

คุณภาพไฟฟ้า



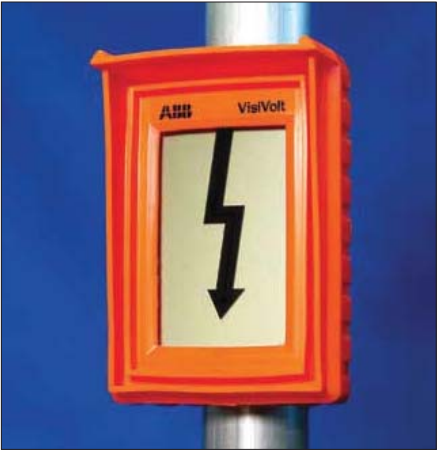
Application of Neural Network to Forecast Power Quality Index in PEA Distribution System

การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ PEA 08

- Hot spot วัตถุอันตรายใน GCB (Generator Circuit Breakers) 18
- VisiVolt™ Passive Voltage Indicator 26
- แอ่วเมืองเหนือ ตื่นตา ‘ชากระเมืองไทย’ 36



22 การยกระดับความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง
พัฒนาการของสวิตช์เกียร์จำนวนอากาศและองค์ประกอบ



26 VisiVolt™
Passive Voltage Indicator



18 Hot spot
วัดอุณหภูมิใน GCB (Generator Circuit Breakers)



36 แอ่วเมืองเหนือ
ต้นตา ‘ซากุระเมืองไทย’

Oct - Dec 2014 Vol.4



Editor's Talk

ปิดท้ายปลายปีกันด้วยคุณภาพไฟฟ้าฉบับที่ 4/14 มาพร้อมความทันสมัยและวิถีชีวิตของผู้คนในยุคปัจจุบัน ยุคที่การสื่อสารเป็นเรื่องสะดวกง่ายดายเพียงปลายนิ้วสัมผัส คนส่วนใหญ่เริ่มมีโลกอีกใบอยู่บนเครือข่าย อินเทอร์เน็ตดูน่าไปกับการดำเนินชีวิตแบบปกติ อุปกรณ์สื่อสารจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่คนยุคนี้ต้องมี โดยเฉพาะโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ Gadget ต่างๆ เพื่อพร้อมพูดคุยและบอกเล่าเรื่องราวได้แบบทันทีทันใด และทันใจกันเลยทีเดียว

ฉบับนี้เพลิดเพลินไปกับเรื่องราวของการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ PEA, ภาคต่อของอินเทอร์ฮาร์โมนิก, การพัฒนาการของสวิตช์เกียร์จำนวนอากาศและส่วนประกอบ, VisiVolt™ Passive Indicator ตัวแสดงสถานะทางแรงดันไฟฟ้าและ Hot spot วัดอุณหภูมิใน GCB จากนั้นพาไปรู้จักกับอาการร้อนใน สัญญาณเตือนภัยของสุขภาพ และพาเดินทางท่องเที่ยวสัมผัสความหนาวพร้อมชมความงามของดอกท้อภูเขาโครัง หรือซากุระเมืองไทย ที่จังหวัดเชียงใหม่ และอีกหลายเรื่องราวที่พร้อมให้คุณได้ติดตาม

และในวาระโอกาสปีใหม่ที่กำลังมาเยือน ขออวยพรให้ผู้อ่านคุณภาพไฟฟ้าทุกท่านสุขภาพแข็งแรงทั้งกายและใจ ตลอดปีใหม่กันอย่างมีความสุข แล้วพบกันใหม่ปีหน้า 2558



เจ้าของ บริษัท เอบีบี จำกัด • ที่ปรึกษา กำชัย เลิศธีระกุล, สุพล พุกขจินดา, ประวีร์ วัฒนศิริรัตน์, ประดิษฐ์พงษ์ สุขศิริวารกุล • จัดทำโดย Power Products Division สำนักงานใหญ่ 161/1 อาคารเอสซีทีแควเวอร์ ชั้น 1-4 ซอยหัดเลี้ยวหลวง 3 ถนนราชวิถี แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 0 2665 1000 แฟกซ์. 0 2665 1177 <http://www.abb.com> โรงงาน 322 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซ.6 ปี 3.สุขุมวิท ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280 บทความและรูปภาพทุกชิ้นในคุณภาพไฟฟ้าล้วนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนหรือบริษัท เอบีบี จำกัด

Power Quality Series

- 04 Interharmonics Part II: Characterizing Voltage Fluctuations Caused by a Pair of Interharmonics
อินเทอร์ฮาร์โมนิก ตอนที่ 2: การหาลักษณะเฉพาะของแรงดันกระเพื่อมที่เกิดจากคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิก

Power Quality Series

- 08 Application of Neural Network to Forecast Power Quality Index in PEA Distribution System
การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ PEA

International Standard Series

- 12 IEEE C57.13-2008
IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ตอนที่ 19)

High Voltage Series

- 18 Hot spot
วัดอุณหภูมิใน GCB (Generator Circuit Breakers)

Special Power Series

- 22 การยกระดับความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง
พัฒนาการของสวิตช์เกียร์จำนวนอากาศและองค์ประกอบ

Medium Voltage Series

- 26 VisiVolt™ Passive Voltage Indicator

Power Transformers Series

- 30 Power Transformers (ตอนที่ 22)

Health & Wellness

- 34 ร้อนใน สัญญาณเตือนภัยสุขภาพ

Weekend

- 36 แอ่วเมืองเหนือ ต้นตา ‘ซากุระเมืองไทย’

News & Movement

- 38 News & Movement



Interharmonics Part II: Characterizing Voltage Fluctuations Caused by a Pair of Interharmonics

อินเทอร์ฮาร์โมนิก ตอนที่ 2: การหาลักษณะเฉพาะของแรงแดันกระแสที่เกิดจากคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิก

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

1. บทนำ

แรงแดันกระแสและอินเทอร์ฮาร์โมนิกมีความสัมพันธ์กัน โดยขนาดของรูปคลื่นแรงแดันสามารถประเมินได้ถ้าประกอบด้วยอินเทอร์ฮาร์โมนิก ในความเป็นจริงอินเทอร์ฮาร์โมนิกมักปรากฏเป็นคู่ บทความนี้จะวิเคราะห์แรงแดันกระแสที่เกิดจากคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกโดยใช้ค่า r_{rms} และค่ายอดเป็นดัชนีในการคำนวณแรงแดันกระแสที่เกิดจากคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิก สมการเพื่อใช้ประเมินผลกระทบได้ถูกพัฒนาขึ้น ผลกระทบของแรงแดันกระแสเนื่องจากคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกสามารถประเมินโดยใช้ค่าสมมูลจากส่วนประกอบอินเทอร์ฮาร์โมนิกเดี่ยวได้ อินเทอร์ฮาร์โมนิกสามารถเป็นปัญหาได้มากกว่าฮาร์โมนิก เนื่องจากประการแรกความถี่ของอินเทอร์ฮาร์โมนิกเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไข การทำงานของโหลดที่ทำให้เกิดอินเทอร์ฮาร์โมนิก เช่น ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ (Adjustable speed drive, ASD) จะเป็นผลให้อินเทอร์ฮาร์โมนิกนั้นมีความยากในการแก้ปัญหามากกว่าฮาร์โมนิก ประการที่สอง อินเทอร์ฮาร์โมนิกสามารถก่อให้เกิดแรงแดันกระแสเพี้ยนนอกเหนือจากความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นส่งผลให้เกิดไฟกระพริบขึ้นได้

ถึงแม้ปริมาณของอินเทอร์ฮาร์โมนิกจะมีค่าไม่สูงมากนักก็สามารถส่งผลให้เกิดไฟกระพริบในหลอดไส้และหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหานี้เพิ่มมากขึ้น ในการแก้ปัญหาจึงอาจเกิดข้อสงสัยว่าผลปริมาณอินเทอร์ฮาร์โมนิกที่ค่าใดจึงจะเหมาะสม ค่าตอบของใจหทัยนี้สามารถช่วยในการประเมินและออกแบบมาตรการในการลดปริมาณอินเทอร์ฮาร์โมนิกได้

2. คู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกและลักษณะเฉพาะของคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิก (Interharmonic Pairs and Their Characteristics)

ความถี่ของอินเทอร์ฮาร์โมนิกที่เกิดจากชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ประกอบด้วย p_1 -พัลส์ คอนเวอร์เตอร์ และ p_2 -พัลส์ อินเวอร์เตอร์ สามารถหาได้จากสมการ

$$f_{IH} = |(p_1 m \pm 1) f_1 \pm p_2 f_d| \tag{1}$$

โดยที่ f_1 และ f_d เป็นความถี่มูลฐานของระบบ และความถี่ของมอเตอร์ m คือเลขจำนวนเต็มรวมเลขศูนย์ (0,1,2,...) n คือเลขจำนวนเต็มบวก (1,2,3,...) สัญลักษณ์ $\pm$ บอกว่าอินเทอร์ฮาร์โมนิกจะเกิดเป็นคู่ตัวอย่างเช่น ความถี่ของอินเทอร์ฮาร์โมนิกหลักของ 6-พัลส์ ASD ทำงานที่ $f_d = 43$ Hz คือ $[60 \pm 6 \times 43]$ หรือ 198 Hz และ 318 Hz

รูปคลื่นแรงแดันที่ประกอบด้วยคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกสามารถจำลองได้จากสมการ

$$v(t) = \sqrt{2}V[\sin(2\pi f_1 t) + m_1 \sin(2\pi f_{IH1} t + \phi_1) + m_2 \sin(2\pi f_{IH2} t + \phi_2)] \tag{2}$$

เมื่อ V f_1 m_1 m_2 f_{IH1} f_{IH2} ϕ_1 และ ϕ_2 เป็นค่า rms ของแรงแดันที่ความถี่มูลฐาน ความถี่มูลฐาน ขนาดแรงแดันสัมพัทธ์ของอินเทอร์ฮาร์โมนิก ความถี่ และ มุมของคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกตามลำดับ

2.1 ความถี่ของแรงแดันกระแสเพี้ยน (Frequency of Voltage Fluctuation)

ความถี่หลักของคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกสามารถหาได้จาก

สมการ (1) โดยให้ $m = 0$ และ $n = 1$ ความถี่อินเทอร์ฮาร์โมนิกทั้งสองสามารถหาได้จาก

$$f_{IH1} = h_1 f_1 + f \tag{3}$$

$$f_{IH2} = h_2 f_1 + f = (h_2 + 2) f_1 + f \tag{4}$$

โดยที่ $-30 \leq f \leq 30$ Hz (กรณี f_1 เท่ากับ 60 Hz ในบทความนี้) $h_1 = h - 1$ และ $h_2 = h + 1$ เป็นลำดับฮาร์โมนิกที่ใกล้กับค่า f_{IH1} และ f_{IH2} ตามลำดับ h คือ ลำดับฮาร์โมนิกใกล้กับค่า $p_2 f_d$ จะเห็นได้ว่าความถี่ของคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกหลักจะห่างกันอยู่ $2 f_1$ Hz

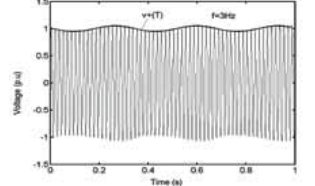
พิจารณากรณีที่ m_1 และ m_2 มีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ ขอบบนของของ (Upper envelope) รูปคลื่นแรงแดันในสมการ (2) สามารถหาได้จาก

$$v_u(t) = \sqrt{2}V[1 + m_1 \sin(2\pi f_1 T + \phi_1 + \frac{\pi h_1}{2}) - m_2 \sin(2\pi f_1 T + \phi_2 + \frac{\pi h_2}{2})] \tag{5}$$

จาก (5) สามารถสรุปได้ว่าความถี่ของแรงแดันกระแสเพี้ยนที่เกิดจากคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกคือ $|f|$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ ความถี่ของแรงแดันกระแสเพี้ยนที่เกิดจากอินเทอร์ฮาร์โมนิกเดี่ยว f_{IH1} หรือ f_{IH2} ความถี่ของแรงแดันกระแสเพี้ยนสามารถหาได้จาก

$$|f| = |f_{IH1} - h_1 f_1| = |f_{IH2} - h_2 f_1| \tag{6}$$

ตัวอย่างเช่น รูปคลื่นของแรงแดันและของรูปคลื่นเมื่อ $f_{IH1} = 57$ Hz และ $f_{IH2} = 177$ Hz แสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าของรูปคลื่นมีการกระพริบ ความถี่ของการกระพริบคือ $|f| = |57 - 60| = |177 - 3 \times 60| = 3$ Hz



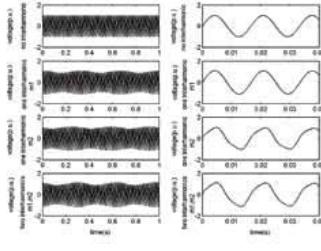
รูปที่ 1 รูปคลื่นแรงแดันที่มีความถี่ของแรงแดันกระแสเพี้ยนเท่ากับ 3 Hz

2.2 ความผิดเพี้ยนและการกระพริบของรูปคลื่น (Waveform Distortion and Fluctuation)

ผลกระทบของคู่อินเทอร์ฮาร์โมนิกที่มีความผิดเพี้ยนและการกระพริบของรูปคลื่นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2 (ซ้าย) ซึ่งประกอบไปด้วยกรณีต่างๆ ดังนี้

- 1) ไม่มีอินเทอร์ฮาร์โมนิก
- 2) อินเทอร์ฮาร์โมนิกเดี่ยว ($m_1 = 0.1, f_{IH1} = 57$ Hz, $\phi_1 = 0^\circ$)
- 3) อินเทอร์ฮาร์โมนิกเดี่ยว ($m_2 = 0.1, f_{IH2} = 177$ Hz, $\phi_2 = 90^\circ$)
- 4) อินเทอร์ฮาร์โมนิกคู่ ($m_1 = m_2 = 0.1, f_{IH1} = 57$ Hz, $f_{IH2} = 177$ Hz, $\phi_1 = 0^\circ, \phi_2 = 90^\circ$)

จะเห็นว่าของรูปคลื่นในกรณีที่ 2, 3 และ 4 มีการกระพริบในรูปแบบเดียวกัน ดังนั้นการใช้กรณีที่มีอินเทอร์ฮาร์โมนิกเดี่ยวเป็นแบบจำลองของกรณีที่มีอินเทอร์ฮาร์โมนิกคู่สามารถทำได้เมื่อพิจารณาจากรูปแบบการกระพริบที่คล้ายกัน รายละเอียดของรูปคลื่นแสดงในรูปที่ 2 (ขวา) จากรูปพบว่าความถี่อินเทอร์ฮาร์โมนิกที่มีค่าสูง f_{IH2} ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นได้ชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 2 รูปคลื่นแรงแดัน กรณีที่ไม่มีอินเทอร์ฮาร์โมนิก มีอินเทอร์ฮาร์โมนิกเดี่ยว และอินเทอร์ฮาร์โมนิกคู่

2.3 ลักษณะเฉพาะของของรูปคลื่น

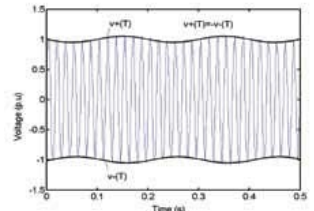
(Characteristic of the Waveform Envelope)
ขอบล่างของของ (Bottom envelope) รูปคลื่น
แรงดันในสมการ (2) สามารถหาได้จาก

$$v_-(T) = \sqrt{2V}[-1 + m_1 \sin(2\pi fT + \phi_1 - \frac{\pi h_1}{2}) - m_2 \sin(2\pi fT + \phi_2 - \frac{\pi h_2}{2})]$$

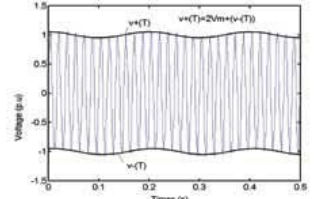
เมื่อความถี่อินเตอร์ฮาร์โมนิกใกล้เคียงฮาร์โมนิกลำดับที่ $v_-(T) = -v_+(T)$ ของรูปคลื่นจะเกินทั้งด้านบวกและ
ด้านลบดังรูปที่ 3 แต่ถ้าความถี่อินเตอร์ฮาร์โมนิกเข้า
ใกล้ฮาร์โมนิกลำดับคู่

$$v_+(T) = 2\sqrt{2V} + v_-(T) = 2V_m + v_-(T)$$

ของรูปคลื่นจะเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 4
ปรากฏการณ์นี้ได้มีการศึกษาแล้ว เมื่อรูปคลื่นประกอบ
ด้วยอินเตอร์ฮาร์โมนิกเดียว เป็นผลให้สามารถสรุปได้
ว่า ผลกระทบเชิงคุณภาพของคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิก
เหมือนกับกรณีที่เกิดจากอินเตอร์ฮาร์โมนิกเดียว



รูปที่ 3 ของรูปคลื่นแรงดันกรณีที่มีอินเตอร์ฮาร์โมนิก
ใกล้เคียงกับฮาร์โมนิกลำดับคี่



รูปที่ 4 ของรูปคลื่นแรงดันกรณีที่มีอินเตอร์ฮาร์โมนิก
ใกล้เคียงกับฮาร์โมนิกลำดับคู่

3. แรงดันการเพี้ยนที่เกิดจากคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิก
(Voltage Fluctuation Caused by a Pair of Interharmonics)

ดัชนีที่ใช้กันอย่างกว้างในการแสดงลักษณะเฉพาะของ
แรงดันการเพี้ยนคือ ค่า rms สัมพัทธ์ และค่ายอด
สัมพัทธ์ของรูปคลื่น ผลจากงานวิจัยพบว่าไฟกระพริบ
ในหลอดไส้ขึ้นอยู่กับค่าสัมพัทธ์ของแรงดันการเพี้ยน
rms ไฟกระพริบที่เกิดในหลอดฟลูออเรสเซนต์ขึ้นอยู่กับ
ค่ายอดสัมพัทธ์ของแรงดันการเพี้ยน ดังนั้นค่า rms
สัมพัทธ์และค่ายอดสัมพัทธ์ของแรงดันการเพี้ยน
สามารถนำมาใช้ในการหาผลกระทบของอินเตอร์
ฮาร์โมนิกต่อการเกิดไฟกระพริบ

3.1 ค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อม
(Relative rms Fluctuation)

ค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมหาได้จาก

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_{RMS} = \frac{(V_{RMS_max} - V_{RMS_min})/2}{V_{fundamental_RMS}} \times 100\% \quad (8)$$

ขอบบนของค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมคือ

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_{RMS} = \left| \frac{2f_1^2 \sin(\pi f_{IH1} / f_1)}{\pi(f_{IH1}^2 - f_1^2)} \right| (m_{eq})_r \quad (9)$$

โดยที่

$$(m_{eq})_r = m_1 + m_2 \left| \frac{f_{IH1}^2 - f_1^2}{f_{IH2}^2 - f_1^2} \right| = m_1 + m_2 q \quad (10)$$

$(m_{eq})_r$ คือ ขนาดอินเตอร์ฮาร์โมนิกสมมูล และ
 $q = |f_{IH1} - f_1| / |f_{IH1} + 3f_1|$ จะเห็นได้ว่าค่า rms
สัมพัทธ์การกระเพื่อมเป็นฟังก์ชันของความถี่และขนาด
ของอินเตอร์ฮาร์โมนิก พารามิเตอร์ q สามารถ
พิจารณาให้เป็นตัวส่วนน้ำหนักของ m_2 ในการคำนวณ
ค่าขนาดอินเตอร์ฮาร์โมนิกสมมูลเมื่อความถี่อินเตอร์
ฮาร์โมนิกเพิ่มขึ้นน้ำหนักของส่วนประกอบที่สองจะ
เพิ่มขึ้นตาม

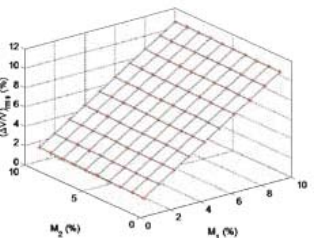
ตัวอย่างของค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมทั้งสองส่วน
ประกอบอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่มีความถี่ 52 Hz และ 172
Hz แสดงในรูปที่ 5 จากรูปเห็นว่ายิ่งขนาดอินเตอร์
ฮาร์โมนิกใหญ่ขึ้น ค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมยิ่ง
เพิ่มขึ้น ผลกระทบของส่วนประกอบความถี่ต่ำ (m_1)
ต่อค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมมีอิทธิพลมากกว่า
ส่วนประกอบความถี่สูง (m_2) หากขนาดของทั้งสอง
ส่วนประกอบมีค่าเท่ากัน

ค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมที่เกิดจากอินเตอร์
ฮาร์โมนิกเดียวคือ

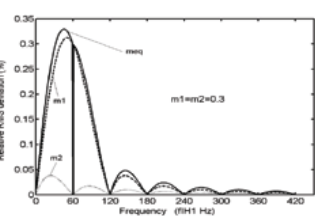
$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_{RMS} = \left| \frac{2f_1^2 \sin(\pi f_{IH1} / f_1)}{\pi(f_{IH1}^2 - f_1^2)} \right| m \quad (11)$$

เมื่อ m คือขนาดของอินเตอร์ฮาร์โมนิก สมการของค่า
rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมที่เกิดจากอินเตอร์ฮาร์โมนิก
เดียวและที่เกิดจากคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกมีความคล้าย
คลึงกัน ทำให้เราสามารถหาค่า m_{eq} เพื่อจำลองผลกระทบ
ของคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกได้

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่
ความถี่ต่ำกว่าค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อม เมื่อ
 $m_1 = m_2 = 0.3$



รูปที่ 5 ค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อมที่เกิดจากสอง
ส่วนประกอบอินเตอร์ฮาร์โมนิก



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า rms สัมพัทธ์การ
กระเพื่อมกับอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่ความถี่ต่ำ

3.2 ค่ายอดสัมพัทธ์การกระเพื่อม
(Relative Peak Fluctuation)

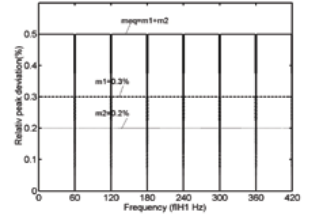
ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันสูงสุดด้านบวก
(Positive peak voltage) คือ

$$V_{max} \leq V[1 + m_1 + m_2], V_{min} \geq V[1 - (m_1 + m_2)]$$

ดังนั้นขอบบนของค่ายอดสัมพัทธ์การกระเพื่อมของรูป
คลื่นที่ประกอบด้วยคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกคือ

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_{peak} = m_1 + m_2 = (m_{eq})_p \quad (6)$$

จะเห็นได้ว่าค่ายอดสัมพัทธ์การกระเพื่อมนั้นไม่เกี่ยว
กับความสัมพันธ์ฮาร์โมนิก ความสัมพันธ์ระหว่าง
ค่ายอดสัมพัทธ์การกระเพื่อมกับความถี่อินเตอร์ฮาร์
โมนิกที่ความถี่ต่ำแสดงในรูปที่ 7 จากรูปจะเห็นว่า
ขนาดของการกระเพื่อมไม่เป็นฟังก์ชันของ f_{IH1}



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดสัมพัทธ์การ
กระเพื่อมกับอินเตอร์ฮาร์โมนิกที่ความถี่ต่ำ

4. การประยุกต์ใช้งาน (Applications)

สมการที่กล่าวมาในหัวข้อก่อนหน้านี้สามารถนำมาใช้
ประเมินแรงดันการเพี้ยนที่เกิดจากคู่อินเตอร์ฮาร์
โมนิก และใช้ประเมินผลกระทบของไฟกระพริบ การ
ประเมินนั้นมีความแม่นยำมากกว่าในกรณีที่ใช้แค่ส่วน
ประกอบอินเตอร์ฮาร์โมนิกเพียงค่าเดียว

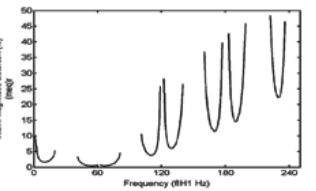
อินเตอร์ฮาร์โมนิกสามารถทำให้เกิดไฟกระพริบได้โดย
มีกลไกที่ซับซ้อน เส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบ
(Interharmonic-Flicker Curves) แสดงให้เห็นว่าถ้า
ขนาดอินเตอร์ฮาร์โมนิกอยู่เหนือเส้นโค้งเหล่านี้
ไฟกระพริบอาจเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างของเส้นโค้งอินเตอร์
ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบที่อ้างอิงจากค่า rms สัมพัทธ์
การกระเพื่อมแสดงในรูปที่ 8

เส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบสามารถขยาย
ไปใช้กับกรณีที่เป็คู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกได้ให้เหมาะสม
กับกรณีจริงมากขึ้นโดยที่แกนตั้งเปลี่ยนเป็นค่าอินเตอร์

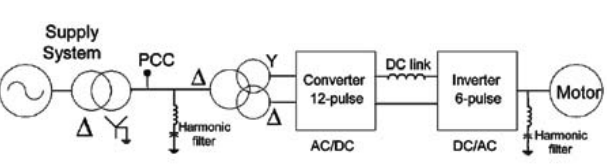
ฮาร์โมนิกสมมูลแทน หรือกล่าวอีกอย่างคือ เมื่อคู่
อินเตอร์ฮาร์โมนิกที่มีขนาด m_1 และ m_2 เกิดขึ้น m_{eq}
สามารถคำนวณได้จาก $(m_{eq})_{rms} = m_1 + m_2 q$ หรือ
 $(m_{eq})_{peak} = m_1 + m_2$ และใช้ค่า m_{eq} นั้นบนเส้นโค้ง
อินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบ ในการประเมินว่าไฟ
กระพริบจะเกิดขึ้นหรือไม่

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานมีดังนี้ ระบบจำหน่าย 25
kV แสดงในรูปที่ 9 เมื่อ CSI-ASD ทำให้เกิดไฟกระพริบ
ระบบมี Fault level ที่ 39 MVA และหม้อแปลง
25/4.16 kV (Delta-grounded wye) ขนาด 3 MVA
และ Z = 6% ASD ประกอบด้วย 12-พัลส์
คอนเวอร์เตอร์ และ 6-พัลส์ อินเวอร์เตอร์ จุดที่ทำการ
วัดคือจุดต่อร่วม (Point of common coupling,
PCC) ปริมาณแรงดันของคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกทั้งสอง
กรณีแสดงในรูปที่ 10 และ 11 อินเตอร์ฮาร์โมนิก
ตัวแรกมีความถี่ที่ $6f_d - 60 (f_{IH1})$ และอินเตอร์ฮาร์
โมนิกตัวที่สองมีความถี่ที่ $6f_d + 60 (f_{IH2})$

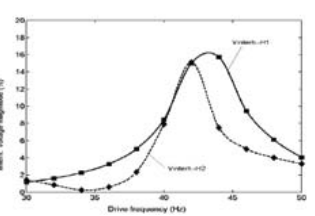
รูปที่ 12 แสดงขนาดอินเตอร์ฮาร์โมนิกสมมูลที่อ้างอิง
จากค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อม เส้นโค้งอินเตอร์
ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบ ได้ถูกวางซ้อนลงบนกราฟ
ขนาดอินเตอร์ฮาร์โมนิกสมมูลของกรณีทั้งสอง เพื่อที่
จะหาช่วงการทำงานของผู้ขับเคลื่อนที่จะเกิดปัญหา
ไฟกระพริบขึ้น จากรูปจะพบว่ากรณีที่ 2 เส้นกราฟอยู่
ต่ำกว่าเส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบหมด
แต่กรณีที่ 1 เส้นกราฟอยู่เหนือเส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์
โมนิก-ไฟกระพริบในช่วงความถี่การทำงานที่ 41 Hz
และ 42.5 Hz ของ ASD ดังนั้นช่วงการทำงานนี้อาจ
เกิดปัญหาไฟกระพริบได้ ถ้าช่วงความถี่ที่เป็นปัญหานี้
สามารถระบุได้ การแก้ไขที่เหมาะสมจะสามารถทำได้
อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



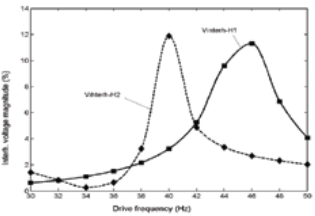
รูปที่ 8 เส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบที่อ้างอิง
จากค่า rms สัมพัทธ์การกระเพื่อม



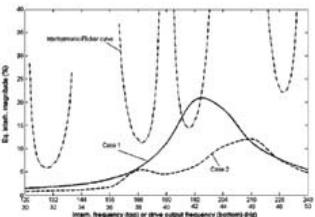
รูปที่ 9 โดเมนแรงดันตัวอย่างง่ายของระบบที่ศึกษา



รูปที่ 10 ขนาดแรงดันของคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกที่สร้าง
โดย ASD (กรณี 1)



รูปที่ 11 ขนาดแรงดันของคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกที่สร้าง
โดย ASD (กรณี 2)



รูปที่ 12 เส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบกับ
กรณีศึกษาทั้งสอง

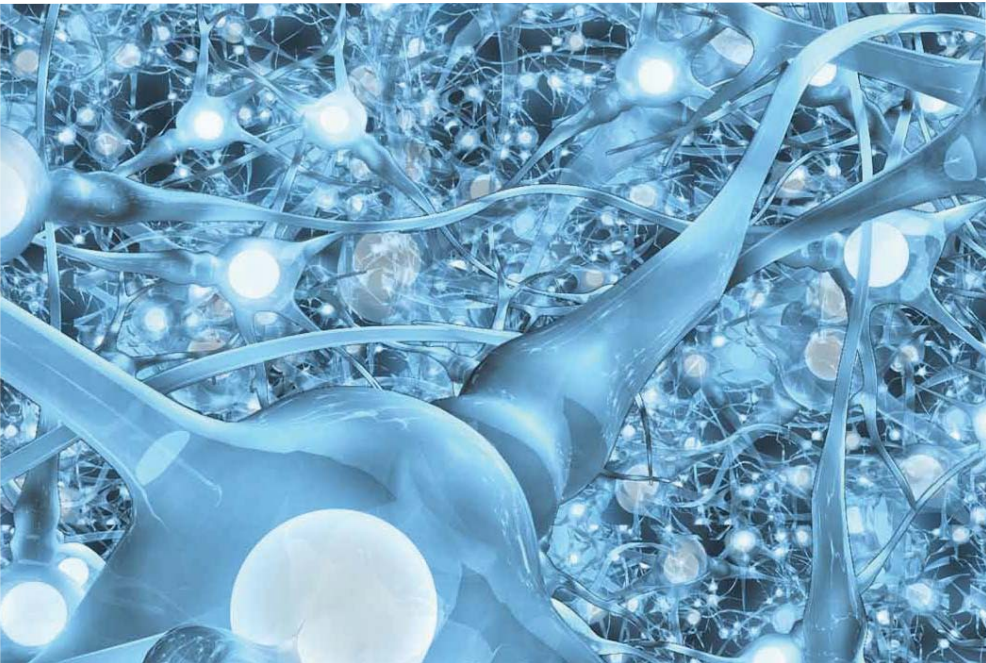
5. สรุป

บทความนี้อธิบายลักษณะเฉพาะของแรงดันไฟกระพริบ
ที่เกิดจากคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิก ลักษณะเฉพาะนี้ได้
ถูกเปรียบเทียบกับลักษณะเฉพาะที่เกิดจากอินเตอร์
ฮาร์โมนิกเดียว ส่วนประกอบทั้งสองของคู่อินเตอร์

ฮาร์โมนิกมีน้ำหนักต่างกัน ค่า rms สัมพัทธ์การ
กระเพื่อมมีผลจากอินเตอร์ฮาร์โมนิกความถี่ต่ำมาก
กว่าอินเตอร์ฮาร์โมนิกความถี่สูง ส่วนค่ายอดสัมพัทธ์
การกระเพื่อมมีผลจากอินเตอร์ฮาร์โมนิกความถี่ต่ำ
เท่ากับอินเตอร์ฮาร์โมนิกความถี่สูง แรงดันการเพี้ยน
ที่เกิดจากคู่อินเตอร์ฮาร์โมนิกหรือเกิดจากอินเตอร์
ฮาร์โมนิกเดียวมีความคล้ายคลึงกัน ทำให้เราสามารถ
ใช้ค่าอินเตอร์ฮาร์โมนิกสมมูลเป็นตัวแทนในการศึกษา
ผลกระทบได้เส้นโค้งอินเตอร์ฮาร์โมนิก-ไฟกระพริบ
ที่พัฒนา โดยพิจารณาแต่อินเตอร์ฮาร์โมนิกเดียว
สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับกรณีที่เป็คู่อิน
เตอร์ฮาร์โมนิกได้ โดยใช้ค่าอินเตอร์ฮาร์โมนิก
สมมูลแทน ตัวอย่างการใช้งานของการวิเคราะห์จาก
ผลการตรวจวัดจึงแสดงไว้ในตอนท้ายของบทความ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thavatchai Tayjasanant, Wencong Wang, Chun Li, and Wilsun Xu, "Interharmonic-Flicker curves," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 20, No. 2, Apr. 2005, pp1017-1024.
- [2] J. Yong, T. Tayjasanant, W. Xu, and C. Sun, "Characterizing Voltage Fluctuations Caused by a Pair of Interharmonics," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 23, Issue 1, Jan 2008, pp. 319-327.



Application of Neural Network to Forecast Power Quality Index in PEA Distribution System

การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม
เพื่อกำหนดดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายขอ PEA

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

สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลจริงของ PEA ซึ่งได้ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ EPQU2007 ณ เมืองมาดริด ประเทศสเปน ในหัวข้อ “PEA’s Premium Power Service: Baseline and Risk Assessment” ขอบัญชาดนามากกล่าวในบทความถัดไป สำหรับฉบับนี้ขอนำเสนอประเด็นการกำหนดดัชนีคุณภาพไฟฟ้าครับ

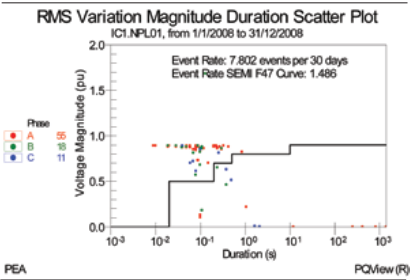
บทคัดย่อ
บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้า สำหรับการประกอบการศึกษาความเหมาะสมของการลดระดับแรงดันจาก 33kV เป็น 22kV เพื่อช่วยลดปัญหาการเสไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากมลภาวะโอเคโอ และปัญหาการดิสชาร์จบางส่วน เนื่องจากปัญหาดังกล่าวจะลดผลกระทบระดับแรงดันมีค่าลดลง บทความนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพไฟฟ้าและดัชนีความเชื่อถือได้รวมถึงข้อมูลของระบบไฟฟ้าต่างๆ ก่อนเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน และใช้ความสัมพันธ์ที่ได้มาทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในอนาคต หลังจากลดระดับแรงดันของระบบจำหน่ายมา

เป็นระบบ 22kV ต่อไป ผลการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาค่าความสัมพันธ์เพื่อนำมาใช้ในการทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในอนาคตได้ในระดับหนึ่ง คำศัพท์: โครงข่ายประสาทเทียม, คุณภาพไฟฟ้า, ดัชนีคุณภาพไฟฟ้า

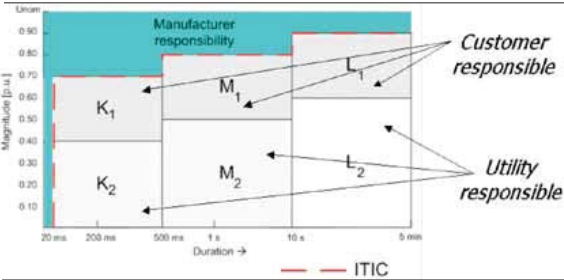
1. บทนำ

จังหวัดภูเก็ต นับเป็นพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญแห่งหนึ่งในของประเทศไทย โดยเฉพาะธุรกิจการท่องเที่ยวที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งในด้านการผลิตและคุณภาพจึงสูงขึ้นตามการขยายตัวทางธุรกิจ

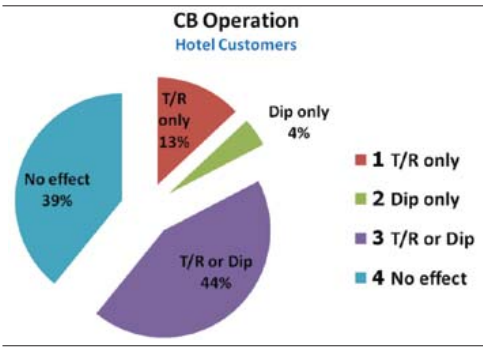
รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลตรวจวัดระดับคุณภาพไฟฟ้าของ กฟภ. ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคกลาง



รูปที่ 2 แนวคิดการร่วมแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของ Eindhoven University of Technology ประเทศเนเธอร์แลนด์



รูปที่ 3 ผลสำรวจการทวีปของเซอร์กิตเบรกเกอร์จากลูกค้ากลุ่มโรงแรม



จังหวัดภูเก็ตประสบปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องบ่อยครั้งมาอย่างยาวนานเนื่องจากพื้นที่ติดทะเลซึ่งมีปัญหามลภาวะโอเคโอ และปัญหาการดิสชาร์จบางส่วนทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าขาดความพึงพอใจในบริการจาก กฟภ. แม้ว่า กฟภ. จะได้ใช้ทรัพยากรและความสามารถอย่างเต็มที่ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ในจังหวัดภูเก็ตอย่างต่อเนื่อง เช่น การนำระบบ SCADA มาใช้ และการใช้งานนวนทนความร้อนแบบ Silicone Rubber แต่ปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องก็มิได้ลดลงอยู่ในระดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าพึงพอใจ ดังนั้นผู้รับผิดชอบปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องบางส่วนจึงมีความเห็นว่าการลดระดับแรงดันไฟฟ้า สามารถลดและบรรเทาปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดจากการดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) และปัญหาหมลภาวะในระบบจำหน่ายแรงสูงที่ใช้สายหุ้มฉนวนทั้ง Space Aerial Cable (SAC) และ Partially Insulated Cable (PIC) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดความผิดปกติของในจังหวัดภูเก็ตได้มากกว่าวิธีอื่น เนื่องจากปัญหา Partial Discharge และปัญหาหมลภาวะจะลดลงเมื่อแรงดันลดลง

ระบบจำหน่ายของจังหวัดภูเก็ตประกอบด้วย 4 สถานีไฟฟ้า 35 ทิศเตอร์ มีระยะทางสายจำหน่ายชนิดสาย PIC รวม 166 วงจร-กม. ชนิด SAC รวม 476 วงจร-กม. การลดระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนในการดำเนินการเป็นจำนวนมาก การศึกษาความเหมาะสมในการลดระดับแรงดันของระบบจำหน่ายจึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ต้องดำเนินการก่อนการตัดสินใจลงทุน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อ กฟภ. และผู้ใช้ไฟฟ้าในจังหวัดภูเก็ต

แม้ว่าการลดระดับแรงดันของระบบจำหน่ายแรงสูงจากระดับ 33 kV เป็น 22 kV ในจังหวัดภูเก็ต สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและลดภาระการลงทุนในอนาคต แต่การดำเนินการดังกล่าว อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานในด้านอื่นๆ การศึกษาความเหมาะสมจึงจำเป็นต้องพิจารณาประเด็นต่างๆ อย่างรอบคอบและรัดกุม เพื่อลดความเสี่ยงในการตัดสินใจลงทุนที่ผิดพลาด โดยประเด็นทางเทคนิคที่พิจารณาประกอบด้วย ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย, คุณภาพไฟฟ้า, การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า, ระบบทางโซลูชัน, และการลงทุนในอนาคต

บทความนี้นำเสนอประเด็นทางเทคนิค สำหรับศึกษาความเหมาะสมในการลดระดับแรงดันของระบบจำหน่าย ในด้านคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งสัมพันธ์กับหลายประเภท แต่ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า และมีผลกระทบต่อกันอยู่ ผู้ใช้ไฟฟ้าจึงและอุตสาหกรรมมากที่สุด ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag/Voltage Dip) ซึ่งมีสาเหตุส่วนใหญ่จากฟอลท์ (Fault) ที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งหรือระบบจำหน่ายแล้วส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งเกี่ยวข้องประสบกับปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นนั้นจะแปรตรงกับขนาดของกระแสฟอลท์ ชนิดของฟอลท์ และระยะเวลาในการกำจัดฟอลท์ของอุปกรณ์ป้องกัน อย่างไรก็ตามจากการตรวจวัดระดับคุณภาพไฟฟ้าของ กฟภ. ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคกลางตลอดระยะ 6 ปี ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 ที่ผ่าน

มาพบว่าหากอุปกรณ์ไฟฟ้าของลูกค้าผ่านมาตรฐาน SEMI F47 ตามแนวความคิด การร่วมแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของ Eindhoven University of Technology ประเทศเนเธอร์แลนด์ Netherlands [1] ดังรูปที่ 2 แล้วผลกระทบดังกล่าว ย่อมสามารถลดลงได้ไม่น้อยกว่า 70%

II. แนวทางการศึกษา

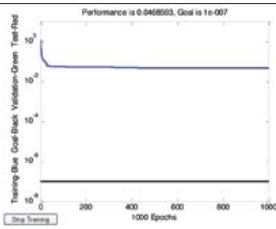
การไฟฟ้าสามารถใช้ข้อมูลด้านคุณภาพไฟฟ้าที่มีอยู่เพื่อกำหนดแผนการบำรุงรักษา กำหนดขอบเขตเพื่อเสนอบริการไฟฟ้ากำลังคุณภาพพิเศษ และใช้ขึ้นเครื่องมือประกอบการกำหนดโครงสร้างอัตราค่ากระแส

ไฟฟ้าตามระดับคุณภาพไฟฟ้า แต่โดยไม่ได้มีการไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่มีข้อมูลด้านคุณภาพไฟฟ้าระยะยาวที่เกี่ยวข้องสำหรับงานดังกล่าว แต่การไฟฟ้ามีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับดัชนีด้านความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ในแต่ละวงจรที่ยาวนานอย่างเพียงพอ ได้แก่ SAIFI และ SAIDI ดังนั้นจะชี้แจงแนวคิดที่ว่าพื้นที่ที่มีปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะสูง ย่อมมีกระแสไฟฟ้าขัดข้องแบบ Momentary สูง และมีระยะเวลาการเกิดที่นานกว่า

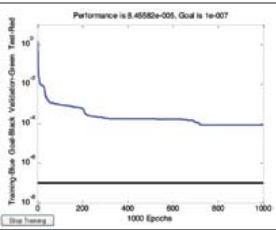
ในการศึกษาผลกระทบด้านคุณภาพไฟฟ้าจะใช้วิธีการทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าภายหลังการลดระดับแรงดัน ว่าหลังระดับแรงดันลดลงแล้วจำนวนครั้งของดัชนีคุณภาพไฟฟ้าที่จะลดลงเป็นเท่าใด และสามารถลดผลกระทบที่ลูกค้าได้รับคิดเป็นเงินได้เท่าใด เพื่อประกอบการพิจารณาประโยชน์ที่จะได้รับจากการลดระดับแรงดันทั้งด้านเทคนิคและด้านการลงทุน ซึ่งจากเอกสารอ้างอิง [2] ได้นำเสนอวิธีการทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าจากข้อมูลในอดีต โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพไฟฟ้าและดัชนีความเชื่อถือได้และข้อมูลของระบบไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งพบว่า SAIFI เป็นดัชนีความเชื่อถือได้หลักที่มีความสัมพันธ์กับดัชนีคุณภาพไฟฟ้า ดังนั้นจึงเลือก SAIFI เป็นดัชนีความเชื่อถือได้หลักที่จะใช้หาความสัมพันธ์ดังกล่าว

หากพบว่าข้อมูลดัชนีคุณภาพไฟฟ้ากับ SAIFI และข้อมูลระบบไฟฟ้าต่างๆ ในอดีตมีความสัมพันธ์กันในระดับที่สามารถยอมรับได้แล้ว จะใช้ความสัมพันธ์ที่คำนวณได้

รูปที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนของความสัมพันธ์ตามแนวคิด EPRI



รูปที่ 7 ค่าความคลาดเคลื่อนของความสัมพันธ์ตามแนวคิด SE

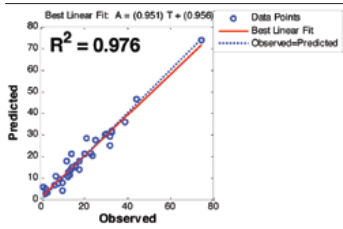


ดังกล่าวมาทำนายดัชนีคุณภาพไฟฟ้าในอนาคต หลังจากลดระดับแรงดันมาเป็นระบบ 22KV ต่อไป

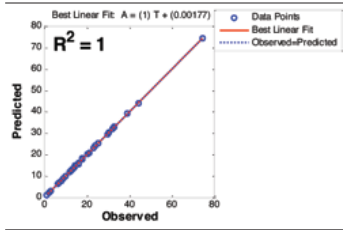
โดยปกติแล้วดัชนีที่เหมาะสมต่อคุณภาพไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าตกขณะจะใช้ดัชนี SARFI (System Average RMS Variation Frequency Index) ซึ่ง SARFIx คือจำนวนครั้งของการเกิดเหตุการณ์ที่ค่าระดับแรงดันน้อยกว่า X % หรือเส้นโค้ง X ของแรงดันปกติ (สำหรับระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 นาที) และการเก็บข้อมูลจะต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าที่ยังคงมีราคาแพง และไม่สะดวกที่จะติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเป็นระยะเวลานานๆ ซึ่ง กฟภ. ยังไม่มีการเก็บข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าหรือ SARFI ในอดีต ในพื้นที่ที่ต้องการศึกษานี้ไว้ (มีเพียงในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมพื้นที่ภาคกลางเท่านั้น) ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ดัชนี SARFI เพื่อศึกษาผลกระทบด้านคุณภาพไฟฟ้าได้โดยตรง

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 3 ซึ่งมีมีการเก็บข้อมูลผลกระทบต่อลูกค้ากลุ่มโรงแรมในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตจากระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) และจากการเก็บข้อมูลของลูกค้า ทำให้เราสามารถหาได้จากระบบ SCADA ที่สถานีไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งได้บันทึกรายละเอียดต่างๆ ไว้โดยอัตโนมัติ ได้แก่ ระยะเวลาที่เกิดไฟดับ จำนวนลูกค้าที่ได้รับผลกระทบในเหตุการณ์นั้นๆ และปริมาณโหลด (KVA) ที่เกิดไฟดับในเหตุการณ์นั้นๆ เป็นต้น

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของข้อมูลในปี 2549 ตามแนวคิด EPRI



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของข้อมูลในปี 49 ตามแนวคิดที่เสนอ



เนื่องจาก SARFI และ MAIFI เป็นดัชนีที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน อีกทั้งจากรูปที่ 3 ยังพบอีกว่าลูกค้าส่วนใหญ่จะได้รับผลกระทบจาก T/R ซึ่งก็คือดัชนี MAIFI นั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถทดสอบดูได้ว่าสามารถใช้ดัชนี MAIFI เพื่อเป็นตัวแทนดัชนีคุณภาพไฟฟ้า และสามารถแสดงผลกระทบที่ลูกค้าจะได้รับในพื้นที่นี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลจากระบบ SCADA มาคำนวณหาค่า SAIFI และ MAIFI โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2550 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง MAIFI กับ SAIFI และข้อมูลของระบบไฟฟ้าอื่นๆ เพื่อที่จะนำมาทำนายค่า MAIFI ในอนาคตหลังจากลดระดับแรงดัน โดยประยุกต์ใช้แนวคิดจากเอกสารอ้างอิง [2] เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง MAIFI กับ SAIFI และข้อมูลของระบบไฟฟ้าอื่นๆ

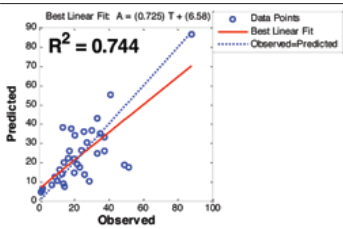
จากเอกสารอ้างอิง [2] EPRI ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย (Prediction models) SARFI หรือ MAIFI โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดเพื่อทำนาย และอภิปรายถึงความแม่นยำของข้อมูล และได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง SARFI หรือ MAIFI กับข้อมูลของระบบไฟฟ้าอื่นๆ ออกมาเป็นสูตรสำหรับทำนาย SARFI หรือ MAIFI ดังสมการที่ (1)

$$N = k_0 + k_1 R + k_2 I + k_3 \frac{n_f kV^2}{MVA_{fmr}} \quad (1)$$

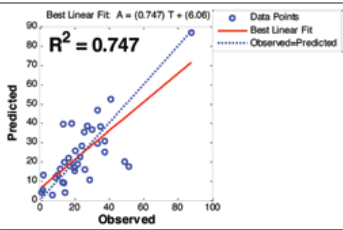
โดย

N คือค่าที่ต้องการทำนาย เช่น SARFI หรือ MAIFI
I คือความยาวสายทั้งหมด (รวมทั้งเฟส และสามเฟส)
R คือดัชนีความเชื่อถือได้ คือ SAIFI, SAIDI หรือ T/L kV คือระดับแรงดันระหว่างสาย
nf คือจำนวนสายป้อนทั้งหมดในแต่ละบัส ซึ่งมีค่าเป็น 5

รูปที่ 6 การพยากรณ์ MAIFI ปี 2550 โดยใช้ข้อมูลปี 2549 ตามแนวคิด EPRI



รูปที่ 9 การพยากรณ์ MAIFI ปี 2550 โดยใช้ข้อมูลปี 2549 ตามแนวคิดที่เสนอ



MVAxfmr คือขนาด MVA รวมของหม้อแปลงในแต่ละสายป้อน

นั่นคือจะใช้พารามิเตอร์จากสมการที่ (1) ได้แก่ R, I, nf และ kV2/MVA มาเป็นข้อมูลอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอินพุตกับ MAIFI ต่อไป

III. โครงข่ายประสาทเทียม (NEURAL NETWORK)

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นระบบประมวลผลข้อมูลที่มีคุณลักษณะการทำงาน เทียบได้กับโครงข่ายประสาทจริงทางชีววิทยา ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถกำเนิดสัญญาณการรู้คิด หรือระลึกจำของมนุษย์ให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [3, 4]

ปัจจุบัน MATLAB มีคำสั่งสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการ Train หาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต โดยจะใช้คำสั่งและเงื่อนไขดังต่อไปนี้เพื่อประกอบการคำนวณ

1. NEWFF เพื่อสร้างโครงข่ายสำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธี Feed-forward back propagation ซึ่งจะหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต

2. POSTREG เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้จากการสอนโครงข่ายประสาทเทียมมาหาค่า MAIFI และเปรียบเทียบกับค่าจริง โดยใช้วิธี Linear regression เพื่อประเมินความแม่นยำของความสัมพันธ์ที่คำนวณได้

3. Objective Function: ใช้ Linear Regression (R²) เพื่อทดสอบความแม่นยำของการทำนาย โดยกำหนดค่าดังนี้

ก.ความสัมพันธ์ระหว่าง MAIFI กับตัวแปรต่างๆ ในปี 49: R² > 0.95

ข.ความแม่นยำในการพยากรณ์ MAIFI ในปี 50: R² > 0.65

งานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลของรายฟีดเดอร์เพื่อทำนาย MAIFI โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง MAIFI กับ SAIFI และข้อมูลของระบบไฟฟ้าอื่นๆ ของข้อมูลในปี 2549 จากข้อมูลรวม 35 ฟีดเดอร์ และนำความสัมพันธ์ที่ได้มาคำนวณค่า MAIFI ของปี 2550 ถ้าพบว่าข้อมูลระหว่างปีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันในระดับที่ยอมรับได้แล้ว จะใช้ผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมในปี 2549 มาคำนวณค่า MAIFI ในปี 2550 แล้วเปรียบเทียบกับค่าจริง จากนั้นจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง MAIFI กับ SAIFI และข้อมูลของระบบไฟฟ้าอื่นๆ ในปี 2550 เพื่อนำไปใช้ทำนายค่า MAIFI ของข้อมูล 35 ฟีดเดอร์ ในอนาคตหลังจากที่ได้ทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้ามาเป็นระบบ 22 KV ต่อไป

IV. การประยุกต์ใช้งาน

เมื่อใช้ข้อมูลอินพุตตามสมการที่ (1) ตามแนวคิดของ EPRI แล้ว พบว่าการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม อ้างอิงจากจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ก่อนกล่าวคือค่าความคลาดเคลื่อนของความสัมพันธ์ที่ได้ในปี 2549 มีค่าสูงถึง 4.7×10⁻² ดังรูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 5 และความแม่นยำของการทำนาย MAIFI ปี 2550 มีความแม่นยำดังรูปที่ 6 ดังนั้นจึงทดลองเพิ่มอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียมได้แก่ จำนวนครั้งของการ T/L และ T/R ในแต่ละฟีดเดอร์ ซึ่งพบว่าตัวแปรทั้งสองทำให้การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเข้าใกล้ถึงจุดมุ่งหมายได้ กล่าวคือค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพียง 8.5×10⁻⁵ ดังรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ดังรูปที่ 8 ทำให้ความแม่นยำของการทำนาย MAIFI ปี 2550 มีความแม่นยำมากขึ้นดังรูปที่ 9 ดังนั้นจะเลือกใช้อินพุตและเอาต์พุตสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมดังตารางที่ 1

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลปี 2549 สามารถใช้พยากรณ์ค่าปี 2550 ได้ระดับหนึ่ง ที่ค่า R² = 0.747 สูงกว่าค่า Objective Function ที่ตั้งไว้ ดังนั้นจะใช้ความสัมพันธ์ข้อมูลปี 2550 มาทำนาย MAIFI กรณีเปลี่ยนระดับแรงดัน โดยให้พารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันแล้วมาเป็นข้อมูลอินพุตต่อไป

ค่า MAIFI จริง และค่าที่ได้จากการทำนายตามแนวคิดของ EPRI และกรณีเพิ่มอินพุตตามตารางที่ 1 ของปี 2550 รวมถึงค่า MAIFI จากการทำนายกรณีเปลี่ยนระดับแรงดันเป็น 22 KV โดยใช้ความสัมพันธ์ของข้อมูลในปี 2550 และค่าผลต่างของ MAIFI ที่ลดลงกรณีเปลี่ยนระดับแรงดันจาก 33 KV เป็น 22 KV ซึ่งจะใช้ค่านี้ในการประเมินมูลค่าผลกระทบด้านคุณภาพไฟฟ้าจากการเปลี่ยนระดับแรงดันนี้ ในลำดับ

ตารางที่ 1 ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

อินพุต	เอาต์พุต
1. SAIFI 2. ความยาวสายจำหน่ายรวม 3. 5×kV ² /MVA 4. จำนวนครั้งของ T/L 5. จำนวนครั้งของ T/R	MAIFI

ต่อไป แสดงได้ดังตารางที่ 2

มูลค่าความเสียหายที่ลดลงจากการเปลี่ยนระดับแรงดันนี้ ในการศึกษานี้ หาได้จากการทำปริมาณโหลดของลูกค้าธุรกิจโรงแรม ท่างสรรพสินค้าของแต่ละสายป้อนลูกค้าด้วยจำนวนของค่า MAIFI ที่ลดลง และคูณด้วยมูลค่าความเสียหายต่อครั้งของการเกิดไฟดับขณะที่ได้จากการสำรวจของ EPRI [2]

V. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งาน โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายดัชนี MAIFI ซึ่งใช้เป็นตัวแทนสำหรับดัชนีคุณภาพไฟฟ้า เพื่อประกอบการศึกษาความเหมาะสมของการลดระดับแรงดันจาก 33 KV เป็น 22 KV บทความนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี MAIFI และ ดัชนี SAIFI รวมถึงข้อมูลของระบบไฟฟ้าต่างๆ เพื่อทำนายดัชนี MAIFI ในอนาคตหลังจากลดระดับแรงดันของระบบจำหน่ายมาเป็นระบบ 22KV

เอกสารอ้างอิง
[1]S. Cobben (The Netherlands), "A customer oriented approach to the classification of voltage dips", CIRED 2005 - Round Table on Voltage Dips Indices & Benchmarking - Torino, Tuesday 7 June 2005.
[2]Electric Power Research Institute, "Correlating Power Quality Indices with System Reliability Indices", Final Report: 1008508, March 2005.
[3] S. Haykin, Neural Networks, Macmillan, New York, 1994.
[4] F.V. Laurene, Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.

ตารางที่ 2 ค่าดัชนี MAIFI จริง, ค่าที่ได้จากการทำนายของปี 2550, ค่าดัชนี MAIFI จากการทำนาย และค่าผลต่างของ MAIFI กรณีเปลี่ยนระดับแรงดันเป็น 22 KV

		MAIFI			
ที่	ฟีดเดอร์	ค่าจริง 2550	ทำนาย 2550	ทำนาย 22kV	MAIFI ที่ลดลง
1	PAT01	17.35	16.036	10.845	6.505
2	PAT02	20.02	13.544	11.897	8.123
3	PAT04	27.28	38.41	16.842	10.438
4	PAT05	14	20.013	9.0704	4.9296
5	PAT07	21.73	18.395	11.279	10.451
6	PAT08	30.32	36.867	16.026	14.294
7	PAT09	33.36	28.995	18.002	15.358
8	PAT10	1.73	5.2163	3.4091	-1.6791
9	PKA01	23.2	22.158	12.244	10.956
10	PKA02	18.48	36.736	12.63	5.85
11	PKA03	10.16	12.676	7.927	2.8893
12	PKA04	13.34	39.511	11.274	1.416
13	PKA05	33.43	46.898	18.141	15.289
14	PKA06	20.49	25.748	12.382	8.108
15	PKA07	13	13.575	8.6765	4.3235
16	PKA09	49.11	20.006	25.818	23.292
17	PKA10	28.76	13.441	14.247	14.513
18	PKB01	37.7	30.693	20.094	17.606
19	PKB02	25.67	38.484	15.126	10.544
20	PKB03	24.3	28.153	12.492	11.808
21	PKB04	41.19	51.491	23.102	18.088
22	PKB05	87.9	87.37	43.08	44.82
23	PKB06	9.04	12.39	6.7739	2.2661
24	PKB07	20.01	13.434	12.071	7.939
25	PKB08	1	3.9045	3.0866	-2.0866
26	PKB09	35	38.315	18.852	16.148
27	PKB10	51.44	17.636	26.089	25.351
28	TLG01	14.55	4.1278	8.1239	6.4261
29	TLG02	37.47	25.087	14.216	23.254
30	TLG04	26.12	15.906	15.231	10.889
31	TLG05	16.54	21.82	10.276	6.264
32	TLG06	7.26	2.8088	6.5976	0.6624
33	TLG07	11.61	16.21	8.0751	3.5349
34	TLG09	13.73	9.1099	12.699	1.031
35	TLG10	1.75	12.874	3.4084	-1.6584

ตารางที่ 3 มูลค่าความเสียหายของโรงงานอุตสาหกรรม และธุรกิจประเภทต่างๆ เมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟดับชั่วขณะ (MOMENTARY INTERRUPTION) ที่ได้จากการสำรวจของ EPRI [2]

Category	Cost of Momentary Interruption (\$/kW Demand)	
	Minimum	Maximum
INDUSTRIAL		
Automobile Manufacturing	\$5.0	\$7.5
Rubber and Plastics	\$3.0	\$4.5
Textile	\$2.0	\$4.0
Paper	\$1.5	\$2.5
Printing (newspapers)	\$1.0	\$2.0
Petrochemical	\$3.0	\$5.0
Metal Fabrication	\$2.0	\$4.0
Glass	\$4.0	\$6.0
Mining	\$2.0	\$4.0
Food Processing	\$3.0	\$5.0
Pharmaceutical	\$5.0	\$50.0
Electronics	\$8.0	\$12.0
Semiconductor Manufacturing	\$20.0	\$60.0
COMMERCIAL		
Communications, information processing	\$1.0	\$10.0
Hospitals, banks, civil services	\$2.0	\$3.0
Restaurants, bars, hotels	\$0.5	\$1.0
Commercial shops	\$0.1	\$0.5



IEEE C57.13-2008

IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ตอนที่ 19)

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

๕๒๒ ทำนองเดียวกับโจทย์คำนวณของหม้อแปลงกระแสที่นำเสนอไปแล้ว ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับหม้อแปลงแรงดันจำนวน 4 ข้อต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการคิดารเดียวกันชื่อว่า Electrical Measurements and Measuring Instruments, Rajendra Prasad, Khanna Publishers, 1028 pages, Fourth Edition, 1999 ซึ่งส่วนหม้อแปลงเครื่องมือวัดอยู่บทที่ 8: Extension of Instrument Range หน้า 293 ถึง 355

ผู้อ่านลองทำโจทย์ด้วยตัวเองดูก่อนคิดรับว่า หากต้องสอบวิชาจริงๆ จะสอบผ่านหรือไม่ ?

๕๒๓ โจทย์: หม้อแปลงแรงดันต้นที่มีอัตราส่วน 1000/100 V มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ความต้านทานปฐมภูมิ = 97.5 Ω, รีแอक्टแตนซ์ปฐมภูมิ = 65.4 Ω, ความต้านทานทุติยภูมิ = 0.02 A จงหา (a) ความคลาดเคลื่อนของมุมเฟสของไม่จ่ายโหลด และ (b) โหลดในหน่วย VA เมื่อตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนของมุมเฟสเป็นศูนย์

เฉลย: อัตราส่วนจำนวนรอบ

(a) ตัวประกอบกำลังขณะไม่จ่ายโหลด 0.4 หมายถึง

$$\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha = 0.4 \rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - 0.4^2} = 0.915$$

จะได้ $I_s = I_m \tan \alpha = 0.02 \times (0.4 / 0.915) = 0.00875$

ขณะไม่จ่ายโหลด $I_s = 0$ แทนค่าลงใน $\theta = \frac{I_s(X_p \cos \alpha - R_p \sin \alpha) + n I_s X_p - n I_m R_p}{n^2 V_s}$ จะได้

$$\theta = \frac{I_s X_p - I_m R_p}{n V_s} = \frac{0.00875 \times 65.4 - 0.02 \times 97.5}{10 \times 100} = -1.377 \text{ rad} = -0.079^\circ = -4.7'$$

8.1.11 Accuracy calculations for voltage transformers

(การคำนวณความแม่นยำของหม้อแปลงแรงดัน)
Several methods are available for calculating the accuracy of voltage transformers at different burdens. These methods, utilizing winding impedances and core excitation characteristics, are subject to some limitations and give results having less precision than those methods that employ a combination of test and calculation.

มีอยู่หลายวิธีการที่เป็นไปได้ในการคำนวณความแม่นยำของหม้อแปลงแรงดัน ณ เบอร์เดนที่แตกต่าง

The latter methods, using measured values of true ratio and phase angle at zero burden and one other burden within the maximum standard burden rating of the transformer, yield results having a high degree of precision. This is possible because both the ratio and the phase angle of a voltage transformer give

กัน. วิธีการเหล่านี้, อาศัยอิมพีแดนซ์ของขดลวด และคุณลักษณะการกระตุ้นแกนเหล็ก, จะประสบกับข้อจำกัดบางอย่าง และทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ ที่ใช้ข้อมูลผสมระหว่างการทดสอบกับการคำนวณ.

practically straight lines when plotted against secondary current at a given voltage, power factor, and frequency.

วิธีการหลังนั้น, อาศัยค่าจากการวัดอัตราส่วนที่แท้จริงกับมุมเฟสที่เบอร์เดนเป็นศูนย์ รวมทั้งเบอร์เดนอื่นอีกค่าหนึ่งที่อยู่ภายในพิสัยเบอร์เดนมาตรฐานสูงสุดของหม้อแปลง, จะให้ผลลัพธ์ที่มีระดับความเที่ยงตรงสูง. สิ่งนี้เป็นไปได้ก็เพราะทั้งอัตราส่วนและมุมเฟสของหม้อแปลงแรงดัน ในทางปฏิบัติจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง เมื่อเทียบกับกระแสทุติยภูมิ ณ แรงดัน, ตัวประกอบกำลัง, และความถี่ที่กำหนด.

มุมเฟสระหว่าง I_p กับ V_p จากรูปที่ 8.34 คือ $\phi' = 23.2^\circ + 0^\circ 22' + 0^\circ 10' = 23^\circ 44'$

อัตราส่วนแรงดันที่แท้จริง = $0.995 \times \frac{2000}{100} = 19.90 \rightarrow$

แรงดันปฐมภูมิที่แท้จริง = $19.90 \times 102 = 2030 \text{ V}$

อัตราส่วนกระแสที่แท้จริง = $1.005 \times \frac{10}{5} = 20.10 \rightarrow$

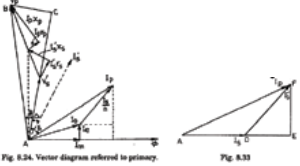
กระแสปฐมภูมิที่แท้จริง = $20.10 \times 4 = 80.4 \text{ A}$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจริงๆ = $2030 \times 80.4 \times \cos 23^\circ 44' = 149.5 \text{ kW}$

๕๒๕ โจทย์: หม้อแปลงแรงดันที่คิด 4800/120 V มีจำนวนรอบด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ 15000 และ 375 ตามลำดับ เมื่อป้อนแรงดัน 4800 V ให้กับขดลวดปฐมภูมิ ขณะที่มีด้านทุติยภูมิเปิดวงจร จะมีกระแสปฐมภูมิ 0.008 A มุมตามหลังแรงดันอยู่ 74° แต่เมื่อต่อเบอร์เดนบางส่วนเข้ากับด้านทุติยภูมิ จะมีกระแสปฐมภูมิ 0.018 A มุมตามหลังแรงดันอยู่ 55° อิมพีแดนซ์ของขดลวดปฐมภูมิเป็น $600 + j 1000 \Omega$ และขดลวดทุติยภูมิเป็น $0.3 + j 0.6 \Omega$ (i) จงเขียนแผนผังเฟสเซอร์ (ii) จงหากระแสและแรงดันปลายสายด้านทุติยภูมิ เมื่อป้อนแรงดัน 4800 V ให้กับขดลวดปฐมภูมิ (iii) จงคำนวณความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส, อัตราส่วนที่แท้จริง และความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วน

เฉลย:

(i) แผนผังเฟสเซอร์ตามรูปที่ 8.24 $V_s', I_s', I_p', X_p', R_p'$ แทนแรงดัน, กระแส, ความต้านทาน และรีแอक्टแตนซ์ทุติยภูมิที่อ้างอิงไปทางปฐมภูมิ



(ii) อัตราส่วนตามป้ายชื่อ = $4800/120 = 40$

กระแสและมุมไม่จ่ายโหลด $I_0 = 0.008 \text{ A}$ และมุมระหว่าง V_p กับ $I_0 = 74^\circ$

กระแสปฐมภูมิ $I_p = 0.018 \text{ A}$ และมุมระหว่าง V_p กับ $I_p = 55^\circ$

มุมระหว่าง I_0 กับ $I_p = 74^\circ - 55^\circ = 19^\circ$ แผนผังเฟสเซอร์ของ $I_p, I_0, I_s' (I_s \text{ in } n)$ และตัววัดตามรูปที่ 8.33 ซึ่งจะได้

$$AE = 0.018 \cos 19^\circ = 0.01702, EF = 0.018 \sin 19^\circ = 0.00586, DE = AE - AD = 0.01702 - 0.008 = 0.00902$$
$$I_s' = \frac{I_s}{n} = DF = \sqrt{DE^2 + EF^2} = \sqrt{0.00902^2 + 0.00586^2} = 0.010756 \text{ A} \rightarrow I_s = 40 \times 0.010756 = 0.43024 \text{ A}$$

มุมระหว่าง I_s' กับ I_0 คือ $\beta = \cos^{-1} \frac{DE}{DF} = \cos^{-1} \frac{0.00902}{0.010756} = 33^\circ$

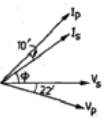
เนื่องจากมุมระหว่าง V_p กับ $I_0 = 74^\circ$ ดังนั้นมุมระหว่าง I_s' กับ $V_p = 74^\circ - 33^\circ = 41^\circ$

เนื่องจากมุมระหว่าง V_p กับ V_s เป็น θ ดังนั้นมุมระหว่าง V_s' กับ $V_p = 41^\circ - \theta$ และระหว่าง V_s' กับ $I_p = 55^\circ - \theta$

จาก ΔABC ตามรูปที่ 8.24 จะได้

$$V_p \cos \theta = V_s' + I_s' R_p \cos(41^\circ - \theta) + I_s' X_p \sin(41^\circ - \theta) + I_p R_p \cos(55^\circ - \theta) + I_p X_p \sin(55^\circ - \theta)$$
$$= V_s' + I_s' R_p \cos 41^\circ \cos \theta + I_s' R_p \sin 41^\circ \sin \theta + I_s' X_p \sin 41^\circ \cos \theta - I_s' X_p \cos 41^\circ \sin \theta + I_p R_p \cos 55^\circ \cos \theta + I_p R_p \sin 55^\circ \sin \theta + I_p X_p \sin 55^\circ \cos \theta - I_p X_p \cos 55^\circ \sin \theta$$

Fig. 8.34. Vector diagram for Example-25.



มุม θ มีค่าน้อยมาก $\cos \theta = 1, \sin \theta = 0$ ดังนั้นจะได้

$$V_p = V_s' + I_s' R_p \cos 41^\circ + I_s' X_p \sin 41^\circ + I_p R_p \cos 55^\circ + I_p X_p \sin 55^\circ$$

ทั้งนี้ $R_p = 600 \Omega, X_p = 1000 \Omega, R_s' = n^2 R_s = 480 \Omega, X_s' = n^2 X_s = 960 \Omega$

เมื่อแทนค่าเหล่านี้ในสมการ จะได้

$$V_p = V_s' + 31.61 \rightarrow V_s' = 4800 - 31.61 = 4768.39 \text{ V} \rightarrow V_s = V_s' / 40 = 119.21 \text{ V}$$

(iii) ทำนองเดียวกับจาก ΔABC ตามรูปที่ 8.24 จะได้

$$V_p \sin \theta = I_s' X_p \cos 41^\circ - I_s' R_p \sin 41^\circ + I_p X_p \cos 55^\circ - I_p R_p \sin 55^\circ = 5.883$$

ความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส $\theta = \sin^{-1} \frac{5.883}{4800} = 4.213'$

อัตราส่วนที่แท้จริง $K = \frac{V_p}{V_s} = \frac{4800}{119.21} = 40.265$

ตัวประกอบการแก้อัตราส่วน $RCF = \frac{\text{Actual ratio}}{\text{Nominal ratio}} = \frac{40.265}{40.0} = 1.006625$

๕๒๖ โจทย์: หม้อแปลงแรงดันมีความต้านทานด้านปฐมภูมิ $R_p = 300 \Omega$, รีแอक्टแตนซ์ด้านปฐมภูมิ $X_p = 600 \Omega$, ความต้านทานด้านทุติยภูมิ $R_s = 0.75 \Omega$ และรีแอक्टแตนซ์ด้านปฐมภูมิ $X_s = 1.5 \Omega$ อัตราส่วนจำนวนรอบเป็น 20:1 แรงดันปฐมภูมิเป็น 2000 V ไม่คำนึงถึงกระแสกระตุ้นแกนเหล็กและความสูญเสียในการเหล็ก จงหาตัวประกอบการแก้อัตราส่วนแรงดัน (RCF), ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วน และความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส เมื่อเบอร์เดนด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเป็น (a) 50 VA ที่ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง; (b) 50 VA ที่ตัวประกอบกำลัง 0.6 มุมตามหลัง; (c) 50 VA ที่ตัวประกอบกำลัง 0.6 มุมนำหน้า; (d) 25 VA ที่ตัวประกอบกำลัง 0.6 มุมตามหลัง; (e) 25 VA ที่ตัวประกอบกำลัง 0.6 มุมนำหน้า

เฉลย: สมมติว่าอัตราส่วนจำนวนรอบเท่ากับอัตราส่วนตามป้ายชื่อ นั่นคือ

$$n = V_p / V_s = 20 \rightarrow V_s = 2000 / 20 = 100 \text{ V}$$

ดังนั้นกระแสที่ 50 VA คือ $I_s = \frac{50}{100} = 0.5 \text{ A}$

และที่ 25 VA คือ $I_s = \frac{25}{100} = 0.25 \text{ A}$ รวมทั้ง $I_s = I_m = 0$

(a) กรณีนี้ $\cos \alpha = 0.6, \sin \alpha = 0.8$

$$R_p = n^2 R_s + R_p = 20^2 \times 0.75 + 300 = 600 \text{ และ } X_p = n^2 X_s + X_p = 20^2 \times 1.5 + 600 = 1200$$
$$\frac{I_s}{V_s} = n + \frac{I_s}{n} \left[\frac{R_p \cos \alpha + X_p \sin \alpha}{V_s} + I_s R_p + I_m X_p \right] = 20 + \frac{0.5}{20} [600 \times 0.6 + 1200 \times 0.8] + 0 = 20.33$$

ตัวประกอบการแก้อัตราส่วน $RCF = \frac{\text{Actual ratio}}{\text{Nominal ratio}} = \frac{20.33}{20} = 1.0165$

ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วน $\epsilon_r = \frac{20 - 20.33}{20.33} \times 100 = -1.625\%$

ความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส

$$\theta = \frac{I_s [X_p \cos \alpha - R_p \sin \alpha] + n I_s R_p - n I_m X_p}{n^2 V_s} = \frac{0.5 [1200 \times 0.6 - 600 \times 0.8] + 0}{20^2 \times 100} = 10.3'$$

(b) กรณีนี้ $\cos \alpha = 1, \sin \alpha = 0$ ทำให้ได้ $\frac{V_p}{V_s} = 20 + \frac{0.5 [600 \times 1 + 0]}{100} = 20.15$

และจะได้ $RCF = \frac{20.15}{20} = 1.0075; \epsilon_r = \frac{20 - 20.15}{20.15} \times 100 = -0.745\%; \theta = \frac{0.5 [1200 - 0] + 0}{20^2 \times 100} = 51.6'$

(c) กรณีนี้ $\cos \alpha = 0.6, \sin \alpha = -0.8$

$$\frac{V_p}{V_s} = 20 + \frac{0.5 [600 \times 0.6 - 1200 \times 0.8]}{100} = 19.85$$

และจะได้

$$RCF = \frac{19.85}{20} = 0.9925; \epsilon_r = \frac{20 - 19.85}{19.85} \times 100 = 0.755\%; \theta = \frac{0.5 [1200 \times 0.6 + 600 \times 0.8]}{20^2 \times 100} = 51.6'$$

8.1.12 Calculation of voltage transformer ratio and phase angle from known zero and rated burden data

(การคำนวณอัตราส่วนและมุมเฟสของหม้อแปลงแรงดันจากข้อมูลที่เบอร์เดนศูนย์และเบอร์เดนที่กีด) In this method, the true ratio and phase angle of a voltage transformer are known at both zero burden and one other burden, either a rated standard burden or, more conveniently, a pure resistive or capacitive burden, for a given voltage and frequency. At the same voltage and frequency, the accuracy for any other burden and power factor may be calculated from the following equations:^{๕๕๐๑} ตามวิธีการนี้ อัตราส่วนที่แท้จริงและมุมเฟสของหม้อแปลงแรงดันรู้ค่าก่อนแล้ว ทั้งที่เบอร์เดนศูนย์และเบอร์เดนอื่นอีกค่าหนึ่ง, ไม่ว่าจะเป็นเบอร์เดนมาตรฐานที่กำหนด หรือ, เพื่อให้สะดวกยิ่งขึ้น, เบอร์เดนที่มีความต้านทานหรือความจุไฟฟ้าล้วนๆ ณ แรงดันและความถี่ที่กำหนด. ณ แรงดันและความถี่เดียวกัน อาจคำนวณความแม่นยำสำหรับเบอร์เดนใดๆ ได้จากสมการต่อไปนี้:^{๕๕๐๒}

B₀ is the zero burden for which RCF and θ are known
เบอร์เดนเป็นศูนย์ที่รู้ RCF และ θ แล้ว

B_t is the burden for which RCF and θ are known
เบอร์เดนค่าหนึ่งที่รู้ RCF และ θ แล้ว

(d) กรณีนี้ $\cos \Delta = 0.6, \sin \Delta = 0.8$
ทำให้ได้ $\frac{V_p}{V_s} = 20 + \frac{0.25[600 \times 0.6 + 1200 \times 0.8]}{100} = 20.165$
และจะได้ $RCF = \frac{20.165}{20} = 1.00825; \epsilon_r = \frac{20 - 20.165}{20.165} \times 100 = -0.82\%; \theta = \frac{0.25[1200 \times 0.6 - 600 \times 0.8]}{20^2 \times 100} = 5.515'$

(e) กรณีนี้ $\cos \Delta = 1, \sin \Delta = 0$
ทำให้ได้ $\frac{V_p}{V_s} = 20 + \frac{0.25[600 + 0]}{100} = 20.075$
และจะได้ $RCF = \frac{20.075}{20} = 1.00375; \epsilon_r = \frac{20 - 20.075}{20.075} \times 100 = -0.373\%; \theta = \frac{0.25[1200 - 0] + 0}{20^2 \times 100} = 25.8'$

(f) กรณีนี้ $\cos \Delta = 0.6, \sin \Delta = 0.8$
ทำให้ได้ $\frac{V_p}{V_s} = 20 + \frac{0.25[600 \times 0.6 - 1200 \times 0.8]}{100} = 19.925$
และจะได้ $RCF = \frac{19.925}{20} = 0.99625; \epsilon_r = \frac{20 - 19.925}{19.925} \times 100 = 0.376\%; \theta = \frac{0.25[1200 \times 0.6 + 600 \times 0.8]}{20^2 \times 100} = 25.8'$

^{๕๕๐๑} These equations are approximations. Although they yield accurate results for many cases, the user should be aware that for large burdens (e.g., Z or ZZ), intolerable errors may be introduced unless the volt-amperes of the known burden are equal to or greater than those of the unknown burden, and the values for the known and the zero burdens are measured accurately. This problem is minimized for all cases if the magnitude of the known burden is made nominally equal to the magnitude of the rated burden of the transformer under test.

B_C is the burden for which RCF and θ are to be calculated
เบอร์เดนที่จะคำนวณ RCF และ θ

θ_t and θ_c are the power factor angles of burdens B_t and B_c respectively (in radians)
มุมตัวประกอบกำลังของเบอร์เดน B_t และ B_c ตามลำดับ (ในหน่วยเรเดียน)

NOTE - θ_t and θ_c are positive angles for lagging power factors.
หมายเหตุ - มุม θ_t และ θ_c เป็นบวกสำหรับตัวประกอบกำลังที่มีมุมเฟสตามหลัง.

RCF₀, RCF_p and RCF_c are the transformer ratio correction factors for burdens B₀, B_t and B_c respectively
ตัวประกอบการแก้ไขอัตราส่วนของหม้อแปลงสำหรับเบอร์เดน B₀, B_t และ B_c ตามลำดับ

γ₀, γ_p, γ_c are the transformer phase angles in radians for burdens B₀, B_t and B_c respectively
มุมเฟสของหม้อแปลงในหน่วยเรเดียน สำหรับเบอร์เดน B₀, B_t และ B_c ตามลำดับ

NOTE - γ is considered positive when the secondary voltage leads the primary voltage.
หมายเหตุ - มุม γ ถือว่าเป็นบวกเมื่อแรงดันทุติยภูมิ

มีมุมเฟสหน้าหน้าแรงดันปฐมภูมิ.

RCF_d = RCF_t - RCF₀
which equals difference between the transformer ratio correction factors for burdens B_t and B₀
ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างตัวประกอบการแก้ไขอัตราส่วนของหม้อแปลงสำหรับเบอร์เดน B_t และ B₀
γ_d = γ_t - γ
which equals the difference between the transformer phase angles for burdens B_t and B₀ in radians
ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างมุมเฟสของหม้อแปลงสำหรับเบอร์เดน B_t และ B₀ ในหน่วยเรเดียน

RCF_c = RCF₀ + [B_c/B_t] [RCF_d × cos (θ_t - θ_c) + γ_d × sin(θ_t - θ_c)]
γ_c = γ₀ + [B_c/B_t] [γ_d × cos(θ_t - θ_c) - RCF_d × sin(θ_t - θ_c)] radians

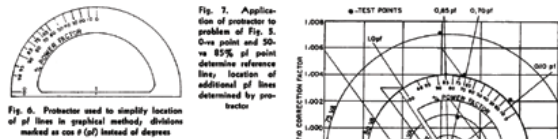
NOTE 1 - Multiply radians by 1000 to obtain milliradians (mrad). If minutes are desired, multiply by 3438.
คูณเรเดียนด้วย 1000 เพื่อแปลงเป็นหนึ่งในพันเรเดียน (mrad). ถ้าต้องการแปลงเป็นลิปดา, ให้คูณด้วย 3438.

NOTE 2 - These equations provide an analytical determination of voltage transformer

^{๕๕๐๒} สมการเหล่านี้เป็นการคำนวณอย่างหยาบๆ. ถึงแม้สมการเหล่านี้จะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องในหลายกรณี, ผู้ใช้ก็ควรตระหนักไว้ว่า สำหรับเบอร์เดนที่มีขนาดใหญ่ (ตัวอย่างเช่น, Z หรือ ZZ) ความคลาดเคลื่อนซึ่งผิดที่ที่จะพบได้อาจจะเกิดขึ้นได้ นอกเสียจากว่าโวลต์-แอมป์แรงของเบอร์เดนที่รู้ค่าแล้ว มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า เบอร์เดนที่ยังไม่รู้ค่าเหล่านั้น, และค่าต่างๆ สำหรับเบอร์เดนที่รู้ค่าแล้วกับเบอร์เดนที่เป็นศูนย์ได้รับการวัดอย่างถูกต้อง. ปัญหาที่แก้ไขลงเหลือน้อยที่สุดได้สำหรับทุกๆ กรณี ถ้าขนาดเบอร์เดนที่รู้ค่าแล้วถูกทำให้มีค่าปกติเท่ากับขนาดของเบอร์เดนที่กำหนดของหม้อแปลงที่เข้าทดสอบ.

^{๕๕๐๓} ตาม: โปรแทรกเตอร์ (Protractor) ที่พูดถึงในที่นี่ หน้าตาเหมือนกับไมโปรแทรกเตอร์ที่ใช้สมัยเรียนประถม-มัธยมหรือไม่ ?
ตอบ: ผมคิดว่าโปรแทรกเตอร์ที่พูดถึง น่าจะเป็นอุปกรณ์พิเศษที่ออกแบบไว้ใช้งานกับกระดาษแกนที่พิเศษๆ และเน้นงานด้านไฟฟ้าเป็นหลัก เนื่องจากอยู่ภายในข้อกำหนดเกี่ยวกับหม้อแปลงแรงดันแบบที่ใช้กับมาตรวัดตัวอย่างโปรแทรกเตอร์ที่ใช้งานกับกราฟของหม้อแปลงแรงดัน จากบทความที่เป็นเอกสารอ้างอิงหมายเลข [B36] ของ C57.13 ฉบับนี้ คือบทความ Settles, J. L., Farber, W. R., and Conner, E. E., "The Analytical and Graphical Determination of Complete Potential Transformer Characteristics," AIEE Transactions, part III, pp. 1213-1219, 1960. มีลักษณะดังนี้:^{๕๕๐๔}

C57.13-1968 & 1978 แนะนำแนวคิดในการสลายอำนาจแม่เหล็กไว้เพียง 2 วิธีการแรก สำหรับวิธีการที่ 3 เพิ่งปรากฏใน C57.13-1993 และ



accuracy. Although they are long, a simple computer or programmable calculator program can be written to perform the necessary calculations quickly and accurately. Also, it has been shown that graphical solutions of these equations by means of special scaled polar coordinate paper and a protractor are sufficiently accurate for most revenue-metering applications. สมการเหล่านี้ให้วิธีการหาความแม่นยำของหม้อแปลงแรงดันโดยหลักการวิเคราะห์. แม้สมการจะยาว, แต่คอมพิวเตอร์ธรรมดาหรือเครื่องคิดเลขชนิดที่ป้อนคำสั่งได้ ก็สามารถเขียนคำสั่งในการคำนวณที่จำเป็นอย่างรวดเร็วและแม่นยำ. นอกจากนี้, ยังแสดงให้เห็นได้อีกว่าการหาคำตอบด้วยการของสมการเหล่านี้โดยใช้กระดาษแกนที่พิเศษซึ่งพร้อมมาตราส่วนพิเศษและโปรแทรกเตอร์ ก็ให้ความแม่นยำในระดับที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้กับเครื่องวัดที่ใช้คิดเงินส่วนใหญ่.^{๕๕๐๕}

The equations for RCF and γ_c above reduce to the following simpler form in the case where the burden for RCF and γ are known to be at unity power factor.

สมการสำหรับ RCF_c และ γ_c ข้างต้น ลดรูปให้ง่ายขึ้นได้ดังต่อไปนี้ ในกรณีที่เบอร์เดนสำหรับ RCF และ γ ซึ่งรู้ค่านั้นมีตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง.

RCF_c = RCF₀ + [B_c/B_t] [RCF_d × cos θ_c - γ_d × sin θ_c]
γ_c = γ₀ + [B_c/B_t] [γ_d × cos θ_c - RCF_d × sin θ_c] radians

where โดยที่ B_t is the unity power factor burden เบอร์เดนที่ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง γ_d is in radians เป็นมุมในหน่วยเรเดียน

For burdens not exceeding the burden for which RCF and γ are known, the foregoing calculations will produce the same accuracy as would be obtained from the actual tests at the unknown burden. When the calculations are used for determining performance at greater burdens, a lower accuracy will be obtained.

สำหรับเบอร์เดนที่มีค่าไม่เกินเบอร์เดนสำหรับ RCF

และ γ ซึ่งรู้ค่าแล้ว, การคำนวณตามที่กล่าวมาแล้ว จะให้ความแม่นยำเหมือนกับที่ควรจะได้จากการทดสอบจริง ที่เบอร์เดนซึ่งไม่รู้ค่านั้น. เมื่อการคำนวณนี้ใช้หาคุณสมบัติการทำงานที่เบอร์เดนมากกว่าที่รู้ค่าแล้ว, ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแม่นยำลดลง.

Consideration should be given to the effects of the increased heating due to the heavier burdens. ทั้งนี้ควรคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากการความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเบอร์เดนมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย.

8.2 Demagnetization (การสลายอำนาจแม่เหล็ก)
Three methods are presented below for demagnetizing current transformers: วิธีการสามอย่างนี้จะนำเสนอต่อไปนี้ ใช้ในการสลายอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลงกระแส:^{๕๕๐๖ - ๕๕๐๘}

a) Method 1. Connect the current transformer in the test circuit as shown in Figure 20. Apply enough current to the high-turn winding (usually X1-X2) to saturate the core of the transformer as determined by the ammeter

C57.13-2008 ฉบับนี้ใช้ตาม C57.13-1993 ทุกอย่าง
^{๕๕๐๓} ตาม: มาตรฐาน IEC กำหนด "การสลายอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลงกระแส" แยกต่างจากมาตรฐาน IEEE หรือไม่ ?
ตอบ: มาตรฐาน IEC 60044-1 (2003, CT) Subclause 7.1: Short-time current tests เป็นเพียงแต่การพูดถึง "การสลายอำนาจแม่เหล็ก" โดยใช้เป็นเกณฑ์อย่างหนึ่งในการตัดสินว่าหม้อแปลงผ่านการทดสอบกระแสสูงสั้นๆ หรือไม่ ตามข้อกำหนดที่ว่า
b) its errors after demagnetization do not differ from those recorded before the tests by more than half the limits of error appropriate to its accuracy class; แต่ส่วนอื่นๆ ของมาตรฐาน IEC ฉบับดังกล่าว ไม่ได้พูดถึงขั้นตอนการการสลายอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลงกระแสไว้เลยสักอย่าง ต่างจากมาตรฐาน IEEE ฉบับนี้ซึ่งระบุขั้นตอนไว้ถึง 3 วิธีการจึงถือว่า IEEE มีข้อกำหนด "การสลายอำนาจแม่เหล็ก" ชัดเจนกว่า IEC มาก
^{๕๕๐๔} หนังสือ McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, 5th Edition, 1994 ให้นิยามของคำศัพท์ต่างๆ ที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับการทำให้แม่เหล็กและการสลายอำนาจแม่เหล็ก ได้แก่
demagnetization: 1. The process of reducing or removing the magnetism of a ferromagnetic material. 2. The reduction of magnetic induction by the internal field of a magnet.

การสลายอำนาจแม่เหล็ก: 1. ขั้นตอนของการลดหรือการกำจัดอำนาจแม่เหล็กของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก. 2. การลดของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดจากสนามภายในแม่เหล็ก.
ferromagnetic material: A material displaying ferromagnetism, such as the various forms of iron, steel, cobalt, nickel, and their alloys.
วัสดุเฟอร์โรแมกเนติก: วัสดุที่แสดงความเป็นแม่เหล็กเฟอร์ริ เช่น รูปแบบต่างๆ ของเหล็ก, เหล็กกล้า, โคบอลต์, นิกเกิล, และสารผสมต่างๆ ของพวกมัน.
ferromagnetism: A property, exhibited by certain metals, alloys, and compounds of the transition (iron group) rare-earth and actinide elements, in which the internal magnetic moments spontaneously organize in a common direction; gives rise to a permeability considerably greater than that of vacuum, and to magnetic hysteresis.
ภาวะเฟอร์โรแมกเนติก: คุณสมบัติซึ่งมีอยู่ในโลหะบางอย่าง, สารผสม, และสารประกอบของธาตุในกลุ่มทรานซิชัน (กลุ่มเหล็ก) และในกลุ่มแอกติด์, ที่มีโมเมนต์แม่เหล็กภายในจัดรูปแบบในทิศทางร่วมโดยเกิดขึ้นเอง ทำให้ความซาซิมมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าของสุญญากาศอย่างเห็นได้ชัด, และเพิ่มฮิสเตอร์ซิสแม่เหล็กด้วย.
magnetization: 1. The property and in particular, the extent of being magnetized; quantitatively, the magnetic moment per unit volume of a substance. Also known as magnetic dipole density; magnetization intensity. 2. The process of magnetizing a magnetic material.
การทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก: 1. คุณสมบัติโดยเฉพาะของของที่มีการมีอำนาจแม่เหล็ก; ในเชิงปริมาณ, คือโมเมนต์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสาร. มีชื่อเรียกอื่นๆ ความหนาแน่นของ ไดโพลแม่เหล็ก; ความเข้มของอำนาจแม่เหล็ก.
2.ขั้นตอนการทำให้สารแม่เหล็กเกิดอำนาจแม่เหล็ก.

magnetizing current: The current that flows through the primary winding of a power transformer when no loads are connected to the secondary winding; this current established the magnetic field in the core and furnished energy for the no-load power losses in the core. Also known as exciting current.
กระแสสร้างอำนาจแม่เหล็ก: กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขณะที่ไม่มีโหลดต่ออยู่กับขดลวดทุติยภูมิ; กระแสนี้สร้างสนามแม่เหล็กในแกนและก่อให้เกิดพลังงานสำหรับการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในแกนเหล็กขณะที่ไม่มีโหลด. มีชื่อเรียกอื่นๆ กระแสกระตุ้นแกนเหล็ก.
^{๕๕๐๖} หนังสือ วิศวกรรมไฟฟ้า ๑, สันต์ ศิวรักษ์, จุฬาฯ, ๒๕๑๒, หน้า ๕๓ ให้ความรู้เกี่ยวกับการแบ่งจำแนกตามความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กได้ดังนี้
สารแม่เหล็กถูกจัดไว้เป็น 3 พวก คือ
1) Diamagnetic materials มี relative permeability น้อยกว่าหนึ่งเล็กน้อย
2) Paramagnetic materials มี relative permeability มากกว่าหนึ่งเล็กน้อย และ
3) Ferromagnetic materials มี relative permeability สูงมาก และจะใช้ทำวงจรแม่เหล็กโดยทั่วๆ ไป ซึ่งได้กล่าวมาแล้วตั้งแต่ต้น และเราไม่ได้พูดถึง diamagnetic และ paramagnetic เลย เพราะไม่มีที่ชี้
อาทิดความรู้อ้างกัน หากดูอันสังเกตนิยามของ demagnetization ที่จะได้มาจากเชิงรูปของข้อที่แล้ว ก็จะใช้ได้ว่าทำให้นิยามดังกล่าว จึงพูดถึงเฉพาะ ferromagnetic materials เท่านั้น
^{๕๕๐๗} สภาพให้ชิ้นวัสดุทางแม่เหล็กเป็นปัจจัยในการแบ่งแยกจำพวกของสารแม่เหล็ก ดังนั้นจึงควรพบทวนความหมายของคำนี้กับอีกกร
ความหมายของ สภาพให้ชิ้นวัสดุทางแม่เหล็ก จาก Britannica Concise Encyclopedia (ภาคภาษาไทย), พ.ศ. 2551 มีดังนี้
magnetic permeability สภาพให้ชิ้นวัสดุทางแม่เหล็ก ค่าสนามแม่เหล็กสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น (หรือลดลง) ในเนื้อวัสดุเมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งนั้นหากไม่มีวัสดุอยู่ในบริเวณที่วัสดุนั้นให้ชิ้นวัสดุทางแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 1 เพราะไม่มีสารซึ่งไปทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลง วัสดุอาจแบ่งเป็นสองอย่าง ได้ตามสภาพให้ชิ้นวัสดุทางแม่เหล็กดังนี้ วัสดุไดอะแมกเนติก มีค่าสภาพให้ชิ้นวัสดุสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 1 เล็กน้อย วัสดุพาราแมกเนติก มีค่าสภาพให้ชิ้นวัสดุสัมพัทธ์ที่และสูงกว่า 1 เล็กน้อย ค่าสภาพให้ชิ้นวัสดุได้สอง วัสดุเฟอร์โรแมกเนติก เพิ่มขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำให้เกิดสภาพแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเพิ่มขึ้นถึงสูงสุดและหลังจากนั้นจะลดลง เหล็กบริสุทธิ์และโลหะผสมบางชนิดมีค่าสภาพให้ชิ้นวัสดุได้สัมพัทธ์ประมาณ 100,000 หรือมากกว่า
^{๕๕๐๘} ความหมายของ สภาพไดอะแมกเนติก จาก Britannica Concise Encyclopedia (ภาคภาษาไทย), พ.ศ. 2551 มีดังนี้
diamagnetism สภาพไดอะแมกเนติก ลักษณะของสารแม่เหล็กประเภทหนึ่งซึ่งวัสดุซึ่งความเป็นแม่เหล็กที่เกิดจากสนามแม่เหล็กภายในมีน้อยและ สนามแม่เหล็กบางส่วนจะถูกผลักออกจากร่องภายในวัสดุในบริเวณที่วางแม่เหล็กนั้น ในวัสดุส่วนใหญ่สนามแม่เหล็กที่เกิดจากอิเล็คตรอนของอะตอมและนิวเคลียสเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามเมื่อวางวัสดุไดอะแมกเนติกในสนามแม่เหล็กภายนอก อิเล็คตรอนจะหาสนามแม่เหล็กที่มีอิเล็คตรอนจะกระทำให้เกิดสนามแม่เหล็กภายในเนื้อวัสดุในทิศทางตรงข้าม สารนี้จึงถูกผลักอย่างเบาๆ ด้วยตัวแม่เหล็ก ตัวอย่างสาร

and voltmeter readings; then slowly reduce the current to zero. The rated current of the transformer must not be exceeded.

วิธีการที่ 1. ต่อยหม้อแปลงกระแสในวงจรทดสอบดังที่แสดงในรูปที่ 20. ป้อนกระแสที่เพียงพอให้กับขดลวดที่มีจำนวนรอบสูง (มักจะเป็น X1–X2) เพื่อให้ความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงนั้นอิ่มตัว โดยได้จากการอ่านแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์, จากนั้นก็ค่อยๆ ลดกระแสลงสู่ศูนย์. ทั้งนี้กระแสที่ป้อนเข้าไปต้องไม่เกินกระแสที่กำหนดของหม้อแปลงตัวนั้น.

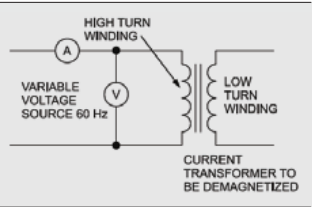


Figure 20 Method 1: Circuit for demagnetizing current transformers

รูปที่ 20 วิธีการที่ 1: วงจรในการลดอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลงกระแส ๕๔๐ - ๕๔๔

ไดอะแมเนติก เช่น บิสมีท พลวง โซเดียมคลอไรด์ ทอง และปรอท ๕๔๖

ความหมายของ สภาวะแม่เหล็กเฟรี จาก Britannica Concise Encyclopedia (ภาษาไทย), พ.ศ. 2551 มีดังนี้

ferromagnetism สภาวะแม่เหล็กเฟรี ปรากฏการณ์ทางกายภาพซึ่งวัตถุไม่มีประจุไฟฟ้าบางชนิดดึงดูดวัสดุอื่นๆ อย่างแรง ปกติถูกนิยามขึ้นบนเหล็ก โบสถ์ นิกเกิล และโลหะผสม หรือสารประกอบบางอย่างที่มีธาตุเหล่านี้อยู่ สภาวะแม่เหล็กเฟรีนี้เกิดจากการจัดเรียงตัวกันของรูปแบบบางอย่างของอะตอมที่เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่และสปิน (spin) ของอิเล็กตรอน รูปแบบดังกล่าวนี้ทำตัวเสมือนเป็นแม่เหล็กอย่างง่าย แม่เหล็กขนาดเล็กเหล่านี้จะเรียงตัวขนานไปในทิศทางเดียวกันโดยอัตโนมัติ ทำให้สนามแม่เหล็กเสริมกันและกัน วัสดุแม่เหล็กเฟรีสามารถทำให้มีสภาพแม่เหล็กได้ง่าย เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าจุดคูรี (Curie point) วัสดุเหล่านี้จะหมดสภาพแม่เหล็ก แต่จะแสดงสภาวะแม่เหล็กเฟรีอีกครั้งหากปล่อยให้เย็นลงต่ำกว่าจุดคูรี ๕๔๗

ความหมายของ สภาวะแม่เหล็กพารา จาก Britannica Concise Encyclopedia (ภาษาไทย), พ.ศ. 2551 มีดังนี้

paramagnetism สภาวะแม่เหล็กพารา สภาวะแม่เหล็กชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นในวัสดุที่ถูกดูดอย่างอ่อนๆ โดยแม่เหล็กกำลังแรง สารประกอบซึ่งมีธาตุเหล็ก แมงกานีส แมงกานีส และธาตุเรร์เอียมจะแสดงสภาวะแม่เหล็กพาราอย่างชัดเจนเนื่องจากอะตอมของสารประกอบเหล่านี้มีระดับชั้นอิเล็กตรอนว่างในไม่สมบูรณ์ อิเล็กตรอนในวัสดุเหล่านี้ทำให้อะตอมประพฤติตัวเสมือนแม่เหล็กถาวรอันเล็กๆ ซึ่งจะจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแม่เหล็กที่มากระทำ และทำให้สนามแม่เหล็กมีความเข้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สภาวะแม่เหล็กพาราจะอ่อนกำลังลงเนื่องจากอะตอมมีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วแบบสุ่มกัน สภาวะแม่เหล็กอย่างอ่อน (ซึ่งพบในธาตุโลหะที่เบาเช่นแก๊สเฉื่อย) ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ๕๔๘

ถาม: อำนาจแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแส เกิดจากสาเหตุใดบ้าง ? ตอบ: หนังสือ Electrical Measurements, Forest K. Harris, 1952, p. 560 อธิบายว่า Permanent magnetization may arise from any of a number of causes. การเกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างอย่างถาวร อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายอย่าง

If the secondary circuit is opened while the transformer is energized while its primary is energized, there will be no back mmf present and the flux density in the core will continue to rise until saturation is reached. If now the primary circuit is opened, the core may be left permanently magnetized, the magnitude of the magnetization depending on the instantaneous magnitude of primary current at the instant of interruption.

ถ้าวงจรด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงในขณะที่มีด้านปฐมภูมิยังมีไฟฟ้าป้อนอยู่ จะไม่มีแรงเคลื่อนแม่เหล็กตกค้างกับ ความหนาแน่น ฟลักซ์ในแกนเหล็กเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการอิ่มตัว ถ้าต่อนึงวงจรด้านปฐมภูมิเปิดออก แกนเหล็กอาจมีอำนาจแม่เหล็กตกค้างอย่างถาวร ซึ่งขนาดของการเกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสด้านปฐมภูมิ ณ ตอนเปิดวงจร

Permanent magnetization may also result from direct current in either winding, for example, as a consequence of the measurement of winding resistance in a Wheatstone bridge or the use of a d-c polarity check.

การเกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างอย่างถาวร อาจเป็นผลมาจากการแตรงในขดลวดโคขลวด

b) Method 2. Connect the current transformer in the test circuit as shown in Figure 21. Pass rated current through the low-turn winding (usually H1–H2). Increase the resistance R in the high-turn winding (usually X1–X2) circuit until the transformer core is saturated and then slowly reduce the resistance to zero and disconnect the current source. Saturation of the core is indicated by a reduction of current in the high-turn winding circuit.

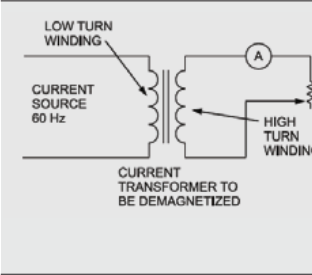


Figure 21 Method 2: Circuit for demagnetizing current transformers

รูปที่ 21 วิธีการที่ 2: วงจรในการลดอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลงกระแส ๕๔๔ - ๕๔๗

วิธีการที่ 2. ต่อยหม้อแปลงกระแสในวงจรทดสอบดังที่แสดงในรูปที่ 21. ป้อนกระแสที่กำหนดให้กับขดลวดที่มีจำนวนรอบต่ำ, (มักจะเป็น H1–H2). เพิ่มความต้านทาน R ในวงจรของขดลวดที่มีจำนวนรอบสูง, (มักจะเป็น X1–X2), จนกระทั่งแกนเหล็กของหม้อแปลงนั้นอิ่มตัว ต่อจากนั้นก็ค่อยๆ ลดความต้านทานลงจนเป็นศูนย์ และตัดแหล่งจ่ายกระแสออกไป. การอิ่มตัวของแกนเหล็กบ่งบอกได้ด้วยารลดลงของกระแสในวงจรของขดลวดที่มีจำนวนรอบสูง.

WARNING
A continuously variable resistance must be used to avoid opening the high-turn winding circuit when resistance values are changed, since, as the resistance is increased, the voltage across the resistance will approach the dangerous open-circuit value.

คำเตือน
ความต้านทานแบบปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง ต้องนำมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเปิดวงจรขดลวดที่มีจำนวนรอบสูงขณะที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง, เนื่องจาก, เมื่อความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้นขึ้น, แรงดันตกคร่อมความต้านทานจะเข้าใกล้ค่าของแรงดันเปิดวงจรที่ค่อนข้างอันตรายได้.

หนึ่ง ตัวอย่างเช่น ผลต่อเนื่องจากการวัดความต้านทานของขดลวดในวงจรบริดจ์แบบโวลต์โตนหรือการตรวจสอบสภาพข้อผิดพลาดใช้วิธีการแสดง

It may also arise from a transient short-circuit current in the line, since such a current may have a unidirectional component which has the same effect as a direct current.

อำนาจแม่เหล็กตกค้างอาจเกิดจากการแตรงแล้ววงจรในสายส่ง หากกระแสดังกล่าวมีองค์ประกอบทิศทางเดียว ซึ่งไม่กลับเป็นหม้อแปลงแตรงจากค่าอธิบายข้างต้น สรุปได้ว่ามีอยู่ 3 สาเหตุหลักๆ ที่ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสดังที่กล่าวมา ๕๔๙

ถาม: การลดอำนาจแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแส สามารถอาศัยวิธีการใดบ้าง ?

ตอบ: หนังสือ Electrical Measurements, Forest K. Harris, 1952, pp. 560-561 อธิบายว่า

The demagnetization procedure in general assures that saturation be established by the magnetizing current which is then gradually reduced to zero, using a current reversal or cycling process to ensure gradually diminishing magnetizing forces. Demagnetization of a transformer can be accomplished in a number of ways.

ขั้นตอนการลดอำนาจแม่เหล็กในหลักการทั่วไป คือ ต้องทำให้แกนก่อนว่าได้อ่อนกระแสกระตุ้นแม่เหล็กจนกระทั่งเกิดสภาพอิ่มตัวแล้ว จากนั้นก็ค่อยๆ ลดกระแสลงจนเป็นศูนย์ ด้วยการกลับทิศทางกระแสหรือกระบวนการย้อนไป ย้อนมา เพื่อให้มั่นใจว่าแรงแม่เหล็กตกค้างถูกชดเชยลงไป การลดอำนาจแม่เหล็กของ หม้อแปลงสามารถทำได้โดยหลายแนวทาง

If one circuit is open so that no counter mmf is set up, the core can be saturated by sending current through the other winding. If the primary circuit is open, alternating current may be sent through the secondary winding to perhaps twice the rating and then gradually reduced to zero by inserting resistance in the secondary circuit. A continuously adjustable rheostat may be used for this purpose.

ถ้าขดลวดหนึ่งเปิดอยู่ ทำให้ไม่เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กต้านกลับ แกนเหล็กสามารถอิ่มตัวได้โดยการป้อนกระแสเข้าไปทางขดลวดที่เหลือ ถ้าวงจรปฐมภูมิเปิดอยู่ กระแสหลักอาจป้อนเข้าไปทางขดลวดทุติยภูมิได้ ซึ่งบางทีอาจสูงถึงสองเท่าของฟลักซ์ แล้วจึงค่อยๆ ลดลงเป็นศูนย์ ด้วยการแทรกความต้านทานในวงจรด้านทุติยภูมิ ซึ่งอาจเลือกได้ความต้านทานแบบปรับค่าได้อย่างต่อเนื่องในการนี้

The transformer may also be demagnetized by passing enough alternating current through the primary winding to first saturate the core and then gradually reducing it to zero.

การลดอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลง อาจจะทำด้วยวิธีการป้อนกระแสสลับที่มากขึ้นเพียงพอผ่านขดลวดปฐมภูมิ เพื่อให้แกนเหล็กอิ่มตัวก่อน ต่อจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงจนเป็นศูนย์

Or rated current may be passed through the primary with a large resistance connected across the secondary terminals. This secondary resistance is then reduced gradually to zero.

c) Method 3. The method presented here applies only to multi-ratio CTs, since a controlled direct current must be passed through a separate secondary section from that connected to a fluxmeter, as shown in Figure 22. The method requires the core to be saturated with dc in both positive and negative directions, and then to be left in a magnetic state midway between the two extremes. The procedure follows:

วิธีการที่ 3. วิธีการที่จะนำเสนอในข้อนี้ ใช้ได้กับหม้อแปลงกระแสแบบที่มีหลายอัตราส่วนเท่านั้น,

เนื่องจากกระแสตรงที่ถูกควบคุมนั้น ต้องไหลผ่านส่วนของขดลวดทุติยภูมิที่แยกออกจากส่วนที่ต่อเข้ากับฟลักซ์มิเตอร์, ดังที่แสดงในรูปที่ 22. วิธีการนี้ต้องมีการทำให้แกนเหล็กเกิดการอิ่มตัวด้วยกระแสตรงทั้งทิศทางบวกและลบ, แล้วสุดท้ายต้องปล่อยให้ในสถานะทางแม่เหล็กที่อยู่กึ่งกลางระหว่างขั้วที่มีที่สุดทั้งสองด้าน. ขั้นตอนการทดสอบเป็นดังนี้:

1) With the primary winding of the CT open-circuited, connect the secondary section to a dc source and a fluxmeter or operational integrator, as shown in Figure 22.

ขณะที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสเปิดวงจร, ส่วนของขดลวดทุติยภูมิที่เข้ากับแหล่งจ่ายกระแสตรง และฟลักซ์มิเตอร์หรือโอเปอร์เรชันแอนลิไนเกอร์, ดังแสดงในรูปที่ 22.

2) Make certain there are no common conductors in the dc and fluxmeter circuits. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า ไม่มีตัวนำร่วมระหว่างแหล่งจ่ายกระแสตรงและวงจรฟลักซ์มิเตอร์.

โปรดติดตามตอนฉบับหน้า

บางทีก็อาจใช้การป้อนกระแสที่ผ่านขดลวดปฐมภูมิ ขณะที่มีความต้านทานขนาดใหญ่ต่อคร่อมเข้าไปที่ด้านทุติยภูมิ แล้วจึงค่อยๆ ลดความต้านทานด้านทุติยภูมิจนกระทั่งเป็นศูนย์

Of these methods of demagnetization, the first will probably be the most convenient on the test bench because of the lower currents involved. The third method may be useful for demagnetizing a transformer which cannot be removed from service.

ในบรรดาวิธีการลดอำนาจแม่เหล็กเหล่านี้ วิธีการแรกดูเหมือนว่าจะสะดวกที่สุดบนแท่นที่ใช้เพื่อการทดสอบ เพราะว่าการแตรงที่เกี่ยวข้องมีค่าต่ำ ส่วนวิธีการที่สามอาจจะมิประโยชน์สำหรับการสลายอำนาจแม่เหล็กของหม้อแปลง ซึ่งสามารถปลดออกจากการใช้งานได้ ๕๕๐

ถาม: หากปล่อยให้มีความแม่เหล็กตกค้างในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสจะส่งผลกระทบ ต่อการทำงานของหม้อแปลงอย่างไร ?

ตอบ: หนังสือ Electrical Measurements, Forest K. Harris, 1952, p. 560 อธิบายว่า

The presence of permanent magnetization in the core of a current transformer may reduce its permeability at the flux densities at which it is normally operated and thus increase both its ratio and its phase angle. Such permanent magnetization may be removed and the transformer restored to its normal condition by demagnetizing the transformer core.

การเกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างอย่างถาวรในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแส อาจทำให้ความซับซ้อนได้ทางแม่เหล็กลดลง ณ ความหนาแน่น ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นขณะทำงานปกติ และทำให้ทั้งอัตราส่วนและมุมเฟสของมันเป็นขึ้น อำนาจแม่เหล็กตกค้างอย่างถาวรดังกล่าว อาจจะทำให้อัตราได้ และทำให้หม้อแปลงเกินค่ามาตรฐานสู่สภาวะปกติได้ ด้วยการสลายอำนาจแม่เหล็กภายในแกนเหล็กของหม้อแปลงนั้น ๕๕๑

ถาม: ขอให้ช่วยยกตัวอย่างชัดๆ ว่า อำนาจแม่เหล็กตกค้างส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของหม้อแปลงกระแสได้มากน้อยแค่ไหน ?

ตอบ: หนังสือ Instrument Transformers, B. Hague, 1936, pp. 125-126 (อ้างอิงมาตั้งแต่ C57.13-1968 ถึงฉบับปัจจุบัน) อธิบายว่า

Fig. 53 shows the effect of such magnetization upon the ratio and phase-angle of a 200/5, 40 volt-ampere transformer tested by Agnew and Pitch.* The increase in ratio at full load is about 0.1 percent, but at 1/10 of full load is nearly 3 percent and in some instances may be much greater. The increase in phase-angle is, as would be expected, even more marked than that in ratio. The effects are greater as the secondary impedance becomes larger, whether as the result of added inductance in the burden or of a rise in frequency, as the curves clearly indicate.

ตามรูปที่ 53 แสดงผลกระทบของการเกิดอำนาจแม่เหล็กที่มีต่ออัตราส่วนและมุมเฟสของหม้อแปลงกระแส 200/5, 40 VA ซึ่งทดสอบโดย Agnew และ Pitch* การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนตอนมีกระแสและมุมเฟสจะมีประมาณ 0.1% แต่ตอนที่เหลือเพียง 1/10 ของกระแสเต็มฟลักซ์จะมีค่าเกือบ 3% และบางกรณีอาจมากกว่านั้นมาก การเพิ่มของมุมเฟสชัดเจนกว่ากรณีของอัตราส่วน ซึ่งเป็นสิ่งที่คาดหมายไว้อยู่แล้ว ผลกระทบจะยิ่งมากขึ้นตามมิติที่แกนด้านทุติยภูมิที่เพิ่มขึ้น ไม่ว่าการเพิ่มพื้นที่แกนซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มอัตราส่วน หรือการเพิ่มความถี่ก็ตาม

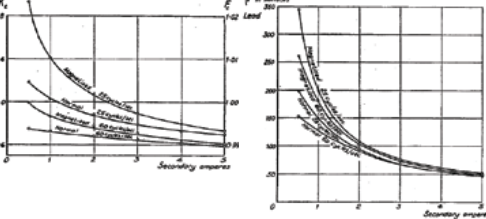


FIG. 53 EFFECT OF REMANENT MAGNETISM UPON CHARACTERISTICS OF A CURRENT TRANSFORMER

* P. G. Agnew and T. T. Fitch, "The determination of the constants of instrument transformers," Bulletin of the Bureau of Standards, vol. 6, pp. 281-299 (1910). The American Standard Rules contain a specification for the permissible change in ratio and phase-angle when a transformer has been magnetized by a d.c. of full rated value.

ส่วนนี้เป็นข้อเสนอของทนายที่ Agnew และ Pitch ทำการทดสอบผลกระทบของอำนาจแม่เหล็กต่อหม้อแปลงกระแส ตามที่นายเวสเตอร์วูดเครื่องมือวัดอังกฤษในรายงานข้างต้น ๕๕๒

ทั้งใจความสำคัญและวงจรทดสอบของวิธีการที่ 1 นี้ ใช้เหมือนเดิมมาตลอดตั้งแต่ C57.13-1968, 1978, 1993 จนมาถึง 2008 ฉบับนี้ ๕๕๓

การที่มาตรฐานบังคับว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปต้องไม่เกินกระแสที่กำหนดของหม้อแปลงนั้น เป็นการป้องกันไม่ให้ความร้อนบนขดลวดทุติยภูมิมากเกินไป จนอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ซึ่งเป็นข้อบังคับเพื่อความปลอดภัยต่อตัวอุปกรณ์ตามปกติ ๕๕๔

ถาม: ตามที่มาตรฐานกำหนดให้ทดสอบวิธีการที่ 1 ด้วยกระแสที่เพียงพอ (enough current) นั้น กระแสดังกล่าวมีค่าประมาณเท่าไร ?

ตอบ: หนังสือ Instrument Transformers, B. Hague, 1936, p. 125 บอกไว้ดังนี้

Alternatively, it is often more convenient, on account of the smaller currents required for the purpose, to open the primary and pass the demagnetizing current through the secondary, decreasing it to zero as before. A current of about 0.2-0.5 ampere has been shown by Engelhardt* to be sufficient for satisfactory demagnetization

* V. Engelhardt, "Ueber den Eiduss der remanenten Magnetisierung auf die Angaben von Stromwandlern und über deren Beseitigung," Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 41, pp. 647-650 (1920).

หากมีความว่า กระแสที่เพียงพอ (enough current) ในการสลายอำนาจแม่เหล็กด้วยวิธีการนี้ ปกติแล้วมีค่าประมาณ 0.2-0.5 A ซึ่งมากกว่าขนาดเมื่อเทียบกับการทดสอบด้วยวิธีอื่น และขึ้นอยู่กับขนาดของการทดสอบด้วยวิธีนี้

ขอให้ผู้อ่านลองพิจารณาเส้นโค้งการกระตุ้นในรูปที่ 4 ขอมมาตรฐานฉบับนี้ จะพบว่ากระแส 0.2-0.5 A เลยตำแหน่ง Knee-point ไปแล้ว จึงถือได้ว่าเข้าสู่การอิ่มตัวของแกนเหล็กตามที่ต้องการ แสดงว่าค่าแนะนำจากหนังสือข้างต้นถือว่าปลอดภัยยิ่งขึ้นตามการใช้งานปัจจุบันนี้ ๕๕๕

ทั้งใจความสำคัญและวงจรทดสอบของวิธีการที่ 2 นี้ ใช้เหมือนเดิมมาตลอดตั้งแต่ C57.13-1968, 1978, 1993 จนมาถึง 2008 ฉบับนี้ ๕๕๖

สังเกตว่าวงจรทดสอบตามวิธีการที่ 2 นี้ ต้องมีแหล่งจ่ายกระแสขนาดใหญ่มาก ยิ่งเป็นกรณีที่หม้อแปลงกระแสที่ทดสอบมีปฐมภูมิขนาด 3000-4000 A ยิ่งเป็นไปไดยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงมิได้มีความนิยมมากนักในข้อปฏิบัติการใช้ เมื่อเทียบกับวิธีการที่ 1 แต่ก็เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับกรณีที่ไม่สามารถปลดหม้อแปลงออกจากกระบวนเพื่อทำการทดสอบด้วยวิธีการอื่นๆ ๕๕๗

ถาม: การทดสอบด้วยวิธีการที่ 2 นี้ ตัวหม้อแปลงกระแสจะต้องรู้จักกระแสก่อนอยู่แล้ว ดังนั้นจึงมิจำเป็นต้องหาว่าจะป้อนกระแสเท่าไร แต่มีปัญหายุ่งยากกว่าความต้านทาน R ในวงจรทดสอบนี้ ควรเลือกค่าเท่าไรจึงจะเหมาะสม ?

ตอบ: หนังสือ Manual of Instrument Transformers, Cat. GET-97D, General Electric, 1976, p. 47 แนะนำไว้ว่า

To remove this bias, the flux density should be raised to saturation and gradually reduced to zero. This can be accomplished by inserting suitable resistance in the secondary circuit and reducing it to zero in small steps while current is flowing in the primary. The amount of resistance which is necessary is not always the same, but a 50-Ohm rheostat will be satisfactory for most transformers if rated current at 60 Hz flows in the primary. Some transformers will require more resistance.

หากมีความว่า ความต้านทานที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกันทุกครั้งไป ซึ่งความต้านทานที่เหมาะสมกับหม้อแปลงส่วนใหญ่ในระบบ 60 Hz จะมีค่าประมาณ 50-Ohm (ใช้เป็นค่าเริ่มต้น) ทั้งนี้หม้อแปลงบางตัวอาจจะต้องการความต้านทานสูงกว่านี้



Hot spot

วัดอุณหภูมิใน GCB (Generator Circuit Breakers)

นิตี วงศ์พยัคฆ์ > nuttee.wongpayak @th.abb.com

GCB เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับการทำงานโดยปราศจากการรบกวนของโรงไฟฟ้าในยุคปัจจุบัน และเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ดีตัวระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อที่จะป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า (กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโดยทั่วไปประมาณ 10 kA ถ้ามีความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เบรกเกอร์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างมากได้) ซึ่งอาจส่งผลกระทบบ่อยครั้งได้ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งจำเป็น และเป็นสิ่งที่ท้าทายมากในสภาพแวดล้อมของระบบไฟฟ้าแรงสูง ซึ่ง **ABB** ได้ลงมือเริ่มพัฒนาโครงการที่จะผลิตระบบเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิรุ่นใหม่สำหรับ **GCB** แล้ว

รูปที่ 1 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับซึ่งใช้งานร่วมกับ HECPS-3S



GCB ที่ถูกใช้สำหรับโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เช่น น้ำมัน นิวเคลียร์ กังหันแก๊ส ความร้อนร่วม น้ำ และแบบสูบกลับ ซึ่งเป็นการทำงานในสถานการณ์ที่ยากลำบาก เพราะในขณะที่โรงไฟฟ้าทำงาน GCB จะต้องรับกระแสไฟฟ้าทั้งหมดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (สำหรับระบบที่ไม่มีระบบระบายความร้อนจะมีกระแสไฟฟ้าไหลประมาณ 23 kA และสำหรับระบบที่มีการระบายความร้อนที่บริเวณบัสจะมีกระแสสูงกว่า 30 kA) ที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุดคือ 32 kV (รูปที่ 1)

ในส่วนที่กระแสไฟฟ้าผ่านขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าสูง ถ้ามีความต้านทานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างมากได้ ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการเชื่อมต่อที่ไม่สมบูรณ์ ฝุ่นที่อยู่ภายใน หรือเกิดจากความเสียหายของหน้าสัมผัส ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ของหน้าสัมผัสสายเงินที่อยู่ภายใน เช่น จุดเชื่อมต่อของบัสดักเบรกเกอร์ และหน้าสัมผัสใน Interrupting Chamber ความร้อนจะออกจากตัวน้ำได้บางส่วนจากการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการเคลื่อนด้วยสารที่มีสภาพการแผ่รังสีสูงมักถูกใช้กับตัวน้ำ แต่นั่นยังไม่สามารถรับมือกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญได้ (อุณหภูมิของการทำงานปกติจะอยู่ในช่วง 70 – 90 °C)

อุณหภูมิส่วนเกินจะนำไปสู่การสูญเสียความสามารถในการตรวจจับหรือแม้กระทั่งกระตุ้นให้เกิดการเสียหายการเป็นฉนวนได้ ถ้าหากอุปกรณ์เริ่มหลอมละลาย

GMS600

GMS600 จากเอบีบีเป็นระบบตรวจสอบ GCB ซึ่งจะบอกถึงความต้องการบำรุงรักษา และเตือนก่อนที่อุปกรณ์จะหยุดทำงาน (รูปที่ 2) GMS600 จะคำนวณเวลาที่จำเป็นสำหรับการบำรุงรักษา โดยขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ลดลงจริงที่สะสม จำนวนของเครื่องจักรที่ทำงาน ระยะเวลากจากการบำรุงรักษาครั้งสุดท้าย ข้อมูลจาก Main Drive เบรกเกอร์ ความดันของ SF₆ และอื่นๆ และยังมีส่วนอื่นที่ขาดหายไปคือ การควบคุมอุณหภูมิที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าไม่มีระบบตรวจวัดอุณหภูมิในท้องถิ่นที่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากไม่สามารถเติมเต็มความต้องการในเชิงเทคนิค พาณิซัย ความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดอุณหภูมิของ GCB ขณะกำลังทำงานได้ การขาดระบบดังกล่าวนี้เองที่ทำให้การควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นเรื่องที่ท้าทาย ยกตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิจะต้องผ่านสภาวะที่มีแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างรุนแรง และยังต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมาก เช่นสภาพอากาศของทะเลทรายอีกด้วย นั่นแสดงให้เห็นว่าระบบการตรวจวัดอุณหภูมิยังต้องได้รับการพัฒนาต่อไป

การออกแบบและพัฒนาเซนเซอร์

การวัดอุณหภูมิจะใช้หลักการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด ซึ่งนั่นเป็นวิธีการที่ดีที่สุด และจุดหมายถัดไปคือการทำให้เซนเซอร์อินฟราเรดเกิดการใช้งานในเชิงพาณิซัย และมีความน่าเชื่อถือในการใช้งานมากขึ้น

ส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์อินฟราเรดคือส่วนที่ใช้ตรวจวัดรังสีอินฟราเรด

ซึ่งตัวตรวจวัดแบบ Thermopile ที่ทำจากซิลิกอนจะถูกเลือกมาใช้ โดยจะที่ไม่มีระบบหล่อเย็น เนื่องจากมีความเหมาะสมด้านต้นทุนและประสิทธิภาพ และทางเดียวที่จะแน่ใจได้ว่าเซนเซอร์มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่จะทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมอันรุนแรงกับ GCB นั้น (ขนาดและเวลาของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว) คือการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอินฟราเรด และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายใน

การที่อุปกรณ์ตรวจวัดแบบ ASIC และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกรวมเข้ากับการแปลงสัญญาณดิจิทัลจากแบบ SMBus เป็น Modbus นั้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะต้องทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรงจาก EMI (electromagnetic interference) ของ GCB ได้

แพ็คเกจของเซนเซอร์จึงต้องการที่จะตอบสนององวัตถุประสงค์หลักดังนี้

Title Picture

ความถูกต้องและเชื่อถือได้ของการตรวจสอบอุณหภูมิใน GCB มีความสำคัญมาก (HECB จากเอบีบีดังภาพ) เมื่อความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยนั้น ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีค่าสูง เราทำอย่างไรที่จะสามารถตรวจสอบอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมที่ท้าทายเช่นนี้?

รูปที่ 2 GMS600 อุปกรณ์ตรวจสอบที่เป็นเงื่อนไขสำคัญ



- ป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของพื้นที่ของอุณหภูมิที่เซ็นเซอร์อินฟราเรด
- ป้องกันการเปลี่ยนแปลงเพียงชั่วขณะอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิที่เซ็นเซอร์อินฟราเรด
- ป้องกัน EMI

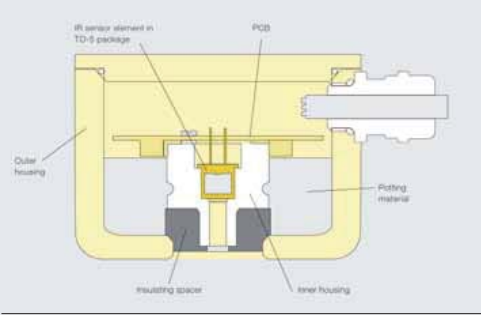
เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ข้างต้น Housing ของเซ็นเซอร์อินฟราเรดจะต้องประกอบขึ้นจากวัสดุที่นำความร้อนได้สูง (รูปที่ 3) นี่จะทำให้มั่นใจได้ว่า อุณหภูมิสามารถกระจายได้ทันทีทันใดอย่างสมดุลและสม่ำเสมอรอบๆ เซ็นเซอร์ยังคงสภาพเดียวกันทั้งหมด

วัตถุประสงค์ที่สองที่ทำให้มั่นใจได้ คือการเลือกออกแบบที่ทำให้ค่า Thermal Time Constant มีค่ามาก (ในช่วงเวลาหลายนาที่) และค่า Thermal Time Constant ของเซ็นเซอร์แพคเกจจะสามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยการเพิ่มช่องระบายความร้อน ซึ่งจะลดการนำความร้อนรอบๆ เซ็นเซอร์ที่อยู่ภายนอกให้ถ่ายเทเข้าสู่เซ็นเซอร์ได้ช้าลง

โดยแพคเกจนี้จะใช้ Housing แบบสองส่วน ซึ่งชั้นส่วนภายในและภายนอกจะมีอุณหภูมิแตกต่างกัน (รูปที่ 4) วิธีการนี้เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในเรื่องการเป็นฉนวนและ EMI โดยที่ Housing ด้านนอกทำหน้าที่คล้ายกับกรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) และฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าอีกด้วย และเพื่อที่จะป้องกัน EMI Housing ด้านนอกจะถูกกราวด์ที่เข้ากับตู้ GCB และ Housing ด้านในจะถูกเชื่อมเข้ากับกราวด์ของอุปกรณ์ด้านใน

ขนาดของแพคเกจจะถูกกำหนดโดยการจำลองด้วย Finite Element Method (FEM) ด้วยรูปแบบเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป้าหมายของการออกแบบที่ประสบความสำเร็จคือ

รูปที่ 3 ภาพตัดขวางของเซ็นเซอร์แพคเกจแสดงถึงการใช้งานส่วนประกอบหลัก



ได้อยู่ ในช่วง $\pm 3^{\circ}\text{C}$

เพื่อที่จะประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอก เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดจะสัมผัสกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง 3 ช่วงด้วยกันที่อุณหภูมิ - 5°C ถึง 60°C เปลี่ยนแปลงที่ -0.1°C/min โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ถูกเลือกนั้นได้มาจากการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจากกลางวันและกลางคืน

ค่าความผิดพลาดในการวัดของเซ็นเซอร์โดยปกติยังคงต้องไม่เกิน 3°C นอกจากนี้ผลการทดสอบความชื้น ค่าความผิดพลาดที่เซ็นเซอร์วัดได้ยังน้อยกว่า 2.5°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ที่อุณหภูมิภายนอก 60°C

เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดยังถูกนำไปทดสอบกับปัจจัยรบกวนอื่นๆอีกที่สามารถพบได้ในสภาพแวดล้อมของ GCB นั้นรวมถึงการทดสอบการสั่นสะเทือน

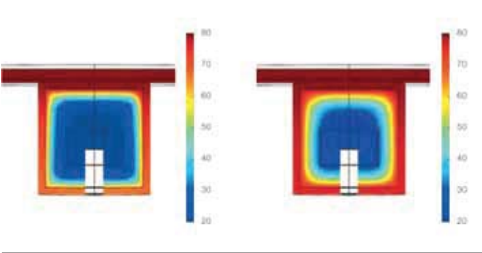
เพื่อที่จะจำลองแนวทางกลที่เกิดขึ้นขณะที่ GCB กำลังทำงาน และการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้รับการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 61000-4 และ IEC 61000-6 ซึ่งครอบคลุมถึงหัวข้อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากคลื่นวิทยุ และการคายประจุจากไฟฟ้าสถิต เช่นเดียวกับการทดสอบแรงดันเกินอย่างฉับพลัน (ที่ความรุนแรงระดับที่ 3) โดยที่สามารถผ่านการทดสอบทั้งหมดและระบบเซ็นเซอร์ยังสามารถทำงานได้อย่างปกติเมื่อติดตั้งภายใน GCB

ขั้นตอนการผลิต

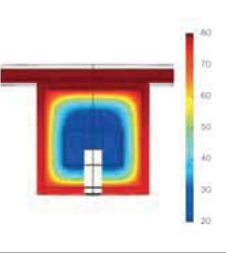
การมีส่วนร่วมของผู้ผลิตที่มีศักยภาพในช่วงเริ่มต้นของโครงการนี้ทำให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ดังนั้นในขั้นตอนของการผลิตแบบเต็มรูปแบบจึงมีการปรับเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 4 การจำลอง FEM ของเซ็นเซอร์แพคเกจเซร่อน ซึ่งจะใช้ในการประมาณค่าเวลาคงตัวของเซ็นเซอร์แพคเกจทั้งหมดและถูกใช้ในการกำหนดขนาดของแพคเกจ

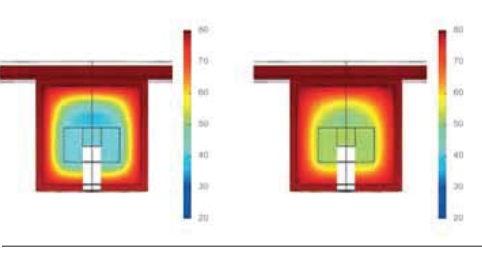
4a หลังจาก 73 วินาที



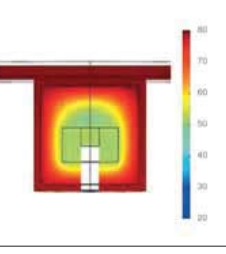
4b หลังจาก 200 วินาที



4c หลังจาก 400 วินาที



4d หลังจาก 600 วินาที



ซึ่งการผลิตสามารถที่จะทำควบคู่ไปในขณะที่ทำการปรับปรุงตัวเซ็นเซอร์ โดยยังรวมไปถึงการประกอบเซ็นเซอร์ ออกแบบวงจรดีสไกเคเบิล ประกอบชิ้นส่วนทางกลของเซ็นเซอร์ภายในส่วนห่อหุ้มของ GCB ออกแบบแนวสายเคเบิล และใช้โปรแกรมของ GMS600 ตรวจสอบรายการทำงาน ข้อมูลที่เก็บได้ และนำเสนอข้อมูลเรื่องอุณหภูมิให้กับผู้ใช้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 9 ตัว (3 ตัวต่อ 1 เฟส) โดยการผลิตจะถูกนำไปวางในพื้นที่ที่ทำงานร่วมกันของผู้ผลิต ซึ่งสามารถที่จะประกอบเซ็นเซอร์ และสายเคเบิลบนชั้นวางภายใน GCB ได้อย่างรวดเร็ว

การขยายงานบริการ

การใช้ต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพสามารถทำให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญได้ ด้วยวิธีการบริการที่ชาญฉลาด เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ล่วงหน้า อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของอุปกรณ์ การติดตั้งได้ง่าย การบำรุงรักษาอุปกรณ์ล่วงหน้า และกลยุทธ์ในการจัดการการทำงานทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับสัญญาณจากเซ็นเซอร์

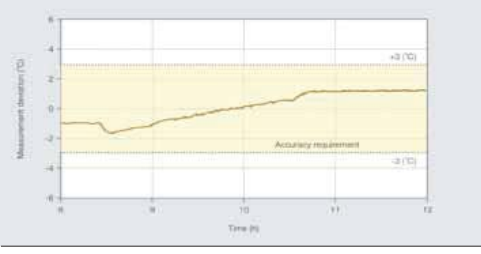
ความทนทานและความคุ้มค่าของระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิจะถูกแสดงออกมาในรูปแบบของความ

รูปที่ 5 การจำลองสภาพแวดล้อมในขณะ GCB มีความร้อนสูงกว่าปกติ : การตอบสนองของเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

สัญญาณจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 – 120° นานหลายชั่วโมง



ค่าความผิดพลาดจากการวัดเป็นอยู่ในช่วงค่าที่สามารถยอมรับได้คือ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ในขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น



น่าเชื่อถือของการตรวจวัดอุณหภูมิในขณะ GCB กำลังทำงาน โดยการรวมกันของข้อมูลจากเซ็นเซอร์ (การสั่นหรือความผิดพลาดของหน้าสัมผัส) รูปภาพที่ชัดเจนแสดงสภาพของอุปกรณ์จะทำให้สามารถที่จะคาดเดาและนำไปวางกลยุทธ์ในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ และสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับ GCB คือการแสดงผลเมื่อเกิดเหตุการณ์ความร้อนเกินที่ตัวนำหลัก ซึ่งอาจนำไปสู่เหตุการณ์ที่จำเป็นต้องหยุดการทำงานของโรงไฟฟ้าได้ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงและทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

การเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ยังช่วยให้มีการสร้างการบำรุงรักษาและธุรกิจรูปแบบใหม่อีกทั้ง ยังมีการเก็บข้อมูลเพื่อที่จะนำมาออกแบบอุปกรณ์ใหม่ๆ อีกด้วย หายี่สุดท้ายคือการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากข้อมูลทั้งหมดสามารถทำได้ด้วยข้อมูลจากหลายๆ ส่วนประกอบกัน และนี่ยังเป็นการเปิดโอกาสและเป็นความท้าทายใหม่ๆ ที่ ABB จะเสนอสิ่งเหล่านี้ให้กับผู้ใช้

Reference
STEPHAN WILDERMUTH, ULF AHREND, MORITZ HOCHLEHNERT, MARCO ULRICH



การยกระดับความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง พัฒนาการของสวิตช์เกียร์ฉนวนอากาศและองค์ประกอบ

ดร. วราวุธ แซ่กัก > worawut.sae-kok@th.abb.com

เป็นเวลามากกว่า 120 ปีแล้วที่เอบีบีได้ทำการสนับสนุนความต้องการของลิ้มเหลวไฟฟ้าโดยการพัฒนาอุปกรณ์ วัสดุชิ้นและการบริการ สำหรับการส่งไฟฟ้าที่ปลอดภัย น่าเชื่อถือได้และสามารถจัดหาได้ องค์ประกอบหลักคือสวิตช์เกียร์ฉนวนอากาศไฟฟ้าแรงสูง การพัฒนาในหลายปีที่ผ่านมาเป็นไปในเรื่องของกรอบการออกแบบมุ่งเน้นฟังก์ชันการทำงาน การใช้วัสดุที่เหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์และทำให้การออกแบบง่ายขึ้น ที่ได้นำไปสู่ความคงทนแข็งแรง การใช้สื่อน้อยที่สุดและลดความสูญเสียทางไฟฟ้าในการทำงาน

พารามิเตอร์หลักที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ของสวิตช์เกียร์ฉนวนอากาศไฟฟ้าแรงสูง (HV AIS) คือกระแสและแรงดัน อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะต้องไม่ใช่แค่จัดการแรงดันและกระแสทั่วไป แต่ที่สำคัญมากจะต้องตอบสนองกับข้อกำหนดเรื่องความปลอดภัยเมื่อมีความผิดพลาดและการทำงานที่ระดับสูงสุดเกิดขึ้นบนระบบไฟฟ้ากำลัง เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องสามารถ (โดยการสั่ง) ตัดกระแสได้ถึงระดับดวงจันทร์ภายใต้ความผิดพลาดที่ไม่มีข้อผิดพลาด กับดักสวิตช์ต้องกำจัดแรงดันเกินภายในมิลิวินาที หม้อแปลงแรงดันและกระแสต้องให้ข้อมูลวัดที่ถูกต้องอย่างต่อเนื่องของโหลดและสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง อีกทั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่นเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจจำเป็นต้องทำงานสวิตช์หลายครั้งในหนึ่งวันหลังจากไม่ได้มีการทำงานเกิดขึ้นเป็นช่วงเวลานาน

หน่วยงานทางไฟฟ้าและสังคมที่หาอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ทนระดับสูงสุดดังกล่าวเหล่านี้เพื่อไม่ให้ไฟฟ้าพร้อมเสมอเมื่อเป็นที่ต้องการ อุปกรณ์ HV AIS ยังจะต้องทนทานต่อสภาพแวดล้อมในช่วงที่กว้าง ซึ่งรวมถึงอุณหภูมิรอบนอก ความชื้น มลภาวะทางอากาศ (ที่เป็นธรรมชาติเช่น เกือบ หรืออาจจะเป็นจากการกระทำของคน) สภาพอากาศที่รุนแรง (เช่น พายุไซโคลนหรือเฮอริเคน) และแม้แต่เหตุการณ์แผ่นดินไหว การเลือก การพัฒนาและการรวมวัสดุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดการสภาพแวดล้อมและเรื่องการทำงานที่อุปกรณ์ HV AIS จะต้องมีความทนทานเป็นพื้นฐานสำหรับความสำเร็จของโซลูชัน HV AIS ของเอบีบี ตัวอย่างเช่น การใช้ตัวฉนวนคอมโพสิตอย่างซิลิโคนแทนที่พอลิเอทิลีนจะลดน้ำหนักของอุปกรณ์ลง 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์ดังกล่าวเพิ่มความปลอดภัยโดยการไม่แตกกระจายและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความทนทานทางด้านแผ่นดินไหวและมลภาวะ การลดลงอย่างมากของกระแสรั่วของซิลิโคนเปรียบเทียบกับตัวฉนวนพอลิเอทิลีนระหว่างการทดสอบหมอกเกลือถูกแสดงในรูปที่ 1 ตัวฉนวนดังกล่าวจะลดน้ำหนักของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงวัดและกับดักสวิตช์ และยังทำให้สถานีไฟฟ้าปลอดภัย

มีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นและยกระดับความน่าเชื่อถือได้ เอบีบีได้จัดส่งตัวฉนวนคอมโพสิตมากกว่า 60,000 หน่วยทั่วโลก (รูปที่ 2)

ในเรื่องการฉนวนภายใน เซอร์กิตเบรกเกอร์ก๊าซ SF₆ แบบ live tank ของเอบีบีจะถูกออกแบบสำหรับอุณหภูมิทั่วไปต่ำถึง - 60 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลในการใช้ก๊าซ SF₆ ที่น้อยลงต่อการตัดกระแสกำหนดของการออกแบบเบรกเกอร์ที่มีอยู่ การใช้ทรายควอตซ์พร้อมกับน้ำมันในการเป็นตัวกลางฉนวนในหม้อแปลงกระแส IMB (CT) จะช่วยลดปริมาณน้ำมันที่ใช้อย่างมาก ตัวอย่างเช่น การใช้เทคนิคนี้จะลดปริมาณน้ำมันได้ถึง 425 ลิตรสำหรับ 550kV IMB CT นอกจากนี้ทรายควอตซ์ทำให้ IMB มีความแข็งแรงที่มากขึ้นในการทนแรงเสียดทานเมื่อเกิดการสั่นไหวขึ้นในระบบนิวตริกรวมอีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นคือเคเบิลเทอร์มินัลประกอบสำเร็จแบบแข็ง เทคโนโลยีนี้จะกำจัดการใช้น้ำมันในอุปกรณ์และทำให้ติดตั้งง่ายและเร็วขึ้น

การออกแบบ AIS ของเอบีบีที่เหมาะสมได้ถูกสาธิตเหนือระดับการเลือกวัสดุ เอบีบีเป็นผู้ผลิตรายแรกและรายเดียวที่สามารถผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์ live tank ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ grading capacitor ที่แรงดัน 550kV ที่ระดับสูงถึง 63kA ซึ่งช่วยลดน้ำหนักและกระแสรั่วไหลผ่านของเซอร์กิตเบรกเกอร์ อีกทั้งยังกำจัดความเสี่ยงในการเกิด Ferroresonance ในระบบไฟฟ้ากำลัง เอบีบียังมีเซอร์กิตเบรกเกอร์ live tank ที่แรงดัน 800kV ที่มีกลไกทำงานแบบสปริงหนึ่งชุดต่อเฟส ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนในการควบคุมและทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้โดยรวมและทำให้อุปกรณ์มีความเหมาะสมสำหรับการสวิตช์ที่ถูกควบคุมที่ระดับแรงดันที่สูงสุด

ตัวอย่างนวัตกรรมการออกแบบอื่นๆ ของเอบีบีสามารถยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

การควบคุมแรงดันเกิน
เอบีบีได้ทำการพัฒนาและผลิตเลือก Metal-oxide

varistor สำหรับกับดักสวิตช์ซึ่งสามารถให้การป้องกันสูงสุดโดยการทรานส์กอร์ที่ระดับแรงดันเกินค่าสูงสุดสำหรับข้อกำหนดในการกระจายพลังงานเพิ่มเติม นอกจากนี้ความแข็งแรงของสนามที่สูงของ Metal-oxide varistor แล้ว วัสดุ น้ำหนักและขนาดของกับดักสวิตช์ยังลดลงอีกด้วย (รูปที่ 3)

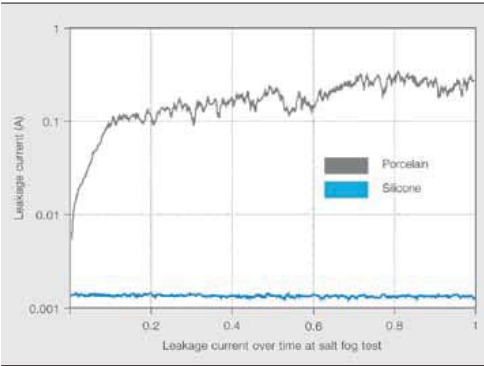
การยกระดับคุณภาพไฟฟ้า
ตัวเก็บประจุและแบบงักของตัวเก็บประจุของเอบีบีที่ถูกออกแบบในลักษณะโมดูลให้ความสามารถในการตอบสนองการประยุกต์ใช้งานในช่วงที่กว้างเกี่ยวกับเรื่องคุณภาพไฟฟ้าตั้งแต่เรื่องการปรับเปลี่ยนพาวเวอร์แฟกเตอร์ไปถึงการกรองฮาร์โมนิก

เอบีบีเป็นผู้ริเริ่มในการควบคุมสวิตช์และ ณ วันนี้การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีการควบคุมสวิตช์มากที่สุด (มากกว่า 3,700 แห่งในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา) ประโยชน์เบื้องต้นของการสวิตช์ดังกล่าวคือการลดระดับทรานเซียนส์ที่อาจจะแพร่กระจายไปในระบบเนื่องจากการสวิตช์ของตัวเก็บประจุ รีแอคเตอร์ หม้อแปลงหรือสายไฟในระบบไฟฟ้ากำลัง และเอบีบีได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ในหลายรูปแบบ

ความยืดหยุ่นที่มุ่งเน้นฟังก์ชันการทำงาน
โมดูลด้านฟังก์ชันการทำงานคือแง่มุมเกี่ยวกับความสามารถของเอบีบีในการที่จะจัดหาอุปกรณ์และโซลูชันทาง HV AIS

ตัวอย่างของความก้าวหน้าในเทคโนโลยีของอุปกรณ์ HV AIS จากเอบีบีผ่านทางกรฟูกคูกกับผู้ใช้คือการพัฒนาดีคอนเนคตเซอร์กิตเบรกเกอร์ (DCB – Disconnecting Circuit Breaker)

ในขณะที่การพัฒนาในเทคโนโลยีเซอร์กิตเบรกเกอร์ในช่วง 70 ปีที่ผ่านมาทำให้ความน่าเชื่อถือได้สูงขึ้นและการบำรุงรักษาที่ลดลง เทคโนโลยีของสวิตช์ตัดตอนสลับคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง สิ่งนี้ให้ผลในเซอร์กิตเบรกเกอร์ live tank ของเอบีบีทำให้มีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 1 ยางซิลิโคนยังมีการรั่วที่ต่ำ นอกจากน้ำหนักที่เบาและมีความต้านทานการแตกกระจาย



รูปที่ 2 อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงตัวฉนวนคอมโพสิต

รูปที่ 3 กัبدักเสิร์จ



รูปที่ 4 ดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 5 เรื่องความสำเร็จ – สถานีไฟฟ้าย่อยใน Grytten ของ Statnett



- ลดพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าลงเหลือ 30 เปอร์เซ็นต์
- ช่วงเวลาในการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นจาก 3 ปีเป็น 15 ปี

สถานีไฟฟ้าย่อย Grytten ของ Statnett เป็นส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้าภูมิภาคของนอร์เวย์และเป็นผู้จ่ายไฟฟ้าไปยังพื้นที่บริเวณรอบ Andalsnes สถานีไฟฟ้าย่อยถูกสร้างขึ้นในปี 1965 และพัฒนาให้เป็นระบบบัสบาร์คู่ด้วย บัสบาร์ช่วยที่ต่อกับเบย์สายสี่เส้นและเบย์หม้อแปลงสองเส้น ระบบบัสบาร์คู่จำเป็นในการที่จะรับประกันการทำงานที่ต่อเนื่องในขณะที่บำรุงรักษาหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์ สถานีไฟฟ้าย่อยนี้มีสวิตช์ตัดตอนอยู่ 81 ตัว สำหรับช่วยในการทำกำรบำรุงรักษา

สวิตช์ตัดตอนและเซอร์กิตเบรกเกอร์เก่าจะถูกบำรุงรักษาในช่วงเวลา 3 ปี ถึง 5 ปี ยิ่งกว่านั้นหน้าสัมผัสหลักของสวิตช์ตัดตอนจะถูกตรวจสอบโดยใช้ thermal imaging ทุกปีเพื่อตรวจเช็คแนวโน้มในการ เกิดความร้อนเกิน

ในแผนการบำรุงรักษาของ Statnett อายุใช้งานสำหรับสวิตช์ตัดตอนถูกกำหนดไว้ที่ 35 ปี และสวิตช์ตัดตอนที่สถานีไฟฟ้าย่อยถูกกำหนดให้ถูกเปลี่ยน และยังมีการใช้เปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมสถานีไฟฟ้าด้วยด้วย

ในระหว่างการวางแผนขั้นตอนถัดมา เกิดคำถามขึ้นว่าควรจะเปลี่ยนอุปกรณ์ด้วย

อุปกรณ์ใหม่หรือควรจะพิจารณาด้วยโซลูชันชนิดใหม่ Statnett ได้ศึกษาโซลูชันที่ Norsk Hydro ใน Sundsora และได้ทำการพิจารณาโซลูชันด้วยดิสคอนเนคติ้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ (DCB)

การคำนวณความพร้อมใช้งานแสดงให้เห็นการลดลงของช่วงเวลายืดทำงานตลอดปี (Annual downtime) ด้วย DCB เพื่อที่จะลดความต้องการในการบำรุงรักษา Statnett ได้เลือก MotorDrive™ สำหรับเป็นกลไกทำงานสำหรับ DCB การออกแบบที่เหมาะสมด้วยการมีส่วนเคลื่อนไหวหนึ่งส่วนในกลไกทำงานช่วยลดสเตรสทางกลให้น้อยลง การทำงานด้วย

การควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ทำให้ไม่มีการหยุดทางกล จึงเป็นการทำงานที่เงียบ

นอกจากนั้น หม้อแปลงวัดกระแสและแรงดันและกัبدักเสิร์จได้ถูกนำเสนอด้วย การออกแบบของเอบีปีล่าสุดด้วยตัวจนวายางซิลิโคนของเอบีปี

สวิตช์เกียร์ใหม่นี้ใช้พื้นที่แค่ 30 เปอร์เซ็นต์ของสวิตช์เกียร์เดิม พื้นที่ที่เหลือนั้นสามารถนำไปใช้สำหรับความต้องการอื่นซึ่งอาจเกิดขึ้นในอนาคต

ในทางปฏิบัติมีเพียงอุปกรณ์ตัวเดียวที่ต้องการการบำรุงรักษาซึ่งก็คือ DCB ช่วงเวลาในการบำรุงรักษา 15 ปี ได้ถูกนำเสนอสำหรับการตรวจสอบแบบสมบูรณ์ ทุกๆ ปี จะทำการตรวจสอบด้วยตา โดยปราศจากการเคลื่อนย้ายของอุปกรณ์จากการใช้งาน

Statnett ได้สวิตช์เกียร์บนพื้นฐานของเทคโนโลยีใหม่ด้วยความจำเป็นในการบำรุงรักษาที่ลดลง สถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งตั้งในสถานที่ที่สำคัญของระบบมีความพร้อมใช้งานที่สูงและยืดต่อการใช้งาน

เวลาในการติดตั้งที่สั้นและการสวิตช์เปลี่ยนในการทำงานที่วางแผนอย่างดี ทำให้โครงการนี้ถูกจัดการโดยไม่มีการหยุดบริการแก่ผู้ใช้งาน

รูปที่ 6 DCB และ FOCS ณ สถานที่ติดตั้ง



ได้ที่สูงขึ้นและมีความจำเป็นในการบำรุงรักษาที่ลดลงมากกว่าสวิตช์ตัดตอนที่มีอยู่ ผลักดันให้เอบีปีพัฒนา DCB ใน DCB นั้นฟังก์ชันการทำงานของสวิตช์ตัดตอนได้ถูกรวมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ จึงไม่จำเป็นต้องมีสวิตช์ตัดตอนแยกออกมา นอกจากนั้นความทนทานที่สูงทางไฟฟ้าและแรงดันที่มีอยู่ในเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ live tank ของเอบีปี บวกกับความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งความทนทานทางมลภาวะของตัวจนวายางคอมโพสิทที่ยางซิลิโคน ทำให้ DCB ของเอบีปีมีความปลอดภัยและมีความทนทานที่กว้างตั้งแต่แรงดัน 72kV ไปถึง 550kV และสูงถึง 63kA (รูปที่ 4)

เซเซอร์กระแสเส้นใยแก้วนำแสง (FOCS – Fiber optic current sensor) ด้วยการผนวกกับ DCB FOCS ช่วยลดพื้นที่ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโซลูชันแบบทั่วไปของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ live Tank พร้อมกับสวิตช์ตัดตอนและหม้อแปลงกระแส (รูปที่ 6) โซลูชันดังกล่าวนี้ทำให้ไม่ต้องการต่อสายแบบทั่วไป กังจัดความเสี่ยงเรื่องความปลอดภัยทางสิ่งแวดล้อมของหม้อแปลงกระแสและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

โซลูชัน DCB ช่วยการประหยัดและทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากสำหรับหน่วยงานทางไฟฟ้า รวมทั้งลดพื้นที่ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อย การออกแบบสถานีไฟฟ้าที่ง่ายขึ้น ความพร้อมใช้งานของระบบไฟฟ้ากำลังที่สูงขึ้นและลดต้นทุนตลอดอายุใช้งานทั้งหมด (รูปที่ 5)

เทคโนโลยีในอนาคตในวันนี้ เอบีปีเป็นผู้นำอย่างต่องเนื่องในโซลูชันเทคโนโลยีของสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งได้ทำการพัฒนาให้ก้าวหน้าไป ในการลดวัสดุที่ใช้ เพิ่มฟังก์ชันการทำงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างของเทคโนโลยีในอนาคตจากเอบีปีรวมถึงต่างๆ ดังต่อไปนี้

กลไกขับเคลื่อนแบบมอเตอร์ (Motor drive) เริ่มนำเสนอในปี 2000 ด้วยจำนวนมากกว่า 500 เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วยกลไกขับเคลื่อนแบบมอเตอร์ และใช้ในเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ live tank และในเทคโนโลยีไฮบริด กลไกขับเคลื่อนแบบมอเตอร์จะทำให้

เกิดแหล่งฟอร์มกลไกทำงานสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ในอนาคตด้วย IEC 61850-9-2LE สำหรับการควบคุม บัสกระบวนการ (Process bus control)

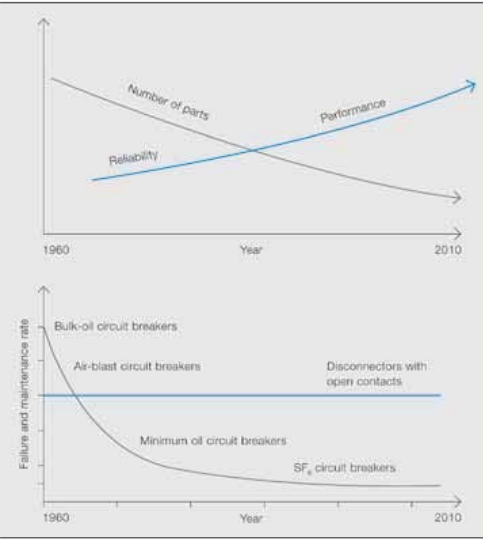
เซเซอร์กระแสเส้นใยแก้วนำแสง (FOCS – Fiber optic current sensor) ด้วยการผนวกกับ DCB FOCS ช่วยลดพื้นที่ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโซลูชันแบบทั่วไปของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ live Tank พร้อมกับสวิตช์ตัดตอนและหม้อแปลงกระแส (รูปที่ 6) โซลูชันดังกล่าวนี้ทำให้ไม่ต้องการต่อสายแบบทั่วไป กังจัดความเสี่ยงเรื่องความปลอดภัยทางสิ่งแวดล้อมของหม้อแปลงกระแสและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตัว นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ IEC 61850-9-2LE จึงให้ความยืดหยุ่นที่มากกว่าในเรื่องแผนการป้องกัน สถานีไฟฟ้าย่อยและการทำงานด้วยการสื่อสารของข้อมูลการวัดกระแสที่กว้างผ่านบัสกระบวนการ

LTA ซึ่งเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงตัวแรกที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นฉนวนและเป็นตัวกลางในการดับอาร์ก เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ก๊าซ SF₆ LTA ช่วยลดประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ หรือ 10 ตันของ CO₂ สมมูลในเรื่องของผลกระทบต่อโลกร้อนตลอดช่วงอายุใช้งานประมาณ 30 ปี ณ เวลาที่อุปกรณ์ดังกล่าวมีสำหรับระบบ 72.5kV ในลักษณะที่เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์และ DCB

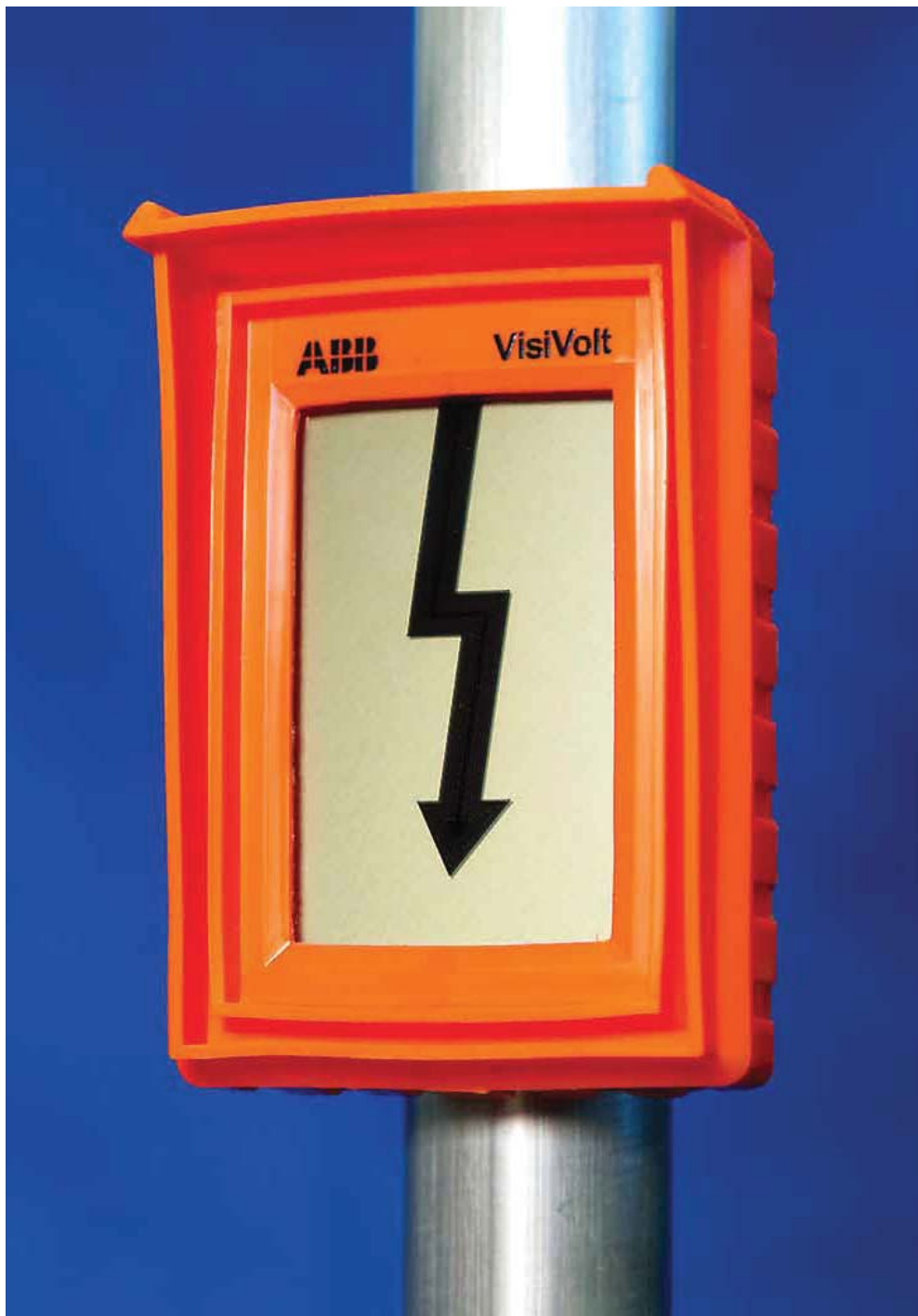
ประโยชน์นานับประการ โดยการใช่วิธีการออกแบบแบบใหม่ สวิตช์เกียร์ฉนวนอากาศไฟฟ้าแรงสูงจากเอบีปีช่วยให้หน่วย

รูปที่ 7 แนวโน้มในสวิตช์เกียร์



งานทางไฟฟ้าและผู้ใช้งานทางอุตสาหกรรมทั่วโลก ลดต้นทุนและในเวลาเดียวกันช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักและขนาดลดลงช่วยลดต้นทุนในการขนส่งและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการขนส่งและงานติดตั้ง ฟังก์ชันที่ได้ถูกผนวกเพิ่มเติมขึ้นของอุปกรณ์ (ตัวอย่างเช่น DCB และ FOCS) บวกกับการออกแบบล่าสุดของตัวเก็บประจุหม้อแปลงวัดแรงดัน กัبدักเสิร์จและฟังก์ชันการควบคุม ทำให้ได้การออกแบบด้วยขนาดที่เล็กลงที่ช่วยลดข้อกำหนดเรื่องพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อยในขณะที่ยกระดับความน่าเชื่อถือได้และความปลอดภัย (รูปที่ 7)

เรียบเรียงจาก Richard Thomas and Hans Matses, “Enhancing grid reliability – The evolution of air-insulated switchgear and components”, ABB Review Special Report (High-voltage products), page 16-19



VisiVolt™ Passive Voltage Indicator

วิชา ตีจิง > waristha.deejing@th.abb.com

Medium Voltage Products Series ฉบับนี้เรานำเสนอ Passive indicator ตัวแสดงสถานะทางแรงดันไฟฟ้าที่สามารถใช้แสดงสถานะของอุปกรณ์สายไฟฟ้านั้นว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหรือไม่ ใช้ได้ที่ระดับแรงดัน 3 kV – 36 kV. ABB's VisiVolt™ ตัวแสดงสถานะทางแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดกระทัดรัด ติดตั้งง่าย เหมาะกับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าปานกลาง นวัตกรรมนี้ใช้เทคโนโลยี liquid-crystal โดยไม่มีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์และไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าใดๆ ทำให้อุปกรณ์นี้มีความแข็งแรงทนทาน VisiVolt มีจอแสดงผลขนาดใหญ่ ใช้งานได้ดีในทุกสภาพแสง ตัวแต่แสดงสลับภายในอาคารไปจนถึงกลางแจ้งที่มีแสงจ้า

Key product features

- ใช้สำหรับติดตั้งแบบถาวรในระบบไฟฟ้าที่ต้องการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมใดๆ
- ระดับแรงดันที่ใช้ 3 kV – 36 kV
- แสดงสถานะแรงดันไฟฟ้าตลอดช่วงการใช้งานของระบบ
- สามารถใช้งานได้ทั้งภายในอาคารและกลางแจ้ง
- ใช้งานได้ดีในทุกสภาพแสง
- คำนวณการลงทุน อายุการใช้งานนาน
- ไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา เนื่องจากตัวอุปกรณ์ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ
- ง่ายต่อการติดตั้ง
- สามารถติดตั้งได้ทั้งบัสบาร์, ตัวนำไฟฟ้าทั้งที่มีและไม่มีฉนวนหุ้ม (unshielded conductors, insulated conductors) ทุกขนาด

Functions

การตรวจสอบสถานะของแรงดันไฟฟ้า
ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะของแรงดันไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมใดๆในการตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้า และง่ายต่อการตรวจพบความบกพร่อง (fault)

แสดงผลสถานะแรงดันไฟฟ้าทันที ทุกจุดของระบบที่เกิด fault โดยการใช้งานของ VisiVolt ทำให้ตรวจพบ fault ได้ง่ายและเร็วขึ้น

ฟังก์ชันการเตือนเพิ่มเติม

ทำให้การปฏิบัติงาน และการดูแลรักษาของระบบมีความปลอดภัยที่สูงขึ้น ข้อบ่งชี้เพิ่มเติมของตัวแสดงสถานะนี้จะปลอดภัยจากอันตรายของแรงดันไฟฟ้า และการเตือนนี้จะทำให้ผู้ใช้งานปลอดภัย โดยคำเตือนนี้สามารถป้องกันผู้ใช้งานไม่ให้เกิดอุบัติเหตุ และป้องกันการสูญเสียค่าใช้จ่ายจากผลกระทบทางอื่นด้วย



Specification & dimensions

VisiVolt type			VV-A	VV-B
3-phase system	Nominal voltage (Un)	[kV]	3.0 ÷ 6.0 ¹⁾ 6.0 ÷ 15.0	13.8 ÷ 36.0
	Rated voltage, max.	[kV]	3.6 ÷ 17.5 ²⁾	17.5 ÷ 40.5 ²⁾
	Threshold voltage (p-g and p-p) ^{3) 4)}		> 0.6 kV < 45% Un	> 1.5 kV < 45% Un
1-phase line	Nominal voltage (Un p-g) ³⁾	[kV]	4.8 ÷ 8.0	8.0 ÷ 20.0
	Threshold voltage (p-g) ³⁾		> 1.0 kV < 78% Un	> 1.5 kV < 78% Un
Application range			Non insulated (bare) metal bars and conductors; insulated circular-section conductors with maximal insulation thickness 3 mm.	
Nominal frequency			[Hz]	50 – 60
Response time			[S]	< 1 at temperature –20°C and above < 3 at temperature –30°C < 10 at temperature –40°C
Short-time (symmetrical) withstand current (1s) ⁵⁾			[kA]	63
Peak withstand current ⁶⁾			[kA]	164
Operation temperature range			[°C]	–40 ÷ +85
Physical dimensions			[mm]	H: 92 × W: 63 × D: 38
Net weight			[g]	109

- 1) บนเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำเปลือย และ บัสบาร์ ที่มีความกว้าง 30 มิลลิเมตรขึ้นไป
- 2) ขึ้นอยู่กับระยะห่างของแต่ละ pole (ดูจากระยะห่างที่น้อยที่สุดจากค่าแนะนำ)
- 3) ใช้ได้ทั้งระบบแบบ p-g = phase - ground; p-p = phase - phase
- 4) ต้องทำตามคำแนะนำและข้อควรปฏิบัติในการติดตั้งที่กำหนดของระยะระหว่าง Pole
- 5) กระแสไฟฟ้าที่ Visivolt ทนได้จะได้ตามที่ระบุไว้เท่านั้น

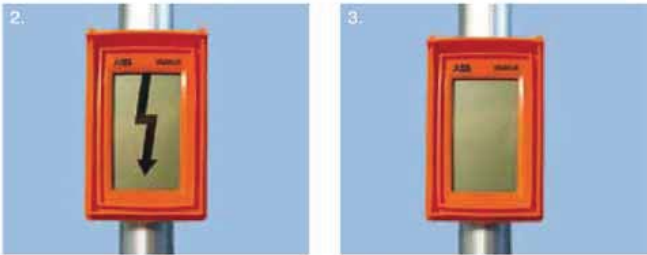
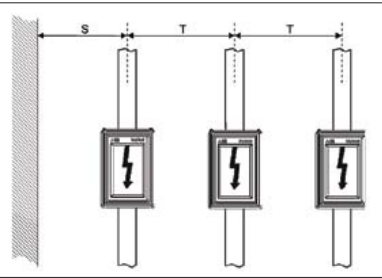
Allowable clearances

Rating		Power frequency withstand voltage 50 Hz 1 min*		Impulse withstand voltage 1,2/50 µs*		Recommended minimum clearances*	
IEC	ANSI	IEC	ANSI	IEC	ANSI	T min	S min
		[kV] r.m.s. value		[kV] peak value		[mm]	
3.6		10		40		100	
7.2	4.8	20	19	60		120	
12.0	8.3	28		75		140	
17.5	15.5	38		95		160	
24.0		50		95	110	210	
24.0	27.0	50	60	125		230	
		70		150		320	
36.0	38.0	70		145		290	
				170		330	
40.5		80		165	150	320	
		80	95	190		360	400

*ระยะระหว่างเฟสและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวแสดงสถานะ VisiVolt ทนได้เท่านั้น และไม่สามารถแทนที่ความต้องการของพิกัดระบบที่ตัวแสดงสถานะติดตั้งอยู่ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทนได้และสอดคล้องกับระยะห่างที่น้อยที่สุดของค่าที่แนะนำ ระยะห่างระหว่างเฟสที่มากกว่า จะมีผลทำให้เพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทนได้

Allowable pole distances

Nominal voltage Un (p-p)	Maximum allowed pole distance T max
[kV]	[mm]
3.0 ÷ 3.3	110
4.16 ÷ 4.8	135
6.0 ÷ 6.9	400
≥ 8.3	without limit



1. Pilot installation on ENION S.A. distribution station, Krakow, Poland | 2. Status – voltage on | 3. Status – voltage off.



ตัวแสดงสถานะแรงดันแบบ Passive แสดงสถานะแรงดันไฟฟ้าเกินที่เกณฑ์ที่กำหนดไว้เท่านั้น และตัวแสดงสถานะนี้จะไม่แสดงสถานะกรณีที่ไม่มีความแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าระบบนั้นไม่มีแรงดันไฟฟ้าหลงเหลืออยู่และปลอดภัยต่อการสัมผัส การทดสอบวิธีการใช้งานและความปลอดภัยได้รับการอนุมัติตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนความปลอดภัยจะต้องนำมาใช้ก่อนที่จะมีการเข้าถึงใดๆ หรือการใช้งานกับอุปกรณ์ต่างๆ การใช้งาน Visivolt ในระบบจำหน่าย มีหนังสือรับรองจากห้องปฏิบัติการระดับสากล ต้นแบบและผลิตภัณฑ์ที่น่าเชื่อถือ ตัวแสดงสถานะนี้ ถูกนำเสนอภายใต้ชื่อ “PVI” และ “PassVI”

Operation

VisiVolt จะแสดงสถานะของแรงดันไฟฟ้าโดยแสดงผลบนหน้าจอแสดงผลขนาดใหญ่ ด้วยรูปลูกศรฟ้าผ่าบนหน้าจอ LCD การบ่งชี้ของ VisiVolt จะขึ้นอยู่กับความไวของสนามไฟฟ้าโดยรอบของตัวนำไฟฟ้าที่ทำการติดตั้ง VisiVolt ลงไป

ในระบบ 3 เฟส VisiVolt สามารถบ่งชี้สถานะทั้งแรงดันไฟฟ้า Phase-Phase และ Phase-Ground ในระบบ 1 เฟส VisiVolt จะบ่งชี้สถานะแรงดันไฟฟ้า Phase-Ground

VisiVolt สามารถแสดงสถานะของแรงดันไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 45% ของการใช้งานแรงดันไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส หรือ 78% ของการใช้งานแรงดันไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส (ค่าแรงดันไฟฟ้านี้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC-61958 และ IEC-61243)

VisiVolt มี 2 ประเภท คือ VV-A และ VV-B ที่ใช้สำหรับสองช่วงแรงดันไฟฟ้า

ตัวแสดงสถานะ VisiVolt เป็น passive device ที่สมบูรณ์แบบ ทำงานได้โดยใช้พลังงานจากสนามไฟฟ้าโดยรอบตัวของตัวนำไฟฟ้า ที่ VisiVolt ติดตั้งอยู่ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา



Power Transformers (ตอนที่ 22)

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

11.5. ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้ากับการลดลง / เพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า
ปกติทั่วไป ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage ratio) คือค่าที่ภาวะไร้ภาระของหม้อแปลงเป็นอัตราส่วนจำนวนรอบของขลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

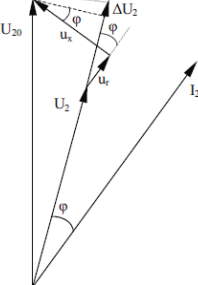
เมื่อต่อภาระกับหม้อแปลง แรงดันไฟฟ้าที่ขลวดทุติยภูมิจะเปลี่ยนแปลงจากภาวะไร้ภาระโดยขึ้นอยู่กับ

- ขนาดของมุม C ระหว่างทิศทางแรงดันไฟฟ้าที่ขลวดทุติยภูมิ U_2 ที่หม้อแปลงกับทิศทางของกระแส

ที่ I_2 ขลวดทุติยภูมิ

- ค่ากระแส I_2 ที่ขลวดทุติยภูมิ
- ค่าความต้านทานลวดวงจร z ที่หม้อแปลงและส่วนกระแสและส่วนปฏิกิริยา r และ $\pm x$ ของ z

จากรูป 11-4 ที่ภาวะไร้ภาระ แรงดันไฟฟ้าที่ขลวดทุติยภูมิ = U_{20} ถ้าต่อภาระ Z_L ที่ด้านทุติยภูมิ แรงดันไฟฟ้า จะเปลี่ยนแปลง = U_2 สมมติภาระ Z_L เป็นภาระสมมาตร อิทธิพลของกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งค่าต่ำ (ปกติ = 1% ของค่ากระแสสูงสุด) จะไม่ทำให้เกิดผลใดๆ



รูป 11-4

จากแผนภูมิทิศทางในรูป 11-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ จะเป็นสมการดังนี้

$$\Delta U_2 = I_2 \cdot r \cdot \cos \varphi + I_2 \cdot x \cdot \sin \varphi + U_{20} - \sqrt{U_{20}^2 - (I_2 \cdot r \cdot \sin \varphi - I_2 \cdot x \cdot \cos \varphi)^2} \quad (\text{โวลต์}) \quad (11)$$

ΔU_2 = แรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ส่วนค่าที่แตกต่างกันระหว่าง U_{20} กับ U_2 r / x = แรงดันไฟฟ้าลัดวงจร active และ reactive ที่ค่ากระแสสูงสุดเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด U_{20}

ค่า relative voltage drop เวลาใดๆ ที่ภาวะมีภาระ n (ดูสมการ 13) ในสมการ (11) สามารถเขียนเป็นอีกสมการดังนี้

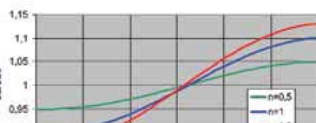
$$\frac{\Delta U}{U_{20}} = n(u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi) + 1 - \sqrt{1 - n^2 (u_r \sin \varphi - u_x \cos \varphi)^2}$$
$$n = \frac{I_2}{I_{2N}} \quad (13)$$

ตัวอย่าง: $n = 1$ $u_r = 0,01$ $u_x = 0,006$ $\cos \varphi = 0,8$ เหมือนว่า

$$\frac{\Delta U_2}{U_{20}} = 1(0,01 \cdot 0,8 + 0,006 \cdot 0,6) + 1 - \sqrt{1 - 1^2 (0,01 \cdot 0,6 - 0,006 \cdot 0,8)^2} = 0,045 \quad (14)$$
$$U_{20} = 0,045 \quad (\text{โวลต์}) \quad (15)$$

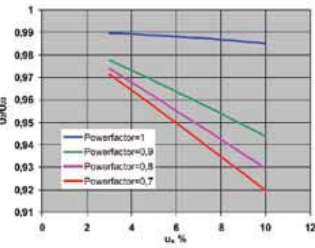
$u_2 = u_{20} - \Delta U_2 = (1 - 0,045) \cdot U_{20}$ (โวลต์) (16)
 $= 0,955 \cdot U_{20}$

หม้อแปลงที่ค่า U_r และ U_x เป็นดังนี้ในการใช้งานเมื่อต่อภาระและมีกระแสสูงสุด ค่าตัวคูณกำลังไฟฟ้า = 0.8 เหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิจะลดลง = 95.5% ของแรงดันไฟฟ้าไร้ภาระ



รูป 11-5 ค่ามุม (o) ของกระแสภาระ

รูป 11-5 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิตามค่ามุม φ และกระแสภาระที่ค่า $U_r = 0.74\%$ และค่า $U_x = 10\%$ ค่ามุม φ ที่เป็น - หมายถึงกระแสภาระตามหลัง (เหนี่ยวนำ) ถ้าเป็น + หมายถึง กระแสภาระนำหน้า (ประจุ)



รูป 11-6

รูป 11-6 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิตามค่าแรงดันไฟฟ้าลัดวงจรปฏิกิริยา U_x และ $\cos \varphi$ ปกติทั่วไป ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิจะลดลง เมื่อค่า U_x เพิ่มขึ้น จากกราฟ ค่า $U_x = 10\%$ และ $\cos \varphi = 0.8$ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิจะลดลง = 93% ของแรงดันไฟฟ้าไร้ภาระ

การที่แรงดันไฟฟ้าลดลง สาเหตุเนื่องมาจากการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้ากระแสและปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่หม้อแปลง ตามข้อกำหนดมาตรฐาน IEC (ดู IEC 60076-1 ข้อ 4.1) หม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เข้าหม้อแปลงและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลง ค่าจะแตกต่างกันค่าที่ป้อนเข้า

แต่ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลง ค่าจะต้องเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลงดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหม้อแปลงจะต้องเผื่อค่าลดลง/เพิ่มขึ้น

ดังนั้นการใช้ / ติดตั้งหม้อแปลง การกำหนดข้อคุณสมบัติควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิขณะมีภาระเมื่อด้วย โดยเฉพาะกรณี อาทิ ภาระของหม้อแปลงเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ซึ่ง

การสตาร์ทต้องการกระแสเหนี่ยวนำสูงและอาจสูงกว่าค่ากระแสสูงสุดของหม้อแปลงมาก ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงลดลงค่อนข้างมาก กรณีดังกล่าว ถ้ากำลังไฟฟ้าที่เข้าหม้อแปลงต่ำ แรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิจะต่ำด้วย

ในรูป 11-5 ค่าตัวคูณกำลังไฟฟ้า ($\cos \varphi$) เป็นตัวคูณเหนี่ยวนำและจากรูป 11-5 และ 11-6 แสดงว่าแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงลดลงเมื่อค่าตัวคูณกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ถ้าแรงดันไฟฟ้าลดลงไม่มาก แสดงว่าการทำงานของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูง

11.6. ประสิทธิภาพของหม้อแปลง
สูตรคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลงดังนี้ได้

$$\eta_{\%} = \frac{1}{1 + \frac{P_0 + P_L \cdot n^2}{P^2 \cdot n}} \cdot 100$$

P_0 = No load loss (กิโลวัตต์) ที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
 P_L = Load loss (กิโลวัตต์) ที่กระแสสูงสุด

P_2 = กำลังไฟฟ้ากระแสทำ (กิโลวัตต์) ที่ภาระ
 n = Relative degree of loading ที่กระแสสูงสุด
 $n = 1$

ค่า P_2 คำนวณจากสมการ

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot U_{20} \cdot (1 - \frac{\Delta U_2}{U_{20}}) \cdot \cos \varphi$$

ตัวอย่าง:
หม้อแปลง 1600 kVA
 $P_0=1,560 \text{ kW}$ $P_L=11,900 \text{ kW}$ $u_r=5,7\%$ $n=1$ $\cos \varphi=0,8$ $\eta=98,92\%$
 $\cos \varphi=1,0$ $\eta=99,16\%$

จากค่าที่คำนวณได้ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงอยู่ในระดับที่สูงมาก

11.7. กระแสไร้ภาระ (สร้างสนามแม่เหล็ก) และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าไร้ภาระ
กระแสไร้ภาระและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าไร้ภาระเกิดขึ้นจากแกนขดลวดและคุณสมบัติต้านแม่เหล็กไฟฟ้าของแกนขดลวดซึ่งเป็นโลหะเหล็ก

วัสดุที่มีคุณสมบัติต้านแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีลักษณะยอมให้มวลของสารอื่นสามารถซึมผ่านได้สูง (high permeability) ถึง 280,000 เส้นแรงแม่เหล็กจำนวนแอมแปร์-รอบ/ม.ไม่มากสามารถทำให้เกิดสนามแม่เหล็กแรงสูง ทำให้ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงทำงานร่วมกันได้

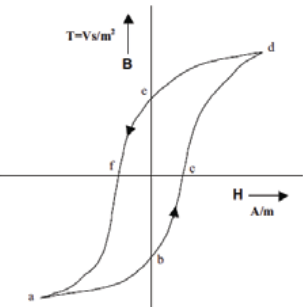
วัสดุที่มีคุณสมบัติต้านแม่เหล็กไฟฟ้าสูง การยอมให้มวลของสารอื่นสามารถซึมผ่านได้จะไม่คงที่เหมือนสารชนิดอื่น ดังกราฟในรูป 11-7 ที่ขลวดหม้อแปลงเมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็น Sine wave จะเกิดกระแสเหนี่ยวนำไหลภายในและเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดเป็นเส้นแรงแม่เหล็กลักษณะ Sine wave และเกิดตามหลังแรงดันไฟฟ้า 90° ลักษณะของกระแสเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ใช่ Sine wave แต่เป็นรูปร่างอื่นๆ

รูป 11-7 แสดงค่าของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็ก 1 รอบ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวด

จุดเริ่มต้น คือ จุด a ในภาพที่จุดนี้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กมีค่า - สูงสุดและจะเป็น - น้อยลงต่อมาที่จุด b โดยที่จุดนี้ กระแสเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กมีค่า = 0 แต่ที่แกนขดลวดจะยังคงมีเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ เรียกว่าเส้นแรงแม่เหล็กคงค้าง

วงจรการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสเหนี่ยวนำจะดำเนินต่อไปตามเส้นทางด้านขวาในรูป โดยเส้นแรงแม่เหล็กทิศทางจะไปทาง + ที่จุด c เส้นแรงแม่เหล็กค่า = 0 เรียกว่า เส้นแรงแม่เหล็กบังคับ (coercive force)

จากจุด c ค่าของเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็น + เพิ่มขึ้นต่อไปและจะไปที่แกนขดลวด ที่จุด d กระแสและเส้นแรงแม่เหล็ก ค่าจะเริ่มลดลงตามเส้นทางด้านซ้าย



รูป 11-7

ที่จุด e ค่าของกระแส = 0 และที่แกนขดลวดจะมีเส้นแรงแม่เหล็กค้างอยู่อยู่ที่ทิศทางตรงกันข้ามกับจุด b ทิศทางของกระแสจะเป็น - เพิ่มขึ้นและเส้นแรงแม่เหล็กลดลงเรื่อย ๆ จน = 0 ที่จุด f จากจุด f เส้นแรงแม่เหล็กจะเปลี่ยนทิศทางและเป็น - เพิ่มขึ้นจนกลับถึงจุด a ตั้งต้นครบวงจร

กล่าวโดยสรุป วัสดุคุณสมบัติแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผลจะมีโมเมนต์แม่เหล็กอยู่จำนวนมาก ที่สภาวะบางอย่างโมเมนต์แม่เหล็กเหล่านี้จะเกิดการเรียงตัวในทิศทางเดียวกันจากเดิมที่อยู่กระจัดกระจายและเส้นแรงแม่เหล็กก็ถ่วงกันจนไม่เกิดสนามแม่เหล็ก

ถ้ามีสนามแม่เหล็กภายนอกอยู่ที่แกนขดลวด จะส่งผลกระทบต่อการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก โดยการเรียงตัวจะเปลี่ยนทิศทางและเส้นแรงแม่เหล็กถ่วงกันจนสนามแม่เหล็กภายนอก

ถ้าการลดลงของกำลังสนามแม่เหล็กภายนอกเข้าเส้นแรงแม่เหล็กยังมีอยู่จะทำให้ทิศทางการเรียงโมเมนต์แม่เหล็กเป็นแนว แต่เมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกหมดไปโมเมนต์แม่เหล็กจะไม่เปรียบเทียบเนื่องจากอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กภายนอกก็จะยังคงอยู่

ถ้าความแรงของสนามแม่เหล็กภายนอกเพิ่มขึ้นจำนวนโมเมนต์แม่เหล็กจะเรียงเป็นแนวตามความแรงของสนามแม่เหล็กภายนอกถึงจุดหนึ่ง โมเมนต์แม่เหล็กจะสลับสลับจนไม่เกิดสนามแม่เหล็กของตน และถ้าความแรงของสนามแม่เหล็กภายนอกยังเพิ่มขึ้นต่อโมเมนต์แม่เหล็กก็ทิศทางตามสนามแม่เหล็กภายนอก

เนื่องจากโมเมนต์แม่เหล็กมีเป็นจำนวนมาก ความแรงของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากมวลสลับสลับไม่เปรียบเทียบของโมเมนต์จึงสูงกว่าความแรงของสนามแม่เหล็กภายนอกเริ่มต้นหลายเท่า

การเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างใช้เวลา เส้นแรงแม่เหล็กจึงเกิดขึ้นหลังการเหนี่ยวนำดังในรูป 11-7 ซึ่งเรียกว่า hysteresis loop ค่า hysteresis มาจากภาษากรีก hystereo = ตามหลัง

จาก hysteresis loop จะเห็นว่า slope ของเส้นกราฟ

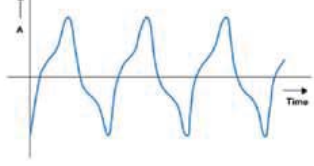
ลดลงเมื่อแรงเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ที่จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กค่าหนึ่ง slope ของเส้นกราฟจะ = μ_0 หรือค่าการยอมให้สารอื่นสามารถซึมผ่านได้ของอากาศ (permeability of air) ซึ่งหมายความว่า ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กจากวัสดุสารแม่เหล็กไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกต่อไป ที่จุดนี้ทุกโมเมนต์แม่เหล็กได้เป็นไปตามอิทธิพลของสนามแม่เหล็กภายนอกเรียบร้อยแล้ว เรียกว่า เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว (magnetic saturation) ในทางธุรกิจ แกนขดลวดที่เส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กภายในแกนจะสูงกว่า 2.0 Tesla (Vs/m²) เล็กน้อย

ค่าการยอมให้สารอื่นสามารถซึมผ่านได้ (permeability) คือ ค่า slope ของ hysteresis loop เนื่องจากค่า slope ดังกล่าวไม่คงที่ในแต่ละรอบแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลง ค่า permeability จึงไม่คงที่ในรอบแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ยังเปลี่ยนแปลงตามค่าสูงสุด (peak value) ของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กด้วย

การเปลี่ยนแปลงทิศทางารเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กทำให้ได้ข้อดีเกี่ยวกับขนาดของ hysteresis loop หน่วยวัตต์ Ws/m³ ที่แกนขดลวด การใส่กำลังไฟฟ้าจะทำให้หลอดหมึกเพิ่มขึ้นรวมทั้งการหมุนของแกนขดลวดจะเร็วและเสียดทาน กำลังไฟฟ้าที่เสียบ คือการสูญเสียพลังงานที่หม้อแปลง เรียก hysteresis loop ซึ่งค่าเป็นสัดส่วนกับค่าความถี่กระแสไฟฟ้า ถ้าความถี่ 50 Hz จำนวน hysteresis loop จะเกิดขึ้นไม่น้อยกว่า 50 ครั้ง/วินาที และ hysteresis loop per second = 50 x พื้นที่ hysteresis loop

hysteresis loop ที่เกิดขึ้นสามารถดูได้จากจอ oscilloscope

วัตถุที่ hysteresis loop แคบซึ่งแรงบังคับแคบ ค่า hysteresis loop จะต่ำ



รูป 11-8

ลักษณะของคลื่นกระแสไฟฟ้ากระแส ดังแสดงในรูปแบบ 11-8 (สร้างจาก hysteresis loop) เป็นคลื่นที่ยืดหยุ่นต่ำเนื่องจากค่า slope เส้นแรงแม่เหล็กภายนอกสนามแม่เหล็กต่ำ (เส้นกราฟขยับและขวาที่ hysteresis loop) ที่ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กสูงและรูปร่างของยอดมีสมมาตร 2 ด้าน เนื่องจากระยะแนวกว้างของ hysteresis loop

ค่าของกระแสไฟฟ้าที่วัดในการทดสอบเพื่อสมอบ

ลูกค่าและบันทึกในรายงานการทดสอบคือ ค่า r.m.s. สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส ค่ากระแสและเฉลี่ยจาก 3 เฟส

การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current)

การสูญเสียที่ภาวะไร้ภาวะของหม้อแปลงส่วนหนึ่งเนื่องมาจากกระแสไหลวน (eddy current) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาและเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนในทิศทางตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก กระแสดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่แผ่นแกนขดลวด ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสมการ

$$P_{\text{eddy}} = \frac{1}{24} \cdot \sigma \cdot \omega^2 \cdot d^2 \cdot B^2 \cdot V \quad (\text{วัตต์}) \quad (17)$$

σ = คุณสมบัติเหนี่ยวนำ (conductivity) ของวัสดุแกนขดลวด
 ω = ค่าความถี่เชิงมุม (angular frequency)
 d = ค่าความหนาของแผ่นแกนขดลวด
 B = ค่าความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็ก
 V = ค่าปริมาตรของแกนขดลวด

สมการข้างต้นไม่มีข้ออ้างเกี่ยวกับค่าความสูญเสียพลังงานเนื่องจากกระแสไหลวนเป็นสัดส่วนกับ conductivity ของวัสดุแกนขดลวด ดังนั้นแผ่นแกนขดลวดในยุคปัจจุบัน เนื้อโลหะจะผสมสารซิลิกอนเล็กน้อยเพื่อให้การเหนี่ยวนำลดลงทำให้การสูญเสียพลังงานเนื่องจากกระแสไหลวนลดลงตาม แต่ถ้าหากผสมสารซิลิกอนมากเกินไป เนื้อเหล็กจะฉนวน เจริญหรือดัดยาก

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากกระแสไหลวนเป็นสัดส่วนกับค่าความหนาของแผ่นแกนขดลวดยกกำลังสอง ดังนั้น การเลือก/กำหนดความหนาของแผ่นแกนขดลวดจะต้องพิจารณาการสูญเสียพลังงานและการผลิตกระแสไฟฟ้าให้สมดุลหรือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในด้านเศรษฐกิจ ที่ไปความหนาของแผ่นแกนขดลวดจะ 0.23-0.30 มม.

การสูญเสียพลังงานจากข้อบกพร่องอื่น (Anomalous losses)

การสูญเสียพลังงานแบบที่ 3 ที่ภาวะไร้ภาวะ สาเหตุเนื่องจากข้อบกพร่องหรือสภาพผลึกของวัสดุแกนขดลวด

ค่าความสูญเสียพลังงานที่แกนขดลวดมีหน่วยวัตต์เป็นวัตต์ / กก. แกนขดลวด วิธีวัดโดยใช้อุปกรณ์ Epstein frame ซึ่งแบ่งเป็น 4 ช่อง ทำด้วยเหล็กเคลือบน้ำยาเหมือนเหล็กแกนขดลวด วิธีวัดตาม IEC 60404-2 (1996-03) Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame (วิธีการวัดคุณสมบัติการเป็นแม่เหล็กของแผ่นและแถบเหล็กที่ใช้ในงานไฟฟ้าด้วย Epstein frame)

การเตรียมตัวอย่างวัด / ทดสอบด้วย Epstein frame ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบ single sheet testers ขึ้นซึ่งวัดได้

รวดเร็ว จึงสามารถวัดตัวอย่างได้จำนวนมากๆ ค่าที่วัดนำมาพิจารณาความแตกต่างและหาค่าเฉลี่ย ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง สามารถเชื่อถือได้

วิธีวัดด้วย Single sheet testers โดยสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นให้กระทำกับแผ่นโลหะทดสอบในทิศทางตั้งฉากที่ปลายด้านหนึ่งแล้วเคลื่อนสนามแม่เหล็กต่อมาตามแนวความยาวของแผ่นโลหะจนสุดที่ปลายอีกด้านหนึ่งโดยทิศทางยังคงจากเหมือนเดิม เป็นวิธีวัดตามมาตรฐาน IEC 60404-3 (2002-10) Ed. 2.1 Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester (วิธีการวัดคุณสมบัติการเป็นแม่เหล็กของแผ่นและแถบแม่เหล็กด้วย single sheet testers) ปกติค่า no load loss จริงที่แกนขดลวด หน่วยวัตต์ W/Kg. แกนขดลวดจะสูงกว่าค่าที่วัดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ

เหล็กแกนขดลวดในยุคปัจจุบัน การสูญเสียพลังงานจะต่ำและไวมากต่อแรงกระทำหรือแรงกระทบและกระบวนการวิธีต่างๆ การเก็บรักษาแกนขดลวดที่เป็นแผ่นบางๆ จำนวนมากอยู่ด้วยกัน แรงหรือน้ำหนักกดที่บออาจไม่สม่ำเสมอที่จุดต่างๆ อาทิ ที่ แขน / คอของแกน ฯลฯ รวมทั้ง ข้อต่อที่จุดต่างๆ ดังกล่าวซึ่งเป็นจุดที่เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทางขนาดหรือระยะอาจบกพร่อง คลาดเคลื่อนเนื่องจากกระบวนการวิธีผลิต โดยเฉพาะที่ข้อต่อระหว่างแกนกับคอบนเป็นจุดที่วิกฤตเนื่องจากแรงน้ำหนักกดจากคอบนจะเพิ่มขึ้น - ลดลงหลังจากแกนขดลวดเคลื่อนที่ขึ้นและขดลวดต่อกับแกน

ชุดที่ขอบแผ่นแกนขดลวดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น ปริมาณสูญเสียพลังงานจริงเปรียบเทียบกับปริมาณสูญเสียจากการวัดในห้องปฏิบัติการจะสูงกว่า เรียก Building factor (ปัจจัยจากลักษณะ) ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ตัดขวางรวมทั้งลักษณะของแกนขดลวด

ปกติผู้ผลิตที่มีความชำนาญจะสามารถประเมินการสูญเสียพลังงานจริงที่ภาวะไร้ภาวะได้ใกล้เคียงมากจากข้อมูลปริมาณสูญเสียพลังงานจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากข้อมูล / ความรู้เกี่ยวกับลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็ก (flux pattern) ที่แกนขดลวดหม้อแปลงและสูตรคำนวณต่างๆ มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงจำนวนมากจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

กระแสปริมาณสูงที่ไหลเข้าหม้อแปลง (Inrush currents)

ในด้านความปลอดภัย กระแสปริมาณสูงที่ไหลเข้าหม้อแปลงอาจเกิดเป็นปัญหาขึ้นได้ในบางครั้ง อาทิ พื้นที่หลังจากเปิดสวิตช์เกิดการฟิวส์ขาดหรือรีเลย์ตัดวงจร ซึ่งอาจทำให้เข้าใจว่าที่หม้อแปลงมีบางอย่างขัดข้อง แต่สาเหตุที่แท้จริงตรงกันข้าม

กระแสที่ปริมาณสูง ขนาดมาก-น้อยจะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับ

กับลักษณะคลื่น sine wave ของแรงดันไฟฟ้าที่ต่อกับสวิตช์ตัดวงจร (CB) ของหม้อแปลง กระแสและปริมาณสูงที่สุดเมื่อสวิตช์ต้องงจรกับหม้อแปลงเมื่อแรงดันไฟฟ้าผ่านจุด = 0 หลังจากสวิตช์ตัดวงจรหม้อแปลงอาจแรงดันไฟฟ้าที่ต่อเข้า จะยังคงมีเส้นแรงแม่เหล็กเหลือค้างอยู่ที่แกนขดลวด ยกเว้นขณะตัดวงจร ปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขดลวด = 0 พอดี เส้นแรงแม่เหล็กที่ค้างัง ปริมาณจะไม่แน่นอน ถ้าเมื่อตัดวงจรปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด ปริมาณค้างจะสูงที่สุด สลับขั้ว (polarity) อาจเป็น + หรือ - ก็ได้

จากกฎการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Induction law) แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับฟังก์ชันเวลาของเส้นแรงแม่เหล็ก

$$u = d\Phi / dt \quad (\text{โวลท์}) \quad (18)$$

จากสมการ (18) ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กมาจากการฟังก์ชันระยะเวลาและแรงดันไฟฟ้า

$$d\Phi = u \cdot dt \quad (\text{Vs}) \quad (19)$$

$$\Phi = \int u \cdot dt \quad (\text{Vs}) \quad (20)$$

ถ้าแรงดันไฟฟ้าเป็นคลื่น sine wave และต้องวงจรที่ 1/2 รอบแรงดันไฟฟ้า (0 = π = 0 เวลาที่สวิตช์ต้องวงจรและ π = เวลาที่ทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง)

$$\Phi = \int_0^\pi \sin(\alpha t) \cdot d(\alpha t) = U \quad (\text{Vs}) \quad (21)$$
$$(-\cos \pi - (-\cos 0)) = 2U$$

เปรียบเทียบสมการ (21) กับเมื่อต้องวงจรที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ระยะเวลาที่ต้องวงจรจะจาก $\pi / 2 - \pi$

$$\Phi = \int_0^\pi \sin(\alpha t) \cdot d(\alpha t) = U \quad (\text{Vs}) \quad (22)$$
$$(-\cos \pi / 2 - (-\cos \pi / 2)) = U$$

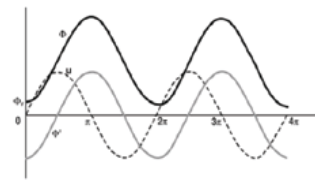
สมการ (22) คือ การการณ์ทำงานต่อเนื่องปกติของหม้อแปลง

จากสมการ (21) ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง = 2 เท่าของปกติ ถ้าสวิตช์ต้องวงจรขณะที่แรงดันไฟฟ้าผ่านจุด = 0 หมายความว่า ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กจะเลยจุดปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวที่แกนขดลวด ที่จุดนี้ Reactance ของหม้อแปลงจะต่ำมากเปรียบเทียบกับ reactance ขณะที่ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กค้าง และจะดึงกระแสแรงจากแหล่งไฟฟ้าเป็นกระแสปริมาณเท่ากับและลักษณะเหมือนกับกระแสตัดวงจรทำให้เกิดแรงทางกลที่ขดลวดปรมภูมิขนาดของแรงทางกลจะเป็นสัดส่วนกับค่ากระแสยกกำลังสอง

ถ้าหากเส้นแรงแม่เหล็กค้าง Φ ทิศทางเดียวกับเส้นแรงแม่เหล็กในสมการ (22) ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมด (total flux) จะตามสมการข้างใต้

$$\Phi_t = 2\Phi + \Phi_t \quad (\text{Vs}) \quad (23)$$

ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลงปริมาณมากขึ้นอีก



รูป 11-9 แสดงภาวะที่จะเกิดขึ้น เส้นกราฟสีจาก Φ คือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ภาวะปกติคงที่

เมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางที่ π ปริมาณกระแสจะลดลง แต่จะกลับเพิ่มขึ้นอีกที่ 2π ลักษณะอาการนี้จะเกิดต่อไปเรื่อยๆ โดยค่าสูงสุด (peak values) ของกระแสค่อยๆ ลดลงและอิทธิพลของเส้นแรงแม่เหล็กค้างจะค่อยๆ ลดลงเช่นกัน จำนวนรอบแรงดันไฟฟ้าก่อนถึงภาวะปกติคงที่จะไม่เกิน 10 รอบ ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดเล็ก แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่ อาจใช้ระยะเวลาหลายนาที

ถ้าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กลดลง เสียจะดังขึ้นทันที

โอกาสที่กรณีเลวร้ายที่สุดจะเกิดขึ้นมีไม่มาก ส่วนมากระหว่าง 2 ขั้ว จะต้องสวิตช์ตัดไฟฟ้า (CB) ป้องกันไม่ให้โลหะตัวนำที่ขั้วสัมผัสกันเนื่องจากประกายไฟฟ้าแรงสูง (arcing) โอกาสที่ arcing จะเกิดขึ้นคือ เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วแตกต่างกันอยู่ในช่วงค่าสูงสุด แต่ถ้าแตกต่างกันในช่วงค่าใกล้ 0 จะเกิด ขึ้นได้น้อย

อิทธิพลอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อกระแสปริมาณมาก คือ กำลังไฟฟ้าลัดวงจร (short-circuit power) ของแหล่งกระแสไฟฟ้า ถ้าความต้านทานลัดวงจรของแหล่งกระแสไฟฟ้าไม่มีค่าสูง จะเกิดอาการแรงดันไฟฟ้าตก (voltage drop) ที่ความต้านทานเนื่องจากกระแสปริมาณมาก ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วหม้อแปลงลดลง และมีข้อสังเกตว่า ปัญหาหรือกรณีที่เลวร้ายที่สุดจะเกิดขึ้นที่โพลเดโพลหนึ่ง 3 เฟสเท่านั้น

กระแสปริมาณมากมีลักษณะอย่างหนึ่ง คือ มี second harmonic component รวมอยู่ด้วยเนื่องจาก asymmetrical half-cycles รีเลย์ป้องกันกระแสเกินและรีเลย์กระแสต่าง (over current relays and differential relays) ยุคปัจจุบัน จะมีวงจรควบคุมเท่านั้นที่ลดความไวของรีเลย์เมื่อกระแสมี second harmonic และป้องกันไม่ให้ส่งผลสัญญาณไปตัดสวิตช์ เมื่อมีกระแสปริมาณมาก เป็นลักษณะการทำงานปกติไม่ใช่รีเลย์ขัดข้อง

หม้อแปลงยุคปัจจุบัน กระแสปริมาณมากจะแรงกว่าหม้อแปลงในยุคอดีต 40 ปีที่แล้ว เหตุผล คือ แกนขดลวดยุคปัจจุบันการสูญเสียพลังงานต่ำทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสูง โดยอุณหภูมิไม่สูงเกินไป

โปรดติดตามต่อไปหน้า



ร้อนใน

สัญญาณเตือนภัยสุขภาพ

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

ความเจ็บร้อนภายในปากที่หากรับประทานอาหารรสจัดหรือเผ็ดแม้มีอุณหภูมิร้อนขึ้นมาสักหน่อยก็จะแผลงฤทธิ์ให้เจ็บปวดขึ้นมาขึ้น
ส่วนใหญ่เราเรียกว่า “ร้อนใน” คำนี้มีความหมายลึกซึ้งมากในทางสุขภาพเพราะสามารถบอกโรคภัยไข้เจ็บในใจถึง
เรื่องของจิตใจและอารมณ์ของบุคคลนั้นๆ ได้เด่นชัดเป็นมาตรวัดสุขภาพที่รู้ได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นหากเกิดอาการร้อนในขึ้นมา
จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรต้องทราบให้รู้แน่

ร้อนในบอกอะไร

สาเหตุของแผลร้อนในที่นํารูและดูแล้วพบบ่อยมีหลาย
เรื่องที่ยาคไม่ถึง ส่วนใหญ่เรามักคิดถึงสาเหตุจากการ
เหนียวล้าหรืออดึกเกินนั้น แต่ยังมีเหตุที่น่าสนใจ
อีกดังต่อไปนี้

ติดเชื้อในช่องปาก ทั้งจากเชื้อแบคทีเรียและไวรัส
หรือบางคนก็ภูมิไม่แข็งแรงอยู่แล้วอาจพบเชื้อ “รา”
เข้าไปด้วย มีอาการแผลกว้างและลึก มีน้ำเหลืองหรือ
หนองออกมาประอะ และที่แน่นอนคือ ต่อมเหงื่อ
ข้างคอต้องโตด้วย นอกจากนี้ยังมีเชื้อแปลกบางชนิด
ที่ผลิตแผลร้อนในได้ อาทิ เชื้อวัณโรค

มีสิ่งแปลกปลอมในปาก อาทิ ก้างปลา เหล็กดัดฟัน
ฟันปลอมที่เื่อพอดเหงือก เหล่านี้มีสิทธิ์เป็นผู้อย่าง
อันตรายเมื่อมีก้อนอื่นๆ (Oral Mucosa) ได้ หากมี
สิ่งแปลกปลอมชั่วคราวซึ่งชั่วคราวอย่างเหล็กดัดฟัน
พอเลิกใส่มันก็จะหายได้เอง แต่ถ้าเป็นของที่อยู่
อย่างฟันปลอมก็อาจทำให้เป็นแผลเรื้อรังมีกลิ่นปากได้

กินอาหารมันและหวานจัด การรับประทานอาหารที่
อุดมไปด้วยน้ำมันพืชจะมีกรด “โอเมก้า 6” สูง กระตุ้น
การอักเสบในช่องปากได้ส่วนของหวานก็ทำให้เกิด
การอักเสบและเรียกเชื้อแบคทีเรียมารุมกินโต๊ะด้วย
ได้ง่ายขึ้น

ที่ว่าเป็นสาเหตุที่มีพบบ่อย ยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่มักพบ
มากับร้อนในคือ “ต่อมน้ำเหลืองโต” ซึ่งเกิดขึ้นโดย
อัตโนมัติ และเมื่อร้อนในหายมันก็จะหายไปเช่นกัน
เรื่องสำคัญอยู่ที่ต้องแก้ให้ถูกจุดเท่านั้น

ร้อนในอาจเป็นได้มากกว่าที่คิด

การรู้จักสาเหตุของร้อนในให้ดีเป็นสิ่งจำเป็น เพราะ
ร้อนในอาจเป็นสัญญาณที่บอกเป็นนัยถึงสิ่งไม่พึง
ปรารถนาอย่างการเป็น “มะเร็งในช่องปาก” นั้น
จากการศึกษาพบว่า แผลร้อนในไม่ใช่ความเสี่ยงหรือ
สาเหตุแน่ แต่สำหรับผู้ที่เป็นแผลในปากก็อย่าเพิ่ง
วางใจว่าแผลร้อนในนั้นไร้พิษภัย ข้อนี้น่ากลัวด้วยความ
เป็นห่วง เพราะสิ่งหนึ่งที่ตอกย้ำถึงไว้เสมอคือ แผล
ในช่องปากไม่ใช่แผลร้อนในอีกเสบเสมอไป แต่อาจ
เป็น “แผลมะเร็ง” ได้ ดังนั้นจึงไม่ใช่ว่าเป็นกันบ่อยแล้ว

จะเป็นเรื่องธรรมดา ในกรณีของสาเหตุร้อนในที่
พบได้บ่อยแต่ก็ไม่ควรประมาทมีอยู่สองอย่าง คือ

มะเร็งในช่องปาก สังเกตได้ง่ายคือ ผู้ป่วยมักมีประวัติ
สูบบุหรี่หรือดื่มแอลกอฮอล์ และตัวแผลนั้นก็ดู “ดู”
กว่าร้อนในทั่วไป เช่น แผลโตไว ดูซุซระ ขอบไม่สวย
และเป็นเรื้อรังผิดสังเกต

เชื้อไวรัสเริม เชื้อเริมเติบโตได้ดีที่เยื่อ ในช่องปาก
เป็นบ้านที่อยู่สบายของไวรัส เพราะมีความชุ่มชื้น
อบอุ่นและเป็นส่วนตัวจึงไม่น่าแปลกที่เชื้อไวรัสเริม
ในปากจะงอกงามได้อย่างที่เรียกว่าแพร่ลูกหลานไป
เป็นแผลหลายจุดได้

ดังนั้น ในคนที่เป้นแผลร้อนในแบบมีขอบขึ้นเสริม
อย่างมีใช้ต่อมน้ำเหลืองโต เจ็บและแผลดูไม่สวย แผล
เป็นๆ หายๆ ไม่ขาดสักทีอย่างน้อยยาก็ต้องงอนใจ

ด้านร้อนในด้วยสูตรป้องกันแผลในปาก

ประการแรก ให้ดื่มน้ำและพืชที่เลี้ยงต่อช่องปาก เช่น
ของทอดของมัน ของหวานจัด รวมถึงการกินของร้อน
จัดเกินไป และการดื่มเครื่องดื่มพวกชา กาแฟและ
แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป ประการต่อมาคือ
เรื่องของการรับประทานอาหารให้เน้นอาหารที่มี “ฤทธิ์เย็น”
ซึ่งช่วยดับการอักเสบได้ แม้มีรสขมซึ่งอุดมไปด้วยธาตุ
ผาตสมานอย่างมะระ ผักที่มีรสขมเป็นยาของแท้ ถ้า
อยากแก้การร้อนในต้องไม่พลาดเมนูต้มมะระหรือ
มะระผัดไข่ ส่วนคนที่สนใจทางเลือกอาจนำมะระมา
รับประทานกับขมิ้นน้ำยาก็อร่อยดี ส่วนสเคเอา
ใจผู้ที่ชอบสูตรน้ำปลาหวาน แต่สำหรับสูตรด้าน
แผลในปากไม่ยากให้รสหวานหรือเค็มเกินไป อาจ
รับประทานกับปลาอย่างสูตรโบราณก็ได้เพราะในสเค
มีทั้งไฟเลด ธาตุเหล็ก และสังกะสีที่ช่วยแผลร้อนใน
 อีกทั้งวิตามินช่วยสมานแผลที่ผิวหนึ่งอย่างวิตามินเอ
และซีก็มีอยู่มาก

นอกจากนี้ยังมีประเภทเครื่องดื่มที่เอี่ยวแผลร้อนใน
ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นน้ำใบบักและน้ำข้าวกล้องงอก
ซึ่งมีเคมีที่ช่วยดับอักเสบอย่าง “วิตามินบี” มาก ช่วย
สมานแผลที่กำลังอักเสบอยู่และปกป้องช่องปากจาก
แผลร้อนใน หากต้องการเพิ่มคุณค่า เวลาดื่มน้ำข้าว

กล้องงอกให้ใส่ธัญพืชเข้าไปด้วยจะช่วยได้มาก
สำหรับน้ำเก็กฮวยจะดื่มแบบร้อนหรือเย็นก็ช่วยลด
อาการร้อนอักเสบในร่างกายได้หรือจะเป็นน้ำเก็กฮวย
เย็นชื่นใจใส่น้ำตาลพอหวานปะแล่มๆ ช่วยให้ปากที่
ร้อนในสบายขึ้นเหมือนติดแอร์เลยทีเดียว

ที่ว่าเป็นทางเลือกที่จะใช้ช่วยทุเลาอาการร้อนในได้
และในกรณีที่เป็นไม่มากก็รักษาให้หายได้เลย จะได้
ไม่ต้องใช้ “ยาป้ายแก้แผลร้อนใน” บ่อยเกินไป เพราะ
ยาป้ายกลุ่มนี้ถ้าเป็นครีมใสๆ ก็มักมี “สเตียรอยด์”
อ่อนๆ ผสมอยู่ ถ้าทาไปนานๆ อาจพาเชื้ออักเสบ
เข้ามาแถมได้อีก เช่น เชื้อหนองและเชื้อรา กลายเป็น
ยิ่งทายิ่งร้อนในแสนปวดใจเวลาตกใจของอร่อย

ที่มา: www.healthandcuisine.com



แอ่วเมืองเหนือ ต้นตา ‘ชากระเมืองไทย’

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

ปีนี้กว่าอากาศหนาวจะมาเยือนกรุงเทพฯ ก็กินเวลาภาคฤดูร้อนแล้ว แต่สำหรับ จังหวัดภาคเหนือปีนี้ได้สัมผัสอากาศเย็นสบายก่อนคนอื่น นักท่องเที่ยวหลาย คน จึงนึกถึงการไปสัมผัสความหนาวเย็น พร้อมชมความงามในฤดูหนาว หากมีโอกาส ได้ไปสัมผัสความสดชื่นจากธรรมชาติสวยๆ กับเลือกกินหน่อกุ๊ยสักตัว คงจะดีไม่น้อย

ในฤดูกาลท่องเที่ยวหน้าหนาว นอกจากการไปสัมผัสบรรยากาศหนาวเย็นบนยอดดอยต่างๆ แล้ว อีกหนึ่งไฮไลต์ในช่วงหนาวๆ แบบนี้ก็คือ การได้ไปชมความงามของสีชมพูสะพรั่งที่เรียงรายสวยงามเป็นทิวแถวของดอก “ชากระเมืองไทย” ที่ไม่ต้องไปไกลถึงดินแดนอาทิตยอยู่ย สำหรับชากระเมืองไทย หรือ “ต้นพญาเสือโคร่ง” เป็นต้นไม้ที่จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับต้นชากระของประเทศญี่ปุ่นคือ วงศ์กุหลาบ (Rosaceae) โดยนางพญาเสือโคร่งอยู่ในสกุล Prunus เช่นเดียวกับต้นเชอร์รี่ แอปริคอต พลัม แอปเปิ้ลท้อ และสาลี่ ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่ชอบอากาศหนาวเย็น

ต้นนางพญาเสือโคร่ง มักพบอยู่ตามไหล่เขาหรือบนสันเขา บริเวณเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป ที่มีอากาศหนาวเย็น ในช่วงก่อนที่ต้นนางพญาเสือโคร่งจะออกดอกนั้น จะเหมือนกับต้นไม้ใกล้ตาย เพราะมันจะทิ้งใบจนหมดต้น เหลือแต่กิ่งเปล่าๆ แต่หลังจากที่ใบร่วงไปทั้งต้นแล้วนางพญาเสือโคร่งก็จะผลิดอก โดยจะออกเป็นช่อกระจุกตามปลายกิ่ง ให้สีส้มชมพูสดไส โดยเฉพาะยามที่ดอกบานเต็มต้นจะประหนึ่งเหมือนพรมสีชมพูปกคลุมไปทั่วทั้งต้น ดึงดูดตามองเห็น เป็นที่หลงใหลของผู้ที่ได้พบเห็นอยู่เสมอ และในช่วงเวลาที่ต้นพญาเสือโคร่ง



จะออกดอกบานชมพูสะพรั่งก็คือ ช่วงกลางเดือนมกราคม-กลางกุมภาพันธ์ อย่างไรก็ตามนางพญาเสือโคร่งจะผลิบานเต็มที่หรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละปี สำหรับการไปชมความงามของดอกพญาเสือโคร่งในประเทศไทยนั้นมีหลายที่ด้วยกัน ซึ่งครั้งนี้อเราจะพาไปยังจุดชมดอกพญาเสือโคร่งขึ้นชื่อในจังหวัดเชียงใหม่ทั้ง 4 แห่ง

ชมชากระใกล้เมือง ที่ “ขุนช่างเคี่ยน”

สถานที่แรกที่ไม่ควรพลาดในการไปชมความงามของดอกชากระเมืองไทยนั้นคือ “สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยน” ในอำเภอเมือง เรียกว่า เป็นที่ที่มีดอกชากระเมืองไทยให้ได้ชมกันใกล้ๆ ตัวเมืองเชียงใหม่ โดยหากขับรถขึ้นไปยังดอยสุเทพ ผ่านพระธาตุดอยสุเทพ พระตำหนักภูพิงคราชนิเวศน์ ผ่านพระตำหนักดอยปู่ไป๋อีกประมาณ 7 กิโลเมตร ก็จะถึงบ้านขุนช่างเคี่ยน ระหว่างทางจะมีดอกพญาเสือโคร่งให้เห็นอยู่เรื่อยๆ จนไปถึงภายในหมู่บ้านมั้ง นับว่าเป็นแหล่งชมชากระเมืองไทยที่สวยงามไม่แพ้ที่ใดเลย

ที่ขุนช่างเคี่ยนนี้ นับเป็น “หุบเขาสีชมพู” ที่มีต้นพญาเสือโคร่งอยู่มากมาย โดยมีลักษณะเป็นดอยอยู่รวมกัน ผลิออกสะพรั่งไปทั่ว ถ้าหากไปในช่วงเวลาที่ดอกพญาเสือโคร่งบานสะพรั่งเต็มที่ จะยิ่งดึงดูดคนรัก ประหนึ่งว่าเป็นถนนสายสีชมพูที่เต็มไปด้วยความหวานจากสีของดอกพญาเสือโคร่ง เรียกได้ว่าเป็นถนนสายสีชมพูสุดโรแมนติกทีเดียว

ชมความงามชากระ ที่ “ขุนแม่ยะ”

“ขุนแม่ยะ” หรือ “หน่วยจัดการต้นน้ำขุนแม่ยะ” ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่คาบเกี่ยวของอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ และตำบลแม่อ้อ อำเภอป่าป้อ จังหวัดแม่ออน

เป็นอีกแห่งหนึ่งที่มีนักท่องเที่ยวมาชมดอกชากระเมืองไทยกันได้ โดยที่นี่มีการปลูกกันต้นนางพญาเสือโคร่งอย่างหนาแน่นทั่วพื้นที่ เมื่อทุกต้นออกดอกพร้อมๆ กัน จึงคล้ายมีพรมสีชมพูปกคลุมทั่วด้วย

ขุนแม่ยะ หรือที่นิยมเรียกกันว่า “ดอยสีชมพู” มีต้นนางพญาเสือโคร่งมากมาย ซึ่งจะบานพร้อมๆ กันเต็มสันเขา โดยที่ขุนแม่ยะนี้มีบริเวณให้เดินเที่ยวชมดอกชากระได้อย่างจุใจ อีกที่ที่มีพื้นที่สำหรับกางเต็นท์พักค้างแรมได้ต้นชากระได้อีกด้วย

การเดินทางไปที่นี้ค่อนข้างลำบาก เพราะเป็นเส้นทางลูกรัง คดเคี้ยว บางช่วงแคบแถมยังเส้นอีกต่างหาก รถที่จะขับขึ้นไปควรเป็นรถ 4WD ซึ่งจะมีให้บริการอยู่ตรงปากทางเข้าโดยนักท่องเที่ยวสามารถจอดรอไว้ด้านล่าง และติดต่อใช้บริการรถของชาวบ้านในพื้นที่ได้

ชมขุนบานสะพรั่ง ที่ “ขุนวาง”

ไปต่อกันที่ “สถานีเกษตรหลวงเชียงใหม่” หรือ “ขุนวาง” ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ของอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ อำเภอแม่วาง อีกจุดยอดนิยมของการไปชมความงามของดอกไม้สีชมพูแสนหวานชนิดนี้ ซึ่งที่นี่มีการปลูกต้นพญาเสือโคร่งไว้ตลอดแนวของถนนภายในสถานีฯ ดูสวยสดงดงามจริงๆ

นอกจากไปชมความงามของดอกชากระที่ขุนวางแล้วยังสามารถไปเที่ยวชมความงามของดอกไม้เมืองหนาวบนยอดดอยอินทนนท์ได้อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นกุหลาบพันปี รักร้อย เป็นต้น ระหว่างทางจากดอยอินทนนท์ยังสามารถแวะเที่ยวชมน้ำตก 3 แห่ง คือ น้ำตกวชิรธาร น้ำตกแม่กลาง และน้ำตกแม่ยะ หรือจะขึ้นไปเที่ยวจุดสูงสุดแดนสยาม เดินเที่ยวป่าโบราณในเส้น

ทางการศึกษาธรรมชาติอ่างกา ไหว้พระมหาธาตุแม่เหนือและพระมหาธาตุแก้วมิลิรี 2 พระมหาธาตุศักดิ์สิทธิ์คู่ดอยอินทนนท์ ได้อีกด้วย

ยลความงามสองข้างทาง ที่ “ดอยอ่างขาง”

ส่งท้ายกับแหล่งชมชากระเมืองไทยกันที่ “สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง” อำเภอฝาง ที่ขึ้นชื่อในเรื่องของการเป็นแหล่งชมดอกไม้เมืองหนาวนานาชนิด และยังเป็นอีกหนึ่งแห่งในการไปชมชากระอันสวยงาม จุดเด่นของที่นี่ นอกจากจะมีชากระไทยอย่างนางพญาเสือโคร่งให้ชมตลอดตลอดทั้งสองข้างทางของถนนที่ขึ้นไปยังดอยอ่างขางแล้ว ภายในสถานีเกษตรหลวงอ่างขางยังมีต้นชากระแท้ๆ จากญี่ปุ่นปลูกไว้ให้ได้ชมและถ่ายรูปกันอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีจุดท่องเที่ยวอื่นๆ ภายในดอยอ่างขาง อาทิ สวนแปดสิบชนิด สวนกุหลาบอังกฤษ สวนรับเสด็จ อาคารไม้ดอกเมืองหนาว สวนบอนไซ โรงเรือนแปลงกุหลาบ และยังมีแปลงไม้ผลเมืองหนาว เช่น ท้อ บ๊วย พลัม สตรอเบอร์รี่ สาลี่ ราสเบอร์รี่ รวมไปถึงดอกไม้เมืองหนาวมากมาย ไม่ว่าจะเป็นคาร์เนชั่น กุหลาบ แอสเตอร์ เบญจมาศ ให้นักท่องเที่ยวได้เดินยลในความงดงาม พร้อมสัมผัสอากาศเย็นสบายไปด้วยพร้อมๆ กัน

ไม่เพียงแต่จังหวัดเชียงใหม่เท่านั้นที่จะสามารถไปชมชากระเมืองไทย หรือดอกพญาเสือโคร่งกันได้ จังหวัดอื่นๆ ที่มีอากาศหนาวเย็น ไม่ว่าจะเป็นดอยแม่สลอง อ.แม่ฟ้าหลวง ดอยว้า-ดอยช้าง อ.แม่สรวย จ.เชียงราย อุทยานแห่งชาติขุนสถาน จ.น่าน ภูฟ้าเบิก จ.เพชรบูรณ์ และภูมิลือ จ.เลย ก็มีชากระเมืองไทย สีชมพูพราวสะพรั่งให้ชมเช่นกัน

ABB เปิดสำนักงานสาขาชาว์กัว ประเทศพม่า

บริษัท เอบีบี จำกัด รุดหน้าขยายธุรกิจและบริการที่ครอบคลุม จัดพิธีเปิดสำนักงานสาขาทันที ประเทศพม่าอย่างเป็นทางการ ขึ้น ณ Chatrium Hotel Royal Lake Yangon โดยมีผู้บริหารเอบีบี และพันธมิตรธุรกิจกว่า 100 ราย เข้าร่วมงานและแสดงความยินดี



ABB จัดกิจกรรม CSR ณ โรงเรียนวัดกาหลง

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการมอบสิ่งดี ๆ กลับคืนสู่สังคม จัดกิจกรรม CSR ให้กับนักเรียนโรงเรียนวัดกาหลง ต.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ โดยได้บริจาคสิ่งของ และซ่อมมอบห้องนอนของน้องๆ ชั้นอนุบาลที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้สวยงาม ด้วยการปูกระเบื้อง ติดเหล็กคัตหน้าต่าง ทาสี และซ่อมแซมบันไดให้แข็งแรง ทั้งนี้เพื่อสุขภาพที่ดีและความปลอดภัย พร้อมกันนี้ ยังได้จัดเลี้ยงอาหารกลางวันเมื่อพิเศษให้แก่น้องๆ อีกด้วย

ABB จัดอบรม Integrity ให้แก่ลูกค้า Channel Partners

บริษัท เอบีบี จำกัด จัดอบรม Integrity ให้แก่ลูกค้ากลุ่ม Channel Partners ประจำปี 2014 ซึ่งจัดขึ้นเป็นประจำทุกปี เพื่อให้เอบีบีและ Channel Partners ได้มีโอกาสพูดคุยและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหัวข้อต่างๆ อันเนื่องมาจาก Integrity ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการทำธุรกิจร่วมกัน โดยมีทีมงานฝ่ายกฎหมายของเอบีบีเป็นผู้บรรยายให้ความรู้ความเข้าใจในเรื่องดังกล่าว



เยี่ยมชมโรงงาน ABB นิคมอุตสาหกรรมบางปู

บริษัท เอบีบี จำกัด ให้การต้อนรับผู้บริหารและเจ้าหน้าที่จากการประมาณการหลวง ในโอกาสเข้าเยี่ยมชมศึกษา ดูงานกระบวนการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังต่างๆ ที่โรงงาน นิคมอุตสาหกรรมบางปู เพื่อเพิ่มพูนความเข้าใจในเทคโนโลยีปัจจุบันทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

ABB ร่วมกิจกรรม “Save Energy Save the World”

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยกลุ่มธุรกิจ Low Voltage Products และ Power Products – Capacitors เข้าร่วมออกบูธแสดงผลภัณฑ์ในกิจกรรม “Save Energy Save the World” นิทรรศการด้านอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจัดขึ้นโดยบริษัท ผลิตไฟฟ้าราชบุรี จำกัด ณ โรงแรมเนชั่น โรงแรมราชบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจให้แก่บุคลากร พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อพัฒนาการจัดการด้านพลังงาน



ABB จัดอบรมการบำรุงรักษา Joslyn Capacitor Switch (VBM)

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยกลุ่มธุรกิจ Low Voltage Products – Thomas & Betts ร่วมกับบริษัท ไทยวิวัฒน์ จำกัด จัดอบรมในหัวข้อเรื่อง “Joslyn VBM – Operation & Maintenance” ให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต บางกรวย โดย Joslyn VBM Switch เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน้าที่ตัดต่อวงจร Capacitor โดยใช้สัญญาณภาคเป็นฉนวนไฟฟ้าหลัก เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องแก๊สรั่วและสะดวกในการบำรุงรักษา



LV Capacitor CLMD. Reliability for power factor correction.



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

คาแพซิเตอร์เอบีบี ออกแบบให้มีคุณภาพและความน่าเชื่อถือสูงสุด แข็งแรงทนทาน ติดตั้งง่าย มีหลายขนาดให้เลือกตามความเหมาะสม กระบวนการออกแบบผลิตและทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60831-1&2 นอกจากนี้ยังผ่านการรับรองระบบคุณภาพ ISO 9001 และ ISO 14001 จึงมั่นใจได้ในคุณภาพและการรักษาสีสิ่งแวดล้อม

นี่คือคาแพซิเตอร์คุณภาพ นึกถึงเอบีบี www.abb.com