

1-2 เทคโนโลยีสำหรับการจัดการพลังงานไฟฟ้า

1-2.1 ระบบรับและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

(1) อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

- อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีหลักการทำงานอย่างไร ?
- อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีส่วนประกอบอะไรบ้าง ?
- การประเมินศักยภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีขั้นตอนอย่างไร ?

(2) อุปกรณ์ควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง

- ค่าตัวประกอบกำลังคืออะไร ?
- ระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติมีหลักการทำงานอย่างไร ?
- ระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติประกอบด้วยอะไรบ้าง ?
- ข้อควรพิจารณาในการติดตั้งและใช้งานตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังมีอะไรบ้าง ?

1-2.2 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบและอินเวอร์เตอร์

(1) เทคนิคการปรับความเร็วรอบ

(2) อินเวอร์เตอร์

- อินเวอร์เตอร์มีโครงสร้างและหลักการทำงานอย่างไร ?
- อินเวอร์เตอร์มีกี่ประเภท ?
- การเลือกอินเวอร์เตอร์อย่างเหมาะสมควรพิจารณาอะไรบ้าง ?
- ข้อควรพิจารณาในการใช้งานอินเวอร์เตอร์มีอะไรบ้าง ?

1-2.1 ระบบรับและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

(1) อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand Controller)

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand) เป็นตัวกำหนดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของค่าไฟฟ้า ในบางโรงงานโดยเฉพาะโรงงานที่มีการเดินเครื่องจักรเฉพาะในเวลากลางวัน อาจพบว่ามีค่าไฟฟ้าทั้งหมดเป็นส่วนที่คิดจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งมีราคาสูง ดังนั้น หากควบคุมการใช้กำลังไฟฟ้าให้เหมาะสม ก็จะช่วยให้โรงงานลดค่าไฟฟ้าให้ต่ำลงได้ หรือเสียค่าไฟฟ้าเท่าเดิมแต่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น

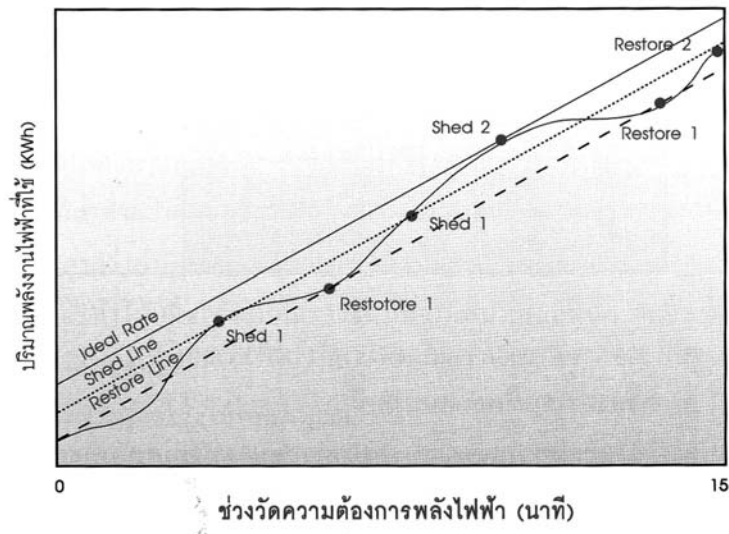
○ อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีหลักการทำงานอย่างไร ?

หลักการของอุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ การควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที ของทุกช่วงเวลา ไม่ให้สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

1) อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบเปรียบเทียบ

หลักการทำงานของอุปกรณ์อธิบายได้โดยพิจารณาจากที่ 1-2.1 ประกอบ เส้นกราฟในรูปจะแสดงถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขณะ เมื่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงจนถึง Shed line อุปกรณ์ควบคุมจะสั่งปลดโหลดที่สำคัญ (โหลดชุดที่ 1) ออกจากระบบ หากการใช้ไฟฟาลดลงจนปริมาณการใช้ไฟฟ้าตัดกับ Restore line อุปกรณ์ควบคุมจะสั่งต่อโหลดที่ถูกปลดออกไปกลับเข้าระบบใหม่อีกครั้งก่อนที่จะครบเวลา 15 นาทีของการคำนวณค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด อย่างไรก็ตามหากโหลดสูงขึ้นจนไปตัด Shed line อีก เครื่องก็จะสั่งปลดโหลดอีกครั้ง และถ้าโหลดยังสูงขึ้นไปอีกจนตัดเส้น Ideal rate อุปกรณ์ควบคุมก็จะสั่งปลดโหลดที่มีความสำคัญในลำดับถัดไป (โหลดชุดที่ 2) ออกจากระบบเพื่อควบคุมการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่กำหนด หลังจากนั้น ถ้าโหลดลดลงจนตัด Shed line เครื่องจะยังไม่

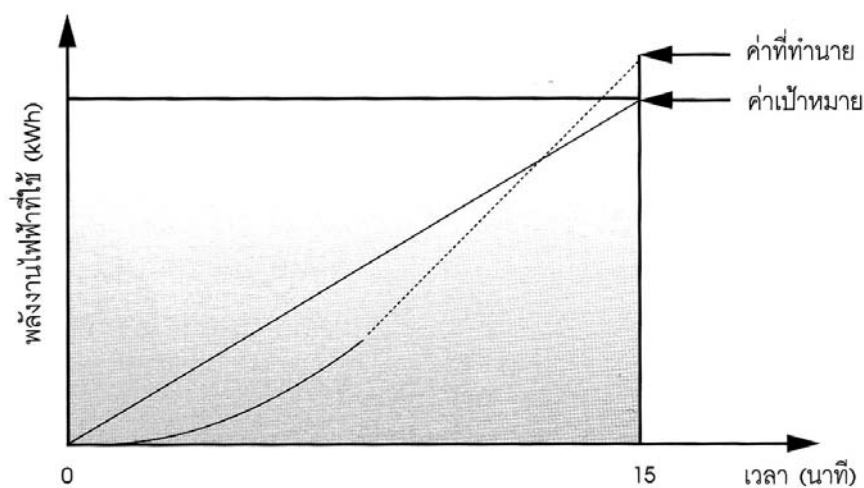
สั่งต่อโหลดชุดที่ 2 เข้าระบบจนกว่าจะหมดช่วงเวลาการวัดความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงนั้น แต่ถ้าโหลดลดลงจนตัด Restore line อุปกรณ์ควบคุมจะสั่งต่อโหลดชุดที่ 1 กลับเข้าระบบ



รูปที่ 1-2.1 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแบบเปรียบเทียบ [1]

2) อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบทำนาย

อุปกรณ์จะทำงานบนพื้นฐานของการทำนายเหตุการณ์ล่วงหน้ามากกว่าการทำงานแบบเปรียบเทียบ ในช่วงเริ่มต้นของช่วงเวลาที่วัดความต้องการพลังไฟฟ้า โหลดทั้งหมดจะถูกประเมินและคำนวณเพื่อดูว่าถ้าอัตราการใช้อยู่ในระดับหนึ่ง เมื่อครบช่วงเวลาที่กำหนดแล้วความต้องการพลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ หากผลการทำนายพบว่าเกินกว่าค่าที่กำหนด เครื่องควบคุมจะสั่งปลดโหลดที่กำหนดไว้ออกจากระบบ แต่ถ้ามีโหลดถูกปลดอยู่ก่อนหน้านี้อะไรทำนายพบว่าโหลดไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ เครื่องควบคุมจะสั่งต่อโหลดกลับเข้าระบบตามเดิม พิจารณารูปที่ 1-2.2 ประกอบ

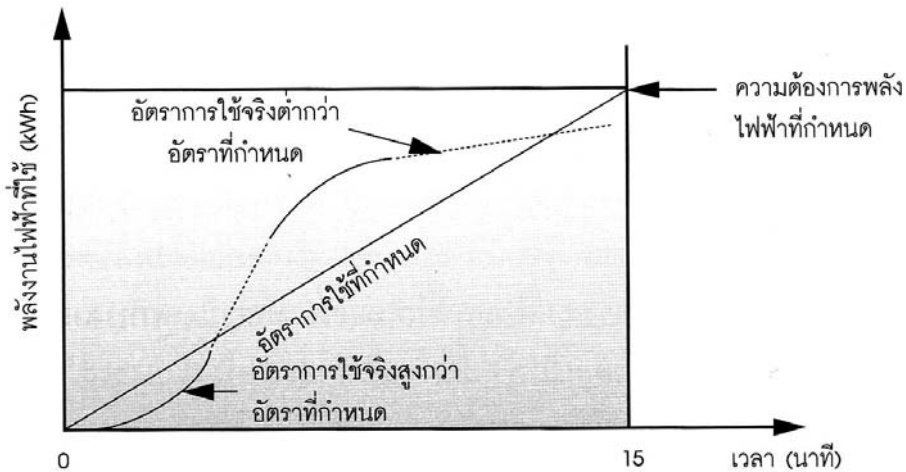


รูปที่ 1-2.2 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแบบทำนาย [1]

3) อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบทันที

การทำงานของเครื่องควบคุมแบบนี้จะใช้อัตราการใช้พลังงาน ณ เวลาใด ๆ ตลอดช่วงการวัดในการทำนายค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ถ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งอัตราการใช้พลังงานจริงมีค่าสูงกว่าค่าอัตราการใช้พลังงานที่กำหนดไว้

แสดงให้เห็นว่า ถ้าปล่อยให้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเรื่อย ๆ เมื่อจบช่วงเวลาการวัดจะเกิดการต้องการพลังไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนด จึงต้องมีการปลดโหลดออกจากระบบ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการใช้พลังงานจริงมีค่าต่ำกว่าอัตราการใช้พลังงานที่กำหนดไว้ แสดงว่าความต้องการพลังไฟฟ้าจะต่ำกว่าค่าที่กำหนด จึงต่อโหลดเพิ่มเข้าไปในระบบได้ การควบคุมในลักษณะนี้เหมาะสมกับกรณีที่โหลดมีความซับซ้อน โดยจะทำให้เส้นโค้งโหลดรายวันมีความสม่ำเสมอ



ดีขึ้น ผลลัพธ์จะให้ค่าโหลดแพคเตอร์สูงขึ้น

รูปที่ 1-2.3 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแบบทันที [1]

○ อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีส่วนประกอบอะไรบ้าง ?

ส่วนประกอบหลักๆ ของอุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้แก่

- 1) อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในโรงงาน หรืออาจรวมทั้งค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ด้วย เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วลม อัตราการไหล ความเร็วรอบมอเตอร์ เป็นต้น
- 2) ระบบการติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยภาพรวม เพื่อเปรียบเทียบสถานะการใช้กำลังไฟฟ้าขณะนั้นเทียบกับภาวะ Baseline หรือภาวะที่ยอมรับได้ ระบบนี้จะทำการตรวจวัดและรายงานผลตลอดเวลาเพื่อให้ผู้ควบคุมได้ทราบถึงสถานการณ์ขณะนั้น รวมถึงสามารถประเมินสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้ล่วงหน้าเพื่อกำหนดมาตรการตอบโต้ได้อย่างทันท่วงที (มักเลือกแสดงผลในรูปของกราฟการใช้กำลังไฟฟ้า) และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง
- 3) ระบบเตือน หรือ สัญญาณเตือนในรูปแบบต่างๆ เมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้าโดยรวม ใกล้ถึงจุดอ้างอิงหรือระดับการควบคุมที่กำหนดไว้ เช่น สัญญาณเสียง สัญญาณไฟสีแดงภาวะควบคุมต่างๆ
- 4) สมอกล หรือ ระบบการตัดสินใจควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ ทำงานโดยอัตโนมัติภายใต้แผนงานที่วางไว้ล่วงหน้า สามารถสั่งให้อุปกรณ์ในระบบเปิด-ปิดการทำงานตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมด หรือสามารถเข้าควบคุมการทำงานย่อยของอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบได้ เช่น การลดจำนวนรอบของมอเตอร์ การควบคุมโดยการหรี่วาล์ว การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ การเปิด-ปิดไฟแสงสว่างในบางบริเวณ เป็นต้น

○ การประเมินศักยภาพการใช้อุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีขั้นตอนอย่างไร ?

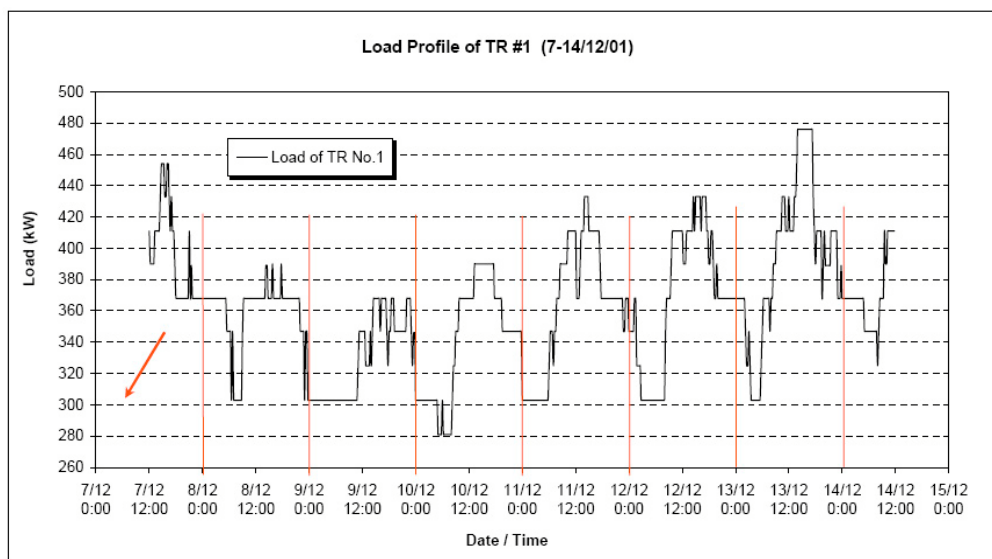
ก่อนที่จะพิจารณาติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ควรประเมินศักยภาพการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของโรงงานเสียก่อน เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำความเข้าใจโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของโรงงานว่าถูกเรียกเก็บค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาใด เพื่อนำมาใช้เป็นกำหนดเวลาที่จะควบคุมค่ากำลังไฟฟ้า รวมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังจากบิลค่าไฟฟ้าเพื่อพิจารณาว่าโรงงานมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงใด มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละเดือน หรือมีค่าแตกต่างกัน

มาก หากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีความแตกต่างกันมากในแต่ละเดือนหรือในช่วงเวลาเดียวกันของปี โดยไม่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ก็แสดงให้เห็นว่าน่าจะมีศักยภาพในการดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor) จาก ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหารด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อให้ทราบว่าในแต่ละเดือนโรงงานมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าแบบใด ถ้าค่าตัวประกอบโหลดสูง (มากกว่า 80 % สำหรับโรงงานที่ทำงาน 24 ชั่วโมง) แสดงว่า มีการใช้ไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ กรณีนี้จะไม่มีความเสี่ยงในการดำเนินการ แต่ถ้ามีการใช้ไฟฟ้าแบบเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (ค่าตัวประกอบโหลดต่ำ) ก็น่าจะมีศักยภาพในการดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโรงงาน โดยการตรวจวัดและเก็บข้อมูลจริงเพื่อให้เห็นรูปแบบการใช้พลังงานของโรงงาน (Load profile) ซึ่งจะนำมาใช้ในการกำหนดเป้าหมายการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ตัวอย่าง Load profile ของโรงงานใน 1 สัปดาห์แสดงในรูปที่ 1-2.4



รูปที่ 1-2.4 รูปแบบการใช้พลังงานใน 1 สัปดาห์ที่ได้จากการตรวจวัดและเก็บข้อมูลจริง

ขั้นตอนที่ 4 ทำความเข้าใจลักษณะการทำงานของเครื่องจักรและระบบการผลิตของโรงงานเพื่อจัดกลุ่มเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน โดยแบ่งโหลดออกเป็น 3 ประเภทตามลำดับความสำคัญจากน้อยไปมาก ดังนี้

- 1) โหลดที่สามารถจัดช่วงเวลาทำงานไปไว้เวลาใดก็ได้ โหลดในกลุ่มนี้จะถูกตัดออกจากระบบเป็นกลุ่มแรกเมื่อต้องการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด
- 2) โหลดที่สามารถตัดออกได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบมากนัก หรืออาจทำให้ความเสถียรของระบบลดลงบ้าง โหลดในกลุ่มนี้จะถูกตัดออกจากระบบเมื่อการตัดโหลดกลุ่มแรกออกไปแล้วยังไม่เพียงพอ
- 3) โหลดที่ต้องทำงานต่อเนื่อง โดยไม่สามารถตัดออกได้เลย โหลดกลุ่มนี้จะไม่นำมาพิจารณาในการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

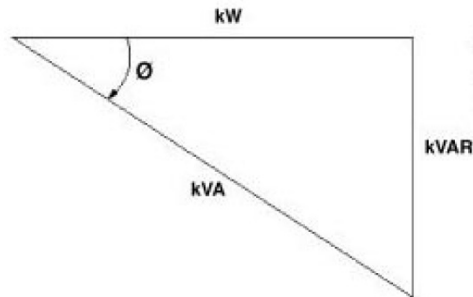
ขั้นตอนที่ 5 กำหนดเป้าหมายของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการควบคุม โดยพิจารณาจากประวัติการใช้ไฟฟ้าร่วมกับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน เมื่อผลการประเมินตามขั้นตอนที่ผ่านมาพบว่ามีศักยภาพในการดำเนินการ

(2) อุปกรณ์ควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Controller)

○ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) คืออะไร?

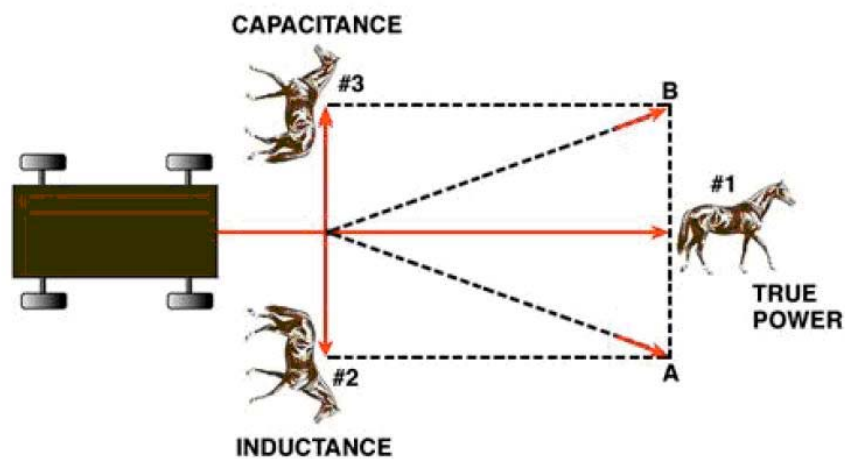
กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ สามารถแยกเป็น 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (Real power) เช่น เปลี่ยนเป็นความร้อน แสงสว่าง หรือขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ กับ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

(Reactive power) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กในอุปกรณ์บางประเภทที่ทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนนี้ให้กับอุปกรณ์ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟจะต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์เรียกว่า กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) โดยอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง (หน่วย kW) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (หน่วย kVA) จะเรียกว่า ค่าตัวประกอบกำลังหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) หรือ $\cos \phi$



รูปที่ 1-2.5 สามเหลี่ยมกำลัง

หากเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากับการลากรถโดยใช้ม้า 3 ตัว ดังรูปที่ 1-2.6 จะพบว่า การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริง เช่น ฮีตเตอร์ไฟฟ้า หรือหลอดไส้ เปรียบเทียบได้กับการลากรถโดยใช้ม้าตัวที่ 1 เพียงตัวเดียว กำลังที่มีม้าตัวที่ 1 จะจะทำให้ได้งานตามที่ต้องการ คือลากรถไปในแนวตรง ส่วนการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เปรียบเทียบได้กับการลากรถโดยใช้ม้าตัวที่ 1 และ 2 ซึ่งกำลังของม้าตัวที่ 2 นี้จะเปรียบได้กับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เนื่องจากไม่ช่วยให้เกิดงานที่ต้องการ ในกรณีนี้รถจะเคลื่อนที่ตามแนวเส้นประไปยังจุด A ซึ่งจะมีระยะทางมากกว่าการลากรถโดยใช้ม้าตัวที่ 1 เพียงตัวเดียว ผลรวมของกำลังของม้าทั้งสองตัวซึ่งทำให้รถเคลื่อนที่ตามแนวเส้นประไปยังจุด A นี้เปรียบได้กับกำลังไฟฟ้าปรากฏ หากต้องการให้รถเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ต้องการ สามารถทำได้โดยใช้ม้าตัวที่ 3 มาช่วยลากรถ โดยม้าตัวที่ 3 นี้ต้องออกแรงเท่ากับม้าตัวที่ 2 ในทิศทางตรงข้าม ม้าตัวที่ 3 ที่นำมาช่วยนี้คืออุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และอัตราส่วนของกำลังของม้าตัวที่ 1 กับกำลังรวมของม้าตัวที่ 1 และตัวที่ 2 คือค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

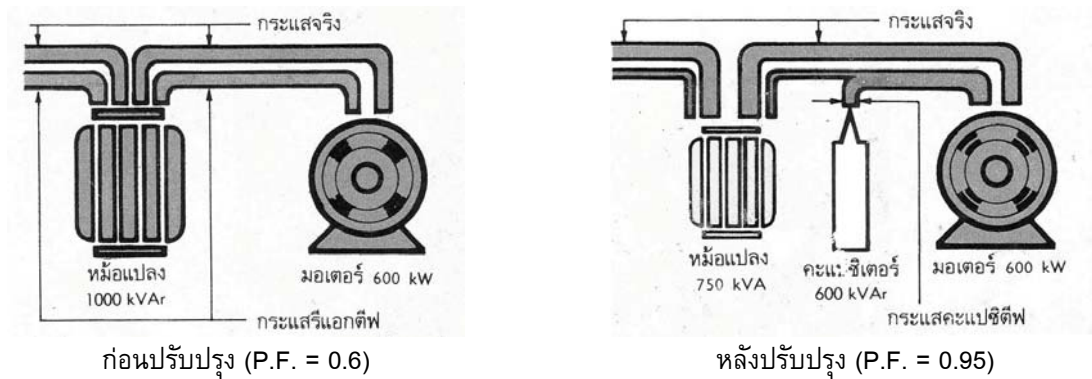


รูปที่ 1-2.6 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้ากับการทำงานของม้าลากรถ

ในระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีอุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้าหลายชนิด ซึ่งมีค่าตัวประกอบกำลังแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ โดยโหลดส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หลอดปล่อยประจุในก๊าซ เต้าเผา เต้าอบแห้งแบบเหนียวน้ำ และเครื่องเชื่อม โหลดเหล่านี้อาจมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำถึง 0.7 หรือต่ำกว่า โหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะใช้กระแสสูงกว่าปกติ ยิ่งตัวประกอบกำลังมีค่า

ต่างจาก 1.0 มากเท่าใด กระแสที่ต้องใช้เพื่อสร้างกำลังงานจริงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ก็ต้องมากขึ้นเท่านั้น กระแสที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลต่อขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างเห็นได้ชัด เช่น ต้องเพิ่มขนาดของสวิตช์เกียร์ ฟิวส์ สายเคเบิล ตลอดจนหม้อแปลง ทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ การไฟฟ้า ยังมีการเรียกเก็บค่าปรับจากผู้ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่าเกณฑ์ที่การไฟฟ้า กำหนดไว้

การใช้ตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้า จะทำให้แหล่งจ่ายไฟจ่ายกำลังไฟฟาร์แอดคทีฟน้อยลงหรือไม่ต้องจ่ายเลย และทำให้กระแสไฟฟ้ามีย่าน้อยลงด้วย (ดูรูปที่ 1-2.7 ประกอบ)



รูปที่ 1-2.7 การใช้ตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง [2]

การติดตั้งตัวเก็บประจุอาจทำได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) ติดตั้งถาวรเข้ากับระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า
- 2) ติดตั้งโดยการควบคุมตัวประกอบกำลังอย่างอัตโนมัติ

การติดตั้งแบบถาวรนั้นเหมาะสำหรับโหลดที่ค่อนข้างคงที่ เช่น ติดตั้งเข้ากับมอเตอร์ขนาดใหญ่ ติดตั้งทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง เป็นต้น ถ้าติดตั้งตัวเก็บประจุเข้ากับระบบไฟฟ้าที่มีโหลดไม่คงที่ จะมีผลเสียดังนี้คือ

- ในสภาวะโหลดต่ำ (Light load) ตัวเก็บประจุที่ติดไว้จะทำให้แรงดันมีค่าสูงขึ้นมาก ซึ่งจะเกิดผลเสียแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า รวมทั้งตัวเก็บประจุเองด้วย
- กำลังสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีกระแสไหลเข้าตัวเก็บประจุตลอดเวลา
- แรงดันที่สูงอาจทำให้เกิดการอิมพัลส์ทางแม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ทำให้มีโอกาสเกิดฮาโมนิกเรโซแนนซ์ได้
- ถ้าใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่มากเกินไป อาจทำให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพ (Instability) ขึ้นได้

ส่วนการติดตั้งระบบควบคุมตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติ นั้นเหมาะสำหรับโหลดที่ไม่คงที่ ซึ่งความต้องการกำลังไฟฟาร์แอดคทีฟไม่คงที่ ระบบนี้จึงต้องควบคุมการตัดต่อตัวเก็บประจุตามความต้องการของโหลดตลอดเวลา

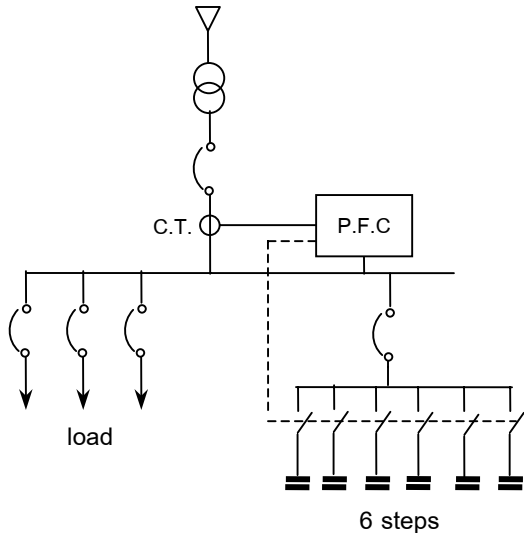
○ ระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติมีหลักการทำงานอย่างไร ?

ระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติ ทำงานโดยใช้การควบคุมของ Power Factor Controller ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ รับผิดชอบกระแสผ่านหม้อแปลงกระแส (Current Transformer, CT) และแรงดันโดยตรงจากระบบไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟาร์แอดคทีฟ แล้วเปรียบเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ถ้ากำลังไฟฟาร์แอดคทีฟไม่พอหรือเกินพอ ก็จะส่งสัญญาณให้คอนแทคเตอร์ตัดหรือต่อตัวเก็บประจุเข้าหรือออกจนกระทั่งตัวประกอบกำลังใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้มากที่สุด แต่เนื่องจากตัวเก็บประจุที่ติดตั้งในแต่ละขั้น (Step) จะให้กำลังไฟฟาร์แอดคทีฟที่แน่นอนค่าหนึ่ง ดังนั้น ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จริงจึงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ตั้งไว้บ้าง

○ ระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติประกอบด้วยอะไรบ้าง ?

ส่วนประกอบของระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติประกอบด้วย

- 1) ตัวเก็บประจุหลายตัวต่อขนานกัน (Capacitor bank)
- 2) ชุดควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Control Relay)
- 3) คอนแทคเตอร์ (Contactor) สำหรับต่อตัวเก็บประจุเข้า หรือปลดตัวเก็บประจุออกจากระบบ
- 4) ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ สำหรับป้องกันคอนแทคเตอร์ สายไฟ และตัวเก็บประจุ



รูปที่ 1-2.8 Single line diagram ของระบบควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบอัตโนมัติ

○ ข้อควรพิจารณาในการติดตั้งและใช้งานตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังมีอะไรบ้าง ?

1) การเลือกระดับแรงดัน

แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุควรจะเท่ากับแรงดันที่ใช้จริงของระบบไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ ในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันที่ใช้จริงต่างกับแรงดันพิกัดมาก จะต้องเผื่อแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุให้สูงขึ้น เนื่องจากแรงดันเกินนั้นจะทำให้เกิดความเครียดเพิ่มขึ้นกับไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุ ซึ่งจะเกิดผลเสียต่อการทำงานและอายุของตัวเก็บประจุ

ในงานซึ่งมีการใช้ขดรีแอคเตอร์ (Reactor) ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุเพื่อแก้ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิกนั้น แรงดันที่ขั้วตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเกินแรงดันใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องเลือกแรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุให้ถูกต้อง การหาแรงดันที่เหมาะสมสำหรับตัวเก็บประจุมีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

- ตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่จะทำให้แรงดันที่จุดติดตั้งเพิ่มขึ้น แรงดันที่ขั้วนี้จะสูงเพิ่มขึ้นอีกถ้าระบบไฟฟ้ามีฮาร์โมนิก ดังนั้น ตัวเก็บประจุจะต้องทำงานที่แรงดันสูงกว่าแรงดันที่วัดได้ก่อนติดตั้งตัวเก็บประจุ
- แรงดันที่ขั้วตัวเก็บประจุอาจสูงขึ้นมากในขณะที่ระบบไฟฟ้ามีโหลดน้อย ในกรณีนี้ควรตัดตัวเก็บประจุบางส่วนหรือทั้งหมดออกจากระบบเพื่อลดแรงดันลง
- ไม่ควรใช้ตัวเก็บประจุที่แรงดันสูงสุดและอุณหภูมิสูงสุดพร้อมกัน ยกเว้นกรณีฉุกเฉินและต้องใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ

2) อุณหภูมิใช้งาน

อุณหภูมิมีผลต่ออายุของตัวเก็บประจุอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินค่าอุณหภูมิสูงสุดจะเร่งให้ไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุเสื่อมเร็วขึ้น ดังนั้น ตัวเก็บประจุจะต้องติดตั้งในที่ซึ่งมีการระบายความร้อนที่เกิดจากกำลังสูญเสียของตัว

เก็บประจุอย่างเพียงพอ สำหรับการระบายอากาศในห้องที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุนั้น จะต้องจัดให้มีการหมุนเวียนของอากาศรอบตัวเก็บประจุแต่ละตัว โดยเฉพาะเมื่อตัวเก็บประจุติดตั้งเรียงเป็นชั้น ๆ

อุณหภูมิของตัวเก็บประจุจะสูงขึ้นถ้าได้รับการรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งอุณหภูมิสูงอื่น ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปอาจจำเป็นต้องแก้ไขดังนี้

- ป้องกันตัวเก็บประจุจากแหล่งแผ่รังสีความร้อน
- เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีชั้นอุณหภูมิสูงขึ้น
- เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีแรงดันพิกัดสูงกว่าแรงดันใช้งานจริง

3) สภาพการใช้งานพิเศษ

นอกเหนือจากสภาพอุณหภูมิสูงที่กล่าวมาแล้วนั้น สภาพการใช้งานที่สำคัญซึ่งต้องพิจารณามีดังนี้

- ความชื้นสัมพัทธ์สูง กรณีนี้อาจจำเป็นต้องใช้ฉนวนที่ออกแบบพิเศษ และต้องดูว่าฟิวส์ภายนอกไม่ถูกลัดวงจรโดยความชื้น
- การเกิดรา จะต้องระวังไม่ให้เกิดราที่ตัวเก็บประจุในส่วนที่มีความชื้นสูง
- การกัดกร่อน จะเกิดในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทและบริเวณริมฝั่งทะเล
- สภาพสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ กรณีนี้ตัวเก็บประจุจะต้องมีการป้องกันที่เหมาะสม

4) กระแสเกิน

ตัวเก็บประจุจะต้องไม่ใช้งานด้วยกระแสเกินค่าสูงสุดที่กำหนด กระแสเกินอาจเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันเกิน หรือฮาร์โมนิก หรือทั้งสองอย่าง แนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดกระแสเกินมีดังต่อไปนี้

- แยกตัวเก็บประจุบางส่วนหรือทั้งหมดไปติดตั้งที่บริเวณอื่นของระบบ
- ต่อขดรีแอคแตนซ์ต่ออนุกรมเข้ากับตัวเก็บประจุ เพื่อให้ความถี่เรโซแนนซ์ต่ำกว่าระดับฮาร์โมนิกต่ำสุด
- เพิ่มความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ติดตั้งใกล้วงจรเรียงกระแส โดยควรวัดรูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ และเมื่อมีแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิก เช่น วงจรเรียงกระแสขนาดใหญ่ ควรพิจารณาเป็นพิเศษ

5) อุปกรณ์ปิดเปิดวงจรและป้องกัน

อุปกรณ์ปิดเปิดวงจรและป้องกันตัวเก็บประจุจะต้องออกแบบให้สามารถนำกระแสต่อเนื่องได้สูงกว่ากระแสพิกัดเนื่องจากตัวเก็บประจุอาจมีค่าความจุไฟฟ้าสูงกว่าค่าความจุไฟฟ้าพิกัด นอกจากนี้ถ้าระบบมีฮาร์โมนิก กระแสฮาร์โมนิกจะทำให้เกิดความร้อนมากกว่ากระแสความถี่ปกติ อุปกรณ์ปิดเปิดวงจรและป้องกันรวมถึงจุดต่อจะต้องทนความเครียดทางแม่เหล็กไฟฟ้าและทางความร้อนซึ่งเกิดจากกระแสพุ่งเข้าขณะปิดเปิดวงจร

ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับอุปกรณ์ปิดเปิดวงจรและป้องกันมีดังต่อไปนี้

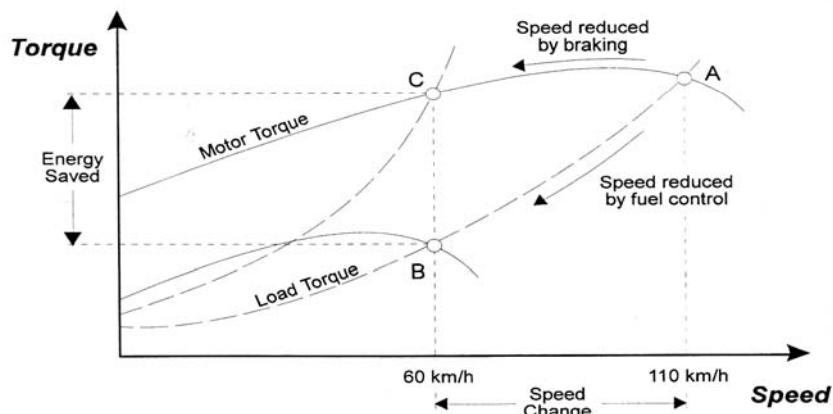
- ฟิวส์จะต้องเลือกให้มี Thermal capacity อย่างเพียงพอ
- ในการควบคุมตัวเก็บประจุอย่างอัตโนมัติ การปิดเปิดวงจรอาจเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงเวลาสั้น ๆ ดังนั้นต้องเลือกอุปกรณ์ปิดเปิดวงจรและป้องกันเพื่อให้สามารถทำงานในลักษณะนี้ได้
- เบรกเกอร์สำหรับ Switching parallel bank จะต้องทนกระแสพุ่งเข้าสูง

ตัวเก็บประจุอาจจะป้องกันกระแสเกินได้โดยใช้รีเลย์กระแสเกินที่เหมาะสม ซึ่งปรับตั้งให้ทำงานเมื่อเกิดกระแสเกิน ตามปกติฟิวส์จะไม่สามารถให้การป้องกันในลักษณะนี้ได้

1-2.2 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบและอินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานต่าง ๆ กันไป เช่น ใช้ในการปรับความเร็วรอบหรือแรงบิดของอุปกรณ์ต้นกำลังให้เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท หรือใช้ในการปรับค่าอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ หรือพัดลม ซึ่งในกรณีนี้จะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานลงได้ด้วย

ตัวอย่างของการปรับความเร็วรอบที่เข้าใจได้ง่าย คือ รถยนต์ โดยมีตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเร็วรอบ แรงบิด และกำลัง ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวสามารถแสดงได้ด้วยกราฟในรูปที่ 1-2.9



รูปที่ 1-2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดของเครื่องยนต์ [3]

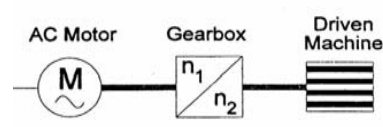
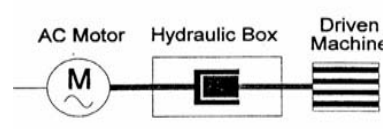
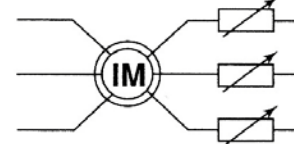
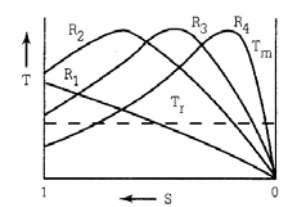
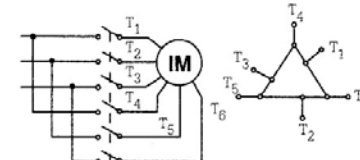
เส้นกราฟจะประกอบไปด้วย เส้นแรงบิดของเครื่องยนต์ (Motor Torque) ซึ่งเป็นเส้นทึบ มีอยู่ 2 เส้น เส้นที่อยู่ด้านบนแสดงแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อมีการเหยียบคันเร่งมากกว่า นอกจากนี้ ยังมีเส้นกราฟที่แสดงแรงบิดของโหลด (Load Torque) ซึ่งเป็นเส้นประ 2 เส้น โดยเส้นที่อยู่ด้านบนแสดงถึงการทำงานที่มีแรงเสียดทานต่าง ๆ ตลอดจนการเหยียบเบรกที่มากกว่า รถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วซึ่งแรงบิดของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับแรงบิดของโหลด สมมติให้ขับที่รถยนต์บนถนนโล่งโดยเหยียบคันเร่งไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งทำให้จุดตัดของเส้นแรงบิดของเครื่องยนต์และของโหลดอยู่ที่จุด A ความเร็วของรถยนต์ในขณะนี้จึงเท่ากับ 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หากต้องการลดความเร็วของรถยนต์ให้เหลือ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือการลดปริมาณเชื้อเพลิงลงโดยการผ่อนคันเร่ง ซึ่งจะทำให้แรงบิดของเครื่องยนต์ลดลง กรณีนี้จุดตัดจะเลื่อนมาอยู่ที่จุด B ส่วนวิธีที่สองคือการเพิ่มโหลดให้กับเครื่องยนต์โดยการเหยียบเบรก ซึ่งจะทำให้จุดตัดเลื่อนมาอยู่ที่จุด C จะเห็นได้ว่า ทั้งสองวิธีการที่กล่าวมาจะทำให้ความเร็วของรถยนต์ลดลงเหลือ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ตามต้องการ แต่วิธีแรกซึ่งเป็นการลดกำลังของเครื่องยนต์โดยตรงจะทำให้รถยนต์ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าวิธีการเพิ่มโหลดให้กับเครื่องยนต์ พลังงานที่ประหยัดได้หาได้จากความแตกต่างของกำลังที่จุด B และจุด C ซึ่งหลักการของวิธีการแรกนี้เองที่เป็นหลักการทำงานของอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

(1) เทคนิคการปรับความเร็วรอบ

การปรับความเร็วรอบของอุปกรณ์ส่งกำลัง แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ การปรับความเร็วรอบโดยวิธีทางกล ไฮดรอลิก และวิธีทางไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละวิธียังแบ่งออกเป็นวิธีการย่อย ๆ อีกหลายวิธี ตัวอย่างของเทคนิคการปรับความเร็วรอบด้วยวิธีการต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1-2.1

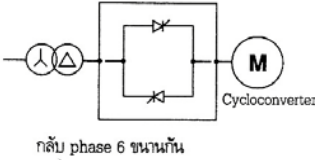
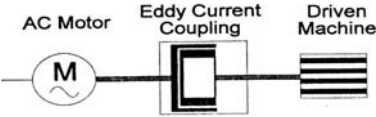
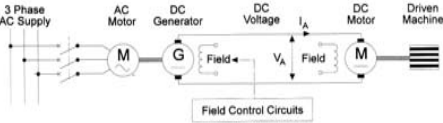
นอกเหนือจากเทคนิคในการปรับความเร็วรอบที่ได้กล่าวถึงในตารางที่ 1-2.1 นี้แล้ว ยังมีเทคนิคที่มีชื่อเรียกว่า Inverter with Interior Permanent Magnet Synchronous Motor ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กับการขับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยมีแนวโน้มจะนำมาใช้งานกันมากในอนาคต โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น

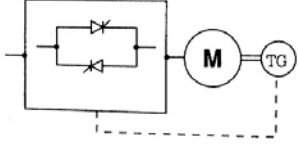
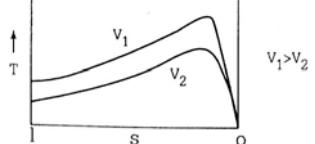
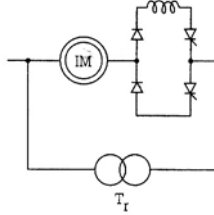
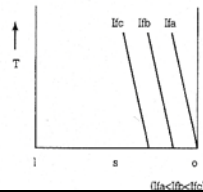
ตารางที่ 1-2.1 ตัวอย่างเทคนิคการปรับความเร็วรอบ [3,4]

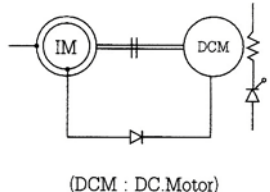
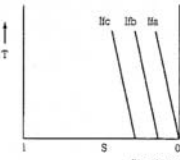
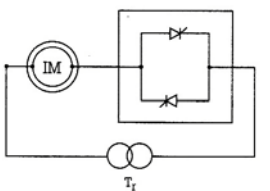
เทคนิค	ไดอะแกรม	ระบบควบคุม	คุณสมบัติเฉพาะ	การนำไปใช้
วิธีการทางกล		ปรับอัตราทดระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับความเร็วยรอบของเครื่องจักร	<ol style="list-style-type: none"> (1) โครงสร้างง่าย ราคาถูก (2) การบำรุงรักษาทำได้ง่าย 	เครื่องจักรต่าง ๆ
การควบคุมไฮดรอลิก		ปรับอัตราการไหลหรือความดันของน้ำมันไฮดรอลิก	<ol style="list-style-type: none"> (1) soft-start (2) แรงบิดเริ่มต้นเครื่องสูง 	สายพานลำเลียง
การควบคุมความต้านทานด้าน Secondary		ควบคุมโดยการเพิ่มลดความต้านทานด้าน Secondary	 <ol style="list-style-type: none"> (1) Secondary power จะ loss ไปกับความต้านทาน ทำให้ประสิทธิภาพขณะความเร็วต่ำไม่ดี (2) ค่าของขอบเขตของความเร็วที่ควบคุมจะแคบ (3) โครงสร้างง่าย ราคาถูก (4) การบำรุงรักษาทำได้ง่าย 	เครื่องขนาดใหญ่ บ่ม พัดลม รอก
การเปลี่ยนจำนวนขั้ว		เปลี่ยนการต่อของเส้นลวดที่พื้นเปลี่ยนจำนวนขั้ว	<ol style="list-style-type: none"> (1) การควบคุมไม่ต่อเนื่องกัน เพราะต้องเปลี่ยนขั้ว (2) โครงสร้างของลวดที่พันซับซ้อน 	เครื่องมืองานกลึง บ่มขนาดใหญ่ (ต่ำกว่า 100 kW)

เทคนิค	ไดอะแกรม	ระบบควบคุม	คุณสมบัติเฉพาะ	การนำไปใช้
Variable Voltage Variable Frequency (VVVF)		<p>เปลี่ยนความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ เพื่อให้หมุนที่ความเร็วรอบที่ต้องการ</p> <p>วิธีการปรับขนาดแรงดันที่นิยมคือ</p> <ul style="list-style-type: none"> - วิธี PAM - วิธี PWM 	<ol style="list-style-type: none"> (1) สามารถใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ได้หลายตัวด้วยอินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียว (2) เป็นการควบคุมความเร็วที่มีความแม่นยำสูง (3) ไม่จำเป็นต้องมี sensor ของความเร็ว (4) สามารถปลดโหลดเป็นบางส่วนแล้วสตาร์ทใหม่ได้ (5) P.F. และประสิทธิภาพดี (6) การบำรุงรักษา และการทนต่อสภาพแวดล้อมดี 	<ol style="list-style-type: none"> (1) ใช้กับงานทั่วไป โดยมีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน (2) เดินพร้อมกันหลาย ๆ เครื่อง ความเร็วเต็มที่หมุนทางเดียว ใส่ภาระตามลำดับได้ (3) ใช้งานขนาดเล็กและกลางที่ไม่ต้องตอบรับการเปลี่ยนความเร็วอย่างรวดเร็ว (4) ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ความเร็วสูงมาก ๆ เครื่องปั่นด้าย เครื่องแยกตัวแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง Film machine paper
Current inverter Slip frequency			<ol style="list-style-type: none"> (1) Output frequency อยู่ในช่วง 0 – 120 Hz (2) เปลี่ยนการหมุนโดยทันที ขณะมอเตอร์มีแรงบิดสูงสุดได้ (3) P.F. และประสิทธิภาพดี (4) สามารถตอบรับการเปลี่ยนความเร็วอย่างรวดเร็ว และสามารถควบคุมความเร็วอย่างละเอียดได้ 	<ol style="list-style-type: none"> (1) เครื่องขนาดกลางและเล็กที่ต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุนอย่างรวดเร็ว (2) สามารถใช้แทน Thyristor Leonard

เทคนิค	ไดอะแกรม	ระบบควบคุม	คุณสมบัติเฉพาะ	การนำไปใช้
DC Thyristor motor		<p>เปลี่ยนค่ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแล้วป้อนเข้า SCR Commutator การควบคุมความเร็วทำโดยเปลี่ยน DC voltage</p>	<ol style="list-style-type: none"> (1) การบำรุงรักษา และการทนต่อสภาพแวดล้อมดีมาก (2) ความสามารถในการควบคุมใกล้เคียงกับ DC มอเตอร์ (3) จากการควบคุมมุมเฟสหน้า ทำให้สามารถเดินเครื่องใน quadrant 4 ได้ง่ายกว่า (4) การป้องกันทำได้ดีกว่าระบบ DC (5) ประสิทธิภาพสูง (6) ตอนเริ่มเดินเครื่อง จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนการกลับกระแส (7) การพัน Armature แบบตรงทำได้ รวมทั้งมีขดลวดเสริม compensate ได้ 	<p>เครื่องย่อยกระดาษ ปัมสำหรับระบบน้ำทิ้งและน้ำดี starter ของเครื่อง synchronize ขนาดใหญ่ (900 kW)</p>
AC Thyristor motor		<p>เปลี่ยนความถี่ของไฟ supply เป็นความถี่ของมอเตอร์โดยตรง</p>	<ol style="list-style-type: none"> (1) – (5) เหมือนกันกับระบบ DC Thyristor motor (6) คุณลักษณะขณะเริ่มต้นดี (7) การปรับปรุงคุณลักษณะเมื่อมีการเติมส่วนอื่นทำได้ยาก (8) ประสิทธิภาพในการแปลงดีกว่าระบบ DC 	<p>เหมือนกับระบบ DC Thyristor motor (500 kW)</p>

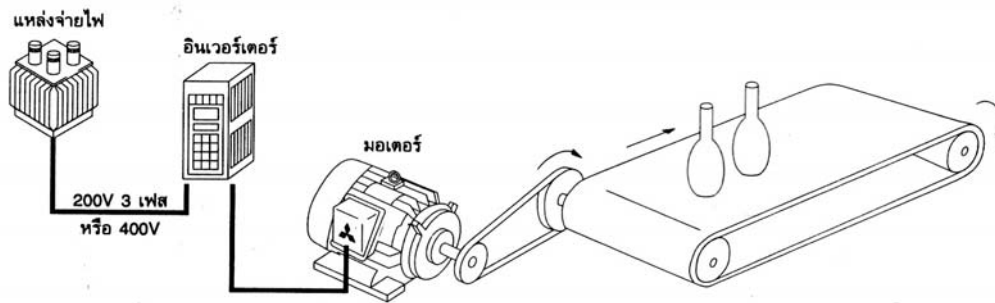
เทคนิค	ไดอะแกรม	ระบบควบคุม	คุณสมบัติเฉพาะ	การนำไปใช้
Sinusoidal wave Cycloconverter		ควบคุมรูปคลื่นของกระแส output ให้เป็นแบบ sinusoidal wave	<ul style="list-style-type: none"> (1) ความถี่ของ output อยู่ในช่วง 0 – 30 Hz (2) เหมาะกับเครื่องที่มีแรงดันสูง หรือ capacity สูง (3) มี Torque ripple น้อยมาก (4) P.F. และประสิทธิภาพดี (5) การตอบสนองต่อการกระตุ้นและความแน่นอนสูง ควบคุมความเร็วได้ในขอบเขตกว้าง (6) เปลี่ยนความเร็วโดยทันที หรือกลับทิศได้ (7) ควบคุมสนามให้อ่อนใน armature โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ output สม่ำเสมอได้ 	<ul style="list-style-type: none"> (1) เครื่องขนาดใหญ่ที่เดินเครื่องด้วยความเร็วกลาง ๆ และต่ำ (2) เครื่องขนาดใหญ่ต่อขับโดยตรงไม่มีเกียร์ทด (3) เครื่องที่ต้องการกลับทิศทางหมุนอย่างรวดเร็ว (4) ใช้ในการขับ Linear motor (15000 kW)
Eddy Current Coupling		ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กเพื่อควบคุม slip ระหว่าง input drum และ output drum	<ul style="list-style-type: none"> (1) การควบคุมทำได้ง่าย (2) กำลังไฟฟ้าของชุดควบคุมมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับโหลด (3) ลักษณะกราฟแรงบิด-ความเร็วรอบเหมือนกับกราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก 	ใช้กับเครน และสายพานลำเลียง เป็นเทคนิคที่ใช้ในยุคแรก ๆ ปัจจุบันมีการใช้งานน้อยมาก
Ward – Leonard		ปรับความดันต้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้มอเตอร์	<ul style="list-style-type: none"> (1) ควบคุมความเร็วได้อย่างแม่นยำ (2) ปรับเปลี่ยนแรงบิดได้ (3) มี reliability (4) การบำรุงรักษายุ่งยาก 	ใช้กับเครื่องจักรที่ต้องควบคุมแรงบิด ปัจจุบันมีใช้งานน้อยมาก

เทคนิค	ไดอะแกรม	ระบบควบคุม	คุณสมบัติเฉพาะ	การนำไปใช้
ควบคุม Primary voltage		Thyristor นำมาต่อขนานกลับกันทำงานให้คลื่นกระแสสลับไหลผ่านสลับกัน เป็น Non contact switch จากการกระตุ้น gate ของ SCR ทำให้สามารถควบคุม primary voltage 	(1) การใช้และการบำรุงรักษาง่าย (2) P.F. และประสิทธิภาพขณะความเร็วต่ำไม่ดີ	เครน สายพานลำเลียง บั้ม พัดลม เครื่องรีดเหล็ก (200 kW)
Static Selbis		ควบคุม progress angle ของ INV ซึ่งจะเปลี่ยน DC voltage ของ Inverter ทำให้กระแสที่ไหลในขดลวด secondary เปลี่ยนค่าแรงบิดก็จะเปลี่ยน 	(1) ความเร็วสูงสุด คือ ความเร็วที่ Synchronize (2) ทำเครื่องแรงดันสูงและ Capacity สูงได้ (3) ประสิทธิภาพดี (4) ขอบเขตควบคุมความเร็วถ้าแคบก็ใช้ inverter ขนาดเล็กได้ (5) Regeneration ทำไม่ได้ (6) Slip power ทางด้าน secondary สามารถคืนกลับ source โดยผ่าน INV ได้	(1) ใช้กับเครื่องขนาดใหญ่และกลางที่หมุนทางเดียว และต้องการความเร็วในช่วงแคบ (2) ใช้กับเครื่องที่ไม่ต้องสตาร์ทและหยุดอย่างรวดเร็ว (3) บั้ม blower (6000 kW)

เทคนิค	ไดอะแกรม	ระบบควบคุม	คุณสมบัติเฉพาะ	การนำไปใช้
เครเมอร์	 <p>(DCM : DC.Motor)</p>	<p>ปรับกระแสใน Field current ของ DCM เป็นการควบคุมกระแสใน วงจร Secondary ของ IM</p> 	<p>(1) – (5) เหมือน Static Selbis (6) Slip power สามารถ recover ได้โดยใช้เป็น Mechanical output</p>	<p>เหมือน Static Selbis (6000 kW) ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นระบบ Static Selbis จึงไม่มีการผลิต</p>
Super Synchronize Selbis	<p>Cycloconverter</p> 	<p>ขณะความเร็วใกล้ความเร็ว synchronize จะทำการกลับกระแสโดยใช้ voltage ทางด้าน source ที่ย่านอื่นใช้ voltage ของมอเตอร์ในการกลับกระแส</p>	<ol style="list-style-type: none"> (1) ความเร็วสูงสุดประมาณ 2 เท่า ของความเร็วที่ synchronize (2) ทำเครื่องขนาดใหญ่แรงดันสูงได้ (3) ประสิทธิภาพดี (4) กรณีหมุนทางเดียว ถ้าใช้ความเร็วสูงกว่าความเร็ว synchronize จะทำให้ converter เล็กลงได้ (5) ระบบเดินเครื่องหมุนรอบกลับได้ 	<ol style="list-style-type: none"> (1) เดินเครื่องขนาดกลาง – ใหญ่ หมุนเร็วและหมุนทางเดียว (2) ใช้ขั้วป้อน blower เครื่องรีดอโลหะ Power shovel

(2) อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานและติดตั้ง ประสิทธิภาพที่ดี และเทคโนโลยีการควบคุมที่ก้าวหน้า ทำให้มีการนำมาใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ พัดลม รอก แครน เครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดของระบบปรับอากาศ รวมทั้งเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น เครื่องปั่นด้าย เครื่องป้อนวัตถุดิบ เป็นต้น



รูปที่ 1-2.10 การใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องจักร [5]

○ อินเวอร์เตอร์มีโครงสร้างและหลักการทำงานอย่างไร ?

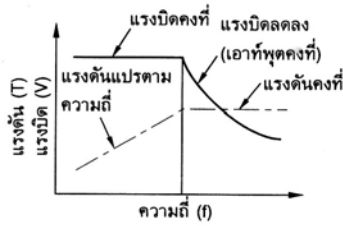
อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า ความถี่ ตลอดจนรูปคลื่นของไฟฟ้าก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์กระแสสลับสามารถหมุนที่ความเร็วต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นกับความถี่ทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในมอเตอร์ ดังสมการ

$$N = \frac{120 \times f}{P} \cdot (1 - s) \quad (1-2.1)$$

เมื่อ

N	คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)
f	คือ ความถี่ทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ (Hz)
P	คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์
s	คือ สลิป

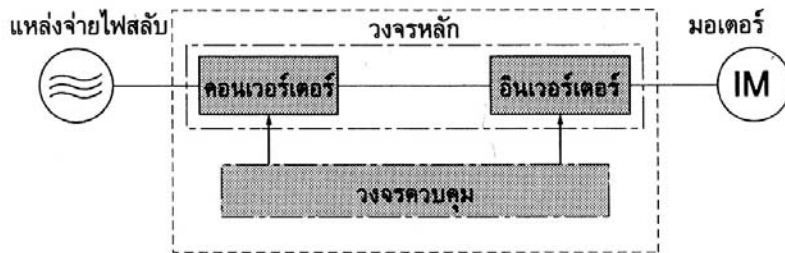
ดังนั้น หากเราปรับความถี่ทางไฟฟ้าเสียใหม่ก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วรอบใหม่ที่ต้องการ แต่ทั้งนี้ในการใช้งานอินเวอร์เตอร์ หากเปลี่ยนความถี่ไปโดยให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว กระแสก็จะเพิ่มมากขึ้นและมอเตอร์ก็จะร้อนขึ้นจนเสียหายได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าคงที่ ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าไปตามความถี่ เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กจะแปรผันตามอัตราส่วนของแรงดันและความถี่หรืออัตราส่วน V/f นอกจากนี้แล้ว อัตราส่วน V/f ยังส่งผลต่อค่าแรงบิดด้วย กล่าวคือ แรงบิดจะแปรผันตามอัตราส่วน V/f ด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น หากอัตราส่วน V/f มีค่าคงที่ ก็จะทำให้แรงบิดมีค่าคงที่ด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันและแรงบิดแสดงได้ดังรูปที่ 1-2.11 การควบคุมอัตราส่วน V/f ให้มีค่าคงที่นี้เองทำให้อุปกรณ์นี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า VVVF (Variable Voltage Variable Frequency)



รูปที่ 1-2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันและแรงบิด [5]

ในการใช้งานเราสามารถสร้างความถี่ที่สูงกว่า 50 Hz เพื่อให้มอเตอร์หมุนเร็วกว่าความเร็วรอบที่พิกัดได้ ซึ่งจะต้องเพิ่มแรงดันขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อความถี่เกินจาก 50 Hz แรงดันจะไม่เพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถสร้างแรงดันเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าสลับขาเข้าได้ ดังนั้นอัตราส่วน V/f จะลดลง และแรงบิดมอเตอร์จะลดลงด้วย การทำงานในช่วงนี้เป็นช่วงที่กำลังของมอเตอร์มีค่าคงที่เท่ากับพิกัด ยิ่งความเร็วรอบสูงขึ้นแรงบิดก็จะลดลง

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 1-2.12 อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นไฟกระแสตรงที่ได้จะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งวงจรหลักทั้งสองวงจрдังกล่าวนี้จะถูกควบคุมการทำงานโดยวงจรควบคุมอีกทีหนึ่ง อินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไป (General purpose inverter) จะประกอบด้วยส่วนคอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกัน

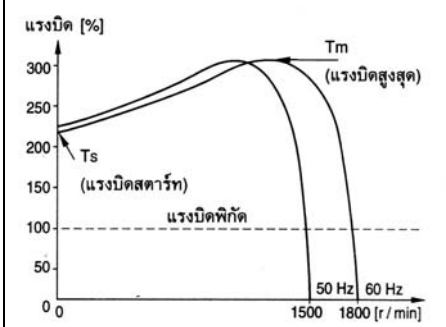
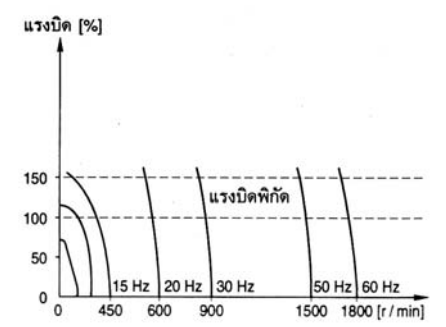


รูปที่ 1-2.12 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ [5]

ลักษณะสมบัติแรงบิดและกระแสของมอเตอร์ เมื่อถูกขับด้วยอินเวอร์เตอร์ เปรียบเทียบกับกรณีที่มีมอเตอร์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ แสดงได้ในตารางที่ 1-2.2

ตารางที่ 1-2.2 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสและแรงบิดของมอเตอร์ เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟและอินเวอร์เตอร์ [5]

	แหล่งจ่ายไฟขับมอเตอร์โดยตรง	ใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์
กราฟความเร็ว - กระแส		

	แหล่งจ่ายไฟขับเคลื่อนมอเตอร์โดยตรง	ใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์
กราฟความเร็ว – แรงบิด		
จุดเด่น	<ul style="list-style-type: none"> - แรงบิดสตาร์ทสูง แต่กระแสสตาร์ทก็สูงด้วย - ความเร็วรอบจะคงที่และขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถควบคุมให้กระแสสตาร์ทที่มีค่าต่ำได้ โดยการสตาร์ทจากความเร็วที่ต่ำ ๆ แต่แรงบิดสตาร์ทก็จะต่ำด้วย - ความเร็วรอบสามารถปรับได้ ไม่ขึ้นกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

○ อินเวอร์เตอร์มีกี่ประเภท ?

อินเวอร์เตอร์จะแบ่งตามลักษณะของวงจรอินเวอร์เตอร์ ดังนี้

1) แบบแหล่งจ่ายกระแส (CSI)

จะควบคุมปริมาณกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ นอกเหนือไปจากแรงดันและความถี่ โดยจะมีความสามารถจำกัดกระแสลัดวงจรด้านมอเตอร์ได้ และต้องมีโหลดต่ออยู่ตลอดเวลาแม้กระทั่งขณะทดสอบ มักใช้งานกับมอเตอร์ขนาดใหญ่ และขับเคลื่อนได้ทีละชุด มีความสามารถในการส่งคืนกำลังไฟฟ้ากลับสู่ระบบในขณะเบรกได้ (Regenerative Braking) จึงทำให้สามารถให้หยุดมอเตอร์ที่ขั้วโหลดใหญ่ที่มีความเฉื่อยสูง ๆ ได้

2) แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (VSI)

จะควบคุมเฉพาะแรงดันและความถี่ที่ป้อนเข้ามอเตอร์ สามารถใช้ขับเคลื่อนที่หลายชุดได้พร้อมกัน VSI หรืออีกชื่อหนึ่งคือ “Six-step” ใช้งานแพร่หลายในอดีต ปัจจุบันถูกแทนที่ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบ Pulse-width-Modulation (PWM)

3) Pulse – width – Modulated units (PWM)

เป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ PWM ต่างจาก VSI และ CSI ตรงที่ใช้วงจรไดโอดบริดจ์ธรรมดาแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง แล้วภาคอินเวอร์เตอร์ใช้การมอดูเลชันความกว้างของรูปคลื่น เพื่อให้กระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์คล้ายคลื่นไซน์มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่เกิดในตัวมอเตอร์ต่ำลง ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิกส์ลดลง ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่มักใช้สวิตช์ประเภท IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) ที่มีความถี่ในการสวิตช์สูงในช่วง 15-20 kHz ซึ่งทำให้มีเสียงรบกวนน้อยลง แต่อาจจะเกิดปัญหาในเรื่องฮาร์โมนิก การเสียหายของฉนวนและแบริ่ง

4) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบเวกเตอร์ (Vector Control)

สามารถควบคุมแรงบิดที่เกิดขึ้นได้ทั้งขนาดและทิศทาง และควบคุมความเร็วรอบได้อย่างแม่นยำ ซึ่งวงจรและการประมวลผลจะมีความซับซ้อนมาก ทำให้การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับทำได้ดีเท่าเทียมกับมอเตอร์กระแสตรง แต่ตัดปัญหาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาจุกจิกของมอเตอร์กระแสตรงออกไป อินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์จะมีราคาสูงกว่า 3 แบบแรกที่ควบคุมอัตราส่วน V/f เท่านั้น (บางครั้งเรียกว่า ควบคุมแบบสเกลาร์) แต่มีความแม่นยำและสมรรถนะที่ดีกว่า มีใช้งานในเครื่องผลิตกระดาษ เครื่องดึงลวด มอเตอร์ขับเคลื่อนล้อรถ ลิฟท์ความเร็วสูง เป็นต้น มีความเหมาะสมกับเครื่องจักรที่ต้องการแรงบิดที่ถูกต้องที่แต่ละความเร็ว หรือการควบคุมตำแหน่งที่แม่นยำ

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบแบบเวกเตอร์ สามารถรู้ตำแหน่งของสนามแม่เหล็กของ สเตเตอร์และโรเตอร์ โดยประมวลผลจากแรงดันและกระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์แต่ละขณะ มีทั้งแบบที่ใช้การคำนวณอย่างเดียว (Sensorless) และแบบที่ใช้ตัววัดตำแหน่งติดตั้งที่เพลามอเตอร์ด้วย นอกจากนี้การคำนวณคุณสมบัติในการหมุนของมอเตอร์จำเป็นต้องรู้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและทางกลของมอเตอร์ด้วยเพื่อให้การประมวลผลถูกต้อง จึงทำให้การใช้งานอุปกรณ์นี้ในระยะแรกค่อนข้างยุ่งยากในการโปรแกรมและป้อนค่า ปัจจุบันผู้ผลิตได้ปรับปรุงให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีการจูนตัวเองโดยอัตโนมัติในช่วงเริ่มเดินเครื่อง

○ การเลือกอินเวอร์เตอร์อย่างเหมาะสมควรพิจารณาอะไรบ้าง ?

1) การเลือกชนิดของอินเวอร์เตอร์

เลือกเทคโนโลยีของอินเวอร์เตอร์ว่าจะเป็นแบบสแกนาร์ (VSI, CSI, PWM) หรือแบบเวกเตอร์ และมีตัวจับตำแหน่งหรือไม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงความเร็วที่ใช้งาน และความแม่นยำในการควบคุมที่ต้องการ

2) การเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์

2.1) ขนาดแรงดันขาออกและความถี่ของอินเวอร์เตอร์ จะต้องเท่ากับพิกัดแรงดันและความถี่ของมอเตอร์

2.2) พิกัดกระแสของอินเวอร์เตอร์จะต้องสูงกว่าพิกัดกระแสของมอเตอร์รวมกับกระแสที่อาจเพิ่มขึ้นมาเนื่องจากโหลดเกินในช่วงสั้นๆ หรือในขณะเร่งความเร็ว (ไม่รวมกระแสมอเตอร์กรณีเริ่มเดินเครื่องแบบ Direct on line) อย่างน้อย 15%

2.3) เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะจำกัดกระแสไว้ที่ประมาณ 150% ขณะเริ่มเดินเครื่อง และแรงบิดเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าไม่เกิน 150% ของแรงบิดพิกัดเท่านั้น ต้องตรวจสอบว่าแรงบิดสูงสุดของอินเวอร์เตอร์นั้น ๆ เพียงพอที่จะจุดโหลดขณะเริ่มเดินได้หรือไม่ และแรงบิดขาออกของอินเวอร์เตอร์ต้องสามารถขับโหลดจากสภาวะหยุดนิ่ง ให้มีความเร็วตามที่ตั้งไว้ ภายในเวลาการเร่งความเร็วตามที่ต้องการได้

2.4) ความถี่ขาออกสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ ต้องสามารถขับให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุดที่ต้องการได้

3) การเลือกมอเตอร์

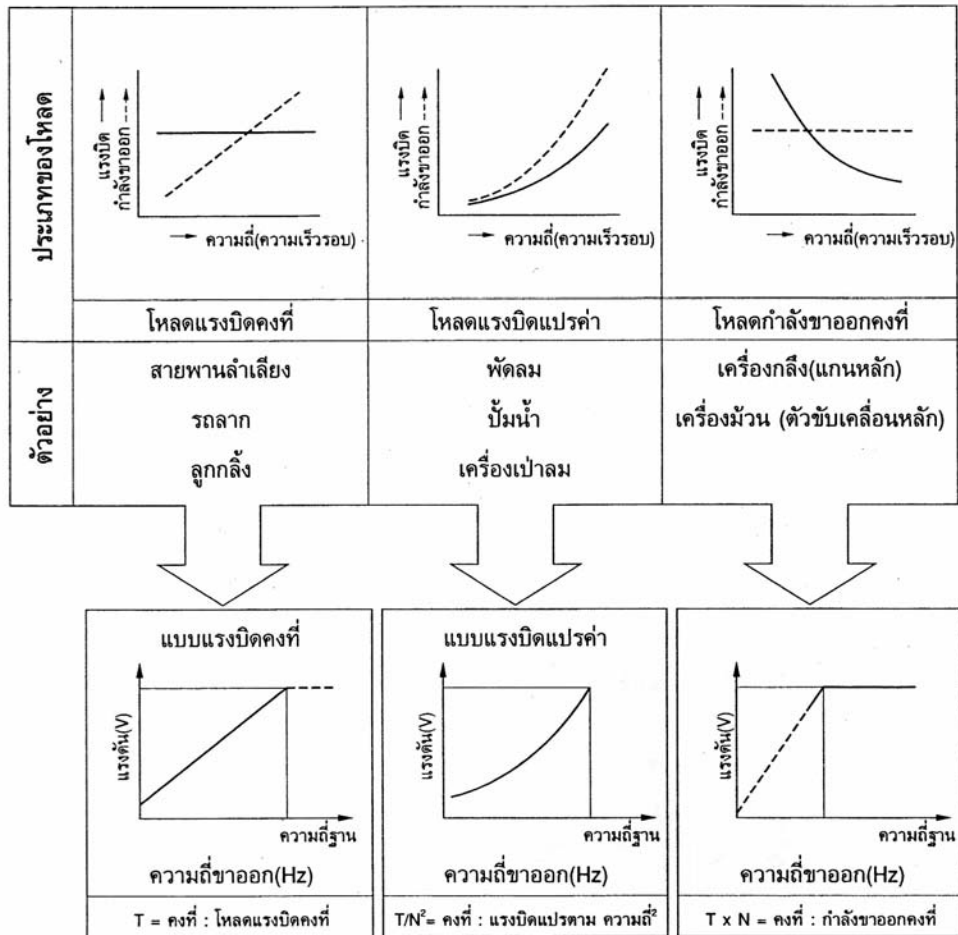
3.1) เลือกขนาดมอเตอร์ให้ขับโหลดได้ตลอดย่านความเร็วที่ใช้งาน มอเตอร์และชุดส่งกำลังสามารถทำงานได้ตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำสุด จนถึงสูงสุดของเครื่องจักร โดยต้องเผื่อประสิทธิภาพที่อาจจะลดลงเนื่องจากความร้อนจากกระแสฮาร์มอนิก การระบายความร้อนที่ลดลงในช่วงความเร็วต่ำ รวมทั้งแรงบิดที่ลดลงในช่วงความเร็วสูง ๆ ด้วย

3.2) แรงบิดของมอเตอร์ต้องมีค่ามากกว่าแรงบิดของโหลด ทั้งแรงบิดเริ่มเดินเครื่อง แรงบิดขณะเร่งความเร็ว และแรงบิดในการใช้งานต่อเนื่อง โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมอเตอร์จะต้องไม่เกินขีดจำกัดของเครื่อง

3.3) เลือกประเภทมอเตอร์ ว่าควรเป็นแบบมาตรฐาน แบบประสิทธิภาพสูงหรือแบบใช้งานกับอินเวอร์เตอร์ (Inverter-duty) โดยมอเตอร์ที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานกับอินเวอร์เตอร์โดยเฉพาะนี้ สามารถจะให้แรงบิดได้เต็มพิกัด ตั้งแต่ความเร็วรอบเท่ากับศูนย์จนถึงความเร็วพิกัด มอเตอร์ประเภทนี้จะมีกำลังสูญเสียที่รอบน้อย ๆ ต่ำ และสูงขึ้นเมื่อใกล้พิกัด

4) ประเภทของโหลด

โหลดมีอยู่หลายประเภท แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน ข้อมูลที่ควรจะต้องทราบเมื่อจะเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์เพื่อขับโหลด ได้แก่ ประเภท ขนาด และคุณลักษณะเฉพาะของแรงบิดของโหลด ช่วงความเร็วที่ใช้งาน และโมเมนต์ความเฉื่อยของโหลด รูปที่ 1-2.13 แสดงตัวอย่างการเลือกรูปแบบ V/f ให้เหมาะสมกับประเภทของโหลด



รูปที่ 1-2.13 ประเภทของโหลดและรูปแบบ V/f [5]

5) ช่วงเวลาการเร่งและลดความเร็ว

เวลาการเร่งความเร็ว หมายถึง ช่วงเวลาที่อินเวอร์เตอร์ค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้น เพื่อจุดโหลดจากสภาวะหยุดนิ่งให้หมุนที่ความเร็วตามที่ต้องการ โดยมอเตอร์จะเพิ่มความเร็วไล่ตามความถี่ไปเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาดังกล่าว หากตั้งเวลาการเร่งความเร็วสั้นเกินไปอาจเกิดปัญหากระแสเกินของอินเวอร์เตอร์ได้

เมื่อจะหยุดมอเตอร์ อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ตั้งไว้ ในขณะที่ลดความถี่ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ ทำให้ค่าสลิปเป็นลบ และมอเตอร์ทำงานเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟจ่ายคืนกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (Regeneration) ทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าตั้งค่าเวลาในการลดความเร็วสั้นไป จะทำให้การป้องกันแรงดันไฟและกระแสเกินเนื่องจาก Regeneration ทำงานได้ ดังนั้นควรตั้งค่าเวลาในการลดความเร็วให้ยาวไว้ หรือติดตั้งเบรกยูนิต (Brake unit) หรือวงจร Regeneration สำหรับคืนพลังงานในขณะเบรกโดยเฉพาะ หรือปรึกษาผู้จำหน่ายอินเวอร์เตอร์ถึงวิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสม

6) ข้อควรพิจารณาอื่น ๆ

นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์อย่างเหมาะสมโรงงานควรปรึกษากับผู้จำหน่ายอินเวอร์เตอร์ในประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ด้วย เช่น การตั้งค่าทอร์คบูสต์ (Torque boost) และรูปแบบ V/f การปรับตั้งค่าความถี่แคเรียร์ของอินเวอร์เตอร์ การจำกัดค่าแรงบิด การรีสตาร์ท (Restart) ภายหลังไฟดับ เป็นต้น

○ ข้อควรพิจารณาในการใช้งานอินเวอร์เตอร์มีอะไรบ้าง ?

1) สัญญาณรบกวน (Noise)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่กำเนิดสัญญาณรบกวน เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ใช้วิธีการสวิตชิ่งแรงดันไฟตรงด้วยความถี่สูง เพื่อให้ได้รูปคลื่นขาออกที่ไปใช้ขับมอเตอร์ การสวิตชิ่งอย่างรวดเร็วทำให้เกิดขอบขาขึ้นและขาลงของรูปคลื่น ซึ่งจะมอดูเลชันของความถี่สูงปนอยู่ ซึ่งส่วนนี้จะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1) สัญญาณรบกวนจากสายจ่ายไฟ สามารถป้องกันได้โดยการติดตั้งฟิลเตอร์ (Filter) ระหว่างอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่ายไฟ

1.2) สัญญาณรบกวนจากสายต่อระหว่างอินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์ ป้องกันได้โดยการเดินสายไฟในท่อโลหะ

1.3) สัญญาณรบกวนจากตัวอินเวอร์เตอร์ สามารถลดสัญญาณรบกวนได้โดยนำอินเวอร์เตอร์ใส่ในตู้โลหะ ซึ่งเป็นการป้องกันในกรณีที่ต้องนำอินเวอร์เตอร์ไปติดตั้งใกล้ ๆ กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ที่รับอิทธิพลสัญญาณรบกวนได้ง่าย เนื่องจากโดยปกติสัญญาณรบกวนที่กระจายออกจากตัวเครื่องอินเวอร์เตอร์จะมีขนาดเล็ก จึงไม่เป็นปัญหามากนัก

วิธีการป้องกันสัญญาณรบกวนอีกวิธีหนึ่งคือ การต่อสายดิน ซึ่งจะต้องแยกจากการต่อสายดินเพื่อป้องกันไฟดูด โดยควรต่อสายดินของอินเวอร์เตอร์แยกต่างหากจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ถ้าไม่สามารถทำได้ให้ต่อสายดินมารวมกันที่จุดลงดินได้ แต่ไม่ควรต่อสายดินไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุปกรณ์ที่มีกระแสไหลมาก ๆ เช่น มอเตอร์ หรือหม้อแปลงไฟฟ้า และไม่ควรใช้สายดินร่วมกันกับอินเวอร์เตอร์อย่างเด็ดขาด นอกจากนี้ สายดินควรใช้สายขนาดใหญ่ และสั้นที่สุด โดยจุดต่อลงดินควรอยู่ใกล้อินเวอร์เตอร์ และการเดินสายดินไม่ควรเดินเข้าใกล้หรือเดินขนานกับสายอินพุตหรือเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่รับสัญญาณรบกวนง่าย

2) ฮาร์โมนิก

ในอินเวอร์เตอร์จะมีภาคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีวงจรรีกติไฟเออร์อยู่ภายใน ซึ่งวงจรรีกติไฟเออร์นี้เองที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์ ลักษณะของฮาร์โมนิกจะแตกต่างจากสัญญาณรบกวน ดังแสดงไว้ดังตารางที่ 1-2.3

ตารางที่ 1-2.3 ข้อแตกต่างระหว่างฮาร์โมนิกกับสัญญาณรบกวน [5]

หัวข้อ	ฮาร์โมนิก	สัญญาณรบกวน
ความถี่	ต่ำกว่า 3 kHz (อันดับ 40 ~ 50)	ความถี่สูง (10 kHz ~ MHz)
สภาพแวดล้อม	แพร่ทางสายไฟ	แพร่ทางอากาศ
การคำนวณหาปริมาณ	สามารถคำนวณได้	คำนวณหาไม่ได้
ปริมาณที่เกิด	แปรผันโดยตรงกับโหลด	สัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแส (ปริมาณมากถ้าเป็นสวิตชิ่งความถี่สูง)
การทนได้ของอุปกรณ์	มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างชัดเจน	แตกต่างกันตามข้อกำหนดของผู้ผลิตแต่ละราย
การแก้ปัญหา	ติดตั้งรีแอคเตอร์	ตั้งระยะห่างออกไป

ฮาร์โมนิกจะทำให้กระแสของมอเตอร์สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ร้อนขึ้นด้วย และเมื่อฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นแพร่เข้าไปในระบบไฟฟ้าจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของ

อุปกรณ์อื่นต่ำลง หรือทำงานผิดพลาด อย่างไรก็ตามฮาร์โมนิกจากอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมให้ไม่เป็นปัญหาได้ ถ้ามีการออกแบบและติดตั้งอย่างเหมาะสม ซึ่งได้แก่

- รูปคลื่นแรงดันที่ป้อนให้อินเวอร์เตอร์ไม่ควรมียูทิลิตี้ฮาร์โมนิก (THD) ของแรงดันเกิน 5%
- อินเวอร์เตอร์แต่ละชุดควรมีรีแอคเตอร์ ติดตั้งเพื่อลดความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำกว่า 5%
- ตรวจสอบว่าอินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายแรงบิดขณะเริ่มเดิน และขณะใช้งานได้เพียงพอกับโหลด
- ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ให้ใกล้กับมอเตอร์และเดินสายสั้นที่สุด
- อาจเลือกอินเวอร์เตอร์ให้มีพิคที่สูงกว่ามอเตอร์ เนื่องจากต้องการแรงบิดขณะเริ่มเดินที่สูงขึ้น
- การต่อลงดินต้องถูกต้อง

1) ความถี่เรโซแนนซ์กับต้นกำลัง

เมื่อเครื่องจักรทำงานที่ความเร็วรอบย่านหนึ่งแล้วเกิดการสั่น หรือเสียงรบกวนดังขึ้นมาก แสดงว่าเกิดเรโซแนนซ์กับความถี่แคเรียร์ของอินเวอร์เตอร์ ถ้าสามารถปรับความถี่แคเรียร์หรือรูปแบบความถี่แคเรียร์ให้มีค่าต่างออกไป ก็จะลดเสียงรบกวนไปได้มาก ในยุคแรกของอินเวอร์เตอร์แบบ PWM ความถี่ในการตัดต่ออยู่ในช่วง 2 kHz ซึ่งในบางครั้งทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่มักใช้ความถี่ 15-20 kHz โดยใช้สวิตช์ประเภท IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) ที่มีความถี่สูง จึงทำให้มีเสียงรบกวนน้อยลง

2) ความแข็งแรงทางกลต่อการใช้งาน

มอเตอร์มาตรฐานทั่วไปสามารถหมุนด้วยความถี่สูงถึง 120 Hz ได้ก็จริง แต่ในความเป็นจริง ขนาดของมอเตอร์จะเป็นตัวจำกัดความถี่สูงสุดที่จะใช้ได้ เนื่องจากแบร์ริงของมอเตอร์ และโครงสร้างความแข็งแรงของมอเตอร์ จะมีขีดจำกัดในการหมุนด้วยความเร็วสูง ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ 4 ขั้ว ขนาด 132 เฟรม จะขับได้ด้วยความถี่สูงสุด 120 Hz แต่ถ้ามีขนาด 160 หรือ 180 เฟรม จะใช้กับความถี่ไม่เกิน 100 Hz และถ้ามีขนาด 220 ถึง 225 เฟรม จะใช้กับความถี่ได้ไม่เกิน 65 Hz เท่านั้น

3) การเพิ่มอุณหภูมิของมอเตอร์

มอเตอร์มาตรฐานทั่วไปมักจะออกแบบมาให้ทำงานที่ความถี่พิค และความเร็วยกกำลัง การระบายความร้อนจากมอเตอร์ใช้พัดลมซึ่งมีเพลาร่วมกับมอเตอร์ ติดตั้งอยู่ด้านท้ายเป่าลมผ่านครีบบอเตอร์ซึ่งมักจะเพียงพอ ไม่เกิดความร้อนเกิน แต่เมื่อความเร็วรอบมอเตอร์ลดลง การระบายความร้อนจะด้อยลง และเมื่อความเร็วต่ำกว่าประมาณ 25% ของความเร็วพิคมอเตอร์จะไม่สามารถให้แรงบิดได้เท่าพิค จำเป็นจะต้องลดแรงบิดลง ช่วงความเร็วรอบที่มอเตอร์รักษาแรงบิดได้เต็มพิคตั้งแต่ความเร็วรอบ 25% ถึง 100% นี้เรียกว่า ช่วงความเร็ว (Speed range) ของมอเตอร์ หรือแทนด้วยอัตราส่วน 4:1 ถ้าจะใช้งานที่แรงบิดพิคและความเร็วรอบต่ำกว่านี้ จำเป็นต้องปรับปรุงพัดลมให้ใหญ่ขึ้น หรือมีพัดลมระบายความร้อนภายนอกเพิ่มเติม ในการเลือกมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องดูค่าช่วงความเร็วของผู้ผลิตด้วย

การเพิ่มอุณหภูมิภายในตัวมอเตอร์จะแตกต่างกันระหว่าง กรณีที่ใช้มอเตอร์หมุนต่อเนื่องกับกรณีที่ใช้งานมอเตอร์เป็นรอบๆ (Cycle) ดังนั้น การคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มของมอเตอร์อย่างถูกต้อง จะต้องพิจารณาวิธีการเดินเครื่องมอเตอร์ สำหรับการทนอุณหภูมิของฉนวนควรเลือกฉนวนชั้น F หรือ H เพื่อทนความร้อนที่เพิ่มขึ้นในตัวมอเตอร์

4) อื่น ๆ

- ข้อระวังในการติดตั้ง

- ไม่ควรตัดต่อสวิตช์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าถี่เกินไป (มากกว่า 1 ครั้งใน 15 วินาที)
- สายออกอินเวอร์เตอร์เข้ามอเตอร์ ควรต่อโดยตรงไม่มีแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์คั่น และควรติดตั้งให้ระยะทางสั้นที่สุด เพื่อลดปัญหาฮาร์มอนิกส์
- อินเวอร์เตอร์มักใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เป็นตัวกรองวงจรเรียงกระแส ก่อนการตรวจซ่อมควรตรวจสอบว่าคายประจุหมดแล้ว
- สัญญาณที่เดินไปยังแผงควบคุมควรใช้สายชิลด์
- ขั้วของอินเวอร์เตอร์ไม่มีการแยกทางไฟฟ้าจากเมน ถ้าแตะขั้วใดขั้วหนึ่งกับดินอาจถูกไฟดูด

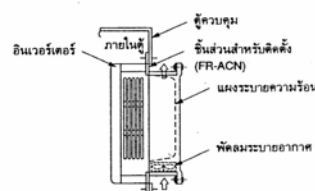
- แรงดันเหนี่ยวนำในเพลามอเตอร์

การใช้งานอุปกรณ์ตัดต่อวงจรความเร็วสูง ทำให้อินเวอร์เตอร์มีสมรรถนะดีขึ้นแต่ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาอื่นตามมาแม่เหล็กที่เกิดจากรูปคลื่นแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในเพลามอเตอร์ ถ้าแรงดันนี้มากพอจะเกิดกระแสไหลผ่านแบร็ริงของมอเตอร์เพื่อให้ครบวงจรได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายกับแบร็ริง โดยทั่วไปจะพบกับมอเตอร์ขนาด 90 กิโลวัตต์ขึ้นไป

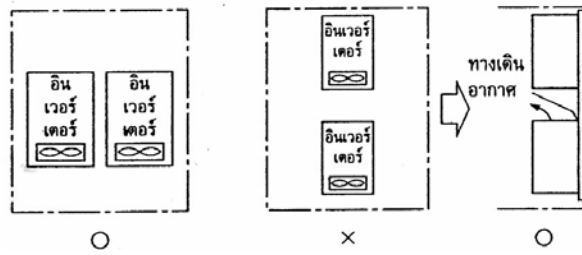
ในการป้องกันให้ตรวจสอบว่าการติดตั้ง การเดินสาย การต่อลงดิน เป็นไปตามที่ผู้ผลิตมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์แนะนำ สำหรับมอเตอร์ที่มีเพลาสุงจากฐานเกิน 280 มิลลิเมตร ให้เลือกมอเตอร์ที่มีการใส่ฉนวนไปที่แบร็ริงด้านที่ไม่ต่อกับโพล และตรวจสอบว่าแบร็ริงที่ใส่ฉนวนไม่ถูกลัดวงจรจากส่วนอื่น ๆ เช่น สายสัญญาณวัดอุณหภูมิ ฯลฯ และตรวจสอบว่าการติดตั้งต่อลงดินเข้าสายเป็นไปตามที่ผู้ผลิตแนะนำ

- การระบายความร้อน

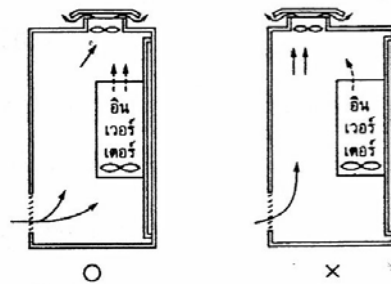
อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของอินเวอร์เตอร์เป็นอย่างมาก การที่อุณหภูมิภายในตัวอินเวอร์เตอร์สูงอาจจะเนื่องมาจาก อุณหภูมิรอบข้างสูง หรือการติดตั้งที่ไม่ถูกต้อง หรือโหลดของมอเตอร์และอุปกรณ์ที่ต่อเสริมกับอินเวอร์เตอร์มีปริมาณมาก เป็นต้น การลดความร้อนสามารถทำได้โดยการระบายความร้อนอย่างเหมาะสม ซึ่งทำได้ทั้งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศภายนอกตู้ควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 1-2.14 และการระบายความร้อนจากตู้ควบคุม ซึ่งต้องพิจารณาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวเครื่องอินเวอร์เตอร์และพัดลมระบายอากาศในตู้ควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 1-2.15 และรูปที่ 1-2.16



รูปที่ 1-2.14 การติดตั้งพัดลมระบายอากาศภายนอกตู้ควบคุม [5]



รูปที่ 1-2.15 การติดตั้งกรณีมีอินเวอร์เตอร์หลายเครื่องในตู้เดียวกัน [5]



รูปที่ 1-2.16 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ [5]

นอกจากนี้ ทิศทางการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ก็มีความสำคัญ ถ้าติดตั้งในทิศทางผิด การระบายความร้อนก็จะไม่ดี ทำให้อุณหภูมิภายในอินเวอร์เตอร์สูงขึ้นได้ เนื่องจากแผ่นวงจรควบคุมภายในอินเวอร์เตอร์ จะไม่ถูกระบายความร้อนโดยพัดลมระบายอากาศ

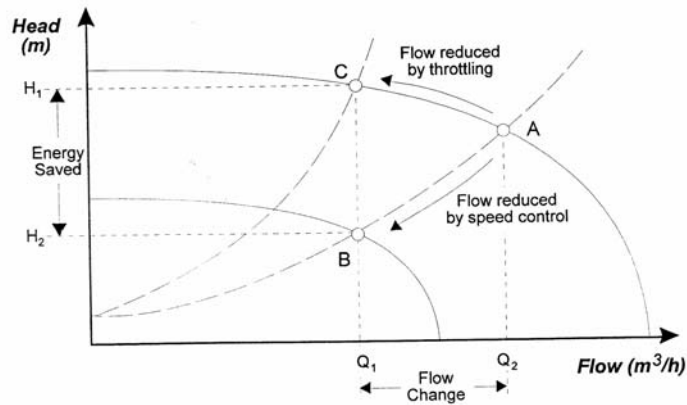


รูปที่ 1-2.17 ทิศทางการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ [5]

○ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอินเวอร์เตอร์มีอะไรบ้าง ?

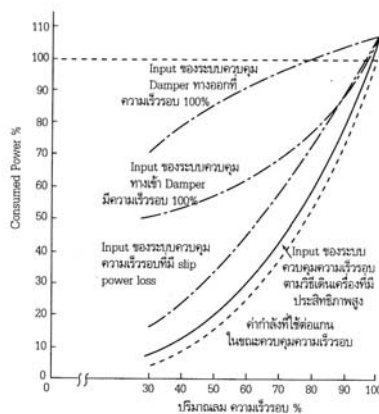
อุปกรณ์ที่นิยมติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ได้แก่ ปั๊ม พัดลม และ Blower ซึ่งต้องการควบคุมอัตราการไหล แต่เดิมการควบคุมอัตราการไหลมักจะใช้วิธีปล่อยให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ แล้วควบคุมปริมาณการไหลโดยใช้วาล์วหรือแฉกเปเปอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก แต่ไม่เป็นการประหยัดพลังงาน ตัวอย่างการใช้อินเวอร์เตอร์สำหรับปรับความเร็วรอบของปั๊มเพื่อควบคุมอัตราการไหลและประหยัดพลังงาน แสดงได้ด้วยกราฟอัตราการไหล - เฮด ของปั๊มดังรูปที่ 1-2.18 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับกราฟแรงบิด - ความเร็ว ของรถยนต์ในรูปที่ 1-2.9 และสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อต้องการปรับลดอัตราการไหลจาก Q_2 เป็น Q_1 สามารถทำได้ 2 วิธี คือ (1) การห้วาล์ว ซึ่งจะทำให้ค่าเฮดหรือความดันเพิ่มขึ้น จุดทำงานของปั๊มจะเลื่อนจากจุด A ไปยังจุด C และ (2) การลดความเร็วรอบเพื่อลดกำลังของปั๊ม ซึ่งจะทำให้จุดทำงานของปั๊มเลื่อนจากจุด A ไปยังจุด B เนื่อง

จากพลังงานที่ปั๊มต้องการจะขึ้นอยู่กับผลคูณของอัตราการไหลและค่าเฮด จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า วิธีการลดความเร็วรอบจะทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่าการหรี่วาล์ว



รูปที่ 1-2.18 กราฟอัตราการไหล – เฮด ของปั๊มเหวี่ยง (Centrifugal pump) [3]

การใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบของพัดลมหรือ Blower เพื่อควบคุมปริมาณลมก็จะได้ผลในลักษณะเดียวกันกับปั๊ม รูปที่ 1-2.19 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวิธีการควบคุมปริมาณลม



รูปที่ 1-2.19 การใช้พลังงานของวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ควบคุมปริมาณลม [4]

รายละเอียดของการประยุกต์ใช้งานอินเวอร์เตอร์กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ปั๊ม พัดลม Blower หรือเครื่องอัดอากาศ รวมทั้งการคำนวณศักยภาพการประหยัดพลังงานของแต่ละอุปกรณ์แสดงอยู่ในบทที่ 2