



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

กลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานสำหรับระบบจำหน่ายกำลัง

Energy storage system control strategies for power distribution systems

อารีวรรณ ขจรเดช* และ ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์

Areewan Kajorndech* and Dulpichet Rerkpreedapong

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพฯ 10900

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

Received April 2014

Accepted June 2014

บทคัดย่อ

ระบบสะสมพลังงานถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ซึ่งการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานในระบบไฟฟ้าให้สามารถบรรลุดตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้นั้น ย่อมต้องอาศัยกลยุทธ์ในการควบคุมระบบสะสมพลังงานที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้นำเสนอกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานในระบบจำหน่ายกำลัง ที่ใช้ประโยชน์จากขนาดของระบบสะสมพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการหาคำตอบว่าควรมีการดำเนินการเก็บสะสมพลังงานในแต่ละช่วงเวลาอย่างไรให้มีความเหมาะสมที่สุด โดยปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบและประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงาน ผลการจำลองได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์จากการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานด้วยกลยุทธ์การควบคุมที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : กลยุทธ์การควบคุม การปรับปรุงความเชื่อถือได้ การประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน ระบบสะสมพลังงาน

Abstract

Energy storage systems have been widely employed to attain several benefits, such as reliability improvement, stabilization of power systems connected with renewable energy resources, economic benefits and etc. To achieve the above objectives, the appropriate and effective control strategies for energy storage systems are needed to be developed. This research proposes energy storage system control strategies for power distribution systems equipped with a limited size of energy storage system in order to improve reliability and save energy costs by determining an optimal charging schedule of the energy storage system. Simulation results demonstrate the benefits of energy storage system applications under the different control strategies.

Keywords : Control strategy, Reliability improvement, Energy cost saving, Energy storage system

* Corresponding author. Tel.: +6681-457-4788

Email address: areewan_kik@hotmail.com* (Kajorndech, A.), fengdur@ku.ac.th (Rerkpreedapong, D.)

doi: 10.14456/kkuenj.2015.12

1. บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังแต่เดิมถูกดำเนินการบนพื้นฐานการจัดสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าและความต้องการใช้ไฟฟ้าแบบตามเวลาจริง (real time) โดยปราศจากความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก แต่ปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart grid) และเทคโนโลยีการเก็บสะสมพลังงานที่ประยุกต์ใช้ในสมาร์ทกริด สามารถลดข้อจำกัดต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังแบบเดิมได้ นำมาซึ่งประโยชน์ในหลากหลายด้าน เช่น ความสามารถในการเตรียมแหล่งกำลังไฟฟ้าสำรองพร้อมจ่าย การเคลื่อนย้ายพลังงานไฟฟ้า การขจัดความเสี่ยงของความถี่และลดความหนาแน่นในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นต้น กลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานในระบบไฟฟ้าได้

มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบ โดย [1] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบสะสมพลังงานแบบเตอรีเพื่อที่จะทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบดีขึ้น [2] ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เพื่อประเมินการปรับปรุงค่าความเชื่อถือได้ของระบบโดยใช้ระบบสะสมพลังงานเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง และการกำหนดขนาดของระบบสะสมพลังงานเพื่อที่จะบรรลุระดับความเชื่อถือได้ตามต้องการ และ [3] ได้นำเสนอวิธีการประเมินค่าใช้จ่ายเพื่อการปรับปรุงค่าความเชื่อถือได้ของระบบที่มีการพิจารณาถึงผลกระทบจากพลังงานลมด้วยการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงาน

และมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานเพื่อประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดย [4] ได้ศึกษาการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เหมาะสมต่อราคาตลาดซื้อขายไฟฟ้า สำหรับการตัดสินใจดำเนินการควบคุมระบบสะสมพลังงาน [5] ได้นำเสนอผลการทดลองบนพื้นฐานการกำหนดราคาตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบตามเวลาจริง ในการควบคุมระบบสะสมพลังงานความร้อนเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงาน และ [6] ได้ศึกษาประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการประยุกต์ใช้ระบบสะสมพลังงานแบบเตอรีโซเดียมซัลเฟอร์ เพื่อการค้ากำไรในตลาดซื้อขายไฟฟ้านิวเอร์ก

จากงานวิจัยข้างต้นได้ให้ความสนใจในการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานเพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง ถ้าไม่เพื่อประโยชน์ความเชื่อถือได้ของระบบก็เพื่อประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งลักษณะการควบคุมที่ยืดหยุ่นในการเก็บสะสมพลังงานยังไม่ได้ถูกใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ แต่ [7] ได้นำเสนอกกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานเพื่อประโยชน์ทั้งด้านความเชื่อถือได้ของระบบและด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งให้ผลที่น่าพอใจระดับหนึ่ง และในงานวิจัยนี้ได้นำกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงาน [7] มาประยุกต์และปรับปรุงได้กลยุทธ์ใหม่ที่มีประสิทธิผลดีขึ้น จากผลการจำลองได้แสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์ที่ได้ปรับปรุงใหม่นี้ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานได้มากกว่าในขณะที่ความเชื่อถือได้ของระบบเท่ากัน

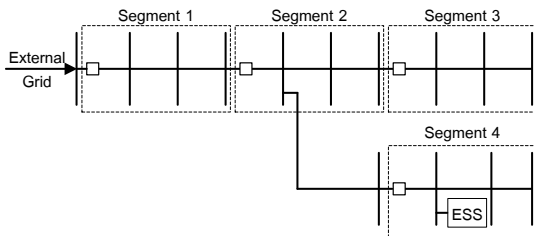
ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอกกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานที่ประยุกต์ใช้ในระบบจำหน่ายกำลังเพื่อที่จะปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบและประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงาน ในขณะที่กลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานที่นำเสนอสามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้อย่างยืดหยุ่น เพื่อที่จะบรรลุระดับความเชื่อถือได้ของระบบและประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ได้ตามต้องการ

2. ปัญหาการวิจัย

2.1 ลักษณะระบบจำลอง (System Description)

ในตลาดซื้อขายไฟฟ้า ผู้ให้บริการสาธารณูปโภคพลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่จัดหาพลังงานไฟฟ้าและส่งจ่ายไปสู่ผู้ใช้ไฟผ่านระบบจำหน่ายกำลัง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้บริการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ไฟอย่างน่าเชื่อถือและวางใจได้ [8] ภายใต้ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ [9] ซึ่งระบบสะสมพลังงานได้ถูกเลือกใช้ในระบบจำหน่ายกำลังเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวไว้ รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างระบบจำหน่ายกำลังแบบเรเดียลที่มีการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System, ESS) ในส่วนที่ 4 โดยสัญลักษณ์ “□” แสดงถึงอุปกรณ์ป้องกัน (เช่น เซอร์คิต

เบรกเกอร์ และรีโคลสเซอร์) และโครงข่ายภายนอก (external grid) หมายถึงระบบการผลิต การส่งจ่าย กำลังไฟฟ้า และหม้อแปลงสถานีไฟฟ้า



รูปที่ 1 แสดงระบบจำหน่ายกำลังแบบเรเดียลที่มีการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงาน

ในกรณีที่เกิดความล้มเหลวในส่วนปลายทาง (downstream) อุปกรณ์ป้องกันภายในเขตการป้องกัน (protection zone) ที่รับผิดชอบจะทำงานแยกส่วน ออกจากระบบ ผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่อยู่ในโซนการป้องกันดังกล่าวจะสูญเสียการจ่ายกำลังไฟฟ้า และในกรณีที่เกิดความล้มเหลวในส่วนต้นทาง (upstream) ส่วนนั้น จะถูกแยกออกจากระบบ ซึ่งหากส่วนปลายทางมีแหล่งผลิตไฟฟ้ากระจายตัวหรือระบบสะสมพลังงาน ส่วนนี้ ยังสามารถได้รับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน ดังกล่าวได้ ซึ่งช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย กำลัง

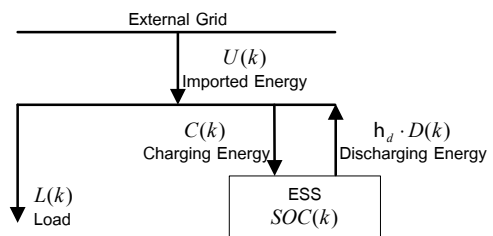
2.2 โหมดการทำงานระบบจำลอง (Modes of Operation)

เมื่อพิจารณาความสามารถแยกตัวอิสระ ของระบบจำหน่ายกำลังในแต่ละส่วน สามารถกำหนด โหมดการทำงานต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) โหมดการดำเนินการล้มเหลว (failure mode) ระบบจำหน่ายกำลังในส่วนที่พิจารณาไม่สามารถจ่าย กำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟได้ และโซนการป้องกันนี้จะถูก แยกออกมา
- 2) โหมดเชื่อมต่อกับกริด (grid connected mode) ระบบจำหน่ายกำลังในส่วนที่พิจารณาเชื่อมต่อกับ กริดภายนอกได้สำเร็จ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ ผู้ใช้ไฟได้
- 3) โหมดแยกตัวอิสระ (islanding mode) เกิดความล้มเหลวในส่วนต้นทางอย่างน้อยส่วนใดส่วนหนึ่ง

หรือกริดภายนอกอยู่ในสภาวะล้มเหลว นั่นคือ กริด ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ หากมีการประยุกต์ใช้ระบบ สะสมพลังงานในส่วนที่พิจารณานี้ ระบบจำหน่ายกำลัง ในส่วนที่พิจารณาจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ ไฟฟ้าได้จากระบบสะสมพลังงานดังกล่าว ความสูญเสีย การจ่ายกำลังไฟฟ้าอาจจะถูกหลีกเลี่ยงหรือลดน้อยลงได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานสะสมและความสามารถในการ จ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบสะสมพลังงาน

2.3 ระบบจำหน่ายกำลังที่มีการประยุกต์ใช้งานระบบ สะสมพลังงาน (Energy Storage System Integrated in Power Distribution System)



รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองระบบอย่างง่ายที่มีการประยุกต์ ใช้งานระบบสะสมพลังงานในส่วนที่ศึกษา

แบบจำลองอย่างง่ายที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ สะสมพลังงานในส่วนที่ศึกษาแสดงได้ดังรูปที่ 2 โดย $L(k)$ แทนปริมาณพลังงานความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วง เวลา $C(k)$ แทนปริมาณพลังงานขาเข้าระบบสะสม พลังงานในแต่ละช่วงเวลา และ $\eta_d D(k)$ แทนปริมาณ พลังงานขาออกจากระบบสะสมพลังงานในแต่ละช่วงเวลา โดยที่ η_d คือประสิทธิภาพการจ่ายกำลังไฟฟ้าขาออก (การดิสชาร์จ) และ $D(k)$ คือปริมาณพลังงานที่จ่าย ออกจากตัวเก็บสะสมพลังงานในแต่ละช่วงเวลา การสะสม และการจ่ายพลังงานของระบบสะสมพลังงานจะถูกควบคุม โดยผู้ให้บริการสาธารณูปโภคพลังงานไฟฟ้า

ซึ่งผลรวมปริมาณพลังงานของความต้องการใช้ ไฟฟ้าและในการสะสมหรือการจ่ายของระบบสะสม พลังงาน จะเท่ากับปริมาณพลังงานที่นำเข้ามาจากตลาด ซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาหรือ $U(k)$ ซึ่งส่งมาจาก โครงข่ายไฟฟ้าภายนอก ดังความสัมพันธ์

$$U(k) = L(k) + C(k) - \eta_d \cdot D(k) \quad (1)$$

ทั้งนี้ในงานวิจัยได้กำหนดให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่ปรับเปลี่ยนตามราคาพลังงาน

2.4 แบบจำลองตลาดซื้อขายไฟฟ้า (Power Market Model)

ตลาดซื้อขายไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ถูกจำลองอย่างง่ายแบบตามเวลาจริงในแต่ละช่วงเวลาตลาด (เช่น รายชั่วโมง) ผู้ให้บริการสาธารณูปโภคพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกำลังจะกำหนดปริมาณพลังงานนำเข้าที่จะซื้อจากตลาดซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา แ่งปริมาณความต้องการพลังงานต่อกลไกการกำหนดราคาตลาด (market clearing price) และมีค่าใช้จ่ายพลังงานในแต่ละช่วงเวลาเป็น

$$U(k) \cdot P(k) \quad (2)$$

โดยที่ $U(k)$ คือปริมาณพลังงานนำเข้าที่ซื้อจากตลาดซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และ $P(k)$ คือราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาณพลังงาน จากกลไกการกำหนดราคาตลาด (ซึ่งแสดงถึงลักษณะของค่าใช้จ่ายในการจัดหาไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ)

ซึ่งกำหนดให้ $U(k)$ ในแต่ละช่วงเวลาตลาดสามารถซื้อพลังงานได้เท่านั้น และไม่เกินข้อจำกัดความสามารถของสายป้อน

$$0 \leq U(k) \leq U_{\max} \quad (3)$$

โดยที่ $U_{\max}$ คือข้อจำกัดความสามารถของสายป้อน

2.5 แบบจำลองระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System Model)

ในงานวิจัยนี้ไม่ได้เจาะจงเลือกใช้เทคโนโลยีการเก็บสะสมพลังงานแบบใดแบบหนึ่ง แต่จะจำลองระบบสะสมพลังงานด้วยชุดตัวแปรและข้อจำกัดการดำเนินการดังนี้ ค่าพลังงานสะสมคงเหลือของตัวเก็บสะสมพลังงาน (state of charge, SOC) สูงสุดและต่ำสุด ขอบเขต

ความสามารถการรับกำลังไฟฟ้าเข้า (charging) และขอบเขตความสามารถการจ่ายกำลังไฟฟ้าออก (discharging) ของระบบสะสมพลังงาน ประสิทธิภาพการชาร์จและการดิสชาร์จ และขนาดความจุพลังงานของตัวเก็บสะสมพลังงาน

ค่า SOC เริ่มต้นในแต่ละช่วงเวลาสามารถหาได้จากค่า SOC เริ่มต้นในช่วงเวลาก่อนหน้า และการดำเนินการชาร์จหรือดิสชาร์จในระหว่างช่วงเวลานั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$SOC(k) = SOC(k-1) + \eta_c \cdot C(k) - D(k) \quad (4)$$

โดยที่ $SOC(k)$ คือปริมาณพลังงานสะสมคงเหลือของตัวเก็บสะสมพลังงานสิ้นสุดในแต่ละช่วงเวลา $SOC(k-1)$ คือปริมาณพลังงานสะสมคงเหลือของตัวเก็บสะสมพลังงานสิ้นสุดในช่วงเวลาก่อนหน้า $\eta_c \cdot C(k)$ คือปริมาณพลังงานที่รับไปสะสมในตัวเก็บพลังงานในแต่ละช่วงเวลา โดยที่ η_c คือประสิทธิภาพการรับกำลังไฟฟ้าเข้าไปสะสม (การชาร์จ)

ซึ่งทุกตัวแปรจะต้องอยู่ภายใต้ขอบเขตจำกัดการดำเนินการดังนี้

$$SOC_{\min} \leq SOC(k) \leq SOC_{\max} \quad (5)$$

$$0 \leq D(k) \leq D_{\max} \quad (6)$$

$$0 \leq C(k) \leq C_{\max} \quad (7)$$

3. กลยุทธ์การดำเนินการระบบสะสมพลังงาน

การดำเนินการระบบสะสมพลังงานมีลักษณะการควบคุมที่ยืดหยุ่นปรับเปลี่ยนได้ และสามารถประพฤติตัวเป็นได้ทั้งแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและโหลด ในกรณีที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดจะประพฤติตัวเป็นแหล่งจ่าย และกรณีที่รับกำลังไฟฟ้าไปสะสมจะประพฤติตัวเป็นโหลด ซึ่งสามารถที่จะควบคุมได้อย่างยืดหยุ่นปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการ กลยุทธ์การควบคุมที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายกำลังที่แตกต่างกันด้วย หนึ่งในกลยุทธ์การควบคุมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ กลยุทธ์การควบคุมเพื่อสำรองพร้อมจ่าย

3.1 กลยุทธ์การควบคุมเพื่อสำรองพร้อมจ่าย (Standby Backup Control Strategy)

กลยุทธ์การควบคุมเพื่อสำรองพร้อมจ่ายมีวิธีการดังนี้ ในโหมดแยกตัวอิสระกิริตภายนอกจะไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ระบบสะสมพลังงานที่อยู่ในส่วนนี้จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด หากสามารถเป็นไปได้ หรือไม่ก็ลดการสูญเสียดังกล่าวให้น้อยที่สุด ซึ่งระบบสะสมพลังงานยังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งพลังงานที่เก็บสะสมไว้ใช้จนหมด หรือส่วนที่แยกตัวอิสระนี้ได้ถูกเชื่อมต่อกลับคืน นั่นคืออยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับกิริต

เมื่ออยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับกิริตแล้ว ระบบสะสมพลังงานจะรับกำลังไฟฟ้าไปสะสมทันที จนกระทั่งเต็มความสามารถในการเก็บสะสมพลังงาน จากนั้นระบบสะสมพลังงานจะอยู่ในสถานะแสดงนัยพร้อมจ่ายไฟ หากเกิดความล้มเหลวในครั้งถัดไป

กลยุทธ์การควบคุมเพื่อสำรองพร้อมจ่ายเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายกำลังเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามความสามารถในการควบคุมที่มีความยืดหยุ่นยังไม่ได้นำมาใช้เพื่อประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างเต็มที่ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอ กลยุทธ์การควบคุมที่พัฒนามาจากขั้นตอนวิธีการควบคุมทำนายแบบจำลอง Model Predictive Control (MPC) - based algorithm [10] ปรับปรุงเป็นกลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่ใช้ประโยชน์จากความสามารถในการควบคุมที่มีความยืดหยุ่นในการเก็บสะสมพลังงาน

3.2 กลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด (Economic Objected Control Strategy)

ในกลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด จะใช้ค่าพยากรณ์ระยะสั้น (short term forecasts) ของราคาพลังงานและความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา เพื่อหาจุดดำเนินการระบบสะสมพลังงาน

กลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด จะหาคำตอบว่าควรมีการดำเนินการเก็บสะสมพลังงานในแต่ละช่วงเวลาอย่างไรให้มี

ความเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะนำไปสู่ปริมาณพลังงานนำเข้าจากตลาดซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานสูงสุด ดังความสัมพันธ์

$$\min \sum_k [U(k) \cdot P(k)] \quad (8)$$

โดยมีเป้าหมายให้ผลรวมค่าใช้จ่ายการซื้อพลังงานในขอบเขตช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณา (เช่น 24 ชั่วโมง) มีค่าน้อยที่สุด โดยที่ k คือแต่ละช่วงเวลา (เช่น รายชั่วโมง) ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) หาค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของฟังก์ชันราคาค่าไฟ ใช้หลักการแคลคูลัสโดยการทำ partial derivation ของฟังก์ชันราคาค่าไฟในแต่ละช่วงเวลาเทียบกับตัวแปรรายชั่วโมง จะได้ช่วงเวลาที่มียาราคาค่าไฟสูงสุด (global maximum) ต่ำที่สุด (global minimum) และช่วงเวลาที่มียาราคาค่าไฟสูงสุด (local maxima) ต่ำสุด (local minima)

2) จับคู่ระหว่างช่วงเวลาราคาค่าไฟสูงและต่ำ เพื่อแลกเปลี่ยนพลังงานในคู่ช่วงเวลาดังกล่าว เริ่มต้นด้วยคู่ช่วงเวลาที่มียาราคาค่าไฟสูงสุด (global maximum) และต่ำที่สุด (global minimum)

หากช่วงเวลาที่มียาราคาค่าไฟสูงสุดมีมากกว่าหนึ่งช่วงเวลา ให้เลือกช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเป็นช่วงเวลา D (ช่วงเวลาการดิซซาร์จ) $P_D(k)$ และหากช่วงเวลาที่มียาราคาค่าไฟต่ำสุดมีมากกว่าหนึ่งช่วงเวลา ให้เลือกช่วงเวลาที่ใกล้ที่สุดกับช่วงเวลาราคาค่าไฟสูงสุด D ที่ได้เลือกเอาไว้เป็นช่วงเวลา C (ช่วงเวลาการดิซซาร์จ) $P_C(k)$

โดยที่ $P_D(k)$ คือราคาค่าไฟในช่วงเวลา D และ $P_C(k)$ คือราคาค่าไฟในช่วงเวลา C

3) ตรวจสอบความคุ้มค่าในการแลกเปลี่ยนพลังงานซื้อขายไฟฟ้าในคู่ช่วงเวลาข้างต้น นั่นคือ รายได้จากการขายพลังงานที่มาจากกรจ่ายกำลังไฟฟ้าขาออกของระบบสะสมพลังงานในช่วงเวลา D หรือ $(\eta_d \cdot D(k)) \cdot P_D(k)$ จะต้องมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายจากการซื้อพลังงานในการรับกำลังไฟฟ้าขาเข้าของระบบสะสมพลังงานในช่วงเวลา C หรือ $C(k) \cdot P_C(k)$ และมีความคุ้มค่าในการแลกเปลี่ยนพลังงานซื้อขายไฟฟ้า

ทั้งนี้จะขึ้นกับความแตกต่างราคาพลังงานของคู่ช่วงเวลา
ที่เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงานและ
ต้นทุนการดำเนินการของระบบสะสมพลังงาน
โดยพิจารณาจาก (9)

$$(\eta_c \cdot \eta_d) \cdot P_D(k) > P_C(k) \quad (9)$$

4) ในกรณีที่มีความคุ้มค่าในการแลกเปลี่ยน
ซื้อขายไฟฟ้าในคู่ช่วงเวลาดังกล่าว

4.1) หากค่าระดับพลังงานที่สามารถจ่ายได้
เพื่อลด $U_D(k)$ ปริมาณพลังงานนำเข้าที่ซื้อจากตลาด
ซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลา D นั้นคือปริมาณพลังงานที่จ่าย
ออกจากตัวเก็บสะสมพลังงาน หรือ $D(k)$

โดยตรวจสอบเงื่อนไขการดำเนินการดังนี้

- ข้อจำกัดจากปริมาณความต้องการ

โหลด $L_D(k)$

- ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้า

สูงสุดออกจากตัวเก็บสะสมพลังงาน $D_{\max}$

- ข้อจำกัดพลังงานสะสมต่ำสุดของ

ตัวเก็บสะสมพลังงาน $SOC_{\min}$

4.2) หากค่าระดับพลังงานที่สามารถซื้อเก็บได้
เพื่อเพิ่ม $U_C(k)$ ปริมาณพลังงานนำเข้าที่ซื้อจากตลาด
ซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลา C นั้นคือปริมาณพลังงานนำเข้า
ระบบสะสมพลังงาน หรือ $C(k)$

โดยตรวจสอบเงื่อนไขการดำเนินการดังนี้

- ข้อจำกัดความสามารถของสายป้อน

$U_{\max}$

- ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า

สูงสุดของระบบสะสมพลังงาน $C_{\max}$

- ข้อจำกัดพลังงานสะสมสูงสุดของ

ตัวเก็บสะสมพลังงาน $SOC_{\max}$

4.3) เปรียบเทียบความสมดุลของค่าระดับ
พลังงานที่ จ่ายออกสะสม-ซื้อเก็บสะสม

4.3.1) กรณีที่ค่าระดับพลังงานที่ซื้อ
เก็บสะสมมีค่ามากกว่าค่าระดับพลังงานที่จ่ายออกสะสม

ให้ค้นหาช่วงเวลาใกล้เคียงที่มีราคาค่าไฟสูงรองลงมา คู่กับ
ช่วงเวลาราคาค่าไฟต่ำเดิม และดำเนินการด้วยขั้นตอน
เดียวกันซ้ำในขั้นตอนที่ 3 หากมีความคุ้มค่าให้ดำเนินการ
หาค่าระดับพลังงานที่สามารถจ่ายได้ ในช่วงเวลาดังกล่าว
ในขั้นตอนที่ 4.1 เพื่อเพิ่มค่าระดับพลังงานที่จ่ายออกสะสม

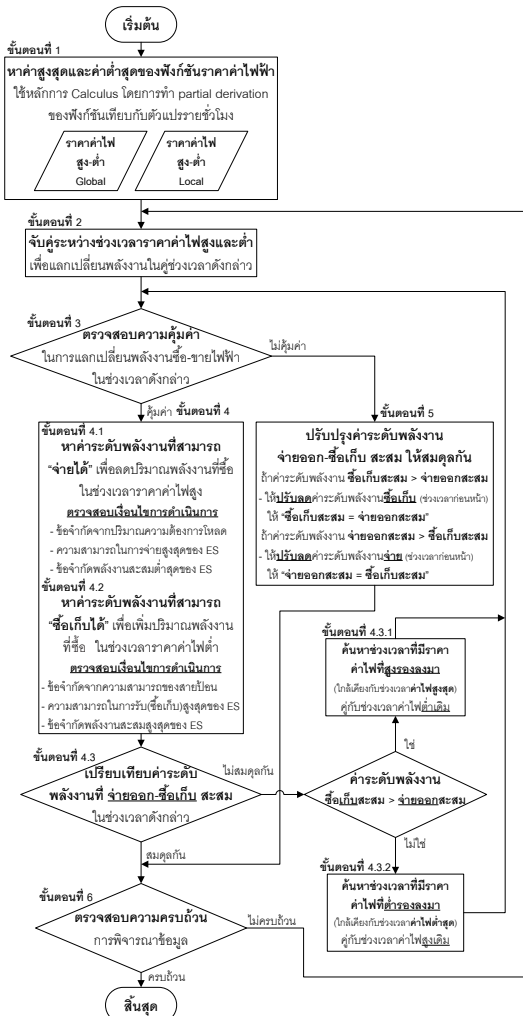
4.3.2) กรณีที่ค่าระดับพลังงานที่
จ่ายออกสะสมมีค่ามากกว่าค่าระดับพลังงานที่ซื้อเก็บ
สะสม ให้ค้นหาช่วงเวลาใกล้เคียงที่มีราคาค่าไฟต่ำ
รองลงมา คู่กับช่วงเวลาราคาค่าไฟสูงเดิม และดำเนินการ
ด้วยขั้นตอนเดียวกันซ้ำในขั้นตอนที่ 3 หากมีความคุ้มค่า
ให้ดำเนินการหาค่าระดับพลังงานที่สามารถซื้อเก็บได้
ในช่วงเวลาดังกล่าวในขั้นตอนที่ 4.2 เพื่อเพิ่มค่าระดับ
พลังงานที่ซื้อเก็บสะสม

5) ในกรณีที่ไม่วัดค่าในการแลกเปลี่ยนซื้อขาย
ไฟฟ้าในคู่ช่วงเวลาดังกล่าว ให้ปรับปรุงค่าระดับพลังงาน
ที่จ่ายออกสะสม-ซื้อเก็บสะสม ให้สมดุลกัน ดังนี้

5.1) หากค่าระดับพลังงานที่ซื้อเก็บสะสม
มีค่ามากกว่าค่าระดับพลังงานที่จ่ายออกสะสม ให้ปรับลด
ค่าระดับพลังงานซื้อเก็บในช่วงเวลาที่มีการพิจารณา หากค่า
ระดับพลังงานที่สามารถซื้อเก็บได้ (ในขั้นตอนที่ 4.2)
ก่อนหน้านี้ จนค่าระดับพลังงานที่ซื้อเก็บสะสมมีค่าเท่ากับ
ค่าระดับพลังงานที่จ่ายออกสะสม

5.2) หากค่าระดับพลังงานที่จ่ายออกสะสม
มีค่ามากกว่าค่าระดับพลังงานที่ซื้อเก็บสะสม ให้ปรับลดค่า
ระดับพลังงานจ่ายในช่วงเวลาที่มีการพิจารณา หากค่าระดับ
พลังงานที่สามารถจ่ายได้ (ในขั้นตอนที่ 4.1) ก่อนหน้า
จนค่าระดับพลังงานที่จ่ายออกสะสมมีค่าเท่ากับค่าระดับ
พลังงานที่ซื้อเก็บสะสม

6) ตรวจสอบความครบถ้วนตามขอบเขต
ช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณา (เช่น 24 ชั่วโมง) หากในการ
พิจารณาข้อมูลยังไม่ครบถ้วน ให้ดำเนินการด้วยขั้นตอน
เดียวกันซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จบระหว่างช่วงเวลาราคาค่าไฟ
สูงและต่ำที่ยังไม่ได้รับการพิจารณา เพื่อแลกเปลี่ยน
พลังงานในคู่ช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 3 แสดงแผนผังกลยุทธการควบคุมเพื่อประโยชน์
ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่น่าสนใจ

3.3 กลยุทธ์การควบคุมแบบผสม (Hybrid Control Strategy)

ความคิดพื้นฐานของกลยุทธ์การควบคุมแบบ
ผสม คือ ที่แต่ละช่วงเวลาจะมีปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งของ
ระบบสะสมพลังงานถูกเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
สำรอง และปริมาณพลังงานส่วนที่เหลือจะถูกใช้เพื่อที่จะ
บริหารจัดการค่าใช้จ่ายพลังงานด้วยการประยุกต์ใช้กลยุทธ์
การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด
ที่น่าเสนอ ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะต้องมีการสำรองปริมาณ
พลังงานส่วนหนึ่งเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองไว้ตลอด
เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการล้มเหลวของระบบที่อาจจะ
เกิดขึ้น ระบบจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนจากสถานะ

เชื่อมต่อกับกริดสู่สถานะแยกตัวอิสระ ปริมาณพลังงานที่สำรองเอาไว้ในระบบสะสมพลังงานจะจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความสูญเสียการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดหรือลดปริมาณพลังงานที่ไม่สามารถสำรองจ่ายได้ ในขณะที่พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะถูกใช้ประโยชน์จากความสามารถในการควบคุมที่มีความยืดหยุ่นในการเก็บสะสมพลังงาน เพื่อที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงาน ด้วยขนาดของระบบสะสมพลังงานที่แน่นอน ถ้าพลังงานส่วนที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองเพิ่มขึ้น พลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ใช้เพื่อบริหารจัดการค่าใช้จ่ายพลังงานจะลดลง เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างประโยชน์ความเชื่อถือได้ของระบบและประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้น เพื่อที่จะสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุดจากขนาดระบบสะสมพลังงานที่จำกัด สัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองจะถูกปรับเปลี่ยนตามความต้องการในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ระบบจะมีความเชื่อถือได้น้อยลง ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองควรจะกำหนดให้มีสัดส่วนที่มากขึ้น ในทางกลับกัน ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่มากนัก ระบบมีความเชื่อถือได้มากขึ้น ความน่าจะเป็นหรือโอกาสการเกิดความสูญเสียการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดน้อยลง ดังนั้น ปริมาณพลังงานที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองควรจะกำหนดให้มีสัดส่วนที่น้อยลง นั่นคือปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อบริหารจัดการค่าใช้จ่ายพลังงานจะมีสัดส่วนที่มากขึ้น

กลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้าน
เศรษฐศาสตร์ที่นำเสนอ สามารถปรับเปลี่ยนวิธีการได้ดังนี้

- 1) ไม่เพียงแค่ว่าใช้ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าและราคาค่าไฟในแต่ละช่วงเวลาเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงค่าปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งของระบบสะสมพลังงานที่ต้องการเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองในแต่ละช่วงเวลาด้วย
- 2) ขั้นตอนที่ 1, 2 และ 3 ยังคงเหมือนเดิม
- 3) ขั้นตอนที่ 4 ในกรณีที่มีความคุ้มค่าในการแลกเปลี่ยนซื้อขายไฟฟ้าในคู่ช่วงเวลาข้างต้น ขั้นตอนวิธีการยังคงเหมือนเดิม แต่จะมีข้อจำกัดในการดำเนินการเพิ่มเติม นั่นคือระดับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ SOC

ของตัวเก็บสะสมพลังงานในแต่ละช่วงเวลา จะต้องมีความไม่น้อยกว่าค่าปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งของระบบสะสมพลังงานที่ต้องการเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองในช่วงเวลาเดียวกัน

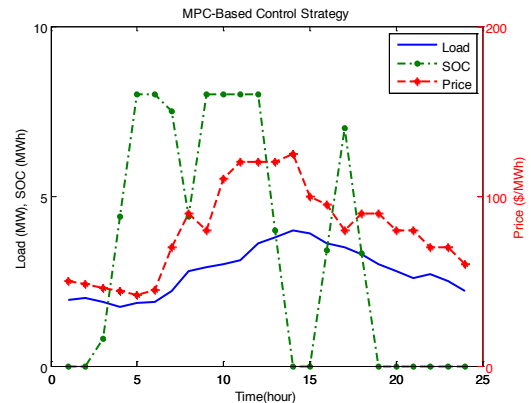
$$SOC(k) \geq SOC_{req}(k) \quad (10)$$

4) ขั้นตอนที่ 5 และ 6 ยังคงเหมือนเดิม

อาจจะมียุทธวิธีที่แตกต่าง ในการกำหนดค่าปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งของระบบสะสมพลังงานที่ต้องการเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง เพื่อที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบ ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาเป็นตัวบ่งชี้กำหนดสัดส่วน ค่าปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งของระบบสะสมพลังงานที่ต้องการเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง จะเป็นสัดส่วนกับค่าความต้องการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นสามารถที่จะพยากรณ์ให้เป็นไปตามค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้

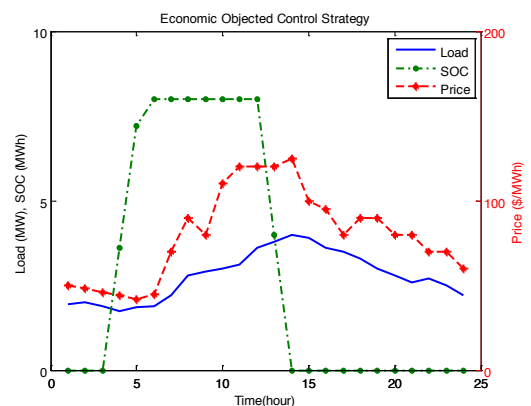
4. ผลการวิจัยและอภิปราย

การจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงานที่ประยุกต์ใช้งานกับระบบจำหน่ายกำลังกรณีศึกษาในสถานะเชื่อมต่อกับกริด [7] ซึ่งมีรูปแบบการจ่ายไฟและแบบจำลองระบบอย่างง่ายดังรูปที่ 1 และ 2 ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาเป็นไปตาม [11] ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ของผู้เขียน [7] โดยมีค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด 4MW ด้วยระบบสะสมพลังงานขนาด 8MWh (SOC_{max}) ซึ่งมีฟังก์ชันการจ่ายและรับกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4MW ($D(k)$, $C(k)$) และมีประสิทธิภาพการจ่ายและรับกำลังไฟฟ้า 90% (η_d , η_c) ตารางที่ 1 ได้แสดงผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงานด้วยกลยุทธ์การควบคุมแบบต่างๆ



รูปที่ 4 แสดงผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงาน ด้วยกลยุทธ์การควบคุมแบบ MPC [7]

ผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงานในรูปที่ 4 ได้จากการดำเนินการกระบวนการต่างๆ ตามกลยุทธ์การควบคุมแบบ MPC ในบทความ [7] นำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับกลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ (ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5) โดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ เหมือนกัน จะเห็นได้ว่าประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยการประยุกต์ใช้กลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่นำเสนอนี้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานได้ถึง \$498 ต่อวัน ซึ่งมากกว่าความสามารถจากการประยุกต์ใช้ด้วยกลยุทธ์การควบคุมแบบ MPC อยู่ \$150 ต่อวัน

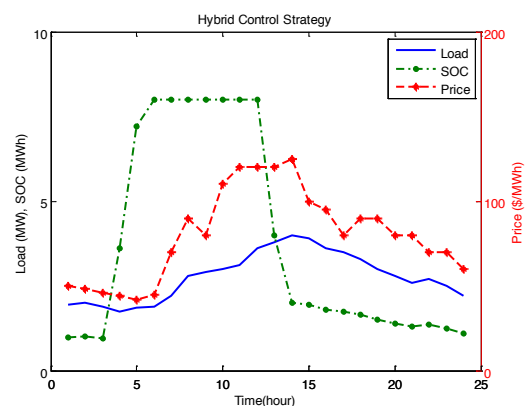


รูปที่ 5 แสดงผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงาน ด้วยกลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่นำเสนอ

จากผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงานที่ใช้ประโยชน์จากความสามารถในการควบคุมที่มีความยืดหยุ่นในการเก็บสะสมพลังงาน เพื่อที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานนั้น สามารถสังเกตเห็นได้ว่า ระบบสะสมพลังงานจะรับกำลังไฟฟ้าไปสะสมเมื่อราคาค่าไฟต่ำ และจะจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อราคาค่าไฟสูง เช่นเดียวกันกับค่าพลังงานสะสมคงเหลือ SOC จะเพิ่มขึ้นจากการรับกำลังไฟฟ้าไปสะสมเมื่อราคาค่าไฟต่ำ (ก่อนถึงช่วงเวลาที่มียาราคาค่าไฟสูง) และ SOC จะลดลงจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อราคาค่าไฟสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนระหว่างปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าและราคาพลังงาน โดยปกติราคาค่าไฟสูงเมื่อมีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก ในขณะที่กำลังไฟฟ้าสำรองส่วนเผื่อเหลือเผื่อขาด (reserve margin) ของระบบลดลงในช่วงเวลาดังกล่าว ระบบจะมีความเสี่ยงหากระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าใดๆ หยุดทำงาน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าดับได้เนื่องจากกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ นั่นคือระบบจะมีความเชื่อถือได้น้อยลงเมื่อโหลดมากขึ้น ดังนั้นจึงมีความต้องการอย่างมากที่จะมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบ อย่างไรก็ตามด้วยการประยุกต์ใช้กลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่ได้นำเสนอ จะมีค่าพลังงานสะสมคงเหลือ SOC ต่ำในช่วงเวลาที่มีราคาค่าไฟสูง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เดียวกันกับความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง และระบบมีความเชื่อถือได้น้อยลง ระดับพลังงานสะสมคงเหลือที่น้อยจะจำกัดความสามารถในการเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายกำลัง ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานแบบผสม เพื่อที่จะปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบและประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานด้วย

กลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานแบบผสม แสดงผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงานด้วยพารามิเตอร์ชุดเดียวกัน ปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งที่ต้องการเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง

ถูกกำหนดให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ร้อยละ 50 ของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลานานเป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง เมื่อระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากกริดเกิดความล้มเหลว อาจพิจารณาจ่ายกำลังไฟฟ้าเฉพาะโหลดที่สำคัญ ส่วนระยะเวลาการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากระบบสะสมพลังงานอาจจะพิจารณาจากระยะเวลาเฉลี่ยที่กริดสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่สภาวะปกติได้ ผลการจำลองการทำงานได้แสดงดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ณ ช่วงเวลาใดๆ ถ้าระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากกริดเกิดความล้มเหลว จะมีปริมาณพลังงานที่สะสมไว้เพียงพอที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่สำคัญได้เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง นั่นคือความเชื่อถือได้ของระบบจะเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเป็นผลจากการแลกเปลี่ยนระหว่างประโยชน์ด้านความเชื่อถือได้ของระบบและประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการประยุกต์ใช้กลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดที่นำเสนอไปก่อนหน้านี้ จะมีค่าใช้จ่ายพลังงาน \$5,258 ต่อวัน ส่วนกลยุทธ์การควบคุมแบบผสม จะมีค่าใช้จ่ายพลังงาน \$5,364 ต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.02 ทั้งนี้กลยุทธ์ที่นำเสนอสามารถที่จะปรับเปลี่ยนสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างค่าความเชื่อถือได้ของระบบ และการประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานได้ตามต้องการ



รูปที่ 6 แสดงผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงาน ด้วยกลยุทธ์การควบคุมแบบผสม

ตารางที่ 1 แสดงผลการจำลองการดำเนินการระบบสะสมพลังงาน ด้วยกลยุทธ์การควบคุมแบบต่างๆ

	ไม่มี ESS	ประยุกต์ใช้ ESS กลยุทธ์แบบต่างๆ			
		เพื่อเศรษฐกิจศาสตร์		เพิ่มความเชื่อถือได้	
		MPC [7]*	EOCS*	Modified MPC[7]**	HCS**
พลังงานนำเข้าที่ซื้อจากตลาดซื้อขายไฟฟ้า (MWh/วัน)	66.85	70.78	68.54	70.18	68.35
ค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานจากตลาดซื้อขายไฟฟ้า (\$/วัน)	5,756	5,408	5,258	5,465	5,364
ความสูญเสียจากการแปลงผันของ ESS (MWh/วัน)		3.93	1.69	3.33	1.50
ร้อยละของปริมาณพลังงานนำเข้า		5.55	2.46	4.75	2.20
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (\$/วัน)		348	498	291	392
ร้อยละของค่าใช้จ่ายที่ไม่มี ESS		6.05	8.65	5.06	6.81

* EOCS (Economic Objected Control Strategy) เป็นกลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจศาสตร์เท่านั้น

** HCS (Hybrid Control Strategy) เป็นกลยุทธ์การควบคุมเพื่อประโยชน์ทั้งทางด้านเศรษฐกิจศาสตร์และด้านความเชื่อถือได้ของระบบโดยมีความเชื่อถือได้ของระบบที่เท่ากัน

จากตารางที่ 1 พิจารณาการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานเพื่อประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจศาสตร์จะเห็นได้ว่า กลยุทธ์ EOCS ที่ได้นำเสนอสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานได้มากกว่ากลยุทธ์ MPC [7] และเพื่อประโยชน์ทั้งทางด้านเศรษฐกิจศาสตร์และด้านความเชื่อถือได้ของระบบจะเห็นได้ว่า กลยุทธ์ HCS ที่ได้นำเสนอสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานได้มากกว่ากลยุทธ์ Modified MPC [7] ในขณะที่ความเชื่อถือได้ของระบบเท่ากัน

กลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานที่นำเสนอนี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทยได้ โดยมี

ข้อมูลอินพุตที่ใช้ในการวิเคราะห์ 2 ส่วนคือ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลการใช้ (Time of Use Rate, TOU) ซึ่งมีราคาไฟฟ้าที่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา และค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเวลาที่ได้มาจากการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ร่วมกับค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load Growth)

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอกกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานที่ประยุกต์ใช้ในระบบจำหน่ายกำลังเพื่อที่จะสามารถบริหารจัดการค่าใช้จ่ายพลังงานที่ดีขึ้น และสามารถปรับปรุงค่าความเชื่อถือได้ของระบบด้วยกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานแบบผสมใช้ค่าพยากรณ์ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้า ราคาค่าไฟ และปริมาณพลังงานส่วนหนึ่งของระบบสะสมพลังงานที่ต้องการเก็บไว้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง เป็นข้อมูลเพื่อกำหนดการดำเนินการเก็บสะสมพลังงานในแต่ละช่วงเวลาให้มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะนำไปสู่ปริมาณพลังงานนำเข้าจากตลาดซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายพลังงานสูงสุด และในขณะเดียวกันก็สามารถปรับปรุงค่าความเชื่อถือได้ของระบบได้ตามต้องการอีกด้วย ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นถึงกลยุทธ์การควบคุมระบบสะสมพลังงานและประโยชน์จากการประยุกต์ใช้งาน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lachs WR, Sutanto D. Battery storage plant within large load centres. IEEE Transactions on Power Systems 1992;7(2):762-7.
- [2] Mitra J. Reliability-based sizing of backup storage. IEEE Transactions on Power Systems 2010;25(2):1198-99.
- [3] Bagen B, Billinton R. Reliability cost/worth associated with wind energy and energy storage utilization in electric power systems. PMAPS'08. Proceedings of the 10th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems; 2008 May 25-29; Rincon, Puerto Rico; 2008. p.1-7.

- [4] Daryanian B, Bohn RE, Tabors RD. Optimal demand-side response to electricity spot prices for storage-type customers. *IEEE Transactions on Power Systems* 1989;4(3): 897-903.
- [5] Daryanian B, Bohn RE, Tabors RD. An experiment in real time pricing for control of electric thermal storage systems. *IEEE Transactions on Power Systems* 1991;6(4) :1356-65.
- [6] Walawalker R, Apt J, Mancini R. Economics of electric energy storage for energy arbitrage and regulation in New York. *Energy Policy* 2007;35(4):2558-68.
- [7] Xu Y, Singh C. Intelligent control strategy for energy storage in distribution systems. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific; 2012 Mar 27-29; Shanghai, China. 2012. p.1-4.*
- [8] Thasudjai A, Jiriwibhakorn S, Prisuwana P. Computer programming for reliability evaluation of distribution system. *KKU Engineering Journal* 2005;32(1):107-22. (In Thai).
- [9] Vonglokham M, Hungsasutra S, Suksri A, Triyangkulsri J. Power system contingency analysis of Lao PDR using Excel's solver. *KKU Engineering Journal* 2007;34(6):707-18
- [10] Xu Y, Xie L, Singh C. Optimal scheduling and operation of load aggregator with electric energy storage in power markets. *North American Power Symposium (NAPS); 2010 Sep 26-28; Texas, USA. 2010. p.1-7.*
- [11] Xu Y. Integration of electric energy storage into power systems with renewable energy resources [dissertation]. College Station, TX: Texas A&M University; 2012.