

รูปแบบใหม่ของการเรียกดีไฟร์สำหรับ AC Drives by Active Front End

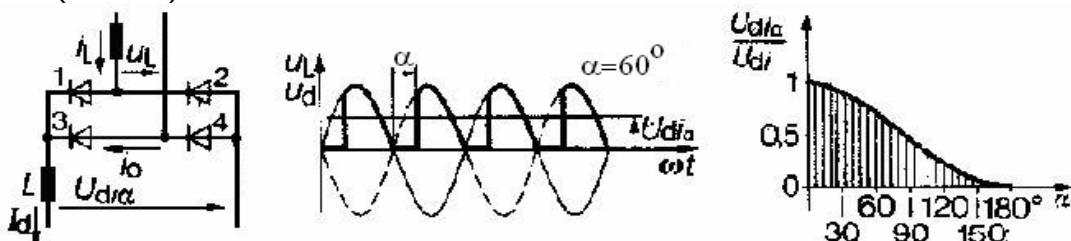
ในอดีตวงจรภาคกำลังที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือที่มีชื่อเรียกว่า วงจรภาคเรียกดีไฟร์เออร์ ของระบบ AC variable speed drive นั้นจะมีวงจรบริดจ์ที่ใช้ไทรสเตอร์ประเภทไดโอด ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าเฟสเดียวจะใช้ไดโอดต่อแบบบริดจ์ 4 ตัว

เนื่องจากชุดควบคุมความเร็วรอบ VSD จำเป็นที่จะต้องปรับ V/F ให้คงที่ด้วยการปรับความถี่ (Frequency) โดยปรับที่ภาคอินเวอร์เตอร์ ส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ขาออกของ VSD สามารถปรับได้จากภาคเรียกดีไฟร์เออร์ โดยใช้วิธีการปรับแรงดันที่ DC Link ทำให้ชุดเรียกดีไฟร์เออร์ในสมัยก่อน จำเป็นจะต้องใช้วงจรบริดจ์ที่ใช้ไทรสเตอร์ประเภท SCR เพื่อให้สามารถควบคุมมุมของการนำกระแส เพื่อให้สามารถปรับแรงดันที่ DC Link ได้

การต่อแบบบริดจ์หรือ Double-way connections มีลักษณะพิเศษ คือไม่จำเป็นต้องมีจุดนิวทรัลที่เป็นจุดกลางของแหล่งจ่าย (neutral point) และสามารถทำงานได้โดยตรงโดยต่อเข้ากับสายไฟ โดยไม่จำเป็นต้องต่อผ่านหม้อแปลงก่อน การต่อแบบบริดจ์ 1 เฟส หรือจะเรียกว่า การต่อแบบบริดจ์ฟิลล์สคูล์ หรือ B2 จะถูกใช้ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีกำลังไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ โดยแบ่งการเรียกดีไฟร์เออร์ออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. ชนิดที่ไม่สามารถถูกควบคุมได้ใช้ไดโอด 4 ตัว

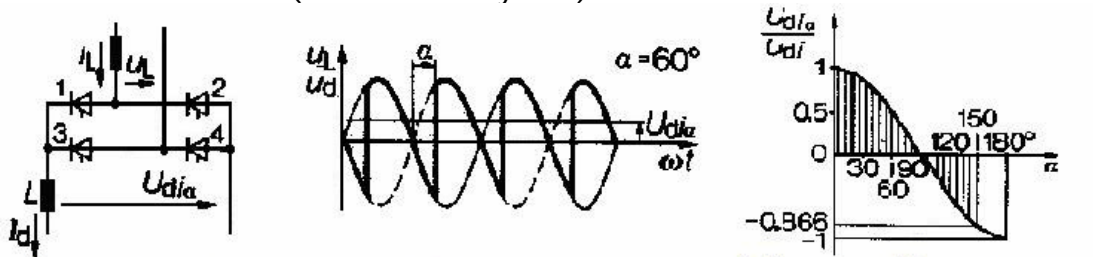
2. ชนิดที่ควบคุมได้ครึ่งเดียว (B2_{Half}) ดังรูปที่ 1 จะใช้ไดโอด 2 ตัวและ SCR 2 ตัว ชนิดนี้จะถูกใช้ในระบบขับเคลื่อนแบบ Single quadrant ซึ่งทิศของทอร์คจะมีเพียงทางเดียว แรงดันไฟสามารถปรับได้ตั้งแต่ U_{di} ถึงศูนย์ ในช่วงที่แรงดันเป็นศูนย์ ไดโอดตัวที่ 3 และตัวที่ 4 จะทำหน้าที่เป็นกึ่งเบี่ยงเสรี (Free-wheeling arm) ซึ่งจะนำกระแสในช่วงนี้ ดังนั้นจะไม่เป็นการไหลกลับของไทรสเตอร์ทั้งสองตัว ชนิดนี้จะไม่สามารถทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ได้



a) แผนผังวงจร Circuit diagram b) เส้นโค้งของแรงดัน Voltage curve c) คุณลักษณะของการควบคุม Control characteristic

รูปที่ 1 การต่อแบบ B2 ชนิดที่ถูกควบคุมได้ครึ่งเดียว B2H (Half-controlled)

3. ชนิดที่ถูกควบคุมได้อย่างเต็มที่ (B2C) ใช้ไทรสเตอร์ 4 ตัว ชนิดนี้จะถูกใช้ในระบบขับเคลื่อนแบบหลายควอดแรนต์ (Multi-quadrant operation) นั่นคือ สามารถทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ ถ่ายเทพลังงานย้อนกลับได้ แต่จะไม่สามารถให้ค่าเต็มของ $-U_{di}$ ได้ในย่านอินเวอร์เตอร์ (Inverter range) เนื่องจากขีดจำกัดด้านเสถียรภาพของอินเวอร์เตอร์ (Inverter stability limit)

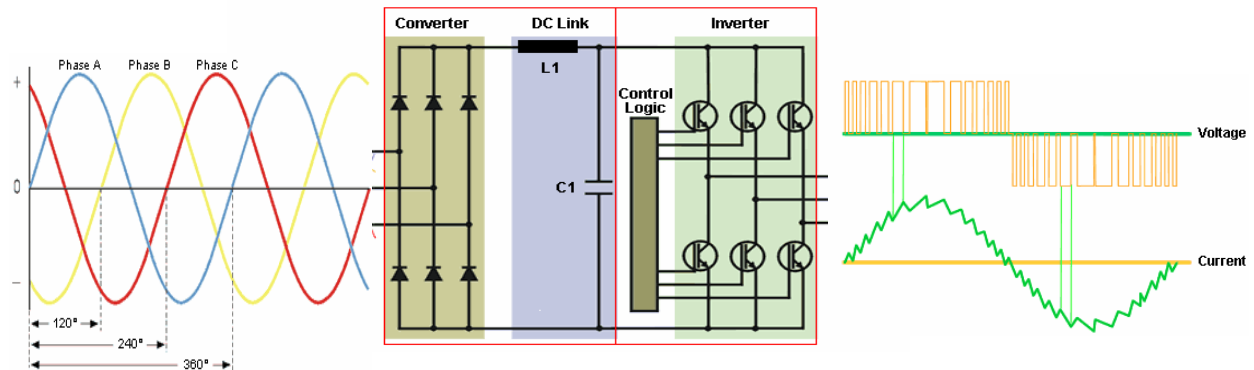


a) แผนผังวงจร Circuit diagram b) เส้นโค้งของแรงดัน Voltage curve c) ลักษณะสมบัติของการควบคุม Control characteristic

รูปที่ 2 การต่อแบบ B2 ชนิดที่ถูกควบคุมได้อย่างเต็มที่ B2C (Fully-controlled)

เมื่อมอเตอร์มีขนาดใหญ่มากขึ้น ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ก็ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้นไปตามขนาดมอเตอร์ ระบบไฟฟ้าก็เปลี่ยนจากเฟสเดียว เป็นระบบไฟฟ้าสามเฟส ดังนั้นการต่อบริดจ์แบบชนิด 3 เฟส หรือ B6 เพื่อใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟสจะใช้ SCR หรือ ไดโอด ต่อแบบบริดจ์ 6 ตัว เราจึงเรียกว่าการเรกติไฟร์เออร์แบบนี้ว่า ระบบ 6 พัลส์

จากการพัฒนา PWM inverter ขึ้นมา ทำให้การปรับแรงดันไฟฟ้า rms สามารถทำได้โดยการปรับย่านความกว้างและจังหวะในการสวิตชิง จึงไม่จำเป็นต้องไปที่ภาคเรกติไฟร์เออร์จะต้องเป็น SCR จึงได้เปลี่ยนไปใช้ไดโอดแทน ซึ่งมีข้อดีในส่วนที่เราไม่ต้องสนใจที่จะต้องไปควบคุมภาคเรกติไฟร์เออร์ แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของการที่พลังงานไหลได้ทิศทางเดียว ดังนั้นเมื่อเราต้องการเบรก หรือต้องการคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่าย ระบบจะต้องถูกออกแบบเพิ่ม เช่น ถ้าต้องการเบรกโดยไม่คืนพลังงานให้กับระบบ เราก็จะต้องหาความต้านทานมาต่อที่ภาค DC link แต่ถ้าต้องการคืนพลังงานให้ระบบ เราก็ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ภาคเรกติไฟร์เออร์จากไดโอดกลับมาเป็น SCR เช่นเดิม และจะต้องใช้วงจรบริดจ์ SCR ต่อแบบ anti-parallel กันสองชุด ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองอุปกรณ์และกำลังสูญเสียสูงมากขึ้น

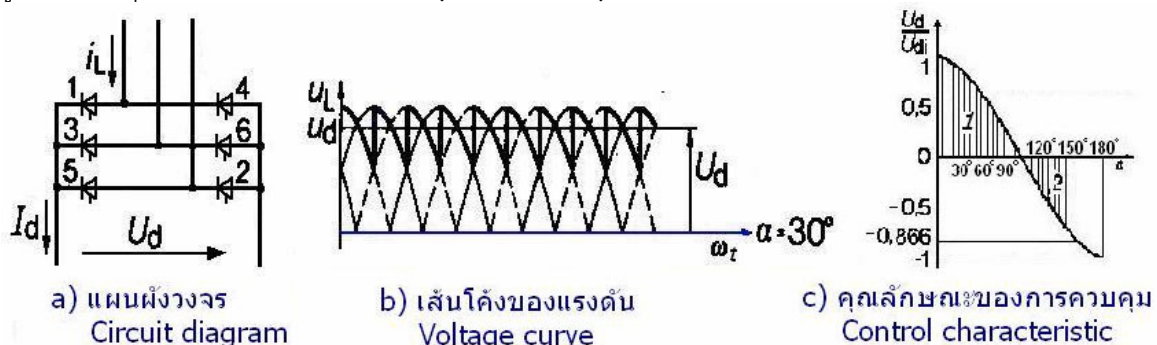


รูปที่ 3 พื้นฐานวงจรไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์แบบ 6 Pulse diode rectifiers

ตามรูปที่3 ซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบ Voltage Source, PWM ระบบไฟฟ้าสามเฟส จากแหล่งจ่าย จะผ่านการกรองรูปคลื่นด้วยชุดไดโอดเรกติไฟร์ แปลงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็น ไฟฟ้ากระแสตรง (AC→DC) เรียกว่า "Voltage DC Link" ประกอบไปด้วยคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ต่อขนาน บางครั้งอาจจะมี อินดักเตนซ์ต่ออนุกรมเพื่อลด di/dt พลังงานจะถูกเก็บไว้ที่คาปาซิเตอร์ที่ DC Link โดย คาปาซิเตอร์ทำหน้าที่กรองรูปคลื่นให้เรียบมากขึ้น ไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกชุดอินเวอร์เตอร์สวิตชิงให้เกิดย่านความถี่ต่างๆ โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดคงที่ตามค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านการเรกติไฟร์แล้ว ความถี่ที่สวิตชิง อาจจะถูกวางหรือแคบในแต่ละช่วงจังหวะ จะเป็นไปตามรูปแบบ PWM การปรับความถี่ หรือการปรับแรงดันไฟฟ้า rms สามารถทำได้โดยการปรับย่านความกว้างและจังหวะในการสวิตชิง

เรกติไฟร์เออร์แบบ 6 พัลส์

การเรกติไฟร์เออร์แบบ 6 พัลส์ โดยใช้ไดโอด หรือ SCR ต่อแบบบริดจ์ 6 ตัว ดังรูปที่ 4 จะทำหน้าที่ เรียงรูปคลื่นท่ามุมห่างกัน 60° ทางไฟฟ้า ($360^\circ/6=60^\circ$) เราจึงเรียกการเรกติไฟร์เออร์แบบ 6 พัลส์

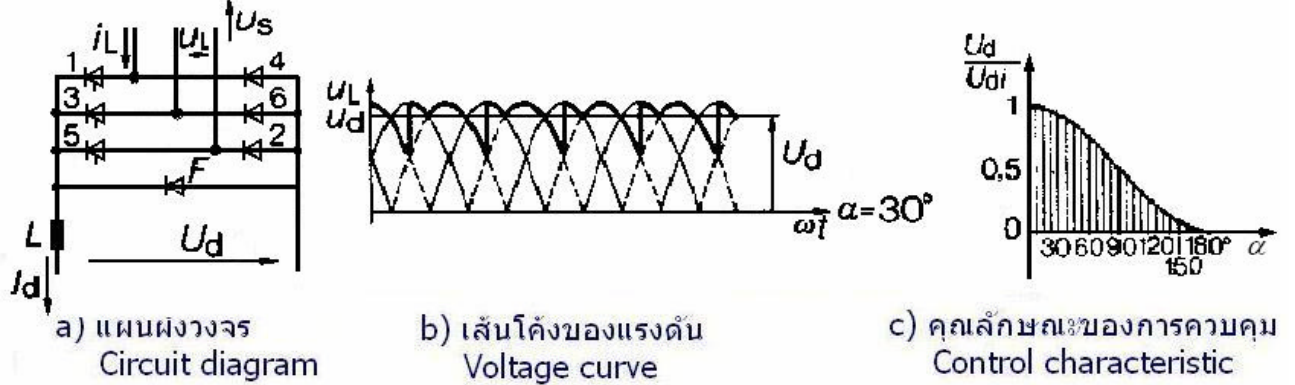


รูปที่ 4 การต่อแบบ 6 พัลส์ ชนิดที่ถูกควบคุมได้อย่างเต็มที่ B6C (Fully-controlled)

การต่อแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ คือวงจร B6C ที่ถูกควบคุมได้อย่างเต็มที่ (Fully-controlled B6C) ซึ่งจะใช้ไทรสเตอร์ 6 ตัว สามารถทำงานเรกติไฟร์เออร์ (Rectifier) หรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ก็ได้

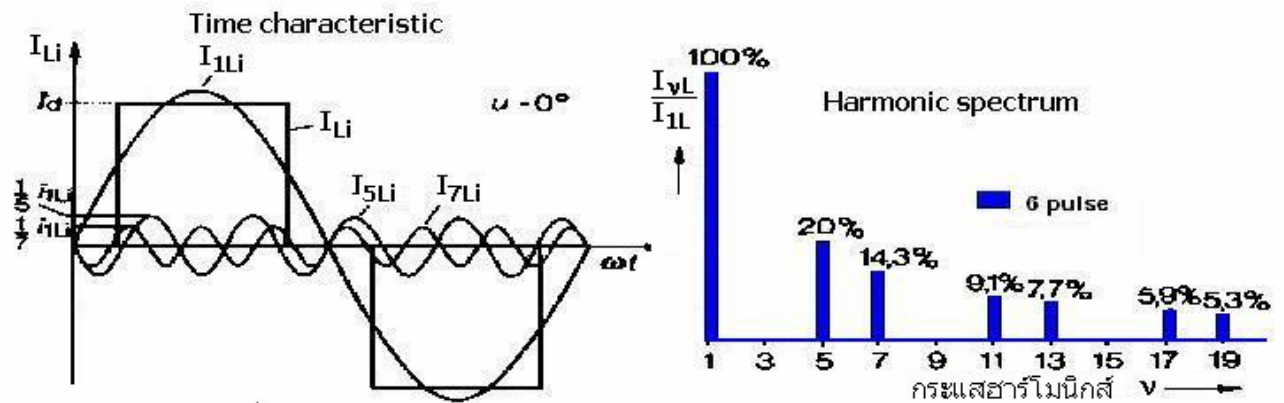
ในกรณีที่ต้องการประหยัด SCR สามารถใช้ไดโอด 3 ตัวกับไทรสเตอร์ 3 ตัวก็ได้ถ้าไม่ต้องการทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ในกรณีนี้จะมีกิ่งเบี่ยงเสริซึ่งจะนำกระแสในช่วงที่แรงดันเป็นศูนย์เมื่อทำงานโดยกำหนด

มุมประวิงมีค่าสูง วงจรนี้จะถูกเรียกย่อๆว่า B6H โดยสามารถปรับแรงดันไฟตรงได้จาก U_{di} ไปถึงค่าศูนย์ อย่างไรก็ตามการกระเพื่อมของกระแส (Current ripple) ของวงจร B6H จะมากกว่าวงจร B6C



รูปที่ 5 การต่อแบบ B6 ชนิดควบคุมครึ่งเดียว ที่มีกึ่งเบี่ยงเสรี (Half-controlled, B6H)

ตามสูตรฮาร์โมนิกส์จะขึ้นอยู่กับจำนวนพัลส์ Pulse ของวงจรเรกติไฟร์เออร์ ดังสูตร $v = p.k \pm 1$, $k=1,2,3...$ ในทางอุดมคติเรกติไฟร์เออร์แบบ 6 พัลส์ จะไม่มีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่หารด้วย 3 ลงตัว คือ 3, 6, 9, 12, 15... แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้า หรือกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ได้อาจจะมีการรบกวนอันเนื่องมาจากการแรงดันไฟฟ้าเฟสไม่สมดุลย์ หรือไม่สมมาตรกัน 100% ทางไฟฟ้า (Voltage Overlap) และอาจจะมีค่าความเหนี่ยวนำรั่ว (Leakage inductance) และอาจจะมีการโมดูเลตจากอุปกรณ์ภายนอก หรือฮาร์โมนิกส์ของอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้าแหล่งเดียวกันได้



กระแสฮาร์โมนิกส์ $v = 6k \pm 1 (k=1,2,3...)$
กระแสฮาร์โมนิกส์ชั่วขณะ $I_{vLi} = \frac{1}{v} \cdot I_{1Li}$

Systems current of B6C, ideal values

รูปที่ 6 แสดงกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุด ในทางอุดมคติของวงจรบริดจ์ 3 เฟส (B6C)

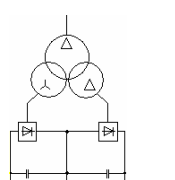
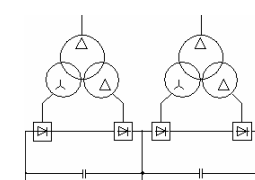
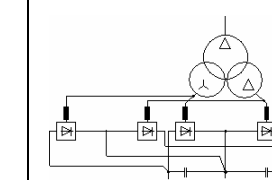
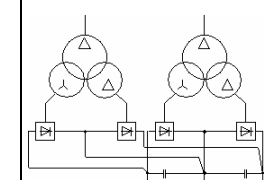
ยกตัวอย่างรูปจักรยานล้อหกเหลี่ยมด้านซ้ายมือ เปรียบเสมือนชุดเรกติไฟร์เออร์แบบ 6 pulse การขี่รถจักรยานที่มีล้อเป็น 6 เหลี่ยม ย่อมไม่ราบเรียบเหมือนล้อวงกลมแน่ๆ ย่อมจะมีการสั่นสะเทือนที่คนขี่ ซึ่งเปรียบเสมือน ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า วิธีการแก้การสั่นสะเทือนจากวงล้อหกเหลี่ยม โดยการติดตั้งโช้กที่คนขี่ เพื่อดูดซับแรงกระแทกที่เบาๆ จักรยาน หรือเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้า ก็สามารถติดตั้ง (Reactor) ที่แหล่งจ่ายเพื่อลดฮาร์โมนิกส์ได้เช่นเดียวกัน

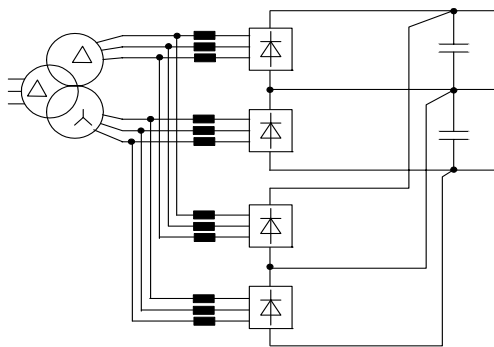


วิธีการลดฮาร์โมนิกส์อีกวิธีหนึ่งคือ ทำวงล้อจักรยานให้มีลักษณะเข้าใกล้วงกลมมากที่สุด ดังตัวอย่างรูปจักรยานล้อ 12 เหลี่ยม ย่อมจะราบเรียบ และมีแรงสั่นสะเทือนที่คนขี้น้อยกว่าจักรยาน ที่มีวงล้อแบบหกเหลี่ยมแน่ๆ ในทำนองเดียวกัน ชุดเรกติไฟร์เออร์แบบ 12, 18, 24 pulse ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ก็ย่อมจะน้อยกว่า ชุดเรกติไฟร์เออร์แบบ 6 pulse เป็นธรรมดา นอกเหนือจากนั้น ยังต้องมีหม้อแปลงต่อก่อนเข้าสู่ชุดเรกติไฟร์เออร์ ซึ่งเปรียบเสมือนจักรยานที่มีโช้กติดมาด้วย ทำให้ในทางปฏิบัติระบบเรกติไฟร์เออร์แบบ 12, 18, 24 pulse จะมีค่าฮาร์โมนิกส์ดีสทอร์ชันต่ำกว่าแบบ 6 pulse มาก

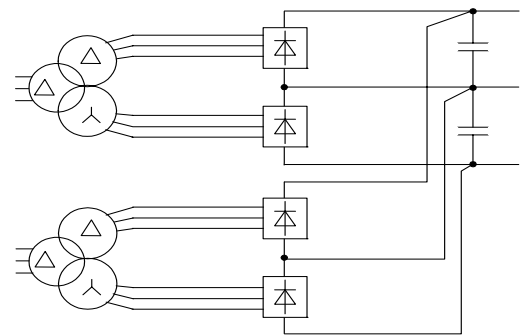
เร็กติไฟเออร์แบบ 12, 18, 24 พัลส์

เร็กติไฟเออร์แบบ 12 พัลส์ เป็นการนำเอาเร็กติไฟเออร์แบบ 6 พัลส์ 2 ชุดมาต่อใช้งานร่วมกัน โดยต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าคนละชุดที่ต่อไม่เหมือนกัน คือ Y-Y และ Y-Delta เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีมุมแตกต่างกัน 30° ทางไฟฟ้า การต่อเช่นนี้จะทำให้ลดฮาร์โมนิกส์คงเหลือเพียงฮาร์โมนิกส์ที่ $12k \pm 1$ เมื่อ $k=1, 2, 3...$ นั่นคือฮาร์โมนิกส์จะคงเหลือเพียงลำดับที่ 11, 13, 23, 25... เท่านั้น ส่วนฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ $6k \pm 1$ เมื่อ k เป็นเลขคี่ หรือฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5, 7, 17, 19... จะถูกหม้อแปลงที่ต่อแบบ Dy5 Dd0 หักล้างกันเองทางไฟฟ้าภายในหม้อแปลง ซึ่งทำหน้าที่แยกระบบไฟฟ้าจาก 3 เฟสทางไฟฟ้าเป็น 6 เฟสทางไฟฟ้า (3 เฟสมีมุมห่างกัน 120° ทางไฟฟ้า 6 เฟสในความหมายของผู้เขียนหมายถึงมุมทางไฟฟ้าของรูปคลื่นห่างกัน 60° ทางไฟฟ้า) ส่วนเร็กติไฟเออร์แบบ 18, 24 พัลส์ ก็มีหลักการทำงาน เหมือนกันกับแบบ 12 พัลส์ ดังตาราง และวงจรการต่อ ดังต่อไปนี้

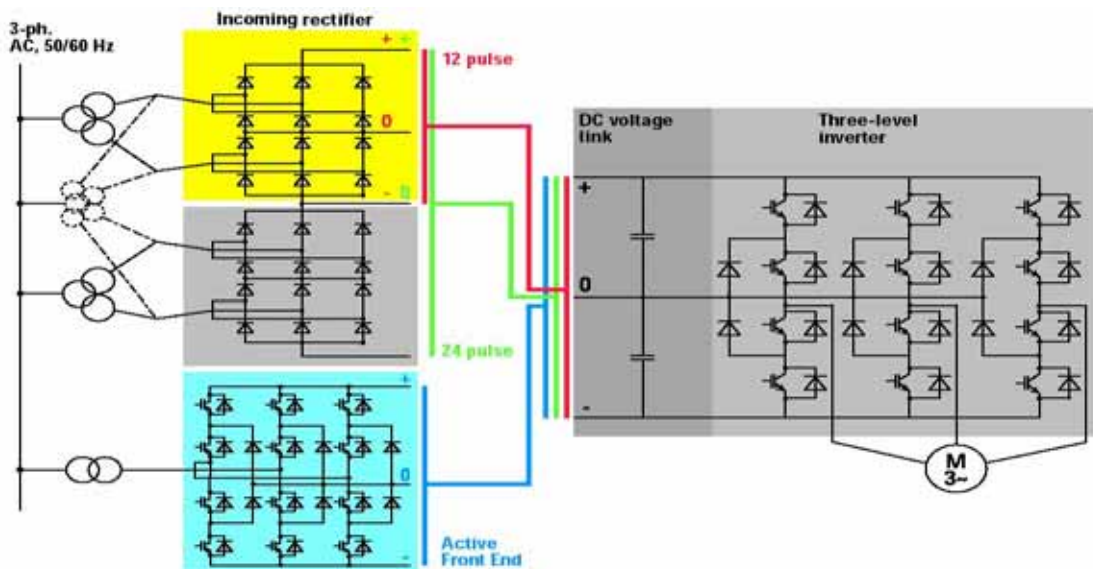
In feed	12-pulse	24-pulse	12-pulse*	12-pulse or 24-pulse*
In feed via	1 Three-winding transformer	2 Three-winding transformers	1 Three-winding transformer and commutating reactors	2 Three-winding transformers
Principle diagram				
Transformer Vector group	Dy5 Dd0	Dy5 Dd0 (+7.5° phase shift) Dy5 Dd0 (-7.5° phase shift)	Dy5 Dd0	Dy5 Dd0 (+7.5° rotation) Dy5 Dd0 (-7.5° rotation)



รูปที่ 7 แสดง การต่อขนานภาคเร็กติไฟเออร์แบบ 12 พัลส์ ด้วยหม้อแปลง พร้อมตัวรีเอ็กเตอร์



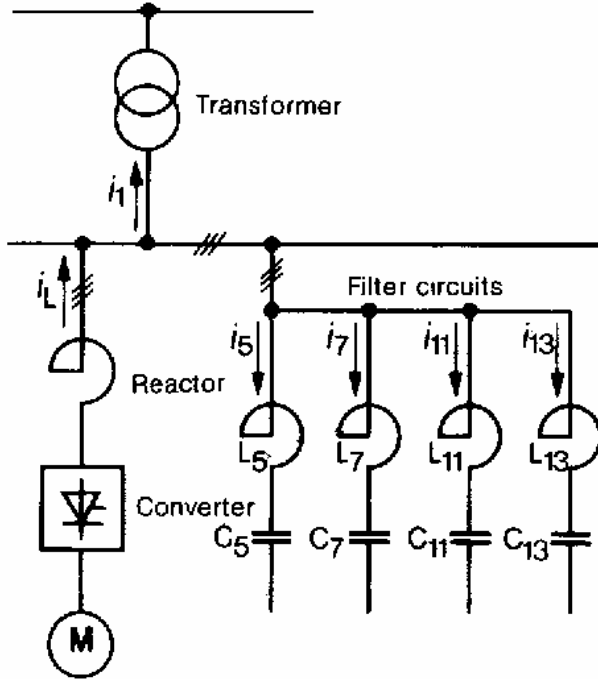
รูปที่ 8 แสดง การต่อภาคเร็กติไฟเออร์แบบ 24 พัลส์ ด้วยการเลื่อนมุมเฟสที่หม้อแปลงต่างกัน 7.5°



รูปที่ 9 แสดงเปรียบเทียบ การต่อภาคเร็กติไฟเออร์ แบบ 12, 24 พัลส์ และ AFE

การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ (Harmonic suppression)

เพื่อแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ ที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ ย้อนเข้าไปในระบบส่งจ่าย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถทำได้โดยใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์ (Passive filter circuits) หรืออาจเรียกว่าตัวดูดซับฮาร์โมนิกส์ (Harmonic absorbers) จะประกอบไปด้วยรีแอคเตอร์และตัวเก็บประจุ (capacitor) ที่ต่อกันแบบอนุกรมและถูกหาค่าโดยให้ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ



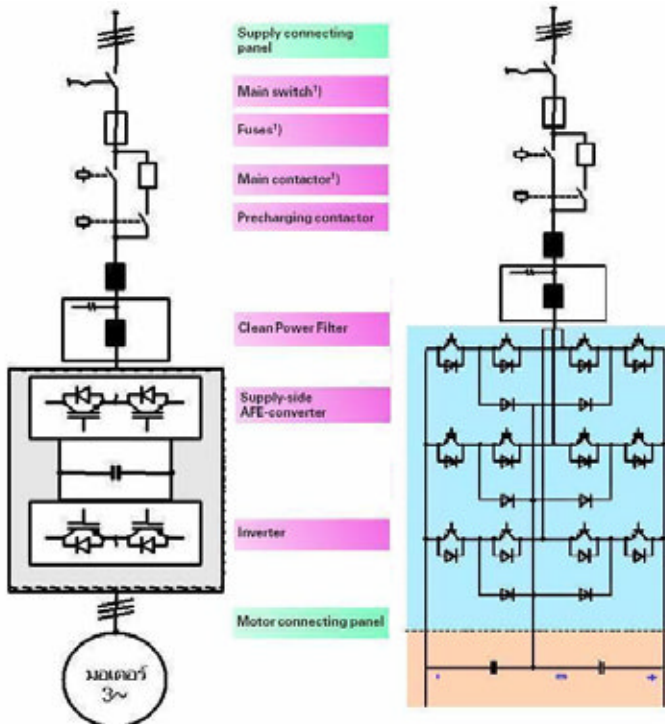
ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่จะถูกแก้ปัญหา เช่น รูปที่ 10 ต้องการแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่ 5, 7, 11, 13 เป็นต้น

สำหรับฮาร์โมนิกส์ของกระแส นั้น วงจรกรอง จะทำตัวเป็นการลัดวงจรซึ่งยอมให้กระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งถูกสร้างโดยคอนเวอร์เตอร์ผ่าน หรือวิธีการลดฮาร์โมนิกส์ลำดับต่ำๆ อาจจะใช้วงจรเรกติไฟร์เออร์ที่มีจำนวนพัลส์สูงขึ้น จำนวนพัลส์ที่สูงขึ้น โดยการต่อเรกติไฟร์เออร์ขนานกันซึ่งขดของหม้อแปลงมีมุมของวงจรที่ต่างกัน กล่าวแบบเจาะจงยิ่งขึ้น คือ เครื่องแปลงผัน 2 เครื่องที่ต่อแบบบริดจ์ 3 เฟสถูกต่อกับขดทุติยภูมิ 2 ขดของหม้อแปลงตัวเดียวกัน ขดทุติยภูมิอันหนึ่งถูกต่อแบบสตาร์และอีกอันหนึ่งถูกต่อแบบเดลต้า ทำให้มุมของวงจรเป็น 30 องศา เนื่องจากค่าชั่วขณะของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 และ 7 เท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน ดังนั้นพวกมันจะหักล้างกันและกัน ทำให้หายไปเอง

รูปที่ 10 แสดงวงจรกรอง หรือแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ ของระบบส่งจ่าย (Arrangement of converter and filter circuits on the supply system)

ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ในปัจจุบัน ได้มีการคิดค้นวงจรภาคเรกติไฟร์เออร์ในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า Active Front End (AFE) ขึ้นมา เพื่อชดเชยข้อบกพร่องต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีลักษณะของวงจรภาคกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 11

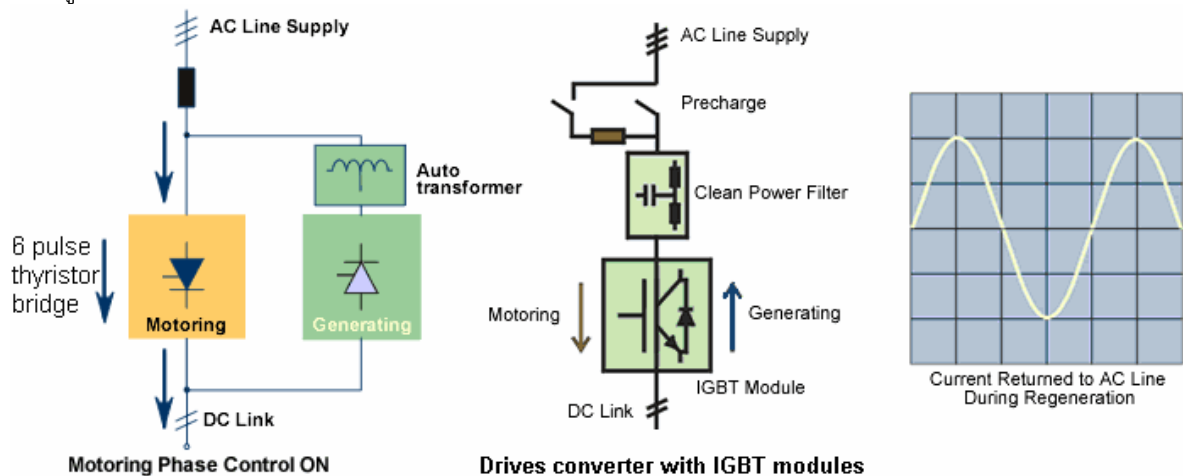
ลักษณะของวงจรดังกล่าว จะใช้ IGBT ร่วมกับ Free Wheeling diode มาต่อเป็นชุดวงจรบริดจ์ แทนไดโอด หรือ SCR ผลจากการที่เราสามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้อย่างง่ายโดยการ switch on และ off และควบคุมได้ทุกช่วงเวลา ทำให้เราสามารถควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานได้อย่างอิสระ โดยไม่มีข้อจำกัดของตัวอุปกรณ์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังเช่นในกรณีของไดโอด และ SCR นอกจากนี้แล้ว ความอิสระในการควบคุมการทำงานของ IGBT ยังก่อให้เกิดผลดีต่อเนื่องขึ้นอีกหลายประการ เช่น สามารถควบคุมให้กระแสที่ไหลเข้าและออกมีความเป็นคลื่นรูปไซน์ได้อย่างสมบูรณ์ สามารถควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งในแบบที่ทำให้เกิดเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนำหน้า, ล้าหลัง หรือเป็น unity, จ่าย reactive power ให้กับระบบข้างเดียวได้, ทำงานได้แม้ว่าแหล่งจ่ายแรงดันจะมีเสถียรภาพต่ำเช่นไฟตก, ไฟกระเพื่อม ฯลฯ ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของประโยชน์ในแต่ละด้านต่อไป



รูปที่ 11 แสดงลักษณะแวงจรภาคกำลัง ของเรกติไฟร์เออร์แบบ AFE

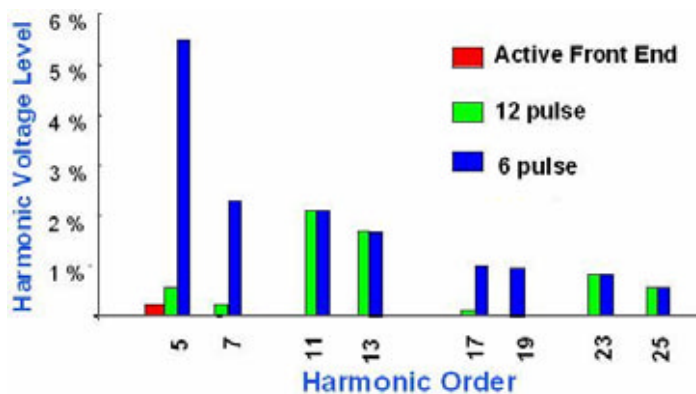
AFE กับการกำจัด ฮาร์โมนิกส์ของกระแสด้าน Input

ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้นว่า เราสามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้อย่างอิสระตามที่ต้องการ ทำให้สามารถควบคุมการ switch on-off ของ IGBT จนได้รูปร่างของกระแสด้านขาเข้า (input current) ที่ใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มาก เมื่อทำงานร่วมกับ input filter อีกชุดหนึ่ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องออกแบบให้ซับซ้อนมากนัก กระแสด้านขาเข้าก็จะมีรูปร่างที่เรียกได้ว่าเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์แบบ คุณสมบัติในข้อนี้จะทำได้ทั้งในกรณีที่ทำงานในโหมด motoring และ generating กล่าวคือ ทั้งรับพลังงานจากแหล่งจ่ายเข้าระบบ และจ่ายพลังงานจากระบบให้แหล่งจ่าย ดังรูปที่ 12 เป็นการแสดงให้เห็นข้อแตกต่างของกระแสด้านขาเข้าที่เกิดจากวงจรทั่วไป (conventional rectifier circuit) และกระแสด้านขาเข้าที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนภาคเรกติไฟร์เออร์มาเป็น AFE จากรูปจะเห็นได้ว่าในกรณีของภาคเรกติไฟร์เออร์แบบปกติ นั้น หากจะให้สามารถทำงานได้ทั้ง 4 quadrant นั้น จะต้องมียังวงจรบริดจ์ SCR ถึงสองชุด นอกจากนี้ยังจะต้องมีโอโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ และรีแอคเตอร์ เพื่อปรับระดับแรงดันให้เหมาะกับแหล่งจ่าย และกรองฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากระบบ ส่งผลทำให้ต้องเสียพื้นที่ค่อนข้างมาก สำหรับอุปกรณ์เหล่านี้ นอกจากนั้นแล้วกำลังสูญเสียก็จะมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามถึงจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่มากมายขนาดนี้ วงจรเรกติไฟร์เออร์แบบปกติทั่วไป ก็ยังไม่สามารถกำจัดฮาร์โมนิกส์ให้หมดไปได้ ในขณะที่ AFE ซึ่งก็มีเพียงแค่วงจรบริดจ์ IGBT ชุดเดียวกับวงจรฟิลเตอร์ที่ไม่ซับซ้อนก็สามารถให้รูปคลื่นไซน์ได้อย่างเกือบสมบูรณ์แบบ



รูปที่ 12 กระแสด้านขาเข้าที่เกิดจากวงจรเรกติไฟร์เออร์แบบปกติ และ แบบ AFE

รูปที่ 13 แสดงให้เห็นถึงเชิงเปรียบเทียบความถี่ของฮาร์โมนิกส์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยแท่งกราฟทั้งสามแท่ง จะแทนฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากวงจรเรกติไฟร์เออร์ในแต่ละแบบ จะเห็นว่าระดับฮาร์โมนิกส์ของเรกติไฟร์เออร์แบบปกตินั้นมีสูงมาก การใช้ชุดเรกติไฟร์เออร์แบบ 12 pulse จะช่วยให้ฮาร์โมนิกส์ลดได้มากก็จริง แต่ว่าเราก็จะต้องมีหม้อแปลงที่มี tertiary winding เพิ่มขึ้นอีก 1 ลูก ซึ่งก็หมายความว่า ทั้งงบประมาณและกำลังสูญเสียของระบบก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย แต่สำหรับ AFE แล้วแทบจะกล่าวได้ว่า ฮาร์โมนิกส์ต่างๆ นั้นตกลงเหลือแค่ไม่กี่ๆ ศูนย์เลยก็เดียว



ผลของการกำจัดฮาร์โมนิกส์ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ทำให้ AFE ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานเฉพาะด้านบางอย่างที่ Variable Speed Drive (VSD) แบบปกติทำได้ไม่ดีนัก เช่น ใช้กับ wind-driven generator system หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เป็นต้น นอกจากนี้แล้วงบประมาณและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ทั้งในส่วนที่เป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ก็จะถูกลดตามฮาร์โมนิกส์ลงไปด้วย เช่น ขนาดของสาย, ฟิลเตอร์, หม้อแปลง และกำลังสูญเสียเนื่องจากฮาร์โมนิกส์ เป็นต้น

รูปที่ 13 กราฟแสดงเปรียบเทียบระดับฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากเรกติไฟร์เออร์แบบต่างๆกัน

สำหรับเรกติไฟร์เออร์แบบปกตินั้น หากแหล่งจ่ายล้มเหลว (Voltage dip or fail) ในขณะที่ยังทำงานอยู่ในช่วง regenerative operation จะส่งผลให้เกิดกระแสกระชาก เนื่องจากแรงดันที่แหล่งจ่ายหายไปแบบทันทีทันใด ในขณะที่แรงดันทางด้าน DC link ยังมีอยู่เช่นเดิม ผลที่ตามมาคือ ฟิวส์ขาด และถ่านรุนแรง

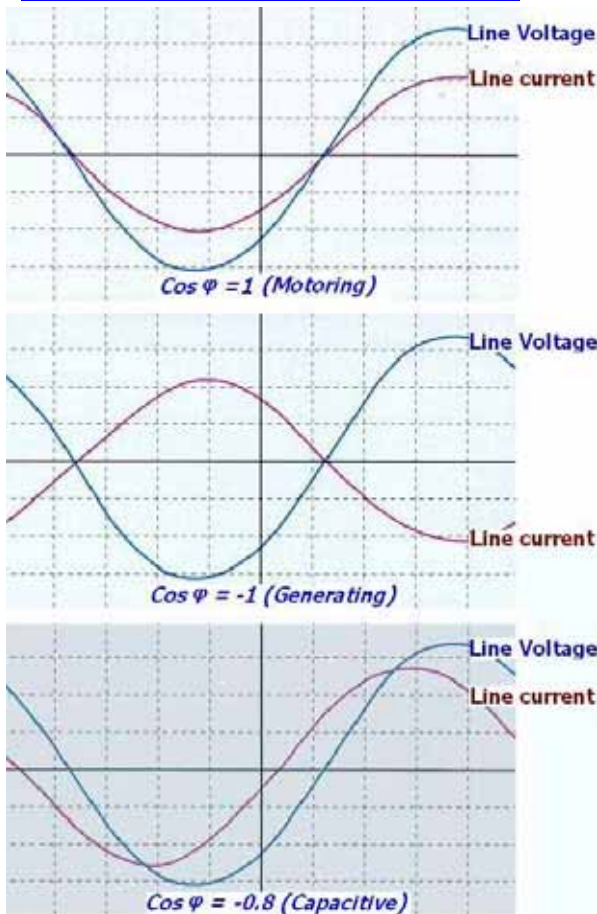
มาก ๆ ก็อาจทำให้ SCR เสียหายได้ แม้ว่าลักษณะการลัมเหลวของแหล่งจ่ายจะเป็นเพียงแคไฟกระพริบก็ตาม ซึ่งส่งผลเสียหายต่อระบบโดยรวมเป็นอย่างมาก วงจรเรกติไฟร์เออร์แบบ AFE สามารถลดข้อบกพร่องในจุดนี้ได้ เนื่องจากผลพวงของการที่เราสามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้อย่างอิสระ และไม่ขึ้นกับแหล่งจ่าย โดยใช้พลังงานที่ได้จากพลังงานจลน์ที่สะสมอยู่ในรูปความเฉื่อยของโหลดมาทำให้ AFE ยังสามารถทำงานต่อไปได้ และหยุด VSD ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งเราเรียกการหยุดในลักษณะนี้ว่า Active shutdown

ผลพลอยได้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของฟังก์ชันการทำงาน คือ VSD จะยังทำงานต่อไปได้ โดยไม่มีผลกระทบหากแหล่งจ่ายลัมเหลวในลักษณะของไฟกระพริบ ทั้งในขณะ regenerating และ motoring คุณสมบัติในข้อนี้ของ AFE จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถลดค่าเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างมาก รวมทั้งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้อยู่กับแหล่งจ่ายที่มีเสถียรภาพต่ำ

ผลการใช้ IGBT ที่เราสามารถควบคุมได้ตลอดช่วงเวลาโดยไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันของแหล่งจ่าย ทำให้เราสามารถกำหนดการทำงานของชุดเรกติไฟร์เออร์ให้ทำงานเป็น step-up regulator ได้ โดยใช้ผลของการควบคุมการเปิด-ปิด IGBT กับคุณสมบัติการสะสมพลังงานของตัวเหนี่ยวนำด้านขาเข้า ทำให้ VSD ทั้งระบบยังสามารถทำงานได้เป็นปกติ แม้ว่าแรงดันของแหล่งจ่ายจะตกลงไปถึง 65% ของค่าพิกัด โดยค่าที่จำกัดไว้ที่ 65% นี้ ถูกจำกัดไว้ด้วยวงจรควบคุม แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วหากผู้ใช้ต้องการให้ระบบสามารถทำงานที่แรงดันต่ำกว่านี้ ก็สามารถทำได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถรองรับการทำงานได้ตามที่ต้องการ

ประโยชน์อีกด้านหนึ่งของการที่ให้ภาคเรกติไฟร์เออร์ทำงานเป็น Step-up regulation แทนการทำงานในลักษณะ passive operation ของวงจรเรกติไฟร์เออร์แบบไดโอดและ SCR ก็คือ แรงดันทางด้าน DC Link จะมี ripple น้อยมาก และไม่ได้รับผลกระทบจากการกระเพื่อมของแรงดันด้านแหล่งจ่าย ซึ่งจะส่งผลดีไปถึงภาคอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์โดยรวมในแง่ของการลดการกระเพื่อมของแรงบิดที่มอเตอร์ และทำให้ภาคอินเวอร์เตอร์ทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เลือกค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบได้



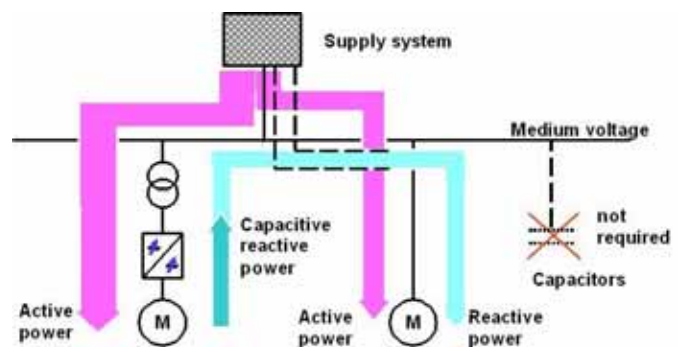
รูปที่ 14 ลักษณะของแรงดันและกระแสที่ได้จาก AFE ในช่วงสภาวะต่างๆ

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์คงที่

ความสามารถในการกำหนดมุมเฟสของกระแสขาเข้าเทียบกับแรงดันของแหล่งจ่าย คือความสามารถอีกด้านหนึ่งของ AFE ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าต้องการให้ VSD ทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่าไร ซึ่งสามารถเลือกผ่านเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้ตั้งแต่ 0.8 inductive ถึง 0.8 capacitive ทั้งในโหมดการทำงานแบบ motoring และ generating ดังแสดงในรูปที่ 14

แก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้

ในกรณีที่เราใช้ VSD ขนาดใหญ่ๆ ขนาดหลายร้อย กิโลวัตต์ หรือขนาดเป็นเมกกะวัตต์ เราก็สามารถใช้คุณสมบัติในด้านนี้เข้าไปช่วยแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบโดยรวมทั้งโรงงาน กล่าวคือ กำหนดให้ VSD ที่เป็นแบบ AFE นี้ทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า เราก็จะได้รีเอ็กทีฟเพาเวอร์ไปจ่ายให้กับ โหลดอื่นๆ ในระบบเดียวกันฟรีๆ ดังแสดงในรูปที่ 15 วิธีนี้จะทำให้ผู้ใช้ประหยัดค่าพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 15 การชดเชยรีเอ็กทีฟเพาเวอร์ AFE ได้จากมอเตอร์ (Motor reactive power compensation)

สมรรถนะในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดดีเยี่ยม

ผลของการที่ภาคเรกติไฟร์เออร์ทำงานในลักษณะ active เช่นนี้ นอกจากจะทำให้ไดรฟ์ทั้งระบบเป็นอิสระจากแหล่งจ่ายแล้ว ยังทำให้ระบบสามารถรับการเปลี่ยนแปลงภาระจากโหลดแบบทันทีทันใดได้อย่างดีเยี่ยม ในระบบ VSD แบบปกติ นั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดที่โหลดมากๆ และอย่างทันทีทันใด อาจส่งผลให้ระบบล้มเหลว และชัตดาวน์ได้ เนื่องจากพลังงานที่สะสมอยู่ที่ DC Link อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด แต่สำหรับ AFE แล้วปัญหานี้จะถูกลดลงไปได้อย่างมากเนื่องจากผลการทำงานแบบ active ทำให้ DC Link สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างยอดเยี่ยม จากการทดลองเปลี่ยนแรงบิดที่โหลดจาก -100% เป็น +100% หรือกลับกันพบว่า AFE สามารถตอบสนองได้ในช่วงเวลาอันสั้น

จากคุณสมบัติต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เราอาจสรุปข้อดีและประโยชน์ที่ได้จากความสามารถที่หลากหลายของ AFE ดังแสดงไว้ในตารางด้านล่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่า การนำ AFE เข้ามาใช้แทนเรกติไฟร์เออร์ธรรมดาทั่วไปนั้น ทำให้เกิดผลดีทั้งในด้านสมรรถนะของตัว VSD เอง ซึ่งส่งผลต่อเนื่องไปถึงเสถียรภาพของสายการผลิตโดยรวม และในด้านของการลดต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 1 สรุปผลประโยชน์ที่จะได้รับจาก AFE

คุณสมบัติเด่นของ AFE	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ		
	ความเชื่อมั่นในการทำงาน	การลงทุนครั้งแรก	ต้นทุนการใช้งานต่ำกว่า
Regenerative feedback (ทำงานแบบ 4 quadrant)	วงจรไม่ยุ่งยาก, โอกาสเกิด Fault ต่ำ	ขนาดของสาย, ตัวกรองความถี่ และหม้อแปลงเล็กกว่าไดรฟ์ปกติ	คืนพลังงานช่วงเบรก กลับคืนสู่ระบบได้
กระแสเหมือนรูปคลื่น Sine wave ทำให้ Harmonic ต่ำมาก	ไม่มีสัญญาณไปรบกวนโหลดอื่นๆ		กำลังสูญเสียน้อย
ไม่เกิด Commutation fault เมื่อแหล่งจ่ายมีปัญหาในโหมดคืนพลังงานย้อนกลับสู่ระบบ	สามารถทำงานได้ แม้ว่าแหล่งจ่ายมีเสถียรภาพต่ำ		ลดการหยุดของเครื่องจักร หรือระบบการผลิต
การกระเพื่อมของแรงดันที่แหล่งจ่าย ไม่มีผลต่อการทำงาน	สามารถทำงานได้ กับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันกระเพื่อมสูง	สามารถลดขนาดของ VSD เล็กลงได้	ลดการหยุดของเครื่องจักร หรือระบบการผลิต
สมรรถนะในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้รวดเร็ว	ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างรวดเร็ว	ทำให้สามารถลดขนาด Capacitor เล็กลงได้	
กำหนดการทำงานที่ P.F. ได้ระหว่าง -0.8 ถึง +0.8	ลดส่วนประกอบระบบการแก้ Power factor	ไม่ต้องการอุปกรณ์เพิ่มเติม และ ประหยัดชุดแก้ PF.	ลด Reactive Power กลับให้ระบบได้



อักษรย่อ

AFE	Active Front End
IGBT's	Insulated Gate Bipolar Transistor
PWM	Pulse Width Modulation
VSD	Variable Speed Drives ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

อ้างอิง

1. "ABC of Drives" *Siemens technical manual*
2. "Active Front End " *Siemens Simovert Master Drives catalog*
3. "Simovert MV" *Siemens catalog Medium voltage drives DA 63.2002*