

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรงจากคลื่นแบบขดลวดคู่



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Double coils permanent magnet linear generator from water wave



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

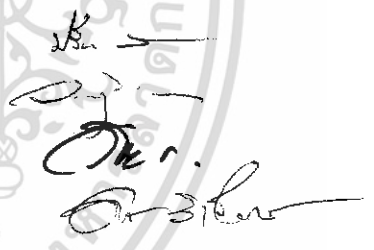
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรงจากคลื่นแบบขดลวดคู่

นักศึกษา นายอัมพุด แสงสมุทร
นายเชนทร์ธร อิ่มเสมอ
นางสาวดวงกมล คนฉลาด

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์	
กรรมการ ผศ.ดร.วราวุฒิ เกตุคดา	
กรรมการ รศ.วิชาญ เดชิตธีระ	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย	



(รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรงจากคลื่นแบบขดลวดคู่
นักศึกษา	นายเชนทร์ธร อิ่มเสมอ นางสาวดวงกมล คนฉลาด นายอัมพท แสงสมุทร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย

บทคัดย่อ

เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบเคลื่อนที่แนวตรงนี้ สามารถแปลงพลังงานจากคลื่นในมหาสมุทรมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์จากแม่เหล็กถาวรที่เคลื่อนที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวดในทิศทางตรง โดยที่ตัวขดลวดเหนี่ยวนำนี้จะถูกติดตั้งไว้ที่ฐานของเครื่องแล้วอาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดแม่เหล็กหรือที่เรียกว่า Electromagnetic gearbox เคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดของขดลวด โดยอาศัยหลักการส่งผ่านพลังงานจากการลอยตัวของฟลักซ์ ซึ่งจะลอยขึ้นลงไปตามคลื่นในมหาสมุทร จึงทำให้ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน โดยที่พลังงานที่ได้ในเบื้องต้นจะอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าสลับแบบหลายเฟสตามจำนวนของชุดขดลวด ซึ่งจะถูกรับไว้ในแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในโครงการนี้ที่ยังเป็นเพียงต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบเคลื่อนที่แนวตรงซึ่งใช้แม่เหล็กรูปทรงโดนัทจึงทำให้สามารถใช้ประโยชน์ของสนามแม่เหล็กได้จากทั้งวงในและวงนอกของสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรได้ อีกทั้งยังได้ทำการออกแบบและสร้างชุดขับ Electromagnetic gearbox ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้จำลองการเคลื่อนที่ของฟลักซ์สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ เนื่องจากยังไม่ได้ทำการติดตั้งจากสถานที่จริง (ในมหาสมุทร) ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่า เครื่องมือประสิทธิภาพรวมสูงสุดอยู่ที่ 6.976 %

Special Project Title Double coils permanent magnet linear generator from wave water

Name Mr.Chainthorn Imsamer
Miss.Duangkamol Konchalad
Mr.Umpot Sangsamut

Department Applied Physics Faculty of Science

Programme Applied Physics

Academic Year 2006

Special Project Advisor Assoc.Prof.Dr. Aree Wichienchai

ABSTRACT

The linear permanent magnetic generator is enabling conversion of ocean wave energy to electrical energy by moving of permanent magnets across the induction coils in linear direction according to Faraday induction method. The induction coils are attached to the generator base support, resulting in moving up and down motion of the magnetic set or Electromagnetic gearbox passing across induction coils from mechanical energy from buoy floater transferring. The floater is moving upward and downward depending on amplitude of ocean wave. Thus this system has no cost of fuel energy product. Initially, energy product is in the form of multi-phases alternating current which is stored in batteries by direct charging circuit. In this project proposes only the prototype of the linear permanent magnetic generator using doughnut shape magnet which utilizing the usage of magnet from both sides. And by designing electromagnetic gearbox, electrical motor has been applied to simulate moving motion of buoy in order to test its efficiency since we have not yet installed in the ocean. After testing, the generators efficiency is 6.976 %.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ
รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย ที่ได้ให้คำปรึกษาทางด้านหลักการและทฤษฎีต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไข
ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขณะทำงานวิจัยนี้อย่างใกล้ชิด ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์
และกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจตลอดเวลา จนวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท โอบอ้อมอุตสาหกรรม ที่ได้ให้การอนุเคราะห์แม่เหล็กถาวรที่ใช้ใน
โครงการนี้

ขอขอบคุณท่าน ผศ.ดร.วรารุณี เถาถัดดา ที่ได้ให้การอนุเคราะห์เกี่ยวกับเครื่องมือวัดต่างๆ
สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันได้มาจากการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่
บิดา มารดาและผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายเชนทร์ธร อิ่มเสมอ
นางสาวดวงกมล คนฉลาด
นายอัมพุด แสงสมุทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 การดำเนินงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ในขดลวดของ Michael Faraday	4
2.2 สมการเชิงคณิตศาสตร์ของ James Clerk Maxwell ที่ใช้ในการอธิบายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแนวตรง	6
2.3 สมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร	7
2.4 หลักการของกระแสไฟฟ้าสลับแบบ 3 เฟส	9
2.5 แรงลอยตัวและหลักการของอาคิเมดิส	11
2.6 สมการคลื่นรูป Sinusoidal กับการเคลื่อนที่ของ piston	13
2.7 การวิเคราะห์ (Stator analysis)	14
2.8 การออกแบบการจัดวางขั้วแม่เหล็กและขดลวด	16
2.9 เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขดลวดคู่	17
2.10 วงจรเก็บกักพลังงาน	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	21
3.1	การจัดหาแม่เหล็กถาวรรูปทรงโดนัทและทำการวัดค่าทางฟิสิกส์ที่เหมาะสม	21
3.1.1	การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงกล	23
3.1.2	การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงแม่เหล็ก	24
3.2	ออกแบบขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กให้เหมาะสมกับแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่ และการวางตำแหน่งของชุดแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic Gearbox)	26
3.3	การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงาน	29
3.4	ออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่จะใช้ประกอบเครื่องด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006	33
3.5	จำลองการเคลื่อนที่ของชุดแม่เหล็กขณะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดด้วยโปรแกรม 3 Dmax 7	34
3.6	การออกแบบและสร้างระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	36
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	39
4.1	ผลการทดลองกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดวงใน	40
4.1.1	การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาคงที่ของขดลวดวงใน	40
4.1.1.1	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 350 มิลลิวินาที	40
4.1.1.2	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 400 มิลลิวินาที	41
4.1.1.3	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 550 มิลลิวินาที	42
4.1.1.4	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 833 มิลลิวินาที	43
4.1.1.5	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1000 มิลลิวินาที	44
4.1.1.6	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1600 มิลลิวินาที	45
4.1.2	การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาไม่คงที่ของขดลวดวงใน	46
4.2	ผลการทดลองกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดวงนอก	48
4.2.1	การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาคงที่ของขดลวดวงนอก	48
4.2.1.1	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 650 มิลลิวินาที	48
4.2.1.2	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 700 มิลลิวินาที	49
4.2.1.3	การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 800 มิลลิวินาที	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.2.1.4 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 900 มิลลิวินาที	51
4.2.1.5 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1000 มิลลิวินาที	52
4.2.1.6 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1200 มิลลิวินาที	53
4.2.2 การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาไม่คงที่ของขดลวดวงนอก	54
4.3 ประสิทธิภาพของ PMLG	54
4.3.1 กำลังงานที่ใช้ในการชกกล่องเฟืองแม่เหล็ก	54
4.3.2 กำลังงานที่ได้จากขดลวดวงในและขดลวดวงนอก	56
4.3.3 ประสิทธิภาพของขดลวดวงในและวงนอก	58
4.3.4 ประสิทธิภาพรวมของระบบ	59
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1.1 ปริมาณทางฟิสิกส์เชิงกลของแม่เหล็กถาวร	23
3.1.2.1 เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ	24
3.1.2.2 เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อนที่ ความหนาต่างๆ	25
4.1.1.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 350 มิลลิวินาที	40
4.1.1.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 400 มิลลิวินาที	41
4.1.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 550 มิลลิวินาที	42
4.1.1.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 833 มิลลิวินาที	43
4.1.1.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1000 มิลลิวินาที	44
4.1.1.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1600 มิลลิวินาที	45
4.2.1.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 650 มิลลิวินาที	48
4.2.1.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 700 มิลลิวินาที	49
4.2.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 800 มิลลิวินาที	50
4.2.1.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 900 มิลลิวินาที	51
4.2.1.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1000 มิลลิวินาที	52
4.2.1.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1200 มิลลิวินาที	53
4.3.1 ค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่ของ กล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่	55
4.3.2 ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับ ค่าความต้านทานที่จ่ายให้ของขดลวดวงใน และขดลวดวงนอก	57
4.3.3 ค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงนอกและวงนอกเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า	59
4.3.4 ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1.1	ภาพปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำกระแสจากสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวด	4
2.3.1	การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด ferromagnetic ก่อนทำการ magnetization	8
2.3.2	การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด ferromagnetic หลังทำการ magnetization	8
2.3.3	สนามแม่เหล็กรอบแม่เหล็กถาวร	9
2.4.1	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	9
2.4.2	วงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส	10
2.4.3	กราฟแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส กับเวลา	10
2.5	ภาพเวกเตอร์แรงต่างๆ ที่กระทำกับวัตถุที่จมในของไหล	11
2.7	ภาพแปลนของกระแสที่พื้นผิวของ stator ซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยกระแสในขดลวดที่พันรอบ stator ในกรณีของรูป a และ b นั้นเป็นการเกิดของกระแสที่พื้นผิวของ stator ซึ่งพันลวดแบบแยกแต่ละส่วน ในกรณีของรูป c เป็นการเกิดกระแสที่พื้นผิวของ stator ซึ่งพันลวดแบบรอบ stator	16
2.8	รูปแปลนของจำนวนช่องของขดขดลวดต่อขั้ว และเฟส q เท่ากับ $6/5$	17
2.10	วงจรแปลงพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่ในรูปไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่	20
3.1.1	แม่เหล็กถาวรทำล้า โฟงที่มีรูปทรง Toriod	22
3.1.2	ขนาดของมิติต่างๆของแม่เหล็กถาวร(ในหน่วยของมิลลิเมตร)	22
3.1.3	แม่เหล็กถาวรทำล้า โฟง ที่มีรูปทรง Toroid	23
3.1.2.1	กราฟเกรเดียนต์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ	25
3.1.2.2	กราฟเกรเดียนต์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อนที่มีความหนาต่างๆ	26
3.2.1	ภาพด้านข้าง (Side view) ของขั้วเหล็กอ่อนในหน่วยของมิลลิเมตร	27
3.2.2	ภาพด้านบน (Top view) ของขั้วเหล็กอ่อน	27
3.2.3	มุมที่ทำการปาดเพื่อบังคับสนามแม่เหล็กให้ไปตัดที่ขดลวดได้พอดี	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

3.2.4	ภาพ Isometric ของของขั้วเหล็กอ่อน	28
3.2.5	รูปของการจัดวางขั้วของแม่เหล็กถาวรของกล่องเฟืองแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ electromagnetic gearbox	28
3.2.6	ชุดแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic gearbox)	29
3.3.1	ภาพด้านข้างของท่อ PVC ที่ใช้เป็น stator วงนอก	30
3.3.2	ภาพแสดงขนาดของ Stator วงใน	30
3.3.3	ภาพ Stator วงในออกแบบด้วย AutoCAD 2006	31
3.3.4	ภาพตัดของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง	31
3.3.5	ภาพแสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง	32
3.3.6	ภาพวงจรของขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 10 ชุด	32
3.4.1	ภาพของต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่ออกแบบด้วย โปรแกรม Auto CAD 2006	34
3.4.2	ภาพของต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่สร้างตามแบบที่เขียนด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006	34
3.5.1	ภาพกราฟตำแหน่งกับเวลาที่ตัดมาจาก โปรแกรม 3Dmax 7	35
3.5.2	ภาพตัวหุ่นลอยและเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่ตัดมาจาก โปรแกรม 3Dmax 7	35
3.6.1	ภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบรอบสูง	36
3.6.2	ภาพของชุดทรอบของระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	37
3.6.3	ภาพของชุดทรอบของระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	37
3.6.4	ภาพแสดงโคอะแกรมการวัดค่าประสิทธิภาพและการชาร์จแบตเตอรี่	38
4.1.1	ภาพถ่ายเครื่องออสซิลโลสโคป Tektronix รุ่น TDS 420 A ที่ใช้ในการทดลอง	39
4.1.1.1	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าของสัญญาณประมาณคาบละ 350 มิลลิวินาที	30
4.1.1.2	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าของสัญญาณประมาณคาบละ 400 มิลลิวินาที	31
4.1.1.3	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าของสัญญาณประมาณคาบละ 550 มิลลิวินาที	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.1.1.4	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 833 มิลลิวินาที	43
4.1.1.5	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1000 มิลลิวินาที	44
4.1.1.6	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1600 มิลลิวินาที	45
4.1.2.1	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่	46
4.1.2.2	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่	46
4.1.2.3	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่	47
4.2.1.1	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 650 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางซ้าย)	48
4.2.1.2	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 700 มิลลิวินาที	49
4.2.1.3	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 800 มิลลิวินาที	50
4.2.1.4	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 900 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางขวา)	51
4.2.1.5	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1000 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางขวา)	52
4.2.1.6	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1200 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางขวา)	53
4.2.2.1	กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่	54
4.3.1	กราฟแสดงค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่ทดลองเพียงแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.3.2	กราฟแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับค่าความต้านทานที่ที่จ่ายให้ของขดลวดวงใน และขดลวดวงนอก	57
4.3.3	กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงนอกและวงในเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า	59
4.3.4	กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพรวมของระบบเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆ	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันนี้ทุกประเทศมีปัญหาด้านความมั่นคงทางพลังงาน โดยที่พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ได้นั้น ได้มาจากเชื้อเพลิงที่เป็นผลิตภัณฑ์ของปิโตรเคมี ซึ่งไม่เพียงแต่จะหมดลงไปในช่วงเวลาอันใกล้ แต่การใช้เชื้อเพลิงประเภทดังกล่าวยังก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นทุกประเทศจึงพยายามค้นคว้าและวิจัยแนวทางการผลิตระบบที่สามารถสร้างแหล่งพลังงานทดแทนขึ้นมาใช้แทนเชื้อเพลิงประเภทปิโตรเคมี อาทิเช่น พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์, พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์, พลังงานจากการปล่อยน้ำออกจากเขื่อน, พลังงานจากกังหันลม เป็นต้น เนื่องจากทุกวิธีนั้นมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน การนำไปใช้จึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในปัจจัยด้านต่างๆของแต่ละประเทศ ซึ่งโครงการพิเศษนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำไปสู่การสร้างแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้ในอีกรูปแบบหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

การสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1.2.1 เพื่อสร้างแหล่งพลังงานสำรองในอนาคต
- 1.2.2 พัฒนาการประยุกต์ใช้แม่เหล็กถาวร
- 1.2.3 ศึกษาการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ
- 1.2.4 ศึกษาการออกแบบวิธีการเก็บพลังงานในรูปของไฟฟ้า
- 1.2.5 พัฒนาการประยุกต์การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้ากับระบบวัดเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบ และสร้างกลไกการทำงานของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำด้วยหลักการของฟาราเดย์
- 1.3.2 ออกแบบ และสร้างกลไกเชิงกลของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ

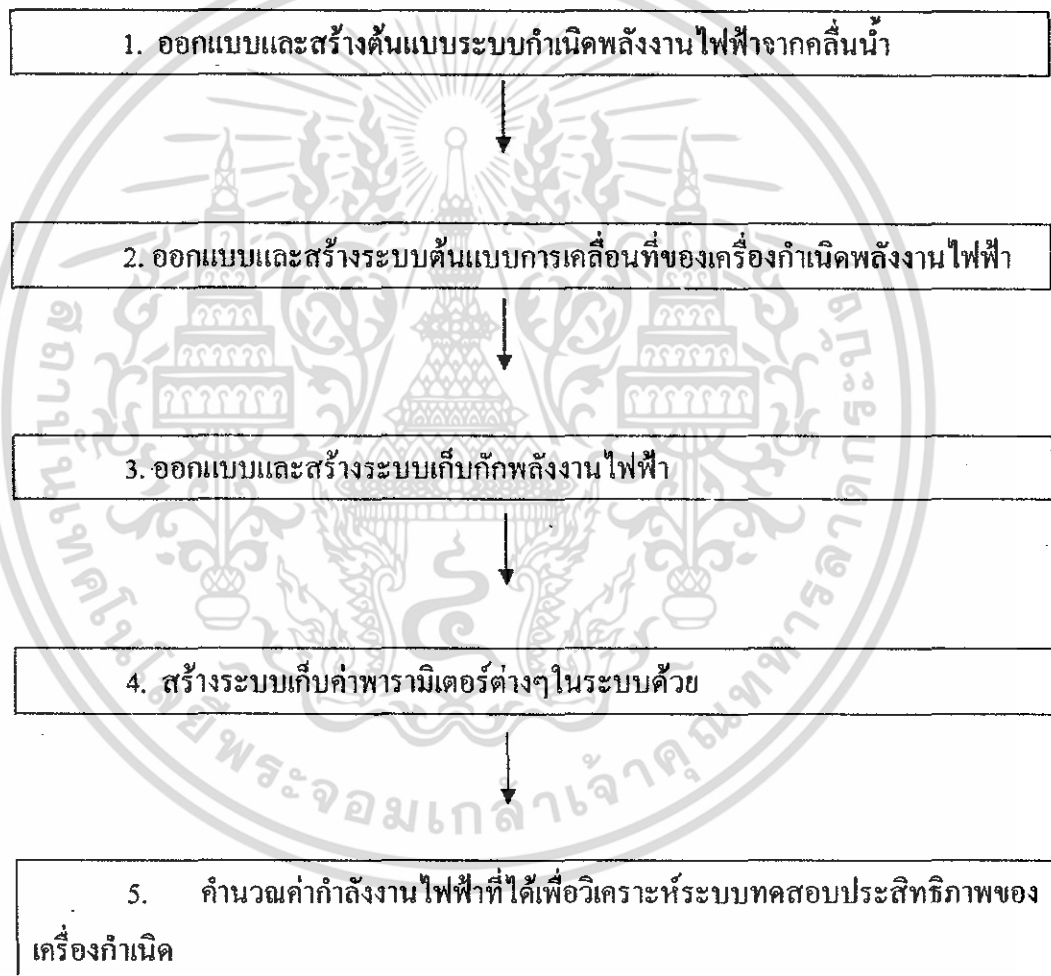
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 ออกแบบ และสร้างวงจรเก็บกักพลังงาน ไฟฟ้า

1.3.4 ออกแบบ และสร้างระบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้ากับระบบวัดเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

เนื่องจากในโครงการนี้มีส่วนประกอบหลายส่วนการที่จะติดตั้งระบบเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาทำการวิเคราะห์ระบบได้นั้น จะต้องดำเนินงานในส่วนต่างๆของระบบดังนี้



ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังนี้

1. ออกแบบและสร้างต้นแบบระบบกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ

ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จัดหาแม่เหล็กถาวรและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ
- ขดลวดเหนี่ยวนำ
- ฐานรองขดลวดเหนี่ยวนำ
- แกนนำร่องของแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่

2. ออกแบบและสร้างระบบต้นแบบการเคลื่อนที่ของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- ระบบกำเนิดแรงยกแม่เหล็กถาวรเสมือนแรงลอยตัวในสภาวะจริงตัวซึ่งปรับ
ความถี่ในการเคลื่อนที่ได้
- แกนนำร่องของแม่เหล็กถาวรช่วยในการเคลื่อนที่

3. ออกแบบและสร้างระบบเก็บกักพลังงานไฟฟ้า
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- วงจรเรียงและกรองกระแสไฟฟ้า
- ระบบการเก็บพลังงาน

4. สร้างระบบวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- ชุดวัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่าแรงดัน, ความถี่ และกระแสไฟฟ้า
- ชุดวัดค่าทางแม่เหล็ก ได้แก่ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอกขดลวด

5. คำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้ เพื่อวิเคราะห์ระบบทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง
กำเนิด

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรง
- 1.5.2 สามารถวัดประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรงได้
- 1.5.3 ทราบถึงปัจจัยการที่มีผลต่อการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บเอาไว้เป็นข้อมูลอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

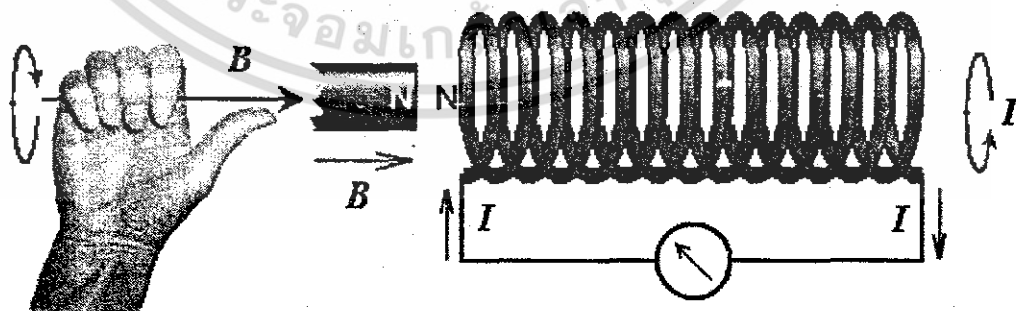
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

2.1 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ในขดลวดของ Michael Faraday

Michael Faraday ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านหน้าตัดของขดลวดซึ่งมีความเข้มของสนามที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมปลายของขดลวดเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ซึ่งแรงนี้จะไปทำให้ electron ในเส้นลวดเคลื่อนที่ตามทิศทางของกฎมือขวา เมื่อนำโพลขดลวดเข้ากับปลายขดลวดทั้งสองก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยที่แรงดันตกคร่อมปลายของเส้นลวดดังกล่าว ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางสมการเชิงคณิตศาสตร์ดังนี้

$$V_{emf} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ V_{emf} คือแรงเคลื่อน Electromotive force
 N คือจำนวนรอบของขดลวดหรืออาจจะหมายความถึงจำนวนขั้วของแม่เหล็กก็ได้
 ϕ คือฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวด
 t คือระยะเวลาระหว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก



รูปที่ 2.1.1 ภาพปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำกระแสจากสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N อาจจะเป็นค่าของจำนวนจำนวนรอบของขดลวดคูณกับค่าจำนวนขั้วของแม่เหล็กก็ได้ ส่วนเครื่องหมายลบนั้นแสดงให้เห็นว่าทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดมีทิศทางตรงข้ามกับกฎมือขวาเมื่อเราทำการหาที่มาของแรงเคลื่อน V_{emf} ต้องจะพบว่า

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B \cdot dA \cos \theta = B \cdot \cos \theta \int dA = B \cdot A \cos \theta \quad (2)$$

โดยที่ ϕ เป็นค่าฟลักซ์แม่เหล็ก หรือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดใดๆ
 B เป็นค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งมีค่าเท่ากับ $\mu(H + M)$
 A เป็นค่าพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่เราสนใจจะพิจารณาค่าสนามแม่เหล็ก
เมื่อ H เป็นค่าสนามภายนอกแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก
 M เป็นค่าสนามภายในแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก
 μ เป็นค่าความยอมให้สนามแม่เหล็กผ่านได้ในวัสดุใดๆ

มุม θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ความเข้มของสนามแม่เหล็ก B กับเวกเตอร์ปกติของพื้นที่หน้าตัด A ถ้าขนาดของพื้นที่หน้าตัด A ของขดลวด และมุม θ มีค่าคงที่ ดังนั้น

$$V_{emf} = -N \frac{dB \cdot A \cos \theta}{dt} \quad (3)$$

จากสถานะจริงทำให้การจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะกำหนดให้ A และ θ มีค่าคงที่จะได้ว่า

$$V_{emf} = -NA \cos \theta \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

ในการออกแบบนั้นเราจะพยายามบังคับให้มุม θ มีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์สุดท้ายสำหรับแรงเคลื่อน V_{emf} จะเป็น

$$V_{emf} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะพบว่าจำนวนรอบของขดลวด N และพื้นที่หน้าตัดของขดลวด A ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เทอมที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีผลทำให้แรงดัน V_{emf} เปลี่ยนแปลงไปก็คือเทอมของ $\frac{dB}{dt}$ ซึ่งจำนวนขั้วของแม่เหล็กที่มากก็จะทำให้ช่วงเวลาที่สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดน้อยลง มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก $\frac{d\phi}{dt}$ มีค่าเพิ่มขึ้น

2.2 สมการเชิงคณิตศาสตร์ของ James Clerk Maxwell ที่ใช้ในการอธิบายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแนวตรง

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแนวตรงนี้มี 2 แบบคือการวิเคราะห์แบบ Stationary (การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่ไม่ขึ้นกับเวลา) และแบบ Trans regime (การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่ขึ้นกับเวลา) ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะใช้สมการ Maxwell ในการอธิบายดังนี้

$$\nabla \times H = j_f, \quad \nabla \cdot B = 0 \quad (6)$$

เป็นสมการของภาค Static ซึ่งใช้วิเคราะห์การจำลองแบบ Stationary

โดยที่ $\nabla \times H = j_f$ มาจาก Ampere's law ซึ่งมีความหมายว่าการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าซึ่งมีความหนาแน่นของการเคลื่อนที่ของพาหะเท่ากับ j_f เกิดจากการใส่สนามแม่เหล็กลงไปในตัวนำ เมื่อ j_f คือ ความหนาแน่นของการนำกระแส (conduction current density)

และ $\nabla \cdot B = 0$ มาจาก Gauss's law for magnetic field ซึ่งมีความหมายว่าผลรวมเส้นแรงแม่เหล็กสุทธิภายในพื้นที่ใดๆจะมีค่าเท่ากับ 0 หรืออีกนัยหนึ่งสามารถกล่าวได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าพื้นที่ปิดใดๆจะเท่ากับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากพื้นที่ปิดนั้น

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad E_z = -\frac{\partial A}{\partial t} - \frac{\partial V}{\partial z} \quad (7)$$

เป็นสมการของภาคพลศาสตร์ ซึ่งใช้วิเคราะห์การจำลองแบบ Trans regime

โดยที่ $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ มาจาก Faraday's law of induction ซึ่งมีความหมายว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวกลางใดๆ จะมีผลมาจากการที่มีสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กกับเวลาที่ตัวกลางนั้น

และ $E_z = -\frac{\partial A}{\partial t} - \frac{\partial V}{\partial z}$ มาจาก Gauss's law ซึ่งมีความหมายว่าสนามไฟฟ้าในแนวแกนใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลลบของอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ศักย์เทียบกับเวลา และอัตราการเปลี่ยนแปลงศักย์ของสนามไฟฟ้าเทียบกับระยะทางในแนวแกนนั้น

$$B = \nabla A \times \hat{z} \quad (8)$$

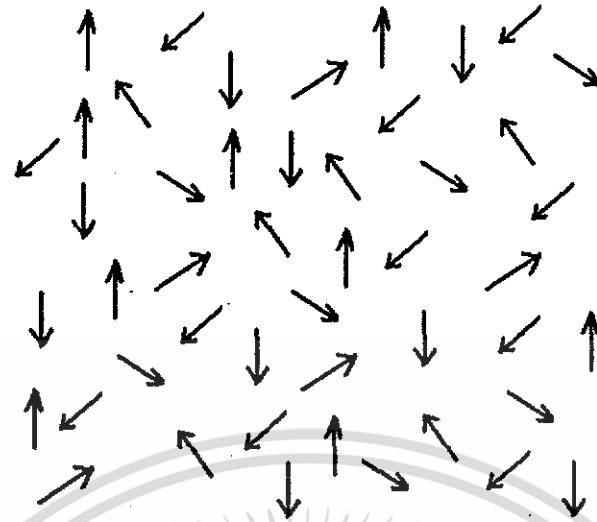
และจะกำหนดเวกเตอร์ศักย์ดังนี้

$$\nabla^2 A - \sigma \mu_0 \mu_r \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\nabla \mu \cdot \nabla A}{\mu} + \sigma \mu_0 \mu_r \frac{dA}{dz} \quad (9)$$

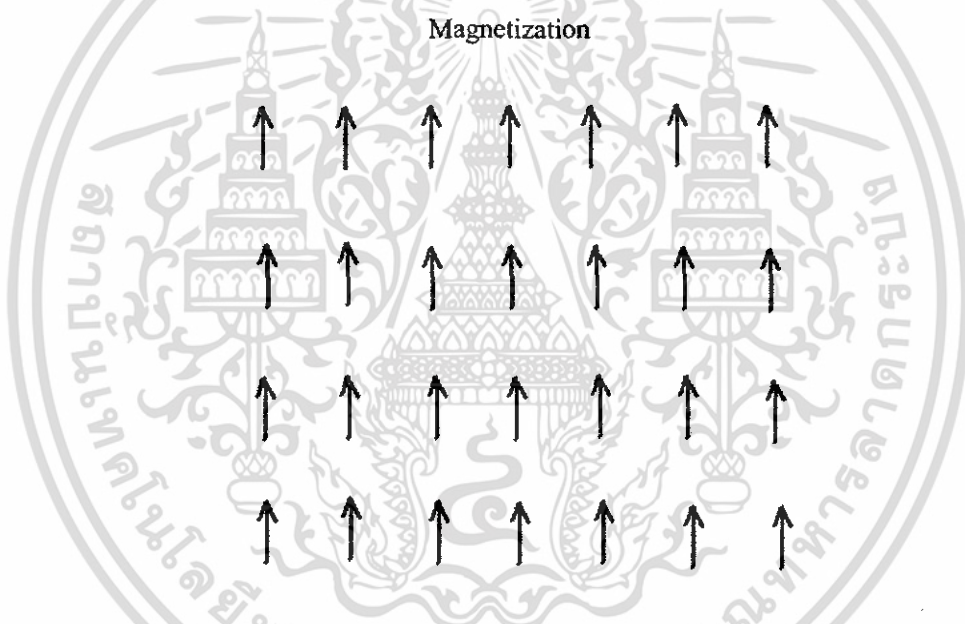
กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการ Magnetization เป็นกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลาแบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้แบบจำลองสำหรับวงจรไฟฟ้า (Stator circuit) มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลาแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่นกัน

2.3 สมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร

เนื่องจากวัสดุแม่เหล็กที่ใช้ทำเป็นแม่เหล็กถาวรมันเป็นวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ในอะตอมของวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic จะประกอบไปด้วยโมเมนต์สปินแม่เหล็ก (Spin magnetic moment) ที่การจัดเรียงตัวไปในทิศทางต่างๆ กันดังรูปที่ (2.3.1) แต่เมื่อได้รับการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กภายนอก (Magnetized) โมเมนต์สปินแม่เหล็กดังกล่าวภายในเนื้อวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic นั้นก็จะมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่(2.3.2) การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบนี้จะยังคงสภาพอยู่ต่อไปแม้ว่าจะนำสนามแม่เหล็กจากภายนอกที่ใส่ให้กับวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ออกไปแล้วก็ตาม แต่สภาพโมเมนต์สปินแม่เหล็กที่เป็นระเบียบดังกล่าวก็สามารถทำลายได้ด้วยการทำให้อะตอมภายในวัสดุดังกล่าวสั่นอย่างรุนแรง เช่นการเผาหรือการทุบตีอย่างรุนแรง



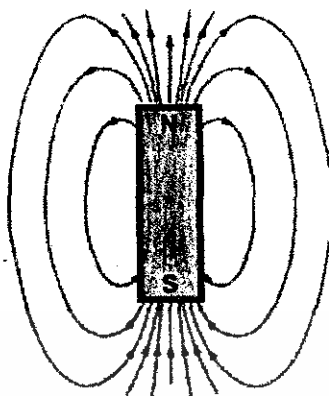
รูปที่ 2.3.1 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ก่อนการ



รูปที่ 2.3.2 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic หลังการ

Magnetization

ปรกติแล้วแม่เหล็กถาวรแต่ละชิ้นที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กจะมีขั้วในตัวเอง 2 ขั้ว คือขั้วเหนือ N และขั้วใต้ S โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ดังรูปที่ 2.3.3



รูปที่ 2.3.3 สนามแม่เหล็กกรอบแม่เหล็กถาวร

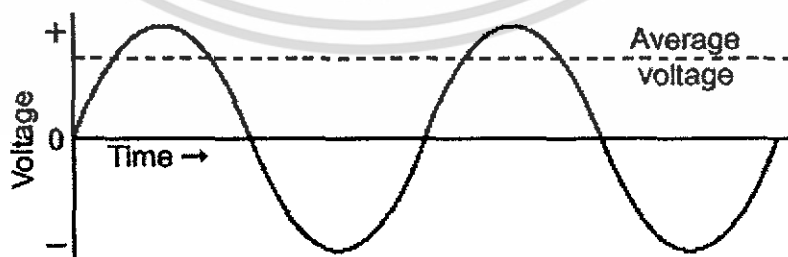
โดยที่มีความสัมพันธ์การลดทอนความเข้มของสนามแม่เหล็กตามระยะทาง
ดังสมการที่(10)

$$B = \frac{\mu B_0}{r^2} \quad (10)$$

2.4 หลักการของไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส

เนื่องจากเครื่องจักรแปลงพลังงานกลเป็นไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ให้กำเนิดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส
แบบซิงโครนัส ซึ่งกระแสไฟฟ้าชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังนี้

ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของแรงดันทั้งทางบวก
และทางลบตามเวลาเมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงที่กำหนด ดังรูปที่ 2.4.1

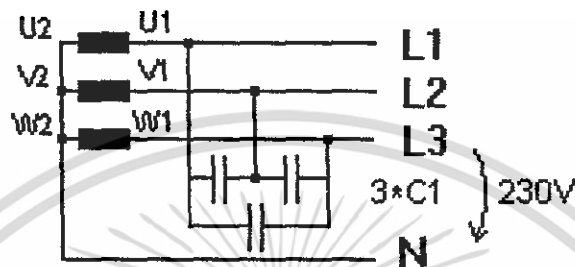


02914501

รูปที่ 2.4.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

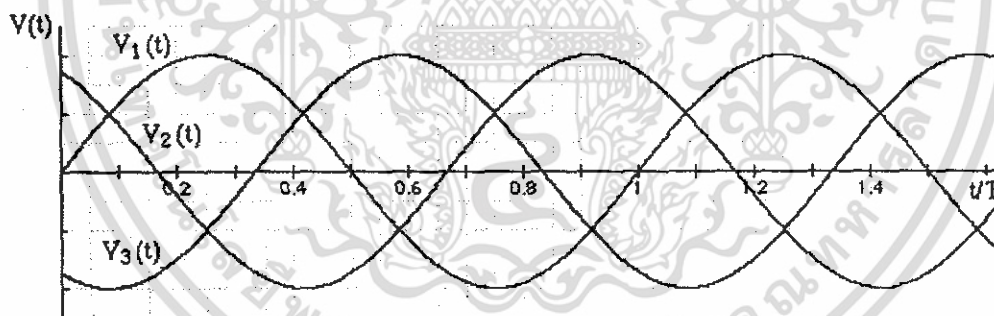
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิด 3 แหล่งกำเนิด ซึ่งทั้ง 3 แหล่งกำเนิดนี้มีจังหวะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่ไม่ตรงกัน(เฟสต่างกัน) โดยที่เราจะทำการอ้างอิงความต่างเฟสจากแต่ละแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยการนำปลายของขดลวดแต่ละขดที่ให้กำเนิดไฟฟ้ามาต่อร่วมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงหรือกราวด์ของวงจร ดังรูปที่ 2.4.2



รูปที่ 2.4.2 วงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส

โดยปกติแล้วแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่สมมาตรจะมีความต่างเฟสกันในแต่ละเฟสอยู่ 120 องศา และแอมพลิจูดสูงสุดของแรงดันในแต่ละเฟสจะมีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 2.4.3



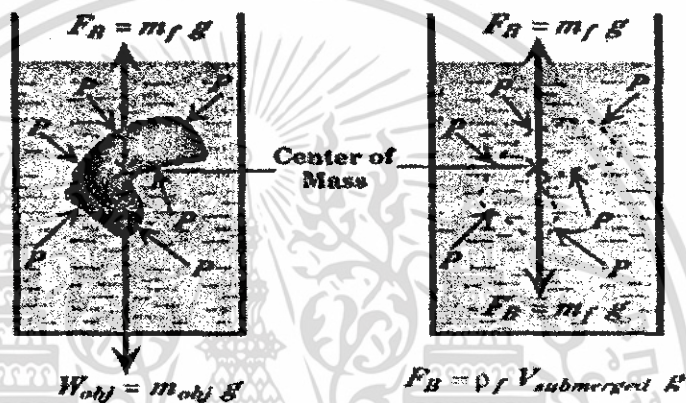
รูปที่ 2.4.3 กราฟแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส กับเวลา

การกำเนิดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส เป็นกำเนิดพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหลายแหล่งซึ่งแต่ละแหล่งจะมีเฟสตรงกันในแต่ละชุดที่มีเฟสเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แรงลอยตัวและหลักการของอาคิเมดิส (Archimedes)

แรงลอยตัว คือแรงพยุงที่ของไหลกระทำกับวัตถุในทิศทางที่ตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงเมื่อวัตถุถูกของไหลล้อมรอบ หลักการของ Archimedes มีว่าวัตถุที่จมอยู่ในของไหลทั้งหมด หรือแม้แต่เพียงบางส่วน นั้นจะมีแรงพยุงจากความดันของของไหลมาพยุงวัตถุเอาไว้เช่นกัน โดยแรงพยุงดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่วัตถุจมอยู่ ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพเวกเตอร์แรงต่างๆที่กระทำกับวัตถุที่จมในของไหล

หลักการที่สำคัญก็คือไม่ว่าวัตถุแต่ละชิ้นจะมีน้ำหนักหรือความหนาแน่นเท่าใด ถ้าปริมาตรของวัตถุที่จมอยู่ในของไหลมีปริมาตรเท่ากันแรงที่ของไหลออกแรงพยุงวัตถุจะมีค่าเท่ากัน โดยสามารถอธิบายเป็นสมการได้ว่า

ในกรณีที่วัตถุจมน้ำทั้งหมดและลอยอยู่กลางของไหลสมการการเคลื่อนที่ที่จุดศูนย์กลางมวลจะเป็นดังนี้

$$\sum F_y = 0 \longrightarrow F_B - W_{obj} = 0 \longrightarrow F_B = W_{obj} \quad (11)$$

- เมื่อ $\sum F_y$ ผลรวมแรงในแนวแกน Y
 F_B แรงที่ของไหลออกแรงพยุงวัตถุที่จมอยู่
 W_{obj} แรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $F_B = m_f g$ และ $W_{obj} = m_{obj} g$ (12)

เมื่อ m_f คือมวลของของไหล
 m_{obj} คือมวลของวัตถุ
 g คือค่านิจแรงโน้มถ่วง

ส่วนในกรณีที่วัตถุจมอยู่บางส่วนนั้น เนื่องจากความดันที่ของไหลกระทำที่ด้านล่างของวัตถุมีมากกว่าที่ด้านบน สมการผลรวมแรงรอยตัวจึงเป็น

$$\sum F_{liquid} = B = F_{bot} - F_{top} \quad (13)$$

จาก $F = PA$ (14)

ดังนั้น $F_B = P_{bot} A - P_{top} A = \Delta P A = \rho_f g h A$ (15)

$$F_B = \rho_f g V \quad (16)$$

เมื่อ P คือความดันที่ของไหลกระทำกับวัตถุ
 A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ
 ρ_f คือความหนาแน่นเชิงมวลของของไหล
 h คือความสูงของวัตถุ
 V คือปริมาตรของของไหลที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ

เมื่อนำหลักการของ Archimedes มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบหุ่นช่วยพยุงแม่เหล็กจะพบว่าน้ำหนักของ Electromagnetic gearbox รวมกับตัวหุ่นเองแล้วต้องมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่หุ่นจมอยู่ในน้ำ ซึ่งการเลือกวัสดุที่ใช้ทำหุ่นที่เหมาะสมก็คือวัสดุที่มีความหนาแน่นเชิงมวลต่ำๆเป็นหลัก ส่วนรูปทรงนั้นต้องมีการศึกษาทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamic) ต่อไป เพื่อให้หุ่นที่ออกแบบสามารถถ่ายทอดพลังงานจากแอมพลิฟายเออร์ของคลื่นมาเป็นแรงในการยก Electromagnetic gearbox ให้ได้มากที่สุด

2.6 สมการคลื่นรูป Sinusoidal กับการเคลื่อนที่ของ Piston

จากกฎการเคลื่อนที่ของ Newton สมการสำหรับสมการการเคลื่อนที่ของ Piston จะเป็น

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{buoy} + F_{en} + F_{spring} + F_{stop} + F_g \quad (17)$$

เมื่อ F_{buoy} คือเป็นแรงของ การลอยตัวทูน
 F_{en} คือแรงแม่เหล็ก
 F_{spring} คือแรงสปริง
 F_{stop} คือตัวช่วยหยุด
 F_g คือน้ำหนักของ Piston

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของทูนจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแอมพลิจูดของคลื่นที่เข้ามาซึ่งเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแล้วจะพบว่ามีลักษณะเป็น Simple harmonic ที่มีสมการของตำแหน่งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาดังนี้

$$x(t) = x_{max} \sin(\omega t + \phi) \quad (18)$$

เมื่อ $x(t)$ คือตำแหน่งของทูนที่เวลาใดๆ
 x_{max} คือระยะสูงสุดที่ทูนเคลื่อนที่ได้เมื่อเทียบกับจุดสมดุล
 ω คือความถี่เชิงมุมของคลื่นที่เข้ามาโดยสามารถหาได้จากคาบของคลื่น T ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นสมการว่า $\omega = \frac{2\pi}{T}$
 ϕ คือเฟสเริ่มต้นของคลื่นที่เข้ามา

เมื่อ x_{max} และ ϕ ค่าคงที่จะหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของทูนที่สัมพันธ์โดยกับคลื่นที่เข้ามาได้ดังนี้

จาก (17)
$$\frac{dx(t)}{dt} = x_{max} \frac{d}{dt} \sin(\omega t + \phi) = \omega x_{max} \cos(\omega t + \phi) \quad (19)$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = \omega x_{\max} \frac{d}{dt} \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x_{\max} \sin(\omega t + \phi) \quad (20)$$

ดังนั้นสมการสมการการเคลื่อนที่ของ Piston เมื่อนำ (19) แทนลงใน (16) จะเป็นดังนี้

$$-m\omega^2 x_{\max} \sin(\omega t + \phi) = F_{\text{buoy}} + F_{\text{en}} + F_{\text{spring}} + F_{\text{stop}} + F_g \quad (21)$$

หรือ

$$-m \frac{4\pi^2 x}{T^2} x_{\max} \sin(\omega t + \phi) = F_{\text{buoy}} + F_{\text{en}} + F_{\text{spring}} + F_{\text{stop}} + F_g \quad (22)$$

2.7 การวิเคราะห์สเตเตอร์ (Stator analysis)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีทรงกลมนั้นจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการหลีกเลี่ยงผลกระทบของขอบเขตสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในตัวอย่างนี้ค่าความเหนี่ยวนำแผ่ของปลายขดลวดจะปรากฏใน Stator ที่ไม่เป็นทรงกลม ซึ่งจะหายไปเมื่อเครื่องมีลักษณะของ Piston และ Stator ก่อนข้างกลมที่ประกอบด้วยด้านจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มี Stator เพียง 2 ด้านกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีทรงกลมแบบนี้ดูแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีทรงกลมจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า และผลที่ตามมาคือต้นทุนของการผลิตต่อเครื่องจะสูงขึ้น เพื่อที่จะให้มันมีรูปทรงเข้าใกล้เครื่องกำเนิดทรงกลมมากที่สุด ซึ่งจะลดผลเสียที่เกิดกับเครื่องกำเนิดแบบ 2, 4, 6 และ 8 ด้าน

แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ (แผ่นเหล็กที่เป็นโครงของ Slot ทำจากเหล็กอ่อน) ใน Stator จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆวางซ้อนกันหลายๆแผ่นเพื่อลดการเกิดกระแส Eddy ในขดลวด และลดการซึมซับสนามแม่เหล็กในแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งกระแส Eddy พื้นผิวของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ Stator นั้นจะเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กในบริเวณที่มีช่องว่างอากาศระหว่างแต่ละด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ช่องว่างของอากาศขนาดเล็กนั้นสามารถแก้ไขได้โดยให้มุมระหว่างแต่ละส่วนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียดรอกของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นวิธีนี้จึงสามารถป้องกันการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กได้ อันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มความต้านทานของวงจร โดยการเพิ่มความยาวของสายส่งซึ่งจะสูญเสียพลังงานไปบางส่วน แต่ยังไม่คิดถึงการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กระหว่างขอบของแต่ละส่วนของ Stator ในการแบ่งเฟสของพลังงานให้เห็นถึงแต่ละเฟส และแสดงให้เห็นถึงการใช้ค่า q ซึ่งเป็นจำนวนของช่องต่อขั้วและเฟสที่ใช้ในรูป ในกรณีที่พันลวดรอบทุกส่วนของ Stator ถ้าความยาวของตัวนำนั้นสั้นก็จะทำให้การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานจะเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากทำให้ค่าความเหนี่ยวนำที่ปลายขดลวด L มีค่า

ค่าซึ่งจะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของเครื่องกำเนิดมีค่าต่ำเช่นกัน โดยสามารถพิสูจน์จากสมการค่าอิมพีแดนซ์ในไฟฟ้ากระแสสลับดังนี้

$$Z = [R^2 + (X_L^2 + X_C^2)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

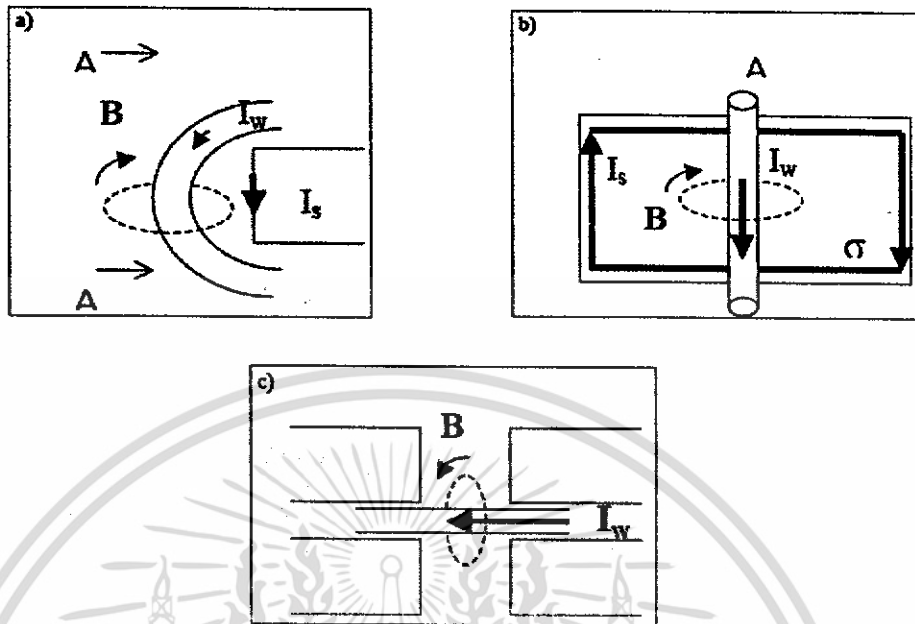
โดยที่ $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ (24)

เมื่อ	R	เป็นค่าความต้านทานคงที่ของลวด
	X_L	เป็นค่าความต้านทานเนื่องจากค่าความถี่ประจุของขดลวด
	X_C	เป็นค่าความต้านทานเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด
	L	เป็นค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด
	C	เป็นค่าความถี่ประจุไฟฟ้าของขดลวด
	f	เป็นค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด

ในที่นี้มีค่าความถี่ประจุไฟฟ้าของขดลวดน้อยจนสามารถประมาณให้เท่ากับ 0 ได้ ดังนั้นผลเฉลยของสมการค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดขณะทำงานจะเป็น

$$Z = [R^2 + X_L^2]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

ตามที่ Biot-Savart ได้กล่าวไว้ว่ากระแส I_w ภายในลวดที่ Stator จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก B ดังรูปที่ 4 ฟลักซ์แม่เหล็ก B จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแส I_r ที่ผิวของแผ่นอิเล็กโตรที่ Stator ดังรูปที่ 2.7a และ 2.7b ซึ่งการเกิดการเหนี่ยวนำคู่ทั้งสองนี้สามารถหักล้างได้โดยการพันลวดรอบทุกส่วน ดังรูปที่ 2.7c



รูปที่ 2.7 แผนภาพของกระแสที่พื้นผิวของ Stator ซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยกระแสในขดลวดที่พันรอบ Stator ในกรณีของรูป a และ b นั้นเป็นการเกิดของกระแสที่พื้นผิวของ Stator ซึ่งผลิตขดแบบแยกแต่ละส่วน (Surface mounts) ในกรณีของรูป c เป็นการเกิดกระแสที่พื้นผิวของ Stator ซึ่งผลิตขดแบบรอบ Stator (Burries)

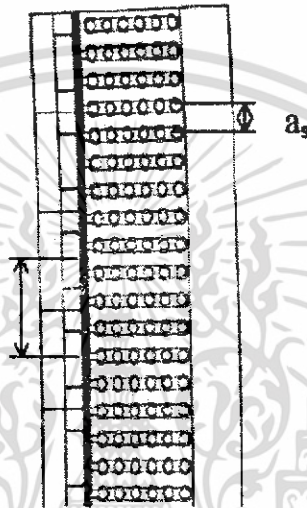
2.8 การออกแบบการจัดวางขั้วแม่เหล็กและขดลวด

การจำลองต่างๆที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงรูปทรงเรขาคณิตของ Stator ที่มีอิทธิพลกับลักษณะของกำลังงาน และลักษณะการจัดวางขั้วแม่เหล็กของ Electromagnetic gear ของเครื่อง ซึ่งจำนวนช่องของขดขดลวดต่อขั้ว และเฟสนั้น ค่า q มีผลต่อการหาระยะห่างระหว่างช่องของขดขดลวด (Slot) ในการอธิบายความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของจำนวนช่องของขดขดลวดต่อขั้ว และเฟสเป็นดังสมการนี้

$$q = \frac{\tau_s}{3a_s} \quad (26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ 3 เป็นจำนวนของเฟส ส่วน τ_s เป็นจำนวนของระยะห่างระหว่างขั้วของชุดแม่เหล็ก และ a_s เป็นระยะห่างระหว่างช่องของชุดขดลวดที่ Stator ในตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 2.8 จำนวนช่องของชุดขดลวดต่อขั้ว และเฟสเป็น 6/5 ซึ่งนั่นหมายความว่าสำหรับช่องของชุดขดลวด 6 ช่องจะกระจายปกคลุมระยะของขั้ว 5 ขั้วในแต่ละเฟส ดังนั้น Stator ที่มี 3 เฟสจะมี 18 ช่องของชุดขดลวดกระจายปกคลุม 5 ขั้ว



รูปที่ 2.8 รูปแปลนของจำนวนช่องของชุดขดลวดต่อขั้ว และเฟส q เท่ากับ 6/5

ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของกำลังเอาต์พุตที่ได้นั้นแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งการกระเพื่อมของแรงดันในการกำเนิดกำลังงานนั้นเกิดจากการสั่นของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีผลมาจากการเคลื่อนที่ของ Piston และยังมีเหตุมาจากความไม่เสถียรของระบบที่เกิดจากความผิดปกติของการกำเนิดไฟฟ้า

2.9 เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขดลวดคู่

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้าจากคลื่นน้ำแต่เดิมใช้แม่เหล็กเป็นลักษณะจานจึงทำให้สามารถให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าได้จากขดลวดภายนอกเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าใช้แม่เหล็กรูปทรง Toroid แล้วจะพบว่าเราสามารถได้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กของพื้นที่ภายในรูของแม่เหล็กรูปทรง Toroid โดยที่อัตราส่วนพลังงานที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ภายในรูของแม่เหล็กรูปทรง Toroid นั้น โดยที่สัดส่วนของอัตราการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของขดลวดวง

ในและขดลวดวงนอกซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพของชุดขดลวดที่ออกแบบเอาไว้ซึ่งมีที่มาดังนี้

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดจะมีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

จาก

$$P = \frac{E}{T} = \frac{V_{rms}^2}{Z} \quad (27)$$

โดยที่	P	คือกำลังงานไฟฟ้า (วัตต์)
	E	คือพลังงานไฟฟ้า (จูล)
	T	คือเวลารวมที่เครื่องทำงาน (วินาที)
	V_{rms}	คือรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
	Z	คือค่าความต้านทานภายในรวมของขดลวดขณะทำงาน (โอห์ม)

ดังนั้น

$$E = \frac{V_{rms}^2}{R} T \quad (28)$$

โดยที่

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (29)$$

แทนสมการที่ (29) ลงในสมการที่ (28) จะได้

$$E = \frac{\left(\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} T \quad (30)$$

นำค่า V_{max} จากสมการที่ (5) มาแทนลงในสมการที่ (30) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \frac{\left(\frac{NA\Delta B}{\sqrt{2\Delta t}}\right)^2}{R} T \quad (31)$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$E = \frac{1}{2} \frac{T}{R} \left(\frac{NA\Delta B}{\Delta t}\right)^2 \quad (32)$$

เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนพลังงานที่ได้ของขดลวดทั้งวงในและวงนอกจะได้ว่า

$$\frac{E_i}{E_e} = \frac{\frac{1}{2} \frac{T}{R_i} \left(\frac{N_i A_i \Delta B}{\Delta t}\right)^2}{\frac{1}{2} \frac{T}{R_e} \left(\frac{N_e A_e \Delta B}{\Delta t}\right)^2} \quad (33)$$

โดยที่ E_i คือพลังงานจากขดลวดวงใน
 E_e คือพลังงานจากขดลวดวงนอก

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

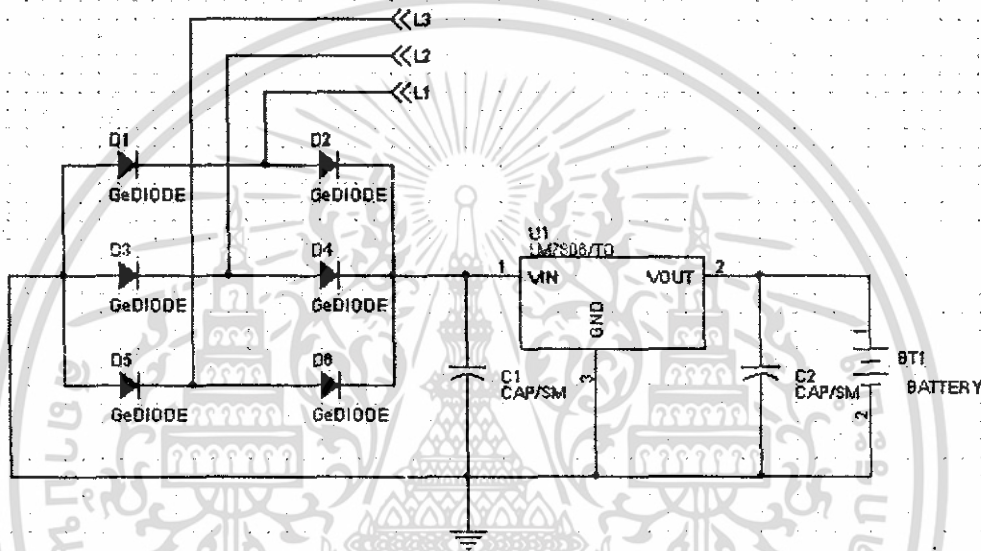
$$\frac{E_i}{E_e} = \frac{R_e (N_i A_i)^2}{R_i (N_e A_e)^2} \quad (34)$$

จากสมการที่ (34) จะสรุปได้ว่าอัตราส่วนพลังงานที่ได้จากขดลวดภายในและขดลวดภายนอกจะขึ้นอยู่กับกรอบขดลวดซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญดังนี้

1. ขนาดของพื้นที่รับสนามแม่เหล็กของขดลวดซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายในและภายนอกแม่เหล็กถาวรที่ใช้
2. จำนวนรอบของขดลวดซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ
3. ค่าความต้านทานของขดลวดซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนรอบของขดลวด

2.10 วงจรเก็บกักพลังงาน

เนื่องจากพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส ในเบื้องต้นนี้จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้อยู่ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันคงที่แล้วจึงนำมาเก็บกักเอาไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ด้วยวงจรแปลงกระแสดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรแปลงพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่ในรูปไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่

ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้อยู่ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรงด้วยการเรียงกระแสโดยใช้เซอรัมเนียมไดโอด 6 ตัว เนื่องจากเป็นไดโอดที่มีแรงดันซิดเริ่มต่ำกว่าซิลิกอนไดโอดคือที่ 0.37 โวลต์จึงทำให้สูญเสียพลังงานในการเรียงกระน้อยกว่าใช้ซิลิกอนไดโอด ซึ่งจะทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังคงมีการแกว่งของสัญญาณ ต่อมาทำการลดแอมพลิจูดการแกว่งของสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ และเร็กกูเลเตอร์ ดังนั้นจึงทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปอัดไฟฟ้าเข้าไปที่แบตเตอรี่ตามที่ต้องการ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ โดยที่เรจะมีภารกิจลอง การเคลื่อนที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อเป็นตัวขับให้ แม่เหล็กเคลื่อนที่แทนคลื่นในน้ำจริงที่จะส่งกำลังงานผ่านสายสลิงมายังทุ่นมาที่ติดอยู่กับแม่เหล็ก ถาวร ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทดสอบประสิทธิภาพ



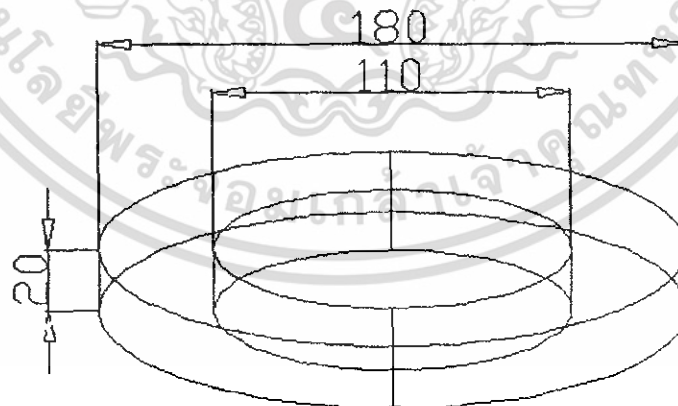
8. ออกแบบวงจรเก็บพลังงานที่เหมาะสม

3.1 การจัดหาแม่เหล็กถาวรรูปทรงโดนัทและทำการวัดค่าทางฟิสิกส์ที่เหมาะสม

แม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท โอบอ อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแม่เหล็กที่ใช้ทำลำโพง ที่มีรูปทรงคล้ายโดนัทดังรูปที่ 3.1.1 และรูปที่ 3.1.2 เมื่อทำการวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงกลและเชิงแม่เหล็กพบว่าได้ผลดังนี้



รูปที่ 3.1.1 แม่เหล็กถาวรทำลำโพงที่มีรูปทรง Toriod



รูปที่ 3.1.2 ขนาดของมิติต่างๆของแม่เหล็กถาวร(ในหน่วยของมิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.3 แม่เหล็กถาวรทำล้าโพง ที่มีรูปทรง Toroid

3.1.1 การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงกล

ปริมาณทางฟิสิกส์เชิงกลของแม่เหล็กถาวรที่สำคัญในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำคือ

- น้ำหนักของแม่เหล็กแต่ละชิ้น เพื่อสามารถคำนวณน้ำหนักรวมของชุดแม่เหล็กได้
- ขนาดในมิติต่างๆ เพื่อสามารถประเมินค่ามิติต่างๆที่ใช้ในการออกแบบโครงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ
- ความหนาแน่นเชิงมวล เพื่อสามารถคำนวณแรงลอยตัวที่น้ำกระทำกับแม่เหล็ก และใช้ในการออกแบบขนาดของทุ่นลอยที่รับพลังงานจากคลื่นได้

ซึ่งค่าต่างๆมีดังตารางที่ 3.1.1

น้ำหนัก	ปริมาตร	ความหนาแน่น
3.77 kg	797.18 cm ³	4731.12 kg/m ³

ตารางที่ 3.1.1 ปริมาณทางฟิสิกส์เชิงกลของแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงแม่เหล็ก

ปริมาณทางฟิสิกส์เชิงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่สำคัญในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำคือ

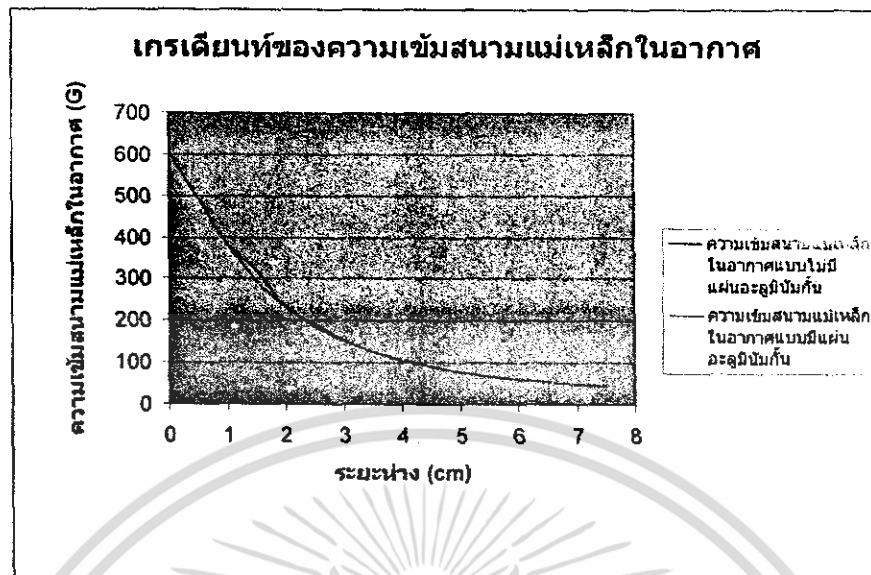
- เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ
- เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อนที่มีความหนาต่างๆ

ซึ่งค่าต่างๆมีดังตารางต่อไปนี้

ไม่มีแผ่นอะลูมิเนียมกัน		มีแผ่นอะลูมิเนียมกัน	
X (cm)	H (G)	X (cm)	H (G)
0	607	0	ไม่สามารถวัดได้
0.5	491	0.5	ไม่สามารถวัดได้
1	380	1	380
1.5	320	1.5	293.8
2	233.7	2	234.5
2.5	191.2	2.5	186.2
3	152	3	151.6
3.5	125.2	3.5	126.8
4	106.7	4	106.3
4.5	91.2	4.5	91.2
5	78.7	5	78.9
5.5	69.4	5.5	69.6
6	61.4	6	61.3
6.5	55.1	6.5	55.1
7	49.4	7	49.4
7.5	44.4	7.5	44.7

ตารางที่ 3.1.2.1 เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

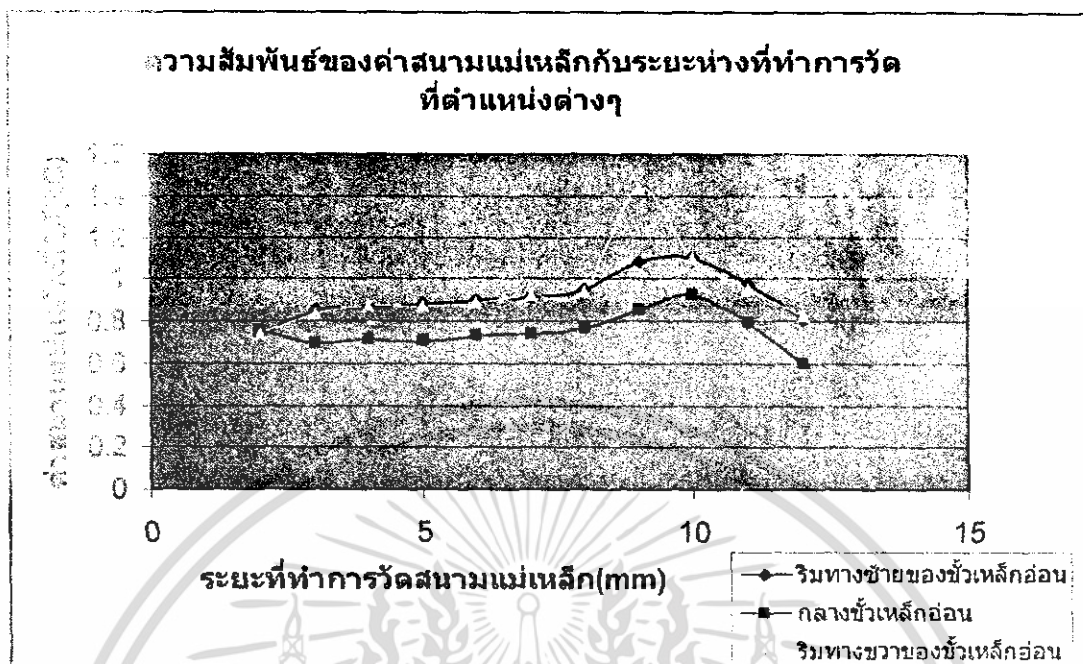


รูปที่ 3.1.2.1 กราฟแสดงแนวโน้มของความชื้นสนามแม่เหล็กในอากาศ

ความหนาของขั้วเหล็กอ่อน (mm)	ความชื้นสนามที่ตำแหน่งต่างๆ (kG)		
	ริมขั้ว(ซ้าย)	กลางขั้ว	ริมขั้ว(ขวา)
2	0.732	0.756	0.737
3	0.854	0.696	0.837
4	0.861	0.71	0.872
5	0.882	0.7	0.866
6	0.9	0.732	0.886
7	0.912	0.742	0.927
8	0.95	0.767	0.943
9	1.082	0.85	1.43
10	1.1	0.926	1.098
11	0.976	0.789	0.953
12	0.811	0.602	0.824

ตารางที่ 3.1.2.2 กราฟแสดงแนวโน้มของความชื้นสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อน
รูปสี่เหลี่ยมที่มีความหนาต่างๆ

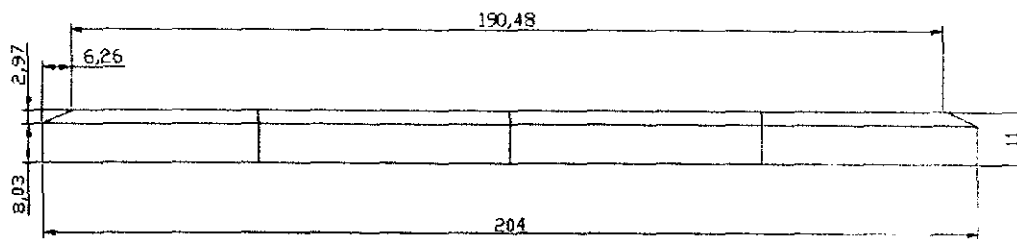
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



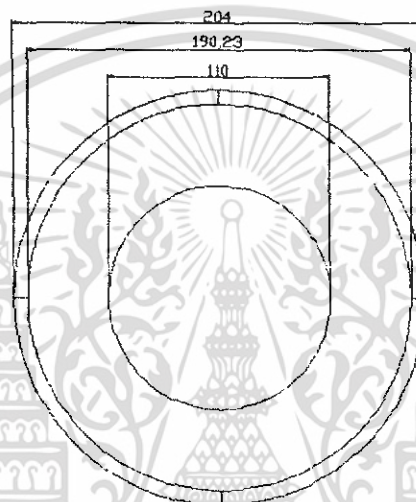
รูปที่ 3.1.2.2 กราฟเกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อน
ที่ความหนาต่างๆ

3.2 ออกแบบขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กให้เหมาะสมกับแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่ และการวาง ตำแหน่งของชุดแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic gearbox)

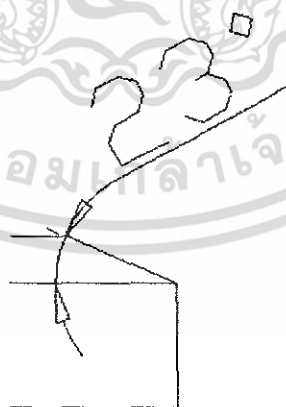
การออกแบบขั้วเหล็กอ่อนนั้นมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการบังคับสนามให้สามารถไปตัดกัน
ที่ขดลวดพอดีเนื่องจากระหว่างขดลวดที่พันอยู่กับท่อ PVC จากขนาดของแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่นั้น
พบว่าเหมาะสมกับท่อพีวีซีขนาด 10 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมีค่า 216 mm และเส้นผ่าน
ศูนย์กลางภายในมีค่า 204 mm) แต่เนื่องจากแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก
180 mm ทำให้เหลือช่องว่างระหว่างขดลวดกับแม่เหล็กถาวรมาก เพื่อลดช่องว่างดังกล่าวจึงมีการ
สร้างขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กและบังคับสนามแม่เหล็กให้ไปตัดที่ขดลวดได้พอดี เมื่อทำ
การออกแบบแล้วขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.2.1-3.2.4



รูปที่ 3.2.1 ภาพด้านข้าง (Side view) ของขั้วเหล็กอ่อนในหน่วยของมิลลิเมตร



รูปที่ 3.2.2 ภาพด้านบน (Top view) ของขั้วเหล็กอ่อน



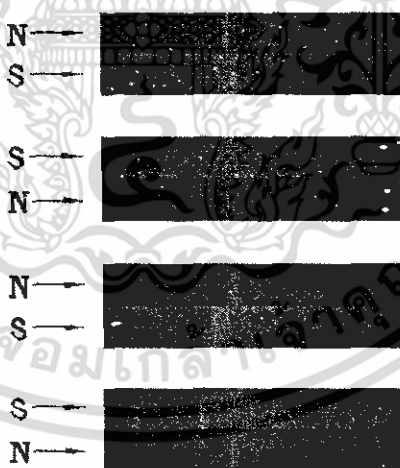
รูปที่ 3.2.3 รูปสองมิติด้านข้างของมุมที่ทำการปาดขั้วเหล็กอ่อนเพื่อบังคับสนามแม่เหล็ก
ให้ไปตัดที่ขดลวดได้พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



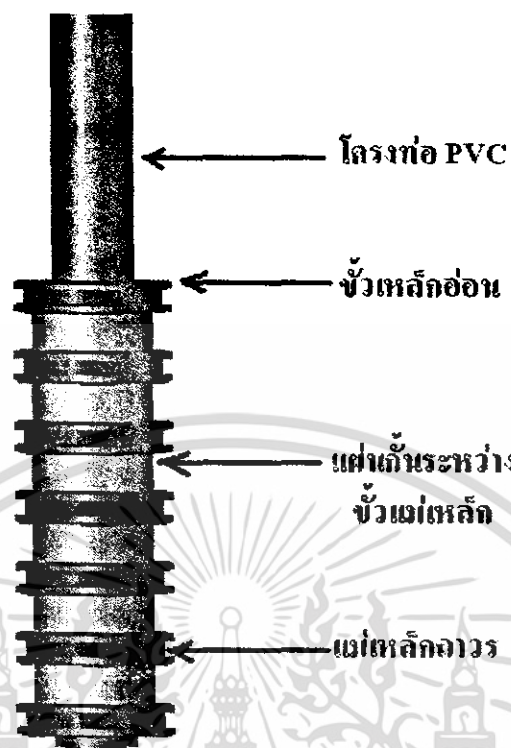
รูปที่ 3.2.4 ภาพสามมิติของขั้วเหล็กอ่อน

ส่วนในการวางตำแหน่งของชุดแม่เหล็กถาวรหรือกล่องเฟืองแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic gearbox) จะเป็นการนำแม่เหล็กถาวรหลายๆอันมาวางซ้อนกัน โดยที่แม่เหล็กอ่อนที่อยู่ติดกันจะถูกวางให้ขั้วที่เหมือนกันหันหน้ามาเจอกันดังรูปที่ 3.2.5 ซึ่งจะให้เกิด Gradient field ที่มีค่าสูงขึ้น โดยที่เมื่อประกอบกันเข้าเป็นชุดแม่เหล็กถาวรแล้วตัวแม่เหล็กถาวรแต่ละอันจะมีขั้วเหล็กอ่อนประกบทั้งด้านที่เป็นขั้วเหนือและขั้วใต้ดังรูปที่ 3.2.6 ชุดแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 3.2.5 รูปของการจัดวางขั้วของแม่เหล็กถาวรของกล่องเฟืองแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ Electromagnetic gearbox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.6 แม่เหล็กถาวรประกอบเป็นชุดกล่องเกียร์ (Electromagnetic gearbox)

3.3 การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงาน

การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานและขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กนั้นต้องทำการออกแบบให้มีมิติต่างๆที่สัมพันธ์กัน เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่จะมาตัดผ่านขดลวดนั้นจะออกมาจากแม่เหล็กถาวรแล้วส่งผ่านออกไปทางขั้วเหล็กอ่อนไปตัดผ่านขดลวด ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะได้รับและให้เหมาะสมกับชุดแม่เหล็กถาวรที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้ก่อนแล้ว

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่ให้กำเนิดกำลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบซิงโครนัสดังนั้นจึงใช้หลักการจากหัวข้อ 2.8 เป็นหลักในการออกแบบโดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

จากสมการที่ (26)

$$q = \frac{\tau_s}{3a_s}$$

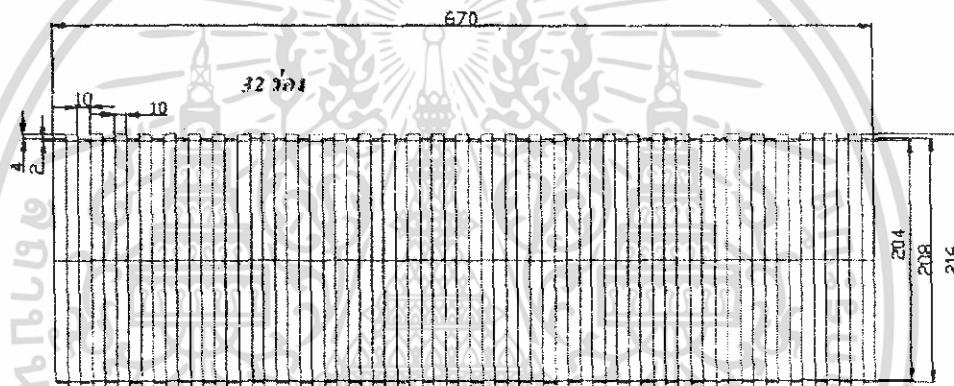
กำหนดค่า $\tau_s = 90 \text{ mm}$

$a_s = 20 \text{ mm}$

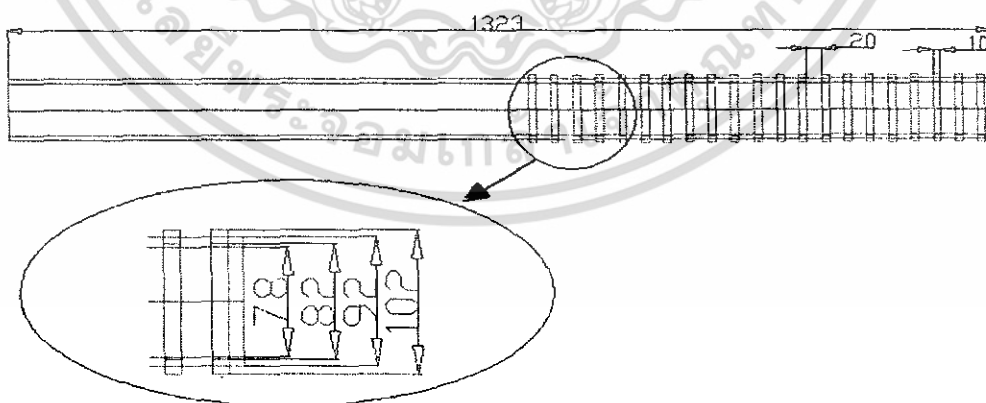
ดังนั้น

$q = 3/2$

ค่า q หมายความว่า จะมีชุดขดลวด 3 เฟส 3 ชุด (9 ชุด) กระจายปกคลุมระยะของขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เนื่องจากท่อ PVC ที่ใช้เป็น Stator มีขนาดดังรูปที่ 3.3.1 จึงมีขดลวดทั้งหมด 30 ชุด เพราะมีการต่อร่องที่ปลายทั้ง 2 ด้านของ Stator กล่าวคือจะมีขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 10 ชุด



รูปที่ 3.3.1 ด้านข้างของท่อ PVC ที่ใช้เป็น Stator วงนอก (หน่วย mm.)



รูปที่ 3.3.2 ขนาดของขดลวด Stator วงใน (หน่วย mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

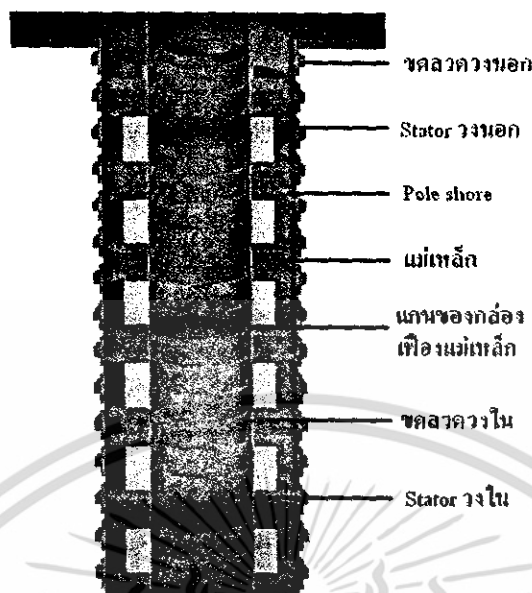


รูปที่ 3.3.3 ขนาดลวด Stator วงในเขียนแบบ โปรแกรม AutoCAD 2006



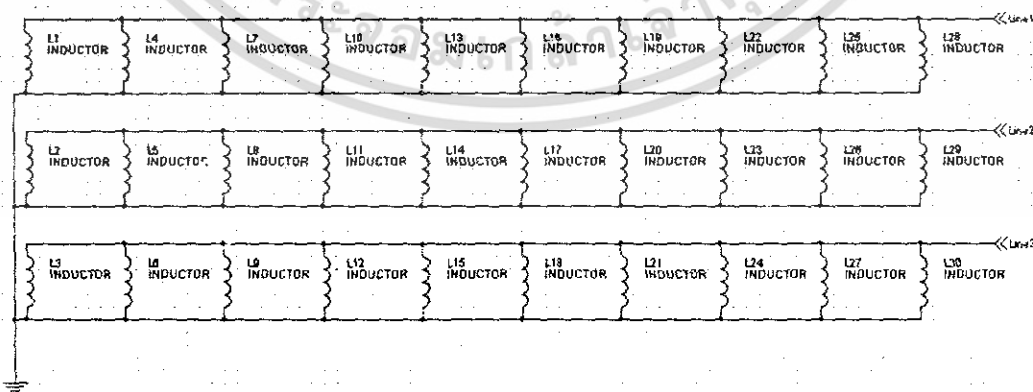
รูปที่ 3.3.4 ภาพตัดให้เห็น โครงสร้างภายในของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.5 แสดงส่วนต่างๆ ภายในและภายนอกของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง

จากขนาดของแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่นั้นพบว่าเหมาะสมกับท่อพีวีซีขนาด 10 นิ้ว (216 มิลลิเมตร) ที่จะใช้เป็นโครงในการพันลวดวงนอกและท่อพีวีซีขนาด 3.5 นิ้ว (89 มิลลิเมตร) ที่จะใช้เป็นโครงในการพันลวดวงใน โดยที่ทั้งวงนอกและวงในนั้นจะถูกเซาะร่องไว้สำหรับพันลวดซึ่งมีลักษณะเป็นร่องๆที่มีความกว้างของร่องเท่ากันทุร่องทั้งวงนอกและวงใน และมีระยะห่างของแต่ละร่องเท่ากันเรียงต่อกันไป จะทำให้เกิดเป็นขดลวดหลายๆขด แล้วทำการแบ่งทีละขดซึ่งในแต่ละขดจะมี 3 ขด แล้วนำขดแรกของแต่ละขดมารวมกันก็จะได้เป็นเฟสที่ 1 นำขดที่ 2 ของแต่ละขดมารวมกันก็จะได้เป็นเฟสที่ 2 และนำขดที่ 3 ของแต่ละขดมารวมกันก็จะได้เป็นเฟสที่ 3 ดังรูปที่ 3.3.6



รูปที่ 3.3.6 วงจรของการเชื่อมต่อขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 10 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณจำนวนรอบของขดลวดจะพิจารณาจากสมการที่ (5) ในบทที่ 2

$$V_{emf} = -NA \frac{dB}{dt}$$

จากสมการดังกล่าวเมื่อจัดรูปใหม่ให้อยู่ในเทอมของ N เท่ากับจะได้ว่า

$$N = -\frac{V_{emf}}{A} \frac{dt}{dB} \quad (35)$$

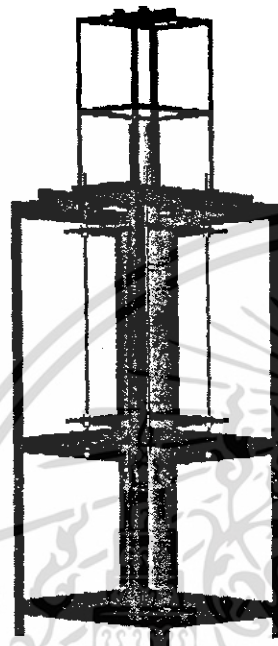
จะพบว่าจำนวนรอบของขดลวดจะขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_{emf} ที่ต้องการ พื้นที่หน้าตัดขดลวด A และอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา $\frac{dB}{dt}$ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กต่อหน่วยเวลานี้จะพิจารณาจากแอมพลิจูดของคลื่น ความถี่ของคลื่น ระยะห่างระหว่างขั้วเหล็กอ่อน และค่าผลต่างความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กของชุดแม่เหล็กถาวร (Gearbox) เมื่อทำการคำนวณแล้วพบว่าขดลวดวงในใช้ลวดเบอร์ 29 (0.38 mm) จำนวน 962 รอบ และ ขดลวดวงนอกใช้ลวดเบอร์ 27 (0.44 mm) จำนวน 540 รอบ

3.4 เขียนแบบและออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่จะใช้ประกอบเครื่องด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006

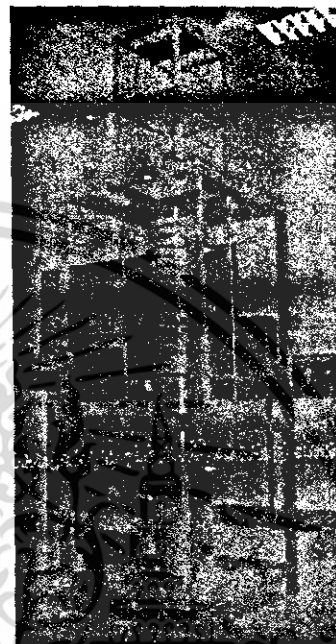
หลังจากที่ได้ทำการออกแบบขั้วเหล็กอ่อน และขดลวดกำเนิดพลังงานแล้วขั้นต่อไปเป็นการเขียนแบบโครงสร้างที่จะติดตั้งท่อ PVC ที่ใช้เป็นโครงในการพันขดลวดทั้งชั้นในและชั้นนอก รวมถึงชุดแม่เหล็กถาวรด้วย ในการเขียนแบบเบื้องต้นได้ทดลองใช้โปรแกรม Auto CAD 2006 ออกแบบโครงสร้างตำแหน่งต่างๆแบบ 2 มิติ แต่เกิดปัญหาในการเก็บรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ และการถอดแบบออกมาใช้เป็นมาตรฐานในการสร้างชิ้นงาน เนื่องจากโครงสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำนี้ มีส่วนประกอบของชิ้นงานที่ซับซ้อน จึงได้ทำการออกแบบใหม่ในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งจากการปรับเปลี่ยนดังกล่าวพบว่าสามารถเก็บรายละเอียดของส่วนต่างๆ ได้ทั้งหมด อีกทั้งยังสะดวกในการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่อง โดยรวมได้จากภาพที่คัดออกมาจากโปรแกรมกับภาพ
 ชิ้นงานจริงดังรูปที่ 3.4.1 และรูปที่ 3.4.2



รูปที่ 3.4.1



รูปที่ 3.4.2

รูปที่ 3.4.1 ภาพของเครื่องต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ
 ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006 (ภาพทางซ้าย)

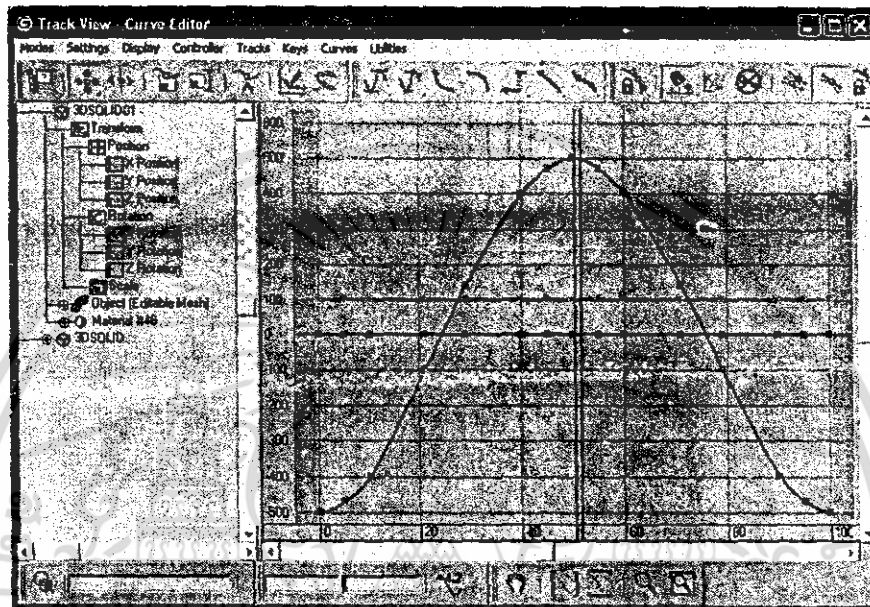
รูปที่ 3.4.2 ภาพของต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่สร้างตาม
 แบบที่เขียนด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006 (ภาพทางขวา)

3.5 จำลองการเคลื่อนที่ของชุดแม่เหล็กขณะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดด้วยโปรแกรม 3Dmax 7

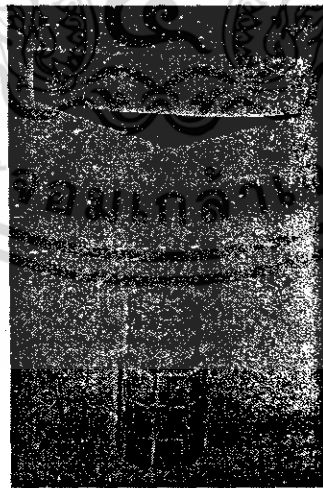
การจำลองการเคลื่อนที่ของชุดแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำขณะ
 เคลื่อนที่ผ่านขดลวดด้วยโปรแกรม 3Dmax 7 นั้นจัดทำขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์การออกแบบระบบ
 จำลองคลื่นด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่จะติดตั้งให้กับเครื่องต้นแบบและเก็บข้อมูลจากการ
 จำลอง ซึ่งจะทำให้สามารถทำให้เข้าใจการกำหนดระยะชักขึ้น-ลงที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะทำ
 การขับให้ชุดแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำลองเหตุการณ์ขณะที่มีคลื่นเข้ามาด้วยทอดพลังงานให้กับเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ ตัวหุ่นลอยในอุดมคติจะมีการเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นที่เข้ามาแบบเฟสตรงกัน ซึ่งในเบื้องต้นได้ทำการจำลองให้คลื่นที่เข้ามามีรูปเป็นลักษณะของ Sinusoidal ดังกราฟตำแหน่งกับเวลาที่คัดมาจากรูปโปรแกรม 3Dmax 7 ดังรูปที่ 3.5.1



รูปที่ 3.5.1 ภาพกราฟตำแหน่งกับเวลาที่คัดมาจากรูปโปรแกรม 3Dmax 7

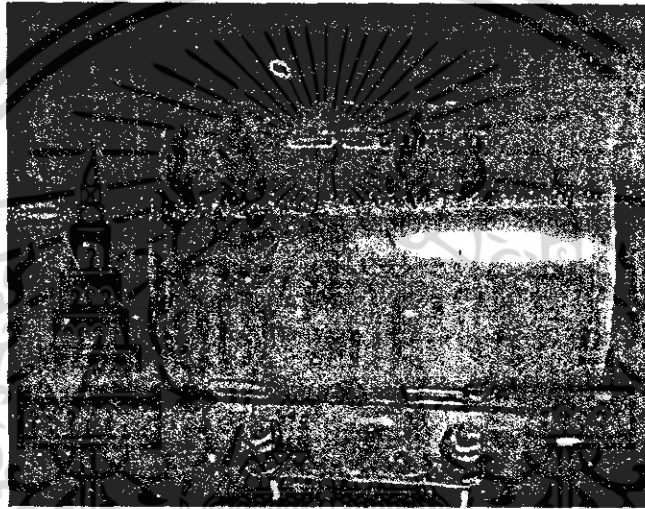


รูปที่ 3.5.2 ภาพตัวหุ่นลอยและเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ
ที่คัดมาจากรูปโปรแกรม 3Dmax 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบและสร้างระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีอยู่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบรอบสูงที่มีทั้งขดลวดทำงานและขดลวดเริ่มต้น ซึ่งมอเตอร์ตัวนี้มีความเร็วรอบอยู่ที่ 1490 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 3.6.1 เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ใช้มอเตอร์ 2 ตัวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันมาทำการเชื่อมเพื่อให้ได้มอเตอร์รอบโดยในการทรรอบนี้มีการใช้มอเตอร์ดังกล่าวจำนวน 3 ชุดแต่ละชุดเชื่อมต่อกันด้วยสายพาน ซึ่งเมื่อทำการทรรอบแล้วได้ความเร็วเส้นสัมผัสที่มอเตอร์ตัวสุดท้ายเป็น 0.6 m/s



รูปที่ 3.6.1 ภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบรอบสูง

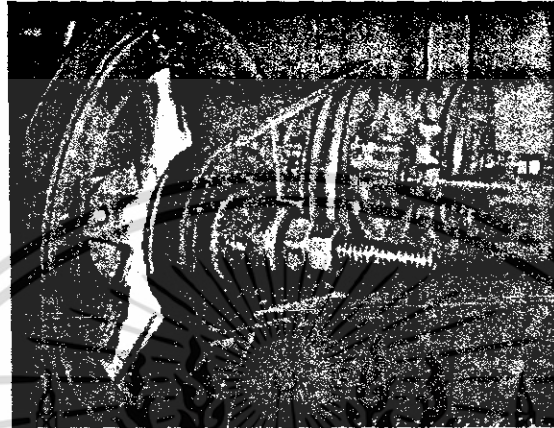
โดยอัตราการทรรอบนี้คำนวณจากสมการ

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (36)$$

โดยที่ ω_1 คืออัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวส่งกำลัง
 ω_2 คืออัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวรับกำลัง
 r_1 คือรัศมีของมอเตอร์ตัวส่งกำลัง
 r_2 คือรัศมีของมอเตอร์ตัวรับกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการคำนวณออกแบบและประกอบชุดครอบเข้าไปแล้ว ได้ชุดครอบดังรูปที่ 3.6.2 และรูปที่ 3.6.3

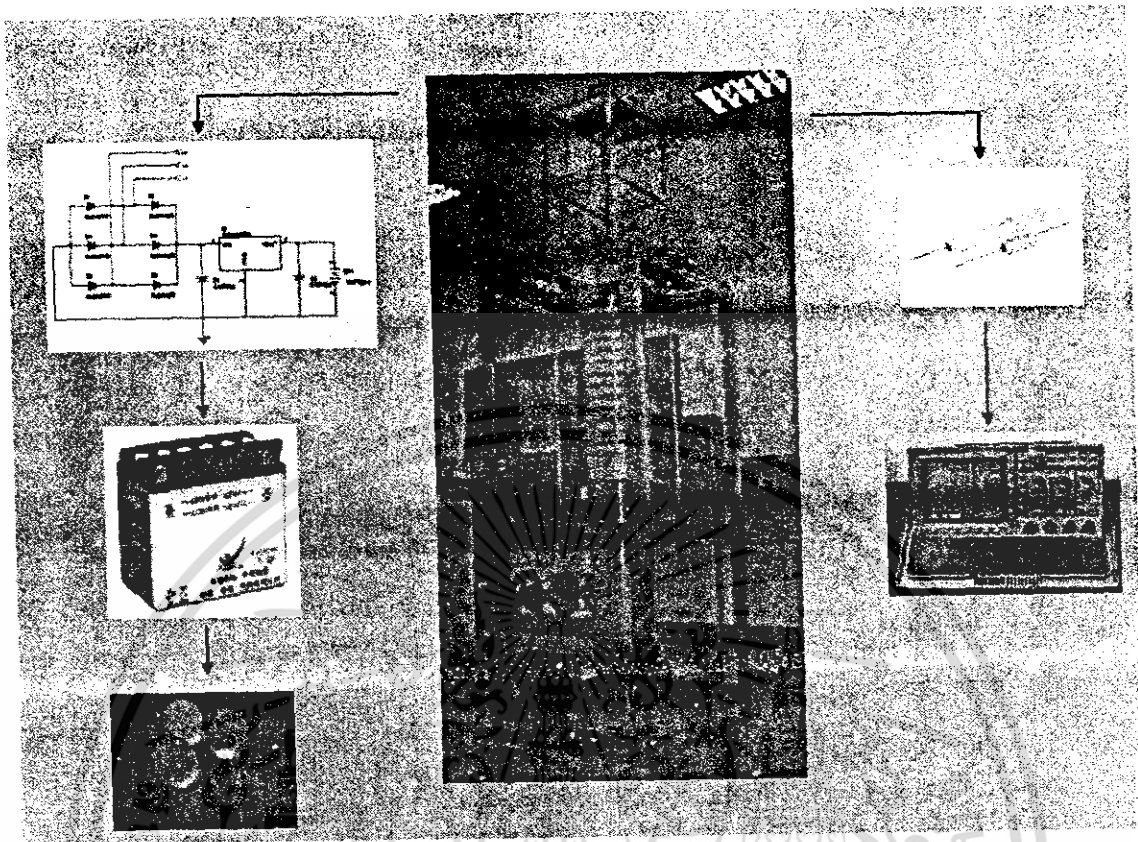


รูปที่ 3.6.2 ภาพของชุดครอบของระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 3.6.3 ภาพของชุดครอบของระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6.4 ภาพแสดงไดอะแกรมการชาร์จแบตเตอรี่ผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ (ขวา) และการวัดค่าประสิทธิภาพด้วย Oscilloscope ผ่านโหลดทางไฟฟ้า (ซ้าย)

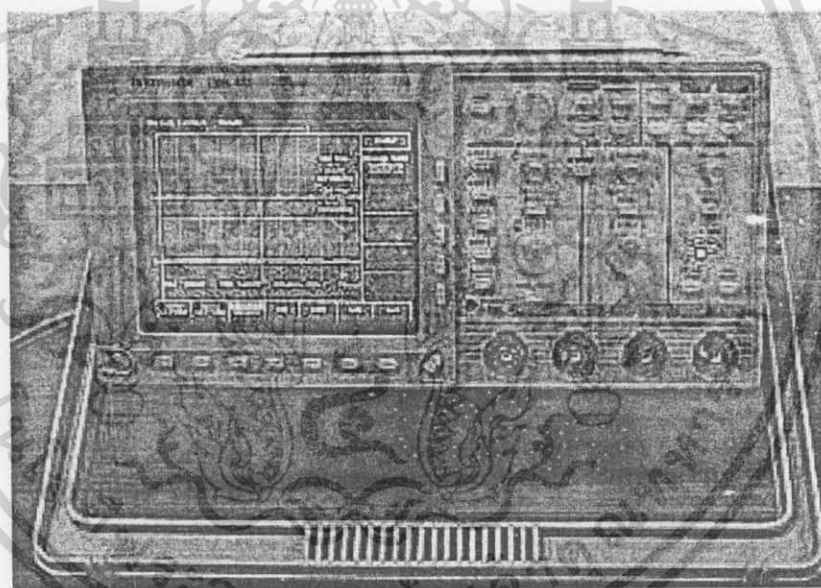
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัสด้วยการเคลื่อนที่แบบแนวตรงนี้ ได้ทำการเก็บค่าตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปแบบ 4 ช่องสัญญาณ พบว่าได้ระดับพลังงานไฟฟ้าในรูปของแรงดันตามความถี่การกำเนิดต่างๆ ซึ่งได้ทำการทดลองทั้งแบบคาบเวลาของแต่ละช่วงสัญญาณที่คงที่และแบบไม่คงที่

ในการทดลองเก็บค่าด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปนี้ได้ใช้เครื่องออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS 420 A ซึ่งมีภาพถ่ายของเครื่องดังรูปที่ 4.1.1



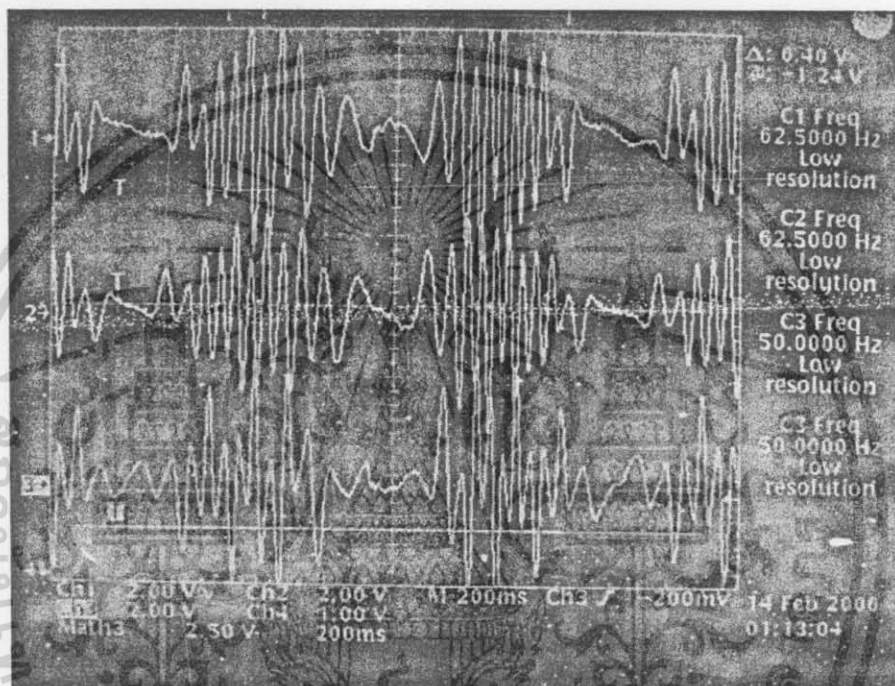
รูปที่ 4.1.1 ภาพถ่ายเครื่องออสซิลโลสโคป Tektronix รุ่น TDS 420 A ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการทดลองกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดวงใน

4.1.1 การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาคงที่ของขดลวดวงใน

4.1.1.1 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 350 มิลลิวินาที



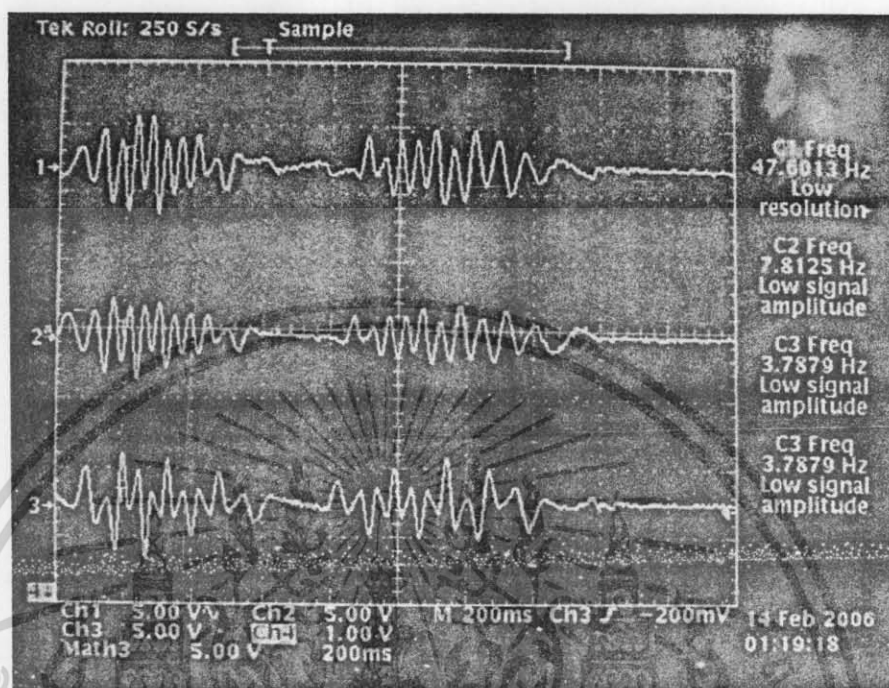
รูปที่ 4.1.1.1 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 350 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	350	2.857	6.8	สูง
2	360	2.777	5.6	สูง
3	355	2.816	6.6	ต่ำ

ตารางที่ 4.1.1.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 350 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 400 มิลลิวินาที



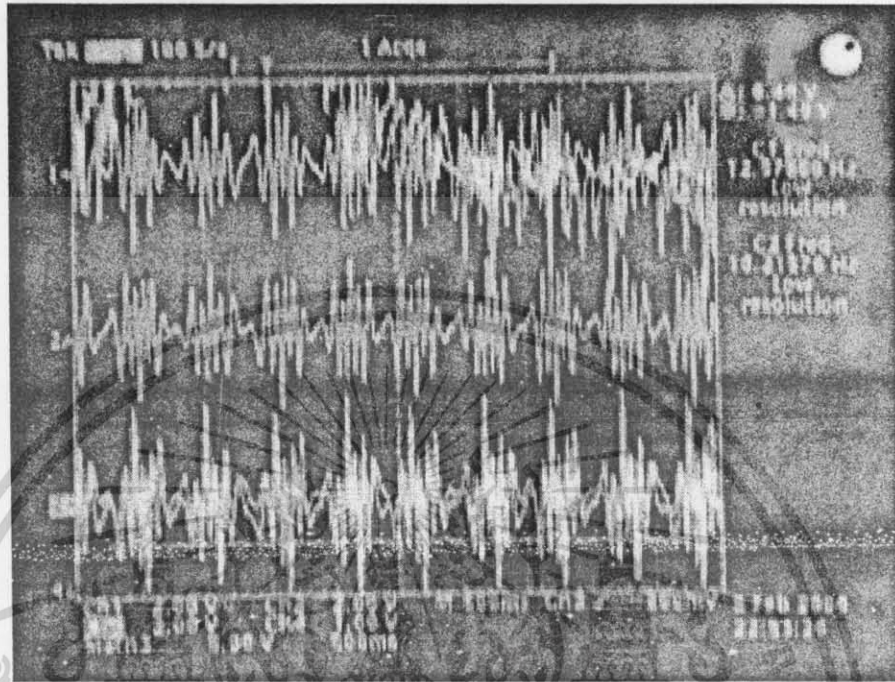
รูปที่ 4.1.1.2 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 400 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	400	2.500	7.5	ปานกลาง
2	390	2.564	6	ปานกลาง
3	395	2.531	8	ต่ำ

ตารางที่ 4.1.1.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 400 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 550 มิลลิวินาที



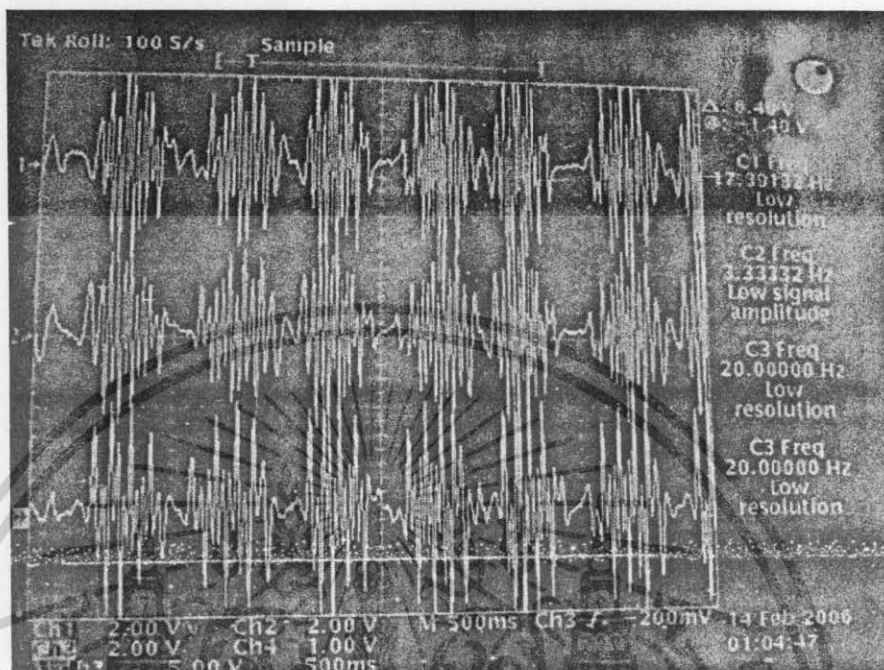
รูปที่ 4.1.1.3 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 550 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	555	1.801	5.5	ต่ำ
2	550	1.818	4.8	สูง
3	545	1.834	6	ต่ำ

ตารางที่ 4.1.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 550 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.4 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 833 มิลลิวินาที



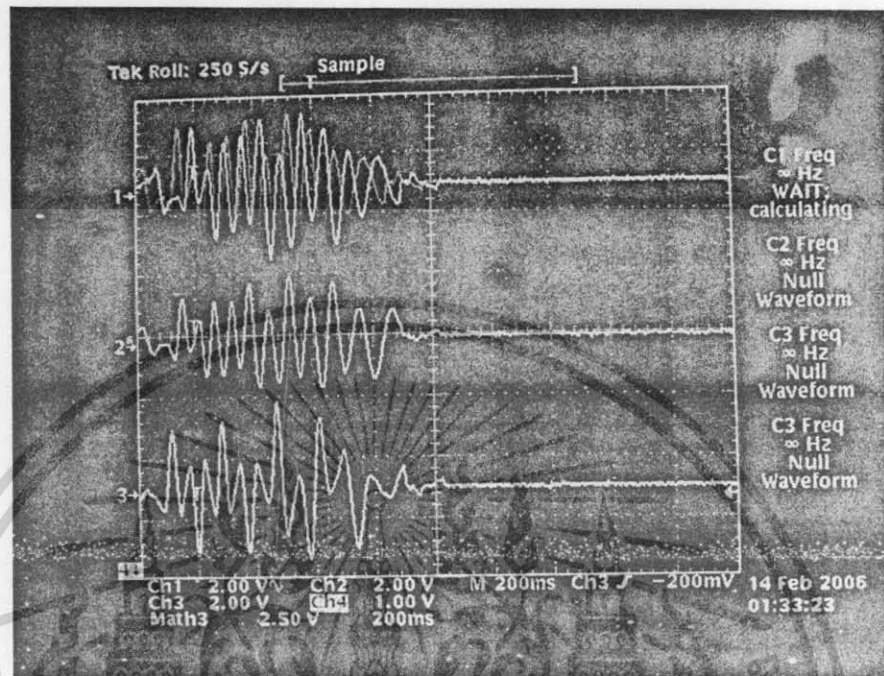
รูปที่ 4.1.1.4 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 833 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงแดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	833	1.200	5.8	สูง
2	845	1.183	4.8	สูง
3	830	1.204	6.2	ปานกลาง

ตารางที่ 4.1.1.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 833 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.5 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1000 มิลลิวินาที



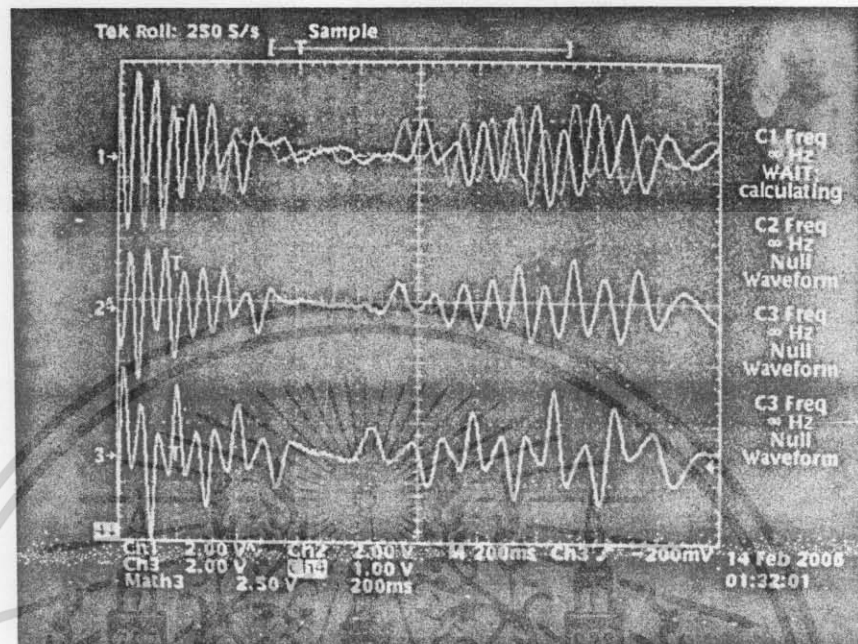
รูปที่ 4.1.1.5 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1000 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	1000	1.000	4.8	ปานกลาง
2	1010	0.990	3.76	ปานกลาง
3	1000	1.000	5.2	ต่ำ

ตารางที่ 4.1.1.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1000 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.6 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1600 มิลลิวินาที



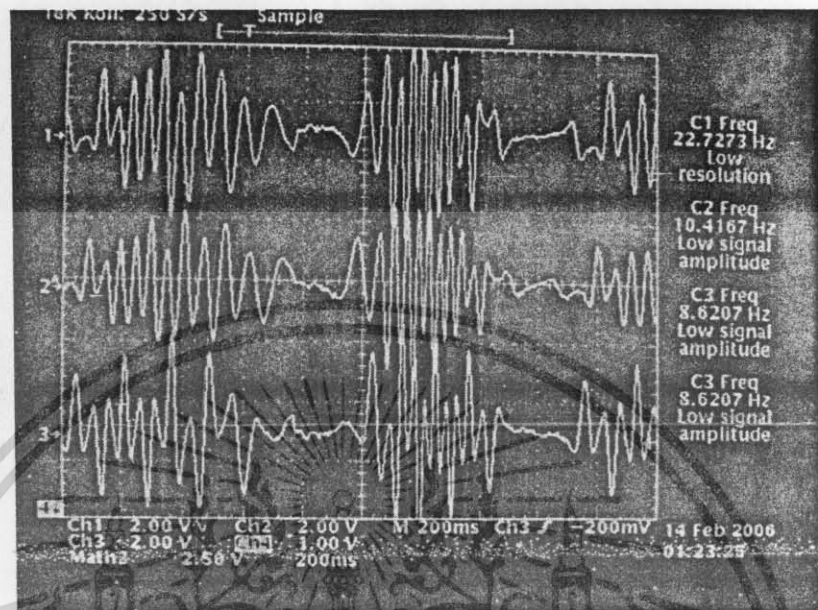
รูปที่ 4.1.1.6 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1600 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	1600	0.625	3.6	ต่ำ
2	1580	0.632	2.86	ปานกลาง
3	1630	0.613	3.92	ต่ำ

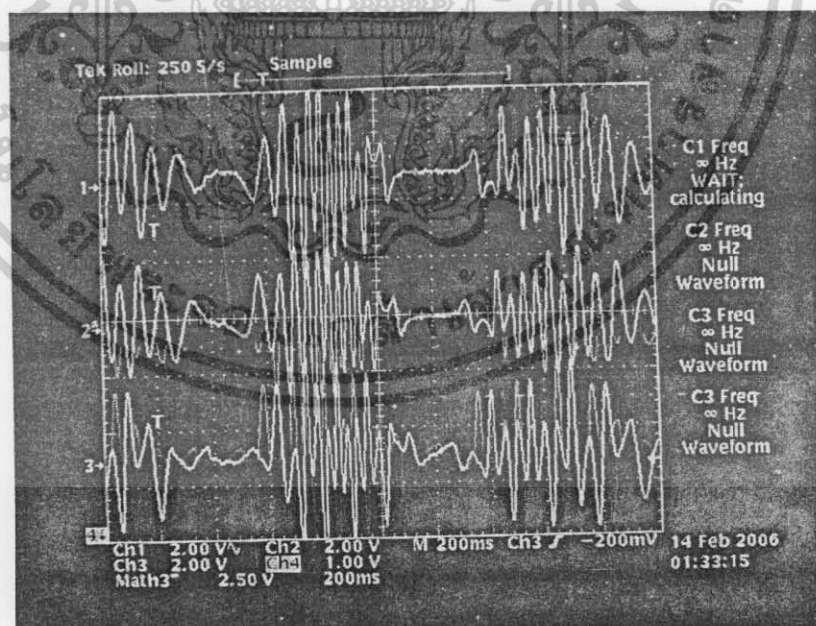
ตารางที่ 4.1.1.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1600 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาไม่คงที่ของขดลวดวงใน

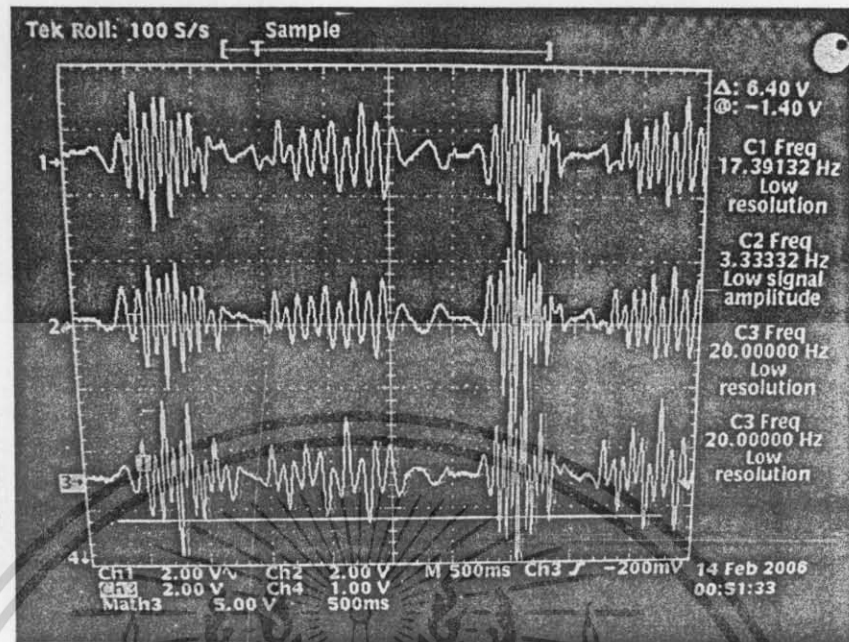


รูปที่ 4.1.2.1 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่



รูปที่ 4.1.2.2 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



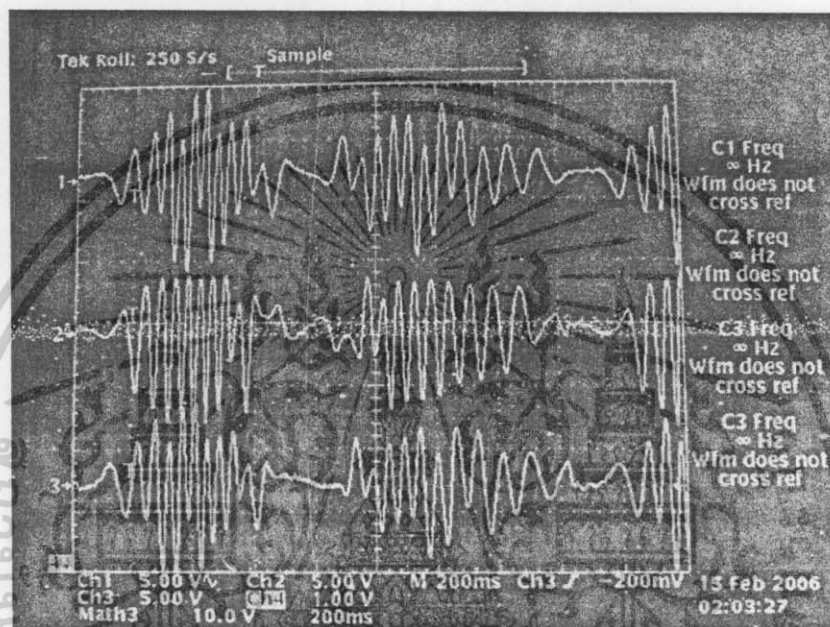
รูปที่ 4.1.2.3 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า
ที่มีคาบเวลาไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดวงนอก

4.2.1 การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาคงที่ของขดลวดวงนอก

4.2.1.1 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 650 มิลลิวินาที



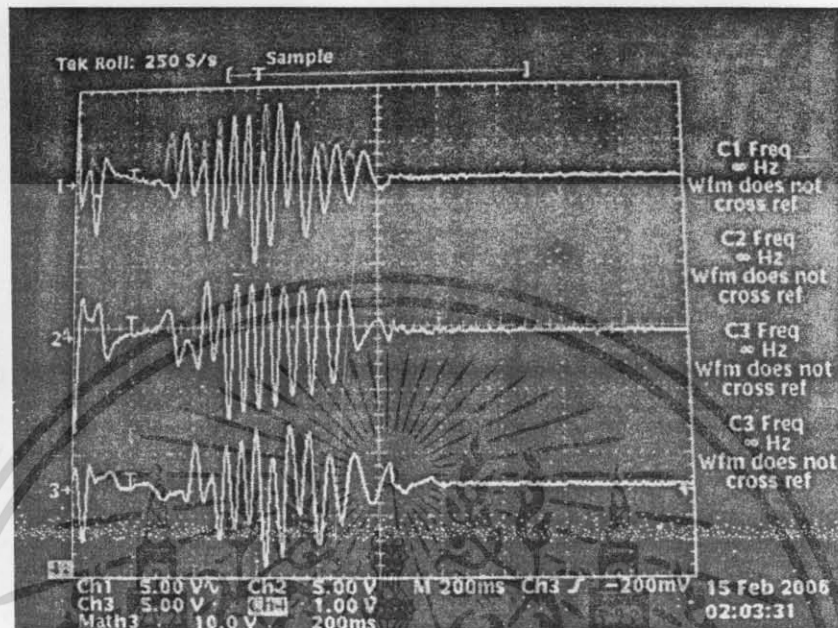
รูปที่ 4.2.1.1 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 650 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางซ้าย)

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	650	1.538	16	ปานกลาง
2	650	1.538	13	ปานกลาง
3	655	1.527	13.5	ปานกลาง

ตารางที่ 4.2.1.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 650 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 700 มิลลิวินาที



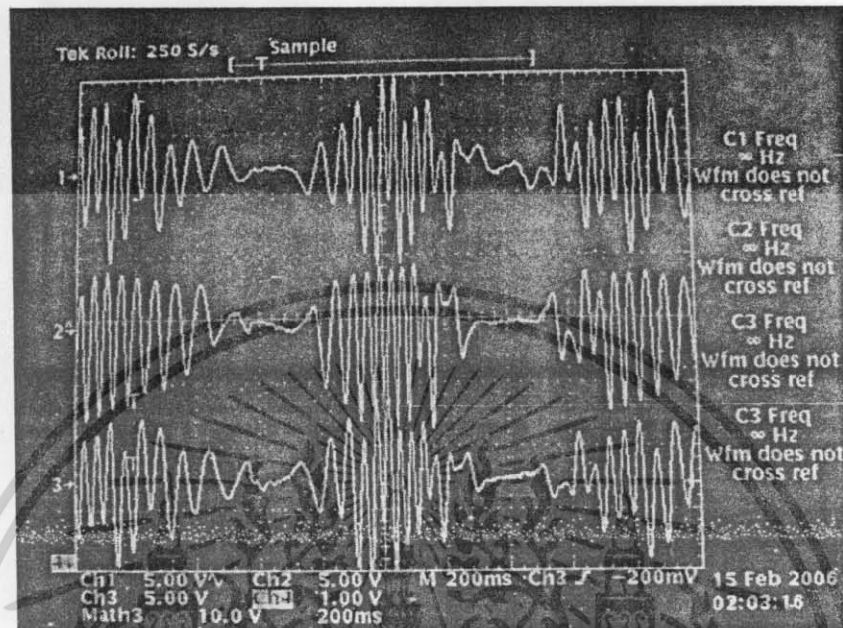
รูปที่ 4.2.1.2 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 700 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	710	1.408	13.5	ต่ำ
2	700	1.428	12.5	ปานกลาง
3	720	1.388	11	ต่ำ

ตารางที่ 4.2.1.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 700 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 800 มิลลิวินาที



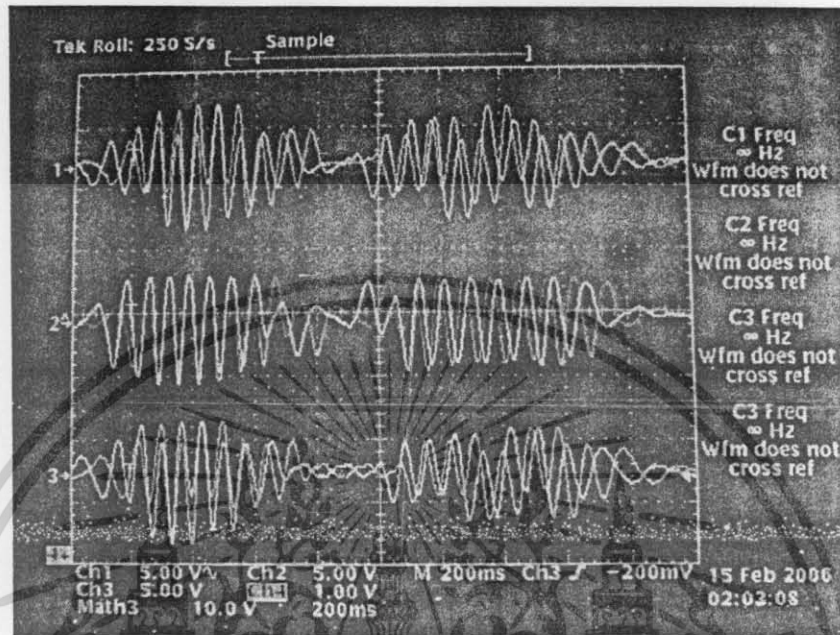
รูปที่ 4.2.1.3 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 800 มิลลิวินาที

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	800	1.250	16	สูง
2	800	1.250	12.5	ปานกลาง
3	810	1.234	15	สูง

ตารางที่ 4.2.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 800 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 900 มิลลิวินาที



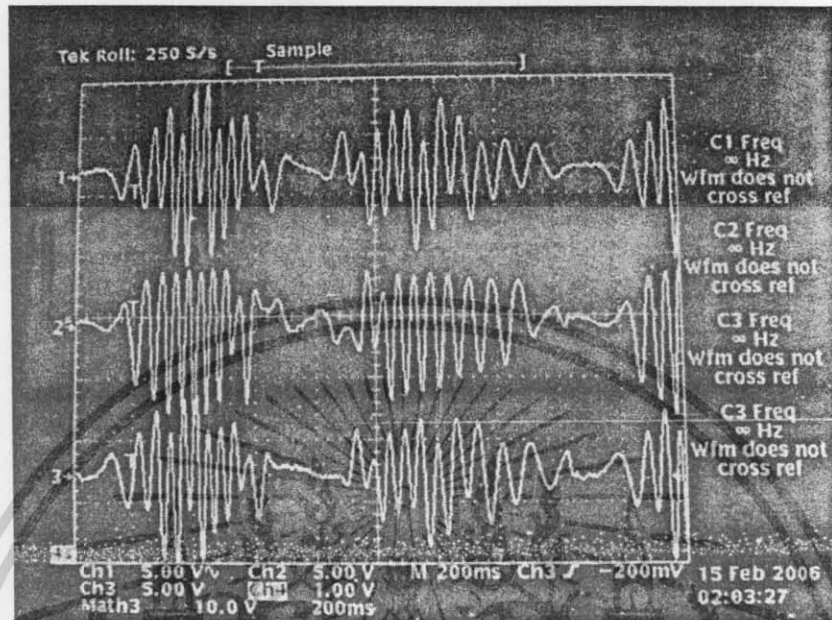
รูปที่ 4.2.1.4 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 900 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางขวา)

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	900	1.111	10	ปานกลาง
2	910	1.098	8	ปานกลาง
3	900	1.111	7.5	ปานกลาง

ตารางที่ 4.2.1.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 900 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.5 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1000 มิลลิวินาที



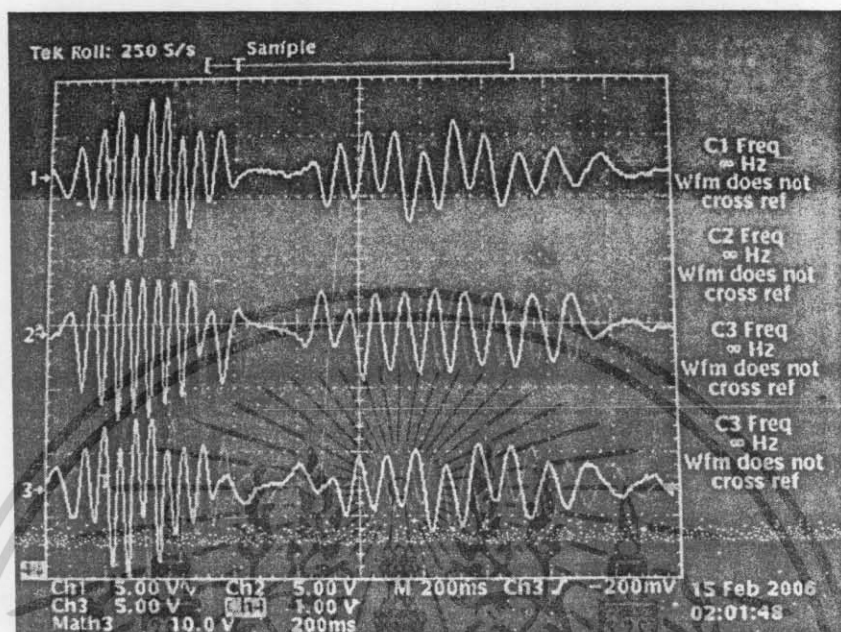
รูปที่ 4.2.1.5 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า ที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1000 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางขวา)

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	1030	0.970	12.5	ปานกลาง
2	1000	1.000	10.5	ปานกลาง
3	1010	0.990	10.5	ปานกลาง

ตารางที่ 4.2.1.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1000 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.6 การทดลองให้กำเนิดพลังงานที่คาบเวลา 1200 มิลลิวินาที



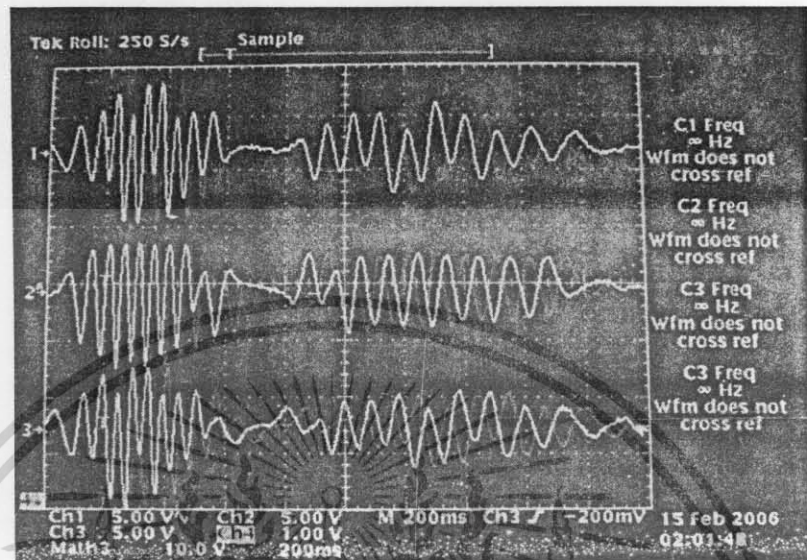
รูปที่ 4.2.1.6 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบของสัญญาณประมาณคาบละ 1200 มิลลิวินาที (คลื่นลูกทางขวา)

เฟสที่	คาบเวลา (ms)	ความถี่ (Hz)	แรงดันสูงสุด (V)	ความสมมาตรของสัญญาณ
1	1200	0.833	7	ปานกลาง
2	1200	0.833	7	สูง
3	1200	0.833	7.5	ปานกลาง

ตารางที่ 4.2.1.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณที่มีคาบประมาณ 1200 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบคาบเวลาไม่คงที่ของขดลวดวงนอก



รูปที่ 4.2.2.1 กราฟของแรงดันกับเวลา ที่ทำการทดลองให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีคาบเวลาไม่คงที่

4.3 ประสิทธิภาพของ PMLG

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ PMLG นั้นจะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์กำลังงานจากขดลวดวงใน และจากขดลวดวงนอก เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังงานที่ต้องใช้ในยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก โดยในการวิเคราะห์นี้จะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนพลังงานในการให้กำเนิดพลังงานของขดลวดวงใน และขดลวดวงนอก

4.3.1 กำลังงานที่ใช้ในการยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก

กำลังงานในการใช้ยกกล่องเฟืองแม่เหล็กนั้นถือได้ว่าเป็นกำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) ซึ่งจะคิดเฉลี่ยจากอัตราการเปลี่ยนของความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละคาบ โดยที่ในการทดลองนี้จะทำการควบคุมอัตราการเปลี่ยนของความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละคาบ แล้วจึงนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหา กำลังงานขาเข้าของระบบจากสมการที่ (37)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_m = \frac{W}{t} \quad (37)$$

$$P_m = \frac{Fs}{t} \quad (38)$$

$$P_m = \frac{mgh}{t} \quad (39)$$

โดยที่

P_m คือกำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input)

W คืองานที่ใช้ในการยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก

t คือเวลาที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่

F คือแรงที่ต้องใช้ยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก

s คือระยะทางที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่

m คือมวลของกล่องเฟืองแม่เหล็ก

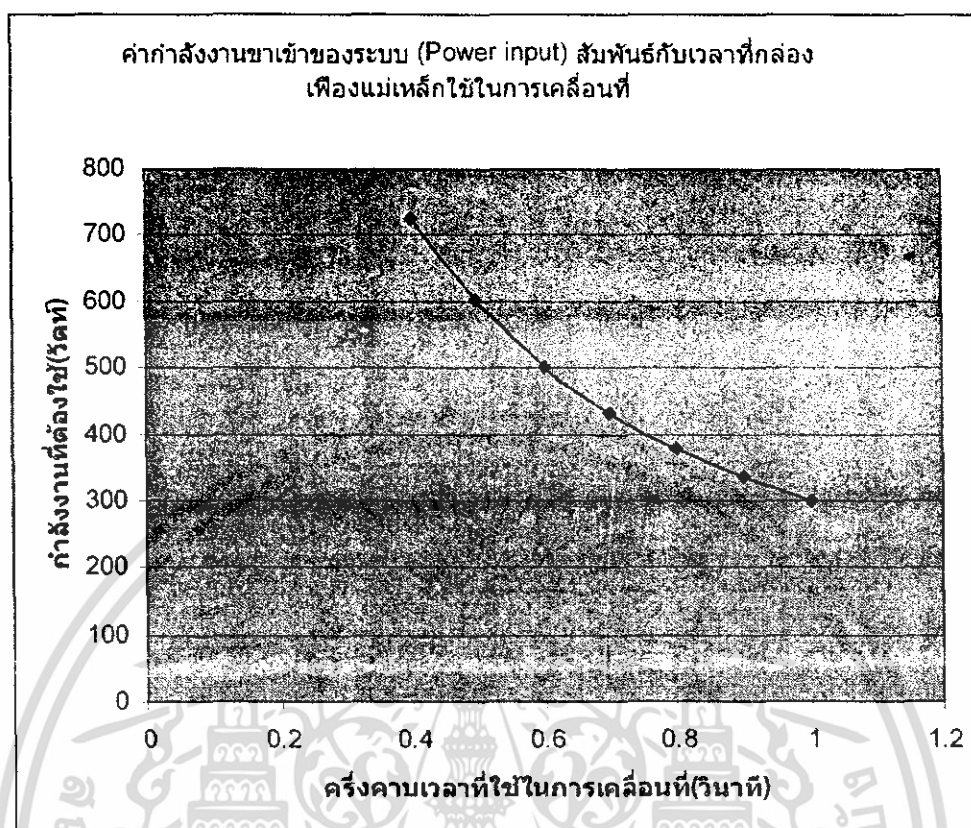
g คือค่านิจแรงโน้มถ่วงโลก

h คือระดับความสูงที่ต้องยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก

จากสมการที่(39) จะพบว่าถ้าต้องการทราบค่า P_m ก็จะต้องแทนค่าต่างๆดังนี้ ค่าน้ำหนักของกล่องเฟืองแม่เหล็ก 43 กิโลกรัม, ระยะในการเคลื่อนที่ 0.7 เมตร ส่วนเวลาที่ใช้การเคลื่อนที่ภายในครึ่งหนึ่งของคาบเวลาจะขึ้นอยู่กับผลการทดลอง ซึ่งได้ค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่ดังตารางที่ 4.3.1

t (วินาที)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
P_m (วัตต์)	752.5	602	501.666	430	376.25	334.444	301

ตารางที่ 4.3.1 ค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่

4.3.2 กำลังงานที่ได้จากขดลวดวงในและขดลวดวงนอก

จากบทที่ 2 และบทที่ 3 จะทำให้ทราบว่าเมื่อกล่องแม่เหล็กเกิดการเคลื่อนที่ จะทำให้มีสนามแม่เหล็กไปตัดผ่านขดลวดที่ Stator ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากขดลวดทั้งสองนั้นเราจะทำการวัดแรงดันสูงสุดตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าค่าคงที่ จากนั้นก็จะสามารถคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ดังสมการที่ (40)

$$P_{out} = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (40)$$

โดยที่

P_{out} คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวด ซึ่งตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าค่าคงที่
 I คือค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งถูกจ่ายให้ตัวต้านทานไฟฟ้าค่าคงที่
 R คือค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งใช้อ่านกระแสจากแรงดันที่ตกคร่อม

จากสมการที่ (40) จะพบว่าเพื่อความสะดวกในการวัดนั้นเราจะทำการวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานค่าคงที่ที่ทราบค่าความต้านทานอยู่แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ขดลวดแต่ละขดผลิตได้ ดังตารางที่ 4.3.2

$R (\Omega)$	4	5	6	7	8	9	10
$P_{out}(S)$ (วัตต์)	11.301	12.295	13.871	12.882	12.042	11.472	10.448
$P_{out}(L)$ (วัตต์)	17.682	19.835	20.883	22.010	22.954	21.333	19.470

ตารางที่ 4.3.2 ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับค่าความต้านทานที่จ่ายให้ของขดลวดวงใน และขดลวดวงนอก



รูปที่ 4.3.2 กราฟแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับค่าความต้านทานที่จ่ายให้ของขดลวดวงใน และขดลวดวงนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ประสิทธิภาพของขดลวดวงในและวงนอก

ประสิทธิภาพของการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าหมายถึง อัตราส่วนพลังงานกลที่ใส่เข้าไปในระบบต่อพลังงานไฟฟ้าที่ขดลวดจากขดลวดวงในสามารถให้ได้ ซึ่งสามารถหาจากการนำค่าต่างๆ ในหัวข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 มาคำนวณค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงในและวงนอกได้จากสมการที่ (41) และ (42) ตามลำดับ

$$\eta_{(S)} = \frac{P_{out(S)}}{P_{in(S)}} \times 100\% \quad (41)$$

โดยที่

$\eta_{(S)}$ คือค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงใน
 $P_{out(S)}$ คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ออกมาจากขดลวดวงใน
 $P_{in(S)}$ คือค่ากำลังงานกลที่ใส่เข้าไปให้กับระบบ

$$\eta_{(L)} = \frac{P_{out(L)}}{P_{in(L)}} \times 100\% \quad (42)$$

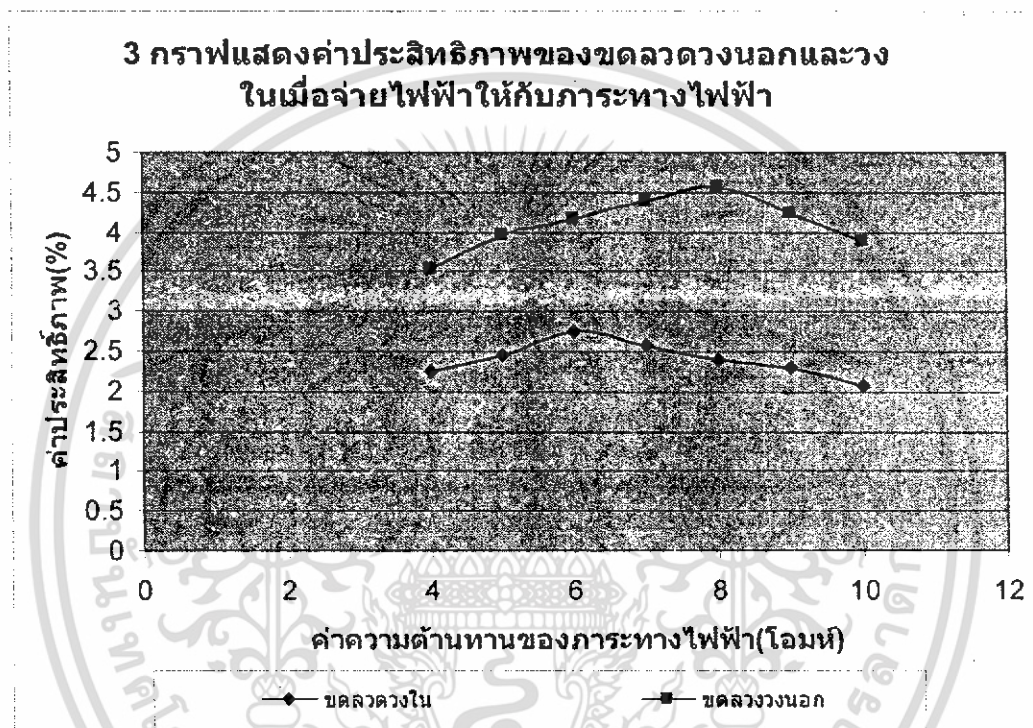
โดยที่

$\eta_{(L)}$ คือค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงนอก
 $P_{out(L)}$ คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ออกมาจากขดลวดวงนอก
 $P_{in(L)}$ คือค่ากำลังงานกลที่ใส่เข้าไปให้กับระบบ

จากสมการที่ (41) และ (42) จะพบว่าประสิทธิภาพของขดลวดทั้งวงในและวงนอก ที่สามารถถ่ายให้ภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆจะแสดงดังตารางที่ 4.3.3

R (Ω)	4	5	6	7	8	9	10
$\eta_{out(S)} (%)$	2.252	2.451	2.764	2.568	2.400	2.286	2.082
$\eta_{out(L)} (%)$	3.524	3.954	4.163	4.387	4.575	4.252	3.881

ตารางที่ 4.3.3 ค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงนอกและวงในเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 4.3.3 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงนอกและวงในเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า

4.3.4 ประสิทธิภาพรวมของระบบ

ประสิทธิภาพรวมของระบบจะสามารถคำนวณได้จากกำลังงานทางไฟฟ้าที่ออกมาจากทั้งขดลวดวงใน และขดลวดวงนอกรวมกันต่อกำลังงานกลที่จ่ายให้กับระบบดังสมการที่ (43)

$$\eta = \frac{P_{out(L)} + P_{out(S)}}{P_m} \times 100\% \quad (43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

η คือค่าประสิทธิภาพรวมของระบบซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.3.4

R (Ω)	4	5	6	7	8	9	10
η (%)	5.777	6.405	6.927	6.955	6.976	6.539	5.963

ตารางที่ 4.3.4 ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆ



รูปที่ 4.3.4 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพรวมของระบบเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- Magdy F. Iskander. Electromagnetic field and wave. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall. 1992 , ISBN 0-13-249442-6
- Raymond A. Serway and John W. Jewett, Jr. Principle of physics, 3rded. Singapore : Thomson brook/cole. 2002 , ISBN 981-243-042-3
- D.J. Kroon. Laboratory magnets. Netherlands : Philips Technial Library. 1968
- Robert Carrow. Energy Systems. New York : Mc Graw Hill. 1999, ISBN 0-07-014019-7
- Muluktla S. Sarma. Electrical Machines steady- state theory and dynamic performance. USA : West Publishing Company. 1994, ISBN 0-314-01226-5
- Theodore Wildi. Electrical Machines, Drives, and Power System 5th ed. New Jersey : Prentice Hall. 2002, ISBN 0-130-093083-0
- Bent Sorensen. Renewable Energy Its physics, engineering, use, environmental impact, economy and planning aspect 3rd ed. USA : ELSEVIER Academic Press, 2005, ISBN 0-12-656153-2
- ปราโมทย์ เศษอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542, ISBN 974-331-042-8
- ปราโมทย์ เศษอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546, ISBN 974-13-2495-2
- I. Ivanova, O. Agren, H. Bernhoff, M. Leijon. "Simulation of a 100 kW permanent magnet octagonal linear generator for ocean wave conversion.", Fifth European wave energy conference 17-19 sept., 2003
- Mats Leijon, "Multiphysics Simulation of Wave Energy to Electric Energy Conversion by Permanent Magnet Linear Generator", IEEE transaction on energy conversion, Volume 20, No. 1, March 2005
- K. Rhinefrank^a, E.B. Agamloh^a, A. von Jouanne^a, A.K. Wallace^a, J. Prudell^a, K. Kimble^a, J. Aills^a, E. Schmidt^a, P. Chan^b, B. Sweeny^b and A. Schacher^a, " Novel ocean energy permanent magnet linear generator buoy.", Sciencedirect, Renewable Energy, Volume 31, Issue 9, July 2006, Pages 1279-1298 School of Electrical Engineering and Computer Science. Oregon State University, Corvallis, OR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

97331-3211, USA, Department of Mechanical Engineering, Oregon State
University, Corvallis, OR 97331- 3211, USA

M. Leijon, O. Danielsson, M. Eriksson, K. Thorburn, H. Bernhoff, J. Isberg , J. Sundberg, I.
Ivanova, E. Sjöstedt, O. gren, K.E. Karlsson and A. Wolfbrandt." An electrical approach
to wave energy conversion.", Sciencedirect, Renewable Energy , Volume 31, Issue 9,
July 2006, Pages 1309-1319

Oskar Danielsson, Karin Thorburn, Mikael Erikson and Mats Leijon. "Permanent magnet
fixation concepts for linear generator.", Fifth European wave energy conference 17-19
sept, 2003



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้