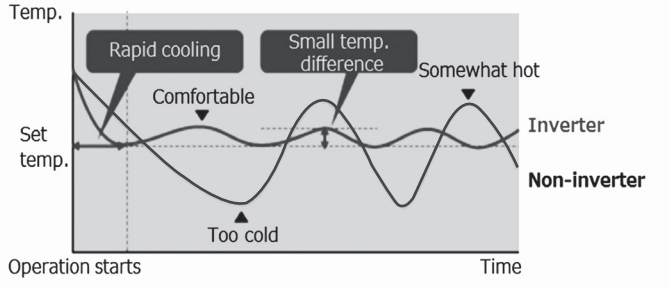
เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องปรับอากาศ

ษมิทธ์ เลิศอุดมศักดิ์
Smith Lerdudomsak

วิสูตร ชัชวาลวุฒิกุล
Wisoot Chachvalvutikul

1) [บทนำ]

ในปัจจุบันเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์กำลังได้รับความสนใจจากผู้บริโภค และมีผู้ผลิตหลายๆบริษัทได้ออกผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์มาในตลาดมากขึ้น รวมทั้งการส่งเสริมต่างๆจากทางภาครัฐทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์จะมีส่วนแบ่งในตลาดมากขึ้นและน่าจะเป็นชนิดของเครื่องปรับอากาศที่เป็นหลักในอนาคต เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบเดิมที่ไม่ใช่อินเวอร์เตอร์ (แบบ Fix speed หรือ Non-Inverter) นั้น ข้อดีของเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์จะมีในเรื่องการประหยัดพลังงานรวมถึงเรื่องการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ ดังที่แสดงในรูปที่1) เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องที่ควบคุมโดยเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์และชนิดที่ไม่ใช่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิของห้องที่ถูกควบคุมโดยเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์นั้นการแกว่งของค่าอุณหภูมิเมื่อเทียบกับค่าคำสั่งอุณหภูมิที่น้อยกว่า ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้มีความรู้สึกถึงความผันผวนของอุณหภูมิที่น้อยกว่า และเนื่องจากการแกว่งของอุณหภูมิห้องที่น้อยกว่าทำให้คอมเพรซเซอร์ไม่ต้องทำงานเต็มที่ตลอดเวลา(สามารถทำงานที่รอบต่ำได้) ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้นั้นลดลง รวมถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์เช่นมอเตอร์ที่ใช้กับระบบอินเวอร์เตอร์นั้นจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่ามอเตอร์แบบทั่วไป จึงทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะสูงกว่าแบบที่ไม่ใช่อินเวอร์เตอร์

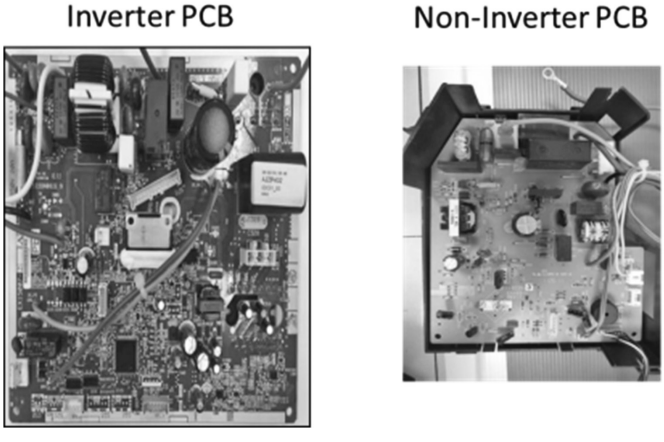


รูปที่1) การเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องที่ควบคุมโดยเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์และชนิดที่ไม่ใช่อินเวอร์เตอร์

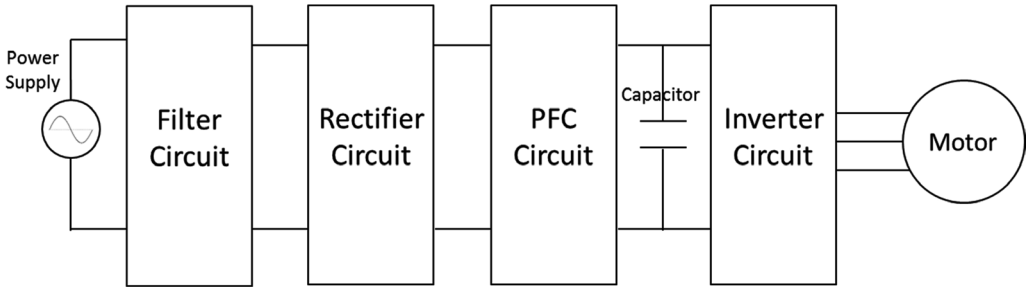
แต่เพื่อที่จะให้ได้ข้อดีตามที่กล่าวมานั้น จำเป็นที่จะต้องมีระบบอินเวอร์เตอร์ในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งการที่จะสร้างระบบอินเวอร์เตอร์นั้นก็จะต้องมีการอาศัยเทคโนโลยีหลายๆด้านทั้ง (1) เทคโนโลยีด้านวงจร PCB (Print Circuit Board), (2) เทคโนโลยีด้านมอเตอร์ไฟฟ้า (3)เทคโนโลยีด้านการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า (Motor Drive) นอกจากนี้การใช้วงจรอินเวอร์เตอร์จะส่งผลให้เกิดปัญหาด้าน EMC (Electromagnetic Compatibility : ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า) กับปัญหาด้านฮาร์โมนิคขึ้นมาได้ ซึ่งก็จำเป็นที่ต้องมี (4) เทคโนโลยีในการป้องกันปัญหา EMC กับฮาร์โมนิคด้วย ซึ่งในบทความนี้จะขอนำเสนอรายละเอียดของเทคโนโลยีในด้านต่างๆ ตามหัวข้อถัดไป

2) [เทคโนโลยีด้านวงจร PCB] [1]–[2]

รูปที่ 2) แสดงตัวอย่างของแผ่นวงจร PCB (Print Circuit Board) ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์เทียบกับแผ่นวงจรPCBที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศชนิดที่ไม่ใช่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะพบว่าในกรณีของอินเวอร์เตอร์นั้นวงจรจะมีความซับซ้อนมากกว่า และมีจำนวนอุปกรณ์อิเล็คโทรนิคส์ที่ใช้มากกว่า ส่วนในรูปที่3)แสดงวงจรโดยทั่วไปของระบบอินเวอร์เตอร์ หลักการที่สำคัญของวงจรอินเวอร์เตอร์คือต้องการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันและค่าความถี่ได้ตามต้องการ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับนี้จะถูกจ่ายให้กับมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ เพื่อที่จะสามารถควบคุมให้มอเตอร์คอมเพรซเซอร์สามารถหมุนได้ที่รอบที่ต้องการ



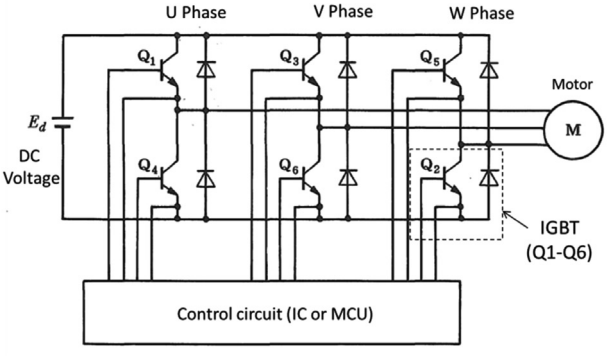
รูปที่ 2) ตัวอย่างของแผ่นวงจร PCB แบบอินเวอร์เตอร์เทียบกับแผ่นวงจร PCB ที่ไม่ใช่อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3) วงจรโดยทั่วไปของระบบอินเวอร์เตอร์

วงจรในรูปที่ 3) เริ่มจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกจ่ายให้เครื่องปรับอากาศ (220V 50Hz) จะผ่านวงจรฟิลเตอร์เพื่อกรองสัญญาณรบกวนทิ้ง (ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวอีกทีในหัวข้อ EMC) หลังจากนั้นจะผ่านวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อน หลังจากนั้นจะผ่านวงจร PFC (Power factor correction ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวอีกทีในหัวข้อฮาร์โมนิค) สุดท้ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกจ่ายเข้าส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ก่อนที่แรงดันที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์จะถูกจ่ายให้มอเตอร์คอมเพรซเซอร์ เนื่องจากแรงดันที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าขนาดแรงดันและค่าความถี่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับความเร็วรอบที่ต้องการของมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงกระแสไฟฟ้าสลับที่ถูกจ่ายให้เครื่องปรับอากาศ (220V 50Hz) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนหนึ่งครั้งโดยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อที่วงจรอินเวอร์เตอร์จะได้แปลงแรงดันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าขนาดแรงดันและค่าความถี่ต่างๆตามที่ต้องการอีกทีเพื่อที่จะสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ได้ตามค่าที่ต้องการ

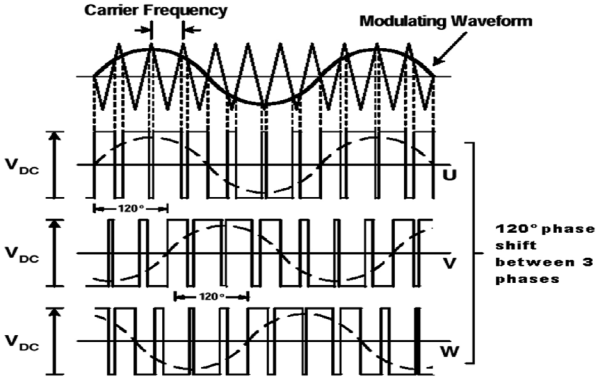
ในรูปที่ 4) แสดงรายละเอียดของส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตชิ่งซึ่งเรียกว่า IGBT (Insulation Gate Bipolar Transistor) จำนวน 6 ตัวประกอบกันอยู่ เนื่องจากมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ที่ใช้กับระบบอินเวอร์เตอร์จะเป็นชนิดซิงโครนัสมอเตอร์แบบ 3 เฟส ดังนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์จึงมี 3 เฟส (เฟส U, V, W) ด้วย โดยแต่ละเฟส(หรือแต่ละขา)นั้นจะมี IGBT 2 ตัวต่ออนุกรมกันอยู่ ซึ่ง IGBT ทั้ง 2 ตัวในแต่ละขาจะทำงานเหมือนเป็นสวิตซ์โดยจะ ON (ปิดวงจร) และ OFF (เปิดวงจร) สลับกันเพื่อแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ การ ON และ OFF ของ IGBT แต่ละตัวนั้นจะถูกควบคุมโดย control IC (หรือ CPU) ซึ่งวิธีในการสั่ง IGBT ให้ON และ OFFเพื่อสร้างแรงดันกระแสสลับที่ค่าแรงดันและความถี่ต่างๆนั้นก็มีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้มากวิธีหนึ่งคือวิธี PWM (Pulse Width Modulation)



รูปที่4) วงจรอินเวอร์เตอร์

ในรูปที่ 5) แสดงตัวอย่างของวิธี PWM นี้ โดยการที่ IGBT ตัวบนและตัวล่างในแต่ละขาจะ ON หรือ OFF นั้นจะโดนสั่งโดย control IC ซึ่ง control IC นี้จะทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันกระแสสลับที่ต้องการกับรูปคลื่นแรงดันสามเหลี่ยม (Triangle waveform) หาก ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ถ้าค่าแรงดันกระแสสลับมากกว่าค่าแรงดันสามเหลี่ยม ตัว IGBT ตัวบนก็จะ ON (และตัวล่างก็จะ OFF) ในทางตรงข้ามหาก ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ถ้าค่าแรงดันกระแสสลับที่ต้องการนั้นน้อยกว่าค่าแรงดันสามเหลี่ยม ตัว IGBT ตัวบนก็จะ OFF (และตัวล่างก็จะ ON) ซึ่งจะทำให้ได้แรงดันเอาท์พุทจากวงจรอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นแรงดันพัลส์ตามรูปที่5) ซึ่งแรงดันนี้จะถูกจ่ายให้มอเตอร์คอมเพรซเซอร์ และเนื่องจากในมอเตอร์คอมเพรซเซอร์จะมีขดลวดถูกพันอยู่ในแกนเหล็ก

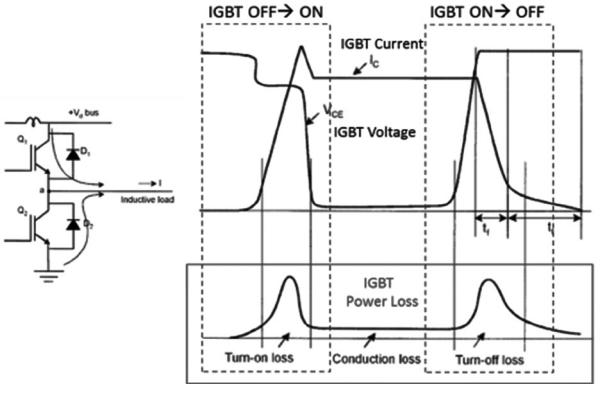
ทำให้มอเตอร์คอมเพรซเซอร์มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Inductance หรือ L) ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำนี้จะเป็นตัวที่กรองสัญญาณความถี่สูงในแรงดันพัลส์ตามรูปที่ 5) ทิ้ง ทำให้สุดท้ายแล้วค่ากระแสที่ไหลในขดลวดของมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ จะเหลือเพียงส่วนที่เป็นความถี่มูลฐานมีรูปคลื่นแบบ Sine wave (เส้นประในรูปที่ 5))



รูปที่ 5) การสร้างแรงดันกระแสสลับโดยใช้วิธี PWM

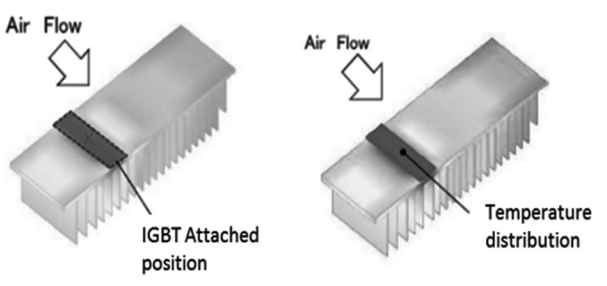
2.1) [เทคโนโลยีการระบายความร้อนให้ IGBT]

ในการทำงานจริงนั้นอุปกรณ์ IGBT จะถูกสั่งให้ ON และ OFF ที่ความถี่ (Switching frequency) ที่สูงมากในระดับหลาย 10kHz (IGBT จะ ON และ OFF หลาย 10,000 ครั้งต่อ1วินาที) ยิ่ง IGBT สามารถ ON และ OFF ที่ความถี่สูงมากเท่าไหร่แรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ก็จะยิ่งมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าแรงดันที่ต้องการมากขึ้นเท่านั้น แต่ข้อจำกัดที่ทำให้อุปกรณ์IGBT นั้นไม่สามารถทำการ ON และ OFF ที่ความถี่สูงได้มากคือความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัว IGBT เอง ในรูปที่6) ซึ่งแสดงรูปสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสของ IGBT ขณะที่เปลี่ยนจาก ON เป็น OFF และขณะที่เปลี่ยนจาก OFF เป็น ON ซึ่งจะพบว่าการที่ค่าแรงดันใน IGBT จะลดจากค่ามากสุดลงเป็นศูนย์ (หรือการที่ค่ากระแสจะเพิ่มจากศูนย์เป็นค่ามากสุด) นั้นต้องใช้เวลาสักระยะหนึ่ง ซึ่งในช่วงระยะนี้ในตัว IGBT จะมีทั้งค่าแรงดันตกคร่อม IGBT และมีกระแสไหลผ่าน IGBT พร้อมๆกัน ทำให้เกิดมีค่ากำลังสูญเสีย Power loss = แรงดัน x กระแส เกิดขึ้น ซึ่งค่ากำลังสูญเสีย นี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนในตัว IGBT และหากว่าเราไม่สามารถระบายพลังงานความร้อนนี้ออกไปได้อย่างเหมาะสม แล้วตัว IGBT ก็จะเกิดการไหม้เสียหายได้



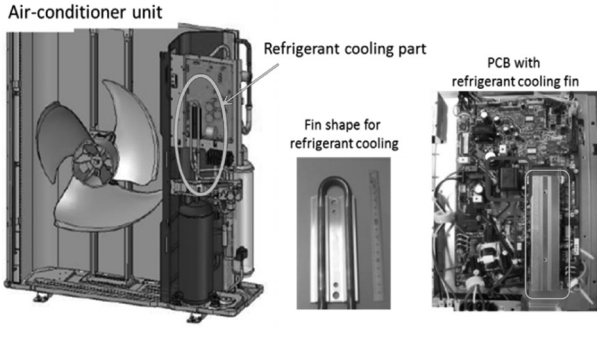
รูปที่6) รูปสัญญาณแรงดัน,สัญญาณกระแส และกำลังสูญเสียใน IGBT

เพื่อที่ระบายความร้อนให้ IGBT นั้นโดยปกติจะใช้อุปกรณ์ Heat sink ติดไว้ที่ผิวของ IGBT ตามรูปที่7) ซึ่ง Heat sink จะเป็นตัวที่ถ่ายเทความร้อนจาก IGBT ไปที่อากาศโดยรอบ (Air cooled) ในกรณีที่ค่ากระแสที่ไหลผ่าน IGBT มีค่าสูง (มอเตอร์คอมเพรซเซอร์มีขนาดใหญ่) หรือ IGBT ถูกสั่งให้ ON และ OFF ที่ความถี่สูงนั้น พลังงานความร้อนที่เกิดในตัว IGBT ก็จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้ตัว Heat sink ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นในการระบายความร้อน ซึ่งจะทำให้ราคาของ Heat sink แพงขึ้น รวมทั้งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักที่มากขึ้นทำให้เกิดความลำบากในการประกอบ



รูปที่7) Heat sink ที่ใช้ระบายความร้อนให้IGBT

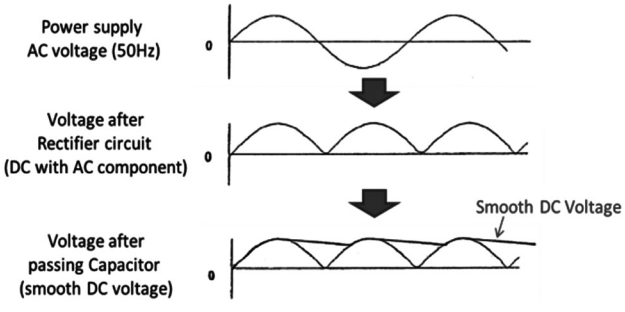
แต่ในกรณีของเครื่องปรับอากาศนั้นจะมีความพิเศษที่มีท่อน้ำยาซึ่งถูกเดินอยู่ในเครื่องปรับอากาศอยู่แล้ว โดยที่อุณหภูมิของท่อน้ำยาเหล่านี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศโดยรอบอยู่มาก ดังนั้นจึงมีเทคโนโลยีที่นำท่อน้ำยามาเป็นตัวระบายความร้อนให้ IGBT แทน Heat sink แบบปกติ(ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ) ซึ่งการระบายความร้อนด้วยท่อน้ำยานั้นจะได้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ดีกว่าการใช้ Heat sink ปกติหลายสิบเท่า ทำให้เราสามารลดขนาดของHeat sink ลงได้อย่างมากดังแสดงในรูปที่ 8) ซึ่งแสดงตัวอย่างจริงของการใช้ท่อน้ำยามาเป็นตัวระบายความร้อนให้ IGBT ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากความเป็นเครื่องปรับอากาศโดยเฉพาะ



รูปที่8) แสดงตัวอย่างของการใช้ท่อน้ำยามาเป็นตัวระบายความร้อนให้ IGBT

2.2) [เทคโนโลยีในการลดขนาดของตัวเก็บประจุ]

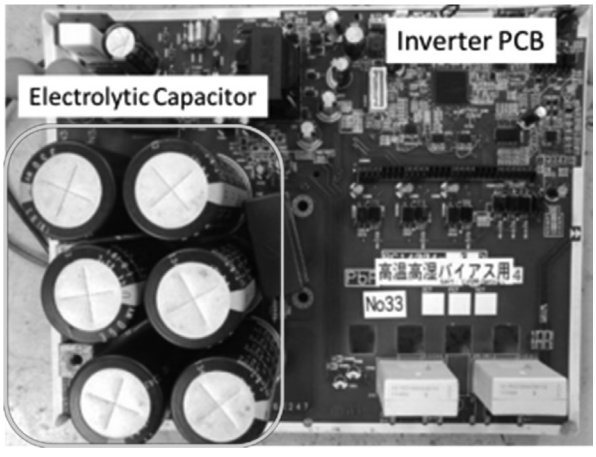
ในรูปที่3) ที่แสดงวงจรโดยทั่วไปของระบบอินเวอร์เตอร์นั้น จะมีส่วนที่เป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor หรือ Condenser) อยู่ ซึ่งตัวเก็บประจุนี้จะถูกวางไว้ข้างหน้าวงจรอินเวอร์เตอร์ หน้าที่ของตัวเก็บประจุนี้ก็เพื่อที่จะกรองค่าแรงดันกระแสตรงให้เรียบตามรูปที่9) เนื่องจากวงจรอินเวอร์เตอร์จะใช้แรงดันกระแสตรงนี้ไปสร้างแรงดันพัลส์เพื่อจ่ายให้มอเตอร์คอมเพรซเซอร์ตามที่ได้อธิบายไว้ตามข้างบน ดังนั้นหากแรงดันกระแสตรงนี้ไม่เรียบ ก็จะส่งผลให้การทำงานของมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ไม่ถูกต้อง (เกิดการสั่นสะเทือนมากหรือเกิดปัญหาแรงบิดของมอเตอร์ไม่พอ) และเพื่อที่จะให้ค่าแรงดันกระแสตรงมีความเรียบมาก ค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ก็ต้องมีค่าสูงตาม



รูปที่9) หน้าที่ของตัวเก็บประจุที่ทำการกรองแรงดันกระแสตรงให้เรียบ

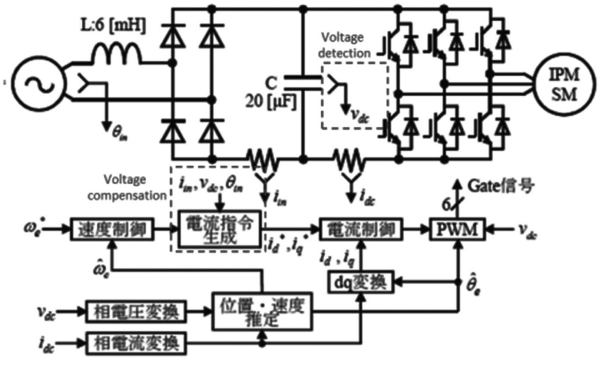
รูปที่10) แสดงรูปของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ตัวเก็บประจุที่นิยมใช้จะเป็นชนิด Electrolytic Capacitor ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุชนิดที่มีน้ำยาเคมีอยู่ข้างในตัวเก็บประจุ ยิ่งถ้าค่าตัวเก็บประจุที่ต้องการใช้มีค่ามากขึ้น ก็จะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อขนาดและน้ำหนักของPCB รวมถึงราคาที่แพงขึ้นด้วย นอกจากนี้

ตัวเก็บประจุชนิด Electrolytic Capacitor จะมีอายุที่สั้นหากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไป หากการออกแบบเกี่ยวกับเรื่องอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในตัวเก็บประจุนี้ทำได้ไม่ดี ความร้อนที่เกิดขึ้นมากไปนี้ก็จะทำให้น้ำยาเคมีที่อยู่ข้างในตัวเก็บประจุเกิดการขยายตัว และจะทำให้ตัวเก็บประจุเกิดการระเบิดทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้



รูปที่10) ตัวเก็บประจุชนิด Electrolytic Capacitor ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์

ด้วยข้อเสียต่างๆของการที่ต้องใช้ Electrolytic Capacitor ในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้กล่าวไปแล้ว ทำให้มีผู้เริ่มใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบที่ไม่ใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor less Inverter circuit) ซึ่งการที่ไม่มี Electrolytic Capacitor ในวงจรนั้นก็จะส่งผลให้ค่าแรงดันกระแสตรงเกิดการกระเพื่อม ซึ่งผลจากการกระเพื่อมนี้จะถูกชดเชยในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ โดยจะมีการเพิ่มส่วนตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแบบปกติ (รายละเอียดเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าจะกล่าวในหัวข้อที่3)อีกที) ตัวอย่างของระบบการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่มีการชดเชยการกระเพื่อมของแรงดันกระแสตรงนั้นถูกแสดงในรูปที่11) (ตัวเก็บประจุ ที่ใช้ในวงจรนี้จะเป็นตัวเก็บประจุค่าเล็กซึ่งสามารถใช้เป็นชนิด Film Capacitor แทน Electrolytic Capacitor ที่มีค่าสูงซึ่งราคาแพงและมีขนาดใหญ่ได้)



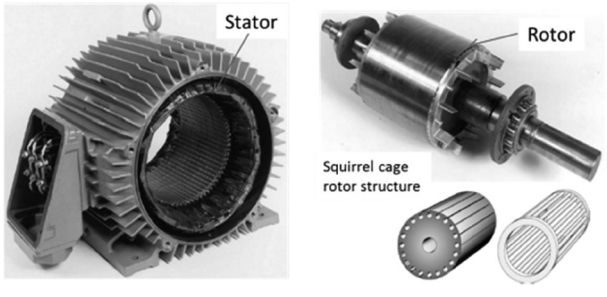
รูปที่11) ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ Capacitor Less

มีหลักสำคัญเกี่ยวกับเรื่องนี้ที่อยากจะขอเน้นย้ำอยู่ข้อหนึ่งคือ เนื่องจากการควบคุมมอเตอร์นั้นจะเป็นการคำนวนโดย Software ใน CPU (Control processing unit) ซึ่งตัว CPU นี้ก็เป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่อยู่บน PCB เนื่องจากเทคโนโลยีของ CPU นั้นถูกพัฒนาขึ้นอย่างก้าวกระโดดในเวลาหลายปีที่ผ่านมา ทำให้ CPU สามารถประมวลผล Software ที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยที่ราคาของCPU กลับมีแนวโน้มที่จะถูกลงยิ่งขึ้น ทำให้เราสามารถลดการใช้หรือลดขนาดของ Hardware (เช่นตัวอย่างตัวเก็บประจุตามข้างบน) แล้วมาเพิ่มโหลดการคำนวนให้ทางฝั่ง Software แทน ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมือนเดิม (หรืออาจดีขึ้น) โดยที่สามารถลดราคาและขนาดของ Hardware ได้อย่างมาก ซึ่งการลดชิ้นส่วนHardwareลงโดยไปเพิ่มโหลดการคำนวนทางฝั่ง Software แทนนั้นจะเป็นเทรนด์แนวโน้มที่สำคัญสำหรับการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์นับจากนี้

3) [เทคโนโลยีด้านมอเตอร์ไฟฟ้า] [3]-[6]

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกใช้ในเครื่องปรับอากาศจะมีอยู่หลักๆ 2 ตัวคือมอเตอร์คอมเพรซเซอร์ (Compressor motor) กับมอเตอร์พัดลม (Fan motor) ในกรณีของเครื่องปรับอากาศแบบ Fixed Speed (Non-INV) นั้นทั้งมอเตอร์คอมเพรซเซอร์กับมอเตอร์พัดลมที่ถูกใช้จะเป็นประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ (ประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 40%-60%) แต่ในกรณีของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์นั้น มอเตอร์คอมเพรซเซอร์จะเป็นชนิดซิงโครนัสมอเตอร์แบบใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet synchronous motor : PMSM) ส่วนมอเตอร์พัดลมนั้นส่วนใหญ่จะนิยมใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (DC Brushless motor) อนึ่งโครงสร้างของทั้ง PMSM กับ DC brushless motor นั้นถือได้ว่าเกือบจะเหมือนกันมาก แต่เนื่องจากวิธีการควบคุมมอเตอร์นั้นต่างกัน ทำให้มีชื่อเรียกที่ต่างกัน ซึ่งทั้งPMSM กับ DC brushless motor จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า Induction motorมาก (ประมาณ 75%-90%)

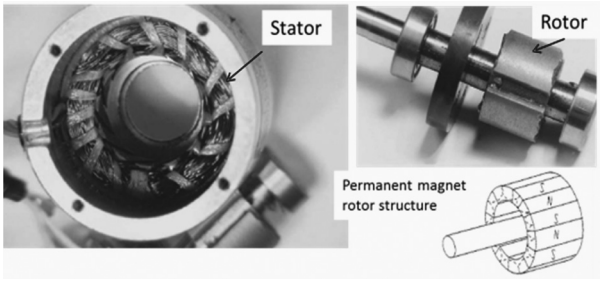
สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพที่ต่างกันนั้นเนื่องมาจากโครงสร้างของมอเตอร์ที่แตกต่างกัน ในกรณีของ Induction motor นั้นจะมีโครงสร้างตามรูปที่ 12) ซึ่งแสดงส่วนของสเตเตอร์ (Stator = ส่วนที่อยู่กับที่) กับโรเตอร์ (Rotor = ส่วนที่หมุน) โดยส่วนที่เป็นสเตเตอร์นั้นจะมีขดลวดพันอยู่ในแกนเหล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและสนามแม่เหล็กนี้ก็จะถูกขยายให้มีค่ามากขึ้นโดยตัวแกนเหล็ก โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสไฟฟ้า(ซึ่งก็คือสนามแม่เหล็ก) ตามเวลาและอาศัยการจัดวางขดลวดของแต่ละเฟสในสเตเตอร์ให้เหมาะสม ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กที่หมุนเป็นวงกลมขึ้นในสเตเตอร์ ส่วนในฝั่งโรเตอร์นั้นจะเป็นตัวนำอลูมิเนียมที่ถูกฉีดด้วย Die cast process เข้าไปในแกนเหล็กของโรเตอร์ ทำให้ในโรเตอร์เกิดเป็นวงลูปของตัวนำที่มีรูปร่างคล้ายกับกรงกระรอก (Squirrel cage) พอสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ไหลตัดผ่านตัวนำในโรเตอร์ ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำของโรเตอร์ขึ้นมา พอมีกระแสไหลในตัวนำของโรเตอร์ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กฝั่งโรเตอร์ขึ้นมาด้วย สุดท้ายแล้วก็จะเกิดแรงดึงจากสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์กับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ทำให้โรเตอร์เกิดการหมุนได้ เนื่องจาก Induction Motor นั้นต้องมีกระแสไหลในโรเตอร์ตลอดเวลา ทำให้เกิดค่าพลังงานสูญเสียจากความต้านทานในโรเตอร์ (Ohmic loss = I^2 x R) ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของ Induction Motor นั้นต่ำ(ประมาณ 40%-60%)



รูปที่12) โครงสร้างของ Induction motor

ในกรณีของ PMSM กับ DC Brushless motor นั้นจะมีโครงสร้างแสดงตามรูปที่13) โดยโครงสร้างของสเตเตอร์นั้นจะคล้ายกับกรณีของ Induction motor แต่ว่าทางฝั่งโรเตอร์นั้นจะใช้เป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) แทนที่จะเป็นตัวนำอลูมิเนียมในกรณีของ Induction motor ซึ่งส่งผลให้โรเตอร์ของ

ทั้งPMSM กับ DC brushless motor นั้นจะมีสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลาโดยที่ไม่จำเป็นต้องมีกระแสไหลในโรเตอร์ ทำให้ไม่มีค่าพลังงานสูญเสียจากความต้านทานในโรเตอร์ (Ohmic loss = I^2 x R) เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของทั้ง PMSM กับ DC brushless motorนั้นดีกว่า (ประมาณ 75%-90%)

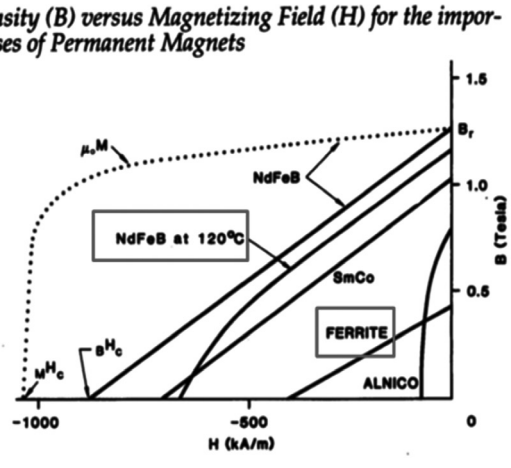


รูปที่13) โครงสร้างของPMSM กับ DC Brushless motor

ในแง่มุมด้านประสิทธิภาพนั้นทั้ง PMSM กับ DC brushless motorจะดีกว่า Induction มอเตอร์มาก ซึ่งเกิดจากการนำเอาแม่เหล็กถาวรมาใช้ในมอเตอร์ แต่ก็ต้องแลกกับการควบคุมมอเตอร์ที่ยุ่งยากขึ้น เนื่องจากต้องมีการรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของขั้วแม่เหล็ก (ตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้เมื่อเทียบกับตำแหน่งของขดลวด) เพื่อให้สามารถควบคุมมอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง (รายละเอียดเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์นั้นจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่4)

3.1) [เทคโนโลยีด้านแม่เหล็กถาวร]

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าแม่เหล็กถาวรเป็นหัวใจหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของ PMSM กับ DC brushless motor นั้นมีค่าสูง ดังนั้นชนิดของแม่เหล็กถาวรที่ถูกนำมาใช้ก็จะมีความสำคัญมากในตลาดของมอเตอร์ ณ ปัจจุบันจะมีแม่เหล็กถาวรที่สำคัญอยู่สองชนิดที่มักถูกใช้คือ Ferrite magnet กับ Rare Earth magnet โดยที่ Ferrite magnet จะมีส่วนผสมหลักเป็นเหล็กซึ่งทำให้มีราคาถูกแต่มีข้อเสียคือจะมีค่าสนามแม่เหล็กที่น้อย ส่วน Rare Earth magnet ชนิดที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นคือชนิด NdFeB magnet (Neodymium + Iron + Boron) ซึ่งจะมีค่าสนามแม่เหล็กที่สูงกว่า Ferrite magnet มาก ในรูปที่14) จะแสดงการค่า B-H curve ของแม่เหล็ก (B = Magnetic flux density, H = Magnetic flux intensity) ซึ่งยิ่งพื้นที่ของB-H curve ของแม่เหล็กมีขนาดใหญ่มากเท่าไหร่ก็แสดงถึงพลังงานที่เก็บในแม่เหล็กหรือค่าสนามแม่เหล็กที่มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งขนาดพื้นที่ B-H curve ของ NdFeB magnet จะมีมากกว่าของ Ferrite magnet อยู่หลายเท่า



รูปที่14) เปรียบเทียบ B-H curve ของ NdFeB magnet กับ Ferrite magnet

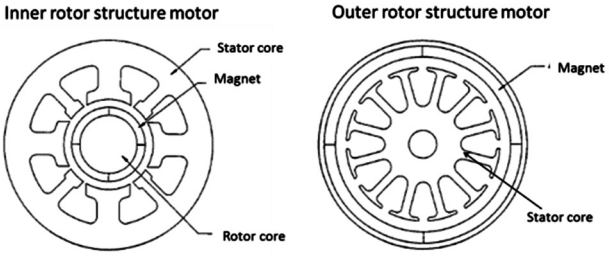
ด้วยการนำ NdFeB magnet มาใช้ในมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น, กำลังที่มากขึ้น รวมถึงขนาดมอเตอร์ที่เล็กลงได้ แต่ NdFeB magnet ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือส่วนผสมสำคัญของแม่เหล็กจะเป็นธาตุ Rare Earth อย่าง Nd (Neodymium) กับ Dy (Dysprosium) นั้นจะสามารถหาได้จากแค่ไม่กี่ประเทศเท่านั้น (กว่า 90% ของ Nd

กับ Dy นั้นถูกผลิตในประเทศจีน) ทำให้ราคาของ NdFeB magnet นั้นมีความผันผวนขึ้นกับสถานการณ์ทางการเมืองระหว่างประเทศเป็นอย่างมาก ทำให้มีผู้ผลิตมอเตอร์หลายๆรายกลับมาให้ความสำคัญกับการใช้ Ferrite magnet แทนมากขึ้น

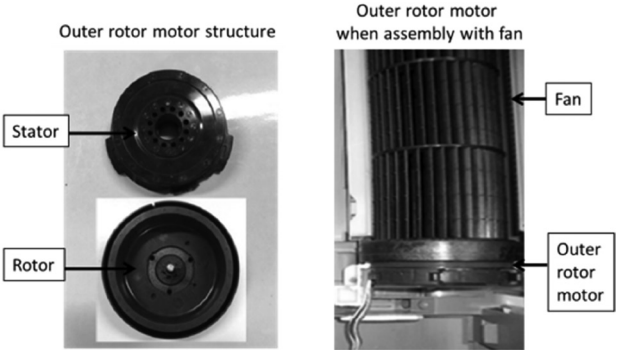
3.2) [เทคโนโลยีด้านโครงสร้างของมอเตอร์]

โครงสร้างของมอเตอร์ที่แสดงในรูป13) นั้นถือว่าเป็นโครงสร้างของมอเตอร์ที่ถูกใช้มากที่สุด ซึ่งโครงสร้างแบบนี้จะถูกเรียกว่าเป็นแบบ Radial Flux-Inner Rotor ซึ่งความหมายของ Radial Flux นั้นคือเส้นแรงแม่เหล็กมีการวิ่งในทิศทางของรัศมีวงกลม (วงกลมของสเตเตอร์และของโรเตอร์) ส่วนความหมายของคำว่า Inner rotor นั้นหมายถึงการที่ตัวโรเตอร์อยู่ข้างในตัวสเตเตอร์ (โรเตอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่าสเตเตอร์) แต่ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตมอเตอร์หลายรายที่ได้เริ่มมีการผลิตมอเตอร์โครงสร้างอื่นๆขึ้นมาใช้ในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งก็มีสองตัวอย่างที่สำคัญคือมอเตอร์ ชนิด Outer rotor motor กับมอเตอร์ชนิด Axial flux motor

ในกรณีของมอเตอร์ ชนิด Outer rotor นั้นเส้นแรงแม่เหล็กก็ยังวิ่งในทิศทางรัศมีของวงกลม (Radial) อยู่เพียงแต่โรเตอร์จะมาอยู่ข้างนอกสเตเตอร์แทนตามรูปที่ 16) (โรเตอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าสเตเตอร์) ข้อดีของมอเตอร์แบบนี้คือพื้นที่แม่เหล็กของโรเตอร์จะมีมากขึ้นทำให้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กในตัวแม่เหล็กให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การสั่นสะเทือนของมอเตอร์น้อยลง นอกจากนี้ค่าInertia (J) ของโรเตอร์ที่มากขึ้น (เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น) ก็จะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดที่มากขึ้น ในรูปที่17) แสดงตัวอย่างที่ใช้งานจริงของ Outer rotor motor ที่ใช้เป็นมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศส่วน Indoor unit เนื่องจากโครงสร้างที่โรเตอร์อยู่ข้างนอกสเตเตอร์ทำให้สามารถนำเอาแม่เหล็กโรเตอร์มาติดกับใบพัดได้โดยตรง ทำให้ขนาดโดยรวมของมอเตอร์กับใบพัดสามารถทำให้เล็กกว่ากรณีปกติ (กรณีที่ใช้ Inner rotor motor) ได้ถึง 30%



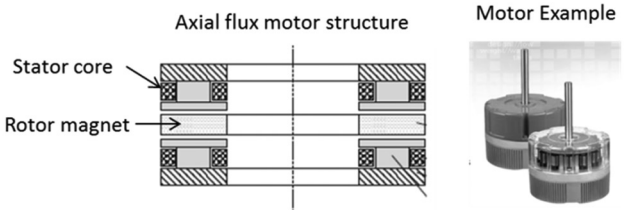
รูปที่16) เปรียบเทียบโครงสร้างของมอเตอร์แบบ Inner Rotor กับ Outer Rotor



รูปที่17) ตัวอย่างที่ใช้งานจริงของ Outer rotor motor ที่ใช้เป็นมอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศ

มีมอเตอร์โครงสร้างพิเศษอีกประเภทหนึ่งคือมอเตอร์แบบ Axial flux ซึ่งแสดงในรูปที่18) โดยมอเตอร์โครงสร้างประเภทนี้ตัวสเตเตอร์กับโรเตอร์จะไม่ได้เป็นวงกลมที่ซ้อนกัน แต่จะมีลักษณะเป็นแผ่นที่อยู่กันคนละระนาบ (layer) และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งในแนวดิ่ง (Axial direction) แทนที่จะวิ่งในแนวรัศมี (Radial direction) ข้อดีของมอเตอร์โครงสร้างประเภทนี้คือสามารถทำให้รูปร่างของ

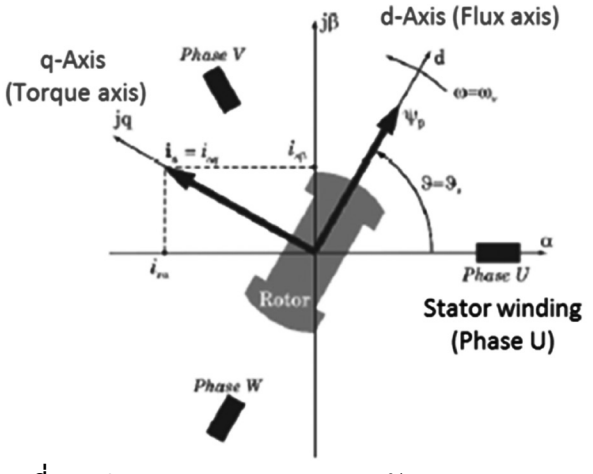
แม่เหล็กบางลงได้และสามารถใช้พื้นที่ของแม่เหล็กได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ด้วยโครงสร้างที่เป็นแบบสามมิติ (ในกรณี Radial flux motor นั้นถือว่าเป็นโครงสร้างแบบสองมิติ) ทำให้สามารถออกแบบแกนเหล็กสเตเตอร์ให้มีรูปร่างที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อสร้างคุณสมบัติใหม่ๆขึ้นมาได้ แต่ข้อเสียของมอเตอร์ประเภทนี้คือจะมีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากกว่าแบบปกติ



รูปที่18) มอเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบ Axial flux

4) [เทคโนโลยีด้านการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า] [7]-[9]

วิธีการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ PMSM นั้นจะใช้วิธีที่เรียกว่า Vector control เป็นหลัก ซึ่งวิธี Vector control นี้จะใช้หลักการตามที่แสดงในรูปที่ 19) โดยจะกำหนดแกนในการควบคุมมอเตอร์ออกเป็นสองแกนคือแกน d-axis (Direct axis) กับแกน q-axis (Quadrature axis) ซึ่งการควบคุมในแกน d-axis นั้นจะเป็นการควบคุมค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic flux) ในมอเตอร์ ส่วนการควบคุมในแกน q-axis นั้นจะเป็นการควบคุมแรงบิด (Torque) ของมอเตอร์ ซึ่งการที่แยกการควบคุมมอเตอร์ออกเป็นสองแกนนี้จะทำให้เราสามารถควบคุมสนามแม่เหล็กกับแรงบิดของมอเตอร์ได้อย่างอิสระต่อกัน ซึ่งส่งผลให้สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องที่ทุกเงื่อนไขโหลดการทำงานของมอเตอร์

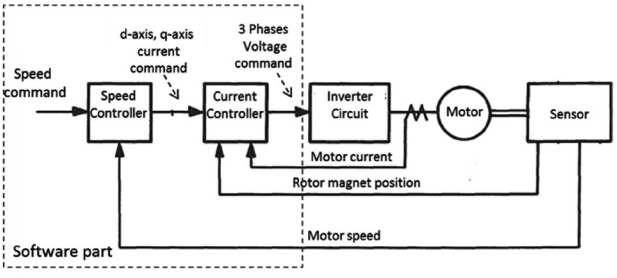


รูปที่19) นิยามของ d-q axis สำหรับVector control

อนึ่งการควบคุม DC brushless motor นั้นจะมีวิธีการที่แตกต่างออกไปจาก PMSM โดยจะใช้วิธี 120 Degree square wave controlแทน แต่เมื่อเทียบความสามารถในการควบคุมแล้วนั้นการควบคุมแบบ Vector control จะมีความสามารถที่สูงกว่ามาก ดังนั้นในบทความนี้จะขอกล่าวแต่เฉพาะเรื่องของ Vector control เท่านั้น

ระบบการควบคุมโดยอาศัยหลักการ Vector control นั้นจะแสดงตามรูปที่ 20) โดยจะเริ่มจากส่วนที่เป็น ส่วนที่ควบคุมความเร็ว (Speed controller) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วรอบที่ต้องการ (Speed command) กับค่าความเร็วมอเตอร์จริง ณ ขณะนั้น ผลต่างของค่าความเร็วที่ต้องการกับความเร็วจริงจะถูกส่งให้ Speed controller (ซึ่งมักจะใช้ตัว Controller แบบ PI controller (Proportional Integral)) เพื่อทำการคำนวนค่าแรงบิด (Torque) ที่ต้องการ หลังจากนั้นจะมีการคำนวนค่ากระแส d-axis กับค่ากระแส q-axis ที่ต้องการ โดยอาศัยหลักการของ Vector control หลังจากนั้นค่ากระแสที่ต้องการของแต่ละแกนก็จะถูกเปรียบเทียบกับค่ากระแสของจริง ก่อนที่ผลต่างจะถูกส่งให้ Current

controller (ซึ่งมักจะใช้ตัว Controller แบบ PI เหมือนกัน) ซึ่งตัวCurrent controller นี้ก็จะคำนวนค่าแรงดัน d-axis กับ q-axis ที่ต้องการ ก่อนที่ค่าเหล่านี้จะถูกส่งไปที่วงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อสร้างแรงดันนี้เพื่อจ่ายให้มอเตอร์ต่อไป



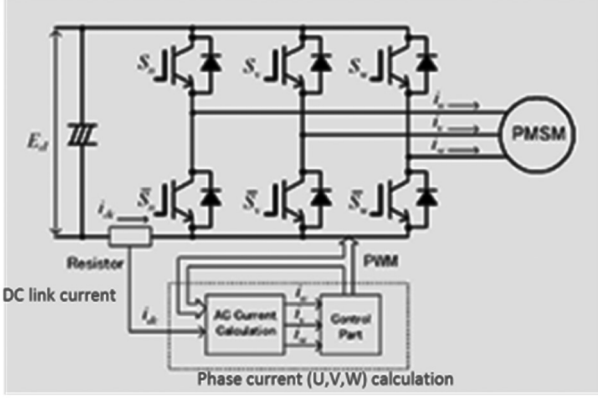
รูปที่20) ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

ในระบบควบคุมในรูปที่20) นั้นส่วนที่เป็นเส้นประจะเป็นส่วนการคำนวนโดย Software ที่อยู่ใน CPU ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ที่สร้างแรงดันจ่ายให้มอเตอร์นั้นก็คือวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่2)

4.1) [เทคโนโลยีด้าน Sensorless control]

ตามที่แสดงในระบบควบคุมในรูปที่ 20) นั้นพบว่าจำเป็นต้องมีข้อมูลการทำงานของมอเตอร์ถูกส่งกลับมาให้ระบบควบคุม (ซึ่งสั่งงานโดย CPU) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นก็มี ความเร็วรอบของมอเตอร์ (Motor speed), ตำแหน่งของโรเตอร์ (Rotor magnet position) กับค่ากระแสมอเตอร์ (Motor current) ซึ่งข้อมูลแต่ละอย่างนั้นก็ต้องอาศัยเซ็นเซอร์เพื่อทำการวัด แต่ในกรณีของคอมเพรซเซอร์มอเตอร์นั้นเป็นการยากมากที่จะติดเซ็นเซอร์ต่างๆ ไว้ข้างในคอมเพรซเซอร์เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในคอมเพรซเซอร์ (ทั้งความดันที่สูงหรือผลทางเคมีจากน้ำยาแอร์) นั้นสามารถทำให้เซ็นเซอร์ที่บอบบางเสียหายได้ ส่วนในกรณีมอเตอร์พัดลมนั้นถึงแม้ว่าในทางปฏิบัติแล้วสามารถติดเซ็นเซอร์ในตัวมอเตอร์ได้แต่เนื่องจากราคาเซ็นเซอร์ที่แพงเมื่อเทียบกับราคามอเตอร์แล้ว ทำให้การควบคุมมอเตอร์แบบไร้เซ็นเซอร์ (Sensorless control) นั้นเป็นที่ต้องการ

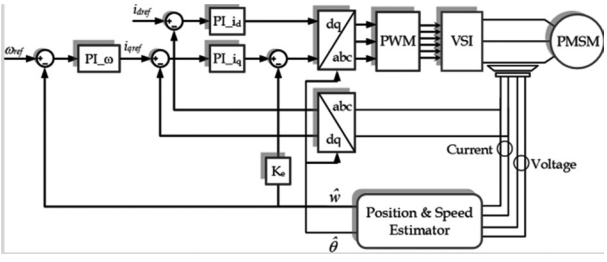
ในกรณีของค่ากระแสเฟสมอเตอร์ (U,V,W) นั้นแทนที่จะต้องใช้ CT (current transformer) ที่มีราคาแพงไปทำการวัดค่ากระแสเฟสมอเตอร์โดยตรง ก็จะอาศัยข้อมูลค่ากระแสตรง (DC link current) ที่ไหลในวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถทำการวัดได้ง่ายอยู่แล้วมาคำนวนกลับเป็นค่ากระแสเฟส (U,V,W) โดยอาศัยข้อมูลลำดับการON,OFF ของ IGBT แต่ละตัวตามวงจรการควบคุมในรูปที่ 21)



รูปที่21) การคำนวนค่ากระแสเฟส (U,V,W) โดยไม่ต้องใช้ current sensor

ส่วนการหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ (Motor speed) กับตำแหน่งของโรเตอร์ (Rotor magnet position) แทนที่ต้องใช้ Encoder ที่มีราคาแพงและบอบบางนั้น ก็จะสามารถทำการคำนวนหาค่าความเร็วมอเตอร์กับตำแหน่งของโรเตอร์โดยอาศัยค่าแรงดันกับกระแสของมอเตอร์ และทำการคำนวนโดยใช้ Position & Speed Estimator ตามที่แสดงในรูปที่ 22) โดย Estimator ตัวนี้จะเป็นการคำนวนโดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เพื่อหา

ข้อมูลของความเร็วมอเตอร์กับตำแหน่งของโรเตอร์ ซึ่งการควบคุมมอเตอร์โดยการใช้ค่าความเร็วมอเตอร์กับตำแหน่งของโรเตอร์ที่มาจากการคำนวนนั้นจะเรียกว่าเป็นการควบคุมแบบ Sensorless control

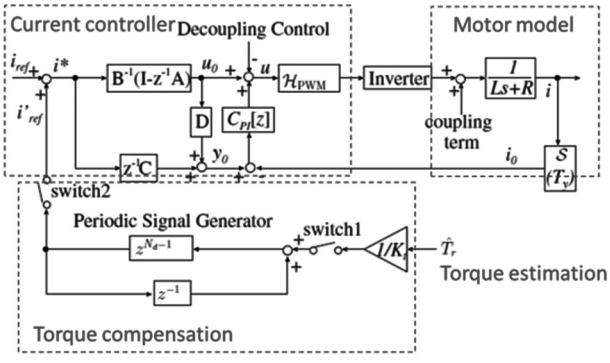


รูปที่22) ระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบ Sensorless control

4.2) [เทคโนโลยีด้านการควบคุมแรงบิด]

ในระบบควบคุมมอเตอร์แบบ Vector control ตามรูปที่ 20) นั้น หากเป็นมอเตอร์ที่ใช้งานกับโหลดปกติ ก็จะสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างราบเรียบไม่มีการแกว่ง (Fluctuate) ของค่าความเร็วรอบ แต่ในกรณีของโหลดคอมเพรซเซอร์นั้นเนื่องจากความไม่สมมาตรของโหลดต่อหนึ่งรอบการหมุน (ที่แต่ละตำแหน่งในการหมุนของคอมเพรซเซอร์จะเกิดโหลดหรือแรงบิดที่ต้องการไม่เท่ากัน) ซึ่งถ้าใช้วิธีการควบคุมปกติ(ที่ถือว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นในการหมุนหนึ่งรอบมีค่าเท่ากันทุกจุด) แล้วก็จะไม่สามารถลดการสั่นสะเทือนของคอมเพรซเซอร์ (โดยจะเกิดมากที่รอบต่ำ)ได้

ดังนั้นนอกจากระบบควบคุมในรูปที่20) แล้วนั้นยังต้องมีการเพิ่มการชดเชยแรงบิด (Torque compensation) ตามที่แสดงในรูปที่23) เข้ามาด้วย ซึ่งในส่วนชดเชยแรงบิดที่เพิ่มเข้ามานี้ จะมีการประมาณ (Estimate) ค่าแรงบิดที่แกว่ง (Fluctuate) ที่เกิดจากคอมเพรซเซอร์ ก่อนที่จะทำการคำนวนเพื่อหาค่ากระแสของมอเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อชดเชยค่าแรงบิดที่แกว่งนี้ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความสั่นสะเทือนของคอมเพรซเซอร์ลดลง



รูปที่23) ระบบควบมอเตอร์ที่มีการชดเชยแรงบิด

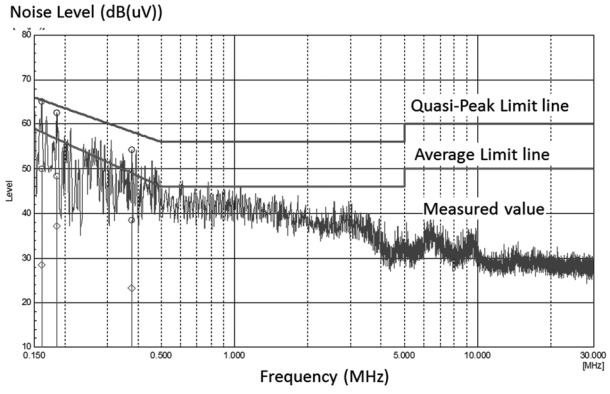
5) [เทคโนโลยีด้านEMC และ Harmonic] [10]–[12]

ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อข้างต้นแล้วว่าการใช้ระบบอินเวอร์เตอร์นั้นมีข้อดีต่างๆอย่างไร แต่ทว่าระบบอินเวอร์เตอร์นั้นก็ยังมีผลในอีกด้านหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสัญญาณรบกวนทั้งความถี่ต่ำ (Harmonic) และความถี่สูง (EMC) ได้

5.1) [เทคโนโลยีด้าน EMC]

เกี่ยวกับเรื่องสัญญาณรบกวนความถี่สูง (EMC : Electromagnetic Compatibility) นั้นเป็นการกังวลเกี่ยวกับว่าอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศของเรานั้นจะสร้างสัญญาณรบกวนความถี่สูง (ระดับ 150kHz-1GHz) ที่จะไปรบกวนระบบการทำงานของระบบวิทยุหรือโทรทัศน์หรือไม่ โดยในหลายๆภูมิภาคก็มีการสร้างมาตรฐาน EMC ของตัวเองขึ้นมา แต่มาตรฐานเกี่ยวกับ EMC ที่เกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้กันมากคือมาตรฐาน CISPR14-1 ซึ่งมีหลายประเทศในภูมิภาค Asia Oceania คือ ออสเตรเลีย, นิวซีแลนด์, เวียดนาม และไต้หวันได้นำมาปรับใช้เป็นมาตรฐานของประเทศตนแล้ว ตัวอย่างค่ากำหนด Limit line

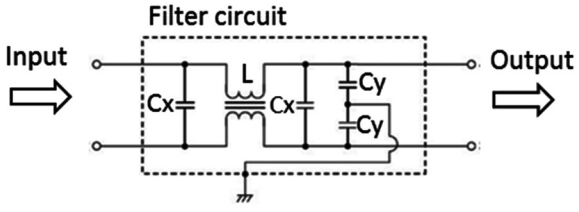
ของสัญญาณความถี่สูงที่ใช้ในการประเมินเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน CISPR14-1 นั้นแสดงในรูปที่24) ซึ่งค่าที่วัดได้จริงจะต้องไม่เกินเส้น Limit line นี้ถึงจะถือว่าผ่านมาตรฐาน



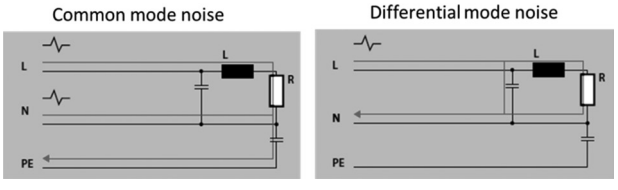
รูปที่24) EMC Limit line ตามมาตรฐาน CISPR14-1

ในกรณีของวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น ส่วนที่ทำให้เกิดสัญญาณความถี่สูงที่มีผลต่อ EMC ก็คือการ ON-OFF ของอุปกรณ์ IGBT ดังที่แสดงในรูปที่6) ซึ่งจะพบว่าทั้งแรงดันและกระแสของ IGBT ขณะที่ ON-OFF มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น (ระดับ micro second) ทำให้เกิดสัญญาณความถี่สูงขึ้นมาในปริมาณมากซึ่งจะส่งผลต่อเรื่อง EMC ได้

วิธีการลดสัญญาณรบกวนความถี่สูงนั้นจะใช้วงจรฟิลเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งใน PCB ของระบบอินเวอร์เตอร์ดังที่แสดงในรูปที่3) โดยรายละเอียดของวงจรฟิลเตอร์นี้ถูกแสดงตามรูปที่25) เนื่องจากชนิดของสัญญาณรบกวนความถี่สูงเมื่อแบ่งตามเส้นทางการไหลของสัญญาณรบกวนนั้นมีสองชนิด คือ Common mode noise กับ Differential mode noise ตามที่แสดงในรูปที่26) โดย Common mode noise เป็นสัญญาณรบกวนที่ไหลจากLineกับNeutral ไปที่ Ground, ส่วนสัญญาณ Differential mode noise นั้นเป็นสัญญาณรบกวนที่ไหลระหว่าง Line กับ Neutral อุปกรณ์ต่างๆในวงจรฟิลเตอร์ก็จะถูกออกแบบให้สามารถลดระดับของสัญญาณรบกวนแต่ละชนิดโดยหลักการแล้วยิ่งขนาดอุปกรณ์ที่ใช้มีค่ามากขึ้นจะสามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากขึ้นแต่ก็จะส่งผลต่อราคาและขนาดของแผงวงจรPCBด้วย นอกจากนี้ในกรณีของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรฟิลเตอร์หากมีค่ามากเกินไปจะทำให้มีค่ากระแสรั่วไหล (Leakage current) เกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้ได้

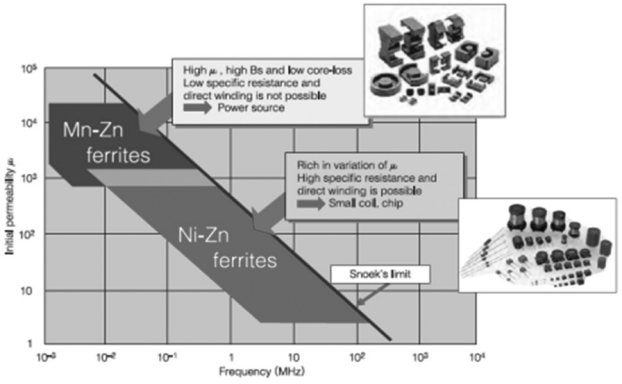


รูปที่25) ตัวอย่างวงจรฟิลเตอร์



รูปที่26) Common mode noise กับ Differential mode noise

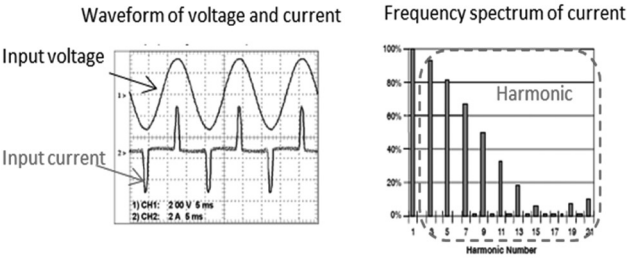
นอกจากวิธีการใช้วงจรฟิลเตอร์แล้วยังมีวิธีการใช้ Ferrite core ตามรูปที่27) ทำการคล้องสายไฟเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่ไหลในสายไฟนั้น ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถใส่ Ferrite core เพิ่มทีหลังในกรณีที่วงจรฟิลเตอร์ที่ออกแบบไม่สามารถลดระดับสัญญาณรบกวนได้ถึงระดับค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ โดยวิธีการเลือก Ferrite core ที่มาใส่เพิ่มก็ต้องพิจารณาจากคุณสมบัติทางความถี่ของ Ferrite core ตัวนั้นว่ามีค่า Impedance (ค่าความต้านทานเสมือน) ที่ความถี่ที่ต้องการลดระดับสัญญาณรบกวนเพียงพอหรือไม่ ตัวอย่างของคุณลักษณะทางความถี่ของ Ferrite core นั้นแสดงไว้ในรูปที่27)



รูปที่27) Ferrite core และค่าคุณลักษณะทางความถี่

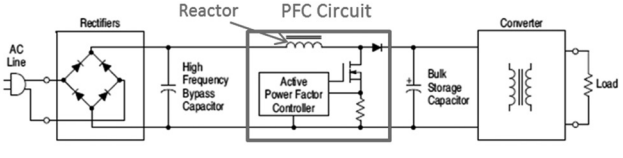
5.2) [เทคโนโลยีด้านฮาร์โมนิค]

นอกจากปัญหา EMC ที่เป็นสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงแล้ว วงจรอินเวอร์เตอร์ยังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคที่เป็นสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ (หลักหลาย 100Hz จนถึงหลัก kHz) ด้วยสาเหตุของสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิคนั้นเกิดจากการที่เวลาวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานนั้น จะมีการ Charge ประจุในตัวเก็บประจุของวงจรอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากการ Charge ประจุในตัวเก็บประจุนี้จะเกิดขึ้นเมื่อค่าแรงดันในตัวเก็บประจุมีค่าลดลงเท่านั้น ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุ (ซึ่งก็คือกระแสที่ไหลเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์) นั้นมีลักษณะแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าปกติที่เป็น Sine waveform ซึ่งมีแค่ความถี่เดียว (50Hz) นั้น, ค่ากระแสที่ไหลเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์จะประกอบด้วยหลายๆ ความถี่ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ 50Hz (ซึ่งเรียกว่าความถี่ฮาร์โมนิค) ดังที่แสดงในรูปที่28) การที่มีกระแสฮาร์โมนิคไหลเข้าเครื่องปรับอากาศในปริมาณมากนั้นจะส่งผลเสียต่อระบบของการไฟฟ้าที่ต้องจ่ายกระแสในปริมาณมากแต่ไม่ได้ก่อให้เกิดการใช้งานอย่างแท้จริงทำให้เกิดความสูญเสียในระบบของการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งมาตรฐานเกี่ยวกับฮาร์โมนิคที่ยอมรับกันโดยทั่วไปคือมาตรฐาน IEC61000-3-2

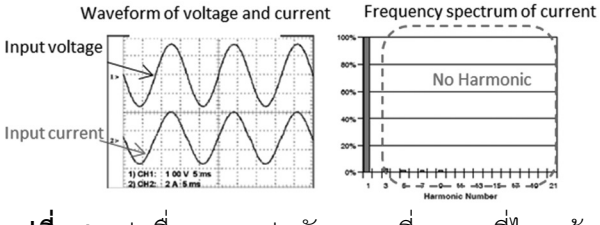


รูปที่28) รูปคลื่นและสเปคตัมความถี่กระแสที่ไหลเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีปริมาณฮาร์โมนิคสูง

วิธีการที่จะลดกระแสฮาร์โมนิคสามารถทำได้โดยใช้วงจร PFC (Power factor correction) ดังที่แสดงในรูปที่3) โดยรายละเอียดของวงจรPFC นี้จะเป็นตามที่แสดงในรูปที่ 29) หลักการของวงจร PFC คือจะมีตัวเหนี่ยวนำ (Reactor) เพื่อไว้ใช้เก็บพลังงานตอนที่ไม่มีกระแสไหลเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์ และพลังงานนี้จะถูกจ่ายให้วงจรอินเวอร์เตอร์ตอนที่มีกระแสไหลเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งส่งผลให้กระแสที่ไหลเข้าเครื่องปรับอากาศมีรูปคลื่นใกล้เคียง Sine wave มากขึ้นทำให้ปริมาณกระแสฮาร์โมนิคมีค่าลดลงได้ โดยมีรูปคลื่นกระแสและสเปคตรัมความถี่ตามที่แสดงในรูปที่30) ข้อเสียข้อหนึ่งของการใช้วงจร PFC คือต้องมีการใช้ตัวเหนี่ยวนำซึ่งมีขนาดใหญ่น้ำหนักมาก และราคาแพง



รูปที่29) วงจร PFC (Power factor correction)



รูปที่30) รูปคลื่นและสเปคตัมความถี่กระแสที่ไหลเข้าเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้วงจรPFC

[เอกสารอ้างอิง]

[1] B.K.Bose, “Modern Power Electronics and AC Drives”, Prentice Hall, 2001

[2] A.Hughes. “Electric Motor and Drives”, ELSEVIER, 2006

[3] W.H.Yeadon, “Handbook of Small Electric Motors”, McGraw Hill

[4] J.F.Gieras, R.J.Wang, M.J.Kamper, “Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines”, Springer, 2008

[5] http://www.imsolution.com.au/magnet-materials.html

[6] http://www.regalaustralia.com.au/mktg/marketing/pdfs/AirSystems/Fasco_imPresBro_Inside_updated_201309.pdf

[7] N.P.Quang, J.A.Dittrich, “Vector Control of Three-Phase AC Machines”, Springer

[8] D.Yousfi, A.Elbacha, A.A.Ouahman, “Efficient Sensorless PMSM Drive for Electric Vehicle Traction Systems”, (https://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations)

[9] K.Nakamura, H.Fujimoto, M.Fujitsuna, “Torque Ripple Suppression Control for PM Motor with Current Control Based on PTC”, IPEC2010 Singapore

[10] Schaffner, “Basic in EMC/EMI and Power Quality”, 2013 (https://www.schaffner.com/fileadmin/media/downloads/brochure/Schaffner_Brochure_Basics_in_EMC_and_power_quality.pdf)

[11] TDK EMC Technology, “Guide Book for EMC”, (https://product.tdk.com/info/en/products/emc/guidebook/index.html)

[12] On Semiconductor, “Power Factor Correction (PFC) Handbook”, 2014, (http://www.onsemi.com/pub/Collateral/HBD853-D.PDF)