมื่อสังเกตจากกราฟพบว่าระยะที่ค่าความเข้มคงที่จะมีระยะของกราฟความเข้มคงที่สั้นกว่ากว่ากราฟความเข้มแบบที่สองและสาม และกราฟจะมีการขึ้นลงตามลักษณะนี้ 4 รอบจนถึงจุดสิ้นสุด จากรูปจะเห็นว่ากราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นลูกคลื่นสามลูกเมื่อสังเกตกราฟความเข้มแบบที่สี่กราฟบริเวณระหว่างลูกคลื่นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจะไม่ลดลงจนเป็นศูนย์เช่นเดียวกับกราฟความเข้มแบบที่สองและกราฟความเข้มแบบที่ห้าลูกคลื่นระหว่างคู่ที่ 1 กับ 2 และ

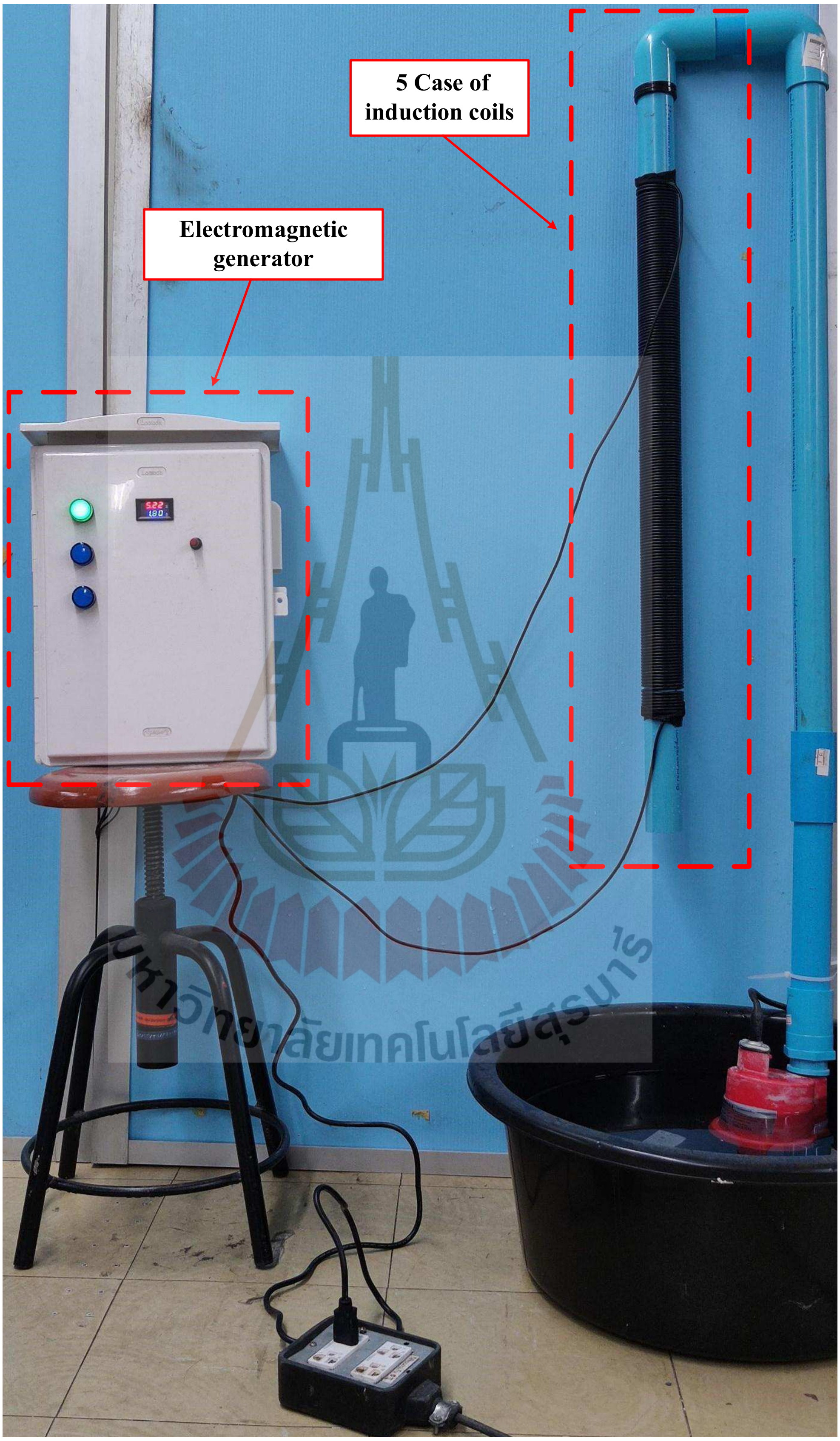
4 กับ 4 ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจะลดลงจนมีค่าใกล้กับศูนย์แต่ลูกคลื่นระหว่างคู่ที่ 2 กับ 4 ค่าความเข้มจะลดลงจนเป็นศูนย์ลักษณะกราฟที่ได้ทั้ง 5 แบบนั้นค่าความเข้มที่ได้จากกราฟจะสอดคล้องกับการพันลวดตัวนำซึ่งบริเวณที่มีการพันลวดตัวนำจะได้กราฟค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดสูงสุดของกราฟ แต่บริเวณที่ไม่มีการพันลวดตัวนำจะมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแต่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีการพันขดลวดเหนี่ยวนำและเมื่อพันลวดตัวนำเป็นขดลวดเหนี่ยวนำสองขดช่องว่างระหว่างขดจะทำให้ค่าความเข้มลดลงดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.24 และเมื่อมีการพันลวดตัวนำในทิศตรงข้ามกันจะทำให้ค่าความเข้มบริเวณตรงกลางระหว่างขดลวด ลดลงมากจนใกล้ค่าศูนย์แต่เมื่อพันลวดตัวนำให้มีทิศเดียวกันค่าความเข้มตรงกลางระหว่างขดลวด จะลดลงเช่นกันแต่จะน้อยกว่ากันพันลวดตัวนำแบบทิศทางตรงข้ามกัน จากกราฟค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 5 แบบ ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดจะพบว่ากราฟของแบบที่ 4 และ 5 จะมีค่ามากกว่ากราฟแบบที่ 1 2 และ 4

3.4 การออกแบบวิธีการทดลองและเก็บผล

สำหรับการทดสอบจะเตรียมน้ำปริมาณ 40 ลิตร เมล็ดผักบุ้ง ถาดเพาะ ดินเพาะการเตรียมการทดลองจะทำการแช่เมล็ดผักบุ้งด้วยน้ำปกติเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง และทำการเตรียมดินลงในถาดเพาะเพื่อเพาะเมล็ดผักบุ้ง และจะใช้น้ำปกติและน้ำที่ผ่านขดลวดทั้ง 5แบบ ดังรูปที่ 6 (a) และทำการทดสอบการวนน้ำผ่านขดลวดดังรูปที่ 6 (b) ซึ่งจะวนน้ำเป็นระยะเวลา 4ช่วง คือ 10 นาที 40 นาที และ60 นาที การวนน้ำจะเปลี่ยนน้ำทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนระยะเวลาและเปลี่ยนขดลวดแต่ละแบบและทำการเก็บตัวอย่างน้ำและจะใช้น้ำปกติและน้ำที่ผ่านขดลวดทั้ง 5 แบบใช้เพาะเมล็ดผักบุ้งโดยจะจะรดน้ำทุกวันแต่ละวันจะแบ่งออกเป็นสองช่วง คือช่วงเช้า ที่เวลา 9.00 น. และช่วงเย็น ที่เวลา 16.00 น.จากนั้นทำการเก็บผลทดลองการโดยจะเริ่มทำการสังเกตการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งเมื่อผักบุ้งเริ่มเจริญเติบโตขึ้นจะเริ่มทำการวัดเก็บผลความสูงของผักบุ้งโดยจะเก็บผลทุก ๆ 4 วัน การเก็บผลการทดลองจะเก็บผลโดยใช้เวลาทั้งหมด 7 วัน และนำข้อมูลการทดลองมาเปรียบเทียบระหว่างน้ำปกติและน้ำที่ผ่านขดลวดว่ามีผลอย่างไรต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง



รูปที่ 3.25 ตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กทั้ง 5 แบบ



รูปที่ 3.26 ระบบการเวียนน้ำผ่านขดลวด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 สรุป

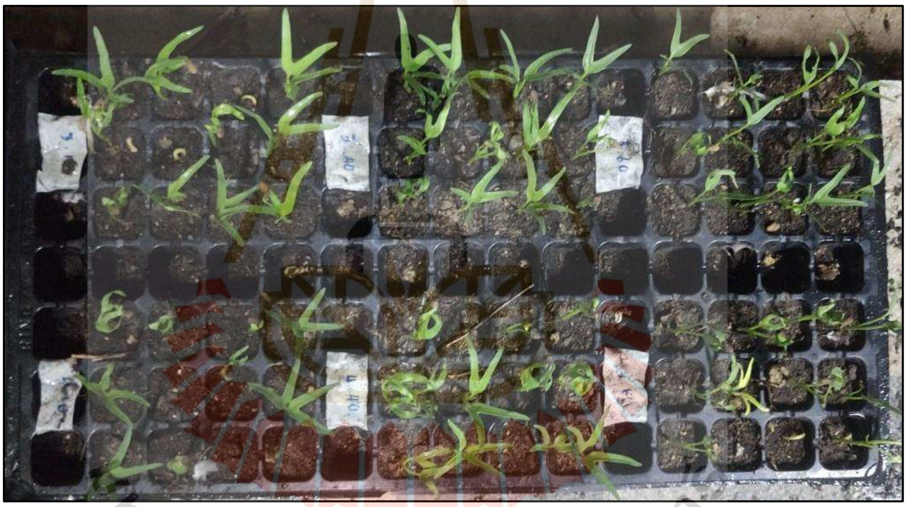
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องและตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารวมทั้งผลการจำลองผลของตัวปล่อยคลื่นแบบต่างๆ โดยในส่วนของตัวเครื่องจะกล่าวถึงระบบภายในเครื่องโดยแบ่งเป็นวงจรต่างๆซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในบทนี้ ในส่วนตัวปล่อยสนามแม่เหล็กผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ห้าแบบ โดยแต่ละแบบจะมีเงื่อนไขการออกแบบที่แตกต่างกันซึ่งมีการอธิบายแล้วในบทนี้ และยังกล่าวถึงการออกแบบการทดลองซึ่งจะทำการทดลองเก็บผลทั้งทางกายภาพและทางเคมีเพื่อหาความสัมพันธ์ของผลการทดลองว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไรเมื่อใช้ตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งห้าแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

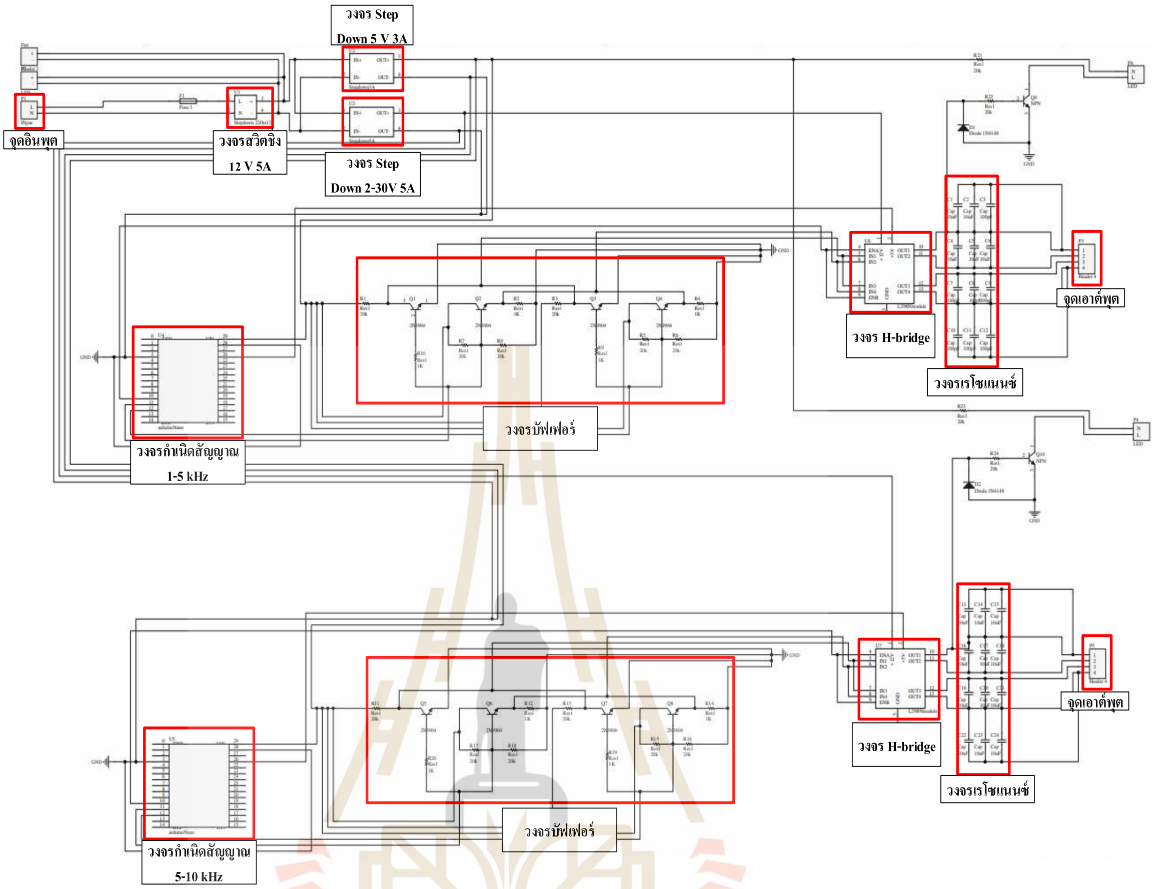
4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอผลจากการทดลองที่ได้จากการวัดสัญญาณจากวงจร 2 จุด โดยจุดแรกจะวัดที่วงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อตรวจสอบความถี่และสัญญาณให้เป็นไปตามที่ออกแบบ และในจุดที่สองจะเป็นการวัดเมื่อวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กต่อกับตัวปล่อยคลื่นโดยจะวัดที่จุดเอาต์พุตเพื่อตรวจสอบสัญญาณว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่ จากนั้นทำการทดลองโดยการเวียนน้ำผ่านตัวปล่อยคลื่นทั้ง 5 แบบ ที่เวลา 10 นาที 40นาที และ60 นาที แล้วจึงนำน้ำมาเพาะปลูกผักบุ้งและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุ้งระหว่างน้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นกับน้ำปกติ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุ้งระหว่างน้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นกับน้ำปกติ

4.2 การวัดผลจากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวปล่อยคลื่น

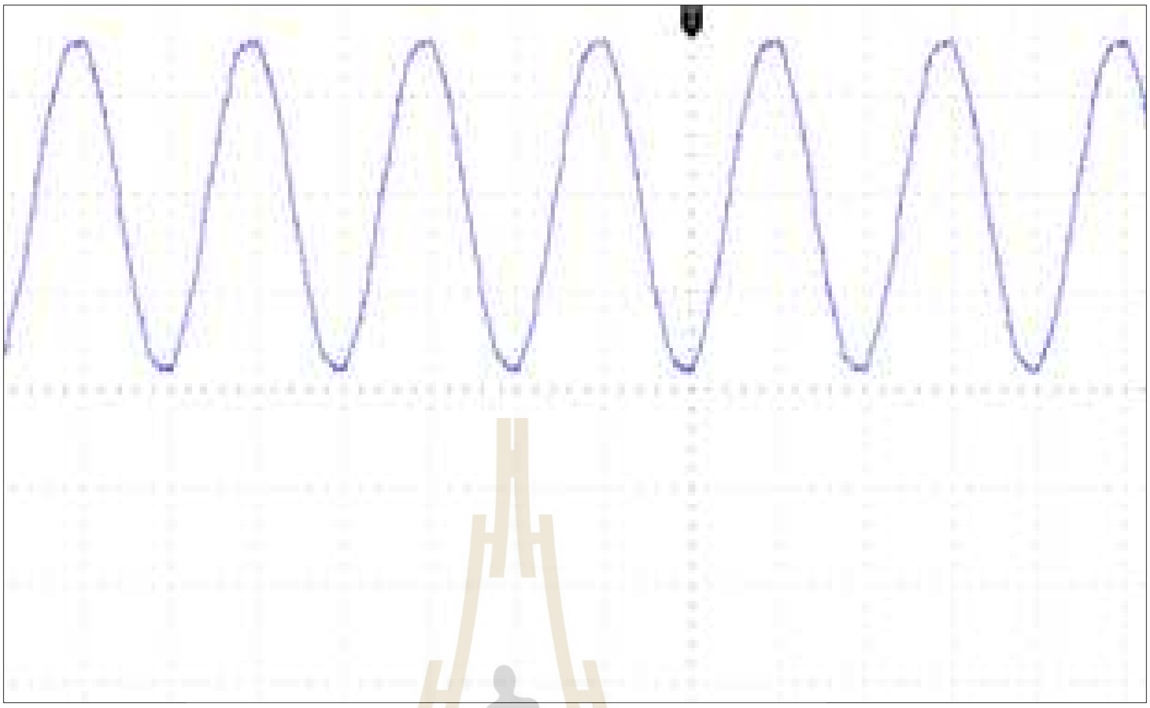


รูปที่ 4.2 ตำแหน่งของวงจรที่จะวัด

4.2.1 วัดแรงดันไฟฟ้าวงจรภาคจ่ายไฟ

วงจรในส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสามส่วน คือส่วนของวงจรสวิตชิ่ง 12 V 5A ,วงจร Step Down 5 V 3A และวงจร Step Down 2-30V 5A ในการวัดวงจรในส่วนนี้จะใช้เครื่องมือ 2 อย่าง คือ มัลติมิเตอร์ และ ออสซิลโลสโคป

ในการวัดวงจรสวิตชิ่งวงจรในส่วนนี้จะเป็นวงจรที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นเมื่อวัดสัญญาณฝั่งอินพุตควรจะเป็นรูปคลื่นไซน์เวฟ และเมื่อวัดสัญญาณฝั่งเอาต์พุตควรจะเป็นเส้นตรง และแรงดันไฟฟ้าเมื่อใช้มัลติมิเตอร์วัดแล้วฝั่งอินพุตแรงดันไฟฟ้าควรได้ประมาณ 220 โวลต์ และฝั่งเอาต์พุตควรได้ที่ 12 โวลต์ ซึ่งต้องเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ลักษณะของสัญญาณและแรงดันที่วัดได้ฝั่งอินพุตและเอาต์พุตจะเป็นไปดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

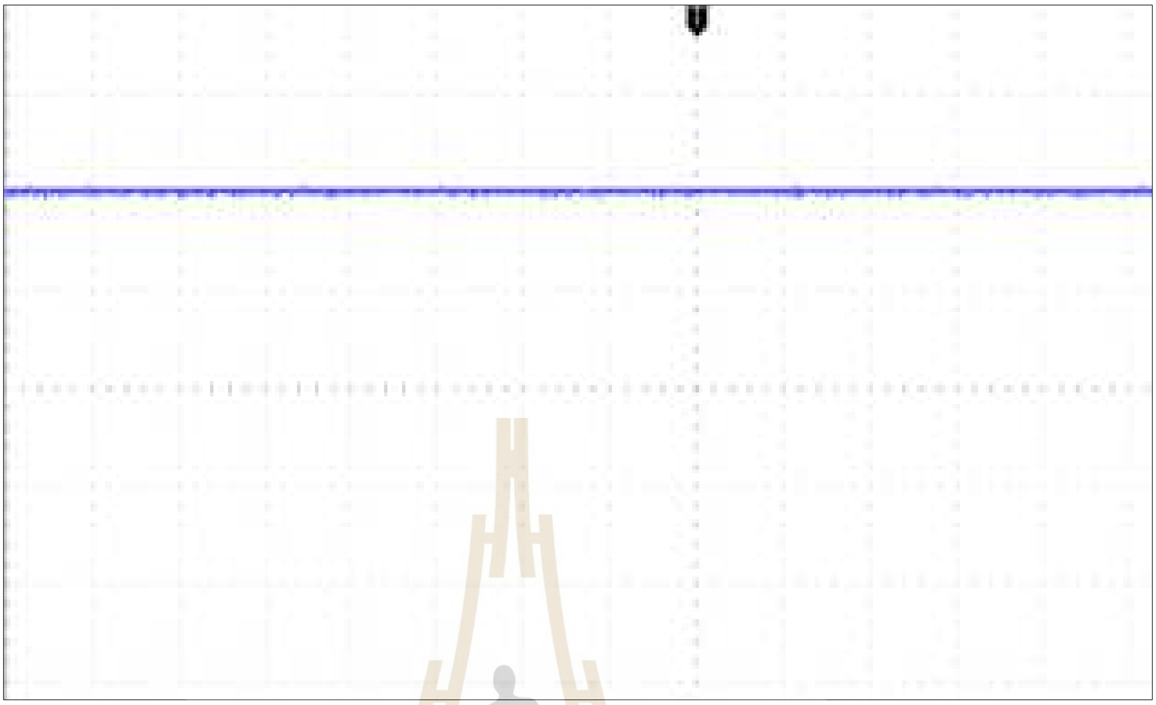


(ก)

(ข)

รูปที่ 4.3 วงจรสวิตชิ่งฝั่งอินพุต 12 V 5A (ก) สัญญาณไฟฟ้า (ข) แรงดันไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



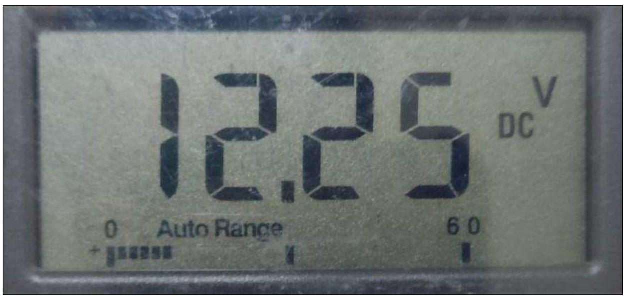
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 วงจรสวิตชิ่งฝั่งเอาต์พุต 12 V 5A (ก) สัญญาณไฟฟ้า (ข) แรงดันไฟฟ้า

วงจร Step Down 5 V 3A และวงจร Step Down 2-30V 5A จะเป็นในส่วนของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่จะแปลงไฟฟ้าจาก DC-DC ดังนั้นลักษณะสัญญาณฝั่งอินพุตควรเป็นเส้นตรง ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าฝั่งอินพุตจึงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องมาจากวงจรในส่วนนี้จะต่อจากเอาต์พุตของวงจรสวิตชิ่งดังนั้นสัญญาณและแรงดันที่วัดได้ควรได้เหมือนกับเอาต์พุตของวงจรสวิตชิ่งดังรูปที่ 4.5 และฝั่งเอาต์พุตก็จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเช่นเดียวกัน เมื่อวัดสัญญาณและวัดแรงดันของวงจร Step Down 5 V 3A และวงจร Step Down 2-30V 5A วงจรในส่วน Step Down 2-30V 5A ในเบื้องต้นจะปรับไปที่ 5 โวลต์ เมื่อวัดสัญญาณและแรงดันทั้งสองวงจรจะเป็นไปดังรูปที่ 4.6และ 4.7 ตามลำดับ และผลจากการวัดวงจรทั้งสามส่วนจะสรุปใน ตารางที่ 4.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าฝั่งอินพุตของวงจร Step Down ทั้งสองวงจร

รูปที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าฝั่งเอาต์พุตของวงจร Step Down 5 V 3A

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

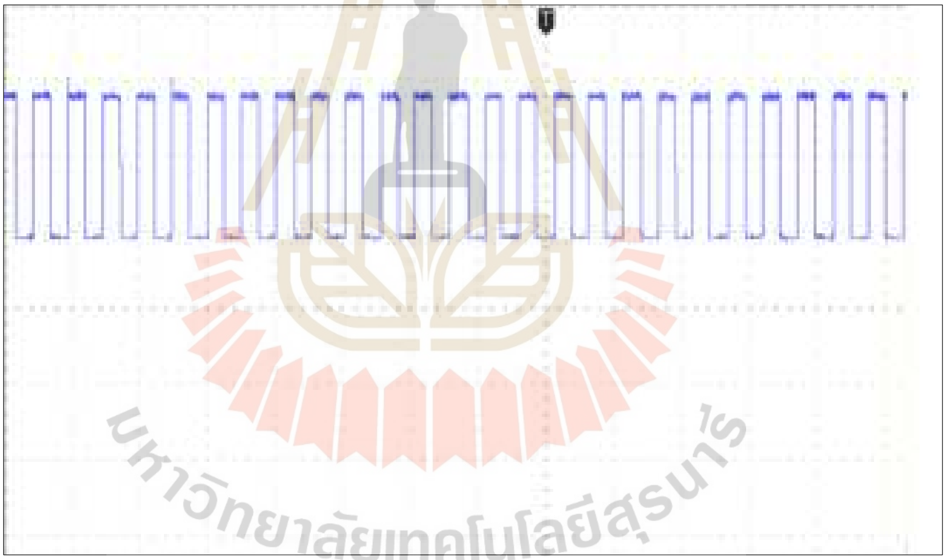
รูปที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าฝั่งเอาต์พุตของวงจร Step Down 2-30V 5A

ตารางที่ 5.1 ผลการวัดทางไฟฟ้าของวงจรสวิตชิ่ง

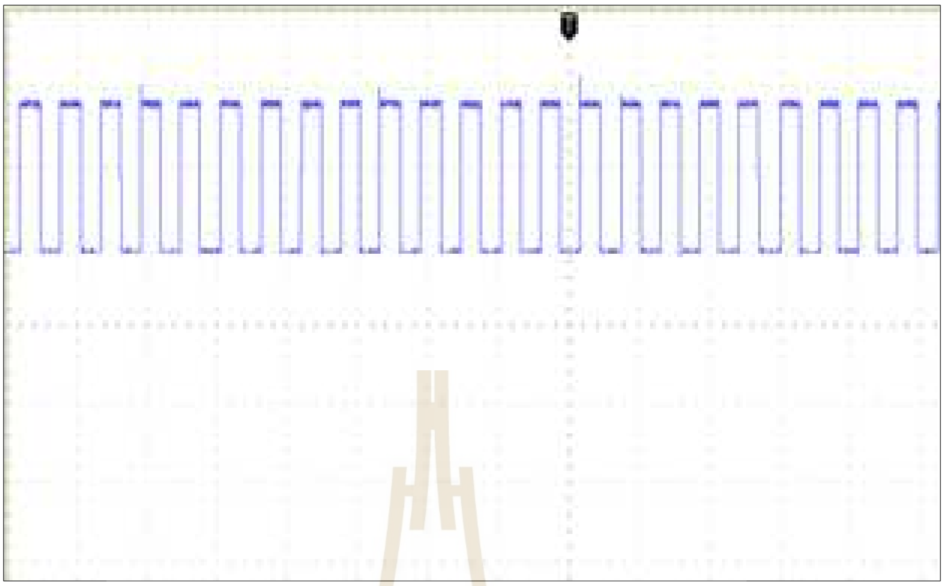
	วงจรสวิตชิง 12 V 5A	วงจร Step Down 5 V 3A	วงจร Step Down 2-30V 5A
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	221.8 Vac	12 .25Vdc	12 .25Vdc
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต	12 Vdc	4.893 Vdc	5.029 Vdc

4.2.2 วัดสัญญาณที่วงจรกำเนิดสัญญาณ

การวัดสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณจะใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ขาดิจิตอลของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณพัลส์ที่กวาดความถี่ในช่วง 3กิโลเฮิรตซ์ และ ความถี่ในช่วง 7 กิโลเฮิรตซ์ และสัญญาณที่กวาดความถี่ในแต่ละช่วงจะกวาดความถี่อย่างต่อเนื่องไปในแต่ละช่วงความถี่และระยะเวลาที่ใช้ในการกวาดความถี่ของสัญญาณจะใช้เวลาที่ 100 ไมโครวินาที ลักษณะสัญญาณความถี่ในช่วง 3 กิโลเฮิรตซ์ที่วัดได้จะเป็นดังรูปที่ 4.8 และความถี่ในช่วง 7 กิโลเฮิรตซ์ลักษณะสัญญาณจะเป็นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ความถี่ 3 กิโลเฮิรตซ์

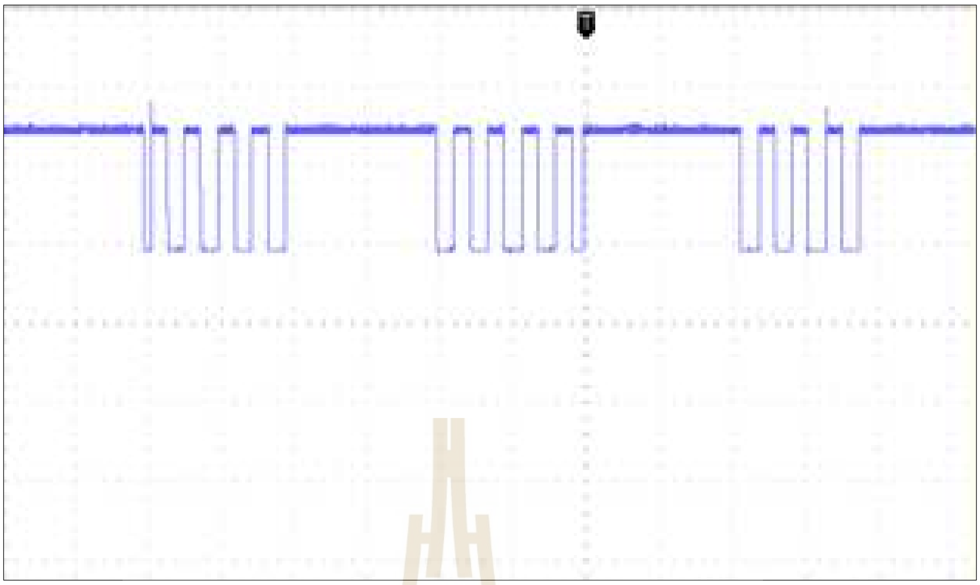


รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ความถี่ 7 กิโลเฮิรตซ์

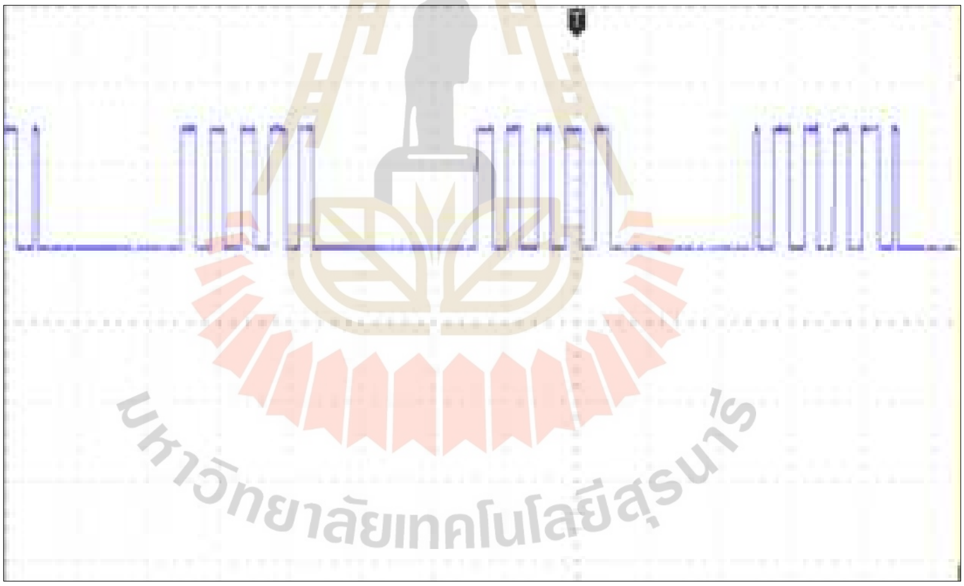
4.2.3 วัดสัญญาณที่วงจรบัฟเฟอร์

วงจรบัฟเฟอร์ วงจรส่วนนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นจึงต้องวัดแรงดันของทรานซิสเตอร์ เพื่อตรวจสอบทรานซิสเตอร์ว่าทำงานเป็นปกติหรือไม่ เมื่อตรวจสอบทรานซิสเตอร์แล้วจึงวัดสัญญาณ โดยจะวัดสัญญาณฝั่งอินพุตซึ่งสัญญาณในจุดนี้จะต้องมีลักษณะสัญญาณที่เหมือนกับฝั่งเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณ เมื่อวัดสัญญาณเอาต์พุตสัญญาณที่ได้จะถูกแบ่งออกเป็นสองสัญญาณ คือ สัญญาณที่ไม่กลับเฟสจากสัญญาณอินพุตของวงจรบัฟเฟอร์ และ สัญญาณที่กลับเฟสจากสัญญาณอินพุตของวงจรบัฟเฟอร์โดยลักษณะสัญญาณในช่วงความถี่ที่ 3 กิโลเฮิรตซ์ จะเป็นดังรูปที่ 4.10 และ สัญญาณในช่วงความถี่ที่ 7 กิโลเฮิรตซ์ จะเป็นดังรูปที่ 4.11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



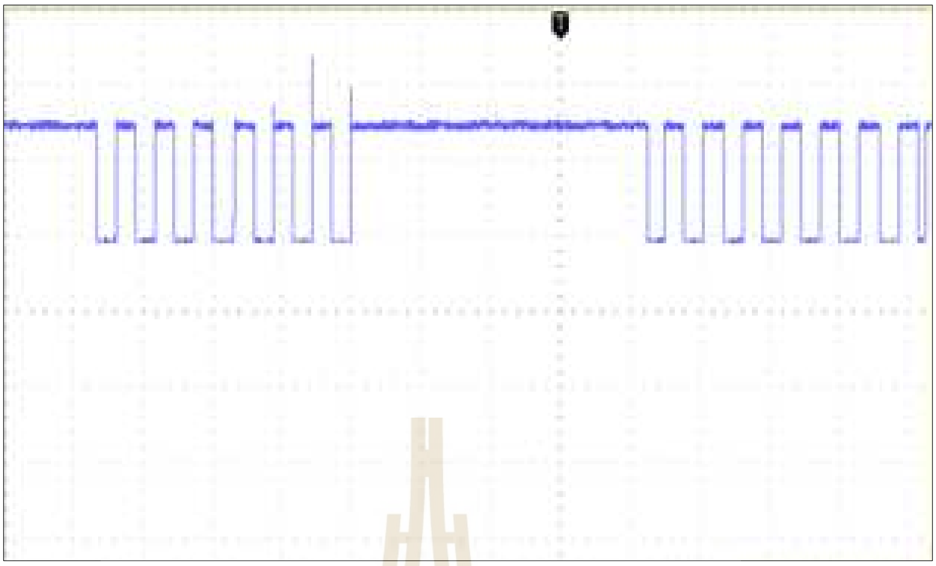
(ก)



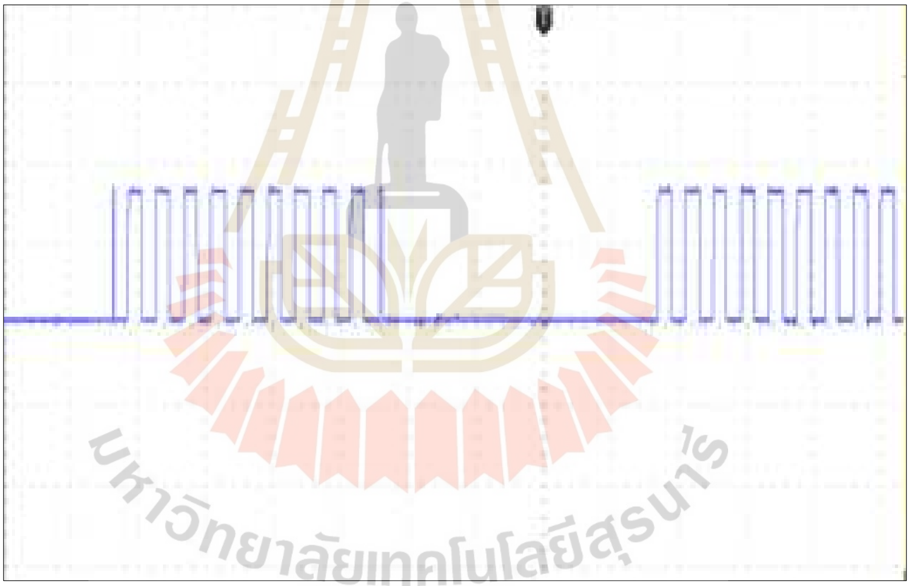
(ข)

รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วงจรบัฟเฟอร์ในช่วงความถี่ที่ 3 กิโลเฮิรตซ์ (ก) ไม่กลับเฟส (ข) กลับเฟส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก)



(ข)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

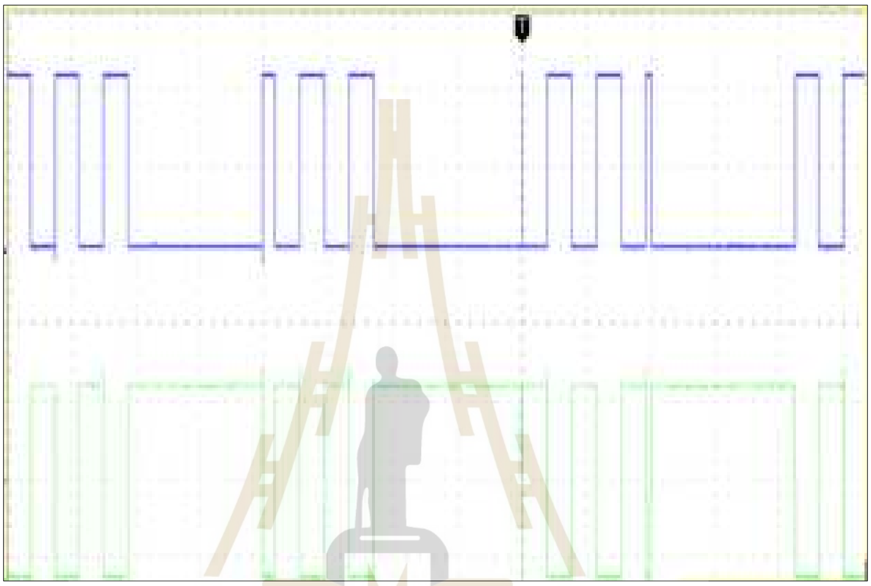
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่วงจรบัฟเฟอร์ในช่วงความถี่ที่ 7 กิโลเฮิรตซ์ (ก) ไม่กลับเฟส (ข) กลับเฟส

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดทางไฟฟ้าของวงจรบัฟเฟอร์

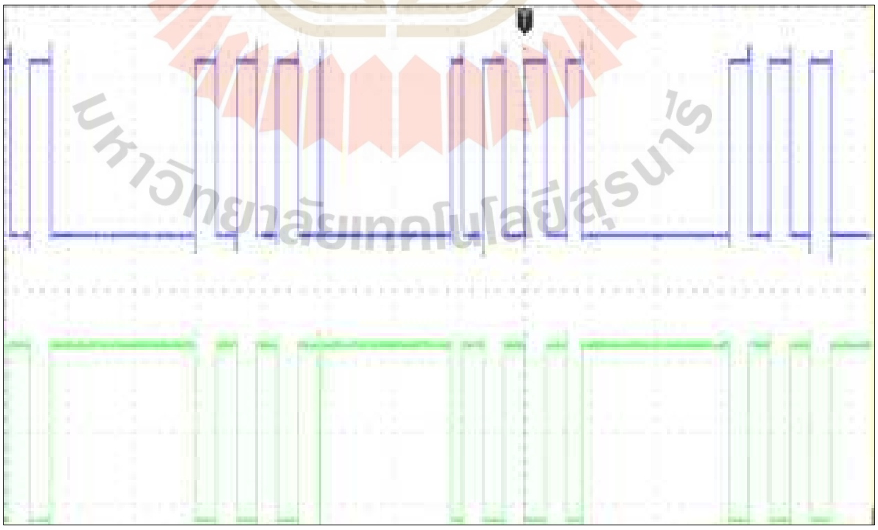
	ทรานซิสเตอร์	ทรานซิสเตอร์	ทรานซิสเตอร์	ทรานซิสเตอร์
แรงดันไฟเลี้ยง (โวลต์)	5.029 Vdc	5.029 Vdc	5.029 Vdc	5.029 Vdc
แรงดัน V_{BE} (โวลต์)	0.65	0.67	0.65	0.68

4.2.4 วัดสัญญาณที่วงจร H-bridge

การวัดสัญญาณในวงจรส่วนนี้จะวัดสัญญาณที่จุดอินพุตของวงจรโดยลักษณะของสัญญาณจะต้องมีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรบัฟเฟอร์และในส่วนของสัญญาณที่จุดเอาต์พุตลักษณะสัญญาณจะมีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณอินพุตแต่แรงดันของสัญญาณจะมากกว่าสัญญาณอินพุต ลักษณะสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละช่วงความถี่ของวงจร H-bridge ในช่วงความถี่ 3 กิโลเฮิรตซ์ จะเป็นดังรูปที่ 4.12 และ ความถี่ในช่วง 7 กิโลเฮิรตซ์ จะเป็นดังรูปที่ 4.13



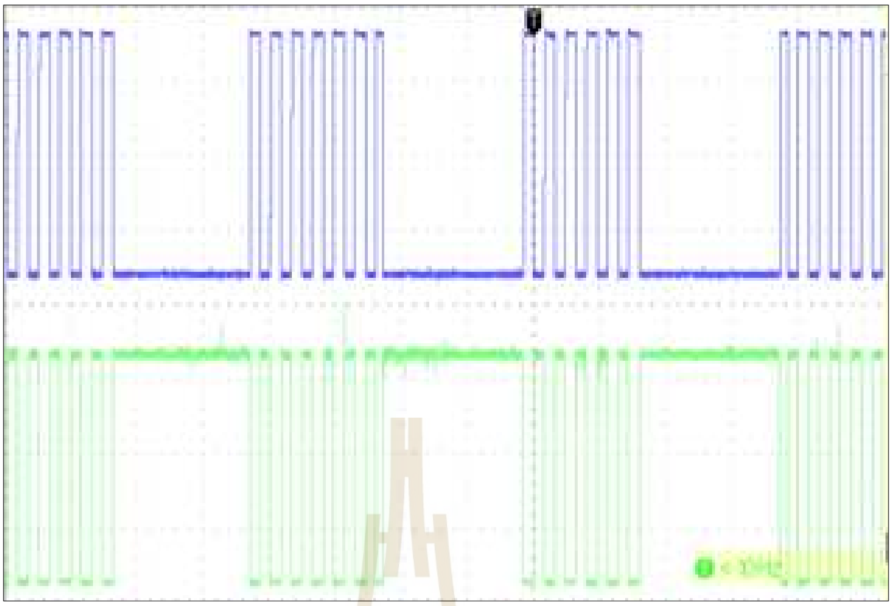
(ก)



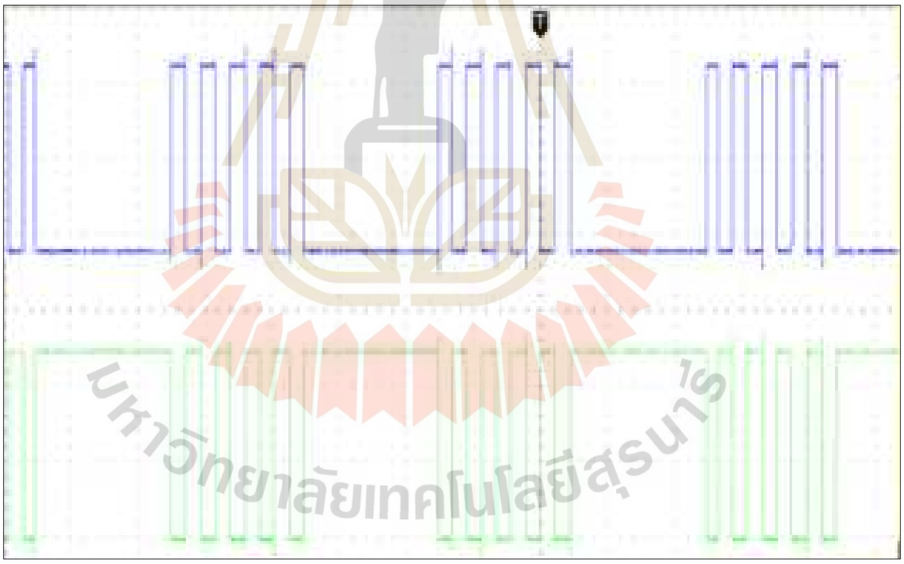
(ข)

รูปที่ 4.12 สัญญาณที่วงจร H-bridgในช่วงความถี่ที่ 3 กิโลเฮิรตซ์ (ก) จุดอินพุต (ข) จุดเอาต์พุต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก)

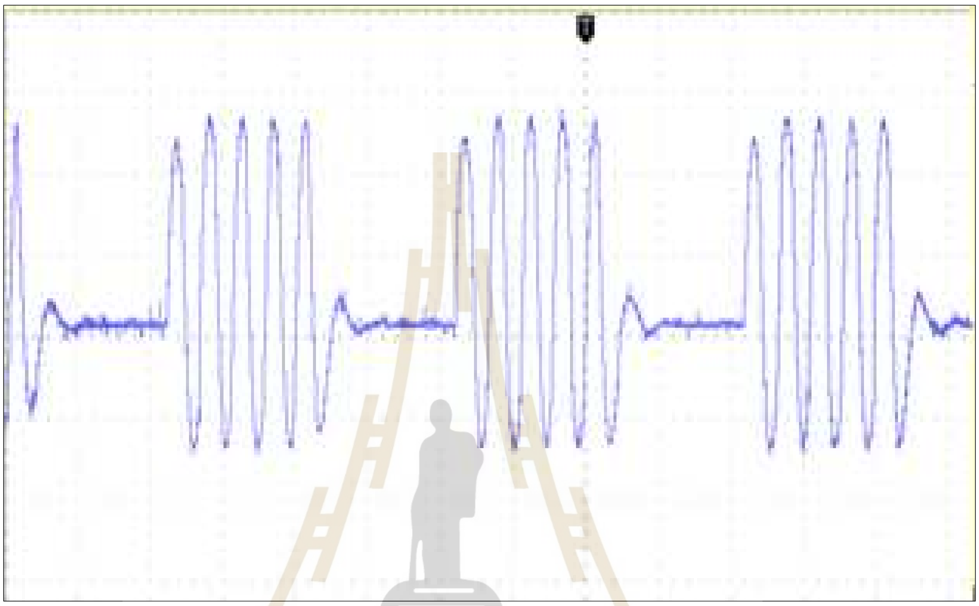


(ข)

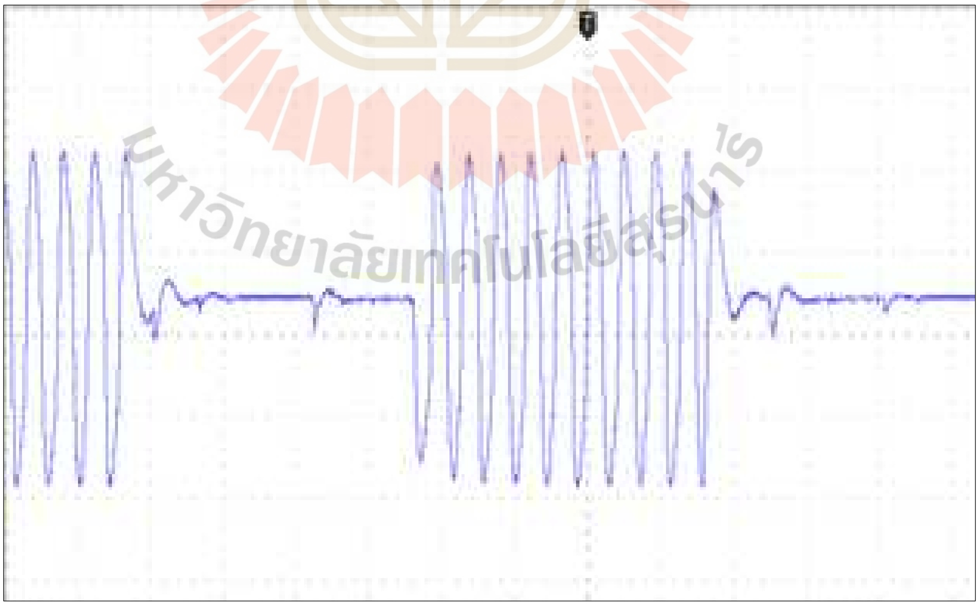
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่วงจร H-bridg ในช่วงความถี่ที่ 7 กิโลเฮิรตซ์ (ก) จุดอินพุต (ข) จุดเอาต์พุต

4.2.5 วัดสัญญาณที่วงจรเรโซแนนซ์

การวัดสัญญาณวงจรชุดนี้จะต้องต่อตัวปล่อยคลื่นซึ่งเป็นโหลดของวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็ก ในการวัดสัญญาณจะใช้ออสซิลโลสโคปวัดคร่อมที่เอาต์พุตของวงจรเรโซแนนซ์ สัญญาณที่วัดได้นั้นจะเป็นสัญญาณไซน์เวฟที่มีการกวาดความถี่และลักษณะของสัญญาณที่ได้ระหว่างความถี่ช่วง 3กิโลเฮิรตซ์ และ ความถี่ช่วง 7 กิโลเฮิรตซ์ จะมีลักษณะดังรูป 4.14



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.14 สัญญาณที่วงจรเรโซแนนซ์ (ก) ความถี่ที่ 3 กิโลเฮิรตซ์ (ข) ความถี่ที่ 7 กิโลเฮิรตซ์

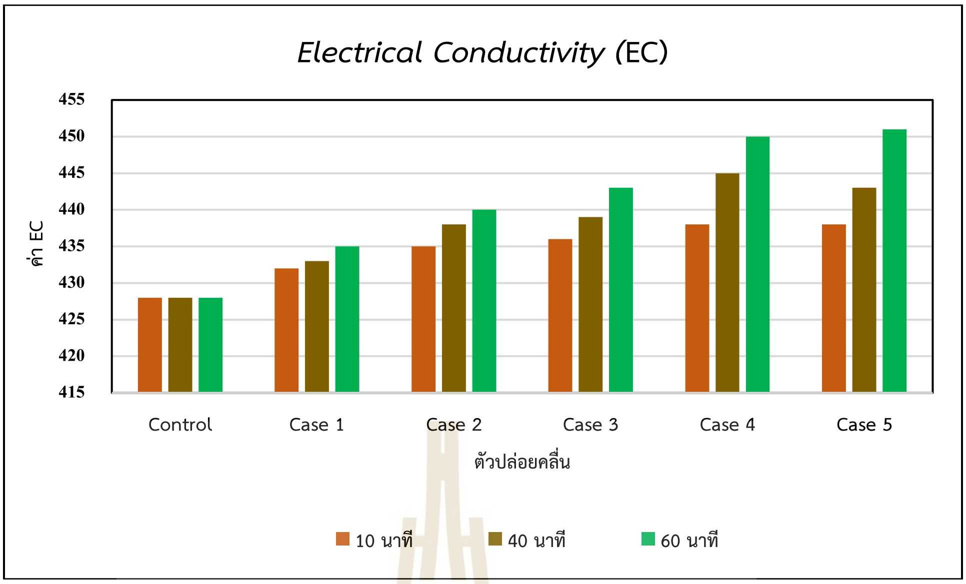
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 การวัดผลของน้ำเมื่อผ่านตัวปล่อยคลื่น

เมื่อทำการทดลองโดยทำการเวียนน้ำผ่านตัวปล่อยคลื่นที่เวลาต่าง ๆ โดยแบ่งเวลาออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือ 10 40 และ 60 นาที เมื่อทำการเวียนน้ำแล้วนำตัวอย่างน้ำของแต่ละช่วงเวลามาทำการวัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ใช้สำหรับวัดค่า Electrical Conductivity (EC) ในน้ำโดยเฉพาะดังรูปที่ 4.15

รูป 4.15 การวัดค่า Electrical Conductivity (EC) ในน้ำ

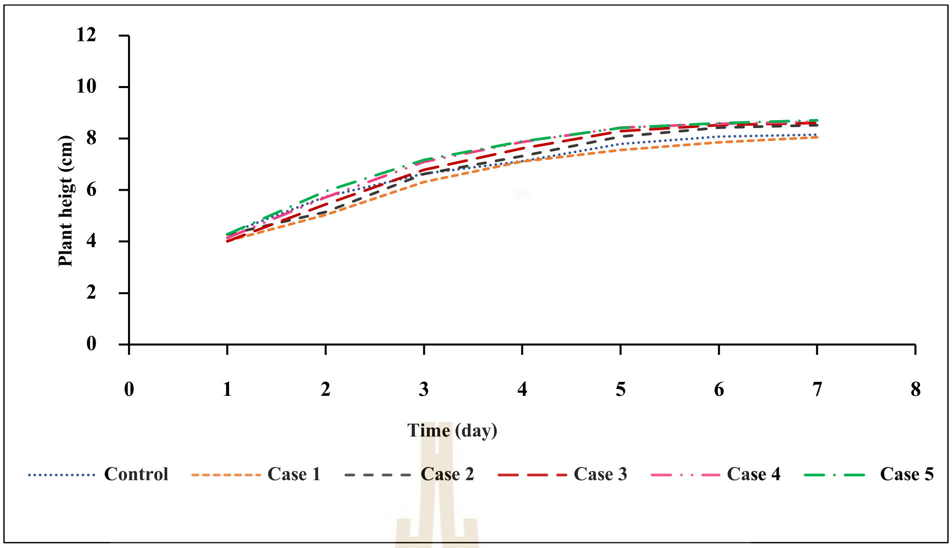
จากการเก็บผลค่า EC ของน้ำของตัวปล่อยคลื่นแบบต่าง ๆ ที่เวลาในแต่ละช่วงพบว่า น้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นแต่ละแบบมีค่า EC เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำที่ไม่ผ่านตัวปล่อยคลื่น โดยน้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นแบบที่หนึ่งจะมีค่า EC น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวปล่อยคลื่นแบบอื่น ๆ และรองลงมาจะเป็นแบบที่ สองและสามที่จากกราฟจะพบว่าค่า EC ของน้ำจากตัวปล่อยคลื่นทั้งสองแบบนั้นไม่มีความแตกต่าง ค่า EC ของน้ำที่วัดได้มากที่สุดคือตัวปล่อยคลื่นแบบที่สี่และห้า โดยค่า EC ของน้ำของตัวปล่อยคลื่นทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับเวลาในการเวียนน้ำพบว่ายิ่งใช้เวลาในการเวียนน้ำมากเท่าไรค่า EC ในน้ำจะมีมากขึ้น จะเห็นได้ดังกราฟในรูปที่ 4.16



รูป 4.16 ค่า EC ในน้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่นและช่วงเวลาต่าง ๆ

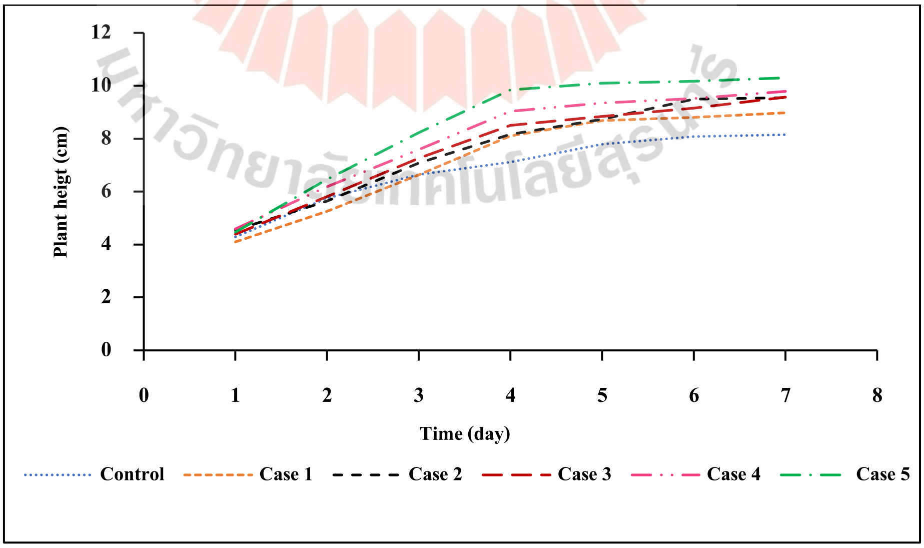
4.4 การวัดผลการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดจากการใช้น้ำที่ผ่านตัวปล่อยคลื่น

จากการทดสอบพบว่า เมื่อนำข้อมูลความสูงของผักบุ้งไปพล็อตกราฟโดยจะแบ่งตามระยะเวลาที่น้ำผ่านขดลวด คือ 10 นาที 40 นาที และ 60 นาที ดังรูปที่ 4.17 จะเป็นกราฟของน้ำที่ผ่านขดลวด 10 นาที เทียบกับน้ำปกติ โดยผลการทดลองวันที่ 1 จะพบว่าความสูงของผักบุ้งที่ใช้น้ำปกติรดจะมีแนวโน้มสูงกว่าน้ำที่ผ่านขดลวดทั้ง 5 แบบ ผลการทดลองวันที่ 2 น้ำปกติ ความสูงของผักบุ้งยังมีแนวโน้มที่สูงกว่าน้ำที่ผ่านขดลลวดแบบที่ 1 2 4และ4 ยกเว้นแบบที่ 5 จะมีแนวโน้มที่สูงกว่าน้ำปกติ การเก็บผลวันที่ 4 น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 4 และ 5 ความสูงของผักบุ้งจะมีแนวโน้มมากกว่าน้ำปกติแต่น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 และ 2 ยังมีความสูงของผักบุ้งที่ต่ำกว่าน้ำปกติการเก็บผลวันที่ 5 น้ำที่ผ่านขดลวแบบที่ 2 จะมีความสูงของผักบุ้งสูงกว่าน้ำปกติแล้วแต่น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 ยังคงมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าน้ำปกติการเก็บผลวันที่ 5 6 และ 7 ค่าความสูงของขดลวดแบบที่ 2 4 4 และ 5 ความสูงของผักบุ้งยังคงมีแนวโน้มที่สูงกว่าน้ำปกติและน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 ยังคงมีความสูงที่ต่ำกว่าน้ำปกติ



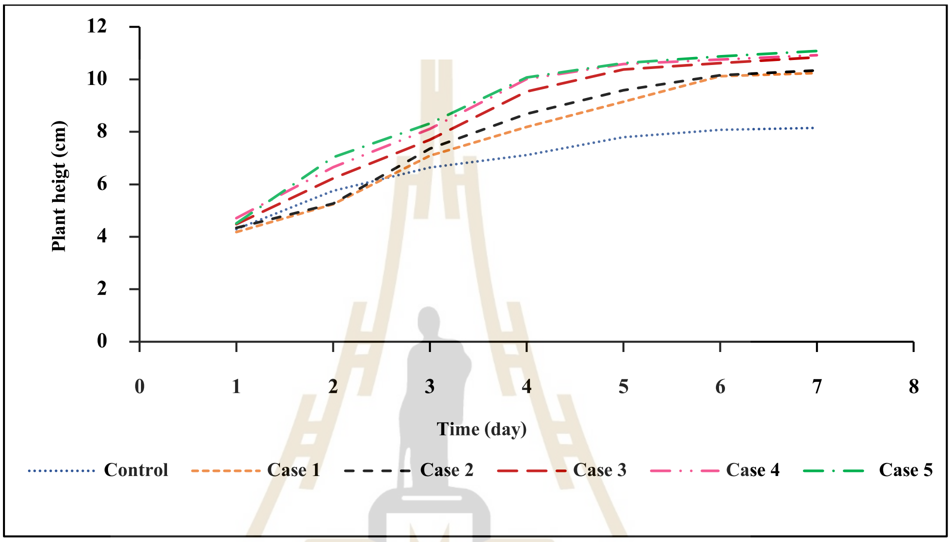
รูปที่ 4.17 น้ำผ่านขดลวด 10 นาที

จากรูปที่ 4.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ผ่านขดลวดที่ 40 นาที กับน้ำปกติ เมื่อเริ่มเก็บผลวันที่ 1 พบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 2 4 4 และ 5 จะมีแนวโน้มความสูงของผักบุ้งที่สูงกว่าน้ำปกติส่วนน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 จะมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าน้ำปกติการเก็บผลวันที่ 2 และ 4 น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 ยังคงมีแนวโน้มความสูงของผักบุ้งที่ต่ำกว่าน้ำปกติและน้ำที่ผ่านขดลวดแบบอื่นๆยังคงมีแนวโน้มที่สูงกว่าน้ำปกติ การเก็บผลวันที่ 4-7 น้ำที่ผ่านขดลวดทั้ง 5 แบบ จะมีแนวโน้มความสูงของผักบุ้งที่สูงกว่าน้ำปกติโดยจากกราฟจะพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 จะมีแนวโน้มของความสูงมากกว่าแบบอื่น ๆ อย่างชัดเจน



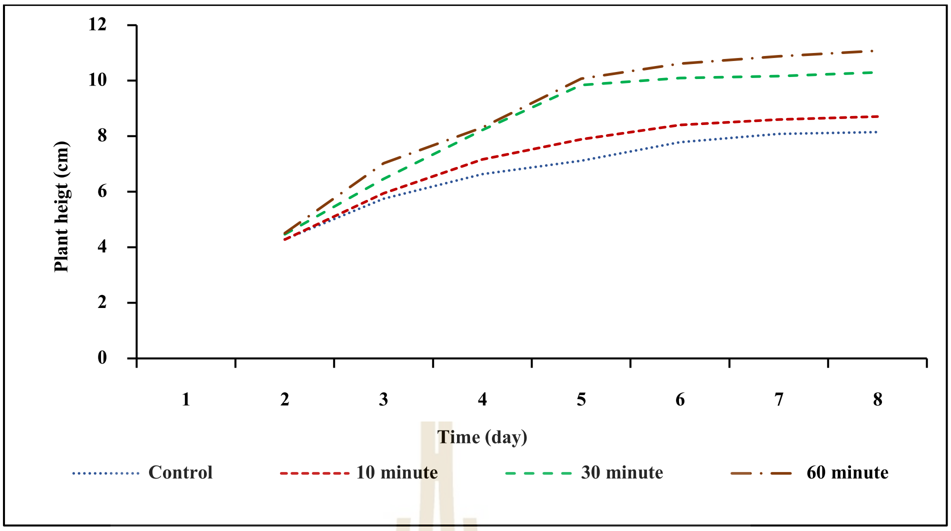
รูปที่ 4.18 น้ำผ่านขดลวด 40 นาที

รูปที่ 4.19 จะเป็นกราฟของน้ำที่ผ่านขดลวดที่ระยะเวลา 60 นาที เทียบกับน้ำปกติจากกราฟการเก็บผลในช่วงวันที่ 1-2 จะพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 จะมีแนวโน้มของความสูงของผักบุ้งต่ำกว่าน้ำปกติส่วนน้ำที่ผ่านขดลวดแบบอื่นๆจะมีแนวโน้มที่สูงกว่าน้ำปกติเมื่อเริ่มเก็บผลวันที่ 4 น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 1 จะมีแนวโน้มของความสูงของผักบุ้งสูงกว่าน้ำปกติและการเก็บผลวันที่ 4-7 น้ำที่ผ่านขดลวดทั้ง 5 แบบ จะมีแนวโน้มความสูงที่สูงกว่าน้ำปกติอย่างเห็นได้ชัดเมื่อสังเกตจากกราฟจะพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 4 และ 5 จะมีความสูงของผักบุ้งที่ใกล้เคียงกันแต่น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 ยังคงมีแนวโน้มสูงกว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 4 เล็กน้อย



รูปที่ 4.19 น้ำผ่านขดลวด 60 นาที

เมื่อนำข้อมูลน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 แต่ละระยะเวลาที่น้ำได้ผ่านขดลวดมาเปรียบเทียบกับน้ำปกติพบว่าระยะเวลาที่น้ำผ่านขดลวดมีผลต่อความสูงของผักบุ้งดังกราฟในรูปที่ 4.20 จากกราฟจะพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดที่ระยะเวลา 60 นาที จะมีอัตราการเพิ่มความสูงของผักบุ้งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำปกติและน้ำที่ผ่านที่ใช้เวลาผ่านขดลวดที่ 10นาที และ 40 นาที และน้ำที่ใช้ระยะเวลาผ่านขดลวดที่ 40 นาที จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นความสูงของผักบุ้งรองจากน้ำที่ผ่านขดลวดที่ 60 นาที และระยะเวลาที่ 10 นาทีจะมีอัตราความสูงน้อยที่สุดจึงสรุปได้ว่า เมื่อน้ำใช้เวลาผ่านขดลวดนานขึ้นจะทำให้เพิ่มอัตราความสูงของผักบุ้งได้มากขึ้น



รูปที่ 4.20 น้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 ที่เวลาต่างๆเทียบกับน้ำที่ไม่ผ่านขดลวด

เมื่อนำความสูงของน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กแต่ละช่วงเวลามาเฉลี่ยกันจากการเก็บผลการทดลองทั้ง 7 วันและนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ว่าน้ำที่ผ่านขดลวดทั้ง 5 แบบ ส่งผลให้ความสูงของผักบุ้งเพิ่มกี่เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับน้ำปกติดัง ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราของความสูงผักบุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำปกติ

เวลาที่น้ำวนผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ (นาที)	ขดลวดแบบที่ 1 (%)	ขดลวดแบบที่ 2 (%)	ขดลวดแบบที่ 3 (%)	ขดลวดแบบที่ 4 (%)	ขดลวดแบบที่ 5 (%)
10	17.74	21.25	29.11	42.68	44.27
40	19.44	22.77	41.04	44.22	45.58
60	20.04	22.88	40.60	44.24	44.67

จาก ตารางที่ 4.4 เมื่อเฉลี่ยค่าความสูงของผักบุ้งในแต่ละเวลาของน้ำที่ผ่านขดลวดจากการเก็บผลการทดลองทั้ง 7 วัน พบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดเมื่อใช้ระยะเวลาที่น้ำเวียนผ่านขดลวดมากเปอร์เซ็นต์ความสูงของผักบุ้งจะเพิ่มขึ้น และลักษณะการพันแบบที่ 4 และ 5 จะมีเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกันและจะมากกว่าเมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ ดัง ตารางที่ 4.4

4.4 สรุป

จากผลการทดลองพบว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้วิธีปกติ โดยพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 นั่นคือการพันขดลวด 4 ขด ในทิศทางสลับกันมีแนวโน้มเพิ่มความสูงให้ผักบุ้งมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำที่ผ่านขดลวดแบบอื่น ๆ และระยะเวลาที่น้ำผ่านขดลวดมากจะส่งผลให้แนวโน้มความสูงของผักบุ้งจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นกว่าน้ำที่ใช้ระยะเวลาผ่านขดลวดน้อยจึงสรุปได้ว่าเมื่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเข้มมากและระยะเวลาที่น้ำผ่านสนามแม่เหล็กจะส่งผลให้อัตราความสูงของผักบุ้งเพิ่มมากขึ้นกว่าน้ำปกติอย่างเห็นได้ชัดถ้าน้ำใช้ระยะเวลาในการผ่านขดลวดมากขึ้นอัตราการเพิ่มความสูงของผักบุ้งจะมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าน้ำที่ใช้ระยะเวลาผ่านขดลวดที่น้อยทั้งนี้การพันขดลวดที่มีการพันทิศทางที่ต่างกันมีอัตราความสูงของผักบุ้งมากกว่าขดลวดที่พันในทิศเดียวกันเล็กน้อยและการพันขดลวดสี่ขดจะส่งผลให้อัตราความสูงของผักบุ้งดีกว่าการพันขดลวดสองขด ดังนั้นการพันขดลวดแบบที่ 5 จะมีอัตราความสูงของผักบุ้งดีกว่าการพันขดลวด แบบอื่นๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยนิพนธ์

วิทยนิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบ และเปรียบเทียบผลของการวัดผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช การวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์และศึกษาถึงปัญหา ตั้งแต่วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย จากนั้นศึกษาหลักการและทฤษฎีของสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อคุณสมบัติน้ำ ทฤษฎีการเกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จากนั้นออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กแบบต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับในการทดสอบ เก็บผล เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องต่อไป โดยเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะมีกำลังรวม 10 วัตต์ และตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีทั้งหมด 5 แบบ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นท่อสำหรับการไหลของน้ำ ระยะในการที่น้ำจะได้รับสนามแม่เหล็กทั้งสิ้น 100 เซนติเมตร

จากการจำลองผลของสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio การพันขดลวดแบบที่ 5 มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากกว่าแบบอื่น ๆ และในส่วนของการวัดผลวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กพบว่า ในส่วนของตัวกำเนิดความถี่จะมีลักษณะสัญญาณเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม (PWM) ขนาด 1-5 กิโลเฮิตร์ เมื่อผ่านวงจรเรโซแนนซ์และต่อผ่านตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กจะพบว่าสัญญาณเปลี่ยนแปลงจากพัลส์สี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณไซน์เวฟ สำหรับการทดสอบการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแก่น้ำผ่านตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กแบบต่าง ๆ ทั้ง 5 แบบ แล้วนำน้ำไปเพาะปลูกพืชพบว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้วิธีปกติ โดยพบว่าน้ำที่ผ่านขดลวดแบบที่ 5 นั่นคือการพันขดลวด 4 ขด ในทิศทางสลับกัน มีแนวโน้มเพิ่มความสูงให้ผักบุ้งมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำที่ผ่านขดลวดแบบอื่น ๆ และระยะเวลาที่น้ำผ่านขดลวดมากจะส่งผลให้แนวโน้มความ สูงของผักบุ้งจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นกว่าน้ำที่ใช้ระยะเวลาผ่านขดลวดน้อยจึงสรุปได้ว่าเมื่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเข้มมากและระยะเวลาที่น้ำผ่านสนามแม่เหล็กจะส่งผลให้อัตราความสูงของผักบุ้งเพิ่มมากขึ้นกว่าน้ำปกติอย่างเห็นได้ชัดถ้าน้ำใช้ระยะเวลาในการผ่านขดลวดมากขึ้นอัตราการเพิ่มความสูงของผักบุ้งจะมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าน้ำที่ใช้ระยะเวลาผ่านขดลวดเหนี่ยวนำที่น้อย ทั้งนี้การพันขดลวดที่มีการพันทิศทางที่ต่างกันมีอัตราความสูงของผักบุ้งมากกว่าขดลวดที่พันในทิศเดียวกันเล็กน้อยและการพันขดลวดสี่ขดจะส่งผลให้อัตราความสูงของผักบุ้งดีกว่าการพันขดลวดสองขด ดังนั้นการพันขดลวดแบบที่ 5 จะมีอัตราความสูงของผักบุ้งดีกว่าการพันขดลวดแบบอื่น ๆ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตของพืชมากกว่า 35.58 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลที่ได้จากการทดลองพบว่า น้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กแล้วนำไปเพาะปลูกพืชส่งผลให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำปกติ และประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กแบบที่ 5 ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตของพืชดีที่สุดจึงสรุปได้ว่าเมื่อมีความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชมีมากขึ้นด้วย

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การออกแบบวงจรกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีปัญหาหลัก ๆ คือ เรื่องของกำลังงานที่เป็นข้อจำกัดของวงจรซึ่งมีเพียงแค่ 10 วัตต์เท่านั้น ทั้งนี้หากเพิ่มกำลังงานให้มากกว่ากำลังงาน 10 วัตต์จะส่งผลให้วงจรในส่วนของภาคขยายสัญญาณเกิดความร้อน และอาจจะทำให้วงจรเกิดความเสียหายได้ และเป็นผลมาจากการระบายความร้อนที่ไม่ดีเท่าที่ควร ในส่วนของตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กนั้นเมื่อทำการพันขดลวดแล้วพบว่าค่าความเหนี่ยวนำมีค่าน้อยจะต้องใช้ ตัวเก็บประจุซึ่งอยู่ในวงจรเรโซแนนซ์มากจนเกินไปทำให้ไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้ ดังนั้นในการออกแบบจึงควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับการใช้งานเพื่อให้ได้กำลังงานที่ดีที่สุดและค่าความเหนี่ยวนำที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางในการพัฒนาต่อไปของเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กและตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กสามารถออกแบบโดยเพิ่มส่วนของกำลังงานให้มากขึ้นอีกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสนามแม่เหล็กให้มีมากขึ้นและตัวปล่อยคลื่นสามารถอกกแบบให้มีการติดตั้งและใช้งานที่ง่ายขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในงานได้จริงซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถใช้งานได้ในระดับอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

Khamla Senglathsamy.Study of static electric and magnetic field’s effects on rice seed germination rate and seedling growth of Kao Jao Deng (Oryza sativa L.) from Lao PDR (Department of Science, Savannakhet Teacher Training College, Savannakhet, LAO PDR, 2015)

Jaime A.Teixeira da silva, Impact of magnetic water on plant growth (2 Research Institute of Nyíregyháza, University of Debrecen, Nyíregyháza, P.O. Box 12, H-4400, Hungary,2014)

Mohammad Sarraf, Magnetic Field (MF) Applications in Plants:An Overview(College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611140, China,2020)

MassimoE.Maffei,Magnetic field effects on plant growth, development, andevolution Department of Life Sciences and Systems Biology, Innovation Centre, University of Turin, Turin, Italy,2014)

Xiaofeng PangInvestigation of Magnetic-Field Effects on Water Institute of Life Science and Technology University of Electronic Science and Technology of China Chengdu, China,2009)

Xiao Feng Pang, The Experimental Evidences of the Magnetism of Water by Magnetic-Field Treatment ,2014)

Craig Andrew McMahon . Investigation of the quality of water treated by magnetic fields(University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying,2009)

Shoogo Ueno, Dynamic Behavior of Dissolved Oxygen under Magnetic Fields Institute of Medical Electronics, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo 114, JAPAN,1995)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Nattakun Poungprakhon, Chanchai Tongsopa, Samran Santalunai, Thanaset Thosdeekoraphat ,Nuchanart Santalunai, Pichaya Chaipanya **"THE STUDY OF WATER RECONDITIONING USING MAGNETIC FILED FOR PLANT INDUSTRY"**, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY,ISSN 003-2097,R.99 NR 7/2023

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**1. Nattakun POUNGPRAKHON [1] 2. Chanchai THONGSOPA [1] 3. Samran SANTALUNAI [1*]
4. Thanaset THOSDEEKORAPHAT [1] 5. Nuchanart SANTALUNAI [2] 6. Pichaya CHAIPANYA [3]**

Suranaree University of Technology (1), Rajamangala University of Technology Isan (2), Srinakharinwirot University (3), Thailand
ORCID: ORCID: 1. 0000-0002-1789-5037 ; 2. 0000-0003-2534-4398; 3. 0000-0001-6777-2230; 4. 0000-0001-5976-2438 5. 0000-0002-5598-1534; 6. 0000-0002-6890-9865;

doi:10.15199/48.2023.07.11

The Study of Water Reconditioning using Magnetic Field for Plant Industry

Abstract. *This paper studies the growth of plants resulting from the use of magnetic-treated water. The emitter is designed by using a PVC pipe with inductance coils for inducting magnetic wave, divided into 5 types are one winding induction coil, two winding induction coils in the same direction, two winding induction coils in alternate directions, four winding induction coils in the same direction, and four winding induction coils in alternate directions. The simulation results are simulated by using CST Microwave Studio to analyze the magnetic field distribution that has an effect on the water. In addition, the five prototypes of inductance coils on pipe are constructed to be tested by watering real plants. When 40 liters of water flowed through the proposed pipe that surrounded by a magnetic field for 10, 30, and 60 minutes. It was found that the magnetic field generated by the four winding induction coils in alternate directions results in a transformation of water suitable for plant growth with 35.58 %, compared to the growth of plants grown by watering the elder does not pass through the magnetic field.*

Streszczenie. *W niniejszej pracy zbadano wzrost roślin w wyniku stosowania wody uzdatnionej magnetycznie. Emiter jest zaprojektowany przy użyciu rury PVC z cewkami indukcyjnymi do indukowania fali magnetycznej, podzielony na 5 typów to jedna cewka indukcyjna uzwojenia, dwie cewki indukcyjne uzwojenia w tym samym kierunku, dwie cewki indukcyjne uzwojenia w naprzemiennych kierunkach, cztery uzwojenia cewki indukcyjne w w tym samym kierunku i cztery uzwojenia cewek indukcyjnych w przeciwnych kierunkach. Wyniki symulacji są symulowane za pomocą CST Microwave Studio do analizy rozkładu pola magnetycznego, które ma wpływ na wodę. Ponadto skonstruowano pięć prototypów cewek indukcyjnych na rurze, które można przetestować poprzez podlewanie prawdziwych roślin. Kiedy 40 litrów wody przepłynęło przez proponowaną rurę, otoczono ją polem magnetycznym przez 10, 30 i 60 minut. Stwierdzono, że pole magnetyczne generowane przez cztery uzwojenia cewek indukcyjnych w naprzemiennych kierunkach powoduje przemianę wody odpowiedniej do wzrostu roślin o 35,58%, w porównaniu do wzrostu roślin uprawianych przez podlewanie bzu czarnego nie przechodzącego przez pole magnetyczne.* (***Badanie uzdatniania wody za pomocą pola magnetycznego dla przemysłu rolniczego***)

Keywords: Induction coil, Magnetic field, Plant growth, Magnetic-treated water
Słowa kluczowe: cewka, pole magnetyczne, przemysł rolniczy

Introduction

Nowadays, the agrichemical is used are widely used in cultivation. The chemical fertilizers herbicides and substances to accelerate growth these produce chemical residues in the produce and followed by health problems for both farmers and consumers. Moreover, the agrichemical has a high cost caused the non-toxic plants is grown. The non-toxic plants can be reduced agricultural chemicals and contaminants from chemical residues and it is also easy to grow and maintain. Non-toxic planting uses bio-compost, bio-fermented water themselves however, the cultivation of non-toxic plants also contributes to increasing the income of the produce. Besides, the planting without chemicals is also a method of growing plants without soil, known as hydroponics this method [1] – [2] of planting plants is planting without plant material, which is the cultivation of plants in the plant's nutrients. The roots are in direct contact with nutrients, which can be divided into 3 different planting methods. Firstly, the nutrient film technique (NFT) [3 – 6] is a method of providing nutrient solutions. This technique is a circulating flow where the plant roots are fully nutrient-rich. Secondary, the dynamic root floating technique (DRFT) [7 – 10] is a system of direct nutrient delivery to plant roots and have aeration to increase oxygen. Finally, deep flow technique (DFT) [11 – 15] planting system allow nutrients to flow through the roots continuously and rotate like a plant soaked in water and a water flows through the plant roots regularly.

At present, the magnetic fields are used to help grow plants and the effects of magnetic fields on plant growth have been studied such as magnetic water system to increase the growth rate of hydroponics vegetables [16 – 18]. An effect of static electric and magnetic field treatment on germination and growth rate of red rice [19], magnetic field (MF) applications in plants: an overview, and impact of magnetic water on plant growth [20-28]. From what was presented above, it was found that the magnetic field contributed to the growth rate of plants.

In this research, the solenoid coil is studied and designed by using a PVC pipe with inductance coils to generate the magnetic fields in to the water that have an effect on plant growing. Types of induction coil windings in order to study which kind of winding coil has the best effect on plant growth.

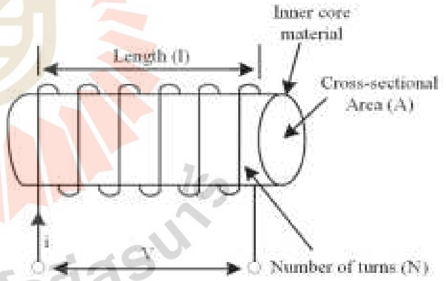


Fig.1. Solenoid coil.

Background theory

From the induction theory, the magnetic field is occurred when an electric current flow through a coil. The energy is temporarily stored in form a magnetic field. The inductance is the result of the magnetic field surrounding the conductor with current flowing through. The conductor wire generates the magnetic flux whereby inductance is determined by the amount of magnetic flux according to equation (1).

(1) $$L = \frac{d\Phi}{di}$$

when **L** is the inductance, Φ is magnetic flux, and **i** is the current. Inductance is the winding of a conductor several times, produced large amounts of flux and inductance. There are factors such as the number of windings, the cross-sectional area of the core used to wind the winding, the material of the core and the length of the core, according to the equation (2).

(2) $$L = \frac{N^2 \mu A}{l}$$

N is the number of windings, μ is the permeability of the material used to make the axis, **A** is the cross-sectional area of the axis and **l** is the length of the core as shown in Fig. 1. [29]

The magnetic fields can be changed the properties of water by making water increase its solvent properties, reduce surface tension, and increase its solubility. And there is an energy boost to the water because of the hydrogen bond arrangement. [30]

The systems of water conditioning by using magnetic wave for applying in planting industry are divided into two parts which are the induction coil design and the generator system.

Design system

Fig. 2 shows the generator system, it is divided into 5 parts it consists of power supply circuit, oscillator circuit, buffer circuit, signal drive circuit and resonant circuit. The power supply consists of a switching power supply circuit and a step-down circuit. The step- down circuit is divided into two circuits, the circuit in the first part will supply power to the oscillator circuit and the step-down circuit in the second part is used to feed the signal driving circuit. Arduino nano microcontroller board oscillator circuit is used as a signal generator. The oscillator circuit generates a PWM signal to control the signal driving circuit before entering to the drive circuit, the signal reverses the phase through the buffer circuit. For the driver circuit, L298n module is used for H-bridge circuit. When the signal passes through the buffer circuit, there are two signals which are phase reversal and non-phase reversal. Signals controls the module to drive the signal to induction coil and the resonant circuit part. In this section, parallel LC is used. The circuit in this section will reduce the power loss to the module. If there is no circuit in this section, the module will generate heat and maximize power to the induction coil. The magnetic field generator can be used no more than 10 watts of power.

Five types of the induction coil design are shown in Fig. 3. It uses a 1.5 mm wire as a conductor and uses a 1.5-inch pipe with a length of 1 m. A conductor wire wound with a pipe as a coil of inductance for all 5 types, each of which has the same length of wire and similar inductance by winding. Each of a pipe as a coil has an inductance of about 110 μH as illustrated in Fig. 3(a) will the first type by will winding coil the conductor in the same direction. The length of the induction coil winding is 80 cm. The second type, the induction coil is divided into two coils as shown in Fig. 3(b), both coils will be wound in the same direction, the length of each coil winding is 40 cm. Fig. 3(c) shows the third types of inductance coil, it is divided into two parts like the second type but the direction of winding on each side is opposites. The length of the winding on each side is 40 cm. The induction coil is divided into four parts with a winding length of 20 cm and each coil is wound in the same direction as shown in Fig. 3(d) is the fourth type. Fig. 3(e) is the fifth type. The induction coil divides into four parts just like the fourth type. But there will be different intertwined directions, each coil will be intertwined in alternating directions. and the length of each coil winding is 20 cm.

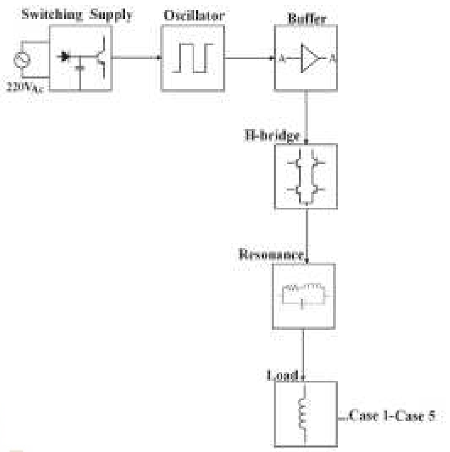


Fig.2. The generator system.

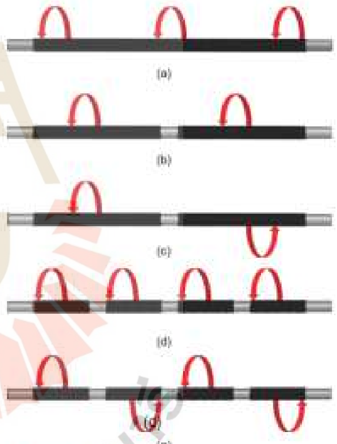
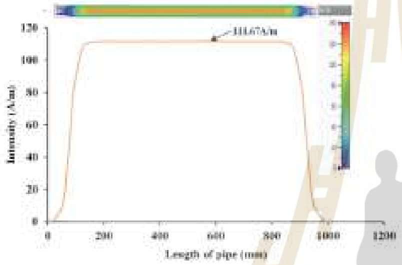


Fig.3. Various Winding of induction coil.

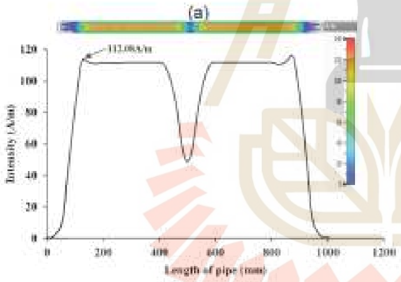
Simulation results

The simulation results of the magnetic field with the differenced coil winding patterns are performed by using the CST Microwave Studio program. Considering to the intensity of magnetic field on 5 types of inductance coil as shown in Fig. 4. To analyze and compare the results of the simulation, Fig. 4(a) shows the magnetic field intensity of first type. The most intensity of magnetic field radiates at the all area of the induction coil as 111.67 A/m. The intensity of the magnetic field gradually increases to the peak of the graph and the end of the intensity graph gradually decreases to zero. When the intensity increases to the peak, the intensity remains constant through until the

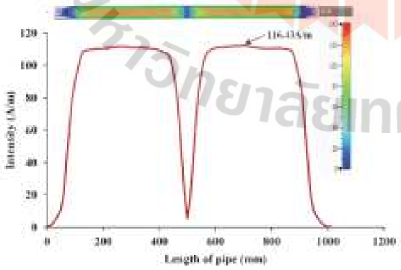
end point. Fig. 4(b) simulates the effect of two induction coils that winds in the same direction. The radiated magnetic field strength is clearly divided into two parts with the maximum intensity of 112.08 A/m. When reaching the peak value, the magnetic field intensity is constant until the middle of the graph. In Fig. 4(c), two coils are wound with the differenced direction. The intensity of the radiated magnetic field is similar to the second type with maximum intensity of 116.43 A/m. From fourth type of induction coil as illustrated in Fig. 4(d), the intensity of magnetic field strength is divided into four series with the radiating characteristics similar to Fig. 4(b) by the of the magnetic field intensity is radiated into four sets according to the number of coils and when looking at the magnetic field region the induction coil, it is shorter than the radiated magnetic field strength of Fig. 4(b). The maximum intensity of magnetic field is 116.85 A/m. The intensity magnetic field strength of the fifth type of the induction coil close to Fig. 4(e). The intensity is radiated into four sets when observed in the middle region between the coils, the intensity in this region is less than Fig. 4(d).



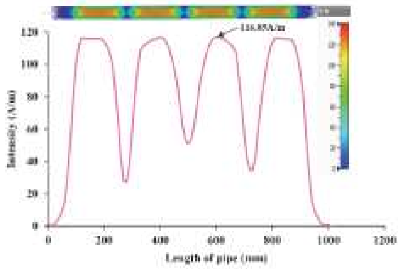
(a)



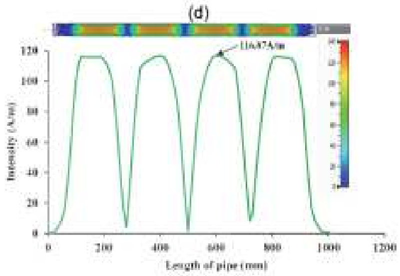
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig.4. Simulation results of the magnetic field. (cont.)

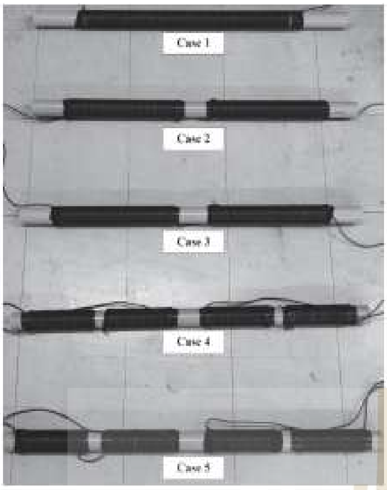
The intensity of the five types of induction coils is occurred more in the pipe area where the induction is wound which are less intense with further when distance from the coil induction. The fourth and fifth types of magnetic field intensity graph from the figure are found to be similar to the second and third magnetic field intensity graphs, it can be observed that when the intensity reaches its peak and it stays constant for a while. It is found that the distance of the constant intensity value has a shorter distance of the constant intensity graph than that of the intensity graph type second and third, and the graph follows four cycles of ups and downs until the end for graph.

When the conductors are winded in opposite directions, the intensity in the middle between the inductance coils is greatly reduced to near zero, but when the conductors are wound in the same direction, the intensity in the middle between the inductance coils. The inductance is also reduced, but less than with opposite direction windings. From the five types of magnetic field intensity curves, at the highest magnetic field intensity, it can be seen that the graphs of type 4 and 5 are higher than those of type 1, 2 and 4.

Experimental results

The 40 liters of water is prepared in order to bring it into the pipe that is wrapped with various induction coils. In addition, morning glory seeds, nursery trays, and potting soil are made ready for trial. The experiment is wet the morning glory seeds in normal water for 12 hours and preparing the soil in the nursery tray for planting morning glory seeds. The morning glory has been compared in the growth with all six types of watering: normal water and induced water with the five types of the induction coils. Induction coil of the 5 types as shown in Fig. 6(a). Fig. 6(b) depicts the induction system that a water circulation system flows through a PVC pipe, bended by varies induction coils. The flowing time of water is considered for three periods time as 10 min, 40 min and 60 min

f



(a)

(b)

Fig.6.Test of magnetic field application to water pretreatment (a) 5 types of induction coils (b) Water circulation system through induction coil.

The five types of water under test by using induction coil technique are used to water the morning glory in twice time per day at 9:00 a.m. and 4:00 p.m. When the plants began to grow, it is measured the height of morning glory. And then, the measuring height results are collected in every 4 days. The results are collected for a total of 7 days and the experimental data are compared between normal water and water treated with an induction coil to see how it effects the growth of morning glory.

From the test it was found that when taking the height data of the morning glory to plot the graph, divided by the time that the water passes through the induction coil is 10 minutes, 40 minutes and 60 minutes. Fig. 8 shows a graph of water that passes through the five types of induction coil for 10 minutes compared to normal water. In the first day experiment, it was found that the height of the morning glory using normal water tended to be higher than the water that passed through all 5 types of induction coils. The results of day 2, the height of morning glory using normal water also tended to be higher than that through induction coils of types 1, 2, 3 and 4, except type 5 which have a tendency to be higher than a normal water. On day 4 collect results, water through induction coils types 4 and 5 had a higher height of morning glory than normal water, but water through induction coils types 1 and 2 also had a lower height of morning glory normal water. On the 5th day of the collect results, the water that passed through the type 2 of the induction coil had a higher height than the normal water, but the water that passed through the type 1 of the induction coil still tended to be lower than the normal water. On the 5th, 6th and 7th day of the collect results, the height of the induction coil type 2, 3, 4 and 5, the height of the morning glory still tended to be higher than normal water and the water passing through the induction coil type 1 remained has a lower height than normal water.

Fig. 9 is a graph showing the relationship between water under test at 40 minutes and normal water. When starting to collect the results on day 1, it was found that the water that passed through the induction coil type 2, 3, 4 and 5 have a tendency to have a higher height of the morning glory than the normal water, while the water that passed through the induction coil type 1 have a tendency to be lower than normal water. For result collected on day 2 and 4, the water treated with type 1 coil still have a tendency to have a lower height of morning glory than normal water, and water that has passed through other coil types still tends to be higher than that of normal. Collection result of date 4 to 7, a water that passes through the 5 types of induction coils tends to have a higher height of morning glory than normal water. From the graph, it can be seen that the water that passes through the induction coil all of five types has a higher tendency of than the control water

Fig. 10 plots a height of plant that is growing by watered under test for 40 minutes compared to normal water. When collecting results between day 1-2, it was found that morning glory height of watered from induction coil type 1 is more than normal water, while water passing through other types of coil tendency to be higher normal water. At the start of collect results on the 4 days, the water through the induction coil type 1 have a tendency to a higher height of morning glory than normal water and on the 4-7 day o collect results, the water through the **5** types of induction coils tends to be noticeably higher than normal water. When observing from the graph, it was found that the water passing through coils 4 and 5 had similar heights of morning glory, but the water passing through coils 5 still have a little tendency to be higher than the water passing through coils type 4

Table 1. Morning glory growing percentage compared with a normal water

Time (min)	Type of coil 1	2	3	4	5
10	17.74	21.25	29.11	42.68	44.27
40	19.44	22.77	41.04	44.22	45.58
60	20.04	22.88	40.60	44.24	44.67

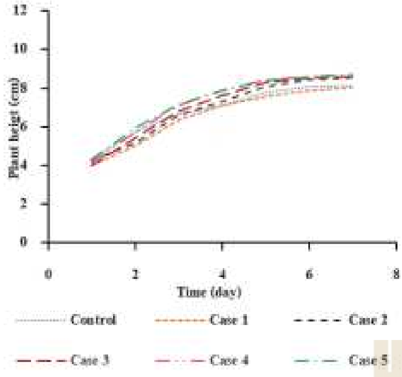


Fig.8. Plant height growing by normal watered and watered through the induction coil in 10 minutes.

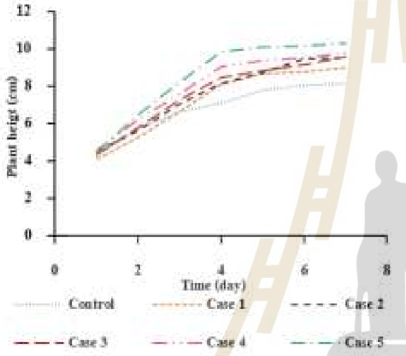


Fig.9. Plant height growing by normal watered and watered through the induction coil in 40 minutes.

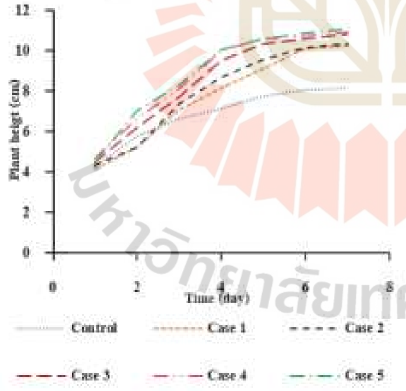


Fig.10. Plant height growing by normal watered and watered through the induction coil in 60 minutes.

When the water through the induction coil type 5 for each period the water passed through the inductor coil was compared with normal water it was found that the duration of water through the induction coil had an effect on the height of the morning glory as shown in the graph in Fig. 11. It can be seen that the water that passed through the coil with 60 min had the highest rate of increasing the height of the morning glory compared to the normal water and water passing through the induction coil at 10 minutes and 40 minutes and water for 40 minutes to pass through the induction coil will increase the height of morning glory second after water passing through the induction coil 60 minutes and the duration of 10 minutes is the lowest height rate so it can be concluded that when the water takes longer to pass through the induction coil, it will increase the height of the morning glory. The height of the water that passed through the magnetic field for each time period was averaged from the 7-day results collection and calculated as a percentage of the water that passed through the 5 types of induction coils as a result, how many percent increase in the height of morning glory compared to normal water as shown in Table 1. From Table 1, the average height of morning glory at each time of water through the induction coil from the 7-day results collection it was found that the water that passed through the induction coil when using the time that the water circulated through the coil will increase the percentage of the height of the morning glory and the 4 and five winding types have a similar and have larger percentage compared to the others type.

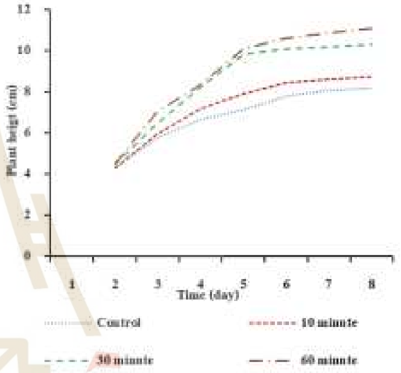


Fig.11. The water passing through the induction coil type 5 at different times compared to the control water.

Conclusion

The magnetic fields generated by induction coil on water conditioning has an effect for growing of plant industry. It was found that magnetic fields resulted in better plant growth compared to using conventional methods. When the water passing through the four induction coils in alternating directions have a tendency to increase the height of morning glory the most compared to water that passes through other coils and the amount of time the water passes through the induction coil will result in the tendency for the height of the morning glory to be higher than that of the water that takes the time to pass through the less induction coil. Therefore, it was concluded that when the magnetic field was very intensity and the period of time the water passed through the magnetic field; the height of the morning glory would be higher than that of normal water ostensibly. Therefore, type 5 inductor winding have a higher rate of morning glory than other types of induction windings.

Acknowledgment: This research was funded by Suranaree University of Technology (SUT), Thailand Science Research and Innovation (TSRI), and National Science Research and Innovation Fund (NSRF) (NRIIS no. 160356).

***Authors**: Mr. Nattakun Poungprakhon, E-mail: M6300845@g.sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima,Assoc. Prof. Dr. Chanchai Thongsopa, E-mail: chan@sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Assist. Prof. Dr. Samran Santalunai, E-mail: samran.sa@sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; Assist. Prof. Dr. Thanaset Thosdeekoraphat, E-mail: thanaset@sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; Assist. Prof. Dr. Nuchanart Santalunai, E-mail: nuchanart.fa@rmuti.ac.th, Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand; Assist. Prof. Dr. Pichaya Chaipanya, E-mail: pichayac@g.swu.ac.th, Department of Electrical Engineering, Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok, Thailand.*

REFERENCES

[1] Sagar, J. D., Sagar, G. M., Vandan, P. P., Vijeta, P. D., Introduction of Hydroponic system and it's Methods, *International Journal for Research Trends and Innovation*, 3 (2018), 69-73

[2] Nisha, S., Somen, A., Kaushal, K., Narendra, S., Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview, *Journal of Soil and Water Conservation*, (2018), 364-371

[3] Wallace-Springer, N., Wells, D.E., Pickens, J.M., Ayipio, E., Kemble, J., Effects of Hydraulic Retention Time of Aquaculture Effluent on Nutrient Film Technique Lettuce Productivity, *Agronomy*, 12 (2022), no.10, 2570

[4] Suharjo, S., Growth Analysis of Lettuce (Lactuca Sativa L.) Using Nutrient Film Technique (NFT) in Hydroponic Systems, *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45 (2022), no.3, 805-813

[5] Hendrickson, T., Dunn, B.L., Goad, C., Hu, B., Singh, H., Effects of Elevated Water Temperature on Growth of Basil Using Nutrient Film Technique, *HortScience*, 57 (2022), no.8, 925-932

[6] Deswati, D., Tetra, O.N., Isara, L.P., Roesma, D.I., Pardi, H., Samhong mustard cultivation by utilizing tilapia waste in nutrient film technique (Nft) aquaponics system based on bioflocs, and its impact on water quality, *Rasayan Journal of Chemistry*, 14 (2021), no.4, 2559-2566

[7] Pasch, J., Ratajczak, B., Appelbaum, S., Palm, H.W., Knaus, U., Growth of Basil (Ocimum basilicum) in DRF, Raft, and Grow Pipes with Effluents of African Catfish (Clarias gariepinus) in Decoupled Aquaponics, *AgriEngineering*, 3 (2021), no.1, 92-109

[8] Pasch, J., Appelbaum, S., Palm, H.W., Knaus, U., Growth of Basil (Ocimum basilicum) in Aeroponics, DRF, and Raft Systems with Effluents of African Catfish (Clarias gariepinus) in Decoupled Aquaponics (s.s.), *AgriEngineering* 3 (2021), no.3, 559-574

[9] Laura, S., David, V.L., Edgardo, E., Eucario, G.L., Dynamic root floating technique: An option to reduce electric power consumption in aquaponic systems, *Journal of Cleaner Production*, 183 (2018), 132-142

[10] Silva, L., Gasca-Leyva, E., Escalante, E., Fitzsimmons, K.M., Lozano, D.V., Evaluation of biomass yield and water treatment in two aquaponic systems using the dynamic root floating technique (DRF), *Sustainability*, 7 (2015) no.11, 15384-15399

[11] Agbayani, L.S.T., Villaverde, J.F., Effect of Lettuce on Different Recirculation Intervals of an IoT-Based Hydroponics System Using Deep Flow Technique, *2022 IEEE Region 10 Symposium*, TENSYMP

[12] Wiangsamut, B., Wiangsamut, M.E.L., Assessment of four species of vegetables grown in deep flow technique and nutrient film technique hydroponic systems, *International Journal of Agricultural Technology*, 17 (2021), no.3, 1183-1198

[13] Rafdhi, A.A., Nandiyanto, A.B.D., Hirawan, D., Luckyardi, S., Mega, R.U., Smart Monitoring of Nutrient Content, pH Condition and Temperature in Vegetable Leaf Grown through Deep Flow Technique, *Moroccan Journal of Chemistry*, 9 (2021) no.4, 843-856

[14] Pramono, S., Nuruddin, A., Ibrahim, M.H., Design of a hydroponic monitoring system with deep flow technique (DFT), *AIP Conference Proceedings*, 2217 (2020), 030195

[15] Chrysargyris, A., Petropoulos, S.A., Fernandes, Â., Tzortzakis, N., Ferreira, I.C.F.R., Effect of phosphorus application rate on Mentha spicata L. grown in deep flow technique (DFT), *Food Chemistry*, 276 (2019), 84-92

[16] Mohamed, T.M.K., Gao, J., Abuarab, M.E., Wasef, E., El-Ssawy, W., Applying Different Magnetic Water Densities as Irrigation for Aeroponically and Hydroponically Grown Strawberries, *Agriculture*, 12 (2022), no.6, 819 2022

[17] Okasha, A.M., Eldib, E.M., Elmetwalli, A.H., Yaseen, Z.M., Elsayed, S., Maximization of Water Productivity and Yield of Two Iceberg Lettuce Cultivars in Hydroponic Farming System Using Magnetically Treated Saline Water, *Agriculture* 12 (2022), no.1, 101 2022

[18] Nuttapon, P., Worachai, S., Karun, P., Magnetic Water Systems for Increasing the Growth Rate of Hydroponics, *The 7th NEU National Conference*, (2020), 655-664

[19] Khamla, S., Tawee, C.O., Manu, F., Study of static electric and magnetic field's effects on rice seed germination rate and seedling growth of Kao Jao Deng (Oryza sativa L.) from Lao PDR, *Thai Science and Technology Journal*, (2017), no. 3, 424-434

[20] Mohammad, S., Sunita, K., Houda, T., Lucielen, Oliveira S., Renata, D., Menegatti, Meeta, J., Muhammad, I., Shiliang, L., Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview, *plants*, 9 (2020),1139

[21] Kiełbasa, P., Miernik, A., Dróżdż, T., Szczegielniak, T. Effect of electromagnetic stimulation of the active substance of selected plants on their antiseptic potential, *Przegląd Elektrotechniczny*, 98 (2022), no.5, 152-156

[22] Jakubowski, T., Syrotyuk, S., Lopushniak, V., Atilgan, A., Effect of stimulation with variable magnetic field of wheat seeds for various technological purposes, *Przegląd Elektrotechniczny*, 98 (2022), no.5, 38-42

[23] Jakubowski, T., The effect of stimulation of seed potatoes (Solanum tuberosum L.) in the magnetic field on selected vegetation parameters of potato plants, Przegląd Elektrotechniczny, 96 (2020) no.1, 166-169

[24] Abobatta, W.F., Overview of Role of Magnetizing Treated Water in Agricultural Sector Development. *Adv. Agric. Technol. Plant Sci.* (2019), no.2, 180023.

[25] Mghaiouini, R., Elaouad, A., Taimoury, H., Sabir, I., Chibi, F., Hozayn, M., Garmim, T., Nmila, R., Rchid, H., Monkade, M., Influence of the Electromagnetic Device Aqua 4D on Water Quality and Germination of Lettuce (Lactuca sativa L.). *Int. J. Curr. Eng. Technol.* (2020), 19–24.

[26] Migahid, M., Elghobashy, R., Bidak, L., Amin, A., Priming of Silybum marianum (L.) Gaertn seeds with H2O2 and magnetic field ameliorates seawater stress. *Heliyon*, (2019), no.5, e01886

[27] Huo, S., Chen, X., Zhu, F., Zhang, W., Chen, D., Jin, N., Cobb, K., Cheng, Y., Wang, L., Ruan, R., Magnetic field intervention on growth of the filamentous microalgae Tribonema sp. in starch wastewater for algal biomass production and nutrients removal: Influence of ambient temperature and operational strategy. *Bioresour. Technol.* (2020), no.303, 122884.

[28] Florez, M., Alvarez, J., Martinez, E., Carbonell, V., Stationary magnetic field stimulates rice roots growth. *Rom. Rep. Phys.* 71 (2019), 713

[29] Jaime, A.,Teixeira, D., Judit, D., Impact of magnetic water on plant growth, *Environmental and Experimental Biology* 12 (2014), 137–142

[30] Xiao, F. P., The Experimental Evidences of the Magnetism of Water by Magnetic-Field Treatment, *IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY*, 24 (2014), no. 5

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐกุล พวงประโคน เกิดเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ.2539 ที่อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาต้นและปลายที่โรงเรียนประโคนชัยพิทยาคม อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนคคราชสีมา จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี