บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน พลังงานทดแทนโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดเสริมแรงเหวี่ยงซึ่งมีเนื้อหาที่เกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หม้อแปลง (Transformer) และล้อหมุนกำลัง (Flywheel)

2.1 พลังงานทดแทน [1]

พลังงานทดแทน หรือ พลังงานทางเลือก คือพลังงานที่กำลังจะถูกนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมหรือเป็นพลังงานที่เป็นทางเลือกใหม่นอกเหนือจากที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากว่าพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้หรือเพราะมีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากจนเกินไป และนำมาซึ่งภาวะปัญหาโลกร้อน พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ได้จากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และ แก๊สธรรมชาติ ซึ่งปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมหาศาล และ มีมลพิษค่อนข้างสูง ตัวอย่างของพลังงานทดแทนหรือ พลังงานทางเลือกที่สำคัญ เช่น

2.1.1 พลังงานลม

ภาพที่ 2.1 พลังงานทดแทน พลังงานลม

จากภาพที่ 2.1 พลังงานลม เป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็ว ลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ซึ่งในบางครั้ง แรงที่เกิดจากลมอาจทำให้บ้านเรือนที่อยู่อาศัยพังทลายต้นไม้ หักโค่นลง สิ่งของวัตถุต่าง ๆ ล้มหรือ ปลิวลอยไปตามลม ฯลฯ ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น พลังงานลมก็เหมือนกับพลังงานแสงอาทิตย์คือไม่ต้องซื้อ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเอาพลังงานลมมา ใช้ประโยชน์มากขึ้น พื้นที่ยังมีปัญหาในการวิจัยพัฒนานำเอาพลังงานลมมาใช้งานเนื่องจากปริมาณ ของลมไม่สม่ำเสมอตลอดปี แต่ก็ยังคงมีพื้นที่บางพื้นที่สามารถนำเอาพลังงานลมมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ได้ เช่น พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลเป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยในการเปลี่ยนจากพลังงานลม ออกมาเป็นพลังงานในรูปอื่น ๆ เช่น ใช้กังหันลม (Windturbine) เพื่อเปลี่ยนให้เป็น พลังงานไฟฟ้า, กังหันโรงสี (หรือ Windmill) เพื่อเปลี่ยนให้เป็น พลังงานกล คือเมื่อต่อเข้ากับระหัดวิดน้ำเพื่อระบาย น้ำหรือต่อเข้ากับจักรกลก็สามารถใช้สีข้าวหรือนวดแป้งได้, กังหันสูบน้ำ หรือ Windpump, Sails หรือใบเรือ เพื่อขับเคลื่อนเรือ เป็นต้น Windfarm จะประกอบด้วยกังหันลมเป็นจำนวนมาก และต่อ เข้ากับสายส่งกลางเพื่อผลิตไฟฟ้าให้กับผู้ผลิตไฟฟ้าหลัก (ในไทยคือ กฟผ.) ลมในทะเลจะมีความ แรงและแน่นอนกว่าลมบนบก แต่การสร้างในทะเลถึงจะไม่ทำให้รกหูรกตามากนักแต่ค่าใช้จ่าย และการบำรุงรักษาจะแพงกว่าการสร้างบนบกมากเลยทีเดียว แต่ก็ไม่แพงไปกว่าการก่อสร้าง โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปพลังงานลมถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อมาแทนที

พลังงานฟอสซิล มีปริมาณมาก มีอยู่ทั่วไป สะอาด หมุนเวียนได้ และมีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมน้อยมาก พลังงานลมมีความสม่ำเสมอในแต่ละปี อาจมีบางช่วงที่ขาดหายไปบ้างแต่ก็จะไม่สร้างปัญหาในการผลิตไฟฟ้าถ้าออกแบบให้มีประสิทธิภาพเพียง 20% ของปริมาณความต้องการไฟฟ้าทั้งหมด การติดตามสภาพอากาศอย่างใกล้ชิดจะสามารถลดปัญหาลงได้

2.1.2 พลังงานน้ำ

ภาพที่ 2.2 พลังงานทดแทน พลังงานน้ำ

จากภาพที่ 2.2 พลังงานน้ำ เป็นรูปแบบหนึ่งการสร้างกำลังโดยการอาศัยพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำส่วนมากจะถูกใช้เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วพลังงานน้ำยังถูกนำไปใช้ในกรมชลประทาน การสี การทอผ้า และใช้ในโรงเลื่อย พลังงานของมวลน้ำที่เคลื่อนที่ได้ถูกมนุษย์นำมาใช้มานานแล้วนับศตวรรษ โดยได้มีการสร้างกังหันน้ำ (Water Wheel) เพื่อใช้ในการงานต่างๆ ในอินเดีย และชาวโรมันก็ได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการโม่แป้งจากเมล็ดพืชต่างๆ ส่วนผู้คนในจีนและตะวันออกไกลก็ได้มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อสร้าง Pot Wheel เพื่อใช้ในวิดน้ำเพื่อการชลประทาน โดยในช่วงทศวรรษ 1830 ซึ่งเป็นยุคที่การสร้างคลองเฟื่องฟูถึงขีดสุด ก็ได้มีการประยุกต์เอาพลังงานน้ำมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเรือขึ้นและลงจากเขา โดยอาศัยรางรถไฟที่ลาดเอียง (Inclined Plane Railroad : Funicular) โดยตัวอย่างของการประยุกต์ใช้แบบนี้ อยู่ที่คลอง Tyrone ในไอร์แลนด์เหนือ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประยุกต์ใช้พลังงานน้ำในยุคแรกนั้นเป็นการส่งต่อพลังงานโดยตรง (Direct Mechanical Power Transmission) ทำให้การใช้พลังงานน้ำในยุคนั้นต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน เช่น น้ำตก เป็นต้น ปัจจุบันนี้ พลังงานน้ำได้ถูกใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งต่อพลังงานไปใช้ในที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำได้

2.1.3 พลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 2.3 พลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานของแสงและพลังงานของความร้อนที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ พลังงานที่เกิดจากแสงและพลังงานที่เกิดจากความร้อน

1. พลังงานที่เกิดจากแสง รูปแบบการนำพลังงานของแสงอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งอย่างกว้างๆ เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการในการจับพลังงานแสง การแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งและการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่นั้น รูปแบบแรกเรียกว่า แอคทีพโซลาร์ เป็นการใช้วิธีการของ โฟโตโวลตาอิคส์ หรือ Solar Thermal เพื่อจับและเปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนโดยตรง อีกรูปแบบหนึ่งก็คือ พาสซีฟโซลาร์ เป็นวิธีการใช้ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ การออกแบบอาคารในประเทศหนาวให้รับแสงแดดได้เต็มที่ หรือ การติดตั้งวัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิ Thermal Mass เพื่อปรับสมดุลของอากาศในอาคาร หรือติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติกระจายแสง หรือการออกแบบพื้นที่ว่างให้ อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติ

2. พลังงานที่เกิดจากความร้อน เช่นพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้นตัวอย่างรูปแบบ แอคทีพโซลาร์ ได้แก่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธี โฟโตโวลตาอิคส์ หรือ Solar Photovoltaics เช่น เซลล์แสงอาทิตย์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์ หรือ Solar Thermal Electricity การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar Heating ตัวอย่างรูปแบบของ พาสซีฟโซลาร์ ได้แก่ หลักการของโซลาร์ชิมนีย์ เมื่ออากาศร้อนลอยขึ้นเกิดการถ่ายเทอากาศภายในอาคาร Solar Architecture ได้แก่ สถาปัตยกรรมในการใช้ เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน เช่น ติดตั้งเซนเซอร์เพื่อเปิดปิดม่านบังแสงหรือพัดลมระบายอากาศ หรือเปิดปิดไฟในเวลากลางคืนเป็นต้น หรือการออกแบบอาคารเพื่อให้มีภูมิทัศน์เกื้อกูลกันตามภาพประกอบ หรือการใช้สีทาอาคารที่จะสะท้อนแสง (สีขาว) หรือดูดซับแสง (สีดำ)

เพื่อให้มีอุณหภูมิเหมาะสมกับการอยู่อาศัย โซลาร์ชิมนีย์ ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งในการนำธรรมชาติของอากาศมาช่วยปรับอุณหภูมิในอาคาร โดยการสร้างปล่องไฟในแนวตั้งเพื่อรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศในปล่องไฟสูงขึ้น อากาศร้อนลอยขึ้นข้างบนทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศ ชาวจีนและกรีกโบราณได้ใช้วิชาการ (ของจีนเรียกฮวงจุ้ย) เพื่อออกแบบที่อยู่อาศัยมาแต่ในอดีตอาคารที่ชนะเลิศปี 2007 การออกแบบเพื่อให้เหมาะกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น สังเคราะห์แสงประดิษฐ์ Artificial Photosynthesis เป็นขบวนการทางเคมีที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบธรรมชาติในการสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแสงอาทิตย์ น้ำและคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ให้เป็นคาร์โบไฮเดรดและอ๊อกซิเจน รวมทั้งการแยกไฮโดรเจนและอ๊อกซิเจนออกจากน้ำ เป็นต้น พลังงานดังกล่าวยังต้องอาศัยปัจจัยต่างๆมาผลิต เช่น พลังงานลมต้องใช้ลมมาผลิต พลังงานน้ำต้องอาศัยน้ำมาผลิต เป็นต้น

2.1.4 พลังงานจากแรงโน้มถ่วง

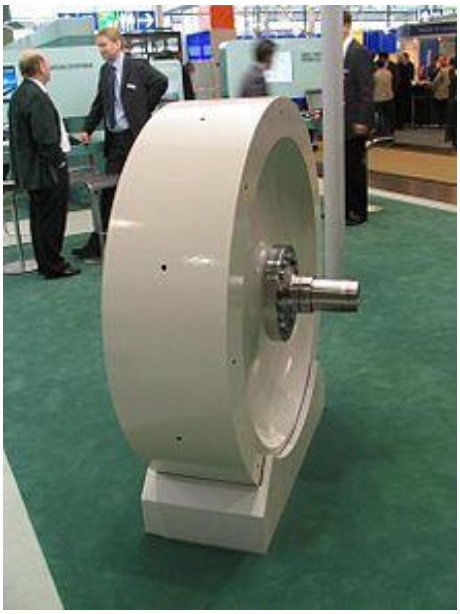
ในทางฟิสิกส์พลังงานจลน์ของวัตถุเป็นพลังงานที่มันมีคุณสมบัติอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวของมัน มันถูกกำหนดให้เป็นงานที่จำเป็นในการเร่งของมวลที่ได้รับจากส่วนที่เหลือกับความเร็วที่ระบุไว้ ต้องได้รับพลังงานนี้ในระหว่างการเร่งความเร็วของตัวเองรักษาพลังงานจลน์นี้จนกว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ของวัตถุที่ไม่หมุนมวล m เดินทางที่ความเร็ว V คือ ในกลศาสตร์ความสัมพันธ์นี้เป็นประมาณการที่ดีเฉพาะเมื่อ V มีมากน้อยกว่าความเร็วของแสง

ภาพที่ 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากแรงโน้มถ่วง (http://valyenergistar.ro/)

จากภาพที่ 2.4 พลังงานจากแรงโน้มถ่วงเป็นพลังงานอีกทางเลือกหนึ่ง จากการศึกษาพบว่าได้มีการคิดค้นจากผู้ประดิษฐ์ ที่จะนำพลังงานจากแรงโน้มถ่วงมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.2 ล้อหมุนกำลัง (Flywheel) [2]

จากภาพที่ 2.5 ล้อหมุนกำลัง (Flywheel) เป็นอุปกรณ์เชิงกลที่หมุนได้ มันถูกใช้ในการเก็บพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหมุน ล้อหมุนกำลังมีโมเมนต์ความเฉื่อยอย่างมีนัยสำคัญซึ่งต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของความเร็วในการหมุน ปริมาณของพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในล้อหมุนกำลังเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วในการหมุนของมัน พลังงานจะถูกถ่ายโอนไปยังล้อหมุนกำลังได้โดยการใส่แรงบิด (Torque) ให้กับมัน ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วในการหมุนของมันและด้วยเหตุนี้จึงเป็นการเพิ่มการสะสมพลังงาน ในทางตรงกันข้าม ล้อหมุนกำลังจะปลดปล่อยพลังงานที่เก็บไว้ได้โดยการให้แรงบิดต่อโหลดหรือภาระทางกล ซึ่งเป็นการลดความเร็วในการหมุนของมัน



ภาพที่ 2.5 ล้อหมุนกำลังในทางอุตสาหกรรม

Flywheel มักจะทำจากเหล็กและหมุนบนแบริ่งธรรมดา พวกมันจะถูกจำกัดโดยทั่วไปให้มีอัตราการหมุนเพียงไม่กี่พันรอบต่อนาที บาง Flywheel ที่ทันสมัยถูกจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์และใช้แบริ่งแม่เหล็กที่ทำให้พวกมันจะหมุนที่ความเร็วสูงถึง 60,000 รอบต่อนาที

2.2.1 ทฤษฎีและการออกแบบเครื่องยนต์ล้อหมุนกำลัง

ล้อหมุนกำลัง (Flywheel) เครื่องควบคุมความเร็วเครื่องจักรมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงกับล้อช่วยแรง จะควบคุมความเร็วเฉลี่ยของเครื่องยนต์ เมื่อมี การเปลี่ยนแปลงในน้ำหนักยกตัวอย่างเช่น เมื่อน้ำหนักที่กระทำต่อเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เครื่องยนต์จำเป็นที่จะต้องเพิ่มการจ่ายของไหลทำงาน (Working Fluid) ในทางตรงกันข้าม เมื่อน้ำหนักลงลง เครื่องยนต์ก็จะต้องการของไหลทำงานน้อยลง เครื่องควบคุมความเร็วเครื่องจักรอัตโนมัติสามารถที่จะควบคุมการจ่ายของของไหลทำงานไปยังเครื่องกลด้วยเงื่อนไขน้ำหนักที่เปลี่ยนไป และยังสามารถคงความเร็วภายในข้อจำกัดบางอย่าง

ล้อหมุนกำลังไม่ได้สามารถคงความเร็วให้คงที่ได้ ดังนั้นมันจึงต้องลดความผันผวนของความเร็ว ในทางตรงกันข้าม ล้อหมุนกำลังจะควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเร็วเนื่องจากความผันผวนของเครื่องกลของช่วงเวลาการเปลี่ยนเครื่องยนต์ของแต่ละการดำเนินการในแต่ละรอบได้ แต่มันไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเร็วเนื่องจากน้ำหนักที่เปลี่ยนไปได้

1. สัมประสิทธิ์ของความผันผวนของความเร็ว

ความแตกต่างระหว่างความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดของรอบเรียกว่าความผันผัวสูงสุดของความเร็ว อัตราส่วนของความผันผวนสูงสุดของความเร็วต่อค่าเฉลี่ยของความเร็ว คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเร็ว

กำหนดให้

N = ความเร็วเฉลี่ยระหว่างรอบในหน่วย rpm

N_1 , N_2 = ความเร็วสูงสุดและต่ำสุดในรอบ rpm ระหว่างรอบ ตามลำดับ

n = จำนวนจังหวะการทำงานต่อนาที

C_S = สัมประสิทธิ์ของความผันผวนของความเร็ว

ω = ความเร็วเชิงมุมระหว่างรอบในหน่วย rad/s

ω_1 , ω_2 = ความเร็วเชิงมุมสูงสุดและต่ำสุดระหว่างรอบการหมุนในหน่วย rpm ตามลำดับ

v = ความเร็วเชิงเส้นระหว่างรอบในหน่วย rad/s

v_1 , v_2 = ความเร็วเชิงเส้นสูงสุดและต่ำสุดระหว่างรอบการหมุนในหน่วย rpm ตามลำดับ

m = การผกผันของสัมประสิทธิ์ความผันผวนของความเร็ว

สัมประสิทธิ์ความผันผวนของเวลา คือ

$$Cs = \frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{(N_1 + N_2)}{N_1 + N_2} \tag{2.1}$$

$$= \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{\omega} = \frac{2(\omega_1 - \omega_2)}{\omega_1 + \omega_2} \tag{2.2}$$

$$= \frac{(v_1 + v_2)}{v} = \frac{2(v_1 - v_2)}{v_1 + v_2} \tag{2.3}$$

$$m = \frac{1}{C_S} = \frac{N}{N_1 - N_2} = \frac{\omega}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{v}{v_1 - v_2} \tag{2.4}$$

สัมประสิทธิ์ความผันผวนของเวลาเป็นปัจจัยจำกัดในการออกแบบล้อช่วยแรง โดยมันจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการบริการเมื่อล้อช่วยแรงทำงานอยู่ To Which The Flywheel Is Employed ตารางด้านล่างแสดงเกณฑ์การใช้งานที่ยอมรับได้ (Permissible Value) ของสัมประสิทธิ์ความผันผวนของความเร็วสำหรับเครื่องยนต์บางอย่าง

หมายเหตุ : การผกผันของสัมประสิทธิ์ความผันผวนของความเร็วรู้จักในนามของควบคุมสถานการณ์ได้ดี (Steadiness) และถูกแสดงด้วยสัญลักษณ์ m

2. พลังงานที่สะสมในล้อหมุนกำลัง

ล้อตุนกำลังแสดงดังภาพที่ 2.6 และได้ทำการอธิบายไว้แล้วว่า เมื่อล้อหมุนกำลังดูดกลืนพลังงานและความเร็วเพิ่มขึ้น และเมื่อมันยกเลิกพลังงาน ความเร็วจะลดลง

โดยที่

m = มวลของล้อหมุนกำลังในหน่วย กิโลเมตร

k = รัศมีของการหมุนของล้อหมุนกำลังในหน่วย เมตร

I = การเปลี่ยนโมเมนต์มวลของแรงเฉื่อยของล้อช่วยแรงของการหมุนในหน่วย kg-m^2

E = ค่าเฉลี่ยพลังงานจลน์ของล้อหมุนกำลัง

R = รัศมีเฉลี่ยของขอบ

N = ความเร็วเฉลี่ยระหว่างรอบ ในหน่วย rpm = $\frac{N_1 x N_2}{n}$ (2.5)

ω = ความเร็วเชิงมุมระหว่างรอบในหน่วย rad/s = $\frac{\omega_1 x \omega_2}{2}$ (2.6)

C_S = สัมประสิทธิ์ของความผันผวนของความเร็ว = $\frac{N_1 - N_2}{N}$ หรือ $\frac{\omega_1 x \omega_2}{\omega}$ (2.7)

พวกเราทราบว่าค่าเฉลี่ยพลังงานจลน์ของล้อหมุนกำลัง

$$E = \frac{1}{2}\ x\ I.\omega^2 = \frac{1}{2} x\ I.m.k^2.\omega^2 \quad \text{ในหน่วย N.m หรือ จูล} \tag{2.8}$$

เนื่องจากความเร็วของล้อหมุนกำลังเปลี่ยนจาก ω_1 ไป ω_2 ค่าสูงสุดของการผันผวนของพลังงาน

$$\Delta E = \text{ค่าสูงสุดพลังงานจลน์ - ค่าต่ำสุดพลังงานจลน์} = \frac{1}{2}\ x\ I.\omega_1^2 = \frac{1}{2}\ x\ I.\omega_2^2 \tag{2.9}$$

รัศมีของการหมุน (k) อาจจะมีค่าเท่ากับรัศมีเฉลี่ยของขอบ (R) เนื่องจากความหนาของขอบมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบ

$$\Delta E = mR^2\omega^2 C_S = mv^2 C_S \tag{2.10}$$

จากสิ่งนี้ มวลของขอบล้อหมุนกำลังอาจจะทำการวัดได้

หมายเหตุ : 1. จากข้างต้น ได้ทำพิจารณาเพียงโมเมนต์มวลของความเฉื่อยเท่านั้น โดยโมเมนต์ของมวลของความเฉื่อยสำหรับดุม (Hub) และแขนจึงไม่ได้รับการพิจารณา เนื่องมาจากว่าในความเป็นจริงแล้วชิ้นส่วนสำคัญของล้อช่วยหมุนอยู่ที่ขอบและชิ้นส่วนเล็กๆ จะอยู่ในดุมและแขน โดยดุมและแขนจะอยู่ใกล้แกนของตัวหมุน ดังนั้น โมเมนต์ความเฉื่อยของดุมและแขนจึงมีค่าน้อยมาก

2. ความหนาแน่นของเหล็กหล่ออาจจะมีค่า 7260 kg/m^3 และสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนอาจจะมีค่าเท่ากับ 7800 kg/m^3

3. มวลของขอบล้อหมุนกำลังสามารถหาได้จาก

M = ปริมาตร x ความหนาแน่น (2.11)

จากสมการที่แสดงข้างต้น พวกเราสามารถหาค่าของพื้นที่ตัดขวางของขอบตัดขวางที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ได้จาก

A = b x t (2.12)

โดยที่

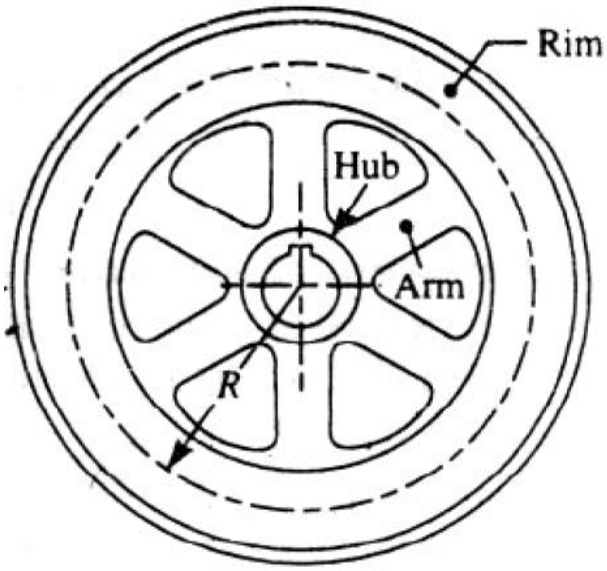
A = ค่าของพื้นที่ตัดขวางของขอบตัดขวางที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก

b = ความกว้างของขอบ

t = ความหนาของขอบ

เมื่อทราบว่าโดยทั่วไปแล้ว อัตราส่วนระหว่าง b/t จะมีค่าเท่ากับ 2 พวกเราจะสามารถหาความกว้างและความหนาของขอบได้

4. เมื่อล้อหมุนกำลังถูกใช้เป็นมู่เล่ย์ (Pulley) จะทำให้ความกว้างของขอบควรจะมีค่าประมาณ 20 – 40 mm โดยมากกว่าความกว้างของสายพาน



ภาพที่ 2.6 ล้อหมุนกำลัง

3. ความเค้นในแขนของล้อหมุนกำลัง

ความเค้นดังต่อไปนี้เกิดขึ้นในแขนของล้อหมุนกำลัง

1. ความเค้นแรงดึงเนื่องจากแรงเหวี่ยงออกจากจุดศูนย์กลางบนขอบ
2. ความเค้นดัดเนื่องจากการส่งถ่ายแรงบิดจากขอบไปยังเพลาหรือจากเพลาไปยังขอบ
3. ความเค้นหดตัวเนื่องจากอัตราที่ไม่เท่ากันของความเย็นในการหล่อความเค้นดังกล่าวนี้ยากที่จะวัด

ในที่นี้จะทำการอธิบายความเค้นสองกรณีแรก ดังนี้

1. ความเค้นแรงดึงเนื่องจากแรงเหวี่ยงออกจากจุดศูนย์กลาง เนื่องจากแรงเหวี่ยงออกจากจุดศูนย์กลางที่กระทำบนขอบแขนจะอยู่ภายใต้ความเค้นตรง ซึ่งมีขนาดเท่ากับรายงานการตีพิมพ์ก่อนหน้านี้ดังนั้น ความเค้นแรงดึงในแขนมีค่า

$$\sigma_{rf} = \frac{3}{4}\sigma_f = \frac{3}{4}\rho \; x \; v^2 \qquad (2.13)$$

โดยที่

σ = ความเค้นแรงดึง

ρ = ความหนาแน่นของวัตถุ

v = ปริมาตรรวมของวัตถุ

2. ความเค้นดัดเนื่องจากการส่งถ่ายแรงบิด เนื่องจากการส่งถ่ายแรงบิดจากขอบไปยังเพลา หรือจากเพลาไปยังขอบ จะส่งผลทำให้แขนอยู่ภายใต้การดัด เนื่องจากพวกมันต้องการที่จะแบกน้ำหนักแรงบิดทั้งหมด เพื่อที่จะหาโมเมนต์แรงบิดสูงสุดบนแขน สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าคานยื่นยึดไว้ที่ดุมและรับน้ำหนักที่ส่วนปลายของขอบที่อิสระ แสดงดังภาพที่ 2.7

กำหนดให้

F = น้ำหนักที่กระทำต่อรัศมีเฉลี่ยของขอบ

T = แรงบิดส่งถ่ายสูงสุดจากเพลา

R = รัศมีเฉลี่ยของขอบ

r = จำนวนแขน และ

Z = โมดูลัสของหน้าตัดที่ต้านทานการดัด (Section Modulus) สำหรับพื้นที่ตัดขวางของแขน

โดยทราบว่าน้ำหนักที่กระทำต่อรัศมีเฉลี่ยของขอบมีค่า

$$F = \frac{T}{R} \qquad (2.14)$$

โหลดที่กระทำในแต่ละแขน

$$F = \frac{T}{R \cdot n} \qquad (2.15)$$

โมเมนต์การดัดสูงสุดซึ่งอยู่บนแขน ณ ตำแหน่งดุม

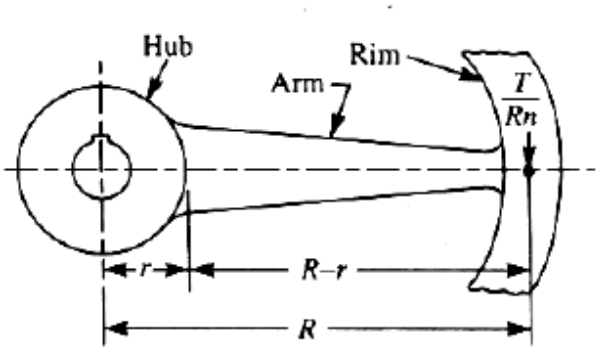
$$F = \frac{T}{R \cdot n}(R - r) \tag{2.16}$$

ดังนั้น ความเค้นดัดในแขน คือ

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z} = \frac{T}{R.n.Z}(R - r) \tag{2.17}$$

ดังนั้น ความเค้นทั้งหมดในแขน ณ ตำแหน่งปลายดุม

$$\sigma_{b1} = \sigma_{t1} + \sigma_{b1} \tag{2.18}$$



ภาพที่ 2.7 แขนของล้อหมุนกำลัง

ภาพที่ 2.8 ล้อหมุนกำลังในเครื่องยนต์ที่ทันสมัย

2.2.2 การนำไปประยุกต์ใช้โดยทั่วไปของล้อหมุนกำลัง

1. การจ่ายพลังงานอย่างต่อเนื่องเมื่อแหล่งพลังงานถูกปลดออกไป ตัวอย่าง เช่น Flywheel ถูกนำมาใช้ในเครื่องยนต์ลูกสูบเพราะแหล่งพลังงาน แรงบิดจากเครื่องยนต์ มาเป็นระยะๆ
2. การส่งมอบพลังงานในอัตราที่เกินความสามารถของแหล่งพลังงานต่อเนื่อง นี่สามารถทำสำเร็จได้โดยการจัดเก็บพลังงานในล้อหมุนกำลังตลอดเวลาแล้วปล่อยพลังงานนั้นอย่างรวดเร็ว ในอัตราที่เกินความสามารถของแหล่งพลังงานนั้น
3. การควบคุมทิศทางของระบบกลไก ในการใช้งานดังกล่าว โมเมนตัมเชิงมุมของล้อหมุนกำลังจะถูกโอนไปยังโหลดเมื่อพลังงานถูกโอนไปยังหรือจากล้อหมุนกำลัง

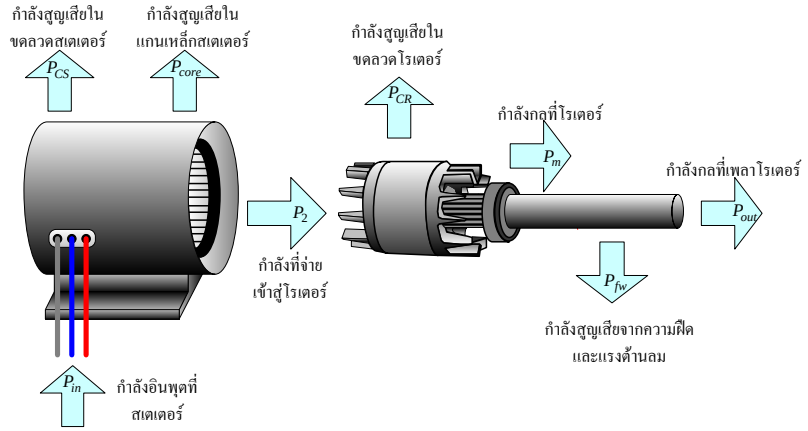
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้า [3]

มอเตอร์ไฟฟ้า คือ เครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการใช้งานในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย เครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยสเตเตอร์และโรเตอร์ซึ่งต่างมีขดลวดอาร์เมเจอร์ที่เป็นอิสระต่อกัน และทำงานด้วยการถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในสภาวะที่มีเครื่องหมุนด้วย

ความเร็วคงที่ ความเร็วนี้จะไม่เท่ากับความเร็วซิงโครนัส ขดลวดที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่งเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ

2.3.1 กำลังในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอินพุตจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สเตเตอร์ไปยังเพลาของมอเตอร์นั้นเป็นไปตามลำดับการไหลของพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

กำลังไฟฟ้าอินพุต (P_{in}) ที่ขดลวดสเตเตอร์ได้รับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส จะเกิดการสูญเสีย 2 ส่วน คือ กำลังสูญเสียของขดลวดสเตเตอร์ ($P_{CS} = I^2 R_1$) และการสูญเสียในแกนเหล็กของสเตเตอร์ (P_{core}) กำลังที่เหลือออกมาจะส่งผ่านช่องว่างอากาศมายังโรเตอร์ (P_2) และพลังงานที่ส่งผ่านไปยังโรเตอร์จะเกิดการสูญเสียจากขดลวดโรเตอร์ ($P_{CR} = I^2 R_2$) ดังนั้นกำลังกลที่ออกจากโรเตอร์ (P_m) เป็นผลต่างของ $P_2 - P_{CR}$ และกำลังกลนี้จะเอาชนะการสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านลม (P_{fw}) สุดท้ายจะได้กำลังกลออกมาที่เพลาของโรเตอร์ (P_{out}) ที่สามารถส่งให้กับโหลดของมอเตอร์ได้ จากผังการส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพและแรงบิดของมอเตอร์ได้

2.3.2 ความถี่ในตัวโรเตอร์

ในขณะที่โรเตอร์ยังไม่หมุนหรือหยุดอยู่กับที่ มอเตอร์มีค่าสลิปเป็น 1 เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์จะมีค่าเท่ากับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า แต่เมื่อโรเตอร์เริ่มเดินความถี่ของโรเตอร์จะขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์ (Relative Speed) หรือความเร็วสลิป ถ้ากำหนดให้ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์ที่ค่าสลิปใดๆ เป็น f_r จะได้สมการดังนี้

กำหนดให้

N_S = ความเร็วซิงโครนัส มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

N_r = ความเร็วของโรเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

f = ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ มีหน่วยเป็น ขั้ว

S = ค่าสลิป

จากสมการ

$$N_S = \frac{120f}{P} \tag{2.19}$$

$$f = \frac{N_S P}{120} \tag{2.20}$$

ดังนั้น $$f_r = \frac{(N_S - N_r)P}{120} \tag{2.21}$$

นำสมการที่ (2.21) หารด้วยสมการที่ (2.20) จะได้

$$\frac{f_r}{f} = \frac{\frac{(N_S - N_r)P}{120}}{\frac{N_S P}{120}} = \frac{N_S - N_r}{N_S} = S$$

ดังนั้น $$f_r = S\,f \tag{2.22}$$

2.3.3 การเลือกขนาดมอเตอร์และการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน

ในการทำงานของมอเตอร์นั้น จะมีการแบ่งลักษณะรอบทำงาน (Duty Cycle) ออกเป็น 3 ลักษณะ

1. ใช้งานต่อเนื่อง เป็นการนำมอเตอร์มาใช้งานตามโหลดที่ต้องการ โดยปกติแล้วจะมีโหลดค่อนข้างคงที่ในเวลาที่ต่อเนื่อง ดังนั้น ขนาดของมอเตอร์ในกรณีนี้จะต้องเลือกขนานแรงม้าตามโหลดที่ต่อเนื่อง
2. ใช้งานเป็นช่วงๆ เป็นการนำมอเตอร์มาใช้งานในเวลาที่เป็นช่วงหรือคาบ เช่น อาจจะมีโหลดและอาจจะไม่มีโหลดในบางช่วงหรืออาจจะต่อกับโหลดและมีการหยุดเดินเครื่องเป็นช่วงๆ หรืออาจจะมีโหลดและไม่มีโหลดและมีการเดินหยุดเดินเครื่องเป็นช่วงๆ เป็นต้น ดังนั้นขนาดของมอเตอร์ในกรณีนี้จะต้องเลือกขนาดแรงม้าให้เหมาะกับภาวะที่มีโหลดสูงสุด
3. ใช้งานไม่แน่นอน เป็นการนำมอเตอร์มาใช้งานตามโหลดในเวลาที่ไม่แน่นอน ดังนั้น ขนาดของมอเตอร์ในกรณีนี้จะต้องเลือกขนาดแรงม้าที่สูงสุด (Peak) ที่ต้องการใช้และคำนวณเป็นค่าประสิทธิผล (RMS) เพื่อไม่ให้มอเตอร์เกิดความร้อนขึ้น

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ [4]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) คือ เครื่องกลที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการทำงานว่า เมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวดหรือขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กก็จะได้ไฟฟ้าออกมา เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วน คือ ส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก เรียกกว่า ฟิลด์ และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่าอาเมเจอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แตกต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีวงแหวนลื่น (Slip Ring) มีลักษณะเป็นวงแหวน 2 วง เมื่อขดลวดหมุนตัวจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าวิ่งกลับไปกลับมาในวงจร จึงเรียกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ

2.4.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternators) ทำหน้าที่ผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้พลังงานกลจากต้นกำลัง (Prime Mover) มาหมุนขับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยหลักการตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็ก หรือสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กหมุนตัดตัวนำในอาร์เมเจอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแตกต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนหมุนและขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นอาจให้ขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่หรือหมุนก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังเอาต์พุต

1. ความเร็วรอบและความถี่

ถ้าขดลวดหมุนตัดสนามแม่เหล็ก 1 คู่ขั้วแม่เหล็ก ได้ 1 รอบ จะทำให้เกิดรูปคลื่นไซน์ 1 ไซเกิล เป็นมุม 360 องศาไฟฟ้า หรือ 2π เรเดียน นั่นคือ

องศาไฟฟ้า = องศาทางกล $\times$ จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก

$$\theta_e = \theta_m \frac{P}{2} \tag{2.23}$$

โดยที่

θ_e = องศาไฟฟ้าของรูปคลื่นไซน์

θ_m = องศาทางกลที่ขดลวดตัวนำหมุนตัดขั้วแม่เหล็กครบ 1 รอบ

$\frac{P}{2}$ = จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก

ถ้ากำหนดให้ความเร็วรอบการหมุน n คงที่

จำนวนรูปคลื่นไซน์ $\propto \frac{P}{2}$

ความถี่ (f) $\propto \frac{P}{2}$ (2.24)

ถ้ากำหนดให้จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก $\frac{P}{2}$ คงที่

$$f \propto n \tag{2.25}$$

จากสมการที่ (2.24) และ (2.25) จะได้

$$f = n\frac{P}{2} \tag{2.26}$$

โดยที่

f = ความถี่ มีหน่วยเป็น ไซเกิล/วินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น ขั้ว

n = ความเร็วรอบการหมุนตัด มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (rps)

N = ความเร็วรอบการหมุนตัด มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

จากสมการ (2.26) เมื่อ N มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที จะได้

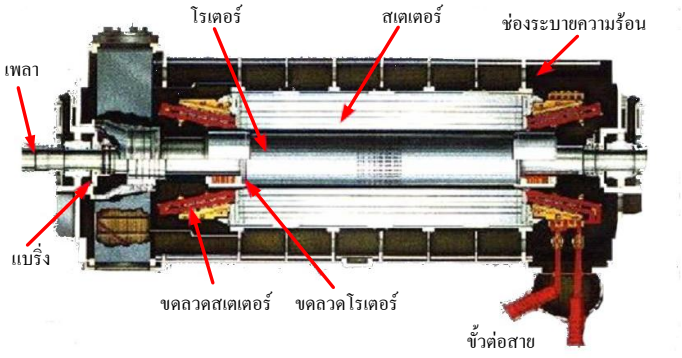
$$N = \frac{120f}{P}$$

$$f = \frac{NP}{120} \tag{2.27}$$

N ในที่นี้ คือ ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุน (Synchronous Speed) เป็นความเร็วรอบของต้นกำลังที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้หมุน เพื่อผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ได้ความถี่ตามต้องการ

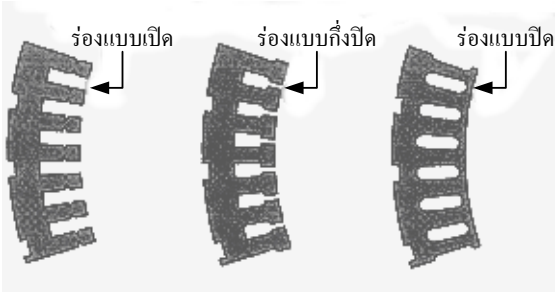
2.4.2 ส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่

1. โครงสเตเตอร์ (Stator Frame) เป็นเปลือกหุ้มภายนอกทำด้วยเหล็กหล่อ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่รองรับส่วนประกอบอื่นๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กที่ใช้บรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ ออกแบบให้มีช่องลมเพื่อช่วยในการระบายความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

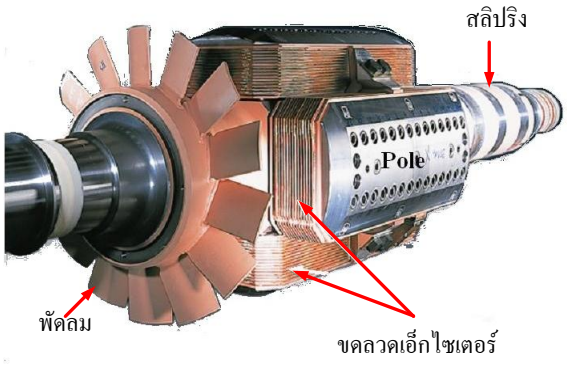
แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) เป็นส่วนที่ใช้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ วางอัดซ้อนกัน เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน และเป็นเหล็กอ่อนมีส่วนผสมของสารซิลิกอน เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอริซิสในแกนเหล็ก แผ่นเหล็กแต่ละแผ่นจะปั๊มเป็นร่อง (Slot) และเคลือบด้วยฉนวน แกนเหล็กสเตเตอร์จะมีร่องอากาศเพื่อช่วยระบายความร้อน ลักษณะร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ ร่องแบบเปิดกว้าง (Wide – Open Type Slot) ร่องแบบกึ่งปิด (Semi – Closed Type Slot) และร่องแบบปิด (Wholly Closed Type Slot) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แกนเหล็กและร่องสำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์

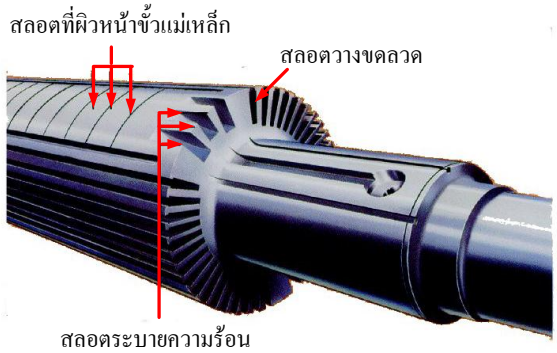
2. โรเตอร์ (Rotor) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

- โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient – Pole Type) นิยมนำมาใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบต่ำและความเร็วปานกลาง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กับโรงจักรไฟฟ้ากังหันน้ำของเขื่อนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.12



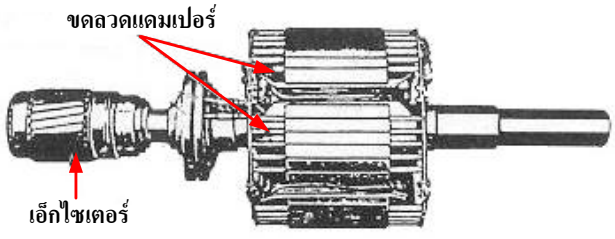
ภาพที่ 2.12 โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กยื่น

- โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กเรียบ (Smooth–Cylindrical Type) ส่วนมากจะนำไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขับด้วยเครื่องกังหันไอน้ำ (Turbine) และเครื่องกังหันแก๊สที่มีความเร็วรอบสูงประมาณ 1500 รอบต่อนาที และ 3000 รอบต่อนาที ลักษณะของโรเตอร์เป็นแท่งเหล็กแผ่น อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอกยาว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าโรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กยื่น โรเตอร์ชนิดนี้ทำให้เกิดการสมดุลดีกว่าชนิดขั้วแม่เหล็กยื่น ลดการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานของลมและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขณะที่ตัวหมุนถูกขับด้วยความเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 2.13



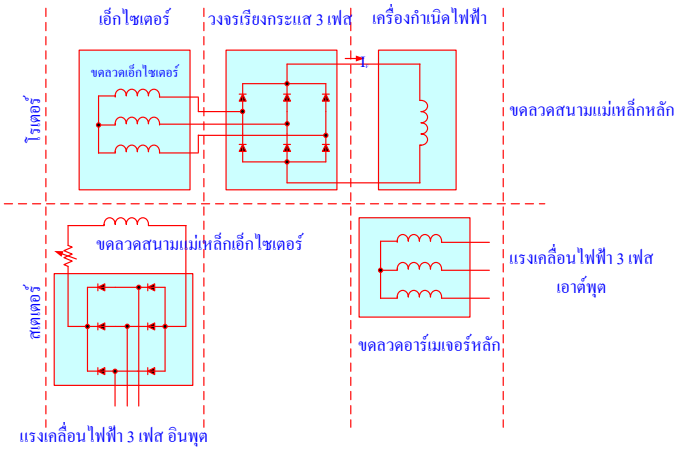
ภาพที่ 2.13 โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กเรียบ

3. ขดลวดแดมเปอร์ (Damper Winding) มีลักษณะเป็นแท่งทองแดงฝังอยู่ที่บริเวณผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กหมุน ถูกต่อลัดวงจรเข้าด้วยวงแหวนทองแดงทั้ง 2 ด้านของโรเตอร์ ขดลวดแดมเปอร์นี้จะช่วยป้องกันการสั่นหรือการแกว่งเมื่อความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นๆ ลงๆ ไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 2.14

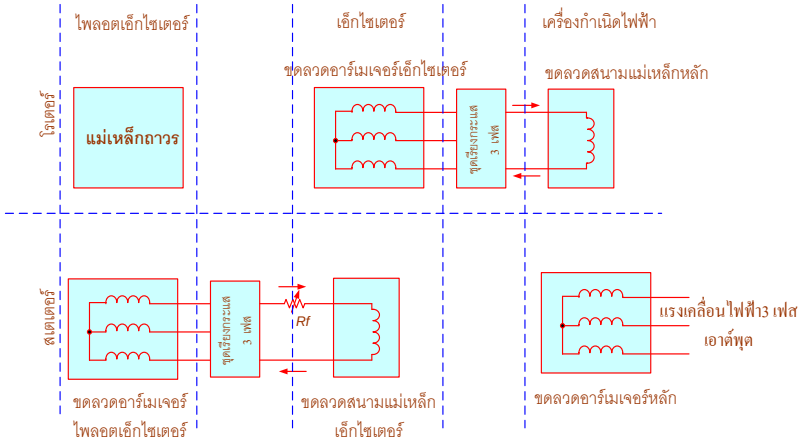


ภาพที่ 2.14 ขดลวดแดมเปอร์

4. ตัวสร้างสนามแม่เหล็ก (Exciter) ทำหน้าที่ผลิตและจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่เพลาเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่ มักจะใช้ Exciter แบบไร้แปรงถ่าน ทำให้การบำรุงรักษาน้อยกว่าแบบที่ใช้สลิปริงและแปรงถ่านระบบการกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่สมบูรณ์ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกมากระตุ้น แต่จะใช้ไพลอตตัวสร้างสนามแม่เหล็กติดตั้งไว้ที่เพลาของโรเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาดเล็กที่มีขั้วแม่เหล็กหมุนเป็นแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ดังแสดงในภาพที่ 2.15



(ก.)



(ข.)

ภาพที่ 2.15 ตัวสร้างสนามแม่เหล็ก (Exciter)

(ก.) Exciter แบบไร้แปรงถ่าน

(ข.) Exciter แบบไร้แปรงถ่านและมีไพลอต

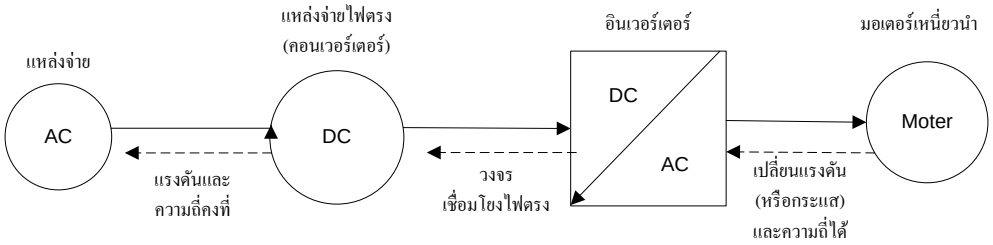
2.4.3 การพิจารณาเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้งาน

1. มาตรฐานการผลิต ควรเป็นเครื่องกำเนิดที่ได้รับการรับรองและผลิตตามมาตรฐานสากล
2. ความเร็วรอบของการหมุนจะขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์ และความถี่ของแรงดันไฟฟ้า (ประเทศไทย 50 Hz) เครื่องกำเนิด 2 ขั้ว ความเร็วรอบจะเป็น 3,000 รอบต่อนาที และเครื่องกำเนิด 4 ขั้ว ความเร็วรอบจะเป็น 1,500 รอบต่อนาที
3. ประเภทของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการหมุนขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้น้ำมันดีเซลหรือก๊าซธรรมชาติ การต่อเพลาระหว่างตัวเครื่องยนต์กับเครื่องกำเนิดใช้ตลับลูกปืนคู่ หรือตลับลูกปืนเดี่ยว
4. เป็นเครื่องกำเนิดที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง หรือจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง หรือเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก
5. ชนิดของโรเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น หรือขั้วแม่เหล็กเรียบทรงกระบอก
6. การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Auto Voltage Regulation) ต้องเป็นตามมาตรฐานสากลที่กำหนด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจากสภาวะที่ไม่มีโหลดถึงสภาวะที่มีโหลดเต็มพิกัดมีเปอร์เซ็นต์ต่ำ การเปลี่ยนแปลงของโหลดเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะต้องรักษาให้แรงดันไฟฟ้าคงที่เสมอ
7. ความสามารถทำงานเกินพิกัดชั่วครู่ โดยสามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ 1.5 เท่า โดยรักษาแรงดันไฟฟ้าให้ใกล้เคียงกับค่ากำหนดมากที่สุด
8. มีการทดสอบฉนวนขดลวดด้วยไฟฟ้าแรงสูง
9. ความคงทนต่อความเร็วรอบเกินพิกัด ค่ากระแสลัดวงจร และกระแสไฟฟ้าไม่สมดุลทั้ง 3 เฟส ต้องเป็นตามมาตรฐานที่กำหนด
10. มีประสิทธิภาพสูง ปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 88-93% ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตเครื่องกำเนิดนั้น

2.5 อินเวอร์เตอร์ [5]

เมื่อกล่าวถึง อินเวอร์เตอร์ จะเป็นการหมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแส ไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับค่าแรงดันหรือกระแสและความถี่ได้ ปัจจุบันอินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆด้วยกันกล่าว คือ

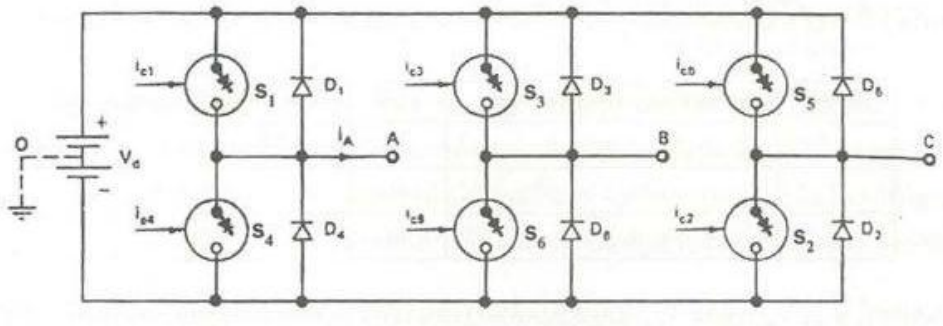
1. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter)
2. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter)



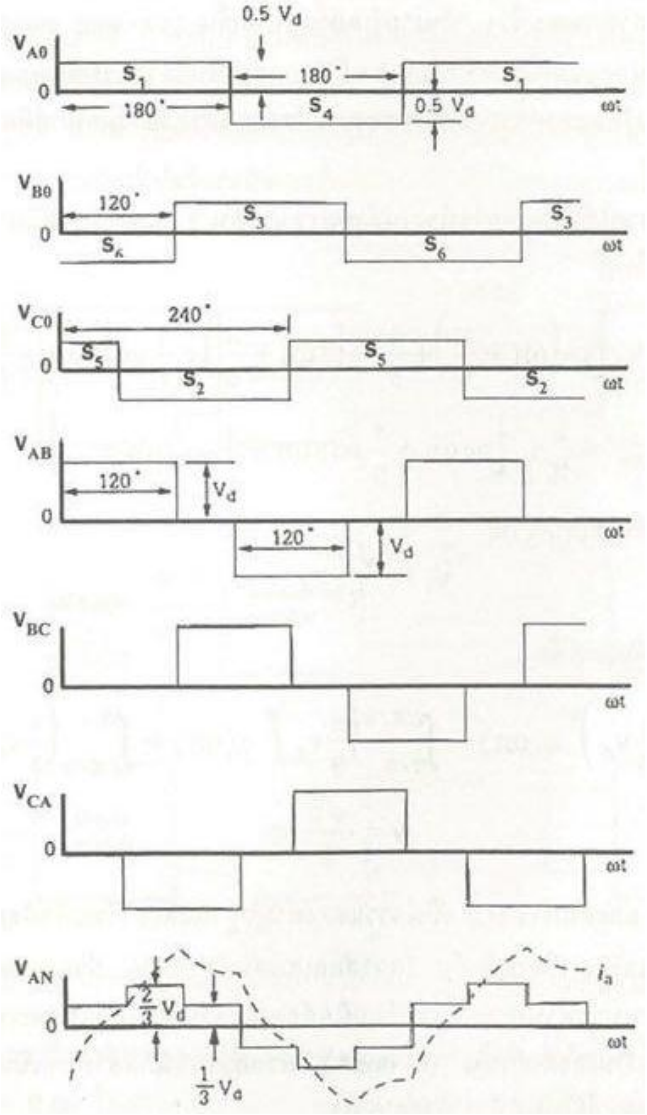
ภาพที่ 2.16 หลักการทั่วไปของอินเวอร์เตอร์

2.5.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

1. อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบนี้ จะแสดงด้วยภาพที่ 2.17 (ก.) โดยมันจะประกอบไปด้วยสวิตซ์กึ่งตัวนำชนิดหยุดการทำงานด้วยตัวเอง 6 ตัวคือ S_1 ถึง S_6 ซึ่งสวิตซ์ดังกล่าวนี้อาจใช้เป็น ทรานซิสเตอร์กำลัง GTO MOSFET หรือไธริสเตอร์ที่มีวงจรบังคับการหยุดนำกระแส สำหรับไดโอด D_1 ถึง D_6 ใช้เป็นชนิดฟื้นคืนตัวเร็ว (Fast Recovery Diode) วงจรสนับเบอร์ซึ่งไม่ได้แสดงในที่นี้จะถูกนำมาใช้ร่วมกับแต่ละคู่ของสวิตซ์และไดโอดและสำหรับมอเตอร์จะถูกนำมาต่อเข้าที่ขั้ว A, B และC ซึ่งการต่ออาจเป็นแบบสตาร์หรือเดลต้าก็ได้ สัญญาณควบคุมสำหรับสวิตช์ทั้ง 6 ตัวของอินเวอเตอร์ในรูปที่ คือ i_{c1} ถึง i_{c6} ซึ่งแต่ละสัญญาณควบคุมจะมีช่วงคาบเวลาเป็น π เรเดียน (180°) สัญญาณควบคุมดังกล่าวจะถูกจ่ายเข้าไปยังสวิตซ์ในลำดับที่แตกต่างกันด้วยเฟส $\pi/3$ เรเดียน (60°) ทำให้มอเตอร์ได้รับแรงดัน V_{AO}, V_{BO} และ V_{CO} เมื่อเทียบกับจุดศูนย์ (0) ที่แหล่งจ่ายดังแสดงในภาพที่ 2.17 (ข.)



(ก.)



(ข.)

ภาพที่ 2.17 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันสามเฟส

(ก.) การต่อชอปเปอร์เข้าระหว่างแหล่งจ่ายและอินเวอร์เตอร์

(ข.) คอนเวอร์เตอร์หรือวงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าได้เพื่อให้ได้รับแรงดันไฟตรงที่ปรับค่า

จากภาพที่ 2.17 (ข.) รูปคลื่นแรงดัน V_{AO}, V_{BO} และ V_{CO} แสดงให้เห็นช่วงเวลาการนำกระแสไม่นำกระแสของสวิตช์แต่ละตัว ซึ่งจริงๆ จะมาสัญญาณที่ใช้ในการควบ i_c นั่นเอง โดยสามารถแสดงได้ด้วยตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 การรับสัญญาณของสวิตซ์แต่ละช่วง

ช่วงที่	สวิตซ์ที่ได้รับสัญญาณควบคุม	ช่วงที่	สวิตซ์ที่ได้รับสัญญาณควบคุม
1	1,5,6	4	2,3,4
2	1,2,6	5	5,4,3
3	1,2,3	6	5,4,6

ในขณะที่ V_{AB}, V_{BC} และ V_{CA} แสดงรูปคลื่นแรงดันระหว่างเฟสกับเฟสซึ่งต่างกัน 120° ส่วน V_{AN} เป็นรูปคลื่นแรงดันที่เทียบระหว่างเฟสกับนิวตรอน เนื่องจากแรงดันเฟส V_{AN} มีลักษณะเป็นหกชั้นในหนึ่งรูปคลื่นจึงเรียกอินเวอร์เตอร์ลักษณะนี้ว่า อินเวอร์เตอร์แบบหกชั้น (Six-Step Inverter) ส่วนกระแส i_a ซึ่งแสดงไว้ด้วยเส้นประเป็นกระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์ จากรูปเห็นได้ว่าจะมีลักษณะผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นซายน์ ส่งผลให้เกิดความร้อนและการกระเพื่อมของแรงบิดจากผลของฮาร์มอนิกส์ติดตามมา

ในการพิจารณาภายใต้เงื่อนไขการทำงานดังกล่าว แรงดัน V_{AB} และ V_{AN} สามารถอธิบายและแสดงด้วยอนุกรมฟูเรียร์ ดังต่อไปนี้

$$V_{AB} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} Vd[\sin(\omega t+\pi/6)+1/5\sin(5\omega t+\pi/6)+ 1/7\sin(7\omega t+\pi/6)+\ldots] \quad (2.28)$$

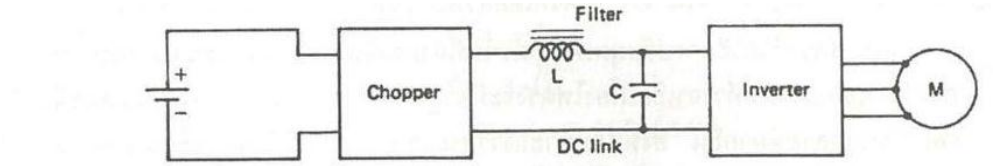
$$V_{AN} = 2/\pi Vd\ [\sin\omega t+1/5\sin\omega t+1/7\sin 7\ \omega t+\ldots.] \quad (2.29)$$

ค่า rms ของแรงดันเฟสมูลฐาน

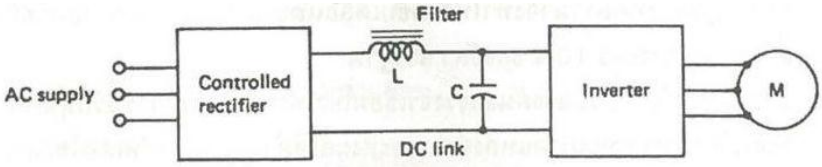
$$V_1 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_d \quad (2.30)$$

จากสมการ (2.28) และสมการ (2.29) เป็นการแสดงค่ามูลฐานและฮาร์มอนิกส์ของแรงดันเฟสสำหรับการต่อสเตเตอร์แบบเดลต้าและแบบสตาร์ตามลำดับ (การต่อแบบเดลต้า $V_L=V_p$ ส่วนการต่อแบบสตาร์ $V_L=\sqrt{3}v_p$) จากสมการทั้งสองเราจะพบว่าส่วนประกอบฮาร์มอนิกของแรงดันสาย

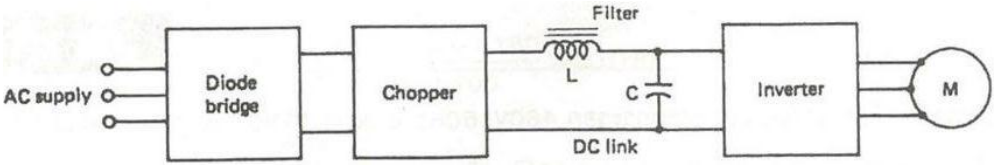
และเฟสจะเหมือนกัน กล่าวคือจะมีเพียงฮาร์มอนิกลำดับที่เป็นเลขคี่เท่านั้น (k=6n±1) ส่วนฮาร์มอนิกส์ลำดับที่เป็นเลขคู่และลำดับที่เป็นตัวเลขคูณ 3 จะไม่มีการปรับอัตราเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องปรับความถี่และแรงดันไปพร้อมกัน สำหรับการปรับความถี่แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้สามารถทำได้โดยการปรับคาบเวลา (T) ในหนึ่งการทำงาน เนื่องจาก f=1/T ซึ่งการปรับคาบเวลาดังกล่าวกระทำได้ด้วยการปรับช่วงหรือคาบของสัญญาณควบคุม i_{c1} ถึง I_{c6} นั่นเอง แต่ทั้งนี้จะสอดคล้องกับค่าแรงดันมูลฐานของอินเวอร์เตอร์ที่ถูกสั่งให้คงค่าไว้ ค่าแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้โดยทั่วไปสามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้สองวิธีด้วยกันกล่าวคือ การควบคุมแรงดันไฟตรงอินพุต หรือควบคุมแรงดันไฟสลับเอาต์พุตโดยการใช้อินเวอร์เตอร์คู่ ส่วนประกอบมูลฐานของแรงดันของแรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการควบคุมแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์ V_d เมื่ออินเวอร์เตอร์ถูกป้อนจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง อย่างในกรณีของยวดยานไฟฟ้าที่ทำงานด้วยแบตเตอรี่ การขับเคลื่อนที่ใช้กำลังจากโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ ฯลฯ แรงดันไฟตรงอินพุตของอินเวอรเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ด้วยการต่อชอปเปอร์เข้าระหว่างแหล่งจ่ายและอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.18 (ก.) เนื่องจากชอปเปอร์มีทั้งชนิดสับไฟลงและสับไฟขึ้น ขึ้นอยู่กับการใช้งานส่วนตัวกรอง L-C ที่อยู่ระหว่างชอปเปอร์และอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ลดการกระเพื่อมและฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟตรงที่เป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์



(ก.)



(ข.)



(ค.)

ภาพที่ 2.18 การขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ควบคุมแรงดันหกขั้น (Six-Step Inverter)

(ก.) วงการการต่อชอปเปอร์เข้าระหว่างแหล่งจ่ายและอินเวอร์เตอร์

(ข.) วงจรแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์สามารถปรับเปลี่ยน โดยใช้คอนเวอร์เตอร์หรือวงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าได้

(ค.) วงจรแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์สามารถปรับเปลี่ยน โดยใช้ไดโอดบริดจ์ตามด้วยชอปเปอร์

เมื่อแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสสลับ แรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยใช้ วงจรในภาพที่ 2.18 (ข.) และ 2.18 (ค.) ในส่วนของภาพที่ 2.18 (ข.) จะใช้คอนเวอร์เตอร์หรือวงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าได้เพื่อให้ได้รับแรงดันไฟตรงที่ปรับค่าได้ จุดอ่อนของวงจรนี้ก็คือแรงดันเอาต์พุตมีฮาร์มอนิกส์ความถี่ต่ำขนาดสูง และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำที่แรงดันเอาต์พุตต่ำ ส่วนตัวกรองจะมีหน้าที่เช่นเดียวกับที่กล่าวมาในตอนต้น แต่ตัวกรอง C จะมีขนาดใหญ่กว่าวงจร ตัวกรอง C ที่มีขนาดใหญ่จะทำให้การตอบสนองชั่วขณะของการขับเคลื่อนช้าลง จุดอ่อนของวงจรในภาพที่ 2.18 (ข.) สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้วงจรในภาพที่ 2.18 (ค.) โดยการใช้ไดโอดบริดจ์

ตามด้วยชอปเปอร์ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐานจะรักษาให้เป็นหนึ่งภายใต้เงื่อนไขทั้งหมดของการทำงานและสามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว ไดโอดบริดจ์สามารถให้การจ่ายไฟตรงสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายตัว (Multiple Inverter) ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามกฎสูญเสียจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนอุปกรณ์

เมื่อสมมุติให้การกรองเป็นอุดมคติ ดังนั้นเราสามารถนำเอาสมการ (2.28) และ (2.29) มาใช้ในการหาค่าใดๆ ของแรงดันเอาท์พุตอินเวอร์เตอร์ได้ อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมยังมีข้อบกพร่องอยู่หลายประการด้วยกันที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งข้อบกพร่องโดยทั่วไปเหล่านั้นประกอบด้วย

กรณีที่ใช้ไธริสเตอร์จะมีปัญหาในการสับเปลี่ยนการนำกระแส (Commutation) ระหว่างไธริสเตอร์ที่ภาคอินเวอร์เตอร์ โดยเฉพาะในขณะที่มีการเดินมอเตอร์ที่อัตราเร็วรอบต่ำ (V/f ต่ำๆ) เนื่องจากเราต้องลดระดับแรงดันในวงจรเชื่อมโยงไฟตรง (dc link, ส่วนที่อยู่ระหว่างภาคจ่ายไฟตรงกับภาคอินเวอร์เตอร์) ลง ซึ่งการลดค่าแรงดันที่ต่ำเกินไปจะส่งผลต่อการบังคับการหยุดนำกระแสของไธริสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวนี้จะไม่เกิดขึ้นหากเปลี่ยนไธริสเตอร์ประเภท SCR มาเป็นทรานซิสเตอร์กำลัง GTO, MOSFET, IGBT เพราะอุปกรณ์เหล่านี้มี คุณสมบัติสามารถหยุดนำกระแสได้ด้วยตัวเอง

เนื่องจากการปรับอัตราส่วน V/f ให้คงที่โดยส่วนใหญ่แล้ว จะกระทำโดยการปรับค่า V_d ที่ภาคแหล่งจ่ายไฟตรงด้วยวิธีการปรับมุมเฟส ดังนั้นที่ค่าแรงดันต่ำๆ หรืออัตราเร็วรอบต่ำ ค่าการกระเพื่อมของแรงดันที่วงจรเชื่อมโยงไฟตรงจะมีค่าสูงส่งผลให้กระแสที่ไหลเข้า มอเตอร์มีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากซายน์มากขึ้น ซึ่งนั่นก็หมายถึงว่ากระแสอาร์มอนิกส์มีค่ามากขึ้นนั่นเอง และผลของฮาร์มอนิกส์นี่เองจะทำให้มอเตอร์ร้อนขึ้นรวมทั้งมีการกระเพื่อมของแรงบิดที่อัตราเร็วรอบต่ำๆ

2. อินเวอร์เตอร์แบบ PWM ดังที่ได้กล่าวไว้ว่าอินเวอร์เตอร์แบบรูปสี่เหลี่ยมโดยเฉพาะอินเวอร์เตอร์แบบหกชั้นนั้น เป็นอินเวอร์เตอร์ที่ยังมีข้อบกพร่องอยู่หลายประการด้วยกันที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขซึ่งหากถ้าจะกล่าวไปแล้วปัญหาที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่จะมาจากการปรับค่าแรงดันของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงที่มีค่าต่ำๆเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวเราจึงจับให้แรงดันวงจรเชื่อมโยงไฟตรงคงที่ โดยอาจใช้เป็นแบตเตอรี่หรือไดโอดมาทำเป็นวงจรบริดจ์

2.5.2 โครงสร้างภายในของ Inverter

1. ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟ AC Power Supply (50 Hz) ให้เป็นไฟตรง (DC Voltage)
2. ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้
3. ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดอินเวอร์เตอร์

2.5.3 Inverter การนำไปใช้ในระบบงานต่างๆ

1. ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ที่เรียกว่า Stand By Power Supply หรือ Uninterruptible Power Supplies (UPS) เพื่อใช้ทดแทนในกรณีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดความขัดข้อง
2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อต้องการให้แรงบิด (Torque) คงที่ทุกๆ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป
3. ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อบริการให้แก่ผู้ใช้
4. ใช้ในระบบเตาถลุงเหล็กที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน (Induction Heating) ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการทำงาน