

คุณภาพไฟฟ้า



ABB and Solar Impulse พร้อมแล้วสำหรับเที่ยวบินประวัติศาสตร์รอบโลก 16

- Station Service Voltage Transformer (SSVT)
ระบบป้องกันพื้นฐานสำหรับหม้อแปลงแรงดัน SSVT 20
- คุณภาพไฟฟ้านั้นสำคัญมากเพียงไร
การกำจัดกำลังรีแอ็กทีฟและฮาร์โมนิกด้วยตัวเก็บประจุและตัวกรอง 24
- UniGear ZS2 36 kV, 2500A, 31.5 kA Medium voltage,
arc-proof, air insulated switchgear 28



08 Understanding Premium Power Grades
ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระดับชั้นของไฟฟ้า
กำลังคุณภาพพิเศษ (ตอนจบ)



18 ABB and Solar Impulse
พร้อมแล้วสำหรับเที่ยวบินประวัติศาสตร์รอบโลก



Editor's Talk

เปิดรับศรัทธาใหม่พร้อมความสุขและเรื่องราวดีๆ ปีนี้รู้สึกรักเมืองไทยมากขึ้นอย่างบอกไม่ถูก อยากตอบแทนอะไรดีๆ ให้แผ่นดินเกิดที่แสนรักบ้าง ว่าแล้วก็ดำริกับตัวเองให้เร่งสร้างกำลังใจแข็งขึ้นขึ้นมาให้ได้ อย่างน้อยการรับผิดชอบต่อหน้าที่ตัวเองให้ดีที่สุด และมีน้ำใจแบ่งปันความรักให้คนรอบข้างบ้างในเวลาที่ได้ ก็คงทำให้เมืองไทยของเราสวยงามน่าอยู่ขึ้นบ้างไม่มากก็น้อย

‘คุณภาพไฟฟ้า’ ฉบับประเดิมปี 2558 เริ่มต้นกันที่ความสำเร็จของ ABB และ Solar Impulse เครื่องบินพลังงานแสงอาทิตย์ลำแรกที่สามารถบินรอบโลกได้ทั้งกลางวันและกลางคืน, Station Service Voltage Transformer (SSVT) ระบบป้องกันพื้นฐานสำหรับหม้อแปลงแรงดัน SSVT, คุณภาพไฟฟ้านั้นสำคัญมากเพียงไร การกำจัดกำลังรีแอ็กทีฟและฮาร์โมนิกด้วยตัวเก็บประจุและตัวกรอง, UniGear ZS2, ตอนจบของ Understanding Premium Power Grades ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระดับชั้นของไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ และปิดท้ายด้วยเรื่องสุขภาพ กับกรมมองเห็นสีที่บกพร่องหรือภาวะตาบอดสี

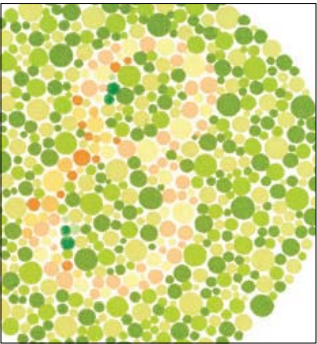
ถ้าพร้อมแล้ว เรื่องราวน่าสนใจรออยู่ พลิกหน้าถัดไปได้เลย



เจ้าของ บริษัท เอบีบี จำกัด • ที่ปรึกษา กำชัย เลิศธีระกุล, สุพล พฤกษ์จินดา, ประวิทย์ วิจารณ์รัตน์, ประดิษฐ์พงษ์ สุขศิริถาวรกุล • จัดทำโดย Power Products Division
สำนักงานใหญ่ 161/1 อาคารเอสซีทาวเวอร์ ชั้น 1-4 ซอยหัดเล็กลอง 3 ถ.ราชดำริ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0 2665 1000 แฟกซ์. 0 2665 1177 <http://www.abb.com>
โรงงาน 322 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซ.6 ปี 6.สุขุมวิท ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280
บทความและรูปภาพทุกชิ้นในคุณภาพไฟฟ้าสงวนสิทธิ์ตามกฎหมาย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนหรือบริษัท เอบีบี จำกัด



28 UniGear ZS2 36 kV, 2500A, 31.5 kA Medium voltage,
arc-proof, air insulated switchgear



36 ตาบอดสี

Power Quality Series

04 Interharmonics Part III: A Case Study of Interharmonic Problem and Mitigation of Interharmonics อินเตอร์ฮาร์โมนิก ตอนที่ 3: กรณีศึกษาปัญหาอินเตอร์ฮาร์โมนิก และการแก้ไขอินเตอร์ฮาร์โมนิก

Power Quality Series

08 Understanding Premium Power Grades ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระดับชั้นของไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ (ตอนจบ)

International Standard Series

14 IEEE C57.13-2008 IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ตอนที่ 20)

Success Story Series

18 ABB and Solar Impulse พร้อมแล้วสำหรับเที่ยวบินประวัติศาสตร์รอบโลก

High Voltage Series

20 Station Service Voltage Transformer (SSVT) ระบบป้องกันพื้นฐานสำหรับหม้อแปลงแรงดัน SSVT

Special Power Series

24 คุณภาพไฟฟ้านั้นสำคัญมากเพียงไร การกำจัดกำลังรีแอ็กทีฟและฮาร์โมนิกด้วยตัวเก็บประจุและตัวกรอง

Medium Voltage Series

28 UniGear ZS2 36 kV, 2500A, 31.5 kA Medium voltage, arc-proof, air insulated switchgear

Power Transformers Series

32 Power Transformers (ตอนที่ 23)

Health & Wellness

36 ตาบอดสี

News & Movement

38 News & Movement

ผศ.ดร. ธวัชชัย เตชสุนันต์ > taytaycu@gmail.com

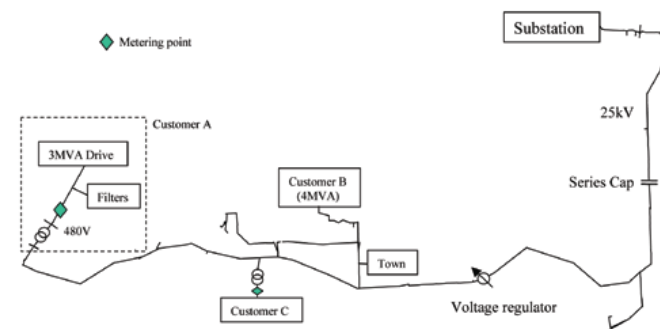
บทบาทของอินเตอร์สาร์มอิกสามารถเกิดขึ้นได้ในการปฏิบัติ แผลงค่าเบิดอินเตอร์สาร์มอิกประเภทต่างๆสามารถอ่านได้ในตอนที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผลงค่าเบิดสาร์มอิกนั้นมักจะเป็นแผลงค่าเบิดขออินเตอร์สาร์มอิกเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์แต่ละคู่คลื่นที่ได้จากการวัดโดยที่มีข้อมูลไปครบถ้วนแผลงค่าเบิดอินเตอร์สาร์มอิกอาจกลายเป็นแผลงค่าเบิดอินเตอร์สาร์มอิกเทียมได้ อินเตอร์สาร์มอิกนั้นสามารถก่อให้เกิดไฟกระพริบได้ถ้ามีปริมาณที่มากพอและมีความถี่ในการกระเพื่อมที่ไวต่อตามนุษย์ อินเตอร์สาร์มอิกในการปฏิบัติมักจะเป็นคู่อินเตอร์สาร์มอิก และความถี่ขออินเตอร์สาร์มอิกจะเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขการท้าวานขอแผลงค่าเบิดอินเตอร์สาร์มอิก จึงทำให้มีความซับซ้อนในการแก้ไขปัญหามากกว่าสาร์มอิกตามที่ได้อธิบายไว้ในตอนที่ 2 บทความตอนสุดท้ายนี้จะวิเคราะห์นิศึกษาจริงขอปัญหาไฟกระพริบที่เกิดจากอินเตอร์สาร์มอิกและอธิบายการแก้ไขปัญหโดยใชัตัวกรองแบบ Switched filter scheme

ทาவுเขียนหัวว่าผู้่านจะได้รับความรู้เกี่ยวกับเรื่องอินเตอร์สาร์มอิกและไฟกระพริบไม่มากก็น้อยจากบทความทั้งสามตอนนี้

กรณีศึกษาเน้นระบบจำหน่ายไฟฟ้า 25 KV ซึ่งสามารถพบเห็นได้โดยทั่วไปในชนบทของอเมริกาเหนือ (ควาถี่มูลฐานคือ 60 Hz) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสายป้อนมีระยะทางประมาณ 30 ไมล์และใช้โครงหมวกป้องกัน 10 MVA (ระบบที่ศึกษาเป็นระบบไฟฟ้าเดียวกันกับที่กล่าวถึงในตอนท้ายของตอนที่ 2) โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้า A และ B เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดที่สายป้อนนี้จ่ายไฟฟ้าและมีการใช้ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ (Variable Frequency Drives (VFDs)) เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของเครื่องจักรควบคุมความเร็วของมอเตอร์สแตนด์

กระพริบที่เกิดขึ้น

ผลสรุปให้ขึ้นต้นจากการวิเคราะห์ขั้นต้นได้แก่ 1) แรงดัน
ในบริเวณนั้นก่อให้เกิดการระเหิดออกมาพอที่จะทำให้เกิด
โพรงหรือโพรงที่เข้า 2) จำเป็นต้องมีการตรวจวัด
ข้อมูลที่ใช้ให้เข้า A เพื่อที่สามารถวิเคราะห์ปัญหาให้
ละเอียดและถูกต้องมากขึ้น รูปคลื่นที่สะท้อนการตรวจ
วัดมานั้นจะต้องประกอบด้วยหลายเซลล์ ที่ที่จะ
สามารถสังเกตเห็นถึงรูปแบบของการกระเหิดและ
ตัวแปรวิเคราะห์อื่นต่ออัตราการมีนัยต่อไปได้ดังที่ได้
อธิบายไว้ในตอนต้น 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมของกรณีศึกษาปัญหาไฟกระพริบที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอินเตอร์ฮาร์โมนิก

3. ผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ปัญหาอินเทอร์เน็ต (Measurement Results and Analysis)

3.1 ผลการตรวจวัด

จุดที่ทำการวัดข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาไฟ
กระพริบนี้คือที่ผู้ใส่ไฟฟ้า A และ C แสดงในรูปที่ 1
เครื่องมือวัดที่ติดตั้งจะมีความสามารถทำการเก็บ
ข้อมูลได้หลายเซลล์ ข้อมูลรูปคลื่นของแรงดันและ
กระแสที่ความถี่ช่วงของชุดบันทึกนั้นได้ถูกทำการ
ตรวจวัดและเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่
อินเตอร์เฟซของนิคโคที่ 2 แต่ผลตัวอย่างรูปคลื่น
แรงดันที่ได้จากการตรวจวัด จะเห็นได้ว่าถ้าเครื่องมีว
สามารถเก็บรูปคลื่นได้เพียงที่รูปคลื่นในรูป 2b
รูปแบบของการกระเพื่อมจะไม่สามารถมองเห็นได้
แต่มีจำนวนรูปคลื่นมากพอในรูป 2a รูปแบบของการ
กระเพื่อมจะสามารถมองเห็นได้ และเมื่อทำการขยาย
ด้านขอบของของรูปคลื่นดังแสดงในรูป 2c จะเห็นการ
กระเพื่อมของแรงดันอย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์ฟูเรียร์โดยใช้รูปคลื่นจำนวน 60 ไซเคิล (ความละเอียดของความถี่ คือ 1 Hz) เมื่อ VFD ทำงานที่ความถี่ 30 Hz จะได้สเปกตรัมของแรงดันดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่าสเปกตรัมที่ได้ประกอบด้วยฮาร์โมนิก

และอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่มีค่าสูงอยู่ 2 ตำแหน่ง คือที่ความถี่ 117 Hz และ 237 Hz ตามลำดับ ความถี่อินเตอร์ฮาร์โมนิกหลัก (Dominant interharmonic frequencies) เหล่านี้ขึ้นอยู่กับความถี่ฮาร์โมนิกเลขคู่ ซึ่งอินเตอร์ฮาร์โมนิกเหล่านี้เองเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม

3.2 การวิเคราะห์ปัญหาอินเตอร์ฮาร์โมนิก

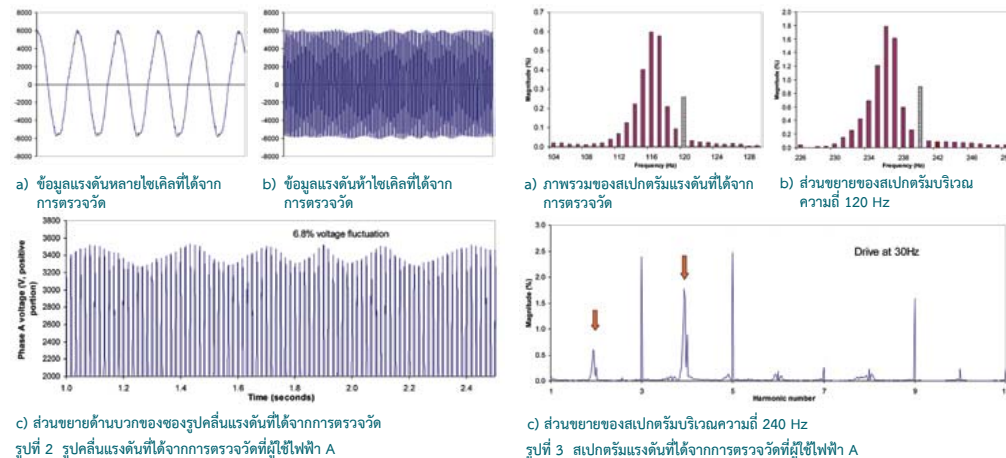
หลังจากที่ทีมมารดาหาสาเหตุของการเกิดไฟกระพริบได้แล้วจึงจำเป็นต้องหาแหล่งกำเนิดของอินทรีย์สารออกมาจากโลก วิธีหนึ่งที่จะเป็นไปได้ในการตอบคำถามนี้คือการตรวจสอบทิศทางของกำลังจรัญจวนอินทรีย์สารโดมิแนนท์ (Dominant inorganic carbon real powers) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นเรโองยาคที่ระบบไฟฟ้าจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอินทรีย์สารอินทรีย์หลายแหล่งกำเนิดที่ความถี่เดียวกันได้ ดังนั้นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดอินทรีย์สารอินทรีย์นั้นควรจะอยู่ในตำแหน่งด้านที่สร้างกำลังจรัญจวนอินทรีย์สารอินทรีย์หลัก ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์ที่สามารถอธิบายได้โดยรูปที่ 3 ซึ่งแสดงกำลังจรัญจวนที่ความถี่ 60 Hz ด้วยกำลังสนามไฟฟ้ากำลังของอินทรีย์สารอินทรีย์หลักที่ความถี่ 117 Hz และ 237 Hz เป็นเครื่องหมาย

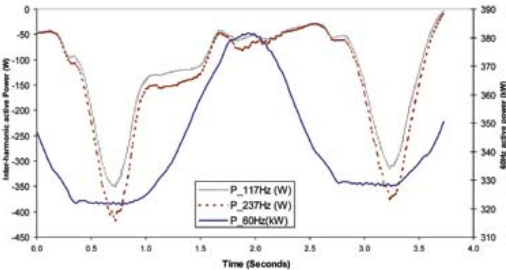
ตรงข้ามกับกำลังจริงที่ความถี่ 60 Hz (กำลังจริงของอินเวอร์ตอร์มอิกหลักมีค่าเป็นลบ) เนื่องจากกำลังจริงที่ความถี่ 60 Hz ถูกส่งมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปให้ผู้ใช้เวลา ดังนั้น อินเวอร์ตอร์มอิกจะต้องถูกสร้างมาจากผู้ใช้เวลา จึงสามารถสรุปได้ว่า VFD ของผู้ใช้เวลา A คือแหล่งกำเนิดอินเวอร์ตอร์มอิกในกรณีศึกษา

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของอินเทอร์เน็ตอาร์มิก
หลักที่ถูกสร้างขึ้นและขนาดของ VFD จะแสดงในรูป
ที่ 5 (เส้นล่างและบนแสดงความถี่อินเทอร์เน็ตอาร์มิก
หลักที่ถูกสร้างขึ้นและขนาดของ VFD จากสมการที่ 1 ใน
ตอน 2) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของอินเทอร์เน็ต
อาร์มิกหลักที่ถูกสร้างขึ้นและขนาดของ VFD จะ
เป็นเชิงเส้น ดังนั้น เราสามารถหาขนาดได้ว่า VFD
เป็นแหล่งกำเนิดอินเทอร์เน็ตอาร์มิกจริง ผลจากการ
ตรวจวัดสอดคล้องกับสมการในทางทฤษฎี

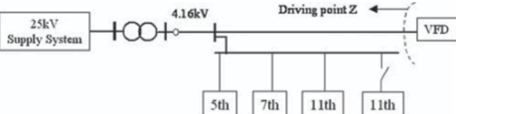
ปริมาณแรงดันอินเตอร์อาร์มอิกที่ได้อาจการตรวจวัด มีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำแบบขนาน (Parallel resonance) ขึ้นระหว่างตัวกรองอาร์มอิกของตู้ใส่ไฟฟ้า A และระบบไฟฟ้า รูปที่ 6 แสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าภายในบริเวณของตู้ใส่ไฟฟ้า A ซึ่งประกอบด้วย VFD และตัวกรองอาร์มอิก 4 ชุด ตัวกรองอาร์มอิกสำคัญได้มี 11 จำนวน 1 ชุด สามารถควบคุมการสับวงจรเข้าออกได้ (Switchable filter) และจะทำงานเพื่อควบคุมค่าตัวประกอบกำลังให้ได้ตามที่ต้องการเมื่อ VFD ทำงานที่ระดับโหลดสามถึง ห้า ครั้งเมื่อมีการทำงานของ VFD อยู่ระหว่าง 35 ถึง 55 Hz รูปที่ 6 นี้จะแสดงรายละเอียดของระบบไฟฟ้าภายในบริเวณของตู้ใส่ไฟฟ้า A ส่วนรูปที่ 9 ในตอนที่ 2 จะแสดงรายละเอียดในส่วนของ VFD โดยที่ไม่มีข้อมูลเฉพาะตัวกรองอาร์มอิกที่ 4 ชุด

ตัวกรองฮาร์โมนิกทั้ง 4 ชุดเป็นประเภทแบบกรองเดี่ยว (Single-tuned harmonic filter) ซึ่งออกแบบให้กรองปริมาณฮาร์โมนิกในลำดับที่ต้องการเท่านั้น การเกิดเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีการติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกแบบพาสซีฟ

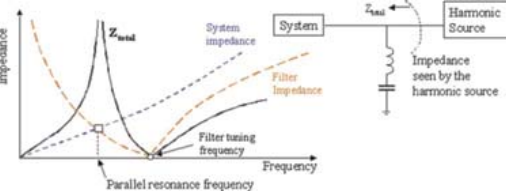




รูปที่ 4 กำลังจริงที่ความถี่มูลฐานและอินเตอร์ฮาร์โมนิกหลักที่ได้จากการตรวจวัดที่ผู้ใช้ไฟฟ้า A



รูปที่ 6 รายละเอียดของระบบไฟฟ้าภายในบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้า A

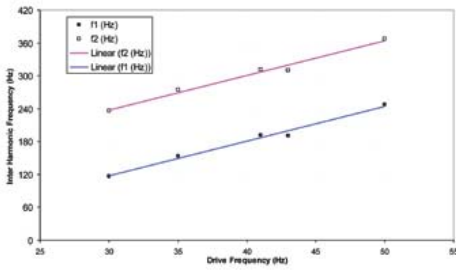


รูปที่ 7 การเกิดเรโซแนนซ์แบบขนานที่เกิดจากตัวกรองฮาร์โมนิกและอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า

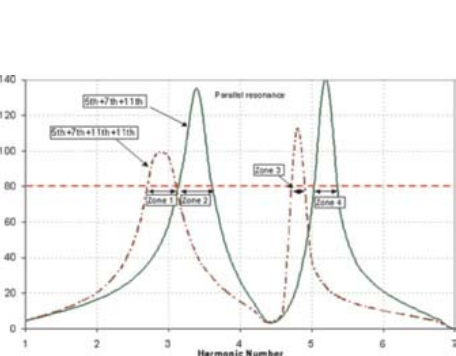
(Passive harmonic filter) ดังแสดงในรูปที่ 7 ที่จุดตัดระหว่างเส้นกราฟของอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้ากับอิมพีแดนซ์ของตัวกรองฮาร์โมนิกจะเป็นจุดที่เกิดเรโซแนนซ์แบบขนาน ถึงแม้ VFD สร้างกระแสอินเตอร์ฮาร์โมนิกเพียงนิดเดียวก็สามารถก่อให้เกิดแรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่มีค่าสูงได้เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าสูงนั่นเอง และนี่คือสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดไฟกระพริบขึ้นที่ผู้ใช้ไฟฟ้า A และอื่นๆในระบบของกรณีศึกษา

ในกรณีที่ตัวกรองฮาร์โมนิกมากกว่าหนึ่งตัว การวิเคราะห์เรโซแนนซ์สามารถทำได้ด้วยการสแกนความถี่ (Frequency scan analysis) รูปที่ 8 แสดงอิมพีแดนซ์รวมของระบบและตัวกรองฮาร์โมนิกที่มองจากบัสที่ VFD ต่ออยู่ รูปกราฟทั้งสองแสดงกรณีที่ทั้งสองแบบที่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 จำนวน 1 ชุดที่สามารถสับเข้าออกจากรางจ่ายได้ จากรูปจะเห็นว่ามีความถี่อยู่ 4 ย่านที่อาจเกิดเรโซแนนซ์แบบขนานได้ (ค่าอิมพีแดนซ์ที่ 80 โอห์มใช้เป็นค่าอ้างอิงในการอธิบายเท่านั้น)

ความถี่ไฟกระพริบ (Flicker frequency) หรือความถี่บีต (Beat frequency) สามารถหาได้จากสมการที่ 9 ในตอนที่ 1 ย่านความถี่บีตที่สามารถก่อให้เกิดไฟกระพริบได้อยู่ในช่วง 6-17 Hz เนื่องจากส่งผลต่อการมองเห็นของมนุษย์มากที่สุด ดังนั้นรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ไฟกระพริบกับความถี่ของ VFD



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของอินเตอร์ฮาร์โมนิกหลักที่ถูกสร้างขึ้นและความถี่ของ VFD



รูปที่ 8 อิมพีแดนซ์รวมของระบบและตัวกรองฮาร์โมนิกที่มองจากบัสที่ VFD ต่ออยู่

พร้อมกับอิมพีแดนซ์รวมของระบบและตัวกรองฮาร์โมนิกที่มองจากบัสที่ VFD ต่ออยู่ ช่วงความถี่ไฟกระพริบจะถูกทำเป็นแถบทึบ จากรูปจะเห็นว่าความถี่ของ VFD ที่ทำให้เกิดไฟกระพริบที่สามารถสังเกตเห็นได้คือที่ความถี่ 31-33 Hz, 37-39 Hz, 41-43 Hz และ 47-49 Hz เป็นต้น เมื่อ VFD ทำงานที่ความถี่ระหว่าง 41-43 Hz จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับที่ไฟกระพริบที่สังเกตได้ระหว่างที่ทำการวัดข้อมูลจริง (รูปที่ 12 ในตอนที่ 2 ก็แสดงช่วงความถี่เดียวกันนี้)

4. การแก้ไขอินเตอร์ฮาร์โมนิก (Mitigation of Interharmonics)

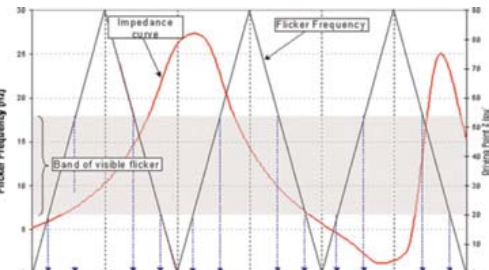
ถึงแม้ว่าผู้ใช้ไฟควรจะลดขนาดแรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่ทุกจุดทำงานให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด แต่ไม่สามารถทำได้เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานที่ใช้สำหรับการจำกัดปริมาณอินเตอร์ฮาร์โมนิก การแก้ไขปัญหานี้ทางอินเตอร์ฮาร์โมนิกมีหลากหลายวิธี ในบทความนี้จะไม่กล่าวถึงการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบแอคทีฟ (Active harmonic filter) แต่จะพิจารณาวิธีการแก้ไขดังต่อไปนี้

1) เพิ่มขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ DC link วิธีการนี้เป็นการแก้ปัญหาด้านเหตุ เนื่องจากจากการเพิ่มขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ DC link จะเป็นการลดการเชื่อมต่อระหว่างด้านแหล่งจ่ายและด้านมอเตอร์ ทำให้กระแสฮาร์โมนิกและอินเตอร์ฮาร์โมนิกจากด้านของมอเตอร์ถูกสร้างเข้าไปสู่ด้านแหล่งจ่ายได้น้อยลง จากการศึกษเพิ่มเติมพบว่าขนาดของตัวเหนี่ยวนำกระแสตรง

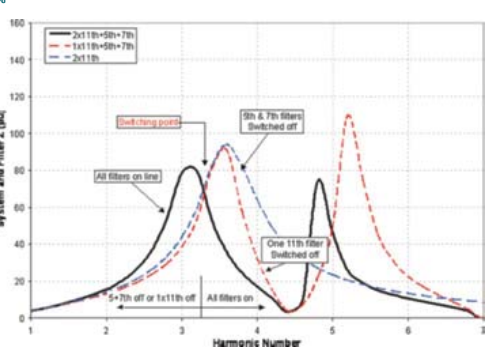
มีขนาดใหญ่อยู่แล้ว ถึงแม้การเพิ่มขนาดของตัวเหนี่ยวนำจะช่วยให้แต่ผลการลดปริมาณอินเตอร์ฮาร์โมนิกจะไม่มากนัก แต่มันก็ยังก่อให้เกิดแรงดันตกมากยิ่งขึ้นแทน

2) กำจัดหรือปรับตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับเหตุผลที่ว่าตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ทำให้เกิดเรโซแนนซ์แบบขนานขึ้นใน โซน 1 และ 2 ซึ่งการกำจัดฟิลเตอร์นี้จะทำให้จุดเรโซแนนซ์ย้ายไปอยู่ในตำแหน่งที่มีความถี่สูงขึ้น และอีกวิธีหนึ่งคือ การปรับแก้ฟิลเตอร์โดยการเพิ่มความต้านทานอนุกรมที่ฟิลเตอร์ แต่วิธีการนี้แค่สามารถลดความรุนแรงของเรโซแนนซ์เท่านั้น จากการศึกษการสแกนความถี่เพิ่มเติมพบว่าวิธีการนี้ไม่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ ถึงแม้ความถี่เรโซแนนซ์จะสูงขึ้นแต่ก็ยังตรงกับความถี่ของ VFD ที่สามารถก่อให้เกิดไฟกระพริบ

3) ใช้ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low frequency filter) วิธีการนี้เป็นการลดความรุนแรงของเรโซแนนซ์ในโซน 1 และ 2 ซึ่งตัวกรองนี้อาจปรับเพื่อกองฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 เนื่องจากตัวกรองฮาร์โมนิกจะสร้างเรโซแนนซ์แบบขนานที่จุดต่ำกว่าความถี่ปรับค่า (Tuning frequency) และต้องมีการติดตั้งด้านทานหน่วง (Damping resistor) และเนื่องจากตัวกรองฮาร์โมนิกนี้มีการปรับเพื่อกองความถี่ต่ำจึงทำให้เกิดความสูญเสียมากที่ตัวต้านทานหน่วง จากการศึกษเพิ่มเติมพบว่าถึงแม้จะติดตั้งตัวกรองความถี่ต่ำนี้ แต่ความถี่เรโซแนนซ์ใหม่ก็ยังไม่ตก



รูปที่ 9 ความถี่ไฟกระพริบและอิมพีแดนซ์รวมของระบบในฟังก์ชันของความถี่ VFD



รูปที่ 11 อิมพีแดนซ์ของรูปแบบสามของทางสับเข้าออกของตัวกรองฮาร์โมนิก

อยู่ในย่านการทำงานของ VFD อีกอยู่ดี จึงทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้เต็มที่ และตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 มีราคาสูงและมีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้แล้วในทางปฏิบัติ

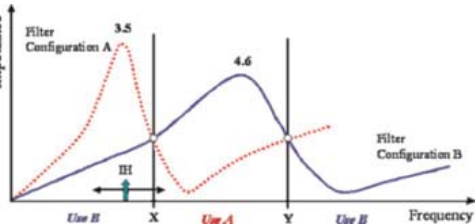
4) ใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบสับเข้าออกในรูปแบบต่างๆ (Switched filter schemes) วิธีการนี้เป็นแนวคิดที่มาจากการศึกษาที่ว่าการสับเข้าออกของตัวกรองฮาร์โมนิกจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่การทำงานของ VFD และค่าความถี่เหล่านี้สามารถทำนายได้ ถ้าเราสามารถปรับตัวกรองฮาร์โมนิกให้ตอบสนองต่อการทำงานของ VFD ได้ก็จะสามารถป้องกันอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นไปกระตุ้น (Excite) ให้เกิดเรโซแนนซ์ได้ รูปที่ 10 แสดงแนวคิดนี้โดยในรูปจะประกอบด้วยตัวกรองฮาร์โมนิก 2 รูปแบบ ซึ่งแบบ A จะมีจุดเรโซแนนซ์อยู่ที่ฮาร์โมนิกอันดับที่ 3.5 และแบบ B จะมีจุดเรโซแนนซ์อยู่ที่ฮาร์โมนิกอันดับที่ 4.6 ดังนั้น ถ้าจุดทำงานของ VFD ผลอินเตอร์ฮาร์โมนิกในช่วงความถี่ X ถึง Y เราสามารถใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบ A และเมื่อจุดทำงานของ VFD อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจุด X หรือสูงกว่าจุด Y ก็เปลี่ยนไปใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบ B โดยการเปลี่ยนนี้จะทำให้อินเตอร์ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นไม่เกิดใกล้กับจุดเรโซแนนซ์

รูปแบบการสับเข้าออกของตัวกรองฮาร์โมนิกสามารถเป็นได้ดังนี้ คือ 1) ทุกตัวกรองฮาร์โมนิกถูกสับเข้าวงจร 2) ตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ถูกสับออกจากราง

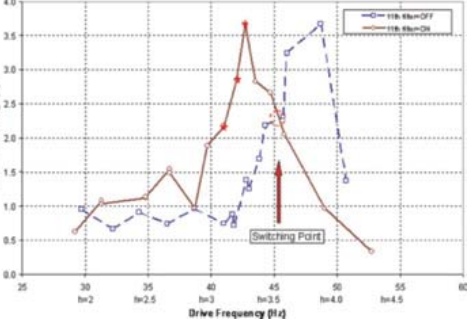
เท่านั้น และ 3) ตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 และ 7 ถูกสับออกจากรางเท่านั้น รูปที่ 11 แสดงอิมพีแดนซ์ของรูปแบบทั้งสามของการสับเข้าออกของตัวกรองฮาร์โมนิก

จะเห็นว่าถ้าความถี่อินเตอร์ฮาร์โมนิกต่ำกว่าประมาณฮาร์โมนิกลำดับที่ 3.2 แล้ว การสับตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ออกจากวงจร และการสับตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 และ 7 ออกจากวงจร จะช่วยให้ค่าอิมพีแดนซ์รวมลดลง เนื่องจากตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 สามารถสับเข้าออกจากรางจ่ายได้อยู่แล้ว ดังนั้นรูปแบบนี้จึงถูกเลือกในการแก้ไขปัญหานี้ไฟกระพริบที่เกิดจาก VFD ความถี่ที่ควรทำการสับตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 เข้าขึ้นสามารถหาได้จากสมการในตอนที่ 2 สำหรับฮาร์โมนิกลำดับที่ 3.2 ความถี่ของ VFD สามารถคำนวณได้เป็น 42 Hz ดังนั้นการสับตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 เข้าที่ความถี่นี้จึงเป็นการแก้ไขที่เหมาะสมที่สุด

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยการสแกนความถี่นั้นเป็นเพียงแค่การวิเคราะห์แบบประมาณ รายละเอียดและความถูกต้องขึ้นกับโมเดลที่ใช้และข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นการตรวจสอบกับข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัดอีกหนจึงมีความจำเป็นในการหาความถี่ที่ควรสับตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 เข้าระบบให้ถูกต้อง รูปที่ 12 แสดงเปอร์เซ็นต์แรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกหลักที่แต่ละความถี่การทำงาน



รูปที่ 10 หลักการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบสับเข้าออกในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 12 แรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกหลักที่แต่ละความถี่การทำงานของ VFD

VFD โดยรูปวาดในรูปแบบแสดงจุดทำงานที่ทำให้เกิดไฟกระพริบ จะเห็นว่าหากมีการสับตัวกรองฮาร์โมนิกอันดับที่ 11 เข้ามาเมื่อ VFD ทำงานที่จุดนี้ จะทำให้แรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นมีขนาดลดลง 1.5-2.5 % ซึ่งสามารถแก้ปัญหาไฟกระพริบได้ด้วยวิธีนี้ แรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นในจุดที่มีการต่อตัวกรองฮาร์โมนิกจะต่ำกว่า 2.3 % จากผลที่ได้จะพบว่าจุดทำงานที่เหมาะสมที่จะสับตัวกรองฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 เข้าที่ความถี่ 46 Hz ถึงแม้การนำวิธีนี้ไปใช้งานก็ไม่มีรายงานเกี่ยวกับปัญหาไฟกระพริบเกิดขึ้นอีกเลย

5. สรุป

บทความนี้อธิบายกรณีศึกษาของปัญหาไฟกระพริบที่เกิดจาก VFD ที่เป็นแหล่งกำเนิดอินเตอร์ฮาร์โมนิกปริมาณแรงดันฮาร์โมนิกที่สูงขึ้นเกิดจากการเกิดเรโซแนนซ์แบบขนานขึ้นระหว่างตัวกรองฮาร์โมนิกของชุด VFD และอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้การสแกนความถี่ ย่านความถี่เมื่อ VFD ทำงานระหว่าง 41-43 Hz จะก่อให้เกิดปัญหาไฟกระพริบมากที่สุด การแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้ด้วยวิธีนี้เป็นที่น่าพอใจและไม่เกิดปัญหาไฟกระพริบอีก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] W. Xu, T. Tayjasanant, G. Zhang, and R. Bahry, "Mitigation of Interharmonics Using a Switched Filter Scheme," European Transactions on Electrical Power, Vol. 20, Issue 1, Jan 2010, pp. 83-95.



Understanding Premium Power Grades

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระดับชั้นของไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ (ตอนจบ)

ดร.จักรพรรพ มีทราช - chakphed@gmail.com, chakphed.med@pea.co.th

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความเสี่ยงศาสตร์เพื่อประเมินทางเลือกไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ

การหาทางเลือกสำหรับไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ (premium power) เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจถึงระดับความเสี่ยงของระบบของการไฟฟ้าและของลูกค้า จำเป็นต้องมีการประเมินการวิเคราะห์ศาสตร์ของการแก้ปัญหาในแต่ละวิธี San Diego Gas & Electric ได้ใช้วิธีที่จะนำเสนอสำหรับลูกค้า high-tech บนพื้นฐานของค่าความหมายของการปรับปรุงคุณสมบัติที่จะได้จากแต่ละวิธี ในรูปของค่าใช้จ่ายที่ต่อใช้เพื่อปรับปรุงความรุนแรงของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในรูปแบบต่างๆ ซึ่งทำให้สามารถหาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (benefit/cost) ได้

วิธีดำเนินการ (Methodology)

1. ปรับปรุงระบบไฟฟ้าที่จ่ายเข้าโรงงาน และอุปกรณ์ที่กระทบลูกค้าหลายราย
2. ใช้เทคโนโลยีแก้ปัญหาในบางส่วนของโรงงาน
3. แก้ไขที่อุปกรณ์ภายในโรงงาน
4. ปรับปรุงสเปกของอุปกรณ์และออกแบบ

ทางเลือกสุดท้ายเหมาะสมกับการแก้ปัญหาในระยะยาว ซึ่งจะไม่เหมาะสมกับโรงงานที่มีอยู่แล้ว การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละวิธีจะต้องหาความผันแปรของคุณภาพไฟฟ้ากำลังซึ่งจะต้องตรวจวัดและเข้าใจถึงความไวของอุปกรณ์ต่อความผันแปรของ RMS และมีการถ่วงน้ำหนักโดยใช้ค่าใช้จ่ายจากไฟฟ้าดับชั่วขณะเป็นค่าฐาน ปกติไฟฟ้าดับจะกระทบโหลดทุกประเภทที่ไม่มีระบบสำรองพลังงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายต่อเหตุการณ์จะคิดเป็น p.u. ของค่าใช้จ่ายจากไฟฟ้าดับ

จากนั้นจะรวมค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมด ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมของเหตุการณ์ วิธีนี้จะทำให้ทราบประโยชน์ที่ได้รับในรูปของการลดมูลค่าความเสียหาย เพื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่าย (benefit/cost) เพื่อหาทางเลือก

ระบบตัวอย่าง (The Example System)

สถานีไฟฟ้า 12 kV ของ San Diego Gas & Electric รับไฟจากสถานีไฟฟ้า 69 kV มีหม้อแปลงไฟฟ้า 4 เครื่อง (เครื่องละ 30 MVA) แบ่งเป็น 2 บัส แต่ละบัสมี 7 ฟีดเดอร์ และคาปาซิเตอร์ขนาด 6,000 kvar ควบคุมตามเวลา ฟีดเดอร์ส่วนใหญ่เป็นระบบไดติน สำหรับลูกค้าซึ่งมีโหลดที่มีความไว ลูกค้าที่จะประเมินอยู่ใกล้สถานีไฟฟ้ามาก และรับไฟระบบไดติน 2 ฟีดเดอร์โดยตรงจากสถานีไฟฟ้า ที่เหลือจ่ายให้โหลดที่อยู่อาศัย มี 6 ฟีดเดอร์ เป็นลูกค้ารายใหญ่ ซึ่งบางฟีดเดอร์เป็นระบบไดตีนหัว และมีคาปาซิเตอร์แบบก่ สถานีไฟฟ้าแห่งนี้มีลูกค้า 12,000 ราย แต่มี 7 ฟีดเดอร์ที่มีลูกค้า

น้อยกว่า 100 ราย

การประเมินต้นทุนการจัดทำบริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษให้ลูกค้าตัวอย่าง

ปัญหาไฟฟ้าดับจากระบบไดตินสั้นๆ ซึ่งจ่ายให้โรงงานมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามสำหรับอุตสาหกรรมหลายๆประเภท แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมีความสำคัญเท่ากับไฟฟ้าดับชั่วขณะ โดยแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของลูกค้าตัวอย่างเกิดจากฟอลท์ในฟีดเดอร์ข้างเคียงหรือจากระบบสายส่ง ลูกค้าในรูปที่ 16 มีปัญหาเกี่ยวกับความถี่เกิดเนื่องจากระบบไดตีนไฟฟ้าตกชั่วขณะ

สมรรถนะของระบบ

(Characterizing System Performance)

ลูกค้าตัวอย่างรับไฟจากระบบไดตีนสองฟีดเดอร์ บางฟีดเดอร์ในสถานีไฟฟ้าเป็นแบบเหนือหัว และมีรีโวลเซอร์ โดยแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของลูกค้าตัวอย่าง

จะเกิดจากฟอลท์ในฟีดเดอร์ข้างเคียง หรือจากระบบสายส่ง ระยะเวลาก่อนที่แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะหาได้จากระยะเวลาการทำงานของระบบป้องกันที่เคลียร์ความผิดพลาด รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ 150 ms ซึ่งเกิดจากฟอลท์ในฟีดเดอร์ข้างเคียง เนื่องจากผลล้าอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ฟอลท์จากระบบสายส่งจะลบภายใน 100 ms

ผลกระทบต้ออุปกรณ์ใดๆ ในขบวนการผลิตสมัยใหม่หลายๆ อย่าง สามารถก่อให้เกิดการชะงักของขบวนการผลิตทั้งระบบได้ ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียทางเศรษฐศาสตร์อย่างมาก

ความไวของอุปกรณ์

(Characteristics of Equipment Sensitivity) การนิยามดัชนีสมรรถนะ (performance indices) จำเป็นต้องเข้าใจถึงคุณลักษณะของการรบกวนที่จะทำให้อุปกรณ์ของลูกค้าทำงานผิดพลาด และต้องทราบความทนทานของอุปกรณ์ต่อความผันแปรของ RMS ซึ่งแบ่งได้เป็นสามกลุ่มคือ

1. อุปกรณ์ซึ่งอ่อนไหวต่อแรงดันอย่างเดีย เช่น รีเลย์แรงดันต่ำเกิน, ชุดควบคุมขบวนการผลิต, ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ และเครื่องจักรกลอัตโนมัติต่างๆ เช่นอุปกรณ์ในขบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ

2. อุปกรณ์ซึ่งอ่อนไหวต่อแรงดันและระยะเวลา คือ อุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้ electronic power supplies

3. อุปกรณ์ซึ่งอ่อนไหวต่อปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ใช่แรงดันและระยะเวลา เช่น แรงดันเฟสไม่สมดุล, point-on-wave หรือ transient

สำหรับลูกค้าอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ ขนาดแรงดันไฟฟ้าจะมีความสำคัญมากที่สุด อุปกรณ์จำพวกนี้จะได้รับผลกระทบเมื่อระยะเวลาการเกิดสั้นมาก คือ 4-5 มิลลิวินาที

ความไวคือขนาดต่ำสุดของแรงดัน โดยจะใช้ค่า 90%, 70%, 50%, และ 10% มาวิเคราะห์ และจำเป็นต้องทราบว่าการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเป็นแบบทั้งสามเฟส หรือหนึ่งหรือสองเฟส สำหรับ ASD จะได้รับผลกระทบไม่ได้เกิดแบบสามเฟส สามารถคำนวณการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากการเกิดจริง หรือจากการรวมเหตุการณ์ (aggregate events) ซึ่งเป็นกรรวมเหตุการณ์หลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันเป็นหนึ่งเหตุการณ์ เช่น ในช่วงเวลา 1 นาที ซึ่งเป็นจุดต่อระหว่างการรบกวนแบบ momentary และ temporary ตาม IEEE P1159 และยังสามารถใช้แยกคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะออกเป็นชนิดต่างๆ ตามช่วงเวลาที่จะกระทบอุปกรณ์ในแต่ละประเภท

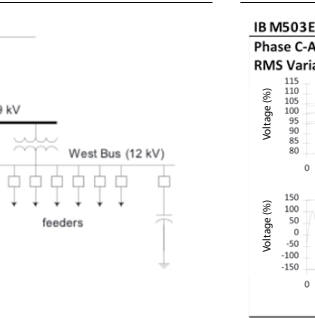
IEEE P1159 แยกการรบกวนเป็น 3 ประเภทคือ instantaneous (น้อยกว่า 30 ไซเคิล), momentary (30 ไซเคิล ถึง 3 วินาที), และ temporary (3 วินาที ถึง 1 นาที) ในการวิเคราะห์ ไดเน้นที่ดัชนี SARA-FIX (System Average RMS Aggregate Event Frequency Index) ซึ่งคือจำนวนครั้งของเหตุการณ์โดยการรวมที่แรงดันมีค่าต่ำกว่า x ซึ่งดัชนีจะแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ตามระดับคุณสมบัติที่แตกต่างกันแต่ละเทคโนโลยีของระบบป้องกัน

การพิจารณาดัชนีสมรรถนะกับความทนทานของอุปกรณ์ (Combining the Performance Indices with Equipment Susceptibility)

IEEE ได้จัดทำมาตรฐาน Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment (IEEE P1346) เพื่อประเมินแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากความถี่ของรบกวนในระบบไฟฟ้า และผลกระทบต้ออุปกรณ์ในอุตสาหกรรม ได้กล่าวถึงความสำคัญที่การไฟฟ้าจำเป็นต้องลดการเกิดความถี่ของรบกวน รวมถึงลูกค้าต้องเข้าใจความไวของอุปกรณ์ต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และวิธีการปรับปรุงสมรรถนะของอุปกรณ์

ดัชนีสมรรถนะ (Performance Indices)

DPQ Project ของ EPRI ได้แสดงวิธีการคำนวณการรบกวน RMS เพื่อคำนวณดัชนีสมรรถนะ ในรายงานนี้จะจำแนกเฉพาะดัชนีพื้นฐานที่สนใจพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะต้ออุปกรณ์ที่มี



รูปที่ 16 One-Line Diagram ของระบบตัวอย่าง

chart เพื่อประเมินจำนวนครั้งของค่าความหมายที่ขบวนการผลิตหยุดชะงัก นั่นคือจาก chart ความไวของ ASD ทำให้ทราบได้ว่า ใน 30 วัน จะเกิดเหตุการณ์ 0.21 ครั้ง หรือ 2.52 ครั้งต่อปี ในขณะที่เหตุการณ์ของ PLC จะสูงกว่า แม้ความสามารถ ride-through จะมีระยะเวลายาวนานกว่า

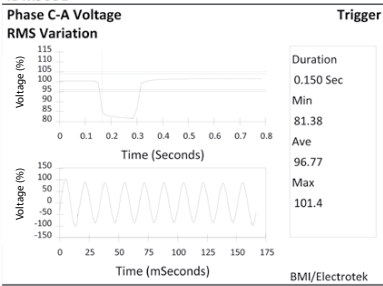
แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของระบบตัวอย่างจากการตรวจวัดที่สถานีไฟฟ้า และลูกค้า มากกว่าหนึ่งปี โดยแบ่งตามชนิดของสาเหตุ และจำนวนเฟสที่เกิด ซึ่งต้องการวิธีการแก้ไขที่ต่างกัน และตำแหน่งต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 13

ค่าความถี่สมรรถนะเพื่อประเมินทางเลือกสำหรับปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลัง การประมาณสมรรถนะในตารางที่ 14 จัดทำตามช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการประมาณคุณสมบัติระยะยาวได้ ซึ่งต้องไม่รวมถึงปัจจัยที่ไม่ปกติ เช่นพายุที่รุนแรงและระดับของความถี่ของเหตุการณ์ตรวจวัดแบ่งค่าความหมายออกเป็น 3 ประเภท คือ

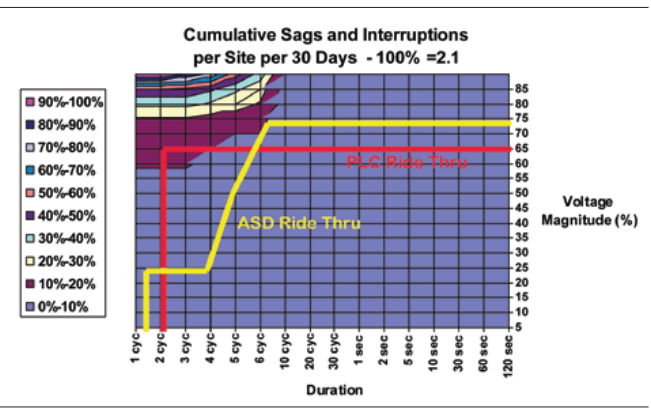
1. ความถี่ของรบกวนในระบบจำหน่ายที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดับ (ความถี่ของรบกวนในระบบจำหน่ายที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดับ)
2. ความถี่ของรบกวนในฟีดเดอร์ข้างเคียง (เกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของลูกค้า)
3. ความถี่ของรบกวนในสายส่ง (เกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของลูกค้า)

เทคโนโลยีสำหรับปรับปรุงคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะย่อมแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละชนิดระยะเวลาของเหตุการณ์มีความสำคัญ แต่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นแบบ instantaneous น้อยกว่า 30 ไซเคิล หรือ momentary (30 ไซเคิล ถึง 3 s) เทคโนโลยีที่พิจารณาคุณสมบัติของรบกวนที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ดังกล่าวปัจจัยอื่นที่สำคัญคือจำนวนเฟสที่เกิด ตารางที่ 14 แสดงผลจากการตรวจวัด East และ West รวมถึงค่าที่จะใช้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (assumed value) สำหรับทั้งสองบัส ซึ่งเป็นระบบไดตีน ซึ่งได้จากการตัดสินใจทางวิศวกรรม นั่นคือ ตรวจวัดแบบแยกบัส แต่ต้องมีการคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อหาหาหนึ่งค่าสำหรับใช้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

IB M503E April 22, 1992 at 21:43:21



รูปที่ 17 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของลูกค้าตามตัวอย่างซึ่งเกิดจากฟอลท์ในฟีดเดอร์ข้างเคียง



รูปที่ 18 Voltage Sag Performance Contour Plots with Equipment Susceptibility Superimposed

ตารางที่ 13 การเกิดกระแสไฟฟ้าช๊อตซึ่งจากการตรวจวัด (1/20/94-6/1/96)

East Bus 1 minute aggregate voltage sag summary performance statistics									
SARAEFI		Transmission System Faults			East Bus Distribution System Faults			Events per month by duration of the worst measurement event within the aggregate event	
Minimum Sag Voltage (%)	Average Aggregate Events/Month (Minimum Voltage below threshold using 1 minute aggregation)	Fault on customer feeder (or in plant)	SLGF	Two Phase Fault	Three Phase Fault	SLGF	Two Phase Fault	Three Phase Fault	Instantaneous (less than 30 cycles)
70-90	1.53	0.28	0.87	0.31	0.00	0.07	0.00	1.49	0.03
50-70	0.21	0.07	0.07	0.03	0.00	0.03	0.00	0.21	0.00
10-50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<10	0.07	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.03

West Bus 1 minute aggregate voltage sag summary performance statistics									
SARAEFI		Transmission System Faults			West Bus Distribution System Faults			Events per month by duration of the worst measurement event within the aggregate event	
Minimum Sag Voltage (%)	Average Aggregate Events/Month (Minimum Voltage below threshold using 1 minute aggregation)	Fault on customer feeder (or in plant)	SLGF	Two Phase Fault	Three Phase Fault	SLGF	Two Phase Fault	Three Phase Fault	Instantaneous (less than 30 cycles)
70-90	1.67	0.28	0.87	0.31	0.14	0.03	0.03	1.63	0.03
50-70	0.38	0.07	0.07	0.03	0.00	0.14	0.07	0.38	0.00
10-50	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.17	0.00
<10	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00

ตารางที่ 14 ค่าค่าหัวข้อมรณกรณี่เปลี่ยนจรงไฟฟ้าเป็นระบบไฟฟ้าได้ดินเฉพาะ

Category of Distance	Data	Minimum voltage at Customer				
		<10%	10-50%	50-70%	70-90%	Total
Interruptions	East Bus Data	0.4				0.4
Interruptions <(Customer Feeder or Substation)	West bus Data	0.0				0.0
	Assumed Data for Analysis	0.5				0.5
Sags due to Faults on Parallel Feeders	East Bus Data	0.0	0.0	0.4	0.8	1.3
	West bus Data	0.0	0.8	1.7	2.1	4.6
SLGF or Two Phase Fault	Assumed Data for Analysis	0.0	0.5	1.0	2.0	3.5
Sags due to Faults on Parallel Feeders	East Bus Data	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	West bus Data	0.0	1.3	0.8	0.4	2.5
Sags due to Transmission Faults	Assumed Data for Analysis	0.0	0.5	0.5	1.0	2.0
	East or West Bus Data	0.0	0.0	1.7	13.8	15.4
SLGF or Two Phase Fault	Assumed Data for Analysis	0.0	0.0	2.0	14.0	16.0
	East or West Bus Data	0.4	0.0	0.4	3.8	4.6
Sags due to Transmission Faults	Assumed Data for Analysis	0.0	0.5	0.5	4.0	5.0
	Three Phase Fault					

ตารางที่ 15 เทคโนโลยีการแก้ปัญหา ณ ระบบไฟฟ้าที่จ่ายเข้าโรงงาน

Service Entrance Technologies			
Power Conditioning Technology	Typical Cost (\$/kVA)	Annual Operating Costs (% of Total Cost)	Comments
UPS	\$700	25%	Full protection
Synchronous MFC with flywheel	\$500	25%	2 second ride through without diesel option
Energy Storage Technologies	\$800	15%	shorter ride through than UPS
Secondary static switch	\$100	5%	requires independent supply

เทคโนโลยีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลัง

(Power Quality Improvement Technologies)

พิจารณาทางเลือกต่างๆ สำหรับปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลัง เริ่มต้นแต่การติดตั้งอุปกรณ์ที่โหลดที่มีความไว จนถึงติดตั้งอุปกรณ์สำรองพลังงานในระบบจำหน่าย Power Conditioning Applied to End-Use Equipment: แก้ไขที่อุปกรณ์ขบวนการผลิตสำหรับลูกค้าประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (รวมถึงแหล่งจ่ายกำลัง), ASD, และ PLC โหลดสนับสนุนอื่นๆ ได้แก่ HVAC และแสงสว่าง และดำเนินการสำรวจพื้นที่เพื่อหาอุปกรณ์ที่วิกฤตซึ่งกระทบต่อขบวนการผลิต และความไวของโหลดต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ซึ่งพบว่าภาคควบคุมของ PLC และ ASD วิกฤตที่สุด และมีความไวต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่สุด

ทางเลือกสำหรับแก้ปัญหาได้แก่ Constant-voltage transformers/magnetic synthesizers, Motor/generator sets และ Uninterruptible power supplies (UPSs) ค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ และพิกัด kVA ของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน - จำนวนของอุปกรณ์ที่ต้องการ : 45 - ขนาดของอุปกรณ์แต่ละตัว: 500 VA - ค่าใช้จ่ายเพื่อติดตั้ง : \$50,000

สำหรับทางเลือกนี้ ขบวนการผลิตอาจหยุดชะงักได้ ถ้าแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะทำให้ชุดขับเคลื่อนใหญ่ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ทรปิ ประมาณได้ว่าทั้งขบวนการผลิตควรจะทำงานได้หากเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ 70% ถ้าป้องกันภาคควบคุม

ทางเลือกอื่นๆ เพื่อป้องกันให้กว้างขึ้น ตัวอย่างเช่น ASD, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, และคอมพิวเตอรส์ สำหรับโรงงานนี้ ASD มีความสำคัญที่สุด การป้องกันชุดขับเคลื่อน ทำให้ทั้งขบวนการผลิตทนต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะได้ถึง 50% ระบบป้องกันสามารถใช้ magnetic synthesizer หรือ UPS ค่าใช้จ่ายสำหรับทางเลือกนี้ขึ้นอยู่กับ kVA ของโหลดที่ต้องการป้องกัน

- 1 – 25 kVA
- 4 – 8 kVA
- 1 – 10 kVA
- 6 – 1 kVA
- 14 – 2 kVA

ค่าใช้จ่ายสำหรับ Magnetic Synthesizer: \$55,000
ค่าใช้จ่ายสำหรับ UPS: \$110,000

เทคโนโลยีการแก้ปัญหา ณ ระบบไฟฟ้าที่จ่ายเข้าโรงงาน (Technologies for Service-Entrance Application)

เหมาะสมกับโรงงานที่มีโหลดส่วนมากเป็นแบบเหนี่ยวนำซึ่งสามารถใช้เทคโนโลยี energy storage ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่จะตัดสายจำหน่ายได้ แต่ยังไม่เพียงพอ (ปัจจุบัน 2549 มีมานานแล้ว) ค่าค่าหัวข้อมรณกรณี่คือ UPS (ดูตารางที่ 15) สามารถใช้ได้ถึง 1,000 kVA UPS แบบดั้งเดิม (แบบมีส่วนหมุนหรือไม่มีส่วนหมุน) ใช้ป้องกันโหลดขนาดใหญ่ มีทางเลือกเพิ่มเติมหลายรูปแบบ ข้อคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำกว่าแบบอื่น, ปรับปรุงประสิทธิภาพ, และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตารางที่แสดงตัวอย่างทางเลือกพร้อม

ตารางที่ 16 เทคโนโลยีการแก้ปัญหา ณ ระบบจำหน่ายของกรไฟฟ้า

Distribution System Technologies			
Power Conditioning Technology	Typical Cost (\$/kVA)	Annual Operating Costs (% of Total Cost)	Comments
Feeder reactors		2%	prevent sags due to parallel feeder faults
Primary static switch	\$60	5%	requires independent supply
Electronic voltage regulation technology	\$200	10%	shorter ride through than UPS

ค่าใช้จ่ายแบบประมาณทางวิศวกรรมหยบๆ

- สำหรับโรงงานตัวอย่าง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ ดังนั้นทางเลือกที่พิจารณาคือ motor/generator ร่วมกับ flywheel storage หรือการสะสมพลังงานแบบอื่น หากใช้ static switch จะสัตซ์การทำงานไปที่ระบบสำรองอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าระบบสำรองอยู่ในสายส่งเดียวกัน ทางเลือกนี้จะไม่สามารถแก้ปัญหาได้กรณีความผิดพลาดในสายส่งแก้ไขที่ส่วนจาหน่ายที่จ่ายให้โรงงาน อันดับแรกคือไม่ให้เกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า แต่ไม่สามารถทำได้ มาตรการที่สามารถดำเนินการได้คือ
1. ทำความสะอาดลูกถ้วยจากเกลือหรือสิ่งสกปรกที่เป็นสาเหตุของการวาวไฟขณะมีหมอกหรืออากาศชื้น
 2. ใช้อุปกรณ์ฟ้าฟางของสายส่ง ถ้าสายไม่มีสัตติเกิดฟอลต์จากฟ้าผ่า
 3. ตัดต้นไม้ในวงจรรอบเหนือหัว
 4. เปลี่ยนสายแบบเหนือหัวให้เป็นแบบใต้ดิน

ปกติแล้ว SDG&E ดำเนินการทุกวิธีแล้ว แต่ความผิดพลาดจากลูกถ้วยแก้ไขได้ไม่นานนัก แต่ในพื้นที่ San Diego สามารถลดการเกิดได้มากในสองปีที่ผ่านมา และในสัปดาห์ที่ผ่านมาได้เปลี่ยนสายให้เป็นแบบใต้ดินจำนวนมาก มาตรการดังกล่าวทำให้แก้ไขปัญหได้มาก แม้ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหา แต่อุปกรณ์ที่ยังมีตามจ่าเป็น ตารางที่ 16 แสดงทางเลือกที่สามารถใช้ได้ ซึ่งจะเหมาะสมเฉพาะลูกค้ารายใหญ่ หรือกรณีที่มีลูกค้าหลายราย

Feeder reactors ใช้จำกัดความผิดพลาดในฟิดเตอร์ข้างเคียง แต่ไม่มีประโยชน์กับความผิดพลาดในระบบสายส่ง ในขณะที่ static switch พิกัด 480-volt จำเป็นต้องแหล่งจ่ายสำรอง ซึ่งถ้ามมาจากสายส่งเดียวกัน ย่อมไม่มีประโยชน์ถ้าความผิดพลาดเกิดในระบบสายส่งสำหรับเทคโนโลยี electronic voltage regulation (dynamic voltage restorer, series voltage regulator) จะเหมาะสมกับระบบจำหน่าย

ราคาขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันและพิกัดโหลด และยังสามารถใช้เทคโนโลยี energy storage ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่จะตัดสายจำหน่ายได้ แต่ยังไม่เพียงพอ (ปัจจุบัน 2549 มีมานานแล้ว) ค่าค่าหัวข้อมรณกรณี่คือ UPS (ดูตารางที่ 15) สามารถใช้ได้ถึง 1,000 kVA UPS แบบดั้งเดิม (แบบมีส่วนหมุนหรือไม่มีส่วนหมุน) ใช้ป้องกันโหลดขนาดใหญ่ มีทางเลือกเพิ่มเติมหลายรูปแบบ ข้อคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำกว่าแบบอื่น, ปรับปรุงประสิทธิภาพ, และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตารางที่แสดงตัวอย่างทางเลือกพร้อม

ตารางที่ 18 สรุประดับค่าค่าหัวข้อมรณกรณี่เพื่อประเมินทางเศรษฐศาสตร์

Type of Condition Affecting Customer	Weighting	Base Performance (events/year)
Interruption due to fit on customer ckt	1	0.50
Interruption due to other faults (e.g. substation)	1	0.00
Sag due to 1 or 2 phs fault on par. fdr ckt (<50%)	0.8	0.50
Sag due to 1 or 2 phs fault on par. fdr ckt (50-70%)	0.4	1.00
Sag due to 1 or 2 phs fault on par. fdr ckt (70-90%)	0.1	2.00
Sag due to three phase fit on par. fdr ckt (<50%)	0.8	0.50
Sag due to three phase fit on par. fdr ckt (50-70%)	0.4	0.50
Sag due to three phase fit on par. fdr ckt (70-90%)	0.1	1.00
Sag due to transmission 1 or 2 phs fit (<50%)	0.8	0.00
Sag due to transmission 1 or 2 phs fit (50-70%)	0.4	2.00
Sag due to transmission 1 or 2 phs fit (70-90%)	0.1	14.00
Sag due to transmission three phase fit (<50%)	0.8	0.50
Sag due to transmission three phase fit (50-70%)	0.4	0.50
Sag due to transmission three phase fit (70-90%)	0.1	4.00
TOTAL EVENTS AFFECTING PLANT		27.00
Total Events Weighted for Severity		5.40

เสียหายได้ง่ายกว่า นั่นคือแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมีความเสียหายน้อยกว่าเพราะอุปกรณ์บางตัวยังสามารถทำงานได้ วิธีการพัฒนาได้ใช้แนวคิดของการถ่วงน้ำหนัก กับความผันแปรของคุณภาพไฟฟ้ากำลังในแต่ละประเภทการถ่วงน้ำหนักใช้ลดค่าความเสียหายจาก momentary interruption เป็นฐานแทนด้วย Ci ความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะหรือจาก ความผันแปรของคุณภาพไฟฟ้ากำลังอื่นๆ จะเป็นสัดส่วนกับความเสียหายจาก momentary interruption สำหรับลูกค้าตัวอย่าง ถ้า sag 40% เกิดความเสียหาย 80% ของ momentary interruption แล้ว weighting factors มีค่า 0.8 หรือถ้า sag 75% เกิดความเสียหาย 10% ของ momentary interruption แล้วค่าการถ่วงน้ำหนักมีค่า 0.1 หลังจากใช้ค่าการถ่วงน้ำหนักกับเหตุการณ์แล้ว มูลค่าความเสียหายจะคิดเป็น p.u. ของ momentary interruption จากนั้นทำการรวมค่าการถ่วงน้ำหนักทั้งหมด และผลรวมจะคิดจากเหตุการณ์

ค่าการถ่วงน้ำหนักสำหรับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละชนิด จะกระทบลูกค้าแต่ละประเภทแตกต่างกัน ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ประเมิน (spreadsheets) จะต้องทำให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าการถ่วงน้ำหนักได้โดยง่าย การประเมินจะคิดจากค่าใช้จ่ายโดยประมาณที่หลีกเลี่ยงได้กับการลงทุน (benefit/cost ratio) ค่าการถ่วงน้ำหนักที่ใช้กับโรงงานตัวอย่างใช้การสมมติฐานคือค่าแรงดันต่ำสุด ระยะเวลาการเกิดอาจสำคัญแต่ที่เกิดคือ 5-30 ไซเคิล และผลกระทบคล้ายกัน ดังนั้นค่าการถ่วงน้ำหนักจะไม่พิจารณาถึงระยะเวลาการเกิด

ตารางที่ 17 สรุปค่าการถ่วงน้ำหนักใช้เพื่อประเมินทางเลือก

Category of Event	Weighting for Economic Analysis
Interruption	1.0
Sag below 50%	0.8
Sag between 50% and 70%	0.4
Sag between 70% and 90%	0.1

ลูกค้าแจ้งว่าโหลดบางตัวได้รับผลกระทบกับ sag 90% เกิด 2-3 ไซเคิล ดังนั้นต้องพิจารณา sag 90% ด้วย จากการศึกษาค้นคว้ามากมายพบว่า อุปกรณ์ที่มีความไวส่วนมากทำงานได้ sag 70-90% ในช่วงสั้นๆ ดังนั้นกำหนด (สมมุติ) ค่าการถ่วงน้ำหนักกรณีนี้คือ 0.1 โหลดจำนวนมากได้รับผลกระทบกับ sag ต่ำกว่า 70% ดังนั้นกำหนดค่าการถ่วงน้ำหนักกรณี sag 50-70% คือ 0.4 มอเตอร์ซึ่งยังมีความเสี่ยงจะไม่ได้รับผลกระทบ แต่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีแหล่งจ่ายกำลังบางครั้งจะไม่กระทบโหลดทุกประเภทที่ไม่มีการป้องกันจะได้รับผลกระทบเมื่อ sag ต่ำกว่า 50% แม้แต่ contactors ของมอเตอร์ กำหนดค่าการถ่วงน้ำหนักกรณีนี้คือ 0.8

การประเมินความสามารถของการปรับปรุง

คุณภาพไฟฟ้าในแต่ละเทคโนโลยี

คุณภาพไฟฟ้าในแต่ละเทคโนโลยีในการปรับปรุงของทุกเทคโนโลยี ตารางที่ 18 สรุปค่าการถ่วงน้ำหนักของทุกกรณี ซึ่งพบว่าในหนึ่งปีจะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ 27 ครั้ง ที่กระทบต่อโรงงาน เทียบได้กับเกิดไฟฟ้าดับ 5.4 ครั้ง เมื่อคิดผลของค่าการถ่วงน้ำหนัก ถ้ามูลค่าความเสียหายจากไฟฟ้าดับต่อครั้งคือ \$100,000 ดังนั้นค่าใช้จ่ายในหนึ่งปีหากไม่ใช้อุปกรณ์ใดๆ คือ \$540,000

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากวิธีป้องกันในแต่ละทางเลือก คิดจากจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่สามารถลดได้ เช่น UPS ป้องกันได้ 100% ทำให้ประหยัดได้ \$540,000 ต่อปี วิธีอื่นอาจประหยัดได้น้อยกว่า

โดยค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต้องคิดถึงค่าติดตั้งและค่าดำเนินการด้วยถ้าใช้ static switchฝั่ง primary-side ซึ่งสามารถสวิตซ์จากแหล่งจ่ายปกติไปยังแหล่งจ่ายสำรองอย่างรวดเร็วถ้าเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะหรือไฟฟ้าดับ สามารถรองรับโหลดด้าน secondary-side ได้มาก (ถึง 10 MVA) static switch จะทำงานได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับฟีดเดอร์สำรอง ซึ่งในกรณีนี้คือฟีดเดอร์ในอีกบัสหนึ่งของสถานีไฟฟ้าเดียวกันนั้นคือ ยังไม่มีประโยชน์ถ้าความผิดพลาดเกิดในระบบสายส่ง ป้องกันถึง 100% ได้เฉพาะความผิดพลาดในฟีดเดอร์ข้างเคียงหรือฟีดเดอร์เดียวที่สมรรถนะโดยรวมของ primary static switch แสดงในตารางที่ 19 ซึ่งสามารถลดมูลค่าความเสียหายได้ 2.2 เท่า ของไฟฟ้าดับ

- ตารางที่ 20 เปรียบเทียบแต่ละวิธีการแก้ไข บนสมมติฐาน คือ
- มูลค่าความเสียหายจากไฟฟ้าดับคือ \$100,000
 - ใช้การสมมติค่าการถ่วงน้ำหนักในแต่ละความผันแปรทางคุณภาพไฟฟ้ากำลัง
 - แหล่งจ่ายอื่นสามารถป้องกันได้ถึง 10 MVA
 - สมมติว่าแหล่งจ่ายในการแก้ปัญหาในบางส่วนของโรงงานสามารถจ่ายโหลดได้ถึง 2 MVA
 - สมมติว่าช่วงเวลาคืนทุนคือ 5 ปี และดอกเบี้ยเงินกู้คือ 10%
 - ประมาณค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานประจำปีของแต่ละวิธีอย่างคร่าวๆ ประกอบด้วย losses ของอุปกรณ์, บำรุงรักษา (เช่น แบตเตอรี่ หรือเครื่องจักรกล), เทคโนโลยี, อนุโหล และอื่นๆ

การเปรียบเทียบใช้เพียงเพื่อแสดงวิธีการ ไม่ได้ใช้แสดงค่าที่แท้จริงที่ควรได้จากผู้ผลิตโดยตรง

จากการวิเคราะห์เป็นที่ชัดเจนว่า CVT มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนสูงที่สุด และ static switch ก็น่าสนใจเพราะลงทุนต่ำ (ถ้ามีฟีดเดอร์สำรอง) ในขณะที่ M/G with flywheel น่าสนใจเพราะเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น

สรุปการประเมินทางเศรษฐศาสตร์
(Summary of Economic Evaluation)
ขั้นตอนการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ทำให้สามารถประเมินทางเลือกต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลังคุณภาพไฟฟ้ากำลังสามารถให้เทคโนโลยีได้ทั้งที่อุปกรณ์, บางส่วนของโรงงาน หรือทั้งฟีดเดอร์ ขั้นตอนขึ้นอยู่กับค่าความหมายของการวิเคราะห์ ผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้ากำลังในแต่ละรูปแบบ โดยใช้ ค่าการถ่วงน้ำหนักเพื่อแยกแยะความแตกต่างในแต่ละรูปแบบเป็น p.u. ของความเสียหายจากไฟฟ้าดับ ผลกระทบโดยรวมจากผลบวกของผลคูณของค่าความหมายการเกิดเหตุการณ์กับค่าการถ่วงน้ำหนัก ซึ่งได้ประเมินสมรรถนะของแต่ละเทคโนโลยี โดยคำนวณมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการใช้อุปกรณ์กับค่าใช้จ่ายในการลงทุนในรูปของอัตราส่วนอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน

ตารางที่ 19 การประเมินสมรรถภาพกรณีติดตั้งใช้งาน Primary Static Switch

Evaluation of improved performance from primary static switch				
Type of Condition Affecting plant	Weighting	Base Performance	Expected Reduction	Improved Performance
Interruption due to fit on customer ckt	1	0.50	100%	0.00
Interruption due to other faults (e.g. substation)	1	0.00	100%	0.00
Sag due to 1 or 2 phs fault on par. fdr ckt (<50%)	0.8	0.50	100%	0.00
Sag due to 1 or 2 phs fault on par. fdr ckt (50-70%)	0.4	1.00	100%	0.00
Sag due to 1 or 2 phs fault on par. fdr ckt (70-90%)	0.1	2.00	100%	0.00
Sag due to three phase fit on par. fdr ckt (<50%)	0.8	0.50	100%	0.00
Sag due to three phase fit on par. fdr ckt (50-70%)	0.4	0.50	100%	0.00
Sag due to three phase fit on par. fdr ckt (70-90%)	0.1	1.00	100%	0.00
Sag duetransmission 1 or 2 phs fit (<50%)	0.8	0.00	0%	0.00
Sag duetransmission 1 or 2 phs fit (50-70%)	0.4	2.00	0%	2.00
Sag duetransmission 1 or 2 phs fit (70-90%)	0.1	14.00	0%	14.00
Sag duetransmission three phase fit (<50%)	0.8	0.50	0%	0.50
Sag duetransmission three phase fit (50-70%)	0.4	0.50	0%	0.50
Sag duetransmission three phase fit (70-90%)	0.1	4.00	0%	4.00
TOTAL EVENTS AFFECTING PLANT		27.00		21.00
Total Events Weighted for Severity		5.40		3.20
Cost Saving =	2.2	times the momentary interruption cost for the plant (C)		

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบผลประโยชน์ของแต่ละวิธีการแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

Service Entrance Technologies							
Power Conditioning Technology	Expected Saving (kCt)	Expected Saving (\$)	Cost for Solution (\$/kVA)	Size Required (kVA)	Total Solution Cost (\$)	Annual Operating Costs (% of Total Cost)	Total Annual Cost
Feeder reactors	1.70	\$170,000			\$1,000,000	2%	\$283,797
Primary static switch	2.20	\$220,000	\$60	10000	\$600,000	5%	\$186,278
Electronic voltage regulator	4.10	\$410,000	\$200	10000	\$2,000,000	10%	\$727,595
Asynchronous M/G with flywheel	5.15	\$515,000	\$400	2000	\$800,000	25%	\$411,038
Energy Storage Technologies	5.15	\$515,000	\$800	2000	\$1,600,000	15%	\$662,076
Secondary Static Switch	2.20	\$220,000	\$100	2000	\$200,000	5%	\$62,759
Protect controls with CVTs	3.26	\$326,000			\$50,000	5%	\$15,690
Protect controls and selected drives	3.90	\$390,000			\$150,000	8%	\$51,570
Assumed Cost per Interruption (Ct)	\$100,000						
Total Load for Facilities to be Protected (kVA)				10000			
Assumed Portion of Plant Load that requires protection (%)				20%	(Production Line is 2000 kVA)		
Number of Years to Amortize Investment	5						
Assumed Interest Rate for Capital	10%						

โมเดลการจัดการความเสี่ยงสำหรับสัญญาไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ (Managed-Risk Model for Premium Power Services)

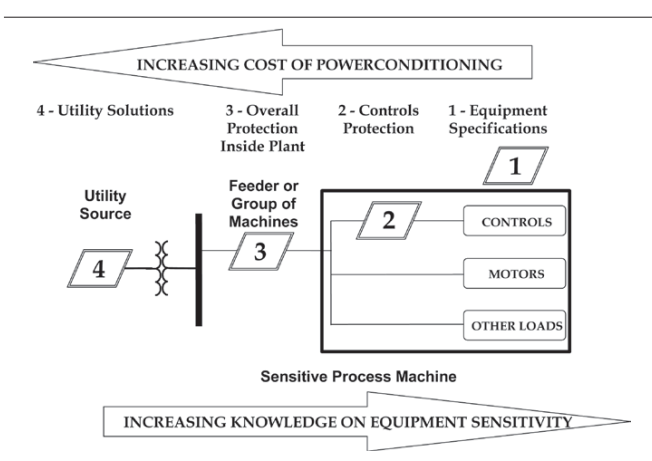
หน่วยงานที่สำคัญของการให้บริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษประกอบด้วย การไฟฟ้าหรือผู้ให้บริการ (ESP), ผู้ให้บริการคุณภาพไฟฟ้ากำลัง(QPS), ผู้ผลิตอุปกรณ์คุณภาพไฟฟ้ากำลัง (POEM), และลูกค้า โดย ESP อาจเป็นบริษัทหลายจำหน่าย (DISCO), บริษัทหลักบริการ (ESCO) หรือการรวมกันระหว่าง DISCO และ ESCO เพื่อจัดการการแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากำลังในระดับโครงข่าย (network) ในขณะที่ PQS อาจเป็นหน่วยงานอิสระที่ชำนาญด้านลูกค้าหรือระบบโครงข่ายคุณภาพไฟฟ้ากำลังหรือเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญใน ESCO หรือ DISCO ที่ทำงาน โดยปกติลูกค้าจะสนใจที่ความเชื่อถือได้, ความไม่มีปัญหา และพลังงานต้นทุนต่ำ และจะไม่สนใจการลงทุนกับอุปกรณ์เพื่อคุณภาพไฟฟ้า เพราะไม่ใช่ธุรกิจของลูกค้า และไม่มีกำไรมากนัก แต่ถ้าลูกค้าเข้าใจว่าสามารถประหยัดเงินได้ในระยะยาวโดยไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ (ลดไฟฟ้าดับและวัสดุ

และผลิตภัณฑ์ไม่เสียหาย) ลูกค้าจะยอมรับค่าไฟฟ้าแบบคุณภาพพิเศษ

วัตถุประสงค์หลักของ PQEM ในอดีตคือจัดหาอุปกรณ์ที่เชื่อถือได้และมีความคุณภาพ โดยลงทุน R&D ตามที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งสามารถดำเนินการขั้นต่อไปด้วยการตรวจวัด, วิเคราะห์, แนะนำวิธีแก้ปัญหา และให้บริการหลังการขาย

บทบาทของ PQEM มีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะกรณีที่ทราบผลกระทบของคุณภาพไฟฟ้าไม่มาก PQEM ซึ่งมีความเป็นอิสระและมีบทบาทในการแยกแยะปัญหา, หาทางแก้ไขทางวิศวกรรมที่เหมาะสมที่สุด, ให้บริการหลังติดตั้งและตรวจวัดอุปกรณ์คุณภาพไฟฟ้า, บำรุงรักษา และการทำงานของอุปกรณ์

กลยุทธ์ที่แนะนำ
(Suggested Strategy for Implementation)
วิธีการแก้ไขซึ่งเป็นที่ยอมรับควรมาจากทั้ง ESP, PQEM,



รูปที่ 21 ทางเลือกสำหรับให้บริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ

หรือ PQSP ซึ่งเป็นองค์กรอิสระ มีความรู้และเชี่ยวชาญไปสู่ความคิดที่จะรวมตัวเป็นศูนย์กลางให้ลูกค้า PSC, PQEM, และ POSP เพื่อทำให้ความเสี่ยงต่อทุกหน่วยงานมีน้อยที่สุด และเพิ่มโอกาสในการแก้ปัญหาให้ลูกค้ามากที่สุดในขณะที่หน่วยงานต่างๆ ยังอยู่ได้ ความร่วมมือดังกล่าวเป็นทางแก้ไขปัญหาลูกค้าแบบ ideal cost-effective

โมเดลที่เสนอ (Proposed Model)

ข้อเสนอแนะคือให้ลูกค้า, PSC, PQEM, และ POSP ทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหาดังนี้:

- การแก้ปัญหาจะสามารถแก้ปัญหาหลักของลูกค้าได้
- PQSP จะแนะนำให้ลูกค้าศึกษาความถี่และความเสียหายต่อคุณภาพไฟฟ้าและเสนอทางแก้ปัญหา ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาขบวนการผลิต, ระบบต่างๆ, และระบบไฟฟ้าทั้งหมดของลูกค้าและ PSC เพื่อให้ได้ทางแก้ปัญหาที่ยอมรับได้ และประมาณการค่าใช้จ่ายเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า โดยลูกค้าต้องจ่ายค่าจัดทำรายงานให้ PQSP
- เมื่อแนวทางแก้ไขเป็นที่ยอมรับ PQSP และลูกค้าจะบทวนค่าใช้จ่ายของการแก้ไขที่มีประสิทธิภาพที่สุดโดยความร่วมมือของทุกฝ่าย จะได้อุปกรณ์ที่ดีสำหรับทั้ง PSC และลูกค้า โดยมีข้อตกลงเรื่องการแบ่งเบาค่าใช้จ่ายซึ่งกันและกัน ลูกค้าต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในขั้นตอนนี้

เมื่อถึงขั้นตอนนี้ ลูกค้ามี 2 ทางเลือกคือ

- ลูกค้าอาจเลือกทำตาม PQEM และเตรียมการจัดซื้อ, ติดตั้ง และตรวจวัดด้วยตนเอง หรือทำร่วมกับ PQEM
- หรือลูกค้ามอบหมายให้ PQSP จัดหาอุปกรณ์ทุกอย่างที่จำเป็นจาก PQEM, ติดตั้งและ commission โดยรูปแบบของสัญญาในการปฏิบัติงานประกอบด้วย: ลูกค้าจะจ่ายค่าค่าใช้จ่ายสำหรับการทำงานและตรวจวัดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าให้กับ PQSP ตลอดช่วงเวลา (ปกติคือ 1 เดือนตามรอบการจ่ายไฟ)

ถ้าอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าไม่ทำงานตามเงื่อนไขข้อตกลง ลูกค้าจะระงับการจ่ายงวดเงิน และจะจ่ายเงินต่อหากมีเหตุผลที่ยอมรับได้เพื่อการปรับปรุงสมรรถนะ

PQSP ไม่มีสิทธิเหนือลูกค้าหากพารามิเตอร์ของขบวนการผลิตหรือระบบไฟฟ้าส่งอุปกรณ์ล้มเหลวเนื่องจากการละเลยหรือดูแลในส่วนของลูกค้า อีกทั้งถ้าคุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายอยู่นอกเหนือขอบเขตจากข้อตกลงระหว่าง PSC และลูกค้า

เมื่อสัญญาสิ้นสุด ความรับผิดชอบต่อการทำงานและตรวจวัดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะตกเป็นของลูกค้า ถ้าไม่มีการต่อสัญญาในข้อตกลงของทั้งสองฝ่าย

บทสรุป
“Premium power” หมายถึงระดับคุณภาพบริการที่ดีขึ้นที่ลูกค้าที่มีอุปกรณ์ที่มีความไวสูงต่อการรบกวนต้องการ การรบกวนจะไม่กระทบต่อลูกค้าส่วนใหญ่ ซึ่งดัชนี SAIIFI และ SAIDI ก็เพียงพอต่อการนิยามคุณภาพของไฟฟ้าได้ เมื่อกลุ่มลูกค้าประเภท VSD และประเภทที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง คุณภาพไฟฟ้ากำลังจะต้องนิยามในรูปของไฟฟ้าดับชั่วขณะ และแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะซึ่งสำหรับลูกค้ากลุ่มนี้คุณภาพไฟฟ้ากำลังจะมีความสำคัญเท่าๆ กับความเชื่อถือได้ และจะใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานสำหรับเสนอให้บริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ

การเสนอให้บริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ คือการร่วมมือระหว่างกรไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าในการติดตั้งเครื่องมือปรับปรุงในตำแหน่งที่เหมาะสม ดังรูปที่ 21 โดยการจะเลือกวิธีการแก้ไขจะต้องมีการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (cost/benefit)

องค์กรกำกับดูแลนิยามค่าเป้าหมายของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเป็นแบบระบบโดยรวม (เหมือนความเชื่อถือ

ได้) มากกว่านิยามตามความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่มนั้นๆ ซึ่งไม่เกิดประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลัง และทำให้เกิดความไม่เข้าใจต่อความต้องการคุณภาพไฟฟ้ากำลังในแง่ของขนาด, ระยะเวลาและความถี่ของการเกิด เหตุผลที่ใช้ค่าเป้าหมายของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเป็นแบบระบบโดยรวมคือ

1. แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะไม่กระทบต่อลูกค้ากลุ่มใหญ่ของการไฟฟ้า
2. เป็นไปไม่ได้ที่การไฟฟ้าจะต้องรับผิดชอบแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จากความผิดพลาดก่อนที่จะการไฟฟ้า (ความผิดพลาดเกิดภายในพื้นที่ส่งลูกค้าที่อยู่ทางไกล)
3. เป็นไปไม่ได้ที่การไฟฟ้าต้องลงทุนโดยใช้เงินที่ได้จากลูกค้าทุกราย เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากฟ้าผ่า, สัตว์, และอื่นๆ ที่การไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมได้
4. สามารถใช้ SAIIFI และ MAIFI ทางอ้อมเพื่อทำนายแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ฟอลต์จากฟีดเดอร์หนึ่งๆ ย่อมส่งผลถึงฟีดเดอร์อื่นในระบบเดียวกัน

5. ค่าเป้าหมายของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ แบบระบบโดยรวมใดๆ ที่ไม่รวมผลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ระบบไฟฟ้า (เหนือหัวหรือใต้ดิน, ระบบพาสซีฟหรือ loop, กระแสความผิดพลาด), อัตราการเกิดฟ้าผ่า, ความต้านทานดิน ทำให้ไม่ส่งผลต่อสมรรถนะที่แท้จริงของฟีดเดอร์ที่พิจารณา

ข้อกำหนดขององค์กรกำกับดูแลใดๆ สำหรับค่าเป้าหมายของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ แบบระบบโดยรวมควรพิจารณาประเด็นข้างบนอย่างรอบคอบ เพื่อประเมินทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ลูกค้าที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และต้องการคุณภาพไฟฟ้ากำลังที่สูงขึ้นต้องทราบถึงระดับคุณภาพไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติที่จ่ายจากการไฟฟ้า ซึ่งต้องจัดทำฐานฐานเพื่อลูกค้าให้ประเมิน และคำนวณ cost/benefit สำหรับการลงทุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลังเพิ่มเติมในทางเทคนิคแล้วการประเมินคุณภาพไฟฟ้ากำลังของลูกค้าให้ถูกต้องจะต้องตรวจวัดที่จุดซื้อขายเป็นระยะเวลานาน (มากกว่าหนึ่งปี) ลูกค้าที่ร้องขอจะเป็นต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายเพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ แต่บางครั้งไม่สามารถผลการตรวจวัดนานๆ ได้ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลแบบระบบโดยรวม เมื่อจัดทำเสร็จสิ้นแล้ว ลูกค้าสามารถเลือกวิธีการเพื่อลดข้อจางระหว่างคุณภาพไฟฟ้ากำลังจากการไฟฟ้าและความต้องการของอุปกรณ์ บางกรณีวิธีที่เหมาะสมคือติดตั้งอุปกรณ์ภายในโรงงานลูกค้าเอง บางกรณีติดตั้งทั้งที่การไฟฟ้า (medium voltage) หรือ low voltage องค์กรกำกับดูแลต้องอนุญาตให้การไฟฟ้าจัดทำโครงสร้างไฟฟ้าเพื่อเสนอให้บริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ โดยลูกค้าที่ร้องขอต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่าย



IEEE C57.13-2008

IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ตอนที่ 20)

สมชัย เจริญศรีเกษม > somchai.char@egat.co.th

- 3) Set the fluxmeter pointer at about the center of the scale and smoothly increase the direct current until the drop in the fluxmeter pointer speed indicates that the region of saturation has been reached.
ตั้งเข็มชี้ของฟลักซ์มิเตอร์ไว้ประมาณกึ่งกลางหน้าปัดและค่อยๆ เพิ่มกระแสตรง จนกระทั่งอัตราเร็วในการลดลงของเข็มชี้ของฟลักซ์มิเตอร์ บ่งบอกว่าได้เข้าสู่ย่านที่เกิดการอิ่มตัวแล้ว.
- 4) Observe the level of dc at this point and the corresponding fluxmeter indication, F1.
สังเกตระดับกระแสตรง ณ ตำแหน่งนี้ และการชี้ค่าของฟลักซ์มิเตอร์ที่สอดคล้องกัน, F1.
- 5) Reverse the dc, maintaining the same level, and obtain another fluxmeter indication, F2.
กลับขั้วของกระแสตรง, รักษาค่าให้ได้ระดับเดิม, และอ่านการชี้ค่าของฟลักซ์มิเตอร์อีกครั้ง, F2.
- 6) Now apply a trial value of dc in the opposite direction to demagnetize the core.
ควรวินล้อนขั้วกระแสตรงในทิศตรงกันข้าม เพื่อคลายความเป็นแม่เหล็กในแกนเหล็ก.
- 7) Open the dc circuit and observe the fluxmeter indication.
เปิดวงจรกระแสตรง และอ่านค่าของฟลักซ์มิเตอร์.

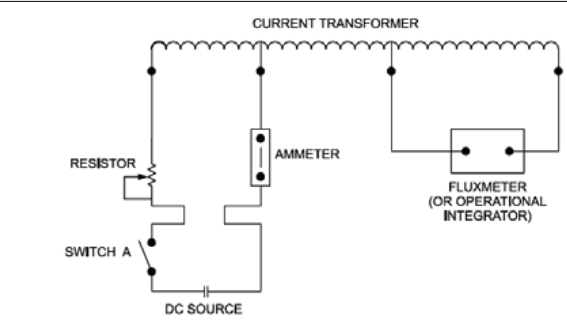
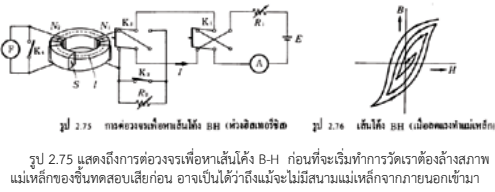
- 8) Repeat this operation until by successive trials the fluxmeter finally indicates the arithmetic mean of F1 and F2.
ทำซ้ำกระบวนการนี้จนกระทั่งเมื่อทดลองติดต่อกันหลายๆ ครั้งแล้ว หายี่สุดท้ายฟลักซ์มิเตอร์ชี้บอกค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของ F1 กับ F2.

8.3 Impedance and excitation measurements (การวัดอิมพีแดนซ์และการกระตุ้นแกนเหล็ก)
8.3.1 Impedance measurements (การวัดอิมพีแดนซ์)
Impedance measurements discussed in 8.3.1.1 uses terminology typically used for power and

๕๔๔๔ เนื้อหาและวงจรทดสอบของวิธีการที่ 3 ไม่มีอยู่ใน C57.13-1968 & 1978 แต่เพิ่มไว้ใน C57.13-1993 และฉบับล่าสุดก็ยังใช้เหมือนเดิม
๕๔๔๔

ถาม: พะจะมีหนังสือภาคภาษาไทย ที่อธิบายขั้นตอนการสลายอำนาจแม่เหล็กดังกล่าวบ้างหรือไม่ ?

ตอบ: หนังสือภาษาไทยเท่าที่เฝ้าอ่านมา พบว่ามีอยู่เพียงเล่มเดียวที่อธิบายขั้นตอนการสลายอำนาจแม่เหล็กดังกล่าวไว้ละเอียดมากที่สุด คือ หนังสือ เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า, อารณีย์ เกตุผล (จุฬาฯ) และ โอชาวุฒ นิธิโนะ (โตเกียว), สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, พ.ศ. 2519 ซึ่งอธิบายขั้นตอน การล้างสภาพแม่เหล็ก ไว้ในหน้า 120 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 22 วิธีการที่ 3: วงจรในการสลายอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลงกระแส ๕๔๔๔ - ๕๔๕๐

distribution transformers. Impedance measurements discussed in 8.3.1.2 and 8.3.1.3 use terminology typically used for instrument transformers.
การวัดอิมพีแดนซ์ตามที่อธิบายในข้อ 8.3.1.1 ใช้ศัพท์เฉพาะตามที่มักจะใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังและหม้อแปลงจำหน่าย. ส่วนการวัดอิมพีแดนซ์ตามที่อธิบาย ในข้อ 8.3.1.2 และข้อ 8.3.1.3 ใช้ศัพท์เฉพาะที่มักจะใช้สำหรับหม้อแปลงเครื่องมือวัด

8.3.1.1 Impedance voltage (แรงดันอิมพีแดนซ์)

The voltage required to circulate the rated current of the transformer under short-circuit conditions is the impedance voltage of the transformer as viewed from the terminals of the excited winding.
แรงดันที่ต้องใช้ในการหมุนเวียนกระแสตามที่กำหนดของหม้อแปลงภายใต้สภาวะที่ลัดวงจร คือ แรงดันอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงนั้น เมื่อมองจากปลายสายของขดลวดกระตุ้น.

The impedance voltage is comprised of an equivalent resistance component and a reactive component. It is not practical to measure these components separately, but after the loss and the impedance voltage are measured, the components may be separated

by calculation.
แรงดันอิมพีแดนซ์ประกอบด้วยองค์ประกอบความต้านทานและความเหนี่ยวนำสมมูล การวัดองค์ประกอบทั้งสองแยกจากกันนั้นทำได้ในทางปฏิบัติ, แต่หลังจากที่วัดกำลังไฟฟ้าสูญเสียกับแรงดันอิมพีแดนซ์แล้ว, อาจจะสามารถทำการคำนวณเพื่อแยกองค์ประกอบทั้งสองออกจากกันได้.

It is sufficient to measure and adjust the current in the excited winding only, because the current in the short-circuited winding will be the correct value (except for a negligible excitation current) when the current in the excited winding is correct. The introduction of current-measuring equipment in series with the short-circuited winding may introduce large errors in the impedance measurements.
การวัดและปรับค่ากระแสในขดลวดกระตุ้นเพียงแห่งเดียวถือว่าเพียงพอสำหรับกรณีนี้, เพราะว่าการแก้ไขขดลวดที่ลัดวงจรจะมีค่าถูกต้องได้เอง (ยกเว้นแต่กระแสกระตุ้นแกนเหล็กซึ่งมีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งไปไม่ได้) เมื่อกระแสในขดลวดกระตุ้นถูกต้องก่อนแล้ว. การแทรกอุปกรณ์การวัดกระแสอนุกรมกับขดลวดที่ลัดวงจร อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ในการวัดอิมพีแดนซ์.

For two-winding transformers, one of the windings (either the high-turn or the low-turn)

is short-circuited, and voltage at rated frequency is applied to the other winding and adjusted to circulate rated current in the winding.
สำหรับหม้อแปลงที่มีสองขดลวด, ให้ลัดวงจรขดลวดชุดใดชุดหนึ่ง (จะเป็นชุดที่จำนวนรอบมากหรือจำนวนรอบน้อยก็ได้), แล้วป้อนแรงดัน ณ ความถี่ที่กำหนดให้กับขดลวดอีกชุดหนึ่ง และทำการปรับค่าเพื่อให้กระแสที่กำหนดไหลผ่านในขดลวดชุดนั้น.

For transformers having more than two windings, the impedance voltage is a function of the test connections used. When making tests on multiple-winding transformers, the windings should be connected in such a manner as to provide the correct impedance data for the purpose intended.

สำหรับหม้อแปลงที่มีมากกว่าสองขดลวด, แรงดันอิมพีแดนซ์จะเป็นฟังก์ชันของการต่อวงจรทดสอบที่เลือกใช้. เมื่อทำการทดสอบกับหม้อแปลงที่มีหลายขดลวด, ขดลวดเหล่านั้นควรจะต่อกันในลักษณะที่ทำให้ให้อิมพีแดนซ์ที่มีความถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้.

Resistive and reactive components of the impedance voltage are determined by the use of the following equations:
องค์ประกอบความต้านทานและความเหนี่ยวนำของแรงดันอิมพีแดนซ์ หาได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้:

$$V_r = P_r / I$$
$$V_x = (V_z^2 - V_r^2)^{1/2}$$

where
โดยที่
 V_r is the voltage, in-phase component คือ แรงดันขององค์ประกอบความต้านทาน
 V_x is the voltage, quadrature component คือ แรงดันขององค์ประกอบความเหนี่ยวนำ
 V_z is the impedance voltage คือ แรงดันอิมพีแดนซ์
 P_z is the power in watts คือ กำลังไฟฟ้าในหน่วยวัตต์
 I is the current in amperes in excited winding คือ กระแสในหน่วยแอมแปร์ที่ไหลในขดลวดกระตุ้น, ๕๔๕๐ - ๕๔๕๓

รบกวนเลยก็ตาม ก็ยังอาจมีฟลักซ์แม่เหล็กเหลือตกค้างอยู่ภายในชิ้นทดสอบนั้น วิธีการที่จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กตกค้างนี้เป็นศูนย์เราเรียกว่า การล้างสภาพแม่เหล็ก (demagnetization)
1) ปิดสวิตช์ K3 และ K4
2) ผลักสวิตช์ K1 ไปทางด้านซ้ายแล้วปรับค่าของ R1 จนกระทั่งกระแสที่ทำให้เป็นแม่เหล็กซึ่งไหลผ่านขดลวด N1 มีค่ามากกว่ากระแสที่ใช้วัด อันที่จริงในขั้นนี้สวิตช์ K1 อาจจะถูกยกเลิกการใช้ทางานชั่วคราวก็ได้ แต่ในที่นี้สมมุติว่าเราล้มเลิกการใช้ทางานดังกล่าวมาแล้ว
3) ผลักสวิตช์ K1 ไปทางด้านขวา
4) เพิ่มค่า R1 ขึ้นเล็กน้อยเพื่อลดกระแสที่ทำให้เป็นแม่เหล็ก
5) ผลักสวิตช์ K1 ไปทางด้านซ้ายอีก
6) เพิ่มค่า R1 ขึ้นต่อไปเพื่อลดกระแสที่ทำให้เป็นแม่เหล็กถึงอีก
ผลักสวิตช์ K1 กลับไปกลับเช่นและดำเนินการตามวิธีข้างบน จนกระทั่งกระแสที่ทำให้เป็นแม่เหล็กลดลงเป็นศูนย์ การทำเช่นนี้จะทำให้เส้นโค้ง B-H ลดเข้าหาสภาพ H=0 และ B=0 ตามแนวทางที่แสดงในรูป 2.76
๕๔๕๐

แนวคิดของวิธีการที่ 3 ในการลบทิศทางของกระแสเข้าไปข้างมา เพื่อที่จะค่อยๆ ลดอำนาจ

แม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็กนั้น คล้ายคลึงมากกับคำอธิบายในหนังสือ เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า, อารณีย์ เกตุผล (จุฬาฯ) & โอชาวุฒ นิธิโนะ (โตเกียว) ที่อธิบายไปข้อที่แล้ว
๕๔๕๐

ผู้ที่สนใจหลักการของเครื่องมือพื้นฐานที่วัดปริมาณทางแม่เหล็ก เช่น แก้ววอร์มิตอร์ชนิดฮอลล์สแตต, ฟลักซ์มิเตอร์, ฮอลล์เอฟเฟกต์เดเทกเตอร์ และฮอลล์เอฟเฟกต์มิเตอร์ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือ เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า ที่กล่าวถึงไปแล้ว ซึ่งอยู่ในหน้า 116-118
๕๔๕๐

สมการ ซึ่งคุ้นเคยกันว่าเป็นสมการฟิสิกส์ของนิวตัน มีคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มมากมาย เช่น (3, 4, 5) และ (5, 12, 13) เป็นต้น แต่ว่าเมื่อเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 3 ขึ้นไป จะไม่มีคำตอบที่เป็น จำนวนเต็มเลย นั่นคือ “ทฤษฎีบทสุดท้ายของแฟร์มา”
ความหมายของ ทฤษฎีบทสุดท้ายของแฟร์มา จาก Britannica Concise Encyclopedia (ภาษาอังกฤษไทย), พ.ศ. 2551 มีดังนี้
Fermat’s last theorem ทฤษฎีบทสุดท้ายของแฟร์มา ประพจน์ที่ว่าไม่มีจำนวนเต็ม x, y และ z ใดๆ ที่ทำให้ $x^n + y^n = z^n$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า 2 ในเรื่องนี้ ปีแยร์ เดอ แฟร์มา (ที่อาศัย) เขียนไว้ในต้นฉบับหนังสือเรื่อง Diophantus’s Arithmetica ของเขาใน

The I2R losses of the two windings are calculated from the ohmic resistance measurements (corrected to the temperature at which the impedance test is made) and the currents that are used in the impedance measurement. These I2R losses subtracted from the impedance loss give the stray losses of the transformer.

กำลังไฟฟ้าสูญเสีย I²R ของขดลวดสองชุด คำนวนได้จาก การวัดความต้านทานในหน่วยโอห์ม (แล้วปรับค่าไปที่อุณหภูมิซึ่งใช้ทำการทดสอบอิมพีแดนซ์) และกระแสที่ใช้ในการวัดอิมพีแดนซ์ เมื่อลบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย I²R ออกจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียอิมพีแดนซ์แล้ว จะได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียปลีกย่อยของหม้อแปลงตัวนั้น.

The temperature of the windings shall be taken immediately before and after the impedance measurements in a manner similar to that described in 8.5. The average shall be taken as the true temperature. อุณหภูมิของขดลวดจะต้องทำการวัดในทันทีทั้งก่อนและหลังการวัดอิมพีแดนซ์ ในทำนองเดียวกันที่บรรยายไว้ในข้อ 8.5. ค่าเฉลี่ยที่ได้จะต้องนำไปใช้เป็นอุณหภูมิที่แท้จริง.

8.3.1.2 Current transformer short-circuit impedance measurements (การวัดอิมพีแดนซ์ลัดวงจรของหม้อแปลงกระแส)

ค.ศ. 1637 ว่า “ข้าพเจ้าได้พบพิศุจน์ที่น่าทึ่งอย่างแท้จริง แต่เนื้อที่ (ของนักกระดาช) นั้นเล็กเกินกว่าจะบรรจุมันได้” แม้ว่าทฤษฎีดังกล่าวจะได้รับ การพิสูจน์ต่อมาว่าเป็นจริงในหลายศตวรรษของ ก ซึ่งทำให้เกิดความก้าวหน้าอย่างสำคัญในทางคณิตศาสตร์ก็ตาม แต่ความยากของปัญหา ก็ทำให้คณิตศาสตร์เชื่องไม่เข้าตัวแม้มันได้มีพิศุจน์ที่ถูกต้อง ใน ค.ศ. 1995 นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ แอนดรูว์ ไวลส์ (เกิด 1953) กับลูกศิษย์เก่าของเขาชื่อ ริชาร์ด เทเลอร์ (เกิด 1962) ได้ตีพิมพ์บทพิศุจน์ที่สมบูรณ์ เป็นการพิศุจน์ปัญหาที่มีชื่อเสียงที่สุดทางคณิตศาสตร์ปัญหานี้ได้ในที่สุด

ประวัติย่อของ วัดต์ จาก Britannica Concise Encyclopedia (ภาคภาษาไทย), พ.ศ. 2551 มีดังนี้

Watt, James วัดต์, เจมส์ (19 ม.ค. 1736 ที่กรีนวอธ เรนฟริเยอร์ สกอตแลนด์ — 25 ส.ค. 1819 อีพิทคอตลด์ โกล์เบอร์รี่แมน อวิก อังกฤษ) วิศวกรและนักประดิษฐ์ชาวสกอต วัดต์ศึกษาด้วยตัวเองเป็นส่วนใหญ่ โดยเริ่มเป็นช่างประดิษฐ์เครื่องมือตั้งแต่อายุยังน้อย ต่อมาได้ทำงานเป็นวิศวกรก่อสร้างคลองฟอร์ทแอนด์โคสต์ ผลงานชิ้นสำคัญคือ การปรับปรุงเครื่องจักรไอน้ำของเจมส์ บุคเณม (Thomas Newcomen) โดยการใช้คอนเดนเซอร์แยกต่างหาก (1769) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อนแฝง (latent heat) และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรได้อย่างมาก เขาร่วมมือกับแมทธิว บอลตัน (Matthew Boulton) สร้างเครื่องต้นใหญ่ของตัวเอง ใน ค.ศ. 1775 ต่อมาใน ค.ศ. 1781 เขาใช้การหมุนเป็นวงกลมแทนการเคลื่อนที่แบบขึ้นลงของเครื่องชนิดเดิม และได้จดสิทธิบัตรเครื่องจักรสองทางซึ่งถูกสืบทอดหน้าที่ทั้งที่ตั้งและเคลื่อนใน ค.ศ. 1782 เครื่องจักรนี้อาศัยวิธีการใหม่ในการต่อเชื่อมลูกสูบให้ติดแน่นกับก้านสูบ ซึ่งเป็นปัญหาที่เขาแก้ได้สำเร็จใน ค.ศ. 1784 ด้วยการติดตั้งก้านสูบที่ควบคุมลูกสูบให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งจากการนำทั้งฟอเรออร์บนบนที่ศูนย์ยกกลามาใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์โดยอัตโนมัติ (1788) และการประดิษฐ์มาตรความดัน (pressure gauge) ใน ค.ศ. 1790 ข้อวัดวัดที่ได้ให้เครื่องยนต์ของชาลสมัวร์มีแบบและมีอิทธิพลอย่างมหาศาลต่อการปฏิวัติอุตสาหกรรม (Industrial Revolution) วัดต์ยังเป็นผู้นิยามคำว่าแรงม้า (horsepower) และวัดวัดที่เป็นหน่วยวัดกำลังไฟฟ้าที่เรียกตามชื่อของเขา

หนังสือ Electric Power Engineering Handbook, James H. Harlow, 2nd Edition, 2007, บทที่ 7 หน้า 24 อธิบายไว้ว่า

The window-type CT is the simplest form of instrument transformer. It is considered to be an incomplete transformer assembly, since it consists only of a secondary winding wound on its core. The most common type is that wound on a toroidal core. The secondary winding is fully distributed around the periphery of the core. In special cases when taps are employed, they are distributed such that any connection made would utilize the entire core periphery. Windings in this manner ensure optimum flux linkage and distribution. Coupling is almost

The measured short-circuit impedance of a current transformer is the sum of the primary and secondary impedance. Since the secondary impedance cannot be determined from this information alone, the data obtained is of little value in the calculation of ratio and phase angle characteristics. However, it is of value in determining the burden imposed on main transformers by auxiliary transformers.

อิมพีแดนซ์ลัดวงจรของหม้อแปลงกระแสที่วัดได้ เป็นผลรวมของอิมพีแดนซ์ด้านปฐมภูมิกับด้านทุติยภูมิ เนื่องจากอิมพีแดนซ์ด้านทุติยภูมิไม่สามารถหาได้จากข้อมูลนี้โดยลำพัง ข้อมูลที่ได้จึงมีคุณค่าน้อยในการคำนวณลักษณะของอัตราส่วนและมุมเฟส. อย่างไรก็ตาม, ข้อมูลนี้ก็มีคุณค่าในการหาเบอร์เดนของหม้อแปลงช่วยที่ส่งผลต่อหม้อแปลงหลัก.

Except for current, the quantities measured in making impedance measurements on current transformers are extremely small and great care shall be exercised in order to obtain accurate results.

นอกจากค่าของกระแสแล้ว, ค่าอื่นๆ ที่ทำการวัด พร้อมกับการวัดอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงกระแสต่างก็มีขนาดเล็กมาก และจะต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ.

For the purpose of impedance measurements,

current transformers can be divided into the following three types, according to their physical details: เพื่อจุดประสงค์ในการวัดอิมพีแดนซ์, หม้อแปลงกระแสสามารถจะแบ่งย่อยออกเป็นสามประเภทดังต่อไปนี้, โดยแยกตามรายละเอียดทางกายภาพของพวกมัน:

a) Type 1: Bushing-type, window-type, or bar-type, with turns well distributed about the core. In current transformers of this type, the leakage reactance is extremely small and the impedance may be considered to be the resistance of the whole winding or that part to be used if it is well distributed. The manufacturer should be consulted if the winding distribution is not known. ประเภทที่ 1. แบบที่ใช้กับบุชชิ่ง, แบบช่องหน้าต่าง, หรือแบบแท่งตัวนำ, ที่มีการพันขดลวดกระจายตัวดีรอบๆ แกนเหล็ก. ในหม้อแปลงกระแสประเภทนี้ ความเหนี่ยวนำรั่วมีค่าต่ำมาก และอาจพิจารณาได้ว่าอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานล้วนๆ ของขดลวดทั้งชุดหรือบางส่วนของที่ใช้งาน หากการพันกระจายตัวดีจริง. ทั้งนี้ควรจะขอคำปรึกษาจากผู้ผลิต หากว่าการพันขดลวดนั้นยังไม่อาจบอกได้แน่ชัด. ๕๕๔-๕๕๕

b) Type 2: Wound-type in which the high-current (primary) terminals are at opposite ends of the transformer. Transformers of this

impervious to primary-conductor position, provided that the return path is sufficiently distanced from the outer periphery of the secondary winding. The effects of stray flux are negligible, thus making this type of winding a low-reactance design. The primary winding in most cases is a single conductor centrally located in the window. A common application is to position the CT over a high-voltage bushing, hence the name BCT. Nearly all window-type CTs manufactured today are rated 600-V class. In practice, they are intended to be used over insulated conductors when the conductor voltage exceeds 600 V. It is common practice to utilize a 600-V-class window type in conjunction with air space between the window and the conductor on higher-voltage systems. Such use may be seen in isolated-phase bus compartments. There are some window types that can be rated for higher voltages as stand-alone units, for use with an integral high-voltage stress shield, or for use with an insulating sleeve or tube made of porcelain or some polymeric material. Window-type CTs generally have a round window opening but are also available with rectangular openings. This is sometimes provided to fit a specific bus arrangement found in the rear of switchgear panels or on drawout- type circuit breakers. This type of CT is used for general-purpose monitoring, revenue metering and billing, and protective relaying. ๕๕๕

หนังสือ Electric Power Engineering Handbook, James H. Harlow, 2nd Edition, 2007, บทที่ 7 หน้า 25 อธิบายไว้ว่า

The bar-type CT is, for all practical purposes, a window-type CT with a primary bar inserted straight through the window. This bar assembly can be permanently attached or held in place with brackets. Either way, the primary conductor is a single turn through the window, fully insulated from the secondary winding. The bar must be sized to handle the continuous current to be passed through it, and it must be mechanically secured to handle high-level short-circuit currents without incurring damage. Uses are the same as the window-type.

หมายความว่า หม้อแปลงกระแสแบบแท่งตัวนำก็เป็นหม้อแปลงกระแสแบบช่องหน้าต่าง ลักษณะหนึ่ง มีขดลวดปฐมภูมิเพียงแห่งเดียว ซึ่งเรียกทับศัพท์ว่า ‘บาร์’ สอดผ่านช่องหน้าต่าง และยึดอยู่กับที่ ประเด็นสำคัญก็คือ ขนาดของบาร์จะต้องรับกระแสต่อเนื่องที่ไหลผ่านมันได้ และยังคงทนผลกระทบทางกลที่เกิดจากการเสล็ดวงจรขนาดใหญ่ได้ด้วย

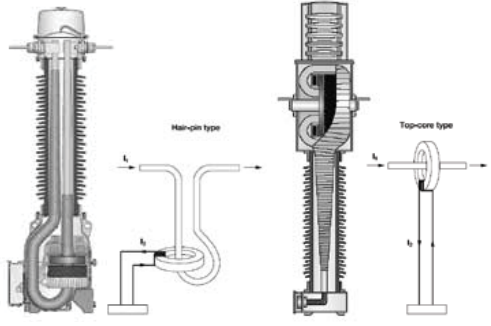
ข้อที่กล่าวเกี่ยวกับกระแสต่อเนื่องและกระแสลัดวงจรของแท่งตัวนำนี้ ไม่ได้กำหนดไว้ในนิยามของทีมาตรฐาน IEEE และ IEC แต่เป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ซึ่งมันได้อธิบายหลักการพิจารณาประเด็นเหล่านี้จากแบบของ Terminal Pad ที่ผู้ผลิตนำมาให้ กฟผ. ตรวจอนุมัติ ตามข้อกำหนดที่ 6.9 Terminals (ข้อวัดสาย)

type should be excited from the high-current winding with the low-current winding short circuited, because a short circuit on the high-current winding will introduce appreciable error in the measurement due to the added impedance of the short-circuiting connections.

ประเภทที่ 2. แบบที่ใช้ลัดพัน ซึ่งปลายสายที่นำกระแสสูง (ปฐมภูมิ) ของหม้อแปลงวางไว้ในตำแหน่ง

๕๕๖ หม้อแปลงกระแสแบบติดตั้งนอกอาคารที่ กฟผ. จัดซื้อเกือบทั้งหมด จัดเป็นหม้อแปลงกระแสแบบ แท่งตัวนำนี้ ยกเว้นหม้อแปลงกระแสที่ติดตั้งกับบุชชิ่งของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (power transformer) หรือเพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัวถังไม่มีไฟฟ้า (dead tank power circuit-breaker) ซึ่งเป็นหม้อแปลงกระแสแบบที่ใช้กับบุชชิ่งตามนิยามข้อ 3.4 bushing-type current transformer ตาม CS7.13-1993

หม้อแปลงกระแสแบบแท่งตัวนำจะแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ แบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านล่าง (Haire-pin/Tank-Type/Bottom-core) กับแบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านบน (Inverted-type/Top-core) ตามรูปประกอบต่อไปนี้



๕๕๗ หนังสือ ABB Outdoor Instrument Transformers Application Guide, Knut Sjövall, Edition 2.1, 2005, pp. 74-75 อธิบายไว้ว่า

หม้อแปลงกระแสแบบแท่งตัวนำแบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านล่าง (Haire-pin/Tank-type/Bottom-core)

- ข้อดี - มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำ
 - ต้านทานแผ่นดินไหวได้ดี
 - เลือกใช้แกนเหล็กขนาดใหญ่ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเค้นที่ลุล่วงด้วยอนวน
 - ปรับเปลี่ยนการออกแบบปริมาตรของแกนเหล็กได้ง่าย เพื่อให้เหมาะสมกับข้อกำหนดที่แตกต่างกัน
 - ใช้ตัวถังเป็นส่วนหนึ่งของฐานรองรับน้ำหนัก
 - มีการไหลเวียนของน้ำมันในท่อของตัวนำปฐมภูมิ ทำให้อุณหภูมิมีค่าสม่ำเสมอเกิดจุดที่ร้อนจัด

- ข้อเสีย - ใช้ตัวนำปฐมภูมิที่ยาว ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมาก
- มีข้อจำกัดในการทนกระแสลัดวงจร

หม้อแปลงกระแสแบบแท่งตัวนำแบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านบน (Inverted-type/Top-core)
ข้อดี - ใช้ตัวนำปฐมภูมิที่สั้น ทำให้มีการสูญเสียความร้อนน้อย

- มีพื้นที่กระแสนเนื่องและกระแสนลัดวงจรที่สูงๆ ได้

ข้อเสีย -

- มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่สูง
- ต้านทานแผ่นดินไหวได้ไม่ดีหากใช้แกนเหล็กขนาดใหญ่
- หากเลือกใช้แกนเหล็กขนาดใหญ่ จะก่อให้เกิดความเค้นที่ลุล่วงด้วยอนวน
- มีข้อจำกัดในการเลือกขนาดแกนเหล็ก
- ยุ่งยากต่อการระบายความร้อนของตัวนำทุติยภูมิที่ห่อหุ้มด้วยกระดาษอนวน

๕๕๘

จากข้อดี/ข้อเสียของหม้อแปลงกระแสทั้งสองแบบตามที่กล่าวมาในเชิงรรรถข้อดีแล้ว เมื่อพิจารณาถึงการจัดซื้อหม้อแปลงกระแสตัวแรงต้น 115, 230 & 500 kV ของ กฟผ. ที่มักจะกำหนดกติกากระแสนเนื่องและกระแสนลัดวงจรของอุปกรณ์ไว้ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับระบบส่งพลังงาน ทำให้ผู้ผลิตหม้อแปลงกระแสแบบแกนเหล็กอยู่ด้านล่างค่อนข้างเสียเปรียบในการแข่งขัน เพราะต้องลงทุนสูงในการเอาชนะขีดจำกัดที่เป็นข้อเสียของหม้อแปลงแบบนี้ ดังนั้นจึงทำให้ไม่ค่อยชนะการประมูลมากนัก

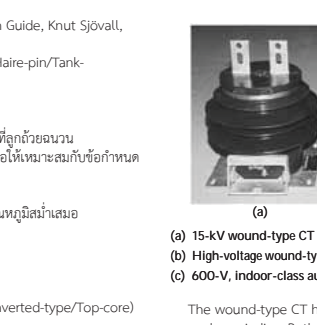
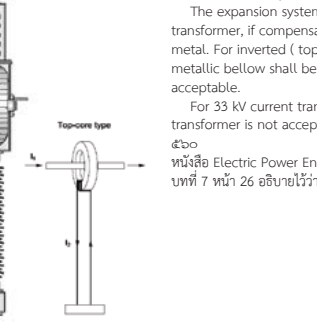
สำหรับข้อเสียของหม้อแปลงกระแสแบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านบน ที่ก่อารจุดศูนย์ถ่วงอยู่สูง

ตรงข้ามกัน. หม้อแปลงประเภทนี้ควรจะป้องกันกระแสต้นจากขดลวดกระแสสูง ขณะที่ขดลวดกระแสต่ำลัดวงจรไว้, เพราะว่าการลัดวงจรด้านขดลวดกระแสสูง จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมากในการวัด อันเนื่องมาจากอิมพีแดนซ์ของการต่อลัดวงจรที่เพิ่มเข้าไป.

ประเภทที่ 2. แบบที่ใช้ลัดพัน ซึ่งปลายสายที่นำกระแสสูง (ปฐมภูมิ) ของหม้อแปลงวางไว้ในตำแหน่ง

๕๕๖ หม้อแปลงกระแสแบบติดตั้งนอกอาคารที่ กฟผ. จัดซื้อเกือบทั้งหมด จัดเป็นหม้อแปลงกระแสแบบ แท่งตัวนำนี้ ยกเว้นหม้อแปลงกระแสที่ติดตั้งกับบุชชิ่งของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (power transformer) หรือเพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบตัวถังไม่มีไฟฟ้า (dead tank power circuit-breaker) ซึ่งเป็นหม้อแปลงกระแสแบบที่ใช้กับบุชชิ่งตามนิยามข้อ 3.4 bushing-type current transformer ตาม CS7.13-1993

หม้อแปลงกระแสแบบแท่งตัวนำจะแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ แบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านล่าง (Haire-pin/Tank-Type/Bottom-core) กับแบบที่แกนเหล็กอยู่ด้านบน (Inverted-type/Top-core) ตามรูปประกอบต่อไปนี้



(a) 15-kV wound-type CT cast in epoxy resin. (b) High-voltage wound-type CT in combination steel tank, oil, and porcelain construction. (c) 600-V, indoor-class auxiliary CT frame shell-type laminated ‘E1’ core.

The wound-type CT has a primary winding that is fully insulated from the secondary winding. Both windings are permanently insulated on the core. The insulation medium used — whether polymeric, oil, or even air — in conjunction with its rated voltage class dictates the core and coil construction. There are several core types used, from a low-reactance toroid to high-reactance cut-cores and laminations. The distribution of the cut(s) and gap(s) helps control the magnetizing losses. The manner in which the windings are arranged on the core affects the reactance, since it is a geometric function. Generally, the windings do not utilize the magnetic path efficiently. The proper combination of core type and coil arrangement can greatly reduce the total reactance, thus reducing errors.

The auxiliary CT is a wound-type used in secondary circuits for totalizing, summation, phase shifting, isolation, or to change ratio. They are typically 600-V clas, since they are used in the low-voltage circuit. When applying auxiliary CTs, the user must be aware of its reflected impedance on the main-line CT.

ทำให้ต้านทาน แผ่นดินไหวได้ไม่ดีนัก ไม่ถือว่าเป็นจุดอ่อนที่สำคัญมากนัก เนื่องจากระดับของแผ่นดินไหวในประเทศไทยค่อนข้างต่ำอยู่แล้ว แต่หากเป็นประเทศญี่ปุ่นที่เกิดแผ่นดินไหวระดับรุนแรง เขาจะเลือกใช้ข้ออุปกรณ์ต่างๆ ที่มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำเป็นหลัก

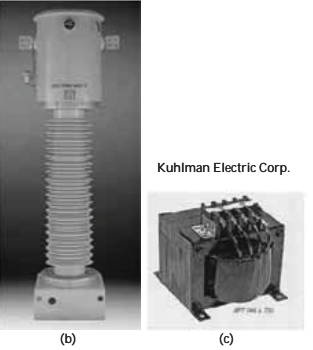
๕๕๙ ตาม: Specification No. 301 ของ กฟผ. เปิดให้ผู้ผลิตเสนอหม้อแปลงกระแสได้ทั้ง Bottom-core และ Top-core หรือไม่ ?

ตอบ: Specification No. 301 ของ กฟผ. ไม่มีข้อกำหนดให้ผู้ผลิตจะเสนอหม้อแปลงกระแสแบบ Bottom-core แต่มีข้อกำหนดสำหรับหม้อแปลงกระแสแบบ Top-core หรือ Inverted-type คือ หากเป็นหม้อแปลงไม่เกิน 33 kV ห้ามเสนอ Top-core เลย ส่วนหม้อแปลง 69 kV ขึ้นไป กฟผ. ยอมให้เสนอแบบ Top-core ได้ ภายใต้ข้อ กำหนดบางอย่างดังต่อไปนี้

The expansion system for changing of oil volume to variation in oil transformer, if compensate by expansion bellow, the bellow shall be made of metal. For inverted (top core) type current transformer of 69 kV and above, the metallic bellow shall be used only, other oil expansion systems are not acceptable.

For 33 kV current transformer and below, the inverted (top core) type current transformer is not acceptable.

๕๖๐ หนังสือ Electric Power Engineering Handbook, James H. Harlow, 2nd Edition, 2007, บทที่ 7 หน้า 26 อธิบายไว้ว่า



(a) 15-kV wound-type CT cast in epoxy resin. (b) High-voltage wound-type CT in combination steel tank, oil, and porcelain construction. (c) 600-V, indoor-class auxiliary CT frame shell-type laminated ‘E1’ core.

The wound-type CT has a primary winding that is fully insulated from the secondary winding. Both windings are permanently insulated on the core. The insulation medium used — whether polymeric, oil, or even air — in conjunction with its rated voltage class dictates the core and coil construction. There are several core types used, from a low-reactance toroid to high-reactance cut-cores and laminations. The distribution of the cut(s) and gap(s) helps control the magnetizing losses. The manner in which the windings are arranged on the core affects the reactance, since it is a geometric function. Generally, the windings do not utilize the magnetic path efficiently. The proper combination of core type and coil arrangement can greatly reduce the total reactance, thus reducing errors.

The auxiliary CT is a wound-type used in secondary circuits for totalizing, summation, phase shifting, isolation, or to change ratio. They are typically 600-V clas, since they are used in the low-voltage circuit. When applying auxiliary CTs, the user must be aware of its reflected impedance on the main-line CT.



ABB and Solar Impulse

พร้อมแล้วสำหรับเที่ยวบินประวัติศาสตร์รอบโลก



คุณ Ulrich Spiesshofer ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บริษัท เอบีบี

เครื่องบินที่สามารถบินรอบโลกได้ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยไม่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน นอกจากพลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น ท่านจะยิ่สร้างผืนดินเทคโนโลยีพลังงานสะอาดที่มีแรงบันดาลใจมากกว่านี้อีกไหม...

โซลาร์ อิมพัลส์ (Solar Impulse) เริ่มก่อตั้งในปี ค.ศ. 2003 โดยนักผจญภัยชาวสวิส Bertrand Piccard ซึ่งเป็นหนึ่งในทีมนักเล่นบอลลูนคณะแรกที่เดินทางรอบโลก และนักธุรกิจชาวสวิส Andre Borchberg จากนั้น ทั้งสองคนได้ขับเคลื่อนเครื่องบินต้นแบบ Solar Impulse 1 ขึ้นข้าม 3 ทวีป ตลอดช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน และสร้างสถิติระดับนานาชาติขึ้นมาอีกสถิติหนึ่ง

เครื่องบินพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยบรรทุกในท้องเครื่องของเครื่องบิน Jumbo Jet เครื่องบินพลังงานแสงอาทิตย์สัญชาติสวิสสำเร็จได้จดทะเบียนในชื่อ HB-SIA หรือเรียกกันว่า Solar Impulse 1 เป็นเครื่องบินแบบปีกเดี่ยว 1 ที่นั่ง สามารถขึ้นบินได้ด้วยพลังงานไฟฟ้าของตัวเอง รวมทั้งได้รับการออกแบบให้สามารถบินอยู่ในอากาศได้นานถึง 36 ชั่วโมง เครื่องบินลำนี้ได้นำไปทดสอบการบินครั้งแรกในปี ค.ศ.

2009 และขึ้นบินทดสอบครั้งแรกตามรอบรังสีแสงอาทิตย์ที่ปรากฏในแต่ละวัน รวมทั้งขึ้นบินเกือบ 9 ชั่วโมงในเวลากลางคืน และขึ้นบิน 26 ชั่วโมงระหว่างวันที่ 7-8 กรกฎาคม ค.ศ.2010 โดย Piccard และ Borchberg ประสบความสำเร็จในการบินรวดเดียวด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ที่บินจากสวิตเซอร์แลนด์ไปยังสเปนและโมร็อกโก ในปี ค.ศ.2012 รวมทั้งการบินแบบหลายระยะทางข้ามสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ.2013

จากประสบการณ์การสร้างเครื่องบินต้นแบบแสงอาทิตย์นี้ ทำให้มีการออกแบบเครื่องบินที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิมเล็กน้อยตามมากคือ HB-SIB หรือรู้จักกันในชื่อ Solar Impulse 2 ซึ่งได้รับการสร้างและขึ้นบินครั้งแรกในปี ค.ศ.2014 เครื่องบินพลังงานแสงอาทิตย์ลำใหม่นี้ได้รับการวางแผนที่จะสร้างโปรแกรมการบินขนาดใหญ่ประมาณ 5 เดือนในการบินไปรอบโลก ระหว่างปี ค.ศ.2015



Bertrand Piccard ประธาน ผู้ริเริ่มก่อตั้ง และนักบินของ Solar Impulse (ซ้าย)
Andre Borschberg ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร ผู้ร่วมก่อตั้ง และนักบินของ Solar Impulse (ขวา)

คุณ Ulrich Spiesshofer ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บริษัท เอบีบี กล่าวว่า “Solar Impulse จะช่วยเป็นแรงบันดาลใจให้คนรุ่นใหม่ในการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้เพื่อแก้ปัญหาที่ใหญ่ที่สุดในโลก” และ “เอบีบี จะทำงานร่วมกับทีมงานของ Solar Impulse ในทุกๆ ขั้นตอนให้ประสบความสำเร็จ”

วิศวกร 3 คน ของเอบีบี ได้เข้าร่วมทีม Solar Impulse เพื่อให้ความช่วยเหลือด้านทักษะความรู้ และสร้างความปรารถนาอย่างแรงกล้าขึ้นในทีม นอกจากนี้งานของพวกเขาที่สามยังรวมถึงการปรับปรุงระบบควบคุมสำหรับการปฏิบัติงานภาคพื้นดิน เพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์ชาร์จอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแบตเตอรี่ของเครื่องบิน และแก้ปัญหาอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นตลอดเส้นทางทางการบินอีกด้วย

ระยะทางการบิน 40,000 กิโลเมตร ของเครื่องบินพลังงานแสงอาทิตย์ลำนี้ นักบิน Bertrand Piccard และ Andre Borschberg จะแบ่งปันหน้าที่กันขณะเครื่องบินลงจอดในเมืองต่างๆ เช่น มัสแคทในโอมาน วารานาซี และอาเมดาบัดในอินเดีย องค์กรและนางกิงโนจีน รวมทั้งโพนิกและอริโซนาในสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ เครื่องบินจะลงจอดในทวีปยุโรปหรือทวีปแอฟริกาเหนืออีกด้วย

ท่ามกลางความท้าทายของทีมนักบินและทีมภาคพื้นดินก่อนที่จะสิ้นสุดภารกิจการบินที่เมืองอาบูดาบี ในกลางปี ค.ศ.2015 คือการบินรวดเดียวโดยไม่ลงจอดเป็นเวลา 5 วัน 5 คืน จากจีนไปยังเมืองฮาวาย โดยในแต่ละวันเครื่องบินซึ่งใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์จำนวน 17,248 แผ่น จะทะยานขึ้นขึ้นที่สูงกว่าภูเขาเอเวอเรสต์ ขณะเดียวกับการชาร์จแบตเตอรี่แบบเต็มพิกัดเพื่อห้ระดับไปยังคงสูงอยู่ในช่วงบินเวลากลางคืน

ความกระตือรือร้นในการเข้าร่วมของ ABB กับ Solar Impulse ไม่เพียงเกิดมาจากความศรัทธาที่ป่งบินนวัตกรรมและเทคโนโลยีกันเท่านั้น แต่ยังมาจากปรัชญาความเชื่อของเอบีบีอีกด้วย เช่น “พลังงานและผลลัพธ์จะสร้างโลกให้ดีขึ้น” จัยศาสตร์ของ Solar Impulse จะสะท้อนถึงความมุ่งมั่นของเอบีบี ในการ

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติงาน ลดการใช้ทรัพยากร ทำให้เกิดความพหุประโยชน์ และเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนที่สะอาด

ในฐานะเป็นผู้จัดหาอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Solar Inverter) รายใหญ่ที่สุดเป็นอันดับ 2 ของโลก และเป็นผู้จัดหาสายใหญ่ที่สุดของโลกรายหนึ่งให้กับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้ากำลังงานผล เอบีบีจึงเป็นผู้นำทางด้านพลังงานหมุนเวียนแบบบูรณาการที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ในโครงข่ายระบบสายส่งไฟฟ้า (Power Grid) มากไปกว่านั้น เอบีบีกำลังสร้างสถานีเครือข่ายการชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วให้กับยานพาหนะไฟฟ้ากระจายไปมากที่สุดที่สุดในทวีปยุโรป และกำลังจัดส่งอุปกรณ์หลักสำหรับสถานีเครือข่ายเครื่องชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วที่ใหญ่ที่สุดในโลกเพื่อใช้กับรถยนต์ไฟฟ้าในจีน

Piccard กล่าวเพิ่มเติมเกี่ยวกับเอบีบี ว่าด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวล้ำของเอบีบี สามารถผลิตพลังงานได้จากโครงการพลังงานหมุนเวียนต่างๆ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พร้อมเข้าร่วมกับทีมของ Solar Impulse เพื่อช่วยเสริมความสามารถในความพยายามที่จะนำเสนอยุทธศาสตร์ทางพลังงานไฟฟ้าและเทคโนโลยีสะอาด

“สิ่งนี้คือความต้องการของโลก” กล่าวโดย Piccard นักบุกเบิกด้านการบินชาวสวิส ผู้เป็นส่วนหนึ่งของทีมแรกสุดที่เดินทางไปรอบโลกด้วยบอลลูนในปี ค.ศ.1999 “ไม่เช่นนั้นแล้ว เราจะต้องทิ้งทรัพยากรธรรมชาติของเราไปทั้งหมด”

ตั้งแต่ปี ค.ศ.2010 Piccard ประธานโครงการ และ Borschberg ประธานเจ้าหน้าที่บริหารของโครงการ ได้เข้าร่วมเพื่อสร้างสถิติการบินนานาชาติจำนวน 8 ครั้ง เช่น สถิติสำหรับระยะเวลาการบิน ความสูงการบิน และระยะทางการบิน ขณะบินข้ามทวีปยุโรปหรือทวีปแอฟริกาเหนือ และสหรัฐอเมริกา ในเครื่องบินต้นแบบ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เท่านั้น

หลังจากการสร้างสถิติโลก 8 ครั้งของเครื่องบินแสงอาทิตย์ต้นแบบ Solar Impulse รวมทั้งเมื่อกลายมาเป็นเครื่องบินแสงอาทิตย์ลำแรกที่บินได้ตลอดคืน



ระหว่างทั้ง 2 ทวีป และข้ามสหรัฐอเมริกาได้ ก็ถึงเวลาสำหรับ Bertrand Piccard และ Andre Borschberg ที่จะเดินทางนำโครงการเฟสสุดท้ายของการผจญภัย คือ การบินรอบโลกในปี ค.ศ.2015

Solar Impulse 2 จะบินขึ้นจากเมืองอาบูดาบี เมืองหลวงของสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ในปลายเดือนกุมภาพันธ์หรือต้นเดือนมีนาคม และบินกลับมายาในปลายเดือนกรกฎาคมหรือต้นเดือนสิงหาคม ปี ค.ศ. 2015 เส้นทางการบินรวมถึงการลงจอดในเมืองมัสแคทในโอมาน เมืองอาเมดาบัด และเมืองวารานาซีในอินเดีย เมืองมัมไบในประเทศอินเดีย และเมืองฉงชิ่งและเมืองนานกิงในประเทศจีน หลังจากการบินข้ามมหาสมุทรแปซิฟิก ผ่านเมืองฮาวาย SI2 จะบินข้ามพื้นที่รัฐต่างๆ ของ Continental U.S.A. และลงจอด 3 แห่ง คือ เมืองฟิनिักซ์ และเมืองนิวยอร์กซิตี้ในท่าอากาศยาน JFK เส้นทางการบินในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกาจะถูกพิจารณาตามสภาพอากาศ หลังจากบินข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกแล้ว การกิจสุดท้ายของการผจญภัยคือ การลงจอดบนทวีปยุโรปตอนใต้หรือทวีปแอฟริกาเหนือ ก่อนบินกลับมายาที่เมืองอาบูดาบี และที่นั่น Solar Impulse จะเปิดเส้นทางการบินนี้พร้อมกันกับตัวแทนหุ้นส่วนโครงการการบินนี้ ซึ่งหุ้นส่วนหลักก็คือ Solvey, Omega, Schindler และเอบีบี

ครั้งแรกทางประวัติศาสตร์ที่ยิ่งใหญ่สำหรับการผจญภัยการบินเช่นนั้น เหมือนกับการเปิดตัวครั้งแรกทั่วไป จึงไม่ปรากฏข้อมูลสำหรับการอ้างอิงใดๆ แต่เราก็พร้อมเผชิญ และจะเผชิญอุปสรรคต่างๆ ซึ่งนั่นจะทำให้เราไปสู่การหลุดพ้นจากข้อจำกัดของสมรรถนะเทคโนโลยี สมรรถนะของมนุษย์ และสมรรถนะการขับเคลื่อน

เอบีบี ยกย่องและพร้อมแบ่งปันวิสัยทัศน์การบินนี้ให้เป็นก้าวต่อไปของการเดินทาง เพื่อจุดประกายให้เกิดความสนใจใหม่ๆ ขึ้นในวิชาการบิน เทคโนโลยีสะอาด และพลังงานหมุนเวียน “มาร่วมกัน เราต้องการที่จะก้าวไปกับผู้คนบนโลกโดยไม่ทำลายโลก” Spiesshofer ของเอบีบี กล่าวว่า “เป็นคำตอบที่ง่ายมากโลกคือสิ่งที่พวกเราขึ้นอยู่กับ”



Station Service Voltage Transformer (SSVT)

ระบบป้องกันพื้นฐานสำหรับหม้อแปลงแรงดัน SSVT

มานิดา กิระดิวัน > manita.keerativasin@th.abb.com

หม้อแปลงแรงดัน SSVT เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมคุณสมบัติของหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเข้าด้วยกัน บทความฉบับนี้จะกล่าวถึง ระบบป้องกันพื้นฐานสำหรับหม้อแปลงแรงดัน SSVT สำหรับการใช้งานในสถานีไฟฟ้า

โดยทั่วไปหม้อแปลงแรงดัน SSVT ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้า จะมีกับดักฟ้าผ่า สายชิลด์ และระบบการต่อลงดิน ซึ่งเป็นพื้นฐานของระบบป้องกันฟ้าผ่า ในกรณีที่ไม่มีสายชิลด์ สำหรับป้องกันฟ้าผ่า จำเป็นต้องติดตั้งกับดักฟ้าผ่า ให้ใกล้กับหม้อแปลงแรงดัน SSVT มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1

อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง (Transformer Impedance)

อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงแรงดัน SSVT จะอยู่ระหว่าง 5-10 % ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะทำให้กระแสผิดพลาด (Fault) ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดัน SSVT มีค่าจาก 10 - 20 เท่าของกระแสฟัด (Rated Current) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของอิมพีแดนซ์

โดยทั่วไป ระบบ 100 kV, 120/240 VAC หม้อแปลงแรงดัน SSVT ที่มีอิมพีแดนซ์ 5% จะทำให้เกิดกระแสผิดพลาดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ถึง 8.34 kA ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อใช้งานด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดัน SSVT จะต้องมีการติดตั้งกระแสลัดวงจรที่ 10 kA ขึ้นไป จึงจะสามารถใช้งานได้

ธรรมชาติของโหลด (Nature of the Load)

ธรรมชาติของโหลดเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในการออกแบบระบบป้องกัน เช่น โหลดแบบอินดักทีฟขนาดใหญ่ ต้องการการหน่วงเวลา เนื่องจากกระแสพุ่งเข้า (Inrush Currents) และควรหลีกเลี่ยงการเชื่อมต่อโหลด และเมื่อหม้อแปลงแรงดัน SSVT ทำงานใกล้กับฟัด จะทำให้ความร้อนของหม้อแปลงแรงดัน SSVT มีค่าสูงขึ้น และทำให้ระบบมีการตัดวงจร ส่งผลให้หม้อแปลงแรงดัน SSVT หยุดจ่ายไฟได้

ตัวอย่างเช่น กระแสโหลดของหม้อแปลงแรงดัน SSVT พิกัด 100 kVA ที่แรงดันไฟฟ้า 120/240 VAC จะมีกระแสโหลด เท่ากับ 417 A (RMS)

ตามที่ National Electrical Code (NEC) หัวข้อย่อย 450-3 หม้อแปลงที่มีขนาดเล็กกว่า 600 V จะต้องมี

มาตรฐานการกำหนดของลูกค้า (Customer Specific Standard)

โดยทั่วไป หน่วยงานการไฟฟ้า จะมีการกำหนดมาตรฐานการป้องกันวงจรไฟฟ้า รวมถึงประเภทของอุปกรณ์ (ระหว่าง เซอร์กิตเบรกเกอร์ กับ ฟิวส์) คุณสมบัติเฉพาะ และแม้กระทั่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตามข้อกำหนดต่างๆ ถูกกำหนดไว้ใน NEC หม้อแปลงแรงดัน SSVT ต้องการการป้องกันกระแสเกินทางด้านทุติยภูมิ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ฟิวส์ เพื่อป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit) ทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งจะติดตั้งใกล้กับ Terminal Box ของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ให้มากที่สุด เพื่อป้องกันการลัดวงจร และการเกิดโหลดเกิน (Overload) สำหรับหม้อแปลง



รูปที่ 1 แสดงการติดตั้ง กับดักฟ้าผ่า ให้ใกล้กับหม้อแปลงแรงดัน SSVT



รูปที่ 2



รูปที่ 3

แรงดัน SSVT ที่มีการเชื่อมต่อกับด้านปฐมภูมิ ที่มีขนาดแรงดันสูงกว่า 138 kV สามารถทำการต่อได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องใช้ฟิวส์

เหตุผลที่หม้อแปลงแรงดัน SSVT ใช้ขนาดของขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิขนาดเล็ก เพราะว่ามันสามารถที่จะระเหยเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอได้ เมื่อเกิดความผิดปกติของแรงดัน เช่นเดียวกับขดลวดของหม้อแปลงแรงดัน Inductive VT ด้วยเหตุผลดังกล่าว ลูกค้าย่อมไม่ขอให้เพิ่มฟิวส์เพื่ออนุกรมกับ VT ทั้งนี้เมื่อเกิดการลัดวงจรด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดัน Inductive VT แรงดันของระบบทำให้ VT ถูกตัดวงจรได้อย่างรวดเร็ว

ผู้ใช้บางรายจะติดตั้งฟิวส์ลิสคอนเนค (Fused Disconnects) ไว้ที่วงจรไฟฟ้าต้นทาง เพื่อป้องกันการเกิดความผิดปกติของภายในตัวหม้อแปลงแรงดัน SSVT โดยทั่วไป ฟิวส์ลิสคอนเนค จะใช้ที่ 138 kV หรือต่ำกว่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 4



รูปที่ 5

ติดตั้งตัวถังหม้อแปลงแรงดัน SSVT เสร็จแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7

การทำงานของรีเลย์ตรวจสอบความดันแบบทันทีทันใด (Sudden Pressure Relay)
โดยปกติแล้วผู้ผลิตจะติดตั้งการตรวจจับความดันที่ผิดปกติกับผนังตัวถังของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ซึ่งเรียกว่า Sudden Pressure Relay (SPR) เพื่อแสดงสิ่งผิดปกติ ด้วยการใช้ความดันที่เพิ่มขึ้นภายในตัวถังของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ซึ่งรีเลย์นี้จะเชื่อมต่อกับเกจวาล์ว (gate valve) ขนาดประมาณ 2 นิ้ว โดยติดตั้งในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดปลายของขดลวดแรงดันสูงมากที่สุด ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่ตรวจวัดคลื่นความดันได้มีประสิทธิภาพที่สุด

การต่อรีเลย์นี้ ใช้สำหรับรับการตรวจสอบสภาวะความพร้อมในการใช้งานของหม้อแปลงแรงดัน SSVT การขนส่ง Sudden Pressure Relay (SPR) และเกจวาล์วจะถูกแยกออกจากตัวถังของหม้อแปลง แรงดัน SSVT และจะถูกนำมาติดตั้งที่สถานที่ติดตั้งใช้งาน หลังจาก

วงจรป้องกันการผิดปกติของแรงดันของ CT (Protective Circuits Using Ground Fault CT's)
การตรวจสอบและป้องกันความผิดปกติของแรงดันด้านทุติยภูมิ สามารถทำได้โดยใช้ CT ต่อแบบ Window เพื่อวัดกระแสจากขดลวดปฐมภูมิที่ต่อผ่านขั้วซึ่งติดตั้งแสดงในรูปที่ 8 โดยไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อการทำงานของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ซึ่งจะมีการวัดกระแสของแรงดัน โดยการเดินสายผ่าน GFCT จะเลือกอัตราส่วนของกระแสของ CT ที่ 100 : 5 A หรือสูงกว่า และ Class C50 เพื่อรักษาความแม่นยำไว้ที่ 4-5 % ที่ขนาดกระแสเท่ากับ 5 % ของกระแสด้านปฐมภูมิ

จากการพิจารณากระแสของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ที่ขนาด SSVT-900, 100 kVA เมื่อใช้งานที่ระบบ 230 kV มีพิกัดกระแสเท่ากับ 100,000 VA/ 1.732 x 230,000 เท่ากับ 0.251 A (ที่ power factor = 1)

ซึ่งกระแสนี้จะไหลจากขดลวดปฐมภูมิไปยังดิน โดยผ่านขั้วซึ่ง HO เมื่อพิจารณาผลของกระแสที่เข้าประมาณ 10 เท่า ของพิกัดกระแส ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 10 x 0.251 จะได้ค่ากระแสเท่ากับ 2.51 A เมื่อเราพิจารณาหม้อแปลงแรงดัน SSVT ที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 10 % กระแสผิดปกติที่แรงดันดินมีขนาดมากกว่า 5 A ดังนั้น CT ขนาด 100 : 5, Class C50 (ABB type SCT-983E) ถูกนำมาใช้โดยติดตั้งกับกล่องและท่อร้อยสาย และเชื่อมต่อกับวงจรรีเลย์ที่มีความต้านทานน้อยกว่า 0.5 โอห์ม หรือน้อยกว่านั้น ซึ่งการตรวจจับความผิดปกติของแบบเฟสลงดิน (Line to Ground Fault) รุ่น H1 GFCT ที่มีอัตราส่วน 600 : 5 ที่ความแม่นยำเท่ากับ C200 สมมติมีเบอร์เดน เท่ากับ 2 โอห์ม หน่วยงานการไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการสังเกตความผิดปกติของแรงดันที่ตัวถังและผนังของถังหม้อแปลงแรงดัน SSVT โดยการวาง GFCT ไว้ที่พื้นดิน ในการตรวจสอบด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ กระแสของความผิดปกติของเฟสลงดินซึ่งมีขนาดเล็กมาก เราสามารถใช้และติดตั้งห่างจากหม้อแปลงแรงดัน SSVT ซึ่งสามารถที่จะทนต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้ด้วย CT นี้

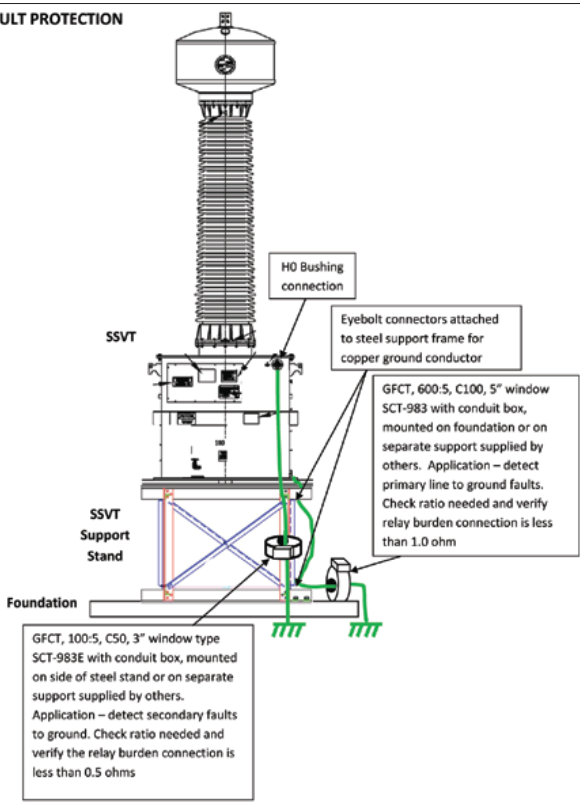


รูปที่ 6



รูปที่ 7

SSVT FAULT PROTECTION



รูปที่ 8 แสดงการวัดกระแสผิดปกติและติดตั้งใช้งานของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ของ ABB type SCT-983E

สามารถอยู่นอกเขตบริการของหม้อแปลง แรงดัน SSVT ได้ ซึ่งจะสามารถตรวจสอบการไหลของกระแสลงดินและตัวถังของหม้อแปลงแรงดัน SSVT ที่ระบบการต่อลงดิน (Ground Grid) ในสถานีไฟฟ้าย่อยได้

สมมติว่าหม้อแปลงแรงดัน SSVT ถูกติดตั้งในคอนกรีตที่เชื่อมอยู่กับเหล็กเส้น แต่ไม่ได้ต่อกับระบบต่อลงดินอย่างสมบูรณ์กับสถานีไฟฟ้าย่อย ทิศทางการไหลของกระแสจะไหลจากตัวถัง ผ่านลงดินตามสายดิน (ทองแดง) ที่ใช้ในการเชื่อมต่อลงดิน ซึ่งหม้อแปลงแรงดัน SSVT จะสามารถตรวจสอบระบบการต่อลงดิน (Grounding) ของสถานีไฟฟ้าย่อย ด้วย SCT-983 ดังแสดงในรูปที่ 8 บทความเรื่องนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบป้องกันเบื้องต้นของหม้อแปลงแรงดัน SSVT



คุณภาพไฟฟ้านั้นสำคัญมากเพียงไร

การกำจัดกำลังรีแอ็กทีฟและฮาร์โมนิกด้วยตัวเก็บประจุและตัวกรอง

ดร. วรวิทย์ แซ่กึ๋น > worawut.sae-kok@th.abb.com

คุณภาพไฟฟ้าที่ไม่ดีได้กลายเป็นต้นเหตุของความกังวลที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้และผู้จำหน่ายไฟฟ้า ผลของคุณภาพไฟฟ้าที่ไม่ดีได้รวมถึงประสิทธิภาพที่ลดลงในการผลิต การส่วและการใช้ไฟฟ้ วมทั้งการเบรกดาวนที่เพิ่มขึ้นในระบบ ความน่าเชื่อถือได้ในระบบจะลดลงและต้นทุนในการท้าวานจะเพิ่มขึ้น

การต่อแหล่งพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบจะเป็นการเพิ่มความท้าทายมากยิ่งขึ้นในการจัดการความต้องการของโหลดและเสถียรภาพของแรงดัน เอบีบีเป็นผู้ริเริ่มในการนำเสนอพอร์ทโฟลิโอที่สมบูรณ์ของอุปกรณ์ชั้วตบสนองกับปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่หลากหลายในทุกระดับแรงดัน

ประโยชน์สำหรับหน่วยงานทางไฟฟ้า	ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรม
การใช้งานอุปกรณ์ที่มีอยู่เพิ่มขึ้น	ลดค่าไฟฟ้า
ลดความเสี่ยงในระบบและการปล่อย CO ₂	ลดความเสี่ยงในระบบและการปล่อย CO ₂
เพิ่มความสามารถของระบบ	สอดคล้องกับข้อกำหนดของระบบ
เสถียรภาพทางแรงดัน	เพิ่มขีดความสามารถของโรงงาน
	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (จากไฟดับลดลง ลดต้นทุนการดำเนินงาน)

รูปที่ 1 ประโยชน์ของการมีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี

ระดับแรงดันต่ำกว่า 1kV	ระดับแรงดันสูงกว่า 1kV
ตัวเก็บประจุสำหรับการแก้ไขพาวเวอร์แฟกเตอร์	ตัวเก็บประจุสำหรับการแก้ไขพาวเวอร์แฟกเตอร์
แบ่งตัวเก็บประจุที่ทำการสวิตช์แบบอัตโนมัติ (contactor/thyristor)	ตัวเก็บประจุแบบพิเศษ (เช่น ตัวเก็บประจุแบบเสิร์จ)
ตัวชดเชยกำลังรีแอ็กทีฟแบบไม่มีขั้น (Stepless)	แบ่งตัวเก็บประจุที่ทำการสวิตช์และแบบคงที่ (ในกล่องหุ้ม)
ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบแอ็กทีฟ	แบ่งตัวเก็บประจุที่ทำการสวิตช์หรือแบบคงที่ (open-rack)
ตัวควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์	ตัวกรองฮาร์โมนิกแบบพาสซีฟ
ตัวปรับแรงดันแบบแอ็กทีฟ	Static var compensator (SVC) / การชดเชยแบบอนุกรม
ระบบ UPS เชิงอุตสาหกรรม	STATCOM / SVC Light
ระบบตัวเก็บพลังงานแบบเดอรี	ระบบตัวเก็บพลังงานแบบเดอรี
(รวมทั้งการควบคุมกำลังรีแอ็กทีฟและฮาร์โมนิก)	(รวมทั้งการควบคุมกำลังรีแอ็กทีฟและฮาร์โมนิก)

รูปที่ 2 พอร์ทโฟลิโอของอุปกรณ์คุณภาพไฟฟ้าของ ABB

แรงดันของระบบจ่ายไฟฟ้า AC แบบอุดมคติจะเป็นรูปไซน์ที่มีค่าแอมพลิจูดและความถี่คงที่ กระแสของโหลดแบบอุดมคติก็เป็นรูปไซน์ที่มีความถี่เดียวกันและอยู่ตรงเฟสกับแรงดัน ระบบดังกล่าวจะมีเสถียรภาพและทำงานด้วยความสูญเสียที่น้อยที่สุดสำหรับข้อกำหนดที่ใหม่และสามารถกล่าวได้ว่ามีคุณภาพไฟฟ้าที่เหมาะสม แต่ในทางปฏิบัติแล้ว มีองค์ประกอบหลายอย่างที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนจากสถานะอุดมคติและลดคุณภาพไฟฟ้าลง ดังนั้นอายุการใช้งานจากการติดตั้งและประสิทธิภาพในการทำงานจะลดลง ถ้าการทำงานถูกหยุดโดยไม่ได้คาดการณ์ เช่น จากคุณภาพไฟฟ้าที่ไม่ดี จะทำให้ต้นทุนการสูญเสียที่สูง ประโยชน์ของคุณภาพไฟฟ้ามีหลายอย่างดังแสดงในรูปที่ 1

คุณภาพไฟฟ้าที่ไม่ดีมีสาเหตุจากสิ่งดังต่อไปนี้

- กำลังรีแอ็กทีฟซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียในสายและเกิดการผันแปรทางแรงดันและสร้างภาระให้กับระบบโดยไม่จำเป็น

- มลภาวะฮาร์โมนิกซึ่งทำให้เกิดสเตรสที่มากขึ้นในระบบ มีศักยภาพนำพาไปสู่การทำงานที่ผิดปกติของอุปกรณ์และทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพลดลง

- ความไม่สมดุลของโหลด (อาทิเช่น ในการประยุกต์ใช้แบบเฟสเดียวในรถไฟหรือในอาคารสำนักงาน) โหลดที่ไม่สมดุลนี้จะทำให้เกิดความไม่สมดุลในแรงดันเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสเตรสไปยังโหลดอื่นที่ต่อในระบบเดียวกันและทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกระแสนิวทรัล และแรงดันนิวทรัลเทียบกับดินที่เกิดขึ้นในระบบแบบสี่สาย

- การผันแปรของแรงดัน (เช่น แรงดันตกหรือแรงดันเกิน) ซึ่งสามารถนำไปสู่ความผิดปกติในการทำงานของโหลดและเมื่อเกิดขึ้นซ้ำๆ สามารถทำให้เกิดปัญหาฟลักเกอร์ การผันแปรของแรงดันสามารถเกิดได้จากกระแสโหลดผันแปรหรือโดยองค์ประกอบภายนอก เช่น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสายส่งหรือสายจ่ายไฟ (เช่น จากฟ้าผ่า)

เพื่อที่จะรักษาคุณภาพไฟฟ้าที่ดีในระบบ หน่วยงานทางไฟฟ้าได้ทำการลงทุนในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพไฟฟ้า และ/หรือ วางโครงสร้างทางภาชีหรือบทลงโทษที่เหมาะสมเพื่อที่จะจำกัดผลที่อาจจะเกิดจากผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานจะติดตั้งอุปกรณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าเพื่อที่จะให้สอดคล้องกับข้อกำหนด และ/หรือ ให้ได้ประสิทธิภาพทำงานของระบบที่เหมาะสม

ผู้นำทางด้านคุณภาพไฟฟ้า
เอบีบีนำเสนอพอร์ทโฟลิโอที่สมบูรณ์ของอุปกรณ์เกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าและความรู้ในระดับไฟฟ้าแรงต่ำ (LV) ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (MV) และไฟฟ้าแรงสูง (HV) ด้วยการมุ่งเน้นในเรื่องของประสิทธิภาพและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการส่งและการใช้พลังงานของแหล่งพลังงานที่ต่อกับระบบดังแสดงในรูปที่ 2 เอบีบีได้ขับเคลื่อนการพัฒนาในเรื่องของคุณภาพไฟฟ้ามากกว่า 70 ปี

การชดเชยกำลังรีแอ็กทีฟ
อิมพีแดนซ์แบบอินดักทีฟที่ต่ออนุกรมของสายพาดอากาศส่งผลให้เกิดการใช้กำลังรีแอ็กทีฟซึ่งจะมีค่ามากขึ้นตามกระแสยกกำลังสอง ซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกและมีผลทำให้ความสามารถในการส่งผ่านกำลัง

เอบีบีอยู่ในแถวหน้าเสมอในเรื่องเทคโนโลยีของตัวเก็บประจุแบบแห้ง หลังจากการเริ่มในการประยุกต์ใช้ใน AC ระดับแรงดันต่ำเมื่อหลายปีก่อน เอบีบีได้เป็นผู้ผู้นำในเทคโนโลยีตัวเก็บประจุแบบแห้งในการผลิตตัวเก็บประจุสำหรับการประยุกต์ใช้ใน HVDC

ตัวเก็บประจุแบบแห้งของเอบีบีมีขนาดเล็กกว่าตัวเก็บประจุชนิดทั่วไปมาก ซึ่งเหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการความหนาแน่นพลังงานที่สูง (เช่นในการประยุกต์ใช้ HVDC Light และ SVC Light) ตัวแปลงแหล่งกำเนิดแรงดัน (Voltage source converter, VSC) เป็นสิ่งสำคัญของการประยุกต์เหล่านี้ซึ่งตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานหรือแรงดัน อิมพีแดนซ์ของ VSC มาก ความสามารถในการเก็บพลังงานก็มากขึ้นตาม โครงสร้างล่าสุดของ VSC ก็ต้องการความหนาแน่นของกระแสที่สูง

นอกจากขนาดเล็กและมีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า ตัวเก็บประจุแบบแห้งของเอบีบีสำหรับการประยุกต์ใช้ใน DC ยังมีประโยชน์อื่นๆ เช่น รักษาตัวเอง (Self-healing) ประสิทธิภาพตลอดอายุใช้งานที่สูงและมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำ ทำให้เหมาะสมอย่างมากสำหรับการประยุกต์ใช้ที่มีความต้องการพิเศษ

รูปที่ 3 ตัวเก็บประจุแบบแห้งของ ABB สำหรับ HVDC Light และ SVC Light



รูปที่ 4 การติดตั้งตัวกรองแบบพาสซีฟ 110 kV ในโปแลนด์

เมื่อแรงดันสูงขึ้น จะมีความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากขึ้น การชดเชยด้วยตัวเก็บประจุแบบต่อขนานทำให้การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาเรื่องการล้มเหลวของแรงดัน เบี่ยงตัวเก็บประจุของเอบีบีได้ถูกนำมาใช้ในในระบบส่งและระบบจำหน่าย

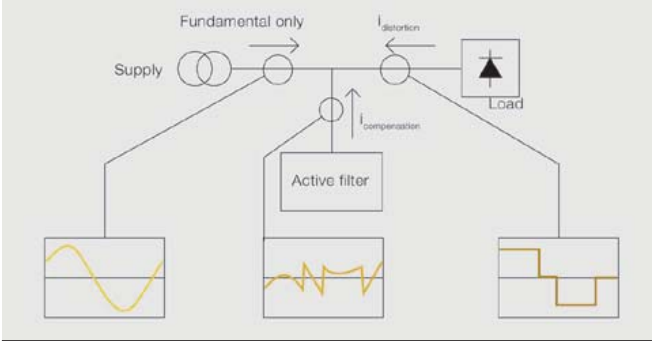
นอกจากตัวเก็บประจุสำหรับเรื่องกำลังรีแอ็กทีฟแล้ว เอบีบียังอยู่ในแนวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีตัวเก็บประจุแบบแห้งสำหรับการประยุกต์ใช้ใน DC (รูปที่ 3)

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าในประเทศบังกลาเทศ

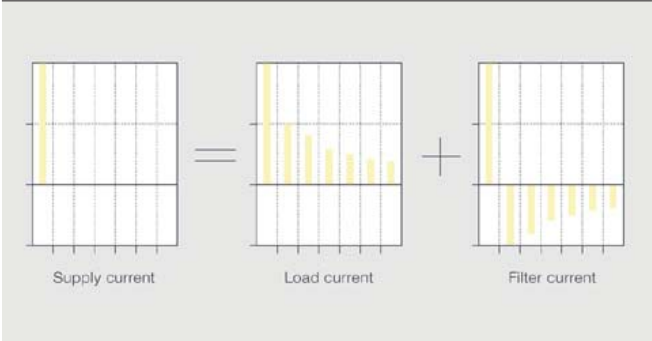
Power Grid Company of Bangladesh (PGCB) ได้เลือกเบี่ยงตัวเก็บประจุแบบ open-rack ของเอบีบีเพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบส่งที่ระดับแรงดัน 132kV ซึ่งส่วนหนึ่งได้ประสบปัญหาความสูญเสียจากแรงดันตกและคุณภาพไฟฟ้าที่ไม่ดี อุปกรณ์ในการชดเชยกำลังรีแอ็กทีฟได้ถูกติดตั้งในสถานีไฟฟ้าย่อยของ PGCB 8 แห่ง ที่ซึ่งมีค่าความสูญเสียมากและการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอยู่ในขั้นวิกฤต

หลังจากการติดตั้ง ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.88 เป็น 0.98 ซึ่งเป็นความสำคัญอย่างยิ่งมีนัยสำคัญระดับแรงดันเพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 kV เปรียบเทียบกับสถานการณ์เริ่มต้น การเพิ่มระดับแรงดันของระบบช่วยลดความสูญเสียและปรับปรุงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะถูกส่งผ่านไปยังผู้ใช้

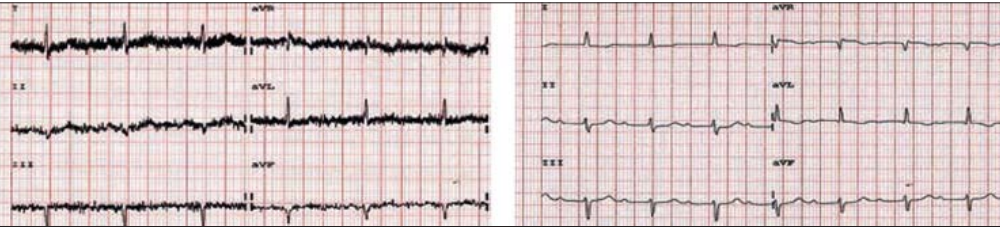
การปรับปรุงที่ผนวกไว้ในเรื่องพาวเวอร์แฟกเตอร์และแรงดันให้ผลในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากขึ้น 34



รูปที่ 5 แผนภาพการต่อตัวกรองแบบแอ็กทีฟที่พบเห็นโดยทั่วไป



รูปที่ 6 หลักการวิธีการกรองโดเมนความถี่



รูปที่ 7 ECG ที่ถูกบันทึกในแนบกลูเคิน
7a) ก่อนติดตั้งตัวกรองแบบแอ็กทีฟของ ABB

7b) หลังการติดตั้ง

MW ผ่านระบบ โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มหน่วยการผลิตไฟฟ้า ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ให้ผลในการเพิ่มรายได้ของ PGCB

ในภาพรวม โครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายใน 18 เดือน ต้นทุนดังกล่าวเป็นแค่เศษส่วนหนึ่งของเงินลงทุนซึ่งจำเป็นในการสร้างโรงไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลและการสร้างสายส่งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระบบของเอบีบียังช่วยในการฟื้นคืนความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าแทนที่จะเป็นการสร้างไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ จึงไม่ได้เพิ่มต้นทุนในการทำงานและไม่ได้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น

นอกจากรูปแบบ open-rack แล้ว เอบีบียังนำเสนออุปกรณ์ในรูปแบบเบี่ยงตัวเก็บประจุในกล่องหุ้ม (Metal-enclosed capacitor bank, MECB) สำหรับผู้ใช้ที่มีข้อกำหนดเรื่องพื้นที่หรือที่ต้องการการผนวกรวมแบบสมบูรณ์เพื่อการป้องกันในระดับสูง เบี่ยงเหล่านี้สามารถถูกติดตั้งภายในหรือภายนอกก็ได้ และถูกใช้ในการประยุกต์ทางอุตสาหกรรมหรือในหน่วยงานทางไฟฟ้า เช่น สำหรับการชดเชยในระบบหรือในฟาร์มพลังงานลม

การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า

การเพิ่มขึ้นที่มากขึ้นของโหลดแบบไม่เชิงเส้นในการประยุกต์เชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ส่งผลให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกในระบบในระดับที่มีศักยภาพที่ก่อให้เกิดความเสียหายได้

โดยปกติแล้ว ตัวกรองแบบพาสซีฟมักถูกใช้สำหรับการลดมลภาวะทางฮาร์โมนิกดังแสดงในตัวอย่างในรูปที่ 4 ในการติดตั้งที่ระดับ LV นั้นโซลูชันดังกล่าวมักไม่เกิดประโยชน์ เช่น เนื่องจากความเสี่ยงในการเกิดโหลดเกินเมื่อรูปแบบของโหลดเป็นแบบไดนามิก

ตัวกรองแอ็กทีฟแบบโมดูลาร์ของเอบีบี (Power quality filter, PQF) หลักเสียงปัญหาของตัวกรองแบบพาสซีฟโดยการให้ส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะติดตามกระแสฮาร์โมนิกอย่างต่อเนื่องในลักษณะ

real time และหักล้างด้วยการฉีดกระแสที่มีเฟสตรงข้ามกัน หรือแปลงที่จ่ายไฟเข้ามาจะเห็นรูปคลื่นเป็นแบบไซน์ที่สะอาดเป็นรูปคลื่นกระแสจ่ายที่เหมาะสมดังรูปที่ 5

สำหรับประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดผ่านแบนด์วิดท์ของตัวกรองแบบสูง ลักษณะการควบคุมหลักสองแบบสำหรับตัวกรองแบบแอ็กทีฟของเอบีบีคือ

- การใช้การควบคุมแบบวงจรมีประสิทธิภาพจริงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของตัวกรองที่เหมาะสม

- ใช้วิธีโดเมนความถี่ไปยังกระบวนการและการควบคุมกระแสที่เป็นปัญหาทำให้สามารถจัดการอย่างเหมาะสมได้

นอกจากการกรองฮาร์โมนิกแบบแอ็กทีฟแล้ว ตัวกรองแบบแอ็กทีฟของเอบีบียังสามารถ

- ชดเชยกำลังรีแอ็กทีฟแบบไม่มีขึ้นของโหลดทั้งแบบอินดักทีฟและคาปาซิทีฟ (เป็นประโยชน์และเป็นที่ต้องการในอาคารสมัยใหม่ที่มีอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมาก)

- การทำโหลดให้สมดุล ทำให้ไม่เกิดโหลดในระบบนิวตรอลและทำให้แรงดันนิวตรอล เบี่ยงกันดินมีค่าในระดับต่ำ ทำให้เกิดความปลอดภัยและเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ในการติดตั้ง

ตัวกรองแบบแอ็กทีฟของเอบีบีช่วยลดระดับ

การรบกวน ECG

โหลดในโรงพยาบาลก่อให้เกิดฮาร์โมนิกซึ่งทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าและทำให้เกิดความเสียหายให้กับการติดตามและบันทึกทาง electrocardiograph (ECG) ในแนบกลูเคินของโรงพยาบาล Royal Melbourne ในประเทศออสเตรเลีย ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้งานอุปกรณ์ ECG ได้ การตรวจสอบด้วยความร่วมมือของเอบีบีทำให้พบว่าแหล่งกำเนิดการรบกวนเป็นกระแสฮาร์โมนิกที่ไหลไปในสายเคเบิล

หลัก การรบกวนได้ถูกจัดการด้วยเทคโนโลยีตัวกรองแบบแอ็กทีฟของเอบีบีและอุปกรณ์ ECG สามารถถูกใช้ได้เป็นปกติดังแสดงในรูปที่ 7

เอบีบีเป็นผู้ริเริ่มในเทคโนโลยีคุณภาพไฟฟ้าและ ณ วินาทีนี้ได้แสดงให้เห็นถึงประสบการณ์มากมายและหลากหลาย และนำเสนอฟอร์ทโฟลิโอของอุปกรณ์ที่ช่วยผู้ใช้งานต่อสู้กับความท้าทายที่มากขึ้นในเรื่องคุณภาพไฟฟ้าที่ประสบพบเจอในทุกระดับแรงดัน

เรียบเรียงจาก Kurt Schipman, “Power quality matters”, ABB Review Special Report (High -voltage products), page 33-36

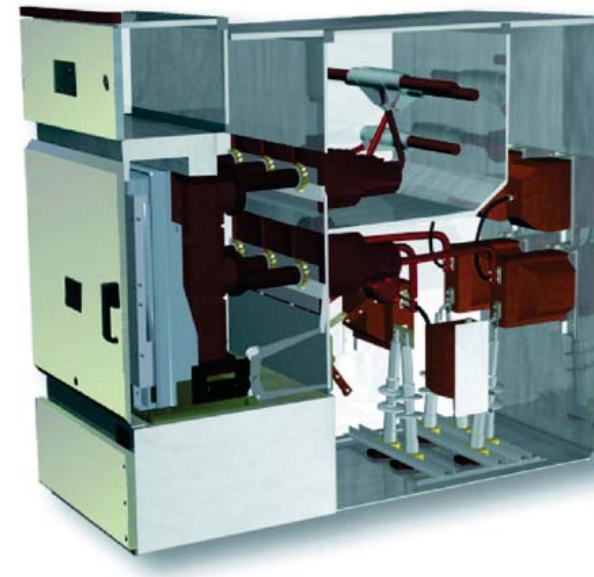


UniGear ZS2

36 kV, 2500A, 31.5 kA Medium voltage, arc-proof, air insulated switchgear

อังกูร เชยเยี่ยม > angkoon.choeilam@th.abb.com

สวิตช์เกียร์สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงระดับแรงดันปานกลาง ที่ติดตั้งไว้ในระบบผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสถานีไฟฟ้าเป็นของโรงงาน ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะมีความถี่ตั้งแต่ 1 kV จนถึง 33 kV อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนี้จะทำหน้าที่ตัดไฟเมื่อมีข้อผิดพลาดประเภทการลัดวงจรเกิดขึ้นกับวงจรไฟฟ้า รวมถึงการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไฟอยู่ภายในระดับปกติหรือไม่ ปัจจุบันมีสวิตช์เกียร์หลายแบบถูกติดตั้งไว้ในระบบไฟฟ้า ได้แก่ Air Insulated Switchgear (AIS) และ Gas Insulated Substation (GIS)



เอบีบีซึ่งเป็นผู้นำในตลาดอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสถานีไฟฟ้าเป็นของโรงงาน ได้มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนาสวิตช์เกียร์รุ่นต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2

สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 เป็นสวิตช์เกียร์ชนิด Air Insulated Switchgear (AIS) สำหรับติดตั้งภายในอาคาร ใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้า 33 kV ซึ่งผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC62271-200 และผ่านการทดสอบ Arc proof สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 นี้สามารถทำการตรวจเช็คและซ่อมบำรุงจากทางด้านหน้าของตู้สวิตช์เกียร์ทำให้สามารถติดตั้งชนิดผนังได้ เพื่อเป็นการประหยัดพื้นที่และสามารถติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด Vacuum หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด SF₆ เพื่อให้เหมาะสมกับและตรงกับลักษณะการใช้งานสวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 ยังมีรุ่นที่เป็น double busbar system ที่ผลิตมาเพื่อรองรับระบบที่ต้องการเสถียรภาพภายในที่ค่อนข้างสูงและประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง โดยจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์รีเลย์ป้องกันและควบคุม (Control and protection relay)

ระดับแรงดันที่ 33 kV นั้นจะใช้แพร่หลายในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าในภาคใต้ของประเทศไทยและระบบไฟฟ้าในโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเป็นส่วนใหญ่

รูปที่ 1 ภาพตัดขวางของสวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 รุ่น Single level

เอบีบีได้ทำการทดสอบสวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 และอุปกรณ์ประกอบภายในตามมาตรฐานของ IEC ดังนี้

- IEC 62271-1 สำหรับการใช้งานทั่วไป (General purposes)
- IEC 62271-200 สำหรับสวิตช์เกียร์ (Switchgear)
- IEC 62271-102 สำหรับ Earthing switch
- IEC 60071-2 สำหรับระบบฉนวน (Insulation coordination)
- IEC 62271-100 สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit-breakers)
- IEC 60529 สำหรับ degree of protection

สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 จะทำงานได้ดีตามลักษณะสภาพแวดล้อมดังนี้

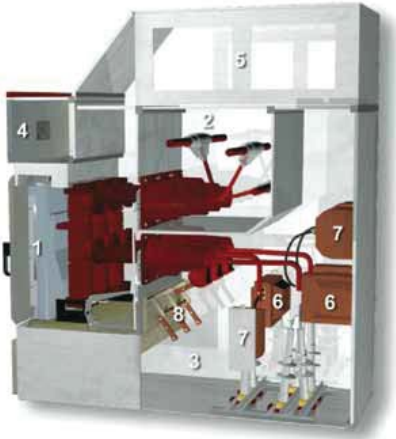
- อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum ambient temperature) – 5 °C
- อุณหภูมิสูงสุด (Maximum ambient temperature) + 40 °C
- ความชื้นของสภาพแวดล้อม (Ambient humidity) ในการติดตั้ง
 - ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดไม่เกิน 95% RH
 - ความดันบรรยากาศสูงสุด 24 ชั่วโมงไม่เกิน 2.2 kPa
 - ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเดือนสูงสุดไม่เกิน 90% RH
 - ความดันบรรยากาศสูงสุดต่อเดือนไม่เกิน 1.8 kPa
- ความสูงของสถานที่ที่สามารถติดตั้ง switchgear ควรที่จะอยู่สูงไม่เกิน 1,000 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล หากสูงกว่านี้จะต้องมีการลดทอนประสิทธิภาพของสวิตช์เกียร์

สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 ได้มีการผ่าน IEC type tests ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- Short-time and peak withstand current
- Temperature rise
- Internal arc capability
- Dielectric test
- Making and breaking capacity of circuit-breaker
- Earthing switch making capacity
- Mechanical operations of circuit-breaker and earthing switch

ภายหลังจากขั้นตอนผลิตสวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 เสร็จสมบูรณ์จะทำการทดสอบ IEC routine factory tests

- Visual inspection and check
- Mechanical sequence operations
- Cabling check
- Electrical sequence operations
- Power frequency
- Measurement of the resistance of the main circuits
- Secondary insulation test



- Unit compartments
- 1 Circuit breaker compartment
 - 2 Busbar compartment
 - 3 Cable compartment
 - 4 Low voltage compartment
 - 5 Optional Arc channel
 - 6 Current transformers
 - 7 Voltage transformers
 - 8 Earthing switch

รูปที่ 2 อุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆภายในตู้สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2



รูปที่ 3 สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 สามารถติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด Vacuum (ขวา) หรือชนิด SF₆ (ซ้าย)

ลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical characteristics)

Rated voltage kV	[kV]	36
Rated insulation voltage	[kV]	36
Rated power frequency withstand voltage	kV 1min	70
Rated lightning impulse withstand voltage	kV	170
Rated frequency	Hz	50-60
Rated short time withstand current	kA 3	...31.5
Peak current	kA	...80
Internal arc withstand current	kA 1 s	...31.5
Main busbars rated current	A	...3150
Branch connections rated current	A	1250
		1600
		2000
Branch connection rated current with forced ventilation	A	2500



รูปที่ 4 Internal arc test



รูปที่ 5 กุญแจที่ติดตั้งมาจากโรงงาน



รูปที่ 6 สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2

สวิตช์เกียร์รุ่น UniGear ZS2 ยังมีระบบ Safety สำหรับผู้ใช้งานหลายรูปแบบ ดังนี้

- Interlock ทั้งแบบไฟฟ้า (Electrical interlock) และเครื่องกล (Mechanical interlock) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการตัดต่อระบบ

- กุญแจ (keys) ที่ติดตั้งมาจากโรงงาน สำหรับป้องกันการปลดสวิตช์เกียร์ขณะจ่ายไฟฟ้าในระบบเพื่อป้องกันบุคคลที่ไม่มีความชำนาญในการใช้งานสวิตช์เกียร์

- Padlock สำหรับป้องกันการปลดสวิตช์เกียร์ขณะจ่ายไฟฟ้าในระบบเช่นกัน ข้อดีของ padlock คือ ผู้ใช้งานสามารถหาแม่กุญแจที่ตามท้องตลาดมาใช้ล็อคเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

- Locking magnets สำหรับติดตั้งคู่สวิตช์เกียร์จากภายในห้องควบคุมระยะไกล



Power Transformers (ตอนที่ 23)

ปานทิพย์ ประสงค์ไทย > pantip.prasongthai@th.abb.com

11.8. ความสูญเสียพลังงานจากภาระ (Load Losses)

กระแสไฟฟ้าที่อยู่ในขดลวดทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความต้านทานของขดลวด RI^2
 R = ความต้านทานการไหลของกระแส
 I = ปริมาณกระแสที่ไหลที่ขดลวด

นอกจากกระแสไหลผ่านโดยตรง ยังมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current losses) สาเหตุจากวัตถุตัวนำของขดลวดอยู่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาเนื่องจากกระแสที่อยู่ในตัวนำเอง ผลที่เกิดจากการแอสไหลวน คือ ทำให้การกระจายของกระแสรวมในแนวภาคตัดขวางไม่ทั่วถึง และการสูญเสียพลังงานสูงขึ้น

นอกจากนี้ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กยังมีการเปลี่ยนแปลงในแนวภาคตัดขวางเหมือนกระแสขดลวด หม้อแปลงระบบจ่าย 2 ขดลวด แนวก้านตรงกัน ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะสูงที่สุดที่โลหะตัวนำที่อยู่ใกล้กับร่องขดลวดมากที่สุด บริเวณดังกล่าว การสูญเสียพลังงานและอุณหภูมิจะสูงที่สุด

วิธีป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากกระแสไหลวนเกิดขึ้นสูงคือ ให้ระยะตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กของวัตถุตัวนำมีค่าต่ำ ขดลวดที่รูปร่างผอมยาว การสูญเสีย

พลังงานเนื่องจากกระแสไหลวนจะต่ำกว่าขดลวดที่รูปร่างอ้วนเตี้ย ในทางปฏิบัติ ลักษณะของหม้อแปลงจะออกแบบโดยประสมประสานคุณสมบัติข้อต่างๆ ตัวอย่างเช่น ค่าความต้านทานลัดวงจร พื้นที่ติดตั้ง ฯลฯ

เนื่องจากสนามแม่เหล็กรั่วไหล จึงเกิดการสูญเสียพลังงานที่บริเวณอื่นอีก ในถึงน้ำมัน ในห้องขดลวด ฯลฯ

ปริมาณการสูญเสียพลังงาน RI^2 จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ตรงข้ามกับการสูญเสียพลังงานอื่นซึ่งจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิที่เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดจะมีอยู่ในมาตรฐานต่างๆ

- 11.9. ความต้านทานลัดวงจร**
ผู้ใช้หม้อแปลงบางครั้งอาจมีข้อกำหนดเฉพาะเกี่ยวกับความต้านทานลัดวงจร เนื่องจาก
- หม้อแปลงทำงานขนานกับหม้อแปลงที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน
 - ข้อจำกัดเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตก
 - ข้อจำกัดเนื่องจากกระแสลัดวงจร

หลักการออกแบบเพื่อคุณสมบัติของหม้อแปลงได้ตามข้อกำหนด อาทิ

- ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนขดลวด ถ้าขนาดพื้นที่หน้าตัดกว้าง ค่าความต้านทานจะต่ำ ถ้าแคบ ค่าความ

ต้านทานจะสูง

- หม้อแปลงรูปร่างสูง ค่าความต้านทานจะต่ำ ถ้ารูปร่างเตี้ย ค่าความต้านทานจะสูง

นอกจากด้านเทคนิค หม้อแปลงแต่ละเครื่องยังคำนึงในด้านเศรษฐกิจ อาทิ ค่าเสียห้อยค่า การสูญเสียพลังงานต่ำ ฯลฯ

หม้อแปลงจ่ายกระแสขนาดเล็ก เนื่องจากมาตรฐานการผลิตค่อนข้างเคร่งครัด บางกรณีการออกแบบให้ได้ตามที่ต้องการ/กำหนดจึงเป็นเรื่องสามารถทำได้ลำบาก

ความต้านทานวงจร Z นิยมใช้ U_z เป็นสัญลักษณ์ คำวัดเป็น p.u. หรือ % ดังสมการข้างใต้

$$u_z = I_r \cdot Z / U_r \quad (\text{p.u.}) \quad (24)$$

$$u_z = 100 \cdot I_r \cdot Z / U_r \quad (\%) \quad (25)$$

สมการ (24) และ (25) ข้างต้นสามารถใช้ได้กับหม้อแปลง 1 เฟสโดยกระแสและแรงดันไฟฟ้า I_r และ U_z เป็นค่าสูงสุดที่ด้านใดด้านหนึ่งของหม้อแปลง ถ้าหม้อแปลง 3 เฟสจะต้องคูณส่วนด้วย $\sqrt{3}$

การคำนวณค่าความต้านทานลัดวงจร Z_k หน่วยโอห์ม

จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดในการทดสอบลัดวงจรใช้สมการข้างใต้

$$z = u_{sc} \cdot U_r / 100 \cdot I_r = u_{sc} / 100 \cdot u_r^2 / s_r \quad (\text{โอห์ม}) \quad (26)$$

สำหรับหม้อแปลง 1 เฟส และ

$$z = u_{sc} \cdot U_r / 100 \cdot I_r = u_{sc} / 100 \cdot u_r^2 / s_r \quad (\text{โอห์ม}) \quad (27)$$

สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส S_r = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลง

จากสมการ (26) และ (27) จะเห็นว่าค่า หน่วยโอห์มแต่ละด้านที่หม้อแปลงแตกต่างกัน สาเหตุเนื่องจากค่าอัตราส่วน U_r / I_r หรือ U_r^2 / S_r ที่แต่ละด้านหม้อแปลงแตกต่างกัน ยกเว้น อัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ = 1

$$\frac{z_1}{z_2} = \left[\frac{U_{r1}}{U_{r2}} \right]^2 = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 \quad (28)$$

เลข 1 และ 2 ที่ z หมายถึงด้านที่หม้อแปลง จากสมการ อัตราระหว่างความต้านทานลัดวงจร (หน่วยโอห์ม) 2 ด้านของหม้อแปลง คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วน จำนวนรอบขดลวด / ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ยกกำลังสอง

ความต้านทาน z จะมีทั้ง active และ reactive components R และ jX การหาค่า components ทั้งสองนี้ โดยวัดค่าสูญเสียพลังงานจากภาระ (P_L) โดยใช้วัดมิเตอร์เมื่อทดสอบการลัดวงจร

$$R = P_L / I_r^2 \quad (\text{โอห์ม}) \quad (29)$$

$$x = \sqrt{z^2 - R^2} \quad (\text{โอห์ม}) \quad (30)$$

ค่าความต้านทานลัดวงจรส่วนจริง การคำนวณใช้สมการ

$$u_r = \frac{R \cdot I_r}{U_r} \quad (\text{p.u.}) \quad (31)$$

$$u_{r\%} = \frac{R \cdot I_r}{U_r} \cdot 100 \quad (\%) \quad (32)$$

ถ้าเป็นหม้อแปลง 3 เฟส ที่ส่วนจะคูณด้วย $\sqrt{3}$ และความสัมพันธ์ระหว่างค่า U_z ค่าความสูญเสียพลังงานจากภาระ P_L และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด S_r ของหม้อแปลง

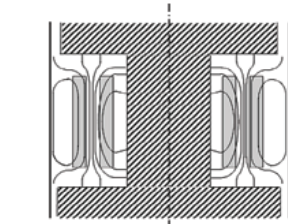
$$u_r = \frac{R \cdot I_r}{U_r} = \frac{R \cdot I_r^2}{U_r \cdot I_r} = \frac{P_L}{S_r} \quad (\text{p.u.}) \quad (33)$$

สมการ $U_r = P_L / S_r$ สามารถใช้ได้กับหม้อแปลง 3 เฟสและ U_z ค่า ส่วนสมมติ (imaginary part) คำนวณโดยสูตร

$$u_x = \sqrt{u_z^2 - u_r^2} \quad (\text{p.u. หรือ } \%) \quad (34)$$

$$x = \sqrt{z^2 - R^2} \quad (\text{โอห์ม}) \quad (35)$$

ส่วนมาก X_o จะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แกนขดลวด ส่วน X เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กรั่วไหลซึ่งส่วนมากอยู่ที่ขดลวดและร่องระหว่างขดลวด



รูป 11-10

เมื่อที่หม้อแปลงมีกระแสเข้าแต่ยังไม่มีการต่อภาระ ในทางปฏิบัติ สนามแม่เหล็กทั้งหมดจะไปที่แกนขดลวด เมื่อมีการต่อภาระกับกระแสไหลกลับ สนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งจะถูกดึงออกจากหน้าต่างแกนขดลวด (บริเวณที่ติดตั้งขดลวด) รูป 11-0 ทำให้ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขดลวดลดลง ถ้าเป็นหม้อแปลงจ่ายกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดชุดนอกจะเป็นแรงดันไฟฟ้าสูง ส่วนที่ขดลวดชุดในเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำเนื่องจากลดลง

ถ้าภาระหม้อแปลงเป็น capacitor กระแสรวมจะลดลงเนื่องจาก capacitor ทดแทนกระแสเหนี่ยวนำบางส่วน สนามแม่เหล็กรั่วไหลจะลดลง ส่วนปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดเพิ่มขึ้น ทำให้ภาระแรงดันไฟฟ้าตกที่ขดลวดทุติยภูมิลดลง

ถ้าภาระหม้อแปลงเป็นกระแสต้านหรือเป็นกระแสกระทำชนิด capacitive กระแสจะหักล้างถึงไฟฟ้าปฏิกิริยา (reactive load) แก่หม้อแปลง ทำให้ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขดลวดและแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ขนาดกำลังไฟฟ้าปฏิกิริยาของพลังงานสนามแม่เหล็กรั่วไหลคำนวณโดยสมการ

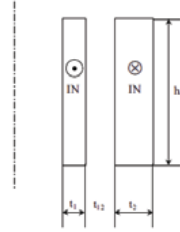
$$Q = \omega \cdot L^2 = 2\pi f L^2 = X I^2 \quad \text{VA(r)} \quad (36)$$

I = กระแสภาระที่ขดลวดปฐมภูมิ/ทุติยภูมิ X = ค่า reactance หน่วยวัตต์โอห์มที่ขดลวดเดียวกันกับ I

ค่า X คำนวณจากระยะ / ขนาดต่างๆ และจำนวนรอบของขดลวด สำหรับหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวดธรรมดา ค่า X คำนวณจากสมการ

$$X = 4\pi \cdot 10^{-7} (t_{12} + \frac{t_1 + t_2}{3}) \frac{L_1 + L_2}{h_w} k_r N^2 \cdot 2\pi f \quad (\text{โอห์ม}) \quad (37)$$

ระยะ / ขนาด หน่วยวัดเป็นเมตร N = จำนวนรอบของขดลวดที่ด้าน X รูป 11-11



รูป 11-11

ในสมการ (37) L_1 และ L_2 คือระยะความยาวรอบขดลวด ด้านในและด้านนอก สมมติฐานของสมการ (37) คือ ทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ในแนวตั้ง ตลอดระยะแนวตั้ง h_w ที่ขดลวดซึ่งสภาพความเป็นจริงอาจไม่ใช่ จากรูป 11-10 จะเห็นว่าทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก บางส่วนวนตามแนวนอน/แนวรัศมีไปด้านปลายของขดลวด W.Rogowski ศาสตราจารย์ชาวเยอรมัน ได้ทำการศึกษาวิธีทดแทนความแตกต่างจากสมการ (37) อย่างละเอียดและได้สร้างสมการ คำนวณตัวคูณแก้ไข (correction factor) ขึ้นดังนี้ (เผยแพร่เมื่อศตวรรษที่แล้ว)

$$k_r = 1 - \frac{(t_1 + t_{12} + t_2)}{\pi h_w} \left[1 - e^{-\frac{\pi h_w}{(t_1 + t_{12} + t_2)}} \right] \quad (38)$$

หรือเรียก k_r ว่า Rogowski factor ปกติทั่วไปค่าของ $k_r = 0.95-0.99$ ซึ่งเมื่อนำไปใช้กับแบบระยะความยาวของ ท่อสนามแม่เหล็กรั่วไหลจะยาวขึ้นเล็กน้อย = h_w / k_r แทน h_w

สำหรับค่า หน่วยวัด % ของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด U_r ตามสมการ

$$u_s = 2(t_{12} + \frac{t_1 + t_2}{3}) \frac{L_1 + L_2}{h_w} k_r \frac{(IN)}{e_{10}} \frac{f}{50} \cdot 10^{-2} \quad (\%) \quad (39)$$

e_{10} = ค่าแรงดันไฟฟ้าต่อรอบของขดลวดที่ภาระไร้ภาระ

นอกจากนี้ ยังมีสมการคำนวณอื่นอีกสำหรับระบบขดลวดที่ซับซ้อน ค่าความต้านทาน/แรงดันไฟฟ้าลัดวงจรที่คำนวณจากสมการเหล่านี้กับที่วัดได้จริงจะสอดคล้องกัน อย่างไรก็ดี ถ้าหากปริมาณของกระแสแม่เหล็กที่ขดลวดต้องเพิ่มตามต้านทาน

11.10. แรงแม่เหล็กไฟฟ้า

มาตรฐาน IEC 60076-5 Power transformers – Part 5 Ability to withstand short circuit ได้รับอนุญาตกำหนดสำหรับหม้อแปลงสามารถทนต่อกระแสสูงเกินพิกัดที่เกิดจากการลัดวงจรภายนอกอย่างปลอดภัยดังต่อไปนี้

สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส ขดลวดแยกกัน 2 ชุด ค่า r.m.s. ของกระแสลัดวงจรสมมาตรคำนวณจากสมการ

$$I_{sc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (Z + Z_r)} \quad \text{kA} \quad (40)$$

Z_s = ความต้านทานลัดวงจรของระบบ

$$Z_s = \frac{U^2}{S} \quad \text{หน่วยวัตต์โอห์ม/เฟส (หรือต่อวงจร star)} \quad (41)$$

U_s = แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ หน่วยวัตต์กิโลโวลต์ S = กำลังไฟฟ้าลัดวงจรปรากฏของระบบ หน่วยวัตต์เมกะโวลต์แอมป์ (MVA)

U และ Z นิยามดังนี้

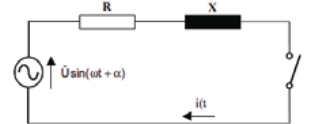
U = แรงดันไฟฟ้าสูงสุด U_r = แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดที่กล่าวถึง หน่วยวัตต์กิโลโวลต์

Z = ความต้านทานลัดวงจรของหม้อแปลงที่กล่าวถึง คำนวณตามสมการข้างใต้

$$Z_z = \frac{u_z \cdot U_r}{100 \cdot S_r} \quad \text{หน่วยวัตต์โอห์ม/เฟส (หรือต่อวงจร star)} \quad (42)$$

u_s = ค่าความดันทานลัดวงจรที่วัดได้ที่ค่ากระแสสูงสุดและความถี่ที่อุณหภูมิอ้างอิง หน่วยวัดเป็น %
 S_r = ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลง หน่วยวัด เมกะโวลท์-แอมป์ (MVA)

โดยต้องจำกัดระยะเวลาการไหลของกระแสลัดวงจร สมมาตรเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป ตามมาตรฐาน IEC 60076-5 ระยะเวลจะต้องไม่เกิน 2 วินาที ยกเว้นผู้ซื้อและผู้จำหน่ายหม้อแปลงตกลงกันเป็นอื่น โดยในช่วงระยะเวลา อุณหภูมิขดลวดคำนวณตามสูตรจะต้องไม่เกินค่ากำหนดในมาตรฐาน IEC 60076-5 อีกประเด็นหนึ่งเกี่ยวกับการลัดวงจร คือ แรงทางกลที่ขดลวดเนื่องจากการแสบปริมาณสูงเกินไปก็ตั้ง ซึ่งเกิดขึ้นทั้งที่ตามกระแสต่างจากอุณหภูมิซึ่งถ้าหากเพิ่มสูงขึ้นจะใช้ระยะยาวพอควร กระแสลัดวงจรช่วงแรกๆ จะเป็นคลื่นอสมมาตรกับแกนระยะเวลาโดยระดับการสมมาตรขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่การลัดวงจรเกิดขึ้นที่ curve คลื่น sine wave ของแรงดันไฟฟ้าและเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดมาก-น้อยเมื่อการลัดวงจรเกิดขึ้นในช่วงแรงดันไฟฟ้าผ่านจุด 0 และเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำสุดมาก-น้อยในช่วงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 11-12



รูป 11-12

จากวงจรในรูป 11-12 สมมติว่าเชื่อมต่อกับที่เวลา $t = 0$ ทำให้เกิดการลัดวงจร ปริมาณกระแส $i(t)$ จะเป็นสมการดังนี้

$$i(t) = \hat{I} \cdot (\sin(\omega t + \alpha - \varphi) - e^{-t/\tau} \cdot \sin(\alpha - \varphi))$$

แอมป์ (43)

ซึ่ง
$$\hat{I} = \frac{\hat{U}}{|Z|}$$
 แอมป์ (44)

คือกระแสลัดวงจรคงที่และสมมาตรค่าสูงสุด $Z = R + j\omega L$ [หน่วยวัดโอห์ม]
 U_s = มุมที่แรงดันไฟฟ้า $u(t)$ สับสวิตซ์เมื่อลัดวงจร (หน่วยวัดเดียน)
 α = มุมเฟสของความต้านทานวงจร (= $\arctg \omega L / R$ (หน่วยวัดเดียน))
 φ = (หน่วยวัดวินาที) (ระยะเวลาคงที่ของวงจร)
 $\tau = L / R = tg\varphi / \omega$ (หน่วยวัดวินาที) (ระยะเวลาคงที่ของวงจร)
 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ [วินาที⁻¹]

กระแสจะเริ่มที่ 0 และประกอบด้วย 2 ส่วน

- ส่วนสภาวะคงที่สลับความถี่ปกติ
- ส่วนที่ทางเปลี่ยนแปลงและปริมาณลดลงด้วยค่า ยกกำลังกับระยะเวลา

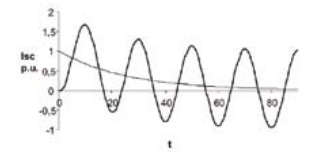
ค่าสูงสุดค่าแรกของการกระแสลัดวงจรจะกำหนดขนาดแรงสูงสุดที่กระทำที่ขดลวดโดยขึ้นอยู่กับ X/R ratio

และมุมเชื่อมต่อกับสวิตซ์ α ซึ่งจะเกิดขึ้นเกือบทุกครั้ง เมื่อ $\alpha = 0$ (หรือ = π)

ในระบบกำลังไฟฟ้า ค่า X จะสูงกว่า ค่า R มาก ($X \gg R$) หรือหมายความว่า $\phi \approx \pi / 2$ ดังนั้น สามารถเขียนสมการ (43) ใหม่ได้ดังนี้

$$i(t) = \hat{I} \cdot (\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) + e^{-\frac{t}{\tau}})$$
 แอมป์ (45)

ค่ากระแสสูงสุดค่าแรกจะสอดคล้องกับระยะเวลาเมื่อ $\omega t = \pi$



รูป 11-13

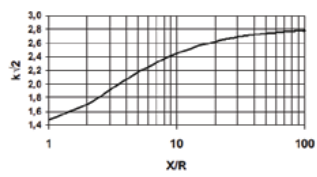
$$i(t) = \hat{I} \cdot k = I_{sc} \cdot \sqrt{2} \cdot k = I_{sc \max}$$
 แอมป์ (46)

ค่า asymmetry factor k คำนวณดังสมการ

$$k = 1 + e^{-\frac{\pi X}{R}}$$
 (47)

รูป 11-13 แสดงตัวอย่างคลื่นของการกระแสลัดวงจร จากรูปตัวอย่าง X/R = 8, k = 1.68

Peak factor = $k \cdot \sqrt{2}$ และขึ้นอยู่กับค่า X/R ดังแสดงในรูป 11-14 จากรูป 11-13 ค่า peak factor = 2.38 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดค่าแรกคือ ค่า r.m.s. ของกระแสลัดวงจรคงที่ X ค่า peak factor X = ค่า network reactance + ค่า transformer reactance (หน่วยวัดโอห์ม)
R = ค่า network resistance + ค่า transformer reactance (หน่วยวัดโอห์ม)
ค่า X/R และ peak factor เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงเพิ่มขึ้น



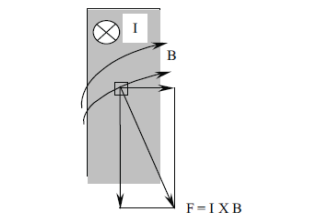
รูป 11-14

แรงทางกลที่ขดลวด
ที่หม้อแปลง กระแสจะไหลผ่านตัวนำขดลวดซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กไว้ไหลและเกิดแรงทางกลกระทำ

แรงทางกลที่เกิดขึ้น ลักษณะไม่ใช่แรงสถิตแต่เป็นคลื่นแต่ละครั้งที่คลื่นผ่านจุด 0 แรงทางกลจะ = 0 เช่นเดียวกัน ที่ปริมาณกระแสและการปะกิดแรงทางกลจะเกิดขึ้นต่ำ และจะเพิ่มสูงขึ้นตามค่ากระแสแยกกำลังสองถ้าปริมาณกระแสสูงเกินไปก็ตั้งซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระบบมีการลัดวงจร ดังนั้น การคำนวณออกแบบหม้อแปลงจะต้องพิจารณา

เรื่องนี้ ทั้งนี้ ปริมาณกระแสลัดวงจรอาจสูงกว่าปริมาณกระแสทำงาน (rated current) ของหม้อแปลงถึง 10-20 เท่า แรงทางกลที่เกิดขึ้นอาจสูงกว่าปกติ 100-400 เท่า ยิ่งหม้อแปลงที่ความต้านทานลัดวงจรต่ำ แรงทางกลจะยิ่งสูง

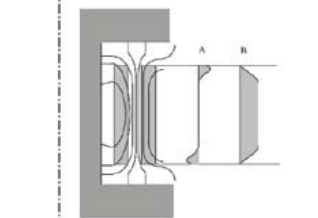
แรงทางกลที่เกิดขึ้นจะทำให้ขดลวดเกิดการเคลื่อนที่ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แต่ถ้าบันทึกภาพแล้วนำมาเปิดดูซ้ำๆ จะเห็นระยะขดลวดเคลื่อนที่และความรุนแรงของแรงทางกลที่เกิดขึ้น



รูป 11-15

หลักการออกแบบให้ขดลวดสามารถแรงทางกลคือ แยกแรงออกเป็น 2 ส่วน ด้านข้าง (radial) และ ศูนย์กลาง (axial) ดังในรูป 11-15 (แสดงขดลวดด้านบน) แรงด้านข้างที่ทางจะออกภายนอก ทำให้เกิดแรงดึงกระทำที่วัตถุตัวนำของขดลวด ส่วนแรงด้านข้างที่ทิศทางเข้าสู่ภายในจะทำให้ขดลวดบิดเบี้ยว ถ้าหากไม่มีแรงเพียงพอ

ส่วนแรงศูนย์กลางจะเกิดจากแรงด้านข้างที่ปลายขดลวด และตัววัตถุตัวนำในแนวศูนย์กลางขดลวดให้แยกขึ้นจากระดับปกติ โดยแรงที่แต่ละจุดที่ขดลวด / จากขดลวดจะรวมกัน เมื่อเกิดแรงกระทำนี้ ที่ปลายอีกข้างของลวดจะเกิดแรงต้านทานเพื่อสมดุล แรงศูนย์กลางมีแรงกระทำที่สูง ดูรูป 11-16



รูป 11-16

ความสามารถทนต่อแรงทางกลของวัตถุตัวนำขึ้นอยู่กับขนาดของขดลวด ระยะระหว่างอุปกรณ์กันขดลวด (spacers) รอบขดลวดและขนาดของวัตถุตัวนำ

ถ้าแรงทางกลศูนย์กลางดันจนขดลวดเปิดที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายจุดตามความยาวขดลวด แรงจะต่อไปถึงคอกขดลวด (yokes) ดังนั้น ช่องที่ขดลวดและแกนอยู่ร่วมกันจะต้องออกแบบให้แข็งแรงสามารถทนทานแรงทางกลได้

รายละเอียดวิธีการต่างๆ เกี่ยวกับการลัดวงจรมีอยู่ใน “Short-circuit duty of power transformers – The ABB Approach” By Giorgio Bertagnolli ซึ่งบริษัทเป็นผู้จัดทำ ผู้ที่ต้องการสามารถติดต่อบริษัทได้

11.11 เสียงของหม้อแปลง
ขณะทำงานหม้อแปลงจะเกิดเสียง ในระยะเวลาณๆ อาจรบกวนผู้ที่อยู่ในบริเวณ

เสียงคือ แรงแดันไม่คงที่ที่เกิดขึ้นในอากาศ (หรือตัวกลางอื่นที่มีมวลมีลักษณะยืดหยุ่น) และประสาทหูของมนุษย์สามารถได้ยินถ้าแรงแดันไม่คงที่นี้หรือเสียงเดินทางผ่านวัตถุสื่อจากแหล่งกำเนิดไปยังหู จำนวนคลื่นของพลังงานเสียงต่อวินาทีเรียกว่าความถี่เสียง หน่วยวัดเป็นเฮิรตซ์ ความถี่ทำให้เสียงมีลักษณะต่างๆ กัน เสียงทุ้มเบาๆ ของหม้อแปลง ความถี่จะต่ำ 100-200 เฮิรตซ์ แต่ถ้าเป็นเสียงแหลมดัง ความถี่จะสูงเกิน 3 กิโลเฮิรตซ์ ความถี่เสียงที่ประสาทหูของคนปกติได้ยินอยู่ระหว่าง 20 เฮิรตซ์ – 20 กิโลเฮิรตซ์

ลักษณะอีกอย่างของคลื่นเสียงคือ ความกว้าง (amplitude) หน่วยวัดปาสกาล (Pascal-Pa) เสียงค่อยที่สุดที่ประสาทหูของมนุษย์สามารถได้ยินคือเสียงความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ความกว้างคลื่นเสียง 20 ไมโครปาสกาล เสียงที่ดังกว่าเสียงที่ค่อยที่สุด ถ้าเกิน 1 ล้านเท่า ประสาทหูจะไม่สามารถทนได้ และเพื่อให้อำนาจเป็นตัวเลขไม่มากจนเกินไป จึงใช้หน่วยวัดเป็นเดซิเบล (dB)

หน่วยวัดเดซิเบล เป็นค่า logarithm / โดยใช้ค่า 20 μPa เป็นฐาน po = 0 เดซิเบลบน L_p = ค่า db คำนวณตามสมการดังนี้

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$
 (dB) (48)

p = Sound pressure (กำลังเสียง) วัดโดยใช้ไมโครโฟน เป็นค่าตัวเลขไร้ทิศทาง ระบุเพียงปริมาณเสียงค่าเดซิเบลในรูป 11-17 ผลลัพธ์จากแต่ละคนจะไม่เหมือนกัน แต่โดยเฉลี่ยดังในรูปสำหรับคนทั่วไป

แหล่งกำเนิดเสียง	ค่าเดซิเบล
พื้นที่อยู่อาศัยที่สงบ	45
เสียงพูดสนทนาระยะห่าง 1 ม.	60
โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง	75
โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่	85
ถนนในเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น	95
การทำงานของเสียงเครื่องยนต์ระยะห่าง 1 ม.	105

ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการได้ยินเสียงค่าความถี่ต่างๆ ของมนุษย์กับค่า Sound pressure ผลลัพธ์ที่ได้ดังในรูป 11-17 ผลลัพธ์จากแต่ละคนจะไม่เหมือนกัน แต่โดยเฉลี่ยดังในรูปสำหรับคนทั่วไป

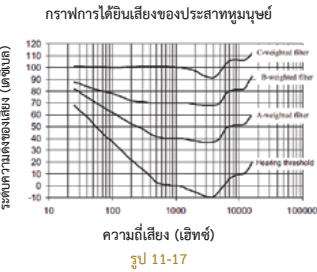
เส้นกราฟแต่ละเส้นคือเสียงที่ระดับความดังเท่ากันตลอด กราฟเส้นล่างสุดที่ระดับความดังว่า 0 ที่ความถี่ = 1,000 เฮิรตซ์ คือ ระดับความดังของเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน ได้จากจุดนี้มนุษย์จะไม่สามารถได้ยิน จากกราฟที่ความถี่ = 3-4 กิโลเฮิรตซ์

มนุษย์จะได้ยินได้มากที่สุด ถึงแม้กำลังเสียงต่ำกว่า 20 ไมโครปาสกาล

ที่ความถี่ต่ำกว่า 700 เฮิรตซ์ จะเห็นว่าเส้นกราฟค่าระดับเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยินจะขึ้น แปลว่าถ้าความถี่เสียงต่ำ กำลังเสียงจะต้องสูงขึ้นจึงสามารถได้ยิน จะเห็นว่าที่ค่าความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เส้นกราฟนี้จะขึ้น

กราฟอีก 3 เส้นเหนือเส้นล่างสุดแล่นผ่านจุดระดับความดังของเสียง = 40, 70 และ 100 เดซิเบลที่ค่าความถี่ = 1 กิโลเฮิรตซ์ กำลังเสียงต่างกันไมโครโฟนตัวเดียวกันจะทำงานต่างกัน

วิธีเลือกกราฟการได้ยินของมนุษย์โดยใช้วัสดุสองเสียงที่อุปกรณ์วัดในการทดลองใช้วัสดุกรองเสียงคุณสมบัติต่างกัน 3 ชิ้น A, B และ C นำมาปรับให้คุณสมบัติมาตรฐานและได้กราฟ 3 เส้น ผ่านระดับความดัง 40, 70 และ 100 เดซิเบลที่ความถี่ = 1 กิโลเฮิรตซ์ ดังในรูป



รูป 11-17

การวัดระดับเสียงที่หม้อแปลงจะใช้วัสดุกรองเสียง A เนื่องจากคุณสมบัติเหมาะสมกับระดับเสียงของหม้อแปลง การวัดระดับของเสียงที่หม้อแปลงจะวัดที่จุดต่างๆ รอบหม้อแปลงระยะห่างจากหม้อแปลง = 0.3 ม. ซึ่งเป็นระยะไม่สอดคล้องในทางปฏิบัติ เนื่องจากปกติไม่มีผู้ใดอยู่ใกล้หม้อแปลงระยะ 0.3 ม. ดังนั้น อาจวัดที่ระยะห่างออกมาอีกเพื่อสอดคล้องกับทางปฏิบัติ

การประมาณการระดับเสียงของหม้อแปลงจะต้องมีหรือทราบระดับกำลังเสียง (sound power level) ความหมายของกำลังเสียง (sound power) ดังนี้

แหล่งกำเนิดเสียงจะส่งพลังงาน / กำลังออกไปในบรรยากาศที่อยู่โดยรอบเกิดเป็นสนามพลังงานเสียง ซึ่งกำลังเสียงคือ ต้นเหตุหรือสาเหตุและระดับเสียงคือ ผลที่เกิดตามมา ระดับเสียงคือ สิ่งที่มีมนุษย์เราได้ยิน / วัดโดยใช้ไมโครโฟน ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดและภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับเสียง ดังนั้น ระดับเสียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกได้ว่ากำลังเสียงที่ต้นกำเนิดมากหรือน้อยเพียงใด แหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังมากหรือน้อยเพียงใด บอกโดยกำลังเสียงซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่ขึ้นอยู่กับภาวะแวดล้อม

กำลังเสียงคือ ปริมาณพลังงานต่อหน่วยเวลาที่ถูกส่งออกแหล่งกำเนิด หน่วยวัดเป็นวัตต์ ปกติทั่วไปกำลัง

เสียง Lw จะเรียกเป็นหน่วยเดซิเบล (dB) และเป็นค่าลอการิทึมตามสมการ

$$L_w = 10 \cdot \lg \frac{W}{W_0}$$
 หน่วยวัดเดซิเบล (49)

สมการข้างต้น W_0 คือ ค่าอ้างอิงอิสระ = 10⁻¹³ วัตต์ ซึ่งเป็นค่าของแหล่งกำเนิดเสียงระดับกำลังต่ำมากและนำมาใช้โดยอิสระจากค่าอ้างอิงเดิม

กำลังเสียงค่าสูงที่สุดคือเสียงจากมอเตอร์เครื่องยนต์เจ็ทขนาดใหญ่ = ประมาณ 100,000 วัตต์ ค่า total power range = 1018 แปลงเป็นหน่วยเดซิเบล = 180dB เพื่อค่าตัวเลขไม่มากจนเกินไป

จากค่าวัดในการทดลอง นำมาคำนวณเป็นกำลังเสียงของหม้อแปลงหน่วยวัดเดซิเบลตามสมการในมาตรฐาน IEC 60076-10 Ed. 1.0

ในสถานที่ลง สามารถคำนวณระดับเสียงที่ระยะห่างพอควรจากหม้อแปลงได้ แต่ทั่วไป สถานที่ต่างๆ อาจมีสิ่งขวางกั้น อาทิ ผนัง กำแพง ฯลฯ ซึ่งสะท้อนเสียง ทำให้การคำนวณหรือประมาณการระดับเสียงที่จุดต่างๆ บริเวณหม้อแปลง ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนได้

แหล่งกำเนิดเสียง
แหล่งกำเนิดเสียงที่สำคัญที่หม้อแปลงคือ magnetostriction หรือการเปลี่ยนแปลงขนาด / ระยะของวัตถุเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงที่แกนขดลวด ขณะมีการเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็ก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด / ระยะ = 10⁻⁷ – 10⁻⁵ เมตรต่อระยะ 1 เมตร Magnetostrictions ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเครื่องหมาย +/- ของเส้นแรงแม่เหล็ก flux แต่ขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กสัมพันธ์กับแกนหลักของวัตถุ (เหล็ก ฯลฯ) เท่านั้น เมื่อวัตถุถูกเส้นแรงแม่เหล็ก sine wave กระทำ ความถี่หรือจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงขนาด / ระยะพื้นฐานจะเป็น 2 เท่าของความถี่ / จำนวนครั้งการกระตุ้น ผลที่เกิดขึ้นไม่มีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับการเหนี่ยวนำสูงใกล้อิ่มตัว ลักษณะไม่เป็นเส้นตรงดังกล่าวทำให้ harmonic content มากเพียงพอในการสันนิษะเทียบที่แกนขดลวด

ที่แกนขดลวด 3 เฟส การเปลี่ยนแปลงขนาด / ระยะที่แต่ละแกน (ขึ้นสนแกน) จะไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน ผลลัพธ์คือ ตลอดแกนขดลวดแต่ละแกนจะเกิดการบิดเบี้ยวทำให้เกิดเสียงดัง

นอกจากการเหนี่ยวนำโดยกระแสไฟฟ้าสลับ ที่แกนขดลวยังมี DC bias ที่เพิ่มแรงสั่นสะเทือนมากพอควรทำให้เสียงดังเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กค่า + และ - สูงสุด แตกต่างกันมาก ทำให้ความถี่พื้นฐานของเสียงเท่ากับค่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้าแทนที่เป็น 2 เท่า

โปรดติดตามต่อไปหน้า

ตาบอดสี

พิทยา เพชรธานีท์ > pattaya.petchtanin@th.abb.com

ตาบอดสีเกิดจากความผิดปกติของเซลล์รูปกรวย ทำให้การรับรู้สีผิดจากคนทั่วไป เช่น อาจจะเห็นสีแดงเป็นสีเทา ภาวะนี้ไม่สามารถแก้ไขให้เป็นปกติได้ แต่อาจบรรเทาได้ด้วยการใช้เครื่องกรองแสงสีบาวสีออกใบ และหลีกเลี่ยงการประกอบอาชีพบางอย่างที่ต่ออาศัยการมองเห็นสีที่ถูกต้อง

นอกจากการมองเห็น ตาของคนเรายังมีความสามารถอีกอย่างหนึ่งนั่นคือ การเห็นสีสั่น ซึ่งเป็นเรื่องของความรู้สึกและการรับรู้ อาศัยการเรียนรู้ ประสบการณ์ ทำให้เกิดการเปรียบเทียบและสามารถจำแนกออกเป็นสีที่ละเอียด แตกต่างกันเล็กน้อย กล่าวกันว่าเราอาจจำแนกสีต่างๆ กันได้มากกว่า 100 สี แต่สีหลักๆ ที่เรามักพูดกันว่าเราเห็นสี 7 สี ตามสีของรุ้งกินน้ำ ในความเป็นจริงใน 7 สีนี้ อาจจะจำแนกเป็นสีเือกต่างๆ ได้อีกอย่างน้อย 100 สี ตามการตรวจไล่สีแบบหนึ่งที่เราเรียกว่า Farnsworth 100 hue test ซึ่งจะมีกล่องสีต่างๆ 100 สีไม่ซ้ำกันสำหรับให้ผู้ถูกตรวจเรียงสีเหล่านั้น เพื่อทดสอบว่ามีการเห็นสีผิดปกติหรือไม่

การมองเห็นสี

การที่คนเราเห็นสีต่างๆ ได้เป็นเพราะภายในจอตา (retina) ของเรามีเซลล์รับรู้การเห็น (photoreceptor) ชนิดรูปกรวย กล่าวคือ เซลล์รับรู้การเห็นของคนเรามี 2 ชนิด ชนิดแรกเรียกว่า เซลล์รูปแท่ง (rod) รับรู้การเห็นแค่ขาวดำและใช้งานในที่แสงสลัวๆ กับเซลล์รูปกรวย (cone) ซึ่งรับรู้การเห็นในที่สว่างและเห็นสีเซลล์รูปกรวยมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

- เซลล์รูปกรวยสีแดง (R-cone) ซึ่งดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร ออกมาเป็นสีแดง

- สีเขียว (G-cone) รับการเห็นในช่วงคลื่นขนาด 540 นาโนเมตร ออกมาเป็นสีเขียว

- สีน้ำเงิน (B-cone) รับรู้การเห็นแสงขนาดคลื่น 440 นาโนเมตรสูงสุดออกมาเป็นสีน้ำเงิน

ยกตัวอย่างเช่น คลื่นแสงขนาด 575 นาโนเมตร กระตุ้นทั้งเซลล์รูปกรวยสีแดง (ซึ่งสูงสุดขนาด 570) และเซลล์รูปกรวยสีเขียว (สูงสุดที่ 540) จึงรับรู้ออกมาเป็นสีเหลือง

คลื่นแสงที่มนุษย์เรามองเห็นมีความยาวคลื่นระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร ถ้าคลื่นแสงมีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร เช่น อัลตราไวโอเลต เอ็กซ์เรย์ ตาคนเรามองไม่เห็นคลื่นแสงเหล่านี้ ส่วนคลื่นแสงที่ยาวกว่า 700 นาโนเมตร เช่น อินฟราเรด คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ ไมโครเวฟ ตาคนเราก็จะมองไม่เห็นเช่นกัน (ถ้าตาเรามองเห็นคงวุ่นวายน่าดูที่เห็นคลื่นวิทยุโทรทัศน์เต็มไปหมด)

ภาวะตาบอดสี

แต่กำเนิดเป็นที่รู้จักกันมาหลายร้อยปีแล้ว มาจากคำว่า color blind ซึ่งจะไม่ถูกต้องนัก น่าจะเป็น color defect หรือเห็นสีบกพร่องมากกว่า เพราะคนที่บอดสีแดงเข้ว่าเขาจะไม่เห็นสีแดง เพียงแต่เห็นสีแดงออกเป็นสีอื่นที่ไม่เหมือนคนทั่วไป (อาจจะเห็นเป็นสีเทา) แต่เนื่องจากเขาเห็นสีแดง (ออกสีเทา) มาตั้งแต่เกิดและถูกสอนว่านี่คือสีแดง เขาจึงบอกสีได้ถูกต้อง คืออาจสับสนมากกว่าสีอะไร เขาจะบอกว่าสีแดง คนเหล่านี้จึงมักไม่ยอมรับว่าเขาบอดสีแดง เพราะเอาของสีแดงมาให้ดู เขาก็บอกได้ว่าเป็นสีแดงเพื่อความเข้าใจง่าย จอตาเรามีเซลล์รับรู้การเห็นสีอยู่ 3 ชนิด คือเซลล์รูปกรวยแดง เขียว และน้ำเงิน กับเซลล์รูปแท่งที่รับรู้เฉพาะขาวดำและมีความชัดน้อยกว่า

เราอาจแบ่งผู้ที่มีการเห็นสีบกพร่องตามความผิดปกติของเซลล์รับรู้การเห็นสีออกเป็น

- กลุ่มที่บอดสีจริงๆ คือเห็นเฉพาะขาวดำ เป็นกลุ่มที่จอตาไม่มีเซลล์รูปกรวยแดง เขียว น้ำเงินเลย หรือบางคนบอกว่ามีเซลล์รูปกรวยชนิดเดียวจึงแยกความแตกต่างของสีไม่ได้เลย กลุ่มนี้พบได้น้อยมาก เป็นกลุ่มที่สายตามัวมาก เพราะเซลล์รูปกรวยที่ไวต่อการเห็นขาดหายไป สายตามัวมากจนไม่ได้คำนึงถึงการเน้นสีแดง ตามักจะกลิ้งไปมาหรือที่เรียกกันว่า ตาลั่น (nystagmus) เป็นความผิดปกติแต่กำเนิด

- กลุ่มที่มีความบกพร่องของเซลล์รูปกรวยชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจจะเพี้ยนพร่องหรือน้อยกว่าคนปกติหรือไม่เลย เช่น พร่องรูปกรวยสีแดงหรือไม่มีเซลล์รูปกรวยสีแดงเลย เรียกว่า เป็นคนพร่องสีแดงหรือบอดสีแดง หรือพร่องเซลล์รูปกรวยสีเขียว หรือไม่มีเซลล์รูปกรวยสีเขียวเลย สำหรับการพร่องเซลล์สีน้ำเงิน เชื่อกันว่าไม่น่าจะมีหรือพบได้น้อยมาก ด้วยเหตุที่คลื่นแสงขอบแดงและเขียวใกล้กันมาก การเห็นสีผิดไปทั้งพร่องหรือบอดแดง เขียว จึงปนๆ กัน มักเรียกกันว่าบอดสีแดง-เขียว ซึ่งต้องการตรวจพิเศษแยกแดงและเขียวออกจากกัน

การควบคุมเซลล์รูปกรวยให้ปกติอยู่ในยีนโครโมโซม X ในเพศหญิงมีโครโมโซม XX ในขณะที่เพศชายมีโครโมโซม XY ในเพศชายถ้ามีโครโมโซม X ที่มีการเห็นสีบกพร่องจะแสดงอาการส่วนเพศหญิง เนื่องจากมีโครโมโซม X อยู่ 2 ตัว ถ้ามีความผิดปกติที่โครโมโซมตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียวจะไม่แสดงอาการ แต่เป็นพาหะนำไปสู่ลูกชาย ตาบอดสีที่เป็นแต่กำเนิดจึงพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง (เพศชายพบ 8%) หญิงไม่แสดงอาการแต่เป็นพาหะนำโรคไปสู่ลูกชายต่อไป (เพศหญิงพบได้ 0.5 %) โดยพบว่าในเพศชายบอดสีแดง 1% บอดสีเขียว 1% พร่องสีแดง 1% และพร่องสีเขียว 5%

การตรวจตาบอดสี

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าคนตาบอดสีที่เป็นแต่กำเนิดมักจะบอดสีแดงได้ถูกต้อง เช่น คนบอดสีแดง น้ำสีแดงมาวางจะบอกว่าเป็นสีแดง (ทั้งที่จริงไม่เห็นเหมือนคนอื่น) จึงไม่สามารถตรวจโดยเอาวัตถุสีต่างๆ มาถามว่าสีอะไร การตรวจตาบอดสีต่างๆ ไป ที่ประชาชนรู้จักกันดีเป็นการตรวจที่เรียกว่า การคัดกรองการมองเห็นสี (screening test) เป็นการคัดกรองออกมาว่าผู้ใดมีการเห็นสีที่ผิดปกติ วิธีที่รู้จักกันดีคือ แผนภาพ Ishihara โดยอาศัยหลักที่ว่า ผู้ที่บอดสีแดงจะเห็นสีในแผนที่เรียกกันว่า confusion line สับสน เช่น สีแดง

อยู่แนวเดียวกับสีน้ำเงินเขียว จึงแยกสีแดงที่ปนอยู่บนพื้นสีน้ำเงิน-เขียวไม่ได้ ในทำนองเดียวกันผู้ที่บอดสีเขียว สีเขียวและสีม่วงแดงอยู่ในแนวเดียวกัน หากมีจุดตัวเลขสีเขียวบนพื้นจุดสีม่วงแดง คนตาบอดสีเขียวจะแยกไม่ออก คืออ่านตัวเลขไม่ได้ เนื่องจากแนวของแดงและเขียวอยู่ใกล้กันมาก จึงแยกบอดแดงกับเขียวออกจากกันด้วย Ishihara chart ได้ยาก หากอ่านไม่ผ่าน Ishihara chart จึงมักเรียกกันกลางๆ ว่า บอดสีแดง-เขียว

การแก้ไขตาบอดสี

ตาบอดสีเป็นความผิดปกติแต่กำเนิดด้วยการที่พร่องหรือขาดเซลล์รูปกรวยบางชนิดไป จึงมีอาจชดเชยหรือแก้ไขให้เป็นปกติได้ เมื่อคนตาบอดสีมองของสองสิ่งที่เป็นสองสีออกจากกันไม่ได้ บางรายอาจใช้เครื่องกรองแสงสีบางสีออกไป ทำให้อีกสีเด่นขึ้น กล่าวคืออาจไปเพิ่มความสว่างหรือความเข้มของสีหนึ่ง ทำให้แยกความแตกต่างได้สำหรับการทดสอบนั้นๆ เช่น คนที่แยกสีแดง ส้ม ออกจากสีเขียวไม่ได้ เมื่อใช้แว่นสีแดง สีเขียวจะดูเข้มขึ้น จึงแยกตัวเลขสีแดงสัมผัสจากกันได้ บางคนจึงใช้วิธีใส่แว่นหรือเลนส์สัมผัสสีแดง ทำให้แยกสีแดงออกจากเขียวได้ เพื่อให้สอบผ่านกรณีใบขับขี่ แต่ในความเป็นจริง การเห็นสีของเขายังผิดปกติเหมือนเดิม

โดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน ผู้มีตาบอดสีอาจใช้ชีวิตโดยไม่มีปัญหาอะไร แต่มีผู้เคยศึกษาพบว่าประมาณร้อยละ 70 ของผู้มีตาบอดสีอาจเกิดความยุ่งยากในการตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกสีในชีวิตประจำวัน เช่นตัดสินใจว่าผลไม้สุกจากการดูสีไม่ได้ เลือกด้ายไหมในการเย็บปักถักร้อย เลือกสีเฟอร์นิเจอร์ในบ้านผิด เด็กนักเรียนอาจเลือกสีระบายภาพวาดเขียนผิด เป็นต้น แต่อาจเป็นความผิดพลาดที่ไม่ก่อผลเสียมากนัก หากที่มีบางอาชีพที่การเห็นสีเป็นสิ่งจำเป็น เช่น ทหาร ผู้บังคับจราจรทางอากาศ วิศวกรไฟฟ้า เภสัชกร เจ้าหน้าที่อุตสาหกรรมสิ่งทอ แมตเตอร์ขึ้นรถสาธารณะ ก็อาจมีความจำเป็นต่อการเห็นสีที่ปกติ



ABB จัดกิจกรรมสัปดาห์ความปลอดภัย (Safety Week)

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมรณรงค์ด้านความปลอดภัยพร้อมกับกับเอบีบีทั่วโลก จัดกิจกรรม ABB Safety Week ขึ้นที่สำนักงานสาขาระยอง และสำนักงานสาขาแหลมฉบัง เพื่อเป็นการกระตุ้นและสร้างจิตสำนึกเรื่องความปลอดภัยให้กับพนักงานในทุกพื้นที่ ภายใต้นงานมีการประกวดจัดบอร์ดความปลอดภัย และให้ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในสถานประกอบการ



ABB ร่วมงาน HomeWorks Expo 2015

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมออกบูธในงาน HomeWorks Expo 2015 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค (BITEC) บางนา ด้วยการระดมพลนำสินค้าทุกตัวของแผนก Low voltage Products มาจัดแสดงและสาธิตการทำงานของจริงให้ลูกค้าได้ชมและได้สัมผัสประสบการณ์ตรง เพื่อการนำไปใช้ได้อย่างสะดวกและปลอดภัยทั้งการใช้งานในบ้านและโรงงานอุตสาหกรรมแบบครบวงจร

ABB ร่วมแสดงความยินดี ครบรอบ 100 ปีการประปาไทย

บริษัท เอบีบี จำกัด นำโดยคุณสมิทธิ์ นิยมกิจสัมพันธ์ Country Service Manager พร้อมทีมงานกลุ่มธุรกิจ Power Systems เป็นตัวแทนเข้าร่วมงาน “ศตวรรษสตดี สายธาราแห่งนครา” และงานเลี้ยงฉลองครบรอบ 100 ปี การประปาไทย ณ พิพิธภัณฑ์แห่งการเรียนรู้ การประปาไทยโรงงานผลิตน้ำสามเสน โดยมีคุณวิวัฒน์ชัย รัตนะรัต รองผู้ว่าการการประปานครหลวง (ที่ 2 จากซ้าย) เป็นผู้รับมอบกระเช้าแสดงความยินดี



ABB จัดสัมมนา “Power Quality” ที่ฟิลิปปินส์

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยกลุ่มธุรกิจ Power Products – Capacitors ร่วมกับกลุ่มธุรกิจ Low Voltage Products, ABB, Inc จัดสัมมนา “Power Quality” ให้ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้า อาทิ Capacitors, Power Factor Controller, Reactor, Dynacomp และ Active Filter ณ อาคาร ABB TDA ประเทศฟิลิปปินส์ โดยมี Mr.Ved-Prakash Sinha, Senior Specialist จาก ABB n.v. Belgium เป็นผู้บรรยาย โดยผู้เข้าร่วมสัมมนาจากกลุ่ม Panel builders, System Integrators, Distributors และ End-user จำนวน 68 คน ทั้งนี้ กลุ่มผู้เข้าร่วมฟังบรรยายได้รับความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้า และวิธีการแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากเอบีบี

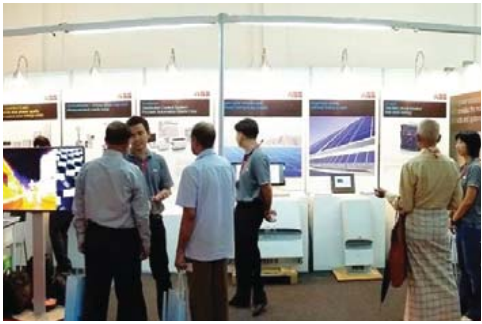


ABB ร่วมกิจกรรมวันเด็กแห่งชาติ

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมสร้างความสุขวันเด็กให้กับนักเรียน โรงเรียนชุมชนวัดราษฎร์บำรุง อ.บางปู จ.สมุทรปราการ ซึ่งมีตั้งแต่ชั้นอนุบาลจนถึงประถมศึกษาตอนปลาย รวมทั้งสิ้น 465 คน ด้วยการมอบของขวัญ ของเล่น และขนมที่ได้รับจากสนับสนุนจากพนักงานเอบีบีกว่า 200 ชิ้น ผ่านกิจกรรมการเล่นเกมส์ ตอบคำถามชิงรางวัล และการจับสลาก รวมทั้งมีการแจกไอศกรีมวัดดวง ที่มีฉลากของขวัญซ่อนอยู่ให้กับน้องๆ อีกด้วย งานนี้สร้างความสุขทั้งผู้ให้และผู้รับได้เป็นอย่างดี



ABB จัดกิจกรรมบริจาคโลหิต

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมกับภาควิชาเวชศาสตร์การธนาคารเลือด คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล จัดกิจกรรมบริจาคโลหิต ช่วยชีวิตเพื่อนมนุษย์ขึ้น ณ สำนักงานใหญ่ อาคารเอสจีทาวเวอร์ โดยได้เชิญชวนเพื่อนพนักงานและบริษัทข้างเคียงมาร่วมกิจกรรมดังกล่าว ซึ่งมีผู้สนใจเข้าร่วมกิจกรรมทั้งสิ้น 110 คน รวมปริมาณเลือดที่ได้รับบริจาคทั้งสิ้น 30,150 ซีซี สำหรับกิจกรรมบริจาคโลหิตเป็นกิจกรรมที่ทางเอบีบีจัดขึ้นเป็นประจำอย่างต่อเนื่องทุกปี ปีละ 2 ครั้ง คือที่สำนักงานใหญ่ และที่โรงงานบางปู โดยครั้งนี้จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 3 ของปี เพื่อให้การสนับสนุนในช่วงที่โลหิตขาดแคลน

ABB ร่วมงานแสดงสินค้านานาชาติ “Electrical Power & Renewable Energy 2014 Myanmar”

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมออกบูธในงานแสดงสินค้านานาชาติด้านเทคโนโลยีพลังงาน พลังงานทดแทน และเทคโนโลยีเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม “Electrical Power & Renewable Energy 2014 Myanmar” ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมอย่างกุ้ง สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ โดยเอบีบีเน้นการจัดแสดงอุปกรณ์ Solar Inverter, Flow Meter, Capacitors และ PLV พร้อมให้ข้อมูลระบบการทำงานของผลิตภัณฑ์



ABB ร่วมกิจกรรมวันอาสา 25 ปี Safety ดี..ดำ

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยกลุ่มธุรกิจ Process Automation, Discrete Automation & Motion และหน่วยงานความปลอดภัย เข้าร่วมกิจกรรมออกบูธในงานสัปดาห์ความปลอดภัย “วันอาสา 25 ปี Safety ดี..ดำ” ณ อาคาร SCG Excellence Center โรงงานวันอาสา จังหวัดกาญจนบุรี โดยเอบีบีได้นำเสนอภาพการดำเนินงานด้านความปลอดภัยของบริษัทภายใต้หัวข้อ Don't look the other way พร้อมจัดแสดงผลิตภัณฑ์ Measurement, Control products และ Drive ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยควบคุมการทำงานให้เกิดความปลอดภัย พร้อมกับการเพิ่มผลผลิตและลดผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมในธุรกิจภาคอุตสาหกรรม





LV Capacitor CLMD. Reliability for power factor correction.



คาแพซิเตอร์ประสิทธิภาพสูงจากเอบีบี สำหรับปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เป็นชนิดแห้ง (Dry type) ไม่บรรจุน้ำมัน ก๊าซ หรือของเหลว พร้อมระบบรักษาความปลอดภัย 5 ชั้นตอน ภายใน ได้แก่ แผ่นฟิล์มชนิดรักษาตัวเองได้ (Self-healing film) ฟิล์สภายใน เม็ดฉนวนกันไฟ (Vermiculite) ตัวกล่องเป็นโลหะ พร้อมตัวคายประจุไฟฟ้า

คาแพซิเตอร์เอบีบี ออกแบบให้มีคุณภาพและความน่าเชื่อถือสูงสุด แข็งแรงทนทาน ติดตั้งง่าย มีหลายขนาด ให้เลือกตามความเหมาะสม กระบวนการออกแบบผลิตและทดสอบเป็นตามมาตรฐาน IEC 60831-1&2 นอกจากนี้ยังผ่านการรับรองระบบคุณภาพ ISO 9001 และ ISO 14001 จึงมั่นใจได้ในคุณภาพและการรักษาสິงแวดล้อม

นึกถึงคาแพซิเตอร์คุณภาพ นึกถึงเอบีบี www.abb.com