



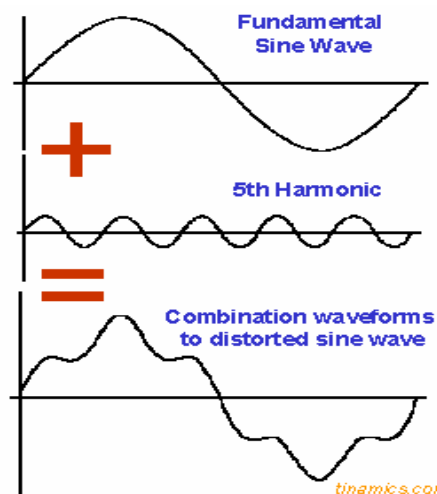
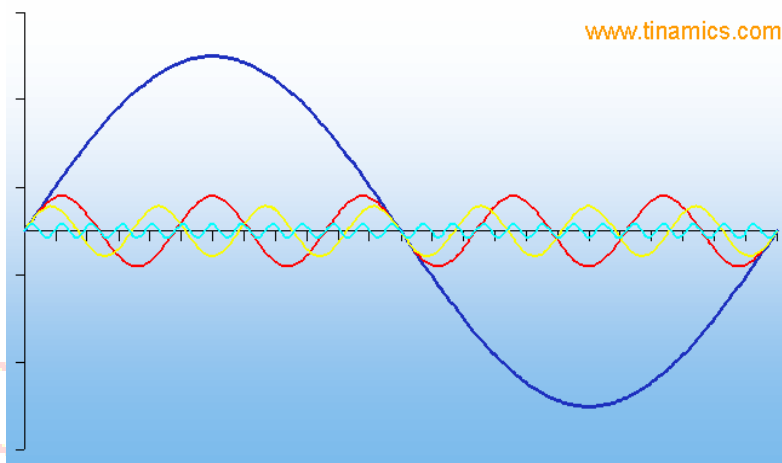
อินเวอร์เตอร์ฮาร์มอนิกต่ำ VSDs Low Harmonics

"เทคโนโลยีทางเลือก ในการลดฮาร์มอนิก
ของอินเวอร์เตอร์ โดยไม่ต้องใช้ ตัวกรอง หรือ
อุปกรณ์ต่อพ่วงใดๆ เพิ่มเติม"

อินเวอร์เตอร์ หรือ ไดรฟ์ หรือ VSD กับเทคโนโลยี PWM ได้ผ่านการใช้งาน มาเป็นเวลา ที่นานกว่าทศวรรษ ได้พิสูจน์แล้วว่า เมื่อนำไปใช้กับอินดักชันมอเตอร์ที่นำไปขับโหลดประเภทพัดลม หรือปั้มน้ำ จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูง สะดวกในการควบคุมความเร็วรอบ ทำให้ใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า นอกจากนั้นยังสามารถประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกับโหลดปั้มน้ำ หรือพัดลม ที่ต้องการขับโหลดที่ความเร็วรอบต่ำๆ

ทุกอย่างในโลกนี้ล้วนมีทั้งข้อดีและข้อเสีย เหมือนเหรียญสองด้าน นับถึงบัดนี้ยังไม่มีใครคิด

เทคโนโลยีอื่นๆ ที่ดีกว่าเทคโนโลยี PWM ที่ใช้กันมาอย่างยาวนานได้ อินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน จึงยังคงใช้เทคโนโลยีที่วุ่นๆ เกือบทุกยี่ห้อ เทคโนโลยี PWM นอกจากมีข้อดีที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีข้อเสียประการหนึ่งคือ ฮาร์มอนิก



รูปที่ 1 รูปแสดงฮาร์มอนิกแฝง ในลำดับต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปคลื่นความถี่หลัก

ฮาร์มอนิกคืออะไร ?

ฮาร์มอนิก (Harmonic) คือ ส่วนเกินของสัญญาณที่ไม่เป็นที่ต้องการ เป็นส่วนประกอบแฝงเข้ามาผสมกับรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine wave) อาจจะมาในรูปแบบของสัญญาณ หรือในรูปแบบของปริมาณช่วงคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเท่า จากความถี่หลักมูลฐาน (Fundamental Frequency) ของระบบไฟฟ้า เช่น ความถี่หลักของระบบไฟฟ้าบ้านเรามีค่าเท่ากับ 50 Hz เป็นลำดับที่ 1 เมื่อมีฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150 Hz และฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250 Hz ๗ เข้ามาผสมในระบบไฟฟ้าหลัก ทำให้รูปคลื่นเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงดังรูปที่ 1

ผลของฮาร์มอนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักทั้งทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) จะทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปจากเดิม และมีรูปสัญญาณเพี้ยน (Distortion) ไปจากสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดที่ไวต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้าทำงาน ผิดพลาด และถ้ามีการขยายของฮาร์มอนิกที่มีขนาดมากพออาจจะทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดขึ้นได้



เมื่ออ้างอิงมาตรฐานทางด้านฮาร์มอนิก ส่วนใหญ่ทั้งโรงงานอุตสาหกรรม อาคาร หน่วยงานราชการ รวมทั้งการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง ต่างก็อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 519-1992 ได้กำหนดความเพี้ยนรูปคลื่นสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า (Harmonics Voltage Distortion, THDv) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าต้องไม่เกิน 5% สำหรับระบบไฟฟ้า 380-400 V

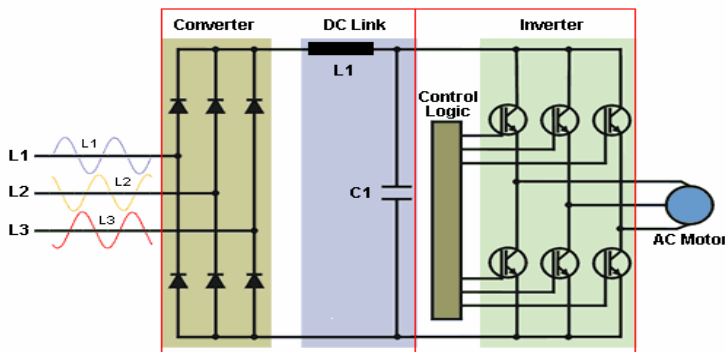
ปัจจุบันโหลดประเภท Non linear load นั้นวันจะมีมากขึ้นๆ ทุกวัน ไม่ว่าจะเป็น บาลาส์อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ Printer UPS และอื่นๆอีกมากมาย ต่างก็เป็นตัวก่อกำเนิดฮาร์มอนิกทั้งนั้น ในกรณีที่ระบบมีอุปกรณ์ประเภท Non linear load มากๆ เมื่อรวมกันไว้ในแหล่งจ่าย หรือ BUS เดียวกัน จะยิ่งทำให้ ฮาร์มอนิกโดยรวมเพิ่มมากขึ้น จนสูงเกินข้อกำหนด เป็นระเบียบที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องติดตั้งอุปกรณ์แก้ไขฮาร์มอนิก ไม่ว่าจะใช้วิธีใดเพื่อลดกระแส และแรงดันฮาร์มอนิกลง อุปกรณ์แก้ไขฮาร์มอนิกทุกอย่าง ไม่ว่าจะ Passive หรือ Active ก็ต้องใช้เม็ดเงินลงทุนเพิ่ม พื้นที่ในการติดตั้ง และไม่ใช่เรื่องง่ายเลยที่จะแก้ไขฮาร์มอนิก

ด้วยเทคโนโลยี Optimize PWM Technologies ของ "SIEMENS" VSD Micromaster 4 ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ กับโหลดประเภทพัดลม หรือปั้มน้ำ ได้ใส่เทคโนโลยีการลดกระแสฮาร์มอนิกตามลงไปด้วย โดยไม่จำเป็นต้องจ่ายเพิ่ม แถมขนาดในการใช้พื้นที่ก็คงใช้เท่าเดิม

PWM แบบเดิมๆ ทำงานอย่างไร? (How conventional PWM Drives work?)

ก่อนที่จะทำความเข้าใจเรื่อง ฮาร์มอนิก เราควรจะเข้าใจการทำงานของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกเสียก่อน ด้วยเทคโนโลยี PWM Inverter ในรูปแบบเดิมๆ ประกอบด้วยไดโอด 6 ตัว (6 Pulse) ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกชนิดก็ใช้วิธีการนี้ ที่ภาคไฟฟ้ากระแสตรง ที่จุดเปลี่ยนจาก AC → DC จะมีคาปาซิเตอร์ ทำหน้าที่คล้ายๆ กับตัวกรองรูปคลื่นให้เรียบ และทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ และสูงเพียงพอต่อการใช้งาน การต่อคาปาซิเตอร์เพื่อกรองรูปคลื่นให้เรียบ เรียกว่า DC link capacitor หลังจากนั้นจะมี IGBT และชุดประมวลผลรับเอาแหล่งจ่ายพลังงานจาก DC Link ไปทำหน้าที่สวิตช์รูปคลื่นจาก DC ไปเป็น AC ด้วย PWM technique เราเรียกภาคนี้ว่าภาคอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงระบบไฟฟ้า DC จาก DC link voltage ไปเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 phase ที่สามารถเปลี่ยนแรงดันและ ความถี่ (Variable Voltage Variable Frequency, VVVF) ตามแต่ต้องการเพื่อนำไปควบคุม ความเร็วรอบ และแรงบิดของมอเตอร์ต่อไป

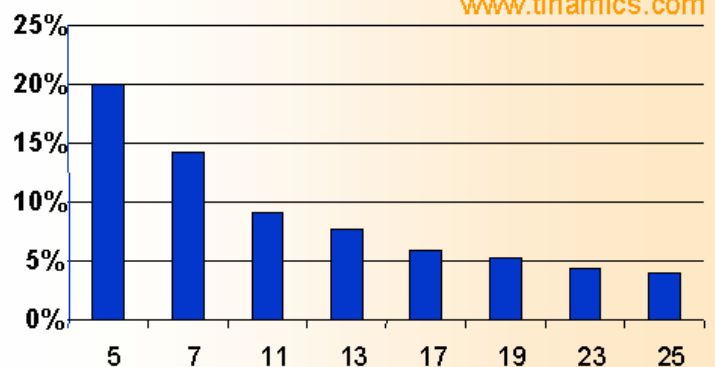


รูปที่ 2 พื้นฐานวงจรไฟฟ้าของ VSD แบบ 6 Pulse Voltage Source, PWM

งานบางลักษณะงานเช่น ลิฟต์ เครื่องปรับอากาศ เรียกรวมเป็นแบบ Constant torque application ซึ่งบางงานอาจจะต้องการความแม่นยำสูง และตอบสนองต่อคำสั่งที่รวดเร็วทันใจ เทคนิคที่ใช้ในการควบคุม PWM ในปัจจุบันนี้ไม่หนีไปจากเทคโนโลยี vector control ซึ่งเหมือนๆ กันเกือบทั้งหมด สุดแล้วแต่ว่าจะใช้ค่าอะไรเป็นจุดขายทางการค้า ดังนั้น DC link capacitor จึงจำเป็นต้องทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ และสูงเพียงพอต่อการใช้งาน และเพียงพอต่อการ over load ในกรณีที่ต่อภาระกพลังงานออกไป เพื่อนำไปตอบสนองต่อคำสั่งที่รวดเร็วทันต่อการใช้งาน

ฮาร์มอนิกสร้างปัญหาอย่างไร? (What causes harmonics current problems?)

เมื่อกระแสฮาร์มอนิก ที่มีลักษณะความถี่สูงไหลผ่านอุปกรณ์ประเภทอินดักเต้น (Inductance) อินดักเต้นจะกลายเป็นอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของระบบไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานสูง ($X_L \sim f$) ทำให้เกิดแรงดันตก (Voltage Drops) และส่งผลไปให้แรงดันมีรูปร่างเพี้ยนไป (Voltage distorted) หรือเรียกว่าแรงดันฮาร์มอนิก เมื่อแรงดันที่มีรูปร่างไม่เป็นไซน์ จ่ายไปสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น หรือผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ ส่งผลให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าไปสู่อุปกรณ์ประเภท linear load ยกตัวอย่างเช่น ถ้าแรงดันไฟฟ้ามีฮาร์มอนิกที่ 5th ไหลเข้าไปสู่มอเตอร์กระแสฮาร์มอนิกที่ 5th ก็จะไปสู่มอเตอร์หากมีความถี่เพียงพอ อาจทำให้การทำงานผิดปกติได้

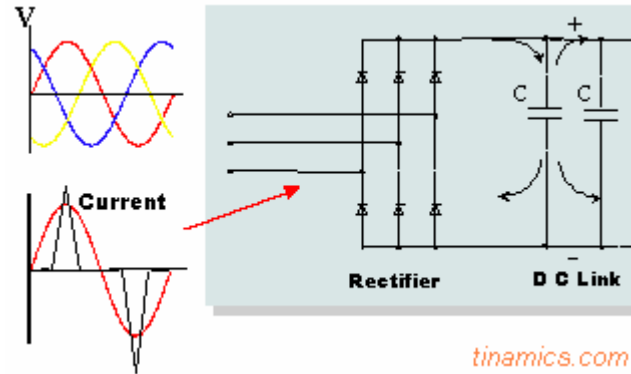


รูปที่ 3 Voltage Harmonics spectrum แบบ 6 Pulse PWM

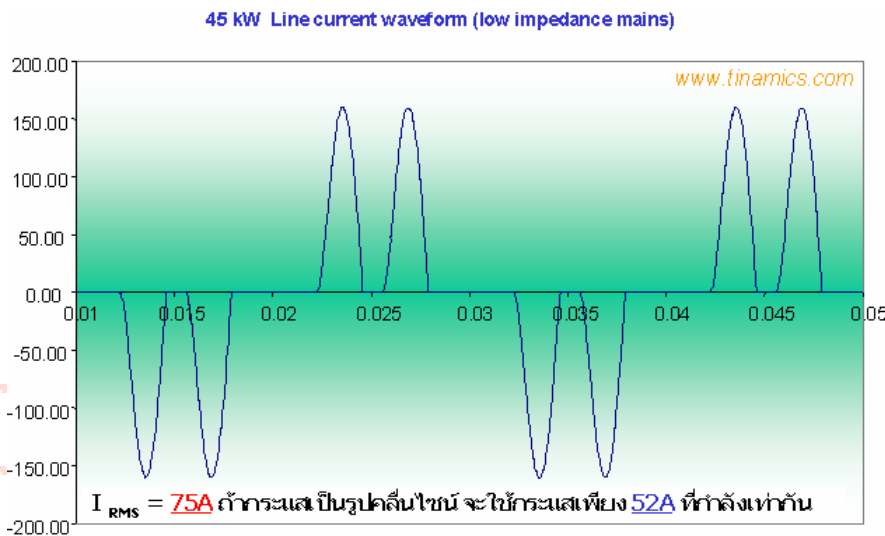


ฮาร์มอนิกสามารถสร้างปัญหาให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายรูปแบบโดยไม่ทราบสาเหตุ หรือที่มา เช่น อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงทำงานผิดปกติ เช่น เครื่องมือวัด คอมพิวเตอร์ เครื่องมือสื่อสาร หรือ มอเตอร์ร้อนเกินหม้อแปลงไม่สามารถจ่ายโหลดได้เต็มพิกัด เพราะมีแรงดัน และกระแสแปลกปลอม จึงร้อนมากกว่าปกติ ถึงอาจจะไหม้ได้ สวิตช์ตัดตอน (Circuit Breaker) ทรูปในขณะที่ยังจ่ายกระแสไม่เต็มพิกัด หรือคาปาซิเตอร์ที่ใช้สำหรับแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ระเบิดโดยไม่ทราบสาเหตุ เป็นต้น

วงจรเรกติไฟร์ (Rectifier circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง โดยใช้ไดโอดต่อแบบ 6 pulse ดังรูปที่ 4 ด้วยคุณสมบัติของไดโอดที่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองได้ก็ต่อเมื่อแรงดันด้านอาโนดสูงกว่าแรงดันด้านคาโทด หรือจากรูปที่ 4 ไดโอดจะนำกระแสก็ต่อเมื่อแรงดันที่ด้านขาเข้า หรือ Input AC Voltage supply สูงกว่าแรงดันที่ DC Link เท่านั้น ถ้าแรงดันที่ DC Link มีค่าคงที่สูงอยู่ที่จุดใกล้ๆ แรงดันสูงสุดของ peak voltage ไดโอดก็จะนำกระแสเพียงแค่วงสั้นๆ เท่านั้น จากผลของกระแสที่ไหลเพียงแค่วงสั้นๆ ใน VSD แบบเดิมๆ ทำให้รูปคลื่นกระแสไม่ได้มีค่าเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์ เมื่อรวมเป็น 3 เฟส อาจจะทำให้กระแสฮาร์มอนิกอาจจะสูงถึง 120% ของผลรวม Total Harmonics Distortion (THD)



รูปที่ 4 รูปแสดงกระแส input แบบ 6 Pulse diode rectifiers



รูปที่ 5 รูปแสดงกระแส input แบบ 6 Pulse สำหรับมอเตอร์ขนาด 45 kW ไม่มี incoming choke

ปัญหาอื่นๆ Harmonics Current Spectrum

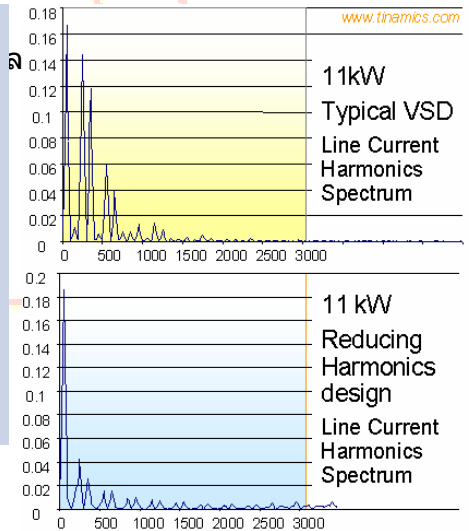
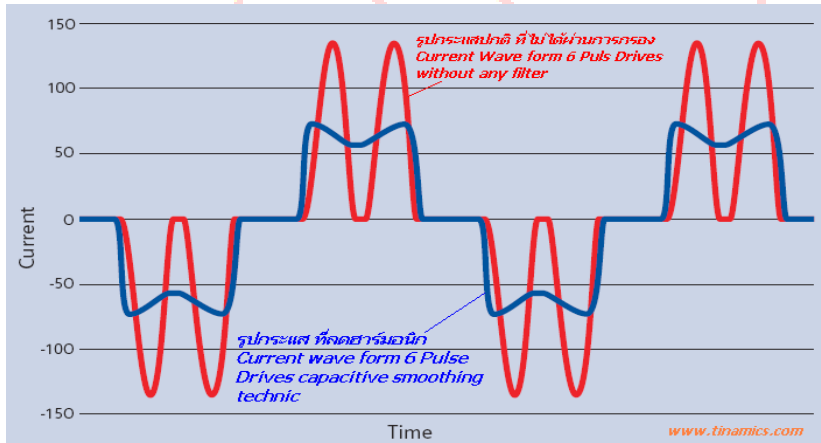
สำหรับวงจร 6 pulse bridge rectifier จะก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ $6n \pm 1$ จากความถี่พื้นฐานของระบบไฟฟ้าที่จ่ายเข้า ถ้าเป็นระบบ 50 Hz ก็จะมีฮาร์มอนิกที่ $5=5 \times 50$, ฮาร์มอนิกที่ $7=7 \times 50$, ฮาร์มอนิกที่ $11=11 \times 50$, ฮาร์มอนิกที่ $13=13 \times 50$ และต่อไปเรื่อยๆ เมื่อ $n=1,2,3,4...$

ส่วนความสูงของรูปคลื่นกระแสฮาร์มอนิกนั้นก็ขึ้นอยู่กับ ค่าอิมพลีแดนซ์ด้านขาเข้า และค่าแรงดันที่ DC link voltage และขนาดของโหลด induction motor

วิธีง่ายๆ ในการลดฮาร์มอนิก (Typical Methods reduce Harmonics)

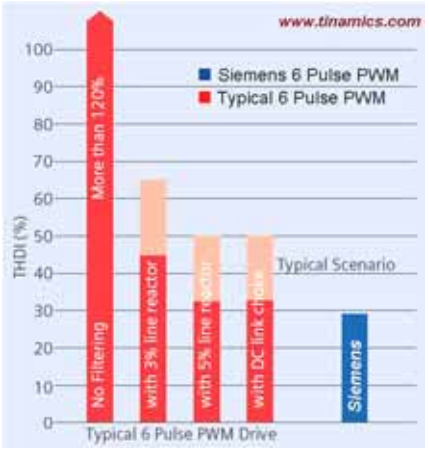
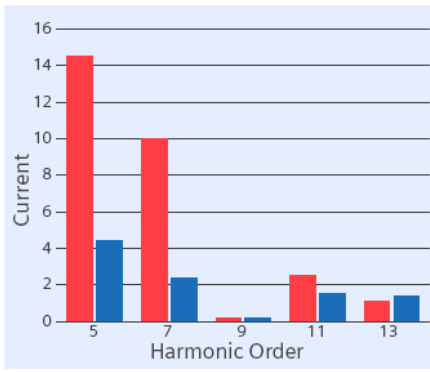
ฮาร์มอนิกที่ 5th และ 7th จะเป็นฮาร์มอนิกที่มีค่าสูง และส่งผลกระทบมากที่สุด ตามมาตรฐาน IEEE 519 ยอมให้มีแรงดันฮาร์มอนิกได้ไม่เกิน 5% THDv หากมีค่าสูงกว่านี้จะต้องทำการลดฮาร์มอนิกลง ไม่ว่าจะเป็นวิธีการติดตั้ง incoming choke หรือ DC choke เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกลง

ยังมีวิธีที่ง่ายกว่านี้ ไม่ต้องจ่ายเงินค่า Incoming choke หรือ DC choke ถ้าหากเป็นโหลดประเภท พัดลมหรือปั้มน้ำ เพราะการใช้งานส่วนใหญ่ ไม่ได้ต้องการให้ตอบสนองต่อคำสั่งรวดเร็วมากนัก ในทางตรงข้ามกลับต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไปเสียมากกว่า



รูปที่ 7 แสดงผลเปรียบเทียบ Harmonics Current ระหว่าง ไดรฟ์ธรรมดา กับไดรฟ์ใช้เทคนิค capacitive smoothing technique

การนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น และมากเพียงพอที่บริษัทผู้ผลิตจะทำ VSD ในแต่ละรุ่นออกมาเพื่อตอบสนอง เฉพาะงานนั้นๆ เช่น SIEMENS MM4 ได้ถูกออกแบบให้เหมาะกับโหลดพัดลม ไม่ได้ออกแบบให้ขับโหลดที่เกินกำลัง แต่ให้ค่อยๆ จ่ายกำลังมากกว่า มีการประมวลคำสั่งไม่ให้ขับเกินความเร็วรอบ โดยวิธีลดขนาดคาปาซิเตอร์ลงประมาณ 2% และเพิ่มระบบคิด และคำนวณการ ใช้พลังงานให้พอดีเพื่อลดกระแสฮาร์ มอนิก ให้เหลือน้อยที่สุด ทำให้ ไดโอดในภาค rectifier สามารถ นำกระแสได้ยาวนานมากขึ้น กระแสก็ จะลดความเป็นเหลี่ยมลง มีค่า ไกล่เคียงหลักการ และรูปคลื่นพื้นฐาน มากขึ้น ฮาร์โมนิกจึงลดลงต่ำกว่า VSD โดยทั่วไป + AC Input line reactors หรือ + DC link choke ด้วยระบบคิด และคำนวณวิเคราะห์ PWM แบบ vector ด้วย Micro processor ที่จ่ายพลังงานให้พอดีกับ โหลดที่ต้องการ นอกเหนือจาก สามารถลดกระแสฮาร์โมนิกได้แล้ว ยังส่งผลให้เสียงรบกวนจากฮาร์โมนิก ลดลงได้อีกมาก



รูปที่ 8 แสดง Harmonics spectrum ระหว่าง ไดรฟ์ทั่วไป กับไดรฟ์ที่ ใช้เทคนิค capacitive smooth

สรุป

ฮาร์โมนิก (Harmonics) เป็นสาเหตุที่ทำให้ อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดพลาด หม้อแปลงร้อน จนไม่สามารถจ่ายโหลดได้เต็มพิกัด switchgearหรือ Circuit Breaker ทริปโดยไม่รู้สาเหตุ, สายไฟร้อน, คอนแทคเตอร์ หรือ ฟิวส์ขาดในขณะที่กระแสอาจยังไม่เกินพิกัด อาการ ดังกล่าว สันนิฐานในเบื้องต้นได้ว่าเกิดจากกระแสฮาร์โมนิกรบกวน



ด้วยการออกแบบระบบของ Micromaster VSD's สามารถออกแบบให้มี harmonics current ด้านขาเข้าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ โดยไม่ต้องใส่อุปกรณ์ line reactors หรือ DC choke เพิ่มเติมแต่อย่างใด ในขณะที่ระบบ หรือ Drives อื่นๆ จำเป็นที่ จะต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อกรองคลื่นฮาร์โมนิกออกจากระบบ

ด้วยหลักการออกแบบสำหรับโหลดประเภทพัดลม หรือปั้มน้ำ ที่ไม่ต้องการการตอบสนองที่รวดเร็ว การ ออกแบบ Lowered DC link capacitive smooth techniques เพื่อ minimize harmonics ระบบควบคุมจะทำการ คำนวณการใช้พลังงานที่เหมาะสมในระดับที่ต่ำที่ยอมรับได้ และเพียงพอในการขับโหลดเพื่อให้แน่ใจ ว่าสามารถขับ มอเตอร์ให้เกิดเสียงรบกวนน้อยที่สุด และ smooth อย่างนิ่มนวลมากที่สุด