

แบบจำลองระบบสะสมพลังงานอย่างง่ายสำหรับลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

A Simple Energy Storage Model for Electrical Peak Demand Minimisation

ฉักราวุธ เดชวิเศษ

Jackravut Dejvises

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสะสมพลังงานอย่างง่ายเพื่อที่จะนำมาลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวัน โดยใช้ตัวอย่างเส้นโค้งภาระรายวันจริงของประเทศไทยที่ได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ในการวิเคราะห์จะเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวันเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของตัวสะสมพลังงาน จากการจำลองพบว่าระบบสะสมพลังงานที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 10 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวัน และมีค่าความจุพลังงานสูงสุด 2 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่คำนวณจากเส้นโค้งภาระ จะสามารถลด กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 7 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มตัวประกอบภาระได้ 6 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ระบบสะสมพลังงาน การบริหารจัดการพลังงาน การลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด การหาขนาดตัวสะสมพลังงาน

Abstract

This paper presents a mathematical model of energy storage system (ESS) to minimise daily electrical peak demand. A typical daily electrical load curve of Thailand obtained from Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) is used to analyse the capability of energy storage system for electrical peak demand reduction with different storage sizes. It is found that with energy storage system at a power of 10 percent of daily peak demand and at 2 percent energy capacity of daily energy consumption calculated from the load curve, can decrease daily electrical peak demand 7 percent and increase daily load factor 6 percent.

Keywords : Energy storage system, Energy management, Electrical peak demand minimisation, Energy storage sizing

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสะสมพลังงานเข้ามามีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้ากำลัง ประโยชน์ที่สำคัญที่ได้จากการบริหารจัดการพลังงานได้แก่ การลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยอาศัยระบบสะสมพลังงานที่ทำหน้าที่เสมือนการเลื่อนเวลาการทำงานของภาระทางไฟฟ้าออกไป และเมื่อมีการนำมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงานที่ได้จากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่มีกำลังผลิตที่ไม่แน่นอน ก็จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนได้มากขึ้น ทำให้มีส่วนช่วยในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากการลดอัตราส่วนกำลังผลิตจากโรงจักรไฟฟ้า นอกจากนี้ระบบสะสมพลังงานยังสามารถใช้เป็นกำลังไฟฟ้าสำรอง ทำให้เป็นการเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้ากำลังอีกด้วย [1]

ระบบสะสมพลังงานที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิดเช่น ระบบสูบน้ำกลับของเขื่อน ระบบสะสมพลังงานในรูปการอัดอากาศ ระบบสะสมพลังงานในรูปแบบความร้อนและความเย็น ระบบสะสมพลังงานโดยใช้ไฮโดรเจน ระบบสะสมพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุ ไขว้งลัดหมุน หรือแม้กระทั่งสะสมอยู่ในแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า [1,2] ซึ่งการใช้งานของตัวสะสมพลังงานแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไปตามขีดความสามารถในการสะสมพลังงานและความรวดเร็วในการคายพลังงาน [3,4]

เมื่อมีการนำระบบสะสมพลังงานมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงาน จึงต้องมีการจำลองระบบการทำงานของตัวสะสมพลังงานเพื่อที่จะหาขนาดของระบบสะสมพลังงานที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังที่จะทำการบริหารจัดการพลังงาน [5-7] บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการหาขนาดของระบบสะสมพลังงานที่เหมาะสมในการบริหารจัดการพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นหลัก

วิธีการวิจัย

ในการจำลองระบบสะสมพลังงานจะทำได้โดยอาศัย

สมการเชิงเส้นในการแก้ปัญหา [5-12] โดยรูปแบบของสมการจะอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันจุดประสงค์ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เมื่อป้อนค่าตัวแปรต่างๆ ให้กับสมการ ตัวแปรตัดสินใจจะเป็นคำตอบของสมการที่ได้จากการแก้สมการเชิงเส้น

ในบทความนี้เป็นการนำเสนอสมการเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถของระบบสะสมพลังงานแบบต่างๆ โดยมุ่งเน้นเพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด สมการที่ใช้ในการจำลองระบบสะสมพลังงานจะประกอบด้วยตัวแปรต่อไปนี้

ตัวแปรที่ต้องระบุให้กับสมการ

t	เวลา
Δt	ช่วงเวลา
k	ชนิดของระบบสะสมพลังงาน
n_k	จำนวนชนิดของระบบสะสมพลังงาน
N_k^{ES}	จำนวนของตัวสะสมพลังงานชนิด k
i	เบอร์ของตัวสะสมพลังงานที่อยู่ในชนิด k ซึ่งเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ถึง จำนวนของตัวสะสมพลังงานชนิด k ของระบบสะสมพลังงานแต่ละชนิด $(1, \dots, N_k^{ES})$
$P_L(t)$	กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ณ เวลา t
$\eta_{ES,k}$	ประสิทธิภาพของตัวสะสมพลังงานชนิด k ซึ่งขึ้นอยู่กับ การสูญเสียพลังงานในระยะเวลาที่สะสมพลังงาน Δt
$E_{ES,k}^{Min}$	ค่าพลังงานต่ำสุดของตัวสะสมพลังงานชนิด k
$E_{ES,k}^{Max}$	ค่าพลังงานสูงสุดที่สามารถสะสมได้ของตัวสะสมพลังงานชนิด k
$E_{ES,k}^0$	ค่าพลังงานเริ่มต้นของตัวสะสมพลังงานชนิด k
E_{loss}^{es}	ค่าพลังงานสูญเสียสะสมของระบบสะสมพลังงาน
$Q_{ES,k}^{max}$	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในการชาร์จและดิชาร์จของตัวสะสมพลังงานชนิด k

ตัวแปรตัดสินใจ:

$Q_{k,i,t}$	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ชาร์จหรือดิชาร์จของ
-------------	-------------------------------------

ตัวสะสมพลังงาน i ของระบบสะสมพลังงาน
ชนิด k ที่เวลา t
 $E_{k,i,t}^{es}$ พลังงานที่สะสมในตัวสะสมพลังงาน i ของ
ระบบสะสมพลังงานชนิด k ที่เวลา t

ฟังก์ชันจุดประสงค์:

ลดค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าให้ต่ำที่สุด

$$\text{minimise } P_{new} \quad (1)$$

เงื่อนไขข้อจำกัด:

1. พลังงานในตัวสะสมพลังงานที่เวลาเริ่มต้นและ
สุดท้าย (โดยทั่วไป $E_{ES,k}^0$ กำหนดเป็น % ของ $E_{ES,k}^{Max}$)

$$E_{k,i,1}^{es} = E_{k,i,t_{end}}^{es} = E_{ES,k}^0 \quad \forall k, i \quad (2)$$

2. พลังงานในตัวสะสมพลังงานที่เวลาใดๆ เท่ากับ
พลังงานในตัวสะสมพลังงานที่เวลาก่อนหน้านั้นคูณกับ
ประสิทธิภาพของตัวสะสมพลังงาน รวมกับพลังงานที่ตัว
สะสมพลังงานชาร์จหรือดิสชาร์จ ณ เวลานั้น

$$E_{k,i,t}^{es} = \eta_{ES,k} E_{k,i,(t-1)}^{es} + Q_{k,i,t} \cdot \Delta t \quad \forall t > 1, \forall k, i \quad (3)$$

3. พลังงานสูงสุดของระบบสะสมพลังงานที่เวลาใดๆ
ต้องไม่เกินค่าความจุพลังงานสูงสุด และพลังงานต่ำสุดต้อง
ไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

$$E_{ES,k}^{Min} \leq E_{k,i,t}^{es} \leq E_{ES,k}^{Max} \quad \forall t, k, i \quad (4)$$

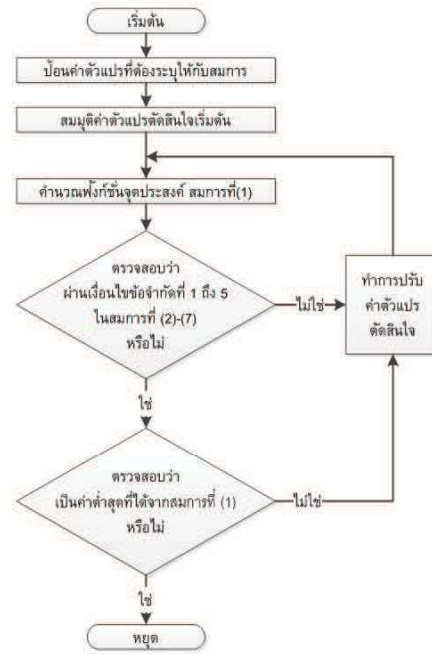
4. กำลังไฟฟ้าต่ำสุด/สูงสุดของระบบสะสมพลังงาน
ในการชาร์จ/ดิสชาร์จที่เวลาใดๆ ต้องไม่เกินพิกัด

$$-Q_{ES,k}^{max} \leq Q_{k,i,t} \leq Q_{ES,k}^{max} \quad \forall t, k, i \quad (5)$$

5. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อมีการใช้ระบบ
สะสมพลังงาน ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ผลรวมของ
ความต้องการกำลังไฟฟ้าเดิมกับกำลังไฟฟ้าที่ชาร์จและดิส
ชาร์จจากระบบสะสมพลังงานที่เวลาใดๆ

$$P_{new} \geq P_L(t) + \Delta P_{ES}(t) \quad \forall t \quad (6)$$

โดยที่ $\Delta P_{ES}(t)$ คือการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า
เนื่องจากระบบสะสมพลังงานซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของการ



รูปที่ 1 Flow chart ของการแก้สมการเชิงเส้น

ชาร์จและดิสชาร์จของตัวสะสมพลังงานทั้งหมด

$$\Delta P_{ES}(t) = \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{i=1}^{N_k^{ES}} Q_{k,i,t} \quad \forall t \quad (7)$$

ค่าพลังงานที่สูญเสียสะสมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ
สะสมพลังงานมีค่า

$$E_{loss}^{es} = \sum_{t=1}^{t_f} \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{i=1}^{N_k^{ES}} (1 - \eta_{ES,k}) E_{k,i,t}^{es} \quad \forall t, k, i \quad (8)$$

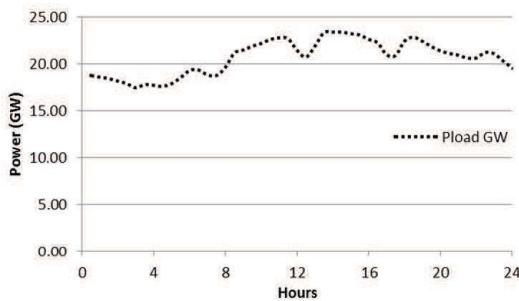
Flow chart ของการแก้สมการเชิงเส้นแสดงในรูปที่ 1

ผลการวิจัยและอภิปราย

ข้อมูล $P_L(t)$ ที่ใช้ในการจำลองได้จากข้อมูลเส้นโค้ง
ภาระรายวัน (daily load curve) ณ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2557
ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก กฟผ. ตามรูปที่ 2 เพื่อ
ความสะดวกในการจำลองจึงทำการแปลงหน่วยกำลังไฟฟ้า
GW เป็น หน่วย per unit โดยใช้ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ
สูงสุดของวันซึ่งมีค่าเท่ากับ 23,414.5 MW เป็นค่าฐาน ค่า
พลังงานภายใต้เส้นโค้งภาระเท่ากับ 497,140.10 MWh คิด
เป็น 21.23 per unit การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆที่ต้องระบุ
ในสมการ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลอง

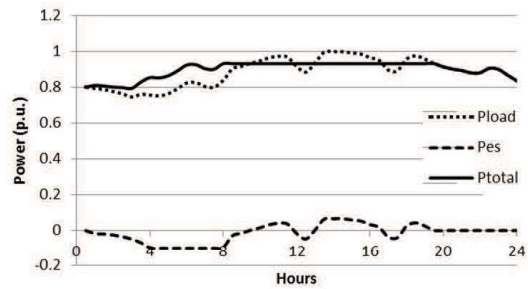
ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการจำลอง
$\eta_{ES,k}$	90% (13-15)
$E_{ES,k}^{Min}$	0
$E_{ES,k}^{Max}$	2% ของพลังงานที่คำนวณได้จาก เส้นโค้งภาระรายวัน
$E_{ES,k}^0$	0
$Q_{ES,k}^{max}$	10% ของค่าสูงสุดของ $P_L(t)$



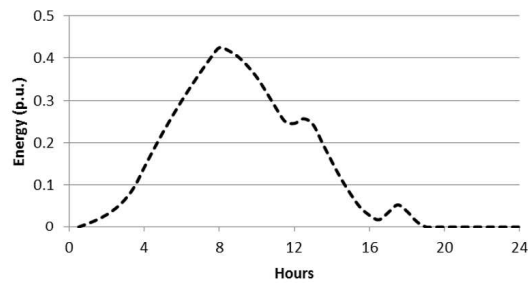
รูปที่ 2 เส้นโค้งภาระรายวันจากข้อมูลของ กฟผ. ที่ใช้ในการจำลอง

จากตารางที่ 1 ค่า $Q_{ES,k}^{max}$ และ $E_{ES,k}^{Max}$ จะสมมุติเป็นค่าที่ไม่มากจนเกินไปซึ่งมีความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้าง คือ 10% และ 2% ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงระบบสะสมพลังงานนี้มีค่ากำลังไฟสูงสุด 2,341.45 MW และมีค่าพลังงานสูงสุดที่สามารถสะสมได้ 9,942.8 MWh

การแก้สมการเชิงเส้นทั้งหมดใช้โปรแกรม Matlab เพื่อความสะดวกในการจำลอง ตัวสะสมพลังงานหลายๆตัวที่มีพิกัดกำลังและความจุพลังงานไม่เท่ากันจะถูกรวมเข้าด้วยกันเปรียบเสมือนเป็นตัวสะสมพลังงานเพียงตัวเดียวที่มีค่าพิกัดรวมเท่ากับผลรวมของตัวสะสมพลังงานทั้งหมด ซึ่งก็คือ $n_k=1$ การปรับขนาดของระบบสะสมพลังงานทำได้โดยการปรับค่าตัวแปร $Q_{ES,k}^{max}$ และ $E_{ES,k}^{Max}$ จากนั้นทำการจำลองการลดค่ากำลังไฟสูงสุดของเส้นโค้งภาระ แล้วนำค่าสูงสุดของกำลังไฟใหม่, P_{new} ที่ได้จากการจำลองของระบบสะสมพลังงานที่พิกัดกำลัง และพิกัดพลังงานต่างๆ



รูปที่ 3 เส้นโค้งภาระรายวันที่ไม่ได้ใช้ตัวสะสมพลังงาน (Pload) ใช้ตัวสะสมพลังงาน (Ptotal) ในการลดค่าสูงสุดของความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ค่า $E_{ES,k}^{Max} = 2\%$ และ $Q_{ES,k}^{max} = 10\%$ และ กำลังไฟฟ้าที่ชาร์จหรือดิสชาร์จของระบบสะสมพลังงาน (Pes)

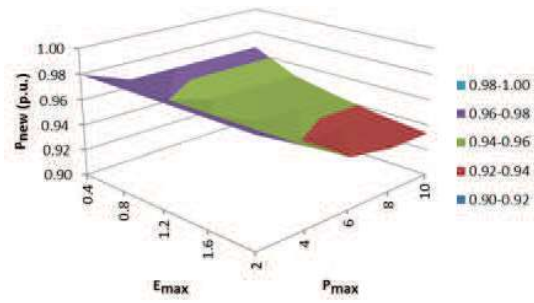


รูปที่ 4 พลังงานที่สะสมภายในตัวสะสมพลังงานรายชั่วโมง ในหน่วย per unit

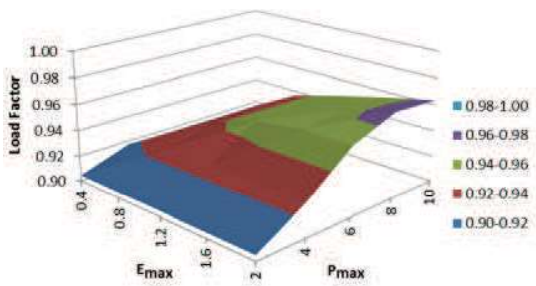
กันมาเปรียบเทียบกัน

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นโค้งภาระที่ใช้และไม่ได้ใช้ตัวสะสมพลังงานในการลดค่าความต้องการกำลังไฟสูงสุดที่ค่า $E_{ES,k}^{Max} = 2\%$ ของพลังงานที่คำนวณได้จากเส้นโค้งภาระรายวัน และ $Q_{ES,k}^{max} = 10\%$ ของค่ากำลังไฟสูงสุดของ $P_L(t)$ จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งภาระที่มีระบบสะสมพลังงานจะสามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟสูงสุดได้ประมาณ 0.07 per unit ทั้งที่พิกัดสูงสุดนั้นสามารถชดเชยได้ 10% เนื่องจากเงื่อนไขข้อจำกัดของพลังงานที่สะสมสูงสุดของระบบสะสมพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียไปของระบบสะสมพลังงาน

รูปที่ 4 แสดงพลังงานที่สะสมภายในตัวสะสมพลังงานรายชั่วโมง จากกราฟทั้งสองรูปจะเห็นได้ว่าตัวสะสมพลังงานจะเริ่มทำการสะสมพลังงานในช่วงเช้าประมาณ 4.00-8.00



รูปที่ 5 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อปรับค่า $E_{ES,k}^{Max}$ จาก 0.2% ถึง 1% และ $Q_{ES,k}^{max}$ จาก 2% ถึง 10%



รูปที่ 6 ค่า load factor เมื่อปรับค่า $E_{ES,k}^{Max}$ จาก 0.4% ถึง 2% และ $Q_{ES,k}^{max}$ จาก 2% ถึง 10%

น. จนสะสมพลังงานสูงสุดที่เวลา 8.00 น. เพื่อที่จะนำมาใช้ใน ช่วง 8.00-12.00 น. และ 13.00-16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า พลังงานที่สะสมอยู่จะลดลงจนเป็นศูนย์ในช่วง 19.00 น. จากรูปที่ 5 และ 6 แสดงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่า load factor เมื่อปรับค่า $E_{ES,k}^{Max}$ จาก 0.4% ถึง 2% และ $Q_{ES,k}^{max}$ จาก 2% ถึง 10%

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อค่า $E_{ES,k}^{Max}$ เพิ่มขึ้น 2% และค่า $Q_{ES,k}^{max}$ เพิ่มขึ้น 10% จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการสูงสุดลดลง 7% และค่า load factor เพิ่มขึ้น 6% แต่อย่างไรก็ตามความล้มพันธ์ของการลดลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและการเพิ่มขึ้นของ load factor ก็กับการเพิ่มขึ้นของขนาดตัวสะสมพลังงานไม่ได้เป็นเชิงเส้นต่อกัน

สรุป

แบบจำลองระบบสะสมพลังงานอย่างง่ายนี้สามารถนำมาวิเคราะห์ความสามารถของระบบสะสมพลังงานใน

การลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวันได้ และจากการจำลองระบบสะสมพลังงานโดยใช้ข้อมูลเส้นโค้งภาระของประเทศไทย พบว่าระบบสะสมพลังงานที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 10 เปรอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวัน และมีค่าความจุพลังงานสูงสุด 2 เปรอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่คำนวณจากเส้นโค้งภาระ จะสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 7 เปรอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณ แผนกรระบบบันทึกข้อมูล และวิเคราะห์เหตุการณ์ กองวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมและป้องกัน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์ข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้ารายวันสำหรับใช้ในการวิจัยจนทำให้การวิจัยเสร็จสิ้นด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Alamri, B.R. ; Alamri, A.R., Technical review of energy storage technologies when integrated with intermittent renewable energy, International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09, p. 1 – 5
- [2] Medina, P. ; Bizuayehu, A.W. ; Catalão, J.P.S. ; Rodrigues, E.M.G. ; Contreras, J. Electrical Energy Storage Systems: Technologies' State-of-the-Art, Techno-economic Benefits and Applications Analysis, 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) 2014 , p. 2295 – 2304
- [3] Nourai, A., Large-scale electricity storage technologies for energy management, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 Volume: 1: 2002, p. 310 – 315
- [4] Bizuayehu, A.W. ; Medina, P. ; Catalao, Joao P.S. ; Rodrigues, E.M.G. ; Contreras, J. Analysis of electrical energy storage technologies' state-of-the-art and applications on islanded grid systems IEEE PES T&D Conference and Exposition, 2014 , p.1 – 5.
- [5] Dejvises J. Modelling of flexible heat demand and assessing its value in low carbon electricity systems

- (PhD thesis). Imperial College London; 2012.
- [6] Chao Guang ; Ye Zhigang ; Hao Zhiguo ; Baohui Zhang ; Wang Xiaoli ; Zhang Shifeng, Optimal storage sizing for composite energy storage and wind in Micro grid, International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC) 14th, 2014 p. 286 – 290
- [7] Oudalov, A. ; Cherkaoui, R. ; Beguin, A., Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application, IEEE Lausanne Power Tech, 2007 p. 621 – 625
- [8] Kurucz, C.N. ; Brandt, D. ; Sim, S., A linear programming model for reducing system peak through customer load control programs, IEEE Transactions on Power Systems, Volume: 11 , Issue: 4 , 1996 , p. 1817 – 1824
- [9] Rahimi, A. ; Zarghami, M. ; Vaziri, M. ; Vadhva, S., A simple and effective approach for peak load shaving using Battery Storage Systems, North American Power Symposium (NAPS), 2013 p. 1 – 5
- [10] Manasseh, E. ; Ohno, S. ; Yamamoto, T. ; Mvuma, A., Autonomous demand-side optimization with load uncertainty, International Conference on Electronics, Information and Communications (ICEIC), 2014 p.1 – 2
- [11] Zhanbo Xu ; Xiaohong Guan ; Qing-Shan Jia ; Jiang Wu ; Dai Wang ; Siyun Chen, Performance Analysis and Comparison on Energy Storage Devices for Smart Building Energy Management IEEE Transactions on Smart Grid, Volume: 3 , Issue: 4, 2012 , p. 2136 – 2147
- [12] Nottrott, A. ; Kleissl, J. ; Washom, B., Storage dispatch optimization for grid-connected combined photovoltaic-battery storage systems IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012 p. 1 – 7