White Paper

โซลูชั่นความปลอดภัยของ SolarEdge

สิงหาคม 2022 | เวอร์ชั่น 2.1

SolarEdge Technologies, Inc.

ทรัพย์สินของ SolarEdge Technologies, Inc.© 2022

SolarEdge

ในปี พ.ศ. 2549 SolarEdge ได้ปฏิวัติอุตสาหกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการคิดค้นวิธีที่ดีกว่าในการรวบรวมและจัดการพลังงานใน ระบบ PV วันนี้เราเป็นผู้นำระดับโลกด้านเทคโนโลยีพลังงานอัจฉริยะ ด้วยความมุ่งมั่นอย่างไม่หยุดยั้งในการสร้างสรรค์นวัตกรรมและ การใช้งานความสามารถด้านวิศวกรรมระดับโลกอย่างต่อเนื่อง เรายังคงสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์พลังงานอัจฉริยะและโซลูชั่นที่ขับเคลื่อนชีวิตเราและขับเคลื่อนความก้าวหน้าในอนาคต

SolarEdge พัฒนาโซลูชั่น DC Optimized สำหรับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเปลี่ยนวิธีการเก็บเกี่ยวและจัดการพลังงานในระบบ PV ทั้งยังช่วยเพิ่มการผลิตไฟฟ้าให้ได้สูงสุดและลดต้นทุนพลังงานที่ผลิตโดยระบบ PV ช่วยให้ระยะเวลาในการคืนทุน (ROI) ดีขึ้น และยังมีประโยชน์เพิ่มเติม ได้แก่ คุณลักษณะในการวิเคราะห์และความปลอดภัยขั้นสูง, การปรับปรุงการออกแบบให้ยืดหยุ่น, และการปรับปรุงการดูแลระบบ (O&M) ด้วยการตรวจสอบติดตามในระดับแผงจากระยะไกล

SolarEdge DC Optimized ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ SolarEdge, Power Optimizer และอุปกรณ์สื่อสารที่ช่วยให้สามารถเข้าถึง SolarEdge Monitoring Platform ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์การจัดการพลังงานอัจฉริยะที่เป็นโซลูชั่นเพิ่มเติมของ SolarEdge รวมถึงแบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงานและระบบ SolarEdge Home Smart Energy Management ซึ่งช่วยให้เจ้าของระบบประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น

โซลูชั่น SolarEdge จัดการกับกลุ่มตลาดพลังงานแสงอาทิตย์ในวงกว้าง ตั้งแต่ที่อยู่อาศัยไปจนถึงธุรกิจขนาดใหญ่และการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของโซลูชั่น SolarEdge ได้แก่:

- ความปลอดภัยขั้นสูง
- ความน่าเชื่อถือสูง
- ผลิตพลังงานได้สูงสุด
- การออกแบบที่เพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุน
- ความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบขั้นสูง
- การตรวจสอบติดตามและควบคุมอย่างต่อเนื่องเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบ
- การจัดเก็บและสำรองพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อควรพิจารณาและมาตรการด้านความปลอดภัยในระบบ PV

มีบริษัทจำนวนมากขึ้นที่เลือกใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเหตุผลหลักในการตัดสินใจคือพลังงานโซล่าร์มีต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำแม้จะไม่มีเงินอุดหนุน, ไม่มีแรงจูงใจจากรัฐบาลในระดับภูมิภาคและระดับประเทศ, ความตระหนักว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ที่จะทดแทนการใช้พลังงานจากกริดไฟฟ้าแบบเดิม, และสุดท้าย การเพิ่มขึ้นของต้นทุนพลังงานจากแหล่งฟอสซิล

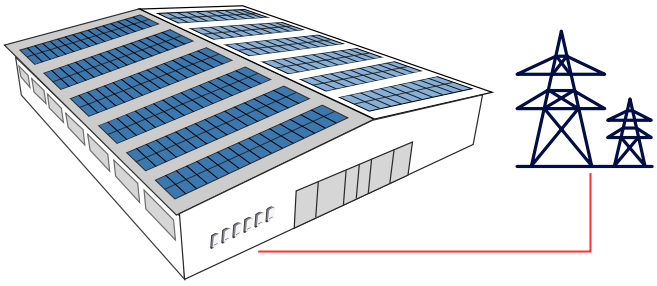
การมีกลไกความปลอดภัยแบบผสมผสานหลายประเภทจึงทำให้ระบบ PV ปลอดภัยยิ่งขึ้น เมื่อตรวจพบความผิดปกติ กลไกเหล่านี้ทำงานร่วมกันเพื่อสนับสนุนความปลอดภัยส่วนบุคคลของพนักงาน, เจ้าของระบบ, และผู้เผชิญเหตุคนแรก เช่น ช่างเทคนิคและนักดับเพลิง

อาคารพาณิชย์และโครงสร้างพื้นฐานเป็นทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูง กลไกป้องกันอัคคีภัยช่วยเลี่ยงการสูญเสียทรัพย์สินและการหยุดชะงักของการดำเนินธุรกิจที่อาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ถ้าทรัพย์สินเกิดความเสียหาย บริษัทประกันภัยบางแห่งให้ค่าชดเชยสำหรับอาคารที่ติดตั้งโซล่าร์รูฟท็อปที่มีการตรวจจับอันตรายและมาตรการป้องกันความปลอดภัยที่เพียงพอ นอกจากนี้ บริษัทประกันภัยบางแห่งยังปฏิเสธที่จะประกันทรัพย์สินที่มีการติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์ที่ไม่ได้มีมาตรฐานความปลอดภัยที่เพียงพออีกด้วย

การทำงานของระบบ PV ทั่วไป

ระบบ PV ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแผง PV และอินเวอร์เตอร์

- แผง PV สร้างพลังงานไฟฟ้าสะอาดโดยเปลี่ยนแสงแดดเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- อินเวอร์เตอร์จะแปลงไฟกระแสตรง (DC) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกริดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่ใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับที่อยู่อาศัย, อาคาร, และธุรกิจ
- มีการจ่ายไฟสำหรับระบบสาธารณูปโภคเมื่อจำเป็น



รูปที่ 1: ส่วนประกอบระบบ PV ทั่วไป

ความต้องการมาตรการความปลอดภัย

เนื่องจากการติดตั้ง PV แบบเดิมสามารถเข้าถึงแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 1,500 VDC จึงต้องปฏิบัติตามข้อควรระวังเพื่อ

ให้มั่นใจในความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สิน การออกแบบของ SolarEdge รักษาการผลิตพลังงานที่ปลอดภัยในระดับอินเวอร์เตอร์และอนุญาตให้ปิด/บายพาสเฉพาะแผง/สตริงที่เกี่ยวข้อง เมื่อจำเป็นต้องปิดเครื่อง อินเวอร์เตอร์ SolarEdge จะปิดโดยอัตโนมัติตามชุดเหตุการณ์ที่ถูกกำหนดไว้ หรือสามารถเริ่มต้นการปิดระบบได้ด้วยตนเอง

ความปลอดภัยขั้นสูง - วิธีการแบบผสมผสาน

ระบบ SolarEdge PV ใช้แนวทางแบบผสมผสานในการลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าช็อตและไฟไหม้ โดยการจัดหาโซลูชั่นด้านความปลอดภัยที่รวมการป้องกันและกลไกการตรวจจับอย่างมีประสิทธิภาพ กลไกเหล่านี้สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่เข้มงวดโดย:

- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของระบบ PV ลดลงสู่ระดับที่ปลอดภัยเมื่อปิดระบบ
- ตรวจจับข้อผิดพลาดในช่วงต้น
- การใช้กลไกการป้องกันแบบแอคทีฟและต่อเนื่อง
- รองรับการตรวจสอบระดับโมดูลพร้อมการแจ้งเตือนข้อผิดพลาดพร้อมทั้งคำแนะนำในการดำเนินการ
- อนุญาตให้ตัวนำคายประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็วจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปลอดภัย

Arc Fault Circuit Interrupter (AFCI)

อินเวอร์เตอร์ SolarEdge ได้รับการออกแบบให้มีระบบการป้องกันในตัวเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานการตรวจจับอาร์ค UL 1699B เพื่อป้องกันผลกระทบจากอาร์คที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ นอกจากนี้ SolarEdge ยังเป็นสมาชิกของคณะทำงานที่ร่วมมือกับผู้จำหน่ายระบบ PV รายอื่น, Grid Operator และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรฐาน IEC 63027 แม้ว่ามาตรฐาน IEC มาตรฐานยังอยู่ในขั้นร่าง ระบบ SolarEdge พร้อมที่จะปฏิบัติตามร่างข้อกำหนดฉบับล่าสุด

การบริหารความเสี่ยง - SafeDC™

SafeDC™ คือคุณลักษณะด้านความปลอดภัยในระดับแผง ที่ลดความเสี่ยงจากไฟฟ้าช็อตจากไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้เหลือน้อยที่สุด แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นของ Power Optimizer คือ 1Vdc ทำให้มั่นใจได้ถึงแรงดันไฟฟ้าที่ปลอดภัยต่อการสัมผัส โดยรักษาระดับแรงดันสตริงให้ต่ำกว่า 30 VDC หรือ 50 VDC ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมต่าง ๆ แรงดันไฟฟ้าของ Power Optimizer จะเพิ่มขึ้นในระดับการทำงานที่เหมาะสมที่สุดเมื่ออินเวอร์เตอร์อยู่ในโหมดการผลิตและพารามิเตอร์ทั้งหมดได้รับการตรวจสอบแล้วเท่านั้น

รูปที่ 2: ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปลอดภัยต่อการสัมผัสด้วย SafeDC™

Power Optimizer จะเปลี่ยนกลับเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปลอดภัยซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ถูกกำหนดไว้เพียง 1Vdc เมื่อปิดไฟ AC หรือระหว่างเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย SafeDC™ จะเปิดใช้งานในกรณีเหล่านี้:

- ระหว่างการติดตั้ง เมื่อสายไฟถูกตัดการเชื่อมต่อจากอินเวอร์เตอร์ หรือปิดอินเวอร์เตอร์
- เมื่ออินเวอร์เตอร์ถูกล็อกหรือปิดการใช้งาน
- เมื่ออินเวอร์เตอร์หรือการเชื่อมต่อ AC ถูกปิด

คุณสมบัติ SolarEdge SafeDC™ ได้รับการรับรองในยุโรปว่าเป็นการตัดการเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ตามมาตรฐาน IEC/EN 60947-1 และ IEC/ EN 60947-3 และมาตรฐานความปลอดภัย VDE AR 2100-712 และ OVE R-11-1

การตรวจจับและป้องกันก่อนเกิดเหตุ

SolarEdge S-Series Power Optimizer รุ่นล่าสุดมาพร้อมกับเทคโนโลยี SolarEdge Sense Connect* ซึ่งออกแบบมาใหม่ เพื่อตรวจจับคอนเนคเตอร์ PV ที่ผิดปกติในเชิงรุก และอาจป้องกันเหตุการณ์ที่เกิดจากช่างติดตั้ง, การเดินสาย, หรือคอนเนคเตอร์ การตรวจจับอุณหภูมิในอินเวอร์เตอร์ SolarEdge ช่วยให้สามารถตรวจสอบการติดตั้งอินเทอร์เฟซด้าน AC และ DC รวมทั้งช่วยในการตรวจจับการเชื่อมต่อที่ไม่ดีก่อนที่จะกลายเป็นอาร์ค เมื่อตรวจพบอุณหภูมิผิดปกติ ระบบจะหยุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์หยุดทำงานฉุกเฉิน (Rapid Shutdown หรือ RSD)

อุปกรณ์หยุดทำงานฉุกเฉิน (Rapid Shutdown หรือ RSD) เป็นกลไกด้านความปลอดภัยที่หมายถึงการลดแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็วไปยังแรงดันไฟฟ้าที่ระดับปลอดภัย ในสหรัฐอเมริกา National Electrical Code (NEC) มาตรา 690.12 กำหนดให้ในระบบโซล่าร์รูฟท็อป ควบคุมตัวนำที่อยู่นอกขอบเขตหรือมากกว่า 1 เมตร (3 ฟุต) จากจุดเข้าภายในอาคารจะต้องไม่เกิน 30 โวลต์ภายใน 30 วินาทีของการเริ่มต้นปิดอย่างรวดเร็ว ตัวนำควบคุมที่อยู่ภายในขอบเขตหรือไม่เกิน 1 เมตร (3 ฟุต) จากจุดที่เจาะพื้นผิวของอาคาร โดยจะต้องไม่เกิน 80 โวลต์ภายใน 30 วินาทีของการเริ่มต้นปิดอย่างรวดเร็ว

SolarEdge เป็นหนึ่งในผู้ผลิตอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เพียงไม่กี่รายที่มีฟังก์ชั่นอุปกรณ์หยุดทำงานฉุกเฉิน (Rapid Shutdown) แบบบูรณาการตามระเบียบข้อบังคับของ NEC ผู้ผลิตรายอื่นเพียงนำเสนอฟังก์ชั่นนี้ผ่านส่วนประกอบภายนอก เช่น คอนแทคเตอร์, โช้คทริปเบรกเกอร์, หรือสวิตช์ควบคุมระยะไกลอื่น ๆ ซึ่งอาจเพิ่มความซับซ้อนในระบบและเพิ่มต้นทุน

การตรวจสอบติดตามและการจัดการระบบ

SolarEdge มี Monitoring แพลตฟอร์มจากระยะไกลแบบเรียลไทม์ที่ระดับแผง, สตริง, และระบบ ช่วยให้มองเห็นประสิทธิภาพของระบบที่ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 3: ผังการติดตั้งแผงโซลาร์และระบบตรวจสอบติดตาม

- แพลตฟอร์ม Mornitoring ของ SolarEdge ทำการติดตามวิเคราะห์โดยละเอียดและทำรายงานเกี่ยวกับผลผลิตพลังงาน, Perfomance Raito, และผลการดำเนินงานทางการเงิน
- การแจ้งเตือนอัตโนมัติให้ความแม่นยำและการตรวจจับความผิดพลาดทันที, การบำรุงรักษาจากระยะไกล, และการตอบสนองที่รวดเร็วที่ช่วย ลดขนาดและลดระยะเวลาการเข้าเยี่ยมไซต์งาน
- การเชื่อมต่ออีเทอร์เน็ตแบบเดินสาย, Wi-Fi หรือการเชื่อมต่อเซลลูลาร์เป็นตัวเลือกการสื่อสารที่รองรับซึ่งเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์ SolarEdge กับแพลตฟอร์ม Monitoring ช่วยให้สามารถเข้าถึงได้ง่ายจากคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือของคุณทุกที่ทุกเวลา

อัปเดตระบบของคุณด้วยความสามารถล่าสุด

เรารวบรวมข้อมูลจากการติดตั้งมากกว่า 2 ล้านครั้งทั่วโลกเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ช่วยให้ระบบของเราทำงานในระดับประสิทธิภาพที่ล้ำหน้า ลูกค้าสามารถได้รับประโยชน์จากข้อมูลเชิงลึกและการปรับปรุงของเราโดยนำการอัปเดตซอฟต์แวร์ที่รันได้ง่ายมาใช้ เพื่อให้มั่นใจว่าการติดตั้งจะมาพร้อมกับคุณสมบัติและฟังก์ชั่นด้านความปลอดภัยใหม่ล่าสุด

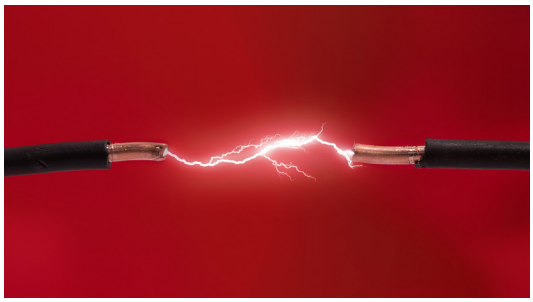
* การอัปเดตเวอร์ชันเฟิร์มแวร์ที่รอดำเนินการ

อาร์คไฟฟ้า

อาร์คคืออะไร?

อาร์คคือการปลดปล่อยพลาสมาแบบคงตัวเองโดยไม่ได้ตั้งใจซึ่งเริ่มต้นจากช่องว่างอากาศขนาดเล็ก อาร์คเป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพซึ่งสามารถแสดงคุณลักษณะต่าง ๆ ได้ เช่น การสร้างความร้อน การปล่อยแสง (มองเห็นได้, UV, IR), การแผ่รังสี RF, สนามแม่เหล็ก, ปฏิกิริยาอะคูสติกและเคมี (อิออไนเซชัน, การรวมตัวกันใหม่)

อาร์คไฟฟ้ามีความร้อนมากพอที่จะละลายแก้ว, ทองแดง, และอลูมิเนียม สามารถเริ่มการเผาไหม้ของวัสดุโดยรอบได้ อาร์คจึงสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากระบบโซล่าร์เซลล์มีจุดเชื่อมต่อหลายจุด



รูปที่ 4: อาร์คไฟฟ้า

ความเสียหายที่ตามมาที่เกิดจากความผิดพลาดดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดอันตรายอย่างแท้จริงต่อระบบโซล่าร์เซลล์, ที่อยู่อาศัย, สิ่งอำนวยความสะดวกที่ติดตั้ง รวมไปถึงเป็นอันตรายต่อชีวิตของเจ้าของทรัพย์สินเหล่านั้น

รูปที่ 5: นักผจญเพลิงตอบสนองต่อไฟไหม้บนการติดตั้ง PV

อุตสาหกรรมโซลาร์เซลล์ เติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา และจำนวนการเกิดเพลิงไหม้ที่เกิดจากความผิดพลาดของอาร์คก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงความต้องการระบบอัจฉริยะที่สามารถปกป้องเจ้าของบ้านและทรัพย์สินจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

อาร์ค DC ในระบบโซล่าร์เซลล์

อาร์คอาจเกิดขึ้นได้ในช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างขั้วเชื่อมต่อสองขั้ว เช่น คอนเนคเตอร์โมดูลในแผง PV และการเชื่อมต่อใน Combiner Box ซึ่งมักเป็นผลมาจากการใช้คอนเนคเตอร์ที่ไม่ดีหรือจากข้อผิดพลาดในการติดตั้ง เช่น การเดินสายที่ไม่เหมาะสมและการเข้าสายที่อาจทำให้เกิดการเชื่อมต่อที่มีรูปแบบไม่ดี เงื่อนไขอื่น ๆ ที่อาจนำไปสู่การอาร์คได้ ได้แก่ อายุการใช้งาน, สภาพดินฟ้าอากาศ, ความเสียหายทางกล, และความเสียหายทางกายภาพจากสัตว์ ข้อต่อที่ไม่ดีลดพื้นที่หน้าตัด, เพิ่มความต้านทานการเชื่อมต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ, และเพิ่มความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ สิ่งนี้จะเพิ่มความเครียดจากความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิในการทำงานที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้การเชื่อมต่อหลวมในที่สุด จากนั้นจะมีช่องว่างเล็ก ๆ เกิดขึ้นระหว่างขั้วเชื่อมต่อสองขั้วในขณะที่ขัดขวางการไหลของกระแส

รูปที่ 6: คอนเนคเตอร์ MC4 ที่เสียหายจากการเกิดอาร์ค

เมื่อสนามไฟฟ้าข้ามช่องว่างเกินประมาณ 3V/µm (ค่าที่แท้จริงของความแรงของการสลายขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ) อากาศในช่องว่างจะเริ่มแตกตัวเป็นไอออนและอาร์คพลาสมาจะพัฒนาขึ้น อาร์คจะก่อตัวขึ้นเมื่อขาดการตรวจสอบ

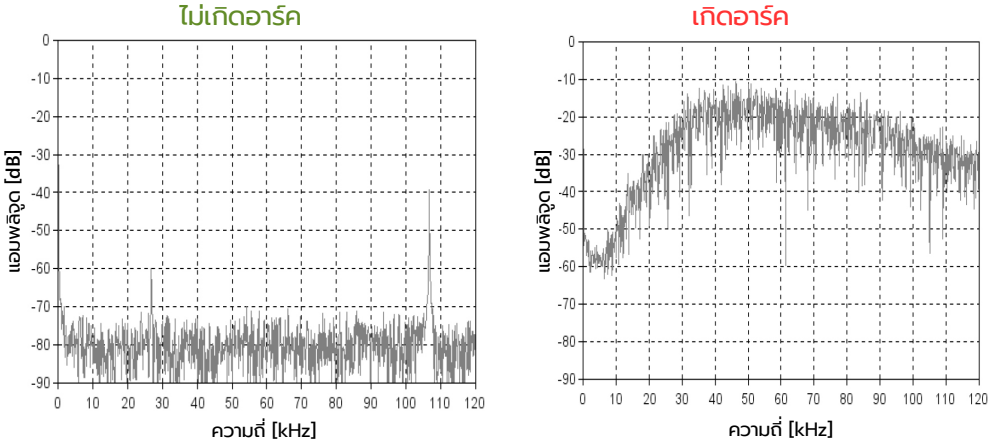
ความท้าทายในการตรวจจับข้อบกพร่องของอาร์ค

มีสองความท้าทายหลักในการตรวจจับอาร์ค:

- ทุกอาร์คมีลักษณะที่แตกต่างกัน - ตามที่อธิบายไว้ข้างต้น ความผิดพลาดของอาร์คสามารถเกิดขึ้นได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ PV โดยมีลักษณะทางไฟฟ้าต่างกัน เช่น กระแส, แรงดันไฟ, ระดับพลังงาน, และระยะเวลา
- ระดับคลื่นรบกวน - สภาพแวดล้อมของระบบโซล่าร์เซลล์ต้องเผชิญกับคลื่นรบกวนจากพื้นหลังหลายประเภท

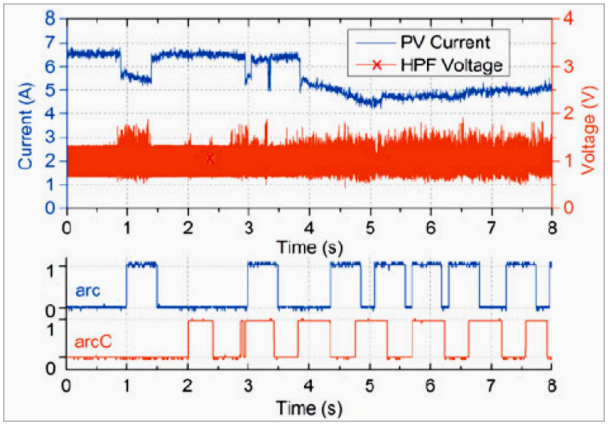
แนวทางทั่วไปในการระบุชี้อาร์ค

ความผิดพลาดของอาร์คเกิดขึ้นในแถบความถี่และแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 7 มีความแตกต่างของสเปกตรัมระหว่างระบบอาร์คและระบบที่ไม่ใช่อาร์ค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลอาร์คเป็นโมเดลที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่แปรผันตามเวลา ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม



รูปที่ 7: แอมพลิจูดของความถี่ที่มีและไม่มีข้อผิดพลาดของอาร์ค

ดังแสดงในรูปที่ 8 อาร์คสามารถตรวจสอบได้ในกระแสสเปกตรัมที่แหลมของอาร์คสามารถเข้าถึงได้ถึง 1A



รูปที่ 8: กระแสเป็นฟังก์ชั่นของเวลาในสถานการณ์อาร์ค

วิธีการตามปัญญาประดิษฐ์ (AI)

บางระบบใช้แนวทาง "กล่องดำ" สำหรับการตรวจจับข้อบกพร่องของอาร์คของกระแสตรง วิธีนี้ใช้วิธีการที่ใช้ AI เช่น Deep Neural Network (DNN) และ Support Vector Machine (SVM) เพื่ออนุมานสภาวะอาร์คที่อาจเกิดขึ้นโดยไม่ต้องตรวจหาสภาพทางไฟฟ้าโดยเฉพาะ อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีนี้ อาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับอาร์คแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม

เมื่อเทียบกับผู้ขายรายอื่น SolarEdge ใช้อัลกอริธึม "กล่องขาว" ที่ยึดตามข้อมูลจากระบบที่ติดตั้งนับล้าน ดูด้านล่างสำหรับรายละเอียดเพิ่มเติม

SolarEdge Arc Fault Circuit Interrupter (AFCI)

โซลูชั่นอัลกอริทึม AFCI ไฮบริดที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลขนาดใหญ่

SolarEdge ได้ลงทุนการวิจัยอย่างกว้างขวางเพื่อทำความเข้าใจและกำหนดลักษณะอาร์คในระบบ PV จากข้อมูลที่ได้รับจากฐานการติดตั้งของเราซึ่งมีไซต์งานมากกว่าสองล้านแห่ง SolarEdge ได้พัฒนาอัลกอริธึมการตรวจจับข้อผิดพลาดอาร์คที่ล้ำสมัยและกลไก AFCI อัลกอริธึมเหล่านี้ใช้กับอินเวอร์เตอร์มากกว่า 2.5 ล้านเครื่อง และทดสอบโดยหน่วยงานรับรองและบริษัทบุคคลที่สามเพื่อให้แน่ใจว่าผ่านข้อกำหนดที่ตั้งไว้และให้ประสิทธิภาพตามที่คาดหวัง

โซลูชั่น SolarEdge AFCI สะท้อนถึงประสบการณ์ของบริษัท, การปรับใช้อย่างกว้างขวาง, และการรวบรวมข้อมูลขนาดใหญ่จากไซต์งานทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ กลไก AFCI จึงมีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะทางไฟฟ้าและประเภทของการติดตั้งอย่างครบถ้วน

อัลกอริธึมการตรวจจับอาร์คของ SolarEdge ให้แนวทางที่ครอบคลุมในการตรวจจับอาร์คและ การป้องกันที่จัดการทุกแง่มุมของเหตุการณ์ความผิดพลาดของอาร์ค:

- Arc Fault Detection (AFD) - ความสามารถในการตรวจจับเหตุการณ์อาร์ค
- Arc Fault Prevention (AFP) - มีกลไกการป้องกันความผิดพลาดของอาร์คในระดับแผง

Arc Fault Detection (AFD)

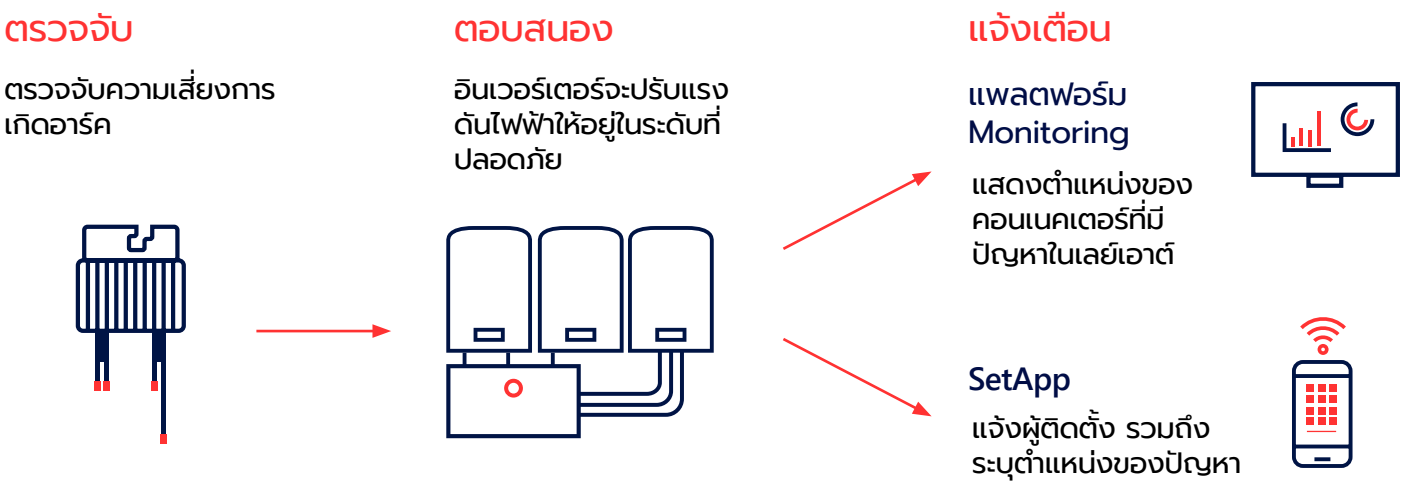
อินเวอร์เตอร์ SolarEdge ประกอบด้วย DSP ที่เรียกใช้อัลกอริทึม AFCI ในเครื่อง เพื่อการตรวจจับอาร์คที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพ โซลูชั่น SolarEdge อิงตาม:

- การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ดำเนินการในระดับแผง (Power Optimizer) และที่ระดับสตริง (อินเวอร์เตอร์)
- กลไก Arc Fault Prevention ที่ใช้งานอยู่นั้นอิงตามข้อมูลเชิงลึกที่จัดทำโดย SolarEdge Power Optimizer และ Power Optimizer S-Series รุ่นล่าสุดขยายกลไก AFP นี้ด้วย SolarEdge Sense Connect ซึ่งตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติและป้องกันความผิดพลาดของอาร์คในเชิงรุก

การทำงานของระบบ Sense Connect (ดูรูปที่ 9)

SolarEdge S Series Power Optimizer แต่ละตัวจะ "ตรวจจับ" อุณหภูมิของคอนเนคเตอร์อย่างต่อเนื่อง ตรวจจับพฤติกรรมของคอนเนคเตอร์ที่ผิดปกติในเชิงรุก และให้การตรวจสอบสภาพของคอนเนคเตอร์และสายไฟอย่างต่อเนื่อง เมื่ออุณหภูมิเกินเกณฑ์ที่กำหนด Power Optimizer จะทริกเกอร์เหตุการณ์ ควบคู่กันไป อินเวอร์เตอร์ SolarEdge จะหยุดการผลิตและจะกลับมาผลิตต่อตามแนวทางความปลอดภัยมาตรฐาน อินเวอร์เตอร์จะส่งเหตุการณ์ของระบบไปยัง SolarEdge Monitoring Platform ซึ่งประมวลผลเหตุการณ์ แจ้งเตือนผู้ติดตั้งรวมถึงการระบุตำแหน่ง ข้อมูลยังสามารถดูได้ระหว่างการติดตั้งผ่านแอพมือถือ SetApp เพื่อระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่ยังอยู่ที่ไซต์งาน เพื่อลดความเสี่ยงที่จะต้องกลับมาแก้ไขงานอีกครั้ง

สุดท้าย อินเวอร์เตอร์ SolarEdge บางรุ่นมีเซ็นเซอร์ในตัวบนแผงขั้วต่อ DC/AC ซึ่งตรวจจับการเชื่อมต่อที่ไม่ดีด้วยการระบุอุณหภูมิที่ผิดปกติ เมื่อตรวจพบอุณหภูมิที่ผิดปกติ ระบบจะแจ้งเตือนผู้ติดตั้งโดยอัตโนมัติและปิดอินเวอร์เตอร์หากจำเป็น



รูปที่ 9: การทำงานของ SolarEdge Sense Connect

* การอัปเดตเวอร์ชั่นเฟิร์มแวร์ที่รอดำเนินการ

การทดสอบและการตรวจสอบ – ข้อกำหนดมาตรฐาน

มีสองมาตรฐานหลักที่ต้องพิจารณาในการค้นพบและการรักษาอาร์ค:

- UL 1699B: นำมาใช้โดยสหรัฐอเมริกาและแคนาดา เขียนขึ้นในปี พ.ศ. 2554 และอัปเกรดในปี พ.ศ. 2561 หลังจากมีประสบการณ์ภาคสนาม
- IEC 63027: มาตรฐานยุโรปยังคงอยู่ในสถานะร่าง SolarEdge เป็นสมาชิกที่ใช้งานอยู่และเป็นผู้เขียนร่วมของมาตรฐานนี้

ตารางที่ 1: สรุปความแตกต่างที่สำคัญระหว่างกลยุทธ์การค้นพบอาร์ค

Topic	UL 1699B (2018)	IEC 63027
ประเภทของอาร์ค	Series	Series
ตำแหน่งของอาร์ค	สายเคเบิลอินพุตและสตริง	สายเคเบิลอินพุตและสตริง
อิมพีแดนซ์เต็มสตริง	50 µH + 0.7 µH/เมตร เกิน 80 เมตร	50 µH
ระยะเวลาอาร์คและเกณฑ์พลังงาน	หยุดเหตุการณ์อาร์คในเวลาน้อยกว่า 2.5 วินาที และจำกัดพลังงานไม่เกิน 750 J	หยุดเหตุการณ์อาร์คในเวลาน้อยกว่า 2.5 วินาที และจำกัดพลังงานไม่เกิน 750 J
การกลับมาดำเนินการ	หลังจากที่อาร์คแต่ละส่วนดับลง ระบบจะหน่วงเวลาไม่น้อยกว่าห้านาทีก่อนที่จะกลับมาทำงานต่อ ไม่จำเป็นต้องใช้การหน่วงเวลาห้านาทีหลังจากการรีเซ็ตด้วยตนเอง หลังจากเกิดเหตุการณ์อาร์คห้าครั้งในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ระบบจะเปิดวงจรและต้องรีเซ็ตด้วยตนเองก่อนกลับสู่การทำงาน.	ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนแบบแมนนวลหากมั่นใจว่ามีเวลาขัดจังหวะขั้นต่ำห้านาทีก่อนที่จะดำเนินการต่อไป เมื่อขัดจังหวะครั้งที่ห้าภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ต้องทำการรีเซ็ตด้วยตนเอง

ข้อกำหนดเครือข่ายสำหรับ AFCI Function Detection สามารถพบได้ในเอกสารมาตรฐาน UL 1699B (2018) รูปที่ 29.15

นอกจาก SolarEdge ที่ตรงตามมาตรฐานที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว การทดสอบและความสามารถของเรายังเหนือกว่าข้อกำหนดขั้นต่ำของตลาดอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยสูงสุด ดังนี้

อัตราการเตือนที่ผิดพลาด

อินเวอร์เตอร์ SolarEdge สามารถล็อกเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์สัญญาณเตือนแต่ละครั้งและหยุดการผลิต ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญในการวัดความสามารถของระบบในการจัดการกับสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด.

เมื่อพิจารณาถึงความต้องการนี้ โซลูชั่นของ SolarEdge ช่วยให้มั่นใจได้ว่าจะมีจำนวนการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดน้อยที่สุด

ความเร็วของอัตราการแยกอิเล็กโทรด

วิธีการหนึ่งสำหรับการจำลองอาร์กกระแสตรงนั้นขึ้นอยู่กับการจำลองการแยกอิเล็กโทรด อาร์คเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กโทรดถูกแยกระหว่างกระแสโหลด

มาตรฐานสำหรับอัตราการแยกตามที่กำหนดไว้ใน UL 1699B คือ 2.5-5 มม./วินาที

SolarEdge AFCI - ผลการตรวจสอบการทดสอบประสิทธิภาพ

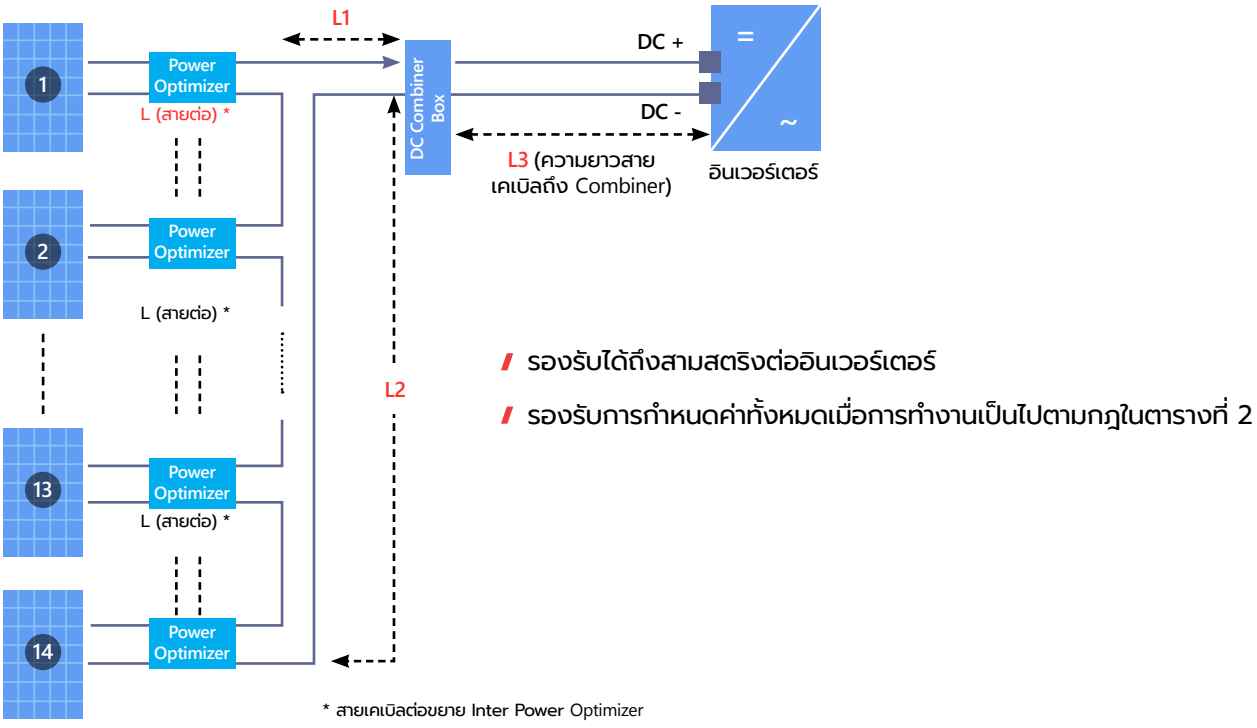
โซลูชั่นด้านความปลอดภัยของ SolarEdge ใช้กลไกความปลอดภัยเชิงรุกที่หลากหลายซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อให้แน่ใจว่ามีการป้องกันระบบ SolarEdge PV อย่างต่อเนื่อง.

ซึ่งรวมถึงการลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับที่ปลอดภัยต่อการสัมผัสเมื่อปิดระบบ การตรวจจับข้อผิดพลาดตั้งแต่เนิ่น ๆ และการป้องกันที่เป็นไปได้ และการแจ้งเตือนระดับแผงแบบเรียลไทม์ที่ดำเนินการได้.

ในการทำเช่นนั้น โซลูชั่นความปลอดภัยของ SolarEdge เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย US UL 1699B 2018 และ European IEC 63027 ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 และรูปที่ 10 ด้านล่าง.

ตารางที่ 2: มาตรฐานการปฏิบัติตามประสิทธิภาพของ SolarEdge (ดูรูปที่ 10)

ประเภทของอาร์คที่สามารถตรวจจับได้	กำหนดโดย UL 1699B 2018
ความยาวสูงสุด (L1 + L2 + L-ext-cable + L3) สำหรับสตริงเดียว (ไปกลับ)	สูงสุดถึง 400 ม.
ความยาวสตริงทั้งหมด (L1 + L2 + L-ext-cable + L3) รวมสำหรับสตริงที่เชื่อมต่อทั้งหมดเป็น inv/unit (ไปกลับ)	สูงสุดถึง 700 ม.
ความแม่นยำในการตรวจจับอาร์ค	99%
ข้อกำหนดทางเทคนิคเพิ่มเติม	ไม่มี



รูปที่ 10: มาตรฐานการเดินสาย SolarEdge