การออกแบบและพัฒนาระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลสำหรับบ้านอัจฉริยะเพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการไฟฟ้า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SMART HOME DIGITAL POWER PROTECTION USING AI TECHNOLOGY

กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์[1]

ปวีณ ผุยรอด[2]

ชัชชม สุจริตโศภิต[3]

Kirschonme Bhumkittipich[1]

Praween Puyrod[2]

Chatchom Sucharitsopit[3]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110[1 ถึง 3]

Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

Pathum Thani 12110 Thailand[1 to 3]

Corresponding E-mail : krischonme.b@en.rmutt.ac.th

Received Date March 29, 2023
Revised Date March 12, 2024
Accepted Date April 23, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบป้องกันไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลสำหรับบ้านอัจฉริยะ ซึ่งระบบดังกล่าวทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการควบคุมไฟฟ้าบ้านอัจฉริยะทดแทนเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเดิม ศึกษาโดยใช้วิธีวิจัยเชิงทดลองการทำงานร่วมกับลานข้อมูลไฟฟ้า นอกจากนั้น ยังศึกษาการยอมรับจากผู้ใช้งาน โดยใช้วิธีวิจัยเชิงปริมาณ ด้วยการติดตั้งระบบที่พัฒนาแล้วให้กับกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 50 ครัวเรือน เป็นเวลา 90 วัน เพื่อให้ได้ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ปัญหาการนำระบบไปใช้จริงในสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย และประเมินการยอมรับจากผู้ใช้งานจริง รวมทั้งความเป็นไปได้ทางธุรกิจ ผลการศึกษาพบว่า ระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลสามารถป้องกันปัญหาที่เกิดจากไฟฟ้าในปัจจุบัน ครอบคลุมการเกิดไฟไหม้จากไฟฟ้ารุ่งแสงที่สะสมความร้อนในสายไฟฟ้าได้ดี ซึ่งผู้ทดลองใช้งานพึงพอใจการใช้เทคโนโลยีนี้อยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีคะแนนเฉลี่ย 3.85 โดยผู้ใช้ไฟฟ้าเห็นถึงความปลอดภัยในการใช้ระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัล โดยเฉพาะการป้องกันการเกิดไฟไหม้ นอกจากนั้น จากการนำระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลมาใช้กับการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้า พบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าให้การยอมรับ เนื่องจากเมื่อนำไปติดตั้งใช้จริง สามารถทำงานได้ดี ควบคุมความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าและสามารถส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

คำสำคัญ: เซอร์กิตเบรกเกอร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์อัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ ไฟฟ้าลัดวงจร ไฟไหม้

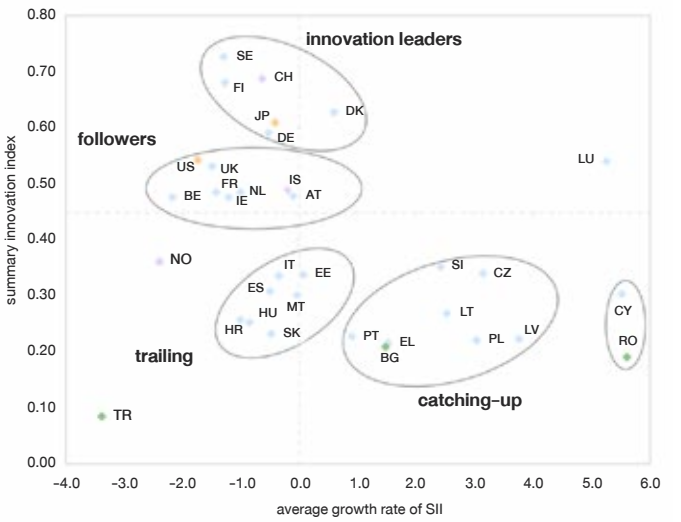
Abstract

This research is aimed to design and develop the digital electrical power protection system for smart homes to be the load center in replace of conventional circuit breakers. The study employed experimental research method conducted in conjunction with a data cloud platform. The user acceptance of the system was also studied through quantitative research methods. By installing the products in 50 households over a period of 90 days, information on electrical usage behavior and problems from actual implementation across diverse environments were gathered in order to analyze user acceptance and the commercial feasibility of the system. The users recognized the increased safety provided by the system, in particular for fire prevention caused by electric arcs from accumulating heat in electrical wires. It was found that a high level of user satisfaction was revealed at an average score of 3.85. Moreover, when employing the electrical power protection system for electrical wave analysis, positive feedback was received from the users. The system performed effectively in ensuring electrical safety and promptly sending alerts in anomalous cases.

Keywords: circuit breaker, intelligent circuit breaker, smart home, short circuit, fire incident

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัลเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ความพร้อมในการปรับตัวของแต่ละประเทศนั้นแตกต่างกัน ประเทศที่มีการปรับตัวช้ากว่า จะตามประเทศที่มีความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีและบุคลากรไม่ทัน ส่งผลให้ประเทศที่มีเทคโนโลยีที่ดีกว่ามีความได้เปรียบกว่าไปด้วย ดังภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของดัชนีนวัตกรรม (Summary Innovation Index: SII) กับอัตราการเติบโตเฉลี่ยของดัชนีนวัตกรรม (average growth rate of SII) จะเห็นได้ว่า กลุ่มประเทศผู้นำ (innovation leaders) ที่มีค่าดัชนีนวัตกรรมสูงจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยของดัชนีนวัตกรรมเป็นค่าบวก ส่วนประเทศที่มีค่าดัชนีนวัตกรรมปานกลางถึงต่ำจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยของดัชนีนวัตกรรมกระจายตัวตั้งแต่ค่าลบไปถึงค่าบวก

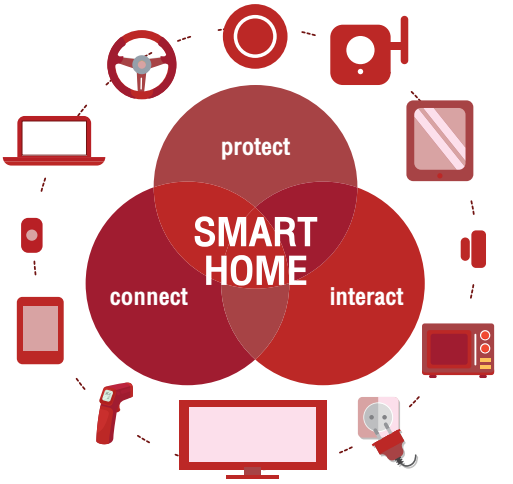


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของดัชนีนวัตกรรมกับอัตราการเติบโตเฉลี่ยของดัชนีนวัตกรรม

ที่มา: European Innovation Scoreboard. (2006)

จากสถานการณ์ดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นโอกาสที่ประเทศไทยจะพัฒนาเทคโนโลยีที่ส่งเสริมการทำงานของไฟฟ้า เนื่องจากไฟฟ้าคือแหล่งพลังงานสำคัญของความก้าวหน้าทางดิจิทัล โดยเน้นไปที่การศึกษาระบบที่ช่วยลดปัญหาการเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้ สำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยกรุงเทพมหานคร รายงานแนวโน้มปัญหาและสาเหตุการเกิดอัคคีภัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครว่า จากสถิติการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคาร บ้านเรือน และสถานประกอบการในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ดังนี้ พ.ศ. 2560 มีการเกิดอัคคีภัย โดยสาเหตุเกิดจากไฟไหม้หญ้าหรือขยะ 2,170 ครั้ง และไฟฟ้าลัดวงจร 785 ครั้ง พ.ศ. 2561 มีการเกิดอัคคีภัย โดยสาเหตุเกิดจากไฟไหม้หญ้าหรือขยะ 1,413 ครั้ง ไฟฟ้าลัดวงจร 654 ครั้ง พ.ศ. 2562 มีการเกิดอัคคีภัย โดยสาเหตุเกิดจากไฟไหม้หญ้าหรือขยะ 3,085 ครั้ง ไฟฟ้าลัดวงจร 638 ครั้ง พ.ศ. 2563 มีการเกิดอัคคีภัย โดยสาเหตุเกิดจากไฟไหม้หญ้าหรือขยะ 2,554 ครั้ง ไฟฟ้าลัดวงจร 629 ครั้ง (สำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยกรุงเทพมหานคร, 2564) จะเห็นได้ว่า สถานที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ส่วนใหญ่เกิดในบ้านพักอาศัย บริษัท ห้างร้าน รวมถึงเพิงพัก ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน ซึ่งจุดที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรบ่อยครั้งที่สุด คือ สายไฟฟ้า ปลั๊กไฟฟ้า สะพานไฟ และพัดลม เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานมานาน สายไฟฟ้าเก่า ชำรุด มีการใช้งานผิดวิธี พ่วงสายไฟมากจนเกิดการใช้กระแสไฟเกินกำลัง และการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าที่เรียกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านอาจไม่เพียงพอ ซึ่งปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านล้วนได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีจนเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าระบบดิจิทัลแทบทั้งสิ้น ทั้งนี้ ประเทศไทยสูญเสียทางเศรษฐกิจเพราะปัญหาไฟฟ้ามากกว่า 10,000 ล้านบาท เมื่อพิจารณาว่าเพลิงไหม้แต่ละครั้งมีความเสียหายเฉลี่ย 10 ล้านบาท การสั่งการเปิด-ปิดหรือจ่ายไฟฟ้าโดยขาดการตรวจสอบถึงความเสี่ยงย่อมหมายถึงความสูญเสียทางเศรษฐกิจ และทำให้เทคโนโลยีของประเทศขาดความน่าเชื่อถือ เป็นจุดอ่อนที่ทำให้เสียเปรียบทางการแข่งขัน

เซอร์กิตเบรกเกอร์จึงเป็นหัวใจสำคัญในการจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นทำงานได้และปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัยในบ้าน โดยหากเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานผิดปกติ อาจสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้อย่างมหาศาล ใน พ.ศ. 2552 (Pusorn et al., 2007) ได้พัฒนาเซอร์กิตเบรกเกอร์ดิจิทัลขึ้น เรียกว่า “ตู้รวมไฟอัจฉริยะ” (low-cost AC solid state circuit breaker) ที่บรรจุเซอร์กิตเบรกเกอร์ดิจิทัลหลายตัวในตู้รวมไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันอันตรายจากการใช้ไฟฟ้าครอบคลุมทุกกรณีผ่านชุดประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) เปรียบเสมือนสมองกลที่สามารถวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าที่จะเป็นภัยและสั่งการไปยังชุดตัดวงจรไฟฟ้าก่อนที่จะทำความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิต (Kamtip & Bhumkittipich, 2015) ซึ่งการพัฒนาชุดประมวลผลจำเป็นต้องพัฒนาให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง มีขนาดเล็ก และผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันภายในบ้านได้ จึงนำไปสู่การวิจัยในการสร้าง HoME@Cloud ให้เป็นสมองที่ประมวลผลความผิดปกติจากการดิจิไทซ์คลื่นไฟฟ้าเพื่อเป็นประตูสู่การเป็นบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ “บ้านอัจฉริยะ” (smart home) โดยเงื่อนไขของการเป็นบ้านอัจฉริยะ นอกจากจะต้องประกอบด้วยการที่อุปกรณ์ไฟฟ้าและแอปพลิเคชันทำงานได้โดยทุกอุปกรณ์เชื่อมต่อกัน (cross-device functionality) สามารถจัดการได้จากระยะไกลแล้ว เทคโนโลยียังต้องสามารถตรวจและเรียนรู้พฤติกรรมของผู้ใช้งาน (self-learning home) ซึ่งจะทำให้ทุกอุปกรณ์สื่อสารกันเองหรือสื่อสารกับผู้ใช้งานเองได้โดยไม่ต้องคอยควบคุม แต่ทำงานได้อย่างปลอดภัยและสร้างความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตประจำวันในโลกอนาคต



ภาพที่ 2 องค์ประกอบบ้านอัจฉริยะ

ที่มา: ADT Commercial (2021)

ภาพที่ 2 แสดงองค์ประกอบบ้านอัจฉริยะ ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า ระบบเชื่อมต่อข้อมูลทางไฟฟ้าด้วยสารสนเทศ และระบบสั่งการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการออกแบบให้สื่อสารและหลอมรวมการทำงานที่ถูกต้องเพื่อควบคุมและจัดการบ้านอัจฉริยะได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น การที่จะทำให้บ้านคิดได้และมีความฉลาดล้ำอย่างแท้จริงตามที่ผู้วิจัยต้องการ จึงเริ่มที่การออกแบบการทำงานของตู้รวมไฟฟ้าหลัก (electrical load center) ของบ้านให้เป็นศูนย์รวมของการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ทุกชนิดที่สร้าง

ความสะดวกสบายแก่ผู้อยู่อาศัยที่มาพร้อมความปลอดภัยเป็นหลักสำคัญ บ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์จึงเป็นแนวคิดที่จะทำให้ตัวบ้านมีสมองเหมือนคอมพิวเตอร์ เป็นศูนย์รวมขององค์ความรู้เป็นประตูสู่ HoME@Cloud data cloud platform โดยมีอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต่อพ่วง เป็นการเริ่มต้นของการหลอมรวมระบบไฟฟ้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศเข้าด้วยกัน (Electrical and ICT convergence) ในเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม (Ahmed et al., 2016) การสร้างระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart grids) เป็นตัวอย่างการหลอมรวมระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่เข้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยสามารถนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาจัดการไฟฟ้า ทำให้บ้านอัจฉริยะมีสมองกลเหมือนมนุษย์ที่ควบคุมสั่งการการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและสามารถนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามาดำเนินการจัดการหรือวางแผนการใช้ไฟฟ้าในด้านอื่นได้โดยอาศัยเทคโนโลยีดิจิทัล (Bakar et al., 2016) การทำงานอัตโนมัติ การควบคุมสั่งการ การแจ้งเตือนและการป้องกันเพื่อความปลอดภัยต้องหลอมรวมเป็นหนึ่งเดียวกับเทคโนโลยีสารสนเทศผ่านเครื่องมือสื่อสารเพื่อเป็น “self-thinking home power grid” เป็นการนำทุนของประเทศที่มีศักยภาพมาใช้ประโยชน์อย่างบูรณาการและเกื้อกูลกัน (Shi et al., 2016)

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลสำหรับบ้านอัจฉริยะเพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการจัดการไฟฟ้า โดยกล่าวถึงวิธีการศึกษาการป้องกันและจัดการไฟฟ้าบ้านผ่านอินเทอร์เน็ต การสร้างและการทดสอบบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์ และศึกษาการยอมรับจากผู้ทดลองใช้งาน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลสำหรับบ้านอัจฉริยะ (smart home) หรือบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์

2.2 เพื่อศึกษาการยอมรับจากผู้ทดลองใช้งาน เพื่อเตรียมความพร้อมความเป็นไปได้ทางธุรกิจ

3. นิยามศัพท์

3.1 บ้านอัจฉริยะ คือ บ้านที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดทำงานเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน โดยผู้ใช้งานสามารถจัดการได้จากระยะไกล นอกจากนั้น ยังมีเทคโนโลยีที่สามารถตรวจและเรียนรู้พฤติกรรมของผู้ใช้งาน ซึ่งจะทำให้ทุกอุปกรณ์สื่อสารกันเองหรือสื่อสารกับผู้ใช้งานได้โดยไม่ต้องคอยควบคุม แต่ทำงานได้อย่างปลอดภัย และสร้างความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตประจำวันในโลกอนาคต

3.2 HoME@Cloud คือ ระบบที่ประมวลผลความผิดปกติจากการดิจิไทซ์คลื่นไฟฟ้าเพื่อเป็นประตูสู่การเป็นบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ “บ้านอัจฉริยะ”

3.3 Home-Managed Electricity on Cloud คือ เบรกเกอร์ป้องกันภัยจากไฟฟ้าที่เป็น home gateway ทำงานเพื่อการจัดการภารกิจในชีวิตด้วยเครื่องมือสื่อสาร สร้างเสริมคุณภาพชีวิตของคนทุกกลุ่มอย่างทั่วถึง เหมาะสมและปลอดภัย โดยบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นแนวคิดที่จะทำให้บ้านมีสมองเป็นเสมือนคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้และตัดสินใจเองได้

3.4 HoME@Cloud data cloud platform เป็นลานข้อมูลไฟฟ้าที่เหมือนคอมพิวเตอร์ เป็นศูนย์รวมขององค์ความรู้ โดยมีอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต่อพ่วง เป็นการเริ่มต้นของการหลอมรวมระบบไฟฟ้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศเข้าด้วยกันในเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม

4. วิธีการศึกษา

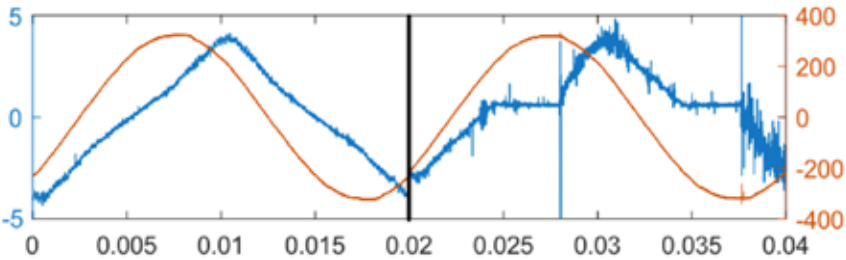
4.1 การออกแบบและพัฒนาระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลสำหรับบ้านอัจฉริยะหรือบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์

ขั้นตอนนี้ใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

การป้องกันทางไฟฟ้าระบบเก่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มีลักษณะตัวตัดวงจรเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบธรรมดาที่ใช้ป้องกันกระแสไฟเกิน ถ้ามีกระแสไฟไหลเข้ามามากเกินไปในวงจรของตัวตัดวงจรในภาวะวงจรปิด จะทำให้ส่วนสัมผัสเคลื่อนที่ได้ถูกแยกออกจากจุดสัมผัส ทำให้เกิดภาวะการตัดไฟฟ้าออกจากระบบ โดยไม่มีส่วนใดที่เป็นสมองกลดิจิทัลจัดการประมวลผล เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีลักษณะคุณสมบัติเฉพาะ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันไฟรั่ว เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิด-ปิดอัตโนมัติ จะทำงานในลักษณะเดียวกันคือ เป็นการเปิด-ปิดทางกลและไม่มีการประมวลผล ทำให้ปัญหาไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดกระแสเกินหรือการไหลกลับไม่เท่ากันหรือไฟรั่ว ไม่สามารถตรวจจับและแก้ปัญหาได้ การวิจัยเรื่องการป้องกันภัยจากการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ครอบคลุมปัญหาที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าและเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะการป้องกันเพลิงไหม้จากไฟฟ้ารุ่งแสง (electric arc) ที่เป็นการลัดวงจรของไฟฟ้าในภาวะกระแสปกติ อันไม่ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์กระแสเกินตัดวงจร ทำให้ได้มาซึ่งหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ซึ่งตรวจจับคลื่นไฟฟ้าเพื่อความผิดปกติทางไฟฟ้าโดยเฉพาะเรื่องของเพลิงไหม้ โดยมีกระบวนการตัดสินใจตามค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (Jiang et al., 2004)

หน่วยประมวลผลสัญญาณที่คัดกรองสัญญาณเข้าช่องทางพอร์ต (port) ที่ระบุและทำการตรวจสอบกับอัลกอริทึม (algorithm) ที่ออกแบบไว้ หากพบความผิดปกติที่เป็นอันตราย หน่วยประมวลผลสัญญาณจะส่งสัญญาณออกไปยังวงจรรีเลย์ (relay) เพื่อสั่งตัด-ต่อวงจรไฟฟ้าต่อไป ตัวพารามิเตอร์ (parameter) ที่สำคัญสำหรับการตรวจจับ คือ ความถี่ของกระแสและแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในภาวะ

การตัดศูนย์ (zero crossing) และความเป็นวัฏจักรของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจจับได้ สิ่งสำคัญคือ จะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันของกระแสไฟฟ้าในช่วง 2 วินาที เมื่อเทียบกับคลื่นกระแสไฟฟ้าก่อนหน้า ความรุนแรงของไฟฟ้ารุ่งแสงที่จะทำให้เกิดการตัดสินใจตัดวงจรต่อเมื่อเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว



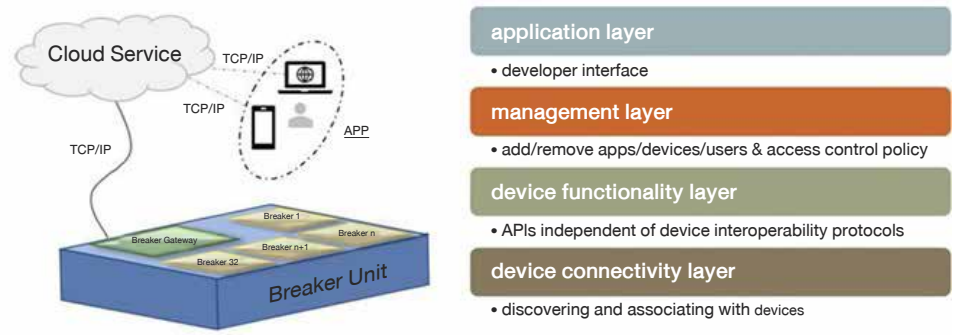
ภาพที่ 3 สัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้ารุ่งแสง

ที่มา: Electrinics (2020)

การป้องกันทางไฟฟ้าสำหรับการป้องกันภาวะรุ่งแสงทำได้โดยนำระบบดิจิทัลมาช่วยวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นไปตามวงจรตัวอย่าง ดังภาพที่ 3 ซึ่งมาจากการจำลองการใช้ MTLAb ต่อมาได้รับการพัฒนาเป็นตัวประมวลผลกลางที่นำมาใช้ในโครงการบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อต่อเชื่อมกับระบบ HoME@Cloud ที่มีระบบปฏิบัติการบ้าน หรือ “HomeOS” ที่สามารถตรวจจับคลื่นไฟฟ้าเพื่อประโยชน์ในการจัดการไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้า ป้องกันปัญหาไฟฟ้า แจ้งเตือน เรียนรู้การใช้งานและพฤติกรรมของผู้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า และยังมีช่องทางเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไอโอทีเซนเซอร์ (Internet of Things sensors: IoT sensors) ทั้งหลายต่อไปยังภายนอกผ่านอินเทอร์เน็ต

การออกแบบบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อทดแทนเบรกเกอร์รุ่นเก่าอย่างสิ้นเชิงและรองรับการทำให้บ้านเป็นเสมือนคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้และตัดสินใจเองได้ โครงสร้างของระบบจะต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ชุดประมวลผลคลื่นไฟฟ้าเพื่อการตัดสินใจ ชุดตัดต่อวงจรไฟฟ้า ชุดเชื่อมต่อ HoME@Cloud แพลตฟอร์ม HoME@Cloud และแอปพลิเคชัน HoME@Cloud โดยหลักการทำงานของเทคโนโลยีบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่พัฒนานี้ ชุดประมวลผลคลื่นไฟฟ้าเพื่อการตัดสินใจเป็นตัวควบคุมหลักในการทำงาน 2 ส่วน คือ ส่วนรวบรวมข้อมูลเพื่อส่งไปยังแพลตฟอร์ม HoME@Cloud และส่วนการป้องกันซึ่งทำการประมวลผลจากการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าและตัดสินใจในการป้องกันโดยทำงานร่วมกับชุดตัดต่อวงจรไฟฟ้า

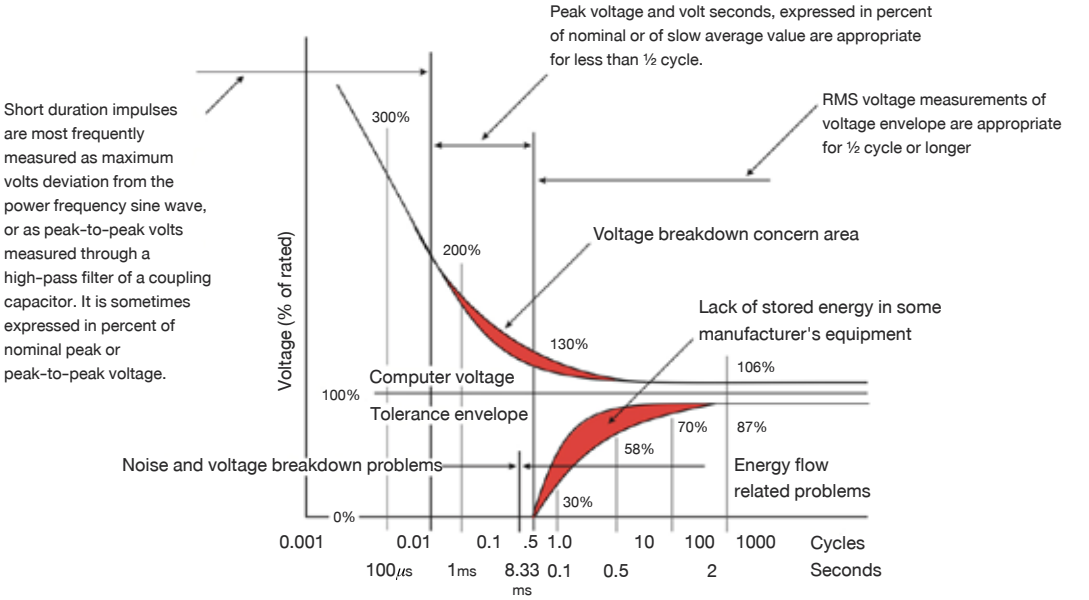
การส่งผ่านข้อมูลไปยังแพลตฟอร์ม HoME@Cloud ทำได้โดยผ่าน Controller Area Network Bus: CANBus ไปยังชุดเชื่อมต่อ HoME@Cloud ที่มีแอปพลิเคชันระบบจัดการ HoME@Cloud OS ที่รวบรวมข้อมูลแล้วส่งไปเป็นฐานข้อมูลเพื่อดำเนินการต่อตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยมีแอปพลิเคชัน HoME@Cloud เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างระบบและความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยการออกแบบและสถาปัตยกรรม HoME@Cloud สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แนวคิดการออกแบบและสถาปัตยกรรม HoME@Cloud

4.1.1 ชุดป้องกันและจัดการไฟฟ้าบ้านผ่านอินเทอร์เน็ต

ชุดวงจรรวมตรวจจับสัญญาณ มีหน้าที่ตรวจจับคลื่นไฟฟ้าทุกพารามิเตอร์ คือ กระแสไฟฟ้า (i) แรงดันไฟฟ้า ($\mathcal{V}$) ความถี่ (f) มุมต่างเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (θ) ที่อ่านค่าโดยชุดประมวลผลกลาง การประมวลผลในวงจรรวมที่มีหน้าที่ในการคำนวณความผิดปกติจากข้อมูลไฟฟ้าที่ได้รับ โดยหาความสัมพันธ์ของทุกพารามิเตอร์เพื่อหาความสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดเพื่อตัดสินใจและส่งคำสั่งไปควบคุมการทำงานของชุดตัดวงจรหรือชุดแสดงผล ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของสวิตช์ปรับโหมดตอนเปิดเครื่องใหม่ เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าผ่านวงจรนี้จะได้รับการตรวจจับกระแสและส่งผลการตรวจจับให้กับหน่วยประมวลผลภายในที่จะทำการตัดสินใจตามความรุนแรงของปัญหา และส่งคำสั่งออกมายังชุดตัดต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Solid State Circuit Breaker: SSCB) (Pusorn et al., 2015) เพื่อสั่งการตัดต่อตามผลการประมวลและโปรแกรมที่ตั้งค่าไว้ LED สีแดงจะแสดงผลหรือแผงแสดงผลจะแจ้งผลที่ผิดปกติ ในขณะที่หลอด LED อื่นจะดับ สำหรับการผิดปกติของไฟฟ้าจะแจ้งผลโดยการติดดับของ LED แต่ละสี การตรวจจับมีลักษณะการทำงานที่ตรวจระดับของศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขของกราฟ CBEMA หรือไม่ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผัง CBEMA แสดงขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ทนได้ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบความถี่ 50 Hz

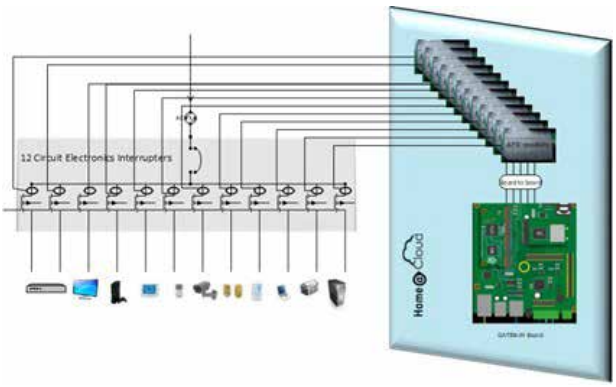
ที่มา: LaFleur (2013)

ชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (voltage detection) จะส่งผลให้กับหน่วยประมวลผลที่จะทำการตัดสินใจและส่งคำสั่งไปยังชุดตัดวงจร SSCB สั่งการตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด โดยไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโหลด การตรวจจับมีลักษณะการทำงานที่จะตรวจจับขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดว่า อยู่ภายใต้พิกัดที่ตั้งไว้หรือไม่ โดยตรวจสอบพิกัดตามที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งไว้ตั้งแต่ 6-63 แอมแปร์ (A) ถ้าหากเกินพิกัด ชุดตรวจจับก็จะส่งผลให้หน่วยประมวลผลที่จะทำการตัดสินใจและส่งคำสั่งไปยังชุดตัดวงจร SSCB เพื่อสั่งการตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโหลด การตรวจจับมีลักษณะการทำงานที่จะตรวจจับความถี่และการตัดผ่านศูนย์ของสัญญาณของไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามา เพื่อตรวจหาสัญญาณสัญลักษณ์เฉพาะที่มีผลต่อการก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระโดดข้ามสายแบบขนานและแบบอนุกรมที่จะทำให้เกิดความร้อนสะสม เกิดคาร์บอนบนผิววัสดุและประกายไฟรุ่งแสง เพื่อตรวจจับความผิดปกติอันจะเป็นสาเหตุของการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรข้ามสายหรือประกายไฟรุ่งแสงอันเป็นสาเหตุของเพลิงไหม้ เพื่อส่งการตรวจจับการผิดพลาดที่อยู่ภายในหน่วยประมวลผลที่ทำการตัดสินใจตามความรุนแรงของปัญหา และส่งคำสั่งไปยังชุดตัดวงจร SSCB สั่งการตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโหลด การตรวจจับมีลักษณะการทำงานที่จะตรวจจับการเกิดไฟฟ้ารั่วอันเป็นสาเหตุของการเสียชีวิต ชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้าจะส่งผลให้กับหน่วยประมวลผลภายในที่จะทำการตัดสินใจและส่งคำสั่งไปยังชุดตัดวงจร SSCB เพื่อสั่งการตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด ไม่ให้เกิดการเสียชีวิต การทำงานทั้งหมดมีลักษณะการทำงานที่จะแสดงผลของการตรวจจับไปยังส่วนแสดงผล เพื่อแจ้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าทราบสาเหตุของปัญหา และสามารถแก้ปัญหาก่อนเกิดความเสียหาย การทำงานของชุดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่ทำการตัดต่ออันเนื่องมาจากการเกิดปัญหาประกายไฟฟ้าชั่วคราว ด้วยการแยกความแตกต่างระหว่างสัญญาณแต่ละชนิด และดำเนินการตัดเฉพาะสัญญาณที่จะมีผลต่อการเกิดเพลิงไหม้ โดยอาศัยการตรวจจับพารามิเตอร์ ได้แก่ ความถี่ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

การตัดผ่านศูนย์ของสัญญาณไฟฟ้า และความเป็นวัฏจักรของสัญญาณ ซึ่งสำหรับการทำงานของไฟฟ้าปกติจะมีลักษณะสัญญาณเป็นวัฏจักร การทำงานของชุดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์อีกส่วนหนึ่ง เป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ที่จะตรวจสอบความผิดปกติที่มีภาวะคล้ายกับการเกิดไฟฟ้ารุ่งแสงและบันทึกไว้ อันเป็นการเรียนรู้ที่จะไม่ตัดหากเกิดภาวะดังกล่าวขึ้นอีกภายหลัง การตั้งระบบปัญญาประดิษฐ์นี้กำหนดโดยผู้ใช้ การทำงานของชุดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์อีกส่วนหนึ่ง สามารถทำงานควบคุมและจัดการไฟฟ้าที่ส่งผ่านไปยังโหลดได้ด้วยตนเองหรือใช้การสั่งการจากผู้ใช้ไฟฟ้าได้โดยผ่านสวิตช์เปิด-ปิด การทำงานของชุดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์อีกส่วนหนึ่งจะส่งผลการทำงานไปแสดงยังชุดแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการตัดไฟฟ้าออกจากระบบ โดยแสดงผลเป็นไฟสัญญาณสว่างที่หลอด LED นอกจากนี้ชุดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถตัดต่อไฟฟ้าได้ด้วยวงจรตัดต่อไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT) หรือเอสซีอาร์ (Silicon Controled Rectifier: SCR) การทำงานของชุดป้องกันและจัดการไฟฟ้าบ้านผ่านอินเทอร์เน็ต HoME@Cloud จะทำงานภายใต้การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ การเพิ่มจำนวนตัวจ่ายและตัดต่อของชุดป้องกันและจัดการไฟฟ้าบ้านผ่านอินเทอร์เน็ต HoME@Cloud สามารถทำได้โดยไม่จำกัด การป้องกันและตั้งค่าพิกัดได้ผ่านโปรแกรมการจัดการ ส่วนการทำงานด้านการจัดการและข้อมูลที่ส่งไปยังแพลตฟอร์ม HoME@Cloud มีข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญคือ การสื่อสารระหว่างกัน โดยพิจารณาจากอินเทอร์เฟซ 2 ส่วน คือ การออกแบบโพรโทคอลสื่อสาร (communication protocol) ระหว่างช่องทางเชื่อมต่อเกตเวย์ (gateway) และชุดควบคุมผ่าน CANBus (CAN) และโพรโทคอลสื่อสารระหว่างช่องทางเชื่อมต่อและคลาวด์เอ็มคิวทีที (Message Queuing Telemetry Transport: MQTT)

4.1.2 การสร้างและการทดสอบบ้านไร้เซอร์กิตเบรกเกอร์ HoME@Cloud

การกำหนดมาตรฐานไฟฟ้าเพื่อบังคับใช้จำเป็นต้องเป็นมาตรฐานที่อ้างอิงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์และเกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้า การออกแบบที่แต่ละหน่วยประมวลผลมีการแสดงผลเป็นของตัวเองและควบคุมแต่ละชุดตัดวงจรไฟฟ้า เพื่อให้เป็นอิสระต่อกันอย่างแท้จริง และไม่ถูกจำกัดด้วยความยาวของสายควบคุมในกรณีที่จะต้องแยกชุดตัดวงจรให้ห่างไกลออกไปดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ภาพจำลอง HoME@Cloud ผ่าน CANBus

การออกแบบฮาร์ดแวร์ ชุดประมวลผลและชุดตัดวงจรไฟฟ้าต้องแยกส่วนกัน โดยส่วนชุดประมวลผลประกอบอยู่ในโครงสร้าง DIN-Rail ที่เชื่อมต่อ HoME@Cloud ผ่าน CANBus โดยมีจอแสดงผลเป็นอิสระสำหรับแต่ละชุดสมองกล ทั้งนี้ ชุดประมวลผล 1 ตู้ จะสามารถรองรับการทำงานพร้อมกันของการประมวลผลได้ไม่เกิน 32 ชุด โดยชุดตัดวงจรไฟฟ้าที่เป็นไทริสเตอร์ (thyristors) แยกออกไปนั้น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต ดังภาพที่ 7 แสดงต้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์บรรจุสมองกลและจอแสดงผลแบบสุดท้ายเมื่อใช้งานจริงที่ออกแบบให้มีลักษณะคล้ายเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเดิม และภาพที่ 8 แสดงการติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ HoME@Cloud ในบ้านพักอาศัยและใช้งานจริง

ภาพที่ 7 ต้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บรรจุสมองกลและจอแสดงผล

ภาพที่ 8 การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ HoME@Cloud ในบ้านพักอาศัยและแอปพลิเคชัน

นอกจากการทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์โดยผู้วิจัยแล้ว ได้มีการส่งผลิตภัณฑ์ไปทดสอบที่สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง การดำเนินการทดสอบระบบพบว่าสิ่งสำคัญคือ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าในการตรวจจับให้ตรงกับเครื่องมือทดสอบ เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแม่นยำสูงในการตัดวงจร ในขณะที่การตรวจจับของเครื่องมือวัดมีค่าหน่วงเวลาในการอ่านค่าซึ่งส่งผลให้ผลการตรวจจับไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ความสามารถในการปรับแต่งค่าได้ของผลิตภัณฑ์ผ่านแอปพลิเคชันทำให้ไม่จำเป็นต้องแก้ไขทางฮาร์ดแวร์เหมือนในอดีต

4.2 ศึกษาการยอมรับจากผู้ใช้งานจริงเพื่อเตรียมความพร้อมความเป็นไปได้ทางธุรกิจ

ขั้นตอนนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (quantitative research) โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงสำรวจจากการทดลองติดตั้ง (survey research method) และใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลโดยแบบสอบถาม (questionnaires) เพื่อพิจารณาการยอมรับจากผู้ใช้ไฟฟ้าในการเพิ่มความสามารถความปลอดภัยทางไฟฟ้าด้วยดิจิทัล

4.2.1 การกำหนดประชากร

ประชากรในที่นี้หมายถึง กลุ่มครัวเรือนในประเทศไทย โดยขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาอ้างอิงมาจากสูตรของ Yamane (1973) ในกรณีที่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน (finite population) คือ

$$n=\frac{N}{1+Ne^2}$$

เมื่อ N หมายถึง จำนวนประชากรที่ทราบค่า
e หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (allowable error)
n หมายถึง ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้

การกำหนดประชากรนี้ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนเพื่อให้ได้มาซึ่งความเชื่อมั่น สำหรับโครงการนี้กำหนดให้มีการติดตั้งทดลองใช้งานแอปพลิเคชัน จำนวน 50 ครัวเรือน ได้แก่ บ้าน คอนโด สำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม และร้านค้า ในกรุงเทพมหานครและรอบนอกเป็นเวลา 90 วัน ซึ่งหมายถึงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 86 จากจำนวนครัวเรือนในประเทศไทย 21,884,296 ครัวเรือน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติครัวเรือนในประเทศไทย

ภาค	ครัวเรือนทั้งสิ้น		ประชาชนทั้งสิ้น		จำนวนสมาชิกเฉลี่ยต่อครัวเรือน
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
1. กรุงเทพมหานคร	2,912,412	13.31	8,824,607	12.97	3.03
2. กลาง (ไม่รวม กทม.)	6,718,968	30.70	20,071,100	29.51	2.99
3. เหนือ	3,859,439	17.64	11,281,654	16.59	2.92
4. ตะวันออกเฉียงเหนือ	5,589,373	25.54	18,476,566	27.16	3.31
5. ใต้	2,804,204	12.81	9,367,059	13.77	3.34
รวมทั่วประเทศ	**21,884,396**	**100.00**	**68,020,986**	**100.00**	**3.11**

ที่มา: โครงการสำมะโนประชากรและเคหะ สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2561)

4.2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ดังนี้

ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระของการวิจัยในครั้งนี้มาจากปัจจัย 2 ด้านคือ

ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ ประกอบไปด้วย เพศ อายุ รายได้ ระดับการศึกษา

ปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาด (marketing mix) ประกอบไปด้วย “7Ps” ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (product) ราคา (price) สถานที่ (place) การส่งเสริมทางการตลาด (promotion) บุคลากร (person) ลักษณะทางกายภาพ (physical evidence) กระบวนการใช้งาน (process)

ตัวแปรตาม

ตัวแปรตามในงานวิจัยครั้งนี้คือ ความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อการใช้เทคโนโลยีโครงการบ้านไร้เบรกเกอร์

4.2.3 สมมติฐานการวิจัย

จากการกำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตามข้างต้น ผู้วิจัยได้กำหนดสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยด้านเพศที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยด้านอายุที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 3 ปัจจัยด้านรายได้ที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 4 ปัจจัยด้านระดับการศึกษาที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 5 ปัจจัยด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 6 ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 7 ปัจจัยด้านราคา มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 8 ปัจจัยด้านสถานที่ มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 9 ปัจจัยด้านการส่งเสริมทางการตลาด มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 10 ปัจจัยด้านบุคลากร มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 11 ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพ มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 12 ปัจจัยด้านกระบวนการใช้งาน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

4.2.4 เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบ่งกลุ่มคำถามออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและประสบการณ์ต่อเทคโนโลยี

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดต่อเทคโนโลยีที่มีความสัมพันธ์กับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า

ส่วนที่ 3 ความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้เทคโนโลยีในการจัดการไฟฟ้า

ส่วนที่ 4 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง

โดยทำการประเมินตามการแบ่งช่วงอันตรภาคชั้น (class interval) มีคะแนนสูงที่สุดคือ 5 คะแนน และต่ำที่สุดคือ 1 คะแนน โดยสามารถหาความกว้างอันตรภาคชั้นตามหลักการหาค่าเฉลี่ยดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2542) โดย

ค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึง เห็นด้วย/พอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึง เห็นด้วย/พอใจมาก
ค่าเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึง เห็นด้วย/พอใจปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึง เห็นด้วย/พอใจน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง เห็นด้วย/พอใจน้อยที่สุด

4.2.5 วิธีเก็บข้อมูล

จัดเก็บข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) โดยแบบสอบถาม เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง (self-response questionnaire) ก่อนและหลังทำการติดตั้ง เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างสามารถตอบแบบสอบถามได้สะดวกเมื่อเจ้าหน้าที่ผู้วิจัยเป็นผู้บันทึกข้อมูล

4.2.6 การวิเคราะห์ผล

ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา โดยผู้วิจัยจะนำข้อมูลเบื้องต้นมาทำการวิเคราะห์และอธิบายเฉพาะส่วนที่มีข้อมูลผ่านการบรรยาย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แผนภูมิแท่ง แผนภูมิวงกลม

เนื่องจากการพัฒนาโครงการเน้นการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปขยายผลเชิงพาณิชย์ การสำรวจโดยใช้แบบสอบถามนี้จึงเป็นการสำรวจขั้นพื้นฐาน การวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นมากขึ้นเพื่อทบทวนผลการสำรวจพื้นฐานนี้จำเป็นต้องดำเนินการในระยะต่อไป

5. ผลการศึกษา

5.1 การออกแบบและพัฒนาระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลสำหรับบ้านอัจฉริยะ

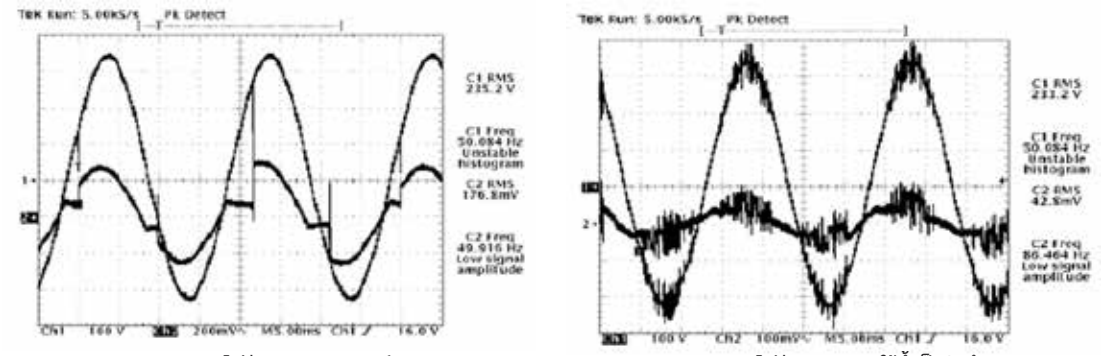
การสร้างตามแนวทางในข้อ 2 นั้น ในการเก็บข้อมูลเพื่อการตัดสินใจของ CPU สามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$Z_n = |x(n)_{m-1} - x(n)_m| + |x(n)_{m+1} - x(n)_m| - |x(n)_{m+1} - x(n)_{m-1}|, m \geq 2$$

เมื่อ N คือ จำนวนกระแสที่เก็บตัวอย่างในการตรวจจับความผิดปกติแต่ละครั้ง และมีค่า $x(n)_m$ เมื่อ m เป็นลำดับที่ของหน่วย และ n คือ จุดที่เก็บตัวอย่างในแต่ละหน่วยเวลา เมื่อนำค่า Z ของทุกหน่วยเวลา N มารวมกัน

$$d = Z_1 + Z_2 + \dots Z_N \qquad (1 \leq n \leq N)$$

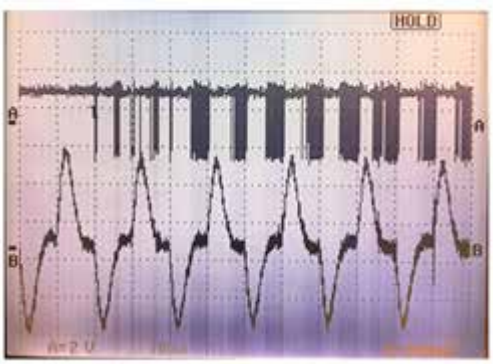
d จะมีค่าน้อยมากกรณีที่ตรวจจับไม่เจอความผิดปกติ ซึ่ง N ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 3 หรือในกรณีต้องการความแม่นยำมากขึ้นอาจเปลี่ยนแปลงเป็นค่าที่มากขึ้นได้



ก. การเกิดไฟรุ่งแสงจากการสวิตช์ ข. การเกิดไฟรุ่งแสงจากการใช้น้ำเป็นตัวนำ

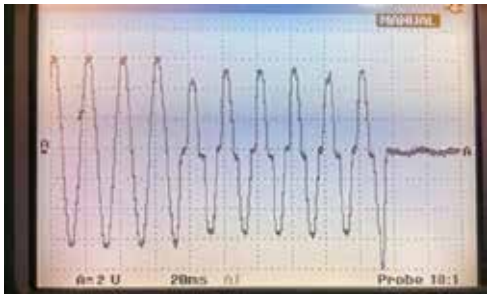
ภาพที่ 9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในสภาวะไฟรุ่งแสง

จากการทดสอบการป้องกันซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการทำงานของ CPU การทดสอบโดยเปรียบเทียบสัญญาณจากบริภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ CPU ในการแยกแยะสัญญาณที่เป็นอันตรายกับสัญญาณที่ไม่เป็นอันตราย จุดที่น่าสังเกตคือ การทดสอบการขาดของสายไฟฟ้าในตัวนำที่เป็นน้ำ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ โดย CPU สามารถตรวจจับได้ว่าเป็นการเกิดภาวะรุ่งแสงในน้ำและทำการตัด ดังแสดงในภาพที่ 9 ทำการตัด ซึ่งหากนำไปเปรียบเทียบกับการเกิดประกายไฟฟ้าจากการขันเกลียวหลอดไฟฟ้าที่มีความถี่สูงใกล้ช่วงยอดของไฟฟ้าจะพบว่า องค์ประกอบของไฟฟ้ารุ่งแสงที่มีความแตกต่างกัน คือ ความหนาแน่นของความถี่และการกระจายตัวที่ไม่แน่นอน



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการตรวจพบลายเซ็นของการเกิดไฟฟ้ารุ่งแสงและการตรวจจับ
จากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 128,000 ตัวอย่างต่อวินาที

จากการตรวจจับคลื่นที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 10 การทำงานของ CPU ในการพบเหตุภาวะไฟฟ้ารุ่งแสงที่ CPU จะประมวลผล 120 มิลลิวินาที (millisecond: ms) และส่งคำสั่งไปยังภาคตัด solid state ที่ใช้เวลาในการตัด 20 มิลลิวินาที ปรากฏดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 คลื่นกระแสไฟฟ้าในสภาวะตัดวงจร เมื่อ CPU พบความผิดปกติจากไฟฟ้ารุ่งแสง

5.2 ผลศึกษาการยอมรับจากผู้ใช้งานจริง เพื่อเตรียมความพร้อมความเป็นไปได้ทางธุรกิจ

จากการรวบรวมข้อมูลและเก็บแบบสอบถามของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่ทำการทดลองติดตั้ง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดปทุมธานี สมุทรปราการ และชลบุรี จำนวน 50 ชุดตัวอย่าง และได้นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลการวิเคราะห์ได้ 6 ส่วน ดังนี้

1) ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง

2) ข้อมูลด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและประสบการณ์ด้านความรู้เทคโนโลยีบ้านไร้เบรกเกอร์ 4.0 ของกลุ่มตัวอย่าง

3) ข้อมูลด้านระดับความเห็นของกลุ่มตัวอย่างในด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด (7Ps) ต่อความพึงพอใจของการใช้

4) การวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) ที่มีผลต่อความพึงพอใจในการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มตัวอย่าง

5) การทดสอบสมมติฐานในด้านปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของการใช้ไฟฟ้า

6) การทดสอบสมมติฐานในด้านลักษณะประชากรศาสตร์ที่มีผลต่อความพึงพอใจของการใช้

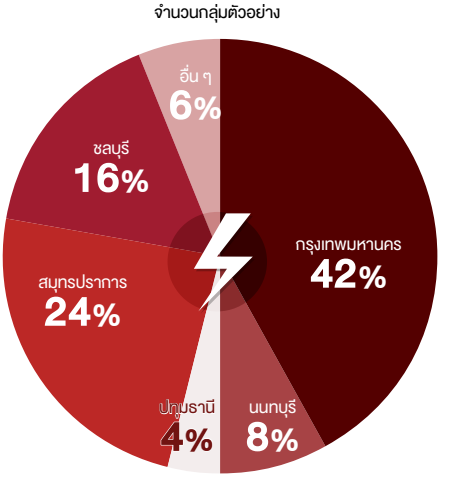
5.2.1 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับข้อมูลด้านประชากรศาสตร์นั้น ผู้วิจัยพิจารณาตัวแปรเพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์		จำนวน (คน)	สัดส่วน (ร้อยละ)
1. เพศ	ชาย	33	66
	หญิง	17	34
2. อายุ	น้อยกว่า 16 ปี	0	0
	16-26 ปี	0	0
	27-36 ปี	4	8
	37-46 ปี	8	16
	47-56 ปี	6	12
	มากกว่า 56 ปี	31	64
3. สถานภาพ	โสด	4	8
	สมรส	46	92
4. ระดับการศึกษาสูงสุด	ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย	0	0
	ปวช./มัธยมศึกษาตอนปลาย	0	0
	ปวส./อนุปริญญา	8	16
	ปริญญาตรี	34	68
	ปริญญาโท	5	10
	ปริญญาเอก	3	6
5. อาชีพ	นักเรียน/นักศึกษา	0	0
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	17	34
	ธุรกิจส่วนตัว	25	50
	พนักงานบริษัทเอกชน	8	16
6. รายได้เฉลี่ยต่อเดือนขั้นต่ำ	ต่ำกว่า 9,000 บาท	0	0
	9,000-19,000 บาท	3	6
	19,001-29,000 บาท	7	14
	29,001-39,000 บาท	10	20
	39,001-49,000 บาท	3	6
	49,001-59,000 บาท	1	2
	ตั้งแต่ 59,001 บาทขึ้นไป	26	52

จากตารางที่ 2 พบว่า การทดลองติดตั้งได้รับความสนใจจากผู้ที่มีศักยภาพทางการศึกษาและความมั่นคงทางการเงินระดับหนึ่ง



ภาพที่ 12 การกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่างตามพื้นที่

ภาพที่ 12 แสดงร้อยละของกลุ่มตัวอย่างแยกตามพื้นที่ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่สนใจทดลองใช้งานส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่

5.2.2 ข้อมูลด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มตัวอย่าง

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยด้านเพศที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

จากผลการสำรวจ พบว่า เพศที่ต่างกันมีผลต่อระดับความพึงพอใจในเทคโนโลยีต่างกัน ทั้งก่อนและหลังการติดตั้ง โดยเพศชายมีแนวโน้มที่จะมีความพึงพอใจเพิ่มขึ้นมากกว่าเพศหญิง เนื่องจากเพศหญิงและเพศชายมีมุมมองความคิด ทัศนคติ และนิสัยแตกต่างกันตามลักษณะสังคมและวัฒนธรรมไทย โดยเพศหญิงเป็นเพศที่มีความประณีต ละเอียดอ่อน และใส่ใจในรายละเอียดในเรื่องเล็กน้อยมากกว่าเพศชาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจึงมองลึกลงไปในทุกรายละเอียด ขณะที่เพศชายจะมีความใส่ใจในรายละเอียดน้อยกว่า และมองที่ภาพรวมและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคโนโลยีมากกว่า จึงมีแนวโน้มมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าเพศหญิงในเทคโนโลยีเดียวกัน

สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยด้านอายุที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีแตกต่างกัน

อายุที่แตกต่างกันมีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้เทคโนโลยี โดยพบว่า ยิ่งช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามสูงขึ้น ยิ่งมีแนวโน้มสนใจเทคโนโลยีมากขึ้น โดยแสดงให้เห็นความสนใจเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับข้อมูลเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลที่ความพึงพอใจมีระดับสูงในช่วงอายุมากขึ้น เนื่องจากกลุ่มผู้มีอายุมากส่วนใหญ่มักมีความพร้อมทั้งทางด้านอาชีพ รายได้ และสถานะทางสังคม รวมถึงเคยผ่านช่วงชีวิตที่มีความเสี่ยง จึงมีข้อเปรียบเทียบมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความคาดหวังในการลดความเสี่ยงมากขึ้น ในทางกลับกันผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุน้อย มักยังไม่มีความพร้อมในด้านอาชีพ รายได้ และสถานะทางสังคม อีกทั้งยังมีประสบการณ์ที่พร้อมจะเสี่ยงมากกว่า จึงเกิดข้อเปรียบเทียบ ส่งผลให้มีความคาดหวังในการใช้เทคโนโลยีที่ไม่ได้มีส่วนในการดำรงชีวิตเพื่อความเป็นอยู่ดีอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่า

สมมติฐานที่ 3 ปัจจัยด้านรายได้ที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีระดับรายได้สูง มีแนวโน้มที่จะมีความพึงพอใจต่อการใช้เทคโนโลยีและมีความคาดหวังสูง จึงไม่มีความแตกต่างของความพึงพอใจก่อนและหลังการติดตั้งมากนัก โดยเหตุผลที่ความพึงพอใจมีระดับลดลงตามระดับรายได้ที่สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการที่ผู้ตอบแบบสอบถามมีรายได้สูง ทำให้มีกำลังในการใช้จ่ายมาก ย่อมมีโอกาสที่จะได้รับการบริการที่ดีจากเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ โดยการที่ได้รับการบริการที่ดีมาตลอด ส่งผลให้บรรทัดฐานต่อการใช้เทคโนโลยีอยู่ในระดับสูง การที่เทคโนโลยีของโครงการยังไม่สมบูรณ์แบบในกลุ่มนี้ จึงสร้างความพึงพอใจในระดับที่ต่ำกว่ากลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามที่มีรายได้ต่ำ

สมมติฐานที่ 4 ปัจจัยด้านระดับการศึกษาที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

ระดับการศึกษาที่แตกต่างกันมีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้เทคโนโลยี โดยผู้ตอบแบบสอบถามที่มีระดับการศึกษาสูง มีแนวโน้มที่จะมีความสนใจในการใช้เทคโนโลยี ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามที่มีระดับการศึกษาต่ำกว่าระดับปริญญาตรี จะไม่ค่อยให้ความสำคัญมากนัก และผู้ตอบแบบสอบถามที่มีระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาโท มีค่าเฉลี่ยความสนใจสูงที่สุด และมีความแตกต่างของความเห็นก่อนและหลังติดตั้งมาก อันเกี่ยวเนื่องกับการนำไปใช้เชิงวิชาการ

เหตุผลที่ความพึงพอใจมีระดับแตกต่างกันตามระดับการศึกษา อาจเนื่องมาจากผู้ที่มีการศึกษาสูงย่อมมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีมากกว่า และมีแนวโน้มที่ต้องการบริการจากเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ เพื่อประสิทธิภาพในการบริหารเวลา รวมถึงการแสดงออกถึงการเป็นผู้มีความรู้เท่าทันเทคโนโลยี ในขณะที่ผู้ที่มีการศึกษาในระดับต่ำกว่า ไม่เห็นความแตกต่างมากนัก ตลอดจนสถานะทางสังคมอาจจะอยู่ในขั้นที่ต่ำกว่าบรรทัดฐาน ระดับความสนใจต่อการใช้เทคโนโลยีจึงไม่มากนัก

สมมติฐานที่ 5 ปัจจัยด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

โดยเหตุผลที่ความพึงพอใจมีระดับสูงตามอัตราการใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูงจะต้องเสียค่าบริการต่อเดือนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ความคาดหวังต่อการจัดการควบคุมด้วยเทคโนโลยีสูงขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันผู้ที่มีอัตราการใช้น้อย ย่อมมีความคาดหวังต่อการควบคุมจัดการในด้านต่าง ๆ น้อย

ข้อมูลระดับความพึงพอใจการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด (7Ps)

1) ระดับความเห็นของกลุ่มตัวอย่างในด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้เทคโนโลยี มี 7 ปัจจัย ได้แก่

ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด (7Ps)

ก) ด้านผลิตภัณฑ์
- มีมาตรฐาน ปลอดภัย ไม่เป็นอันตรายเป็นเรื่องสำคัญที่สุด
- มีเสถียรภาพ โอกาสก่อให้เกิดการเกิดไฟดับมีน้อย
- แม่นยำ ถูกต้อง มีการแจ้งเตือนที่เชื่อถือได้
- การบำรุงรักษาน้อยและทำได้ง่าย
- ความง่ายของแอปพลิเคชันบนเครื่องมือสื่อสาร มีส่วนในการตัดสินใจ

ข) ด้านราคา
- ราคาอุปกรณ์และการติดตั้งมีส่วนอย่างมากในการตัดสินใจเพิ่มความปลอดภัย
- ราคาเริ่มต้นที่ 30,000 บาท มีความเหมาะสม
- ต้องการใช้งาน หากมีการเสนอทางเลือกอื่น มากกว่าการลงทุนซื้อ

ค) ด้านสถานที่ หรือช่องทางการจัดจำหน่าย
- การมีช่องทางจำหน่ายที่สะดวกมีผลต่อการตัดสินใจ
- พื้นที่การให้บริการครอบคลุมมีส่วนสำคัญกว่าช่องทางการเข้าถึงบริการในการเลือกซื้อ

ง) ด้านการส่งเสริมทางการตลาด
- มีช่องทางในการสื่อสาร ประชาสัมพันธ์หลายช่องทาง เช่น โทรทัศน์ อินเทอร์เน็ต มีผลต่อการตัดสินใจ

- การมีส่วนลด เป็นปัจจัยสำคัญในการซื้อ
- การจัดให้มีการให้ข้อมูลข่าวสาร คำแนะนำที่ถูกต้องช่วยการตัดสินใจซื้อ

จ) ด้านบุคลากร
- พนักงานบริการให้คำแนะนำ ตอบข้อซักถาม ปัญหา ข้อสงสัย และอธิบายได้อย่างชัดเจน เป็นเรื่องสำคัญ
- พนักงานปฏิบัติการ (ด้านเทคนิค) มีความรู้ความสามารถในการติดตั้ง

ฉ) ด้านลักษณะทางกายภาพ
- เครื่องมือ ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้บริการทันสมัยและมีประสิทธิภาพ
- เครื่องแต่งกายของพนักงานมีเอกลักษณ์และมีความน่าเชื่อถือ
- ภาพลักษณ์องค์กรบนสื่อต่าง ๆ น่าเชื่อถือ

ช) ด้านกระบวนการใช้งาน
- กระบวนการในการเป็นเจ้าของสั้นและง่าย
- ขั้นตอนในการติดต่อขอรับบริการต่าง ๆ มีความชัดเจน

2) ระดับความเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อส่วนประสมทางการตลาดที่มีคะแนนมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่

- ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์: มีเสถียรภาพ โอกาสก่อให้เกิดการเกิดไฟดับมีน้อย แม่นยำ ถูกต้อง มีการแจ้งเตือนที่เชื่อถือได้ มีคะแนนเฉลี่ย 4.20 คะแนน

- ปัจจัยด้านสถานที่: พื้นที่การให้บริการครอบคลุมมีส่วนสำคัญกว่าช่องทางการเข้าถึงบริการในการเลือกซื้อซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 4.20 คะแนน

- ปัจจัยด้านราคา: ราคาอุปกรณ์และการติดตั้งมีส่วนอย่างมากในการตัดสินใจเพิ่มความปลอดภัย ต้องการใช้งาน หากมีการเสนอทางเลือกอื่นมากกว่าการลงทุนซื้อ คะแนนเฉลี่ย 4.19 คะแนน

- ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์: มีมาตรฐาน ปลอดภัย ไม่เป็นอันตรายเป็นเรื่องสำคัญที่สุด ความง่ายของการใช้แอปพลิเคชันบนเครื่องมือสื่อสาร มีส่วนในการตัดสินใจซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 4.11 คะแนน

- ปัจจัยด้านบุคลากร: พนักงานปฏิบัติการ (ด้านเทคนิค) มีความรู้ความสามารถในการติดตั้ง คะแนนเฉลี่ย 4.09 คะแนน

3) ระดับความเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อส่วนประสมทางการตลาดที่มีคะแนนน้อยที่สุด 5 อันดับ ได้แก่

- ปัจจัยด้านราคา: มีราคาเริ่มต้นที่ 30,000 บาท มีความเหมาะสม การมีส่วนลดเป็นปัจจัยสำคัญในการซื้อซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 3.61 คะแนน

- ปัจจัยด้านกระบวนการใช้งาน: กระบวนการในการเป็นเจ้าของสั้นและง่าย ขั้นตอนในการติดต่อขอรับบริการต่าง ๆ มีความชัดเจนซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 3.82 คะแนน

- ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพ: เครื่องแต่งกายของพนักงานมีเอกลักษณ์และมีความน่าเชื่อถือ ภาพลักษณ์องค์กรบนสื่อต่าง ๆ น่าเชื่อถือ คะแนนเฉลี่ย 3.85 คะแนน

- ปัจจัยด้านบุคลากร: พนักงานบริการให้คำแนะนำ ตอบข้อซักถาม ปัญหาข้อสงสัย และอธิบายได้อย่างชัดเจนเป็นเรื่องสำคัญซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 3.87 คะแนน

- ปัจจัยด้านกิจกรรมส่งเสริมการตลาด: มีการจัดให้มีการให้ข้อมูลข่าวสาร คำแนะนำที่ถูกต้องช่วยการตัดสินใจซื้อ คะแนนเฉลี่ย 3.88 คะแนน

4) ระดับความพึงพอใจโดยรวม

สำหรับความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการใช้เทคโนโลยีอยู่ในระดับที่พึงพอใจมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ย 3.85 คะแนน

6. การอภิปรายผล

6.1 การออกแบบและพัฒนาระบบป้องกันไฟฟ้าดิจิทัลเพื่อให้ทำงานเป็นสมองของบ้านอัจฉริยะ โดยอาศัยการทำงานร่วมกับลานข้อมูลไฟฟ้า (electrical cloud platform) ผ่าน home gateway เมื่อนำไปติดตั้งใช้จริง สามารถทำงานได้ดีในการควบคุมดูแลความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าและสามารถส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ แม้จะเป็นการติดตั้งเข้าไปในระบบไฟฟ้าเดิมของอาคารหรือบ้านที่มีระบบไฟฟ้าที่มีอายุการใช้งานนานทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบถึงความเสี่ยงของระบบไฟฟ้าเดิมที่มีอยู่และดำเนินการแก้ไข อย่างไรก็ตาม การออกแบบระบบที่ใช้ solid state ประเภท thyristor และมีส่วนของสายสัญญาณควบคุมรวมถึงสายสื่อสาร CANBus ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความกังวลใจและลังเลใจที่จะนำไปติดตั้งใช้งานในอนาคต การออกแบบที่แต่ละ CPU มีดิสเพลย์ (display) เป็นของตัวเอง และคุมแต่ละชุดตัดวงจร ทำให้โดยรวมอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ใช้พื้นที่มาก

เป็นอุปสรรคกับพื้นที่ขนาดเล็ก รวมถึงการแยกชุดตัดวงจรออกจากชุดควบคุม จะต้องพิจารณาปรับปรุงในส่วนสายคอนโทรล (control) ที่มีจำนวนมาก และมีความเสี่ยงต่อการผิดพลาดได้ง่าย เพื่อให้เป็นอิสระต่อกันอย่างแท้จริง ไม่ถูกจำกัดด้วยความยาวของสายควบคุม ในกรณีที่จะต้องแยกชุดตัดวงจรให้ห่างไกลออกไป โดยการพัฒนาในขั้นต่อไปควรเน้นการต่อเชื่อมระหว่าง 2 ตู้แบบเดียวกับการต่อระบบ LAN ด้วยการออกแบบชุดหัวเสียบต่อเฉพาะ หากมีการปรับปรุงรูปแบบให้มีความกะทัดรัดมากขึ้นจะทำให้น่าสนใจมากขึ้น ซึ่งสำหรับผู้สูงวัยแล้วมีความเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการติดตั้งระบบดังกล่าวในเรื่องของความปลอดภัยในขณะที่ผู้มีการศึกษาสนใจในการใช้เทคโนโลยีเพื่อความสะดวกสบายของการจัดการไฟฟ้า

6.2 ในการนำผลิตภัณฑ์ไปทำการตลาด สรุปได้ว่า ความเชื่อถือได้และการได้รับรองจากหน่วยงานภาครัฐเป็นหัวใจสำคัญในการตัดสินใจซื้อ และราคาก็เป็นส่วนสำคัญ แต่หากมีการเสนอสิ่งที่แตกต่างมากกว่าระบบเดิม ก็สามารถยอมรับราคาได้ โดยอาจจะมีข้อเสนอในการลงทุนในรูปแบบใหม่ ๆ เพื่อไม่ให้เป็นภาระมากเกินไป

7. ข้อสรุป

การพัฒนาเทคโนโลยีระบบ HoME@Cloud ได้สร้างมาตรฐานใหม่ในการป้องกันทางไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ใช้ไฟฟ้าที่พึ่งพาเครื่องมือสื่อสารในการดำรงชีวิตและตัดสินใจมากขึ้น ความสำคัญของการป้องกันและการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สอดคล้องกับการดำรงชีวิตวิถีใหม่ของประชากร อาจจะยังคงต้องใช้เวลาในการปรับตัวระยะหนึ่ง ซึ่งจะต้องไม่ละเลยการเน้นความสะดวกสบายซึ่งเป็นปัจจัยต้น ๆ ของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของกระแสพลวัตโลกในเรื่องพลังงานและปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นเรื่องของการจัดการข้อมูลให้เกิดความยั่งยืน และธุรกิจแบ่งปันกับสภาพสังคมวิถีใหม่หลังโควิด-19 อาจทำให้เทคโนโลยีบ้านไร้เบรกเกอร์เป็นเรื่องที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ และจะนำไปสู่บริการที่เรียกว่า “electricity as a service” ที่มี “digital electrical protection” เป็นแกนสำคัญในการสร้างฐานข้อมูลและอัลกอริทึมจากปัญญาประดิษฐ์ที่ฝังไว้ในสมองกลของบ้านไร้เบรกเกอร์เพื่อต่อยอดธุรกิจต่อไป การใช้ชีวิตแบบสมัยใหม่บนโทรศัพท์มือถือผ่านอุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ หากไม่สนใจสถานะของอุปกรณ์อัจฉริยะและสภาพความปลอดภัยทางไฟฟ้าอาจเป็นการเพิ่มความเสี่ยงมากขึ้น หากไฟฟ้าไม่มีความเสถียรมากพอที่จะสร้างความมั่นใจว่าการจัดการชีวิตจะไม่พลาดเพียงเพราะปัญหาทางไฟฟ้า การวิจัยนี้ทำให้เห็นว่า การมีชีวิตทันสมัยต้องพึ่งความฉลาดของระบบป้องกันทางไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเด่นคือสามารถป้องกันเพลิงไหม้จากการเกิดไฟฟ้ารุ่งแสง และการออกแบบการควบคุมบ้านอัจฉริยะด้วยความสามารถในการตรวจวัดลักษณะคลื่นไฟฟ้าแบบเวลาจริง ทำให้สามารถจับสัญญาณเมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติได้และตัดต่อวงจรเมื่อมีความเสี่ยงขึ้นได้จริง และเป็นต้นแบบในการพัฒนานวัตกรรมการพัฒนาอุปกรณ์การควบคุมบ้านพักอาศัยในอนาคตต่อไป

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

การพัฒนาเทคโนโลยีระบบ HoME@Cloud ในเชิงความปลอดภัยต่อทรัพย์สินและชีวิตเป็นการปฏิวัติการป้องกันจากการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเก่ามาเป็นการให้สมองกลทำงานตรวจจับและตัดสินใจเกิดความแม่นยำและครอบคลุมความเสี่ยงที่มีในปัจจุบันและจะมีในอนาคต โดยอาศัยหลักการอ่านพารามิเตอร์ที่สำคัญของคลื่นไฟฟ้า การลดความผิดพลาดของการตัดวงจรโดยไม่จำเป็นถูกสร้างขึ้นโดยการให้มีระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อเรียนรู้สภาพไฟฟ้าที่ควรมีลายเซ็นทางสัญญาณคล้ายจะเกิดความเสี่ยงต่อผู้ใช้ไฟฟ้าหรือต่อทรัพย์สิน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ายอมรับเทคโนโลยีมากขึ้น และนำไปสู่การวิจัยเพิ่มเติมเพื่อนำความสามารถดังกล่าวไปเรียนรู้แยกแยะชนิดของภาระที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการด้านการประหยัดพลังงานและตรวจสอบความเสื่อมของเครื่องใช้ไฟฟ้า

สิ่งสำคัญเพื่อให้การนำเทคโนโลยีจากงานวิจัยนำไปสู่การเป็นบ้านที่มีระบบการจัดการไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยสมบูรณ์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาการลดขนาดของภาคตัดต่อด้วยเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น silicon carbide MOSFETs ที่เริ่มมีราคาลดลง และนำมาใช้งานในกำลังไฟฟ้าสูงได้ดี

สำหรับความปลอดภัย แม้ระบบที่ออกแบบนี้จะทำการป้องกันได้ดี แต่สิ่งที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการมากขึ้นคือการรู้ว่า เหตุแห่งปัญหาอยู่ที่ใด การเพิ่มความสามารถทางด้านนี้เข้าไปใน CPU จะทำให้ผลิตภัณฑ์น่าสนใจมากขึ้น

8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับกิจการสื่อสาร

ภาครัฐควรทำให้ประชาชนรับรู้ถึงประโยชน์จากการเปลี่ยนเทคโนโลยีโดยการกระตุ้นด้วยแรงจูงใจต่าง ๆ โดยรัฐจะได้ประโยชน์จากการส่งเสริม คือ การวางแผนการจัดการพลังงานในโครงข่ายให้ประชาชนได้มีใช้อย่างทั่วถึงโดยไม่ต้องลงทุนระบบจ่ายไฟฟ้าเพิ่ม ด้วยการลดปัญหา ณ จุดสูงสุด (peak) ด้วยการจัดสรรไฟฟ้าจากการวิเคราะห์ประวัติข้อมูลที่ได้จากพฤติกรรมผู้บริโภคที่บันทึกเก็บไว้ในลานข้อมูลคลาวด์ ทำให้โครงข่ายเดิมรองรับผู้ใช้ไฟฟ้าได้มากขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลและโครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูลคือตัวกำหนดความก้าวหน้าและความได้เปรียบทางการแข่งขันของประเทศ และแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เสถียรคือหัวใจของการทำให้การสื่อสารมั่นคง มีความยั่งยืนแม้ในยามคับขัน ในขณะที่แหล่งพลังงานคงเหลือ มีความเสี่ยงในการรองรับการใช้งานเพิ่มขึ้นของการสื่อสารดิจิทัลในแต่ละหน่วยของผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้แหล่งพลังงานทางเลือกเป็นเรื่องที่

หลีกเลี่ยงไม่ได้ และมีการติดตั้งใช้งานทั่วโลก ส่งผลให้การสื่อสารเพื่อการจัดการเป็นเรื่องจำเป็น เป็นสิ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า รัฐบาลควรเข้ามามีบทบาทเพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูล ซึ่งมีความเสี่ยงมากขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะข้อมูลด้านไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมาในภายหลังได้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ 1) ส่วนที่เกี่ยวกับการเปิดเผยข้อมูลมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูลและสิทธิในการเข้าถึงข้อมูลของภาครัฐ 2) ส่วนขอบเขตความรับผิดชอบต่อความผิดพลาดในการควบคุมเมื่อการสื่อสารหรือระบบสื่อดิจิทัลผิดพลาดหรือล่มไป เนื่องจากการลักลอบเจาะเข้าสื่อดิจิทัล ทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าไม่อยู่บ้านเป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้วกลับมาพบว่า อาหารเน่าเสียหรือเกิดน้ำรั่วท่วมบ้าน เนื่องจากความผิดพลาดของการลักลอบเจาะเข้าสื่อดิจิทัลดังกล่าว และ 3) ส่วนของการกำหนดมาตรฐานสำหรับการสื่อสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมการจัดการไฟฟ้า ระหว่างระบบต่างผู้ผลิต และระบบที่หน่วยงานภาครัฐที่กำกับดูแล เพื่อไม่ให้เกิดการซ้ำซ้อนด้านการลงทุนระบบสื่อสารและเกิดปัญหาการเชื่อมต่อหากัน อีกทั้งเป็นการใช้ทรัพยากรด้านความถี่ให้คุ้มค่า

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) ที่ให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

รายการเอกสารอ้างอิง

บุญชม ศรีสะอาด. (2542). *วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

สำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยกรุงเทพมหานคร. (2564). *รายงานการประชุมแนวโน้มปัญหาและสาเหตุการเกิดอัคคีภัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร.* กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2561). *รายงานโครงการสำมะโนประชากรและเคหะ ปี 2561 สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.* กรุงเทพมหานคร.

European Innvation Scoreboard. (2006). *Comparative analysis of innovation performance.* https://www.eng.auth.gr/paratiritirio/doc/2007%20EU%20Statistics/EIS2006_final.pdf

ADT Commercial. (2021). *Smart Home.* Protection 1 Home Security Company. https://www.protection1.com/smart-home/

Ahmed, E., Yaqoob, I., Gani, A., Imran, M., & Guizani, M. (2016). Internet of things based smart environments: state of the art, taxonomy, and open research challenges. *IEEE Wireless Communications, 23*(5), 10-16.

Bakar, U., Ghayvat, H., Hasanm, S., & Mukhopadhyay, S. (2016). Activity and anomaly detection in smart home: a survey. *Next Generation Sensors and Systems,* 191-220.

Jiang, N., Schmidt, C., Matossian, V., & Parashar, M. (2004). Enabling applications in sensor-based pervasive environments. *Proc. 1st Workshop on Broadband Advanced Sensor Networks. BaseNets* (p. 48). ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/228778561_Enabling_applications_in_sensor-based_pervasive_environments

Kamtip, S., & Bhumkittipich, K. (2015). Comparison between mechanical circuit breaker and solid-state circuit breaker under abnormal conditions for low voltage systems. *18th IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems* (pp. 1091-1096). Pattaya, Thailand: IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/document/7385200

LaFleur, W. (2013). *CBEMA AND ITIC CURVES.* HubSpot. https://cdn2.hubspot.net/hub/446633/file-2240606432-pdf/White_Papers/WP108.pdf?__hstc=33975870.450c23fe1fa625221810eebc74d329cb.1588345356138.1588345356138.1588345356138.1&__hssc=33975870.1.1588345356140

Pusorn, W., Srisongkram, W., Chiangchin, K., & Bhumkittipich, K. (2015). Solid State Circuit Breaker using insulated gate bipolar transistor for distribution system protection. *IEEE International Electrical Engineering Congress. iEECON2014* (pp. 1-4). Chonburi, Thailand: IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/document/6925920

Pusorn, W., Srisongkram, W., Subsingha, W., Deng-Em, S., & Boonchiam, P. (2007). Low-cost ac solid state circuit breaker. *7th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems Systems* (pp. 1724-1729). Bangkok, Thailand: IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/document/4487941

Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal, 3*(5), 637-646.

Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis.* London: John Weather Hill.