

AC Drives

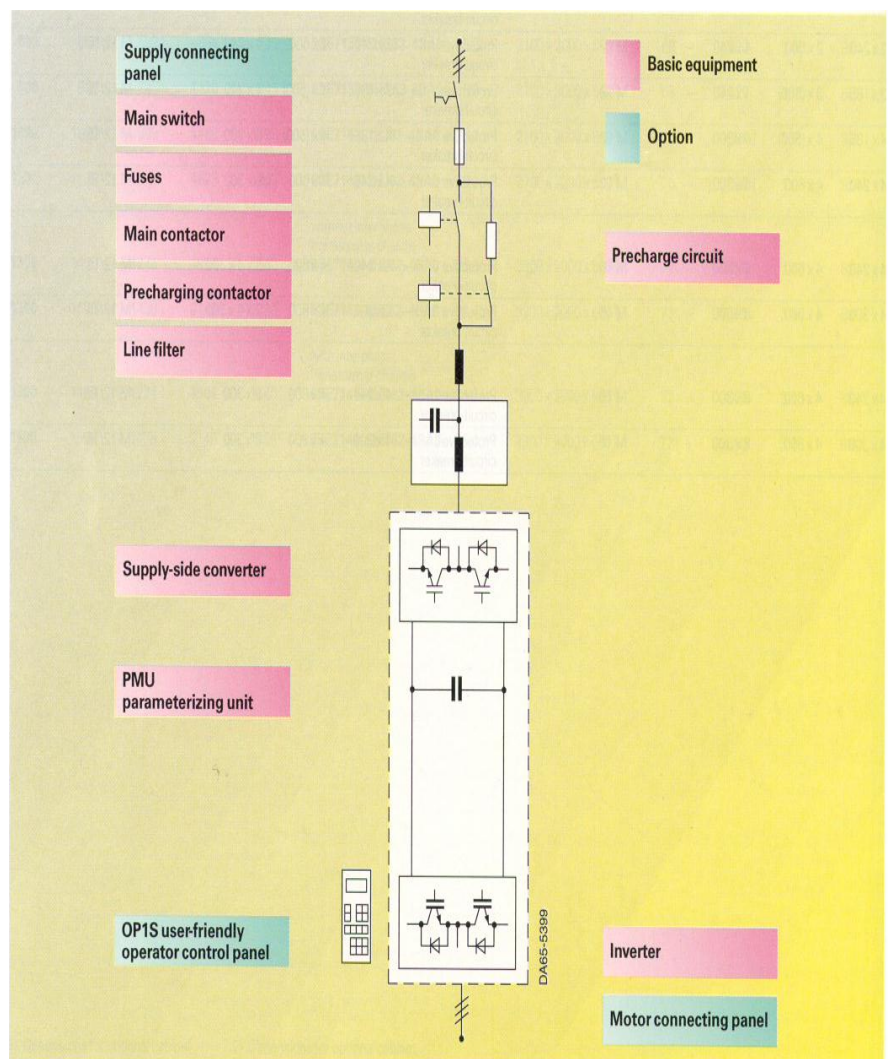
ในรูปแบบของ Active Front End

เกิดผลดีทั้งในด้านสมรรถนะของตัวไดรฟ์ และระบบไฟฟ้า
และส่งผลกระทบต่อไปถึงเสถียรภาพสายการผลิตโดยรวม

ในอดีตวงจรภาคกำลังที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือที่มีชื่อเรียกว่า วงจรภาคเรกติไฟเออร์ ของระบบ AC variable speed drive นั้นจะมีวงจรบริดจ์ที่ใช้ไทรสเตอร์ประเภท SCR ข้อดีของการใช้ SCR ก็คือ ระบบสามารถคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่ายได้ ในสมัยนั้นวงจรภาคอินเวอร์เตอร์ก็จะเป็นแบบวงจรบริดจ์ที่ใช้ไทรสเตอร์ประเภท SCR เช่นกัน การทำงานของภาคอินเวอร์เตอร์จะเป็นในลักษณะของ six step inverter และปรับ V/F ให้คงที่ด้วยการปรับ Voltage จากภาคเรกติไฟเออร์ส่วน Frequency ปรับที่ภาคอินเวอร์เตอร์ ต่อมาเมื่อมีการพัฒนา PWM inveter ขึ้นมา ก็ได้เปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ภาคเรกติไฟเออร์จาก SCR มาเป็นไดโอด ซึ่งก็มีข้อดีในส่วนที่เราไม่ต้องสนใจที่จะต้องไปควบคุมภาคเรกติไฟเออร์ แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของการที่พลังงานไหลได้ทิศทางเดียว ดังนั้นเมื่อเราต้องการเบรกหรือต้องการคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่าย ระบบจะต้องถูกออกแบบเพิ่ม เช่น ถ้าต้องการเบรกโดยไม่คืนพลังงานให้กับระบบ เราก็จะต้องหาความต้านทานมาต่อที่ภาค DC link แต่ถ้าต้องการคืน

พลังงานให้ระบบ เราก็ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ภาคเรกติไฟเออร์จากไดโอดกลับมาเป็น SCR เช่นเดิม และจะต้องใช้วงจรบริดจ์ SCR ต่อแบบ antiparallel กันสองชุด ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองอุปกรณ์และกำลังสูญเสียสูงมากขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

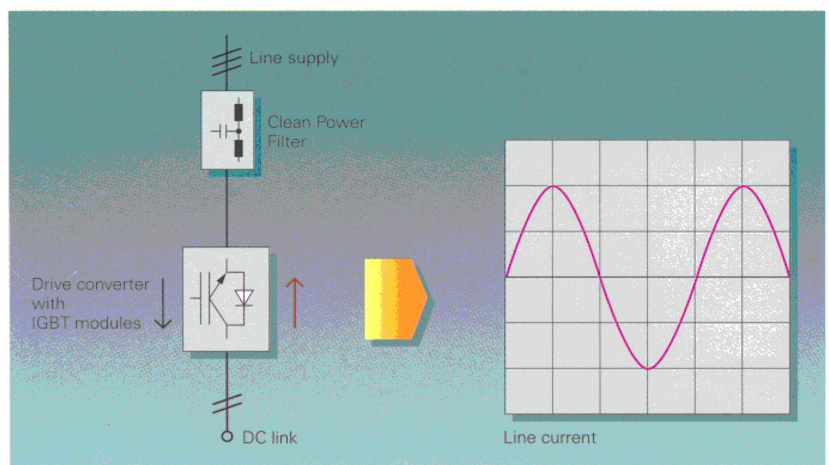
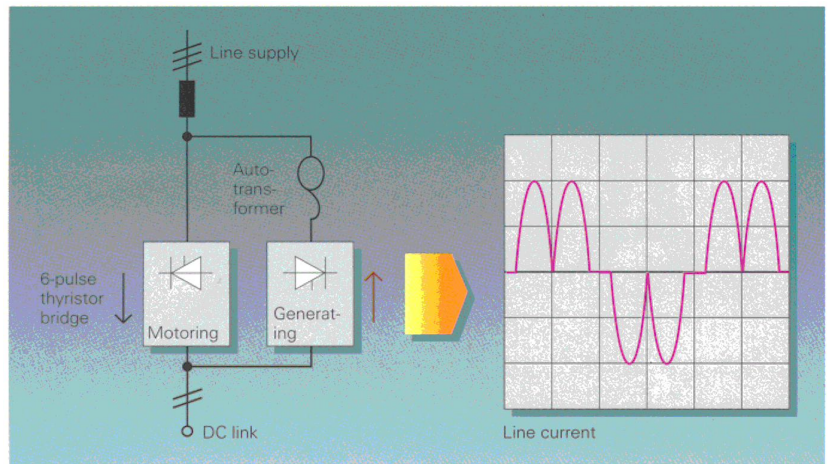
ซึ่งเมื่อนี้จึงได้คิดค้นวงจรภาคเรกติไฟเออร์ในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า Active Front End (AFE) ขึ้นมา เพื่อชดเชยข้อบกพร่องต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีลักษณะของวงจรภาคกำลังดังแสดงในรูปที่ 1



ลักษณะของวงจรดังกล่าวจะใช้ IGBT ร่วมกับ Free Wheeling diode มาต่อเป็นชุดวงจรบริดจ์แทนไดโอดกับ SCR ผลจากการที่เราสามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้อย่างง่ายโดยการ switch on และ off และควบคุมได้ทุกช่วงเวลา ทำให้เราสามารถควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานได้อย่างอิสระ โดยไม่มีข้อจำกัดของตัวอุปกรณ์เข้ามาเกี่ยวข้องดังเช่นในกรณีของไดโอด และ SCR นอกจากนี้แล้ว ความอิสระในการควบคุมการทำงานของ IGBT ยังก่อให้เกิดผลดีต่อเนื่องขึ้นอีกหลายประการ เช่น สามารถควบคุมให้กระแสที่ไหลเข้าและออกมีความเป็นคลื่นรูปไซน์ได้อย่างสมบูรณ์ สามารถควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่เกิดขึ้นได้ ทั้งในแบบที่ทำให้เกิดเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนำหน้า, ล้าหลัง หรือเป็น unity, จ่าย reactive power ให้กับระบบข้างเดียวได้, ทำงานได้แม้ว่าแหล่งจ่ายแรงดันจะมีเสถียรภาพต่ำ เช่น ไฟตก, ไฟกระพริบ และ ฯลฯ ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของประโยชน์ในแต่ละด้านดังนี้

AFE กับการกำจัดฮาร์มอนิกของกระแสด้าน Input

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทนำข้างต้นว่า เนื่องจากเราสามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้อย่างอิสระตามที่ต้องการ ทำให้สามารถควบคุมการ switch



on-off ของ IGBT จนได้รูปร่างของกระแสด้านขาเข้า (input current) ที่ใกล้เคียงคลื่นรูปไซน์มาก เมื่อทำงานร่วมกับ input filter อีกชุดหนึ่ง ซึ่งไม่จำ

ติไฟเออร์แบบปกติ นั้น หากจะให้สามารถทำงานได้ทั้ง 4 quadrant นั้นจะต้องมีวง

เป็นต้องออกแบบให้ซับซ้อนมากนัก กระแสด้านขาเข้าก็จะมีรูปร่างที่เรียกได้ว่าเป็นคลื่นรูปไซน์ที่สมบูรณ์ คุณสมบัติในข้อนี้จะทำได้ในกรณีที่ทำงานในโหมด motoring และ generating กล่าวคือ ทั้งรับพลังงานจากแหล่งจ่ายเข้าระบบ และจ่ายพลังงานจากระบบให้แหล่งจ่าย รูปที่ 2 และ 3 เป็นการแสดงให้เห็นข้อแตกต่างของกระแสด้านขาเข้าที่เกิดจากวงจรทั่วไป (conventional rectifier circuit) และกระแสด้านขาเข้าที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนภาคเรกติไฟเออร์มาเป็น AFE จากรูปจะเห็นได้ว่าในกรณีของภาคเรกติไฟเออร์แบบปกติ

จะต้องมีออกไดโอดทรานส์ฟอเมอร์ และรีแอคเตอร์ เพื่อปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับแหล่งจ่าย และกรองฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากระบบ ส่งผลทำให้ต้องเสียพื้นที่ค่อนข้างมากสำหรับอุปกรณ์เหล่านี้ นอกจากนั้นแล้วกำลังสูญเสียก็จะมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามถึงจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่มากมายขนาดนี้ วงจรเรกติไฟเออร์แบบปกติก็ยังไม่สามารถกำจัดฮาร์มอนิกให้หมดไปได้ และยังคงดูเหมือนว่าจะเหลืออยู่

ค่อนข้างมากเสียด้วยซ้ำไป ในขณะที่ AFE ซึ่งก็มีเพียงแค่วงจรบริดจ์ IGBT ชุดเดียวกับวงจรฟิวดเตอร์ที่ไม่ซับซ้อนก็สามารถให้คลื่นรูปไซน์ได้อย่างสมบูรณ์

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบเชิงความถี่ของฮาร์มอนิกต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยแท่งกราฟทั้งสามแท่ง จะแทนฮาร์มอนิกที่เกิดจากวงจรเรกติไฟเออร์ในแต่ละแบบ จะเห็นว่าระดับฮาร์มอนิกของเรกติไฟเออร์แบบปกตินั้นมีสูงมาก การใช้ 12 pulse rectifier อาจช่วยให้ฮาร์มอนิกลดได้มากก็จริง แต่ว่าเราก็จะต้องมีหม้อแปลงที่มี tertiary winding เพิ่มขึ้นมาอีก 1 ลูก ซึ่งก็หมายความว่า ทั้งงบประมาณและกำลังสูญเสียของระบบก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย แต่สำหรับ AFE แล้วแทบจะกล่าวได้ว่า ฮาร์มอนิกต่างๆ นั้นตกลงเหลือแค่ใกล้ๆ ศูนย์เลยทีเดียว

ผลของการกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ AFE ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานเฉพาะด้านบางอย่างที่ Variable Speed Drive (VSD) แบบปกติทำไม่ได้ดีนัก เช่น ใช้กับ wind-driven generator system หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เป็นต้น นอกจากนี้แล้วงบประมาณและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ทั้งในส่วนที่เป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ก็จะถูกลดตามฮาร์มอนิกลงไปด้วย เช่น ขนาดของสาย, ฟิวดเตอร์, หม้อแปลง และกำลังสูญเสียเนื่องจากฮาร์มอนิก เป็นต้น

ป้องกันการเกิด commutation faults

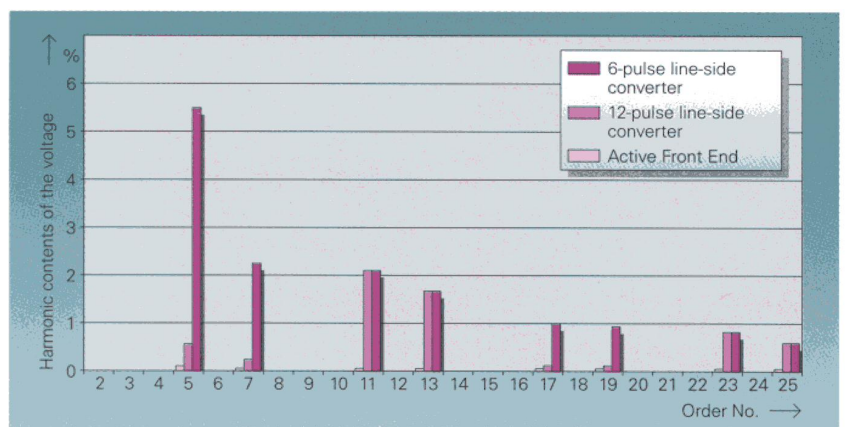
สำหรับเรกติไฟเออร์แบบปกตินั้น หากแหล่งจ่ายล้มเหลว (fail) ในขณะที่ VSD กำลังทำงานอยู่ในช่วง regenerative operation จะส่งผลให้เกิดกระแสกระชากเนื่องจากแรงดันที่แหล่งจ่ายหายไปแบบทันทีทันใด ในขณะที่แรงดันทางด้าน DC link ยังมีอยู่เช่นเดิม ผลที่ตามมาก็คือ ฟิวส์ขาดและถ้ารุนแรงมากๆ ก็อาจทำให้ SCR เสียหายได้ แม้ว่าลักษณะการล้มเหลวของแหล่งจ่ายจะเป็นเพียงแค่ไฟกระพริบก็ตาม ซึ่งส่งผลเสียหายต่อระบบโดยรวมเป็นอย่างมาก วงจรเรกติไฟเออร์แบบ AFE สามารถอุดข้อบกพร่องในจุดนี้ได้ เนื่องจากผลพวงของการที่เราสามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้อย่างอิสระ และไม่ขึ้นกับแหล่งจ่าย โดยใช้พลังงานที่ได้จากพลังงานจลน์ที่สะสมอยู่ในรูปความเฉื่อยของโหลดมาทำให้ AFE ยังสามารถทำงานต่อไปได้ และชัตดาวน์ (shutdown) VSD อย่างปลอดภัย ซึ่งเราเรียกการชัตดาวน์ในลักษณะนี้ว่า active shutdown

ผลพลอยได้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของฟังก์ชันการทำงานในลักษณะนี้ คือ VSD ทั้งระบบยังทำงานต่อไปได้ โดยไม่มีผลกระทบหากแหล่งจ่ายล้มเหลวใน

ลักษณะของไฟกระพริบ ทั้งในขณะ regenerating และ motoring คุณสมบัติในข้อนี้ของ AFE จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถลดค่าเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างมาก รวมทั้งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้อยู่กับแหล่งจ่ายที่มีเสถียรภาพต่ำ

ผลจากการใช้ IGBT ที่เราสามารถควบคุมได้ตลอดช่วงเวลาโดยไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันของแหล่งจ่าย ทำให้เราสามารถกำหนดการทำงานของชุดเรกติไฟเออร์ให้ทำงานเป็น step-up regulator ได้ โดยใช้ผลของการควบคุมการเปิด-ปิด IGBT กับคุณสมบัติการสะสมพลังงานของตัวเหนี่ยวนำด้านเข้าเข้า ทำให้ VSD ทั้งระบบยังสามารถทำงานได้เป็นปกติ แม้ว่าแรงดันของแหล่งจ่ายจะตกลงไปถึง 65% ของค่าปกติ โดยค่าที่จำกัดไว้ที่ 65% นี้ ถูกจำกัดไว้ด้วยวงจรควบคุม แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วหากผู้ใช้ต้องการให้ระบบสามารถทำงานที่แรงดันต่ำกว่านี้ ก็สามารถทำได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถรองรับการทำงานได้ตามที่ต้องการ

ประโยชน์อีกด้านหนึ่งของ การที่ให้อาตรเรกติไฟเออร์ทำงานเป็น step-up regulation แทนการทำงาน



ในลักษณะ passive operation ของ วงจรเรกติไฟเออร์แบบไดโอดและ SCR ก็คือ แรงดันทางด้าน DC Link จะมี ripple น้อยมาก และไม่ได้รับผลกระทบจากการกระเพื่อมของแรงดันด้านแหล่งจ่าย ซึ่งจะส่งผลดีไปถึงภาคอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์โดยรวมในแง่ของการลดการกระเพื่อมของแรงบิดที่มอเตอร์ และทำให้ภาคอินเวอร์เตอร์ทำงานได้

อย่างมีเสถียรภาพมากขึ้น

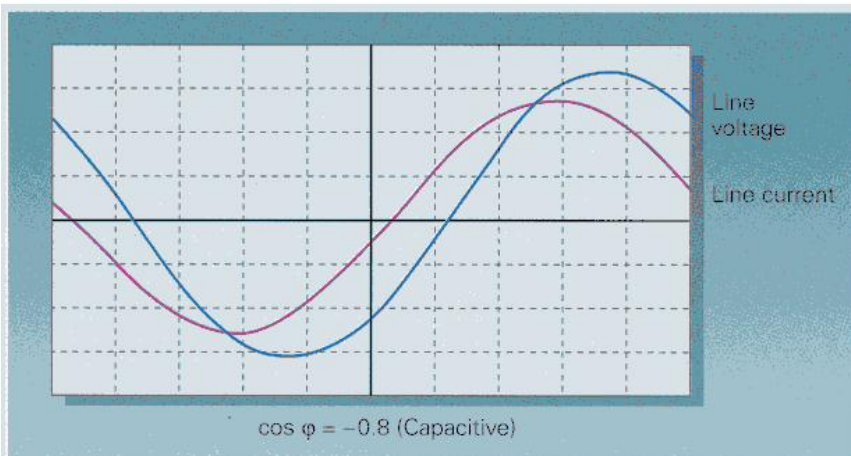
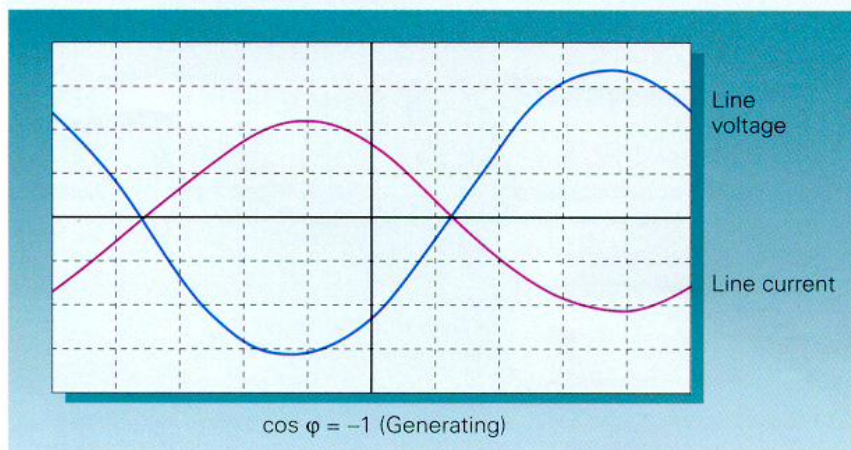
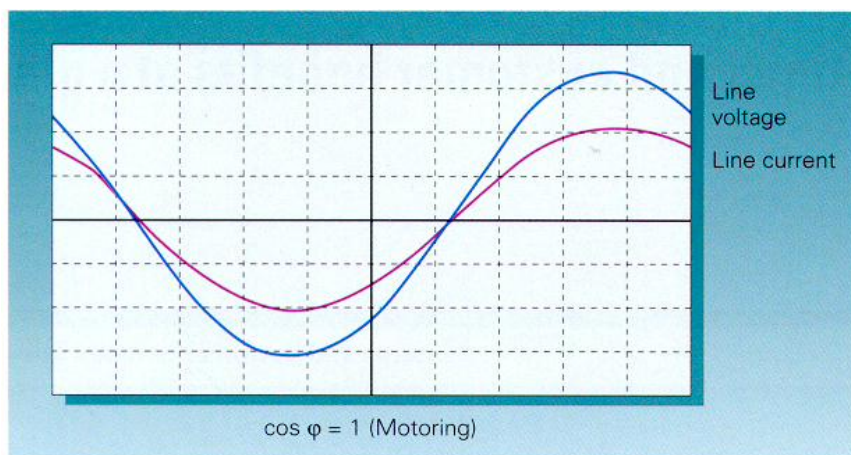
สมรรถนะในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดดีเยี่ยม

ผลของการที่ภาคเรกติไฟเออร์ทำงานในลักษณะ active เช่นนี้ นอกจากจะทำให้โครงฟั้ทั้งระบบเป็นอิสระจากแหล่งจ่ายแล้ว ยังทำให้ระบบสามารถรับการเปลี่ยนแปลงภาระจากโหลดแบบทันทีทันใด

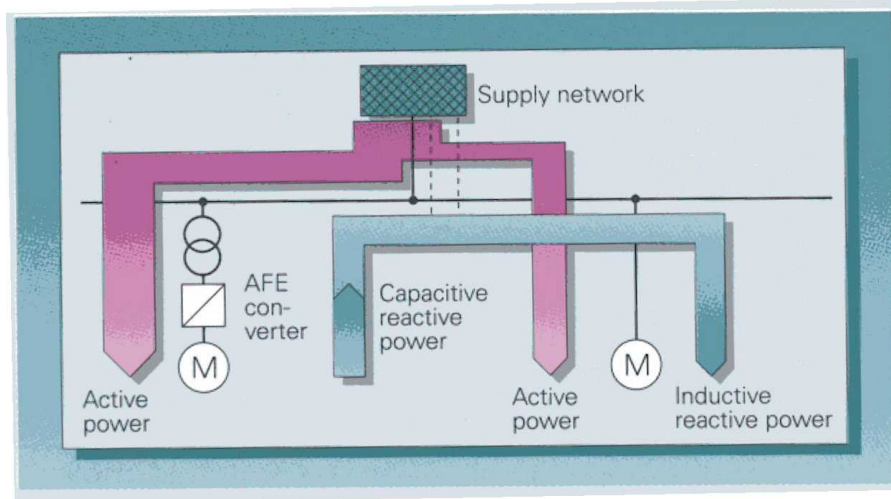
ได้อย่างดีเยี่ยม ในระบบ VSD แบบปกตินั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดที่โหลดมากๆ และอย่างทันทีทันใด อาจส่งผลให้ระบบล้มเหลว และชัตดาวน์ได้ เนื่องจากพลังงานที่สะสมอยู่ที่ DC Link อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด แต่สำหรับ AFE แล้วปัญหานี้จะถูกลดลงไปได้อย่างมากเนื่องจากผลการทำงานแบบ active ทำให้ DC Link สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างยอดเยี่ยม จากการทดลองเปลี่ยนแรงบิดที่โหลดจาก -100% เป็น +100% หรือกลับกันพบว่า AFE สามารถตอบสนองได้ในเวลาอันสั้น

เลือกค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบได้

ความสามารถในการกำหนดมุมเฟสของกระแสขาเข้าเทียบกับแรงดันของแหล่งจ่าย คือความสามารถอีกด้านหนึ่งของ AFE ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าต้องการให้ VSD ทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่าไร ซึ่งสามารถเลือกผ่านเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้ตั้งแต่ 0.8 inductive ถึง 0.8 capacitive ทั้งในโหมดการทำงานแบบ motoring และ generating ดังแสดงในรูปที่ 5 ในกรณีที่เราใช้ VSD ขนาดใหญ่ๆ เช่นหลายร้อยกิโลวัตต์หรือเป็นเมกกะวัตต์ เราก็สามารถใช้คุณประโยชน์ในด้านนี้เข้าไปช่วยแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบโดยรวมทั้งโรงงาน กล่าวคือกำหนดให้ VSD ที่เป็นแบบ AFE นี้ทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า เราก็จะได้รีแอกทีฟเพาเวอร์ไปจ่ายให้กับ



โหลดอื่นๆ ในระบบเดียวกันฟรีๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 วิธีนี้จะทำให้ผู้ใช้ประหยัดค่าพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย



ประโยชน์ที่ได้กับผู้ใช้

จากคุณสมบัติต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น เราอาจสรุปข้อดีและประโยชน์ที่ได้จากความ

สามารถที่หลากหลายของ AFE ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งผู้อ่านจะเห็นได้ว่า การนำ AFE เข้ามาใช้งานแทนเรกติไฟเออร์ธรรมดาทั่วไปนั้น ทำให้เกิดผลดีทั้งในด้านสมรรถนะ

ของตัว VSD เอง ซึ่งส่งผลต่อเนื่องไปถึงเสถียรภาพของสายการผลิตโดยรวม และในด้านของการลดต้นทุนการผลิต

สุดท้ายผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความนี้จะประโยชน์ต่อผู้อ่านที่อาจมีปัญหาดังกล่าว และพบว่า AFE สามารถเข้าไปช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้

รูปที่ 1 วงจรภาคกำลังของ AC VSD ที่มีภาคเรกติไฟเออร์เป็นแบบ AFE

รูปที่ 2 กระแสด้านขาเข้าที่เกิดจากวงจรเรกติไฟเออร์แบบปกติ

รูปที่ 3 กระแสด้านขาเข้าที่เกิดจากวงจรเรกติไฟเออร์แบบ AFE

รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระดับฮาร์มอนิกที่เกิดจากเรกติไฟเออร์แบบต่างๆ กัน

รูปที่ 5 ลักษณะของแรงดันและกระแสที่ได้จาก AFE

รูปที่ 6 รีแอกทีฟเพาเวอร์ที่ได้จาก AFE จะถูกนำไปชดเชยการดึงรีแอกทีฟเพาเวอร์จากแหล่งจ่าย

วารสารเทคนิค 167, กันยายน 2542
ศิวะ หงษ์นภา / พิรพงศ์ ลิ้มประสิทธิ์
วงศ์

Siemens Limited. A&D-LD Dept.

	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ		
คุณสมบัติเด่นของ AFE	ความเชื่อมั่นในการทำงาน	การลงทุน	Fixed cost
Regenerative feedback (ทำงานแบบ 4 quadrant)	วงจรไม่ยุ่งยาก, โอกาสเกิด Fault ต่ำ		คืนพลังงานกลับสู่ระบบ
Harmonic ต่ำ, กระแสเหมือนรูปคลื่น Sine wave	ไม่รบกวนโหลดอื่นๆ	ขนาดของสาย, ตัวกรองความถี่ และหม้อแปลงเล็กกว่าไดรฟ์ปกติ	กำลังสูญเสียต่ำ
ไม่เกิด Commutation falt เมื่อแหล่งจ่ายมีปัญหาในขณะที่คืนพลังงานกลับสู่ระบบ	สามารถทำงานได้ แม้ว่าแหล่งจ่ายมีเสถียรภาพต่ำ		ลดการหยุดของเครื่องจักร หรือระบบการผลิต
การกระเพื่อมของแรงดันที่แหล่งจ่ายไม่มีผลต่อการทำงาน	สามารถทำงานได้ กับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันกระเพื่อมสูง		
สมรรถนะในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดมีสูง	ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างรวดเร็ว	ทำให้สามารถลดขนาด Capacitor เล็กลงได้	
กำหนดการทำงานที่ P.F. ได้ระหว่าง -0.8 ถึง +0.8	ลดส่วนประกอบระบบการแก้ไข Power factor	ไม่ต้องการ Cap. ประหยัดชุดแก้ไข PF.	ลด Reactive Power กลับให้ระบบได้