

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า
เคลื่อนที่เชิงเส้น

Electrical Energy Generated Coil Design for Linear Generator



RCH
TK
2461
2615ก

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 84761
วัน,เดือน,ปี... 28 ต.ค. 2551

โดย
ดร.ปิติพร ถนอมงาม
รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2551

12003159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบเคลื่อนที่แนวตรงนี้ สามารถแปลงพลังงานจากคลื่นในมหาสมุทรมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์จากแม่เหล็กถาวรที่เคลื่อนที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวดในทิศทางตรง โดยที่ตัวขดลวดเหนี่ยวนำนี้จะถูกติดตั้งไว้ที่ฐานของเครื่องแล้วอาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดแม่เหล็กหรือที่เรียกว่า Electromagnetic gearbox เคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดของขดลวด โดยอาศัยหลักการส่งผ่านพลังงานจากการลอยตัวของฟุนซึ่งจะลอยขึ้นลงไปตามคลื่นในมหาสมุทร จึงทำให้ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน โดยที่พลังงานที่ได้ในเบื้องต้นจะอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าสลับแบบหลายเฟสตามจำนวนของชุดขดลวด ซึ่งจะถูกรับไว้ในแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรชาร์จไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในโครงการนี้ที่ยังเป็นเพียงต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบเคลื่อนที่แนวตรงซึ่งใช้แม่เหล็กรูปทรงโดนัทจึงทำให้สามารถใช้ประโยชน์ของสนามแม่เหล็กได้จากทั้งวงในและวงนอกของสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรได้ อีกทั้งยังได้ทำการออกแบบและสร้างชุดขับ Electromagnetic gearbox ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้จำลองการเคลื่อนที่ของฟุนสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ เนื่องจากยังไม่ได้ทำการติดตั้งจากสถานที่จริง (ในมหาสมุทร) ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่า เครื่องมือประสิทธิภาพรวมสูงสุดอยู่ที่ 0.0818 %

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 0.0818%.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	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	10
2.6 สมการคลื่นรูป Sinusoidal กับการเคลื่อนที่ของ piston	11
2.7 การออกแบบสเตเตอร์	13
2.8 วงจรการแปลงสัญญาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 การจัดหาแม่เหล็กถาวรรูปทรงโดนัทและทำการวัดค่าทางฟิสิกส์ที่เหมาะสม	16
3.1.1 การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงกล	17
3.1.2 การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงแม่เหล็ก	17
3.2 ออกแบบขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กให้เหมาะสมกับแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่และการวางตำแหน่งของขดแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic gearbox)	20
3.3 การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานพลังงานไฟฟ้า	23

เอกสารนี้เป็น 3.3 การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานพลังงานไฟฟ้า อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 23 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4	ออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่จะใช้ประกอบเครื่องด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006	27
3.5	จำลองการเคลื่อนที่ของชุดแม่เหล็กขณะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดด้วยโปรแกรม 3Dmax7	28
3.6	การจำลองสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ด้วยโปรแกรม Math LAB	29
3.7	การออกแบบและสร้างระบบชักชุดแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	30
3.8	การออกแบบวงจรเพื่อจัดรูปสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่จากขดลวดเหนี่ยวนำ	33
3.9	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	37
3.10	ประสิทธิภาพของ PMLG	46
	3.10.1 กำลังงานที่ใช้ในการยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก	46
	3.10.2 กำลังงานที่ได้จากขดลวดเหนี่ยวนำ	47
	3.10.3 ประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำ	49
3.11	วิเคราะห์ผลการทดลอง	50
บทที่ 4.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
4.1	สรุปผลการทดลอง	52
4.2	ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม		54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1.1 ปริมาณทางฟิสิกส์เชิงกลของแม่เหล็กถาวร	17
3.1.2.1 เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ	18
3.1.2.2 เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อนที่ ความหนาต่างๆ	19
3.10.1 ค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กลอง เฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่	47
3.10.2 ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับค่า ความต้านทานที่จ่ายให้ของขดลวดเหนี่ยวนำ	48
3.10.3 ค่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า	50



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1.1	ภาพปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำกระแสจากสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวด	4
2.3.1	การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด ferromagnetic ก่อนทำการ magnetization	7
2.3.2	การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด ferromagnetic หลังทำการ magnetization	8
2.3.3	สนามแม่เหล็กรอบแม่เหล็กถาวร	8
2.4.1	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	9
2.4.2	วงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส	9
2.4.3	กราฟแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส กับเวลา	9
2.5	ภาพเวกเตอร์แรงต่างๆ ที่กระทำกับวัตถุที่จมในของไหล	10
2.7	ภาพแปลนของกระแสที่พื้นผิวของ stator ซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยกระแสในขดลวดที่พันรอบ stator ในกรณีของรูป a และ b นั้นเป็นการเกิดของกระแสที่พื้นผิวของ stator ซึ่งพันลวดแบบแยกแต่ละส่วน ในกรณีของรูป c เป็นการเกิดกระแสที่พื้นผิวของ stator ซึ่งพันลวดแบบรอบ stator	14
2.8	วงจรแปลงพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่ในรูปไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่	15
3.1.1	แม่เหล็กถาวรทำลวดำโพงที่มีรูปทรง Toroid	16
3.1.2	ขนาดของมิติต่างๆของแม่เหล็กถาวร(ในหน่วยของมิลลิเมตร)	16
3.1.3	แม่เหล็กถาวรทำลวดำโพง ที่มีรูปทรง Toroid	17
3.1.2.1	กราฟเกรเดียนต์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ	19
3.1.2.2	กราฟเกรเดียนต์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อนที่มีความหนาต่างๆ	20
3.2.1	ภาพด้านข้าง (Side view) ของขั้วเหล็กอ่อนในหน่วยของมิลลิเมตร	20
3.2.2	ภาพด้านบน (Top view) ของขั้วเหล็กอ่อน	21
3.2.3	มุมที่ทำการปาดเพื่อบังคับสนามแม่เหล็กให้ไปตัดที่ขดลวดได้พอดี	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

3.2.4(a) ภาพสามมิติของซี่หัวเหล็กอ่อนที่ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006	21
3.2.4(b) ซี่หัวเหล็กอ่อน	22
3.2.5 รูปของการจัดวางซี่ของแม่เหล็กถาวรของกล่องเฟืองแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ electromagnetic gearbox	22
3.2.6 ชุดแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic gearbox) ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006	23
3.2.7 ชุดกล่องเกียร์แม่เหล็ก (Electromagnetic gearbox)	23
3.3.2(a) ด้านข้างของท่อ PVC ที่ใช้เป็น Stator วงนอก (หน่วย mm.) ที่ออกแบบแบบโปรแกรม AutoCAD 2006	24
3.3.1(b) ขาดลวด Stator วงนอกเขียน	24
3.3.2 ภาพตัดของเครื่องกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง	25
3.3.3 ภาพแสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง	25
3.3.4 ภาพวงจรของขดลวดกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้า 3 เฟส 10 ชุด	26
3.4.1 ภาพของต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006(ภาพทางซ้าย)	27
3.4.2 ภาพของต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่สร้างตามแบบที่เขียนด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006(ภาพทางขวา)	27
3.5.1 ภาพกราฟตำแหน่งกับเวลาที่ตัดมาจากโปรแกรม 3Dmax 7	28
3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่ได้กับเวลาและความสัมพันธ์ตำแหน่งของท่อนที่ได้กับเวลา ในสภาวะคลื่นอุดมคติ	30
3.5.2 ภาพตัวท่อนลอยและเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่ตัดมาจากโปรแกรม 3Dmax 7	29
3.6. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่ได้กับเวลาและความสัมพันธ์ตำแหน่งของท่อนที่ได้กับเวลา ในสภาวะคลื่นอุดมคติ	30
3.7.1 โครงล้อยกยานขนาด 24 นิ้ว หรือประมาณ 62 เซนติเมตร	31
3.7.2 ลวดสลิงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.7 มิลลิเมตร	31
3.7.3 มู่เล่	32
3.7.4 ภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบรอบสูง	32

สารบัญรูป (ต่อ)

3.7.5	ภาพของกล่องเกียร์ทรอบที่มีอัตราทด 1 ต่อ 30	33
3.8.1	วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็น 1 เฟสแบบ Y	34
3.8.2	วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็น 1 เฟสแบบ Δ	34
3.8.3	วงจรแปลงแบบ Y ต่อกับหม้อแปลง Step up	35
3.8.4	วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับหม้อแปลง Step up	35
3.8.5	วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับหม้อแปลง Step up แบบ Center Tap วงจรแปลงแบบ Y ต่อตัวเก็บประจุเพื่อกรองกระแส	36
3.8.6	วงจรแปลงแบบ Y ต่อกับตัวเก็บประจุเพื่อกรองกระแส	36
3.8.7	วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับวงจรเรียงและกรองกระแส	37
3.9.1	สัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสที่ได้จากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้น	37
3.9.2	สัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสที่ได้จากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้น หลังจากใส่ขั้วเหล็กอ่อน	38
3.9.3	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y	39
3.9.4	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ	40
3.9.5	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y และหม้อแปลง Step up	41
3.9.6	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ และหม้อแปลง Step up	42
3.9.7	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ และหม้อแปลง Step up	43
3.9.8	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y เข้ากับตัวเก็บประจุขนาด 2200 μ F-35 Volt	44
3.9.9	รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ เข้ากับตัวเก็บประจุขนาด 2200 μ F Volt	45
3.10.1	กราฟแสดงค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องเฟือง แม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่	47
3.10.2	กราฟแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับ ค่าความต้านทานที่ที่จ่ายให้ของขดลวดเหนี่ยวนำ	49
3.10.3	กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระ ทางไฟฟ้า	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ทุกประเทศกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานสำหรับที่จะใช้ใน ชีวิตประจำวัน ซึ่งแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ได้มาจากปิโตรเลียมเป็นหลัก ในขณะที่ความต้องการในการใช้พลังงานนั้นมีแต่จะเพิ่มขึ้นทุกวัน แต่ปริมาณของแหล่งปิโตรเลียมที่มีอยู่กลับลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เริ่มเกิดภาวะขาดแคลนพลังงานขึ้น ดังนั้นจึงเกิด 2 นโยบายที่ทุกประเทศในโลกนี้ปฏิบัติเหมือนกันทุกประเทศคือ ใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างประหยัดให้มากที่สุด และสรรหาแหล่งพลังงานทดแทน ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาด้วยการสรรหาแหล่งพลังงานทดแทนด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ก็มีอยู่หลากหลายวิธี อาทิเช่น พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์, พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์, พลังงานจากน้ำ, พลังงานจากลม, พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล, พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากคลื่นน้ำ ซึ่งในปัจจุบันประเทศที่มีภูมิประเทศติดทะเลทางด้านแถบทวีปยุโรปก็ได้มีการเริ่มวิจัยและพัฒนาพลังงานจากคลื่นน้ำ เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และไม่มีต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงาน โดยที่การนำพลังงานจากคลื่นมาใช้จะอาศัยหลักการแปลงพลังงานกลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นน้ำเป็นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นที่มีหลักการทำงานเป็นแบบใช้การเคลื่อนที่ของหุ่นแม่เหล็กที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมาในทิศตรง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นน้ำ และเมื่อพิจารณาถึงภูมิประเทศของประเทศไทยพบว่าสามารถใช้ประโยชน์จากหลักการดังกล่าวได้ดี เนื่องจากประเทศไทยมีอาณาเขตที่มีพื้นที่เป็นน้ำจำนวนมากได้แก่ แม่น้ำ, เขื่อน และทะเล ซึ่งบริเวณที่เหมาะสมที่สุดนั้นก็คือน้ำจากทะเลเนื่องจากมีแอมพลิจูดของคลื่นที่มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณแหล่งน้ำอื่นๆ

หนึ่งในปัจจัยหลักในการพัฒนาเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นก็คือการพัฒนาการออกแบบขดลวดให้กำเนิดพลังงานของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นให้เหมาะสมกับแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่ ซึ่งในการพัฒนาในส่วนนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของเทคโนโลยีที่จะสามารถพัฒนาให้เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นนี้ ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นได้ง่ายที่สุด

อีกทั้งเทคโนโลยีนี้ ประเทศในแถบทวีปยุโรปที่เริ่มต้นวิจัยและพัฒนาเอง ก็เพิ่งจะเริ่มต้นทำการวิจัยเมื่อประมาณปี ค.ศ. 2001 ซึ่งในปัจจุบันนี้ไม่มีประเทศใดที่สามารถสร้างต้นแบบ และทดสอบในสถานที่จริงได้สำเร็จ เนื่องจากต่างก็เพิ่งเริ่มต้นทำการศึกษาและวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

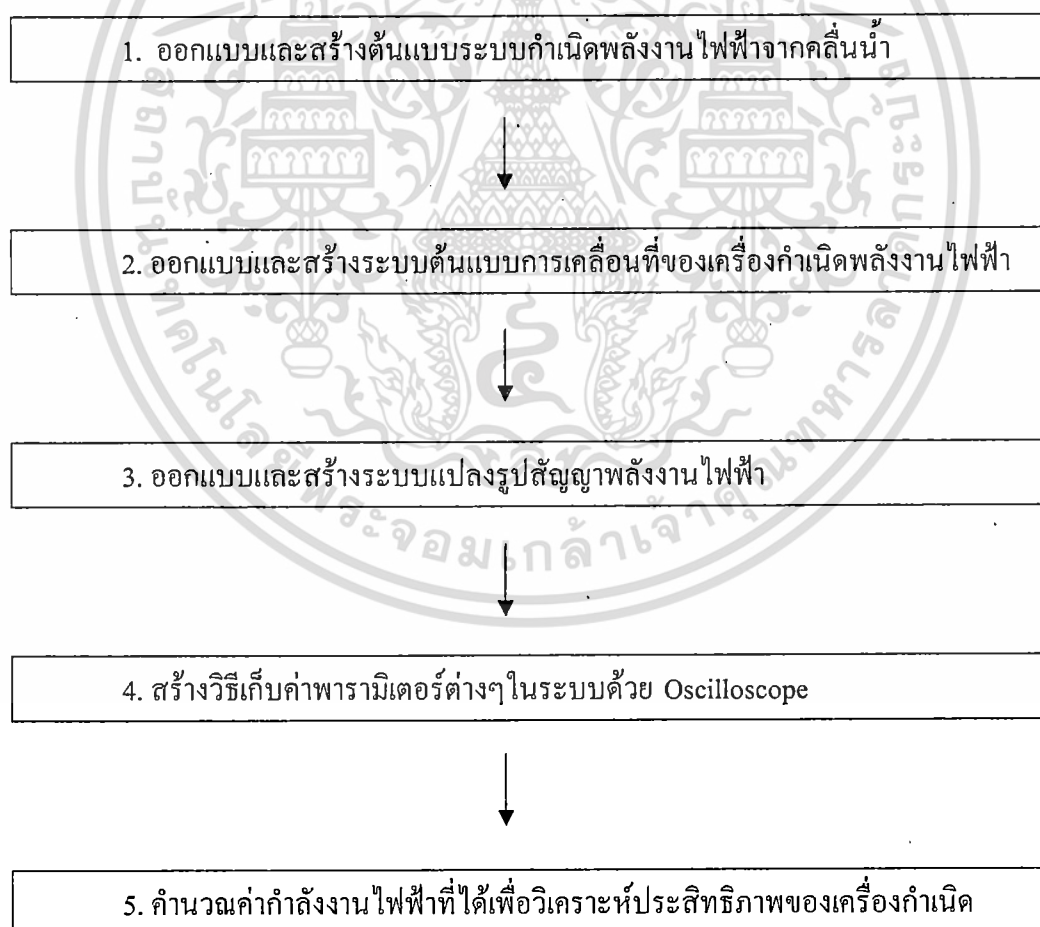
ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องที่ยากนักในการที่จะทำการวิจัยเพื่อพัฒนา และต่อยอดในเทคโนโลยีประเภทนี้ให้สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาการออกแบบขดลวดให้มีประสิทธิภาพสำหรับเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้น โดยใช้วิธีหาตำแหน่งที่มีสนามแม่เหล็กความเข้มสูงสุดเพื่อวางขดลวด โดยมีขอบเขตของวิจัยเป็นการพัฒนาการออกแบบและจัดวางตำแหน่งของขดลวดให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

1.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากในโครงการนี้มีส่วนประกอบหลายส่วนการที่จะติดตั้งระบบเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาทำการวิเคราะห์ระบบได้นั้น จะต้องดำเนินงานในส่วนต่างๆของระบบดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่แต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ออกแบบและสร้างต้นแบบระบบกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- จัดหาแม่เหล็กถาวรและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ
- ขดลวดเหนี่ยวนำ
- ฐานรองขดลวดเหนี่ยวนำ (สเตเตอร์)
- แกนนำร่องของแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่

1.3.2 ออกแบบและสร้างระบบต้นแบบการเคลื่อนที่ของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- ระบบกำเนิดแรงยกแม่เหล็กถาวรเสมือนแรงลอยตัวในสภาวะจริง
- แกนนำร่องของแม่เหล็กถาวรช่วยในการเคลื่อนที่

1.3.3 ออกแบบและสร้างระบบแปลงรูปสัญญาณพลังงานไฟฟ้า
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- วงจรเรียงและกรองกระแสไฟฟ้า
- ระบบการทดสอบกำลังไฟฟ้า

1.3.4 สร้างวิธีเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบด้วย Oscilloscope
ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- ชุดวัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่าแรงดัน, ความถี่ และกระแสไฟฟ้า
- ชุดวัดค่าทางแม่เหล็ก ได้แก่ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอกขดลวด

1.3.5 คำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิด

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 สามารถสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรง

1.4.2 ทราบตำแหน่งที่สนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุดเพื่อจัดวางขดลวดให้เหมาะสม

1.4.3 สามารถวัดประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรงได้

1.4.4 ทราบถึงปัจจัยการที่มีผลต่อการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บเอาไว้เป็นข้อมูลอ้างอิง

บทที่ 2

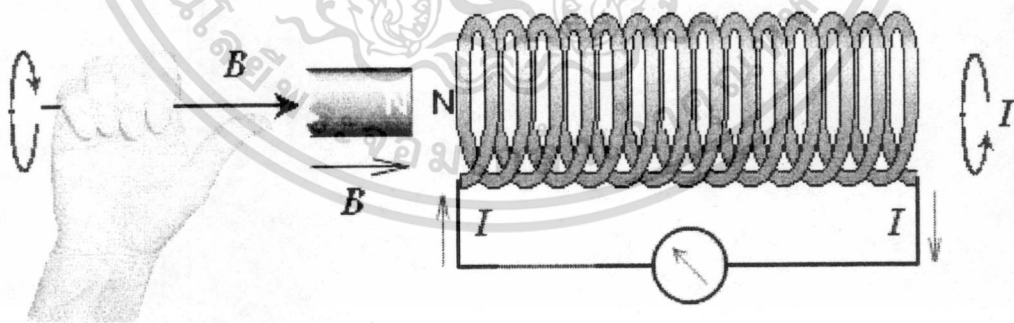
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ในขดลวดของ Michael Faraday

Michael Faraday ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านหน้าตัดของขดลวดซึ่งมีความเข้มของสนามที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมปลายของขดลวดเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ซึ่งแรงนี้จะไปทำให้ electron ในเส้นลวดเคลื่อนที่ตามทิศทางของกฎมือขวา เมื่อนำโหลดมาต่อเข้ากับปลายขดลวดทั้งสองก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร 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

N อาจจะเป็นค่าของจำนวนจำนวนรอบของขดลวดคูณกับค่าจำนวนขั้วของแม่เหล็กก็ได้ ส่วนเครื่องหมายลบนั้นแสดงให้เห็นว่าทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดมีทิศทางตรงข้ามกับกฎมือขวาเมื่อเราทำการหาที่มาของแรงเคลื่อน V_{emf} ต่อจะพบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

จากสมการจะพบว่าจำนวนรอบของขดลวด N และพื้นที่หน้าตัดของขดลวด A ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เทอมที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีผลทำให้แรงดัน V_{emf} เปลี่ยนแปลงไปก็คือเทอมของ $\frac{dB}{dt}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ซึ่งมีความหมายว่าสนามไฟฟ้าในแนวแกนใดๆจะมีค่าเท่ากับผลลบของอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ศักย์เทียบกับเวลา และอัตราการเปลี่ยนแปลงศักย์ของสนามไฟฟ้าเทียบกับระยะทางในแนวแกนนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

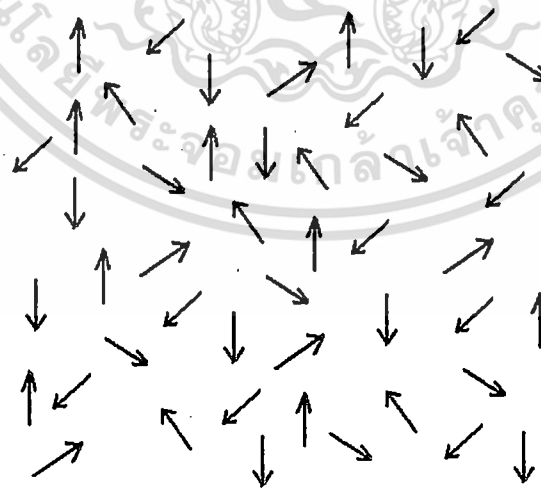
และจะกำหนดเวกเตอร์ศักย์ดังนี้

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

กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการ Magnetization เป็นกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลาแบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้แบบจำลองสำหรับวงจรไฟฟ้า (Stator circuit) มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลาแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่นกัน

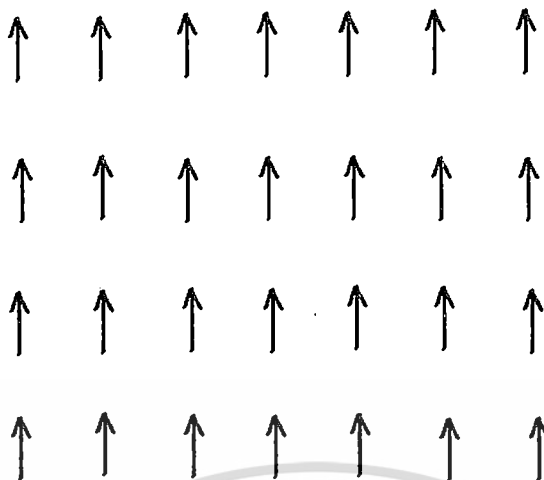
2.3 สมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร

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



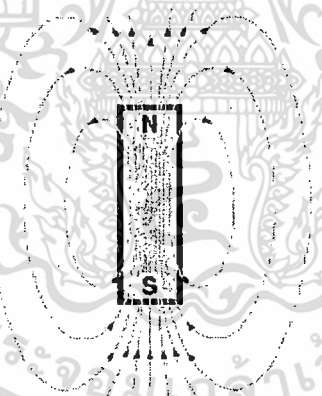
รูปที่ 2.3.1 การจัดเรียงตัวของ โมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ก่อนการ Magnetization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.2 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic หลังการ Magnetization

ปรกติแล้วแม่เหล็กถาวรแต่ละชิ้นที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กจะมีขั้วในตัวแม่เหล็กถาวรเอง 2 ขั้ว คือขั้วเหนือ N และขั้วใต้ S โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ดังรูปที่ 2.3.3



รูปที่ 2.3.3 สนามแม่เหล็กรอบแม่เหล็กถาวร

โดยที่มีความสัมพันธ์การลดทอนความเข้มของสนามแม่เหล็กตามระยะทางดังสมการที่(10)

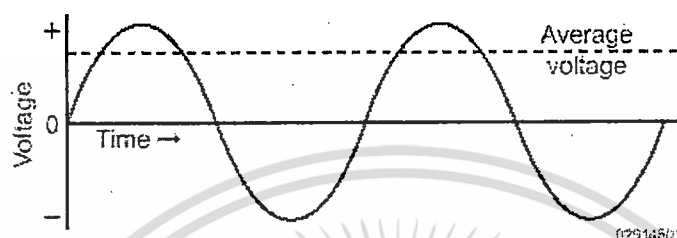
$$B = \frac{\mu B_0}{r^2} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการของกระแสไฟฟ้าสลับแบบ 3 เฟส

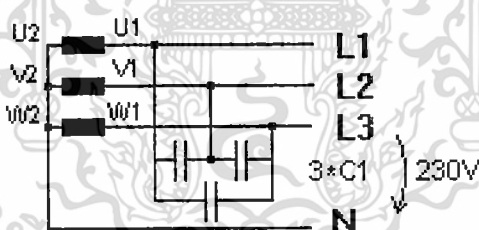
เนื่องจากเครื่องจักรแปลงพลังงานคลื่นน้ำที่สร้างขึ้นนี้ให้กำเนิดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสแบบซิงโครนัส ซึ่งกระแสไฟฟ้าชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังนี้

ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของแรงดันทั้งทางบวกและทางลบตามเวลาเมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงที่กำหนด ดังรูปที่ 2.4.1



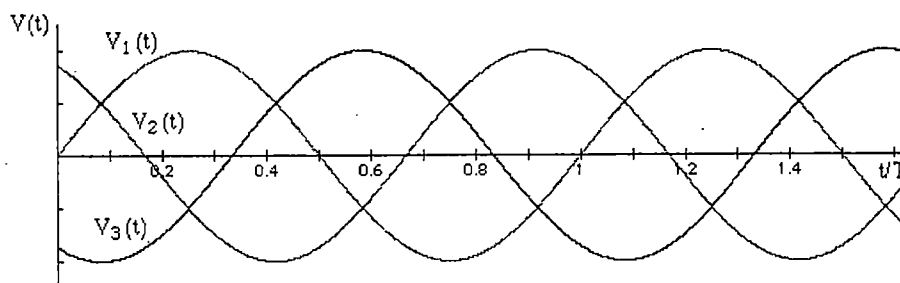
รูปที่ 2.4.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิด 3 แหล่งกำเนิด ซึ่งทั้ง 3 แหล่งกำเนิดนี้จึงหวนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่ไม่ตรงกัน(เฟสต่างกัน) โดยที่เราจะทำการอ้างอิงความต่างเฟสจากแต่ละแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยการนำปลายของขดลวดแต่ละขดที่ให้กำเนิดไฟฟ้ามารวมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงหรือกราวด์ของวงจร ดังรูปที่ 2.4.2



รูปที่ 2.4.2 วงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส

โดยปรกติแล้วแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่สมมาตรจะมีความต่างเฟสกันในแต่ละเฟสอยู่ 120 องศา และแอมพลิจูดสูงสุดของแรงดันในแต่ละเฟสจะมีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 2.4.3



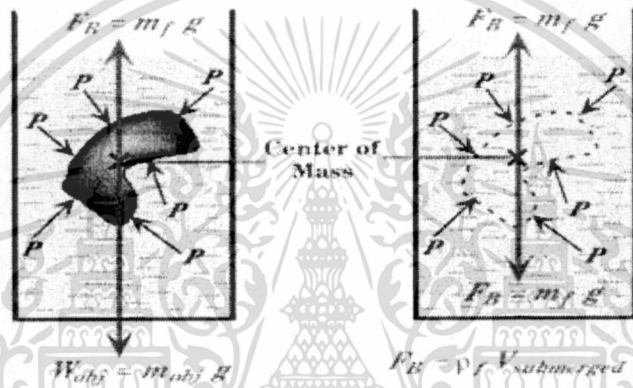
รูปที่ 2.4.3 กราฟแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส กับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำเนิดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส เป็นกำเนิดพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหลายแหล่งซึ่งแต่ละแหล่งจะมีเฟสตรงกันในแต่ละจุดที่มีเฟสเดียวกัน

2.5 แรงลอยตัวและหลักการของอาคิเมดิส

แรงลอยตัว คือแรงพยุงที่ของไหลกระทำกับวัตถุในทิศทางที่ตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงเมื่อวัตถุถูกของไหลล้อมรอบ หลักการของ Archimedes มีว่าวัตถุที่จมอยู่ในของไหลทั้งหมด หรือแม้แต่เพียงบางส่วน นั้นจะมีแรงพยุงจากความดันของของไหลมาพยุงวัตถุเอาไว้เช่นกัน โดยแรงพยุงดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่วัตถุจมอยู่ ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพเวกเตอร์แรงต่างๆที่กระทำกับวัตถุที่จมในของไหล

หลักการที่สำคัญก็คือไม่ว่าวัตถุแต่ละชิ้นจะมีน้ำหนักหรือความหนาแน่นเท่าใด ถ้าปริมาตรของวัตถุที่จมอยู่ในของเหลวมีปริมาตรเท่ากันแรงที่ของไหลออกแรงพยุงวัตถุจะมีค่าเท่ากันโดยสามารถอธิบายเป็นสมการได้ว่า

ในกรณีที่วัตถุจมทั้งหมดและลอยอยู่กลางของไหลสมการการเคลื่อนที่ที่จุดศูนย์กลางมวลจะเป็นดังนี้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 รวมกับตัวหุ่นเองแล้วต้องมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่หุ่นจมอยู่ในน้ำ ซึ่งการเลือกวัสดุที่ใช้ทำหุ่นที่เหมาะสมก็คือวัสดุที่มีความหนาแน่นเชิงมวลต่ำเป็นหลัก ส่วนรูปทรงนั้นต้องมีการศึกษาทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamic) ต่อไป เพื่อให้หุ่นที่ออกแบบสามารถถ่ายทอดพลังงานจากแอมพลิฟายเออร์ของคลื่นมาเป็นแรงในการยก Electromagnetic gearbox ให้ได้มากที่สุด

2.6 สมการคลื่นรูป Sinusoidal กับการเคลื่อนที่ของ piston

จากกฎการเคลื่อนที่ของ Newton สมการสำหรับสมการการเคลื่อนที่ของ Piston จะเป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	F_{buoy}	คือเป็นแรงของ การลอยตัวพุ่ง
	F_{em}	คือแรงแม่เหล็ก
	F_{spring}	คือแรงสปริง
	F_{stop}	คือตัวช่วยหยุด
	F_g	คือน้ำหนักของ Piston

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของพุ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแอมพลิจูดของคลื่นที่เข้ามาซึ่งเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแล้วจะพบว่ามีลักษณะเป็น Simple harmonic ที่มีสมการของตำแหน่งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาดังนี้

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

เมื่อ	$x(t)$	คือตำแหน่งของพุ่งที่เวลาใดๆ
	x_{max}	คือระยะสูงสุดที่พุ่งเคลื่อนที่ได้เมื่อเทียบกับจุดสมดุล
	ω	คือความถี่ของคลื่นที่เข้ามาโดยสามารถหาได้จากคาบของคลื่น T ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นสมการว่า $\omega = \frac{2\pi}{T}$
	ϕ	คือเฟสเริ่มต้นของคลื่นที่เข้ามา

เมื่อ x_{max} และ ϕ ค่าคงที่จะหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของพุ่งที่สัมพันธ์โดยกับคลื่นที่เข้ามาได้ดังนี้

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การวิเคราะห์สเตเตอร์

เครื่องจักรกำเนิดไฟฟ้าที่มีทรงกลมนั้นจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการหลีกเลี่ยงผลกระทบของขอบเขตสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในตัวอย่างนี้ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของปลายขดลวดจะปรากฏใน 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 จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ วางซ้อนกันหลายๆแผ่นเพื่อลดการเกิดกระแส Eddy ในขดลวด และลดการซึมซับสนามแม่เหล็กในแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งกระแส Eddy พื้นผิวของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ Stator นั้นจะเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กในบริเวณที่มีช่องว่างอากาศระหว่างแต่ละด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ช่องว่างของอากาศขนาดเล็กล้วนสามารถแก้ไขได้โดยให้มุมระหว่างแต่ละส่วนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดรอยต่อของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นวิธีนี้จึงสามารถป้องกันการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กได้ อันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มความต้านทานของวงจร โดยการเพิ่มความยาวของสายส่งซึ่งจะสูญเสียพลังงานไปบางส่วน แต่ยังไม่คิดถึงการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กระหว่างขอบของแต่ละส่วนของ Stator ในการแบ่งเฟสของพลังงานให้เห็นถึงแต่ละเฟส และแสดงให้เห็นถึงการใช้ค่า q ซึ่งเป็นจำนวนของช่องต่อขั้วและเฟสที่ใช้ในรูป ในกรณีที่มีขดลวดรอบทุกส่วนของ Stator ถ้าความยาวของตัวนำนั้นสั้นก็จะทำให้การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานจะเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากทำให้ค่าความเหนี่ยวนำที่ปลายขดลวด L มีค่าต่ำซึ่งจะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของเครื่องกำเนิดมีค่าต่ำเช่นกัน โดยสามารถพิสูจน์จากสมการค่าอิมพีแดนซ์ในไฟฟ้ากระแสสลับดังนี้

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

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

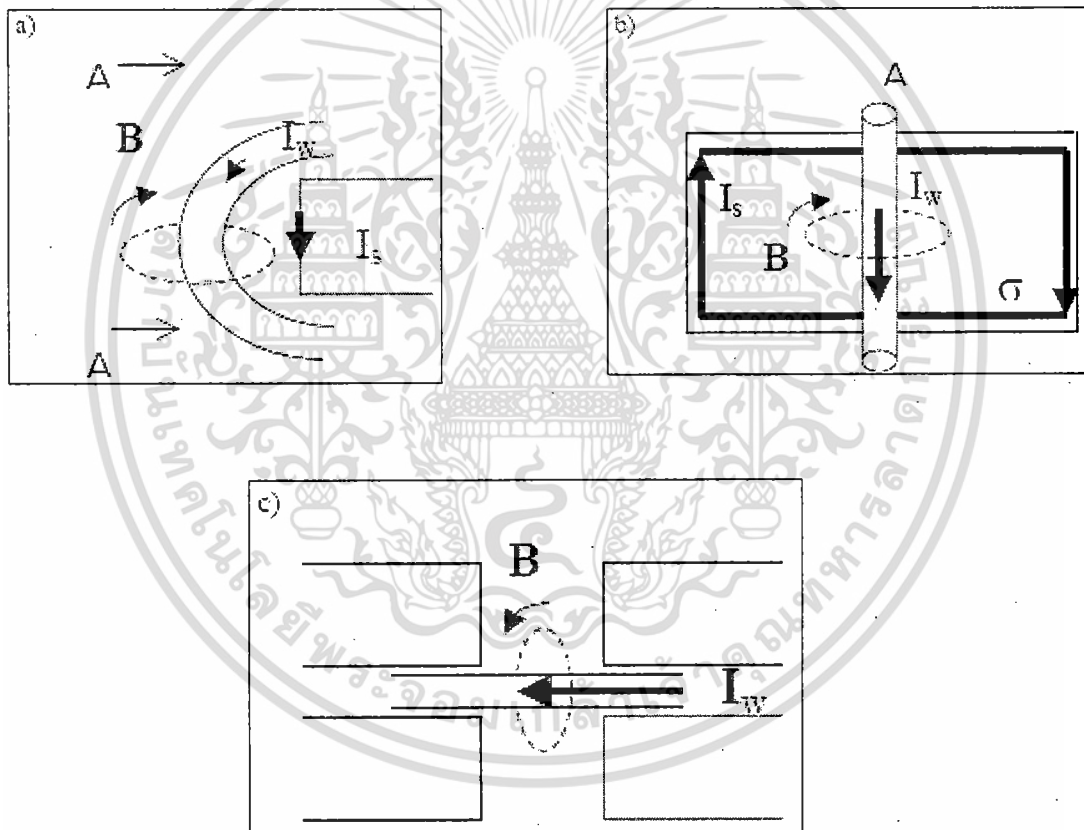
เมื่อ	R	เป็นค่าความต้านทานคงที่ของขดลวด
	X_L	เป็นค่าความต้านทานเนื่องจากค่าความเก็บประจุของขดลวด
	X_C	เป็นค่าความต้านทานเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด
	L	เป็นค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด
	C	เป็นค่าความเก็บประจุไฟฟ้าของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้มีค่าความเก็บประจุไฟฟ้าของขดลวดน้อยจนสามารถประมาณให้เท่ากับ 0 ได้ ดังนั้น ผลเฉลยของสมการค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดขณะทำงานจะเป็น

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

ตามที่ Biot-Savart ได้กล่าวไว้ว่ากระแส I_w ภายในลวดที่ Stator จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก B ดังรูปที่ 4 ฟลักซ์แม่เหล็ก B จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแส I_s ที่ผิวของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ Stator ดังรูปที่ 2.7a และ 2.7b ซึ่งการเกิดการเหนี่ยวนำคู่ทั้งสองนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการพันลวดรอบทุกส่วน ดังรูปที่ 2.7c

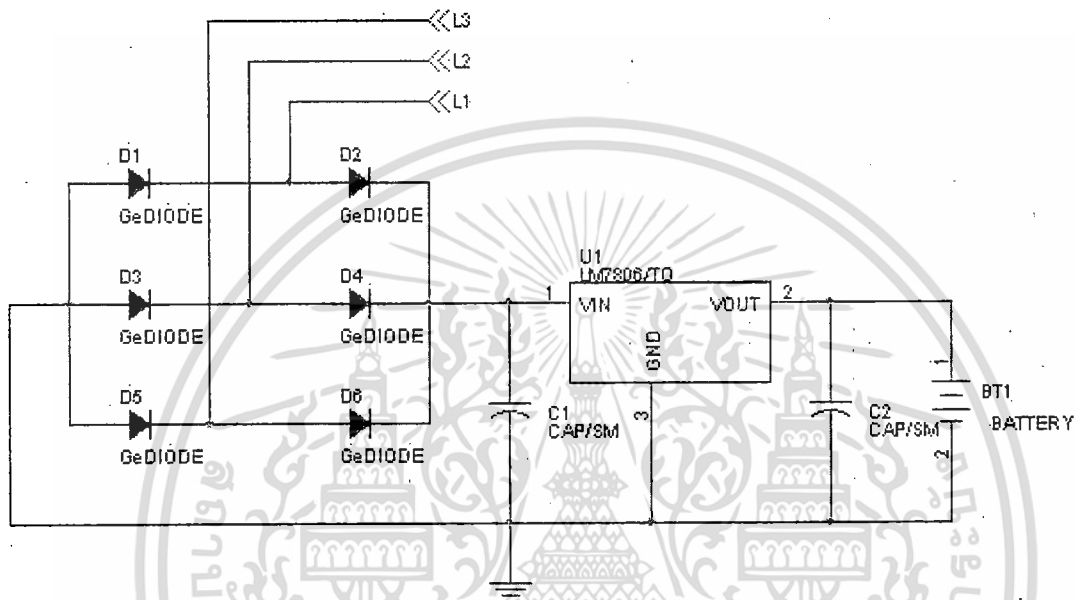


รูปที่ 2.7 แผนภาพของกระแสที่พื้นผิวของ Stator ซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยกระแสในขดลวดที่พันรอบ Stator ในกรณีของรูป a และ b นั้นเป็นการเกิดของกระแสที่พื้นผิวของ Stator ซึ่งพัฒนาแบบแยกแต่ละส่วน (Surface mounts) ในกรณีของรูป c เป็นการเกิดกระแสที่พื้นผิวของ Stator ซึ่งพัฒนาแบบรอบ Stator (Burries)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 วงจรการแปลงสัญญาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

เนื่องจากพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส ในเบื้องต้นนี้จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้อยู่ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันคงที่แล้วจึงนำมาเก็บกักเอาไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ด้วยวงจรแปลงกระแสดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 วงจรแปลงพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่ในรูปไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่

ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้อยู่ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรงด้วยการเรียงกระแสโดยใช้เยอรมันเนียมไดโอด 6 ตัว เนื่องจากเป็นไดโอดที่มีแรงดันขีดเริ่มต่ำกว่าซิลิกอนไดโอดคือที่ 0.37 โวลต์จึงทำให้สูญเสียพลังงานในการเรียงกระหน้ยกว่าใช้ซิลิกอนไดโอด ซึ่งจะทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังคงมีการแกว่งของสัญญาณ ต่อมาทำการลดแอมพลิจูดการแกว่งของสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ และเร็กกูเลเตอร์ ดังนั้นจึงทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปอัดไฟฟ้าเข้าไปไปที่แบตเตอรี่ตามที่ต้องการ

บทที่ 3

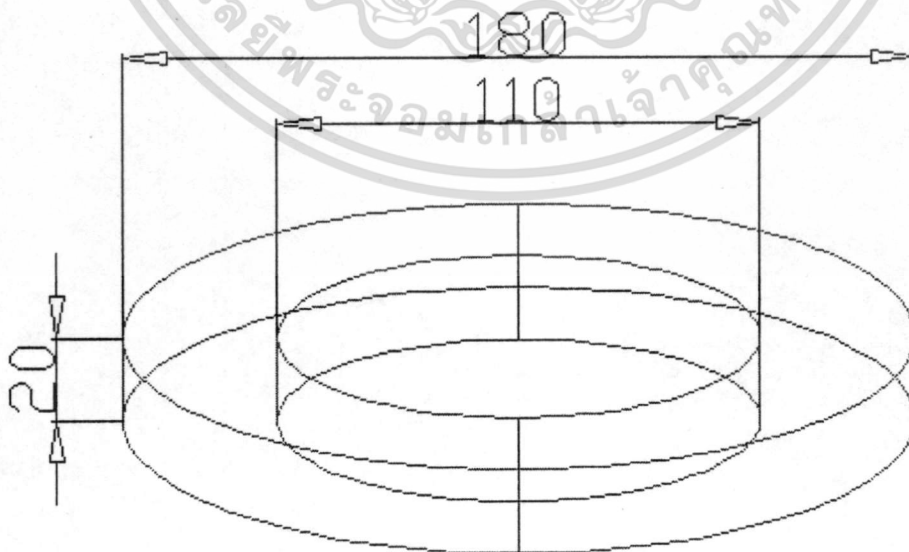
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การจัดหาแม่เหล็กถาวรรูปทรงโดนัทและทำการวัดค่าทางฟิสิกส์ที่เหมาะสม

แม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทโอบอ้อมอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแม่เหล็กที่ใช้ทำลำโพง ที่มีรูปทรงคล้ายโดนัทดังรูปที่ 3.1.1 และรูปที่ 3.1.2 เมื่อทำวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงกลและเชิงแม่เหล็กพบว่าได้ผลดังนี้

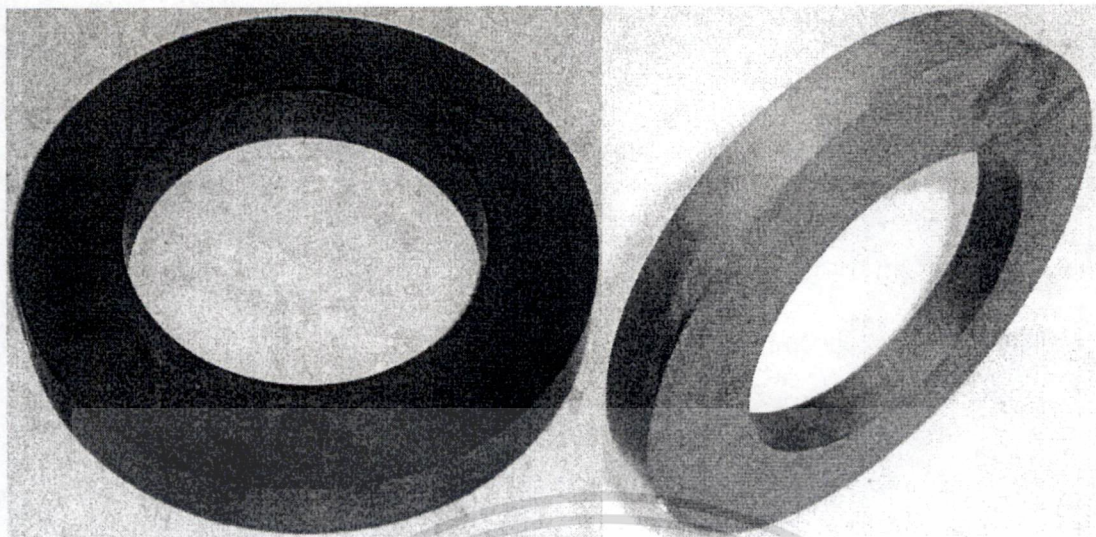


รูปที่ 3.1.1 แม่เหล็กถาวรทำลำโพงที่มีรูปทรง Toriod



รูปที่ 3.1.2 ขนาดของมิติต่างๆของแม่เหล็กถาวร (ในหน่วยของมิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมด ไม่ว่ากรณิดอกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.3 แม่เหล็กถาวรทำล่ำโง 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

3.1.2 การวัดค่าทางฟิสิกส์เชิงแม่เหล็ก

ปริมาณทางฟิสิกส์เชิงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่สำคัญในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำคือ

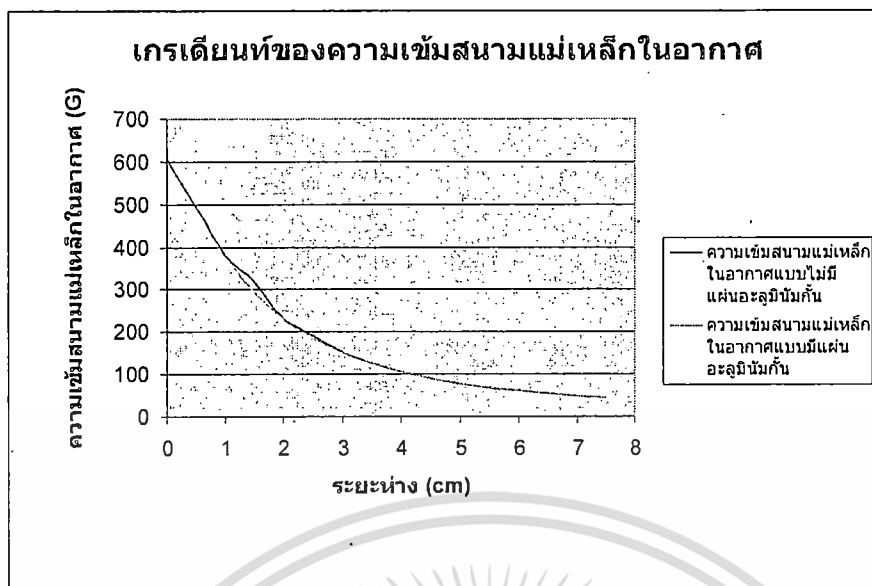
- เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ
- เกรเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อนที่ความหนาต่างๆ

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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

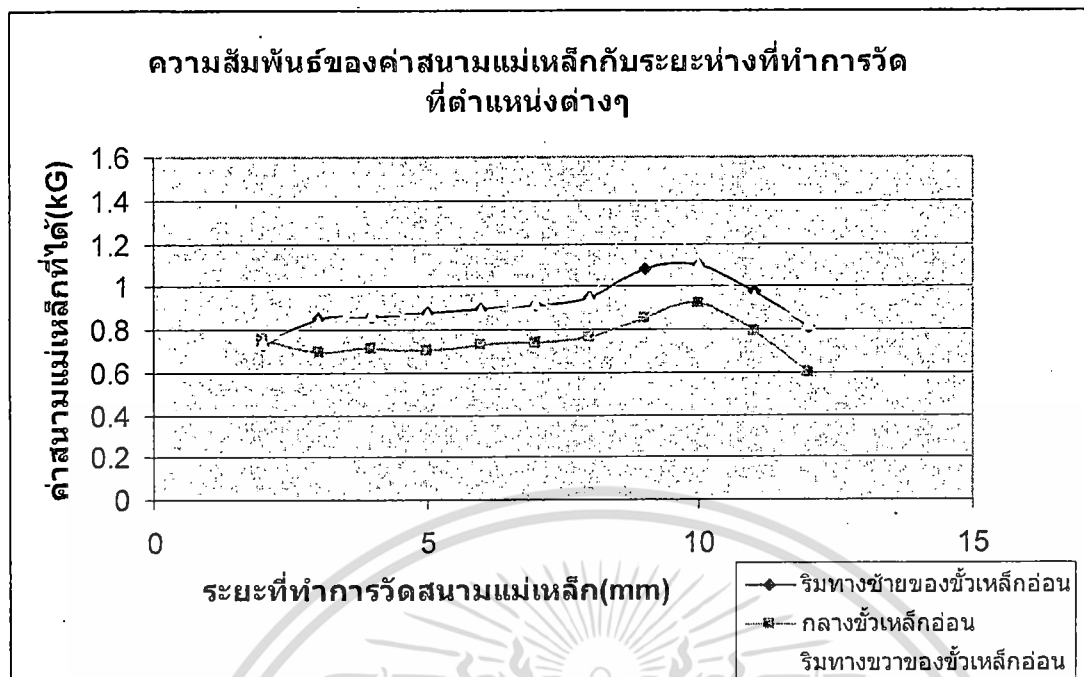


รูปที่ 3.1.2.1 กราฟแสดงแนวโน้มของความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ

ความหนาของขั้วเหล็กอ่อน (mm)	ความเข้มสนามที่ตำแหน่งต่างๆ (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 กราฟแสดงแนวโน้มของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อน
รูปสี่เหลี่ยมที่มีความหนาต่างๆ

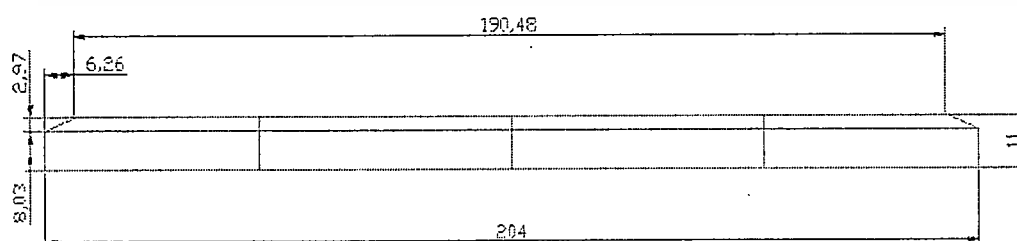
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.2.2 กราฟกระเดียนท์ของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อให้สนามผ่านขั้วเหล็กอ่อน
ที่ความหนาต่างๆ

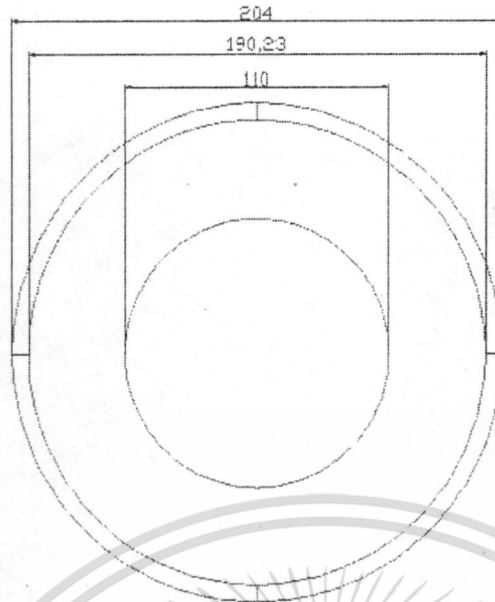
3.2 ออกแบบขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กให้เหมาะสมกับแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่ และการวางตำแหน่งของชุดแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic Gearbox)

การออกแบบขั้วเหล็กอ่อนนั้นมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการบังคับสนามให้สามารถไปตัดกันที่ขดลวดพอดีเนื่องจากระหว่างขดลวดที่พันอยู่กับท่อ PVC จากขนาดของแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่นั้นพบว่าเหมาะสมกับท่อพีวีซีขนาด 10 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมีค่า 216 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีค่า 204 mm) แต่เนื่องจากแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 180 mm ทำให้เหลือช่องว่างระหว่างขดลวดกับแม่เหล็กถาวรมาก เพื่อลดช่องว่างดังกล่าวจึงมีการสร้างขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กและบังคับสนามแม่เหล็กให้ไปตัดที่ขดลวดได้พอดี เมื่อทำการออกแบบแล้วขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.2.1-3.2.4



รูปที่ 3.2.1 ภาพด้านข้าง (Side view) ของขั้วเหล็กอ่อนในหน่วยของมิลลิเมตร

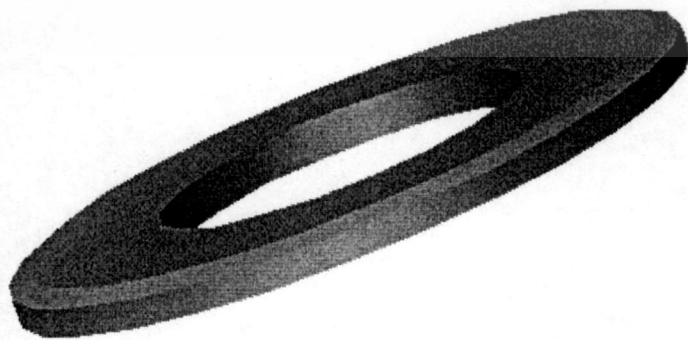
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.2 ภาพด้านบน (Top view) ของของขั้วเหล็กอ่อน

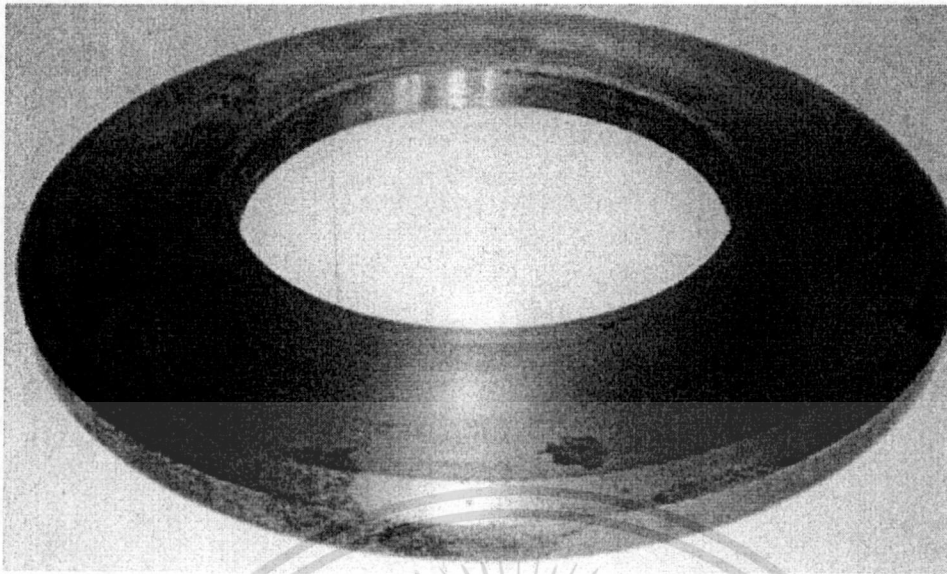


รูปที่ 3.2.3 รูปสองมิติด้านข้างของมุมที่ทำการปาดขั้วเหล็กอ่อนเพื่อบังคับสนามแม่เหล็กให้ไปตัดที่ขดลวดได้พอดี



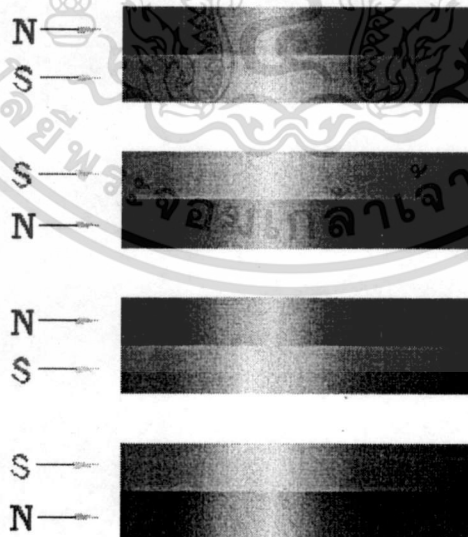
รูปที่ 3.2.4(a) ภาพสามมิติของขั้วเหล็กอ่อนที่ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.4(b) ขั้วเหล็กอ่อน

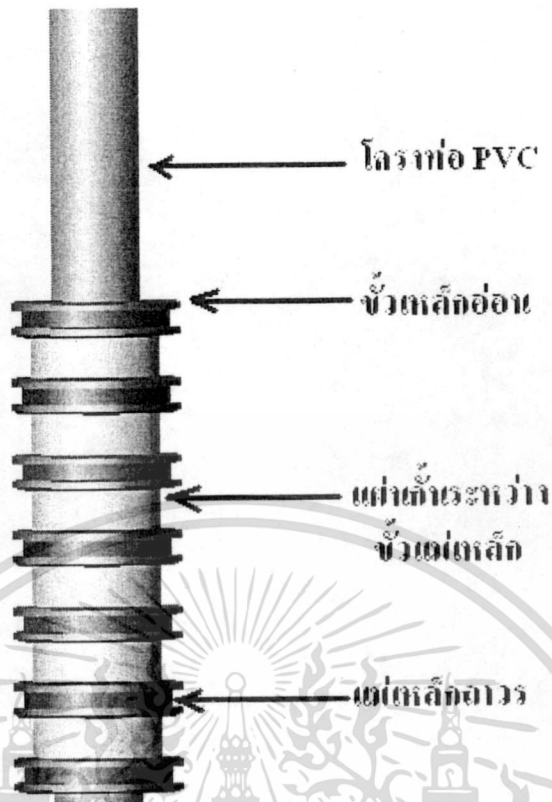
ส่วนในการวางตำแหน่งของชุดแม่เหล็กถาวรหรือกล่องเฟืองแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic gearbox) จะเป็นการนำแม่เหล็กถาวรหลายๆอันมาวางซ้อนกัน โดยที่แม่เหล็กอันที่อยู่ติดกันจะถูกวางให้ขั้วที่เหมือนกันหันหน้าเข้าหากันดังรูปที่ 3.2.5 ซึ่งจะให้เกิด Gradient field ที่มีค่าสูงขึ้น โดยที่เมื่อประกอบกันเข้าเป็นชุดแม่เหล็กถาวรแล้วตัวแม่เหล็กถาวรแต่ละอันจะมีขั้วเหล็กอ่อนประกบทั้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



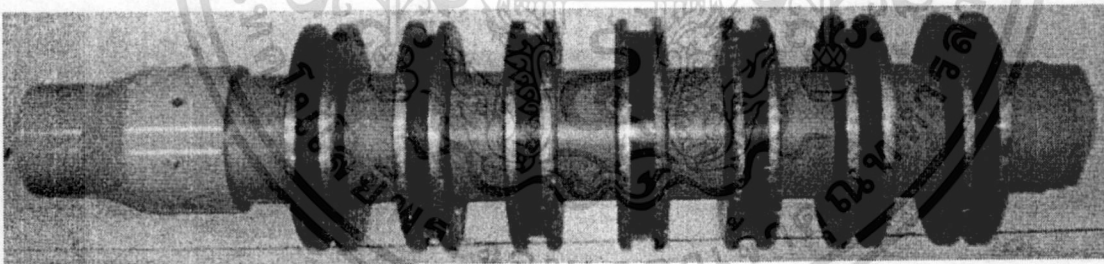
รูปที่ 3.2.5 รูปของการจัดวางขั้วของแม่เหล็กถาวรของกล่องเฟืองแม่เหล็กไฟฟ้า

หรือ Electromagnetic gearbox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.6 แบบของชุดกล่องเกียร์แม่เหล็ก (Electromagnetic gearbox) ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006



รูปที่ 3.2.7 ชุดกล่องเกียร์แม่เหล็ก (Electromagnetic gearbox)

3.3 การออกแบบและจัดวางขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้า

การออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานและขั้วเหล็กอ่อนขยายสนามแม่เหล็กนั้นต้องทำการออกแบบให้มีมิติต่างๆที่สัมพันธ์กัน เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่จะมาตัดผ่านขดลวดนั้นจะออกมาจากแม่เหล็กถาวรแล้วส่งผ่านออกไปทางขั้วเหล็กอ่อนไปตัดผ่านขดลวด ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบขดลวดกำเนิดพลังงานตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะได้รับและให้เหมาะสมกับชุดแม่เหล็กถาวรที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้ก่อนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่ให้กำเนิดกำลังงานไฟฟ้า 3 เฟส แบบซิงโครนัส ดังนั้นในการออกแบบโดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

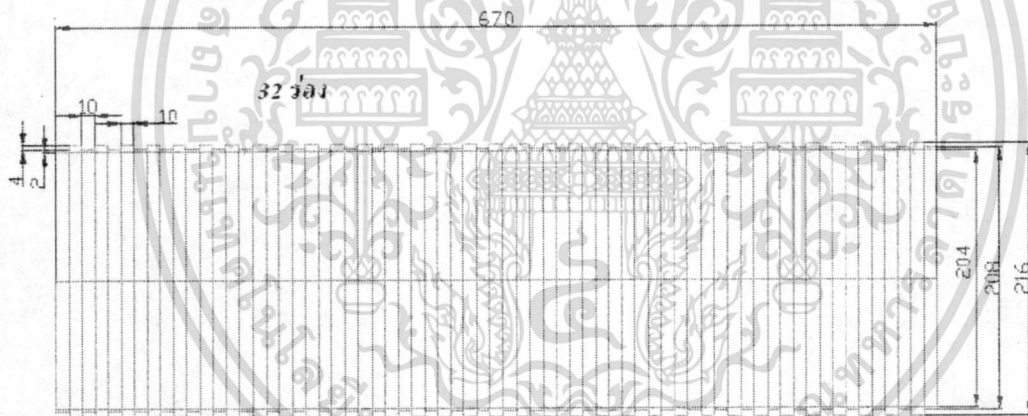
จากสมการที่ $q = \frac{\tau_s}{3a_s}$ (26)

กำหนดค่า $\tau_s = 90 \text{ mm}$

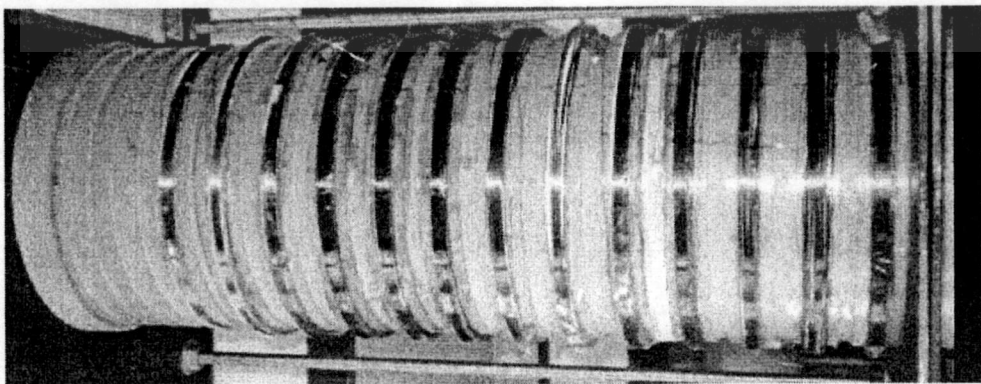
$a_s = 20 \text{ mm}$

ดังนั้น $q = 3/2$

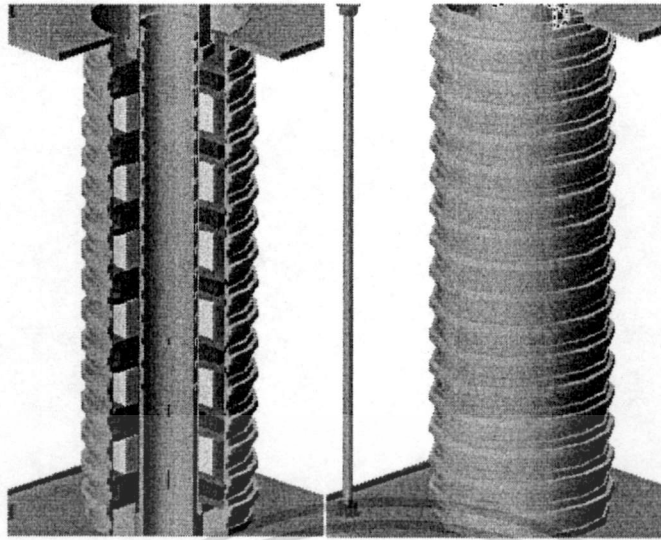
ค่า q หมายความว่า จะมีขดลวด 3 เฟส 3 ชุด (9 ชุด) กระจายปกคลุมระยะของ ขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เนื่องจากท่อ PVC ที่ใช้เป็น Stator มีขนาดดังรูปที่ 3.3.1 จึงมีขดลวดทั้งหมด 15 ชุด เพราะมีการต่อร่องที่ปลายทั้ง 2 ด้านของ Stator กล่าวคือจะมีขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 15 ชุด



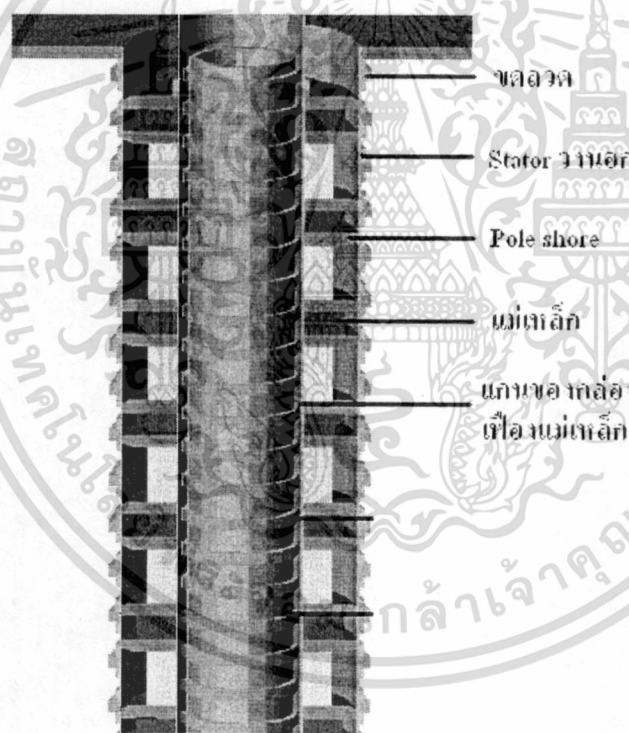
รูปที่ 3.3.1(a) ด้านข้างของท่อ PVC ที่ใช้เป็น Stator วงนอก (หน่วย mm.) ที่ออกแบบแบบโปรแกรม AutoCAD 2006



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น กรุณาอย่าได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



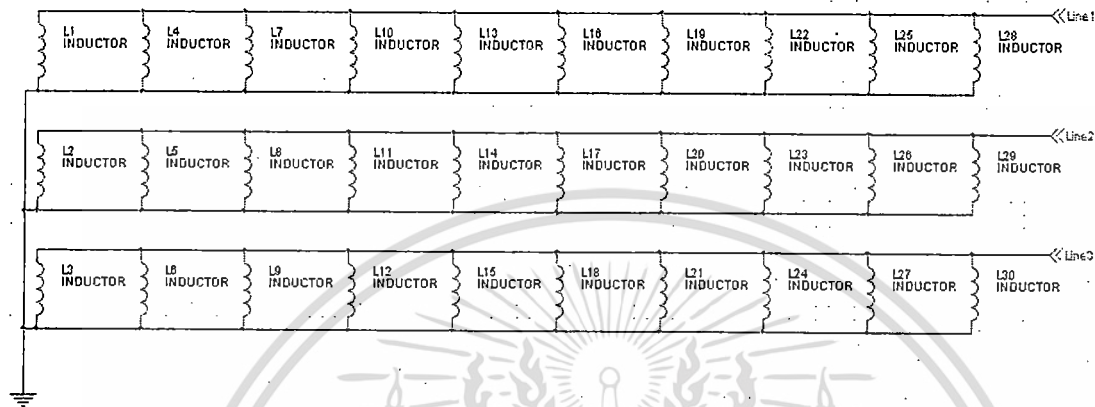
รูปที่ 3.3.2 ภาพตัดให้เห็น โครงสร้างภายในของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง



รูปที่ 3.3.3 แสดงส่วนต่างๆ ภายในและภายนอกของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแนวตรง

จากขนาดของแม่เหล็กถาวรที่มีอยู่นั้นพบว่าเหมาะสมกับท่อพีวีซีขนาด 10 นิ้ว (216 มิลลิเมตร) ที่จะใช้เป็นโครงในการพันลวดวงนอก โดยที่แกนท่อ PVC วงนอกนั้นจะถูกเจาะร่องไว้สำหรับพันลวดซึ่งมีลักษณะเป็นร่องๆที่มีความกว้างของร่องเท่ากับทุกร่องทั้งวงนอก และมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างของแต่ละร่องเท่าๆกันเรียงต่อกันไป จะทำให้เกิดเป็นขดลวดหลายๆขด แล้วทำการแบ่งทีละขดซึ่งในแต่ละขดจะมี 3 ขด แล้วนำขดแรกของแต่ละขดมารวมกันก็จะได้เป็นเฟสที่ 1 นำขดที่ 2 ของแต่ละขดมารวมกันก็จะได้เป็นเฟสที่ 2 และนำขดที่ 3 ของแต่ละขดมารวมกันก็จะได้เป็นเฟสที่ 3 ดังรูปที่ 3.3.4



รูปที่ 3.3.4 วงจรของการเชื่อมต่อขดลวดกำเนิดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส 10 ขด

ในการคำนวณจำนวนรอบของขดลวดจะพิจารณาจากสมการที่ (5) ในบทที่ 2

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

จากสมการดังกล่าวเมื่อจัดรูปใหม่ให้อยู่ในเทอมของ N เท่ากับจะได้ว่า

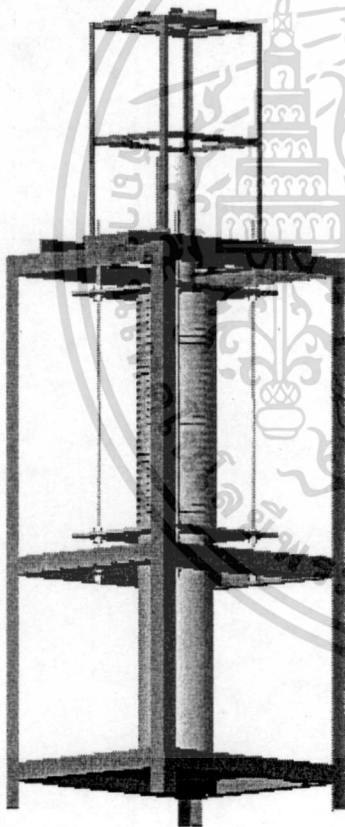
$$N = -\frac{V_{emf} dt}{A dB} \quad (27)$$

จะพบว่าจำนวนรอบของขดลวดจะขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_{emf} ที่ต้องการ พื้นที่หน้าตัดขดลวด A และอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา $\frac{dB}{dt}$ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กต่อหน่วยเวลานี้จะพิจารณาจากแอมพลิจูดของคลื่น , ความถี่ของคลื่น , ระยะห่างระหว่างขั้วเหล็กอ่อน และค่าผลต่างความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กของชุดแม่เหล็กถาวร(Gearbox) เมื่อทำการคำนวณแล้วพบว่าถ้าขดลวดวงนอกใช้ลวดทองแดงอบน้ำยาเบอร์ 27 (0.44 mm) จะได้จำนวน 540 รอบ

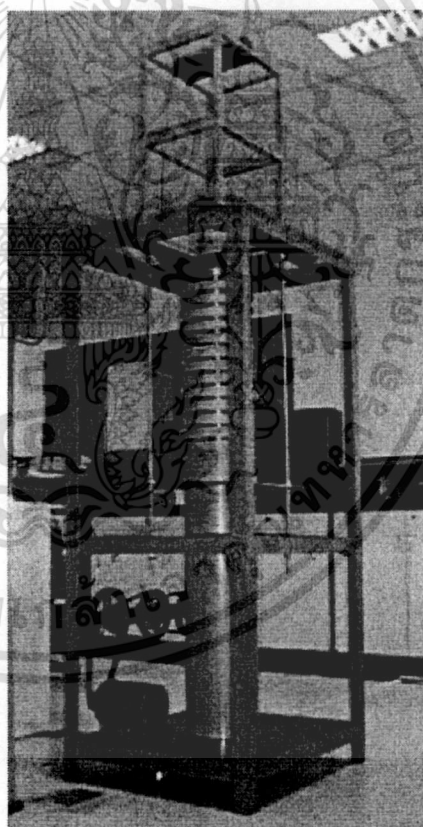
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่จะใช้ประกอบเครื่องด้วยโปรแกรม AutoCAD 2006

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบชิ้นเหล็กอ่อน และขดลวดกำเนิดพลังงานแล้วขั้นต่อไปเป็นการเขียนแบบโครงสร้างที่จะติดตั้งท่อ PVC ที่ใช้เป็นโครงในการพันขดลวดทั้งชั้นในและชั้นนอก รวมถึงชุดแม่เหล็กถาวรด้วย ในการเขียนแบบเบื้องต้นได้ทดลองใช้โปรแกรม Auto CAD 2006 ออกแบบโครงสร้างตำแหน่งต่างๆแบบ 2 มิติ แต่เกิดปัญหาในการเก็บรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ และการถอดแบบออกมาใช้เป็นมาตรฐานในการสร้างชิ้นงาน เนื่องจากโครงสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำนี้ มีส่วนประกอบของชิ้นงานที่ซับซ้อน จึงได้ทำการออกแบบใหม่ในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งจากการการปรับเปลี่ยนดังกล่าวพบว่าสามารถเก็บรายละเอียดของส่วนต่างๆได้ทั้งหมด อีกทั้งยังสะดวกในการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องโดยรวมได้จากภาพที่คัดออกมาจากโปรแกรมกับภาพชิ้นงานจริงดังรูปที่ 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)

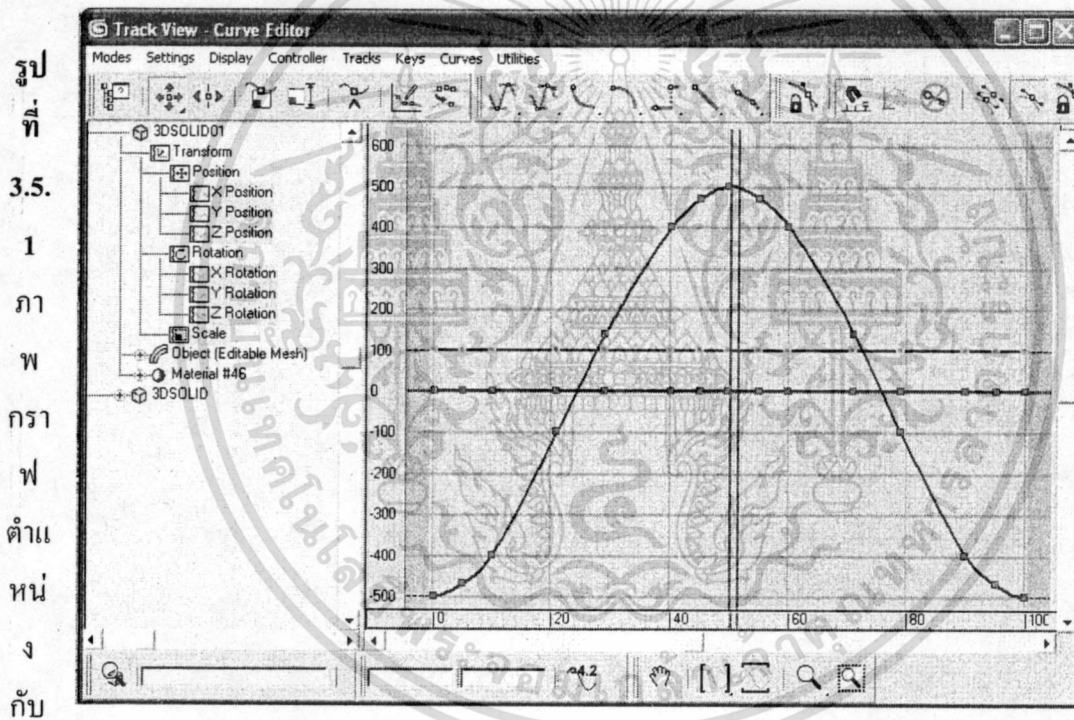
รูปที่ 3.4.2 ภาพของต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำที่สร้างตาม
แบบที่เขียนด้วยโปรแกรม Auto CAD 2006 (ภาพทางขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานวิชาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

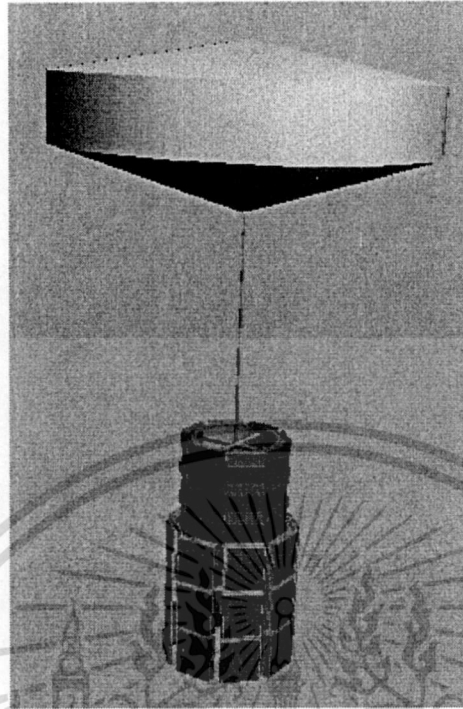
3.5 จำลองการเคลื่อนที่ของชุดแม่เหล็กขั้วเคลื่อนที่ผ่านขดลวดด้วยโปรแกรม 3Dmax7

การจำลองการเคลื่อนที่ของชุดแม่เหล็กขั้วของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำขณะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดด้วยโปรแกรม 3Dmax 7 นั้นจัดทำขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์การออกแบบระบบจำลองคลื่นด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่จะติดตั้งให้กับเครื่องต้นแบบและเก็บข้อมูลจากการจำลอง ซึ่งจะทำให้สามารถทำให้เข้าใจการกำหนดระยะเวลาชักขึ้น-ลงที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะทำการขับให้ชุดแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่

ในการจำลองเหตุการณ์ขณะที่มีคลื่นเข้ามาถ่ายทอดพลังงานให้กับเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ ตัวหุ่นลอยในอุดมคติจะมีการเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นที่เข้ามาแบบเฟสตรงกัน ซึ่งในเบื้องต้นได้ทำการจำลองให้คลื่นที่เข้ามามีรูปเป็นลักษณะของ Sinusoidal ดังกราฟตำแหน่งกับเวลาที่คัดมาจากโปรแกรม 3Dmax 7 ดังรูปที่ 3.5.1



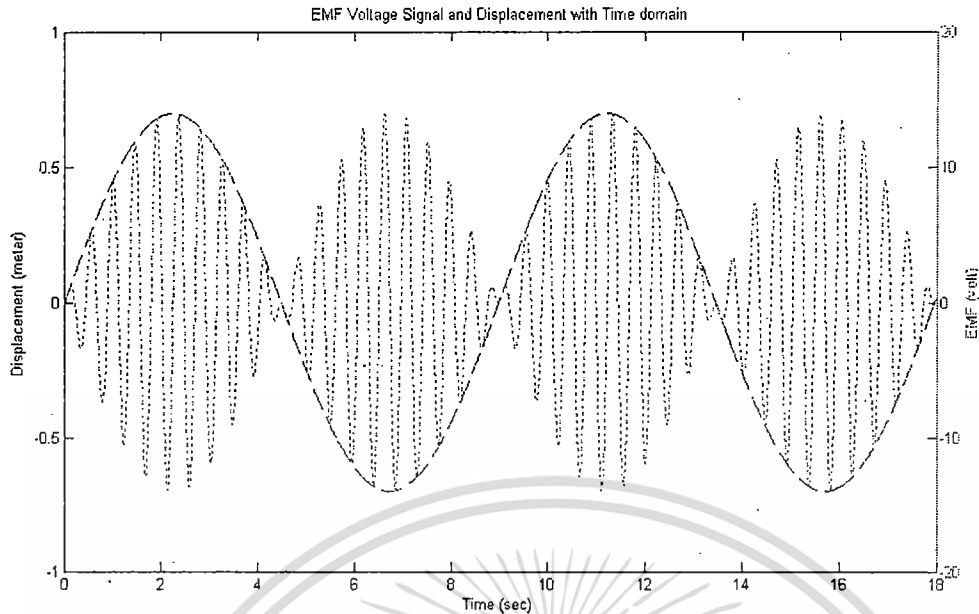
เวลาที่คัดมาจากโปรแกรม 3Dmax 7



รูปที่ 3.5.2 ภาพตัวหุ่นลอยและเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำ
ที่ตัดมาจาก โปรแกรม 3Dmax 7

3.6 การจำลองสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ด้วยโปรแกรม Math LAB

จากการทดลองกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบซินโครนัสสามเฟส ซึ่งได้จำลองการเกิดคลื่นน้ำทะเลที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ 0.7 เมตร คาบเวลา 1.3 วินาที หรือประมาณประมาณ 0.76 เฮิร์ต โปรแกรม Math LAB ด้วยเงื่อนไขของคลื่นในสถานะอุดมคติดังกล่าว จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดกับแอมพลิจูดตั้งสมการ (1) และคลื่นจะจำลองในในสถานะคลื่นอุดมคติ (Sine wave) ซึ่งจะมีสมการการเคลื่อนที่ของทุ่นตั้งสมการที่ (6) พบว่าได้ผลของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสดังรูปที่ 3.6

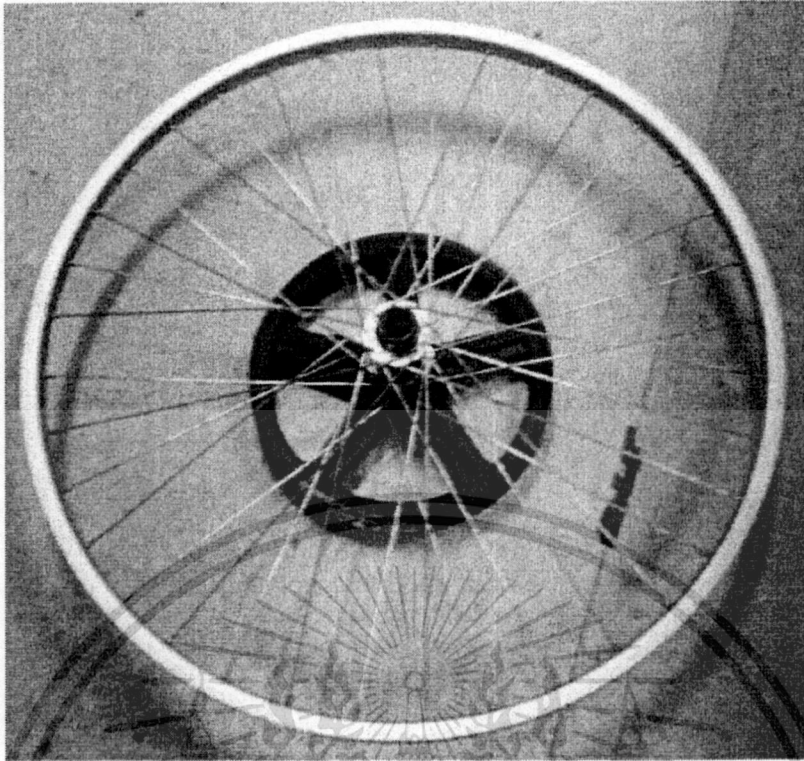


รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่ได้กับเวลา และความสัมพันธ์ตำแหน่งของท่อนที่ได้กับเวลา ในสภาวะคลื่นอุดมคติ

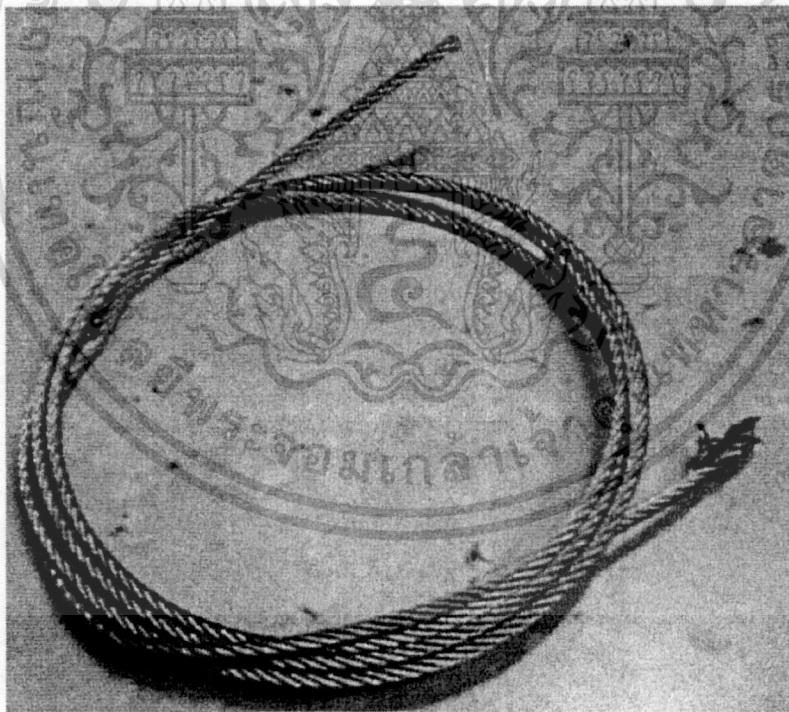
รูปสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดตามเวลาที่ได้จากการจำลองสัญญาณไฟฟ้าพบว่า มีลักษณะคาบการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชุดแม่เหล็กตามคลื่นน้ำที่เคลื่อนที่เข้ามา (Sine Wave) มีคาบของเวลาเท่ากับคาบเวลาของคลื่นที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของท่อน ส่วนคาบของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จะมีค่าเท่ากับระยะพิทของชุดแม่เหล็กถาวรต่ออัตราเร็วเชิงมุมของคลื่นที่เข้ามายังท่อน

3.7 การออกแบบและสร้างระบบขับเคลื่อนแม่เหล็กด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โครงค้ำจันทันขนาด 24 นิ้ว หรือประมาณ 60 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7.1 มาเป็นตัวขับเคลื่อน Electromagnetic Gearbox ที่มีน้ำหนัก 43 กิโลกรัม ให้เคลื่อนที่ขึ้นและลงแบบซิมเปิลฮามอนิกส์ที่มีคาบเวลาในการเคลื่อนที่อยู่ที่ประมาณ 2 วินาที ซึ่งการขับเคลื่อน Electromagnetic Gearbox นี้จะใช้ลวดสลิงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.7 มิลลิเมตร ในการส่งผ่านกำลังงาน ดังรูปที่ 3.7.2 โดยที่ล้อจันทันจะถูกเชื่อมติดกับมู่เล่เหล็กหล่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ดังรูปที่ 3.7.3 ในการขับมู่เล่ให้หมุนตามความถี่ที่ต้องการจะใช้สายพานคู่ในการขับเคลื่อนจากมู่เล่เหล็กหล่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ที่ต่ออยู่กับกล่องเกียร์ทรอบที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 แรงม้า

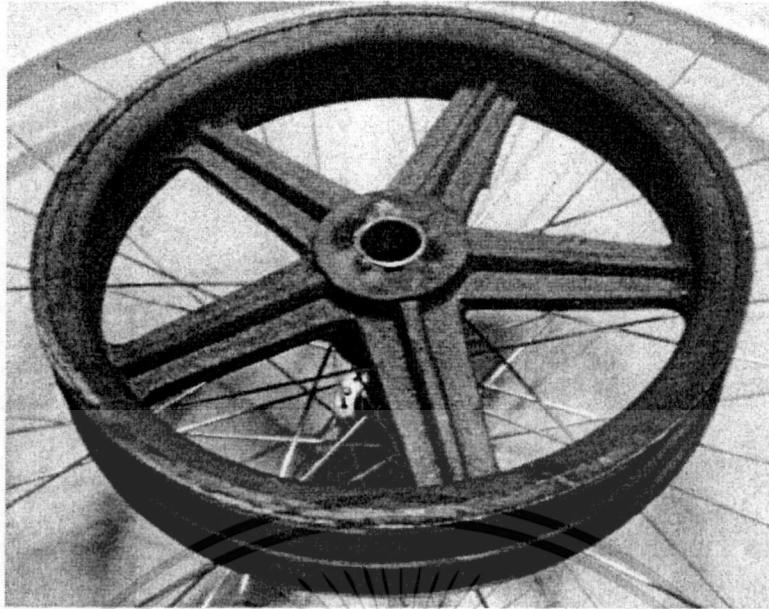


รูปที่ 3.7.1 โครงล้อจักรยานขนาด 24 นิ้ว หรือประมาณ 62 เซนติเมตร



รูปที่ 3.7.2 ลวดสลิงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.7 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



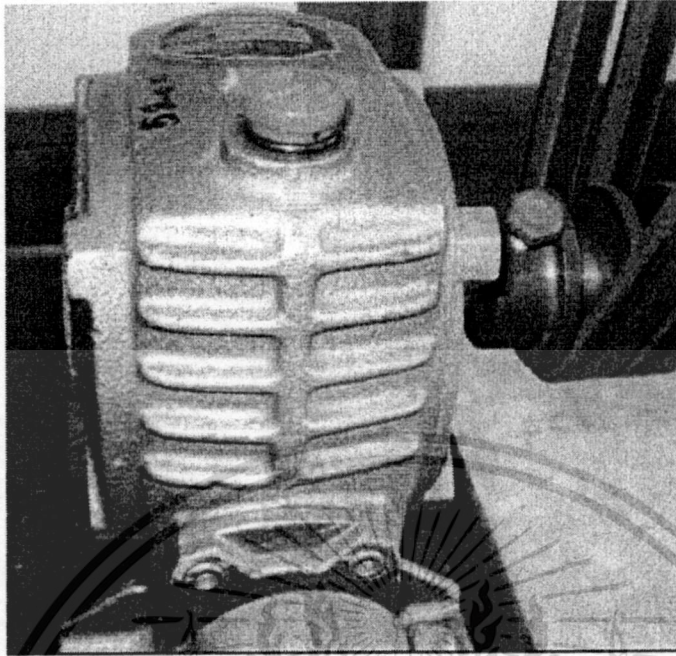
รูปที่ 3.7.3 มู่เล่

เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีอยู่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบรอบสูงที่มีทั้งขดลวดทำงานและขดลวดเริ่มต้น ซึ่งมอเตอร์ตัวนี้มีความเร็วรอบอยู่ที่ 1490 รอบต่อนาทีดังรูปที่ 3.7.4 เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ใช้กล่องเกียร์ทดรอบที่มีอัตราทด 1 ต่อ 30 จำนวน 1 ตัวดังรูปที่ 3.7.5 มาทำการทดรอบมอเตอร์ และเพื่อให้กล่องเกียร์ทดรอบสามารถขับได้มู่เล่ทดรอบโดยในการทดรอบนี้มีการใช้ชุดทดรอบดังกล่าวเชื่อมต่อกันด้วยสายพาน พบว่าเมื่อทำการทดรอบแล้วสามารถขับ Electromagnetic Gearbox ให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยในหนึ่งคาบเวลาเป็น 0.6 m/s



รูปที่ 3.7.4 ภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบรอบสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ใดได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7.5 ภาพของกล่องเกียร์ทศรอบที่มีอัตราทด 1 ต่อ 30

โดยอัตราทศรอบนี้คำนวณจากสมการ

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

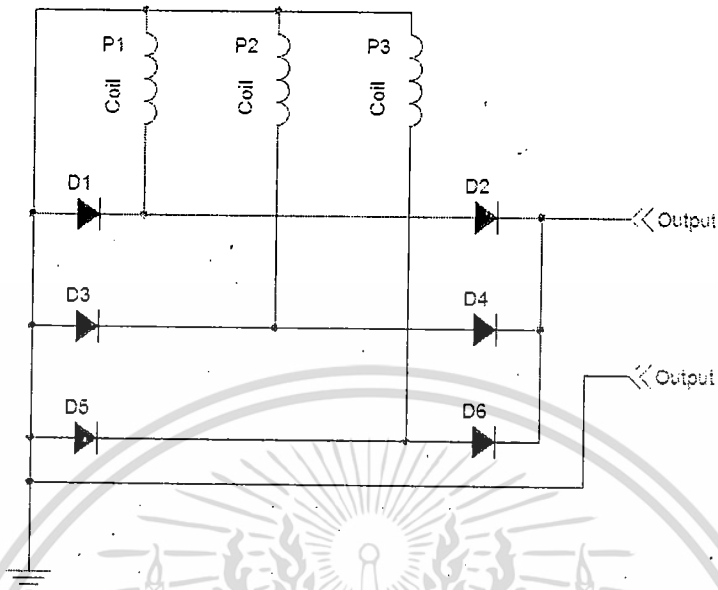
โดยที่ ω_1 คืออัตราเร็วเชิงมุมของมู่เล่ตัวส่งกำลัง
 ω_2 คืออัตราเร็วเชิงมุมของมู่เล่ตัวรับกำลัง
 r_1 คือรัศมีของมู่เล่ตัวส่งกำลัง
 r_2 คือรัศมีของมู่เล่ตัวรับกำลัง

3.8 การออกแบบวงจรเพื่อจัดรูปสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่จากขดลวดเหนี่ยวนำ

เนื่องสัญญาณไฟฟ้าจากขดลวดเหนี่ยวนำที่ได้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่มีความถี่ไม่คง ดังนั้นในเบื้องต้นจึงต้องทำการแปลงสัญญาณแรงดันดังกล่าวให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ซึ่งสามารถต่อวงจรแปลงได้ 2 แบบ คือแบบ Y และแบบ Δ ดังนี้

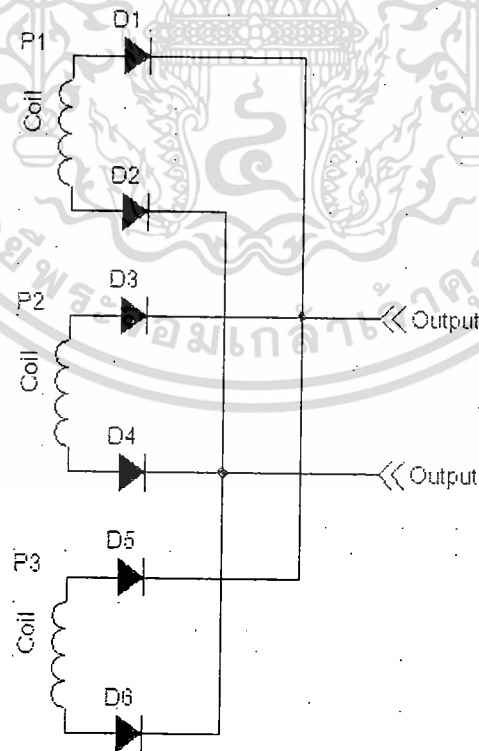
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงแบบ Y



รูปที่ 3.8.1 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็น 1 เฟสแบบ Y

วงจรแปลงแบบ Δ

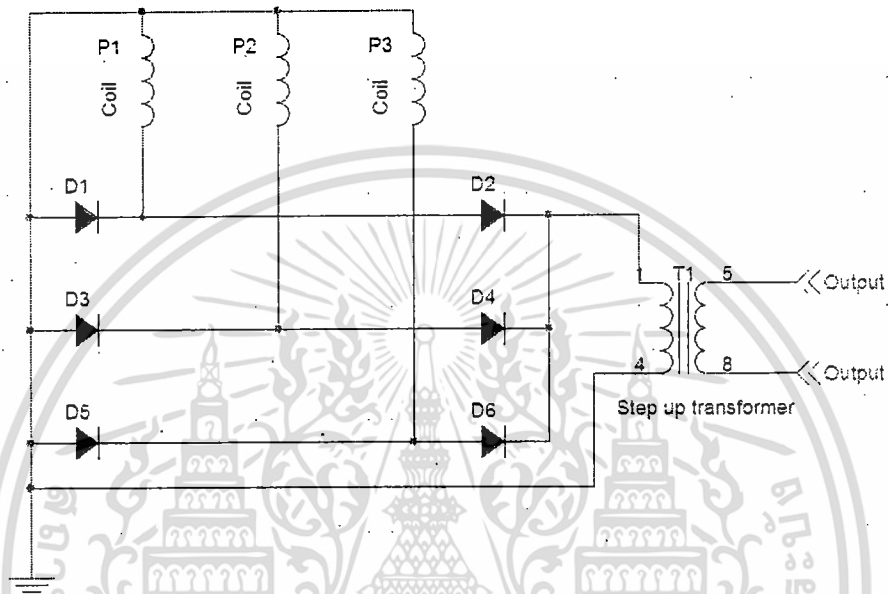


รูปที่ 3.8.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็น 1 เฟสแบบ Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

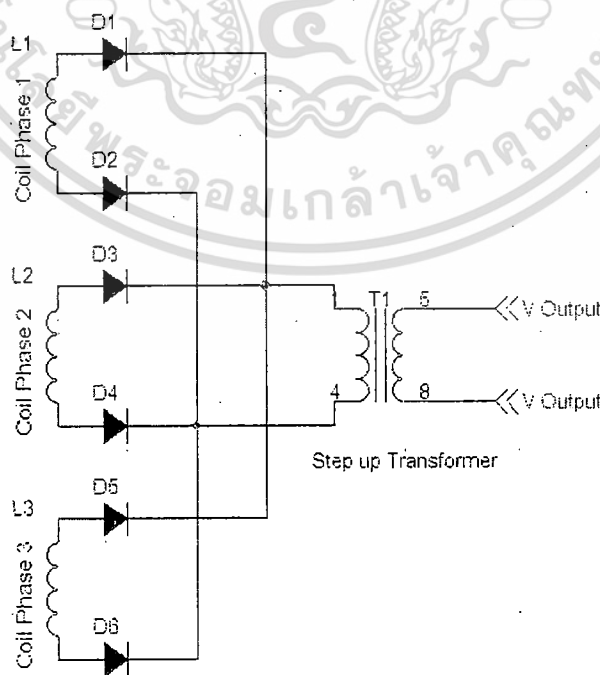
เมื่อได้ต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แล้วแรงดัน Output ที่ได้จะมีค่าแรงดันพิกทูลที่สูงขึ้น เนื่องจากเกิดการ Superposition กันของแรงไฟฟ้าในแต่ละเฟส ซึ่งสามารถนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปต่อกับหม้อแปลง Step up หรือวงจรเรียงและกรองกระแสได้ต่อไปดังนี้

วงจรแปลงแบบ Y ต่อกับหม้อแปลง Step up



รูปที่ 3.8.3 วงจรแปลงแบบ Y ต่อกับหม้อแปลง Step up

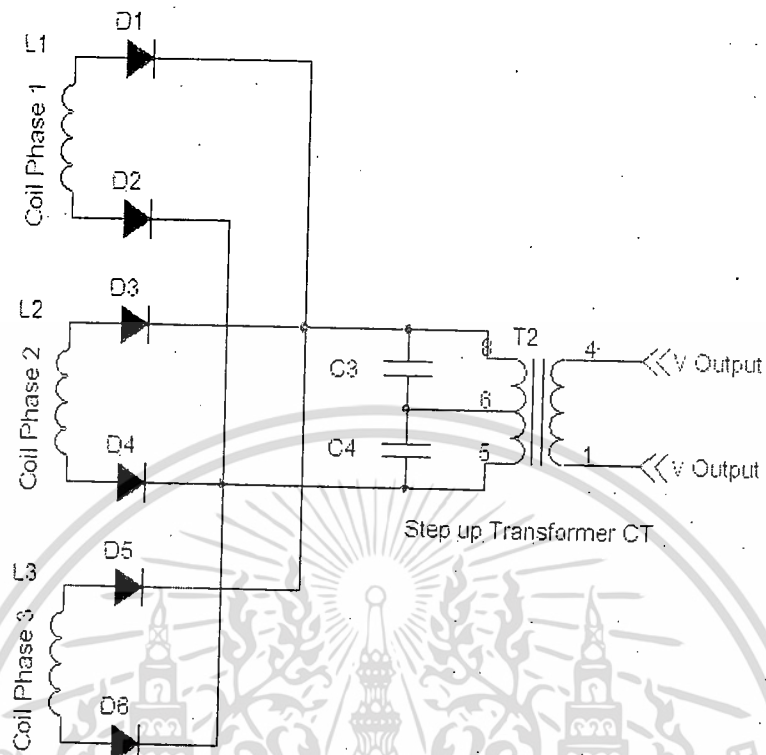
วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับหม้อแปลง Step up



รูปที่ 3.8.4 วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับหม้อแปลง Step up

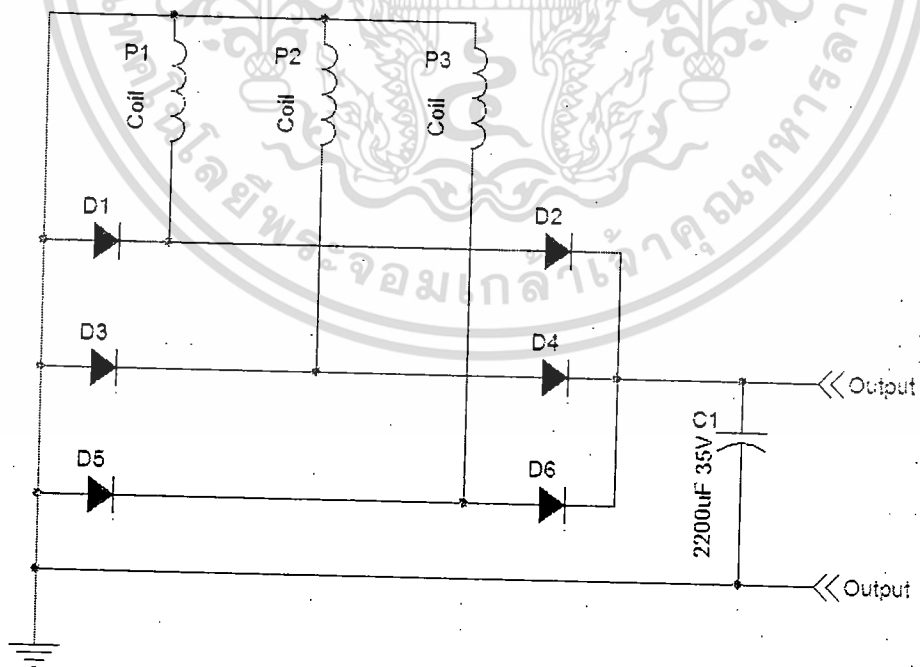
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับหม้อแปลง Step up แบบ Center Trap



รูปที่ 3.8.5 วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับหม้อแปลง Step up แบบ Center Trap

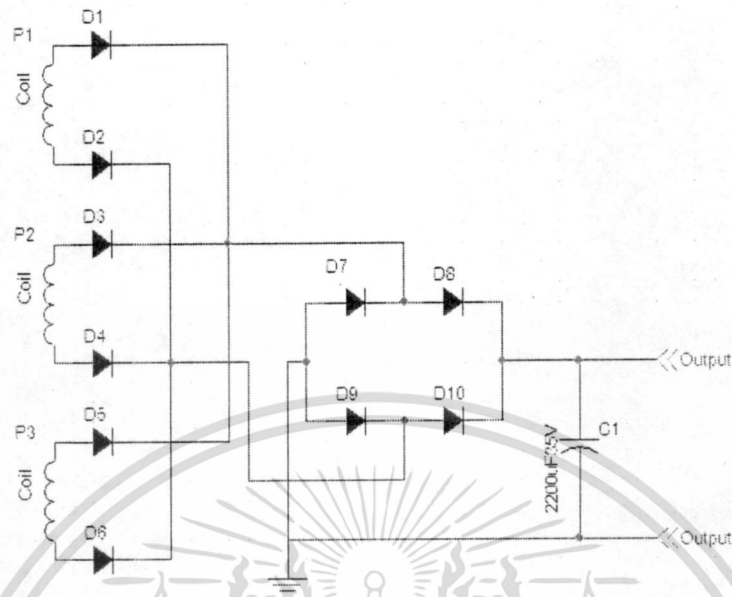
วงจรแปลงแบบ Y ต่อกับตัวเก็บประจุเพื่อกรองกระแส



รูปที่ 3.8.6 วงจรแปลงแบบ Y ต่อกับตัวเก็บประจุเพื่อกรองกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

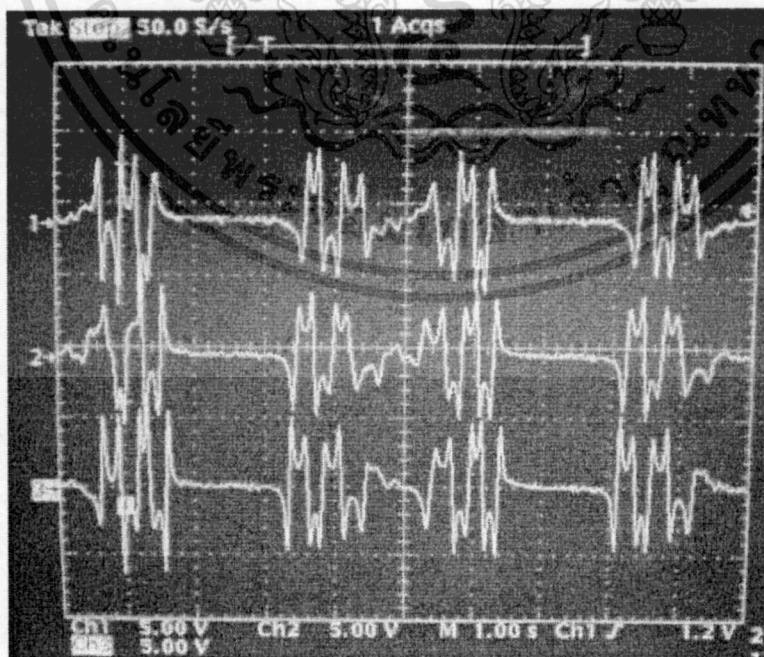
วงจรแปลงแบบ Δ ต่อวงจรเรียงและกรองกระแส



รูปที่ 3.8.7 วงจรแปลงแบบ Δ ต่อกับวงจรเรียงและกรองกระแส

3.9 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.62 เมตร ที่คาบเวลา 2 วินาทีพบว่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่ยังไม่ได้ใส่ขั้วเหล็กอ่อนรอบๆควดเหนี่ยวนำเป็นรูปที่ 3.9.1

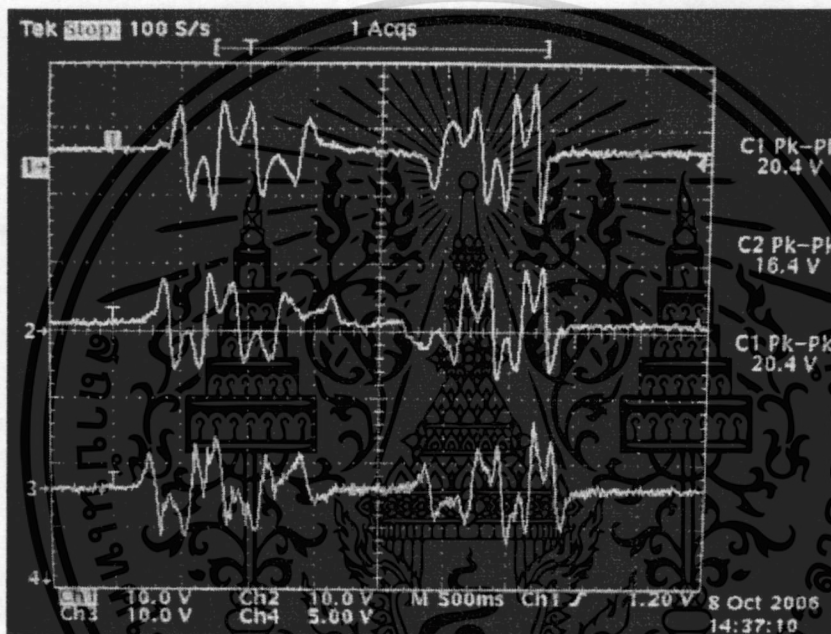


รูปที่ 3.9.1 สัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสที่ได้จากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9.1 จะพบว่าสัญญาณที่ได้ค่าแรงดัน V_{p-p} เฉลี่ยของทั้ง 3 เฟสอยู่ที่ 10 Volts ส่วนแรงดัน V_{RMS} เฉลี่ยของทั้ง 3 เฟสอยู่ที่ 1.65 Volts ส่วนกำลังไฟฟ้านั้นยังไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากยังไม่ต่อโหลดเข้ากับระบบ

เมื่อใส่ขั้วเหล็กอ่อนเข้าไปในระบบโดยครอบขดลวดเหนี่ยวนำทั้ง 3 เฟสพบว่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่บริเวณขดลวดมีค่ามากขึ้น เนื่องจากแรงดันที่วัดได้จากขดลวดเหนี่ยวนำมาค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 3.9.2

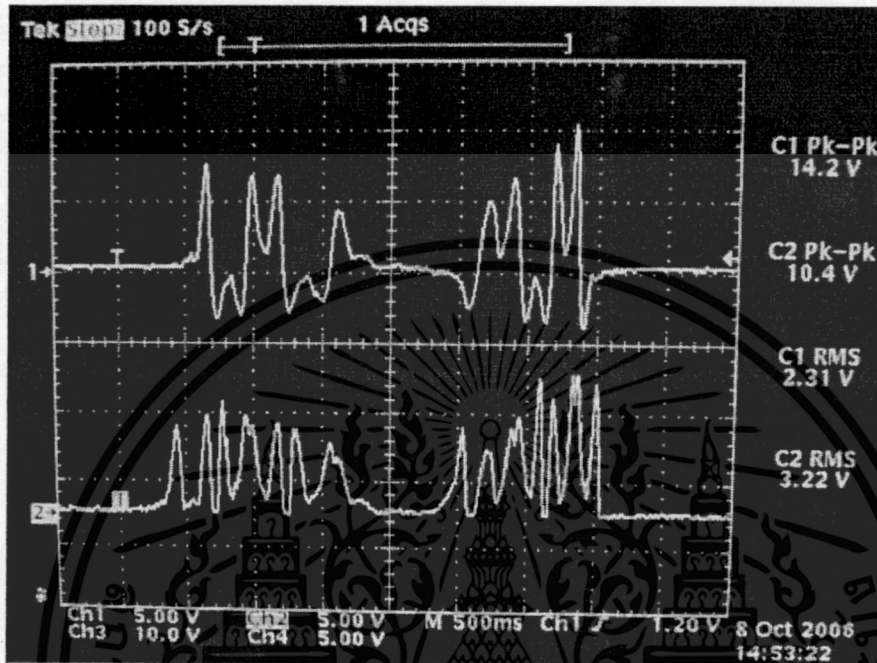


รูปที่ 3.9.2 สัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสที่ได้จากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่เชิงเส้นหลังจากใส่ขั้วเหล็กอ่อน

จากรูปที่ 3.9.2 จะพบว่าสัญญาณที่ได้ค่าแรงดัน V_{p-p} เฉลี่ยของทั้ง 3 เฟสอยู่ที่ 18.58 Volts ส่วนแรงดัน V_{RMS} เฉลี่ยของทั้ง 3 เฟสอยู่ที่ 3.33 Volts ส่วนกำลังไฟฟ้านั้นยังไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากยังไม่ต่อโหลดเข้ากับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Y ดังรูปที่ 3.8.1 เข้ากับระบบพบว่ารูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.3

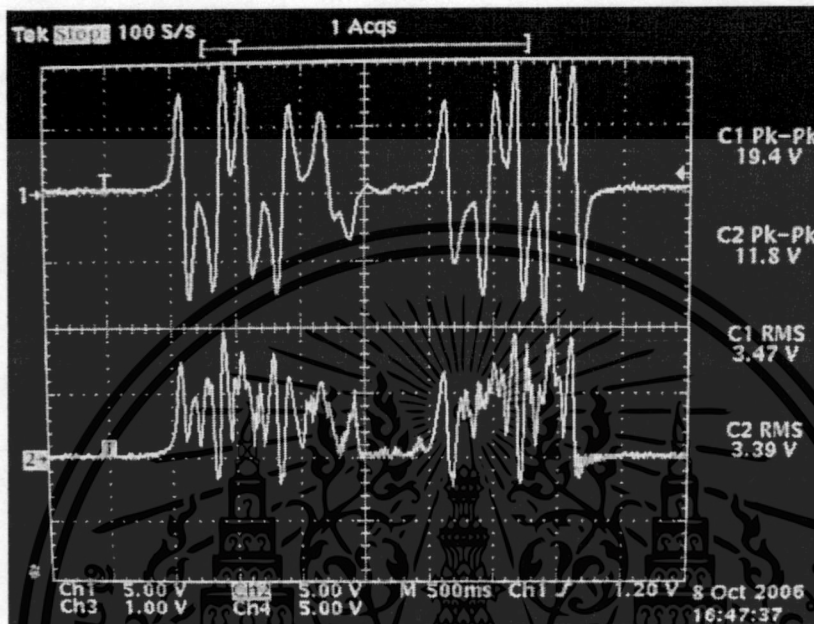


รูปที่ 3.9.3 รูปสัญญาณหลังจากคอกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y

จากรูปที่ 3.9.3 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 14.2 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 2.31 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y ที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 10.4 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.22 Volts ส่วนกำลังไฟฟ้านั้นยังไม่สามารถวัดได้เนื่องจากยังไม่ต่อโหลดเข้ากับระบบ

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Δ ดังรูปที่ 3.8.2 เข้ากับระบบพบว่ารูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.4



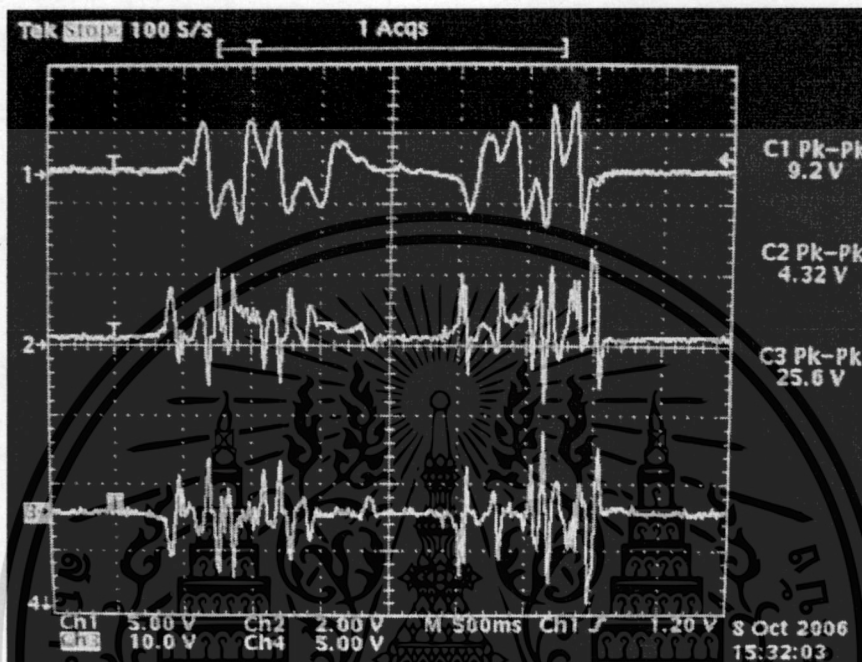
รูปที่ 3.9.4 รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ

จากรูปที่ 3.9.4 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 19.4 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.47 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y ที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 11.8 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.39 Volts ส่วนกำลังไฟฟ้านั้นยังไม่สามารถวัดได้เนื่องจากยังไม่ต่อโหลดเข้ากับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Y และต่อเข้ากับหม้อแปลง Step up ดังรูปที่ 3.8.3 พบว่า รูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.5



รูปที่ 3.9.5 รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y และหม้อแปลง Step up

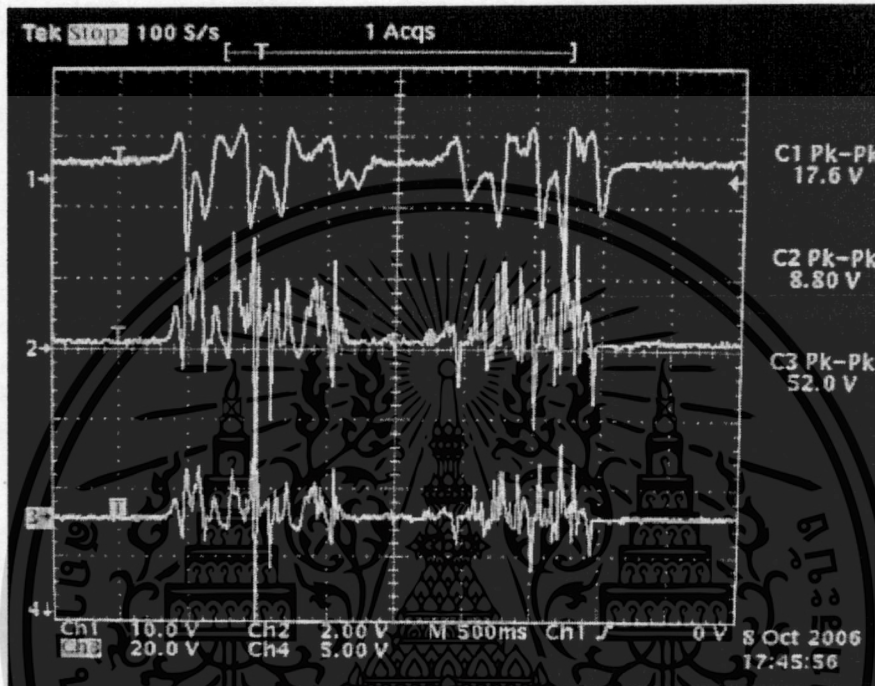
จากรูปที่ 3.9.5 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 9.2 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 1.15 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y ที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 4.32 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 0.648 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 3 คือแรงดันจากหม้อแปลง Step up ที่มีอัตราเพิ่มแรงดันที่ 6.11 เท่า ซึ่งพบว่าค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 25.6 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 2.52 Volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Δ และต่อเข้ากับหม้อแปลง Step up ดังรูปที่ 3.8.4 พบว่า รูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.6



รูปที่ 3.9.6 รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ และหม้อแปลง Step up

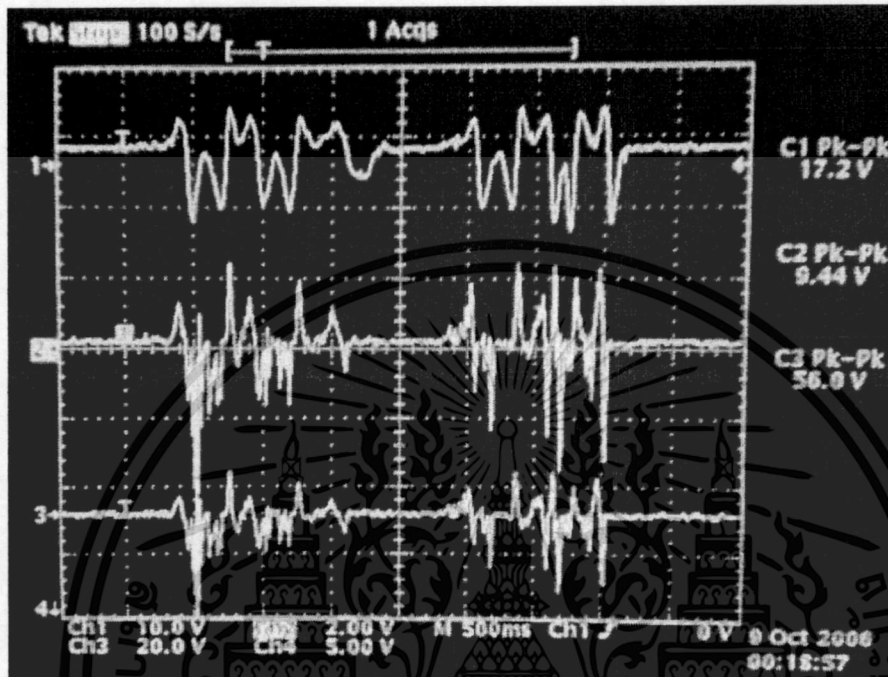
จากรูปที่ 3.8.6 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 17.6 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.27 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ ที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 8.80 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 0.77 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 3 คือแรงดันจากหม้อแปลง Step up ที่มีอัตราเพิ่มแรงดันที่ 6.11 เท่า ซึ่งพบว่าค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 52.0 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 4.6 Volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Δ และต่อเข้ากับหม้อแปลง Step up ดังรูปที่ 3.8.5 พบว่า รูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.7



รูปที่ 3.9.7 รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ และหม้อแปลง Step up

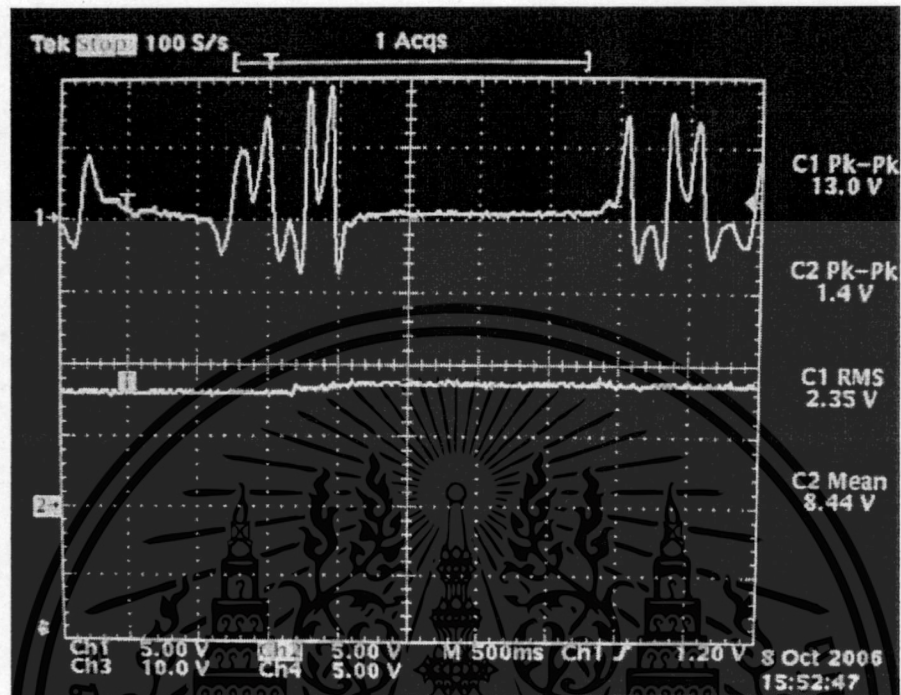
จากรูปที่ 3.9.7 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 17.2 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.74 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ ที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 9.94 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 0.724 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 3 คือแรงดันจากหม้อแปลง Step up ที่มีอัตราการเพิ่มแรงดันที่ 6.11 เท่า ซึ่งพบว่าค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 56.0 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 4.24 Volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Y และต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด $2200\mu\text{F}$ -35 Volts ดังรูปที่ 3.8.6 พบว่า รูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.8



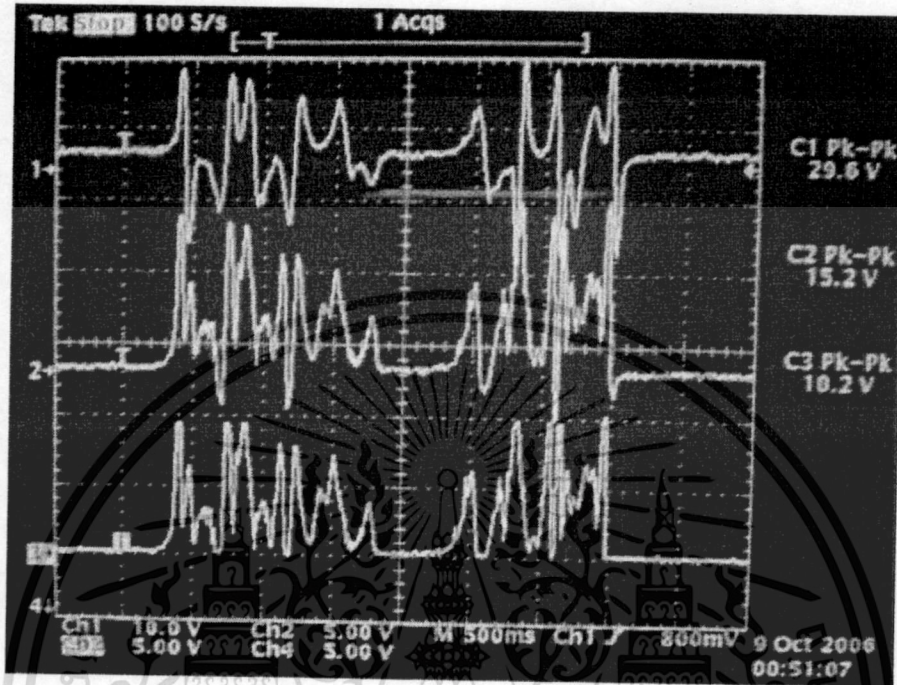
รูปที่ 3.9.8 รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y เข้ากับตัวเก็บประจุขนาด $2200\mu\text{F}$ -35 Volt

จากรูปที่ 3.9.8 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{p-p} ของเฟสอยู่ที่ 13.0 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 2.35 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Y ที่มีค่าแรงดัน V ของเฟสอยู่ที่ 8.44 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 1.4 Volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้เป็น 1 เฟสแบบ Δ และต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด $2200\mu\text{F}$ Volts ดังรูปที่ 3.8.7 พบว่า รูปสัญญาณที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.9.9



รูปที่ 3.9.9 รูปสัญญาณหลังจากต่อกับวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ เข้ากับตัวเก็บประจุขนาด $2200\mu\text{F}$ Volt

จากรูปที่ 3.9.9 จะพบว่าช่องสัญญาณที่ 1 คือแรงดันจากขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าแรงดัน V_{P-P} ของเฟสอยู่ที่ 29.6.2 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 4.92 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 คือแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแบบ Δ ที่มีค่าแรงดัน V_{P-P} ของเฟสอยู่ที่ 15.2 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.67 Volts

ส่วนช่องสัญญาณที่ 3 คือแรงดันจากหม้อแปลง Step up ที่มีอัตราการเพิ่มแรงดันที่ 6.11 เท่า ซึ่งพบว่าค่าแรงดัน V_{P-P} ของเฟสอยู่ที่ 10.2 Volts และแรงดัน V_{RMS} ของเฟสอยู่ที่ 3.53 Volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 ประสิทธิภาพของ PMLG

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ PMLG นั้นจะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์กำลังงานจากขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังงานที่ต้องใช้ในขดลวดเฟืองแม่เหล็ก โดยในการวิเคราะห์นี้จะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนพลังงานในการให้กำเนิดพลังงานของขดลวดเหนี่ยวนำ

3.10.1 กำลังงานที่ใช้ในการยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก

กำลังงานในการใช้ยกกล่องเฟืองแม่เหล็กนั้นถือได้ว่าเป็นกำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) ซึ่งจะคิดเฉลี่ยจากอัตราการเปลี่ยนของความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละคาบ โดยที่ในการทดลองนี้จะทำการควบคุมอัตราการเปลี่ยนของความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละคาบแล้วจึงนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณกำลังงานขาเข้าของระบบจากสมการที่ (28)

$$P_{in} = \frac{W}{t} \quad (28)$$

$$P_{in} = \frac{Fs}{t} \quad (29)$$

$$P_{in} = \frac{mgh}{t} \quad (30)$$

โดยที่

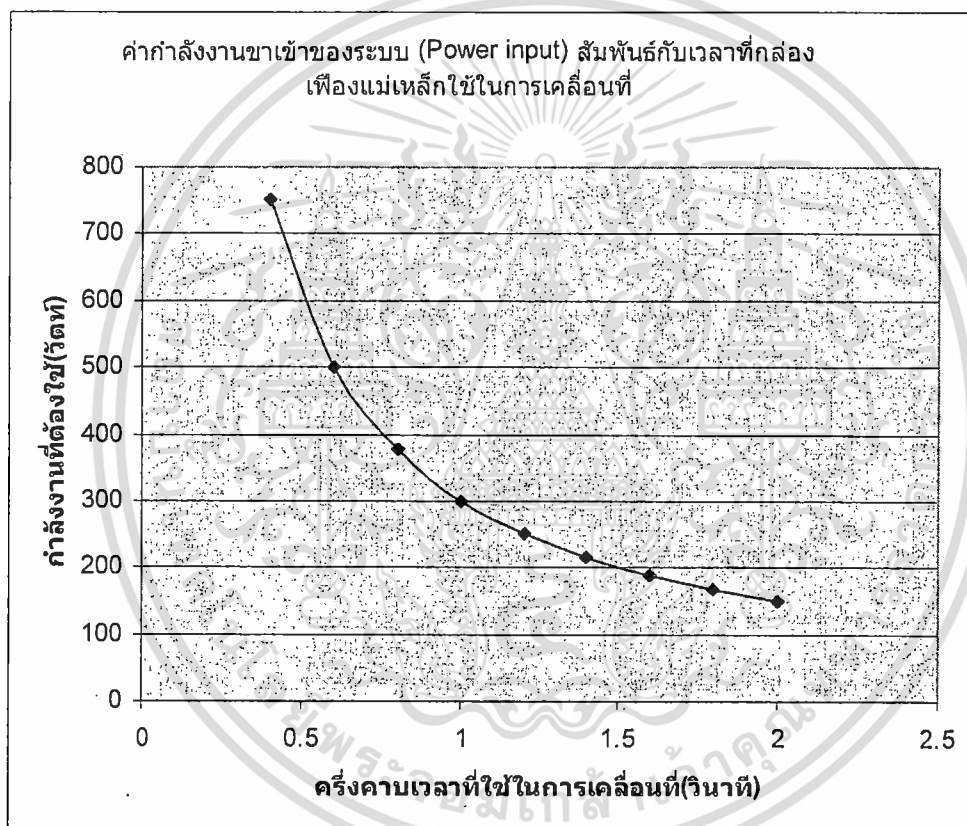
P_{in}	คือกำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input)
W	คืองานที่ใช้ในการยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก
t	คือเวลาที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่
F	คือแรงที่ต้องใช้ยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก
s	คือระยะทางที่ของกล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่
m	คือมวลของกล่องเฟืองแม่เหล็ก
g	คือค่านิจแรงโน้มถ่วงโลก
h	คือระดับความสูงที่ต้องยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก

จากสมการที่ (30) จะพบว่าถ้าต้องการทราบค่า P_{in} ก็จะต้องแทนค่าต่างๆดังนี้ ค่าน้ำหนักของกล่องเฟืองแม่เหล็ก 43 กิโลกรัม, ระยะในการเคลื่อนที่ 0.62 เมตร ส่วนเวลาที่ใช้การเคลื่อนที่ในการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในครึ่งหนึ่งของคาบเวลาจะขึ้นอยู่กับผลการทดลอง ซึ่งได้ค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่ดังตารางที่ 3.9.1

t (วินาที)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
P_{in} (วัตต์)	752.50	501.66	376.25	301.00	250.83	215.00	188.13	167.22	150.50

ตารางที่ 3.10.1 ค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.10.1 กราฟแสดงค่ากำลังงานขาเข้าของระบบ (Power input) สัมพันธ์กับเวลาที่กล่องเฟืองแม่เหล็กใช้ในการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.2 กำลังงานที่ได้จากขดลวดเหนี่ยวนำ

เมื่อกล่องเฟืองแม่เหล็กเกิดการเคลื่อนที่จะทำให้มีสนามแม่เหล็กไปตัดผ่านขดลวดที่ Stator ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากขดลวดทั้งสองนั้นเราจะทำการวัดแรงดันสูงสุดตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าค่าคงที่จากนั้นก็สามารรถคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ดังสมการที่ (31)

$$P_{out} = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (31)$$

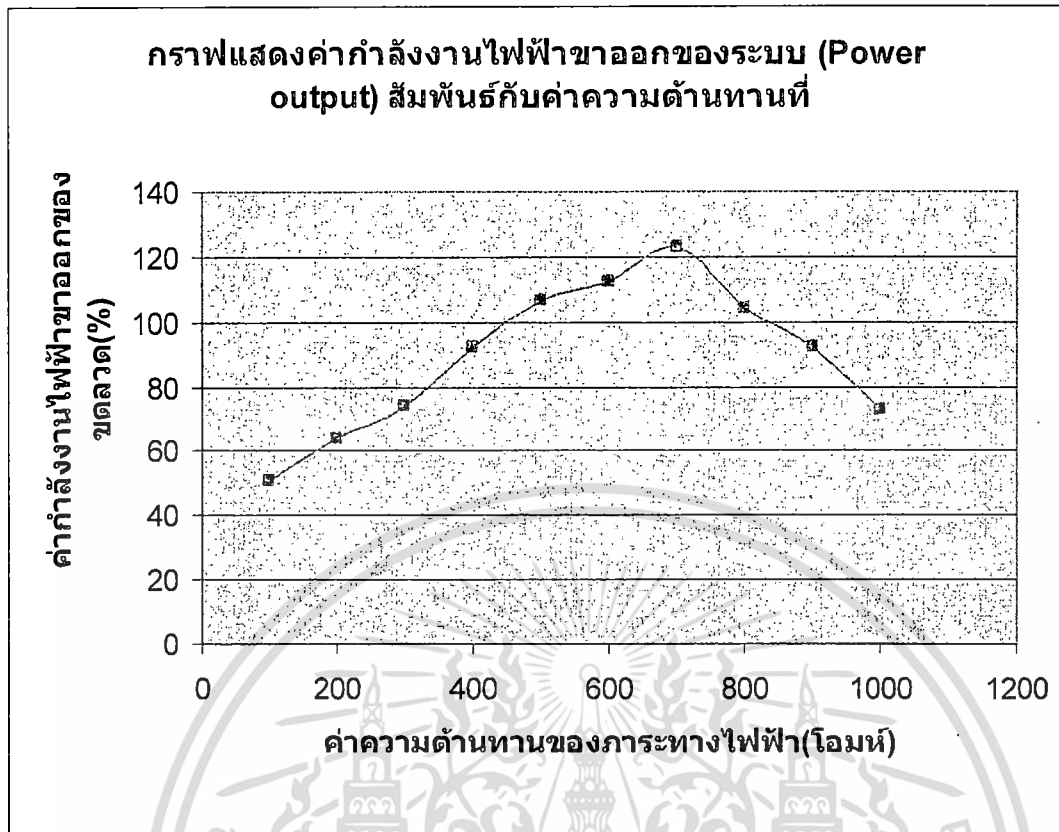
โดยที่

- P_{out} คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวด
- V คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวด ซึ่งตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าค่าคงที่
- I คือค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งถูกจ่ายให้ตัวต้านทานไฟฟ้าค่าคงที่
- R คือค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งใช้อ่านกระแสจากแรงดันที่ตกคร่อม

จากสมการที่ (31) จะพบว่าเพื่อความสะดวกในการวัดนั้นเราจะทำการวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานค่าคงที่ที่ทราบค่าความต้านทานอยู่แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังตารางที่ 3.9.2

R (Ω)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
P_{out} (mW)	50.98	63.97	74.17	92.55	106.59	112.13	123.11	104.52	92.17	73.03

ตารางที่ 3.10.2 ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับค่าความต้านทานที่จ่ายให้ของขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.10.2 กราฟแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบ (Power output) สัมพันธ์กับค่าความต้านทานที่ที่จ่ายให้ของขดลวดเหนี่ยวนำ

3.10.3 ประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำ

ประสิทธิภาพของการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าหมายถึง อัตราส่วนพลังงานกลที่ใส่เข้าไปในระบบต่อพลังงานไฟฟ้าที่ขดลวดจากขดลวดเหนี่ยวนำสามารถให้ได้ ซึ่งสามารถหาจากการนำค่าต่างๆ ในหัวข้อ 3.9.1 และ 3.9.2 มาคำนวณค่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ (32)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (32)$$

โดยที่

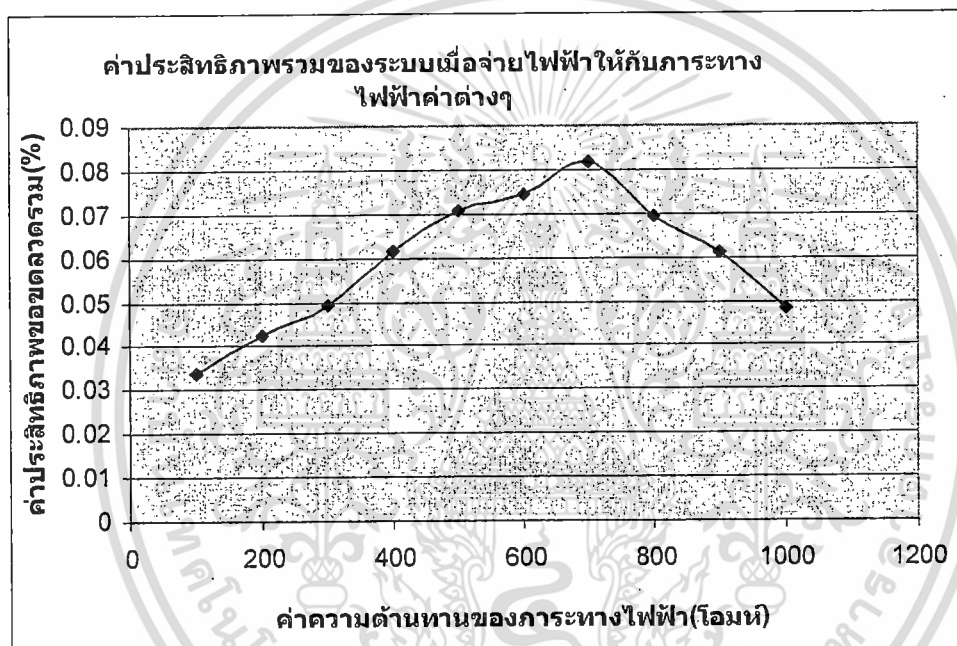
- η คือค่าประสิทธิภาพของขดลวดวงใน
- P_{out} คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ออกมาจากขดลวดเหนี่ยวนำ
- P_{in} คือค่ากำลังงานกลที่ใส่เข้าไปให้กับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (32) จะพบว่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำที่สามารถจ่ายให้ภาระทางไฟฟ้าค่าต่างๆจะแสดงดังตารางที่ 3.9.3

R (Ω)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
η_{out} (%)	0.0338	0.0425	0.0492	0.0614	0.0708	0.0745	0.0818	0.0695	0.0612	0.0485

ตารางที่ 3.10.3 ค่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.10.3 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า

3.11 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองเก็บผลพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรง ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสแบบซิงโครนัส พบว่าผลของแรงดันที่ได้จากของขดลวดค่อนข้างสูงกว่ารูปสัญญาณที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และระดับสัญญาณที่ได้จากขดลวดมีระดับแรงดันที่ต่ำกว่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB ไม่มาก โดยสามารถจะสังเกตได้จากรูปกราฟที่ได้ทำการบันทึกด้วยกล้องดิจิทัล ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าผู้ทดลองได้ทำการทดลองที่คาบเวลา 2 วินาที สัญญาณต่างๆกับเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของรูปสัญญาณกับความถี่ของพลังงานที่ใส่เข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของขดลวดนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทานที่ขดลวดต้องจ่ายให้ ซึ่งถือว่าเป็นภาระทางไฟฟ้าอย่างหนึ่งของระบบ โดยที่ค่าความต้านทานที่เหมาะสมที่ขดลวดจะสามารถจ่ายได้อย่างเหมาะสมจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในของขดลวด และคาบเวลาที่เลือกมาคำนวณในค่ากำลังงานกลขาเข้าเลือกมาจากค่าความถี่ที่ใช้ในการให้กำเนิดกำลังงานไฟฟ้าจากขดลวดเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบขดลวดจากแรงดันที่ต้องการ โดยที่เราสามารถสังเกตการณ์เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของขดลวดได้จากตารางที่ 3.10.3

ในการบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลนี้จะทำให้บางภาพมีความไม่ชัดเจนของเส้นสัญญาณแรงดันเนื่องจากการรับแสงของกล้องที่ถ่ายภาพผ่านหน้าจอของเครื่องออสซิลโลสโคป โดยเฉพาะในส่วนที่มีเส้นสัญญาณหนาแน่น ทำให้เห็นเหมือนกันว่ามีสัญญาณกวนซ้อนอยู่

ในการทดลองให้กำเนิดพลังงานด้วยเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเคลื่อนที่แนวตรงพบว่าสามารถจ่ายแรงดันได้ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ แต่ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากขดลวดที่พันเอาไว้กับ Stator มีความต้านทานที่ต่ำมากทำให้เมื่อนำภาระทางไฟฟ้ามาต่อจะทำให้แรงดันตกคร่อมที่ภาระทางไฟฟ้าเป็นส่วนมาก ทำให้มีกระแสไหลผ่านภาระทางไฟฟ้าน้อย



บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรง รวมถึงได้ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแนวตรงตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการศึกษาในข้างต้น ซึ่งได้ผลโดยรวมที่มีค่าพารามิเตอร์ใกล้เคียงกับที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้ ในส่วนที่ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ก็คือความสมมาตรของรูปสัญญาณที่ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบเอาไว้ทั้งหมด ซึ่งจะมีข้อสรุปในแต่ละรายละเอียดดังนี้

1. จากผลการทดลองที่ได้จากทั้งขดลวดเหนี่ยวนำพบว่าค่าแรงไฟฟ้าที่ได้จะมีขนาดของแอมพลิจูดที่ขึ้นอยู่กับความถี่ของพลังงานกลที่ใส่เข้าไปให้กับระบบ
2. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นการแปลงพลังงานจะแปรผันตรงกับขนาดพื้นที่รับสนามแม่เหล็ก
3. ความสม่ำเสมอของพลังงานกลที่ใส่ให้กับระบบจะมีผลต่อความสม่ำเสมอของรูปสัญญาณ
4. ถ้าพลังงานกลที่ใส่ให้กับระบบมีเวลาดำกว่าที่ได้ทำการคำนวณเอาไว้จะทำให้ได้รูปสัญญาณที่มีระดับแอมพลิจูดของแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากัน แต่ไม่เป็นไปตามที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้
5. ค่าแรงดันที่ได้สามารถแปลงให้มีขนาดของแอมพลิจูดสูงได้ด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Step up แต่จะทำให้เสถียรภาพทางการจ่ายกระแสมีค่าต่ำลง และตัวเก็บประจุจะส่งผลให้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้มีความราบเรียบขึ้นมาก
6. สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรสามารถเปลี่ยนให้มีทิศทาง และขนาดให้ค่าสูงขึ้น รวมถึงต่ำลงได้ด้วยการสร้างขั้วเหล็กอ่อนมาบังกับสนาม
7. ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้จากขดลวดนี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่ขดลวดต้องจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้ไหล

4.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังขาดความสมบูรณ์ในด้านต่างๆเนื่องจากขาดงบประมาณในการสร้างส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถพัฒนาต่อได้ดังนี้

1. ระบบจำลองการเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์กำลังสูง รอบต่ำเพื่อใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของคลื่น
2. ขั้วเหล็กอ่อนที่สมบูรณ์เพื่อล่อสนามให้ซึมเข้ามาในขดลวดมากขึ้นของทั้งขดลวด
3. ชุดเก็บข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์
4. ข้อมูลจากการวิเคราะห์เชิงไฟไนท์เอลิเมนต์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แม่เหล็กถาวรที่มีความเข้มสนามที่สูงมาก (ในต่างประเทศมีความเข้มของแม่เหล็กถาวรสูงกว่าที่มีอยู่ถึง 20 เท่า ซึ่งความเข้มของแม่เหล็กค่าแปลผันตรงกำลังหนึ่งกับแรงไฟฟ้าที่ได้โดยตรง) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะได้แรงดันถึง 200V (Peak to Peak Voltage)

6. การศึกษาถึงวัสดุที่เหมาะสม และคงทนในการสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ รวมถึงการลดต้นทุนการผลิต

7. ความเป็นไปได้ และสถานที่ในการติดตั้ง

8. ทุนลดยที่ใช้ในขั้วชุดเกียร์แม่เหล็ก ที่เหมาะสมกับสถานที่ที่จะทำการติดตั้ง

9. การจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ควรระทำหลังจากที่มีการติดตั้งมอเตอร์ที่รอบเพื่อยกกล่องเฟืองแม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

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, 3rd ed. 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
- Mulukta 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
- 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^b, A.K. Wallace^a, J. Prudell^b, 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 97331-3211, USA, Department of Mechanical Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR 97331- 3211, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้