

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประวัติ และความเป็นมาของแม่เหล็ก

ไฟฟ้า และสภาวะแม่เหล็กมีความเกี่ยวพันกันอย่างใกล้ชิด ในศตวรรษที่ 19 มีการค้นพบอันยิ่งใหญ่เกี่ยวกับ เรื่องนี้ 2 ประการ

ประการแรก ขดลวดที่นำกระแสไฟฟ้ากระทำตัวเป็นเสมือนแม่เหล็กได้

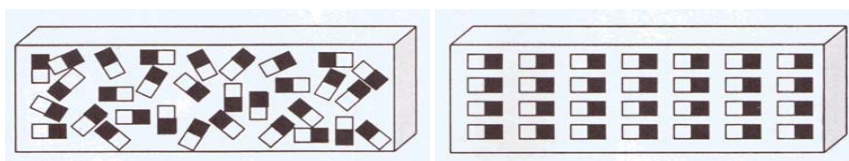
ประการหลัง การเปลี่ยนแปลงสภาวะแม่เหล็กทำให้ มีกระแสไฟฟ้าไหลได้จึงทำให้มีข้อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงกระแส ไฟฟ้า ในขดลวดเส้นหนึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดอีกเส้นหนึ่งได้ การค้นพบดังกล่าวนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวันของคนเรา เพราะทำให้เราสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยน พลังงานในเชื้อเพลิงเช่นจากถ่านหิน หรือน้ำมันให้ไปเป็นกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหลือเฟือเพื่อทั้งนี้เพียงแต่นำขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลไปพันรอบขดลวดเส้นอื่น เท่ากับเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้มีกำลังมากขึ้นกว่าเดิมได้จากกำลังเพียงเล็กน้อยก็จะได้กระแสไฟฟ้ามาใช้งานได้ แล้วถึงประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์อาศัยประโยชน์ จากความสัมพันธ์อันใกล้ชิดระหว่างสภาวะแม่เหล็ก และไฟฟ้าในการสร้างเสียงดนตรี ภาพ หรือแม้กระทั่งคลื่นวิทยุ

ผู้บุกเบิกวิชาไฟฟ้า

ไมเคิล ฟาราเดย์(1791-1867) เติบโตจากครอบครัวที่ยากจนแต่ก็กลายเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ยิ่งใหญ่ในสมัยนั้น ระหว่างการทำงานที่ราชสถาบันแห่งลอนดอนเขาได้ค้นพบความรู้พื้นฐานทางด้าน เคมี และฟิสิกส์หลาย เรื่องในปี ค.ศ.1831จากการที่ได้อ่านผลงานของเออร์สเตดเขาก็ได้ค้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาวะแม่เหล็กใกล้ ขดลวดทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งชี้ชัดว่าสภาวะแม่เหล็กกับไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน

แม่เหล็ก (Magnetic)

เหล็กที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถดึงดูดวัตถุธาตุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก โคบอลต์ แมงกานีส นิกเกิล ฯลฯ ซึ่งโครงสร้าง(โมเลกุล) ของแม่เหล็ก เรียกว่าโดเมนแม่เหล็ก (Magnetic Domain) จะต่างจากเหล็กธรรมดา คือ ในเหล็กธรรมดาโดเมนแม่เหล็ก จะเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบทั่วไปทุกทิศทุกทาง แต่ของแม่เหล็ก จะเรียงตัวกันเป็นระเบียบ ยิ่งมีการเรียงตัวกันเป็นระเบียบมาก อำนาจในการดึงดูดก็จะมากด้วย ดังแสดงในภาพ 1



(ก) Magnetic domain ของเหล็กธรรมดา

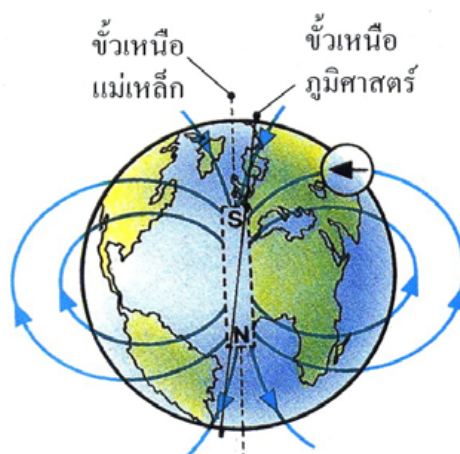
(ข) Magnetic domain ของแม่เหล็ก

ภาพ 1 ลักษณะโมเลกุลของเหล็กธรรมดา และโมเลกุลของแม่เหล็ก

ขั้วของแม่เหล็ก (Magnet Pole)

แม่เหล็กได้ถูกกำหนดทิศทางของคุณสมบัติเป็นขั้วแม่เหล็กตามการวางตัวของขั้วแม่เหล็กตามทิศในทางภูมิศาสตร์ นั่นคือ มี 2 ขั้ว ขั้วเหนือ (North Pole) นิยมเขียนย่อๆ ด้วย N และ ขั้วใต้ (South Pole) นิยมเขียนย่อๆ ด้วย S ในระหว่างขั้วของแม่เหล็กทั้งสองจะส่งแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดอำนาจแผ่กระจายออกโดยรอบเรียกว่า “อำนาจแม่เหล็ก” หรือ “สนามแม่เหล็ก” อำนาจแม่เหล็กภายในจะส่งแรงดึงดูดจากขั้วใต้ไปยังขั้วเหนือ และอำนาจแม่เหล็กที่อยู่ภายนอกแท่งแม่เหล็กจะส่งแรงดึงดูดจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

อำนาจแม่เหล็กที่ส่งแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน จะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่บริเวณปลายของขั้ว แม่เหล็กทั้งสองด้าน แต่ถ้านำเอาแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งหันขั้วที่เหมือนกันเข้าหากัน แม่เหล็กทั้งสองก็จะผลักกันออกจากกัน แต่ถ้าหันขั้วที่ต่างกันเข้าหากัน แม่เหล็กทั้งสองก็จะดึงดูดเข้าหากัน เรา ยังไม่สามารถแยกขั้วของแม่เหล็กให้เป็นขั้วเดี่ยว (Mono pole) ได้ แม้เราจะแบ่งแท่งแม่เหล็กลงเป็นส่วนเล็กๆ ได้ แต่ในแต่ละส่วนยังคงมีทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้เสมอ โลกเราได้ว่าถั๊อว่าเป็นแม่เหล็กด้วยโดยขั้วขั้วโลกเหนือเป็นแม่เหล็กขั้วใต้ และขั้วโลกใต้มีแม่เหล็กขั้วเหนืออยู่ ดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 ขั้วโลกเหนือเป็นแม่เหล็กขั้วใต้ และขั้วโลกใต้มีแม่เหล็กขั้วเหนือ

รูปลักษณะทิศทางของอำนาจแม่เหล็ก

อำนาจแม่เหล็กจะผ่านวัสดุได้ทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นวัสดุตัวนำหรือฉนวนการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กออกไปเป็นบริเวณโดยรอบเราเรียกว่า สนามแม่เหล็ก การแพร่กระจายจะกว้างหรือแคบ ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

ประเภทแม่เหล็ก

แม่เหล็กแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

1. แม่เหล็กธรรมชาติ เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยคุณสมบัติของตัวเองเกิดขึ้นได้บริเวณแถบ ขั้วโลกเหนือ และ ขั้วโลกใต้ มีประโยชน์ต่อมนุษย์ในการกำหนดทิศทางของการเดินทางทั้งทางอากาศ และ ทางทะเล โดยมีเข็มทิศเป็นเครื่องช่วยดู
2. แม่เหล็กประดิษฐ์ เป็นแม่เหล็กที่ถูกมนุษย์สร้างขึ้นมานำไปใช้งานในหน้าที่ต่างๆ มีทั้งชนิดที่ทำขึ้น โดยการนำเอาเหล็กธรรมชาติไปผูกกับแม่เหล็ก เพื่อให้เหล็กธรรมดานั้นมีอำนาจแม่เหล็กขึ้นมา หรือ แม่เหล็กที่เกิดจากการกระทำของกระแสไฟฟ้า ที่ถูกนำมาใช้ประกอบในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลายที่มีใช้อยู่ในชีวิตประจำวันแม่เหล็กประดิษฐ์ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1 แม่เหล็กถาวร (Permanence Magnetic) คือแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพง เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการนำเอาลวดทองแดงอบน้ำยาพันรอบแท่งเหล็กกล้าแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดูดเหล็กผลึกโมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้า ให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบตลอดไปเหล็กกล้าดังกล่าวก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวรต่อไป

2.2 แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ แม่เหล็กชั่วคราว (Electro Magnetic) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแม่เหล็กถาวร แต่เหล็กที่นำมาใช้เป็นเพียงเหล็กอ่อนธรรมดา เมื่อมีการป้อนกระแส ไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กอ่อนนั้น แท่งเหล็กอ่อนก็จะมีสภาพเป็นแม่เหล็กไปทันที แต่เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป อำนาจแม่เหล็กก็จะหมดไปด้วย เช่น อุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) โซลินอยด์ (Solenoid) กระดิ่งไฟฟ้า เป็นต้น

สารแม่เหล็ก

เหล็ก และเหล็กกล้าเป็นสารแม่เหล็ก โดยเหล็กเป็นสารแม่เหล็กอ่อน เพราะทำให้เป็นแม่เหล็กและสูญเสียอำนาจแม่เหล็กง่าย จึงมักใช้ทำแม่เหล็กไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น เหล็กกล้าเป็นสารแม่เหล็กแข็ง เพราะทำเป็นแม่เหล็ก และทำให้สูญเสียอำนาจแม่เหล็กได้ยาก มักใช้ทำเป็นแม่เหล็กถาวร นอกจากนี้เหล็กออกไซด์เป็นสารแม่เหล็กอีกชนิดหนึ่งใช้สำหรับทำแผ่นดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ VDO และเทปบันทึก

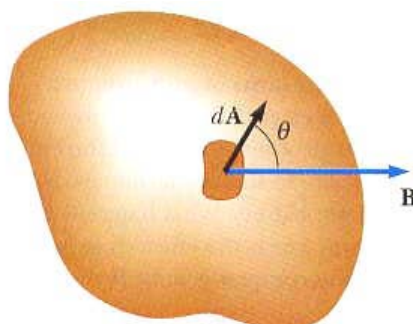
สนามแม่เหล็ก(Magnetic field)

เป็นบริเวณที่แม่เหล็กส่งอำนาจไปถึงขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กแทนด้วยเวกเตอร์ B มีหน่วยเป็น $N/C.ms^{-1}$ หรือ $(N/A \cdot m)$ หรือ เทสลา (Tesla) (T) ในระบบ SI ในระบบอื่นสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น Gauss (G) โดย $1 T = 10^4 G$ เราสามารถแทนสนามแม่เหล็กได้ด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กสัมพันธ์กับเส้นแรงแม่เหล็กดังนี้

1. เส้นสัมผัสกับเส้นแรงแม่เหล็กใดๆ ก็คือ ทิศทางของ B ที่จุดนั้น
2. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ (ที่ตั้งฉากกับเส้นแรง) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาด

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux)

ใช้สัญลักษณ์ ϕ B เป็นค่าที่แสดงว่าสนามแม่เหล็กผ่านพื้นที่ใดๆ ในแนวตั้งฉากมากน้อยเท่าใด ฟลักซ์แม่เหล็กของสนามแม่เหล็ก B ผ่านพื้นที่ส่วนเล็กๆ dA มีค่าเท่ากับ $B \cdot dA$ (dA หมายถึง เวกเตอร์แสดงพื้นที่ขนาด dA มีทิศทางตามเวกเตอร์ 1 หน่วยที่ตั้งฉากกับพื้นที่ dA) ฟลักซ์แม่เหล็กรวมที่ผ่านพื้นที่ ใดๆ เท่ากับ ดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 ฟลักซ์แม่เหล็กของสนามแม่เหล็ก

ถ้าพิจารณาในสนามแม่เหล็กคงที่สม่ำเสมอขนาด B ผ่านพื้นที่ A ใด โดยทำมุม θ กับเส้นตั้งฉากกับพื้นที่ A ฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $\phi = BA \cos \theta$

ถ้าสนามแม่เหล็กมีทิศขนานกับระนาบพื้นที่ ฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 0 ถ้ามีทิศตั้งฉากกับพื้นที่ ฟลักซ์แม่เหล็กมีค่า สูงสุด เท่ากับ $\Phi = BA$ หน่วย ของฟลักซ์แม่เหล็ก คือ T. m² หรือ เวเบอร์ (Wb) โดย 1 Wb = 1 T.m² (โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์, ม.ป.ป.)

มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

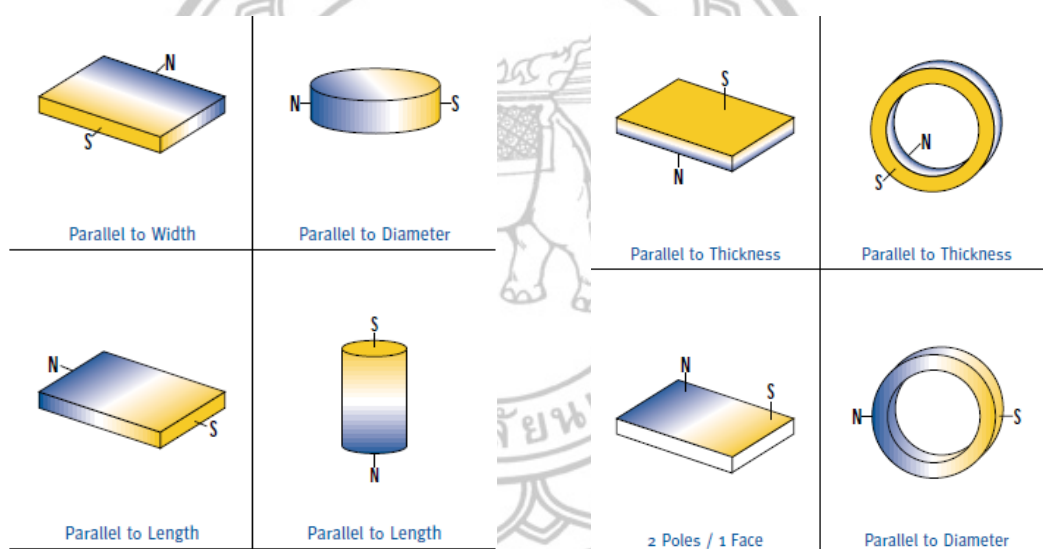
มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเมื่อเราต่อแบตเตอรี่เข้ากับมอเตอร์ กระแสไฟฟ้า ในขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาต้านกับแม่เหล็กถาวรทำให้แกนขดลวดหมุนและทำให้ออกหมุนตามแต่ถ้าเราต่อ หลอดไฟแทนที่แบตเตอรี่และหมุนแป้นรอกเพื่อไปบังคับให้แกนขดลวดหมุนตามมอเตอร์ก็จะกลายเป็นเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นขณะที่เส้นลวดเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กทำให้อิเหนี่ยวนำไฟฟ้าสว่างขึ้น ฟาราเดย์ ยังพบว่า บางครั้งไฟฟ้าและสภาวะแม่เหล็กอาจเปลี่ยนสลับกันได้

ประโยชน์จากไฟฟ้าและสภาวะแม่เหล็ก

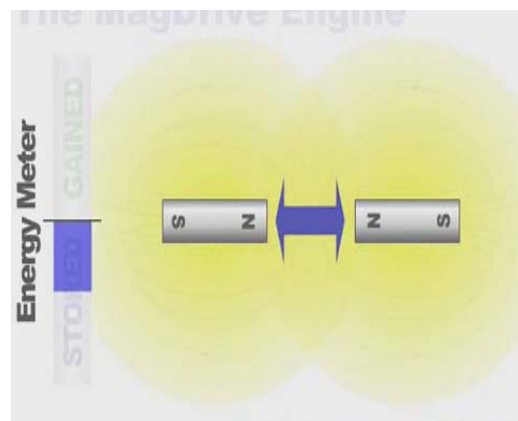
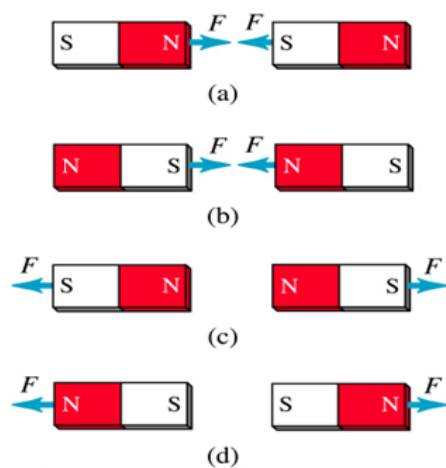
เครื่องเล่นวิดีโอ รับสัญญาณจากสถานีโทรทัศน์ หรือสายเคเบิล แต่แทนที่จะเปลี่ยนเป็นภาพกลับบันทึกสัญญาณไว้ บนเทปแม่เหล็กกระบวนการดังกล่าวก็คล้ายกับการบันทึกเสียง เครื่องเล่น วิดีโอทำงานได้โดยอาศัย สภาวะแม่เหล็ก และไฟฟ้าเป็นสำคัญมันใช้แรงผลักแม่เหล็กของลวดนำกระแสในมอเตอร์ไฟฟ้าไปปั่นกระบอกหัวเทปด้วยความเร็วสูง และเลื่อนสายเทปไปอย่างช้าๆในการบันทึกรายการหนึ่งๆกระแสที่ไหลผ่านขดลวดภายในกระบอกหัวเทปจะถูกนำไปใช้ สร้างรอยแถบแม่เหล็กลงบนเทป เมื่อเราเล่นเทปที่บันทึกรายการนั้น เครื่องเล่นวิดีโอจะนำรอยแถบ

หลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

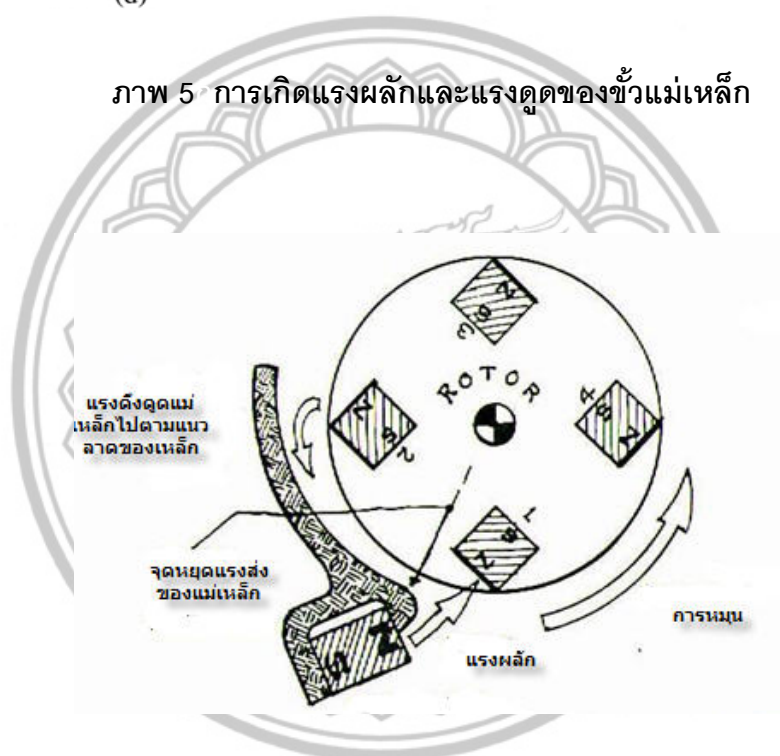
เป็นการใช้ข้อมูลพื้นฐานของแม่เหล็กที่ว่า แม่เหล็กนั้นมี 2 ขั้ว ประกอบด้วยขั้วเหนือ และขั้วใต้ ดังแสดงในภาพ 4 และเมื่อนำเอาแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งหันขั้วที่เหมือนกันเข้าหากัน แม่เหล็กทั้งสองก็จะผลักกันออกจากกัน แสดงในภาพ 5 มาประยุกต์ในมอเตอร์แม่เหล็กถาวร โดยให้สเตเตอร์จากขดลวดเปลี่ยนมาเป็นสเตเตอร์แม่เหล็ก และโรเตอร์ที่ทำด้วยเหล็กอ่อนมาเป็นโรเตอร์ที่ทำด้วยแม่เหล็ก โดยเมื่อประกอบเข้าด้วยกันเป็นมอเตอร์นั้นให้หันขั้วเหมือนกัน(ขั้วเหนือหันเข้ากับขั้วเหนือ และถ้าเป็นขั้วใต้หันเข้าขั้วใต้) หันเข้าหากันเพื่อเกิดแรงผลักในการหมุน ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 4 ขั้วต่างๆ ของแม่เหล็ก



ภาพ 5 การเกิดแรงผลักและแรงดูดของขั้วแม่เหล็ก



ภาพ 6 การลักษณะการส่งกำลัง

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Magcraft Copamy Limited, (n.d.) ได้จัดทำเกี่ยวกับคู่มือออกแบบ และการเลือกวัสดุ แม่เหล็กถาวร กล่าวว่า

1. วิวัฒนาการของวัสดุแม่เหล็ก

1.1 เซรามิก เซรามิกเป็นที่รู้จักกันดี คือเฟอร์ไร (Ferrite) เป็นแม่เหล็กที่ทำมาจาก เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide) แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และสตรอนเทียมคาร์บอเนต (SrCO_3) มี ราคาถูกกว่าชนิดอื่น ผลิตได้ 2 แบบ แบบการอัด และการเผา แม่เหล็กเซรามิกจะเปราะ และแตก ง่าย แม่เหล็กชนิดนี้มีหลายเกรด เกรด 1 เป็นไอโซทรอปิก (Isotropic) ของลักษณะแม่เหล็กหลาย ทิศทาง เกรด 5 และ 8 เป็นไอโซทรอปิกของแม่เหล็กที่เกี่ยวกับทิศทางของการอัด

วิธีแวนไอโซทรอปิกจะส่งผลให้ได้แม่เหล็กพลังงานสูงสุด มีค่าสูงถึง 3.5 MGOe (Mega Gauss Oersted) แม่เหล็กเซรามิกมีความแข็งแรงที่สมดุล มีความต้านทานต่อการลบล้าง สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และระบบ ข้อดีของแม่เหล็กเซรามิกคือ ราคาต่ำ กำลังบังคับสูง มีความม ต้านทานต่อการกัดกร่อน และสามารถทำงานในที่ที่มีความร้อนสูงได้ ส่วนข้อเสียคือ ให้พลังงานหรือ ความแข็งแรงที่ต่ำ และผงเฟอร์ไรต์บดเป็นผงหยาบเป็นรอยง่าย เมื่อถูกเสียดสี

1.2 อัลนิโค (Alnico) ทำมาจากอัลลอย (Alloy) ของอลูมิเนียม (AL) นิกเกิล (Ni) และโคบอลต์ (Co) ด้วยองค์ประกอบของโลหะหลายชนิดมาผสมรวมกันทำให้มีคุณสมบัติที่ดีของ แม่เหล็ก แม่เหล็กอัลนิโค จึงมีความเสถียรต่ออุณหภูมิ, มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน รูปร่าง เปลี่ยนแปลงง่าย แม่เหล็กอัลนิโค ผลิตได้ 2 แบบ แบบการหล่อ และแบบการเผา การเผาให้ คุณสมบัติในการให้พลังงานสูงมากกว่า (สูงถึง 5.5 MGOe) และมีรูปร่างที่ประณีต มี 2 เกรด คือ แม่เหล็ก 5 และ 8 คือ เกรดไอโซทรอปิกที่จัดให้สำหรับทิศทางที่ต้องการของแม่เหล็ก แม่เหล็กอัลนิ โคถูกแทนที่ด้วยการประยุกต์ โดยแม่เหล็กเซรามิก และแม่เหล็กโลก (Rare Earth Magnets)

ข้อดี แม่เหล็กชนิดนี้คือ ทนต่อการกัดกร่อนสูง มีแรงกลสูง และทนความร้อนได้สูง ข้อเสีย ราคาแพง แรงต่ำ ให้พลังงานต่ำ

1.3 แม่เหล็กโลก เป็นแม่เหล็กที่ทำจากอัลลอยด์เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มแลนทาไนด์ (Lanthanide) 2 ส่วนของแลนทาไนด์ คือนีโอไดเมียม (Nd) และซาแมเรียม (Samarium, Sm) มีสูตร ในการผสมหลายชนิด มีทั้ง Neodymium-iron-Baron ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) และ ซาแมเรียมโคบอลต์ (SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) เป็นแม่เหล็กโลกที่มาจากกาเผา และขึ้นรูป การยึดเกาะของแม่เหล็กจะใช้โ พลิเมอร์เป็นตัวช่วยยึดผงอัลลอยเข้าด้วยกัน พลังงานผลิตภัณฑ์จะยึดเกาะแม่เหล็กน้อยกว่าแม่เหล็ก ที่ถูกเผา การเผาแม่เหล็ก NdFeB ทั่วไปจะชุบหรือเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันการเป็นสนิม

1.3.1 ซาแมเรียมโคบอลต์ (Samarium Cobalt) เป็นชนิดของแม่เหล็กโลกที่ทนต่อการออกซิไดซ์สูง จะแข็งแรงกว่าเซรามิค และทนต่อความร้อนได้มากกว่าวัสดุ Neodymium แม่เหล็กซาแมเรียมโคบอลต์มี 2 กลุ่มใหญ่คือ SmCo_5 และ $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ให้พลังงานเป็นช่วง ชุด 1-5 ให้พลังงาน 15 -22 MGOe และชุด 2-17 ให้พลังงาน 22-32 MGOe แม่เหล็กชนิดนี้จะต่อความร้อนได้ดีที่สุด ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 350 องศาเซลเซียส แม่เหล็กชนิดนี้มีลักษณะเปราะ และมีแนวโน้มที่จะบิ่น และร้าวได้เมื่อได้รับความร้อนสูงๆ ทำให้วัสดุซาแมเรียมแพง เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ที่อุณหภูมิสูง และทนต่อการกัดกร่อน ลักษณะดีของแม่เหล็กซาแมเรียมโคบอล ก็คือไม่เป็นสนิมง่าย ให้พลังงานสูง และทนต่ออุณหภูมิสูง ข้อเสียคือราคาสูง และความแรงต่ำมาก

1.3.2 นีโอไดเมียมไอรอนโบรอน (Neodymium Iron Boron) เป็นวัสดุแม่เหล็กโลกอีกชนิดหนึ่ง NdFeB ที่มีคนใช้มากที่สุด มีลักษณะคล้ายกับซาแมเรียมโคบอลต์ แต่เกิดการออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่า และไม่มี ความต้านทานต่ออุณหภูมิ แต่แม่เหล็ก NdFeB ก็เป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานสูงถึง 52 MGoe และมีแรงดึงดูดมากกว่าแม่เหล็กซาแมเรียมโคบอลต์ วัสดุชนิดนี้มีราคาแพงกว่าผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบ และอัลนิโค นั้นมีจำนวนฟลักซ์ (Flux) ต่อหน่วยสูงกว่า มีน้ำหนักน้อยกว่าเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ได้หลายอย่าง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังสูง และรูปร่างกะทัดรัด ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง แม่เหล็ก NdFeB ถูกกัดกร่อนได้ง่าย ควรจะมีการเคลือบด้วยทองแดง, เงิน, ทอง, นิกเกิล, สังกะสี และชุบดีบุก และเคลือบอีพอกซี ลักษณะข้อดีของแม่เหล็ก NdFeB เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานสูง มีแรงดึงดูด และแรงผลักสูง, เป็นวัสดุที่ทำงานอุณหภูมิปานกลาง ข้อเสียความแข็งแรงเชิงกลต่ำ และไม่ทนต่อการกัดกร่อน เมื่อไม่มีการชุบหรือเคลือบ

1.4 แม่เหล็กยึดด้วยโพลิเมอร์ (Polymer Based Magnets) วัสดุแม่เหล็กทุกชนิดที่อธิบายไว้แล้วสามารถนำมาผสมกับโพลิเมอร์หลายๆอย่าง เหตุผลอย่างแรกในการผสมโพลิเมอร์ทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สามารถทำรูปร่างที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เพิ่มการควบคุมรูปร่าง และทิศทางการแม่เหล็กให้มากขึ้น เมื่อผงวัสดุแม่เหล็กได้รับการผสมกับโพลิเมอร์จะสามารถขึ้นรูป, หลอม หรือทำให้อยู่ในรูปแม่เหล็ก ข้อเสียคือให้พลังงานต่ำ

1.5 คุณสมบัติของการเลือกวัสดุแม่เหล็กดูจากตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการเลือกคุณสมบัติวัสดุแม่เหล็ก

	Maximum			
	Energy	Residual	Coercive	Working
	Product	Flux Density	Force	Temperature
	Bhmax(MGOe)	Br (G)	Hc(Koe)	°C
Ceramic 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 Copamy Limited, (n.d.)

2. เกรดของแม่เหล็ก (Magnetic Grades)

เกรดของแม่เหล็ก หมายถึงค่าพลังงานสูงสุดของวัสดุที่มีแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบ โดยไม่ได้หมายถึงคุณสมบัติทางกายภาพของแม่เหล็ก เกรดใช้อธิบายความแรงของวัสดุแม่เหล็กถาวร พลังงานของผลิตภัณฑ์มีหน่วยเป็นเกาส์(Guess Oersted) 1 MGOe เป็น 1 ล้านเกาส์ เกรด 40 จะให้พลังงานมากที่สุด 40 MGOe เกรดที่สูงจะทำให้แม่เหล็กมีความแรงสูงขึ้น ดูจากตาราง 2

ตาราง 2 แสดงเกรดวัสดุแม่เหล็กโลก

Material	Grade	Remanence		Maximum Energy
		Density	Coercive Force	Product
		Br	Hcb	(BH) max
		KGs	KOe	MGOe
Nd ₂ Fe ₁₄ B	N35	12.1	11.4	35
	N38	12.6	11.7	38
	N40	12.9	11.9	40
	N42	13.3	12.3	42
	N45	13.6	12.1	45
	N48	14	12.1	48
	N50	14.3	12.3	50
	38M	12.6	12.2	38
	40M	12.9	12.3	40
	42M	13.3	12.4	42
	45M	13.6	12.1	45
	48M	13.9	12.9	50
	30H	11.2	10.7	30
	35H	12.1	11.6	35
	38H	12.6	12.1	38
	40H	13	12	40
	42H	13.1	12	42
	44H	13.5	12	45
	46H	13.7	13	46
	30SH	11.2	10.7	30
	35SH	12	11.6	35
	38SH	12.6	12.1	38
	40SH	13	12.3	40

ตาราง 2 (ต่อ)

Material	Grade	Remanence		Maximum Energy
		Density	Coercive Force	Product
		Br	Hcb	(BH) max
		KGs	KOe	MGOe
Nd ₂ Fe ₁₄ B	42SH	13.1	12.4	42
	44SH	13.5	12.8	44
	28UH	10.9	10.4	28
	30UH	11.2	10.3	30
	33UH	11.5	10.8	33
	35UH	12	11.6	35
	38UH	12.6	12.1	38
	40UH	13	12.3	40
	42UH	13.1	12.4	42
	30EH	11.2	10.3	30
	33EH	11.5	10.8	33
	35EH	12	11.6	35
Sm1Co5	18	8.5	8	18
	20	9	8	20
Sm2Co17	24	10	8.5	24
	26	10.5	9.2	26
	28	10.5	9.5	28
	30	11	9.5	30
	32	12	11	32

ที่มา: Magcraft Copamy Limited, (n.d.)

3. อุณหภูมิการทำงาน (Working Temperatures)

วัสดุแม่เหล็กมีช่วงของอุณหภูมิการทำงาน ตามกราฟที่แสดงวัสดุหลายชนิด และอุณหภูมิการทำงานมากสุดของแต่ละชนิด วัสดุ NdFeB สามารถทำงานได้หลายช่วงอุณหภูมิแต่ถ้าความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นฟลักซ์ลดลง ดูจากตาราง 3

ตาราง 3 แสดงอุณหภูมิการทำงาน

Material	Maximum Working Temperature	
	°C	°F
Ceramic	400	752
Alnico	540	1004
SmCo 1,5	260	500
SmCo2,17	350	662
NdFeB N	80	176
NdFeB M	100	212
NdFeB H	120	248
NdFeB SH	150	302
NdFeB UH	180	356
NdFeB EH	200	392

ที่มา: Magcraft Copamy Limited, (n.d.)

4. การชุบ และการเคลือบ (Plating and Coating)

การเคลือบมีหลายวิธีสำหรับแม่เหล็ก ,เซรามิก ,อัลนิโค และแม่เหล็กซาแมเรียลโคบอลต์ เพื่อป้องกันการเป็นสนิม หรือเพื่อให้เกิดความสวยงาม หรือ ตามความต้องการของเครื่องจักร แม่เหล็ก NdFeB มีแนวโน้มที่จะเป็นสนิมง่าย นอกเสียจากจะต้องมีการเคลือบบางโดยทั่วไป แม่เหล็ก NdFeB จะชุบด้วยนิกเกิล นิกเกิลจะทำให้แม่เหล็กแข็ง และมีผิวมันที่ทนต่อการกัดกร่อน นอกจากนิกเกิลแล้ว ยังมีโลหะอย่างอื่นเช่น สังกะสี, ทองแดง, ดีบุก, เงิน, และทอง ที่นำมาใช้ในการชุบแม่เหล็กถาวร โรงงานผลิตที่มีคุณภาพสูงหลายๆที่ใช้โลหะหลายอย่าง เพื่อเพิ่ม

นอกจากนี้การชุบโลหะ แม่เหล็กสามารถเคลือบด้วยสารอินทรีย์ดังเช่น อีพอกซี แม่เหล็กขนาดเล็กสามารถทำให้คงรูปอยู่ในรูป โดยการเคลือบสีเหมือนควันทะกั่ว เพื่อรักษาขนาด ความกว้างให้คงเดิม ตาราง 4 เป็นการแสดงชนิดการเคลือบของแม่เหล็ก

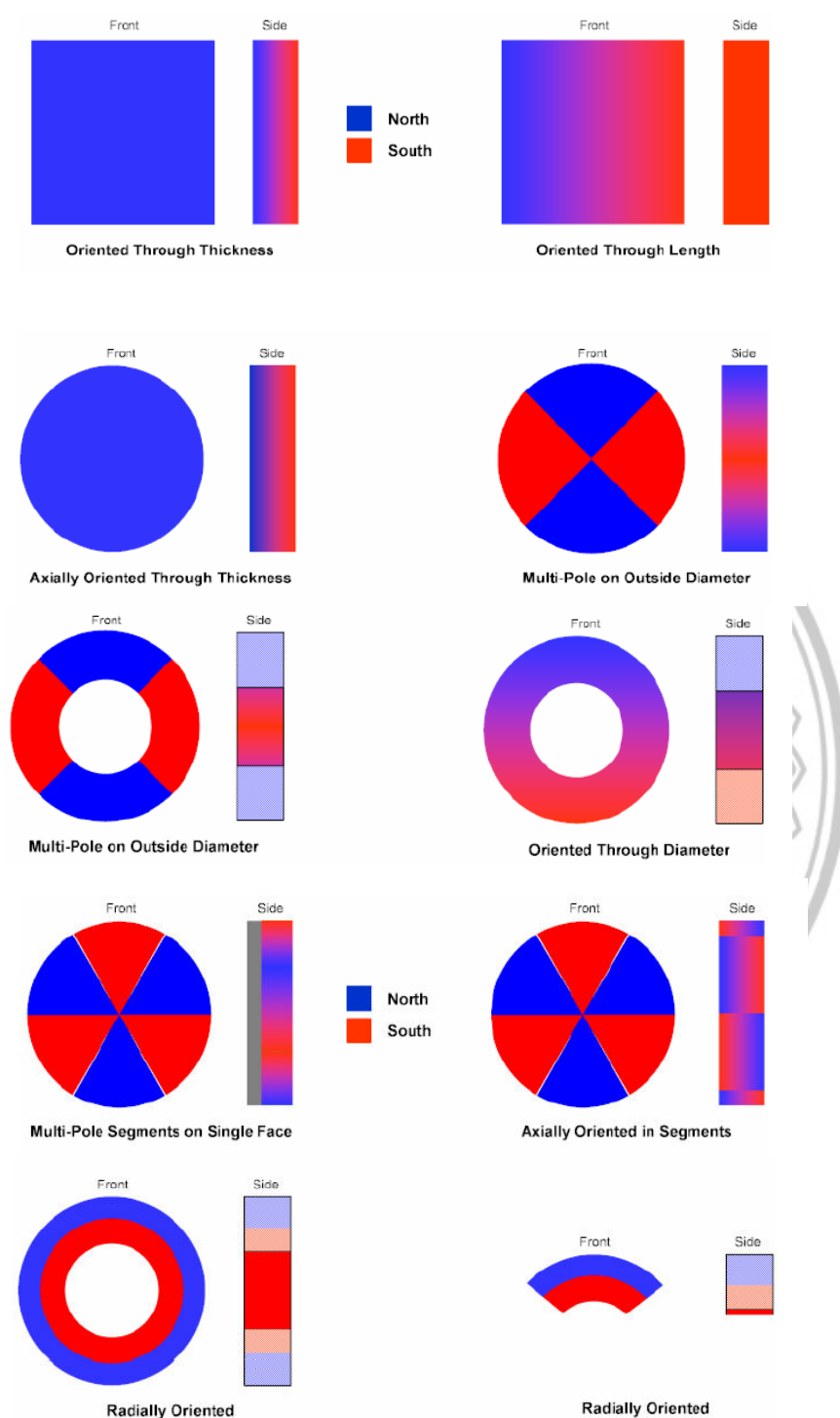
ตาราง 4 แสดงชนิดการเคลือบแม่เหล็ก

ชนิดของการเคลือบ		
Ni	NiCuZn	NiCuNiEpoxy
Zn	NiCuNiSn	Colored Ni
Epoxy	ZnEpoxy	Colored Zn
Double Ni	NiCuNiAu	Colored Epoxy
NiCuNi	NiCuNiAg	Phosphored
NiCusn	NiCuNiZn	Parylene Conformal

ที่มา: Magcraft Copamy Limited, (n.d.)

5. การกำหนดทิศทางหรือตำแหน่งของแม่เหล็ก (Magnetic Orientations)

แม่เหล็กสามารถทำให้มีอำนาจแม่เหล็ก และไม่มีอำนาจแม่เหล็กได้ วิธีการผลิตแบบที่เชื่อถือได้มีหลายวิธี เริ่มจากการประกอบ ตั้งแต่ยังไม่เป็นแม่เหล็กจนเป็นแม่เหล็กสมบูรณ์แบบ แม่เหล็กสามารถทำให้เป็นแม่เหล็กแบบหลายทางได้ ไดอะแกรมข้างล่างนี้ (ภาพ 7) เป็นแม่เหล็ก หลายรูปแบบหลายวัสดุ อย่างเช่นแอนไอโซทรอปิกจะต้องทำให้มีทิศทางแม่เหล็กระหว่างการผลิต วัสดุ เพราะฉะนั้นมันจะรวมเอาการกำหนดทิศทางไว้ด้วย การกระจายทิศทางข้างล่างยากที่จะผลิต และปัจจุบันสามารถทำได้ในวัสดุไอโซทรอปิก



ภาพ 7 ทิศทางหรือตำแหน่งของแม่เหล็ก

ที่มา: Magcraft Copamy Limited, (n.d.)

6. ความเสื่อมของแม่เหล็ก (Magnetic Over Time)

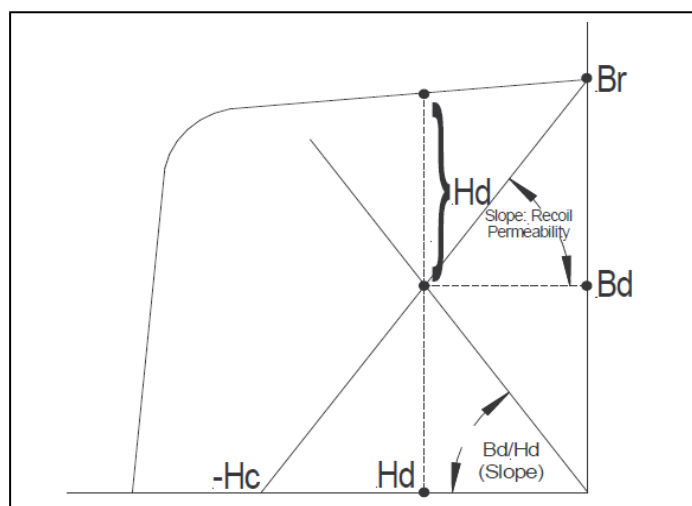
วัสดุแม่เหล็กหลากหลายรูปแบบที่ผลิตออกมา ไม่ได้มีส่วนทำให้แม่เหล็กเสื่อมลง วัสดุนี้โอดิเมียมไอรอนโบรอน อาจจะมีอัตราการสูญเสียลง 1 % ต่อ 100 ปีหรือน้อยกว่านี้ วัสดุแม่เหล็กส่วนมากจะเผชิญกับความเสื่อมจากการเป็นสนิม ความร้อน หรือการกระแทกนานๆ คุณสมบัติแม่เหล็กจะเสื่อมตามเวลา อย่างไรก็ตามถ้าผู้ออกแบบได้ออกแบบให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อายุของการใช้ก็จะยาวนานขึ้น

7. การนำไปใช้งาน (Applications)

มีการใช้แม่เหล็กในหลายรูปแบบ ตั้งแต่นำมาแม่เหล็กมาทำเครื่องทำความเย็น จนถึงกล้องโทรทัศน์ แม่เหล็กเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตในรูปแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เราจะสามารถหาแม่เหล็กได้ในอุปกรณ์ที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ที่วี คอมพิวเตอร์ รถยนต์ ลำโพง มือถือ และโมโครเวฟ ทุกอย่างใช้แม่เหล็ก ตั้งแต่การปิดประตูครัว เป็นส่วนหนึ่งของการตรวจจับ เตือนภัยภายในบ้าน ถูกวางไว้ในที่เลี้ยงวัว เพื่อตรวจจับลวดหนาม และตะปู ใช้ในระบบลิฟต์เพื่อให้ชัก ๆ เรือ, รถไฟฟ้าใต้ดิน และเครื่องตรวจจับ เพราะว่าทั้งหมดนี้ใช้แม่เหล็กมันยากที่จะบอกทั้งหมดเกี่ยวกับการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตาม ขนาดของแม่เหล็กในการผลิตวันนี้ถูกใช้ในการยึดจับ และการใช้งานเกี่ยวกับรถไฟ

8. การวัดแม่เหล็ก (Measuring Magnets)

8.1 ความสำคัญของแม่เหล็ก และ BH-Curve (Magnetic Momemt) คือ การวัดความแรงของแหล่งจ่ายแม่เหล็ก การใช้ตัววัดแรงดูด Helmholtz coil การหุมนแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรสามารถวัดได้ จากการหุมนแผ่นเหล็ก และการทำงานของแรงดึงดูด (Bd) การทำงานของความแรงของสนาม (Hd) แรงบังคับ (Hc) แรงดึงดูดที่เหลือ (Br) และพลังสูงๆ (Bttmax) ที่วัดได้ ดูภาพ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสนามแม่เหล็กกับแรง



ภาพ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสนามแม่เหล็กกับแรง

ที่มา: Magcraft Copamy Limited, (n.d.)

8.2 ความหนาแน่นของแรงดึงดูด การวัดความหนาแน่นแรงดึงดูด ทำได้ง่ายโดยใช้ เกาส์/เทสลา (Gauss/Tesla) มิเตอร์วัด ที่ผิวหน้าของแม่เหล็กเกาส์มิเตอร์จะให้ค่าคงที่ของ กระแสที่ป้อนเข้าที่ฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensor) ต่อจากนั้นก็จะได้ผลของแรงดัน นั่นคือความ หนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่ผ่านมายังตัววัด ผลลัพธ์การวัดมีหน่วยเป็นเกาส์ หรือเทสลา

8.3 แรงดึง การวัดแรงดึง เป็นการวัดทางเครื่องกลที่ส่วนประกอบการวัดของการ จับหรือความแรงการดึงของแม่เหล็ก ในการวัดนี้ แม่เหล็กจะถูกติดกับแอกทูเอเตอร์ (Actuator) ด้วย Integrated Strain Gauge ด้านตรงข้ามของแม่เหล็กจะต่อกับ ชิ้นที่อยู่กับที่ของ Ferromagnetic Material ดังเช่นแผ่นของแม่เหล็กอ่อน แรง Actuator แม่เหล็กจากแผ่นเหล็ก แรง ต้องการที่จะแยก 2 ส่วน จะถูกบันทึกโดย strain gage การทดสอบแรงดึงไม่เป็นมาตรฐาน และ ค่าแรงจัดทำโดยความแตกต่างแต่ละโรงงาน และไม่ควรถูกใช้ในการเลือกแม่เหล็ก

Barbara H. Kenny, (2005) ได้ศึกษาการออกแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ความเร็วสูง สำหรับประยุกต์ใช้ล้อช่วยแรง เป็นการออกแบบเครื่องจักรแม่เหล็กความเร็วสูง และคุณภาพสูง ด้วยมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ในระบบสะสมพลังงานจากล้อช่วยแรง โดยมอเตอร์ทำงานใน สูญญากาศที่มีอากาศเย็น ดังนั้นจึงต้องเลือกแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติในการต้านทานการลบล้าง สภาพแม่เหล็ก และปฏิกิริยาของฮาเมเจอร์ เนื่องจากมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ทำงานด้วยแม่เหล็ก โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์แบบ 2 มิติของโปรแกรม 2D Finite Element ส่วนในเรื่องค่า ของแกนแรงในโรเตอร์จะแสดงเป็นรูป 3 มิติ

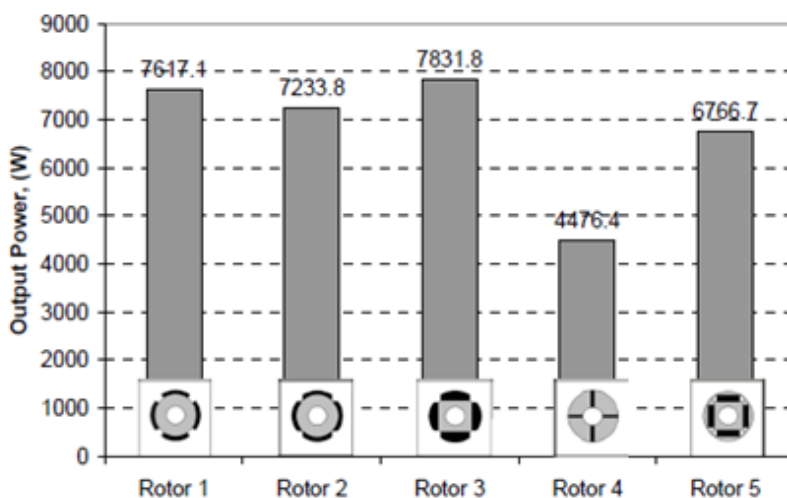
ในปัจจุบันศูนย์วิจัยนาซ่ากำลังพัฒนาเทคโนโลยีในการสะสมพลังงานจากล้อย่อยแรงสำหรับประยุกต์ใช้ในยานอวกาศ เพื่อเป็นแหล่งที่เก็บสะสมพลังงานที่สำคัญ ให้พลังงานที่สูง กำลังสูง อายุการใช้งานที่ยาวนาน และสามารถทำงานได้หลายช่วงอุณหภูมิ นอกจากนั้นล้อย่อยแรงยังช่วยในการควบคุมการทรงตัวของยานอวกาศ ซึ่งมีมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ เป็นส่วนประกอบหลักของระบบล้อย่อยแรง ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปให้เครื่องกล และแปลงพลังงานเครื่องกลไปให้ไฟฟ้า แต่ทั้งหมดจะได้พลังงานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ และอีกอย่างหนึ่งคือการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบล้อย่อยแรงคือออกแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

จุดประสงค์หลักของเครื่องจักรไฟฟ้าล้อย่อยแรงจากมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์

1. ความสัมพันธ์ของความถี่สูงของแรงดัน และกระแส
2. ค่าสูงสุดของกำลังต่ออัตราส่วนกำลัง
3. ประสิทธิภาพสูง
4. ผลรวมของสัญญาณฮาร์โมนิคทั้งหมดของแรงขับเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับ
5. แรงบิดเรียบ
6. สูญเสียกำลังในโรเตอร์ต่ำ
7. ทนต่ออุณหภูมิได้สูง

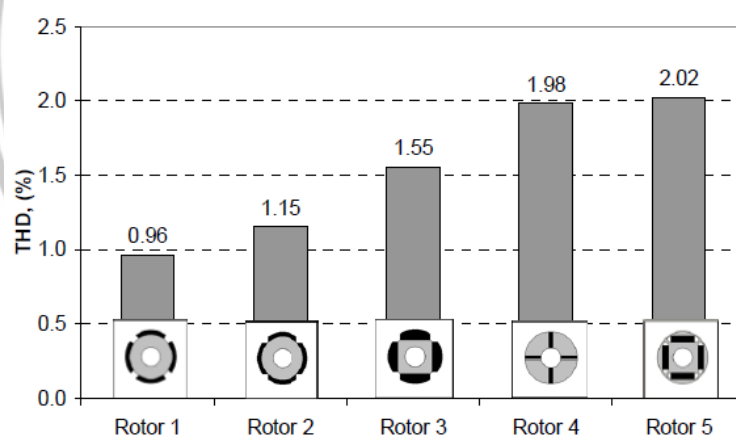
การเลือกรูปแบบโรเตอร์

การเลือกรูปแบบโรเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการ จากโรเตอร์ทั้งหมด 5 ชนิด โดยโรเตอร์ชนิด 1-3 เป็นโรเตอร์ที่มีแม่เหล็กติดอยู่หน้าผิวสัมผัส ส่วนโรเตอร์ 4 แบบซี่ล้อ โรเตอร์แบบที่ 5 เป็นแม่เหล็กแบบฝัง ดังแสดงในภาพ 9 ในการศึกษาใช้สเตเตอร์แบบเดียวกัน จะเปลี่ยนเฉพาะโรเตอร์ โดยให้เส้นโดยรอบของโรเตอร์ ความยาว ชนิดของวัสดุแม่เหล็ก และความหนา เท่ากันทุกชนิด ทุกผิวหน้าของโรเตอร์จะมีข้อต่อตรงมุม จากการคำนวณกำลังที่สร้างออกมาพร้อมกับความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับ (THD) ภาพ 10 ผลที่ได้จากการศึกษาคือ โรเตอร์ชนิดที่ 1 เป็นชนิดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และมีความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณน้อยสุด เป็นชนิดที่ถูกเลือกมาออกแบบในอนาคต



ภาพ 9 ผลลัพธ์ที่ได้จากโรเตอร์ชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Glenn Research Center. (2005).

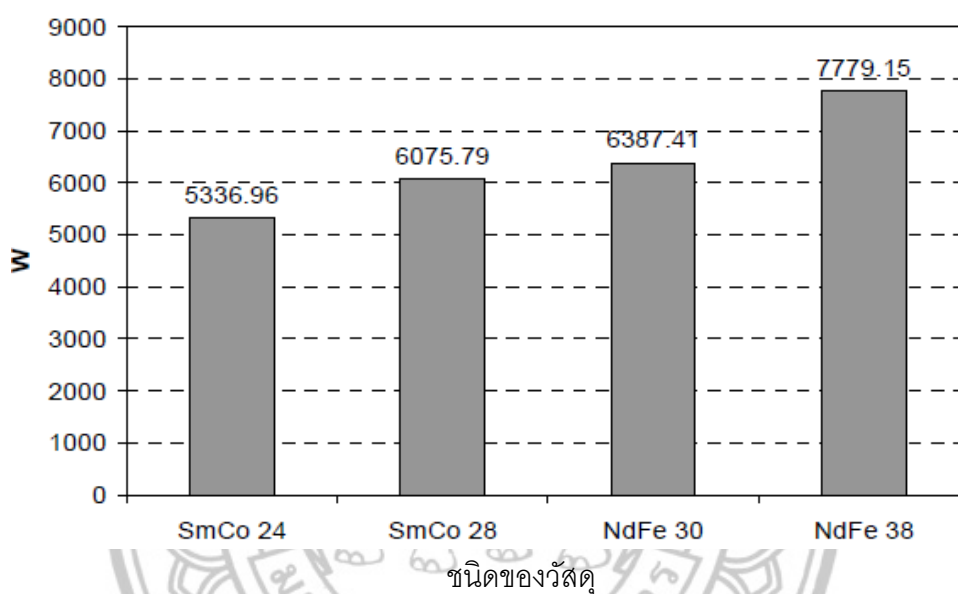


ภาพ 10 ความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ

ที่มา: Glenn Research Center. (2005).

การเลือกชนิดวัสดุ

การเลือกชนิดวัสดุแม่เหล็กถาวรมีความสำคัญกับการออกแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ เพราะว่าเป็นกำหนดกำลังไฟฟ้าตามชนิดของเครื่องจักร และสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ด้วยวัสดุแม่เหล็กถาวรที่แตกต่างกันกระทำได้โดย



ภาพ 11 กำลังที่ผลิตได้จากมอเตอร์ที่มีชนิดวัสดุแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Glenn Research Center. (2005).

การออกแบบผลลัพธ์

โปรแกรมแอนซอฟต์ (ANSOTF RMeptr) เป็นโปรแกรมการออกแบบเบื้องต้น โดยการป้อนข้อมูลปัจจัยพื้นฐานทางไฟฟ้า (กำลัง ความดัน ความถี่) และรูปทรงเครื่องจักร นอกจากนั้นแล้วยังสามารถระบุคุณสมบัติแม่เหล็ก ค่าทางไฟฟ้า และชนิดแม่เหล็ก ได้ด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคือลักษณะของเครื่องจักร การออกแบบเบื้องต้น และรูปแบบมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ จากข้อมูลที่ป้อนเข้าไป ผลลัพธ์ของการออกแบบเบื้องต้นจะแสดงในภาพ 12

โปรแกรมแอนซอฟต์ เป็นโปรแกรมในการศึกษาลักษณะของมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ ระหว่างการหมุนของล้อช่วยแรง

TABLE 1.—M/G PARAMETERS

Output power, kW	7.6
Rated Voltage, V	61
Number of poles	4
Synchronous speed, rpm	50000
Outer diameter of stator, inches	5.75
Length of core, inches	0.728
Thickness of the magnet, inches	0.27
Magnet material	SmCo
Number of stator slots	24
Efficiency, %	98
THD of Induced emf, %	0.96

ภาพ 12 ตัวแปรของมอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์

ที่มา: Glenn Research Center. (2005).

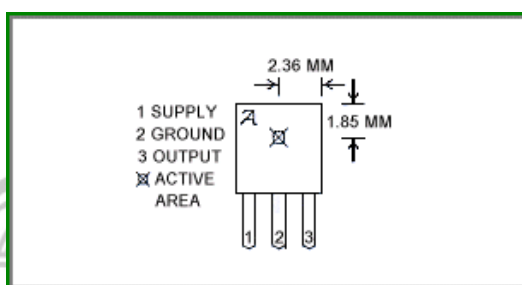
ปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์ และการลบล้างสภาพแม่เหล็ก

ปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์ และการคำนวณการลบล้างสภาพแม่เหล็ก จะเห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์จะมีผลมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง แม่เหล็กถาวรจะถูกลบล้างสภาพแม่เหล็กของฟลักซ์เป็นผลมาจากสเตเตอร์ปัจจุบัน (ปฏิกิริยาของอาร์เมเจอร์) เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการตรวจสอบการลบล้างสภาพแม่เหล็กจะใช้โปรแกรม แอนซอฟท์ แมคเวล 2 (Ansoft Maxwell 2) ในการคำนวณ การศึกษาเกี่ยวกับแรงตามแนวแกนของสเตเตอร์สลอต

การศึกษาเกี่ยวกับแรงตามแนวแกนของสเตเตอร์สลอต ระหว่างการทำงานล้อยช่วยแรงในสัญญาณจะเกิดความร้อนกระจายไปทำลายโรเตอร์ทำให้สูญเสียอำนาจแม่เหล็ก การออกแบบเพื่อต้องการลดการสูญเสียของกระแสไหลย้อนกลับของสลอต (ฟันเฟือง) แกนกลาง และลดความความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม แอนซอฟท์แมกเวล 3 มิติ (Ansoft Maxwell 3D) คำนวณค่าแรง ที่ตำแหน่งโรเตอร์ สเตเตอร์ และช่วงกระแส

รังสรรค์ ศรีสาร, (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกล่าวว่า แม่เหล็ก (Magnet) เป็นสิ่งที่สามารถวัดได้บางชนิดได้ เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ เป็นต้น การที่แม่เหล็กดูดสารบางอย่างได้ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ในบริเวณโดยรอบแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยใช้เข็มทิศ แต่เราไม่สามารถทราบได้ว่ามีค่าเท่าใด นักวิทยาศาสตร์พยายามวัดสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวก และรวดเร็วโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความ

ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor)

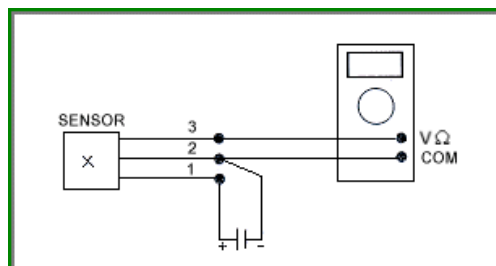


ภาพ 13 ตัวรับรู้ฮอลล์

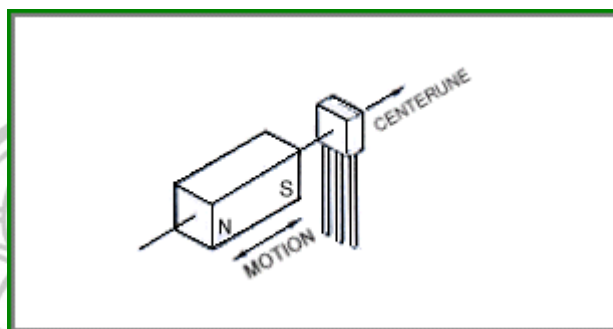
ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวม มีขนาดและลักษณะดังภาพ 13 และมีสมบัติดังนี้

1. input voltage 4.5-6V
2. offset voltage 2.5 V (ประมาณ)
3. sensitivity 13 V/T

เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5-6 โวลต์ เข้ากับขา 1 และขา 2 และต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และขา 3 ดังภาพ 14 โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็นความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก เรียกว่า offset voltage ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 1 และขา 2 แต่จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



ภาพ 14 การต่อตัวรับรู้ฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์



ภาพ 15 แสดงการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ Active Area ของตัวรับรู้ฮอลล์ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ดังภาพ 15 ดังนี้

$$B = (V_{\text{out (B)}} - V_{\text{out (O)}}) S^{-1}$$

เมื่อ $V_{\text{out (O)}}$ เป็นความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

$V_{\text{out (B)}}$ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

S เป็นสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา (V/T)

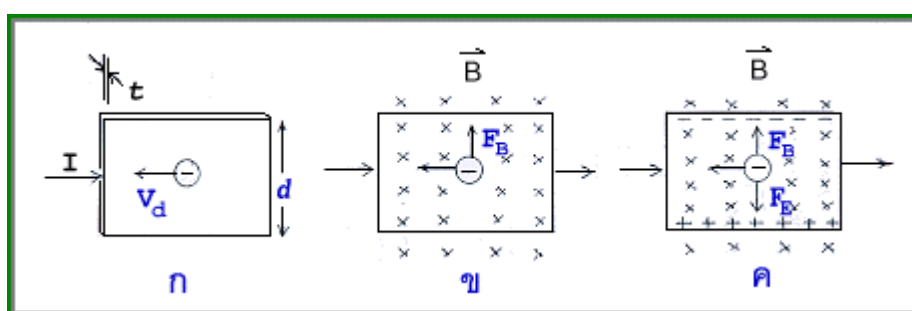
สำหรับตัวรับรู้ฮอลล์ที่ใช้ในบทความนี้ $S = 13 \text{ V/T}$

B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก หรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา

(T)

ตัวรับรู้ฮอลล์สามารถวัดสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้แม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณปลายโซเลนอยด์และสนามแม่เหล็กใกล้เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านได้

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (Charge Carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์



ภาพ 16 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้โดยใช้ภาพ 16 ก-ค ดังนี้ ภาพ 16 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (Conventional Current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

ภาพ 16 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบาง หรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

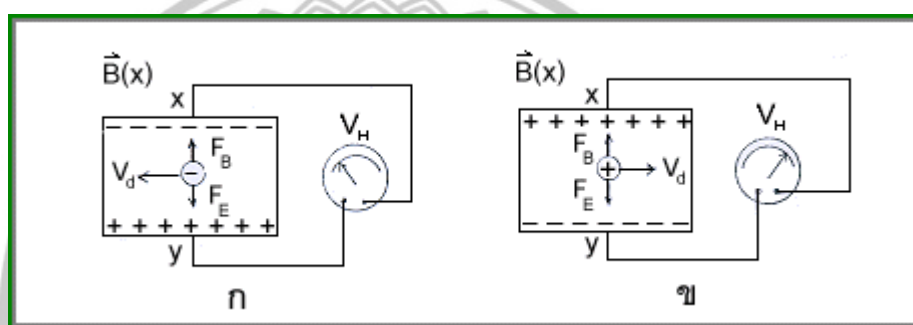
ภาพ 16 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall Field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d} \quad \text{.....(1)}$$

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall Potential Difference หรือ Hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผล พิจารณาได้จากสมการ (7) หรือสมการ (8) ในตอนท้าย)

จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad \text{.....(2)}$$



ภาพ 17 แสดงการวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังภาพ 17 ก สภาพขั้วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์

จากภาพ 17 ก พาหะประจุ คืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับภาพ 17 ก แต่ทิศของ F_B และ E_E ยังคงเดิม ดังแสดงในภาพ 17 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

จากภาพ 16 ค ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$\begin{aligned} (-e) E_H &= (-e) V_d B \quad \text{.....(3)} \\ E_H &= V_d B \end{aligned}$$

จากสมการ (2) จะได้

$$\begin{aligned} V_H &= E_H d \\ V_H &= V_d B d \end{aligned} \quad \text{.....(4)}$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad \text{.....(5)}$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

แทนสมการ (5) ลงในสมการ (4) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \quad \text{.....(6)}$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad \text{.....(7)}$$

สมการ (7) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = net^{-1} V_H \quad \text{.....(8)}$$

ปริมาณ V_H และ t ในสมการ (8) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ ทำห้ววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n \cong 10^{22} \text{ m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \cong 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (8) ได้

ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (Tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (Gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1\text{ T} = 10^4 \text{ G}$

C. Peter Cho, (n.d.) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้มอเตอร์แม่เหล็กถาวร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ เป็นการนำเสนอมอเตอร์แม่เหล็กถาวร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ เพราะมีแนวโน้มว่าจะมีการนำวัสดุแม่เหล็กถาวรมาใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ในอนาคต บทความนี้จะศึกษามอเตอร์หลัก 3 ชนิด และใช้เทคโนโลยี เพื่อสนับสนุนให้ได้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น โดยมุ่ง

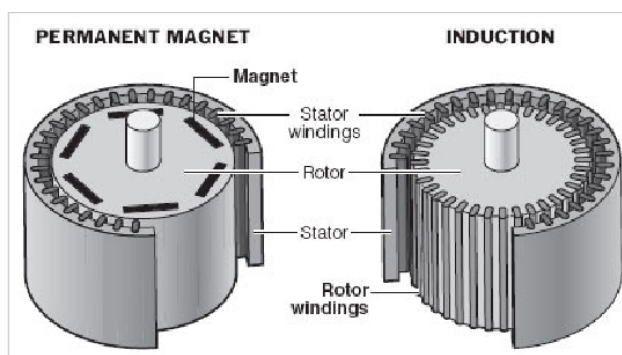
เทคโนโลยีมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor Technologies)

เป็นการกล่าวถึงเทคโนโลยีมอเตอร์ไฟฟ้า 3 แบบ และวงจรควบคุมกำลังทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ประยุกต์ใช้ในรถยนต์ มอเตอร์ 3 ชนิดเป็นมอเตอร์แม่เหล็กถาวร (ชนิดมีแปรง และไม่มีแปรง) มอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนซ์ (Switched Reluctance Motors) จำนวนมอเตอร์ 3 อย่างที่กำหนด ชนิดของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรที่ประยุกต์ใช้ในรถยนต์ เพราะว่ามันมีข้อดี มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่รู้จักกันดีใช้ในการแปลงค่าพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลโดยใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ มอเตอร์ไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1. สเตเตอร์ (Stator) ที่ยึดไว้กับการพัน หรือแม่เหล็กถาวร 2. การหมุนของโรเตอร์ (Rotor) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามแม่เหล็กจะผลิตกระแสไฟฟ้าจากแม่เหล็กถาวรที่ติดในแกนกลาง และเกิดจากแม่เหล็กถาวรที่ติดระหว่างโรเตอร์ และสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์

รูปแบบมอเตอร์ไฟฟ้าสมัยใหม่มาจากการพัฒนา และการปรับแต่งวัสดุแม่เหล็ก ทำวงจรไฟฟ้าให้เล็กลง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนกำลังไฟฟ้า รูปแบบการคำนวณ และการจำลอง เทคโนโลยีการผลิต เปลี่ยนแปลงการทำงาน และควบคุมตามหลักการ ปรับวัสดุแม่เหล็ก และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่เกิน 2 ทศวรรษ จะนำไปสู่การพัฒนามอเตอร์แม่เหล็กถาวรแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless Permanent Magnet Motor) มันสิ่งสำคัญที่จะทำให้ความหนาแน่นของกำลังมีประสิทธิภาพขึ้น และเสียง/การสั่นสะเทือนก็จะน้อยลง เพราะที่ไม่มีประกายไฟ และเสียงเบา

1. มอเตอร์แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Motors)

เครื่องจักรแม่เหล็กถาวรเป็นที่ต้องการอย่างมาก เนื่องจากมีกำลังสูง และประสิทธิภาพสูง หลักๆ เนื่องจากแม่เหล็กนีโอไดเนียมไอรอนโบรอน และแม่เหล็กซาแมเรียมโคบอลต์ มีความหนาแน่นของพลังงานสูงมีขายทั่วไป อีกนัยหนึ่ง ความก้าวหน้าของวัสดุแม่เหล็กพลังงานสูง และเทคโนโลยีในการผลิตแม่เหล็กมีการรองรับในการผลิตของความหนาแน่นกำลังสูง และมอเตอร์แม่เหล็กถาวรประสิทธิภาพสูงที่ราคาเหมาะสม ด้วยประกอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังงานสูงมีให้ใช้ เช่น MOSFETs และ IGBTs แต่ก่อนการเพิ่มความเร็วของไมโครโปรเซสเซอร์ช่วยในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรให้ดีขึ้นในปัจจุบัน แนวโน้มสำหรับการลดค่าใช้จ่ายจะลดลงเรื่อย



ภาพ 18.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์แม่เหล็กถาวรกับแม่เหล็กเหนี่ยวนำ

มอเตอร์แม่เหล็กถาวรมีอยู่ 2 ชนิดคือแบบมีแปรงถ่าน และไม่มีแปรงถ่าน การประยุกต์ของยานพาหนะทุกวันนี้เกือบทั้งหมดใช้มอเตอร์แม่เหล็กถาวรชนิดแปรงถ่าน มอเตอร์แม่เหล็กถาวรชนิดแปรงถ่านมี 4 คุณลักษณะที่เป็นประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้กับยานพาหนะ

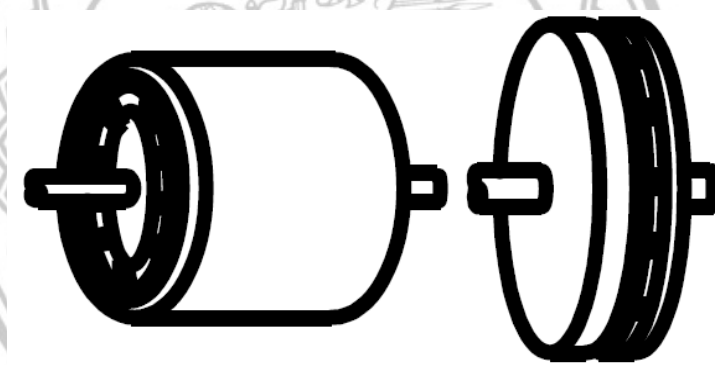
1. ควบคุมความเร็วที่พึงประสงค์
2. ง่ายต่อการควบคุมแรงบิด และความเร็ว
3. กำลังสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูง
4. ไม่ต้องการการแปลงไฟฟ้า

แต่กระนั้นก็มี 6 คุณลักษณะที่ไม่ดี

1. แรงเสียดทานระหว่างแปรงกับคอมมิวเตเตอร์
2. แปรงกับคอมมิวเตเตอร์ต้องการซ่อมบำรุง
3. กระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับอาร์เมเจอร์ผ่านทางแปรง และคอมมิวเตเตอร์
4. แปรง และคอมมิวเตเตอร์ ขณะเปิดจะเกิดประกายไฟ
5. การทำให้มอเตอร์เย็นลงจะทำได้ยาก
6. การควบคุมมอเตอร์ DC ต้องการสวิตช์ที่กระแสสูง

มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านกำลังได้รับความนิยมมากกว่ามอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน เหตุผลในการได้รับความนิยม เนื่องจากมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง กำลังที่ให้สูงกว่า ระบายความร้อนได้ดีกว่า และอายุการทำงานที่ยาวนานกว่า นอกจากนั้นมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่านไม่มีการ

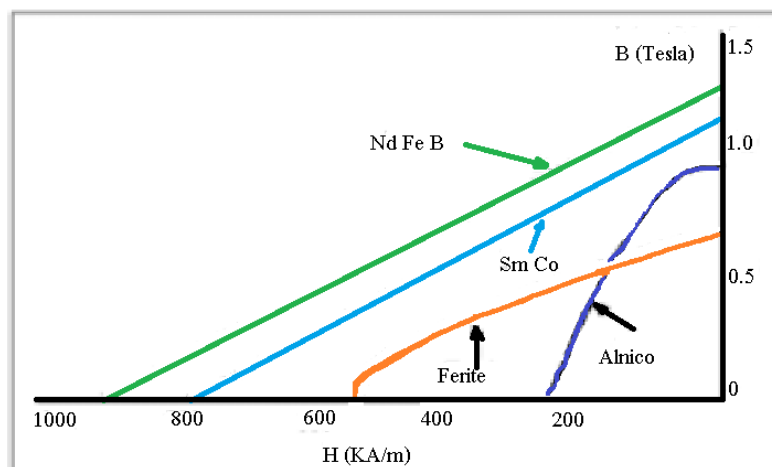
1.1 มอเตอร์แม่เหล็กถาวรชนิดไม่มีแปรงถ่าน (Brushless Type Permanent Magnet Motor) ทิศทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์แม่เหล็กถาวรแบบไม่มีแปรงตลอดไปและยังได้นำมาใช้ในการผลักดันให้เกิดแรงขับเคลื่อนของยานพาหนะในอุตสาหกรรม และเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการปรับปรุงในวัสดุแม่เหล็กถาวร ให้ก้าวหน้าในอุปกรณ์กำลังไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และแผงวงจรไฟฟ้าในช่วง 2 ทศวรรษนี้ ไม่ใช่เพียงแค่ปรับปรุงวัสดุอัลนิโค และโลหะผสมเฟอร์ไรท์ (เซรามิค) อย่างเดียว เป็นการตอบรับการพัฒนาของแม่เหล็กโลกดังเช่น ซาแมเรียมโคบอลต์ และนีโอไดเนียมโบรอนไอรอน ในประมาณปี 1980 มีการออกแบบความแรงของสนามแม่เหล็กให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นใหม่ ไม่มีแปรงถ่าน ระบบมอเตอร์แม่เหล็กถาวรทำให้มีแรงบิดภายในใจมีอัตราสูงมาก ดังภาพ 19 แสดงให้เห็นถึงการกระจายและแกนมอเตอร์แม่เหล็กถาวร



ภาพ 19 แสดงแผนผังของการกระจายสนามกำลังและแกนสนามของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

1.2 วัสดุแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Materials) ดังภาพ 20 เป็นการสรุปแม่เหล็กถาวร 4 ชนิดที่ใช้อยู่ปัจจุบันในโรงงานมอเตอร์ ในกรณีหลักๆ มีความคงทนของสนามแม่เหล็กที่สูงกว่าสภาพการลบล้างของแม่เหล็กในแม่เหล็กถาวรนั้น นักออกแบบมอเตอร์ยังต้องการอยู่

แม่เหล็กอัลนิโค ให้ความคงทนต่อความหนาแน่นแรงดูดค่อนข้างสูง แต่แรงผลักต่ำ เมื่อแรงผลักต่ำและกั้วตรงข้ามแม่เหล็กสองขั้วอยู่ใกล้ชิดกันและกัน ขั้วแม่เหล็กสามารถทำให้แรงอ่อนลงและมีความเป็นไปได้ที่ลบล้างสภาพแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กที่เผชิญกัน



ภาพ 20 การสูญเสียอำนาจแม่เหล็กของวัสดุแม่เหล็กถาวร

แม่เหล็กเฟอร์ไรต์จะมีความหนาแน่นฟลักซ์ต่ำ แต่จะมีแรงผลักสูง ดังนั้นมันเป็นไปได้ที่แรงดึงดูดของแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ตรงข้ามมีขนาดกว้างทำให้มีแรงผลักสูง แม่เหล็กเฟอร์ไรต์มีใช้กันอย่างแพร่หลายในมอเตอร์ไฟฟ้า เพราะว่าวัสดุ และต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ต้นทุนของวัสดุแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ทั่วไปในขณะนี้ประมาณ 6-8 เท่า ต่ำกว่าวัสดุ NdBFe กระนั้น กำลังที่ได้ต่อสัดส่วนน้ำหนักเป็น 1.22 ของเฟอร์ไรต์ เทียบกับ 1.36, NdBFe ซึ่งหมายความว่ามอเตอร์แม่เหล็กเฟอร์ไรต์จะหนักกว่าประมาณ 20% เมื่อเทียบกับมอเตอร์แม่เหล็ก NdBFe การวัดกำลังงานต่อค่าใช้จ่ายวัสดุ จะต่ำกว่ามอเตอร์แม่เหล็กเฟอร์ไรต์เมื่อเทียบกับมอเตอร์แม่เหล็ก NdBFe บริษัท Delco Remy ใช้แม่เหล็กเฟอร์ไรต์ และแม่เหล็ก NdBFe สำหรับประยุกต์สแตร์ทเตอร์มอเตอร์ที่แตกต่างกัน

แม่เหล็กโลกมีทั้งความคงทนแม่เหล็กสูง และแรงผลักสูง มีราคาแพง แม่เหล็กถาวรชนิดนี้ใช้ในการประยุกต์ต่างๆ ที่มีสมรรถนะสูง และประยุกต์เป็นมอเตอร์ที่มีความหนาแน่นพลังงานสูง ให้ระดับความหนาแน่นฟลักซ์เป็นสองเท่าของเฟอร์ไรต์ เป็นชนิดต้น ๆ ที่ให้บิดสูง วัสดุแม่เหล็ก NdBFe เป็นวัสดุที่ดีกว่าวัสดุอย่างอื่น ข้อเสียการใช้แม่เหล็ก NdBFe ที่ตรงกันข้ามกับแม่เหล็ก SmCo คือให้พลังงานความหนาแน่นสูง แม่เหล็กถาวร NdBFe จะทำงานที่อุณหภูมิมากที่สุด 100 องศาเซลเซียสถึง 150 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับ SmCo อัลนิโค และเฟอร์ไรต์ จะทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 200 ถึง 300 องศาเซลเซียส

2. มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motors)

มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (AC) มอเตอร์มีใช้อยู่ทั่วไปทุกชนิดผลิตสำหรับประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมขับเคลื่อน และเครื่องลากจูงไฟฟ้า มอเตอร์เหล่านี้มีความแข็งแรงทนทาน ไม่แพง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่ำ ขนาดของมันประมาณ 2-3 วัตต์กำลัง 15000 แรงม้า มอเตอร์เหนี่ยวนำมี ข้อเสียคือเรื่องความเร็ว ที่ไม่ย่ำต่อการควบคุม รวมถึงความแรงที่มีค่าต่ำค ขณะที่มีโหลด เวลาสตาร์ทต้องรอให้มอเตอร์หมุน 5-7 รอบจนเต็มโหลด ภาพ 21 แสดงให้เห็นส่วน สเตเตอร์ (ส่วนคงที่) และโรเตอร์ (ส่วนหมุนของเครื่องไฟฟ้า)



ภาพ 21 ชนิดสเตเตอร์ และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ เมื่อขับเคลื่อนด้วยแหล่งจ่ายแบบเตอร์ โดยความเหมาะสมของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) คุณลักษณะภายนอกคือเหมาะสมดีกับการขับเคลื่อนยานยนต์ และ การใช้งานอื่น ๆ ไม่เหมือนกับมอเตอร์แม่เหล็กถาวรแบบไม่มีแปรงมันจะต้องมีตำแหน่งของโรเตอร์ เซนเซอร์ในการทำงานมาจากอินเวอร์เตอร์ มันไม่ต้องการตำแหน่งของโรเตอร์ที่ป้อนกลับ มันเป็น ประโยชน์ อย่างไรก็ตามการป้อนกลับของความเร็วโรเตอร์ เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานมาจากตัว อินเวอร์เตอร์ แม้ว่ามันจะไม่ต้องการทำงานที่ป้อนกลับของความเร็วโรเตอร์ ที่จะให้ นั้นหมายถึงมี การควบคุมแบบปิดของความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำค่อนข้างจะมีต้นทุนการผลิตต่ำและมีความแข็งแรงทนทาน เพราะว่า ผลิตขึ้นโดยไม่มีวงแหวน หรือแปรง และคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นจึงมีความสนใจให้นำมอเตอร์ เหนี่ยวนำมาประยุกต์ใช้ในรถยนต์ ในส่วนแรงขับเคลื่อน การสตาร์ทเครื่องยนต์ เบรก ผลิตไฟฟ้า ความเร็วกลับ เปลี่ยนความเร็ว ฯลฯ ในแง่ที่ทำให้ไม่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในรถยนต์คือ ส่วนประกอบเพื่อทำเป็นพลังงานไฟฟ้าแพง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยังให้กำลังต่ำ นอกจากนี้ในการ ประยุกต์ใช้ในงานรถยนต์เป็นจำนวนมากเป็นไปได้ หรือไม่เป็นที่น่าพอใจที่จะใช้เป็นเครื่อง ตรวจจับความเร็วหรือมุม และยังไม่สามารถจ่ายเพื่อควบคุมระบบได้

3. มอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนต์

มอเตอร์แม่เหล็กถาวร และมอเตอร์เหนี่ยวนำมีการใช้มากที่สุด ในการเป็นมอเตอร์การขับเคลื่อนสำหรับ HEV และ EV เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ดีในการประยุกต์ใช้ในรถยนต์ เร็วๆนี้มีการเพิ่มการทำงานของเทคโนโลยีมอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การยอมรับ การสร้างอย่างง่าย ๆ และมีราคาถูกกว่ามอเตอร์แม่เหล็กโลก มีเหตุผลอยู่ 4 ข้อเพื่อสนับสนุนเทคโนโลยีมอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนต์ ให้เป็นชนิดที่มีการพัฒนาอย่างกว้างขวาง

3.1 ยังไม่มีการคำนวณประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ และซอฟต์แวร์

3.2 ตัวกำลังความถี่สูงเช่น MOSFETs and IGBTs

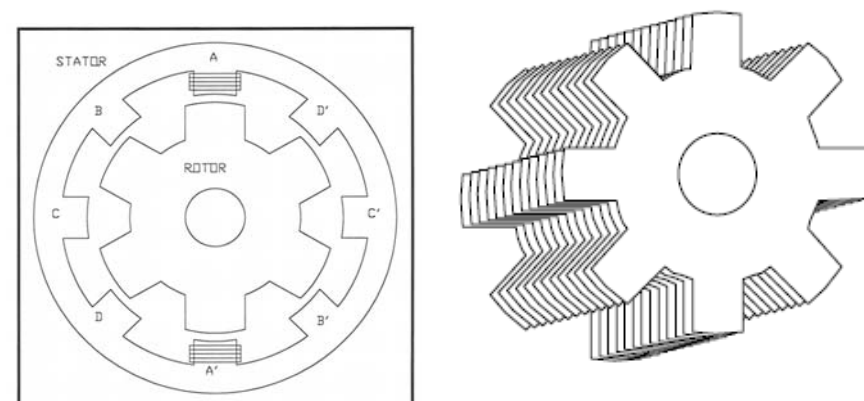
3.3 ความเข้าใจที่ดีของเทคโนโลยีสวิตช์รีลัคแตนต์

3.4 การออกแบบที่เล็กของมอเตอร์ และความสามารถทางอิเล็กทรอนิกส์

แม้จะได้รับความนิยม มันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานในอนาคต และลดกระแสของแรงบิด ,เสียง และปัญหาที่ยังไม่ได้ออกแบบแก้ไขของระบบ

มอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนต์ และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเทียบเท่ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์แม่เหล็กถาวรในช่วงการกระแสเกิน กำลัง การทำงานของความเร็ว และ ปของระบบโดยรวม นอกจากนั้น มอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนต์ มีศักยภาพการทำงานภายใต้เงื่อนไขทางด้านสิ่งแวดล้อม เริ่มจากการผลิต ราคาถูก และมีความทนทานแข็งแรงดี

โครงสร้างมอเตอร์สวิตช์รีลัคแตนต์ มีแผนผังแสดงในภาพ 22 เป็นชนิดสวิตช์รีลัคแตนต์แบบมีขั้วยื่นออกมา (ขั้วมีการออกแบบมาอย่างดีมีรูปทรงเป็นเรขาคณิต) บนโรเตอร์ และสเตเตอร์ด้วย จึงได้ชื่อว่าเป็นมอเตอร์ที่ดี โดยเฉพาะสเตเตอร์มีตัวนำกระแสไฟฟ้า โรเตอร์ที่เคลือบประกอบด้วยขั้วที่สะอาด และแกนกลาง โดยไม่มีขดลวดหรือแม่เหล็กถาวร สเตเตอร์ และแกนกลางโรเตอร์ที่เคลือบจะช่วยลดกระแสไหลวน และขดลวดที่พันรอบขั้วสเตเตอร์ ภาพ 22 ลักษณะโครงสร้างที่ให้โรเตอร์ทนทาน และง่ายต่อการผลิต สำคัญของสวิตช์รีลัคแตนต์ จะมีจำนวนขั้วบนสเตเตอร์ที่แตกต่างจากโรเตอร์ ขดลวดที่อยู่ตรงข้ามขั้วของสเตเตอร์จะต่อแบบอนุกรมที่มาจากเฟสไฟฟ้าของมอเตอร์ สำหรับแต่ละเฟสของไฟฟ้า วงจรกำลังไฟฟ้าหนึ่ง หรือสองสวิตช์ไฟฟ้า จำเป็นสำหรับการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในช่วงระยะที่เหมาะสม สำหรับแรงบิด แรงจะกระทำกับขดลวดสเตเตอร์ในการลำดับการผลิตแรงบิดในมอเตอร์ นี่คือ



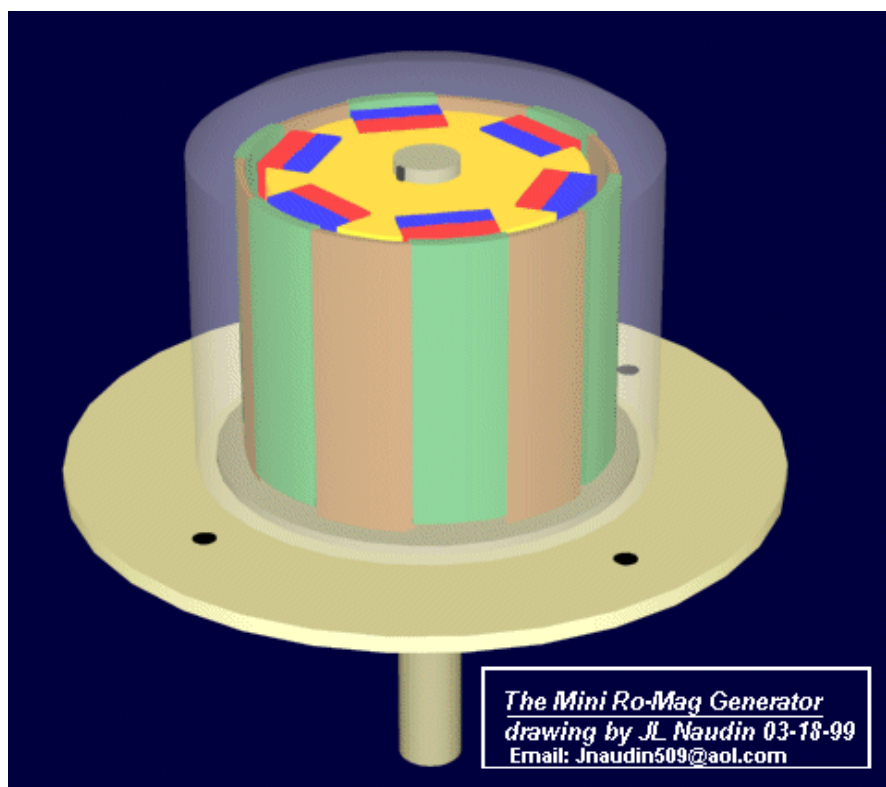
ภาพ 22 มอเตอร์ซิงโครไนซ์

ที่มา: Cho, C. Peter. (2010).

โดยสรุป มอเตอร์ซิงโครไนซ์ มีลักษณะดีหลายอย่างที่น่านใจสำหรับประยุกต์ใช้ในยานพาหนะ ที่เกี่ยวกับ

1. แรงบิดและความเร็วมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น
2. แรงบิดสูงในการทำงานที่ความเร็วต่ำ
3. โครงสร้างง่าย และแข็งแรงทนทาน
4. ทนต่อความผิดพลาด
5. เหมาะสมสำหรับงานหนัก
6. มีเทคโนโลยีใช้อย่างกว้างขวางมีการปรับปรุงเสียงและแรงกระตุ้น

Andris Valodze, (n.d.) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็ก



ภาพ 23 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามินิโรแมก

เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าฟรี มาจากพลังงานแม่เหล็กโดยใช้หลักการเคลื่อนที่การไหลของแม่เหล็ก ซึ่งเรียกว่ากระแสแม่เหล็กสำหรับผลิตกำลังไฟฟ้า เกี่ยวกับพลังงานแม่เหล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถที่จะผลิตไฟฟ้าฟรี 3.5 โวลต์ 7 แอมป์กระแสไฟตรง (ประมาณ 24 วัตต์) ซึ่งมันจะผลิตกำลังที่พอเพียงที่จะสนับสนุนตัวมัน เครื่องผลิตไฟฟ้านี้ต้องการสตาร์ทโดยมอเตอร์ภายนอกประมาณ 42 วินาทีที่ 2100 รอบต่อนาที หลังจากขบวนการชาร์ตนี้ เมื่อการไหลของพลังงานถูกสร้างในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรแมก (Romag) ต่อจากนั้นสามารถจะเอามอเตอร์ออก และหลังจากนั้นก็จะสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าฟรี เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหม่ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ปราศจากการใช้กระแสไฟฟ้าโดยอำนาจแม่เหล็ก มันเป็นการไขปริศนาแหล่งจ่ายที่เป็นธรรมชาติของแม่เหล็ก

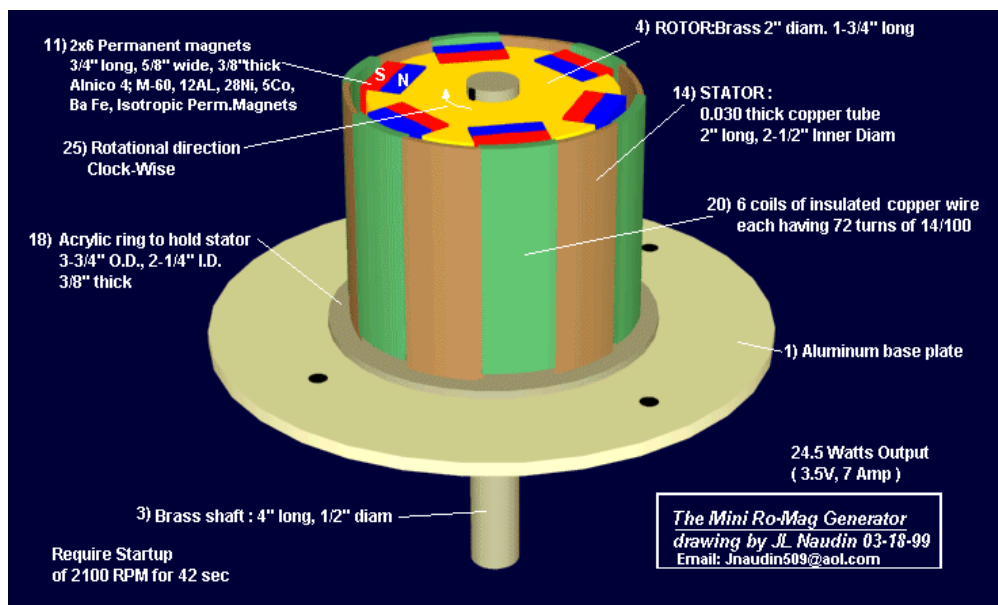
การทำงาน

การทำให้เกิดมอเตอร์แม่เหล็ก/เครื่องกำเนิดแม่เหล็ก 3.5 โวลต์ 7 แอมป์ จะต้องชาร์จโดยการขับเพลาลูกที่ 2100 รอบต่อวินาทีที่ 42 วินาที เป็นที่เข้าใจดีว่าขบวนการชาร์จพลังงานแม่เหล็กภายใน 6 ขดลวดทองแดง ท่อทองแดงประกอบด้วยขดลวด และสายไฟที่ถูกเคลือบด้วยทองแดงพันรอบ ๆ แม่เหล็ก การชาร์จนี้จะสมบูรณ์ได้ด้วย 6 ขดลวดที่ต่อกับสายส่วนที่# 22 ต่อกัน และด้วยขั้วแม่เหล็กสลับขั้วกัน หลักจาก 42 วินาที ของการชาร์จขดลวดที่ต่อจะต้องเปิดวงจร และครบวงจรอีกครั้ง ผ่านทางการดึงพลังงานที่เรียกว่า 7 แอมป์ ส่วนที่#23 เหมือนกับกระแสที่ถูกดึงจาก 6 ขดลวด การดึงของขั้วแม่เหล็กนี้จะเป็นการตอบสนองระหว่างโรเตอร์แม่เหล็ก และขดลวด การตอบสนองนี้เป็นสาเหตุให้เพลาลูก 12 แม่เหล็กถาวรเหมือนแรงดูดและปล่อย ต่อจากนั้นการขับ (ข้อเหวี่ยง) จะถูกตัดเพื่อที่ยอมให้หมุนด้วยแรงกระตุ้นแรงขับไหลที่มีอยู่

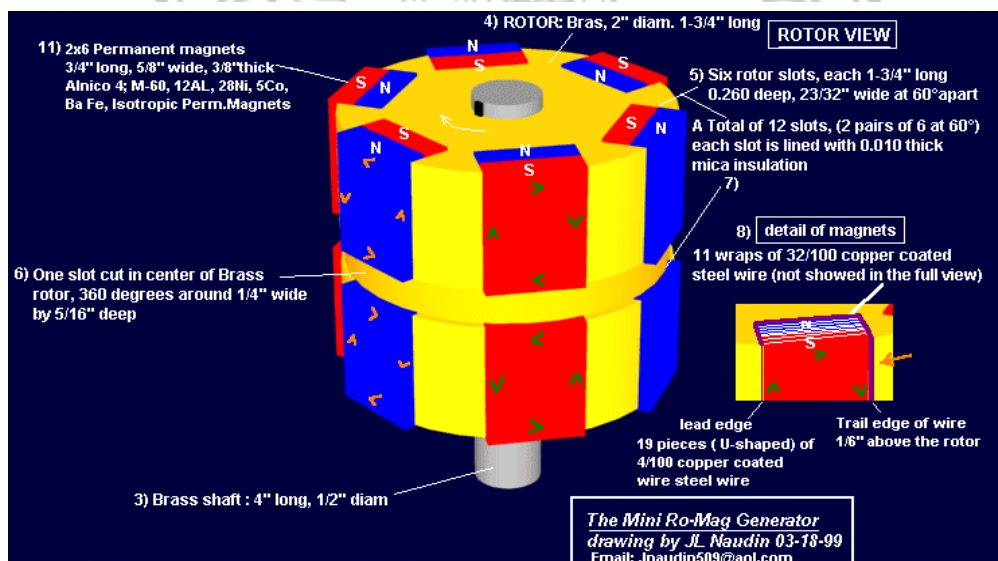
สนามแม่เหล็กจะต้องถูกรักษาไว้ระหว่างการหมุน สนามแม่เหล็กจะถูกหล่อหุ้มด้วยระบบการวางสายไฟ แรงดึง และแรงผลักของแม่เหล็กมีหน้าที่หลายปัจจัย อย่างแรก แรงผลักระหว่างสนามแม่เหล็กเหนือกับใต้จะสมบูรณ์เมื่อแรงผลักอยู่ตรงข้ามกัน (ด้านบนของแถวหนึ่งถึงด้านล่างของแถวต่อไป เป็นต้น) การกระทำนี้มีผลต่อสนามแม่เหล็กที่กลมกลืนในสนามแม่เหล็ก และทำให้ไม่มีแรงดึงกลับเกิดขึ้น แต่ละแม่เหล็กจะผ่านขดลวดจะแลกเปลี่ยนพลังงานของพลังงานระหว่างขดลวดรอบๆ แม่เหล็ก และสร้างขดลวด ขั้วที่เป็นกลางสิ่งนี้เป็น การปล่อยสนามแม่เหล็กและป้องกันการดึงกลับของแม่เหล็ก

การรวมสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของแม่เหล็กไว้ในวงจรที่ยอมให้มีการแลกเปลี่ยนพลังงานฟรีนี้เป็นวัฏจักรของพลังงานแม่เหล็ก/อิเล็กทรอนิกส์ ที่ไม่ใช่ แม่เหล็ก/อิเล็กทรอนิกส์ เพราะว่าแรงสนามแม่เหล็กไม่ได้มาจากไฟฟ้าที่ต่อเข้ามา แต่มาจากพลังงานแม่เหล็ก แต่ค่อนข้างมาจากการสร้างของพลังงานแม่เหล็กที่มาจากแรงผลักของพลังงานฟรี

การให้คำจำกัดความในขนาดของหน่วยที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก (พลังงาน) ด้วยแนวความคิดที่คล้ายคลึงกัน ลักษณะการให้ผลพลังงานที่แตกต่างกัน ผลอย่างหนึ่งก็คือโครงสร้างแม่เหล็กต้องการรูปแบบการไหลที่เป็นแรงทั่วไป ในขณะที่การไหลของไฟฟ้าอ้างเหตุผล (ลัดวงจร, มีประกายไฟ) เพราะความจริงการตอบสนองต่อการทำงาน (ภายในเครื่อง) ที่จะติดตั้ง ต้องการอย่างไรและต้องการที่ไหน เป็นผลในการทำหน้าที่ของเครื่อง ว่าจะมีการทำเป็นขบวนการอย่างไรที่ไหน โดยการผลิตพลังงานอย่างต่อเนื่องของพลังงานแม่เหล็กนั้นวัฏกระแสได้อย่างชัดเจน

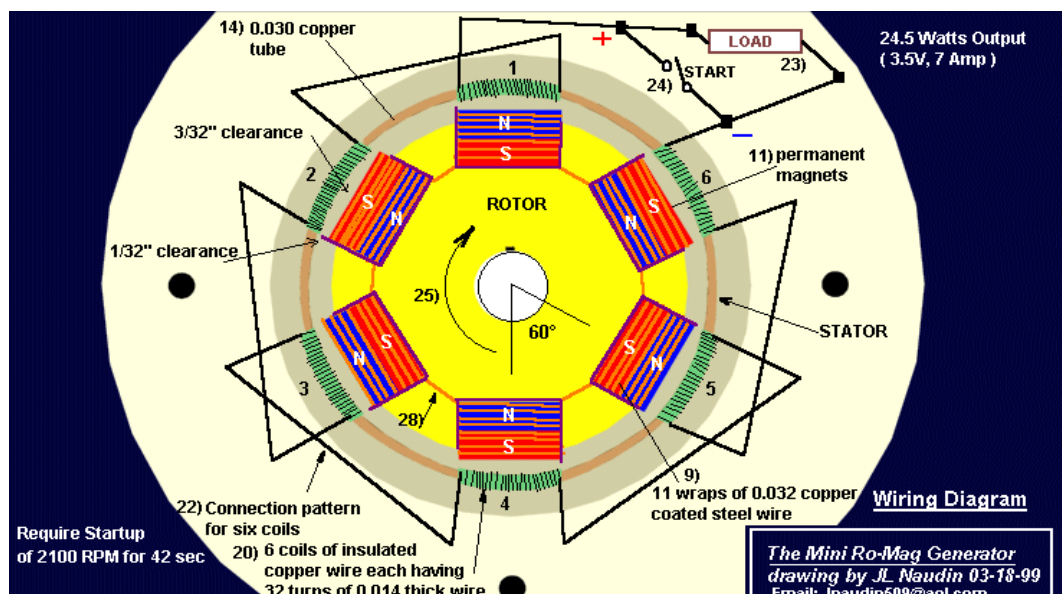


ภาพ 24 โครงสร้าง

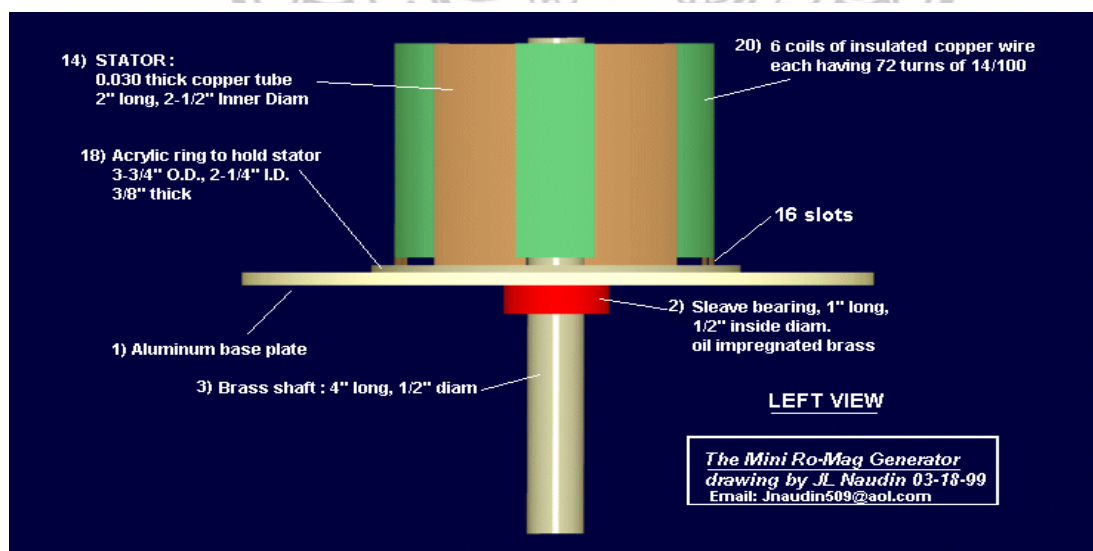


ภาพ 25 ชิ้นส่วนของโรเตอร์

ที่มา: Andris Valodze, (n.d.)



ภาพ 26 แผนผังวงจร



ภาพ 27 โรเตอร์ และแกนโรเตอร์

ที่มา: Andris Valodze, (n.d.)

ส่วนประกอบ และโครงสร้าง

ในการสร้างครั้งแรกเราแนะนำให้ใช้วัสดุตามที่กำหนด

1. แผ่นอลูมิเนียม
2. Sleeve Bearing 1 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายในยาว $\frac{1}{2}$ นิ้ว ทองเหลืองชุบน้ำมัน
3. เพลาทองเหลืองขนาดความยาว 4 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว
4. โรเตอร์ทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความยาว 1-3/4 นิ้ว
5. ช่องโรเตอร์ 6 ช่อง แต่ละช่องยาว $\frac{3}{4}$ นิ้ว ลึก .260 กว้าง 23/32 ช่องว่างนี้จะมีช่อง

60 องศาของแต่ละส่วน

6. หนึ่งช่องตัดตรงกลางของโรเตอร์ทองเหลือง ประมาณ 360 องศา กว้าง $\frac{1}{4}$ นิ้ว ลึก $\frac{5}{16}$ นิ้ว

7. 12 ช่อง (รูปแบบเป็นช่อง 6 ช่อง ตัดเป็นลักษณะ 360 องศา) แต่ละช่องจะมีฉนวนขนาดความหนา 0.10

8. รวม 228 ชิ้น รูปทรง U ความหนา 0.40 เป็นสายเหล็กชุบทองแดง แต่ละช่องว่าง (ส่วนที่ 7) จะมี 19 ชิ้น ของสายที่เหมาะสมในไม่ช้า ดังนั้นสายจะไม่สัมผัสกับโรเตอร์ทองเหลือง ขอบหัวสายจะออกมาด้านนอกของผิวหน้าของโรเตอร์และขอบหางยื่นออกมา $\frac{1}{8}$ นิ้ว เหนือด้านนอกเส้นผ่าศูนย์กลางโรเตอร์

9. สายไฟที่พัน 11 รอบนี้เคลือบด้วยทองแดงขนาด 0.032 นิ้ว ควรจะกว้าง $\frac{3}{8}$ นิ้ว และรูปแบบการวางรอบๆ 12 แม่เหล็ก เมื่อวางในสายที่เบอร์ 8 มันจะพอดีกับจุดสัมผัส

10. หลังจากนั้น คุณต้องการไม่ว่า 12 ชิ้น ขนาด 0.005 นิ้ว สิ่งนี้จะใส่เข้าไปในตรงกลางของสายไฟเบอร์ 9

11. ขณะนี้ แม่เหล็กถาวร 12 ตัวถูกหุ้มด้วยฉนวนคือไม่ว่า ไม่ได้ต่อกับสายไฟเบอร์ 9 วัดแม่เหล็กให้ยาว $\frac{3}{4}$ นิ้ว กว้าง $\frac{5}{8}$ นิ้ว หนา $\frac{3}{8}$ นิ้ว ทำจากวัสดุแม่เหล็กไอโซโทรปิค Alnico 4, M—60; 12 AL, 28 Ni, 5 Co, bal Fe, และประกอบเข้าด้วยกันที่มีสนามแม่เหล็ก Cast 9100 TS. 450 Brin, 2.2 Peak energy product เมื่อใส่แม่เหล็กไปในโรเตอร์ ด้านนอกของแม่เหล็ก 12 อันไม่ควรเป็นอยู่ในรัศมีของอุปกรณ์ ส่วนกลางของแม่เหล็ก จนถึงที่ว่างตรงกลางของขดลวดยาว $\frac{3}{32}$ นิ้ว ขอบที่จะพันด้วยสายไฟขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว ไปถึงขดลวด การเปลี่ยนช่องว่างแม่เหล็ก ไม่ได้ช่วยเฉพาะการปล่อยเป็นรอบ ๆ เท่านั้น แต่ยังช่วยเคลื่อนที่ในการหมุน (ความคมของขอบแม่เหล็ก ผิวหน้าของขดลวดควรจะเป็นสันดอนเล็กๆถึงราบเรียบ)

12. ตำแหน่งแม่เหล็กในโรเตอร์

13. รูปแบบการต่อสายไฟพันรอบ ๆ แม่เหล็ก พัน 12 รอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน, ข้างบนและล่างอย่างละ 6 ส่วน แต่ละส่วนไม่ต่อกัน ทิศทางการไหลของแม่เหล็กระหว่าง 6 ม้วน(ขดลวด) ข้างบนและ 6 ม้วนข้างล่าง ออกมาเป็น ทิศทางการไหลที่แสดงในภาพที่# 25 ภาพที่# 26 แสดงการพันสายไฟรอบ ๆ แม่เหล็กจากครึ่งบน(เหนือ) และ หลังจากพัน 11 รอบ คุณจะเห็นการต่อที่ครึ่งล่าง (ใต้) สายไฟนี้จะไปที่แม่เหล็กอันที่ 2 และ ต่อยังสายไฟอื่น สิ่งนี้ต่อสายไฟไปด้านเหนือ ดังนั้น สายไฟทุกอันจะเชื่อมต่อต่อจากแม่เหล็กอันเหนือไปได้ ครึ่งหนึ่งของแม่เหล็กเหนือไปยังครึ่งหนึ่งของแม่เหล็กใต้ ความจริงการต่อต้องพันทองแดงแล้วตัดไม่บัดกรีด้วยฉนวน และแทนที่ควรจะเป็นการม้วนทองแดงแบบสั้น ๆ เพื่อหยุดหน้าสัมผัสกับตัวโรเตอร์

14. ท่อทองแดง หน้า 0.03 นิ้ว ความยาว 2 นิ้ว และ รัศมีภายใน 21/2 นิ้ว

15. 6 ช่อง ตัดที่ตรงส่วนบนของท่อเบอร์ 14 ช่องว่างกว้าง 5/8 นิ้ว ลึก 1/32 นิ้ว ระยะห่าง 60 องศา

16. ช่องว่าง 6 ช่อง ตัดที่ส่วนล่างของท่อใน #14 ช่องว่างมีขนาด 5/8 นิ้ว กว้าง 5/16 นิ้ว ความลึกสอดคล้องกับในช่องว่าง #15

17. ติดตั้งท่อทองแดง 6 อัน

18. วงแหวนอะคริลิกยึดตามกส่วน 14, วงแหวนอะคริลิกเท่ากับ 3-3/4 นิ้ว รัศมีข้างนอก 2 1/4 นิ้ว รัศมีข้างใน 3/8 นิ้ว ความหนาร่องตามทิศทางส่วน #1 วงแหวนจะมีร่องความกว้าง 0.03 ตัดความลึก 1/4 นิ้ว เพื่อให้ 6 ท่อลวดทองแดงเข้าไว้ได้ ส่วนที่ 17 เพื่อเอาไว้ใส่

19. พลาสติกหนา 0.002 นิ้ว เป็นฉนวนกระดาศที่วางไว้ข้างในรอบ ๆ และ ข้างนอกส่วน #14

20. สร้าง 6 ขดลวดของสายทองแดงของแต่ละขดลวดประมาณ 72 รอบ ด้วยเส้นลวดขนาด 0.014 นิ้ว แต่ละขดลวดพัน 2 ชั้น ชั้นล่างใส่ขดลวดให้เต็ม 5/8 นิ้ว 45 รอบ และส่วนบน 5/16 นิ้ว 27 รอบ ให้แน่ใจขดลวดแต่ละอันมีความยาวเท่ากับ 72 รอบ ตัวอย่างความยาวของสายที่พัน ดังนั้นสายที่ไม่ได้พันเอาไว้สำหรับวัดมี 6 เส้น การพันขดลวด สมมุติว่าใส่สายที่ม้วนเล็ก ๆ ด้วยหนึ่งความยาวต่อจากนั้นให้ถือท่อทองแดงที่ต่ำกว่าการขยาย เริ่มที่เพิ่มสายไฟในรูปที่ 25 และ พันชั่วคราวของสายนี้ที่ด้านนอกของท่อ ทำให้แน่ใจว่าหมุนตามเข็มนาฬิกาจนกระทั่งช่องขนาด 5/8 นิ้วเต็ม รวม 45 รอบ กลับมาที่สาย และตรงข้ามส่วนบนของขดลวดขนาด 15/32 นิ้วและพันมันในทิศทางเดียวกันอีกครั้งนาฬิกา ชั้นที่ 2 ทำให้แน่ใจว่ามีช่องว่าง 5/16 นิ้ว รวม 27 รอบ วิธีนี้ จะมี 2 ชั้น ตรงกลางพอดีที่ส่วนบนของชั้นแรกหลังจากคุณพันขดลวดเสร็จแล้ว ก็ให้ทำซ้ำอีกครั้งหนึ่งท

21. จำนวนที่ระบุ ด้านบนของชั้นที่สอง

22. รูปแบบการต่อ 6 ขดลวด เมื่อมินิโรแม็กมีการขับเคลื่อนที่ 2100 รอบใน 42 วินาที จุดต่อสายไฟทั้ง 6 จุดต้องต่อเข้าด้วยกัน หมายถึง สายขั้วบวกไปยังสายขั้วลบ จะถูกต่อกันด้วยสวิตช์หลักจาก 42 วินาที โหลดจะถูกเพิ่มเข้าไปในวงจร และสตาร์ทสวิตช์ก็จะเปิด เพื่อตรวจสอบการต่ออีกครั้งหนึ่งระหว่างขดลวด บันทึกสิ่งนั้นจนสำเร็จ ปลายสายขดลวด#1 ไปยังปลายขดลวดที่ #2 ซึ่งอยู่ข้างบนถึงข้างบน รูปแบบนี้จะมีจุดเริ่มต้นของขดลวดที่ 2 (ชั้นล่าง) ไปยังจุดเริ่มต้นของขดลวดที่ #3 จะมีการ (ชั้นล่างเหมือนกัน) เมื่อท่อทองแดงเป็นขดลวดที่วางรอบ ๆ โรเตอร์ ระยะจากแม่เหล็กถึงขดลวดจะต้องเท่ากัน ถ้ามันวัดความแตกต่าง อะคริลิกที่ยึดรูปร่าง สามารถม้วนถึงฐานอลูมิเนียม ทำให้ยื่นออกข้างบน และปรับท่อทองแดงในทิศทางที่ต้องการ เพื่อที่จะคงระยะเหมือนที่กำหนดไว้

23. สายไฟไปยังโหลด

24. สายไฟไปยังสวิตช์สตาร์ท

25. ทิศทางการหมุนสิ่งนี้ สิ่งนี้คือนาฬิกา เมื่อมองจากด้านบนลงล่าง

26. อะคริลิกกลไกสำหรับป้องกันการเสียดสี

27. การเคลือบของอะคริลิกเพื่อที่จะให้โรเตอร์แข็ง ไม่ใช่หม้อเตอร์ที่ทำด้วยวานิช ความร้อนเริ่มต้นของโรเตอร์และจุ่มมันในอะคริลิกร้อน หลังจากเอาออกมาจากถัง หมุนจนอะคริลิกแข็งให้ทั่วๆ โรเตอร์ เพื่อให้เกิดสมดุล เพิ่มทองเหลืองแต่ละอันหรือเอาทองเหลืองออกตามที่ต้องการ โดยเจาะรูเล็ก ๆ ในโรเตอร์ด้านที่หนัก

28. ท่อฉนวนของการต่อทั้งหมด

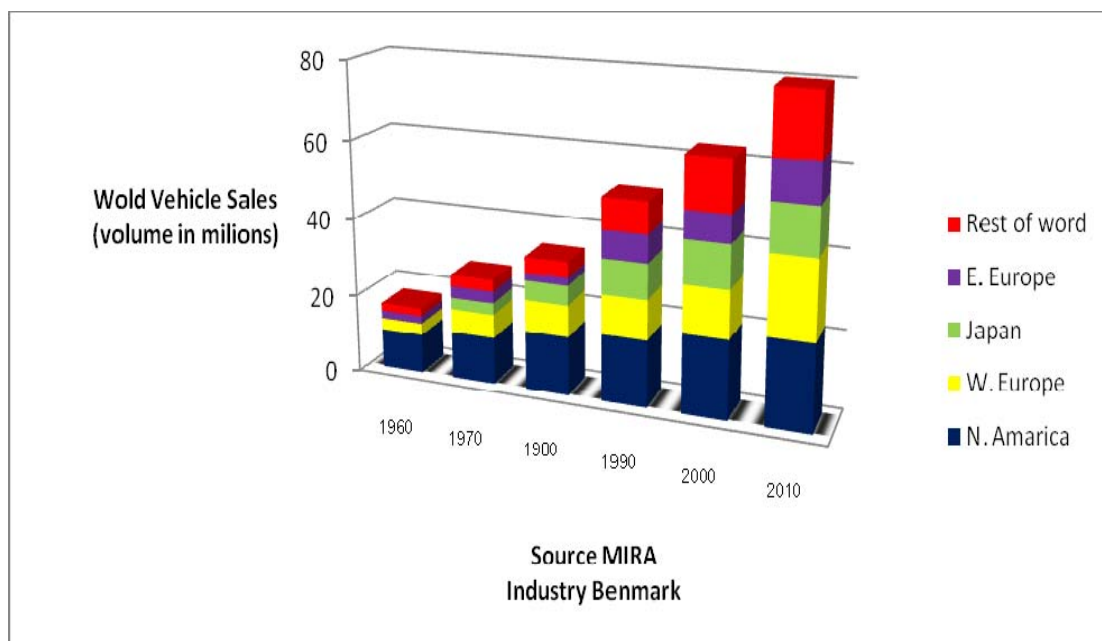
29. เฟลาสำหรับการสตาร์ท และการทดสอบความเร็ว (ถ้าต้องการ)

สรุปชิ้นส่วนของมินิโรแม็ก (Mini-Romag)

สรุปเป็นการสาธิตแบบง่าย ๆ ตัวเลขที่น่าประหลาดใจของการประยุกต์ จำไว้ว่ามันจะต้องมีโหลดที่จะต้องทำงาน บางสิ่งคือแรงดึงดูดของพลังงานแม่เหล็ก สร้างสิ่งนี้และความเป็นไปใหม่ ๆ ของการสร้างพลังงานฟรีด้วยตัวเอง

แนวโน้มอุตสาหกรรมรถยนต์

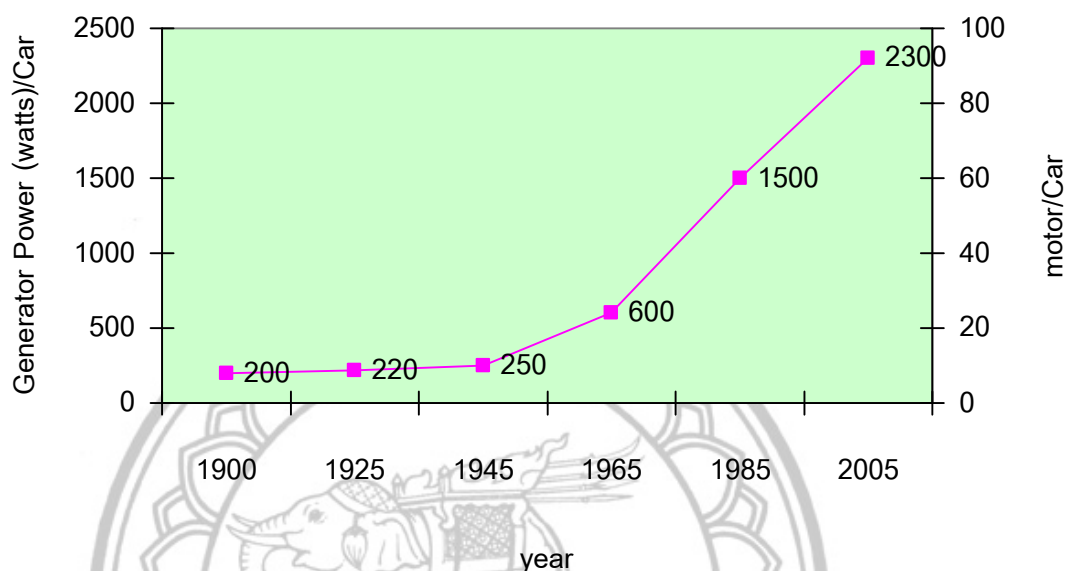
ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา มอเตอร์ไฟฟ้าได้ถูกประยุกต์ให้ใช้งานมากขึ้น โดยจะต้องมีราคาต่ำ และเป็นอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำจากวัสดุแม่เหล็กถาวร



ภาพ 28 การเปรียบเทียบยอดขายรถยนต์และการพยากรณ์

ตลาดรถยนต์ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ มีอัตราการขยายตัวทางการตลาดอย่างมาก ทุกๆ ปีจะขยายตัวได้ 45 ล้านคัน ดังแสดงในภาพ 28 แสดงยอดขายเปรียบเทียบกับการประมาณการ เคยมีการทำนายว่าจะขายรถยนต์ได้มากถึง 50% ในปี 2010 สูงกว่าปี 1990 ภาพ 29 แสดงจำนวนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถยนต์

Number of Electric Motors per Car &
Power Gen Cap.



ภาพ 29 จำนวนของมอเตอร์ไฟฟ้าในรถยนต์

ในรถยนต์หนึ่งคันมีการประเมินว่าจะใช้แม่เหล็กไฟฟ้าจำนวน 40-100 ตัว นอกจากนั้นแล้ว อิเลคทรอนิกส์ก็เพิ่มขึ้นอย่างมากภายใน 2 ทศวรรษ มอเตอร์ไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญทำงานร่วมกับเครื่องมือเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมรถยนต์ เช่น รถไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid electric Vehicle, HEV) และ รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) ไม่ว่าแหล่งพลังงาน HEV/EV แต่ก็ยังต้องมีมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน

ในปี 2005 มีการประเมินมูลค่าทางการตลาดได้ประมาณ 100 พันล้าน ดอลลาร์ เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวของปี 1995 ตามรูป สอดคล้องกับการนำเสนอของมหาวิทยาลัย และอุตสาหกรรม ตลาดรถยนต์ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ เติบโตประมาณ 20% ต่อปี ถึงแม้ว่าราคาอุปกรณ์ ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์จะลดลง แต่โดยรวมแล้วราคารถยนต์ยังเพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 25 % ในปี 2010 มาจากปัจจัยหลัก ๆ 2 ปัจจัยคือ ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น และพลังงานที่มากขึ้น โดยที่ราคามอเตอร์ไฟฟ้าไม่แพงในตลาดรถยนต์ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการที่จะประหยัดน้ำมัน และความต้องการของผู้ใช้

ความสนใจในแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับระบบรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นใน 2-3 ปีที่ผ่านมา ความสนใจนี้เป็นแรงผลักดันให้มีการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าขึ้น ปรับปรุงให้ประหยัดน้ำมัน และ ลดการปล่อยภาวะพร้อมกับเพิ่มความสะอาดสลายให้ลูกค้า บทความสิ่งพิมพ์การค้าเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าแรงสูงมีขึ้นในเดือนสิงหาคม ,กันยายน ,ตุลาคม ปี1998 นี้เป็นผลสะท้อนถึงความสนใจในหัวเรื่องนี้

ในปี 1989 บริษัทรถยนต์ ในNorth American ได้ตระหนักถึงความต้องการระบบตอบสนองความต้องการไฟฟ้าในอนาคต SAE ได้เร่งให้บริษัท Ford Motor จัดตั้ง "SAE Dual High Voltage Committee" เพื่อที่จะพัฒนาหาแนวทางสำหรับการประยุกต์ระบบเหล่านั้น ผลของการประชุมของ SAE Committee ให้ข้อมูลกับสาธารณะชนใน รายงาน J2232 ระบุว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (48 โวลต์) ควรจะพิจารณาจากสัดส่วนของความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าเกินกำลัง ในเอกสาร SAE ที่เผยแพร่จะกล่าวถึงข้อดีข้อเสียของแรงดันไฟฟ้าสูง เช่นการคาดการณ์ล่วงหน้าเกี่ยวกับราคาของแรงดันไฟฟ้าสูงไว้อย่างชัดเจน ทำให้ความกระตือรือร้นลดลง

บริษัท รถยนต์ยุโรปในปี 1996 เริ่มมีความกังวลเกี่ยวกับปัญหาการขาดแคลนรถพลังงานไฟฟ้าในอนาคตMercedes มีความพยายามที่ให้ MIT จัดตั้งสมาคมของบริษัทรถยนต์ ,ลูกค้า และผู้มีส่วนได้เสียอื่นๆ ในระบบยานพาหนะไฟฟ้า เป้าหมายก็คือระบุถึงปัญหา วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้รับการสนับสนุนอย่างกว้างขวางจากอุตสาหกรรมระบบแรงดันไฟฟ้าสูง ยุโรปจะใช้แรงดันไฟฟ้า 12 – 36 โวลต์ (14 – 42 โวลต์ Generator Voltage) และสิ่งนี้ก็คือจุดสำคัญของความพยายาม MIT Consortium บริษัทรถยนต์ในยุโรปปัจจุบันมีโปรแกรมระบุเป้าหมายใน 2001 และ 2002 สำหรับการเริ่มต้นระบบที่ 14 – 42 โวลต์ ในรถยนต์นั่ง

ผลดีของยานพาหนะที่ใช้ระบบแรงดันไฟฟ้าสูง

1. กระแสไฟฟ้าสำหรับโหลดกำลังสูงลดลงในสัดส่วนการเพิ่มของแรงดัน ในระบบ 36 โวลต์ กระแสจะลดลงด้วยสัดส่วนของ 3
2. ประสิทธิภาพระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นโดยการลดลงของกระแส สิ่งนี้ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง
3. ลดขนาดและน้ำหนักของการเดินสายไฟฟ้า
4. ลดขนาดการเดินสายไฟฟ้าและราคาของอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ (กินกระแสต่ำลง)
5. แรงดันสูงสามารถใช้กับอุปกรณ์ใหม่ๆและที่ใช้กำลังสูง
6. ระบบสตาร์ท (ประหยัดเชื้อเพลิง)
7. ประหยัดไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ (น้ำมัน และลดการปล่อยมลภาวะ)

8. เครื่องกระตุ้นวาล์วไฟฟ้า
9. ลดการสั่นในเครื่องยนต์
10. ปั๊มน้ำไฟฟ้า

จากรายการต่อไปนี้ได้รวบรวมการประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ภายใต้การพัฒนา

Power train:

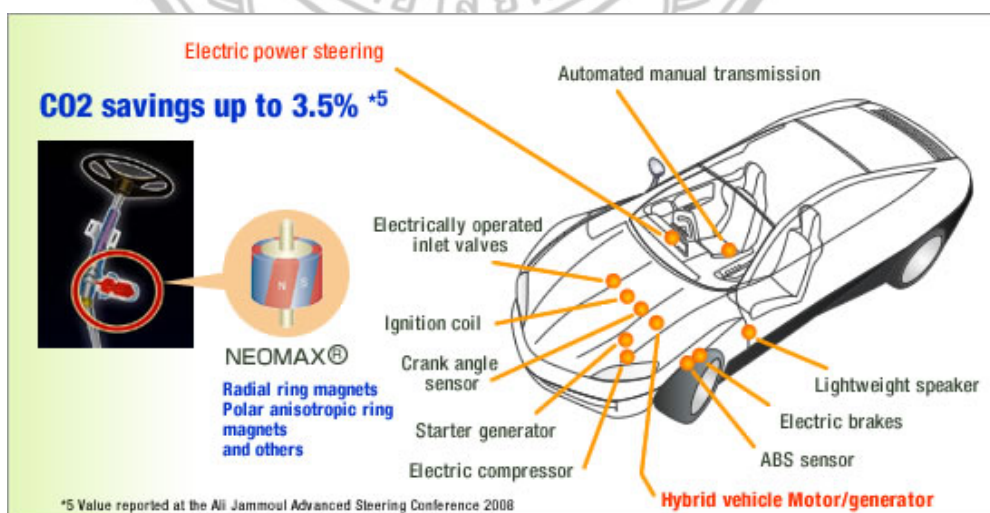
สตาร์ทเตอร์มอเตอร์ เครื่องปั่นไฟฟ้า เครื่องทำความเย็นอิเล็กทรอนิกส์ ตัวขับเคลื่อนดิซันคอมเพรสเซอร์ ตัวควบคุมความเร็ว ตัวควบคุมคันเร่งรถยนต์ วาวท่อไอดี ตัวเปลี่ยนกำลังมอเตอร์ปั๊มเครื่องทำความเย็น วาวอิเล็กทรอนิกส์

ช่วงล่าง :

ระบบพวงมาลัยไฟฟ้ากำลัง, ตัวขับเคลื่อนเอบีเอส, พวงมาลัยเพาเวอร์, อิเล็กทรอนิกส์ไดคติก, เบรก, ระบบรับน้ำหนัก และระบบขับเคลื่อน 2-4 ล้อ

ตัวถัง :

ที่ปิดน้ำฝน, หน้าต่างเลื่อน, ตัวปรับที่นั่ง, ที่นั่งแบบสั่น, กระจกหลังคา, ประตูแบบเลื่อน, ที่ล็อคประตู, ตัวปรับไฟหน้า, ตัวปรับกระจก, ตัวปรับพวงมาลัยเพาเวอร์, เครื่องเป่า, รถลาดตระเวน, มอเตอร์ปิดน้ำฝนไฟหน้า, เส้าอากาศ, ไฟประตู, trunk closer, ระบบปรับระดับ



ภาพ 30 การประยุกต์ต่างๆในรถยนต์ไฟฟ้า

การประยุกต์ในอนาคต

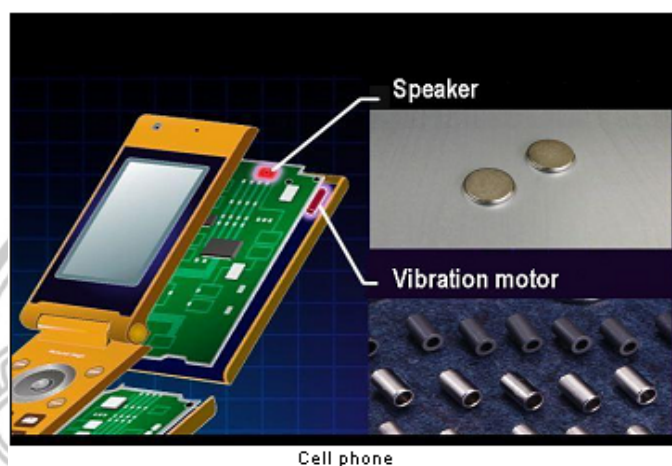
ระบบใช้คัพแม่เหล็ก

เครื่องชาร์จไฟ

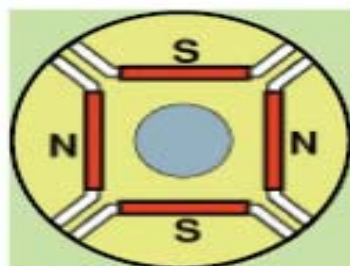
มอเตอร์ลากแม่เหล็กถาวร

เกียร์ไฟฟ้า

เครื่องปรับอากาศแม่เหล็กในยานพาหนะ



ภาพ 31 ลำโพงแม่เหล็กในโทรศัพท์มือถือ



Interior permanent magnet motor (IPM motor)



Compressor motor in air conditioner

ภาพ 32 คอมเพรสเซอร์มอเตอร์ในแอร์คอนดิชัน

บทสรุป

แนวโน้มและการทำนายของอุตสาหกรรมรถยนต์นั้นในอนาคต ได้มีการนำเสนอถึงความต้องการการใช้วัสดุแม่เหล็กถาวรต่อระบบไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้นในอนาคตอันใกล้นี้เราจะมีกำลังที่ใช้สำหรับหมุนเครื่องจักรและวัสดุแม่เหล็กถาวรที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

ในวันนี้เรามีการใช้ 2kW ต่อวัน แต่ในอนาคต เราอาจจะต้องการแทนที่ด้วยนโยบาย 20kW หรือเทียบเท่า 50kW บนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่สามารถทำได้ ซึ่งบางที่เรายังไม่รู้ลึก การนำเสนอมอเตอร์สามแบบและเทคโนโลยีสามารถรองรับระบบไฟฟ้าเพื่อใช้กับยานพาหนะเริ่มมีมากขึ้น การเน้นเป็นพิเศษให้แก่การใช้งานในสามรูปแบบของรถดังเช่น starter motors เป็น integrated starter และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายระบบเป็นระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับระบบเดียว

ในปัจจุบันความต้องการของพลังงานที่สูงขึ้นจึงทำให้ต้องมีการลดความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง และยังเพิ่มความกดดันให้ระบบไฟฟ้านั้นต้องหาจุดที่ต้องการสำหรับทางเลือกเทคโนโลยีที่จะรองรับในอนาคต สิ่งเหล่านี้เป็นหลายๆวิธีที่จะลดความสิ้นเปลืองและการเผยแพร่เหล่านี้ให้สามารถให้ได้กำลังที่มากขึ้น 3 ถึง 4 เท่า แต่ปัจจุบันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับกำลังสูงไม่สามารถแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณของพลังงานนี้ ความร่วมมือทางเทคโนโลยีที่จะจัดหาแบบหรือตัวอย่างที่แน่นอนที่เหมาะสมกับความต้องการในอนาคตตัวตุลาคาถูก การใช้กำลังอิเล็กทรอนิกส์ วงจรควบคุมหลายๆหน้าที่ และ เทคโนโลยีที่ก้าวหน้าจะเป็นการขยายระบบไฟฟ้าที่มากขึ้นในอนาคต