

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเกี่ยวกับแม่เหล็กถาวรในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าส่วนประกอบหลักของการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นมาจากมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ที่ประกอบขึ้นด้วยสเตเตอร์ และโรเตอร์ ซึ่งสเตเตอร์ที่ใช้ในปัจจุบันทำมาจากขดลวด และโรเตอร์ทำมาจากเหล็กอ่อน จากการศึกษาในครั้งนี้ได้นำแม่เหล็กถาวรมาใช้แทนขดลวดในสเตเตอร์ และในโรเตอร์นำเอาแม่เหล็กถาวรมาใช้แทนเหล็กอ่อน ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์ทำงานที่ดีกว่ามอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์แบบเก่าที่มีสเตเตอร์ที่ทำจากขดลวด และโรเตอร์ทำจากเหล็กอ่อน ในขั้นแรกของการศึกษาต้องศึกษาเกี่ยวกับชนิดแม่เหล็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผลจากการศึกษาวัสดุที่นำมาทำแม่เหล็กเพื่อทำมอเตอร์แม่เหล็กถาวรผลิตกระแสไฟฟ้า

จากการศึกษารวมทั้งเอกสารงานวิจัยการเลือกชนิดของวัสดุแม่เหล็กถาวรมีความสำคัญต่อการออกแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกมา และยังต้องมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในการเลือกวัสดุแม่เหล็กของบริษัทแม่เหล็ก (Magcraft Company Limited, n.d.) โดยพิจารณาจากปัจจัยหลักคือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด ความหนาแน่นของฟลักซ์ แรงบึงค้ำ และการทนต่อความร้อนในการทำงาน ทำให้ได้วัสดุแม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพดี 4 ประเภทคือ เซรามิก (เกรด 5), อัลนิโค (เกรด 5 ,เกรด 8), ซาแมเรียม (20, 28), นีโอติเมียม (N45, 33UH) ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงชนิดของแม่เหล็ก 4 ชนิดที่ได้รับการคัดเลือก

Type	Maximum			
	Energy	Residual	Coercive	Working
	Product	Flux Density	Force	Temperature
	Bhmax(MGOe)	Br (G)	Hc(Koe)	°C
เซรามิก 5	3.4	3950	2400	400
Sintered Alnico 5	3.9	10900	620	540
Cast Alnico 8	5.3	8200	1650	540
Samarium Cobalt 20 (1,5)	20	9000	8000	260
Samarium Cobalt 28(2,17)	28	10500	9500	350
Neodymium N45	45	13500	10800	80
Neodymium 33UH	33	11500	10700	180

ที่มา: Magcraft Company Limited, n.d.

จากการคัดเลือกแม่เหล็ก 4 ประเภท 7 ชนิดที่แสดงไว้ในตาราง 5 ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาขึ้นทำให้เทคโนโลยีในการผลิตเครื่องจักรมีประสิทธิภาพดีขึ้น เป็นผลทำให้แม่เหล็กที่ผลิตได้มีคุณภาพมากขึ้น สรุปได้ว่า

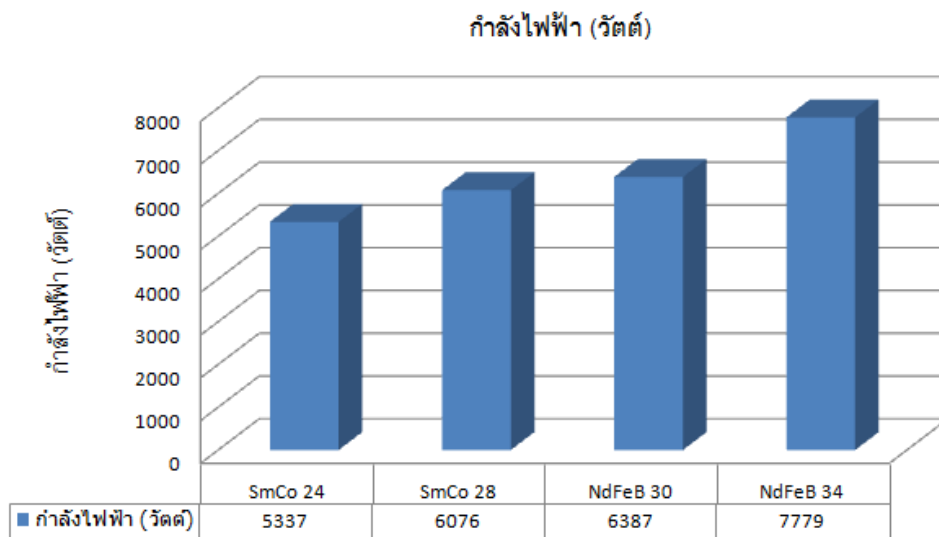
เซรามิก 5 มีค่าพลังงาน ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก ต่ำสุด ส่วนแรงบังคับค่อนข้างต่ำ แต่ทนความร้อนได้สูง

อัลนิโค 5 และ 8 มีค่าพลังงานต่ำ ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กค่อนข้างสูง แรงบังคับต่ำสุด แต่ทนความร้อนได้ดีที่สุด

ซาแมเรียมโคบอลต์ 20 และ 28 มีค่าพลังงานปานกลาง ค่าความหนาแน่นค่อนข้างสูง แรงบังคับค่อนข้างสูง ทนความร้อนได้ปานกลาง

นีโอดีเมียม N45 และ 33UH มีค่าพลังงานสูงสุด ค่าความหนาแน่นสูงสุด แรงบังคับค่อนข้างสูง แต่ทนความร้อนได้ต่ำสุด

จากการศึกษาของศูนย์วิจัยกลินน์ (Glenn Research Center, 2005) ได้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุแม่เหล็ก โดยกำหนดให้มอเตอร์มีโครงสร้าง และรูปทรงมิติเหมือนกัน จะแตกต่างกันเฉพาะชนิดวัสดุแม่เหล็กเท่านั้น จากการศึกษาวัดวัสดุแม่เหล็กพบว่าวัสดุที่ให้พลังงานสูงสุด คือ นีโอดีเมียมไอรอนโบรอน (NdFeB) และ ซาแมเรียมโคบอลต์ (SmCo) ดังแสดงในภาพ 41 ซึ่งอธิบายผล



ภาพ 41 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ

นอกจากการเลือกวัสดุแม่เหล็กที่ให้กำลังไฟฟ้าสูง แล้วการเลือกรูปแบบมอเตอร์ก็เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญไม่แพ้กัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกรูปแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ที่มีความเหมาะสมงาน โดยพิจารณาเลือกชนิดมอเตอร์ที่ใช้ทำงานได้ดังนี้

ผลการศึกษาเปรียบเทียบข้อดีของมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าหลัก ๆ มีอยู่ 3 ชนิดคือ

1. ก. มอเตอร์เหนี่ยวนำ คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (AC) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไปในเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนต่าง ๆ มีความแข็งแรง ทนทาน ค่าซ่อมบำรุงต่ำ

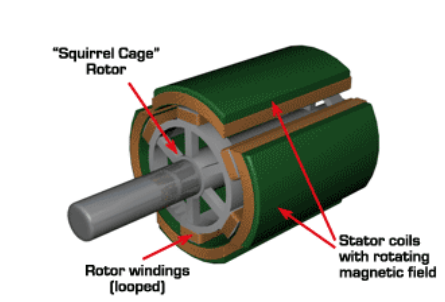

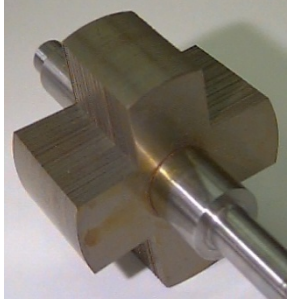
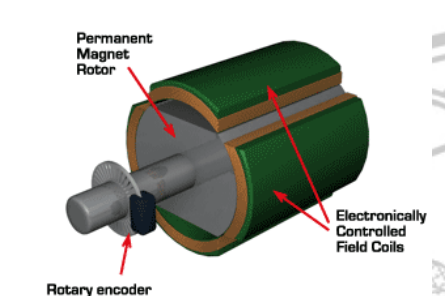
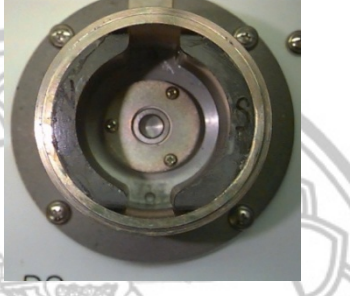


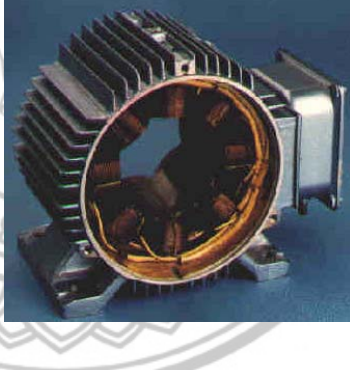
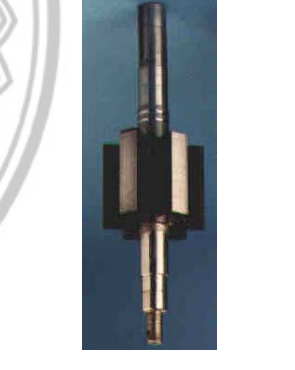
2. กข มอเตอร์แม่เหล็ก เป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมี 2 แบบคือ ชนิดแบบมีแปรงถ่าน และไม่มีแปรงถ่าน แต่ที่ใช้ส่วนมากจะใช้แบบไม่มีแปรงถ่านได้รับความนิยมมากกว่า เพราะว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้มากกว่า การระบายความร้อนได้ดี และมีอายุการทำงานยาวนานกว่า นอกเหนือจากนั้นไม่มีการสูญเสียพลังงานที่ต้องใช้ไปกับการขัดสีของแปรง ให้แรงบิดที่สูง

3. ก) มอเตอร์รีลัคแต็นซ์ เป็นมอเตอร์ที่ผสมระหว่าง มอเตอร์แม่เหล็กถาวร และมอเตอร์เหนี่ยวนำ มีการใช้มากที่สุด เป็นมอเตอร์ที่มีการประยุกต์ใช้ในรถยนต์

มอเตอร์ ทั้ง 3 ชนิดเมื่อนำคุณสมบัติของ แต่ละชนิดมาเปรียบเทียบจะได้ผลตามตาราง 6 นี้ และแสดงส่วนประกอบของมอเตอร์แต่ละชนิดในภาพ 42

ตาราง 6 ตารางการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของมอเตอร์ 3 ชนิด

ชนิด	มอเตอร์เหนี่ยวนำ	มอเตอร์แม่เหล็กถาวร	มอเตอร์รีลัคแต็นซ์
ข้อดี	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาถูก - แข็งแรงทนทาน - ง่ายต่อการควบคุมแรงบิดและความเร็ว - ค่าซ่อมบำรุงต่ำ - ด้านสิ่งแวดล้อมดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ง่ายต่อการควบคุมแรงบิดและความเร็ว - กำลังสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูง - ไม่ต้องมีการแปลงไฟ - เพราะไม่ใช้ไฟ - ได้แรงบิดและความเร็วเป็นที่น่าพอใจ - ระบายความร้อนได้ดี - ทนต่อกระแสลัดวงจรได้ถึง 300% เป็นเวลา 10 วินาที - มีประสิทธิภาพสูง - น้ำหนักเบา 	<ul style="list-style-type: none"> - แรงบิด และความเร็วมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น - แรงบิดสูงในการทำงานที่ความเร็วต่ำ - โครงสร้างมีรูปแบบง่ายๆ และแข็งแรงทนทาน - เหมาะสมกับงานหนัก - สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีอื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง - มีขนาดเล็กลง - ราคาไม่แพง - ง่ายต่อการผลิต
ข้อเสีย	<ul style="list-style-type: none"> - ความร้อนที่เกิดจากขดลวด - ความแรงต่ำในขณะที่มีโหลด(กระแสลับ AC) - ควบคุมความเร็วได้ยาก (กระแสลับ AC) - น้ำหนักมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาแพงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ 	

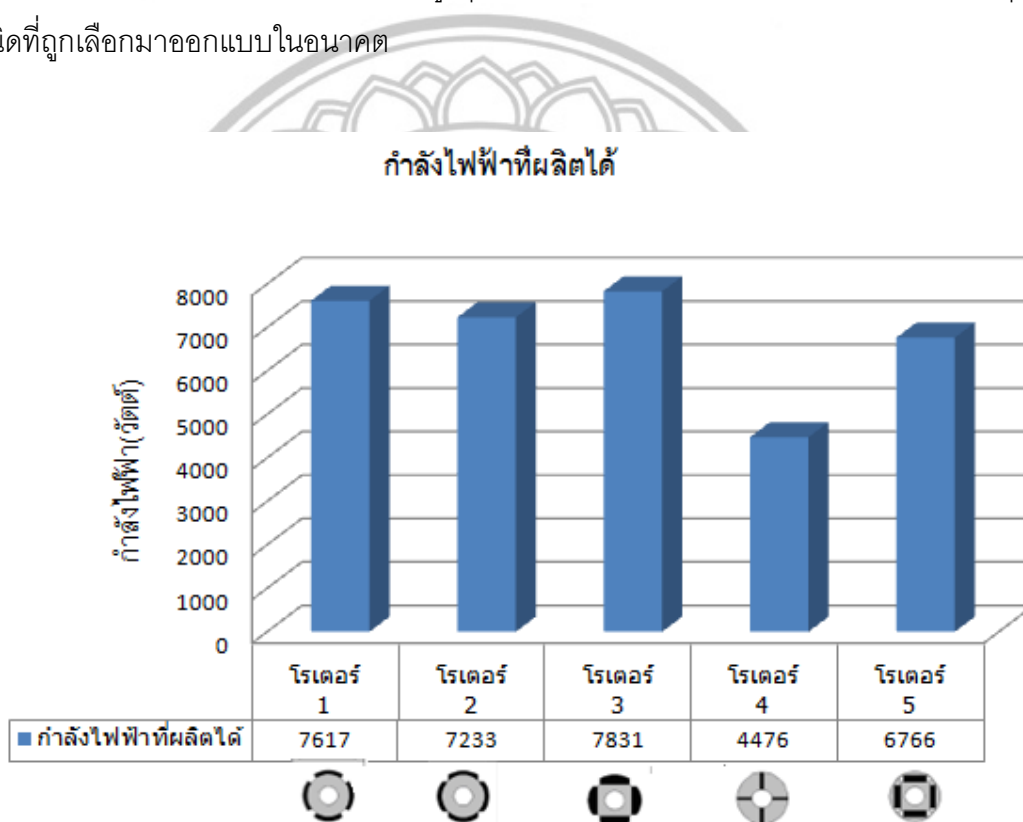
		
<p>มอเตอร์เหนี่ยวนำ</p>	<p>สเตเตอร์ที่เป็นขดลวด</p>	<p>โรเตอร์ที่ทำด้วยเหล็กอ่อน</p>
		
<p>มอเตอร์แม่เหล็กถาวร</p>	<p>สเตเตอร์แม่เหล็ก</p>	<p>โรเตอร์แม่เหล็ก</p>
		
<p>มอเตอร์รีลัคแตนส์</p>	<p>สเตเตอร์รีลัคแตนส์</p>	<p>โรเตอร์แม่เหล็ก</p>

ภาพ 42 แสดงองค์ประกอบของมอเตอร์แต่ละชนิด

ที่มา: <http://ewh.ieee.org/soc/es/Nov1997/09/INDEX.HTM>

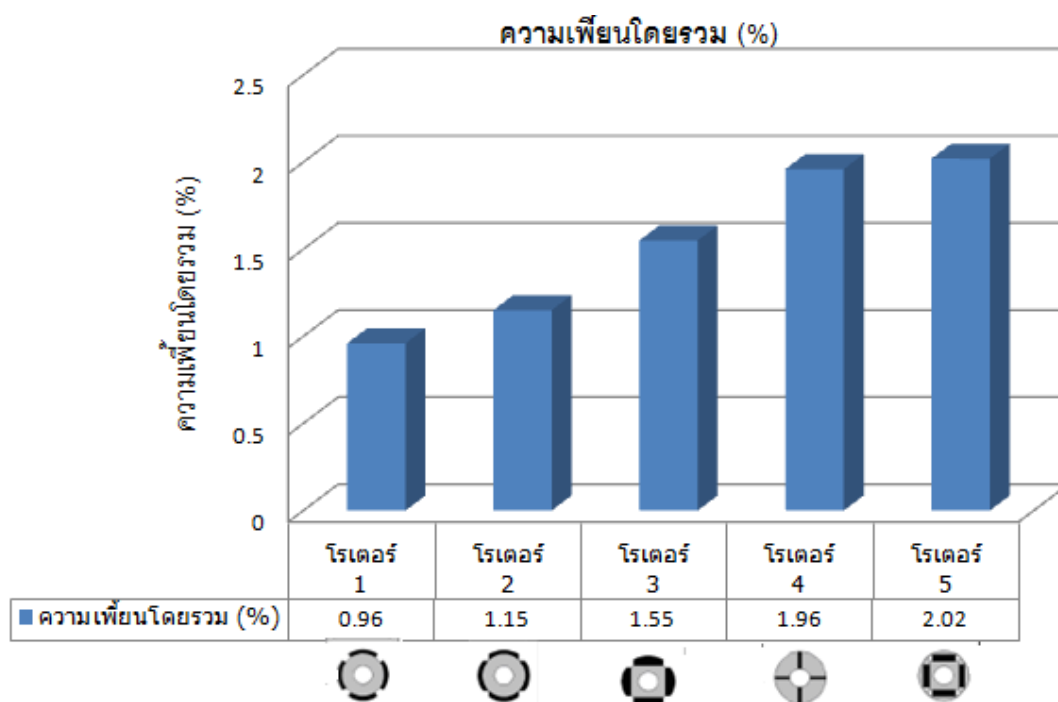
ผลการศึกษาการเลือกรูปแบบโรเตอร์

การเลือกรูปแบบโรเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการ จากโรเตอร์ทั้งหมด 5 ชนิด โดยโรเตอร์ชนิด 1-3 เป็นโรเตอร์ที่มีแม่เหล็กติดอยู่หน้าผิวสัมผัส ส่วนโรเตอร์ 4 แบบซี่ล้อ โรเตอร์แบบที่ 5 เป็นแม่เหล็กแบบฝัง ดังแสดงในภาพ 43 ในการศึกษาใช้สเตเตอร์แบบเดียวกัน จะเปลี่ยนเฉพาะโรเตอร์ โดยให้เส้นโดยรอบของโรเตอร์ ความยาว ชนิดของวัสดุแม่เหล็ก และความหนา เท่ากันทุกชนิด ทุกผิวหน้าของโรเตอร์จะมีขั้วตรงมุม จากการคำนวณกำลังที่สร้างออกมาพร้อมกับความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับ (THD) ภาพ 44 ผลที่ได้จากการศึกษาคือ โรเตอร์ชนิดที่ 1 เป็นชนิดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และมีความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณน้อยสุด เป็นชนิดที่ถูกเลือกมาออกแบบในอนาคต



ภาพ 43 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากโรเตอร์แบบต่าง ๆ

จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโรเตอร์ชนิดต่างๆ กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยพิจารณาจากโรเตอร์ชนิดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยการศึกษาการทำงานของโรเตอร์ชนิดต่างๆ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด โดยการกำหนดค่าต่างๆ เหมือนกันเพียงแต่การติดตั้งแม่เหล็กถาวรต่างกัน จากการวัดจากเอกสารอ้างอิงจากศูนย์วิจัยเทคโนโลยีพลังงานได้ว่า โรเตอร์ชนิดที่ 3 จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด



ภาพ 44 ความเพี้ยนโดยรวมกับสัญญาณแรงขับเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับ

จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโรเตอร์ชนิดต่างๆ กับค่าความเพี้ยนโดยรวม(Total Harmonic Distortion) พิจารณาจากโรเตอร์ชนิดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยการศึกษางานของโรเตอร์ชนิดต่างๆ เพื่อหาค่าความเพี้ยนที่น้อยที่สุด โดยการกำหนดค่าต่างๆ เหมือนกันเพียงแต่การติดตั้งแม่เหล็กถาวรต่างกัน จากการวัดจากเอกสารอ้างอิงจากศูนย์วิจัยเทคโนโลยีได้ว่า โรเตอร์ชนิดที่ 1 จะมีความเพี้ยนที่น้อยที่สุดประมาณ 0.96 % โรเตอร์ชนิดที่ 2 มีค่าความเพี้ยนเท่ากับ 1.15 % และโรเตอร์ชนิดที่ 3 จะค่าความเพี้ยนเท่ากับ 1.55% ตามลำดับ

จากข้อมูลการศึกษาและการอ้างอิงสรุปได้ว่าเราจะต้องเลือกรูปแบบโรเตอร์ชนิดที่ 1 มาประยุกต์ใช้ทำมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์แม่เหล็กถาวรต่อไป

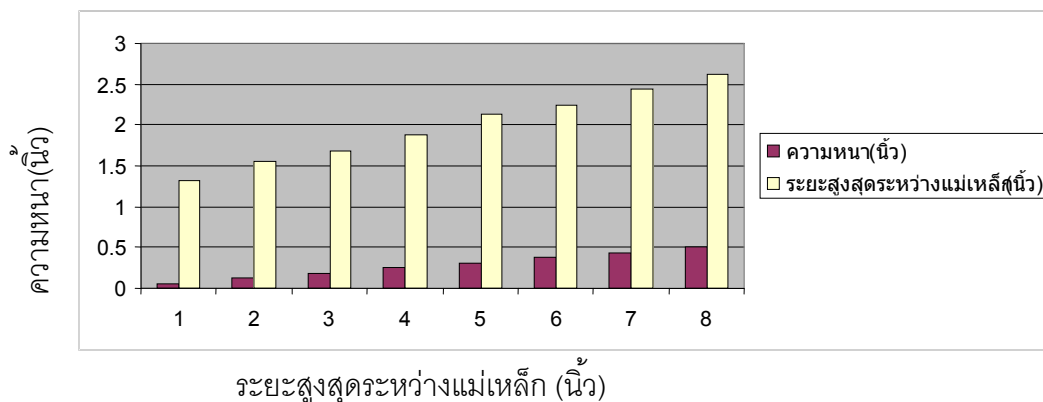
ผลการศึกษาการหาระยะของแม่เหล็กถาวร

จากการศึกษาหาระยะของแม่เหล็กถาวรของแม่เหล็กถาวร 2 แบบ ชนิดกลม และชนิดเหลี่ยมได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางและกราฟ สรุปได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มความหนาของแม่เหล็กจะทำให้มีแรงผลักของแม่เหล็กนั้นมีระยะห่างเพิ่มขึ้นความหนาของแม่เหล็กจึงมีผลต่อแรงผลักและระยะของแม่เหล็กนั้น

ตาราง 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับระยะสูงสุดของแม่เหล็ก

แม่เหล็กถาวร แบบกลม	B_r (Gauss)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	ความหนา (นิ้ว)	ระยะสูงสุดระหว่าง แม่เหล็ก(นิ้ว)
12300	12300	0.5	0.0625	1.3125
12300	12300	0.5	0.1250	1.5625
12300	12300	0.5	0.1875	1.6875
12300	12300	0.5	0.2500	1.8750
12300	12300	0.5	0.3125	2.1250
12300	12300	0.5	0.3750	2.2500
12300	12300	0.5	0.4375	2.4375
12300	12300	0.5	0.5000	2.6250

จากตารางข้างบนนี้จะเห็นได้ว่าแม่เหล็กถาวรชนิดกลมที่มีค่าความหนาแน่นการดึงดูดของแม่เหล็กที่ยังคงอยู่ (B_r) เท่ากับ 12300 Gauss และมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 นิ้ว (1,275 เซนติเมตร) เมื่อมีการเพิ่มความหนา (พื้นที่) ผลที่ได้จะมีระยะระหว่างแม่เหล็กมากขึ้นตามลำดับ



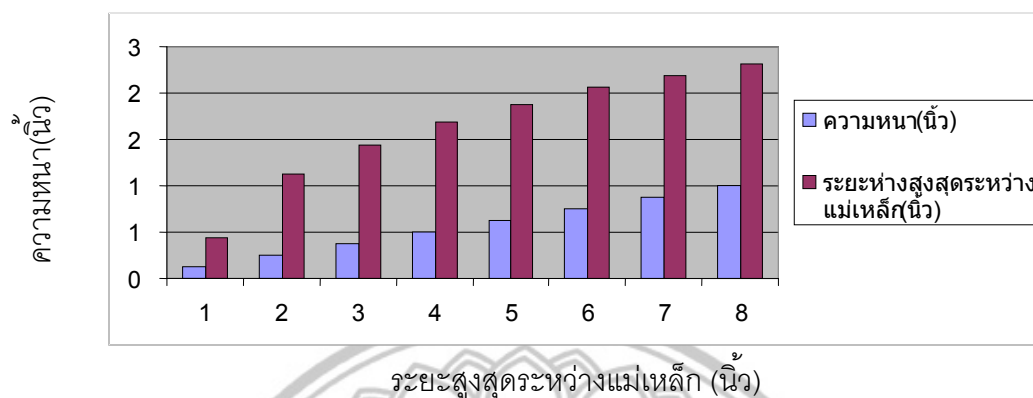
ภาพ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับระยะสูงสุดของแม่เหล็ก

จากภาพแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนา (พื้นที่) แปรผันกับระยะห่าง (ระยะของสนามแม่เหล็กที่ผลิตกัน) ตามสูตร ของแรง $F = (B^2 A) / 8\pi \times 10^{-7}$

ตาราง 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับระยะสูงสุดของแม่เหล็ก

แม่เหล็กถาวร แบบเหลี่ยม	Br (Gauss)	ความกว้าง (นิ้ว)	ความ ยาว(นิ้ว)	ความหนา (นิ้ว)	ระยะห่างสูงสุด ระหว่างแม่เหล็ก (นิ้ว)
	12300	0.1875	0.1875	0.125	0.4375
	12300	0.1875	0.1875	0.250	1.1250
	12300	0.1875	0.1875	0.375	1.4375
	12300	0.1875	0.1875	0.500	1.6875
	12300	0.1875	0.1875	0.625	1.8750
	12300	0.1875	0.1875	0.750	2.0625
	12300	0.1875	0.1875	0.875	2.1875
	12300	0.1875	0.1875	1.000	2.3125

จากตารางข้างบนนี้จะเห็นได้ว่าแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียมแบบเหลี่ยม ซึ่งมีค่าความหนาแน่นการดึงดูดของแม่เหล็กที่ยังคงอยู่ (B_r) เท่ากับ 12300 Gauss และมีความกว้างและความ

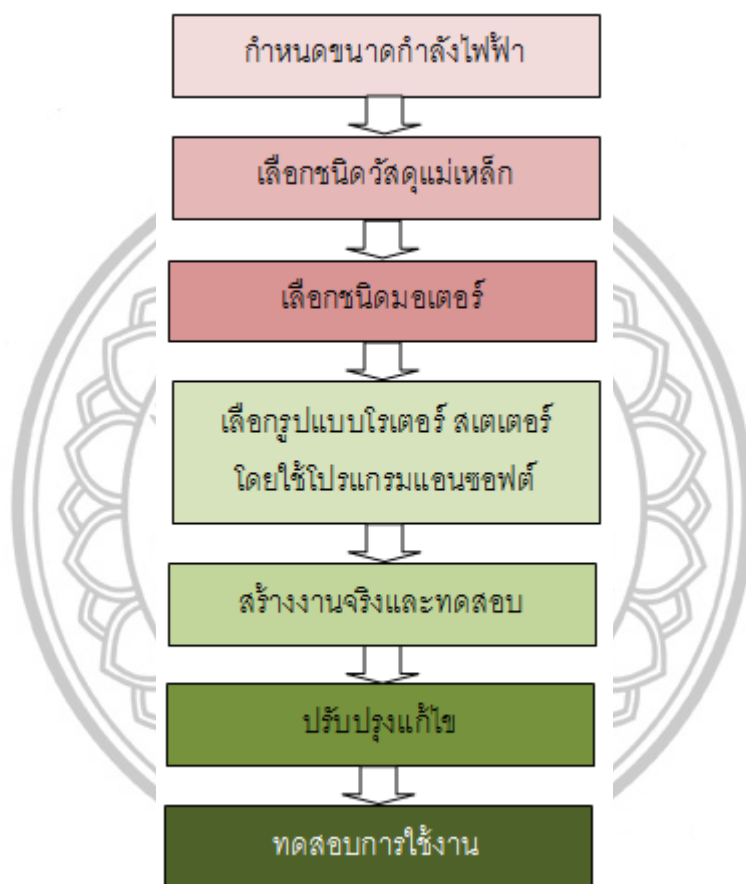


ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับระยะสูงสุดของแม่เหล็ก

จากภาพแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนา (พื้นที่) แปรผันกับระยะห่าง (ระยะของสนามแม่เหล็กที่ผลิตกัน) ตามสูตร ของแรง $F = (B^2 A) / 8\pi \times 10^{-7}$ เช่นกัน

ผลการศึกษารูปแบบระบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์แม่เหล็กถาวรเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

จากการศึกษารูปแบบระบบสามารถสรุปได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้



ภาพ 47 ขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์

1.กค กำหนดขนาดกำลังไฟฟ้า คือ การกำหนดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ งาน เช่น อุปกรณ์กินกำลังไฟฟ้าที่วัตต์ หรือ ใช้ไฟกี่โวลต์

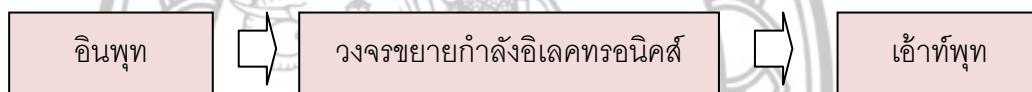
2.กค เลือกชนิดของวัสดุแม่เหล็กถาวร คือ การเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น นีโอติเมียม เกรด N45 นั้นทนต่ออุณหภูมิได้สูงสุดที่ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานต้องไม่ เกิน 80 องศาเซลเซียส

3.กค เลือกชนิดมอเตอร์ ในที่นี้จากการศึกษาควรเลือกมอเตอร์ชนิดที่ใช้แม่เหล็กถาวร

4. กก เลือกรูปแบบโรเตอร์ ในที่นี้จากการศึกษาควรเลือกโรเตอร์แม่เหล็กถาวรเช่นกัน
5. กก ทำการสร้างและทดสอบ คือ การนำเอามอเตอร์, สเตเตอร์ และโรเตอร์ ที่ทำการเลือกมาทำการประกอบและทดสอบ
6. กก ทำการปรับปรุงแก้ไข คือ การนำผลที่ได้จากทดสอบมาปรับปรุงข้อผิดพลาดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดตามการการคำนวณและตามความต้องการที่กำหนดในข้อที่ 1
7. กก ทำการทดสอบการใช้งาน คือการนำมาใช้งานจริง เช่นการต่อเข้ากับอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า

ผลการศึกษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขยายกำลังไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร

จากการศึกษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขยายกำลังไฟฟ้าสรุปได้ว่าเราสามารถนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการขยายกำลังไฟฟ้าและช่วยในการเพิ่มกำลังให้กับโรเตอร์แม่เหล็กถาวรอีกด้วย

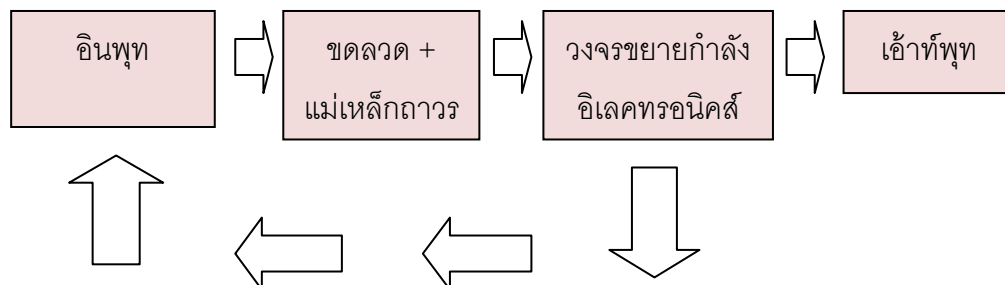


ภาพ 48 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขยายกำลังไฟฟ้า

จากบล็อกไดอะแกรมวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะช่วยทำการขยายกำลังไฟฟ้าจากไฟส่วนหนึ่งที่ได้มาจากแบตเตอรี่ วงจรขยายนี้จะทำหน้าที่คล้ายกับวงจรขยายเสียงโดยมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยาย ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เราใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟน้อยลง และพลังงานทางด้านอินพุทส่วนหนึ่งมาจากแม่เหล็กถาวรที่ติดกับขดลวด

ผลการศึกษาการปรับปรุงโดยการเพิ่มความเร็วมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์แม่เหล็กถาวร

จากการศึกษาการปรับปรุงโดยการเพิ่มความเร็วมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์แม่เหล็กถาวรสรุปได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปกระแสส่วนหนึ่งสามารถนำกลับมาช่วยจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดในการควบคุมให้โรเตอร์แม่เหล็กถาวรมีความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้น



ภาพ 49 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขยายกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการปรับปรุง

จากบล็อกไดอะแกรมทางด้านอินพุทเราจะได้ไฟฟ้าส่วนหนึ่งจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาจ่ายให้ขดลวดเพื่อเสริมกำลังให้กับอินพุทเพิ่มความเร็วรอบในการผลิตไฟฟ้า

ผลการศึกษาการประจุแบตเตอรี่

จากการศึกษาการประจุแบตเตอรี่จากการประยุกต์ใช้แม่เหล็กถาวรกับโรเตอร์นั้นสามารถสรุปได้ว่าเราสามารถนำพลังงานแม่เหล็กมาช่วยในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยการเปลี่ยนพลังงานสนามแม่เหล็กไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และทำการประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ตามตารางการทดสอบข้างล่างนี้

ตาราง 8 แสดงการประจุแบตเตอรี่

	ก่อน	หลัง	หลัง	หลัง	หลัง
	ทดสอบ	ทดสอบ 1	ทดสอบ 2	ทดสอบ 3	ทดสอบ 4
	(โวลต์)	(โวลต์)	(โวลต์)	(โวลต์)	(โวลต์)
แบตเตอรี่ที่ใช้กระตุ้น	12.5	12.5	11.5	10.5	9.5
แบตเตอรี่สำหรับชาร์จ 1	10	14	14	14	13
แบตเตอรี่สำหรับชาร์จ 2	10	14	14	14	13
แบตเตอรี่สำหรับชาร์จ 3	10	14	14	14	13

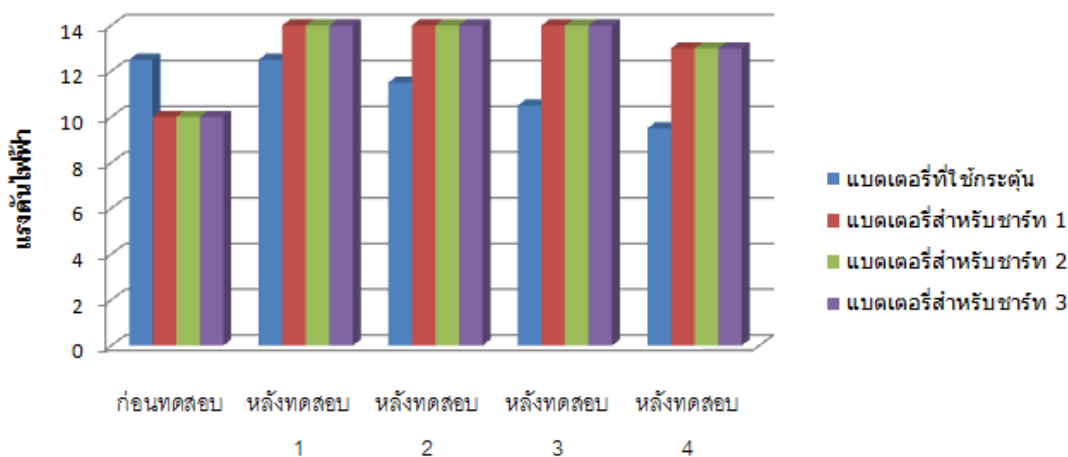
จากการศึกษาและทดสอบโดยนำแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 450 มิลลิแอมป์ ใช้เป็นตัวชาร์จ 12.5 โวลต์ (แหล่งจ่ายไฟ) และใช้แบตเตอรี่แบบกรด 3 ตัว (12 โวลต์ 450 มิลลิแอมป์) ใช้เป็นตัวเก็บประจุ แต่แบตเตอรี่จะต้องคายประจุให้เหลือประมาณ 10 โวลต์

ทดสอบครั้งที่ 1 เริ่มที่เวลา 10:45 น. โดยชาร์จประจุที่แบตเตอรี่ทั้ง 3 ตัว(ต่อแบบขนาน) ได้ถึง 14 โวลต์ที่เวลา 11:20 น. (ใช้เวลาประมาณ 35 นาที)

ทดสอบครั้งที่ 2 คายประจุแบตเตอรี่ให้เหลือประมาณ 10 โวลต์เท่าเดิม เริ่มที่เวลาประมาณ 11:25 น. วัดแบตเตอรี่ตัวที่จะเป็นแหล่งจ่ายได้ประมาณ 11.5 โวลต์ ต่อจากนั้นทำการชาร์จประจุที่แบตเตอรี่ทั้ง 3 ตัว(ต่อแบบขนาน)ให้ได้ถึง 14 โวลต์ที่เวลา 12:05 น. (ใช้เวลาประมาณ 40 นาที)

ทดสอบครั้งที่ 3 คายประจุแบตเตอรี่ให้เหลือประมาณ 10 โวลต์เท่าเดิม เริ่มที่เวลาประมาณ 13:00 น. วัดแบตเตอรี่ตัวที่จะเป็นแหล่งจ่ายได้ประมาณ 10.5 โวลต์ ต่อจากนั้นทำการชาร์จประจุที่แบตเตอรี่ทั้ง 3 ตัว(ต่อแบบขนาน)ให้ได้ถึง 14 โวลต์ที่เวลา 13:40 น. (ใช้เวลาประมาณ 40 นาที)

ทดสอบครั้งที่ 4 คายประจุแบตเตอรี่ให้เหลือประมาณ 10 โวลต์เท่าเดิม เริ่มที่เวลาประมาณ 14:05 น. วัดแบตเตอรี่ตัวที่จะเป็นแหล่งจ่ายได้ประมาณ 9.5 โวลต์ ต่อจากนั้นทำการชาร์จประจุที่แบตเตอรี่ทั้ง 3 ตัว(ต่อแบบขนาน)ให้ได้ประมาณ 13 โวลต์ที่เวลา 14:40 น. (ใช้เวลาประมาณ 35 นาที) และตอนนี้วัดแบตเตอรี่ตัวที่จะเป็นแหล่งจ่ายได้ประมาณ 9 โวลต์ขณะที่มีโหลดและทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถนำมาเป็นแหล่งจ่ายไฟได้อีก



ภาพ 50 ผลของการประจุแบตเตอรี่