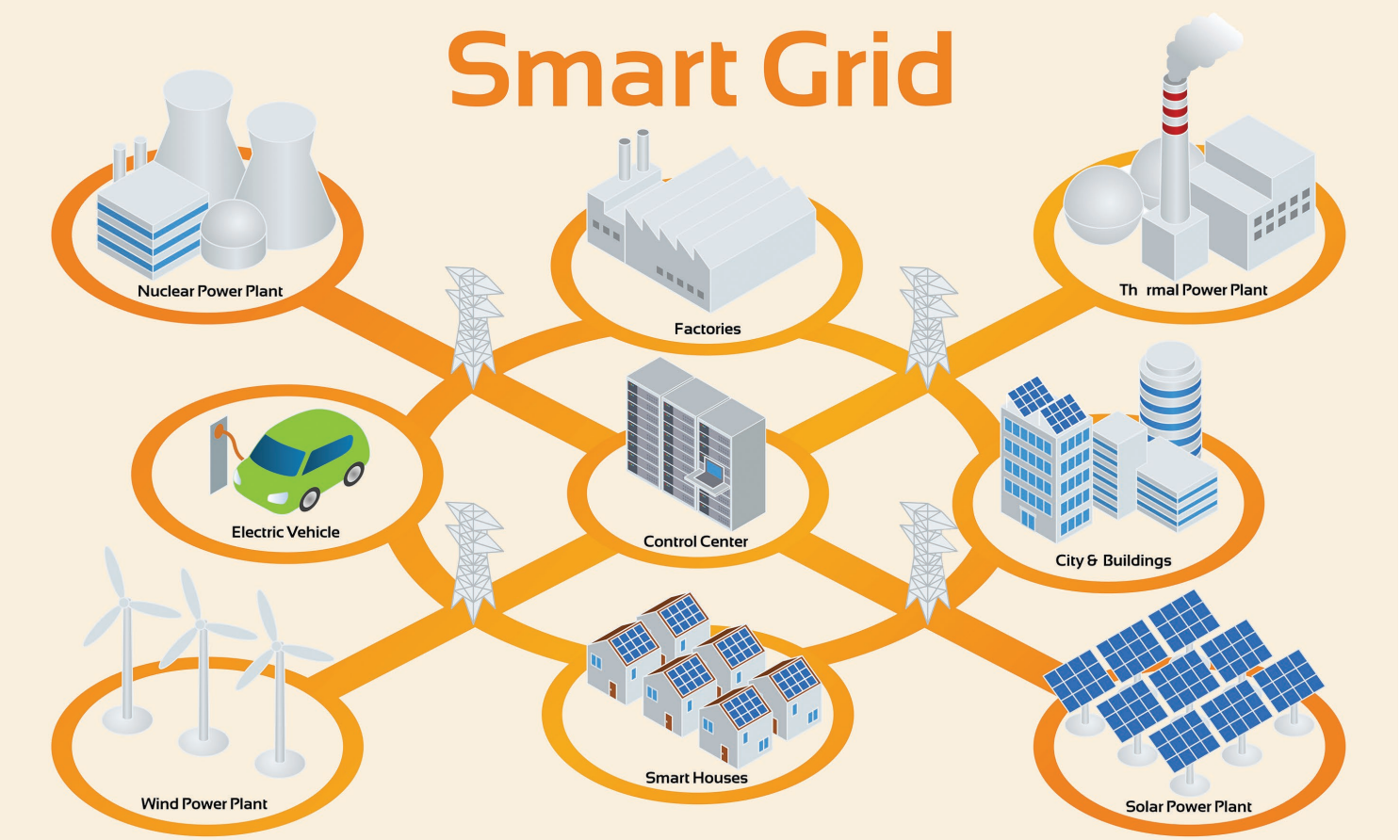
3|15
A customer magazine
of the ABB Thailand

คุณภาพไฟฟ้า



โครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid)
อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน (ตอนที่ 1) 08

Improving eco-efficiency 04
การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ
เทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงของเอบีบีที่ขึ้นมาเป็นความท้าทาย
Integrated gas-insulated switchgear 18
UniSec Air-insulated 24
พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก 36

Power and productivity
for a better world™

04 Improving eco-efficiency
การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ
เทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงของเอบีบีที่ขึ้นมาเป็นความท้าทาย

20 The power of collaboration
พลังของการร่วมมือกัน
โซลูชั่นการบริการตลอดช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์

24 UniSec Air-insulated

36 พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก

Jul - Sep 2015 Vol.3

Editor's Talk

ปิดฉากกันไปกับความประทับใจยิ่งใหญ่อลังการของชาวจักรยานและชาวไทย กับภาพประวัติศาสตร์ที่ไม่เคยปรากฏในประเทศไทย ภาพขบวนจักรยานจำนวนมากในกิจกรรม Bike for Mom ปั่นเพื่อแม่ ทุกท่านที่มีโอกาสไปร่วมกิจกรรมครั้งนี้คงจะรู้สึกอิ่มเอมใจในเหตุการณ์สำคัญครั้งนี้ กับความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของประชาชนชาวไทยผู้ที่ใช้จักรยานและผู้ที่ปั่นจักรยานเพื่อสุขภาพทุกๆ คน และหวังว่ากระแสปั่นจักรยานของคนไทยคงจะตื่นตัวและเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

"คุณภาพไฟฟ้า" ฉบับนี้ มาพร้อมช่วงเวลาปลายฝนต้นหนาว ที่ยังคงบรรจุสาระดีๆ ภายในเล่มเหมือนเช่นเคย อาทิ โครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน, การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ, Integrated gas-insulated switchgear, UniSec Air insulated, The power of collaboration และอีกหลายเรื่องน่าสนใจ รวมทั้งการดูแลสุขภาพ อยู่อย่างไรเมื่อเป็นไมเกรน พร้อมพาไปชมความน่ารักของเจ้านกฮูกกันที่พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก จังหวัดนครปฐม

ขอให้มีความสุขกับอ่านทุกท่าน

Power Quality Series
04 Improving eco-efficiency
การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ
เทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงของเอบีบีที่ขึ้นมาเป็นความท้าทาย

Power Quality Series
08 โครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid)
อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน (ตอนที่ 1)

International Standard Series
12 IEEE C57.13-2008
IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ตอนที่ 22)

High Voltage Series
18 Integrated gas-insulated switchgear

Special Power Series
20 The power of collaboration
พลังของการร่วมมือกัน
โซลูชั่นการบริการตลอดช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์

Medium Voltage Series
24 UniSec Air-insulated

Power Transformers Series
28 Power Transformers (ตอนที่ 25)

Health & Wellness
34 อยู่อย่างไรเมื่อเป็นไมเกรน

Weekend
36 พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก

News & Movement
38 News & Movement

เจ้าของ บริษัท เอบีบี จำกัด • ที่ปรึกษา กำชัย เลิศธีระกุล, สุพล พฤกษ์จินดา, ประวิทย์ โรจนศรีรัตน์, ประดิษฐพงษ์ สุขสิริถาวรกุล • จัดทำโดย Power Products Division
สำนักงานใหญ่ 161/1 อาคารเอสจีทาวเวอร์ ชั้น 1-4 ซ.มหาดเล็กหลวง 3 ถ.ราชดำริ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10330 โทร. 0 2665 1000 แฟกซ์. 0 2665 1177 http://www.abb.com
โรงงาน 322 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซ.6 บี ถ.สุขุมวิท ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280
บทความและรูปภาพทุกชิ้นในคุณภาพไฟฟ้าสงวนสิทธิ์ตามกฎหมาย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนหรือบริษัท เอบีบี จำกัด

Power Quality Series

Improving eco-efficiency

การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

เทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงของเอบีบีที่ขึ้นมาเป็นความท้าทาย

ดร.วรวุฒิ แซ่ก๊ก > worawut.sae-kok@th.abb.com

การเติบโตของประชากรและความเจริญรุ่งเรืองของผู้คนบนโลกนั้นสามารถส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานเป็นจำนวนมากที่ได้จากการผลิตโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล บ่อยครั้งที่การผลิตไฟฟ้าเกิดขึ้นห่างไกลจากแหล่งของโหลดและบริเวณพื้นที่เมือง จึงจำเป็นต้องมีวิธีที่มีประสิทธิภาพในการนำพาไฟฟ้ามายังแหล่งโรงงานอุตสาหกรรมและพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น วิธีที่มีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ในการส่งพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบส่งผ่านไฟฟ้าคือโดยการใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูง ในฐานะที่เป็นผู้บุกเบิกและริเริ่มในด้านนี้ เอบีบีได้ทำการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ดังกล่าวนั้นเรื่อยมาโดยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและให้ผลลัพธ์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน ในขณะเดียวกัน เอบีบียังมุ่งมั่นที่จะยกระดับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงให้ดีขึ้นในเรื่องของความน่าเชื่อถือได้ ประสิทธิภาพ และต้นทุนตลอดช่วงอายุการใช้งาน

บทนำ

เทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมไฟฟ้าสำหรับฉนวนไดอิเล็กทริกและการตัดกระแสในเซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตช์เกียร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงอื่นๆ คือ ก๊าซเฉื่อยที่รู้จักในชื่อของซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) (ดูรูปที่ 1) ก๊าซนี้ถูกใช้ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแมกนีเซียมและเซมิคอนดักเตอร์และยังใช้ในการประยุกต์ด้านการทหาร

เอบีบีใช้ SF_6 เป็นหลักในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ก๊าซนี้มีคุณสมบัติฉนวนและการดับอาร์กที่ดีเยี่ยม ซึ่งทำให้การออกแบบอุปกรณ์มีขนาดเล็กได้ การใช้พื้นที่พลังงานความสูญเสียและของเสียจะลดลงได้อย่างมากในขณะที่ความสามารถในการรีไซเคิลมีมากขึ้น

เอบีบีได้พยายามเป็นอย่างมากเพื่อให้มั่นใจได้ว่าก๊าซ SF_6 จะไม่ออกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศได้เมื่ออุปกรณ์ได้ถูกผลิต ติดตั้ง ทำงานหรือถูกเลิกใช้ อุปกรณ์ที่เป็นอันตรายหรือถูกแยกชิ้นส่วนจะถูกกำจัดอย่างถูกต้องและมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม เอบีบีได้ทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องในทางเลือกที่เป็นไปได้ในการที่จะลดปริมาณก๊าซ SF_6 ที่ใช้ในอุปกรณ์

เบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง CO_2

ทางเลือกหนึ่งสำหรับแทนที่ SF_6 คือการใช้ CO_2 เป็นฉนวนและตัวกลางในการดับอาร์ก เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงของเอบีบีชนิด LTA 72D1 เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดแรกที่ใช้ CO_2 ในลักษณะนี้ (ดูรูปที่ 2) เซอร์กิตเบรกเกอร์ LTA 72D1 ขณะนี้สามารถใช้ได้กับระบบไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 72.5 kV ที่มีกระแสขณะตัดวงจรเมื่อเกิดวงจรลัดสูงถึง 31.5 kA และมีรูปแบบที่ใช้เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปและเป็นดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุการใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิด LTA ได้ถูกจัดทำขึ้นโดยคำนึงถึงศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) GWP เป็นค่าที่อธิบายถึงการกระจายของสสารไปสู่ภาวะโลกร้อนตลอดช่วงอายุของอุปกรณ์ ผลลัพธ์ถูกแสดงในรูปแบบของการปล่อย CO_2 สมมูลตลอดช่วงอายุของอุปกรณ์ กราฟในรูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของเซอร์กิตเบรกเกอร์ LTA ฉนวนก๊าซ CO_2 กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ LTB ฉนวนก๊าซ SF_6 ด้วยการพิจารณาการใช้งานตลอดอายุ 30 ปี ตามการประมาณนี้อยู่บนพื้นฐานของโมเดลที่ได้ถูกพัฒนาสอดคล้องกับระเบียบวิธีของ IPCC (Inter-Government Panel on Climate Change) การแทนที่ก๊าซ SF_6 ด้วย CO_2 จะลดการปล่อย CO_2 สมมูลตลอดช่วงอายุของอุปกรณ์ประมาณ 10 ตัน หรือประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ตลอดช่วงเวลา 30 ปี

นอกจากนั้นวิธีการอื่นในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจคือการรีไซเคิล SF_6 (ดูรูปที่ 4) เมื่อไม่นานมานี้ เอบีบีได้นำเสนอเทคโนโลยีที่มีการจดสิทธิบัตรสำหรับการรีไซเคิลที่ครอบคลุมของก๊าซ SF_6 ที่ปนเปื้อนบนพื้นฐานของกระบวนการแช่แข็ง (Cryogenic process) ที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6 ที่ถูกรีไซเคิลโดยใช้เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้มีค่าประมาณ 99.99 เปอร์เซ็นต์ และสอดคล้องกับระดับทางเทคนิคตามมาตรฐาน IEC 60376 (มาตรฐานสำหรับก๊าซใหม่) ซึ่งทำให้ SF_6 สามารถถูกนำมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง การใช้ก๊าซ SF_6 ที่ถูกรีไซเคิลจะช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนและทำให้มีศักยภาพในการประหยัดต้นทุนถึง 30 เปอร์เซ็นต์

ข้อได้เปรียบทางเทคนิคที่สำคัญมากของกระบวนการใหม่นี้เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วคือการที่สามารถทำการรีไซเคิล SF_6 โดยไม่ต้องคำนึงถึงชนิดหรือระดับการปนเปื้อน เทคโนโลยีที่มีอยู่นั้นประสบปัญหาจากการที่ไม่สามารถดูแลสิ่งปนเปื้อนและระดับการปนเปื้อนทั้งหมดในกระบวนการเดียว ยิ่งกว่านั้นระดับของการเป็นอัตโนมัติที่เป็นอยู่ในกระบวนการใหม่ทำให้ได้ผลลัพธ์และประสิทธิภาพทางพลังงานที่สูงกว่ามาก

การมอนิเตอร์ก๊าซ SF_6 แบบออนไลน์ด้วยอุปกรณ์ CBS

การลดการรั่วไหลของก๊าซเป็นเรื่องที่สำคัญมากสำหรับ SF_6 การมอนิเตอร์แบบออนไลน์ของอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซ SF_6 ทำให้ได้การดูแลอย่างต่อเนื่องและสามารถเข้าแก้ไขได้เร็วเมื่อมีการรั่วไหลของก๊าซ SF_6 Circuit Breaker Sentinel™ ของเอบีบีในเรื่องของการตรวจสอบสภาพจะมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดและชุดของเซ็นเซอร์ เพื่อจะหาความดันขดเขยอุณหภูมิภายในสวิตช์เกียร์ฉนวนก๊าซในกล่องหุ้มเดี่ยว (CBS-F_6) ซอฟท์แวร์บนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์จะทำให้ได้การมอนิเตอร์ระยะไกลและแนวโน้มต่อเนื่องของการเบี่ยงเบนจากความดันที่ถูกกำหนด (ดูรูปที่ 5)

SF_6 เป็นก๊าซที่มนุษย์สร้างขึ้นมาและเป็น 1 ใน 6 ของก๊าซเรือนกระจกที่ระบุไว้ใน Kyoto Protocol ณ วันนี้ถือว่า SF_6 เป็นเพียงประมาณร้อยละ 0.1 ในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก แม้ว่าจะมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 22,800 (*) เท่า

ข้อเท็จจริงของ SF_6
- เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ไม่เป็นพิษ
- ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน
- อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ SF_6 มีความปลอดภัยเป็นอย่างมาก
- ก๊าซจะถูกกักเก็บและรีไซเคิลถ้ามีส่วนของอุปกรณ์หรือสถานีไฟฟ้าย่อยมีการเปิดออก
- สามารถเอาออกจากระบบนิเวศผ่านกระบวนการความร้อนที่เปลี่ยน SF_6 ไปเป็นสสารธรรมชาติฟลูออไรด์และยิปซั่ม
- ความสามารถในการทนไดอิเล็กทริกสูงมาก
- การดับอาร์กในเซอร์กิตเบรกเกอร์อย่างมีประสิทธิภาพ
- อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ SF_6 จะมีขนาดเล็กและเกือบจะไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษา
- ในการประยุกต์ใช้ทางไฟฟ้าของ SF_6 ถูกใช้แค่ในระบบปิดและที่ปลอดภัย

*Kyoto Protocal คือ ข้อตกลงระหว่างประเทศที่ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หาข้อมูลเพิ่มเติมจาก Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1998

(*) Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group 1, Climate Change 2007, Chapter 2.10.2

รูปที่ 1 ก๊าซ SF_6

Vattenfall เป็นหนึ่งในผู้ผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่ใหญ่ที่สุดในยุโรป บริษัทเป็นผู้นำในการพัฒนาและใช้เทคโนโลยีใหม่ซึ่งทำให้เกิดการผลิตพลังงานอย่างยั่งยืนเชิงสิ่งแวดล้อม การใช้ LTA CO_2 ในรูปแบบดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ (DCB) นี้ จึงเป็นส่วนที่สำคัญในความพยายามของ Vattenfall ในการบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว (เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ติดตั้งใหม่ในสวีเดนล้วนแต่เป็นดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์)

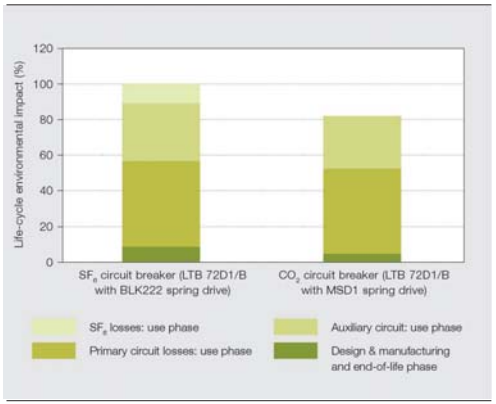
DCB เป็นแนวคิดที่ริเริ่มโดยเอบีบีในปี 2000 ด้วยการรวมฟังก์ชั่นการตัดตอนเข้ากับเซอร์กิตเบรกเกอร์ DCB จึงไม่จำเป็นต้องมีสวิตช์ตัดตอนแยกและเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ และความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอุปกรณ์ตลอดช่วงอายุใช้งาน ด้วยการใช้อุปกรณ์ปฐมภูมิที่น้อยกว่าดังนั้นจึงใช้วัสดุที่น้อยกว่า DCB มีความสูญเสียทางไฟฟ้าที่น้อยกว่าระหว่างช่วงการใช้งานเนื่องจากมีค่าความสูญเสียทางอุณหภูมิไฟฟ้าที่ต่ำกว่า และยังช่วยประหยัดพื้นที่สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์

เซอร์กิตเบรกเกอร์ LTA CO_2 ได้ถูกติดตั้งในโครงการนำร่องที่สถานีไฟฟ้าย่อย 132/45 kV ในประเทศสวีเดนและให้การทำงานโดยไม่ผิดพลาดตั้งแต่ปี 2010 และถูกดำเนินการโดย Vattenfall และประกอบด้วย 132kV จำนวน 6 เบย์ และ 45kV จำนวน 9 เบย์

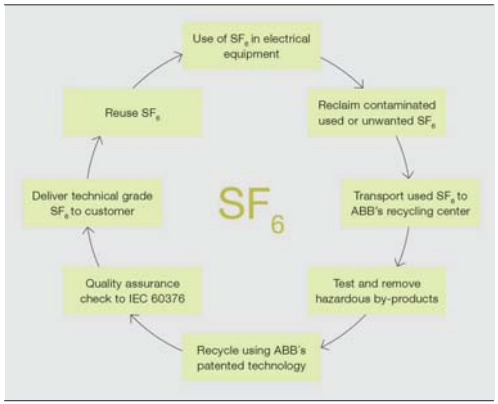
LTA CO_2 DCB ได้ถูกใช้เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัสบาร์และทำหน้าที่ สองอย่างคือเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์รองรับวงจรของคาแปคซิเตอร์แบงค์ในระยะเวลาหนึ่ง และเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรสายในระยะเวลาส่วนที่เหลือของปีและได้ทำงานประมาณ 400 ครั้งต่อปี

LTA 72D1 ถูกออกแบบสำหรับระดับแรงดัน 72.5kV แต่ด้วยการทำงานที่ไม่ผิดพลาดในโครงการนำร่องที่ 145 kV ทำให้สามารถยืนยันศักยภาพสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ระดับแรงดันที่สูงขึ้นสำหรับเทคโนโลยี CO_2

รูปที่ 2 เรื่องความสำเร็จ LTA CO_2 DCB ในระบบไฟฟ้าในยุโรป



การประมาณอยู่บนพื้นฐานของระเบียบวิธีของ IPCC และมาตรฐาน ISO
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่าง LTA/LTB



รูปที่ 4 การรีไซเคิลแซ่แข็งของก๊าซ SF_6

เซนเซอร์กระแสเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber optic current sensors, FOCS)

ในช่วงไม่กี่ปีนี้ เซ็นเซอร์กระแสและแรงดันเริ่มที่จะนำมาใช้เปลี่ยนหม้อแปลงวัดแบบทั่วไปในการประยุกต์ใช้ในสวิตช์เกียร์อัจฉริยะ (Smart switchgear applications) สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแรงสูง FOCS เป็นทางเลือกอัจฉริยะสำหรับหม้อแปลงกระแสทั่วไป FOCS จะให้วิธีการแบบ "plug and play" และถูกออกแบบสำหรับการสื่อสารแบบ IEC 61850 ด้วยการอินเตอร์เฟสแบบดิจิตอล เซนเซอร์จะปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้วยการกำจัดน้ำมันหรือ SF_6 ซึ่งเป็นตัวกลางฉนวน และด้วยเหตุนี้จึงกำจัดความเสี่ยงในเรื่องของน้ำมันหกเลอะเทอะหรือเกิดการรั่วของก๊าซ FOCS ช่วยลดความจำเป็นในการใช้วัสดุ เช่น อลูมิเนียม สายเคเบิล ทองแดง เหล็กและฐานราก คอนกรีต อีกทั้งยังช่วยลดพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อย FOCS ของเอบีบีสามารถถูกผนวกรวมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Live tank รวมทั้งดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ (ดูรูปที่ 6)

เคเบิลเทอร์มิเนชันชนิดแห้ง (Dry cable termination)

เคเบิลเทอร์มิเนชั่นชนิดแห้งของเอบีบี เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบสำเร็จและถูกเติมด้วยสารประกอบซิลิโคนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจากโรงงาน (ดูรูปที่ 7) การประกอบสำเร็จจะทำให้ไม่มีความเสี่ยงในการจัดการที่ไม่ถูกต้องหรือความเสี่ยงในการที่น้ำมันจะหกเลอะเทอะหรือเกิดการรั่วไหลของสารเคมีระหว่างการขนส่งหรือ ณ สถานที่ติดตั้ง โซลูชั่นชนิดแห้งนี้มีประโยชน์เพิ่มเติมในกรณีที่มีความผิดพร่องเกิดขึ้น จะมีโอกาสที่น้อยลงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์รอบข้างและที่สำคัญมากกว่าคือผลที่จะก่อให้เกิดอันตรายกับบุคคลมีน้อยลง

การกล่าวถึงช่วงอายุของอุปกรณ์

ในแต่ละช่วงอายุของอุปกรณ์ จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การสูญเสียพลังงานและการผลิตของเสีย เอบีบีได้ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO เพื่อที่จะวัดและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอุปกรณ์ตลอดช่วงอายุของอุปกรณ์ ซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงการผลิต ช่วงการใช้งานและช่วงสุดท้ายของอายุของอุปกรณ์ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์จะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 ปี เอบีบียกระดับการมีประสบการณ์มากกว่า 100 ปี ในด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าแรงสูงในการปรับปรุงการออกแบบอุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงอายุของการใช้งาน

ช่วงการผลิต (Manufacturing phase)

ในช่วงดังกล่าวนี้ วัตถุประสงค์ของเอบีบีคือ การลดพลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ พลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์คือ ผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่จำเป็นในการผลิตหรือการบริการของอุปกรณ์ เป็นเวลานานหลายปีแล้วที่อุปกรณ์ของเอบีบีมีน้ำหนักเบาขึ้น ซึ่งหมายความว่าได้ใช้วัสดุลดลงต่อหน่วย kV และ kA สำหรับการส่งผ่านไฟฟ้า นอกจากนั้น ปริมาณของก๊าซ SF_6 ที่ใช้ในอุปกรณ์ของเอบีบีก็ลดลง ยกตัวอย่างเช่น จากช่วงปี 1995-2012 ปริมาณของก๊าซ SF_6 ที่ใช้ใน 420 kV เซอร์กิตเบรกเกอร์ใน AIS ได้ลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงปี 2006-2012 ปริมาณของก๊าซ SF_6 ใน 420 kV GIS ได้ลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ตามหลักปฏิบัติทั่วไปแล้วกระบวนการในช่วงการผลิตของเอบีบีจะมีจุดมุ่งหมายที่จะใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ช่วงการใช้งาน (Use phase)

เนื่องจากช่วงอายุของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ยาวนาน โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 30 และ 40 ปี และปัจจัยอื่นๆ (เช่น พลังงานที่ใช้ในการทำงาน) ช่วงการใช้งานจะมีผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมประมาณ 70-80% ยกตัวอย่างเช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้พลังงานในกลไลการทำงาน เอบีบีใช้กลไกสปริงที่มีขนาดกะทัดรัดซึ่งใช้พลังงานต่ำในการขับเคลื่อนแทนที่จะใช้กลไกไฮดรอลิกขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานมากกว่าตลอดช่วงการใช้งาน นอกจากนั้น ขณะที่กระแสไหลผ่านส่วนตัวนำของอุปกรณ์ จะก่อให้เกิดความสูญเสียเชิงอุณหภูมิไฟฟ้า (Electrothermal loss) การออกแบบพิเศษและวัสดุที่ใช้ของเอบีบีจะช่วยให้มีความสูญเสียความต้านทานที่ต่ำ ตัวกลางฉนวนที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น ก๊าซ SF_6 และน้ำมัน ถ้ารั่วไหลออกมานั้นจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ดังนั้นเอบีบีได้ทำให้มั่นใจว่าอัตราการรั่วไหลของก๊าซ SF_6 อย่างต่อเนื่องต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ระบบการปิดผนึกพิเศษอย่างดี และทำการพิสูจน์ก่อนใช้งานสำหรับการประยุกต์ใช้งานทั้งในร่มและกลางแจ้ง ถึงระดับอุณหภูมิต่ำลงไปถึง -55 องศาเซลเซียส

ช่วงสุดท้ายของการใช้งานของอุปกรณ์ (The end-of-life phase)

นอกเหนือจากการใช้เทคโนโลยีการรีไซเคิลล่าสุด เอบีบียังได้ใช้งานจากวัสดุรีไซเคิลและวัสดุที่จัดการได้ง่ายในอุปกรณ์ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เอกสารที่ถูกต้องด้วยการประกาศอย่างชัดเจน ยังช่วยเสริมสร้างเรื่องการรีไซเคิลและการกำจัดที่ดีขึ้น

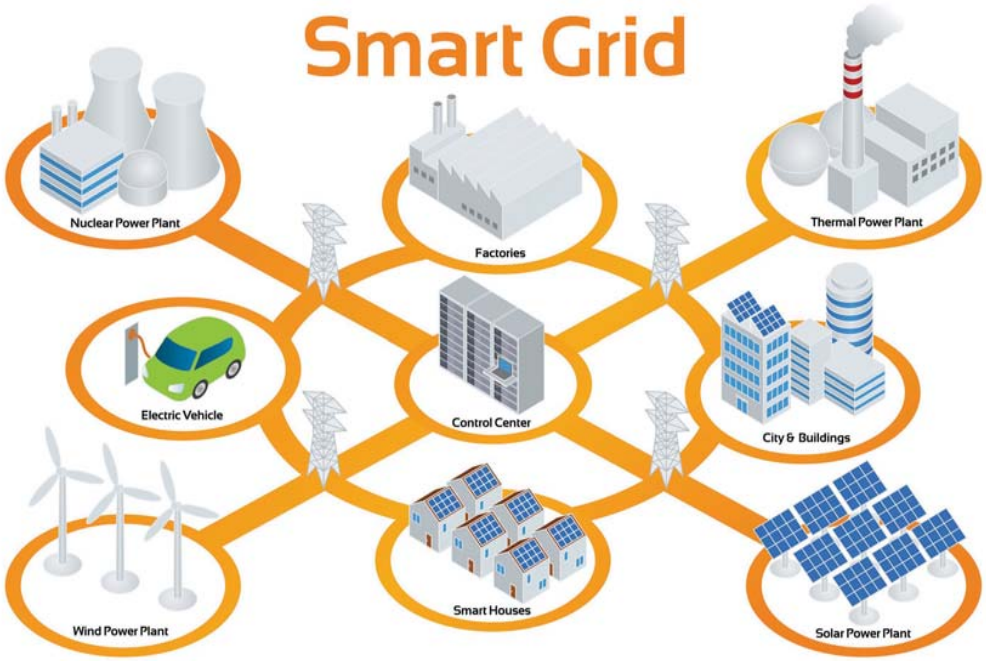
การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอุปกรณ์และโซลูชั่นของเอบีบีนับว่าเป็นการเดินทางอย่างต่อเนื่อง และเกี่ยวเนื่องด้วยการดำเนินการวิจัยและพัฒนาเพื่อค้นพบเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าและการประเมินผลอย่างต่อเนื่อง และลดผลกระทบจากอุปกรณ์และโซลูชั่นต่อสิ่งแวดล้อม

เรียบเรียงจาก
Namita Asnani, Fredi Stucki, "Improving eco-efficiency – ABB's high-voltage technologies are rising to the challeng", ABB Review Special Report (High-voltage products), page 28-32

รูปที่ 5 Circuit Breaker Sentinel CBS-F6 ของเอบีบี

รูปที่ 6 FOCS ที่ผนวกรวมกับดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ (DCB)

รูปที่ 7 TD145: เคเบิลเทอร์มิเนชันชนิดแห้งที่ประกอบสำเร็จสำหรับ 145kV



โครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid)

อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน (ตอนที่ 1)

ดร.จักรเพชร มัทราช > chakphed@gmail.com, chakphed.med@pea.co.th

กฟภ. ได้จัดทำแผนพัฒนาระบบไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความมั่นคง เชื่องพอและทั่วถึงตามมาตรฐานคุณภาพการให้บริการและการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าให้มีความพร้อมในการรองรับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีการบริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยได้บรรจุโครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) ที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการในแผนพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ให้เป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะหรือ PEA Smart Grid ภายในระยะเวลา 15 ปี เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟ ความเชื่อถือได้และคุณภาพของระบบไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

ศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) เพื่อการวางแผนและปฏิบัติการระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กประเภทต่างๆ ให้สามารถใช้ศักยภาพของระบบได้สูงสุด เป็นการเพิ่มความมั่นคง ความเชื่อถือได้และคุณภาพของระบบไฟฟ้าโดยรวม ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและบำรุงรักษา ลดหน่วยสูญเสียในระบบผลิตและจำหน่ายที่มีระยะทางไกล เพื่อลดต้นทุนการซื้อ และ/หรือ ผลิตไฟฟ้า ลดหน่วยสูญเสียในระบบสายส่งและระบบจำหน่าย ที่มีระยะไกล รวมไปถึงการเลื่อนแผนการลงทุนก่อสร้างสายส่งและสถานีไฟฟ้าเพื่อจัดหาแหล่งพลังงานให้กับพื้นที่ห่างไกลและมีพลังงานไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นการลดการลงทุนสำหรับการจัดการโหลดสูงสุด เพื่อสนับสนุนการเพิ่มปริมาณพลังงานทดแทนตามนโยบายของรัฐบาล เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และลดการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงเป็นการสนับสนุนนโยบายของรัฐบาลในการพัฒนาระบบไฟฟ้าในพื้นที่ให้เป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) และการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

ปัญหาที่มา

อ.แม่สะเรียง เป็นหนึ่งใน 7 อำเภอของ จ.แม่ฮ่องสอน ดังรูปที่ 1 จัดเป็นอำเภอที่มีความสำคัญของ จ.แม่ฮ่องสอน เนื่องจากมีที่ตั้งอยู่ห่างจากตัวจังหวัด (อ.เมืองแม่ฮ่องสอน) มากถึงประมาณ 164 กิโลเมตร จึงเป็นที่ตั้งของหน่วยงานราชการในระดับจังหวัดหลายแห่ง เช่น ศาลจังหวัด อัยการจังหวัด เรือนจำอำเภอ คลังจังหวัด ที่ดินจังหวัดขนส่งจังหวัด ด่านศุลกากร ด่านตรวจคนเข้าเมือง สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย ท่าอากาศยาน เป็นต้น รวมทั้งยังเป็นศูนย์กลางทางการค้าและพาณิชย์ สำหรับอำเภออื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียง เช่น อ.แม่ลาน้อย และ อ.สบเมย อ.แม่สะเรียง จัดเป็นอำเภอชั้น 1 ตามการจัดระดับชั้นของการบริหารราชการส่วนภูมิภาค ระดับอำเภอ ของกรมการปกครอง จำนวนหลังคาเรือนของ อ.แม่สะเรียง มีประมาณ 18,000 ครัวเรือน

สภาพภูมิประเทศของ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้สุ่มน้ำชั้น 1A มีต้นไม้หนาแน่น รับไฟจากระบบจำหน่ายยาวกว่า 200 กม. ดังรูปที่ 2 ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องจากต้นไม้บ่อยครั้ง และแต่ละครั้งดับเป็นเวลานาน เนื่องจากสภาพการเดินทางเพื่อแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องที่ไม่สะดวก และเมื่อพิจารณาจากระบบจำหน่ายทั้งหมดของ กฟภ. พบว่าพื้นที่ จ.แม่ฮ่องสอน มีสถิติกระแสไฟฟ้าขัดข้องสูงที่สุด แสดงดังตารางที่ 1

ระบบจำหน่ายที่มีระยะทางไกลทำให้ระบบจำหน่ายสถานีไฟฟ้าฮอด ฟีดเดอร์ 9 ซึ่งจ่ายให้พื้นที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน มีหน่วยสูญเสียในปี 2553 และ ปี 2554 เฉลี่ยสูงถึง 25,300 หน่วยต่อวัน ทำให้ กฟภ. ต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ระบบจำหน่ายที่มีระยะทางไกลทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกในระดับแรงดัน 22 kV เป็นบริเวณกว้าง แม้ กฟภ. ได้มีการติดตั้ง AVR ในวงจรนี้แล้วถึงสองเครื่อง แต่ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุด (19:00 น. - 22:00 น.) จำเป็นต้องมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเป็นประจำ ต้องใช้น้ำมันดีเซลปีละประมาณ 62,000 ลิตร ทำให้ กฟภ. ต้องรับภาระขาดทุนสูง

ประกอบกับปัจจุบันมีบริษัทเอกชนประเภท VSPP ได้ติดตั้งพลังงานทดแทน (Renewable Energy; RE) จาก

ตารางที่ 1 สถิติกระแสไฟฟ้าขัดข้องสองอันดับสูงสุดของ กฟภ.

ที่	จังหวัด	SAIFI (ครั้ง/ราย/ปี)			SAIDI นาที/ราย/ปี		
		2552	2553	2554	2552	2553	2554
1	แม่ฮ่องสอน	59.82	65.92	33.83	2054.25	1518.65	1,033.65
2	กระบี่	19.79	22.15	20.16	1057.10	1202.86	1,172.13
	ทั่วประเทศ	9.57	8.85	8.43	385.93	350.06	319.41

รูปที่ 1 พื้นที่เขตการติดต่อ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน

รูปที่ 2 สภาพภูมิประเทศ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน

พลังงานแสงอาทิตย์ (PV) ซึ่งมีความไม่แน่นอน (Intermittent) พิกัด 4 MW ซึ่งส่งผลต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในพื้นที่ ได้แก่ ปัญหาแรงดันสูงเกินหรือต่ำเกิน หรือปัญหาแรงดันกระเพื่อมอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแสงอาทิตย์ ส่งผลถึงขั้นทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับทั่วทั้งอำเภอได้

แนวคิดการแก้ไขปัญหา

จากนิยามของ Electric Power System Research (EPRI) รวมถึงร่างมาตรฐานของ IEC ได้นิยามว่าระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) คือระบบไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟแบบอิสระได้โดยไม่ต้องเชื่อมโยงกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหรือทำงานโดยขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิม ประกอบด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) และระบบควบคุม

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าซึ่งควบคุมด้วย Microgrid มีความสามารถเพิ่มความเชื่อถือได้และเพิ่มคุณภาพของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ กล่าวคือสามารถลดสถิติปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง (SAIFI) ลดระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับ (SAIDI) และแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกได้ ซึ่งหมายถึงสามารถใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าแทนในช่วงเกิด ไฟฟ้าดับในบางส่วนของพื้นที่ตามพิกัดความสามารถ หรือเรียกว่าทำงานในโหมดแยกจ่ายอิสระหรือแยกโดด (Islanding) อีกทั้งยังสามารถบูรณาการระบบจากการใช้งานพลังงานทดแทนซึ่งมีความไม่แน่นอน (Intermittent Resource Integration) เช่นพลังงานจากแสงอาทิตย์หรือจากลมให้มีเสถียรภาพ ทำให้พื้นที่สามารถเพิ่มปริมาณพลังงานทดแทนได้มากกว่าพื้นที่อื่นที่ไม่มีการติดตั้งใช้งาน อันเป็นการสนับสนุนการเพิ่มปริมาณพลังงานทดแทนตามนโยบายของรัฐบาล อย่างไรก็ตามในสภาวะปกติระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสามารถทำหน้าที่ตัดโหลดสูงสุด (Peak shaving) เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการลงทุนได้ เป็นการกักเก็บพลังงาน (Charge) ในช่วงค่าไฟฟ้าราคาถูก (Off-Peak) หรือกักเก็บพลังงานจากพลังงานทดแทนส่วนเกินที่ผลิตได้ และจ่ายพลังงานคืน (Discharge) ในช่วงค่าไฟฟ้าราคาแพง (Peak)

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้ามีหลากหลายชนิด ระบบหนึ่งที่มักเป็นทางเลือกเสมอหากมีทรัพยากรที่เพียงพอคือ Pumped Hydro Storage เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มหรือลดพิกัดได้ตามความต้องการ จ่ายโหลดได้เป็นระยะเวลาที่เพียงพอสำหรับตัดโหลดสูงสุด และมีใช้งานเป็นปกติทั่วโลก (Mature Technology) ทั้งนี้จากการศึกษาและสำรวจพบว่า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน มีทรัพยากรน้ำที่เพียงพอสำหรับจัดทำ ส่วนเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดอื่นที่เป็นที่นิยมใช้งานในระดับการไฟฟ้าทั่วโลกคือแบตเตอรี่ (Battery) เนื่องจากมีการตอบสนองที่เร็ว ทำให้มีความสามารถในการควบคุมปัญหาจากการใช้งานพลังงานทดแทนซึ่งมีความไม่แน่นอนได้ ซึ่งมีทั้งในส่วนที่มีการใช้งานเชิงพาณิชย์แล้วและอยู่ระหว่างการทดสอบการใช้งานอยู่หลายประเภท และเนื่องจากเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้ามีราคาค่อนข้างสูง การเลือกพิกัดและระยะเวลาการจ่ายโหลดต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานและเงินที่ กฟภ. ต้องลงทุน

ตารางที่ 2 โหลดในเขต อ.แม่สะเรียง แบ่งจ่ายเป็น 5 ฟีดเดอร์ ดังนี้

ระดับความสำคัญ	Feeder ย่อย	ผู้ใช้ไฟ	โหลด (MW)
ระดับ 1 (มากสุด)	Feeder 2	- โรงพยาบาลแม่สะเรียง - ที่ว่าการอำเภอแม่สะเรียง - ศาลจังหวัด - พื้นที่ในตัวอำเภอบางส่วน	0.9
ระดับ 2	Feeder 3	- โรงแรมแหล่งท่องเที่ยว - ร้านอาหาร - สถานีตำรวจ - เทศบาล - พื้นที่ตัว อ.บางส่วน	0.9
ระดับ 3	Feeder 1	- ศูนย์ราชการ อ. สบเมย - ถ.แม่สะเรียง-สบเมย	1
ระดับ 4	Feeder 4	- โรงเรียน - ถ.แม่สะเรียง อ.แม่ยวม	1
ระดับ 5	Feeder 5	- ถ.แม่สะเรียง อ.แม่ลาน้อย 1.3	
รวม			5.1

รูปที่ 3 ระบบส่งไฟฟ้ามายัง อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน

สภาพระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน

สภาพปัจจุบันของระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน แสดงดังในรูปที่ 3 ซึ่งรับไฟจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงลำพูน 2 (EGAT) ส่งผ่านระบบสายส่ง 115 kV มายังสถานีไฟฟ้าจอมทอง (PEA) และสถานีไฟฟ้าฮอด (PEA) และลดระดับแรงดันเป็นระบบสายจำหน่าย 22 kV เพื่อส่งจ่ายให้ตัวเมืองแม่สะเรียงที่มีระยะทางประมาณ 110 กม. ผ่านระบบไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าฮอดวงจรที่ 9 (HOA09) ดังรูปที่ 4 จากปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่ทำให้การไฟฟ้าสาขา (กฟส.) อ.แม่สะเรียง ต้องแบ่งระบบไฟฟ้าภายในพื้นที่ออกเป็น 5 ฟีดเดอร์ หรือวงจร เพื่อลดพื้นที่การเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องให้น้อยที่สุดดังตารางที่ 2 ตามระดับความสำคัญของโหลดนอกจากนี้รูปที่ 4 ยังได้แสดงถึงแหล่งผลิตไฟฟ้า (Distributed Generation; DG) ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3

ผู้ใช้ไฟฟ้าในเขต อ.แม่สะเรียง รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าฮอด โดยทำการส่งผ่านฟีดเดอร์ 22 kV วงจรที่ 9 (HOA09) ซึ่งมีระยะทางประมาณ 110 กม. โดยมีอุปกรณ์ควบคุมแรงดันฟีดเดอร์ (AVR) 2 เครื่องติดตั้งที่ กม.38 (กฟย.บ่อสลี) (HOA9R-01) และที่ กม.89 (แม่เหาะ) (HOA9R-06) มีพิกัด 400 A และ 300 A ตามลำดับ ในกรณีที่ฟีดเดอร์ 9 จาก สพ.ฮอด ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ ผู้ใช้ไฟรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากฟีดเดอร์ 6 จากสถานีไฟฟ้าจอมทอง (CEA06) ซึ่งมีระยะทางประมาณ 170 กม. โดยสับจ่ายให้กับฟีดเดอร์ 5 ของ กฟส.อ.แม่สะเรียง (MAA5) โดยพนักงานฯ กฟส.อ.แม่สะเรียง เป็นผู้ปฏิบัติการ

สรุปการวิเคราะห์การจ่ายไฟในปัจจุบัน

- ระบบไฟฟ้าแม่สะเรียงมีการสูญเสียพลังไฟฟ้าสูงถึง 19% คิดเป็นประมาณ 6.7 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี
- ระบบไฟฟ้าฯ มีสถิติไฟฟ้าดับ มากกว่า 20 ครั้งต่อปี โดยมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ชำรุด การซ่อมบำรุงระบบจำหน่ายและภัยธรรมชาติ ตามลำดับ
- ในช่วงโหลดสูง ต้องเดินเครื่องจักรดีเซลเพื่อช่วยเสริมแรงดัน
- โรงจักรพลังน้ำแม่สะเรียง ไม่สามารถจ่ายขนานกับโรงจักรดีเซลได้ในบางสถานการณ์ หากการจ่ายไฟจากกริดขัดข้อง
- โซล่าร์ฟาร์ม ไม่สามารถจ่ายขนานกับระบบกริดได้ในบางสถานการณ์ เนื่องจากเกิดแรงดันตก แรงดันเกินหรือแรงดันไม่สมดุลย์

รูปที่ 4 แหล่งผลิตไฟฟ้าและการจ่ายกระแสไฟฟ้าใน อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน

ตารางที่ 3 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ อ.แม่สะเรียง

รายการ	อ.แม่สะเรียง
1. ระบบไฟฟ้า (กฟภ.)	
- โรงจักรไฟฟ้าดีเซล (kVA)	2,000
: ขนาดติดตั้ง	(2x1000kVA)
: ความสามารถจ่ายโหลด (kW)	1,600
2. ระบบไฟฟ้า (พพ.)	
- โรงไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะเรียง (kVA)	1,250
: ขนาดติดตั้ง	(2x625kVA)
: ความสามารถจ่ายโหลด (kW)	800
2. ระบบไฟฟ้า (เอกชน.)	
- โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (kVA)	4,000
: ขนาดติดตั้ง	(4000kVA)

จากข้อสรุปข้างต้น พบว่าระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง มีข้อจำกัด (Constraints) หลายประการ ดังต่อไปนี้

- ขีดความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้า (Transfer capacity) อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ฟีดเดอร์โหลดต่ำกว่า 5 MW กล่าวคือเมื่อโหลดฟีดเดอร์ 9 ของสถานีไฟฟ้าฮอดสูงกว่า 5 MW กำลังไฟฟ้าสูญเสียจะสูง จึงมีประสิทธิภาพการจ่ายไฟต่ำ

- ระบบไฟฟ้าต้องการ Reactive Support เพื่อรักษาเสถียรภาพแรงดัน

- ระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง มีกระแสลัดวงจรต่ำ (~ 100 A – 200 A) มี MVAs/c ต่ำ (~10 MVA) จึงเป็นระบบที่ weak มาก ทำให้การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันมีค่าสูง เมื่อโหลดหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ส่งให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า และอาจทำให้ไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ (MW)ได้ เช่นกรณี hydro pumped storage เป็นต้น

- ระบบควบคุมและสั่งการยังคงพึ่งพาบุคลากรเป็นส่วนใหญ่ จึงต้องตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ก่อนลงมือปฏิบัติการเสมอ ทำให้เมื่อไฟฟ้าดับ ต้องใช้เวลานานกว่า 20 นาที ในการสับ-ปลดอุปกรณ์ก่อนที่จะจ่ายไฟจากโรงจักรดีเซลได้

ฉบับหน้าจะกล่าวถึง Microgrid Controller และตัวอย่างระบบ Microgrid ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานในต่างประเทศ ซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microgrid) อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ต่อไป

IEEE C57.13-2008

IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ตอนที่ 22)

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

8.4.2.2 Voltage transformers (หม้อแปลงแรงดัน)

To determine the polarity of voltage transformers using this method, do the following:
การตรวจสอบสภาพขั้วของหม้อแปลงแรงดันโดยใช้วิธีการนี้, ให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้:

a) Connect the high-turn windings of the two transformers in parallel, as shown in Figure 28, by connecting H_1 of the known transformer to H_1 of the unknown transformer and H_2 of the known transformer to H_2 of the unknown transformer.
ต่อขดลวดที่มีจำนวนรอบมากของหม้อแปลงทั้งสองตัวขนานกัน, ตามที่แสดงในรูปที่ 28, โดยการต่อ H_1 ของหม้อแปลงที่รู้ขั้วแล้ว เข้ากับ H_1 ของหม้อแปลงที่ยังไม่รู้ขั้ว และต่อ H_2 ของหม้อแปลงที่รู้ขั้วแล้ว เข้ากับ H_2 ของหม้อแปลงที่ยังไม่รู้ขั้ว.

b) Connect the low-turn windings through a voltmeter, as shown in Figure 28, by connecting X_1 of the known transformer to X_1 of the unknown transformer and X_2 of the known transformer to one voltmeter terminal and X_2 of the unknown transformer to the other voltmeter terminal.
ต่อขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อยผ่านโวลต์มิเตอร์ ดังที่แสดงในรูปที่ 28 โดยการต่อ X_1 ของหม้อแปลงที่รู้แล้วเข้ากับ X_1 ของหม้อแปลงที่ยังไม่รู้ แล้วต่อ X_2 ของหม้อแปลงที่รู้แล้วเข้ากับขั้วหนึ่งของโวลต์มิเตอร์ และต่อ X_2 ของหม้อแปลงที่ยังไม่รู้เข้ากับอีกขั้วหนึ่งของโวลต์มิเตอร์.

c) Energize the circuit at terminals H_1–H_2 from a controlled 60Hz voltage source.
ป้อนวงจรตรงตำแหน่ง H_1–H_2 จากแหล่งจ่ายแรงดันความถี่ 60Hz ที่มีการควบคุม.

d) If the voltmeter reads zero, the polarity of the unknown transformer is as marked. If the voltmeter reads the sum of the voltages of the low-turn windings, the polarity of the unknown transformer is reversed.
ถ้าโวลต์มิเตอร์อ่านค่าเป็นศูนย์, แสดงว่าสภาพขั้วของหม้อแปลงที่ยังไม่รู้นั้นตรงตามที่ทำเครื่องหมายไว้. แต่ถ้าโวลต์มิเตอร์อ่านค่าผลรวมของแรงดันของขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย, แสดงว่าสภาพขั้วของหม้อแปลงที่ยังไม่รู้นั้นกลับด้าน.

8.4.3 Direct comparison of winding voltages (การเปรียบเทียบแรงดันขดลวดโดยตรง)

To determine the polarity of instrument transformers using this method, do the following:
การตรวจสอบสภาพขั้วของหม้อแปลงเครื่องมือวัดโดยใช้วิธีการนี้, ให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้:

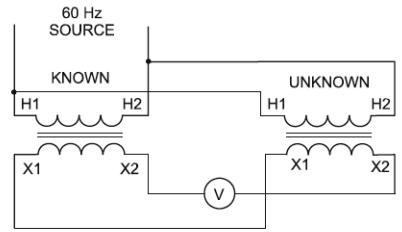
a) Connect the high-turn and low-turn windings as shown in Figure 29. In most cases, the high-turn winding of a current transformer is X_1–X_2 and that of a voltage transformer is H_1–H_2.

ต่อขดลวดที่มีจำนวนรอบมากและขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ตามที่แสดงในรูปที่ 29. กรณีส่วนใหญ่, ขดลวดที่มีจำนวนรอบมากของหม้อแปลงกระแสจะเป็นขดลวด X_1–X_2, และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากของหม้อแปลงแรงดันจะเป็นขดลวด H_1–H_2.

b) Energize the circuit from a controlled voltage source at the terminals AB of the high-turn winding.
ป้อนวงจรจากแหล่งจ่ายแรงดันที่มีการควบคุมเข้าไปที่ขั้ว AB ของขดลวดที่มีจำนวนรอบมาก.

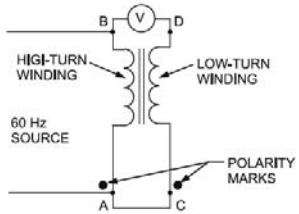
c) Read the value of the voltages across AB and BD.
อ่านค่าของแรงดันที่ตกคร่อม AB และ BD.

d) If the voltage across BD is less than the voltage across AB, the polarity is as marked. If the voltage across BD is greater than the voltage across AB, the polarity is reversed.
ถ้าแรงดันคร่อม BD น้อยกว่าแรงดันคร่อม AB, แสดงว่าสภาพขั้วของหม้อแปลงตรงตามที่ทำเครื่องหมายไว้. แต่ถ้าแรงดันคร่อม BD มีค่ามากกว่าแรงดันคร่อม AB, แสดงว่าสภาพขั้วของหม้อแปลงกลับด้าน.



WARNING
High voltages will be present on the high-voltage terminals of both transformers. Safety precautions should be taken.
คำเตือน
ไฟฟ้าแรงสูงจะปรากฏขึ้นบนขั้วต่อสายไฟฟ้าแรงสูงของหม้อแปลงทั้งสองตัว. ข้อควรระวังด้านความปลอดภัยควรจะนำมาบังคับใช้.

Figure 28 Polarity by comparison with voltage transformer of same ratio and known polarity
รูปที่ 28 การตรวจสอบสภาพขั้วโดยเปรียบเทียบกับหม้อแปลงแรงดันที่มีอัตราส่วนเหมือนกันและรู้สภาพขั้วแล้ว[๕๘๓ – ๕๘๕]



WARNING
The source voltage should always be impressed across the high-turn winding; otherwise, dangerously high voltages might be encountered.
คำเตือน
แรงดันของแหล่งจ่ายควรจะป้อนให้กับขดลวดที่มีจำนวนรอบสูงเสมอ; มิฉะนั้น, อาจจะต้องเผชิญกับไฟฟ้าแรงสูงในระดับที่เป็นอันตรายได้.

NOTE : The suitability of this method for high-ratio transformers is limited by the sensitivity of the voltmeter used.
หมายเหตุ : ความเหมาะสมของวิธีการนี้สำหรับหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนการแปลงสูง ถูกจำกัดด้วยความไวของโวลต์มิเตอร์ที่ใช้.

Figure 29 Polarity by comparison of winding voltages
รูปที่ 29 การตรวจสอบสภาพขั้วโดยการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขดลวด[๕๘๖]

๕๘๓
ถาม: ขอให้ช่วยอธิบายเพิ่มเติมว่า วงจรทดสอบตาม Figure 28 ของมาตรฐานฉบับนี้อาศัยหลักการวิเคราะห์อย่างไร ?
ตอบ: หนังสือ Instrument Transformers, B. Hague, 1936, p. 587-588 (อ้างอิงมาตั้งแต่ C57.13-1968 ถึงฉบับปัจจุบัน) อธิบายว่า
For voltage transformers a differential connection with correct polarity, Fig. 286 (b), should result in V reading nearly zero; again to avoid accidental incorrect connection V should have a range of 200 volts.
การทดสอบด้วยผลต่างสำหรับหม้อแปลงแรงดันตามรูปที่ 286(b) หากสภาพขั้วทำเครื่องหมายไว้ถูกต้อง โวลต์มิเตอร์ V ควรอ่านค่าได้เกือบเป็นศูนย์ (แรงดันหักล้างกันเกือบพอดี) ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันกรณีที่ทำเครื่องหมายสภาพขั้วไว้ผิดพลาด ควรจะใช้โวลต์มิเตอร์ V ที่อยู่ในช่วง 200 V (ให้สามารถรองรับผลรวมของแรงดันทุติยภูมิได้)

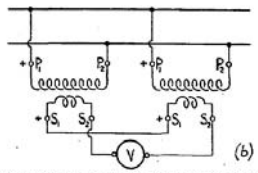


Fig. 286. Differential Methods for Testing Polarity Using Standard Transformer

๕๘๔
ถาม: วงจรทดสอบตาม Figure 28 ของมาตรฐานฉบับนี้ และวงจรที่อธิบายในเชิงอรรถข้อที่แล้ว เป็นการต่อขดลวดทุติยภูมิในลักษณะที่ให้แรงดันหักล้างกัน อยากทราบว่าถ้าจะต่อขดลวดทุติยภูมิให้แรงดันเสริมกันจะได้หรือไม่ ?
ตอบ: หนังสือ Manual of Instrument Transformers, Cat. GET-97D, General Electric, 1976, p.27 แนะนำไว้ว่า
Differential Method – In this method of making a polarity test, as illustrated by Fig. 29, the primaries of both the "standard" and "test" transformers are excited simultaneously, and a voltmeter is used to make a differential measurement in the secondary circuits. The voltmeter should read Vs1 + Vs2 (arithmetical sum) when the polarities are in accordance with this illusrration.
การทดสอบสภาพขั้วตามรูปที่ 29 มีหลักการทั่วไปเหมือนกับคำอธิบายของข้อที่แล้ว แต่เปลี่ยนการต่อวงจรให้มิเตอร์อ่านผลรวมแรงดัน แทนที่จะอ่านผลต่างอย่างที่อธิบายในข้อที่แล้ว
ตามคำแนะนำของ General Electric (GE) ข้างต้น แสดงว่าหากต้องการต่อขดลวดทุติยภูมิให้แรงดันเสริมกันก็สามารถทำได้

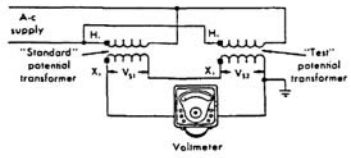


Fig. 29. Connection diagram of potential transformers and the associated equipment used to determine the polarity of one of the transformers by the differential method

๕๘๕
ถาม: ขอให้ช่วยเปรียบเทียบข้อดี/ข้อเสียของวงจรทดสอบตาม Figure 28 ของมาตรฐานฉบับนี้ กับวงจรทดสอบของ GE ในข้อที่แล้ว ?
ตอบ: ข้อดีของวงจรทดสอบตาม Figure 28 ของมาตรฐานฉบับนั้นคือ สามารถใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีสเกลต่ำๆ ได้ หากมั่นใจว่าเครื่องหมายสภาพขั้วถูกต้องแล้ว เพราะการทดสอบปกติจะให้ค่าแรงดันเกือบเป็นศูนย์ แต่ก็มีข้อเสียคือ หากโวลต์มิเตอร์นั้นเสียทำให้เข็มไม่กระดิก ทั้งๆ ที่เครื่องหมายสภาพขั้วผิดอยู่ กรณีนี้ผู้ทดสอบอาจติความพลาด (ปล่อยให้ผ่าน) เพราะคิดว่าเครื่องหมายสภาพขั้วถูกต้องแล้ว
ข้อดีของวงจรทดสอบตามคำแนะนำของ GE คือ สามารถป้องกันความผิดพลาดหากโวลต์มิเตอร์นั้นเสีย เพราะการทดสอบปกติจะให้ค่าแรงดันที่เป็นผลรวมแรงดันทุติยภูมิทั้งสองชุด ซึ่งถ้ามิเตอร์ไม่แสดงค่าก็ย่อมจะไม่ปล่อยให้ผ่านการทดสอบ ส่วนข้อเสียก็คือ จำเป็นต้องใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีสเกลสูงๆ ทุกครั้ง (ประมาณ 200 V)
๕๘๖
ถาม: ขอให้ช่วยอธิบายเพิ่มเติมว่า วงจรทดสอบตาม Figure 29 ของมาตรฐานฉบับนี้อาศัยหลักการวิเคราะห์อย่างไร ?
ตอบ: หนังสือ Instrument Transformers, B. Hague, 1936, p. 588 (อ้างอิงมาตั้งแต่ C57.13-1968 ถึงฉบับปัจจุบัน) อธิบายว่า
Differential methods without the use of standard transformers are also easily devised, as shown in Fig. 287. For a current transformer, Fig. 287 (a), the current Ip is observed when the switch is on contact a. Then if the polarity is correct, the ammeter reading should be higher when the switch is turned to b. Similarly, for a voltage transformer, Fig. 287 (b), about 100 volts is applied to the primary and is measured by putting the switch on a. Then with correct polarity the reading will fall if the switch is moved to b.
การทดสอบแบบผลต่างที่ไม่ต้องใช้หม้อแปลงมาตรฐาน ก็สามารถทำได้ง่ายๆ ตามรูปที่ 287 สำหรับหม้อแปลงกระแสตามรูปที่ 287(a) กระแส Ip จะสังเกตได้เมื่อสวิตช์ต่อกับหน้าสัมผัส a ถ้าหากสภาพขั้วกำหนดไว้ถูกต้อง แอมมิเตอร์จะอ่านค่าได้สูงขึ้นเมื่อสวิตช์เปลี่ยนไปที่หน้าสัมผัส b ในทำนองเดียวกันสำหรับหม้อแปลงแรงดันตามรูปที่ 287(b) เมื่อป้อนแรงดันประมาณ 100 V

8.5 Resistance measurements (การวัดความต้านทาน)[๕๗,๕๘]

These measurements are made on instrument transformers for the following reasons:
การวัดความต้านทานเหล่านี้กระทำต่อหม้อแปลงเครื่องมือวัด เพื่อจุดประสงค์ดังต่อไปนี้:

a) To calculate relaying accuracy of type C current transformers
ทำการคำนวณความแม่นยำด้านงานป้องกันของหม้อแปลงกระแสที่เป็นชั้น C

b) To establish the winding resistance at a known temperature for use in temperature rise tests
ทำการกำหนดความต้านทานของขดลวด ณ อุณหภูมิที่รู้ค่าแล้ว เพื่อใช้ในการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

c) To calculate winding temperatures and temperature rises at the completion of temperature rise tests
ทำการคำนวณอุณหภูมิของขดลวดและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

d) To permit calculation of ratios under load conditions (for voltage transformers)
ทำให้สามารถคำนวณอัตราส่วนการแปลงภายใต้สภาวะที่มีโหลดต่างๆ ได้ (สำหรับหม้อแปลงแรงดัน)

WARNING
Windings other than the one whose resistance is being measured should be short-circuited. This is important both as a safety measure to prevent the induction of high voltages and to reduce the time required for the direct current to stabilize.

คำเตือน
ขดลวดอื่นๆ นอกเหนือจากชุดที่กำลังวัดความต้านทานอยู่ควรจะลัดวงจรไว้. นี่คือสิ่งสำคัญทั้งในแง่ของมาตรการความปลอดภัยป้องกันการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแรงสูง และลดเวลาที่กระแสตรงต้องใช้เพื่อเข้าสู่ระดับคงที่.[๕๘ก]

A resistance can be measured either as a two-terminal network or as a four-terminal network. In a two-terminal measurement, the resistance network is connected to the measuring circuit through one pair of leads. Thus, both contact resistance at the points of connection and lead resistance become part of the resistance being measured, and to the extent they are unknown, the two-terminal resistance is indefinite.
ความต้านทานสามารถวัดได้ทั้งแบบวงจรสองขั้วหรือแบบวงจรสี่ขั้ว. การวัดแบบวงจรสองขั้ว, วงจรความต้านทานจะต่อเข้ากับวงจรในการวัดโดยผ่านสายไฟฟ้าคู่หนึ่ง. ดังนั้น, ความต้านทานที่หน้าสัมผัสทั้งสองตรงจุดต่อ และความต้านทานของสายไฟฟ้า จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของความต้านทานที่กำลังวัดอยู่ด้วย, และขอบเขตตรงนี้เป็นสิ่งที่ไม่รู้ค่า, ความต้านทานแบบสองขั้วจึงระบุค่าที่แน่นอนไม่ได้.

If, however, a resistance network is made four-terminal, its resistance can be defined precisely and measured by four-terminal techniques. One pair of terminals (current terminals) is located outside a second pair (potential terminals) as shown in Figure 30.
อย่างไรก็ตาม, หากทำให้วงจรความต้านทานเป็นแบบสี่ขั้ว, ความต้านทานของมันจะสามารถระบุได้อย่างเที่ยงตรงและวัดค่าได้ด้วยเทคนิคแบบสี่ขั้ว. ขั้วต่อสายคู่หนึ่ง (ขั้วต่อสายกระแส) จะจัดวางไว้ด้านนอกของขั้วต่อสายคู่ที่สอง (ขั้วต่อสายแรงดัน) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 30.

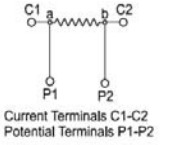


Figure 30 Four-terminal network for resistance measurement
รูปที่ 30 วงจรแบบสี่ขั้วสำหรับการวัดความต้านทาน

The resistance is defined as the open-circuit voltage across the potential terminals divided by the current entering and leaving the current terminals. Thus, for example, if the resistance of a winding between two points a and b is needed, the potential leads are connected to terminals P1 and P2, and the current leads are connected to terminals C1 and C2.
ความต้านทานกำหนดให้มีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจรคร่อมปลายสายแรงดันหารด้วยกระแสที่ไหลเข้าและออกจากปลายสายกระแส. ตัวอย่างเช่น, ถ้าต้องการหาความต้านทานของขดลวดระหว่างสองจุดคือ a และ b สายวัดแรงดันก็ต่อเข้ากับขั้ว P1 และ P2, และสายป้อนกระแสก็ต่อเข้ากับขั้ว C1 และ C2.

There is no precise rule that governs the selection of a four-terminal measurement over a two-terminal one. The choice depends primarily on the magnitude of the resistance and on the accuracy to which it is to be measured. However, either contact resistance or uncertainties in lead resistance may be as much as 0.01 Ω. If these are an appreciable part of the resistance to be measured, a four-terminal measurement is dictated.
ไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวพอที่จะบอกได้ว่าการเลือกใช้การวัดแบบสี่ขั้วเหนือกว่าการวัดแบบสองขั้ว. การเลือกนั้นขึ้นอยู่กับขนาดความต้านทานและขึ้นอยู่กับความแม่นยำที่ต้องการวัดออกมา. อย่างไรก็ตาม, ไม่ว่าจะเป็นความต้านทานของหน้าสัมผัสหรือความไม่แน่นอนของความต้านทานในสายตัวนำก็ตาม อาจจะมีค่าได้อย่างมากประมาณ 0.01 Ω. ดังนั้นหากความต้านทานระดับนี้เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญมากพอต่อค่าความต้านทานที่วัดออกมาได้, การวัดแบบสี่ขั้วก็เป็นสิ่งจำเป็น.

Both two-terminal and four-terminal resistance measurements may be made using voltmeter- ammeter methods or bridge methods.
ทั้งการวัดความต้านทานแบบสองขั้วและสี่ขั้ว อาจจะทำได้โดยด้วยวิธีการที่ใช้โวลต์มิเตอร์-แอมมิเตอร์ หรือวิธีการที่ใช้วงจรบริดจ์.

8.5.1 Voltmeter-ammeter methods (วิธีการที่ใช้โวลต์มิเตอร์-แอมมิเตอร์)

The potentiometric method to be employed is described in 5.3.2 of IEEE Std C57.12.90.
วิธีการใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ให้ทำตามที่บรรยายในข้อ 5.3.2 ของมาตรฐาน IEEE Std C57.12.90.[๕๙๐,๕๙๑, ๕๙๒]

8.5.2 Bridge methods (วิธีการที่ใช้วงจรบริดจ์)

When two-terminal measurement is adequate, the Wheatstone bridge is recommended. When four-terminal measurements are necessary, the double-ratio arm (Kelvin) bridge is required. Both types are commercially available and require minimum external equipment.
เมื่อการวัดแบบสองขั้วเป็นสิ่งที่เพียงพอ, ขอแนะนำให้ใช้วงจรบริดจ์แบบวีตสโตน. เมื่อการวัดแบบสี่ขั้วเป็นเรื่องที่จำเป็นต้องกระทำ, ให้ใช้วงจรบริดจ์แบบแขนอัตราส่วนคู่ (เคลวินบริดจ์). วงจรบริดจ์ทั้งสองแบบสามารถจัดหาได้ในเชิงพานิชย์ และพึ่งพาอุปกรณ์ภายนอกน้อยที่สุด.

The Wheatstone bridge consists of a pair of ratio arms, an adjustable resistance arm for achieving balance, and an arm containing the resistance to be measured. In the commercial versions, the ratio arms are equipped so that any one of several ratios can be readily selected. Thus, resistances can be measured over a wide range with maximum resolution available from the adjustable arm.
วงจรบริดจ์แบบวีตสโตนประกอบด้วยแขนอัตราส่วนคู่หนึ่ง, แขนความต้านทานที่ปรับค่าได้เพื่อหาตำแหน่งสมดุล, และแขนที่บรรจุความต้านทานที่จะทำการวัด. รุ่นที่หาซื้อได้ในเชิงพานิชย์นั้น, แขนอัตราส่วนหลายค่าจะประกอบมาให้แล้ว เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้อัตราส่วนอันใดอันหนึ่งจากหลายค่านั้นได้. ดังนั้นความต้านทานจึงสามารถวัดได้ในขอบเขตที่กว้างพร้อมทั้งสามารถปรับความละเอียดสูงสุดได้จากแขนที่ปรับค่าได้.[๕๙๕]

The double-ratio arm bridge is more complex in both its design and its operation. Textbooks in electrical measurements contain excellent discussions of the bridge and should be consulted. Generally speaking, the bridge measures a four-terminal resistance in such a way that its points of attachment to the measuring circuit and its lead resistances do not enter into the measurement.
วงจรบริดจ์แบบแขนอัตราส่วนคู่มีความสลับซับซ้อนมากกว่า ทั้งแง่ของการออกแบบและการใช้งานของมัน. ตำราหลายเล่มด้านการวัดทางไฟฟ้าบรรจุคำอธิบายที่ดีเยี่ยมของวงจรบริดจ์แบบนี้ไว้ และควรจะหามาศึกษาด้วย. กล่าวโดยทั่วไปได้ว่า, วงจรบริดจ์แบบนี้ใช้วัดความต้านทานสี่ขั้วด้วยวิธีการที่ทำให้จุดต่อของวงจรการวัด และความต้านทานของสายตัวนำไม่เข้ามามีผลกระทบต่อการวัด.[๕๙๕]

ให้กับขดลวดปฐมภูมิ และวัดค่าเมื่อสวิตช์ต่อกับหน้าสัมผัส a ถ้าหากสภาพขั้วกำหนดไว้ถูกต้อง มิเตอร์จะอ่านค่าได้ลดลงเมื่อสวิตช์เปลี่ยนไปที่หน้าสัมผัส b

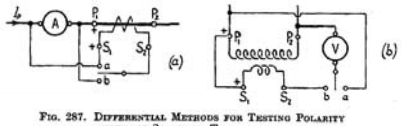


Fig. 287. Differential Methods for Testing Polarity without Standard Transformer

The test of Fig. 287 (b) gives rise to the term "subtractive polarity," often used in American publications, for transformers with their terminals marked according to our definitions. If, when two adjacent, similarly marked terminals of the primary and secondary windings, e.g. P1 and S1, are joined together and a voltage is applied to one of the windings, the voltage across the remaining pair of adjacent terminals (P2, S2) is smaller than that applied, then the polarity is termed "subtractive."
การทดสอบตามรูปที่ 287(b) ทำให้เกิดคำว่า "สภาพขั้วหักล้างกัน" ซึ่งใช้บ่อยในสิ่งพิมพ์ของอเมริกัน เมื่อกล่าวถึงหม้อแปลงต่างๆ ที่มีเครื่องหมายตรงขั้วต่อสายตามนิยามของมาตรฐาน ถ้าหากขั้วต่อสายที่ทำเครื่องหมายไว้เหมือนกันของขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิ ตัวอย่างเช่น P1 กับ S1 ต่อเข้าด้วยกัน และป้อนแรงดันเข้าไปที่ขดลวดชุดหนึ่ง แรงดันที่ตกคร่อมขั้วต่อสายคู่ที่เหลือ (P2, S2) จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ป้อนเข้าไป ดังนั้นสภาพขั้วแบบนี้จึงถูกเรียกว่า "หักล้างกัน"

[๕๘๗]
หนังสือ วิศวกรรมไฟฟ้า ๑, สัณห์ ศิวารัตน์, จุฬาฯ, ๒๕๑๒, หน้า ๗๔-๘๒ ให้ความรู้เกี่ยวกับการแบ่งความต้านทาน มีใจความดังนี้
(1) ความต้านทานต่ำ (Low resistance) มีค่า 1 โอห์ม และต่ำกว่า จะพบใน armature winding และ series field winding ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และมอเตอร์ (Motor), ในชั้นที่ของเครื่องวัดกระแส (ammeter shunt), ความยาวของเคเบิล (cable length) และจุดสัมผัส (contact) ฯลฯ
(2) ความต้านทานกลาง (Medium resistance) มีค่า 1 โอห์ม ถึง 100,000 โอห์ม ในเครื่องมือทางไฟฟ้าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างนี้
(3) ความต้านทานสูง (High resistance) มีค่าตั้งแต่ 100,000 โอห์มขึ้นไป เราพบในฉนวนต่างๆ
(I) การวัดความต้านทานต่ำ (Measurement of Low resistance) ประกอบด้วย (ก) Potentiometer method, (ข) Voltmeter and ammeter method, (ค) Kelvin double bridge, (ง) Ducter ohmmeter
(II) การวัดความต้านทานกลาง (Measurement of Medium resistance) ประกอบด้วย (ก) Voltmeter and ammeter method, (ข) Substitution method, (ค) Ducter ohmmeter, (ง) Potentiometer method, (จ) Kelvin double bridge, (ฉ) Wheatstone bridge
(III) การวัดความต้านทานสูง (Measurement of High resistance) ประกอบด้วย (ก) Megger method, (ข) Insulation meter
ผู้อ่านที่สนใจรายละเอียดของแต่ละวิธีการวัด สามารถหาอ่านได้จากหนังสือเล่มดังกล่าว ซึ่งหาได้ตามห้องสมุดมหาวิทยาลัยต่างๆ

[๕๘๘]
เดิม C57.13 กำหนดให้วัดความต้านทาน โดยที่ไม่เคยกำหนดเกณฑ์ตัดสินผลการวัดไว้เลย ผู้ผลิตเกือบทุกรายจึงระบุในผลการทดสอบว่าไม่มีเกณฑ์ตัดสิน นั่นคือ จะวัดได้เท่าไร กฟผ. ก็ไม่มีทางติหรือตรวจสอบอะไรได้ เพราะมาตรฐานไม่กำหนดเกณฑ์ไว้จริงๆ
แต่ว่า C57.13.5-2003 clause 8.3 Resistance measurement of relaying rated secondary windings (for CTs) และ clause 9.4 Resistance measurement of windings (for VTs) กำหนดเกณฑ์ไว้ว่า
The resistance data obtained shall be compared with the design values to ensure proper construction.
กฟผ. เองก็น่าจะกำหนดเกณฑ์นี้เข้าไปใน Specification ด้วย เพื่อบังคับให้ผู้ผลิตต้องระบุค่าที่ออกแบบไว้ควบคู่กับค่าที่ผลิตออกมาจริง ทั้งนี้ค่าที่ออกแบบไว้ก็ได้ผ่านการทดสอบการเพิ่มอุณหภูมิมาแล้ว หากว่าอุปกรณ์ที่ผลิตจริงมีความต้านทานสูงกว่าที่ออกแบบไว้ ย่อมหมายความว่าจะเกิดความร้อนขณะใช้งานมากขึ้นด้วย และทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่าตอนที่ทำการทดสอบต้นแบบเอาไว้

[๕๘๙]
คำเตือนนี้ของ C57.13-2008 เปลี่ยนแปลงมาจากข้อกำหนดธรรมดา C57.13-1993 (เดิมไม่ใช่คำเตือน แต่เป็นข้อกำหนดปกติ)

[๕๙๐]
IEEE C57.12.90 ฉบับปัจจุบันคือ IEEE C57.12.90-2006 (15 February 2007, Revision of IEEE C57.12.90-1999)

[๕๙๑]
ความจริงแล้ว Voltmeter-ammeter method กับ Potentiometric method เป็นวิธีการวัดความต้านทานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ในมาตรฐาน C57.13-1968 & 1978 แยกไว้คนละหัวข้อ แต่ C57.13-1993 จับมาปนกันกลายเป็นข้อนหัวข้อเข้าด้วยกัน อย่างที่เห็นในฉบับปัจจุบันด้วย

[๕๙๒]
หนังสือ วิศวกรรมไฟฟ้า ๑, สัณห์ ศิวารัตน์, จุฬาฯ, ๒๕๑๒, หน้า ๖๙ กล่าวไว้ว่า
เครื่องมือความต่างศักย์ (potentiometer) ใช้กันแพร่หลายในห้องทดลอง สำหรับเปรียบเทียบเครื่องวัดแรงดัน เครื่องวัดกระแส และวัดค่าความต้านทานได้อย่างถูกต้องแน่นอนกว่าเครื่องวัดแรงดัน เพราะ
(1) เครื่องวัดแรงดันมีส่วนที่ต้องเคลื่อนไหวเช่น เข็ม (pointer) จึงมีความผิดพลาด (error) เนื่องจากความฝืด (friction)
(2) เครื่องวัดแรงดันต้องการกระแส เพราะฉะนั้นกระแสที่ไหลในวงจรต้องแบ่งมาทางเครื่องวัดด้วย ทำให้มีข้อผิดพลาด
(3) เครื่องวัดแรงดันต้องใช้กำลังงาน (comsume power) ด้วยแม้จะเล็กน้อย แต่ถ้าเรานำในวงจรที่มีกระแสสมาคฺ กไม่กระทบกระเทือน ถ้าในวงจรซึ่งมีกระแสเล็กน้อยเป็น milliampere จะมีความผิดพลาดมากทีเดียว
ส่วน potentiometer ไม่มีข้อเสียหายดังกล่าว เพราะก่อนจะวัดศักด์จะต้องทำให้เป็นมาตรฐาน (standardize) กับเซลล์มาตรฐานทุกครั้ง

[๕๙๓]
หนังสือ วิศวกรรมไฟฟ้า ๑, สัณห์ ศิวารัตน์, จุฬาฯ, ๒๕๑๒, หน้า ๘๐ ให้ข้อคิดเกี่ยวกับการวัดตัวยวงจรบริดจ์ไว้ดังนี้
การวัดความต้านทานแบบ bridge ต่างๆ ต้องกลับทิศทางของกระแส แล้ววัดค่า R อีกครั้งหนึ่ง แล้วเฉลี่ยค่าความต้านทานที่หาได้ทั้งสองคราวนี้ ที่ทำเช่นนี้เพื่อจะแก้ผลกระทบกระเทือนต่อไปนี้
(1) เมื่อมีโลหะบางอย่างสองชนิดนำมาสัมผัสกัน จะมีความต่างศักดิ์ระหว่างผิวหน้าทั้งสอง ผลนี้เรียกว่า contact potential difference
(2) Thermocouple effect เมื่อโลหะต่างชนิดกันเชื่อม (join) ติดกันหัวท้าย ถ้ามีอุณหภูมิต่างกันระหว่างหัวท้าย จะมีความต่างศักดิ์ระหว่างหัวท้าย
(3) contact rectifier effect เมื่อวัตถุบางอย่างสองชนิดถูกนำมาสัมผัสกัน conductivity ผ่านผิวสัมผัสไปทางหนึ่งมากกว่าอีกทางหนึ่ง หมายความว่ายอมให้กระแสผ่านไปทิศทางหนึ่งได้มากกว่าที่จะผ่านอีกทิศทางหนึ่ง ผลอันนี้ที่เรานำไปทำเป็น rectifier
เนื่องจากผลทั้ง 3 ที่กล่าวแล้วนี้ กระทบกระเทือนในการวัดความต้านทานต่ำอย่างมาก ถ้าวัดความต้านทานสองครั้งโดยให้ทิศทางของกระแสสลับกัน แล้วนำผลมาเฉลี่ยก็จะแก้ผลกระทบกระเทือนเหล่านี้ได้

[๕๙๔]
ถาม: ขอให้ช่วยอธิบายหลักการวัดความต้านทานด้วยวีตสโตนบริดจ์อย่างละเอียด
ตอบ: หนังสือ เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า, อาภรณ์ เก่งพล (จุฬาฯ) & โอชามู นิชิโนะ (โตเกียว), พ.ศ. 2519, หน้า 86-88 อธิบายการวัดความต้านทานด้วยวีตสโตนบริดจ์ ไว้ดังนี้
หลักการของวีตสโตนบริดจ์
วงจรที่ประกอบด้วยแขนความต้านทาน (resistance arms) 4 แขน มีต้นกำเนิดแรงดันต่อคร่อมจุดร่วมแขนที่อยู่ตรงกันข้ามคู่หนึ่ง และมีกัลวานอมิเตอร์คร่อม จุดร่วมแขนอีกคู่หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 เรียกว่า วีตสโตนบริดจ์
สมมติในขณะนี้สวิตช์ K1 ปิด และ K2 เปิด ให้แรงดันคร่อม a˚b เป็น Vab แรงดันคร่อม c˚b และคร่อม d˚b จะเป็นดังนี้

$$V_{cb} = \frac{S}{P+S}V_{ab} \quad \text{และ} \quad V_{db} = \frac{R_x}{Q+R_x}V_{ab} \tag{1}$$

เราสามารถทำให้ ได้โดยการจัดค่าของ S และในสภาวะเช่นนี้ แม้ปิดสวิตช์ K2 แล้ว ก็จะไม่มีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เข็มของ G ก็จะไม่กระดิก
เราเรียกสภาวะนี้ว่าบริดจ์ได้สมดุล และจากสมการ (1) จะได้

$$\frac{P+S}{S} = \frac{P}{S}+1 \pm \frac{Q+R_x}{R_x} = \frac{Q}{R_x}+1 \tag{2}$$

นั่นคือเมื่อบริดจ์ได้สมดุลแล้ว เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$PR_x = QS \quad \text{หรือ} \quad R_x = \frac{Q}{P}S \tag{3}$$

ดังนั้นเราจะหาค่าความต้านทาน Rx ได้โดยการจัดบริดจ์ให้ได้สมดุล และโดยทราบค่าอัตราส่วนของความต้านทาน Q/P และค่าของ S
ความสัมพันธ์ในสมการ (3) เรียกว่าสภาวะสมดุลของบริดจ์ เมื่อบริดจ์ได้สมดุลแล้วมีข้อสำคัญที่ควรจะทราบ 3 ประการดังนี้คือ
1) การสับเปลี่ยนที่ระหว่างต้นกำเนิดแรงดันกับกัลวานอมิเตอร์จะไม่มีผลต่อสภาวะสมดุล
2) สภาวะสมดุลจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อแรงดันจากต้นกำเนิดแรงดันเปลี่ยนแปลงไป
3) กัลวานอมิเตอร์มีไว้เพื่อเป็นเครื่องสังเกตว่ามีกระแสไหลผ่านวงจรหรือไม่เท่านั้น ไม่ได้ใช้สำหรับอ่านค่าจากสเกล
แขน P และ Q ของบริดจ์เรียกว่าแขนอัตราส่วน (ratio arm) แขน S เรียกว่าแขนปรับค่า (adjusting arm) สำหรับแขนอัตราส่วนนั้นค่าความต้านทานของมันอาจไม่ต้องละเอียดถูกต้องมากนัก แต่ความเที่ยงตรงของอัตราส่วนถือว่ามีความสำคัญมาก ส่วนค่าความต้านทานของแขนปรับค่าจะต้องเที่ยงตรงมาก
ค่าอัตราส่วนความต้านทานของแขนอัตราส่วนมักมีค่าเป็นกำลังของสิบ เพื่อให้หาค่า R_x ได้ง่าย เพียงแต่ปรับค่าความต้านทานของแขน S แล้วคูณด้วยค่าอัตราส่วนซึ่งเป็นกำลังของสิบเท่านั้น

The lowest measurement uncertainty available from either type of bridge can be obtained if a substitution technique is employed. The technique, however, requires a known standard whose nominal value is the same as the resistance being measured. The bridge is first balanced with the standard in the unknown arm and is then rebalanced with the standard replaced by the unknown resistor. In this way, only the small difference between the two is measured, and since the other arms of the bridge remain unchanged, their values need not be known.

ความไม่แน่นอนของการวัดอย่างต่ำที่สุดที่จะได้จากวงจรบริดจ์แบบใดแบบหนึ่ง สามารถหาออกมาได้ด้วยเทคนิคการแทนที่. อย่างไรก็ตาม, เทคนิคนี้ต้องใช้มาตรฐานที่รู้ค่าแล้ว ซึ่งมีค่าปกติเหมือนกับความต้านทานที่กำลังตรวจวัด. วงจรบริดจ์จะทำให้สมดุลโดยใช้ความต้านทานมาตรฐาน ในตำแหน่งของแขนที่ไม่รู้ค่าก่อนเป็นอันดับแรก และจากนั้นค่อยทำให้สมดุลอีกครั้งโดยแทนที่ความต้านทานมาตรฐานด้วยความต้านทานที่ยังไม่รู้ค่า. ด้วยวิธีการนี้, ความแตกต่างเพียงเล็กน้อยระหว่างตัวต้านทานทั้งสองจะถูกวัดออกมา และเนื่องจากแขนอื่นๆ ของวงจรบริดจ์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง, จึงไม่จำเป็นต้องรู้ค่าที่แน่นอนของพวกมัน.

8.5.3 Reference temperature measurements (การวัดอุณหภูมิอ้างอิง)

The reference temperature of the winding may be determined accurately when measuring the winding resistance for use in temperature rise tests. The temperature of the winding shall not be assumed to be the same as the surrounding air.

อุณหภูมิอ้างอิงของขดลวดอาจหาค่าได้อย่างแม่นยำเมื่อทำการวัดความต้านทานของขดลวด เพื่อใช้ในการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น. อุณหภูมิของขดลวดจะต้องไม่สมมติเอาเองว่ามีค่าเหมือนกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม.

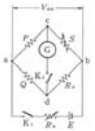
For dry-type transformers, the winding resistance measurements shall be made at a time when the transformer and surrounding air are at constant and substantially equal temperatures, and only after the transformer has been unexcited and had no current in its windings for a period of from 3 h to 8 h, depending on the size of the transformer. They shall not be made when the transformer is located in drafts or in an area in which the temperature is fluctuating rapidly.

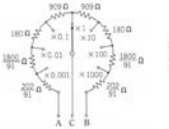
สำหรับหม้อแปลงแบบแห้ง, การวัดความต้านทานของขดลวดจะต้องกระทำตอนที่หม้อแปลงกับอากาศแวดล้อมมีสภาวะคงที่และมีอุณหภูมิแทบจะเท่ากัน, และต้องทำหลังจากที่หยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงแล้วเท่านั้น รวมทั้งต้องไม่มีกระแสไหลในขดลวดของหม้อแปลงเป็นเวลาตั้งแต่ 3 ชั่วโมงถึง 8 ชั่วโมงแล้ว, ขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง. การวัดความต้านทานต้องไม่กระทำตอนที่หม้อแปลงวางอยู่ใต้กระแสลมหรือในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ อย่างรวดเร็ว.๕๙๖,๕๙๗

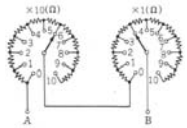
For dry-type, self-cooled transformers, the temperature of the windings shall be recorded as the average of the readings of several thermocouples or thermometers placed in contact with the external surface of the transformer as close as possible to the windings.

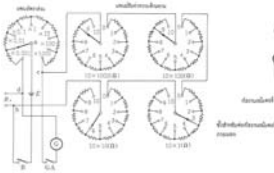
สำหรับหม้อแปลงแบบแห้ง, ที่ระบายความร้อนได้เอง, อุณหภูมิของขดลวดจะต้องบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยจากการอ่านอุณหภูมิของคู่ควบความร้อนหรือเครื่องวัดอุณหภูมิหลายๆ อันที่วางสัมผัสกับผิวด้านนอกของหม้อแปลง ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับขดลวดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้.๕๙๘

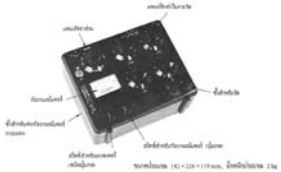
โปรดติดตามต่อฉบับหน้า


รูปที่ 1 วีตสโตนบริดจ์


รูปที่ 2 โครงสร้างของแขนอัตราส่วน


รูปที่ 3 ความต้านทาน 2 หลักต่อกันเป็นอนุกรม


รูปที่ 5 ไดอะแกรมของวีตสโตนบริดจ์ชนิดกระเป๋าหิ้ว


รูปที่ 6 รูปร่างโดยทั่วไปของวีตสโตนบริดจ์ชนิดกระเป๋าหิ้ว ๕๙๕

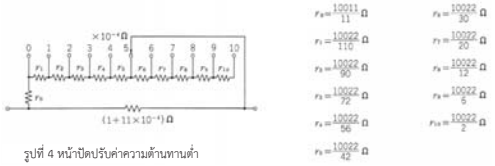
แขนอัตราส่วนและแขนปรับค่า

มีข้อที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับแขนอัตราส่วนและแขนปรับค่าของบริดจ์ดังนี้ ประการแรก ความต้านทานของจุดแตะสัมผัสของสวิตช์ที่ใช้ในการเปลี่ยนชุดความต้านทานของทั้งสองแขนจะทำให้ค่าความต้านทานไม่แน่นอน และประการที่สอง ต้องพยายามให้บริดจ์ทำงานให้ได้ผลตามจุดประสงค์โดยใช้จำนวนตัวต้านทานให้น้อยที่สุด ดังจะยกตัวอย่างต่อไปนี้

รูปที่ 2 แสดงถึงโครงสร้างของแขนอัตราส่วนซึ่งมีอัตราส่วน 10-3, 10-2, 10-1, 1, 10, 102 และ 103 ให้ความต้านทานที่ต่อระหว่างขั้ว AC และ CB เป็น RAC และ RCB ตามลำดับ จะเห็นได้ง่ายว่าค่าของ RAC/RCB จะมีค่าใดๆ ตามที่บ่งไว้ข้างต้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแปรงสัมผัสของขั้ว C ในตัวอย่างนี้ C เป็นขั้วที่จะต่อกับต้นกำเนิดแรงดันของบริดจ์หรือกับกัลวานอมิเตอร์ ดังนั้นความต้านทานของจุดแตะสัมผัสจึงไม่มีผลต่อสภาวะสมดุลของบริดจ์

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างหน้าปัดของความต้านทานหน่วยสิบ 2 หลักต่อกันเป็นอนุกรม ความต้านทานระหว่าง AB จะรวมความต้านทานของจุดแตะสัมผัสของแปรงทั้งสองซึ่งต่อกันเป็นอนุกรมไว้ด้วย เนื่องจากความต้านทานของจุดแตะสัมผัสมีค่าเป็นหลายๆ มิลลิโอห์ม เราจึงไม่สามารถสร้างหน้าปัดความต้านทานที่มีค่าต่ำมากๆ ได้ โดยปกติค่าจำกัดต่ำสุดที่หน้าปัดจะพึงมีได้คือขั้นละ 0.1 โอห์ม

รูปที่ 4 แสดงถึงวิธีที่จะจัดให้ได้ค่าความต้านทานน้อยๆ ขนาดขั้นละ 0.1 มิลลิโอห์ม เช่น (1+n×10-4) (ให้ n = 0, 1, 2, ..., 10) ในสเกลทศนิยม (decimal scale) หน้าปัดที่ใช้ในการวัดค่าที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนี้เรียกว่าหน้าปัดปรับค่าความต้านทานต่ำ หรือหน้าปัดวัดค่าบ่ายเบน (deviation dial) ความต้านทานที่มีค่าสูงถูกนำมาต่อขนานกับความต้านทานชุดหลัก ความต้านทานรวมของการต่อขนานนี้ ยังมีค่าสูงพอที่จะชดเชยความไม่คงที่ของค่าความต้านทานของจุดแตะสัมผัสได้ไร้ผลที่จะมีต่อค่าความต้านทานรวมนั้นได้



รูปที่ 4 หน้าปัดปรับค่าความต้านทานต่ำ

ตัวอย่างของวีตสโตนบริดจ์

รูปที่ 5 แสดงวงจรตัวอย่างของวีตสโตนบริดจ์ที่ใช้กันในทางปฏิบัติ ซึ่งเป็นชนิดกระเป๋าหิ้วที่มีแบตเตอรี่และกัลวาโนมิเตอร์ในตัว มีหน้าปัดชนิดหน่วยสิบ 4 หน้าปัดต่อกันเป็นอนุกรม สามารถให้ค่าความต้านทานได้ถึง 10 kΩ และย่านของการวัดสามารถปรับได้โดยการคูณค่าความต้านทานนี้ด้วยตัวคูณขยายย่าน คือ 10-3, 10-2, 10-1, 1, 10, 102 หรือ 103 ตามต้องการ รูปที่ 6 แสดงถึงรูปร่างลักษณะโดยทั่วๆ ไป หากต้องการปรับปรุงให้มีความไวในการจัดสมดุลดีขึ้น ก็สามารถทำได้โดยใช้กัลป์วานอมิเตอร์ต่อภายนอก

รูปที่ 6 รูปร่างโดยทั่วไปของวีตสโตนบริดจ์ชนิดกระเป๋าหิ้ว

ถาม: ขอให้ช่วยอธิบายหลักการวัดความต้านทานด้วยบริดจ์คู่ของเคลวินอย่างละเอียด

ตอบ: หนังสือ เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า, อาภรณ์ เก่งพล (จุฬาฯ) & โอซามุ นิชิโนะ (โตเกียว), พ.ศ. 2519, หน้า 89-93 อธิบายการวัดความต้านทานด้วยบริดจ์คู่ของเคลวิน ไว้ดังนี้

การวัดความต้านทานต่ำ

การวัดความต้านทานที่ต่ำกว่า 1 Ω ความต้านทานของสายต่อและของจุดแตะสัมผัสจะมีผลต่อการวัดนั้นด้วย ความต้านทานทั้งสองมีค่าประมาณ 1 mΩ หรือสูงกว่านั้น ดังนั้นผลการวัดย่อมขึ้นกับตำแหน่งที่ความต้านทานที่ต้องการวัดต่ออยู่ หรือวิธีการต่อกับเครื่องวัด

อีกกว่านั้น การวัดความต้านทานต่ำแรงดันที่คร่อมตัวต้านทานก็มีค่าต่ำ จึงต้องเพิ่มกระแสขึ้นแต่กระแสที่ยอมให้ไหลผ่านตัวต้านทานนั้น ก็ถูกจำกัดด้วยความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียของกำลังไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อความต้านทานที่ต้องการจะวัดยิ่งต่ำ ผลที่เกิดจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนก็ยิ่งมีมาก (อาจมีค่าถึง 10 μV)

ตัวต้านทานชนิดสี่ขั้ว

เพื่อขจัดปัญหาเรื่องผลที่เกิดจากวิธีการต่อขั้ว ตัวต้านทานที่มีค่าต่ำๆ จึงถูกสร้างให้มีขั้วต่อ 4 ขั้วดังแสดงในรูปที่ 1 ถ้ามีกระแส I ไหลผ่านระหว่างขั้วต่อกระแส ทำให้เกิดแรงดัน V ตกคร่อมขั้วแรงดันแล้ว ความต้านทานของตัวต้านทานชนิด 4 ขั้วจะมีค่าเป็น R = V/I ในขณะที่วัดค่า V ไม่ควรให้มีกระแสไหลออกมาจากขั้วแรงดันเลย

วิธีวีตสโตนบริดจ์

วงจรที่แสดงในรูปที่ 2 เป็นการใช้วีตสโตนบริดจ์แบบธรรมดาทำการวัดความต้านทานที่มีค่าต่ำโดยมี R_x เป็นความต้านทานที่ต้องการวัดและ S เป็นความต้านทานมาตรฐาน ซึ่งทั้งสองตัวเป็นตัวต้านทานชนิด 4 ขั้ว

ความต้านทานของ P และ Q ควรมีค่ามากเพียงพอที่จะละทิ้งค่าความต้านทานของสายต่อ (ρ และ ρ') เสียได้ r ที่แสดงในรูปเป็นค่าความต้านทานรวมของขั้วต่อกระแสกับของสายต่อ

เริ่มแรกให้บิดสวิตช์ K2 ไปอยู่ที่ตำแหน่ง 1 แล้วปรับค่า Q สมมติบริดจ์ได้ดุลที่ Q1 จะได้

$$\frac{P}{Q_1} = \frac{S}{R_x + r} \tag{1}$$

ต่อไปบิดสวิตช์ K2 ไปอยู่ที่ตำแหน่ง 2 ถ้าบริดจ์ได้ดุลที่ Q2 เราก็จะได้

$$\frac{P}{Q_2} = \frac{S + r}{R_x} \tag{2}$$

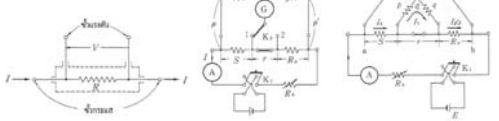
จากสมการทั้งสองนี้เราขจัดค่าของ r เสียจะได้

$$R_x = \frac{P + Q_1}{P + Q_2} \cdot \frac{Q_2}{P} S \tag{3}$$

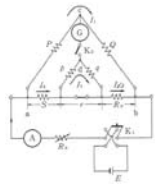
แอมมิเตอร์ที่อยู่ในวงจรของต้นกำเนิดแรงดันของบริดจ์ มีไว้เพื่อการตรวจสอบความร้อนที่เกิดขึ้นในวงจร และสวิตช์กลับทางมีไว้เพื่อขจัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น

วิธีการจัดสมดุลของบริดจ์ตามปกติให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้ เริ่มแรกให้สับสวิตช์ต่อวงจรของต้นกำเนิด ต่อไปให้ปิดสวิตช์ช่วงจรกัลวานอมิเตอร์ พอแตะชั่วขณะหนึ่งเพื่อดูทิศทางของกระแสณะที่ยังไม่ได้ดุล แล้วปรับค่าของ Q ให้ใกล้ดุลเข้ามา แล้วจึงแตะสวิตช์ K2 ดูอีก ทำเช่นนี้จนกระทั่งได้ดุล หากไม่ปฏิบัติดังที่กล่าวมาแล้ว โอกาสที่กัลวานอมิเตอร์จะไหม้เพราะการไม่ได้ดุลจะมีได้มาก ด้วยเหตุนี้จึงขอแนะนำว่าสวิตช์ K2 นี้ควรเป็นสวิตช์แบบปุ่มกดและปล่อย

การใช้บริดจ์ควรใช้ในที่ๆ มีอุณหภูมิล้อมรอบคงที่ เหตุผลประการแรกคือ เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนค่าตัวต้านทาน และประการที่สองเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน จากเหตุผลประการหลังนี้สายลวดที่ใช้และขั้วต่อต่างๆ ควรจะทำด้วยทองแดง


รูปที่ 1 ความต้านทานชนิดสี่ขั้ว

รูปที่ 2 การวัดความต้านทานค่าต่ำโดยวิธีใช้วีตสโตนบริดจ์


รูปที่ 3 การวัดความต้านทานค่าต่ำโดยวิธีใช้บริดจ์คู่ของเคลวิน

บริดจ์คู่ของเคลวิน

วงจรในรูปที่ 3 เป็นวงจรบริดจ์คู่ของเคลวิน (Kelvin's double bridge) ใช้ในการวัดความต้านทานต่ำโดยเฉพาะ เนื่องจากต้องทำให้

$$\frac{P}{Q} = \frac{p}{q} \tag{4}$$

เป็นจริงเสมอ P กับ p และ Q กับ q ต้องมีแกนร่วมและเปลี่ยนไปด้วยกัน p และ q เรียกว่าแขนอัตราส่วนช่วย (auxiliary ratio arms)

สมมติว่ากระแสไหลไปตามทิศทางที่แสดงไว้ในรูป ภายใต้สภาวะสมดุลเราจะได้

$$PI_1 = SI_2 + pI_3 \tag{5}$$

$$QI_1 = R_x I_2 + qI_3 \tag{6}$$

คูณสมการ (5) ด้วย Q และสมการ (6) ด้วย P แล้วลบกันจะได้

$$R_x = \frac{Q}{P} S \tag{7}$$

อาศัยความสัมพันธ์ในสมการ (4) จะได้

$$(SQ - R_x P) I_2 + (pQ - qP) I_3 = 0 \tag{8}$$

ความต้านทานของขั้วแรงดันสำหรับ S และ Rx ให้รวมอยู่ในค่าของ P, Q และ p, q โดยปกติค่าของ P และ Q มักเป็นประมาณ 10 Ω และค่าของ p และ q มักเป็นประมาณ 100 Ω

ในทางปฏิบัติแล้วเป็นการสุดวิสัยที่จะคงความสัมพันธ์ในสมการ (4) ไว้ให้แน่นอนได้โดยการต่อแกนของมันร่วมกัน อย่างไรก็ตามเมื่อแก้สมการที่ (7) แล้วเราจะได้

$$R_x = \frac{Q}{P} S + p\left(\frac{Q}{P} - \frac{q}{p}\right)\frac{I_3}{I_2} \tag{9}$$

และ I3 ก็เป็นส่วนหนึ่งของ I2 โดยอัตราส่วน r ต่อ (p+q) นั่นคือ

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{r}{p + q + r} \tag{10}$$

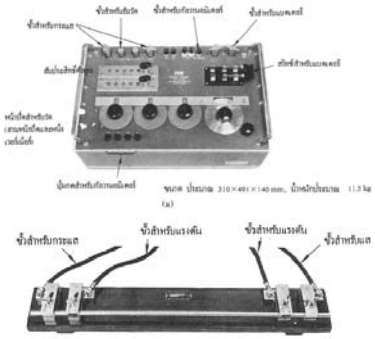
ดังนั้น

$$R_x = \frac{Q}{P} S + \left(\frac{Q}{P} - \frac{q}{p}\right)\frac{pr}{p + q + r} \tag{11}$$

จึงเป็นสภาวะที่ได้ดุลโดยแน่นอน โดยทั่วไป r มีค่าประมาณ 10 มิลลิโอห์มหรือต่ำกว่านั้น p และ q มีค่าประมาณ 100 Ω ดังนั้นเทอมที่สองทางด้านขวามือของสมการข้างบนก็อาจจะละทิ้งเสียได้ เมื่อสภาวะที่เป็นจริงใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ในสมการ (4)

กรณีของบริดจ์คู่นี้ ตัวต้านทานมาตรฐาน S ทั่วไปจะมีค่าประมาณ 0.1 Ω หรือน้อยกว่านั้น ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทำให้มันเป็นชนิดเปลี่ยนค่าได้ อีกวิธีหนึ่งที่จะทำได้ก็คือสร้างแขนอัตราส่วน P, Q และแขนอัตราส่วนช่วย p, q ให้เป็นแบบหลายหลักและเปลี่ยนค่าได้ ส่วน S ก็ให้เปลี่ยนค่าได้เป็น 1 mΩ, 10 mΩ, ..., 1 Ω, ..., 100 Ω, และอื่นๆ โดยใช้ตัวต้านทานมาตรฐานหลายๆ ตัว เพื่อให้เปลี่ยนย่านของการวัดได้

รูปที่ 4 แสดงถึงรูปร่างลักษณะทั่วๆ ไปของบริดจ์คู่ การเปลี่ยนย่านของการวัดใช้หมุดเสียบ (plugs) เพื่อการเปลี่ยนค่าความต้านทานต่ำ ตัวอย่างของแท่งจับยึด (clamping stand) ที่ใช้ในการวัดตัวต้านทานที่เป็นแท่งยาว (bar shape) ก็ได้แสดงไว้ให้ดูด้วย บริดจ์คู่ที่แสดงไว้ในรูปนี้มีย่านของการวัดขึ้นไปได้จนถึง 1 Ω โดยเปลี่ยนค่าได้ 5 หลัก ตัวคูณขยายมีค่าเป็น 0.001, 0.01, 0.1, 1, และ 10 หรือ 100



๕๙๖

ถาม: การจัดซื้อหม้อแปลงเครื่องมือวัดของ กฟผ. มีการกำหนดไว้ที่ไหนหรือไม่ว่าจะซื้อหม้อแปลงแบบแห้งหรือแบบจุ่มในของเหลว ?

ตอบ: การจัดซื้อหม้อแปลงเครื่องมือวัดของ กฟผ. ในปัจจุบัน จะซื้อเฉพาะหม้อแปลงแบบจุ่มในของเหลวเท่านั้น ไม่ซื้อหม้อแปลงแบบแห้ง ทั้งนี้ Specification No. 301: Instrument Transformer, Articale 301-5.1: Type and Construction ย่อหน้าที่ 3 กำหนดไว้ว่า

The instrument transformer with core molded or encapsulated in epoxy resin or located in porcelain housing is not acceptable.

นอกจากนี้ กฟผ. ยังกำหนดไว้ใน Ratings and Features (RF) หัวข้อ a. Type ว่าต้องการซื้อ "Outdoor, Oil Filled" พร้อมทั้งให้ผู้ผลิตบอกข้อมูล Volume of Oil ตามหัวข้อสุดท้ายของเอกสาร Proposal Data (PD) ที่เสนอมาตอนเปิดประมูลอีกด้วย

๕๙๗

ถาม: ขอถามต่อจากข้อที่แล้วว่า ทำไม กฟผ. จึงไม่ต้องการซื้อหม้อแปลงที่เป็นฉนวนแบบแห้ง ?

ตอบ: เท่าที่ผมสืบค้นประวัติการจัดซื้อหม้อแปลงเครื่องมือวัดของ กฟผ. พบว่าเคยจัดซื้อ 22 & 33 kV Outdoor Dry-type CT & PT ของผู้ผลิต WTW (Wandler-Und Transformatoren Werke Wirges GmbH) ประเทศเยอรมันตะวันตก มีบริษัท Enecom เป็นคู่สัญญา ซึ่งตาม รายงานการประชุมเรื่อง ปัญหา Outdoor Dry-type CT, PT สัญญา F005(E) เมื่อวันที่ 13 มกราคม 2530 บันทึกไว้ว่า

กฟผ. สั่งซื้อทั้งสิ้น 326 ตัว แบ่งเป็น CT 225 ตัว, PT 101 ตัว เบิกไปใช้งานตามสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ แล้ว พบปัญหาว่า PT ทดสอบไม่ผ่านหลายตัว อ่านค่า Insulation Resistance ได้ต่ำมาก และ CT มีปัญหา Epoxy Rasin ร้าวจำนวนมาก ไม่อาจนำเข้าใช้งานได้ หลังจากได้รับทราบจาก กฟผ. ทางบริษัท Enecom ซึ่งเป็นผู้รับช่วงของสัญญานี้ จึงแจ้งให้ผู้ผลิตทราบและส่ง Dr. C. Petersen มาตรวจสอบและแก้ไขปัญหานี้ ตั้งแต่ 5 ม.ค. 30

สาเหตุการเกิดปัญหาจากการตรวจสอบพบว่า สำหรับ PT ที่ไม่ผ่านการทดสอบ เกิดจากน้ำเข้าไปใน Secondary Terminal Box เป็นจำนวนมาก เพราะ Packing โดยมีพลาสติด และโฟมหุ้มตัวอุปกรณ์ไว้ ทำให้เมื่อน้ำเข้าไปแล้วออกมาไม่ได้ และโฟมจะดูดน้ำไว้ด้วย ส่วนการร้าวของ Epoxy Rasin ของ CT นั้น ยังไม่อาจหาสาเหตุที่แน่นอนได้

Dr. C. Petersen ชี้แจงต่อที่ประชุมว่า PT ที่ทดสอบไม่ผ่านนั้น เกิดจากน้ำเข้าไปใน Secondary Terminal Box และทำให้ Core กับ Secondary winding ถูกน้ำด้วย จากการทดลองนำ PT ชุดหนึ่งไป Heat และ Vacuum ที่กองโรงงาน, ฝปห. บางพลีที่อุณหภูมิ 80 °C, ความดัน 1 Torr. ประมาณ 45 ชั่วโมง พบว่า Insulation Resistance มีค่าดีขึ้น แต่พบปัญหาใหม่ ซึ่งแก้ไขไม่ได้คือ Sulfur cement ละลายและไหลออกมานอกตัว PT ดังนั้นจึงจะนำ PT ที่มีปัญหาทั้งหมดกลับไป Repair ที่ประเทศเยอรมันตะวันตก

ส่วน CT นั้นมีปัญหาเรื่อง Epoxy Rasin ร้าวเป็นปัญหาใหญ่ Dr. C. Petersen ชี้แจงว่าคาดว่าการร้าวเกิดจากความผิดพลาดของส่วนผสมของ Epoxy Rasin บางถัง ทำให้เกิดราวได้ระหว่าง Curing และได้ชี้แจงเพิ่มเติมว่า Epoxy Rasin เป็นของบริษัท Bayer ซึ่งมีชื่อเสียง จึงไม่ได้ตรวจสอบคุณภาพโดยละเอียด ปัญหา CT ที่ร้าวนี้ Repair ไม่ได้ ทางผู้ผลิตจึงจะ Replace ให้ใหม่หมด พร้อมทั้งจะหาสาเหตุที่แท้จริงอีกครั้งหนึ่ง และจะรีบ Report ให้ กฟผ. ทราบ

คาดว่าจากปัญหานี้นำไปสู่การออก Addemdum ของ Specification No. 301 (03/89) ไม่ให้เสนอหม้อแปลงแบบแห้งตามที่ข้อที่แล้ว

๕๙๘

การจัดซื้อของ กฟผ. จะซื้อเฉพาะหม้อแปลงแบบจุ่มในของเหลว (liquid-immersed) ตามที่บอก ไว้ใน Ratings and Features (RF)

รูปที่ 1 Integrated gas-insulated switchgear

Integrated gas-insulated switchgear

วีรพล ไทยเขียว > weerapon.thaikhieo@th.abb.com

ปัจจุบัน ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีความต้องการมากขึ้นเรื่อยๆ อันเนื่องมาจากการขยายตัวของชุมชนเมืองและการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรม เห็นได้ว่าปัจจุบันการสร้างโรงไฟฟ้ามีมากขึ้นเพื่อเร่งตอบสนองการเพิ่มปริมาณการใช้ไฟฟ้าในทุกภาคส่วน รวมทั้งภาคอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนากระบวนการผลิตมากยิ่งขึ้น โดยสิ่งหนึ่งที่เป็นแรงจูงใจของเหล่านักลงทุนทั้งหลายก็คือ การผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายแก่ภาคส่วนต่างๆ ยิ่งสามารถขายไฟฟ้าได้เร็วเท่าใดผลตอบแทนกำไรก็ได้รับเร็วขึ้นเท่านั้น และในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมการที่ผลิตสินค้าขายสู่ตลาดได้เร็วขึ้น ก็จะได้ผลกำไรเร็วขึ้นเช่นกัน ปัจจัยหลักที่นำมาเพื่อสนองความต้องการเหล่านี้คือ ความสามารถในการเริ่มจ่ายไฟฟ้าให้กับสถานีไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพ นับว่าเป็นข้อได้เปรียบของผู้ประกอบการและนักลงทุนนั้นๆ ทางเลือกหนึ่งที่สามารถตอบสนองความต้องการทั้งในเรื่องความรวดเร็วและความมีเสถียรภาพของสถานีไฟฟ้าก็คือ Integrated gas-insulated switchgear ดังแสดงในรูปที่ 1

Integrated gas-insulated switchgear เป็นการนำ GIS ที่ถูกออกแบบเพื่อใช้ในสถานีไฟฟ้ามาติดตั้งใน housing เมื่อจะใช้งานก็สามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในแต่ละสถานีไฟฟ้าได้ตามความต้องการ อุปกรณ์ GIS ทุกโมดูล รวมทั้งการเชื่อมต่อแต่ละ bay การเชื่อมต่อสายไฟและสายคอนโทรลต่างๆ และการเชื่อมต่อกับ Local Control Cabinet จะถูกออกแบบและติดตั้งอย่างสมบูรณ์แบบจากโรงงานผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2

นอกจากนี้ การออกแบบ housing ยังสามารถปรับแต่งได้ตามความต้องการหรือออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของแต่ละสถานีไฟฟ้าได้ ทั้งในเรื่องการระบายอากาศ การติดเครื่องปรับอากาศ หรือการใช้งานอื่นๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3

จุดเด่นของ Integrated gas-insulated switchgear

1. ความรวดเร็วและง่ายในการสร้างสถานีไฟฟ้า เนื่องจาก Integrated gas-insulated switchgear เป็นอุปกรณ์ชุดสมบูรณ์มาจากโรงงาน ทำให้ขั้นตอนในการติดตั้งต่างๆ ลดน้อยลง และง่ายต่อการติดตั้ง ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการติดตั้งได้เป็นอย่างมาก หรือเมื่อเปรียบเทียบกับสถานีไฟฟ้าแบบ conventional AIS สามารถลดระยะเวลาติดตั้งได้ถึง 50 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4

2. ราคาทั้งหมดในการสร้างสถานีไฟฟ้าลดลง เนื่องจาก Integrated gas-insulated switchgear เป็นอุปกรณ์ที่เป็นชุดสมบูรณ์ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ ลดลง เช่น ค่าติดตั้ง ค่าเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ค่าใช้จ่ายในเรื่อง structure และราคาที่ดิน

3. พื้นที่ในการติดตั้งสถานีไฟฟ้าลดลง เหมาะกับการติดตั้งในชุมชนเมือง โรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปัญหาเรื่องพื้นที่จำกัด

4. เคลื่อนย้ายได้สะดวกและรวดเร็ว เหมาะกับการใช้งานที่เป็นสถานีไฟฟ้าชั่วคราว ดังแสดงในรูปที่ 5

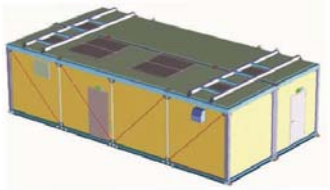
5. การเริ่มต้นจ่ายไฟฟ้าทำได้รวดเร็วถือเป็นข้อได้เปรียบกับสถานีไฟฟ้าที่สามารถเริ่มจ่ายไฟฟ้าได้ช้า สำหรับโรงไฟฟ้าการเริ่มต้นจ่ายไฟฟ้าได้เร็วยิ่งสามารถทำกำไรจากการขายไฟฟ้าให้กับลูกค้าเร็วขึ้นด้วย และสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมยิ่งผลิตสินค้าได้ก่อนยิ่งได้กำไรก่อน ทำให้ได้เปรียบทางการค้า

6. ตอบสนองความต้องการในการการออกแบบสถานีไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นแบบ bushing incoming, underground cable incoming หรือ direct coupling with transformer ดังแสดงในรูปที่ 6

7. ง่ายและรวดเร็วต่อการบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 7

อย่างไรก็ตาม Integrated gas-insulated switchgear เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ สามารถตอบสนองกับความต้องการตามลักษณะงานต่างๆ ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน ในอนาคตอันใกล้ เราอาจจะได้เห็น Integrated gas-insulated switchgear ใช้กันมากขึ้นในประเทศไทยก็เป็นได้

รูปที่ 2 Integrated gas-insulated switchgear prefabricated



รูปที่ 3 Housing optional design

รูปที่ 4 Short and Easy for installation and commissioning

รูปที่ 5 Quickly for transportation

รูปที่ 6 Optional Integrated gas-insulated switchgear substation

รูปที่ 7 Easy for operated, service and maintenance

The power of collaboration

พลังของการร่วมมือกัน

โซลูชั่นการบริการตลอดช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์

ดร.วรวุฒิ แซ่ก๊ก > worawut.sae-kok@th.abb.com

การมีอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงแสดงถึงการลงทุนที่สูงของบริษัท ดังนั้นหากมีการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ดังกล่าว ทางเลือกทุกแบบจะต้องถูกนำมาพิจารณา บ่อยครั้งที่ทางเลือกที่มีประสิทธิภาพต้นทุนสูงสุดคือการเป็นพันธมิตรกับบริษัทผู้ผลิตที่มีการบริการแบบครบวงจร และมีการใช้เทคโนโลยีใหม่ล่าสุดในระหว่างช่วงการบำรุงรักษา และหาโอกาสในการขยายเพิ่มเติม เช่น การปรับปรุงใหม่หรือการเปลี่ยนส่วนประกอบ ในบางกรณีการเปลี่ยนใหม่ทั้งหมดโดยการนำอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่ล้าสมัยออกก็อาจจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด การมอนิเตอร์ระยะไกลและเทคนิควิธีการตรวจสอบสมัยใหม่ เช่น การถ่ายภาพด้วยรังสีจะช่วยลดแผนงานการบำรุงรักษาหรือลดการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ที่เร็วเกินไปพร้อมกันได้ เอบีบีได้ทำการพัฒนากลยุทธ์ด้านการบริการให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบ การบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์หรือส่วนประกอบที่แตกต่างกันที่ประสบพบเจอในโลกของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

บทนำ

การปรับปรุงใหม่เป็นการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เก่าหรือสึกหรอโดยยังคงรูปแบบการจัดวางและโครงสร้างของอุปกรณ์และระบบไว้ บ่อยครั้งที่ในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นอุปกรณ์ดั้งเดิม เช่น โครงสร้างหุ้มและบัสบาร์ยังอยู่ในสภาพที่ดีและมีเพียงแค่ชิ้นส่วนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีการเคลื่อนที่เท่านั้นที่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ทางกลจะสึกหรอก่อนเร็วกว่าอุปกรณ์ที่ไม่ได้มีส่วนเคลื่อนที่มาก การปรับปรุงใหม่จะช่วยยืดอายุการใช้งาน โดยมีต้นทุนไม่สูงมากและไม่เกิดการหยุดทำงานและเวลาที่จะต้องใช้มากเมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนทั้งหมด การปรับปรุงใหม่สามารถแบ่งเป็นระยะเพื่อที่จะกระจายต้นทุนที่ต้องใช้และลดช่วงเวลาการหยุดทำงาน

เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใหม่บ่อยครั้งที่อาจจะไม่เข้ากับอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม ในกรณีดังกล่าว เอบีบีจะจัดหาชุดการแปลงพิเศษ (Special conversion kits) เพื่อที่จะช่วยให้ติดตั้งได้รวดเร็ว โดยไม่มีการดัดแปลงโครงสร้างไปจากเดิม

การปรับปรุงใหม่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์และกลไกการทำงานของเอบีบี จะช่วยให้ผู้ใช้มั่นใจว่าจะได้รับอุปกรณ์ที่มีความเชื่อถือได้ในระยะยาวด้วยเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดและมีช่วงเวลาดับไฟฟ้าที่สั้น – ทั้งหมดนี้ที่ต้นทุนที่เหมาะสม

ตัวอย่างของการปรับปรุงใหม่ (Retrofit examples)

เอบีบีได้นำเสนอและช่วยผู้ใช้หลายรายในการเปลี่ยนเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับสวิตช์เกียร์ฉนวนก๊าซแทนที่จะเป็นโซลูชั่นในรูปแบบอื่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้เปลี่ยนจะเป็นรุ่นใหม่กว่าและมีระยะจาน (Flange distance) และพารามิเตอร์อื่นๆ จะต้องสอดคล้องและใช้งานด้วยกันได้ ตัวอย่างเช่น ในประเทศเนเธอร์แลนด์ (สถานีไฟฟ้าย่อย Rijswijk) และในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (สถานีไฟฟ้าย่อย Katz) เซอร์กิตเบรกเกอร์ของ GIS รุ่น ECKS (รุ่นแรก) ได้ถูกแทนที่ด้วยรุ่น ELK SP 2-1 และกลไกการทำงาน AHMA แรงผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนด้วยลักษณะนี้คือ การเกิดอุปสรรคด้านทักษะความรู้เกี่ยวกับการซ่อมบำรุงและความยากลำบากที่มากขึ้นในการหาจัดหาชิ้นส่วนอะไหล่ ในสถานีไฟฟ้าย่อย La Foretaille ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ การเปลี่ยนเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ถูกจัดการในลักษณะเดียวกัน (ในกรณีนี้ เบรกเกอร์รุ่น ELK SN ได้ถูกแทนที่ด้วยรุ่น ELK SP2-1) ซึ่งมีแรงผลักดันมาจากต้นทุนในการยกเครื่อง (Overhaul) ที่สูง (ดูรูปที่ 1)

เบรกเกอร์รุ่นเก่าบางรุ่นอาจจะไม่มีเบรกเกอร์รุ่นใหม่ที่ใช้งานแทนกันได้ ดังนั้น เอบีบีจึงได้ผลิตเบรกเกอร์เป็นพิเศษสำหรับการปรับปรุงใหม่ เพื่อให้สามารถแทนเบรกเกอร์รุ่นเก่าดังต่อไปนี้คือ รุ่น SL211, SL2-2, SN212, SL3-2 และ SN312 ซึ่งได้ทำการทดสอบการออกแบบตามมาตรฐานล่าสุดและถูกผลิตภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ถูกควบคุมภายในโรงงานของเอบีบี

สถานีไฟฟ้าย่อย Filisur (EGL 380kV) ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์เป็นแห่งแรกที่มีการติดตั้งเบรกเกอร์สำหรับการปรับปรุงใหม่ (ดูรูปที่ 2) แรกเริ่มผู้ใช้ได้พิจารณาในการยกเครื่องกลไกการทำงาน HKA8 แต่ได้ตัดสินใจที่จะติดตั้งกลไกการทำงานรุ่นใหม่คือรุ่น HMB8 เอบีบีได้นำเสนอการเปลี่ยนเบรกเกอร์รุ่น SL3-2 และกลไกการทำงานด้วยเบรกเกอร์สำหรับการปรับปรุงใหม่รุ่น SP3-1 เบรกเกอร์รุ่นใหม่นี้มีห้องอาร์กเดี่ยว (Single arcing chamber) ซึ่งเป็นเทคโนโลยี GIS ที่ล้ำสมัย ดังนั้นจึงต้องการกลไกการทำงาน HMB4 (ที่เล็กกว่า) ผู้ใช้ได้ตัดสินใจรับข้อเสนอนี้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุผลในการขยายช่วงอายุการใช้งานของสถานีไฟฟ้าย่อย ความพร้อมในการมีชิ้นส่วน

รูปที่ 1 สวิตช์เกียร์ฉนวนก๊าซที่สถานีไฟฟ้าย่อย La Foretaille ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เซอร์กิตเบรกเกอร์รุ่นเก่าชนิด SN ถูกแทนที่ด้วยชนิด ELK SP2-1 ด้วยกลไกการทำงาน AHMA

รูปที่ 2 สวิตช์เกียร์ฉนวนก๊าซที่สถานีไฟฟ้าย่อย Filisur ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ เซอร์กิตเบรกเกอร์รุ่น SL3-2 และกลไกการทำงาน HKA8 ถูกแทนที่ด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์รุ่น SP3-1 แบบห้องอาร์กเดี่ยวที่มีกลไกการทำงาน HMB4

อะไหล่อย่างต่อเนื่องและการมีต้นทุนการบำรุงรักษาที่ต่ำ การเปลี่ยนเบรกเกอร์ ณ สถานที่ติดตั้งใช้เวลาจริงเพียงแค่ 2 วัน และสวิตช์เกียร์จะสามารถนำกลับเข้าสู่การทำงานเป็นปกติด้วยเวลาการหยุดใช้งานที่น้อยที่สุด

ทางเลือกหนึ่งที่จะเปลี่ยนเซอร์กิตเบรกเกอร์และกลไกการทำงานแบบสมบูรณ์คือ การเปลี่ยนแค่กลไกการทำงาน ในประเทศสเปนที่สถานีไฟฟ้าย่อย La Muela สำหรับ Pump Storage โซลูชั่นการปรับปรุงใหม่ของกลไกการทำงานถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแทนที่กลไกการทำงานแบบ HKA8 สำหรับเบรกเกอร์รุ่น SL3-2 (ดูรูปที่ 3) กลไกการทำงาน HKA จะถูกถอดจากโพลของเบรกเกอร์และกลไกการทำงานใหม่ชนิด HMB8 ถูกนำมาประกอบด้วยการปรับเปลี่ยนที่จำเป็น (เช่น เกี่ยวกับ damping) การทดสอบได้ถูกจัดการ ณ สถานที่ติดตั้ง Iberdrola ที่เป็นผู้ใช้งานมีความพึงพอใจกับวิธีดังกล่าวนี้ จึงได้ตัดสินใจใช้วิธีเดียวกันสำหรับการปรับปรุงใหม่ของกลไกการทำงานในอุปกรณ์ที่เหลืออยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยเดียวกัน การเปลี่ยนกลไกการทำงานในลักษณะเดียวกันได้ถูกจัดการในสถานีไฟฟ้าย่อย Seinäjoki และ Tammisto ในประเทศฟินแลนด์

การขยายเพิ่มเติม (Extension)

เอบีบีได้พัฒนาโปรแกรมในการอัพเกรด การขยายเพิ่มเติมและการปรับปรุงใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ทำให้สามารถลดความเสี่ยง และทำให้เกิดการถ่ายเปลี่ยนไปสู่เทคโนโลยีใหม่ล่าสุด หลังจากทำการวิเคราะห์ ณ สถานที่ติดตั้งแล้ว เอบีบีจะพัฒนาการวางแผนการนำมาใช้สำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ติดตั้ง

ตัวอย่างที่ดีอย่างหนึ่งคือ การจัดส่งสวิตช์เกียร์ฉนวนก๊าซ 132kV ELK-04 จำนวน 2 ชุด ไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยหม้อแปลง Al Bakir ที่มีอายุใช้งาน 30 ปี ในประเทศอิรัก การลงทุนดังกล่าวเป็นสิ่งจำเป็นภายใต้ความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นที่มาจากการสร้างโรงงานเหล็กที่อยู่ใกล้และให้มีไฟฟ้าเพียงพอที่จะต่อเข้าสู่ระบบไฟฟ้าในประเทศอิรัก ปัจจัยหลักในการตัดสินใจคือ การออกแบบของรุ่น ELK-04 สามารถปรับให้สามารถจัดวางลงในพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ เอบีบีได้ให้การสนับสนุนในการให้คำปรึกษาในช่วงการออกแบบทางด้านวิศวกรรมและทำให้ผู้ใช้มีสถานีไฟฟ้าย่อยที่แรงดันไฟฟ้า 132kV ที่น่าเชื่อถือได้ แหล่งพลังงานที่มั่นคงและความปลอดภัยของบุคคล โครงสร้างและระบบได้ถูกคงไว้และการขยายเพิ่มเติมได้ถูกทำให้ง่ายลงด้วยการใช้ตัวแปลงที่ถูกทำให้เป็นมาตรฐาน

การใช้อุปกรณ์อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (Asset optimization)

เอบีบีได้ตระหนักว่าความต้องการทางอุตสาหกรรมกำลังเปลี่ยนแปลงเพราะว่าทรัพยากรมีจำกัด ดังนั้นจึงได้มีการสร้างทักษะความชำนาญเรื่องการมอนิเตอร์ระยะไกล (Remote monitoring) สำหรับการวิเคราะห์ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีความสำคัญ หนึ่งในการบริการในลักษณะนี้ได้ผนวกรวมการมอนิเตอร์เบรกเกอร์เข้ากับทักษะความรู้ความชำนาญที่ลึกซึ้งในการใช้งานและการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการใช้งานของอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อให้เกิดการฟื้นฟูก่อนที่จะเกิดความเสียหายหรือล้มเหลวขึ้นได้

วิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังในนิวยอร์กซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพและความน่าเชื่อถือได้ของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่วางข้ามรัฐระหว่างเจ้าของการส่งผ่านไฟฟ้าใน NYISO อาทิเช่น สายส่งที่แรงดันไฟฟ้า 362kV ที่ต่อระหว่าง Rochester Gas and Electric (RG&E) กับหน่วยงานการไฟฟ้าของนิวยอร์ก (New York Power Authority) เพื่อที่จะเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของการส่งผ่านไฟฟ้า RG&E ได้ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับแบงก์ตัวเก็บประจุรุ่น PMI ซึ่งสนับสนุนระบบไฟฟ้าเชื่อมตะวันออก-ตก ที่สำคัญด้วยการมอนิเตอร์สภาวะระยะไกลแบบเรียลไทม์และมีการปฏิบัติด้านการบำรุงรักษาแบบเชิงรุก สิ่งที่น่าสนใจเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์การทริป (Trip) ในครั้งแรกของสายส่งคือการได้มาซึ่งข้อมูลที่ได้ถูกบันทึกไว้เกี่ยวกับการทำงานทริปและปิดทั้งหมด รวมทั้งสถิติเรื่องเวลาของเบรกเกอร์

เอบีบีได้จัดหาเซ็ตสำหรับเบรกเกอร์ของ RG&E ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 121kV และ 362kV ด้วยระบบการใช้อุปกรณ์อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นของเอบีบี (ระบบ AO) จำนวน 18 ชุด ระบบดังกล่าวจะมอนิเตอร์สถานะของเบรกเกอร์และพารามิเตอร์ด้านประสิทธิภาพซึ่งมีเป็นจำนวนมากผ่านการสื่อสารไร้สาย ข้อมูลที่ได้จากแต่ละเบรกเกอร์จะถูกรวบรวมข้อมูลโดย Circuit Breaker Sentinel™ (CBS) CBS แต่ละชุดจะทำงานคู่กับตัวสื่อสารแบบเซลลูลาร์ซึ่งนับว่าเป็นวิธีการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลไปยังส่วนกลางโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสถานีไฟฟ้าย่อยที่ไม่มีโครงสร้างการสื่อสาร วิธีการมอนิเตอร์โดยใช้ CBS ได้ดึงดูดความสนใจของ RG&E เป็นพิเศษเนื่องด้วยส่วนประกอบและระบบการสื่อสารทำงานโดยไม่ขึ้นกับการทำงานของสายส่งและระบบควบคุม การแยกดังกล่าวทำให้ระบบมอนิเตอร์ได้รับการยกเว้นจากข้อกำหนดของ NERC-CIP (North American Electric Reliability Corporation's Critical Infrastructure Protection plan) ข้อมูลของ CBS ที่ถูกเก็บรวบรวมมาจะถูกโปรเซสที่ส่วนกลางของ RG&E ด้วยระบบ AO ของเอบีบี โดยจะส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์และเข้าถึงได้อย่างอิสระเพื่อที่จะตรวจสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสภาวะด้านประสิทธิภาพก่อนที่จะเกิดปัญหาหรือความล้มเหลวขึ้น ระบบ AO นี้จะช่วยในการวินิจฉัยปัญหาและเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง การแจ้งเตือนของระบบจะมีความหลากหลายจากการบ่งชี้เมื่อสถานะในอุปกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงรวมไปถึงการบ่งชี้สภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้น ระบบ AO จะรวมระบบการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อนและเป็นอิสระต่อกันเพื่อที่จะให้ได้การจัดเก็บข้อมูลในระยะยาวที่เชื่อถือได้ ด้วยการปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้นี้ทำให้ RG&E ได้รับการประเมินที่สูงขึ้นจากคณะกรรมการกำกับดูแล (Local regulatory commission)

รูปที่ 3 สถานีไฟฟ้าย่อย La Muela ในประเทศสเปน : กลไกการทำงาน HKA8 ถูกแทนที่ด้วย HMB8 สำหรับเบรกเกอร์รุ่น SL3-2

การถ่ายภาพรังสี (Radiography)

การถ่ายภาพรังสีเป็นเทคโนโลยีการถ่ายภาพเอ็กซ์เรย์ที่ใช้ในที่นี้เป็นในสภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งจับภาพแสดงรายละเอียดแบบดิจิตอลของส่วนประกอบภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์ รูปภาพดังกล่าวจะถูกตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งจะตรวจขนาดและความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับแผนผังเดิมของส่วนประกอบและการประกอบ การถ่ายภาพรังสีนั้นทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการเปิดระบบปิดผนึก (Sealing system) ของอุปกรณ์เพื่อที่จะทำการตรวจสอบวินิจฉัย ดังนั้นจึงเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของอุปกรณ์และทำให้ไม่เกิดเรื่องของการปนเปื้อนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก

Call Henry Inc. เป็นบริษัทที่ให้การบริการทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ณ สถานที่ติดตั้งของอุปกรณ์ที่ศูนย์วิจัย NASA Glenn ใน Cleveland, Ohio ในประเทศสหรัฐอเมริกา ศูนย์วิจัยดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาของ NASA ในเรื่องของการขับเคลื่อนทางอากาศ (Aero-propulsion) และเชี่ยวชาญในเรื่องเครื่องยนต์เทอร์โบ (Turbo-machinery), การขับเคลื่อนพลังงาน (Power propulsion) และการสื่อสาร (Communication) และทำการวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะไร้น้ำหนัก (Microgravity science disciplines) ดังนั้นความน่าเชื่อถือได้ของการจ่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากสำหรับศูนย์วิจัยแห่งนี้ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2006 Call Henry ได้ติดต่อกับเอบีบีในนามของศูนย์วิจัยเกี่ยวกับสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ SF_6 26 ตัว ของเอบีบีรุ่น 38PM40-20 การศึกษาข้อมูลการบำรุงรักษาจากศูนย์วิจัยและ Call Henry ทำให้ทราบความจริงว่าอายุการใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 14 ปี โดยมีเซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่งชุดที่ทำงานมากกว่า 2,700 ครั้งมาแล้ว สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าเบรกเกอร์เหล่านี้ได้ทำงานหนักและถึงเวลาที่จะต้องตรวจสอบภายในเบรกเกอร์ จึงได้มีการประสานงานระหว่างศูนย์วิจัย, Call Henry และเอบีบีในการเข้าสู่สถานที่ติดตั้งเพื่อทำการตรวจสอบภายใน ขอบเขตของงานประกอบด้วยการวิเคราะห์การทดสอบภายนอกและการใช้การถ่ายภาพรังสี แรงผลักดันของวิธีดังกล่าวนี้คือ ความต้องการในการลดต้นทุนและลดระยะเวลาไฟฟ้าดับและได้การรับรองว่าเบรกเกอร์แต่ละชุดจะทำงานได้เป็นปกติในระยะยาว และที่สำคัญกว่านั้นคือ การทำงานที่เป็นปกติของแหล่งจ่ายไฟ ผลที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีคือ การแก้ไขปัญหาฮาร์ดแวร์ของเบรกเกอร์ 1 ชุด การลดระดับความชื้นจากก๊าซ SF_6 ในเบรกเกอร์ 7 ชุด ส่วนอุปกรณ์ที่เหลืออีก 19 ชุด ยังไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาในระดับที่ต้องเปิดเบรกเกอร์ดูข้างในหรือสำหรับการบำรุงรักษาใหญ่ และสามารถประหยัดมากกว่า 380 man-hours สำหรับการตรวจสอบภายในอย่างละเอียด อีกทั้งยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าเช่ารถเครน พร้อมทั้งคนขับและก๊าซที่ต้องใช้

การวิเคราะห์การทดสอบภายนอกและการบำรุงรักษาตามผลลัพธ์ที่ได้ทำให้แนใจได้ว่าการทำงานของอุปกรณ์ในศูนย์วิจัยมีความต่อเนื่องและเชื่อถือได้

การเปลี่ยนอุปกรณ์หรือส่วนประกอบ (Replacement)

อุปกรณ์สามารถถูกเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของอุปกรณ์หรือเมื่อมีเทคโนโลยีที่ดีกว่า ในกรณีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator circuit breaker, GCB) การอัพเกรดกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำให้เกิดความจำเป็นในการเปลี่ยน GCB อีกทั้ง GCB ยังสามารถถูกเปลี่ยนได้ถ้ามีผลจากการที่เกิดการขาดขึ้นส่วนอะไหล่หรือขาดเรื่องโซลูชั่นทางวิศวกรรมในการจัดการกับปัญหา

ตัวอย่างหนึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ใน 5 สถานีไฟฟ้าย่อยหม้อแปลงในประเทศคูเวตซึ่งกระทรวงพลังงานและน้ำของคูเวต (Kuwaiti Ministry of Energy and Water, MEW) เป็นเจ้าของและผู้ดำเนินการ เมื่อพิจารณาสถานการณ์เรื่องของชิ้นส่วนอะไหล่ของกลไกการทำงานที่มีอายุใช้งานแล้วเกือบ 30 ปี ที่เกิดวิกฤตมากขึ้นเรื่อยๆ ข้อเสนอของเอบีบีในการเปลี่ยนกลไกการทำงานเป็นแบบ HMB8 จำนวน 48 ชุด จึงได้รับการยอมรับจาก MEW แง่มุมที่สำคัญในการตัดสินใจคือ การรับประกันคุณภาพและเรื่องความพร้อมของชิ้นส่วนอะไหล่ ดังนั้น MEW จึงได้แหล่งจ่ายชิ้นส่วนอะไหล่ที่วางใจได้ ความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือได้ ความปลอดภัยของบุคคลที่มากขึ้น การปรับและการเปลี่ยนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและการทำงานของอุปกรณ์ที่ง่ายขึ้น

เรียบเรียงจาก

Herb Rogers, Sudhakar Kuchibhotla, Monica Lambe, "The power of collaboration – Service solutions across the product life cycle", ABB Review Special Report (High-voltage products), page 24-27

UniSec Air-insulated

สกุลธิดา กล่อมเกลี้ยง > sakulthida.klomkleang@th.abb.com

UniSec Air-insulated medium voltage switchgear for secondary distribution up to 24 kV, 1250 A, 25 kA

ABB ได้จำแนกอุปกรณ์ Medium voltage switchgear ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เรียกว่า Primary switchgear และส่วนที่เรียกว่า Secondary switchgear ซึ่งแต่ละส่วนนี้ยังสามารถแยกประเภทออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ Air-insulated switchgear และ Gas-insulated switchgear

UniSec เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในส่วนของ secondary switchgear ประเภท Air-insulated ซึ่ง ABB ได้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่ตรงกับความต้องการของตลาดและสามารถตอบโจทย์ทางด้านวิศวกรรมในระยะยาว สำหรับการนำไปใช้งานในระบบ distribution นอกเหนือจากนี้ ABB ยังคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ความน่าเชื่อถือ และความสะดวกในการติดตั้ง

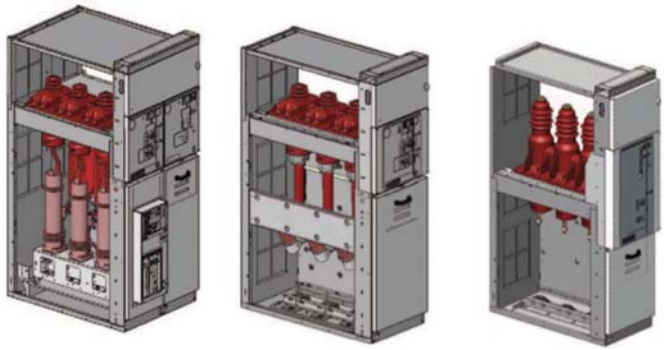
การใช้งาน

Unisec ใช้งานในระบบไฟฟ้า medium voltage secondary power distribution โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะกับความต้องการ reliability ทางไฟฟ้าสูง, ความปลอดภัย, ประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการบำรุงรักษา สามารถใช้งานได้ยาวนาน ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้งานกับหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้า, สนามบิน, โรงพยาบาล, ห้างสรรพสินค้า รวมไปถึงโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น

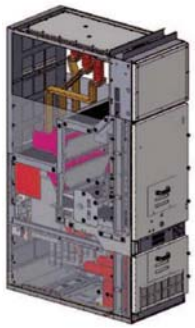
การออกแบบ

UniSec โดยได้มีการออกแบบให้สอดคล้องกับนิยามของ the loss of service continuity และมาตรฐาน IEC 62271-200 โดยออกแบบ LSC2A-PM สำหรับ panels with switch-disconnector, LSC2B-PM สำหรับ panels with withdrawable circuit-breaker up to 17.5 kV และ LSC2B-PI at 24kV.

LSC2A



LSC2B



•คุณสมบัติทางไฟฟ้า

Rated voltage	kV	12	17.5	24
Test voltage (50-60 Hz x 1 min)	kV	28	38	50
Impulse withstand voltage	kV	75	95	125
Rated frequency	Hz	50-60	50-60	50-60
Rated main busbar current	A	630/800/1250	630/800/1250	630/1250
Rated current of apparatus:				
– VD4/R-Sec - HD4/R-Sec removable circuit-breaker	A	630/800	630/800	630
– GSec gas switch-disconnector	A	630/800	630/800	630
– Vmax/Sec withdrawable circuit-breaker	A	630/1250	630/1250	-
– VD4/Sec withdrawable circuit-breaker	A	-	-	630/1250
– VSC/P withdrawable vacuum contactor	A	400	400	-
Rated short time withstand current	kA (3s)	16/20 (4)/25 (1) (2)	16/20 (4)/25 (2)	16/20 (4)
Peak current	kA	40/52.5/63	40/52.5/63	40/52.5
Internal arc withstand current (IAC AFLR) (3)	kA (1s)	12.5/16/21/25 (2)	12.5/16/21/25 (2)	12.5/16/21

(1) 25 kA 2s for units “no withdrawable circuit-breaker”
(2) For withdrawable circuit-breaker
(3) On request “No internal arc” (4) Contact ABB for 21 kA

•คุณสมบัติทั่วไป

- Air insulation of all live parts

- SF_6 switch-disconnector

- Removable and withdrawable vacuum and circuit-breakers

- Withdrawable vacuum contactor

- LSC2A service continuity classification

- Withdrawable circuit-breaker and contactor class LSC2B service continuity classification

- Complete range of functional units and accessories

- Large selection of state-of-the-art protection relays, integrated on removable circuit-breakers or separately mounted for protection, control and measurement functions

มาตรฐานการผลิต

Switchgear และอุปกรณ์ที่ประกอบภายใน switch-gear ได้ผลิตและผ่านการทดสอบตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

HySec

Vmax/Sec

IEC 62271-1 for the general application
IEC/EN 62271-200 for the switchgear

- Continuity of service classification: LSC2A and LSC2B

- Classification of the segregations: PM (metallic partition)and PI (insulation partition) for withdrawable circuitbreakersat 24 kV only

IEC 62271-102 for the earthing switch

IEC 62271-100 for the circuit-breakers

IEC 60071-2 for insulation co-ordination

IEC 60470 for the contactors

IEC 60265-1 for the switch disconnectors

IEC 60529 for the protection classes

IEEE 693 Seismic qualification testing of the switchgear

VD4/Sec

VSC/P

Power Transformers (ตอนที่ 25)

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

15. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดและค่าจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัด

ระหว่างที่หม้อแปลงทำงาน แรงดันไฟฟ้าที่เข้าหม้อแปลงอาจสูงเกินค่าปกติได้ แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดมี 2 แบบ แบ่งตามระยะเวลาที่เกิดขึ้น ได้แก่

- แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วคราว
- แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะ

ระยะเวลาที่แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วคราวเกิดขึ้นจะค่อนข้างนาน ตั้งแต่ไม่ถึง 1 วินาที จนหลายชั่วโมง ระยะเวลาที่แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดขึ้นชั่วขณะจะสั้นมาก ตั้งแต่นาโนวินาทีจนถึงไม่กี่มิลิวินาที และอาจเป็นแรงดันไฟฟ้า oscillary หรือ non-oscillary ก็ได้ ปกติแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะจะไม่มีทิศทางที่หม้อแปลงอาจมีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วคราวและชั่วขณะ ทั้ง 2 แบบเกิดขึ้นได้พร้อมกัน หลังจากแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะเกิดขึ้น แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วคราวอาจเกิดขึ้นตามทันที

แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดอาจแบ่งเป็นอีก 2 แบบ จากแหล่งที่เกิดขึ้น ได้แก่

- แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดจากบรรยากาศหรือธรรมชาติ
- แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดจากระบบไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดจากธรรมชาติ

ส่วนมากเกิดจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าลงสู่พื้นดินบริเวณใกล้สายไฟฟ้าที่ต่อเข้าหม้อแปลง ซึ่งบางครั้งฟ้าผ่าอาจถูกสายไฟหรือหม้อแปลงโดยตรง ค่าของแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดขึ้นมาก-น้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าในฟ้าผ่าซึ่งจากสถิติเกิน 100 กิโลแอมแปร์ จากการวัดที่สายไฟฟ้า 50% ของค่าสูงสุดมักอยู่ในช่วง 10-20 กิโลแอมแปร์ ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับจุดที่ฟ้าผ่ามีอิทธิพลต่อระยะเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดจากธรรมชาติที่หม้อแปลง ถ้าระยะทางสั้น ระยะเวลาการเกิดจะสั้น

แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดจากระบบไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดแบบนี้มีทั้งแบบชั่วคราวและชั่วขณะอยู่รวมกัน เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงฉับพลันขึ้นในระบบไฟฟ้า อาทิ สับสวิทช์ อาการขัดข้อง ฯลฯ แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดแบบชั่วคราวจะเกิดขึ้นจากสาเหตุต่อลงดินไม่ถูกต้อง ภาระสูงเกินพิกัดหรือปรากฏการณ์ low frequency resonance

ส่วนแรงดันไฟฟ้าเกินพิกัดแบบชั่วขณะจะเกิดขึ้นจากเครื่องมือ / อุปกรณ์ ซึ่งอาจต่อหรือไม่ต่อกับระบบหรือเกิดขึ้นเมื่อฉนวนภายนอกช็อตหรือไหม้ การสับสวิทช์กระแสไฟฟ้าอาจทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินพิกัดชั่วขณะ ปริมาณ 6-7 p.u. ได้ เนื่องจากกระแสขาดตอนในอุปกรณ์ตัดวงจรเป็นระยะเวลาไม่ถึง 1 ไมโครวินาที ซึ่งสั้นมาก

ความสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดของหม้อแปลง

ปกติหม้อแปลงจะออกแบบให้ผ่านการทดสอบค่ามาตรฐานการนำไฟฟ้า (dielectric test) ก่อนส่งมอบให้ลูกค้าแสดงว่าการทำงานถูกต้อง มีประสิทธิภาพและปลอดภัย

การทดสอบอาจใช้มาตรฐานสากลหรือระดับประเทศจากประสบการณ์หม้อแปลงที่ผ่านการทดสอบการทำงานสามารถเชื่อถือได้ แต่อาจมีข้อยกเว้นบางประการ ข้อคุณสมบัติประการหนึ่งที่ทำให้การทำงานของหม้อแปลงน่าเชื่อถือคือ ขอบเขตข้อจำกัดของแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเพียงพอ ไม่น้อยจนเกินไป เนื่องจากขณะทำงานแรงดันไฟฟ้าค่าสูงมากๆ เกินค่าทดสอบอาจเกิดขึ้นได้ การวางแผนระบบไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดทุกชนิดที่อาจเกิดขึ้นที่เครื่องมือ / อุปกรณ์ โดยจะต้องเข้าใจและพิจารณาจุดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดอาจเกิดขึ้นอย่างรอบคอบ

แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น สามารถทราบค่าหรือปริมาณได้จากสถิติข้อมูล และควรทราบค่าความต้านทานของฉนวนที่จะใช้ด้วยเช่น เพื่อป้องกัน โดยเป็นหน้าที่ของผู้วางแผนระบบจะต้องมีความรู้และรอบคอบ มีมาตรการป้องกันไม่ให้เครื่องมือ / อุปกรณ์ได้รับอันตรายด้วยวิธีที่ประหยัด กรณีที่เครื่องมือ / อุปกรณ์ไม่ระบุค่าจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดปลอดภัย หรืออาจจะระบุแต่ไม่เพียงพอ ถ้าหากมั่นใจผู้ผลิตหม้อแปลงสามารถรับประกันกับลูกค้าได้

15.1 ขอบเขตจำกัดของอาการแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วคราว

15.1.1 อาการแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเนื่องจากต่อลงดินไม่ถูกต้อง

การต่อเฟสใดเฟสหนึ่งลงดินไม่ถูกต้องอาจทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดขึ้น และส่งผลกระทบต่ออีก 2 เฟสได้ อาการแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรในระบบ ดังนั้น จึงต้องกำหนด / ออกแบบตัวแปรเพื่อควบคุม

สิ่งที่ควรทราบคือ ทั่วไปอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ากระชาก (surge arrester) ไม่ใช่สำหรับป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดแบบชั่วคราว เนื่องจากอาการดังกล่าวระยะเวลาการเกิดขึ้นอาจนานและสมรรถนะของอุปกรณ์อาจไม่สามารถใช้ได้

อาการแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดที่เกิดขึ้นที่เฟสต่างๆ เนื่องจากการต่อลงดินไม่ถูกต้อง สาเหตุจะมาจากค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาด (earth-fault factor) ซึ่ง International Electrotechnical Vocabulary (IEV) ของ IEC นิยามดังนี้

ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดคือ อัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า r.m.s. สูงสุด ที่ความถี่กระแสไฟฟ้าของเฟสที่ต่อลงดินนั้นๆ เมื่อเฟสปกติ ซึ่งเมื่อการต่อลงดินผิดพลาดเกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อเฟสอื่น 1 หรือ 2 เฟสที่จุดใดจุดหนึ่งกับแรงดันไฟฟ้า r.m.s. ของเฟสต่อลงดินนั้นๆ ขณะที่การต่อลงดินผิดพลาดไม่เกิดขึ้น (IEV 604-03-06)

เมื่อการต่อลงดินผิดพลาดเกิดขึ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่ง ระบบจะไม่อยู่ในภาวะสมดุล การคำนวณค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดจะใช้ค่าสมดุลของจุดที่การต่อลงดินผิดพลาดหรือเกิดปัญหา การคำนวณหาค่าความต้านทานรวม (complex impedance) ของระบบโดยใช้สมการ

Z1 = R1 + j X 1 = ความต้านทานและ Reactance ของ positive sequence system

รูป 15-1

Z2 = R2 + j X 2 = ความต้านทานและ Reactance ของ negative sequence system

Z0 = R0 + j X 0 = ความต้านทานและ Reactance ของ zero sequence system

ถ้าตั้งสมมุติฐานดังนี้

Z1 ≈ Z2 ดังนั้น R1<< X1

ค่าความต้านทานความผิดพลาดที่เกิดขึ้น R = 0

จากข้อมูลสามารถสร้างกราฟแสดงค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดเปลี่ยนแปลงไปตามค่า X0/X1 สำหรับ R0/X1 ได้

จากกราฟจุดหรือบริเวณที่การต่อลงดินผิดพลาดเกิดขึ้นคือ จุดที่อาการขัดข้องหรือความไม่ถูกต้องเกิดขึ้น ยิ่งถ้าเกิด resonance อาการจะลุกลามไปบริเวณอื่นและอาจรุนแรงกว่าจุดที่เกิดขึ้น

ค่า X จะเป็น + ถ้า reactance เป็น inductive reactance และเป็น – ถ้า reactance เป็น capacitive reactance ถ้าค่า X1/X0 > -2 กระแส earth fault จะเหนี่ยวนำ แต่ถ้าค่า X1/X0 < -2 จะเป็น capacitive และถ้าค่า X0/X1 = -2 ที่ระบบจะเกิด resonance

จะเห็นว่า ถ้าค่าตัวแปร X1, X0 และ R0 ไม่ถูกต้องหรือเหมาะสม อาการแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดจะเกิดขึ้น อาจทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชาก ฉนวนหม้อแปลงหรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่หม้อแปลงชำรุด วิธีลดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดคือ ปรับค่าตัวแปรดังกล่าวให้เหมาะสมหรือถูกต้อง

ตัวอย่าง ถ้าค่า X0 และ R0 = 0 ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดจะ = 0.8666 หมายความว่า แรงดันไฟฟ้าต่อลงดินสูงสุดที่เฟสปกติจะ = 0.866 x แรงดันไฟฟ้าเฟส-จุดสะเทิน สภาวะดังกล่าว เฟสปกติ 2 เฟส แรงดันไฟฟ้าจะ = 0.5 x แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย โดยขั้วที่ตรงข้ามกันต่อลงดิน

ถ้าค่า X0/X1 เป็น + และต่ำ ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดจะเพิ่ม และค่า R0 เพิ่ม ถ้าค่า R0 สูง ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดจะ = √3 โดยประมาณ

ถ้าค่า X0/X1 ทั้ง + และ – สูง ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดจะ = √3 โดยประมาณเหมือนกับค่า R0 สูง

ถ้าค่า X0/X1 เป็น – และต่ำ ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดอาจสูงมาก แต่จะลดลงถ้าค่า R0 สูง

ค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดต่ำมีข้อดีคือ ระดับการป้องกันอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากจะต่ำ ทำให้ระดับการป้องกันระหว่างฉนวนหม้อแปลงกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากสามารถตั้งค่าสูงมากๆ ได้ (ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเกิดการต่อลงดินผิดพลาด) เป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งในการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชาก

ระยะเวลาที่แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดขึ้นจะเท่ากับระยะเวลาที่การต่อลงดินผิดพลาดเกิดขึ้น และจะสิ้นสุดหลังจากการต่อลงดินผิดพลาดสิ้นสุด ดังนั้นถ้ายังไม่แก้ไขอาการการต่อลงดินผิดพลาด แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดก็จะยังคงอยู่ อาจนานหลายชั่วโมง ซึ่งแสดงว่าระบบป้องกันอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากค่าสูงและค่าแตกต่างการป้องกันระหว่างฉนวนหม้อแปลงกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากในช่วงแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะ (safety margin) ค่าต่ำ

การดูแลหม้อแปลง เป็นเรื่องสำคัญมากที่จะต้องทราบค่าตัวคูณการต่อลงดินผิดพลาดที่จุดต่างๆ ในเครือข่ายที่ภาระค่าต่างๆ และที่ลักษณะการวางระบบต่างๆ (system configurations) รวมทั้งสามารถวิเคราะห์ระบบได้อย่างละเอียด

15.1.2 แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดจากระบบไม่รับภาระ

ระบบที่มีการขยายต่อเติมปานกลางอาจเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดระหว่างเฟส – ต่อลงดินหรือระหว่างเฟส - เฟสได้ โดยค่า amplitude ต่ำกว่า 1.2 p.u. ระยะเวลาที่เกิดขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าซึ่งอาจนานหลายนาที สำหรับหม้อแปลงจ่ายกระแส (distribution transformers) หม้อแปลงประเภทนี้ปกติไม่จำเป็นต้องมีระบบป้องกัน

แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเนื่องจากไม่มีการไม่รับภาระ

15.1.3 แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเนื่องจาก ferroresonance

Ferroresonance อาจเกิดขึ้นได้ที่วงจรที่มีอุปกรณ์เหนี่ยวนำประเภท non-linear magnetizing characteristics (อุปกรณ์ reactor ชนิดแกนเหล็กหรือหม้อแปลงในภาวะไร้ภาระ / ภาระต่ำ) และอุปกรณ์ความจุกระแส (สายไฟฟ้าและแผ่นประจุ)

ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดจะเท่าหรือใกล้เคียงกับความถี่ของระบบไฟฟ้าเมนหรือเป็นความถี่ค่าต่ำ แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเนื่องจาก ferroresonance อาจเกิดขึ้นได้กรณีต่อไปนี้

- การทำงานของอุปกรณ์ตัดวงจรผิดปกติ อาทิ ไม่ตัดวงจร เมื่อกด / ถึงจังหวะเวลา ฯลฯ
- ตัวนำที่เฟสใดเฟสหนึ่งหรือทั้ง 2 เฟสชำรุด เนื่องจากการต่อลงดินผิดพลาด เกิดการลัดวงจรหรือเนื่องจากแรงเครียดทางกล
- ฟิวส์ขาดที่เฟสใดเฟสหนึ่งหรือทั้ง 2 เฟส

แรงดันไฟฟ้าสูงผิดปกติเนื่องจากสาเหตุ ferroresonance เป็นอาการที่มักไม่ค่อยเกิดขึ้น แต่ควรระวังไว้บ้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่า capacitive current ของระบบเท่ากับค่า magnetizing current ของหม้อแปลง ที่หม้อแปลงการมีระบบตัดไฟฟ้าอัตโนมัติ / รวดเร็ว เมื่อกระแสที่เฟสใดเฟสหนึ่งหรือทั้ง 2 เฟสขัดข้องจะจำกัดระยะเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงผิดปกติและภาวะอเสถียรของระบบช่วยลดขอบเขตและโอกาสที่วัสดุ / อุปกรณ์ที่หม้อแปลงเกิดการชำรุด

15.2 ขอบเขตจำกัดของอาการแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะ

ความสามารถด้านทานแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดของหม้อแปลงขึ้นอยู่กับ Basic impulse level ของหม้อแปลง ซึ่งเท่ากับ Standard test voltage impulse ค่าสูงสุดของหม้อแปลงและเป็น aperiodic voltage impulse (ไม่กำหนดระยะเวลา) โดยระยะเวลาการเกิดเริ่มต้น = 1.2 ไมโครวินาที และระยะเวลาการเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นถึงครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด = 50 ไมโครวินาที Basic impulse level ของหม้อแปลงเรียกอีกอย่างคือ ระดับความด้านทานฉนวน (insulation level)

หม้อแปลงที่ต่อกับสายกำลังไฟฟ้าแขวนเหนือศีรษะควรมีระบบป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะที่เกิดจากฟ้าผ่าเพื่อความต่อเนื่อง / ความเชื่อมั่นของการทำงาน วิธีจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงพิกัดไม่ให้เกิดอันตรายโดย

- ใช้อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้ากระชากแบบ non-linear resistor type with series gaps
- ใช้อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้ากระชากแบบ metal-oxide without gaps
- มี spark gaps (ช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า)

ส่วนใหญ่อุปกรณ์ป้องกันข้างต้นจะต่อระหว่างขั้วเฟสของหม้อแปลงกับกราวด์ ถ้าจุดสะเทิน Y หรือ Z connection ถูกแยกหรือต่อลงดินโดยผ่านค่า inductance หรือความต้านทานสูง คลื่น 3 phase impulse wave ที่เกิดขึ้นจะเกิดการสะท้อนโดยขั้ว +/- เช่นเดิม และค่าสูงสุด (peak value) เพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงควรมีการป้องกันที่จุดสะเทิน

ปกติจะเลือกอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากซึ่งระดับการป้องกันต่ำกว่าระดับความต้านทานฉนวนของหม้อแปลงเพื่อรักษาค่า safety margin ที่เหมาะสม ส่วนใหญ่จะเลือก = 70% ของระดับความต้านทานฉนวนของหม้อแปลงที่ขั้วเฟส แต่ถ้าอุปกรณ์ป้องกันกระชากเป็นชนิด non-linear resistor-type with series gap จะต้องตรวจสอบว่าขั้วไฟฟ้าแรงสูง (arc) ที่ series gap จะไม่ทำงานที่ค่า safety margin อันตรายเมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะสิ้นสุด แต่แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วคราวยังคงอยู่โดยขนาดตามค่าของตัวคุณการต่อลงดินผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริง

สำหรับระดับการป้องกันที่อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากที่จุดสะเทิน ปกติจะเลือก = 3/4 ของระดับการป้องกันที่อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากที่ขั้วเฟส

การที่ระดับการป้องกันจะถูกต้องเหมาะสม ระยะระหว่างอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากกับขั้วหม้อแปลงที่จะป้องกันควรสั้นที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ ทำนองเดียวกัน ระยะระหว่างขั้วต่อลงดินที่อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากกับจุดที่ต่อลงดินควรสั้นที่สุดด้วย กรณีที่ไม่สามารถทำได้หรือทำได้ลำบาก ในทางปฏิบัติวิธีแก้ไข คือ เพิ่มระดับความต้านทานที่ฉนวนให้สูงขึ้น

ขดลวดที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 1,000 โวลท์ ควรมีระบบป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเช่นเดียวกับข้างต้น ถ้าต่อกับสายไฟกำลังเหนือศีรษะ

ทั่วไปอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากชนิด metal oxide without gaps ใช้สำหรับระดับการป้องกันค่าต่ำกว่าชนิด non-linear resistor type with series gaps หรือค่า safety margin จะสูงกว่านั่นเอง

อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากชนิด metal-oxide จะใช้กับแรงดันไฟฟ้าปกติ แต่ถ้าเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดแบบชั่วคราวหรือชั่วขณะทั้งค่าสูงและต่ำยังคงสามารถทำงานได้ ต่างกับชนิด non-linear resistor type with series gaps ซึ่งจะใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะค่าสูงมากพอที่ทำให้ serial gaps ทำงานเท่านั้น

ในอดีต วิธี spark gaps ได้รับความนิยมทั่วไป โดยเฉพาะกับแรงดันไฟฟ้าค่าสูงปานกลาง อย่างไรก็ดี วิธี spark gaps มีข้อเสียคือ

- ไม่สามารถทำนายค่าแรงดันไฟฟ้า spark over ได้
- ช่วงระยะเวลาหน่วงจนทำงานขัดข้อง (time delay to breakdown) นานและไม่สามารถทำนายได้
- ขึ้นอยู่กับ wave shape อย่างมาก
- ขึ้นอยู่กับขั้วแรงดันไฟฟ้า
- ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม
- เสี่ยงต่อการสร้างอาการผิดปกติให้เกิดขึ้น
- ทำให้เกิดภาวะลัดวงจรที่เครือข่าย
- ทำให้เกิดคลื่นไม่สมบูรณ์ chopped waves

จากข้อดีต่างๆ ในปัจจุบัน อุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากชนิด metal-oxide จึงเป็นที่นิยมใช้มากกว่าชนิด spark gaps อย่างไรก็ดี หม้อแปลงที่อยู่ในสถานที่เกิดพายุฟ้าผ่าหรือกระแสฟ้าผ่าค่าสูง ควรใช้อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิด metal-oxide และ spark gaps ร่วมกัน การติดตั้งอุปกรณ์ชนิด spark gaps ที่ขั้วสายไฟฟ้าเหนือศีรษะ 1 หรือ 2 จุด ภายนอกหม้อแปลงจะช่วยล่อกระแสค่าสูงๆ ลงดินก่อนมาถึงอุปกรณ์ชนิด metal-oxide ที่หม้อแปลง เป็นการหลีกเลี่ยงความเสียหาย ยืดอายุการใช้งาน เนื่องจากถ้าได้รับกระแสค่าสูงมากๆ บ่อยครั้งอุปกรณ์จะเสื่อมเร็ว

หม้อแปลงถึงแม้จะไม่อยู่ในที่ๆ เกิดฟ้าผ่าอาจเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะได้ จากสวิทช์จากประสบการณ์กับหม้อแปลงน้ำมันติดตั้งในที่ๆ มักไม่เกิดฟ้าผ่า พบว่าหม้อแปลงสามารถต้านทานแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดได้โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชาก

15.3 ข้อควรระวังพิเศษสำหรับหม้อแปลงแห้ง

ในสถานที่ๆ ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดจากฟ้าผ่า พบว่าหม้อแปลงแห้งที่ไม่มีระบบป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะพอเพียง อาการทำงานขัดข้องจะเกิดขึ้นมากกว่าหม้อแปลงน้ำมันและถึงแม้มีระบบป้องกัน อาการขัดข้องก็ยังคงเกิดขึ้น

เหตุการณ์ข้างต้นอธิบายได้ว่า สาเหตุเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดค่าสูงมากเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ตัดวงจรก่อนตัดและต่อวงจรอีก หลังจากกระแสผ่านไปหรือลดลงเป็นศูนย์ตามธรรมชาติ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดที่เกิดขึ้นภายในขดลวดไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วของขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ารวดเร็วมาก-น้อยที่ขั้วด้วย ดังนั้นถึงแม้แรงดันไฟฟ้าจะไม่สูงมากหรือยังต่ำกว่าค่าวิกฤต (ค่าที่ระบบป้องกันกระแสกระชาก) ก็อาจเป็นอันตรายต่อหม้อแปลงได้ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงถึงแม้เป็นช่วงระยะเวลาที่สั้นมากเพียงไม่ถึง 1 ไมโครวินาที เปรียบเทียบกันระหว่างหม้อแปลงน้ำมันกับหม้อแปลงแห้ง หม้อแปลงน้ำมันสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ดีกว่า ส่วนหม้อแปลงแห้งระบบป้องกันอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าจะต้องเพียงพอ

สิ่งที่น่าสังเกตคือ แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะที่เกิดขึ้น เมื่อกระแสเหนี่ยวนำ อาทิ กระแสสร้างแม่เหล็กไฟฟ้าฯลฯ หมดไป ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าระบบแต่จะเพิ่มขึ้นโดยพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสะสมอยู่ที่แกนหม้อแปลงขณะที่กระแสกำลังหมดไป กล่าวอีกอย่างคือ แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดชั่วขณะเพิ่มขึ้นมาก-น้อยตามขนาดของหม้อแปลง และจะมีผลเสียมากที่สุด ถ้าเป็นหม้อแปลงที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากความต้านทานของฉนวนต่ำ จากสถิติหม้อแปลงที่มีการถอดออก-ต่อเข้าบ่อย ถ้าระบบป้องกันไม่เพียงพอ โอกาสขัดข้อง/ชำรุดจะมากกว่าหม้อแปลงที่ทำงานสม่ำเสมอหลายปีจึงถอดออก-ต่อเข้าสักครั้ง

สรุป ตัวอย่างเช่น หม้อแปลง 2000 kVA 10 kV ที่ปิด-เปิดบ่อยจะต้องมีระบบป้องกันมากกว่าหม้อแปลง 100 kVA 20 kV ที่ทำงานต่อเนื่องไม่ปิด-เปิดบ่อย

คาพาซิเตอร์ที่ต่อระหว่างหม้อแปลงกับกราวด์จะช่วยลดจำนวนครั้งการต่อสวิทช์ใหม่ที่อุปกรณ์ตัดวงจรบางกรณีอาจไม่ต้องต่อสวิทช์ใหม่อีกเลย นอกจากนี้ยังช่วยปรับกระแส / แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าทำให้โอกาสที่หม้อแปลงขัดข้องหรือชำรุดน้อยลง

วิธีอีกอย่างคือ ใช้อุปกรณ์ตัดวงจรร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมที่จุดที่กระแสแรงดันไฟฟ้าเข้าระบบ (point-on-wave control) ซึ่งตั้งจำนวนครั้งปิด-เปิดให้แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดเกิดขึ้นน้อยที่สุด

15.3.1 แรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดภายในหม้อแปลงเกิดจาก High frequency oscillations

การปิด/เปิด หรือเปลี่ยนตำแหน่งสวิทช์ทุกครั้งจะมี oscillation ความถี่สูงในช่วงกิโลเฮิรตซ์ / เมกะเฮิรตซ์ เกิดขึ้นตามมาพร้อมกับอาการหน่วงช้าหรือเร็ว ถ้าอาการหน่วงช้าและความถี่หลักของ oscillation ตรงกับความถี่ resonance ค่าใดค่าหนึ่งของหม้อแปลง แรงเครียดจากแรงดันไฟฟ้าสูงระหว่างรอบขดลวดภายในขดลวดจะเกิดขึ้นและอาจเป็นอันตรายต่อหม้อแปลงได้

การปิด-เปิดอุปกรณ์ความต้านทานที่อุปกรณ์ตัดวงจรเป็นวิธีช่วยลดการเกิด oscillation อย่างมีประสิทธิภาพ

อีกวิธีหนึ่ง โดยเปลี่ยน (ลด) ความถี่ oscillation หลักโดยใส่คาพาซิเตอร์เพิ่ม ถ้าเลือกใช้วิธีนี้ควรทราบ resonance characteristics ของหม้อแปลงและควรศึกษาระบบไฟฟ้าที่เข้าหม้อแปลงก่อนอย่างรอบคอบ

15.4 การถ่ายทอดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดที่หม้อแปลง

ถ้าค่าความถี่ไฟฟ้าสูง (กิโลเฮิรตซ์) ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (voltage ratio) กับค่าอัตราส่วนรอบขดลวด (turn ratio) อาจแตกต่างกันมาก และโอกาสที่การถ่ายทอดแรงดันไฟฟ้าสูงจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งจะเกิดขึ้นมีสูง อาจทำให้ขดลวดด้านที่รับการถ่ายทอดเป็นอันตราย ถ้าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก resonance effects

การถ่ายทอดแรงดันไฟฟ้าภายในหม้อแปลงอาจเป็นแบบ

- ถ่ายทอดทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- ถ่ายทอดทางประจุไฟฟ้าสถิต
- Oscillary transfer โดย oscillation ธรรมชาติของวงจรปฐมภูมิ / ทุติยภูมิของหม้อแปลง โดยวงจร oscillation เกิดขึ้นจากค่า capacitance ต่อลงดินและการเหนี่ยวนำตนเองของขดลวด

การถ่ายทอดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดอาจเป็นอันตรายถ้าหาก

- ไม่ต่อขดลวดทุติยภูมิกับเครือข่าย
- แรงดันไฟฟ้าของขดลวดทุติยภูมิต่ำเปรียบเทียบกับขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูง
- ขดลวดเป็นขดลวดตติยภูมิของชุดขดลวด 3 ชิ้นของหม้อแปลง

วิธีแก้ไขโดยติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสกระชากระหว่างขั้วเฟสและระหว่างเฟส รายละเอียดดู Annex E of IEC 60071-2

ในทุกกรณี อย่างน้อยที่สุดสำหรับความปลอดภัย ขดลวดทุติยภูมิ/ตติยภูมิที่ไม่ต่อกับเครือข่ายควรต่อลงดินที่จุดใดจุดหนึ่ง ที่มุม Delta connection ที่ขดลวดหรือจุดสะเทินของ star connection (ดีที่สุด)

16. อื่นๆ

16.1 เอกสารรับรอง / เอกสารอนุมัติ / ฉลาก

สัญลักษณ์ CE (Communauté Européenne – European Conformity) เป็นเครื่องหมายตาม European Directives ผลิตภัณฑ์ที่มีสัญลักษณ์ CE จะได้รับความเชื่อถือจากตลาด แสดงว่าผ่านการตรวจสอบรับรองจากองค์กรดูแลควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานระดับชาติ การที่ผู้ผลิตขอสัญลักษณ์ CE แสดงว่าคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ได้ตามที่กฎหมายกำหนด ทั้งนี้สัญลักษณ์ CE ไม่ได้รับรองคุณภาพความปลอดภัยหรือการได้ตามมาตรฐาน

EU Directives ที่ใช้สำหรับหม้อแปลงมี 3 ประเภทได้แก่

Machine Directive ใช้กับเครื่องจักรแทบทุกชนิดยกเว้นบางชนิด ซึ่งผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ / ระบบไฟฟ้าในประเทศยุโรปเห็นพ้องกันว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ไม่อยู่ภายใต้ Machine directive และประชาคมยุโรปมีความเห็นเช่นเดียวกัน อนึ่ง โดยนิยามมอเตอร์ไฟฟ้าไม่จัดว่าอยู่ภายใต้ Machine Directive ด้วยเช่นกัน

EMC Directive วัตถุประสงค์เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแทบทุกชนิด อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดติดตั้งถาวร (ณ จุดที่ใช้งาน) จะต้องได้ตามข้อกำหนดความปลอดภัย EMC protection โดยไม่จำเป็นต้องคุณสมบัติได้ตามเกณฑ์มาตรฐานได้สัญลักษณ์ CE หรือผ่านการรับรองจากองค์กรใดๆ รวมทั้งอุปกรณ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิต่างๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้าติดตั้งถาวร (หมายถึง อุปกรณ์ที่เป็นชิ้นส่วนไม่กำหนดหน้าที่การทำงานตายตัว)

Low Voltage Directive (LVD) วัตถุประสงค์เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงต่ำอิสระซึ่งใช้ที่หม้อแปลงและอุปกรณ์ไฟฟ้าติดตั้งถาวร ตัวอย่างเช่น วงจรควบคุม รีเลย์ป้องกัน อุปกรณ์วัด แผ่นขั้วฯลฯ ซึ่งจะต้องได้ตามที่ LVD กำหนด และมีสัญลักษณ์ CE เมื่อจำหน่ายในตลาด

อย่างไรก็ดี ถ้าอุปกรณ์ควบคุมวัดหรือป้องกันเป็นชนิดติดตั้งถาวร ใช้ไฟฟ้าแรงสูงและ/หรือเป็นหม้อแปลงจะไม่อยู่ภายใน LVD เนื่องจากตามนิยาม (IEC 60050-441) ถือเป็นผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าแรงสูง

สรุป อุปกรณ์และอุปกรณ์ติดตั้งถาวรไฟฟ้าแรงสูงรวมทั้งอุปกรณ์ติดตั้งถาวรทุติยภูมิไม่จำเป็นต้องมีสัญลักษณ์ CE อย่างไรก็ดี จะต้องอยู่ภายใต้มาตรฐานหรือระเบียบอย่างใดอย่างหนึ่ง

ในทวีปอเมริกาเหนือการจำหน่าย / ส่งมอบหม้อแปลงอาจต้องมีเอกสาร / ป้ายของ Underwriters Laboratories Inc. และ CSA รับรอง

16.2 เอกสารแสดงคุณสมบัติได้ตามมาตรฐานกำหนด (Declaration of Conformity)

สำหรับคุณสมบัติตามาตรฐาน EN 45014 General criteria for supplier's declaration of conformity โดยออกให้ลูกค้า ถ้ามีการร้องขอ

ในบางกรณีอาจใช้เอกสารรับรอง certificate of conformity แทนได้

ในเอกสารอย่างต่ำจะต้องระบุชื่อผู้จำหน่าย ชื่อผลิตภัณฑ์ ตัวข้อกำหนด เอกสารอ้างอิง (ระบุฉบับที่/วันที่ออก) และข้อมูลรายละเอียดอื่นๆ รวมทั้งระบุสถานที่และวันที่ออกและชื่อ หน้าที่รับผิดชอบและลายมือชื่อของเจ้าหน้าที่ตัวแทนของผู้จำหน่าย / ผู้ผลิต ตัวอย่างเช่น

เอกสารแสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้ตามมาตรฐานกำหนด
เลขที่ .....

ผู้จำหน่าย / ผู้ผลิต .....
ที่อยู่ .....
ชื่อผลิตภัณฑ์ .....
ผลิตภัณฑ์ข้างต้นคุณสมบัติได้ตามมาตรฐาน / ข้อกำหนด

เอกสารเลขที่	ชื่อเอกสาร	ฉบับที่ / วันที่ออก
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

ข้อมูลรายละเอียดอื่นๆ
.....
.....

สถานที่และวันที่ออกเอกสาร

เจ้าหน้าที่ / ตำแหน่ง ..... ลายมือชื่อ .....

16.3 ระดับความปลอดภัย IP – Classification

16.3.1 ทั่วไป

IP classification เป็นข้อมูลแสดงระดับความปลอดภัยของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ในคู่มือนี้หมายถึงขั้วที่หม้อแปลงและอุปกรณ์) เมื่อมีแรงกระทำหรือสัมผัสถูกต้องสสารวัตถุ อาทิ ฝุ่น มลภาวะ ความชื้นฯลฯ

รายละเอียดดู IEC 60529 www.iec.ch สถาบัน IEC นครเจนีวา ประเทศสวิทเซอร์แลนด์

ระดับเลขที่ IP23

ตัวเลขหน้า (2) หมายถึง ความปลอดภัยจากสสารจาก ภายนอกที่เป็นของแข็ง ขนาดตั้งแต่ 12.5 มม. ขึ้นไป

ตัวเลขหลัง (3) หมายถึง ความปลอดภัยจากละอองน้ำ / ความชื้น

16.3.2 ระดับความปลอดภัยจากสสารวัตถุของแข็ง

ระดับความปลอดภัย / การป้องกัน	นิยาม	ตัวเลขที่ 1
ไม่ปลอดภัย / ไม่ป้องกัน		0
ปลอดภัยจากสสารวัตถุภายนอกที่เป็นของแข็งขนาดตั้งแต่ 50 มม. ขึ้นไป	สสารวัตถุขนาดตั้งแต่ 50 มม. ขึ้นไป ไม่สามารถแทรกซึม หลุดรอดเข้าไปได้	1
ปลอดภัยจากสสารวัตถุภายนอกที่เป็นของแข็งขนาดตั้งแต่ 12.5 มม. ขึ้นไป	สสารวัตถุขนาดตั้งแต่ 12.5 มม. ขึ้นไป ไม่สามารถแทรกซึม หลุดรอดเข้าไปได้	2
ปลอดภัยจากสสารวัตถุภายนอกที่เป็นของแข็งขนาดตั้งแต่ 2.5 มม. ขึ้นไป	สสารวัตถุขนาดตั้งแต่ 2.5 มม. ขึ้นไป ไม่สามารถแทรกซึม หลุดรอดเข้าไปได้	3
ปลอดภัยจากสสารวัตถุภายนอกที่เป็นของแข็งขนาดตั้งแต่ 1.0 มม. ขึ้นไป	สสารวัตถุขนาดตั้งแต่ 1.0 มม. ขึ้นไป ไม่สามารถแทรกซึม หลุดรอดเข้าไปได้	4
ป้องกัน / ปลอดภัยจากฝุ่นผงละออง	ไม่สามารถป้องกันได้ 100% อย่างไรก็ดี ปริมาณของฝุ่นผงละอองที่สามารถหลุดรอดเข้าไปได้จะไม่มากจนรบกวนการทำงานของหม้อแปลงหรือทำให้เกิดอันตราย	5
ป้องกัน / ปลอดภัยจากฝุ่นละอองระดับสมบูรณ์	ฝุ่นผงละอองไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ 100%	6

16.3.3 ระดับความปลอดภัยจากน้ำ / ของเหลว

ระดับความปลอดภัย / การป้องกัน	นิยาม	ตัวเลขที่ 2
ไม่ปลอดภัย / ไม่ป้องกัน		0
สามารถป้องกันน้ำที่หยดจากด้านบน	น้ำที่หยดลงมาจากด้านบนไม่ทำให้เกิดอันตราย	1
สามารถป้องกันน้ำที่หยดจากด้านบนโดยฝาหุ้มหม้อแปลงเอียงไม่เกิน 15o	น้ำที่หยดลงมาจากด้านบนไม่ทำให้เกิดอันตรายเมื่อฝาหุ้มหม้อแปลงเอียงไม่เกิน 15o จากแนวดิ่งที่ด้านใดด้านหนึ่ง	2
สามารถป้องกันละอองน้ำฉีด	ละอองน้ำฉีดทำมุมไม่เกิน 60o กับแนวดิ่งที่ด้านใดด้านหนึ่ง ไม่ทำให้เกิดอันตราย	3
สามารถป้องกันน้ำสาด	น้ำสาด / กระเซ็นที่ฝาหุ้มจากทิศทางใดๆ ไม่ทำให้เกิดอันตราย	4
สามารถป้องกันน้ำฉีด	น้ำฉีดที่ฝาหุ้มจากทิศทางใดๆ ไม่ทำให้เกิดอันตราย	5
สามารถป้องกันน้ำฉีดแรงดันสูง	น้ำฉีดแรงดันสูงที่ฝาหุ้มจากทิศทางใดๆ ไม่ทำให้เกิดอันตราย	6

16.3.4 เปรียบเทียบข้อกำหนดมาตรฐาน IEC กับมาตรฐาน NEMA

มาตรฐาน IEC 60529 ไม่ได้มีการกำหนดความปลอดภัย / การป้องกันความเสียหายทางกล ความเสี่ยงการเกิดการระเบิดหรืออันตรายอื่นๆ อาทิ ความชื้น (จากการควบแน่นฯลฯ) ไอกัดกร่อน จุลินทรีย์หรือสัตว์รบกวน ส่วนมาตรฐาน NEMA Standard for Enclosures for Electrical Equipment ไม่ได้มีการทดสอบเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม อาทิ การกัดกร่อน การเกิดสนิม การเกิดน้ำแข็ง น้ำมัน สารช่วยระบายความร้อนฯลฯ ลักษณะ

ระดับความปลอดภัย / การป้องกันมาตรฐาน NEMA	ระดับความปลอดภัย / การป้องกันมาตรฐาน IEC
1	IP10
2	IP11
3	IP54
3R	IP14
3S	IP54
4 and 4X	IP56
5	IP52
6 AND 6P	IP67
12 AND 12L	IP52
13	IP54

ดังกล่าวรวมทั้งการทดสอบและประเมินผลข้อคุณสมบัติต่างๆ ต่างกัน มาตรฐาน IEC กับ NEMA จึงไม่เหมือนกันและใช้แทนกันไม่ได้ สำหรับระดับการป้องกันของวัสดุหุ้มหม้อแปลง

ตารางด้านล่างเปรียบเทียบระดับความปลอดภัย / การป้องกันตามมาตรฐาน NEMA กับ IEC สำหรับข้อคุณสมบัติเดียวกันหรือคล้ายกัน ทั่วไปมาตรฐาน NEMA จะไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน IEC หรืออาจสูงกว่า ดังนั้นระดับความปลอดภัย / การป้องกันในตารางไม่สามารถใช้แทนกันได้

16.4 การกำหนด / ระบุขั้วไฟฟ้า

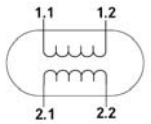
กรณีลูกค้าไม่กำหนด / ระบุขั้วไฟฟ้าด้วยระบบอื่น บริษัทจะกำหนด / ระบุตามมาตรฐาน IEC 60616 TR หรือมาตรฐาน ANSI / IEEE C57.12.70-1978TM

ตามมาตรฐาน IEC การกำหนด / ระบุขั้วไฟฟ้าภายนอกจะเป็นตัวเลขนำหน้าตัวอักษร ตัวอย่างเช่น 1U, 1V, 1W ฯลฯ ตัวเลข 1 สำหรับไฟฟ้าแรงสูง และตัวเลข 2, 3, 4.....ค่าลดลงเรียงกันมาตามลำดับ ตัวอักษร N คือ ขั้วหรือจุดสะเทินที่ Star หรือ Zigzag connection ที่หม้อแปลง

ส่วนมาตรฐาน ANSI IEEE กำหนดให้ตัวอักษร (Capital letter) ขึ้นก่อนตามด้วยตัวเลข ตัวอย่าง H1, H2, H3 ตัวอักษร H หมายถึง ไฟฟ้าแรงสูง ค่าต่ำลงมาใช้ x, y และ z ตามลำดับ ตัวเลข 0 หมายถึง จุดสะเทินที่ Star หรือ Zigzag connection ที่หม้อแปลง

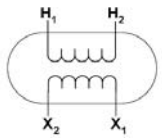
16.4.1 หม้อแปลง 1 เฟส

ตามมาตรฐาน IEC 60616 TR ขั้ว 2 ขั้วด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะมีตัวเลข 1.1 และ 1.2 กำกับ ส่วนขั้ว 2 ขั้วด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ มีตัวเลข 2.1 และ 2.2 กำกับ



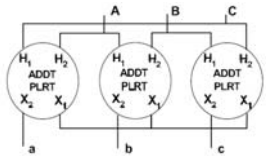
รูป 16-1

สำหรับมาตรฐาน ANSI / IEEE C57.12.70-1978TM ขั้ว 2 ขั้วด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะมีตัวหนังสือ H1 และ H2 กำกับ ส่วนขั้ว 2 ขั้วแรงดันไฟฟ้าต่ำมีตัวหนังสือ X1 และ X2 กำกับ



รูป 16-2

การต่อหม้อแปลง 1 เฟส กับระบบ 3 เฟส จะต่อที่ 3-phase banks รูป 16-3 แสดงตัวอย่าง หม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว ต่อกับ Δ-Y 30o angular displacement ที่ 3-phase banks

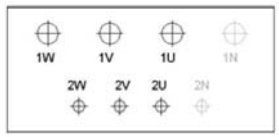


รูป 16-3

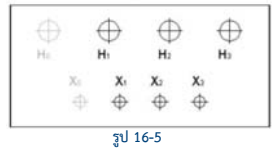
รายละเอียดวิธีต่อหม้อแปลง 1 เฟส กับ 3-phase banks ดูในมาตรฐาน ANSI/IEEE C57.12.70-1978TM

16.4.2 หม้อแปลง 3 เฟส

ตามมาตรฐาน IEC 60616 TR ขั้วหม้อแปลง 3 เฟส จะอยู่เรียงและมีเครื่องหมายกำกับจากซ้ายไปขวาตามลำดับดังนี้ ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง 1W 1V 1U และ 1N ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ 2W 2V 2U และ 2N มองจากด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (1N และ 2N คือ ขั้วสะเทิน)



ตามมาตรฐาน ANSI / IEEE C57.12-70-1978TM ขั้วหม้อแปลง 3 เฟส จะอยู่เรียงและมีเครื่องหมายจากซ้ายไปขวาตามลำดับดังนี้ ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง H0 H1 H2 และ H3 ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ X0 X1 X2 และ X3 มองจากด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (H0 และ X0 คือ ขั้วสะเทิน)



รูป 16-5

16.5 ป้ายแสดงคุณสมบัติหม้อแปลง (Rating Plate)

ที่หม้อแปลงจะมีป้ายแสดงคุณสมบัติทำจากวัสดุทนทานสภาพอากาศติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเห็นได้ง่าย การจารึกข้อมูลทุกตัวจะต้องทนทาน ไม่ลบเลือน

การแสดง / ระบุข้อคุณสมบัติของหม้อแปลงชนิดต่างๆ จะต้องครบถ้วนตามมาตรฐาน IEC 60076-1 ของสถาบัน IEC นครเจนีวา ประเทศสวิทเซอร์แลนด์ เว็บไซท์: www.iec.ch

ข้อคุณสมบัติของหม้อแปลงแสดง / ระบุที่ป้ายอย่างน้อยจะต้องมีดังนี้

- ชนิดของหม้อแปลง
- เลขที่ของมาตรฐานที่ใช้สำหรับหม้อแปลง
- ชื่อผู้ผลิต
- เลขที่ผลิต (Serial number)
- ปีที่ผลิต
- จำนวนเฟส
- กำลังไฟฟ้าใช้งาน (Rated power kVA / MVA)
- ความถี่ใช้งาน (เฮิทซ์)
- ระดับฉนวนพื้นฐาน
- แรงดันไฟฟ้าใช้งานและพิสัยการปรับแรงดันไฟฟ้า (โวลท์/กิโลโวลท์)
- ปริมาณกระแสใช้งาน (แอมป์/กิโลแอมป์)
- สัญลักษณ์การต่อไฟฟ้า
- ค่าความต้านทานลัดวงจร (%)
- ชนิดการระบายความร้อน
- ค่ามวลรวม
- มวล / น้ำหนักของน้ำมันแช่
- สำหรับหม้อแปลงแห้ง
  - เกรดอุณหภูมิ (Temperature Class)
  - เกรดภูมิอากาศ (Climatic Class)
  - เกรดด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Class)
  - เกรดด้านเปลวเพลิง (Fire behavior Class)
  - ระดับความปลอดภัย (IP Class)

ลักษณะป้ายคุณสมบัติหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าต่ำชนิดแห้งของบริษัท ABB ตัวอย่างดังแสดงต่อไปนี้ กรณีลูกค้าต้องการระบุ / แสดงข้อมูลอื่นเพิ่มเติมสามารถใช้ป้ายเพิ่มหรือป้ายแบบอื่นได้

ปัจจุบันลักษณะป้ายคุณสมบัติหม้อแปลงของบริษัทยังไม่กำหนดตายตัวเพื่อความคล่องตัว

16.6 ความสามารถเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility – EMC)

16.6.1 นิยาม

*ลิขสิทธิ์สถาบัน IEC นครเจนีวา ประเทศสวิทเซอร์แลนด์ www.iec.ch

ตามศัพทาภิธาน International Electrotechnical Vocabulary (IEV) นิยามของ EMC คือ “ความสามารถของอุปกรณ์หรือระบบที่จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่รบกวนการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบอื่น” (IEV 161-01-07)

นิยามอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

อาการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
คือ ปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นในที่ๆ มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดอาการทำงานผิดปกติขึ้นที่อุปกรณ์ไฟฟ้า (IEV 161-01-05 ฉบับแก้ไขปรับปรุง)

อาการผิดปกติจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
คือ อาการทำงานผิดปกติ ซึ่งเกิดขึ้นที่อุปกรณ์จุดเชื่อมต่อหรือระบบทางไฟฟ้าจากการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

หมายเหตุ - คำว่าอาการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและอาการผิดปกติจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเหตุและผลซึ่งกันและกัน แต่มักใช้แทนกัน (IEV 161-01-06)

ระดับของอาการรบกวน
คือ ปริมาณหรือขนาดของอาการรบกวน ซึ่งวัดและหาค่าตามวิธีที่กำหนด (IEV 161-03-01 ฉบับแก้ไขปรับปรุง)

ระดับความสามารถเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า
คือ ระดับของอาการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิงสำหรับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งๆ เพื่อกำหนดขอบเขตการปล่อยและความปลอดภัยของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

หมายเหตุ ตามข้อตกลงสากล หลักการเลือกระดับความสามารถเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าคือ อาการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเลยค่าของระดับที่กำหนดมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก (IEV 161-03-10 ฉบับแก้ไขปรับปรุง)

ระดับความปลอดภัย (Immunity level)
คือ ระดับสูงสุดของอาการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่เครื่องมือ อุปกรณ์หรือระบบซึ่งยังคงสามารถทำงานต่อไปเป็นปกติ (IEV 161-03-14)

โปรดติดตามต่อฉบับหน้า

อยู่อย่างไรเมื่อเป็นไมเกรน

พัทยา เพชรธานินท์ > pattaya.petchtanin@th.abb.com

หากคุณเป็นอีกคนหนึ่งที่มีอาการปวดศีรษะ แต่ไม่แน่ใจว่าอาการปวดศีรษะของคุณจะใช่ไมเกรนหรือไม่ ลองสังเกตดูว่าลักษณะการปวดของคุณ ตรงกับข้อใดบ้าง ดังต่อไปนี้ ปวดศีรษะข้างเดียว, ปวดตุ้บๆ เป็นจังหวะ, ปวดมากขึ้นเมื่อขยับร่างกาย, ปวดมากจนไม่เป็นอันทำอะไร, มีอาการคลื่นไส้ อาเจียนร่วมด้วยเป็นบางครั้ง, ทนแสงแดดจ้าหรือเสียงดังไม่ค่อยได้

เพราะเหตุใดจึงเป็นไมเกรน

เพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นอันจะนำไปสู่การรับมืออย่างได้ผล แพทย์ผู้เชี่ยวชาญแนะนำวิธีการปฏิบัติตัวสำหรับผู้ป่วยไมเกรน ให้ยังคงมีคุณภาพชีวิตที่ดีแม้จะต้องอยู่กับอาการปวดศีรษะต่อไป

อาการปวดศีรษะแบบไมเกรนนั้น มีลักษณะค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือ มักจะปวดบริเวณขมับโดยอาจจะปวดข้างเดียว หรือทั้งสองข้างก็ได้ บางกรณีอาจมีการปวดวนกันไป และมักจะปวดข้างเดิมอยู่ซ้ำๆ ส่วนอีกบริเวณหนึ่งที่พบมาก ได้แก่ บริเวณเบ้าตา ลักษณะของการปวด ก็มักจะปวดตุ้บๆ ตามจังหวะของชีพจรในผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการคลื่นไส้อาเจียนร่วมด้วย

ระยะเวลาของการปวดอาจแตกต่างกันออกไปในผู้ป่วยแต่ละราย บางรายอาจมีอาการยาวนานถึง 72 ชั่วโมง การปวดศีรษะแบบไมเกรนนั้นเป็นโรคทางสมองชนิดหนึ่งซึ่งยังหาสาเหตุที่แน่ชัดไม่ได้ แต่น่าเชื่อได้ว่าอาจมีจุดกำเนิดจากก้านสมองที่ทำงานผิดปกติหรือเกิดจากภาวะที่สารเคมีในสมองไม่สมดุล ส่งผลให้หลอดเลือดมีความไวต่อการกระตุ้นมากเป็นพิเศษ กล่าวคือ มีการหดและขยายตัวของหลอดเลือดอย่างผิดปกติ

มีคำถามว่า เพราะเหตุใดหลอดเลือดจึงไวต่อการกระตุ้น ก็ต้องบอกว่าเป็นเรื่องของพันธุกรรม หากจะเปรียบให้เห็นภาพ ก็ต้องเปรียบกับผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืด ที่มีความเปราะบาง และไวต่อการกระตุ้น ในสถานการณ์เดียวกัน ถ้าไปเจอสิ่งกระตุ้น คนปกติจะไม่เป็นไร แต่ผู้ป่วยโรคหอบหืดนั้นจะเกิดอาการผิดปกติขึ้นมาทันที กรณีของผู้ป่วยไมเกรนก็เช่นเดียวกัน

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งสำหรับอาการปวดศีรษะแบบไมเกรน ได้แก่ ผู้ป่วยมักจะเริ่มเป็นเมื่ออายุยังไม่มากนัก เช่น ช่วงอายุระหว่าง 25 ถึง 45 ปี และเคยมีรายงานว่าพบผู้ป่วยไมเกรนที่มีอายุเพียง 5 ปี ที่สำคัญมีผู้ป่วยผู้หญิงมากกว่าผู้ชายถึง 3 เท่า เนื่องจากอาจมีปัจจัยเรื่องของฮอร์โมนเข้ามาเกี่ยวข้อง

ปัจจัยกระตุ้น

ปัจจัยกระตุ้นให้เกิดอาการปวดไมเกรนมีหลายประการ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในผู้ป่วยแต่ละราย ที่พบได้บ่อย คือ แสงแดด แสงจ้า ซึ่งผู้ป่วยคุ้นเคยเป็นอย่างดี ต่อมาได้แก่ การอดนอน นอนน้อย หรือ นอนดึก นอกจากนี้อาหารก็เป็นตัวกระตุ้นไมเกรนได้เช่นเดียวกันคือ แอลกอฮอล์ โดยเฉพาะไวน์แดง ช็อคโกแล็ต ชีส และสุดท้ายได้แก่ ยาคุมกำเนิด ซึ่งเป็นยาฮอร์โมนและสามารถไปกระตุ้นไมเกรนได้

โดยสรุปแล้ว ปัจจัยที่กระตุ้นการเกิดไมเกรนมีดังนี้

- ความเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน ช่วงมีประจำเดือน ระหว่างตั้งครรภ์ ช่วงหมดประจำเดือน หรือการรับประทานยาเม็ดคุมกำเนิด
- อาหารบางชนิด เช่น ชีส ไวน์แดง ช็อคโกแล็ต น้ำตาลเทียม ผงชูรส ชา และกาแฟ
- การกระตุ้นทางประสาทสัมผัส อาทิ แสงจ้า เสียงดัง กลิ่นฉุน กลิ่นบุหรี่
- รูปแบบการนอนที่เปลี่ยนไป เช่น นอนดึก นอนไม่พอ หรือนอนมากเกินไป
- สิ่งแวดล้อม เช่น อากาศร้อน ฝุ่นควัน
- ยาบางชนิด

นอกเหนือจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว หลายคนเชื่อว่าความเครียดก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กระตุ้นการปวดไมเกรนตรงนี้ แพทย์ผู้เชี่ยวชาญอธิบายว่า จริงๆ แล้ว ความเครียดไม่ได้ทำให้เราเป็นไมเกรน แต่ด้วยพันธุกรรมทำให้ผู้ที่มีความเสี่ยงต่อไมเกรนอยู่แล้วเป็นไมเกรนขึ้นมา เมื่อไรก็ตามที่เราเครียดเราจะปวดหัวได้สองแบบ แบบแรกคือ มึนๆ เหมือนมีอะไรมารัดศีรษะอยู่แน่นไปหมด อันนี้เป็นลักษณะการปวดหัวแบบเครียด แต่คนเป็นไมเกรนจะปวดหัวแบบไมเกรน หรือแบบผสม เช่น ปวดตุ้บ ๆ คลื่นไส้ อาเจียน

การรักษา

สำหรับการรักษาไมเกรนให้หายขาดยังเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาค้นคว้ากันต่อไป จุดมุ่งหมายในการรักษาจึงอยู่ที่การรับมือกับอาการปวด ไม่ว่าจะด้วยการรักษา หรือป้องกันอาการ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดี ทุกข์ทรมานจากความปวดน้อยลง และประกอบกิจวัตรต่างๆ ได้ตามปกติ

ในการรักษา แพทย์จะพิจารณาว่าผู้ป่วยมีอาการบ่อยและรุนแรงเพียงใด ตามสถิติ ผู้ป่วยไมเกรนประมาณร้อยละ 80 มีอาการปวดศีรษะ 1 ถึง 2 ครั้งต่อเดือน มีผู้ป่วยจำนวนไม่มากนักที่ปวดบ่อย หรือปวดทุกวัน การรักษาหลักๆ ได้แก่การให้ยา ซึ่งแบ่งเป็นยาสำหรับรักษาอาการและยาสำหรับป้องกันอาการ

สำหรับผู้ป่วยที่อาการไม่รุนแรง หรือปวดนานๆ ครั้ง แพทย์จะสั่งยาแก้ปวดให้รับประทาน แต่โดยมากแล้วยาแก้ปวดธรรมดาอย่างพาราเซตามอล มักจะใช้ไม่ได้ผลกับผู้ป่วยไมเกรน ต้องใช้ยาที่แรงขึ้น ซึ่งก็จะมีข้อเสียคือ ยาพวกนี้มักจะมีฤทธิ์กัดกระเพาะ หรือไม่ก็เป็นยาจำพวกยาเสพติด เช่น ฝิ่นสังเคราะห์ ซึ่งผู้ป่วยอาจจะติดได้

ส่วนผู้ที่เป็นบ่อยๆ เช่น เดือนหนึ่งเป็น 2 ครั้ง หรือมากกว่า แพทย์จะแนะนำให้รับประทานยาป้องกัน ยากลุ่มนี้เป็นยาที่ต้องรับประทานทุกวัน ยาที่จัดอยู่ในกลุ่มป้องกันมี 3 ถึง 4 กลุ่ม ได้แก่ยาความดันโลหิตบางตัวในขนาดต่ำๆ กลุ่มที่สองได้แก่ ยากันชักบางตัวขนาดต่ำๆ กลุ่มที่สามได้แก่ยาต้านอาการซึมเศร้า และสี่ได้แก่ ยาต้านแคลเซียม

อย่างไรก็ตาม ผู้ป่วยบางรายไม่ชอบที่จะต้องรับประทานยาทุกวัน ในส่วนของยาป้องกันนั้นมีความยืดหยุ่นพอสมควรคือ ไม่รับประทานก็ได้ ถ้าสามารถอยู่กับความปวดได้ โดยแพทย์จะเน้นไปในเรื่องของการปฏิบัติตัวรับมือกับไมเกรนแทน

แม้ว่าอาการปวดศีรษะแบบไมเกรนจะรักษาไม่หาย แต่ผู้ป่วยก็สามารถดูแลตัวเองเพื่อบรรเทา และลดความถี่ในการถูกกระตุ้นจนเกิดอาการปวดได้โดยปฏิบัติดังนี้

- หลีกเลี่ยงปัจจัยกระตุ้นไมเกรน ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่บางคนอาจมีปัจจัยกระตุ้นอื่นอีกได้ ทางที่ดีควรหมั่นสังเกตตัวเองให้ดี รวมทั้งพิจารณาจากประสบการณ์ที่ผ่านมา และพยายามหลีกเลี่ยงปัจจัยกระตุ้นนั้น ๆ
- นอนหลับให้เพียงพอ แต่อย่าให้มากเกินไป ผู้ใหญ่โดยทั่วไปควรนอนให้ได้ประมาณ 6 ถึง 8 ชั่วโมงต่อวัน พยายามเข้านอนและตื่นนอนให้ตรงเวลาทุกวัน
- หยุดพักเมื่อมีอาการ ถ้าเป็นไปได้ควรพยายามพักผ่อน ในห้องเงียบๆ มืดๆ ร่วมกับการประคบเย็นบริเวณต้นคอ พร้อมกับนวดบริเวณที่ปวดก็จะช่วยบรรเทาอาการได้
- ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ การออกกำลังกายติดต่อกันไม่น้อยกว่า 30 นาที จะช่วยให้ร่างกายโดยรวมแข็งแรง และลดความเครียดซึ่งอาจจะช่วยลดความถี่ของการปวดได้
- จดบันทึกอาการของคุณ บันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับความปวด อาทิ วัน เวลา ระยะเวลา ลักษณะอาการปวด อาหารที่รับประทาน รวมถึงความผิดปกติต่างๆ ที่ดูเหมือนจะไม่เกี่ยวข้องกับอาการของคุณเลย

เมื่อไรควรรีบไปพบแพทย์

สาเหตุที่ทำให้ปวดศีรษะโดยมากมักจะไม่ร้ายแรง แต่ก็มีหลายกรณีที่อาการปวดศีรษะเป็นอาการนำ และมีอาการอื่นร่วมด้วย เช่น มีไข้สูง ตาเห็นภาพพ้อน ตาเหล่ ปากเบี้ยว พูดไม่ชัด แบบนี้ไม่ใช่ไมเกรนแน่ๆ แต่เห็นได้ชัดว่าเป็นความผิดปกติทางระบบประสาท หรืออาการปวดศีรษะชนิดที่แปลกออกไป แบบที่ไม่เคยปวดมาก่อน เช่น ปวดต่อเนื่องยาวนานไม่ดีขึ้น แม้ใช้ยา แขนขาอ่อนแรง ชาครึ่งซีก พูดไม่ออก ถ้ามีอาการแบบนี้ต้องรีบไปพบแพทย์

แม้อาการปวดศีรษะแบบไมเกรนจะเป็นประสบการณ์ที่แสนทรมาน แต่หากรู้จักรับมืออย่างถูกวิธีแล้ว ไมเกรนก็อาจไม่เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของคุณจนเกินไปนัก

ที่มา : นิตยสาร Better Health

พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก

พัทยา เพชรธานินท์ > pattaya.petchtanin@th.abb.com

เมื่อสมัยเด็กๆ เวลาท่อง ก-ฮ นั้น เราจะท่องกันเป็นประโยคคล้องจอง เป็นทำนองต่อๆ กันไปว่า ก.เอ่ย ก.ไก่, ข.ไข่ ในเล้า, ไปเรื่อยๆ จนจบที่ ฮ.นกฮูก ตาโต แล้วก็ต้องทำตาโตๆ ใส่เพื่อนที่นั่งข้างๆ ด้วย ด้วยเหตุนี้เอง หลายคนจึงฟังใจว่านกฮูกจะต้องเป็นสัตว์ที่ตาโต

บางคนอาจจะบอกว่านกฮูกน่ารัก บางคนอาจจะบอกว่าไม่น่าใช่ เพราะตามความเชื่อของคนไทยเรานั้น หากว่ามีนกฮูก (นกเค้าแมว) บินผ่านหลังคาบ้าน หรือมาเกาะอยู่ในบริเวณใกล้ๆ บ้านใคร บ้านนั้นจะต้องมีคนตาย โดยเชื่อกันว่านกฮูกนั้นคือ ยมทูตส่งวิญญาณนั่นเอง

แต่สำหรับในบางวัฒนธรรมนั้น กลับเชื่อว่านกฮูกเป็นสัญลักษณ์ในเรื่องที่ดี เช่น ในคติของชาวฮินดูและชาวกรีกโบราณ เชื่อว่านกฮูกเป็นสัญลักษณ์เรื่องสติปัญญา ซึ่งครั้งนี้ เราจะพาไปรู้จักกับ “พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก” (Owl Art Museum) ที่ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม

พิพิธภัณฑ์แห่งนี้ไม่ได้จัดแสดงนกฮูก หรือนกเค้าแมวสายพันธุ์ต่างๆ ให้เราได้ชม แต่เป็นแหล่งรวบรวมของสะสมเกี่ยวกับงานศิลปะและงานออกแบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากนกฮูกของ รศ.ปรีชา ปิ้นกล่ำ อาจารย์คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งมีทั้งของสะสมที่มาจากภายในประเทศไทย ประเทศในเอเชีย ยุโรป และอเมริกา

เมื่อมาถึงด้านหน้าพิพิธภัณฑ์ ทางเข้ามีโครงไม้รูปทรงนกฮูกขนาดใหญ่ตั้งเด่นเป็นสง่า พอเดินเข้าไปข้างในเราก็ต้องทำตาโตราวกับเป็นนกฮูก เนื่องจากว่ามีของชิ้นเล็กชิ้นน้อยไปจนถึงของชิ้นใหญ่ๆ ที่เป็นบรรดานกฮูกทั้งหลาย เรียงแถวมาเสนอความน่ารักให้ได้ชมกัน ซึ่งการจัดแสดงของที่นี่จะแบ่งโซนออกเป็น 7 ส่วน ตามวัสดุที่ใช้ในการสร้างสรรค์ผลงาน เริ่มต้นจากส่วนของนกฮูกเครื่องประดับ ที่มีทั้งสร้อยคอ สร้อยข้อมือ กำไล ตุ้มหู แหวน ฯลฯ ที่ล้วนแต่ใช้ความน่ารักของนกฮูกมาแต่งเติมสีสันให้สวยงาม กลายเป็นเครื่องประดับที่น่าใส่ประดับติดตัวเสียจริง

ถัดมาเป็นโซนนกฮูกเรซิ่น จุดนี้ก็มีเรซิ่นรูปนกฮูกหลายแบบหลายสไตล์ มีทั้งมาเดี่ยว มาคู่ และมาเป็นกลุ่ม วางโชว์ไว้อวดความสวยงามและน่ารัก หันมาอีกทางจะเป็นนกฮูกที่ทำจากไม้ มีทั้งนกฮูกวอลลี นกฮูกไม้จากบาหลี ที่ทำการแกะสลักไม้ให้กลายเป็นรูปร่างนกฮูกที่มีอิริยาบถและหน้าตาที่ต่างกัน

หันมาอีกมุมหนึ่ง เราจะสะดุดตากับนกฮูกที่ทำจากผ้าและหนัง มุมนี้เขามีทั้งตุ๊กตานกฮูกตัวเล็กตัวใหญ่ กระเป๋าสะพายนกฮูก พวงกุญแจนกฮูก ไปจนถึงนกฮูกนำโชคของชาวญี่ปุ่นที่มีความเชื่อกันว่า หากพกนกฮูกติดตัวไว้หรือตั้งนกฮูกไว้ในบ้าน จะช่วยให้ครอบครัวกินดีอยู่ดี ไม่ลำบาก และจะพบแต่ความโชคดี

โซนถัดมาชวนมาชม นกฮูกเครื่องปั้นดินเผา มีทั้งแบบที่เป็นสีดินเผาไม่เคลือบ และแบบที่ตกแต่งสีสันสวยงามและนำไปเคลือบเรียบร้อยแล้ว ตรงจุดนี้ส่วนใหญ่จะเป็นนกฮูกตัวเล็กๆ ที่ใช้วางประดับบ้าน แต่ก็ยังมีนกฮูกตัวโตๆ วางใกล้ๆ กันอยู่ด้วย

เดินเลี้ยวโค้งมาอีกฝั่ง ก็เป็นโซนของนกฮูกจากโลหะและแก้ว ก็ยังมีนกฮูกตัวเล็กตัวใหญ่เช่นเดิม อย่างตัวที่น่าสนใจต้องไปดูนกฮูกนักดนตรี ที่ทำขึ้นจากโลหะหน้าตานกฮูกก็น่ารัก แถมยังมาเล่นเครื่องดนตรีอีกหลายชนิด แต่ที่เด็ดสุดคือ นกฮูกทรานส์ฟอร์เมอร์ส กว่าจะประดิษฐ์ออกมาได้แต่ละตัวนั้นคงต้องใช้ส่วนประกอบหลายชิ้นมากๆ เลยทีเดียว

มาจบสุดท้ายอยู่ที่นกฮูกกระดาษ โซนนี้รวบรวมหนังสือนกฮูกน่ารักๆ สำหรับเด็กๆ นกฮูกสอนภาษา นิทานนกฮูก และยังมีว่าวรูปนกฮูกจากอินโดนีเซียที่ดูสวยแปลกตา นกฮูกกระดาษสีทองจากพม่า ที่ชาวพม่านิยมตั้งไว้ในร้านค้า เพราะเชื่อว่านกฮูกเป็นสัญลักษณ์ของความมั่งคั่งอุดมสมบูรณ์ และเป็นสัตว์นำโชค ก็เลยนำมาตั้งในร้านค้าเพื่อให้ทำมาค้าคล่อง มีลูกค้าเข้ามาซื้อของในร้านเยอะๆ

เดินมาถึงจุดสุดท้าย ของสะสมชิ้นนี้เรายากจะมีเก็บไว้ใช้ที่บ้านเหมือนกัน เพราะมันคือ ครกฮูกหิน ซึ่งเป็นครกหินจากอ่างศิลา แล้วสลักให้มีหน้าตาเหมือนนกฮูก ถือว่าเป็นอุปกรณ์ใช้สอยในครัวเรือนที่มีประโยชน์มากแถมยังน่ารักน่าใช้ด้วย

หลังจากเดินชมภายในพิพิธภัณฑ์กันแล้วเกิดอยากได้ของฝากติดไม้ติดมือกลับบ้าน เพราะติดใจในความน่ารักของนกฮูกตาโตเข้าแล้ว ที่นี่ก็มีร้านขายของที่ระลึก Olwet Museum Shop เลือกได้ทั้งเสื้อยืดสีสวย กระเป๋า แก้วน้ำ โปสการ์ด สมุดจด เครื่องประดับ และอีกมากมายที่เป็นการออกแบบเกี่ยวกับนกฮูก

หรือใครที่ชื่นชอบกิจกรรมเกี่ยวกับศิลปะ ที่นี่เขาก็มีการจัดกิจกรรมศิลปะต่างๆ สำหรับทุกเพศทุกวัย เชิญชวนให้เข้ามาร่วมสนุกกัน มีทั้งการพิมพ์ภาพลงบนโปสการ์ด ทำหน้ากากสามมิติ ทำกระปุกออมสินนกฮูก ฯลฯ สามารถติดตามการร่วมกิจกรรมได้ที่ Facebook: พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก

มาเที่ยวพิพิธภัณฑ์ทั้งที นอกจากความสนุกที่ได้รับจากการชมของสะสมสวยๆ งามๆ แล้ว ที่นี่ยังให้ความรู้เรื่องเกี่ยวกับนกฮูกหรือนกเค้าแมวด้วย ทั้งลักษณะของนกฮูก วัฒนธรรมและความเชื่อเกี่ยวกับนกฮูกจากทั่วโลก ที่สำคัญพิพิธภัณฑ์แห่งนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงศิลปะแขนงต่างๆ ที่ผสมผสานความมีเอกลักษณ์ของนกฮูก ผ่านออกมาเป็นความน่ารักของสิ่งของ แบบนี้น่าจะเป็นแนวคิดให้เอาลองกลับไปประดิษฐ์อะไรเป็นของตัวเองบ้างสักชิ้น

“พิพิธภัณฑ์ศิลปะนกฮูก (Owl Art Museum)” ตั้งอยู่ที่ 10/3 ต.ไทยาวาส อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม การเดินทางใช้ถนนปิ่นเกล้า-นครชัยศรี มุ่งหน้าสู่อำเภอนครชัยศรี ตรงมาเรื่อยๆ จนถึงสะพานแยกเข้าอำเภอนครชัยศรี ให้ขึ้นสะพานเข้าไปยังตัวอำเภอจากนั้นตรงไปจนเจอสามแยกไฟแดง ให้เลี้ยวขวา แล้วเลี้ยวซ้ายเข้าซอยแรก (ซอยเข้าตลาดท่านา) แล้วให้ตรงไปข้ามสะพานข้ามแม่น้ำนครชัยศรี จากนั้นตรงต่อไปเรื่อยๆ สังเกตทางขวามือจะเห็นพิพิธภัณฑ์ตั้งอยู่ มีป้ายบอกชัดเจน

พิพิธภัณฑ์เปิดทำการ วันอังคาร-ศุกร์ เวลา 10.00-18.00 น. วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ เวลา 10.00-19.00 น. (หยุดทุกวันจันทร์) ค่าเข้าชม เด็ก 20 บาท ผู้ใหญ่ 40 บาท

ที่มา : www.manager.co.th

ABB จัดประชุมผู้บริหารระดับภูมิภาค (AMEA)

บริษัท เอบีบี จำกัด ประเทศไทย เป็นเจ้าภาพในการจัดการประชุมผู้บริหารระดับภูมิภาค (AMEA) ครั้งใหญ่ ซึ่งเป็นการรวมตัวของผู้บริหารระดับภูมิภาคจากหลากหลายประเทศในทวีปเอเชีย ทวีปเอเชียกลาง และทวีปแอฟริกา โดยการประชุมในครั้งนี้จัดขึ้นที่สำนักงานใหญ่ของเอบีบี ณ อาคารเอสจี ทาวเวอร์

ABB จัดงานสัมมนาวิชาการให้แก่หน่วยงานราชการในประเทศเมียนมาร์

บริษัท เอบีบี จำกัด จัดงานสัมมนาทางวิชาการเพื่อนำเสนอนวัตกรรมเทคโนโลยีไฟฟ้าสำหรับสถานีจ่ายไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าคุณภาพให้แก่หน่วยงานราชการสังกัดกระทรวงพลังงาน (MOEP - Ministry of Electric Power) พร้อมนำเสนอข้อมูลสินค้าและแนวทางการพัฒนางานด้านพลังงานน้ำมันและก๊าซให้แก่หน่วยงานราชการสังกัดกระทรวงพลังงาน (MOGE - Myanmar Oil and Gas Enterprise) ณ เมืองเนปิดอร์ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์

ABB จัดงานสัมมนา ABB Reliability Improvement for Power System ครั้งที่ 3

บริษัท เอบีบี จำกัด จัดงานสัมมนา ABB Reliability Improvement for Power System ครั้งที่ 3 เพื่อให้ความรู้และสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในโรงงานขนาดใหญ่ให้กับผู้ที่ใช้งานโดยตรง ณ โรงแรมสระบุรี อินน์ จ.สระบุรี ซึ่งมีผู้สนใจเข้าร่วมงานกว่า 60 คน

ABB มอบเงินสนับสนุนโครงการ กปน.ปันรอยยิ้มเพื่อสังคม

บริษัท เอบีบี จำกัด นำโดยคุณชัยยศ ปิยะวรรณรัตน์ Managing Director พร้อมผู้บริหารและทีมงานกลุ่มธุรกิจ Power Systems ร่วมมอบเงินสนับสนุนโครงการ กปน.ปันรอยยิ้มเพื่อสังคม ให้แก่คุณธนศักดิ์ วัฒนฐานะ ผู้ว่าการการประปานครหลวง (ที่ 3 จากซ้าย) พร้อมแสดงความยินดีในโอกาสครบรอบ 48 ปี วันคล้ายวันสถาปนาการประปานครหลวง

ABB ร่วมงานวันภูมิปัญญาไฟฟ้าอีสาน

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมออกบูธงานสัมมนาวิชาการ "วันภูมิปัญญาไฟฟ้าอีสาน" ประจำปี 2558 ณ อาคารประชาสัมพันธ์ เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ซึ่งจัดขึ้นโดยความร่วมมือทางวิชาการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, กฟผ.โรงไฟฟ้าน้ำพอง, กฟผ.โรงไฟฟ้าพลังน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, กฟผ.ฝ่ายปฏิบัติการภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น และรัฐวิสาหกิจไฟฟ้าลาว ภายในงานมีการให้ความรู้ทิศทางการผลิตไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในภาคอีสาน การแลกเปลี่ยนประสบการณ์ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า การให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีไฟฟ้าหัวข้อต่างๆ พร้อมจัดแสดงนิทรรศการและบอร์ดนำเสนอผลงานจากหน่วยงานต่างๆ โดยเอบีบีได้ร่วมออกบูธแสดงนวัตกรรมด้านไฟฟ้า ให้ความรู้ในหัวข้อแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ, การปรับปรุงและเพิ่มเสถียรภาพของระบบ GIS, การเพิ่มเสถียรภาพหม้อแปลงโดย dry bushing, เทคโนโลยีเครื่องมือวัด, ระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพสำหรับโรงไฟฟ้า, การลดต้นทุนด้วยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง พร้อมแสดงอุปกรณ์ และเครื่องมือจริงให้แก่ผู้ร่วมงานซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

ABB ร่วมกับโคราชกรุ๊ป วิศวกรรม และ พี.ไอ.เอส. พาวเวอร์ ดิสทริบิวชั่น จัดงานสัมมนาที่นครราชสีมา

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมกับบริษัท โคราชกรุ๊ป และบริษัท พี.ไอ.เอส. พาวเวอร์ ดิสทริบิวชั่น จำกัด จัดงานสัมมนาในหัวข้อ "นวัตกรรมใหม่ของอุปกรณ์ควบคุมและป้องกันไฟฟ้าแรงต่ำเอบีบี เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของระบบไฟฟ้า" ณ ห้องสุรนารีบอลลูม A โรงแรมดุสิตปริ๊นเซส จ.นครราชสีมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับศักยภาพและเทคโนโลยีใหม่ๆ ของอุปกรณ์ป้องกันและควบคุมทางไฟฟ้า และสามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในทางปฏิบัติได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ภายในงานมีบูธจัดแสดงผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากเอบีบี อาทิ Air circuit breaker Emax2, Magnetic contactor, Softstarters, Din-rail products, Stromberg, Electronic products and relays, Drives, Motors และ Capacitors เป็นต้น

ABB Day in Myanmar

บริษัท เอบีบี จำกัด จัดงานสัมมนาพร้อมแสดงนวัตกรรมเทคโนโลยีไฟฟ้าให้แก่ลูกค้า หน่วยงานราชการ พันธมิตรทางธุรกิจและผู้ที่สนใจ ณ โรงแรมโนโวเทล ย่างกุ้ง แม็กซ์ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ โดยมีการแบ่งหัวข้อการสัมมนาออกเป็น 3 หัวข้อ ตามความสนใจของลูกค้าคือ ไฟฟ้ากำลัง, Oil & Gas และ Building & General Industries โดยในแต่ละห้องสัมมนามีผู้สนใจเข้าร่วมฟังกว่า 250 ท่าน

ABB จัดงานสัมมนาวิชาการ TNC Cigre & IEEE PES Seminar

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมกับ TNC Cigre Thailand และ IEEE จัดงานสัมมนาวิชาการ "TNC Cigre & IEEE PES Seminar" ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ซึ่งมีการบรรยายเกี่ยวกับพัฒนาการของเทคโนโลยีทางด้านไฟฟ้า ที่เน้นในเรื่องของ FACTS, Smart grid, HDVC, และ Submarine Cable โดยงานนี้มีผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน คือ Mr. HAKAN P. JOHANSSON, Mr. PETER H. ANDERSSON, และ Mr. BO A. NILSSON จากเอบีบีประเทศสวีเดนมาเป็นวิทยากร พร้อมตอบปัญหาข้อซักถามทางด้านวิชาการ

Relion® 630/615 series Optimized solutions for utility distribution and industrial applications

The Relion ® product family offers the widest range of products for the protection, control, measurement and supervision of power system. To ensure future-proof solutions, Relion products have been designed to implement the core values of the IEC 61850 standard. These products interoperate with other IEC 61850 complaint intelligent electronic devices (IEDs), tools and systems. Their performance is sufficient to undertake comprehensive communication tasks, for example GOOSE messaging for horizontal communication. **www.abb.com/substationautomation**

Power and productivity
for a better world™