power quality

03|2017

04 – 09 **Potential improvement**
10 – 15 **Wind protection**
20– 25 **A Bright Future**
26 – 31 **Boundaries of knowledge**

Editorial

Editor’s talk

เข้าสู่ช่วงปลายฝนต้นหนาว ปีนี้คนไทยโดยเฉพาะเกษตรกรและชาวนาคงได้ยิ้มกันชื่นบาน หลังจากที่ธรรมชาติสั่งฝนให้ตกมาอย่างชุ่มฉ่ำ เพิ่มปริมาณน้ำในเขื่อน แต่ก็มีคนไทยบางส่วนที่ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของพายุที่แผ่เข้าปกคลุมประเทศไทย ทำให้มีฝนตกหนักต่อเนื่อง จนหลายพื้นที่ต้องเผชิญกับสภาวะน้ำท่วม ซึ่งหลายหน่วยงานได้ให้ความช่วยเหลือจนผ่านพ้นวิกฤตมาได้ น้ำใจดีๆ ของคนไทยยังคงมีให้เห็นอยู่เสมอ

power quality ฉบับนี้ นำเสนอเรื่องน่าสนใจ อาทิ Potential improvement การปรับปรุงศักยภาพ, A Bright Future อนาคตที่สว่างไสว, Boundaries of knowledge ขอบเขตขององค์ความรู้ รวมทั้งเรื่องต่อเนื่องประจำฉบับ American National Standard (CCVT), Testing of power transformers and shunt reactors ปิดท้ายฉบับนี้พาเที่ยวใกล้กรุงไปพายเรือชมบัวแดงกันที่ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง นครปฐม

ท่านที่สนใจรับ power quality นิตยสารราย 3 เดือน หรือประสงค์จะเปลี่ยนที่อยู่จัดส่ง สามารถแจ้งมาได้ที่ pattaya.petchtanin@th.abb.com พบกันใหม่ฉบับหน้าส่งท้ายปีระกา

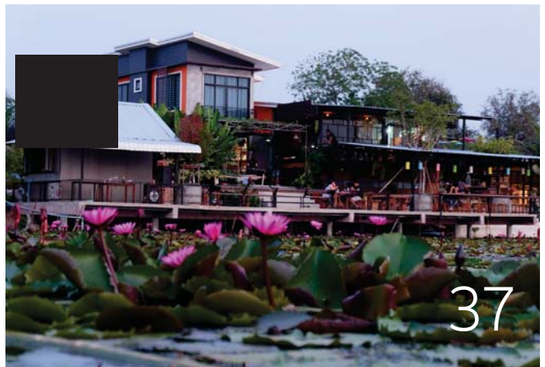
เจ้าของ บริษัท เอบีบี จำกัด • จัดทำโดย High Voltage Products, Power Grids Division
สำนักงานใหญ่ 161/1 อาคารเอสจีทาวเวอร์ ซ.มหาดเล็กหลวง 3 ถ.ราชดำริ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10330 โทร. 0 2665 1000 www.abb.co.th
โรงงาน 322 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซ.6 ถ.สุขุมวิท ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280
ลิขสิทธิ์ ความและรูปภาพทุกชิ้นใน power quality สงวนสิทธิ์ตามกฎหมาย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนหรือบริษัท เอบีบี จำกัด

Wind protection

A Bright Future
อนาคตที่สว่างไสว

Boundaries of knowledge
ขอบเขตขององค์ความรู้

พายเรือชมบัวแดงใกล้เมืองกรุง ที่
“ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน”



02 **Editorial**

Power Quality Series
04 **Potential improvement**
การปรับปรุงศักยภาพ

10 **Wind protection**

International Standard Series
16 **American National Standard (CCVT)**

Special Power Series
20 **A Bright Future** อนาคตที่สว่างไสว

High Voltages Series
26 **Boundaries of knowledge**
ขอบเขตขององค์ความรู้

Power Transformers Series
32 **Testing of power transformers and shunt reactors** (ตอนที่ 4)

Weekend
37 พายเรือชมบัวแดงใกล้เมืองกรุง ที่
“ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน”

Health & Wellness
38 3 สารอาหาร ช่วยการสมานแผล

39 **Movement**

Power Quality Series

Potential improvement การปรับปรุงศักยภาพ

เทคโนโลยีระบบส่งกำลังไฟฟ้าสำหรับรองรับการบูรณาการพลังงานหมุนเวียน

รูปที่ 1

ร.ต.ดร.โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ
ttosak@yahoo.com

Rolf Grunbaum, Simon Vogelsanger, Anders Gustafsson, Janissa Arevalo – เมื่อไม่กี่ปีมานี้ ได้มีการนำเสนอโครงข่ายระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงด้วยความท้าทายที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน โดยมีต้นกำเนิดมาจากการแปรรูปกิจการไฟฟ้า มีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและอุปสรรคต่อการก่อสร้างระบบส่งใหม่ เนื่องจากเงื่อนไขทางด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากของการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าและการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะเมื่อมีการบูรณาการพลังงานหมุนเวียนปริมาณมากๆ เช่น ทุ่งกังหันลมจากนอกชายฝั่งทะเลเข้ามาในโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่มีลมแรงหรือแสงแดดแจดจ้ามากๆ และโหลดน้อยๆ สามารถสร้างปัญหารุนแรงขึ้นได้ความท้าทายเหล่านี้ สามารถจัดการได้โดยเทคโนโลยีที่เป็นผลิตภัณฑ์ของ ABB เช่น FACTS (Flexible Alternating Current Transmission system) และ HVDC (High Voltage Direct Current) ซึ่งทำให้การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นด้วย ความยืดหยุ่น ควบคุมได้และมีความเสถียร

ในทางทฤษฎีขีดจำกัดความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าหรือการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มสายส่งวงจรใหม่และหรือโรงไฟฟ้าใหม่ อุปกรณ์ FACTS ของ ABB ช่วยทำให้บรรลุความสำเร็จในเป้าหมายเดียวกันโดยไม่ต้องเพิ่มระบบหลักดังกล่าวและเทคโนโลยี HVDC เป็นแนวคิดในการเติมเต็มเพื่อจัดการกับความต้องการเพิ่มการส่งกำลังไฟฟ้าให้มากขึ้น

วิธีการแก้ปัญหาด้วย FACTS ได้ถูกต้องเมื่อมีความต้องการตอบสนองอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงความถี่ขาออกหรือการปรับกำลังขาออกให้เรียบ อุปกรณ์หลักในตระกูล FACTS ได้แก่

- เครื่องชดเชยวาร์แบบสถิต (static var compensator: SVC)
- คาพาซิเตอร์อนุกรม (series capacitor: SC)
- อุปกรณ์ชดเชยแบบสถิต (static compensator: STATCOM) SVC Light และ PCS 6000

เครื่องชดเชยวาร์แบบสถิต (Static Var Compensator: SVC)

SVC สามารถคุมค่าแรงดันไลน์และนำค่าแรงดันกลับสู่จุดที่ตั้งค่าไว้ได้อย่างรวดเร็ว หลังจากเกิดเหตุการณ์ขึ้นในระบบไฟฟ้า เช่น การลัดวงจรสายส่งหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกปลดออกจากระบบ SVC จะจ่ายกำลังรีแอกตีฟเพื่อตอบสนองเชิงไดนามิกส์อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ SVC ยังสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า ลดการสูญเสีย ลดการแกว่งของกำลังจริงและป้องกันแรงดันเกิน ขณะที่ระบบมีการสูญเสียโหลดไปขีดความสามารถของการจ่ายวาร์ปได้อย่างรวดเร็วทำให้ SVC เหมาะสำหรับการทำงานต่อไปนี้

- ควบคุมแรงดันในสภาวะไดนามิกส์และอยู่ตัวเพื่อให้มีการส่งกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นและลดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน
- ปรับปรุงเสถียรภาพของเครื่องจักรกลซิงโครนัส เพื่อเพิ่มมุมของสภาวะเสถียรภาพและปรับปรุงการหน่วงการแกว่งของกำลังไฟฟ้า
- ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดในอุตสาหกรรมหนัก

—
รูปที่ 1
คาพาซิเตอร์อนุกรม 400 kV ที่ Asmunti ประเทศฟินแลนด์

เมื่อไม่นานมานี้มีการใช้ SVC ของ ABB จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดมีขนาด ±250 Mvar ในระบบส่งแรงดัน 420/300 kV ของประเทศนอร์เวย์ โดย SVC เหล่านี้ ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า Viklandet และ Tunnsjødal เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการนำเข้ากำลังไฟฟ้าในภูมิภาคนี้ได้สูงถึง 400 MW

คาพาซิเตอร์อนุกรม (Series Capacitor: SC)

การชดเชยแบบอนุกรมในวงจรสายส่งไฟฟ้าด้วยคาพาซิเตอร์มีประโยชน์หลายประการดังนี้

- เพิ่มการส่งกำลังจริงโดยปราศจากการละเมิดเสถียรภาพของแรงดันหรือมุม
- เพิ่มเสถียรภาพของแรงดันและมุมสำหรับระดับของการส่งกำลังไฟฟ้าที่กำหนด
- ลดการสูญเสียในระบบส่งไฟฟ้าได้ในหลายๆ กรณี
- ลดความต้องการจำนวนวงจรของสายส่งไฟฟ้าลง

SC ต้องการการควบคุมป้องกันและการตรวจตรา เพื่อให้มันสามารถทำงานเป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าได้ เมื่อ SC กำลังทำงานที่ระดับแรงดันเดียวกันกับระบบ SC จึงต้องการการฉนวนเต็มที่จากศักย์ดิน อุปกรณ์ป้องกันหลักใน SC คือ วารีสเตอร์ (Varistor) ชนิดซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ใช้จำกัดแรงดันตกคร่อมคาพาซิเตอร์ให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัยและป้องกันกระแสลัดวงจรใดๆ อุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานรวดเร็วมักใช้สำหรับบายพาส SC เมื่อวารีสเตอร์ไม่สามารถรับกระแสฟอลต์ส่วนเกินได้

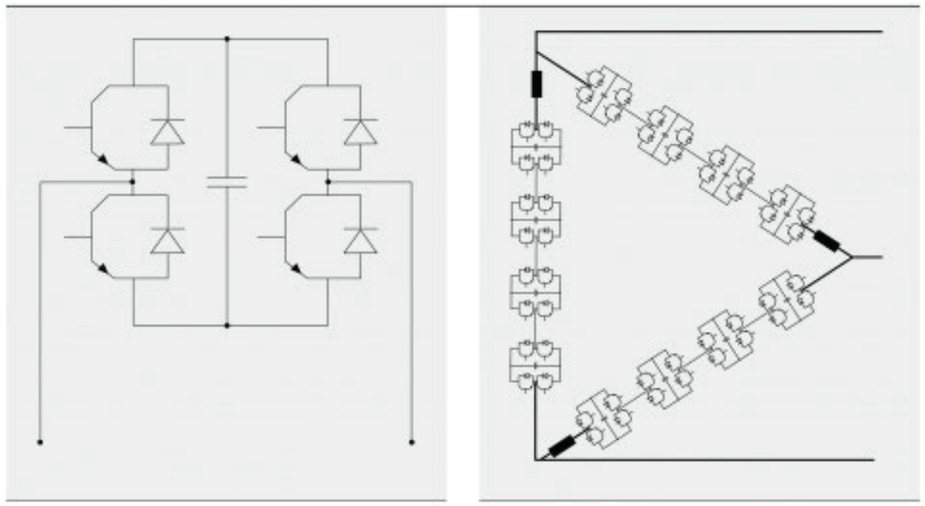
ฟินกริด (Fingrid) ผู้ปฏิบัติการระบบส่งของประเทศฟินแลนด์ร่วมกับ ABB ติดตั้ง SC จำนวน 2 ชุด (ขนาด 301 และ 369 Mvar) เพื่อช่วยให้สายส่งมีขีดความสามารถตรงกับความต้องการปรับปรุงเสถียรภาพของโครงข่ายไฟฟ้าและยกระดับการส่งกำลังไฟฟ้าออกไปประเทศสวีเดนได้ 200 MW (รูปที่ 1)

SVC Light

SVC Light เป็นอุปกรณ์ประเภท STATCOM อิงตามแนวคิดห่วงโซ่แยกส่วน (Chain-link Modular) คอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Converter: VSC) หลายระดับที่ดัดแปลงมาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้า SVC Light สามารถส่งกำลังรีแอกตีฟไปยังโครงข่ายไฟฟ้าด้วยการตอบสนองเชิงไดนามิกส์สูง ตัวอย่างเช่น SVC Light สามารถรองรับโครงข่ายไฟฟ้าที่อ่อนแอ ปรับปรุงทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่ให้พร้อมรับภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงของโครงข่ายไฟฟ้าและลดภาระของโครงข่ายไฟฟ้าในประเทศร้อนที่มี

—
รูปที่ 2
การจัดตั้งคอนเวอร์เตอร์แบบห่วงโซ่หลายระดับ

—
รูปที่ 3
หน่วยแยกส่วนของ H บริดจ์



รูปที่ 2 (ก) H บริดจ์ใช้ IGBT (ชุดเดียวใน 1 เฟส) (ข) H บริดจ์แบบห่วงโซ่ 3 เฟส

โหลดเป็นเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมาก

IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistors) คือ ส่วนประกอบสำคัญของ SVC Light วิธีการแก้ปัญหาห่วงโซ่หลายระดับได้ด้วยการสร้างการต่อเชื่อม H บริดจ์แยกส่วนแบบอนุกรมให้เป็นหนึ่งเฟสของสาขา VSC (รูปที่ 2)

SVC Light พร้อมใช้กับระบบแรงดันสูงถึง 69 kV และคอนเวอร์เตอร์มีพิกัดสูงถึง ±360 Mvar (รูปที่ 3) สำหรับแรงดันที่สูงกว่านี้ให้ใช้หม้อแปลงแรงดันลงเพื่อต่อ SVC Light เข้ากับโครงข่ายไฟฟ้า

Transelec S.A. เป็นเจ้าของและผู้ปฏิบัติการระบบส่งในประเทศชิลี ตัดสินใจติดตั้ง SVC Lightเพื่อเพิ่มเสถียรภาพเชิงไดนามิกส์และขีดความสามารถของโครงข่ายไฟฟ้า อุปกรณ์มีพิกัดกำลังที่ 65 Mvar (อินดักตีฟ) ถึง 140 Mvar (คาพาซิตีฟ) ที่แรงดัน 220 kV โดยติดตั้งที่สถานีไฟฟ้า Cerro Navia ใน Santiago de Chile เป็นพื้นที่บริเวณโหลดหนาแน่น ด้วยการเพิ่มขีดความสามารถ SVC Light ปรับค่าและควบคุมแรงดันของโครงข่ายไฟฟ้า 220 kV ภายใต้สภาวะอยู่ตัวและฉุกเฉิน ตอบสนองกำลังรีแอกตีฟหลังระบบเกิดเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว

รูปที่ 3

PCS 6000 STATCOM และการส่งกำลังไฟฟ้านอกชายฝั่งทะเล

เนื่องจากกระแสลมในทะเลแรง โดยเฉพาะช่วงบ่ายเป็นเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามาก จึงมีการก่อสร้างทุ่งกังหันลมบริเวณชายฝั่งทะเลเพิ่มมากขึ้น ทุ่งกังหันลมชายฝั่งทะเลส่งกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลง เพื่อแปลงแรงดันให้สูงขึ้นและผ่านสายเคเบิลขึ้นฝั่งเพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าโครงข่ายไฟฟ้า ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมอยู่ห่างไกลจากส่วนหลักของโครงข่ายไฟฟ้า ประเด็นเสถียรภาพและความเชื่อถือได้จึงถูกหยิบยกขึ้นมา ซึ่งเป็นที่มาของผู้ปฏิบัติการระบบส่งจึงความเข็มงวดต่อกฎระเบียบสำหรับเชื่อมโยงโครงข่ายไฟฟ้า (grid code) จำเพาะที่สัมพันธ์กับกำลังรีแอกตีฟ การควบคุมแรงดันและขีดความสามารถของการรับฟอลต์

FACTS สามารถจัดเตรียมการควบคุมแรงดันเชิงไดนามิกส์ได้อย่างรวดเร็วเป็นไปตามความต้องการของกฎระเบียบสำหรับเชื่อมโยงโครงข่ายไฟฟ้า ขณะที่กลไกดั้งเดิมที่เป็นองค์ประกอบของการสวิตช์กำลังรีแอกตีฟ เช่น ชุดคาพาซิเตอร์และชุดรีแอกเตอร์ไม่สามารถทำได้

ส่วนยอดของการใช้รีแอกแตนซ์ของโครงข่ายไฟฟ้านั้น หม้อแปลงของทุ่งกังหันลมและสายเคเบิลเพิ่มรีแอกแตนซ์ ซึ่งแปรไปกับกำลังจริงขาออก การเพิ่มแหล่งจ่ายกำลังรีแอกตีฟที่มีการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ จึงต้องการให้มีการชดเชยด้วย ซึ่งการชดเชยสามารถทำได้ โดยการใช้ PCS 6000 STATCOM ของ ABB

—
รูปที่ 4
การทดสอบเฉพาะแบบสำหรับสายเคเบิลของระบบ HVDC

PCS 6000 มีการทำงานเป็นไปตามกฎเกณฑ์ของโครงข่ายไฟฟ้าและการชดเชยกำลังเชิงไดนามิกส์ สำหรับทุ่งกังหันลมถูกออกแบบให้กะทัดรัด เป็นระบบแยกส่วนสำหรับการใช้งานได้กำลังสูงถึง 38 Mvar ต่อหน่วย หากต้องการกำลังที่สูงกว่านี้ สามารถทำได้โดยการขนาน PCS 6000 หลายๆ หน่วยเข้าด้วยกัน มีการใช้งาน PCS 6000 มากกว่า 20 หน่วยในทุ่งกังหันลมหลายแห่งเรียบร้อยแล้ว

SVC คาพาซิเตอร์อนุกรมและ STATCOM เป็นอุปกรณ์ช่วยเสริม ระบบส่งไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนเทคโนโลยี HVDC ทำให้ระบบส่งไฟฟ้ากระแสตรงมีความง่ายขึ้น

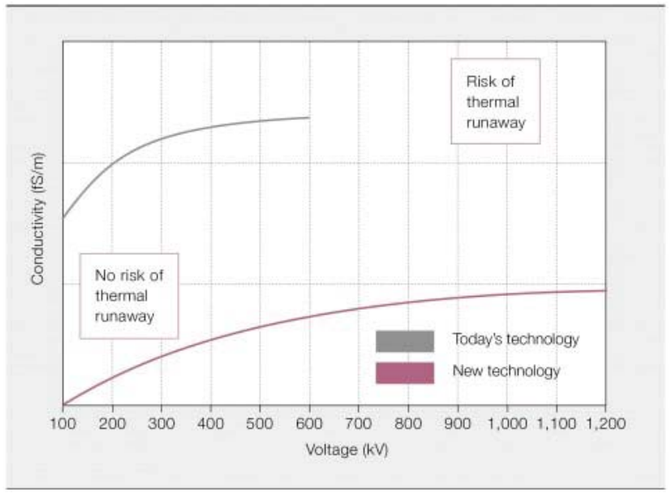
HVDC Light (เทคโนโลยี VSC)

โดยทั่วไป HVDC เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพต่อค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งไฟฟ้าปริมาณมากๆ มีระยะทางมากกว่า 600 km ด้วยสายส่งในอากาศและประมาณ 50 ถึง 100 km ในกรณีเป็นสายใต้ดินหรือสายเคเบิลใต้ทะเล อย่างไรก็ตามหลายปัจจัยทำให้เทคโนโลยี HVDC (โดยเฉพาะ HVDC อิงตาม VSC เช่น HVDC Light ของ ABB) มีส่วนเติมเต็มสำหรับโครงข่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่กำลังวิวัฒน์อยู่ ตัวอย่างเช่น ระบบ HVDC Light สามารถมีสภาพเป็นกลางสำหรับสนามเหล็กไฟฟ้า สายเคเบิลไม่ใช้ฉนวนด้วยน้ำมันและสถานีคอนเวอร์เตอร์เล็กกะทัดรัด ยิ่งกว่านั้นยังช่วยจัดบูรณาการการเพิ่มเข้ามาของพลังงานหมุนเวียนด้วยการควบคุมกำลังจริงและกำลังรีแอกตีฟ (อิสระต่อกัน) ได้อย่างรวดเร็ว จัดเตรียมการรองรับแรงดันและการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าข้อดีอื่นๆ เช่น ความสามารถในการเริ่มเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากลับสู่ระบบ (back start) และความสามารถในการต่อกับโครงข่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่อ่อนแอ จึงทำให้ HVDC Light เป็นที่น่าสนใจ สำหรับการต่อเชื่อมโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกันและการจัดเตรียมกำลังไฟฟ้าให้กับระบบแยกโดดหรือพื้นที่เขตเมืองหนาแน่น การต่อเชื่อมระบบส่งให้แข็งแกร่งช่วยให้ลดความไม่เสถียรและเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากผลของความราบเรียบของสภาพภูมิศาสตร์ตลอดพื้นที่ผืนใหญ่

HVDC Light – แรงดันสูงสุดและสายเคเบิลยาวที่สุด

เมื่อไม่นานมานี้ ABB ตั้ง HVDC Light ที่ระดับแรงดัน 500 kV (ระบบ Skagerrak) แรงดันสูงเป็นสถิติโลกเชื่อมโยงระหว่างประเทศนอร์เวย์และเดนมาร์ก ABB ส่งมอบทั้ง 4 ระบบ Skagerrak ของการเชื่อมโยง: Skagerrak 1 และ 2 เกิดขึ้นใน

รูปที่ 4



—
รูปที่ 5
การเปรียบเทียบความนำกับแรงดันสำหรับระบบฉนวนสายเคเบิลของ HVDC ใหม่และก่อนหน้านี้

ช่วงทศวรรษ 1970 Skagerrak 3 ในปี 1993 และปัจจุบันคือ Skagerrak 4 ระบบ มีความยาว 240 km และจัดเตรียมขีดความสามารถในการส่งไฟฟ้าได้ 1700 MW เพื่อใช้โรงไฟฟ้าพลังน้ำในนอร์เวย์ ทำการสมดุลกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในเดนมาร์ก

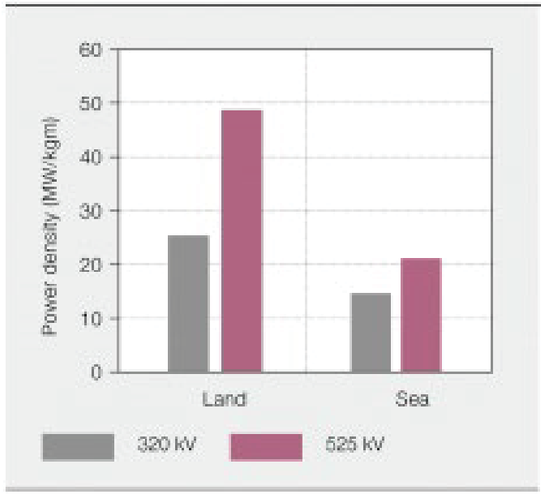
Skagerrak 4 ประกอบด้วย VSC ขนาด 700 MW จำนวน 2 สถานี การเชื่อมโยงชุดใหม่ทำงานในโหมดสองขั้ว (bipolar mode) โดยเชื่อมโยงกับ Skagerrak 3 ซึ่งใช้เทคโนโลยี HVDC แบบดั้งเดิม (line-commutated converter) นี่เป็นครั้งแรกที่นำสองเทคโนโลยีมาต่อเชื่อมกันในการจัดการแบบสองขั้ว ระบบควบคุม advanced MACH ของ ABB ถูกใช้เพื่อเป็นผู้ดูแลการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่มีวิธีการแตกต่างกันระหว่างสองเทคโนโลยี

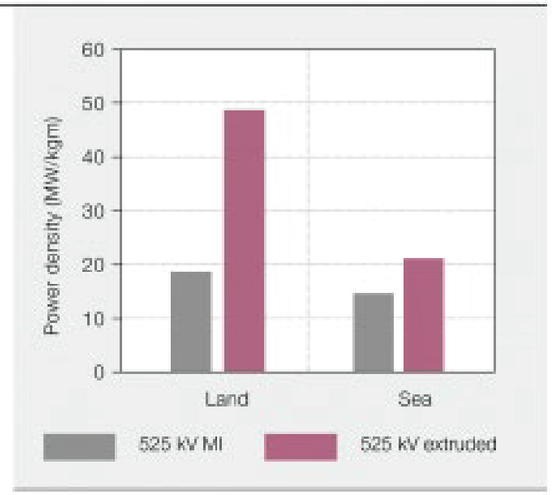
ABB จะส่งมอบนอร์ดบาลต์ (NordBalt) สายเคเบิลของ HVDC ที่มีความยาวที่สุดในโลกด้วย เชื่อมโยงระหว่างประเทศสวีเดนและลิธัวเนีย นอร์ดบาลต์ (300 kV/700 MW) ประกอบด้วยคู่ของสายเคเบิลด้วยระยะทาง 53 km บนพื้นดินและ 400 km ใต้ทะเลบอลติก เส้นทางของสายเคเบิลผ่านพื้นที่วางทุ่นระเบิดในอดีตและพื้นดินที่ถูกระเบิด พร้อมทั้งผ่าน Natura 2000 เป็นพื้นที่รักษาธรรมชาติอยู่ด้านลิธัวเนีย สายเคเบิลมีความแข็งแกร่งในการจ่ายไฟฟ้าและความมั่นคงด้านพลังงานทั้งสองฝั่งของทะเลบอลติกและรวมตลาดซื้อขายไฟฟ้าบอลติกที่เกิดใหม่เข้ากับตลาดนอร์ดิก

ระบบสายเคเบิลใหม่ มากไปด้วยความแข็งแกร่ง

เทคโนโลยีระบบสายเคเบิลของ HVDC เหมาะสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพผ่านพื้นที่ประชากรหนาแน่นหรืออ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อม หรือการใช้งานในน่านน้ำชายฝั่งและทะเลเปิด ABB พัฒนาและประสบความสำเร็จกับการทดสอบระบบสายเคเบิลกระแสตรงแรงดัน 525 kV ด้วยพิกัดกำลังมากกว่า 2 GW สำหรับการใช้งานใต้ทะเลและใต้ดิน นวัตกรรมของระบบนี้ใช้วัสดุฉนวนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นครอสลิงค์โพลิอิทิลีน (crosslinked poly- ethylene: XLPE) แบบใหม่ ส่วนบุชชิ่งจุดต่อเคเบิลภาคพื้นดินและจุดต่อเคเบิลแบบยืดหยุ่นใต้ทะเล อิงตามเทคโนโลยีของ ABB ซึ่งเป็นชนิดปลอดจากน้ำมันและกระเบื้องเคลือบ ระบบสายเคเบิล HVDC แรงดัน 525 kV รุ่นใหม่นี้เปิดตัวสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าในอนาคตและเป็นการก้าวเข้าสู่วิสัยทัศน์โครงข่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการบูรณาการของตลาดซื้อขายไฟฟ้าและการใช้งานพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น (รูปที่ 4) คู่ของสายเคเบิล HVDC แรงดัน 525 kV สามารถส่งกำลังไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมชายฝั่งทะเลเพื่อจ่ายให้ที่อยู่อาศัย 2 ล้านครัวเรือนได้อย่างเพียงพอ

วัสดุฉนวนของสายเคเบิลของ HVDC ที่ดีต้องมีความนำไฟฟ้ากระแสตรงต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียเชิงความร้อน ความนำของวัสดุฉนวนเพิ่มขึ้นตามสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิ ดังนั้นความนำที่สูงกว่า ย่อมเพิ่มความเสี่ยงของความร้อนที่ควบคุมไม่อยู่และการล้มเหลวทางไฟฟ้ารูปที่ 5 เปรียบเทียบความนำของสายเคเบิลใหม่กับสายเคเบิลอื่นๆ สายเคเบิลเก่ามีความเสี่ยงต่อความร้อนที่ควบคุมไม่อยู่เพิ่มเมื่อแรงดันทดสอบเฉพาะแบบ (type test) เกิน 600 kV ในอดีตได้ละเลยความเสี่ยงนี้ มาให้ความสนใจต่อเมื่อระดับแรงดันสูงมากกว่าเดิมมากขึ้น





รูปที่ 6 (ก) สายเคเบิลกระแสตรง 320 kV เป็นการเปรียบเทียบสำหรับ 1.5 GW หรือน้อยกว่า (525 kV อลูมิเนียม, 320 kV ทองแดง) (ข) สายเคเบิล MI (ตัวนำอลูมิเนียม)

—
รูปที่ 6
การเปรียบเทียบความหนาแน่นของกำลังต่อน้ำหนักและความยาวของสายเคเบิล 525 kV

อุปกรณ์ส่วนปลายสุดของเคเบิลรุ่นใหม่อิงตามเทคโนโลยีบุชชิ่งของ HVDC ในปัจจุบันของ ABB ลูกถ้วยส่วนผสมโพลิเมอร์ให้ความปลอดภัยมากที่สุด ปราศจากความเสี่ยงของชิ้นส่วนที่แหลมคมจากการระเบิด ความปลอดภัยนี้ได้จากสารที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นแบบยางธรรมชาติ (adapters and stress cone) รวมถึงวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงสันทางไฟฟ้าและองค์ประกอบเชิงเลขาคณิต

ระบบสายเคเบิลกระแสตรงแรงดัน 525 kV สามารถส่งไฟฟ้าตลอดระยะทางได้มากกว่าวิธีการเดิมถึง 50% (เช่น ระบบสายเคเบิลกระแสตรงแรงดัน 320 kV) เทคโนโลยีสามารถทำให้น้ำหนักของสายเคเบิลต่อเมกะวัตต์ของขีดความสามารถในการส่งไฟฟ้าได้ต่ำสุด และแรงดันที่สูงกว่าทำให้ระบบส่งมีความเชื่อได้และพลังงานสูญเสียต่ำ

เปรียบเทียบกับระดับแรงดัน 320 kV การส่งกำลังไฟฟ้ากำหนดเป็น MW/kgm (กำลังไฟฟ้าต่อกิโลกรัมของเคเบิลยาวหนึ่งเมตร) มีค่าประมาณ 2 เท่า สำหรับสายเคเบิลที่อยู่ภาคพื้นดินและมากกว่า 50% สำหรับสายเคเบิลใต้ทะเล (รูปที่ 6 (ก)) เมื่อเปรียบเทียบกับสายเคเบิลของ HVDC แบบดั้งเดิมที่มีฉนวนประกอบด้วยกระดาษชุ่มน้ำมันความหนืดสูง (MI cables) ปรากฏว่าสายเคเบิลกระแสตรงฉนวนด้วย XLPE มีข้อดีที่เหนือกว่าในเทอมของ MW/kgm (รูปที่ 6 (ข)) และการต่อเชื่อมสายเคเบิลกระแสตรงฉนวนด้วย XLPE ใช้เวลาน้อยกว่าสายเคเบิล MI อย่างมีนัยยะด้วย

แนวโน้มการเพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะมีมากขึ้นและขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน เทคโนโลยีของ FACTS และ HVDC จะช่วยรองรับการต่อเชื่อมระหว่างโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกันให้มีความยืดหยุ่นและเชื่อถือได้ มีนวัตกรรมและผลิตภัณฑ์หลายๆ สิ่ง พร้อมที่จะช่วยให้ฟันฝ่าความท้าทายในการบูรณาการพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าและเสริมให้ระบบไฟฟ้ามีความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพได้ตามต้องการสนองตอบต่อการเติบโตของความต้องการพลังงานทั่วโลกได้อย่างน่าพึงพอใจ ความเป็นไปได้ใหม่ๆ จะถูกเปิดออกด้วยเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่ออกมาใหม่ เช่น สถานีคอนเวอร์เตอร์แบบ VSC แรงดัน 500 kV หรือสายเคเบิลของ HVDC แรงดัน 525 kV ของ ABB ข้อดีเหล่านี้เป็นการสะท้อนถึงความรับผิดชอบของ ABB ที่ยังคงเป็นผู้นำในการพัฒนาและใช้เทคโนโลยีระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เรียบเรียงจาก
Rolf Grunbaum, Simon Vogelsanger, Anders Gustafsson, Janissa Arevalo, “Potential improvement,” ABB Review 4/15, pp. 29-33.

Power Quality Series

Wind protection

ANTONIO FIDIGATTI, PAOLO BARONCELLI, MARCO CARMINATI, ENRICO RAGAINI -กังหันลมมีการออกแบบที่แตกต่างกัน โดยแต่ล่ะตัวจะมีพฤติกรรมทางไฟฟ้าของตัวเอง โดยจะมีการสวิทช์ชิ่งและการป้องกันที่ไม่เหมือนกัน มีอยู่ 3 วิธีหลักๆ ที่พบมากที่สุดในการออกแบบกังหันลม โดยมีปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือก เพื่อเลือกส่วนประกอบของสวิทช์ชิ่งและการป้องกัน

สุทธินันท์ บุตรทะยักษ์
suttinan.buttayak
@th.abb.com

ในโลกใบนี้มีกังหันลมมากกว่า 150,000 ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ระดับแรงดันต่ำ (≤ 1,000) ในการผลิตไฟฟ้า

ความท้าทายของระบบป้องกันและควบคุมในกังหันลม

ระบบป้องกันและควบคุม เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษากังหันลมให้ทำงานได้อย่างปลอดภัย ปัจจุบันมีข้อกำหนดที่ขัดแย้งกันเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการแปลงค่าความต่อเนื่องในการผลิต ความผิดพลาดจากการเชื่อมต่อด้านสภาพอากาศและทางกล การอัดแน่นของส่วนประกอบและลดผลกระทบจากความผิดพลาดในพื้นที่แคบภายในพื้นที่ติดตั้ง

ประสิทธิภาพของการแปลงค่า

ความเร็วและทิศทางของลม สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วหรือลมสามารถลดลงได้ ดังนั้นการกำหนดค่าทางกลและทางไฟฟ้าต้องสามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน ด้วยสาเหตุนี้ตัวควบคุม actuators จะทำงานตลอด (เช่น การปรับระยะพิช) โดยทำให้เกิดการเชื่อมต่อและตัดการเชื่อมต่อซ้ำๆ กันของวงจรกำลัง โดยจะมีความเสี่ยงที่จะเกิดความร้อนสูงเกินของคอมโพเนนต์ได้

ความต่อเนื่องของการผลิตกำลังไฟฟ้า

ความต่อเนื่องของการผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของกังหันลมตลอดอายุการใช้งาน ความยากลำบากในการแทรกแซงการกายภาพ เพื่อทำให้ความน่าเชื่อถือสูงขึ้นเป็นที่น่าพอใจ วิธีการที่ดีคือการใช้ส่วนประกอบของฟังก์ชั่นหลักเท่านั้น (เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ในการป้องกัน คอนแทคเตอร์สำหรับการสวิทช์ชิ่ง ฯลฯ) แทนที่จะอัดเข้าไปในฟังก์ชันรองของตัวมัน ความคลาดเคลื่อนใจกว้างเป็นเช่นกันเป็นภาระ

พฤติกรรมการเชื่อมต่อผิดพลาด

สิ่งจำเป็นที่จะต้องรับประกันพฤติกรรมเชิงเส้นในระหว่างการเกิดรบกวนในเครือข่าย จะนำไปสู่การกำหนดรหัสกริดตามที่กำหนดไว้ ในหลายๆ กรณี การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าเสมือนภายใต้สภาวะปกติตลอดจนสภาวะที่มีสัญญาณรบกวน จะต้องมีการเชื่อมต่อตัวเก็บประจุตัวเก็บประจุและตัวกรอง (Filters) เป็นจำนวนมาก

ข้อจำกัดทางอุณหภูมิและทางกล

ความรุนแรงของกันหันลมที่มีผลกับสิ่งแวดล้อม การสั่นสะเทือนอาจมีขนาดหลายมิลลิเมตร (several millimeters' amplitude) และอุณหภูมิความร้อนสามารถอยู่ในช่วงต่ำกว่า -25 องศาเซลเซียล เมื่อปิดเครื่องทำความร้อนและการใช้สารละลายน้ำแข็ง (De-icing) และสูงถึง +50 องศเซลเซียล เมื่อกำลังทำงานอยู่ในสภาวะโอเวอร์โหลด ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาพแวลล้อมในการทำงาน ตลอดจนผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ความชื้น ฯลฯ จะต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณอายุของการใช้งาน

ความกะทัดรัด

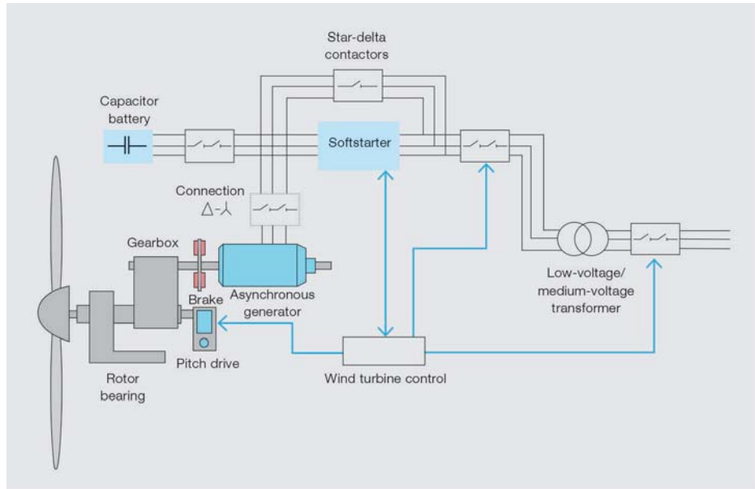
ความต้องการพื้นฐานสำหรับความกะทัดรัดและน้ำหนักเบาจะเชื่อมโยงกับข้อจำกัดทางกล เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดภายในห้องติดตั้งและต้องขดขนาดความเครียดเชิงกลบนโครงสร้าง ปัจจัยเหล่านี้จำเป็นต้องแลกกับขนาดที่เพิ่มขึ้น เพื่อทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและความต่อเนื่องในการให้บริการ

รูปที่ 1
Simplified diagram of wind turbine with a FSIG

ระบบป้องกันต้องทำงานในช่วงของเงื่อนไขทางไฟฟ้าในเวลาเดียวกันได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว เลือกระหว่างเงื่อนไขปกติและความผิดพร่อง

ความผิดพร่องในห้องติดตั้ง

ความผิดพร่องภายในห้องติดตั้งเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่ง ระบบป้องกันและควบคุม นอกเหนือจากการป้องกันและจำกัดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิกพร่องในห้องติดตั้งที่ลดลง และควรให้แน่ใจว่าทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้าไม่ทำให้



รูปที่ 1

—
รูปที่ 2
Requirements for switching/protection devices with FSIG

เกิดความเสียหายระบบทางกล (ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80 ของต้นทุนกังหันลม) ที่กล่าวมานั้นแปลเป็นข้อกำหนดได้หลายประการ ซึ่งบางครั้งก็มีข้อขัดแย้งกัน

- หลีกเลี่ยงการทริปที่ไม่พึงประสงค์ แต่ก็ยังเป็นอันตรายจากแรงดันเกิน
- ทำงานได้อย่างรวดเร็วเพื่อลดความเครียดทางกลและความเค้นในระบบขับเคลื่อนรวมถึงความเสี่ยงจากไฟไหม้
- ตรวจจับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรขนาดเล็กจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- สามารถระบุความผิดพร่องในวงจรได้ถูกต้อง หลังจากเกิดความผิดพร่องที่ไม่สำคัญ เพื่อเพิ่มความพร้อมในการผลิตกระแสไฟฟ้า
- จำกัดพลังงานความผิดพร่อง (และทริปอย่างรวดเร็วที่กระแสต่ำ) เพื่อป้องกันชิ้นส่วนที่อ่อนแอเกิดความเสียหาย เช่น ระบบบูชชิ่ง (Brushing system)
- แยกชิ้นส่วนความเสียหายออกอย่างปลอดภัย
- แยกส่วนที่ปลอดภัยออก ในขณะบำรุงรักษา เมื่อมีการจ่ายพลังงาน

ลักษณะที่สำคัญสำหรับส่วนประกอบของการควบคุมและป้องกัน จะมีลำดับความสำคัญดังนี้

- ความน่าเชื่อถือในการสวิทช์ชิ่งสูง
- ลดการบำรุงรักษา
- กะทัดรัดและน้ำหนักลดลง
- ค่าใช้จ่าย

ข้อกำหนดทั้งสี่ มักจะเข้ากันไม่ได้กับข้ออื่นๆ และการเลือกระบบป้องกันและสวิทช์ชิ่งต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม ซึ่งกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกนี้ สามารถแบ่งเทคโนโลยีกังหันลมออกเป็น 3 แบบหลักๆ ดังนี้

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสเชื่อมต่อโดยตรงกับกริด: เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำความเร็วคงที่ (FSIG)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสที่มีโรเตอร์หมุนตัวที่มีตัวแปรความถี่ เชื่อมต่อโดยตรงกับกริด: เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบทวีคูณ (DFIG)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบซิงโครนัส (หรืออะซิงโครนัส) แบบแม่เหล็กถาวรที่เชื่อมต่อกับกริดผ่านเครื่องแปลงความถี่แบบเต็มรูปแบบ (FSFC)

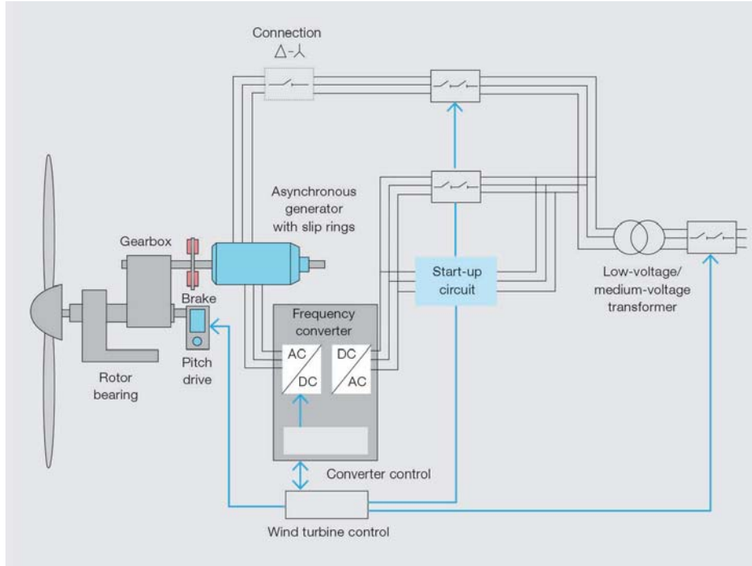
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำความเร็วคงที่

ในการกำหนดค่า FSIG ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสแบบไม่มีแปรงถ่านที่เชื่อมต่อโดยตรงกับกริด จะมีเฉพาะความเบี่ยงเบนที่จำกัดที่มาจากความเร็วซิงโครนัสเท่านั้น ความถี่ของการสวิทช์ชิ่งจะทำให้เกิดกำลังรีแอคทีฟ (Reactive power) ที่ถูกส่งออกมาจากคาปาซิเตอร์ (รูปที่ 1) ขั้นตอนการเริ่มต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะการจัดการโดย softstarter ที่ติดตั้งคอนแทคเลอร์แบบขนาน และจะหยุดเมื่อถึงสถานะปกติ (Steady state) สตาร์-เดลต้า (Star-Delta) จะเชื่อมต่อขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทั่วไปใช้สำหรับการจัดการที่เหมาะสมของระบบลมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีหลายขั้ว เพื่อขยายช่วงการทำงาน (รูปที่ 1, 2) การกำหนดค่าแบบนี้ทำให้ง่ายและได้ประสิทธิภาพสูง แต่

- ช่วงการผลิตลดลงไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ลมแปรผัน
- ต้องทนต่อสภาวะโอเวอร์โหลดเป็นเวลานานดังนั้นส่วนประกอบวงจรหลักจึงต้องมีขนาดใหญ่
- การควบคุมคอนแทคเตอร์บนคาปาซิเตอร์อาจทำให้เกิดผลกระทบของแรงดันเกิน ในหลายๆ กรณีเช่นนี้กลไกการทำงานร่วมกันกับ softstarter อาจเป็นปัญหาได้
- ระบบไม่สามารถปฏิบัติตามข้อกังขาที่รวดเร็วโดยไม่ต้องตัดการเชื่อมต่อ ดังนั้นวิธีการนี้เหมาะสำหรับกังหันลมขนาดเล็กถึงขนาดกลางที่ติดตั้งบนเครือข่ายที่มีลมต่ำ การเพิ่มการผลิตพลังงาน (<5 เปอร์เซ็นต์)

	Main power circuit	Main auxiliary circuit
Load current (A)	≤ 1,800	≤ 320
Voltage (V)	≤ 690	≤ 690
Frequency (Hz)	50-60	50-60
Prospective short-circuit current (kA)	≤ 35 @ 690 V	
Type of load classification according to [2]	Resistive	Induction motor or transformer
Presence of inrush current	No	Yes
Life time (years)	20	20
Number of mechanical operations with electrical isolation from the voltage sources (maintenance or out of service)	100-1,000	< 1,000
Number of generator-to-network or reconfiguration connect/disconnect mechanical operations (or electrical operations at low current)	10,000-100,000	Not applicable
Number of electrical operations	< 100 (trips or emergency stop)	< 100 (trips or emergency stop)
Protection against overload and short circuit	Yes	Yes
Optimum solution	Circuit breaker plus contactor	Circuit breaker

รูปที่ 2



รูปที่ 3

—
รูปที่ 3
Simplified diagram of wind turbine with a DFIG

กลยุทธ์ที่ดีคือการใช้ส่วนประกอบสำหรับฟังก์ชันหลักของพวกเขาเท่านั้นแทนที่จะพยายามลดฟังก์ชันรองจากพวกเขา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคู่

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ slip-ring ซึ่งวงจรโรเตอร์มีการขับเคลื่อนที่ตัวแปรความถี่ (รูปที่ 3, 4) ความเร็วโรเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี FSIG เนื่องจากได้รับการชดเชย (รูปที่ 1) จึงทำให้ความถี่กระตุ้นของโรเตอร์ ช่วยให้สามารถเคลื่อนที่จากความเร็วซิงโคนัสได้ โดยทั่วไปวงจรการกระตุ้นสามารถจ่ายพลังงานได้ทั้งสองทิศทาง (เป็นวิธีการในยุโรป) มีขนาดตั้งแต่ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของวงจรหลักการแปลงจะใช้การควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง ซึ่งจะทำให้ช่วงความเร็วลมที่กว้างขึ้น สำหรับการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งความสามารถในการจ่ายกำลังรีแอคทีฟเข้าสู่กริด ในบางกรณีสตาร์-เดลต้า (Star-Delta) จะเชื่อมต่อขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทั่วไปใช้จัดการระบบลมที่แตกต่างกันกับค่ากระแสโรเตอร์ที่เหมาะสมในแง่ของอายุการใช้งาน ข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมแบบความเร็วคงที่

- การเปลี่ยนแปลงความเร็วจะทำให้เพิ่มการพลังงาน (kilo-watt-hour)
- การใช้ประโยชน์ตัวแปลงขนาดเล็กจะได้กำลังที่มีขนาดหนึ่งในสามของกำลังปกติ
- ประสิทธิภาพของระบบทั้งหมดอยู่ในระดับสูง

ในการกลับกันข้อเสียบางอย่างที่ต้องได้รับการพิจารณา

- การเชื่อมต่อกันระหว่างกริดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะส่งผลต่อความผันผวนของระบบเครือข่ายไปสู่ mecha-ninter action ical drive chain เพื่อลดความสามารถในการเชื่อมต่อของระบบ
- Slip-ring โรเตอร์เป็นจุดอ่อนในการบำรุงรักษา

—

ระบบป้องกันและควบคุม ควรจะทำให้มั่นใจว่าทรานเซียนต์ ไม่ทำลายระบบเชิงกล – ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 80 ของต้นทุนกังหัน

ตัวแปลงความถี่แบบเต็มรูปแบบ

ด้วยการออกแบบของ FSFC ความเร็วในการหมุนอาจแตกต่างออกไปในช่วงกว้าง เนื่องจากความถี่สามารถชดเชยได้โดยวงจรไดรฟ์ที่อยู่ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครือข่าย (รูปที่ 1) แนวคิดการแปลงแบบสมบูรณ์ ตัวแปลงจะแยกตัวกำเนิดและระบบขับเคลื่อนทางกลออกจากกริด (รูปที่ 5, 6) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นจะไหลผ่านตัวแปลงไปยังกริด เครื่องแปลงจะให้แรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการควบคุมความเร็ว มีสามแนวทางหลักๆ ในการแปลงแบบเต็มรูปแบบคือ ความเร็วสูงสุด ปานกลางและต่ำสุด ทั้งหมดนี้จะใช้กับเกียร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ข้อดีของการ

—
รูปที่ 4
Requirements for switching and protection devices with DFIG

ออกแบบของ FSFC เมื่อเทียบกับกังหันความเร็วคงที่คือ

- ไม่มีการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกริด ซึ่งจะช่วยลดแรงทางกลของกันหันลมเนื่องจากผลของความผิดพลาดของกริด
- ทุกช่วงความเร็วจะเพิ่มผลผลิตกำลังไฟฟ้า
- ควบคุมกำลังแอคทีฟ (active power) ที่ใช้งานได้เต็มรูปแบบกับการผลิตรีแอคทีฟได้เต็มรูปแบบ
- การปลดแลกแยกสำหรับการทำงานปกติหรือการบำรุงรักษา
- เพื่อป้องกัน: ในความผิดพลาดที่เกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์หรือส่วนต่างๆ ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอินเวอร์เตอร์ (เช่น ส่วนเชื่อมต่อสายเคเบิล) เบรคเกอร์เป็นเพียงอุปกรณ์เดียวที่สามารถตรวจจับการลัดวงจรได้อย่างปลอดภัยและการตัด การเชื่อมต่อจากแหล่งจ่ายไฟ ต้องใช้ชุดป้องกันที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการทำงานของตัวแปรความถี่ที่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่กำหนด
- เซอร์กิตเบรกเกอร์จะตัดการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

—

อุปกรณ์ต้องมีขนาดกะทัดรัดและเบาเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่และความจำเป็นในการลดความเครียดเชิงกลบนโครงสร้าง

Breaking News

ทางเลือกของส่วนประกอบที่เหมาะสมของสวิทช์ซิ่งและการป้องกันที่เหมาะสมกับการออกแบบกังหันลมโดยเฉพาะเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การทำงานที่ราบรื่นและลดผลกระทบจากความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น ระบบป้องกันของกันหันลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพลังงานทดแทนอื่นๆ ถูกวิจัยและพัฒนาอย่างหนักโดย ABB ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ABB เปิดตัวโซลูชันที่ช่วยป้องกันโรงไฟฟ้า ในตัวแปรความถี่ ในภาคพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่นและพลังงานแรงฉุด ตัวอย่างที่โดดเด่น ได้แก่ Tmax VF และ Emax VF เซอร์กิจเบรกเกอร์ที่สามารถทำงานได้ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 200 Hz

ประโยชน์ที่สำคัญของเบรกเกอร์ชนิดใหม่ สำหรับการใช้งานคลื่นความถี่ต่างๆ คือ สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกประเภทแม้ในสภาวะความเร็วสูง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจร (สูงสุด 1,000 โวลต์); มาตรฐานการออกแบบโดยไม่คำนึงถึงตลาด การเพิ่มประสิทธิภาพของสต็อกด้วยเครื่องหมายการค้าทั้งสองแบบ IEC/UL หน่วยสั่งทริปตระกูลใหม่ พร้อมด้วยเซ็นเซอร์กระแสที่ได้การปรับให้เหมาะสม จะช่วยให้ความมั่นใจได้ว่ามีการป้องกันที่แม่นยำสูงในช่วงความถี่ที่ขยายออกไป ในขณะการปรับปรุงพื้นที่รับอาคและหน้าคอนเทคจะรับประกันความสามารถในการกำจัดที่สูงขึ้นในทุกช่วงความถี่ ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะมีขนาดมาตรฐานทั่วไป

การพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันและสวิทช์กำลังดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง สำหรับตัวอย่าง เช่น ควบคุมการใช้งานของอินเทอร์เน็ตและระบบคลาวด์ เพื่อให้สามารถควบคุมพลังงานได้จากระยะไกลได้ทุกที่ทุกเวลา

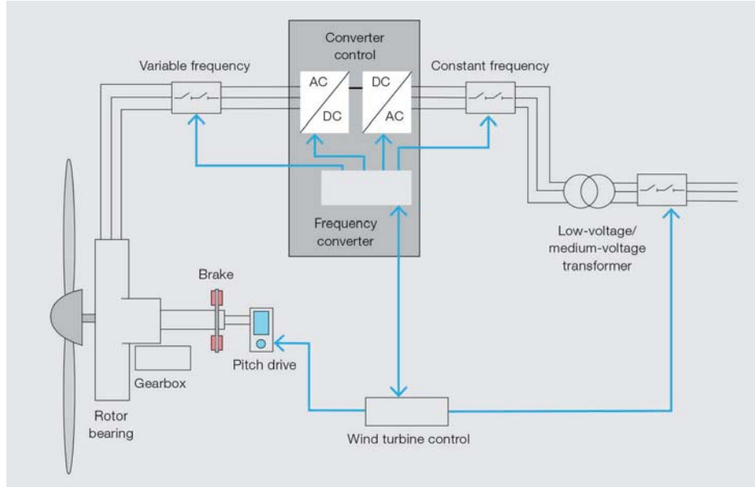
	Main power circuit	Main excitation circuit	Start-up circuit
Load current (A)	≤ 4,000	≤ 630	≤ 5
Voltage (V)	≤ 1,000	≤ 690	≤ 690
Frequency (Hz)	50-60	50-60	50-60
Prospective short-circuit current (kA)	≤ 30 @ 1,000 V	≤ 50 @ 690 V	≤ 50 @ 690 V
Type of load classification according to [2]	Resistive	Induction motor	Induction motor
Presence of inrush current	No	No	Yes
Life time (years)	20	20	20
Number of mechanical operations (or electrical operations at low current) with electrical isolation from the voltage sources (maintenance or out of service)	100-1,000	< 1,000	Not applicable
Number of generator-to-network or reconfiguration connect/disconnect mechanical operations (or electrical operations at low current) with electrical isolation from the voltage sources	10,000-100,000	1,000-10,000	Not applicable
Number of electrical operations	< 100 (trips or emergency stop)	< 100 (trips or emergency stop)	< 10,000 (excitation circuit insertion)
Protection against overload and short circuit	Yes	Yes	Yes
Optimum solution	Circuit breaker if < 1 operation/day or circuit breaker plus contactor if more*	Circuit breaker coordinated with contactor in parallel with the start-up circuit	Circuit breaker plus contactor

* The speed of wind turbine generators is more often in the lower range than in the rated range, resulting in frequent switching on and off at typically 2,000-5,000 cycles per year (depending on wind turbine generator type), which makes contactors the best technical solution

รูปที่ 4

—
รูปที่ 5
Simplified diagram of wind turbine with FSFC

—
รูปที่ 6
Requirements for switching/protection devices with FSFC



รูปที่ 5

	Main power circuit on the variable-frequency side	Main power circuit on the grid side	Main auxiliary circuit
Load current (A)	≤ 5,000 or n x 700-1,600	≤ 5,000 or n x 700-1,600	≤ 250
Voltage (V)	≤ 1,000	≤ 690	≤ 690
Frequency (Hz)	1-16, 30-80, 40-140	50-60	50-60
Prospective short-circuit current (kA)	≤ 15 @ 1,000 V*	≤ 50 @ 690 V	
Type of load classification according to [2]	Resistive	Resistive	Induction motor
Presence of inrush current	No	No	Yes
Life time (years)	20	20	20
Number of mechanical operations (or electrical operations at low current) with electrical isolation from the voltage sources (maintenance or out of service)	100-1,000	< 1,000	< 1,000
Number of generator-to-network or reconfiguration connect/disconnect mechanical operations (or electrical operations at low current) with electrical isolation from the voltage sources	Not available (in general, the generator remains connected to the drive)	1,000 - 100,000 (according to the control strategies)	Not applicable
Number of electrical operations	< 100 (trips or emergency stop)	< 100 (trips or emergency stop)	< 100 (trips or emergency stop)
Protection against overload or short circuit	Yes	Yes	Yes
Optimum solution	Circuit breaker if protection is required for connection cables or inverter switch. Switch disconnector and external protection system is present.	Circuit breaker if < 1 operation/day or circuit breaker plus contactor if more	Circuit breaker

* Depending on the power and the configuration of the plant

รูปที่ 6

เรียบเรียงจาก
IEEE paper: A. Fidigatti, P. Baroncelli, M. Carminati and E. Ragaini, “Selection of low voltage switching and protection devices in wind power generators,” Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), © 2011 IEEE, Orlando, FL, 2011, pp. 1–5.

Antonio Fidigatti
Paolo Baroncelli
Marco Carminati
Enrico Ragaini
ABB Electrification Products
Bergamo, Italy
antonio.fidigatti@it.abb.com
paolo.baroncelli@it.abb.com
marco.carminati@it.abb.com
enrico.ragaini@it.abb.com

References
[1] Wind Power Plants, ABB Technical Application Paper No. 13, document number 1SDC007112G0201 in the ABB Library.
[2] Low-voltage switchgear and control gear
– Part 1: General rules, IEC Standard 60947-1, 2014.

International Standard Series

American National Standard Requirements for Power-Line Carrier Coupling Capacitors and Coupling Capacitor Voltage Transformers (CCVT)

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ตามมาตรฐานอเมริกัน สำหรับตัวเก็บประจุเชื่อมต่อสัญญาณสื่อสารผ่านสายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงแรงดันแบบตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ (ซีซีวีที)

3.24 ferroresonance (เฟอร์โรเรโซแนนซ์)
ปรากฏการณ์ที่แกว่งไปแกว่งมา ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในวงจรที่ประกอบด้วยความจุไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำแบบไม่เชิงเส้นของแกนเหล็ก. เฟอร์โรเรโซแนนซ์เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการอิ่มตัวของแกนเหล็ก และทำให้เกิดการเพี้ยนของรูปคลื่นอย่างถาวรหรือทำให้เกิดแรงดันเกิน หรือทั้งสองอย่าง.[๖๘-๗๒]

3.25 ground terminal (ขั้วต่อลงดิน)
ขั้วต่อสายที่ใช้ต่อลงดิน.[๗๓]

3.26 high-voltage capacitance, C1 (ความจุไฟฟ้าแรงสูง)
ความจุไฟฟ้าระหว่างขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายแรงดันปานกลาง.[๗๔, ๗๕]

3.27 high-voltage terminal (line terminal) (ขั้วต่อสายแรงสูง (ขั้วต่อสายส่ง))
ขั้วต่อสายที่ใช้ต่อเข้ากับสายส่งกำลังไฟฟ้า.[๗๖]

3.28 insulation level (ระดับการฉนวน)
ความคงทนของฉนวนที่แสดงในพจน์ของแรงดันที่สามารถทนได้.[๗๗]

3.29 intermediate voltage (แรงดันปานกลาง)
แรงดันเทียบกับดินตรงขั้วต่อสายแรงดันปานกลางของตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน เมื่อขั้วต่อลงดินของตัวแบ่งแรงดันนี้ ต่อลงดินโดยตรงหรือต่อผ่านขดลวดระบายสัญญาณสื่อสาร.[๗๘]

๖๘
นิยามของคำว่า ferroresonance ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ ferroresonance เอาไว้

๖๙
ถาม: อยากทราบว่ามีบทความดีๆ ที่พูดถึง Ferroresonance ที่เกิดขึ้นจริงๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังหรือไม่ ?
ตอบ: ตามความเห็นส่วนตัว บทความที่พูดถึง Ferroresonance ที่เกิดขึ้นจริงๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังได้ดีมากๆ คือ บทความของ IEEE ที่ชื่อว่า
"Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System" ซึ่ง David A. N. Jacobson นำเสนอในการประชุม IEEE Power Engineering Society General Meeting วันที่ 13-17 กรกฎาคม ค.ศ. 2003 (พ.ศ. 2546) ความยาว 7 หน้า และมีบทคัดย่อดังนี้
Abstract: Catastrophic equipment failures continue to occur today due to ferroresonance even though this phenomenon has been extensively studied over the past ninety years. This paper is concerned with describing practical examples of ferroresonance in a high voltage transmission system. Methods of mitigating ferroresonance are discussed.
บทคัดย่อ: ความขัดข้องของอุปกรณ์อย่างร้ายแรงเกิดขึ้นต่อเนื่องในทุกวันนี้เนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์ แม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะได้รับการศึกษา อย่างกว้างขวางตลอดเก้าสิบปีที่ผ่านมาก็ตาม. บทความฉบับนี้เกี่ยวกับการพรรณนาตัวอย่างจริงของเฟอร์โรเรโซแนนซ์ในระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง. วิธีการหลีกเลี่ยงเฟอร์โรเรโซแนนซ์ก็ได้รับการพิจารณาถึงด้วย. จากบทคัดย่อข้างต้น ผู้อ่านจะเห็นได้ว่าบทความนี้มีทั้งตัวอย่างที่เกิดขึ้นจริงในระบบส่งไฟฟ้าซึ่งตรงกับภารกิจหลักของ กฟผ. และวิธีการหลีกเลี่ยงเฟอร์โรเรโซแนนซ์ด้วย จึงนับว่าเป็นบทความที่น่าสนใจอย่างมาก

๗๐
ถาม: อยากถามว่าใครเป็นต้นคิดคำศัพท์ประหลาดๆ อย่างคำว่า Ferroresonance ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในทุกวันนี้ ?
ตอบ: บทความ Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System ที่กล่าวถึงไปแล้ว ได้เล่าถึงที่มาของคำศัพท์นี้ว่า
P. Boucherot เป็นคนแรกที่สร้างคำว่า Ferroresonance ตามบทความ "Éxistence de Deux Régimes en Ferrorésonance", Rev. Gen. de L'Élec., vol. 8, no. 24, December 11, 1920, pp. 827-828. เมื่อปี ค.ศ. 1920 (พ.ศ. 2463)
เพื่อบรรยายปรากฏการณ์ที่เกิดตำแหน่งเสถียรพร้อมกันสองตำแหน่งในการทำงานที่ความถี่มูลฐาน ซึ่งเกิดขึ้นกับวงจรที่มีตัวต้านทานอนุกรม, ตัวเหนี่ยวนำไม่เชิงเส้น, และตัวเก็บประจุอยู่รวมกัน อันที่จริงแล้วบทความตีพิมพ์ฉบับแรกที่กล่าวถึงปรากฏการณ์นี้ คือ บทความ J. Bethenod, "Sur le Transformateur à Résonance", L'Éclairage Électrique, vol. 53, Nov. 30, 1907, pp. 289-96. เมื่อปี ค.ศ. 1907 (พ.ศ. 2450) เพียงแต่ไม่ได้เป็นผู้คิดคำว่า Ferroresonance เท่านั้น ทุกวันนี้คำว่า Ferroresonance ได้บัญญัติอย่างมั่นคงกลายเป็นคำศัพท์ของวิศวกรไฟฟ้ากำลัง และไม่เพียงแต่บรรยายการเกิดสภาวะที่มีกระแสสูงๆ ณ ความถี่มูลฐานเท่านั้น แต่ยังแตกแขนงไปสู่การแกว่งแบบฮาร์มอนิกย่อย (subharmonic), แบบเสมือนรายคาบ (quasi-periodic), และแม้กระทั่งแบบยุ่งเหยิงขาดระเบียบ (chaotic) ในวงจรต่างๆ ที่มีตัวเหนี่ยวนำไม่เชิงเส้นบรรจุอยู่

๗๑
ถาม: อยากทราบว่า Ferroresonance ที่เกิดขึ้นจริงๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกได้เป็นกี่ลักษณะและอะไรบ้าง ?
ตอบ: บทความ Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System ที่กล่าวถึงไปแล้ว บอกไว้ว่าคณะทำงานของ IEEE ด้าน
Ferroresonance ทำการสำรวจบทความในเชิงปฏิบัติ จำนวนมากกว่า 120 บทความ แล้วจึงทำการแยกแยะลักษณะการเกิด Ferroresonance
ออกเป็น 7 กลุ่ม ดังต่อไปนี้
1. หม้อแปลงจ่ายไฟฟ้าเฟสเดียวหรือสองเฟสด้วยเหตุบังเอิญ (39 บทความ)
2. หม้อแปลงรับไฟฟ้าผ่านตัวเก็บประจุที่ใช้เฉลี่ยแรงดันของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เปิดวงจรแล้วหนึ่งชุดหรือมากกว่านั้น (25 บทความ)
3. หม้อแปลงต่อเข้ากับสายส่งไฟฟ้าที่มีการชดเชยอิมพีแดนซ์แบบอนุกรม (15 บทความ)
4. หม้อแปลงแรงดันต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่นิวทรัลไม่ได้ต่อลงดิน (14 บทความ)
5. หม้อแปลงแรงดันแบบตัวเก็บประจุหรือซีซีวีที (11 บทความ)
6. หม้อแปลงต่อเข้ากับสายส่งที่ปลดออกแล้ว แต่ว่าวางขนานกับสายส่งที่ยังจ่ายไฟฟ้าอยู่หนึ่งเส้นหรือมากกว่านั้น (6 บทความ)
7. หม้อแปลงจ่ายไฟฟ้าผ่านสายส่งที่ยาวมากหรือสายเคเบิล และมีกำลังไฟฟ้าลัดวงจรต่ำๆ (14 บทความ)

๗๒
ถาม: การเกิด Ferroresonance ทั้ง 7 กลุ่มตามข้อที่แล้ว มีลักษณะอะไรที่เหมือนๆ กันจึงถูกจัดว่าเกิด Ferroresonance ทั้งหมด ?
ตอบ: บทความ Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System ที่กล่าวถึงไปแล้ว บอกลักษณะที่เหมือนกันของการเกิด Ferroresonance ทั้ง 7 กลุ่มตามข้อที่แล้ว ดังต่อไปนี้ กุญแจสำคัญที่เหมือนๆ กันระหว่างวงจรไฟฟ้าที่ทำให้เกิด Ferroresonance แต่ละกลุ่มข้างต้น คือการที่แต่ละวงจรมีองค์ประกอบต่อไปนี้
- ตัวเหนี่ยวนำที่เกิดการอิ่มตัวแบบไม่เชิงเส้น (นั่นคือ หม้อแปลง)
- ตัวเก็บประจุ
- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
- การสูญเสียไฟฟ้าต่ำต่ำๆ

Ferroresonance มักก่อตัวขึ้นหลังจากเหตุการณ์ตัดต่อวงจรบางอย่าง เช่นว่า การปลดโหลด, การกำจัดฟอลต์, การป้อนไฟฟ้าให้กับหม้อแปลง, การตัดต่อวงจรแบบเฟสเดียว หรือการสูญเสียการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

๗๓
นิยามของคำว่า ground terminal ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No.SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ ground terminal เอาไว้

๗๔
นิยามของคำว่า high-voltage capacitance ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955, Section SG 11-1.27 กำหนดนิยามของ main capacitance ไว้ว่า "Main capacitance is the capacitance between the network connection and the line." ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับของ C93.1-1999 ฉบับนี้

๗๕
ถาม: การจัดซื้อ CC & CCVT ของ กฟผ. มีการกำหนดค่า high-voltage capacitance (C1) ไว้หรือไม่ ? และกำหนดไว้อย่างไร ?
ตอบ: การจัดซื้อ CC & CCVT ของ กฟผ. มีการกำหนดค่า high-voltage capacitance (C1) ไว้ใน Ratings and Features (RF) ว่าจะต้องมากกว่าค่าที่ กฟผ. บอกไว้ ทั้งนี้ผมยังไม่พบที่มาว่าทำไมจึงเลือกค่าเท่านั้นเท่านี้ ? แต่พบว่าพี่วิบูลย์เคยจดบันทึกเกณฑ์ดังกล่าวไว้
ข้อมูลจากบันทึกองค์ความรู้ฯ, วิบูลย์ ฤกษ์ศิระทัย, หน้า 67 พูดถึง high-voltage capacitance (C1) ไว้ดังนี้ ส่วน High-Voltage Capacitance (C1) ใช้ค่าดังต่อไปนี้ 230 kV ≥ 3000 pF, 115 kV ≥ 6000 pF, และ 69 kV ≥ 10000 pF ถ้าบริษัทเสนอมาสูงกว่าก็ถือว่าเป็นผลดีต่อ CCVT ถ้าน้อยกว่า Accuracy จะไม่ดี สำหรับ 500 kV CCVT ซึ่งไม่กล่าวถึงในบันทึกฯ จากการตรวจสอบ RF ที่ใช้อยู่จริงๆ พบว่ากำหนดไว้ ≥ 4000 pF

๗๖
นิยามของ high-voltage terminal (line terminal) ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ high-voltage terminal (line terminal) เอาไว้

๗๗
นิยามของคำว่า insulation level ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ insulation level เอาไว้

๗๘
นิยามของคำว่า intermediate voltage ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 ขณะที่ NEMA No. SG 11-1955, Section SG11-1.23 ให้นิยามของคำว่า operating tab voltage ว่า "Operating tap voltage is the rms voltage to ground at the point at which the pential device is connected to the coupling capacitor, i.e., the voltage on the capacitance tap."
ซึ่งก็ใกล้เคียงกับนิยามของ C93.1-1999 ฉบับนี้

3.30 intermediate-voltage capacitance, C_2
(ความจุไฟฟ้าแรงดันปานกลาง)
ความจุไฟฟ้าระหว่างขั้วต่อสายแรงดันปานกลางและขั้วต่อสายแรงต่ำหรือขั้วต่อลงดิน.[๗๙]

3.31 intermediate-voltage terminal
(ขั้วต่อสายแรงดันปานกลาง)
ขั้วต่อสายที่ใช้ต่อเข้ากับวงจรที่มีแรงดันปานกลาง อย่างเช่น หน่วยแม่เหล็กไฟฟ้าของหม้อแปลงแรงดันแบบตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ.[๘๐]

3.32 leakage distance (ระยะรั่วตามผิวฉนวน)
ความยาวของผิวฉนวนด้านนอกตั้งแต่ขั้วต่อสายแรงสูงจนถึงขั้วต่อลงดิน.[๘๑]

3.33 low-voltage terminal (ขั้วต่อสายแรงต่ำ)
ขั้วต่อสายที่ปลายด้านล่างของชุดตัวเก็บประจุ.[๘๒]

3.34 marked ratio (อัตราส่วนตามป้ายชื่อ)
อัตราส่วน, ตามที่ระบุบนป้ายชื่อ, ระหว่างแรงดันอ้างอิงในการทำงานและแรงดันทุติยภูมิ.[๘๓]

3.35 maximum rated voltage (แรงดันที่กำหนดสูงสุด)
ค่าอาร์เอ็มเอสสูงสุดของแรงดันคลื่นไซน์ระหว่างขั้วต่อสายซึ่งตั้งใจให้ตัวเก็บประจุสามารถทนได้อย่างต่อเนื่อง. นิยามนี้สามารถประยุกต์ใช้กับชุดตัวเก็บประจุที่รับแรงดันระหว่างขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายแรงต่ำ, หรือขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อลงดิน.
หมายเหตุ - แรงดันที่กำหนดสูงสุดมีค่าสอดคล้องกับแรงดันระบบสูงสุดหารด้วย 3. [๘๔]

3.36 maximum system voltage (แรงดันระบบสูงสุด)
แรงดันอาร์เอ็มเอสสูงสุดระหว่างเฟสที่คงอยู่ตลอดภายใต้สภาพการทำงานปกติ และมีค่าเท่ากันทุกจุดบนระบบ, ไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วคราวเนื่องจากการเกิดฟอลต์หรือการปลดโหลดขนาดใหญ่ทันทีทันใด.[๘๕]

3.37 nominal system voltage (แรงดันระบบปกติ)
ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสปกติระหว่างเฟสที่มอบหมายให้กับวงจรหรือระบบ เพื่อวัตถุประสงค์ด้านความสะดวกในการระบุระดับชั้นของแรงดัน.[๘๖]

3.38 partial discharge (การปล่อยประจุบางส่วน)
การปล่อยประจุทางไฟฟ้าซึ่งลัดข้ามฉนวนบางส่วนระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง.[๘๗]

3.39 percent ratio (อัตราส่วนเป็นร้อยละ)
อัตราส่วนที่แท้จริงซึ่งแสดงเป็นร้อยละของอัตราส่วนตามป้ายชื่อ.[๘๘]

3.40 percent ratio correction
(การแก้อัตราส่วนเป็นร้อยละ)
ผลต่างระหว่างตัวประกอบการแก้อัตราส่วนและหนึ่ง, แสดงเป็นร้อยละ: [(RCF-1) × 100]%.

หมายเหตุ - การแก้อัตราส่วนเป็นร้อยละมีค่าเป็นบวก เมื่อตัวประกอบการแก้อัตราส่วนมีค่ามากกว่าหนึ่ง. ถ้าการแก้อัตราส่วนเป็นร้อยละมีค่าเป็นบวก, แรงดันทุติยภูมิที่วัดได้จะน้อยกว่าแรงดันที่ป้อนให้กับขั้วต่อสายแรงสูงหารด้วยอัตราส่วนตามป้ายชื่อ.[๘๙]

3.41 performance reference voltage
(แรงดันอ้างอิงในการทำงาน)
แรงดันที่เลือกเป็นฐานในการกำหนดความแม่นยำและลักษณะการตอบสนองต่อทรานเซียนต์, และประยุกต์ใช้กับขั้วต่อสายแรงสูง. แรงดันอ้างอิงในการทำงานนี้หาได้โดยการคูณแรงดันทุติยภูมิ (115 โวลต์) ด้วยอัตราส่วนตามป้ายชื่อตัวที่มีค่าต่ำกว่า.[๙๐]

3.42 phase angle of a CCVT (มุมเฟสของซีซีวีที)
การเยื้องของมุมเฟส, ในหน่วยลิปดา (หรือในหน่วยมิลลิเรเดียน), ระหว่างแรงดันที่ขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายทุติยภูมิที่มีเครื่องหมายแสดงขั้ว.
หมายเหตุ - มุมเฟสของซีซีวีทีแทนได้ด้วยอักษรกรีกตัวแกมม่า (γ). มุมนี้มีค่าเป็นบวกเมื่อแรงดันทุติยภูมิจากขั้วที่มีเครื่องหมายไปยังขั้วที่ไม่มีเครื่องหมายนำหน้าแรงดันที่สมนัยกัน ณ ขั้วต่อสายแรงสูง.[๙๑]

3.43 polarity (สภาพขั้ว)
การระบุทิศทางสัมพัทธ์ ณ ขณะใดขณะหนึ่งของแรงดันบนขั้วต่อสายแรงสูงเทียบกับขั้วต่อสายทุติยภูมิ ในช่วงเวลาเกือบทั้งหมดของแต่ละครึ่งไซเกิล.
หมายเหตุ -
ขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายทุติยภูมิกล่าวได้ว่า มีสภาพขั้วเหมือนกันเมื่อ, ณ ขณะใดขณะหนึ่งที่กำหนดให้ในช่วงเวลาเกือบทั้งหมดของแต่ละครึ่งไซเกิล, แรงดันบนขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายทุติยภูมิที่มีเครื่องหมายขั้วมีทิศทางเหมือนกัน.[๙๒]

3.44 potential grounding switch
(สวิตช์ต่อแรงดันปานกลางลงดิน)
สวิตช์ที่ใช้ต่อระหว่างวงจรแรงดันปานกลางและขั้วต่อลงดินของซีซีวีที.[๙๓]

3.45 production tests (การทดสอบผลิตภัณฑ์)
การทดสอบที่กระทำโดยผู้ผลิตต่ออุปกรณ์แต่ละรายการ เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะการทำงานต่างๆ.[๙๔, ๙๕]

3.46 rated capacitance (ความจุไฟฟ้าที่กำหนด)
ค่าของความจุไฟฟ้า ณ แรงดันที่กำหนดสูงสุดและมีความถี่เท่ากับระบบ เพื่อระบุให้กับตัวเก็บประจุนั้น. นิยามนี้ใช้ได้:
a) สำหรับหน่วยตัวเก็บประจุ, ใช้กับความจุไฟฟ้าระหว่างขั้วต่อสาย, ของกระป๋องนั้น
b) สำหรับชุดตัวเก็บประจุ, ใช้กับความจุไฟฟ้าระหว่างขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายแรงต่ำ, หรือขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อลงดินของชุดนั้น
c) สำหรับตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน, ใช้กับความจุไฟฟ้ารวม: + 1 2 1 2 C C /(C C) [๙๖, ๙๗]

โปรดติดตามต่อฉบับหน้า

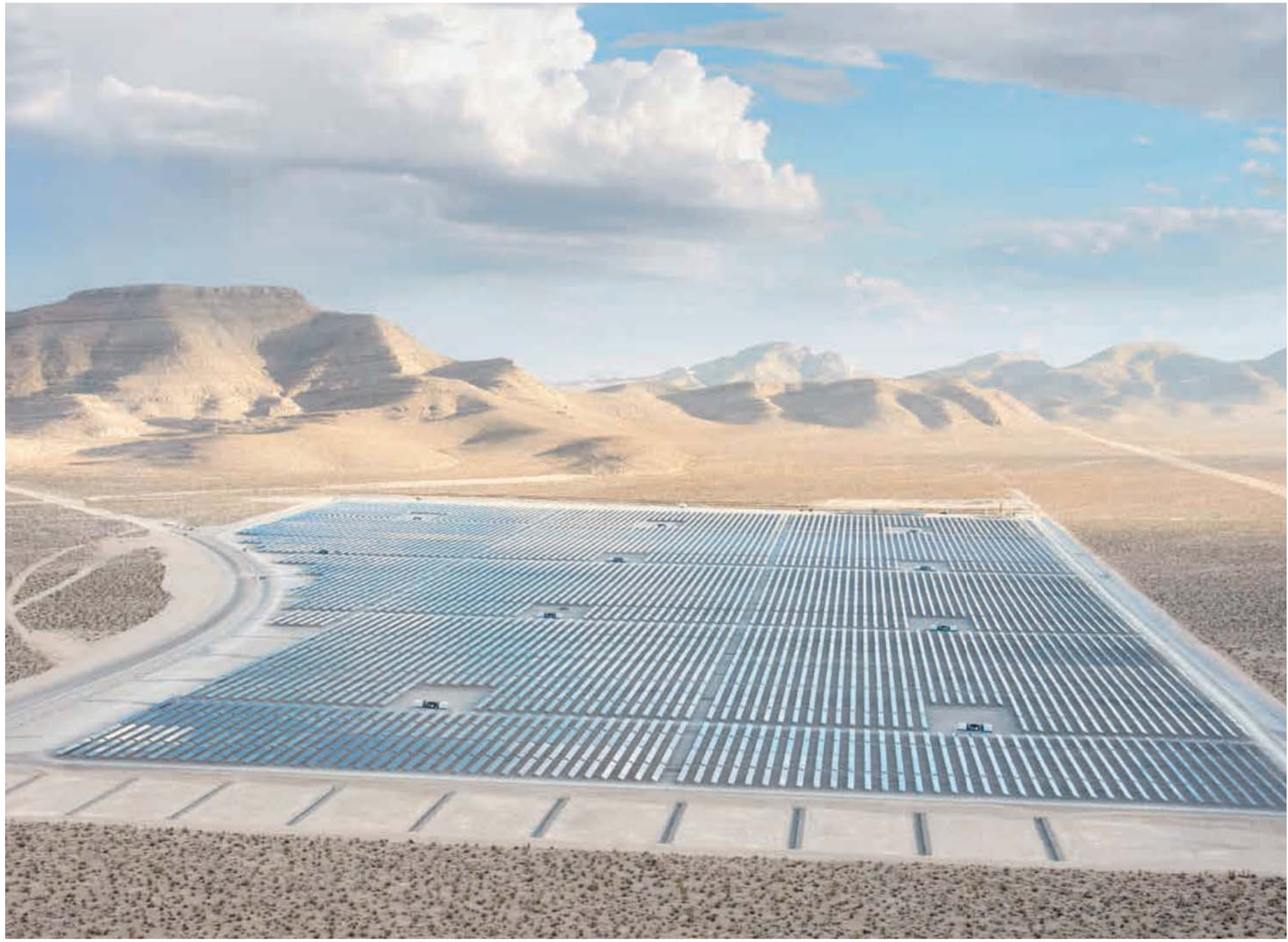
๗๙
นิยามของคำว่า intermediate-voltage capacitance ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ขณะที่ NEMA No. SG 11-1955, Section SG 11-1.28 กำหนดนิยามของ auxiliary or shunt capacitance ไว้ว่า “Auxiliary or shunt capacitance is the capacitance between the capacitance tap and ground.” ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับของ C93.1-1999 ฉบับนี้
๘๐
นิยามของ intermediate-voltage terminal ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955, Section SG 11-1.22 กำหนดนิยามของ capacitance tap (potential tap) ไว้ว่า “Capacitance tap is the point at which the potential device is connected to the coupling capacitor.” ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับของ C93.1-1999 ฉบับนี้
๘๑
นิยามของคำว่า leakage distance ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ leakage distance ไว้ (แต่กำหนดค่า minimum creepage distance ไว้ใน Table 1)
๘๒
นิยามของ low-voltage terminal ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No.SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ low-voltage terminal เอาไว้
๘๓
นิยามของคำว่า marked ratio ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 ขณะที่ NEMA No. SG 11-1955, Section SG11-1.24 ให้นิยามของคำว่า voltage ratio ว่า “The voltage ratio of a coupling capacitor potential device is the overall ratio between the rms primary line-to-ground voltage and the rms secondary voltage. (It is not the turn ratio of the transformer used in the network.” ซึ่งมีความหมายเดียวกับนิยามของ C93.1-1999 ฉบับนี้
๘๔
นิยามของคำว่า maximum rated voltage ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ maximum rated voltage เอาไว้
๘๕
นิยามของคำว่า maximum system voltage ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ maximum system voltage เอาไว้
๘๖
นิยามของคำว่า nominal system voltage ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955, Section SG 11-1.04 กำหนดนิยามของ nominal voltage rating ไว้ว่า “The nominal voltage rating is the nominal value assigned to a circuit or system of a given voltage class for the purpose of convenient designation.” ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับของ C93.1-1999 ฉบับนี้
๘๗
นิยามของ partial discharge ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ partial discharge เอาไว้
๘๘
นิยามของคำว่า percent ratio ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ percent ratio เอาไว้
๘๙
นิยามของคำว่า percent ratio correction ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ percent ratio correction เอาไว้
๙๐
นิยามของคำว่า performance reference voltage ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ performance reference voltage เอาไว้
๙๑
นิยามของคำว่า phase angle of a CCVT ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999
สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ phase angle of a CCVT เอาไว้
๙๒
นิยามของคำว่า polarity ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันหมดทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 สำหรับ NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ polarity เอาไว้
๙๓
นิยามของคำว่า potential grounding switch ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.2-1976, C93.1-1990 & C93.1-1999 ขณะที่ NEMA No. SG 11-1955, Section SG11-1.30 ให้นิยามของคำว่า transformer grounding switch and gap ว่า “A transformer grounding switch and gap is a grounding switch and protective gap connected across the potential device transformer unit between the tap lead and ground. The switch is used to remove the voltage from the potential device to permit its adjustment and maintenance without interrupting the operation of the high-voltage line or, when used, of the carrier current equipment. The gap is used to limit the voltage impressed on the transformer and, when used, the auxiliary or shunt capacitor.” ซึ่งมีความหมายกว้างกว่านิยามของ C93.1-1999 ฉบับนี้ เนื่องจากบอกหน้าที่การทำงานไว้ด้วย
๙๔
นิยามของคำว่า production tests ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ขณะที่ NEMA No.SG 11-1955, Section SG 11-1.01
ให้นิยามของคำว่า routine tests ว่า “Routine teats are tests made by the manufacturer at thefactory on each item of equipment or upon a sufficient number of items to secure adequate quality control.” ซึ่งมีความหมายต่างจากของ C93.1-1999 ตรงที่ว่าอาจจะยอมให้ทดสอบเพียงจำนวนหนึ่งได้ ไม่จำเป็นต้องทดสอบครบทุกตัว
๙๕
มาตรฐาน IEC 60044-5: Capacitor voltage transformers เรียกแต่คำว่า Routine Tests เท่านั้น (ไม่มีคำว่า Production Tests เลย)
๙๖
นิยามของ rated capacitance ตามมาตรฐาน ANSI กำหนดไว้เหมือนกันทั้ง C93.1-1981, C93.1-1990 & C93.1-1999 ส่วน NEMA No. SG 11-1955 ไม่ได้กำหนดนิยามของ rated capacitance เอาไว้
๙๗
ข้อมูลจาก บันทึกองค์ความรู้ฯ, วิบูลย์ ฤกษ์ศิระทัย, หน้า 7 พูดถึง total (rated) capacitance ไว้ดังนี้
สำหรับ CCVT ค่า Total (Rated) Capacitance ของ Nominal System Voltage 230 kV ใช้ค่า 0.003 μF สำหรับ 115 kV และอื่นๆ
ใช้ 0.006 μF

Special Power Series

A Bright Future
อนาคตที่สว่างไสว

ระบบกักเก็บพลังงานได้แปลงรูปแบบของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ปริมาณรังสีของแสงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกนั้นมีมากเกินพอสำหรับความต้องการพลังงานทั้งหมดในโลก อย่างไรก็ตามการทำให้ความพร้อมแบบที่ไม่สม่ำเสมอของแหล่งพลังงานแบบนี้ให้ตรงกับความต้องการนั้นเป็นความท้าทาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้าตรู่และช่วงเย็นเมื่อแหล่งไฟฟ้าพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการ ความท้าทายนี้จะสามารถถูกแก้ปัญหาได้ด้วยระบบกักเก็บพลังงาน: การควบรวมแหล่งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบกักเก็บพลังงานที่สามารถขจัดความไม่แน่นอนของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แปลงให้เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถควบคุมได้สูงและสามารถส่งต่อพลังงานได้อย่างง่ายดาย จากระบบกักเก็บพลังงานแบบกระจายไปจนถึงโซลูชั่นแบบรวมศูนย์ขนาดใหญ่ ABB มีความรู้ความชำนาญด้านโซลูชั่นสำหรับระบบกักเก็บพลังงานที่จำเป็นเพื่อให้สามารถควบคุมและเชื่อมต่อการติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ



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

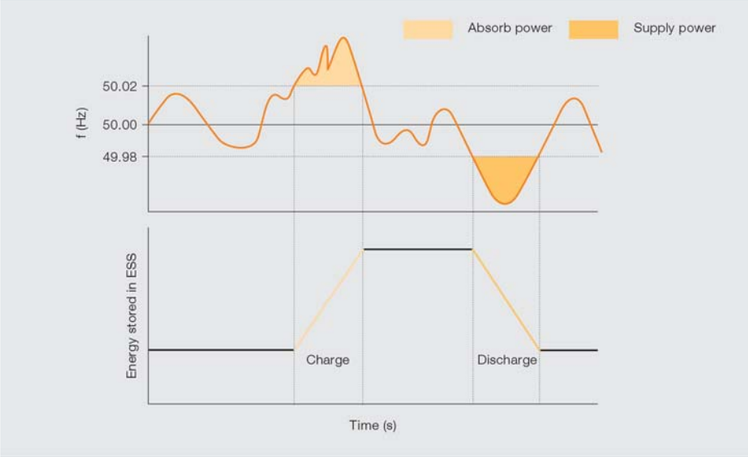
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ถูกติดตั้งตามแผนการไม่เพียงแต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ยังเพิ่มความน่าเชื่อถือได้และความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง การวางแหล่งพลังงานแบบกระจายที่เล็กกว่าไว้ใกล้โหลดทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความยืดหยุ่นมากขึ้นต่อไฟฟ้าดับและการหยุดชะงักของคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งหน่วยงานทางไฟฟ้าและผู้ใช้ อีกทั้งยังมีประโยชน์ทางเศรษฐกิจอีกด้วย ถ้าผู้ใช้สามารถสร้างและใช้พลังงานของตัวเองได้ดังนั้นจึงเป็นการหลีกเลี่ยงที่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะได้ตระหนักถึงศักยภาพและคุณค่าของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่นั้น ลักษณะทางธรรมชาติที่ไม่ต่อเนื่องจะต้องถูกเอาชนะให้ได้ เครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการจัดการนี้คือ ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System – ESS) การวางระบบหรืออุปกรณ์กักเก็บพลังงานให้อยู่ติดกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic – PV) ช่วยให้สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำในเรื่องของเมื่อใดและปริมาณพลังงานที่จะถูกจัดการบนระบบไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานยังช่วยให้ได้พลังงานเอาท์พุทที่เรียบ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของพลังงานให้กับผู้ใช้ นอกจากนี้ ESS ยังช่วยให้เกิดการใช้พลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ระบบกักเก็บพลังงาน PV จะช่วยให้ประหยัดมากขึ้นโดยทำให้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่เชื่อถือได้เมื่อการใช้งานของผู้ใช้อยู่ที่จุดสูงสุด ในช่วงเวลานี้พลังงานที่ถูกเก็บไว้โดย ESS ในช่วงความต้องการต่ำสามารถถูกนำมาใช้เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงค่าไฟฟ้าเมื่อความต้องการอยู่ที่จุดสูงสุดได้

โซลูชั่นการกักเก็บพลังงานในชุมชนของ ABB ถูกออกแบบมาสำหรับกรณีเหล่านี้ทั้งหมดและสามารถถูกนำมาใช้ในงานหลายขนาดตั้งแต่ 25kW ไปจนถึงระดับ MW ตัวอย่างเช่น โมดูลการกักเก็บพลังงานแบบผนวกรวม (Energy Storage Module – ESM) ของ ABB ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า สวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำและปานกลาง และอุปกรณ์ออโตเมชั่น เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) การออกแบบที่เป็นเอกลักษณ์นี้ ทำให้ได้การติดตั้งเร็วและง่ายด้วยความปลอดภัยระดับสูงสำหรับอุปกรณ์และผู้ใช้งาน ตัวเลือกของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมอิออนที่จะใช้ใน ESM ที่เฉพาะเจาะจงอยู่บนพื้นฐานของข้อกำหนดเฉพาะของการประยุกต์ใช้งาน

—
รูป 1
โหมดการควบคุมความถี่



รูปที่ 1

ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระดับหน่วยงานทางไฟฟ้า (Utility-scale solar energy)

ความต้องการเพิ่มขึ้นสำหรับแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่ปล่อยคาร์บอนน้อยและยั่งยืนกว่าได้ขับเคลื่อนการเติบโตของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับหน่วยงานทางไฟฟ้าด้วยอัตราที่สูงเป็นประวัติการณ์ อย่างไรก็ตามระบบไฟฟ้าได้ถูกออกแบบมาเพื่อส่งไฟฟ้าที่ได้ถูกวางแผนไว้และมีเสถียรภาพจากแหล่งพลังงานที่ถูกรวมศูนย์ผ่านสายส่งและสายจำหน่ายไปสู่ผู้ใช้ วิศวกรได้วางแผนอย่างระมัดระวังและปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเพื่อให้แน่ใจว่าพลังงานมีพร้อมใช้ในที่ต้องการในเวลาที่แม่นยำที่จำเป็น การเพิ่มแหล่งพลังงานที่ผันแปรไม่ต่อเนื่องและกระจายอยู่ทั่วทั้งระบบส่งและระบบจำหน่ายต้องการการควบคุมเพิ่มเติมที่สำคัญและแม่นยำเพื่อให้แน่ใจได้ว่าอุปสงค์และอุปทานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ESS สำหรับการควบคุมความถี่

ผู้ให้บริการระบบไฟฟ้ามักใช้แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ ไม่แต่เพียงจ่ายพลังงานปริมาณมากไปยังผู้ใช้ แต่ยังให้บริการเสริมที่จำเป็นต่อการรักษาความสมบูรณ์ของระบบไฟฟ้าด้วย หนึ่งในเรื่องที่ตรงประเด็นกับการบริการเหล่านี้คือการควบคุมความถี่แบบเรียลไทม์ ระบบไฟฟ้าทั่วโลกทำงานที่ความถี่ 50Hz หรือ 60Hz เพื่อให้มั่นใจว่าสถานที่และอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้จ่ายพลังงานอย่างถูกต้อง ซึ่งต้องมีความสมดุลทันทีและต่อเนื่องระหว่างการจ่ายไฟฟ้าและความต้องการ เรื่องนี้เป็นเรื่องที่ยากเพียงพอสำหรับจัดการกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบทั่วไปที่สามารถคาดเดาได้และสามารถจัดวางได้ง่าย แต่กลายเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากขึ้นเมื่อแหล่งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยความแปรปรวนโดยธรรมชาติได้ถูกเพิ่มเข้าไปในแหล่งพลังงานแบบผสมผสาน

—
ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดระดับหน่วยงานทางไฟฟ้าได้ถูกต่อเข้าสู่ระบบและโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินได้ถูกปิดตัวลงมากขึ้น แหล่งพลังงานที่สามารถควบคุมได้ง่ายที่ได้ให้การบริการระบบไฟฟ้าดังกล่าวจะมีจำนวนน้อยลง

อย่างไรก็ตามระบบกักเก็บพลังงานควบคู่ไปกับ PV ช่วยทำให้ระบบไฟฟ้าที่ไม่สามารถคาดเดาได้และมีการผันแปร กลายเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถควบคุมได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถถูกจัดการให้เพื่อการควบคุมความถี่แบบวินาทีต่อวินาทีในแบบเรียลไทม์ เมื่อถูกใช้ร่วมกับไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ESS ก็จะถูกชาร์จหรือถูกดิสชาร์จตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความถี่ของระบบไฟฟ้า (ดูรูปที่ 1) วิธีการควบคุมความถี่นี้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจโดยเฉพาะ เนื่องจากการตอบสนองที่รวดเร็วและปราศจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ESS สำหรับการสนับสนุนการคงและการก่อร่างความจุ (Capacity firming and ramping)

เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของระบบไฟฟ้าและมั่นใจในเรื่องคุณภาพไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความถี่จะต้องถูกรักษาให้คงที่อย่างต่อเนื่องในระดับที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระดับหน่วยงานทางไฟฟ้าความสามารถในการรักษาระดับเหล่านี้สามารถถูกลดทอนได้อย่างรวดเร็วโดยการเคลื่อนย้ายของเมฆ การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสภาพอากาศหรือการแตกร้าวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การผันแปรเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดความผันผวนอย่างรวดเร็วของกำลังไฟฟ้า PV ซึ่งส่งผลให้เกิดการเบี่ยงเบนในความถี่และแรงดันไฟฟ้า แม้แต่แค่วินาทีเดียวที่

—
รูปที่ 2
โหมดการคงความจุ

—
รูปที่ 3
โหมดการขยับย้ายโหลด

เมฆบังแสงอาทิตย์สามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง ลดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า การลดลงของแรงดันไฟฟ้าและพลังงานอย่างฉับพลันอาจทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของระดับความถี่ รบกวนลักษณะการทำงานโดยรวมของระบบไฟฟ้าด้วยการดูดซับพลังงานในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมของระบบไฟฟ้า ESS สามารถทำให้มั่นใจได้ว่าความถี่และระดับแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้องได้ถูกรักษาไว้ (ดูรูปที่ 2) ระบบกักเก็บพลังงานไม่เพียงแต่ช่วยคงความจุนี้ให้กับระบบ PV แต่ยังช่วยให้แน่ใจได้ว่ากำลังไฟฟ้า PV จะเพิ่มขึ้นและลดลงในอัตราที่กำหนดโดยผู้ให้บริการระบบไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าโรงไฟฟ้า PV จะปฏิบัติตามกฎระเบียบของระบบไฟฟ้า (Grid code) ในพื้นที่ได้

ESS ช่วยเรื่องความน่าเชื่อได้ของระบบโดยผ่านการขยับย้ายโหลด

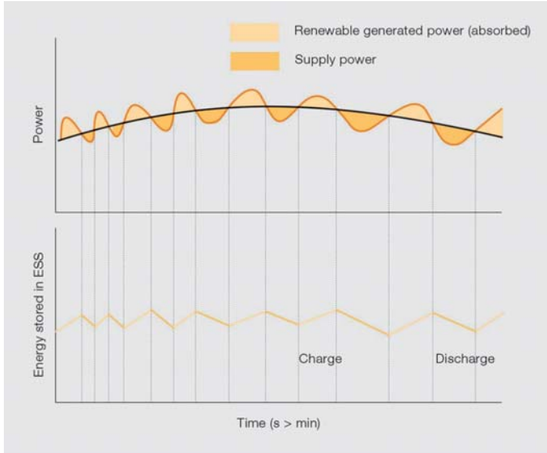
ในพื้นที่ที่มีการติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สูง ระบบไฟฟ้าในพื้นที่จะมีความไวต่อเรื่องความเพียงพอของทรัพยากรเมื่อความต้องการและการผลิตไฟฟ้า PV ไม่สมดุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้าและช่วงเย็นที่มีความต้องการเริ่มที่จะเพิ่มขึ้นแต่แหล่งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้ผลิตพลังงานที่เพียงพอเพื่อจะรองรับความต้องการนี้ จึงเป็นกรณีที่ระบบกักเก็บพลังงานสามารถช่วยผู้ให้บริการระบบรักษาความสมบูรณ์ของระบบไฟฟ้าผ่านความสามารถในการขยับย้ายโหลด (Load-shifting capability) ด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงาน ESS จะสามารถชาร์จเมื่อการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการและดิสชาร์จเมื่อความต้องการเริ่มที่จะพุ่งสูงขึ้นและพระอาทิตย์กำลังจะตกดิน (ดูรูปที่ 3)

ESS สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระดับหน่วยงานทางไฟฟ้า

ESS ที่ได้ถูกติดตั้งตามแผนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าและทำการผนวกรวมให้ดีขึ้นเข้ากับไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากระบบแปลงพลังงาน (Power conversion systems – PCS) ไปยังระบบแบตเตอรี่ ESS แบบผนวกรวมและครบวงจรสมบูรณ์ EssPro™ ของ ABB ทำให้มั่นใจในประสิทธิภาพการทำงานที่สูงในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และรักษาความน่าเชื่อถือได้และประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า (ดูรูปที่ 4)

—
EssPro PCS ของ ABB ได้เชื่อมโยงแบตเตอรี่ของ ESS เข้ากับระบบไฟฟ้าและแปลงพลังงานที่เก็บไว้จาก DC เป็น AC ที่ต่อเข้าด้กับระบบไฟฟ้าของหน่วยงานทางไฟฟ้า นอกจากเทคโนโลยีในการแปลงพลังงานแล้ว ระบบยังให้การควบคุมที่จำเป็นในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ESS แบบ EssPro Grid ที่เป็นแบบผนวกรวมครบวงจรของ ABB มีให้เลือกสำหรับความต้องการกำลังไฟฟ้าตั้งแต่หลายร้อยกิโลวัตต์ถึงหลายสิบเมกะวัตต์และพร้อมสำหรับการเชื่อมต่อกับระบบแรงดันไฟฟ้าปานกลางหรือสูง (ดูรูปที่ 5) จากประสบการณ์ที่สั่งสมมานานของ ABB ในระบบไฟฟ้าและความรู้ในเทคโนโลยีด้านแบตเตอรี่ที่ลึกซึ้ง ระบบไฟฟ้าที่ใช้ EssPro ได้รวมการควบคุมขั้นสูงและขั้นตอนวิธีด้วยเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ ESS



รูปที่ 2

รูปที่ 3

—
รูปที่ 4
การจัดวางตู้และคอนเทนเนอร์ของ EssPro PCS ของ ABB

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระดับกลุ่มที่อยู่อาศัย

ผลการบันทึกการเติบโตของตลาดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกนับตั้งแต่ปี 2004 ได้มีการริเริ่มโดยโครงสร้าง Feed-in Tariff (FIT) ที่ประเทศเยอรมนี หลายปีที่ผ่านมา FIT ได้ทำให้มั่นใจเรื่องผลตอบแทนสำหรับทุก kWh สำหรับไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกจ่ายเข้าไปในระบบไฟฟ้าที่อัตราค่าไฟฟ้าที่สูงกว่าราคาค่าไฟฟ้าขายปลีกโดยปราศจากการจับคู่ระหว่างปริมาณที่ถูกจ่ายเข้าไปกับความต้องการที่แท้จริงของครัวเรือนไม่ว่าจะเป็นด้านความสมดุลทางพลังงาน หรือในแง่ของความเทียบเท่าด้านกำลังไฟฟ้าในเวลาใดก็ตาม แต่ภูมิทัศน์นี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงโดยได้ถูกขับเคลื่อนจากการเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่ทำให้เกิดปัญหาความไม่เสถียรของระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องอย่างรุนแรงเพิ่มขึ้น ความเท่าเทียมกันที่ใกล้เข้ามาของค่าใช้จ่ายในการผลิตด้วยตัวเองและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน รวมถึงการลดลงของค่าจูงใจตอบแทน

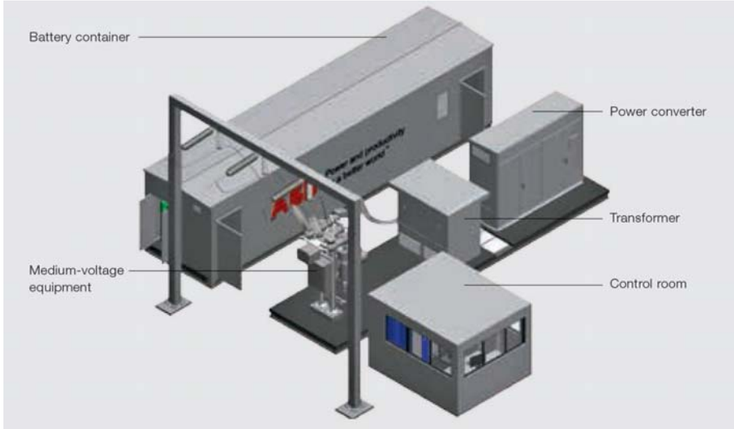
คีย์เวิร์ดใหม่ของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์คือ self-consumption (การใช้พลังงานในครัวเรือนของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตภายในครัวเรือน) และ self-sufficiency (ความสามารถที่จะตอบสนองความต้องการพลังงานในครัวเรือน) เพื่อให้บรรลุเป้าหมายทั้งสองนี้ความคลาดเคลื่อนระหว่างไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวันและความต้องการใช้ภายในครัวเรือนจะต้องถูกเอาชนะให้ได้ (ดูรูปที่ 6) สิ่งนั้นถูกทำให้สำเร็จโดยการเพิ่มความสามารถของระบบกักเก็บพลังงานให้กับระบบ PV แบบดั้งเดิม

REACT

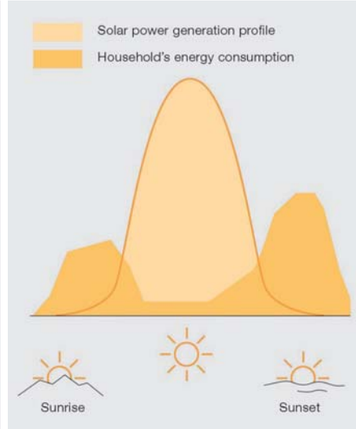
การปฏิบัติงานจริงและค่าใช้จ่ายทำให้แบตเตอรี่เชิงไฟฟ้าเคมีเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการจัดเก็บไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนเกิน แต่การเพิ่มแบตเตอรี่โดยไม่มีการวางแผนการต่อเข้ากับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แม้ว่าจะนำพาให้เกิด self-sufficiency ได้ แต่ก็ทำให้เกิดความน่าสงสัยในเรื่องผลตอบแทนทางการเงิน โซลูชั่น PV/ระบบกักเก็บพลังงานของที่อยู่อาศัยที่ยั่งยืนสำหรับเชิงเศรษฐกิจกลับเป็นผลมาจากการประนีประนอมของขนาดแบตเตอรี่ที่ติดตั้งและระดับ self-consumption และ self-sufficiency ของครัวเรือนที่สามารถบรรลุได้ด้วยการเพิ่มกลยุทธ์การจัดการพลังงานที่เหมาะสม

ระบบกักเก็บพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัยของ ABB คือ REACT (Renewable Energy Accumulator and Conversion Technology) (ดูรูปที่ 7) ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการประนีประนอมในวิธีที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ ระบบ REACT ประกอบด้วยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า PV ที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า (ขนาดถึง 5kW) ที่ได้รับไฟจาก DC โดยที่ถูกรวมเข้าไว้ใน MPPT ซึ่งต่อกับแผง PV กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบสองทิศทางต่อเข้าด้วยกัน (ดูรูปที่ 8) แม้ว่าโครงสร้างแบบผนวกรวม DC Link จะเป็นโซลูชั่นที่คุ้มค่าที่สุด สำหรับการติดตั้งระบบใหม่ แต่ก็สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงโรงไฟฟ้า PV ที่มีอยู่ให้เป็นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบ AC โดยแค่เพียงไม่เชื่อมต่อกับแผง PV เข้ากับส่วนอินพุท

ส่วนระบบกักเก็บพลังงานของระบบ REACT ทำจากแบตเตอรี่ลิเธียมอิออนที่มีโครงสร้างแบบโมดูล ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถ



รูปที่ 5



รูปที่ 6

—
รูปที่ 5
ตัวอย่างรูปแบบของ EssPro Grid ของ ABB ที่ 1 MW – 15 นาที

—
รูปที่ 6
อุปสงค์และอุปทานที่ไม่สอดคล้องกันของ PV แบบที่ใช้ในที่อยู่อาศัย

—
รูปที่ 7
ระบบ REACT ของ ABB ซึ่งมีที่เก็บแบตเตอรี่ไว้ในช่องด้านซ้ายและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางด้านขวา

—
รูปที่ 8
รูปแบบของระบบ REACT โดยทั่วไป: มิเตอร์วัดพลังงานแบบเฉพาะเจาะจงที่ให้พิดแบ็คแบบเรียลไทม์เกี่ยวกับ self-consumption และ self-sufficiency

ขยายจาก 2kWh จนถึง 6kWh (สามารถอัพเกรดได้ที่สถานที่ติดตั้ง) ระบบการจัดการโหลดแบบออนบอร์ดทำให้มีการตอบโต้ระหว่างโหลดหรืออุปกรณ์ จึงส่งเสริมความอิสระของพลังงานที่ใช้ในครัวเรือนได้ถึงร้อยละ 60 ในรูปแบบระบบพื้นฐาน

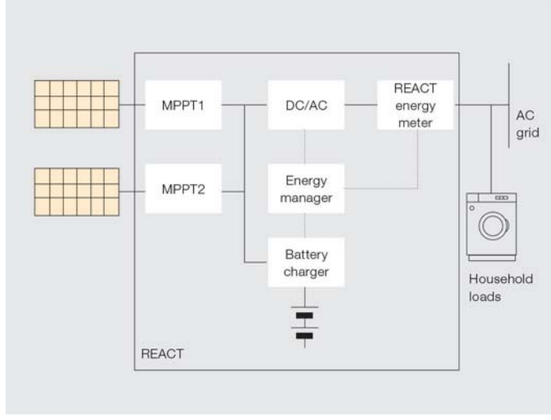
ตัวเลือกของแบตเตอรี่ลิเธียมอิออนได้รับการผลักดันจากรายละเอียดของค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะดีขึ้นในปีถัดไป ประสิทธิภาพของขนาดหรือความจุ อัตราในการชาร์จหรือดิสชาร์จ ประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน (ซึ่งจะมากกว่าสองเท่าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน)

อนาคตที่สว่างไสว

การเพิ่มความสามารถในการกักเก็บพลังงานเข้ากับการติดตั้ง PV ไม่ว่าจะขนาดเท่าใดก็ตามช่วยเอาชนะลักษณะความไม่ต่อเนื่องของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้และต่อเข้าสู่ระบบที่มีแหล่งพลังงานแบบดั้งเดิมมากขึ้นในแง่ของความสามารถในการจัดวาง เสถียรภาพและการควบคุม ฯลฯ การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีกักเก็บพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเพิ่มความสามารถสู่ self-consumption และ self-sufficiency และการผนวกรวมแหล่งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าทั่วโลกได้อย่างสมบูรณ์แบบ

เรียบเรียงจาก
Paolo Casini, Dario Cicio, “A Bright Future”, ABB Review – Solar Power (2/2015), page 26-32

รูปที่ 7



รูปที่ 8

High Voltages Series

Boundaries of knowledge
ขอบเขตขององค์ความรู้

KAI HENCKEN, THOMAS CHRISTEN - ได้กล่าวว่า สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย หรือ (PDEs) เป็นภาษาพื้นฐานที่นักฟิสิกส์ใช้บรรยายถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ทางธรรมชาติ อาทิเช่น ปรากฏการณ์สนามไฟฟ้า ปรากฏการณ์สนามแม่เหล็ก ปรากฏการณ์เสียงสะท้อน การไหลของของเหลว หรือแม้กระทั่งการนำความร้อน สมการ PDEs อธิบายกฎฟิสิกส์ด้วยโดเมนเชิงพื้นที่ของสมการที่เรียกว่าสมการกลุ่ม ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการจำลองเชิงตัวเลขของผลิตภัณฑ์ ABB (รูปที่ 1) อย่างไรก็ตามในขอบเขตของระบบต่างๆ ความหลากหลายของข้อมูลเชิงลึกในหลักฟิสิกส์พื้นฐาน จำเป็นต้องนำมาพิจารณาร่วมในขอบเขตซึ่งเป็นสิ่งสำคัญกว่าการพิจารณาแบบกลุ่ม นอกจากนี้บ่อยครั้งที่ขอบเขตมักจะควบคุมผลลัพธ์ของการจำลองถึงแม้ว่าจะเป็นเพียงส่วนเล็กๆ ของระบบทั้งหมดทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้ได้รับการจำลองเชิงตัวเลขที่มีความหมาย ขอบเขตเงื่อนไขที่เหมาะสมจะมีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจ การอธิบายลักษณะทางคณิตศาสตร์เหล่านี้ โดยทั่วไปไม่ใช่เรื่องง่ายและต้องอาศัยข้อมูลเชิงลึกในหลักฟิสิกส์พื้นฐาน

ปาลิดา ช่วยออก
palida.chuay-ook
@th.abb.com

สมการ PDEs อธิบายพฤติกรรมของคุณสมบัติทางกายภาพหรือปริมาณในอวกาศและเวลา ตัวอย่างเช่น สมการความร้อนสำหรับอุณหภูมิ สมการลาปลาซสำหรับศักย์ไฟฟ้า และสมการพลศาสตร์ของของไหลสำหรับ มวล โมเมนตัม รวมถึงการไหลของพลังงาน การเกิดขึ้นของอนุพันธ์เชิงพื้นที่ (ทางคณิตศาสตร์) ในสมการ PDEs เหล่านี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการรวมกันของจุดที่ถูกกำหนดในอวกาศด้วยสภาพแวดล้อมเนื่องด้วยปรากฏการณ์การขนส่ง (ปรากฏการณ์ที่มีการเคลื่อนย้ายหรือส่งผ่านปริมาณในระดับมหภาค) เพื่อให้ได้รับคำตอบที่เป็นเอกลักษณ์และแจ่มชัดของสมการ PDEs นั้นจะต้องมีการระบุขอบเขตของเงื่อนไขที่ชัดเจน สิ่งนี้คล้ายคลึงกับความต้องการสำหรับเงื่อนไขเริ่มแรก เพื่อที่จะแก้ปัญหาสำหรับกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเวลา – เงื่อนไขของเวลาเริ่มต้นของสมการจำลองสามารถตีความเป็นขอบเขตของเงื่อนไขในแกนเวลา รูปแบบทางคณิตศาสตร์ทั่วๆ ไปของขอบเขตของเงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจง ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับสองคุณสมบัติเชิงโครงสร้างของสมการแบบกลุ่ม

—

ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยขอบเขตภายภายในจำนวนมาก อาทิเช่น พื้นผิวและการเชื่อมต่อที่กำหนดประสิทธิภาพของตัวมัน ซึ่งจะต้องถูกอธิบายในสมการแบบจำลองตามขอบเขตของเงื่อนไข

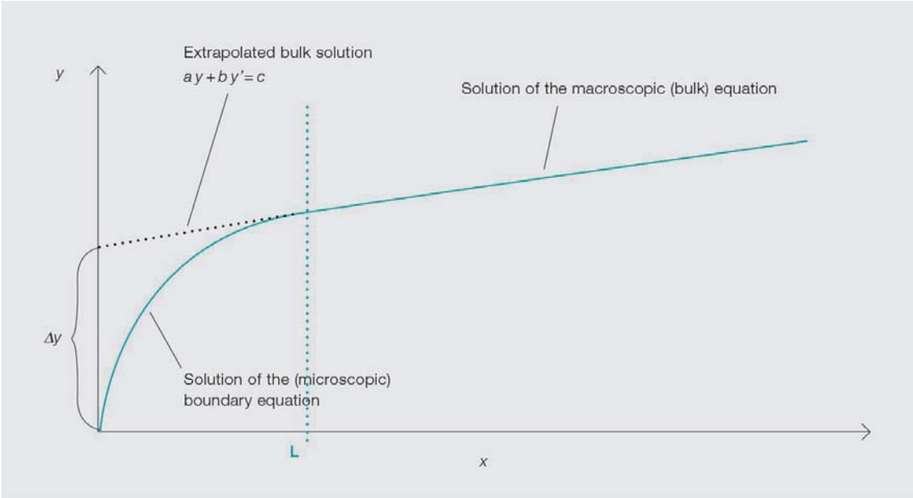
คุณสมบัติข้อแรกคือ อันดับอนุพันธ์ของสมการ PDE ซึ่งแสดงถึงอนุพันธ์เชิงพื้นที่สูงสุดที่เกิดขึ้นในสมการที่เป็นกลุ่ม ยกตัวอย่างเช่น สมการความร้อนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง ซึ่งแสดงในรูปแบบของ $\delta^2T/\delta x^2$ โดยทั่วไปเงื่อนไขขอบเขตจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางกายภาพกับอนุพันธ์เชิงพื้นที่ที่มีอันดับอนุพันธ์น้อยกว่าอันดับอนุพันธ์ของสมการ PDE อยู่หนึ่งอันดับ เนื่องจากอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงกว่าสามารถตัดทิ้งได้โดยใช้สมการแบบกลุ่ม PDE ยกตัวอย่างเช่น สมการความร้อนทีสภาวะคงตัวจะได้ $\delta^2T/\delta x^2 = 0$ เงื่อนไขขอบเขตอาจจะมีอนุพันธ์เชิงพื้นที่โดยพลการ ไม่ใช่มีแค่ T และอนุพันธ์ของมันเท่านั้น แต่เงื่อนไขของ "$\delta^2T/\delta x^2$" หรือที่มีอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงกว่าสามารถตัดออกได้โดยใช้ $\delta^2T/\delta x^2 = 0$

คุณสมบัติข้อที่สองเกี่ยวข้องกับการกระจายของข้อมูลภายในกลุ่ม เช่น การรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ส่งผลต่อค่าของมันในช่วงเวลาเดียวกันหรือในภายหลัง

ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุดคือ สมการ PDE อันดับศูนย์อนุพันธ์เชิงพื้นที่และการกระจายจะหายไป เงื่อนไขขอบเขตจะไม่จำเป็นในกรณีนี้ สมการจะเป็นสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ODE) ไม่ใช่สมการ PDE ตัวอย่างคือการเกิดของขั้วไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำในฉนวนไฟฟ้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกระบวนการผ่อนคลายของความหนาแน่นของโพลาไรซ์ภายใน

ยังมีกรณีอื่นๆ ที่เงื่อนไขขอบเขตไม่มีความจำเป็น แม้ว่าอนุพันธ์เชิงพื้นที่จะเกิดขึ้นก็ตาม ตัวอย่างเช่น สถานะของ supersonic fluid ที่ outlet จะถูกกำหนดโดยข้อมูลที่มาจากกลุ่ม และข้อมูลไม่สามารถไหลย้อนกลับจากขอบเขตไป

—
รูปที่ 1
Derivation of boundary conditions for a macroscopic equation from the underlying microscopic physics



รูปที่ 1

สู่กลุ่มได้ เนื่องจาก fluid ไหลด้วยความเร็วที่มากกว่าความเร็วของเสียง ซึ่งในกรณีนี้เป็นความเร็วของข้อมูล เพราะฉะนั้นขอบเขตนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อสถานะในกลุ่ม

เงื่อนไขขอบเขตมักจำเป็นและจำแนกตามลักษณะการกระจายของสมการ PDEs - diffusive, instant, convective หรือ wavelike ยกตัวอย่างเช่น การกระจายแบบทันทีจะสอดคล้องกับ steady state solution โดยที่สมมติว่าการกระจายและการปรับสมดุลในระบบจะเร็วกว่าช่วงเวลาที่พิจารณา ยกตัวอย่างคือการก่อตัวของสนามไฟฟ้า (ในสุญญากาศ) ซึ่งโดยปกติแล้วจะอธิบายโดยสมการ Laplace

ในแบบจำลองเชิงตัวเลข โมเดลแบบกลุ่มจะต้องมีขอบเขตของเงื่อนไขที่เหมาะสม

—

เงื่อนไขขอบเขตจะต้องถูกกำหนดไว้ในลักษณะที่ทำให้เป็น well-posed โมเดล นั่นคือมีคำอธิบายที่เหมาะสมตามหลักฟิสิกส์

ในทางปฏิบัติ Transients มักจะถูกละเลย เนื่องจากข้อเท็จจริงที่ว่าสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง

เงื่อนไขขอบเขตจะต้องถูกกำหนดไว้ในลักษณะที่ทำให้เป็น well-posed โมเดล นั่นคือมีคำอธิบายที่เหมาะสมตามหลักฟิสิกส์ เงื่อนไขขอบเขตนี้สามารถกำหนดข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนและประเภทของเงื่อนไขที่จำเป็นในแต่ละขอบเขต

ตามที่กล่าวไว้ สมการแบบกลุ่มจะจำกัดและกำหนดรูปแบบการทำงานของเงื่อนไขขอบเขต อย่างไรก็ตาม ค่าของสัมประสิทธิ์หรือพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นยังคงเป็นอิสระและถูกโดยฟิสิกส์พื้นฐาน มันอาจซับซ้อน เนื่องจากเงื่อนไขขอบเขตต้องมีรายละเอียดในระบบตามหลักฟิสิกส์มากกว่าระบบสมการ PDE แบบกลุ่ม สมการ PDE แบบกลุ่มได้มาโดยการเฉลี่ยปริมาณ เช่นเดียวกับพลังงานความร้อน อนุภาคที่มีปริมาณมากกว่าเพียงเล็กน้อย ให้ถือว่าเป็น homogenous ที่ขอบเขตนี้คุณสมบัติจะเปลี่ยนไปอย่างกะทันหันโดยต้องคำนึงถึงระยะที่สั้นกว่าซึ่งมีความจำเป็น เป็นผลให้การสร้างแบบจำลองเงื่อนไขขอบเขตต้องใช้ฟิสิกส์ในระดับที่สูงขึ้นและมีความหลากหลายทางปรากฏการณ์มากกว่าคำอธิบายของสมการแบบกลุ่ม

ตัวอย่างที่สำคัญคือ สมการแบบกลุ่มสำหรับก๊าซภายใต้สมมติฐานของสภาวะสมดุลอุณหพลศาสตร์ (สภาวะที่มีการกำหนดอุณหภูมิไว้อย่างชัดเจนและความเร็วของอนุภาคเป็นไปตามการกระจายของแมกซ์เวลล์) การกระจายความเร็วนี้จะเบี่ยงเบนไปจากกลุ่มเมื่อใกล้เข้าสู่ขอบเขต เป็นผลมาจากพื้นผิวและการเสียสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ (รูปที่ 1) กล่าวอีกนัยหนึ่ง สมการมหภาคสำหรับปริมาณทางฟิสิกส์ y (x, t) ตามแนวแกน x ของรูปที่ 1 มีค่าสำหรับระยะทางที่มากกว่าความยาว L แต่ไม่ต่ำกว่านั้น กำหนดให้ขนาดของขอบเขตน้อยกว่าขนาดที่ได้รับการแก้ไขในการจำลองเชิงตัวเลข การอนุมานของ bulk solution ไปยังขอบเขตไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับ microscopic solution อย่างไรก็ตามเงื่อนไขขอบเขตต้องเติมเต็มความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดโดยสมการเป็นกลุ่ม

ในกรณีนี้ it is given by ความสัมพันธ์ทั่วไป $a\,y + b\,y' = c$

—
รูปที่ 2
Ohmic contact

ค่าสัมประสิทธิ์ a, b และ c จะต้องได้จากการบังคับให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ราบรื่นจาก microscopic (จุลภาค) ไปสู่ macroscopic (มหภาค) solution ยกตัวอย่างเช่น แม้ว่าฟิสิกส์จุลภาคขั้นพื้นฐานมี y = 0 ที่ขอบเขต (x = 0) เงื่อนไขขอบเขตแบบ macroscopic อาจจะแสดงความไม่ต่อเนื่องเป็นผลมาจากฟิสิกส์จุลภาค ตัวอย่างที่สำคัญคือ slip boundary condition สำหรับความเร็วการไหลของแก๊สในท่อ (macroscopic) ซึ่งสมมติว่ามีความเร็วที่แน่นอนไปสู่ผนัง ถึงแม้ว่า microscopically ในชั้นขอบเขตความข้นหนืดจะบางมาก แต่มันสามารถลดความเร็วลงสู่ศูนย์ได้อย่างรวดเร็ว

การนำกระแสไฟฟ้าแบบ DC ในฉนวน

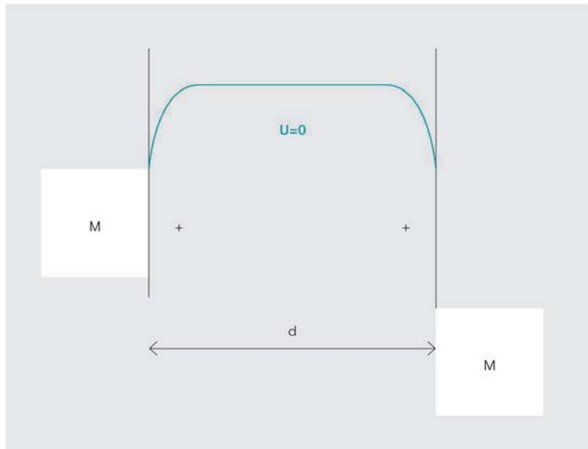
ในสายไฟแบบ AC การกระจายสนามไฟฟ้าในย่านความถี่ 50 Hz จะถูกคำนวณโดยการแก้สมการ Laplace เพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าในวัสดุที่เป็น dielectric โดยมีเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมในส่วนที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้า คุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องคือการซึมผ่านของ dielectric และการสะสมของประจุภายในวัสดุที่เป็น dielectric สามารถตัดทิ้งได้ อย่างไรก็ตามการคำนวณสนามไฟฟ้าในฉนวนของไฟฟ้าแบบ DC มีความซับซ้อนมาก เนื่องจากพื้นที่ว่างสามารถถูกสร้างขึ้นภายในวัสดุ ในบางครั้งอาจมีความล่าช้าของกระบวนการทำงาน ดังนั้นการกระจายสนามไฟฟ้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาผ่านไป ตัวอย่างของการมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของขอบเขตกับกลุ่มคือการก่อตัวของ space-charge-limited current (SCLC): พิจารณาวัสดุที่เริ่มต้นไม่มีตัวพาประจุและแต่ละด้านมีการสัมผัสโลหะ (รูปที่ 2) ถึงแม้จะไม่มีแรงดันไฟฟ้า ตัวพาประจุยังคงแพร่กระจายจากขั้วไฟฟ้าเข้าไปในฉนวน

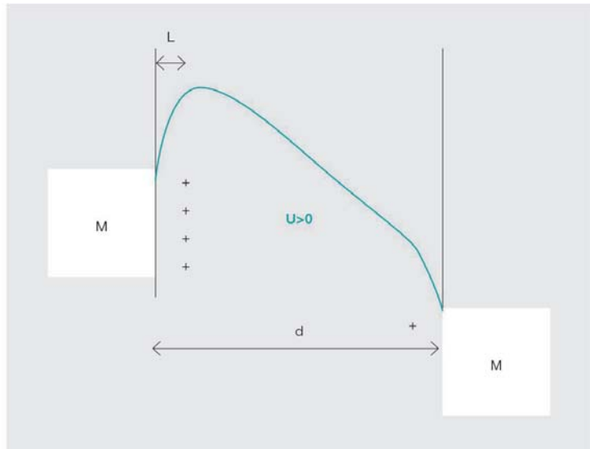
Charge injection จากขั้วไฟฟ้าอาจมีความเกี่ยวข้องเมื่อออกแบบสายเคเบิลและอุปกรณ์เสริม HVDC

—

ดังนั้นมันจะสร้างชั้นการสะสมประจุบางๆ ซึ่งจะนำไปสู่การกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นภายในฉนวน ดังนั้นสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นค่าความลาดชันเชิงลบของศักย์ไฟฟ้าจึงเท่ากับศูนย์ทุกบริเวณระหว่างแผ่น ยกเว้นบริเวณที่สัมผัสกัน (รูปที่ 2a) แรงดันไฟฟ้าสูงที่ถูกใช้ผ่านขั้วไฟฟ้าก่อให้เกิดการเอียงอย่างรุนแรง ซึ่งนำไปสู่ศักย์สูงสุดที่ใกล้เคียงกับศักย์ของขั้วไฟฟ้า (รูปที่ 2b)

โดยปกติระยะทางนี้จะมีขนาดเล็กเกินไปที่จะสามารถแก้ไขได้ใน macroscopic stimulation และไม่ได้รับการยกเว้น แต่ค่าสูงสุดนี้มีผลกระทบที่สำคัญ สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุดตามความลาดชันของศักย์ ตามนิยามเรียกบริเวณนี้ว่าขั้วไฟฟ้าเสมือน และขั้วไฟฟ้าที่แสดงถึงสนามหายไปภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้เรียกว่า "โอห์มอิเล็กโทรด" เพราะกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นสัดส่วนกับผลิตภัณฑ์ของสนามไฟฟ้า ความหนาแน่นของตัวพาประจุ และการเคลื่อนที่ - ยังคงมีค่าที่แน่นอน สนามไฟฟ้าที่หายไปพร้อมกับกระแสที่ไม่เท่ากับศูนย์บ่งบอกว่าความหนาแน่นของตัวพาประจุ diverges (กลายเป็นอนันต์) ที่อิเล็กโทรดเสมือน ในความเป็นจริง ความหนาแน่นยังคงมีค่าที่แน่นอน เนื่องจากการแพร่กระจายถูกละเลย (ในภาพ) ขั้วไฟฟ้าจะส่งต่อ ประจุไฟฟ้าจำนวนมาก ส่งผลให้ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้ามีค่ามาก ซึ่งสนามไฟฟ้าถูกข่มไว้นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของสนามที่บริเวณอื่น





รูปที่ 2 (2a) Insulator without intrinsic, but with injected, charge carriers (here positive holes) from the two attached electrode contacts. (Blue: equilibrium potential.)

(2b) Application of a voltage tilts the energy potential seen by the carriers, leading to a maximum near the injecting electrode.

—
รูปที่ 3
An electric arc burning between two electrodes. The arc root forms an interesting and complex boundary.

หรือหลังจากการกลับขั้ว

—

การชาร์จไฟและการสะสมของประจุมีความเกี่ยวข้อง เมื่อออกแบบอุปกรณ์ฉนวนของ HVDC ผลที่ตามมาก็คือ การกระจายสนามไฟฟ้านั้นไม่ได้ถูกกำหนดโดย bulk conductivity เท่านั้น แต่ยังได้รับอิทธิพลจากการสัมผัสและขอบเขต ซึ่งต้องอาศัยการตรวจสอบที่พิเศษเพื่อทำให้ฉนวน HVDC มีเสถียรภาพ (รูปที่ 2)

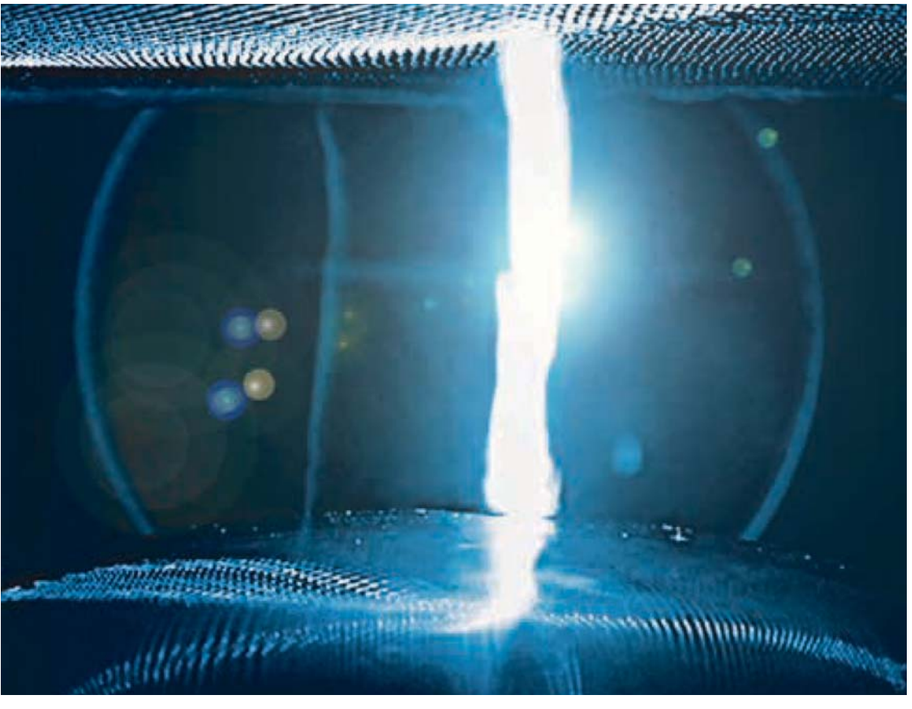
รากโค้งในเบรคเกอร์สุญญากาศ

ในวงจรเบรคเกอร์สุญญากาศ (VCBs) การหยุดชะงักของกระแสเกิดขึ้นจากการก่อตัวและการพังทลายของส่วนโค้งของไฟฟ้า (รูปที่ 3) ประการแรก เนื่องจากวัสดุจำนวนมากเป็นสุญญากาศ ความเกี่ยวข้องของเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมเป็นที่ชัดเจน เพราะพลาสมาโลหะใน VCB สมบูรณ์มาจากขั้วไฟฟ้า ประการที่สอง ตัวอย่างนี้แสดงปัญหาขอบเขตฟิสิกส์ที่หลากหลายและซับซ้อน เนื่องจากมีปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่แตกต่างกันซึ่งสามารถรักษาสภาพได้โดยอิสระในกลุ่ม แต่จะเชื่อมต่อกันที่ระดับต่ำกว่านั้น

เบรกเกอร์พึ่งพาผลกระทบจากขอบเขต เช่น การระเหยของโลหะในเครื่องดูดสุญญากาศและการระเหยของหัวฉีดในเครื่องตัดแก๊ส

Arc roots เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับขั้วไฟฟ้าโลหะ ชั้นไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ arc root ปลอกที่ไม่เป็นกลางนี้นำไปสู่แรงดันไฟฟ้าระหว่างพลาสมาและขั้วไฟฟ้า กล่าวคือ แรงดันไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าลดลง เหมือนที่แสดงในรูปที่ 2a การลดแรงดันนี้นำไปสู่สนามไฟฟ้าที่แรงขึ้นที่พื้นพื้นผิว ซึ่งสิ่งนี้จำเป็นในการวาดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่จากโลหะไปยังพลาสม่าโดยการทำให้อิเล็กตรอนออกจากขั้วลบหรือใส่ขั้วบวกและทำให้ไอออนเคลื่อนที่ไปที่พื้นผิว (รูปที่ 4) การเคลื่อนที่ของไอออนและการรวมตัวใหม่นี้เป็นกลไกการทำความร้อนที่สำคัญ สำหรับโลหะพื้นผิวของอิเล็กโทรดใน arc root จะร้อนจนโลหะระเหย vacuum arc เป็น metal vapor arc ที่ดึงตัวเองออกมาจากวัสดุที่ถูกปล่อยออกมาจาก arc root ความสมดุลของความร้อนจากพื้นผิวพลาสม่าและการระบายความร้อนด้วยการระเหยของโลหะกำหนดอุณหภูมิของขั้วไฟฟ้าและด้วยเหตุนี้จึงกำหนดประสิทธิภาพของเบรคเกอร์

แต่ละกระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนในตัวเอง แต่เนื่องจากอนุภาคเดียวกัน (อิเล็กตรอนไอออนและอะตอม) เป็นตัวนำที่มีคุณสมบัติต่างกัน (มวล ความร้อนและกระแสไฟฟ้า) ข้อกำหนดเกี่ยวกับขอบเขตจึงสัมพันธ์กันและต้องนำมา



รูปที่ 3

—
รูปที่ 4
A number of physical phenomena occur in an arc root – only the microscopic view shows the interdependency between them.

พิจารณาด้วย ถ้ามีการจำลองที่สอดคล้องกัน

อีกตัวอย่างหนึ่งของความเกี่ยวข้องของผลกระทบขอบเขตที่พบในการระเหยของรังสีที่เกิด จากวัสดุในเบรกเกอร์แก๊ส ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างแรงดันที่จำเป็นในกระบวนการ switching (รูปที่ 1)

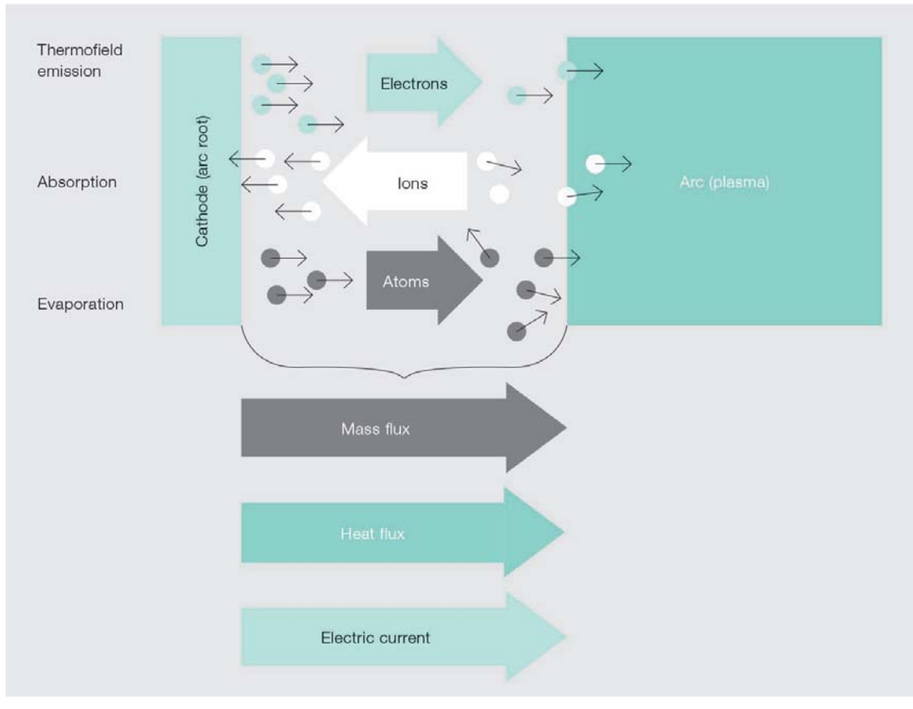
ตัวอย่างเพิ่มเติมจะถูกพบในเซ็นเซอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีน้ำมันเป็นฉนวนและอื่นๆ

แบบจำลองที่เชื่อถือได้

สำหรับแบบจำลองเชิงตัวเลข โมเดลแบบกลุ่มจะต้องมีเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสม บ่อยครั้งที่ขอบเขตมักจะส่งผลอย่างมากต่อผลลัพธ์ ถึงแม้ว่ามันจะเป็นเพียงส่วนเล็กๆ ของระบบทั้งหมด นอกจากนี้ความหลากหลายของข้อมูลเชิงลึกในหลักฟิสิกส์พื้นฐานจำเป็นต้องนำมาพิจารณาในขอบเขตซึ่งเป็นสิ่งสำคัญกว่าการพิจารณาแบบกลุ่ม ซึ่งบ่อยครั้งที่สมการเหล่านี้มาจากกฎการอนุรักษ์ (conversation laws)

เมื่อพิจารณาผลการจำลองแล้วควรพิจารณากลั่นกรองเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ เนื่องจากเหตุผลสองประการ โดยประการแรกนั้น เนื่องด้วยผลกระทบที่มีวงกว้าง จึงเป็นเรื่องง่ายที่จะสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการโดยการปรับขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ส่วนประการที่สองคือ หลักฟิสิกส์ที่อยู่เบื้องหลังเงื่อนไขขอบเขต มักจะมีความซับซ้อนมากและอาจก่อให้เกิดผลที่ผิดพลาด การเลือกเงื่อนไขขอบเขตที่ดีไม่ใช่เรื่องง่าย และต้องมีความเข้าใจเชิงลึกในหลักฟิสิกส์พื้นฐาน ความพยายามทำตามสิ่งเหล่านี้ก็จะส่งผลให้ได้ผลการจำลองที่น่าเชื่อถือมากขึ้น สุดท้ายแต่ไม่ท้ายสุด นั่นคือความเข้าใจเกี่ยวกับขอบเขตอำนาจทางฟิสิกส์ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่นำไปสู่เทคนิคในนวัตกรรมใหม่ๆ

เรียบเรียงจาก
[1] ABB Review 3/2013: Simulation, 2013, pp 1–84.
[2] T. Christen, “Characterization and Robustness of HVDC Insulation,” in IEEE Conference on Solid Dielectrics, Bologna 2013, pp. 238–241.
[3] I. Kleberg, W. Shang, “Understanding arcing: Simulation of high-current vacuum arcs,” ABB Review 1/2004, pp. 22–24.



รูปที่ 4

Power Transformer Series

Testing of power transformers and shunt reactors (ตอนที่ 4)

ปานทิพย์ ประสงค์ไทย
pantip.prasongthai
@th.abb.com

4.4 วิธีการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage Ratio)

การวัด/หาค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้ามี 2 วิธี โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยโวลท์มิเตอร์หรือโดยใช้สะพานไฟฟ้า วิธีแรกนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิที่วัดได้มาคำนวณเปรียบเทียบกัน ถ้าใช้วิธีที่ 2 จะสามารถอ่านค่าความคลาดเคลื่อน/ค่า อัตราส่วนได้ทันทีจากอุปกรณ์ไม่ต้องคำนวณ

ค่าความคลาดเคลื่อสูงสุดของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า หรือ % ความคลาดเคลื่อนจากค่าที่แท้จริง – มาตรฐาน IEC และ IEEE กำหนดไว้ดังนี้

มาตรฐาน IEC 60076-1 Clause 9[1] ระหว่างขดลวด 1 คู่ ค่าความคลาดเคลื่อนหลักของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าจะต้องไม่เกิน ± 0.5% ของค่าที่วัด/หาได้หรือไม่เกิน 0.1x ค่าความต้านทานลัดวงจร (short-circuit impedance) ค่านอกเหนือจากนี้ ระหว่างขดลวดคู่ดังกล่าวรวมทั้งคู่อื่นๆ ตามที่ตกลงกันโดยไม่น้อยกว่าค่าข้างต้น

มาตรฐาน IEEE C57.12.00 Clause 9 [50] – ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดจะต้องไม่เกิน ± 0.5% ของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ขดลวดทั้งสองและที่อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

ตามทฤษฎี ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างรอบของขดลวด ตามสมการ

รูปที่ 4.5
วงจรวัดค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โวลท์มิเตอร์ 2 ตัว

รูปที่ 4.6
วงจรทดสอบขั้ว +

รูปที่ 4.7
วงจรทดสอบขั้ว –

$$r = \frac{N_p}{N_s} = \frac{E_p}{E_s}$$

r = ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า
E = แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร
N = จำนวนรอบที่ขดลวด
p = ปฐมภูมิ
s = ทุติยภูมิ

ความคลาดเคลื่อนของค่าอัตราส่วนเมื่อโดยวัดด้วยโวลท์มิเตอร์ ดังสมการ

$$r_{decl} = \frac{U_{pN}}{U_{sN}}$$

$$r_{act} = \frac{U_p}{U_s}$$

$$f = \frac{r_{act} - r_{decl}}{r_{decl}} \cdot 100\ \%$$

r_{decl} = ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่หา/คำนวณได้
r_{act} = ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริง
U_{pN} = แรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดที่ขดลวดปฐมภูมิ
P_{sN} = แรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดที่ขดลวดทุติยภูมิ
f = ความคลาดเคลื่อนของค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ

ถ้าใช้สะพานไฟฟ้า จะสามารถอ่านค่าความคลาดเคลื่อนและค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าได้ทันทีจากอุปกรณ์ โดยวงจรจะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ

$$f = \frac{r_{act} - r_{decl}}{r_{decl}} \cdot 100\ \%$$

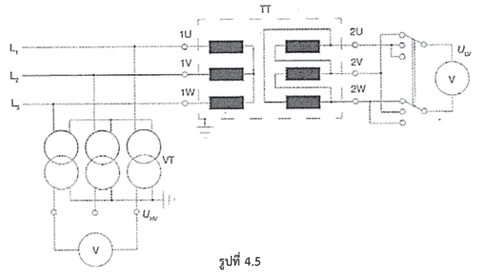
วิธีป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจะต้องระวังการทดสอบ อย่าให้ภาระแก่หม้อแปลงสูงเกินไป การทดสอบวิธีนี้เพียงพอ สำหรับหม้อแปลงนำร่องและหม้อแปลงเตาหลอม ส่วนวิธีสะพาน ไฟฟ้าสามารถใช้ได้กับหม้อแปลงทุกชนิด (ต่อขดลวดทุกแบบ) และแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดเมื่อใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าคั่นกลาง

หลักการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าคือใช้ค่าทดแทน คล้ายกับอุปกรณ์วัดค่าหม้อแปลง Schering-Alberti ยกเว้นกรณีไม่มีวงจร RC-circuit สำหรับวัด/หาความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส วิธีนี้ ความคลาดเคลื่อน = ± 0.1% เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด โดยที่หม้อแปลงไม่มีภาระกระทำหรือมีก็น้อยมากเมื่อสะพานไฟฟ้าสมดุล การทดสอบใช้แรงดันไฟฟ้า 100-250 โวลท์กระแสสลับ (ที่ความถี่สูงสุดของหม้อแปลง) ซึ่งมีอยู่ทุกแห่งเป็นปัจจัยเดียวในการทดสอบ อนึ่ง วิธีสะพานไฟฟ้าจะตรวจสอบการแทนที่เฟสไปด้วยพร้อมกันขณะวัดค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า

4.5 วงจรทดสอบ

4.5.1 วัดค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าโดยใช้วิธีโวลท์มิเตอร์ 2 เครื่อง

ลักษณะของวงจรทดสอบอย่างเดียวกันสำหรับกลุ่มทิศทางภาระหม้อแปลงทุกแบบ – ดูรูปที่ 4.5 การทดสอบจะป้อนแรงดันไฟฟ้า จากด้านแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อป้องกันอันตรายจากระดับของแรงดันไฟฟ้า ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าคั่นกลางอยู่ด้วย ความต้านทานของโวลท์มิเตอร์ที่ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำควรสามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อให้ภาระที่หม้อ แปลงเกิดขึ้นน้อยที่สุด

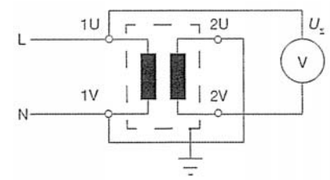


รูปที่ 4.5

4.5.2 ทดสอบขั้วโดยใช้โวลท์มิเตอร์ หม้อแปลง 1 เฟส

ขั้วที่หม้อแปลง 1 เฟส อาจเป็น + หรือ – ได้ ขดลวดแรงดันไฟฟ้าต่ำที่หม้อแปลงจะต่ออนุกรมกับขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูงเฟสเดียว กันหรือตรงข้ามกัน วิธีการหา/วัดขั้ว + ถ้าการแทนที่เฟสถูกต้อง ดูรูปที่ 4.6

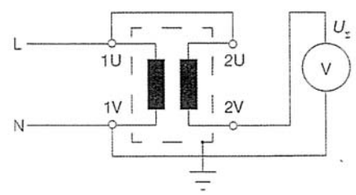
$$U_\Sigma = U_p - \frac{U_p}{r}$$



รูปที่ 4.6

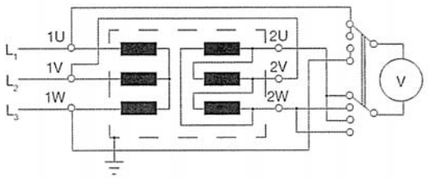
วิธีการหา/วัดขั้ว – ดูรูปที่ 4.7

$$U_\Sigma = U_p + \frac{U_p}{r}$$



รูปที่ 4.7

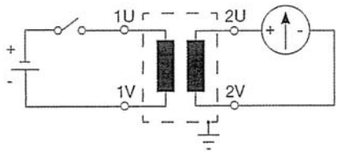
ถ้าเป็นหม้อแปลง 3 เฟส จะต้องตรวจเช็คกลุ่มทิศทางภาระโดยต่อ 1 ขั้วจากด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำไป 1 ขั้วที่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง – ดูรูปที่ 4.8 ถ้าต่อกระแสไฟฟ้า 3 เฟสกับขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูง ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเปิดจะเกิดขึ้นใช้บอกกลุ่มทิศทางภาระ (ดูข้อ 4.6)



รูปที่ 4.8

4.5.3 วิธีตรวจเช็คขั้วโดยใช้กระแสไฟฟ้าตรง

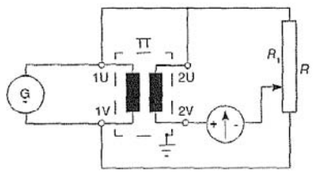
สำหรับระบุ/ทราบชนิดของขั้วที่หม้อแปลง 1 เฟส และ 3 เฟส โดยป้อนกระแสไฟฟ้าตรงเข้าที่ขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นระยะเวลาสั้นๆ – ดูรูปที่ 4.9 ขั้วจะแสดงที่โวลท์มิเตอร์ซึ่งต่อกับด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ



รูปที่ 4.9

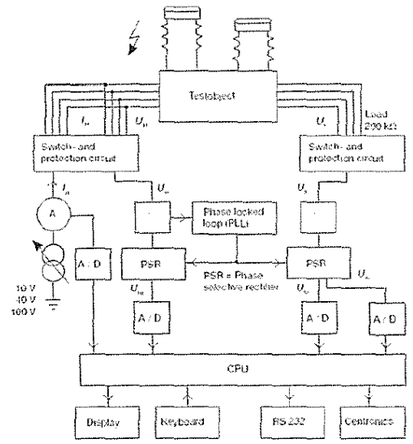
4.5.4 อัตราแรงดันไฟฟ้าและการทดสอบขั้วโดยใช้วงจรบริดจ์วัดอัตราส่วน

หลักการวัดนี้มีหลักการพื้นฐานจากวิธีการชดเชยค่า ดูรูปที่ 4.10 และ 4.11



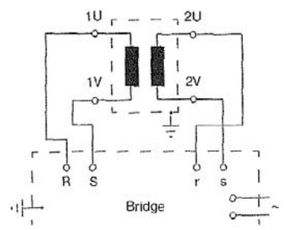
รูปที่ 4.10

ขดลวดแรงดันไฟฟ้าสูงและต่ำถูกต่อเข้าด้วยกันในลักษณะตรงข้ามกันโดยใช้หม้อแปลงหรือดีเคสรีซิสแตนท์ และแรงดันไฟฟ้าถูกชดเชยค่า หากมีระยะห่างของเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้าซึ่งถูกชดเชยค่า วงจรบริดจ์ก็จะไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้อีกต่อไป หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ หากวงจรบริดจ์มีการเชื่อมต่ออย่างเหมาะสม ขั้วของขดลวดจะสามารถหาค่าได้ในเวลาเดียวกัน โดยปกติแล้วการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าจะสามารถทำได้โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟส แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องใช้สำหรับกลุ่มเวกเตอร์พิเศษเท่านั้น หากแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่เหมาะสมกับหม้อแปลงที่จะทำการทดสอบ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปานกลางอาจจะสามารถนำมาใช้กับวงจรบริดจ์วัดค่าเพื่อขยายย่านการวัดให้กว้างขึ้น

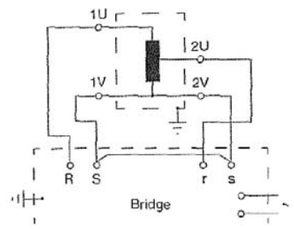


รูปที่ 4.11

วงจรบริดจ์วัดค่าต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับกลุ่มเวกเตอร์หม้อแปลงที่สัมพันธ์กัน ดูรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13

4.5.5 การวัดอัตราส่วนหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงสามเฟส

เช่นเดียวกับหลักเกณฑ์ทั่วไป อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสสามารถวัดได้โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟส ตราบเท่าที่การกระจายตัวของฟลักซ์แม่เหล็กในแกนถูกนำมาพิจารณาร่วมด้วย เฉพาะขดลวดเท่านั้น (ใช้ส่วนขดลวดและการรวมกันของขดลวดซึ่งมีฟลักซ์แม่เหล็กเหมือนกัน) ที่สามารถเปรียบเทียบกับอันอื่นได้ วงจรวัดค่าสามารถสร้างขึ้นมาจาก เฟเซอร์ไดอะแกรมของกลุ่มเวกเตอร์

—
รูปที่ 4.8
วงจรทดสอบขั้วและการต่อขั้วที่หม้อแปลง 3 เฟส โดยใช้โวลท์มิเตอร์

—
รูปที่ 4.9
วงจรทดสอบขั้วโดยใช้กระแสไฟฟ้าตรง

—
รูปที่ 4.10
วงจรบริดจ์วัดอัตราส่วนแบบอนาล็อกพื้นฐาน

—
รูปที่ 4.11
วงจรบริดจ์วัดอัตราส่วนแบบดิจิทัลพื้นฐาน, Tettex Type 2793

—
รูปที่ 4.12
การเชื่อมต่อวงจรบริดจ์กับหม้อแปลงหนึ่งเฟส

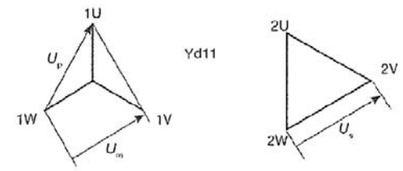
—
รูปที่ 4.13
การเชื่อมต่อวงจรบริดจ์เข้ากับหม้อแปลงออโต้ (Auto-transformer) หนึ่งเฟส

—
รูปที่ 4.14
การเชื่อมต่อวงจรบริดจ์เพื่อเปรียบเทียบค่า U_m และ U_s (เฟสเดียวกัน) $U_m = \frac{1.5}{\sqrt{3}}$

—
รูปที่ 4.15
การกระจายตัวของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการทดสอบบนหม้อแปลง Yy โดยมีความบกพร่องระหว่างรอบขดลวด

—
รูปที่ 4.16
การทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าบนหม้อแปลงออโต้สามเฟสที่มีสายนิวตรอลที่เข้าถึงได้; การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

ของหม้อแปลงทดสอบ เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้าสองค่าซึ่งถูกนำมาเปรียบเทียบกันจะมีเฟสตรงกันและมีทิศทางเดียวกัน สิ่งนี้สามารถทำได้โดยการทำให้มั่นใจว่าขั้วต่อแรงดันไฟฟ้าด้านสูงและแรงดันไฟฟ้าด้านต่ำถูกเชื่อมต่ออย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.14

ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าของเฟสนั้นจะไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้เสมอไป

ดังนั้นวงจรบริดจ์วัดค่าต้องถูกปรับเปลี่ยนเพื่อสะท้อนให้เห็นถึงค่าอัตราที่วัดได้/ที่ระบุ

$r_{mdecl} = k \cdot r_{decl}$

r_{mdecl} = ค่าอัตราส่วนที่ระบุสำหรับวงจรการวัดที่สัมพันธ์กัน

$$r_{decl} = \frac{U_{pN}}{U_{sN}}$$

เมื่อ

U_{pN} หรือ U_{sN} = แรงดันไฟฟ้าตามพิกัดปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ

แรงดันต่อไปนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.14

$$\frac{1U-1V1W}{2U-2W},\quad \frac{1V-1W1U}{2V-2U},\quad \frac{1W-1U1V}{2W-2V}$$

(1V1W, 1W1U, 1U1V - แต่ละตัวถูกเชื่อมต่อโดยกระแสไฟฟ้า) ในกรณีนี้ k คือ

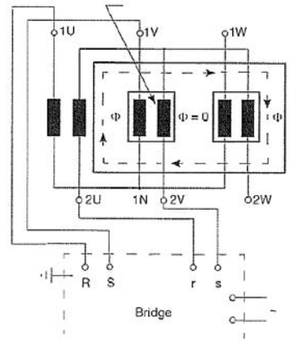
$$k = \frac{1.5}{\sqrt{3}}$$

$$r_{mdecl} = \frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot r_{decl}$$

สำหรับกลุ่มเวกเตอร์ Yy0 และ Yy6 ต้องนำค่าต่อไปนี้เข้าไปพิจารณาร่วมด้วยการวัดอัตราส่วนที่เชื่อมต่อกันดังต่อไปนี้

$$\frac{1U-1V}{2U-2V},\quad \frac{1V-1W}{2V-2W},\quad \frac{1W-1U}{2W-2U}$$

สามารถที่จะดำเนินการได้ แต่ต้องหลีกเลี่ยงเนื่องจากอาจจะมีการลัดวงจรเกิดขึ้นระหว่างรอบขดลวดที่ไม่สามารถตรวจพบได้ ดูรูปที่ 4.15 หากมีการลัดวงจรในหนึ่งเฟส วงจรฟลักซ์แม่เหล็กอาจจะปิดวงจรผ่านสาขาอิสระ และดังนั้นมันยังคงมีความสมดุลทางแม่เหล็ก



รูปที่ 4.15

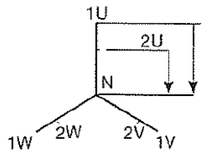
สำหรับกลุ่มเวกเตอร์นี้ การวัดค่าต้องดำเนินการขึ้นในลักษณะดังนี้

$$\frac{1U-1N}{2U-2N} \text{ ฯลฯ หรือ } \frac{1U-1V1W}{2U-2V2W} \text{ ฯลฯ}$$

หากวิธีการหลังถูกนำมาใช้ วงจรบริดจ์สามารถที่จะสร้างความสมดุลได้ แม้ว่าจะมีการลัดวงจรเกิดขึ้นระหว่างรอบขดลวดก็ตามที ความบกพร่องสามารถตรวจจับได้ โดยใช้แอมป์มิเตอร์ทำการเชื่อมต่อแบบอนุกรม

4.5.6 การวัดอัตราส่วนสำหรับหม้อแปลงออโต้สามเฟส

1) การเชื่อมต่อแบบสตาร์ โดยมีสายนิวตรอลที่สามารถเข้าถึงได้จากภายนอก ดูรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16

ทำการแก้ไขการวัดอัตราส่วน

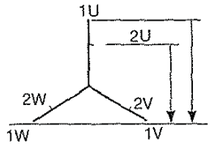
$$\frac{1U-N}{2U-N},\quad \frac{1V-N}{2V-N},\quad \frac{1W-N}{2W-N}$$

การวัดนี้:

$$\frac{1U-1V}{2U-2V} \text{ ฯลฯ หรือ } \frac{1U-N}{N-2U} \text{ ฯลฯ}$$

ไม่ยินยอมให้เกิดขึ้นได้ เนื่องจากการลัดวงจรจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วต่อที่เชื่อมถึงกันภายใน S และ s ของวงจรบริดจ์วัดค่าเมื่อมีการใช้วงจรบริดจ์ตามรูปที่ 4.10

2) การเชื่อมต่อแบบสตาร์ โดยไม่มีสายนิวตรอลที่สามารถเข้าถึงได้จากภายนอก ดูรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17

—
รูปที่ 4.17
การทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าบนหม้อแปลงออโต้สามเฟสที่มีสายนิวตรอลที่เข้าถึงไม่ได้; การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

—
รูปที่ 4.18
การทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าบนหม้อแปลงออโต้สามเฟสโดยใช้การเชื่อมต่อแบบเดลต้า

—
รูปที่ 4.19
การทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าบนหม้อแปลงเครื่องเร็กติไฟเออร์โดยใช้การเชื่อมต่อแบบเดลต้า-ดับเบิ้ลสตาร์; การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

—
รูปที่ 4.20
การทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าบนหม้อแปลงเครื่องเร็กติไฟเออร์โดยใช้การเชื่อมต่อแบบสตาร์-เทอร์มิเนทติ้ง; การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

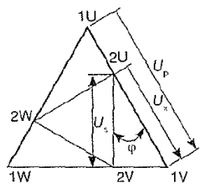
แก้ไขการวัดอัตราส่วน

$$\frac{1U-1V1W}{2U-1V1W},\quad \frac{1V-1U1W}{2V-1U1W},\quad \frac{1W-1U1V}{2W-1U1V}$$

(1V1W, 1W1U, 1U1V - แต่ละตัวถูกเชื่อมต่อโดยกระแสไฟฟ้า) สำหรับวงจรวัดค่านี้ อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้/แรงดันไฟฟ้าที่ระบุจะถูกกำหนดบนวงจรบริดจ์ คือ

$$r_{decl} = \frac{3 \cdot r_{decl}}{r_{decl} + 2}$$

3) การเชื่อมต่อแบบเดลต้า ดูรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18

แก้ไขการวัดอัตราส่วน

$$\frac{1U-1V}{2U-1V},\quad \frac{1V-1W}{2V-1W},\quad \frac{1W-1U}{2W-1U}$$

แรงดันไฟฟ้า 2U - 1V (U_x) ถูกหาค่าได้จากจำนวนของรอบและแรงดันไฟฟ้าต่อรอบ หากมีข้อมูลหาจากป้ายข้อมูลเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวก็จะถูกคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$U_{x1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$p = |U_s| - |U_p|$$

$$q = |U_s|^2 - 2|U_p| \cdot |U_s|$$

เมื่อ

U_p = แรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ

U_s = แรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ

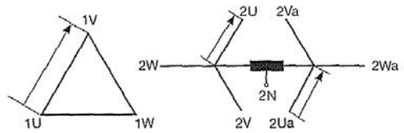
เซ็กเมนต์ที่ใหญ่ที่สุดของขดลวดจะถูกนำมาพิจารณาเป็น "เซ็กเมนต์ x" ในการคำนวณค่า นั่นคือ ถ้า φ > 60° เซ็กเมนต์ระหว่าง 1U - 2U จะถูกพิจารณาเป็น U_x ค่า U_x ที่ไม่ทราบค่าในสูตรข้างต้นนั้นสามารถหาได้จากค่าบวกโดยอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้/ที่ระบุ คือ

$$r_{mdecl} = \frac{U_P}{U_x}$$

ขั้วต่อ S และ s ของวงจรบริดจ์วัดค่าต้องถูกเชื่อมต่อกับขั้วต่อแรงดันไฟฟ้าด้านสูง

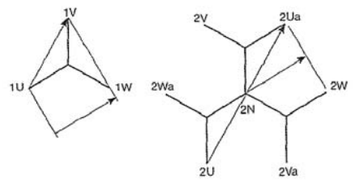
4.5.7 การวัดอัตราส่วนสำหรับหม้อแปลงที่มีกลุ่มเวกเตอร์พิเศษ

1) หม้อแปลงหลายขั้วหรือหม้อแปลงของเครื่องเร็กติไฟเออร์ ดูรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19

สำหรับการเชื่อมต่อแบบเดลต้า/ดับเบิ้ล-สตาร์นั้น จุดต่อนิวตรอลจะถูกต่อเข้ากับขั้วคาโทดของเครื่องเร็กติไฟเออร์ สิ่งนี้ทำให้สามารถเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเฟสได้ สำหรับการเชื่อมต่อแบบสตาร์/ดับเบิ้ล-สตาร์นั้น แรงดันไฟฟ้าเฟสต่อเฟสถูกนำมาเปรียบเทียบเหมือนกับ Yy0 และ Yy6 ค่ารีแอคเตอร์ระหว่างเฟสต้องถูกทำการบายพาสค่า วิธีการเดียวกันนี้ถูกนำมาใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบสตาร์/สตาร์-เทอร์มิเนทติ้ง ดูรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20

แก้ไขการวัดค่าอัตราส่วน

$$\frac{1U-1V}{2U-2N}\ \text{ฯลฯ} \quad \text{หรือ} \quad \frac{1U-1V1W}{2N-2U_a2W}\ \text{ฯลฯ}$$

การเชื่อมต่อที่ถูกต้องสำหรับเดลต้า/สตาร์-เทอร์มิเนทติ้ง คือ

$$\frac{1U-1V}{2U-2N}\ \text{ฯลฯ} \quad \text{หรือ} \quad \frac{1U-1V}{2W_a-2U_a}\ \text{ฯลฯ}$$

2) หม้อแปลงแบบเลื่อนเฟส

ณ จุดนี้ เรากำลังพิจารณาหม้อแปลงที่มีการควบคุมการเลื่อนเฟสหรือการควบคุมควอดแดรนท์ เช่น หม้อแปลงเครื่องเร็กติไฟเออร์แบบเลื่อนเฟส มันไม่สามารถที่จะใช้วงจรบริดจ์กับชนิดเหล่านี้ได้ การวัดค่าอัตราส่วนถูกดำเนินการโดยใช้โวลต์มิเตอร์ 2 ตัว และความเที่ยงตรงที่ลดลงต้องถูกนำมาพิจารณาร่วมด้วย หากการเชื่อมต่อระหว่างขดลวดร่วมและขดลวดรักษาระดับคงที่หรือเลื่อนเฟสสามารถเข้าถึงได้ สาขาของขดลวดแต่ละตัวก็สามารถวัดค่าโดยใช้วงจรบริดจ์ได้ ระยะห่างระหว่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านสูงและแรงต่ำต้องมีการทดสอบสำหรับชนิดเหล่านี้ นอกเหนือจากการทดสอบอัตราส่วนและขั้วไฟฟ้าดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

โปรดติดตามต่อฉบับหน้า

Weekend

พายเรือชมบัวแดงใกล้เมืองกรุง ที่ "ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน"

วันหยุดว่างๆ หลายคนก็อยากจะออกเดินทางไปพักผ่อนหย่อนใจ ใช้เวลาว่างทำกิจกรรมร่วมกันกับครอบครัว ไม่ว่าจะชอป ชิม ชิล ท่ามกลางบรรยากาศดีๆ แต่ก็ยังไม่รู้ว่าจะไปที่ไหน ถ้ายังนึกไม่ออกขอแนะนำสถานที่ที่จะมาเติมความสุขในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ ซึ่งอยู่ไม่ไกลจากกรุงเทพฯ นั่นก็คือ "ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน" จ.นครปฐม

"ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน" ตั้งอยู่ที่ อ.บางเลน จ.นครปฐม การเดินทางจากกรุงเทพฯ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ที่นี่เป็นตลาดแนวพักผ่อนเชิงธรรมชาติ ให้นักท่องเที่ยวได้พาครอบครัวมาพักผ่อนได้ทั้งวัน ไม่เพียงแค่บัวแดงที่สวยงามดูได้ทั้งวันจนตะวันตกดิน ยังมีร้านขายของกินของฝากอีกด้วย

เมื่อเข้ามาภายในตลาดน้ำจะพบกับมุมถ่ายรูปต่างๆ ที่ให้นักท่องเที่ยวได้โพสท่าถ่ายรูปเอาไว้เก็บภาพความประทับใจ ด้านในจะสัมผัสกับทุ่งดอกบัวสีแดงสวยๆ มีการตกแต่งสไตล์โมเดิร์นผสมผสานกับธรรมชาติอย่างลงตัว

เรือพร้อมบริการนักท่องเที่ยว

สระบัวอันกว้างใหญ่ของ "ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง" แห่งนี้ มีบรรยากาศสวยงาม มีดอกบัวเต็มสระ ทั้งดอกบัวบาน ดอกบัวหุบสลับกันเบ่งบาน ซึ่งพื้นที่แห่งนี้มีประมาณกว่า 40 ไร่ โดยในส่วนของสระบัวมีพื้นที่กว้างขวางถึง 24 ไร่ นักท่องเที่ยวสามารถเดินทางมาชมความงดงามของดอกบัวแดงได้ตลอดทั้งปี

ดอกบัวบานสะพรั่ง

ดอกบัวแดงของที่นี่จะบานเต็มพื้นที่เยอะที่สุดช่วงเช้า ก่อนเวลาประมาณ 10.30 น. และจะบานทั้งวันจนถึงตะวันตกดิน ในช่วงเย็นก็จะมีความสวยงามไปอีกแบบ เพราะได้ชมดอกบัวพร้อมกับพระอาทิตย์ตกดิน หากใครอยากจะมาพายเรือเพื่อเข้าไปชมบัวแดงใกล้ๆ ที่นี่มีบริการเรือลำละ 100 บาท สามารถนั่งได้ 4-5 คน โดยจะมีคนมาพายให้ชมโดยรอบสระ

สำหรับในส่วนของโซนร้านค้า ร้านอาหาร จะตั้งอยู่ด้านข้างริมสระบัว ออกแบบในสไตล์ลอฟท์ที่ตกแต่งอย่างทันสมัย มีความโปร่งโล่งสบาย เสาร์อาทิตย์มีดนตรีสดให้ฟังกันอีกด้วย

วันหยุดพักผ่อนที่จะถึงนี้ หากยังไม่ได้วางแผนการเดินทางไปท่องเที่ยวที่ไหน อยากชักชวนให้ลองแวะมาชมความงดงามของ "ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน" ดูสักครั้ง เดินทางง่ายใกล้กรุงเทพฯ ใช้เวลาเดินทางไม่นานก็มาถึงแล้ว

ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ บางเลน มาเที่ยวได้ทุกวัน ตั้งแต่เวลา 09.00-18.00 น. (วันธรรมดาร้านค้าอาจจะเปิดไม่เยอะ) ถ้าใครขับรถมาเองก็สามารถที่จะใช้เส้นทางบางบัวทอง-สุพรรณบุรี ตรงไปจนถึงทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 346 (ไทรน้อย) เลี้ยวซ้ายแล้วตรงไปยังอำเภอบางเลน เมื่อเข้าสู่ตัวอำเภอจะมีป้ายบอกทางชัดเจน

Health & Wellness

3 สารอาหาร ช่วยการสมานแผล

แม้โลกจะเข้าสู่ยุคพรมแดนไร้สาย แต่ในชีวิตประจำวันเราก็ยังต้องเดินทางเพื่อติดต่อสื่อสาร และใช้ชีวิตประจำวัน ซึ่งอาจจะนำอาการบาดเจ็บหรือบาดแผลจากการไม่ระมัดระวังของไลฟ์สไตล์ชีวิตที่เปลี่ยนไป ยิ่งในช่วงอีกไม่กี่เดือนข้างหน้าจะเข้าสู่ฤดูหนาว หลายๆ คนคงไม่อยากเจ็บป่วยเป็นแผลในช่วงนั้นอย่างแน่นอน

วันนี้เราจึงหยิบนำวิธีการเสริมสร้างป้องกันและตัวช่วยที่จะช่วยให้คุณรักษาบาดแผลให้หายไวขึ้นแถมสุขภาพร่างกายแข็งแรงอีกด้วย

วิตามินซี วิตามินเอ

เพราะนอกจากมีประโยชน์ต่อผิวพรรณในเรื่องของความสวยความงาม สรรพคุณของวิตามินซีและเอ ยังมีส่วนช่วยการสร้างคอลลาเจนของผิวหนังช่วยเสริมความแข็งแรงให้เนื้อเยื่อ กล้ามเนื้อ และกระดูกได้ ยังทำหน้าที่สร้างผนังของเซลล์และทำให้เส้นเลือดฝอยแข็งแรงขึ้น ยังช่วยในการไหลเวียนของเลือด ช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อ แถมป้องกันการติดเชื้ออีกด้วย

ธาตุเหล็ก สังกะสี

ธาตุเหล็กนับเป็นสารอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อร่างกายของคนเราได้เป็นอย่างมาก และยังเป็นสารอาหารชนิดหนึ่งที่ร่างกายจำเป็นต้องการได้รับไม่แพ้ไปกว่าสารอาหารชนิดอื่นๆ เพราะมีหน้าที่ช่วยในการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่จะนำออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ รวมถึงบาดแผลที่ต้องการออกซิเจนในการสมานแผลนั้นเอง ส่วนในเรื่องของธาตุสังกะสีเนื่องจากมีแร่ธาตุสองชนิดคือสังกะสีและซีลีเนียมมีบทบาทสำคัญต่อการรักษาความสมดุลของร่างกาย จะช่วยในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่มีหน้าที่ผลิตเซลล์ผิวใหม่

นอกจากนี้ยังช่วยให้ร่างกายดูดซึมสารอาหารที่จำเป็นอย่างโปรตีน มาช่วยซ่อมแซมเนื้อเยื่อผิวหนังดีขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นควรรับประทานคู่กับธาตุสังกะสีในปริมาณที่พอเหมาะสมดุลกัน ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุต่างๆ โดยเฉพาะเยื่อบุทางเดินอาหาร ตลอดจนทำให้มีเลือดออกในทางเดินอาหาร มีผลต่อการกดภูมิคุ้มกันต้านทานโรคต่างๆ หรือทำให้ร่างกายติดเชื้อได้ง่าย

โปรตีน คาร์โบไฮเดรต

อีกหนึ่งตัวช่วยที่จะรักษาและสมานบาดแผลรวมไปถึงเสริมสร้างผิวหนังให้ดีเพราะเนื่องจากเมื่อระบบย่อยอาหารย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโน ร่างกายจะสามารถดูดซึมและนำสารอาหารไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนชนิดต่างๆ อาทิ คอลลาเจน เคราติน อินซูลิน หรือ ฮีโมโกลบิน ที่ต่างก็มีส่วนหน้าที่ทำงานในระบบโครงสร้างร่างกาย ระบบฮอร์โมน ระบบคุ้มกันของร่างกาย เนื้อเยื่อ ผิว กระดูกอ่อนและลำเลียงสารในกระแสเลือด ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่สมบูรณ์ครบถ้วนด้วยสารอาหารไม่ผ่านกรรมวิธี เช่น ข้าวกล้อง ขนมปังโฮวีต มันเทศ หรือ เผือก มีส่วนที่ช่วยเสริมสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย ทำให้ร่างกายไม่จำเป็นต้องไปดึงโปรตีนมาใช้เสริมส่งผลให้กระบวนการหน้าที่ของโปรตีนเป็นไปอย่างปกติสะดวกได้ประสิทธิภาพเต็มร้อยนั่นเอง

รับประทานอย่างต่อเนื่องเป็นประจำนอกจากร่างกายผิวพรรณจะเจ็บป่วยได้ยากขึ้น ยังแข็งแรงและสุขภาพดีไร้อาการป่วยไข้รบกวน

Movement

01

03

02

04

05

01 ABB จัดสัมมนาวิชาการ Gas Insulated Switchgear : Design, Applications and Digitalization

บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมกับ IEEE Power & Energy Society – Thailand, สมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเลคโทรนิคส์แห่งประเทศไทย ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลังคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและบัณฑิตวิทยาลัย วิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีด้านสถานีไฟฟ้ารูปแบบ GIS และแลกเปลี่ยนประสบการณ์เกี่ยวกับ GIS with Eco-efficient Gas, Integrated GIS Applications, Digital Substation, Underground Substations โดยวิทยากรพิเศษจากเอบีบี ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เยอรมันและสวีเดน มีผู้เข้าร่วมสัมมนาจากหน่วยงานรวมทั้งสิ้นกว่า 420 คน

02 ABB ร่วมงาน ดิจิทัลไทยแลนด์บิ๊กแบง 2017

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยคุณศิริโชติ สิงห์ษา Vice President - Robotics and Motion Division ได้เข้าร่วมงาน "ดิจิทัล ไทยแลนด์บิ๊กแบง 2017" ณ ทำเนียบรัฐบาล โดยได้นำหุ่นยนต์สองแขนกลอัจฉริยะ YuMi เข้าร่วมงาน ซึ่งได้โชว์ลีลา Robot Barista ชงกาแฟต้อนรับ พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรีด้วย

03 ABB ร่วมงานสัมมนาปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและการแก้ไข

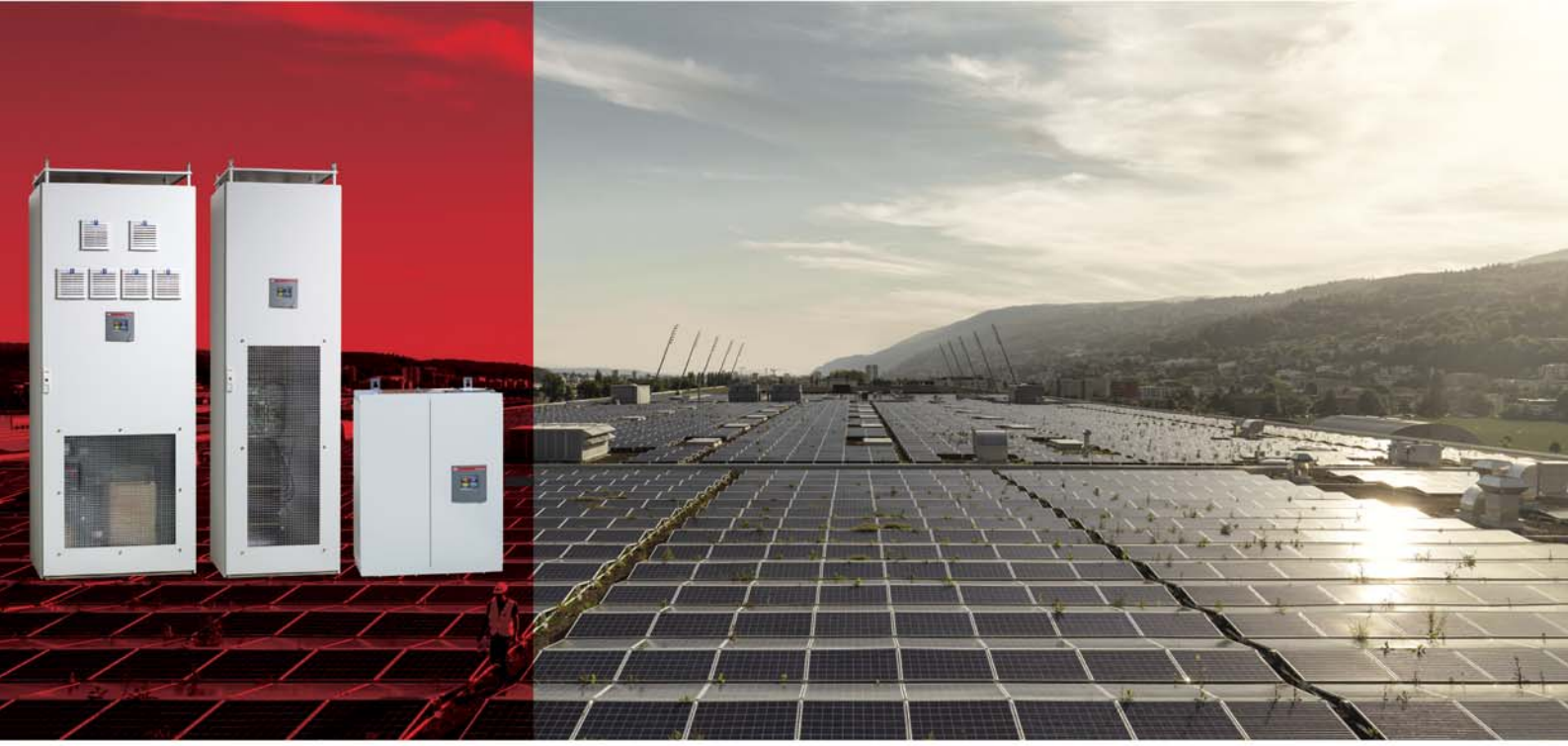
บริษัท เอบีบี จำกัด ร่วมงานสัมมนา ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและการแก้ไข : ทฤษฎีและกรณีศึกษา จัดโดย IEEE PES Thailand ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ โดยมีวิศวกรผู้เชี่ยวชาญจากเอบีบีบรรยายในหัวข้อ Case Studies and Solutions ซึ่งได้นำเสนอโซลูชั่นของผลิตภัณฑ์ Power Quality Filter และ PCS100, PCS120 MV UPS สำหรับแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือสูง

04 ABB และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ลงนามความร่วมมือทางวิชาการพัฒนาบุคลากรและระบบงาน

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยคุณชัยยศ ปิยะวรรณรัตน์ กรรมการผู้จัดการ ลงนามบันทึกความเข้าใจความร่วมมือทางวิชาการกับผู้ว่าการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คุณเสริมสกุล คล้ายแก้ว เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ด้านเทคนิคและประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาองค์กร บุคลากรและระบบงาน เพื่อรองรับเทคโนโลยีด้านระบบไฟฟ้าและพลังงานในอนาคต

05 ABB ร่วมงาน Energy Symposium 2017

บริษัท เอบีบี จำกัด โดยคุณชัยยศ ปิยะวรรณรัตน์ กรรมการผู้จัดการ ให้การต้อนรับ พลเอกอนันตพร กาญจนรัตน์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน และ ดร. อารีพงศ์ ภู่ชอุ่ม ปลัดกระทรวงพลังงาน ประธานคณะกรรมการบริหารการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและผู้บริหารสภาอุตสาหกรรม ในโอกาสเยี่ยมชมนวัตกรรม EV Global Charging Partner for Car and Bus OEM's ทั้งในภาคพื้นยุโรป อเมริกา และเอเชีย (จีน) ของเอบีบี ในงาน Energy Symposium 2017 ที่โรงแรมเซนทารา แกรนด์ แอท เซนทรัล ลาดพร้าว



Energy Storage Inverters

Enhancing power quality and energy efficiency

Energy Storage Inverters (ESI) เป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง โดยสามารถแปลงกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เพื่อเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ (charging) หรือใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ (discharging) โดยแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายให้อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้า

คุณสมบัติเด่น

- เป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง (Bidirectional Inverter)
- เป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าที่สามารถเพิ่มคุณภาพไฟฟ้าได้ โดยสามารถกำจัดฮาร์มอนิก, ควบคุมกำลังไฟฟ้าแต่ละเฟส (P&Q), สามารถป้อนรีแอคทีฟเพาเวอร์ทั้งอินดักทีฟ (Inductive) และคาปาซิทีฟ (Capacitive) และแก้ปัญหาโหลดไม่สมดุลในระบบไฟฟ้า
- ใช้งานในระบบที่มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid) และระบบไฟฟ้าแยกโดด (Islanding)
- ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมที่ระบบสื่อสารรองรับ Modbus RTU/Modbus TCP-IP และสามารถสื่อสารกับ BMS (Battery Management System) ผ่าน CAN bus
- ใช้งานกับแบตเตอรี่ได้หลายชนิด เช่น Li-Ion, Na-S, Lead Acid และอื่นๆ
- มีขนาดมาตรฐานที่สามารถต่อร่วมกันได้หลายตัว หากต้องการเพิ่มขนาดกำลังไฟฟ้า **abb.co.th**

ABB