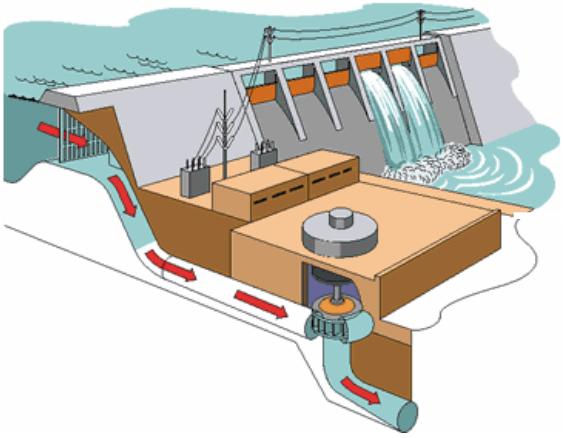
สงวนลิขสิทธิ์ © พ.ศ. 2546 ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ โดย บริษัท ไทนามิก จำกัด ห้ามลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของบทความฉบับนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักณ์อักษรจากผู้เขียนเท่านั้น ยกเว้นเพื่อการศึกษาโดยไม่แสวงหากำไร (Copyright © 2003)



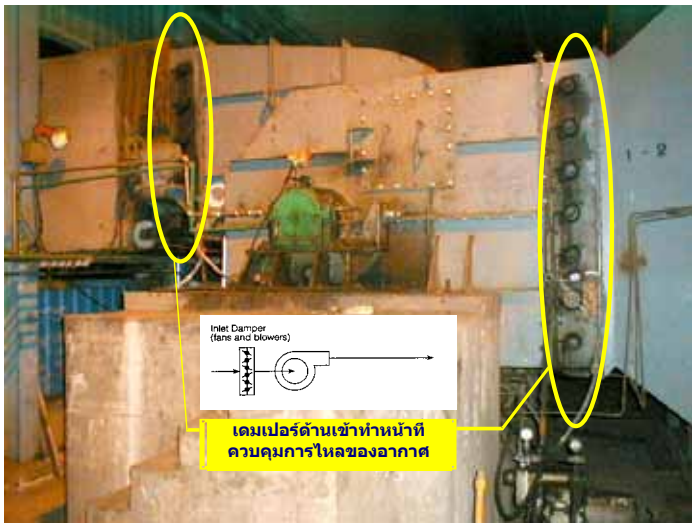
การประหยัดพลังงาน โดยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

Energy saving by VSD's

กรณีศึกษา (Case Study)

การประหยัดพลังงาน
โดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์สำหรับพัดลม
Energy saving by VSD's for fan application

รายละเอียดเพิ่มเติมทางทฤษฎี ดูได้จาก www.tinamics.com

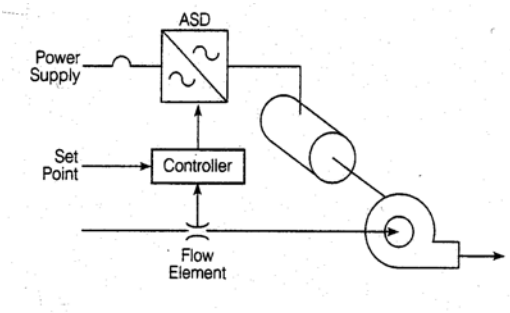


รูปที่ 7ก. แสดงภาพ และวิธีการควบคุมอัตราการไหลของลม

รูปที่ 7ข. แสดงมอเตอร์ HV ที่ใช้งาน

จากรูปที่ 7ก. เป็นพัดลม Reheat Furnace Combustion ควบคุมแรงดันลมตามขบวนการผลิตโดยใช้วิธีปรับวาล์วลมด้านขาเข้าของพัดลม (Air inlet damper control) เพื่อบีบช่องทางขาเข้าของลมทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ด้านขาออกได้ โดยมีมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกตามรูปที่ 7ข. ยี่ห้อ Mitsubishi ผลิตตั้งแต่ปีค.ศ.1988 แรงดันไฟฟ้า 3.3kV 746 kW (1,000 แรงม้า) ที่ 4 Pole หมุนด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา

เป็นเรื่องปกติโดยทั่วไปที่วิศวกรจะเลือกพัดลมให้ใหญ่กว่าความต้องการ เพราะต้องเผื่อเอาไว้ เกรงว่าจะเลือก หรือออกแบบผิดพลาด หรือ เผื่อเอาไว้ขยายกำลังการผลิตในอนาคต จากความต้องการของขบวนการผลิตจริง พัดลมมีความสามารถจ่ายลมได้มากกว่าความต้องการของขบวนการผลิตอยู่มาก จึงต้องปรับเดมเปอร์บีบลมอยู่เกือบตลอดเวลา สูญเสียพลังงานไปโดยใช่เหตุถึง 22 ปี



มอเตอร์ประมาณ 1 กิโลเมตร

เงื่อนไขของระบบการผลิต และวิศวกรของโรงงาน เมื่อต้องการจะติดตั้ง VSD เพิ่ม เพื่อเปลี่ยนวิธีการควบคุมจาก เดมเปอร์ เป็น VSD มีดังนี้

- กำลังขาออกของมอเตอร์จะต้องเท่าเดิม
- แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากชุดควบคุม VSD จะต้องไม่ทำอันตรายแก่ขดลวดมอเตอร์
- ไม่ต้องการให้มีการดัดแปลงแก้ไขตัวมอเตอร์ เช่นพัดลมระบายความร้อน ฉนวนที่แบรริ่ง ติดกราว์ดเพิ่ม หรือเปลี่ยนคัพปลิ้งเป็นแบบฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น
- ห้องควบคุมที่ติดตั้ง VSD อยู่ที่เดียวกับ VCB ห่างจากตัว

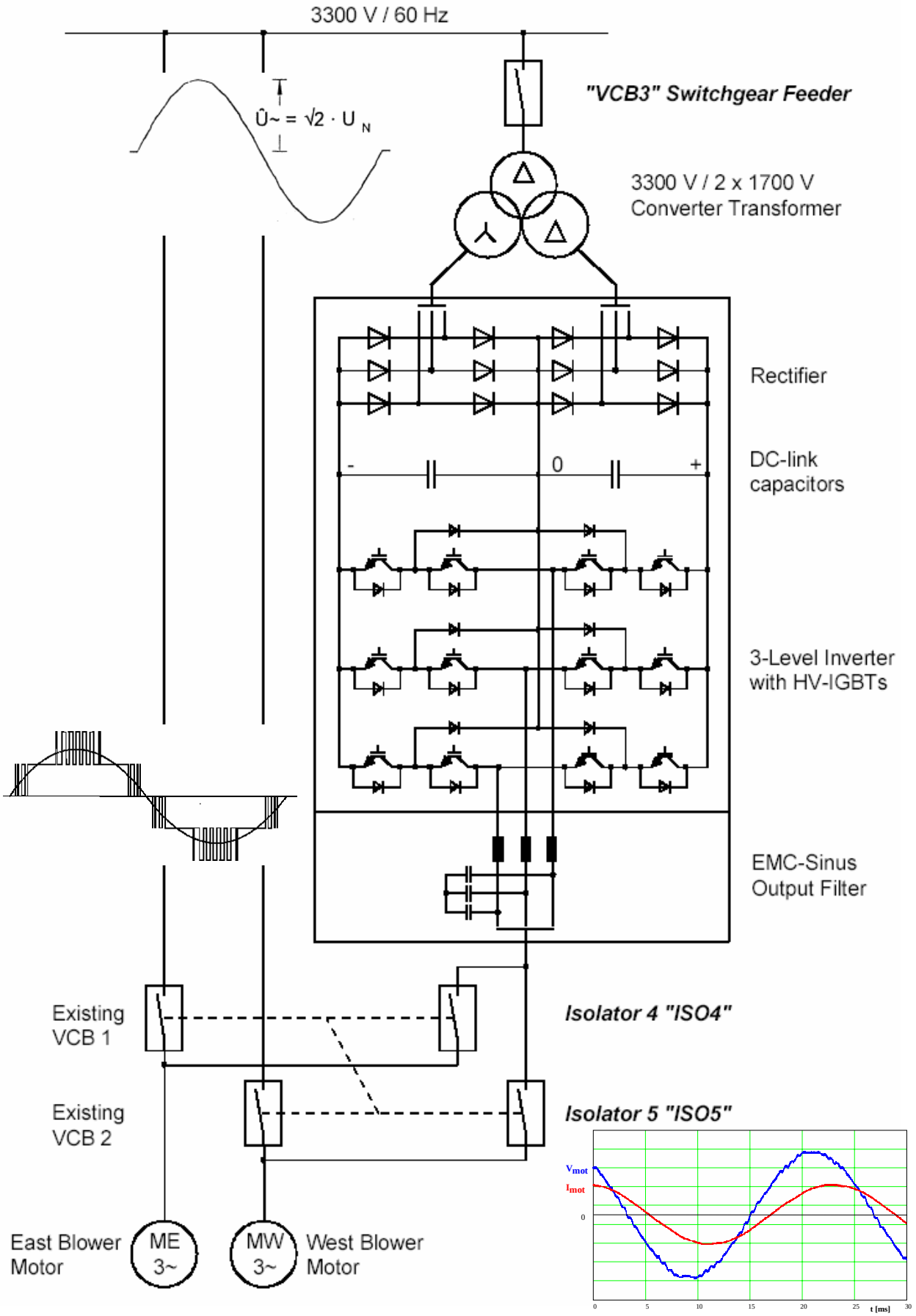
เนื่องมาจากระบบเดิม มีการติดตั้งพัดลม อยู่ 2 ชุดประสานงานเข้าด้วยกัน เพื่อช่วยกันจ่ายลมให้กับขบวนการผลิต ซึ่งติดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออก (East) และทิศตะวันตก (West) เพื่อเป็นการประหยัดการลงทุน จึงได้ออกแบบให้ใช้ VSD เพียง 1 ตัวสามารถควบคุม พัดลมได้ทั้งสองตัว จึงต้องมีการติดตั้ง PLC ที่ขาเข้าและออกของพัดลมทั้งสองชุด

โดยมีเงื่อนไขของระบบเพิ่มเติมคือ เมื่อ VSD ขับพัดลมด้านทิศตะวันออก ในเวลาเดียวกันพัดลมด้านทิศตะวันตกจะต้องสามารถขับแบบ DOL เต็มความเร็วรอบได้

หรือ เมื่อ VSD ขับพัดลมด้านทิศตะวันตก ในเวลาเดียวกันพัดลมด้านทิศตะวันออกจะต้องสามารถขับแบบ DOL เต็มความเร็วรอบได้

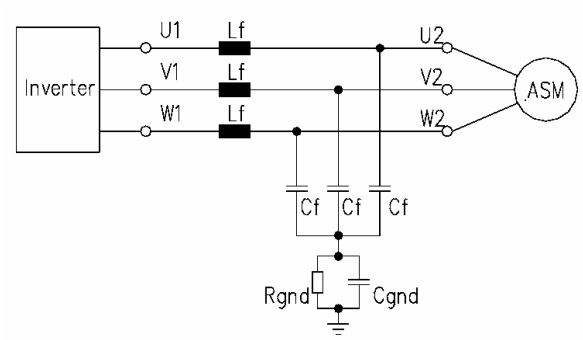
หรือ เมื่อขับพัดลมด้านทิศตะวันตก DOL ในเวลาเดียวกันพัดลมด้านทิศตะวันออกจะขับแบบ DOL เต็มความเร็วรอบได้อีกเหมือนกัน

Copyright © 2003



รูปที่ 8 แสดงวงจรภายใน และวิธีการต่อ VSD เข้ากับพัดลมทั้งสองตัว

รูปที่ 9 วงจรการต่อ EMC sinusoidal output filter

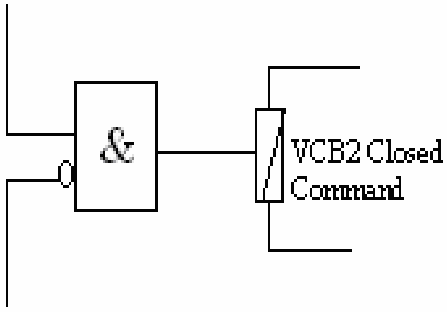


จากรูปที่ 8,9 เป็นวงจรภายในของ ***SIMOVERT MV*** ที่ออกแบบมาใช้กับ แรงดันไฟฟ้า 3300 โวล์ท แบบ Voltage source inverter ชนิด PWM 3 ระดับ ทำให้รูปคลื่นของแรงดันจะเรียบดีกว่าแบบ 2 ระดับ ตามรูปที่ 4 ข. ทำให้แรงดัน Spite (dv/dt) ไม่สูงมากนัก ทำให้สามารถนำไปใช้ได้โดยต่อตรงกับมอเตอร์ที่ออกแบบปกติของซีเมนส์ได้โดยไม่ต้องต่อ EMC sinusoidal output filter

เนื่องจากโครงการนี้ VSD จะนำไปใช้กับมอเตอร์เก่ามากกว่า 22 ปี ประกอบกับไม่ทราบข้อมูลที่แน่ชัดของฉนวนมอเตอร์ จึงจำเป็นต้องติดตั้งชุดกรองรูปคลื่นที่ด้านขาออก เมื่อแรงดันไฟฟ้าจาก PWM 3 ระดับ ผ่านออกไปยัง EMC sinusoidal output filter ดังรูปที่ 9 แสดงวงจรภายในของฟิลเตอร์ จะทำให้รูปคลื่นที่ผ่านฟิลเตอร์เข้ามอเตอร์เกือบเหมือนกับรูปคลื่นซายด์ทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยมีค่า THD <5% ทำให้ความเครียสที่เกิดกับมอเตอร์จึงน้อยมาก เกือบเหมือนกับการจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าปกติ

ด้วยเทคโนโลยีของ EMC sinusoidal output filter ทำให้ไม่มีผลกระทบที่เกิดจากคาปาซิเตอร์ L/C ตามทฤษฎีของสายส่งระหว่างชุดควบคุมความเร็วรอบ VSD กับตัวมอเตอร์ที่มีระยะยาวถึง 1000 เมตร จึงไม่มีผลกระทบต่อความยาวสายสำหรับโครงการนี้

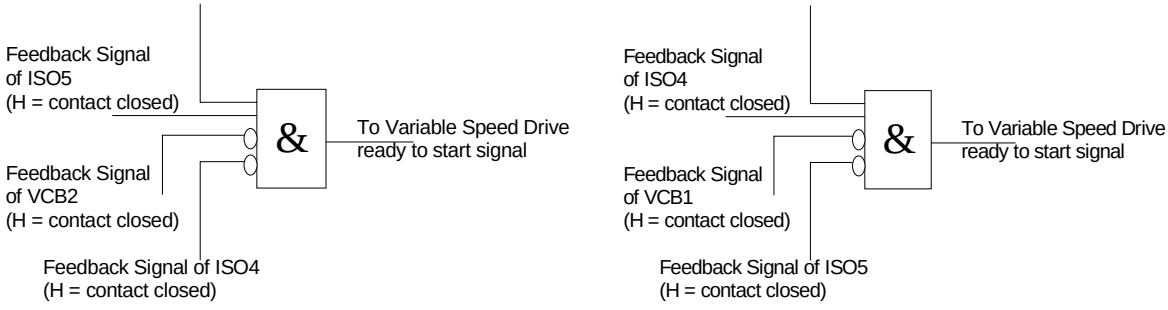
เนื่องจากโครงการนี้ลักษณะการใช้งานเป็นพัดลมซึ่งมีคุณสมบัติโหลดทอร์ก (Load torque curve characteristic) แปลผันตามความเร็วรอบยกกำลังสอง ($T \sim n^2$) กล่าวคือเมื่อความเร็วรอบลดลงแรงบิดที่พัดลมต้องการจะลดลงไปด้วยเป็นกำลังสอง ทำให้กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์จะน้อยลงตามแรงบิดที่ต้องการ เมื่อกระแสเข้ามอเตอร์น้อยลงที่ความเร็วรอบต่ำลง พัดลมระบายความร้อนที่ติดกับเพลาด้านท้ายตัวมอเตอร์ก็ทำการระบายความร้อนลดลงไปด้วยตาม n^2 แต่เพียงพอต่อการระบายความร้อนที่ความเร็วรอบต่ำได้ โดยไม่ต้องไปเปลี่ยนแปลงพัดลมระบายความร้อนที่ตัวมอเตอร์



เนื่องจากโครงการนี้ออกแบบให้ใช้ VSD เพียง 1 ตัว ควบคุม มอเตอร์ 2 ตัว โดยการทำงานจะต้องสามารถเลือก DOL ที่พัดลมทางด้านทิศตะวันตกได้ (Vacuum Circuit Breaker,VCB2) จึงต้องติดตั้งชุดป้องกันทำงานซ้อนกัน (interlocking) ระหว่า VCB โดยเขียนโปรแกรม inter lock ไว้ที่ PLC ดังรูปด้านซ้ายมือ

การทำงานจะต้องสามารถเลือก DOL ที่พัดลมทางด้านทิศตะวันออกได้ (VCB1)

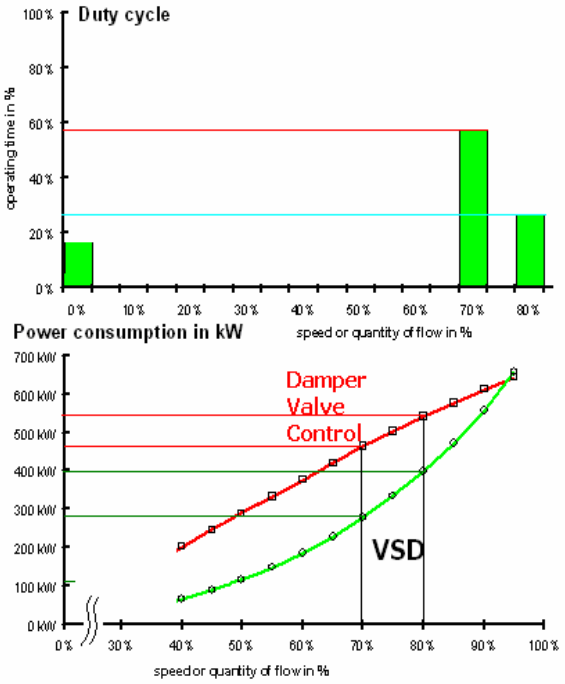
การทำงานจะต้องสามารถเลือก VSD ที่พัดลมทางด้านทิศตะวันตก
หรือ ทางด้านทิศตะวันออกได้ จึงต้องเขียนโปรแกรม Inter lock ไว้ที่ PLC ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงตังอย่างการเขียนโปรแกรม inter lock ของ PLC เพื่อให้สามารถเลือก function ตามต้องการได้

ผลการใช้งาน

จากรูปที่ 11 แสดงกรณีที่อัตราการไหลของลมที่ต้องการในขบวนการผลิตมี 70% ปกติจะต้องปิดวาล์เดมเปอร์เพื่อควบคุมอัตราการไหล จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้บางส่วนจากเดิมที่อัตราพิกัดของพัดลม 100% จะกินพลังงาน 700 kW (มอเตอร์ออกแบบมาที่ 746 kW) ด้ายวิธีการปิดวาล์วด้านขาเข้าทำให้กินพลังงานลดลงเหลือเพียง 480 kW ตามกราฟเส้นสีแดง Inlet valve damper control



รูปที่ 11 แสดงคุณสมบัติของพัดลมเปรียบเทียบเมื่อควบคุมด้วย VSD

แต่เมื่อใช้ การควบคุมด้วยชุดปรับความเร็วรอบ VSD แทนการควบคุมด้วยวาล์วเดมเปอร์ สามารถลดการกินพลังงานลดลงเหลือเพียง 280 kW ตามกราฟเส้นสีเขียว นั่นคือสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 200 kW ตลอดย่านการทำงานคิดเป็น 58% ของเวลาทำงานทั้งหมดต่อปี หรือคิดเป็นเวลาทำงานตลอดทั้งปีถึง 210 วัน ในทำนองเดียวกันเมื่ออัตราการไหลของลมที่ต้องการในขบวนการผลิตต้องการมากขึ้นเป็น 80% จากระบบเดิมจะกินพลังงาน 550 kW ตามกราฟเส้นสีแดง Inlet valve damper control

แต่เมื่อใช้ การควบคุมความเร็วรอบ VSD แทนการควบคุมด้วยวาล์วเดมเปอร์ สามารถลดการกินพลังงานลงเหลือเพียง 400 kW ตามกราฟเส้นสีเขียว นั่นคือสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 150 kW จากระบบเดิม คิดเป็น 25% ของเวลาทำงานทั้งหมดต่อปี หรือคิดเป็นเวลาทำงานตลอดทั้งปีถึง 210 วัน

ในแต่ละวันทางการไฟฟ้าจะคิดค่าไฟฟ้าเป็นช่วงราคาค่าไฟฟ้าแบบสูงสุด และแบบปกติ (Off peak) ซึ่งราคาค่าไฟฟ้าจะแตกต่างกัน สามารถหาดูได้จากเวปไซด์ http://www.pea.or.th ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

Case No.	Cost Savings	Energy Savings	ลักษณะรูปแบบการจ่ายเงิน Yearly energy cost pattern	Duty cycle จำนวนวัน		% ของวัน	Flow rated
	บาท	kWh					
1	2,049,637	721,500	Peak rated 13 ชั่วโมง ที่ 2.8408 B/kWh	210	operation	58%	70%
2	747,618	610,500	Off peak 11 ชั่วโมง= 1.2246 B/kWh	90	cooling	25%	80%
			ขับโหลดตลอด 24 ชม./วัน	65	maintenance	18%	0%
	2,797,256	1,332,000		365	วัน	100%	

VSD cost =	7,328,000	บาท	หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้าจากกรณีศึกษาใช้อัตราที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ตามอัตราค่าไฟฟ้า TOU อ้างอิง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2546 จาก http://www.pea.or.th ราคาต้นทุนของ VSD คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 40 บาท / ยูโร
Total saving / year =	2,797,256	บาท	
Pay back time =	2.6	ปี	

จากตารางการคำนวณเป็นการคำนวณเพียงง่ายๆ เพื่อให้ง่ายแก่การทำความเข้าใจ ทั้งนี้ยังไม่ได้รวมถึงดอกเบี้ยในการลงทุนครั้งแรก ซึ่งปัจจุบันนี้ดอกเบี้ยเงินฝากน่าจะต่ำที่สุดในประวัติศาสตร์ชาติไทย หากรวมดอกเบี้ยเข้าไปกับการลงทุนด้วยแล้ว ระยะเวลาการคืนทุนคงจะยาวนานกว่า 2.6 ปี แต่หากมองอีกมุมหนึ่ง ทุกวันนี้ ค่าไฟฟ้ามีแต่จะขึ้นราคาอยู่ตลอดเวลา หากคิดถึง Productivity of Production น่าจะดีในแง่การบริหารและการจัดการทรัพยากร เพราะต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยจะถูกลง หรือต้นทุนในการผลิตสินค้าต่อหน่วยถูกลงนั่นเอง

ปัจจุบันนี้ได้มีหน่วยงานของรัฐหลายหน่วยงานเช่นกรมอนุรักษ์พลังงาน ได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ในการประหยัดพลังงาน ได้เข้ามาให้การสนับสนุนการนำ VSD เข้ามาช่วยประหยัดพลังงานสำหรับพัดลม หรือเครื่องสูบน้ำ พร้อมทั้งให้งบประมาณสนับสนุนการลงทุนในเบื้องต้น ซึ่งสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้โดยตรงกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังกล่าว

Copyright © 2003

ผลประโยชน์ที่ได้รับ

จากตารางภายหลังจากติดตั้ง VSD ไปแล้วได้ทำการทดสอบตรวจวัดพลังงานที่ใช้ ปรากฏว่าสามารถลดการใช้พลังงานไปได้ถึง 1,332,000 kWh ต่อปี ด้วยเทคโนโลยีของ VSD *SIMOVERT MV©* สามารถประหยัดพลังงานจากการใช้ VSD อย่างเดียวสามารถคืนทุนได้ภายในเวลา 2.6 ปี ส่วนผลประโยชน์ที่ได้รับนอกเหนือจากการประหยัดพลังงาน คือ

- สามารถลดเวลาการบำรุงรักษาใบพัดลมเนื่องจากฝุ่น เพราะแทนที่ใบพัดจะต้องหมุนที่ความเร็วรอบสูงเปลี่ยนมาหมุนที่ความเร็วรอบต่ำฝุ่นที่มาจับที่ใบพัดจะน้อยกว่า
- เนื่องจาก VSD *SIMOVERT MV©* ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ของระบบตลอดย่านการปรับควบคุมความเร็วรอบสามารถควบคุมได้ cos φ > 0.98
- ด้วยเทคโนโลยีของซอฟแวร์ *Drive ES©* สามารถพัฒนาระบบการควบคุมเป็นแบบสมัยไหม่ เช่น ระบบ **SCADA** โดยสามารถควบคุมขบวนการผลิตได้จากคอมพิวเตอร์ ระยะไกล โดยผ่าน PLC ควบคุม ซึ่งเป็นแบบเปิดสามารถใช้ระบบการสื่อสารแบบใดก็ได้ในอนาคต
- Restart on the fly สามารถกำหนดให้ระบบสามารถเริ่มหมุนได้ในกรณีที่ไฟฟ้าดับ หรือ Voltage Dip
- มีระบบตรวจนับเวลาการใช้งานที่ตัว VSD ทำให้ทราบระยะเวลาการใช้งาน จึงสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงของทั้งระบบ ทั้ง VSD มอเตอร์ และพัดลมได้
- ด้วยเทคโนโลยี VSD *SIMOVERT MV©* สามารถเริ่มหมุนมอเตอร์ได้อย่างนิ่มนวล (Soft start) ทำให้สามารถลดความเสียหายทางกลอันเนื่องมาจากการเริ่มหมุนแบบ DOL ทำให้เกิดการกระชาก
- สามารถตอบสนองอัตราการไหล และแรงดันลมได้รวดเร็วกว่าระบบเดิม
- มีระบบ PID control แถมมาให้ทำให้สามารถทำ close loop control หรือสามารถนำสัญญาณไปเชื่อมโยง หรือควบคุมเพิ่มเติมกับระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

ส่วนข้อเสียก็มีบ้างเหมือนกัน เมื่อเพิ่มอุปกรณ์อีกอย่างเข้าไปในระบบ ก็ต้องจำเป็นจะต้องมีการบำรุงรักษา VSD เพิ่มเติมอีกอย่าง และเนื่องด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ของ VSD ทำให้เกิด Harmonics ย้อนกลับเข้าไปยังการไฟฟ้า แต่เนื่องจากกรณีนี้ได้เลือกใช้ VSD แบบ 12-pulse ทำให้สามารถลด Harmonics effect เป็นไปตามข้อกำหนดอ้างอิงตามมาตรฐานฮาโมนิกส์ IEEE519 เป็นต้น

อักษรย่อ

DOL	**D**irect **O**n **L**ine การเริ่มหมุนมอเตอร์โดยการต่อตรงแรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัดแรงดัน
Drive ES	Name of software and Parameterization to the SIMOVERT **VSD**.
PC	**P**ersonal **C**omputer
PLC	**P**rogrammable **L**ogic **C**ontroller
PWM	**P**ulse **W**idth **M**odulation
rms	**r**oot **m**ean **s**quare เป็นค่าเฉลี่ยทางไฟฟ้าของรูปคลื่นซายด์เวฟ
rpm	**r**ound **p**er **m**inute หน่วยของความเร็วรอบเป็น รอบต่อนาที
SCADA	**S**upervisory **C**ontrol **a**nd **D**ata **A**cquisition
SIMOVERT MV	ชื่อทางการค้าของบริษัทซีเมนส์สำหรับ **VSD**s **M**edium **V**oltage
THD	**T**otal **H**armonic **D**istortions
VCB	**V**acuum **C**ircuit **B**reaker
VSD	**V**ariable **S**peed **D**rives ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
VVVF	**V**ariable **V**oltage **V**ariable **F**requency

อ้างอิง

1. Siemens A&D-LD catalog DA63-2002 Simovert MV
2. K. Bauer, M. Kaufhold, H. Wang, „High Voltage Motor Winding Insulation for High Power Adjustable Speed Drives fed by IGBT Converter", submitted for publication at BEAMA 1998.
3. R. Sommer, A. Mertens, C. Brunotte, G. Trauth, "Medium Voltage Drive System with NPC Three-level Inverter using IGBTs", 8th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 1999, Lausanne, CH.
4. Benoit Schmitt "Energy Savings with VSD For reheat furnace combustion air fans"" Article Siemens A&D-LD

ตีพิมพ์ลงในวารสาร *เทคนิค เครื่องกล•ไฟฟ้า•อุตสาหการ* ฉบับที่ *227* ประจำเดือน *กันยายน พ.ศ.2546 หน้าที่ 163-172*

ต้องการดูบทความอื่นๆ สามารถ Down Load เพิ่มเติมได้จาก http://www.tinamics.com