

การลดการสูญเสียในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วยวิธีเก็บพลังงาน
โดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

การลดการสูญเสียในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วยวิธีเก็บพลังงาน
โดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การลดการสูญเสียในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วยวิธีเก็บพลังงาน
โดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม

ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล จิรเสริอมรกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันจักรี เล่นวารี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การลดการสูญเสียในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วยวิธีเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม
ชื่อผู้เขียน	นายศุภเสฏฐ์ ต้นไชยโรจน์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัชช์ อรรถเวชกุล

บทคัดย่อ

ด้วยแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative energy development Plan : AEDP) ที่กำหนดให้ประเทศไทยต้องมีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 6,000 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ.2579 ส่งผลให้ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) รับผิดชอบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนดินผ่านระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง (22 และ 33 กิโลโวลต์) แล้ว 1,849 เมกะวัตต์ จำนวน 410 โครงการ ในจำนวนนี้มีโครงการที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 6 เมกะวัตต์ ซึ่งเกินกว่าโหลดเฉลี่ยของระบบไฟฟ้า จำนวน 108 โครงการ ส่งผลให้หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น และเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าลดลง โดยงานวิจัยนี้ศึกษาหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเลือกใช้ข้อมูลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดปัญหา นำมาสร้างแบบจำลอง 20 บัส วิเคราะห์หาหน่วยสูญเสียและแรงดันไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบเก็บพลังงานตำแหน่งบัสต่างๆ ด้วยซอฟต์แวร์ ดิกไซเรน พาวเวอร์แพคตอรี (Digsilent powerfactory) และหาความคุ้มค่าการลงทุนด้วยซอฟต์แวร์ ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft excel) ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง ตำแหน่งบัสโรงไฟฟ้า สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้ร้อยละ 8.1 และมีอัตราผลตอบแทนภายในที่ร้อยละ 5.1

คำสำคัญ : เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า, หน่วยสูญเสีย, แบตเตอรี่, โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Title	REDUCING POWER-LOSSES IN PEA TRANSMISSION POWER NETWORK WITH HAVING SOLAR POWER PLANTS JOINT ENERGY BY USING THE APPROPRIATE BATTERY
Author	Mr. Supasresh Tanchaiyarojd
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Yingrak Auttawaitkul

ABSTRACT

The alternative energy development plan (AEDP) prescribes Thailand to generate electricity from solar power for 6,000 megawatts within the year 2036. This makes the Provincial Electricity Authority (PEA) to connect the solar power plant installed on the ground through the moderate power distribution system (22 and 33 kilo voltage) in 410 projects (1,849 megawatts). Out of this number, there are 108 projects which have generating power for more than 6 megawatts and it is above average load of the electrical system. This results in increased energy loss in the electrical system and decreased voltage stability. This study investigates size and location of battery storage system installation of the power distribution system. Data from the problematic power distribution system and selected to use for 20 bus model construction. Energy loss and voltage in the installation of the battery storage system by digilent power factory software are analyzed. Also, microsoft excel is use for finding worthwhileness of the investment. Results of the study reveal that the installation of two megawatt-hour system and location of the electrical plant bus can improve voltage to meet standard. Besides, it helps reduce energy loss for 8.1 percent while the internal rate of returns is at 5.1 percent.

Keywords : voltage stability, energy loss, battery storage, solar power plant

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับคำชี้แนะที่มีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยั้งรักษ์ อรรถเวชกุล ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ช่วยตรวจสอบความเหมาะสม ความเรียบร้อยของเนื้อหางานวิจัย ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันจักรี เล่นวาริ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ที่คอยแนะนำและช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ร่วมงานในกองส่งเสริมพลังงานทดแทน และส่วนในงานอื่นในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ได้กรุณาให้ข้อมูล คำปรึกษา และคำแนะนำอันมีค่า เพื่อใช้ประกอบงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลายท่านที่มีได้กล่าวชื่อในครั้งนี้ เจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่านที่ให้ความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมถึงเพื่อน และญาติมิตรทุกท่านที่ไม่สามารถจะกล่าวไว้ในนี้ได้หมด สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

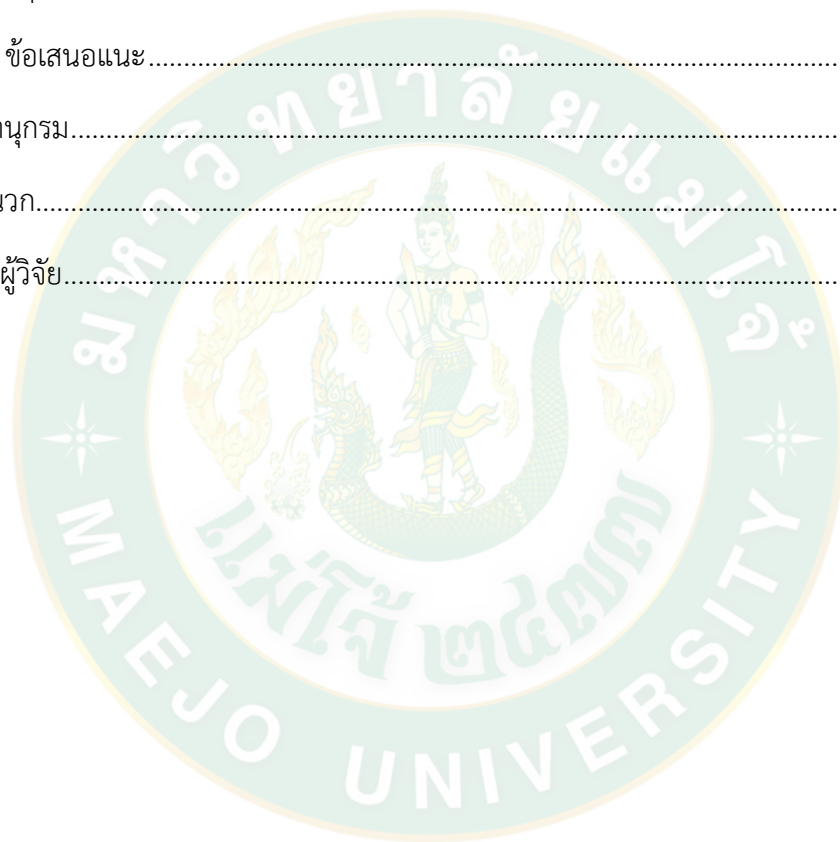
ศุภเสณัฐ์ ตันไชยโรจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตารางผนวก.....	ฎ
สารบัญภาพผนวก.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	7
2.2 ระบบไฟฟ้า.....	8
2.3 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า (Grid Code).....	11
2.4 ระบบเก็บพลังงาน.....	15
2.4.1 รายละเอียดการใช้งานระบบเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมไฟฟ้า.....	17
2.4.2 เทคโนโลยีระบบเก็บพลังงานที่มีใช้ในปัจจุบัน.....	24
2.4.3 แบตเตอรี่.....	26

2.4.4	โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	28
2.4.5	หลักการการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	29
2.5	การหาค่าเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของแบตเตอรี่	30
2.6	การคำนวณความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์.....	32
2.6.1	ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP).....	33
2.6.2	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV).....	34
2.6.3	อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR).....	35
2.6.4	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit/Cost Ratio : BCR).....	36
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย	40
3.2	แบบจำลองการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า	41
3.2.1	วงจรระบบไฟฟ้า	41
3.2.2	โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	45
3.2.3	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า.....	48
3.2.4	พลังงานของวงจรไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า.....	49
3.2.5	ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	50
3.3	การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	50
3.4	ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	51
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	58
4.1	แรงดันไฟฟ้า	58
4.2	หน่วยสูญเสีย	62
4.2.1	หน่วยสูญเสียรายวัน.....	62
4.2.2	หน่วยสูญเสียที่สามารถลดได้.....	63

4.3 ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	66
4.3.1 มูลค่าของหน่วยสูญเสีย	66
4.3.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return : IRR)	68
4.3.3 ระยะเวลาการคืนทุน (payback period : PBP).....	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้วิจัย.....	126



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... 12
ตารางที่ 2	ค่าความสามารถในการปรับค่าตัวประกอบกำลังของคอนเวอร์เตอร์ 13
ตารางที่ 3	ระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไม่อยู่ในช่วงแรงดันปกติ 14
ตารางที่ 4	สรุปการใช้งานของระบบเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมไฟฟ้า..... 16
ตารางที่ 5	เทคโนโลยีระบบเก็บพลังงาน..... 24
ตารางที่ 6	ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟฟ้าขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร..... 42
ตารางที่ 7	ระยะทางของสายไฟฟ้าระหว่างบัสต่างๆ 44
ตารางที่ 8	ค่าร้อยละของโหลดแต่ละตำแหน่ง จากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งวงจร..... 44
ตารางที่ 9	รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า 47
ตารางที่ 10	สมมุติฐานสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ 51
ตารางที่ 11	ค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตามลำดับช่วง B ต่างๆ 54
ตารางที่ 12	รายละเอียดค่าการรับและจ่ายพลังไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่..... 55
ตารางที่ 13	รายละเอียดค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ..... 58
ตารางที่ 14	รายละเอียดบัสที่เกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ 60
ตารางที่ 15	รายละเอียดค่าหน่วยสูญเสียรายวันเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ..... 62
ตารางที่ 16	รายละเอียดหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ..... 64
ตารางที่ 17	รายละเอียดมูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ 66
ตารางที่ 18	รายละเอียดอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ.... 68
ตารางที่ 19	รายละเอียดระยะเวลาการคืนทุน (PBP) เมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ..... 70

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	สถานภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแยกตามประเภทเชื้อเพลิง ณ สิ้นปี พ.ศ. 2557 เปรียบเทียบกับเป้าหมายตามแผน AEDP2015.....	1
ภาพที่ 2	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านเรือนและอาคารธุรกิจในระบบจำหน่าย เปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	4
ภาพที่ 3	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	9
ภาพที่ 4	รูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีไม่มี VSPP.....	9
ภาพที่ 5	รูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีกำลังไฟฟ้าจาก VSPP น้อยกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	10
ภาพที่ 6	รูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีกำลังไฟฟ้าจาก VSPP มากกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	10
ภาพที่ 7	ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ.....	14
ภาพที่ 8	การหาค่ากำลังไฟฟ้าพิกัด ช่วงเวลาการเก็บพลังงาน และช่วงเวลาจ่ายพลังงาน	31
ภาพที่ 9	แผนผังวงจรแสดงการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า รหัสวงจร DBA04 สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี	41
ภาพที่ 10	แผนผังวงจรไฟฟ้าเพื่อจำลองการไหลของพลังไฟฟ้าตามกลุ่มโหลด ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช รหัสวงจร DBA04.....	43
ภาพที่ 11	ลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี 1 จำกัด ช่วงวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562.....	46
ภาพที่ 12	ลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช รหัสวงจร DBA04 ช่วงวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562	48
ภาพที่ 13	ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า	49
ภาพที่ 14	ไดอะแกรมการวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งเชื่อมโยง ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	53
ภาพที่ 15	โปรไฟล์การรับและจ่ายพลังไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ตามลำดับ N แต่ละช่วง	56

ภาพที่ 16 ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ..... 61

ภาพที่ 17 ค่าหน่วยสูญเสียรายวันเสียเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ..... 63

ภาพที่ 18 หน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ 65

ภาพที่ 19 มูลค่าหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ 67

ภาพที่ 20 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ 69

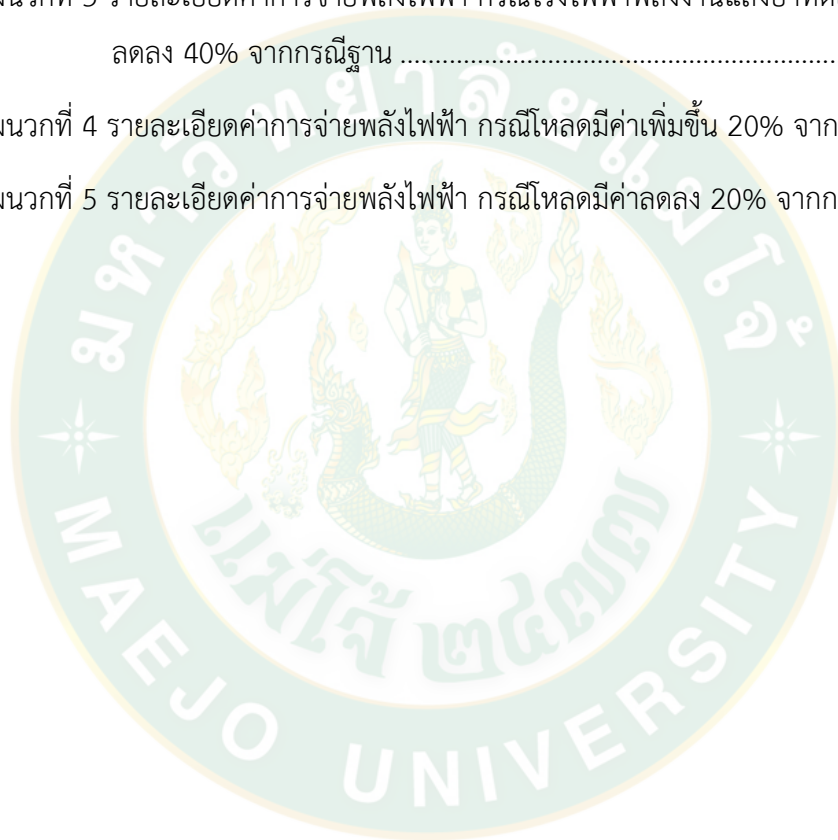
ภาพที่ 21 ระยะเวลาการคืนทุน (PBP) เมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ 71



สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส กรณีติดตั้งอุปกรณ์เก็บพลังงานตามเงื่อนไข N และ B ...	84
ตารางผนวกที่ 2 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิต ลดลง 20% จากกรณีฐาน	122
ตารางผนวกที่ 3 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิต ลดลง 40% จากกรณีฐาน	123
ตารางผนวกที่ 4 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน	124
ตารางผนวกที่ 5 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน	125



สารบัญภาพผนวก

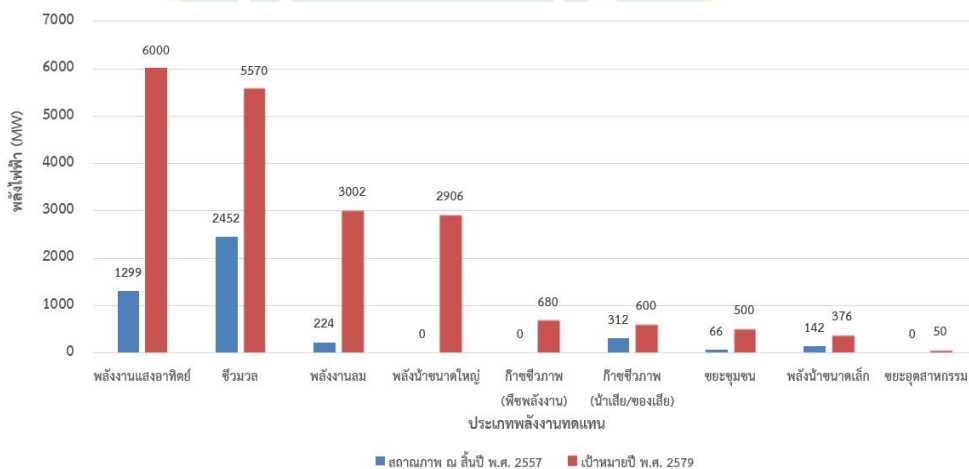
	หน้า
ภาพผนวกที่ 1 ข้อมูลโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า วันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562	80
ภาพผนวกที่ 2 ข้อมูลปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า วันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562.....	82
ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลง 20% จากกรณีฐาน	117
ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีกำลังผลิตลดลง 20% จากกรณีฐาน.....	118
ภาพผนวกที่ 5 ลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีโรงไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลง 40% จากกรณีฐาน	118
ภาพผนวกที่ 6 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีกำลังผลิตลดลง 40% จากกรณีฐาน.....	119
ภาพผนวกที่ 7 ลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน.....	119
ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน.....	120
ภาพผนวกที่ 9 ลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน.....	120
ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน.....	121

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณ 193,747 กิกะวัตต์ชั่วโมง (GWh) เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 ถึงร้อยละ 10.82 (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2562) ในขณะที่ราคาพลังงานจากฟอสซิลในตลาดโลกมีความผันผวนและมีแนวโน้มปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังมีปริมาณจำกัด ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับผลิตไฟฟ้า เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ จึงมีความเสี่ยงที่ทำให้ประเทศขาดเสถียรภาพทางด้านพลังงานไฟฟ้าและส่งผลกระทบต่อสถานการณ์พลังงานในประเทศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวรัฐบาลจึงเล็งเห็นความจำเป็นในการใช้พลังงานทดแทนรูปแบบใหม่ๆ เพื่อทดแทนพลังงานจากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด สามารถลดสภาวะโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากขยะ และพลังงานจากก๊าซชีวภาพ โดยรัฐบาลได้กำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) ซึ่งมีเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนภายในประเทศให้ได้ร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิ ภายในปี พ.ศ. 2579 โดยมีสถานภาพพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ณ สิ้นปี พ.ศ. 2557 เปรียบเทียบกับเป้าหมายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิงในปี พ.ศ. 2579 แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สถานภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแยกตามประเภทเชื้อเพลิง ณ สิ้นปี พ.ศ. 2557 เปรียบเทียบกับเป้าหมายตามแผน AEDP2015

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่ารัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานพลังงานทดแทนประเภทแสงอาทิตย์เป็นอันดับหนึ่ง โดยกำหนดเป้าหมายให้ประเทศไทยต้องมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2579 ถึง 6,000 เมกะวัตต์ ซึ่งเป็นสัดส่วนถึง 30.48 เปอร์เซ็นต์ของประเภทพลังงานทดแทนทั้งหมด แต่ ณ สิ้นปี พ.ศ. 2557 มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่เพียง 1,299 เมกะวัตต์ หรือคิดเป็นสัดส่วน 21.65 เปอร์เซ็นต์ของเป้าหมายตามแผน AEDP2015 โดยรัฐบาลจำเป็นต้องมีนโยบายเพื่อสนับสนุนให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอีก 4,701 เมกะวัตต์

จากนโยบายสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่กล่าวมาข้างต้นนั้น การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ได้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ถูกกำหนดให้เป็นผู้รับเชื่อมโยงผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) โดยผู้ผลิตไฟฟ้าประเภทนี้มีปริมาณเสนอขายไฟฟ้าไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะเชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันปานกลางขนาด 22 กิโลโวลต์ (kV) และ 33 กิโลโวลต์ ของ กฟภ. โดยหากกำลังการผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากสอดคล้องกับความต้องการของปริมาณโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า และมีตำแหน่งการเชื่อมโยงที่เหมาะสมแล้ว จะช่วยลดปริมาณหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเพิ่มเสถียรภาพให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมได้ แต่เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำเป็นต้องรับเชื่อมโยงผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการของโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า และอยู่ในตำแหน่งปลายสายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นรูปแบบการเชื่อมโยงที่ไม่เหมาะสม ส่งผลกระทบให้หน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก และเกิดผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้าสูงเกินค่ามาตรฐานขณะที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องกำลังการผลิตเต็มพิกัด และแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่ามาตรฐานขณะที่โรงไฟฟ้าไม่ได้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จะเริ่มต้นจากสถานีจ่ายไฟฟ้า (Distribution Substation) ที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ในระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ซึ่งจะถูกแปลงให้มีระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ หลากๆ วงจร โดยหม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) และส่งไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ที่วงจรพาดผ่านตลอดทั้งวงจร โดยผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะเชื่อมโยงกับวงจรดังกล่าวด้วย ซึ่งเมื่อเกิดการใช้โหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้า หรือมีพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ซึ่งก็คือเกิดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากับความต้านทานในสาย ดังสมการที่ 1

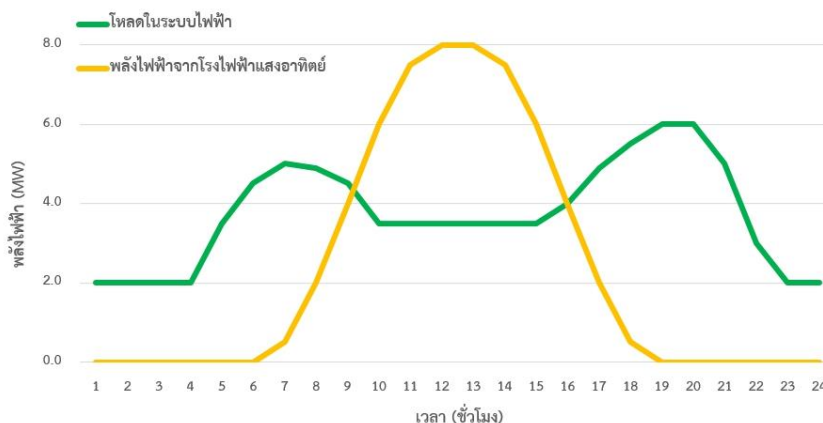
$$P_{\text{Loss}} = I^2R$$

สมการที่ 1

เมื่อ	P_{Loss}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (W)
	I	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจร (A)
	R	คือ ความต้านทานของสายไฟฟ้า (Ω)

จากสมการที่ 1 จะเห็นว่าความสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดขึ้นจาก 2 ปัจจัยคือปริมาณกระแสไฟฟ้า และความต้านทานของสายไฟฟ้า โดยปริมาณกระแสจะขึ้นกับปริมาณโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า และพลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก สำหรับความต้านทานของสายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะทาง ขนาดและชนิดของสายไฟฟ้า ดังนั้นแนวทางการลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแก้ไขได้จากพารามิเตอร์ทั้ง 2 สำหรับการแก้ไขปัญหาโดยลดค่าความต้านทานของสายไฟฟ้าทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า ซึ่งต้องปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งวงจร ดังนั้นแนวทางการลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นศึกษาวิจัยในเรื่องการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยการเก็บพลังงานส่วนเกินที่ไหลเข้าสู่สถานีไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า ด้วยระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System : BESS) ไปใช้ในเวลาที่โหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าสูง

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Distributed Generation : PVDG) ที่เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันปานกลางของ กฟภ. ก็จัดว่าเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากประเภทหนึ่ง ซึ่งการรับเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่จะเกิดผลกระทบทำให้หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น และเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าลดลง เนื่องจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่สอดคล้องกับโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า กล่าวคือโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายส่วนใหญ่เป็นโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอาคารบ้านเรือน และอาคารธุรกิจ ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเช้าก่อนเวลาทำงาน และช่วงหัวค่ำหลังเวลาเลิกงาน มีการใช้ไฟฟ้าระดับปานกลางในช่วงเวลากลางวัน และมีการใช้ไฟฟ้าต่ำในช่วงเวลากลางคืน แต่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยในช่วงเช้า และผลิตไฟฟ้าเต็มพิกัดในช่วงกลางวัน อีกทั้งไม่ผลิตไฟฟ้าในช่วงหัวค่ำ ซึ่งเป็นเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในภาพที่ 2 และเนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้องการพื้นที่ก่อสร้างค่อนข้างมาก ดังนั้นการหาที่ดินที่มีราคาเหมาะสมและมีพื้นที่ติดกันเป็นบริเวณกว้างจะอยู่นอกเขตชุมชน ซึ่งส่งผลกระทบให้การเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากอยู่ห่างไกลจากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 2 โหลดผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านเรือนและอาคารธุรกิจในระบบจำหน่าย เปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากปัญหาดังกล่าว จึงเป็นมูลเหตุจูงใจในการศึกษาหาขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และตำแหน่งการติดตั้งระบบเก็บพลังงานในระบบจำหน่ายที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน รวมถึงวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return : IRR) และระยะเวลาการคืนทุน (payback period : PBP) ที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้าในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคกลาง ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี วงจรที่ 4 ซึ่งมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี่ 1 จำกัด เชื่อมโยง และขายไฟฟ้าให้ กฟภ. ปริมาณเสนอขาย 8.0 เมกะวัตต์ กำลังการผลิตติดตั้ง 9.8 เมกะวัตต์ นำมาสร้างแบบจำลอง 20 บัส กำหนดเงื่อนไขให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ใช้เชื่อมโยงตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน โดยให้มี Step Size อยู่ที่ช่วงละ 10 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดเงื่อนไขให้เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานที่บัส 1 ถึง 20 โดยผลการวิจัยที่ได้ถูกแสดงเป็นร้อยละของหน่วยสูญเสียที่ลดลง ค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสที่ต่ำที่สุดจาก 20 บัส ระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน โดยเปรียบเทียบกับกรณีการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในขนาดและตำแหน่งตามเงื่อนไขที่กำหนดในงานวิจัย ซึ่งผลการวิจัยจะถูกวิเคราะห์เพื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งบัสเชื่อมโยงของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด สามารถเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายในที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของ กฟภ. ในกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04

2) เพื่อศึกษาหาตำแหน่งการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ. ในกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04

3) เพื่อศึกษาหาขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับเก็บพลังงานส่วนเกิน เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ. ในกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ศึกษาการเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของ กฟภ. ในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04 ในสภาวะปกติ และในสภาวะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

2) ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยการเก็บพลังงานส่วนเกินโดยใช้ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04 ในกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

3) จำลองการแก้ไขปัญหาด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ด้วยการเก็บพลังงานส่วนเกินโดยเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04 ในกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายด้วยซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory รุ่น 15.1.7

4) จำลองการทำงานการแก้ไขปัญหาด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ด้วยการเก็บพลังงานส่วนเกินโดยเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาดต่างๆ ในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคกลาง สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สายป้อน DBA04 ในกรณีที่

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายด้วยซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory รุ่น 15.1.7

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้แนวทางการหาขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมเพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของ กฟภ. ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช วงจรที่ 10 รหัสสายป้อน DBA04 ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2) ได้แนวทางการหาดำเนินการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมเพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของ กฟภ. ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช วงจรที่ 10 รหัสสายป้อน DBA04 ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3) ได้แนวทางการหาจุดคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของ กฟภ. ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช วงจรที่ 10 รหัสสายป้อน DBA04 ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างมากโดยเฉลี่ยประมาณ 5 กิโลวัตต์/ชั่วโมง/ตารางเมตร-วัน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการนำเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เซลล์โฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic cell : PV) มาเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในครัวเรือน ระดับอุตสาหกรรม และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์โฟโตวอลเทอิก มีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีชุดควบคุมเพื่อควบคุมให้ได้ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือ เซลล์โฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic cell : PV) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกและมีมาก ผ่านกระบวนการผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อแสงตกกระทบแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงาน ที่เรียกว่า โปรตอน (Proton) ถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะเกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีประสิทธิภาพมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ โดยการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันนิยมใช้กันอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน โดยจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) ซึ่งเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวแสงมากที่สุดสามารถรับแสงที่อ่อนๆ ได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่างๆ แต่ประสิทธิภาพต่ำ จึงนิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องคิดเลขหรือนาฬิกา ส่วนอีกลักษณะหนึ่งคือแบบเป็นรูปผลึก (Crystalline) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ลักษณะนี้ จะแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท ได้แก่ แบบผลึกเดี่ยว (Mono Crystalline) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรกๆ ที่ได้รับการผลิต และจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ มีลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนหนาประมาณ 300 ไมครอน หรือที่เรียกว่าเวเฟอร์ และแบบผลึกรวม (Poly

Crystalline) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อ ลดต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว โดยยังคงคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งาน ใกล้เคียงกับแบบผลึกเดี่ยวมากที่สุด

2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป มีราคาสูงมาก จึงไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก เหมาะนำไปใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม การพัฒนากระบวนการผลิตสมัยใหม่ จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีราคาถูกลง และสามารถนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต

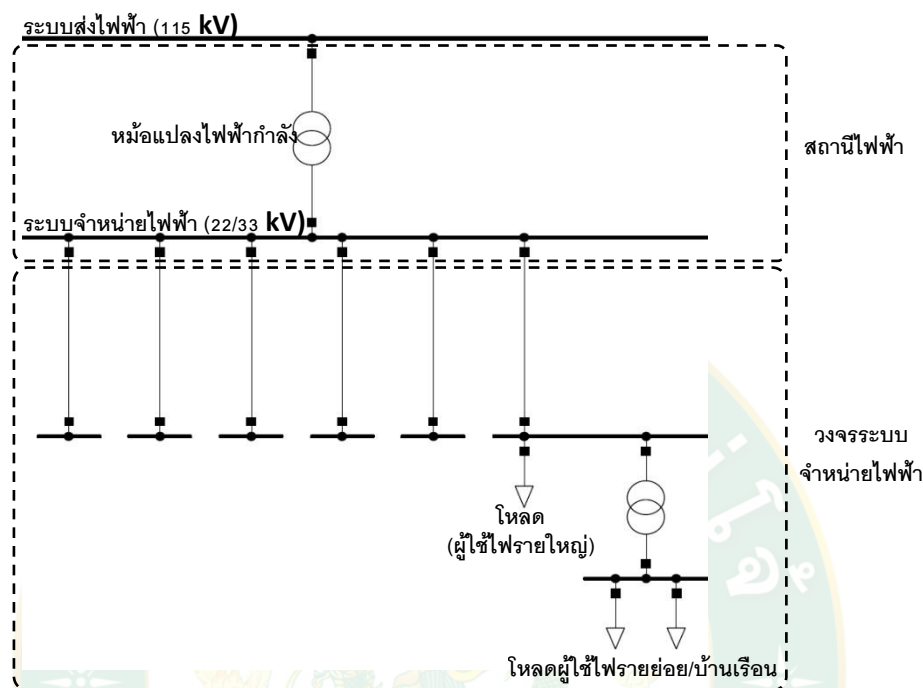
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็กๆ ผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and Inverter) สำหรับการคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 5-15 % ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพประมาณ 85-95 % เช่น กำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ ต้องใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์ ดังนั้นควรตรวจสอบรายละเอียดก่อนการออกแบบใช้งาน

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ นั้น จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมกันเป็นชุดๆ เพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้น โดยเรียกชุดการต่ออนุกรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่า String และนำแต่ละ String มาต่อขนานกันเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า โดยเรียกกลุ่มการต่อขนานของ String ว่า Array ซึ่งเชื่อมต่อกันที่กล่องรวมวงจรกระแสตรง (DC Main Distribution Board) หลังจากนั้นจะนำชุด Array ต่อเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงต่ำ และเชื่อมโยงผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับแรงดัน 22/33 กิโลโวลต์ และเชื่อมโยงเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2 ระบบไฟฟ้า

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะเริ่มต้นจากสถานีไฟฟ้า (Substation) ซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบส่งไฟฟ้า (Transmission System) ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือรับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคข้างเคียง ในระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ หลังจากนั้นจะถูกแปลงระดับแรงดันลงเหลือ 22 - 33 กิโลโวลต์ หลายๆ วงจรผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) โดยระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงกลางขนาด 22 - 33 กิโลโวลต์ จะส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ รวมระยะทางกว่า 50 กิโลเมตร โดยแต่ละวงจรสามารถรองรับโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าได้ถึง 16 เมกะวัตต์ ซึ่งมีทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าใหญ่ที่รับไฟจากระดับแรงดัน

นี้ และผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยที่รับไฟฟ้าในระดับแรงดัน 400/230 โวลต์ เช่น บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และกิจการขนาดเล็ก ดังแสดงตามภาพที่ 3 และมีรูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้าตามภาพที่ 4



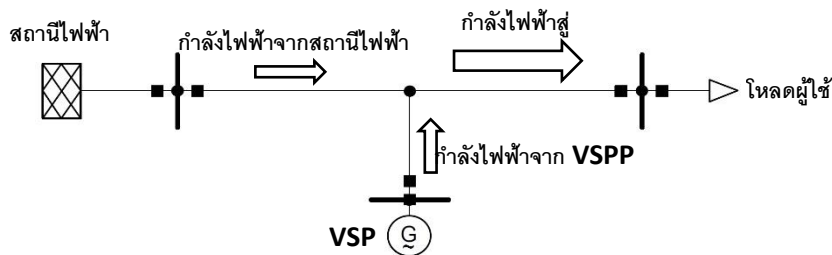
ภาพที่ 3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 4 รูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีไม่มี VSPP

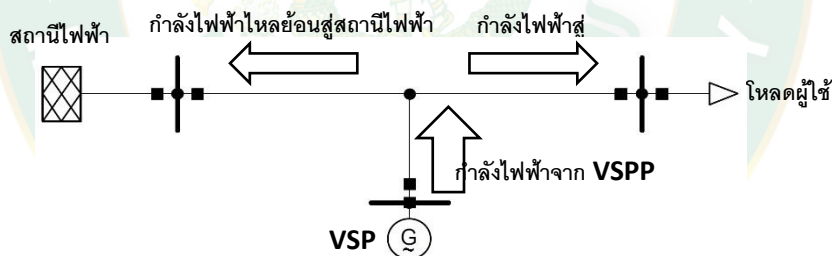
ในปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ถูกกำหนดให้เป็นส่วนหนึ่งของการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) โดยถูกกำหนดให้เป็นผู้รับเชื่อมโยงและส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก กระจายเข้าสู่เครือข่ายระบบไฟฟ้า ซึ่งต้องรับเชื่อมโยงผู้ผลิตไฟฟ้าหลากหลายประเภท เช่น ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, พลังงานชีวมวล, ก๊าซชีวภาพ, พลังงานจากขยะ โดยในแต่ละพลังงานจะมีรูปแบบของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แตกต่างกัน เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงกลางวัน และไม่ผลิตไฟฟ้าในช่วงกลางคืน ซึ่งแตกต่างจากการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าคงที่ได้ตลอดทั้งวัน แต่จะมีการหยุดบำรุงรักษาโรงไฟฟ้ารายปี

สำหรับการเชื่อมโยงผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในกรณีที่ กำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ามีปริมาณน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ ก็สามารถลดภาระการจ่าย ไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าได้ ส่งผลให้หน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าลดลง ดังแสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 รูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีกำลังไฟฟ้าจาก VSP น้อยกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า

สำหรับการเชื่อมโยงผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในกรณีที่ กำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ามีปริมาณมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการนั้น กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะถูก ส่งกลับเข้าสู่สถานีไฟฟ้า ส่งผลให้สถานีไฟฟ้าต้องรับภาระในการนำกำลังไฟฟ้าส่วนนี้ไปดำเนินการ บริหารจัดการต่อ ส่งผลให้หน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 รูปแบบการไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีกำลังไฟฟ้าจาก VSP มากกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า

การรับเชื่อมโยงผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากในบางกรณี สามารถส่งผลให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามี รูปแบบเหมือนไม่มีผู้ผลิตไฟฟ้าเชื่อมโยงอยู่, มีผู้ผลิตไฟฟ้าเชื่อมโยงในปริมาณน้อยกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า และมีผู้ผลิตไฟฟ้าเชื่อมโยงในปริมาณมากกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าในคราวเดียวกัน เช่น โรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ที่มีกำลังผลิตติดตั้งมากกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าสูงสุด จะไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าในเวลา กลางคืน, มีการจ่ายไฟฟ้าไม่เต็มพิกัดในเวลาเช้าและเย็น และมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วงกลางวัน ดังนั้นการบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทนี้จะทำได้ยาก และส่งผลกระทบต่อระบบ ไฟฟ้าทั้งในด้านของหน่วยสูญเสียที่เพิ่มขึ้น และเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง

2.3 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า (Grid Code)

การเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) กับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ต้องปฏิบัติตามระเบียบที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วย ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการใช้บริการระบบโครงข่ายไฟฟ้า, ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า และระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดสำคัญที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนี้ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)

- 1) ปริมาณกำลังไฟฟ้ารับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า ระบบจำหน่าย 22/33 กิโลโวลต์
 - ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน 8 เมกะวัตต์/วงจร
 - ระบบจำหน่าย 33 กิโลโวลต์ ปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน 10 เมกะวัตต์/วงจร

โดยปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมที่รับซื้อในระบบจำหน่าย 22 / 33 กิโลโวลต์รวมทุกวงจร จะต้องไม่เกิน 75 เปอร์เซ็นต์ (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์) ของพิกัดสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแต่ละลูกของสถานีไฟฟ้า

- 2) ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบ ให้มีรายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามรูปแบบการเชื่อมต่อในระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 เป็นอย่างน้อย และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์ที่จะแก้ไข เปลี่ยนแปลง หรือกำหนดเงื่อนไขรายละเอียดอื่นๆ เพื่อความปลอดภัยและความมั่นคงของระบบไฟฟ้า และผู้ขอใช้บริการจะต้องยอมรับและปฏิบัติตาม

- 3) หลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค

เพื่อให้คุณภาพไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภายหลังจากมีผู้เชื่อมต่อแล้ว อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อทางด้านความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค ดังนี้

- การจ่ายกระแสไฟฟ้า

ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายจำหน่ายหรือสายส่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินพิกัดกระแสต่อเนื่อง โดยกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าไปยังระบบส่งไฟฟ้าจะต้องไม่กระทบต่อความมั่นคงระบบไฟฟ้าในภาพรวม

- การคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulation)

ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้แรงดันในระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยหากผู้ขอใช้บริการทำให้แรงดันอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐาน ผู้ขอใช้บริการจะต้องเป็นผู้ปรับปรุงหรือควบคุมการเดินเครื่องเพื่อให้แรงดันเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- กระแสลัดวงจร

ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรรวมในระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินร้อยละ 85 ของค่าวิสัยสามารถตัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Interrupting Capacity) ของอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อหรืออุปกรณ์ป้องกัน และไม่ทำให้เกิดการทำงานที่ไม่ประสานสัมพันธ์ (Protection Coordination) ของอุปกรณ์ป้องกัน

4) การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบระบบควบคุมการจ่ายไฟจากการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อ ดังนี้

- การควบคุมระดับแรงดัน และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ผู้ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมระดับแรงดัน เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (เฉพาะสำหรับแรงดัน 22 และ 33 กิโลโวลต์) ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
33 กิโลโวลต์	34.7	31.3	36.3	29.7
22 กิโลโวลต์	23.1	20.9	24.2	19.8

ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมตัวประกอบกำลัง เพื่อใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยระบบที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบที่มีคอนเวอร์เตอร์ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : PF.) จะต้องสามารถปรับค่าและควบคุมได้ตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าความสามารถในการปรับค่าตัวประกอบกำลังของคอนเวอร์เตอร์

ระดับแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อ	ความสามารถในการปรับ PF	วิธีการควบคุม
ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์)	0.90 ตามหลัง to 0.90 นำหน้า หรือดีกว่า	จะต้องควบคุมได้อย่างน้อย 2 วิธี คือ 1) A fixed displacement factor $\cos \theta$ และ 2) A variable reactive power depending on the voltage Q(U)

- การควบคุมความถี่ไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะเป็นผู้ควบคุมความถี่ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ 50 ± 0.5 รอบต่อวินาที ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ซิงโครไนซ์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา ในกรณีเกิดเหตุผิดปกติ ถ้าความถี่ของระบบไม่อยู่ในช่วง 47.00 – 52.00 รอบต่อวินาที ต่อเนื่องเกิน 0.1 วินาที ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องออกแบบให้ปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จุดเชื่อมต่อด้วยระบบอัตโนมัติที่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าทันที สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจะต้องปฏิบัติตามที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกำหนด

- การควบคุมการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า

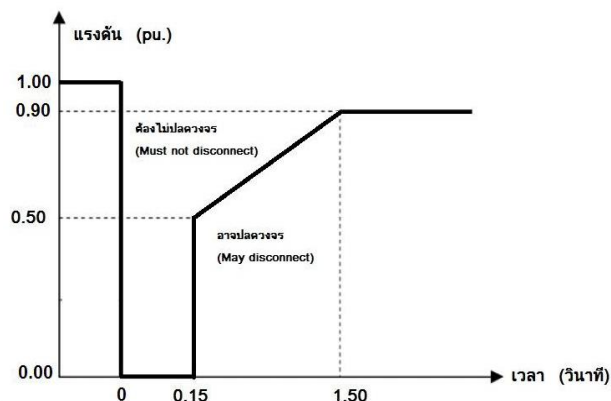
ผู้ขอใช้บริการที่มีระบบคอนเวอร์เตอร์ จะต้องออกแบบป้องกันการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อไม่เกินร้อยละ 0.5 ของกระแสพิคกิ้งของคอนเวอร์เตอร์

- ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่จ่ายไฟผ่านคอนเวอร์เตอร์ที่สำคัญ มีดังนี้

1) ผู้ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมกำลังไฟฟ้า (Active power control) เพื่อใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยจะต้องสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าจาก 100 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0 เปอร์เซ็นต์ ได้ โดยสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าอย่างน้อยครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที

2) ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through) ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการจะต้องไม่ปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนด ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยกำหนดตามระดับแรงดัน

ณ จุดต่อเชื่อมสำหรับระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์) ตามภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ

ที่มา: ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 (2559 : ระบบออนไลน์)

3) ผู้การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under and Over voltage protection) ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการจะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าหากขนาดของแรงดัน Line to Neutral ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า มีค่าออกนอกช่วงที่ระบุในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไม่อยู่ในช่วงแรงดันปกติ

ระดับแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อ	ระยะเวลาตัดวงจร (วินาที)
$V < 50\%$	0.3
$50\% < V < 90\%$	2.0
$90\% < V < 110\%$	แรงดันทำงานต่อเนื่อง
$110\% < V < 120\%$	1.0
$V > 120\%$	0.16

4) การป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดดในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าให้ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ภายใน 1 วินาที

5) การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Response to utility recovery) ภายหลังจากที่ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดัน/ความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการจะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลา 20 วินาที ถึง 5 นาที

2.4 ระบบเก็บพลังงาน

เทคโนโลยีการสำรองไฟฟ้าสำหรับโครงข่ายไฟฟ้า หรือ Grid Energy Storage เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากจากรัฐบาลและหน่วยงานกำกับดูแล (Regulator) โครงข่ายไฟฟ้าทั่วโลก เนื่องจากเทคโนโลยี Grid Energy Storage สามารถช่วยเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนเกินเพื่อนำมาใช้ในเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง (peak) สามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบไฟฟ้าให้สามารถตอบสนองต่อระดับความต้องการและการผลิตที่มีความผันแปรได้อย่างทันท่วงที Grid Energy Storage จึงช่วยแก้ปัญหาความผันแปรของอุปสงค์และอุปทานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งช่วยเพิ่มความมั่นคงและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า อันเป็นประเด็นที่มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้ ความต้องการเทคโนโลยี Grid Energy Storage จึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles) ที่จะเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าทั่วโลกและน่าจะเป็นโอกาสดีของประเทศไทยที่จะส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิต Grid Energy Storage ซึ่งคาดว่าจะมีความต้องการที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วในตลาดโลก นอกจากจะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับประเทศแล้ว Grid Energy Storage ยังจะเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงข่ายไฟฟ้าของประเทศ และสามารถเป็นฐานเพื่อต่อยอดไปยังการผลิตระบบสำรองไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค (Consumer Electronics) ซึ่งจะมีความต้องการสูงขึ้นในอนาคตเช่นเดียวกัน ซึ่งในระบบไฟฟ้าแบบดั้งเดิมนั้น ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นไม่สามารถถูกกักเก็บไว้ใช้ในเวลาต่อมาได้ ผู้ดูแลระบบ (System operator) จะต้องรักษาระดับการผลิตไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งและช่วงเวลา ให้เท่ากับความต้องการใช้ไฟฟ้าในตำแหน่งและช่วงเวลาเดียวกันอยู่เสมอ เพื่อเสถียรภาพและความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ดังนั้น การนำเทคโนโลยีระบบเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) เข้ามาใช้จะมีบทบาทพลิกโฉมการทำงานของกิจการไฟฟ้าไปอย่างสิ้นเชิง เพราะทำให้ระดับการผลิตไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องเท่ากับความต้องการไฟฟ้าในทุกขณะและทุกตำแหน่งอีกต่อไป ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นและลดต้นทุนของระบบไฟฟ้าได้ เช่น การเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงต้นทุนถูกไว้ใช้ในช่วงที่ต้นทุนแพง หรือเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากพลังงานทดแทนที่ผลิตได้ในช่วงเวลาที่ความต้องการต่ำไว้ใช้ในเวลาที่มีความต้องการสูง โดยสามารถสรุปการใช้งานของ

ระบบเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมไฟฟ้าได้ตามตารางที่ 4 (มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศ, 2561)

ตารางที่ 4 สรุปการใช้งานของระบบเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมไฟฟ้า

ตำแหน่งการใช้งาน	ลักษณะการใช้ (Application)
ส่วนการผลิตไฟฟ้า (Generation)	ใช้ควบคู่กับโรงไฟฟ้า หรือทดแทนโรงไฟฟ้า 1. กักเก็บไฟฟ้าส่วนเกินไว้สำหรับสร้างกำไรจากการซื้อ/ขายไฟฟ้า (Electric energy time-shift) 2. ขดเคຍการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม (Electric supply capacity)
ส่วนการควบคุมระบบและ โครงข่ายไฟฟ้า (System operator)	ใช้เสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพให้กับโครงข่ายไฟฟ้า 3. บริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า (Ancillary Service) 4. บริการสำรองไฟฟ้า (Electric supply reserve capacity) 5. ช่วยรักษาสมดุลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage support)
การใช้ควบคู่กับพลังงานทดแทน (Renewable energy)	ใช้เพิ่มเสถียรภาพให้กับพลังงานทดแทน โดยเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไว้ใช้เมื่อมีความต้องการเท่านั้น 6. กักเก็บไฟฟ้าส่วนเกินจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในช่วเวลาอื่น (Renewable energy time-shift) 7. การลดความผันผวนของพลังงานทดแทน (Renewable capacity firming)
ระบบสายส่งและสายจำหน่าย (Transmission & Distribution)	ใช้ชะลอการลงทุนในสายส่งและสายจำหน่าย เพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าและพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้นในระบบ 8. การลดข้อจำกัดในสายส่งไฟฟ้า (Transmission congestion relief) 9. การชะลอหรืองดการลงทุนเพื่อขยายระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้า (T&D upgrade deferral)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ตำแหน่งการใช้งาน	ลักษณะการใช้ (Application)
ผู้ใช้ไฟฟ้า (Consumers)	ใช้สร้างความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า และใช้ควบคู่กับระบบการจัดการพลังงานภายในอาคาร 10. การบริหารค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time-of-use management) 11. การบริหารค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge management) 12. การสำรองไฟฟ้า และการรักษาคุณภาพไฟฟ้า (Electric service reliability and power quality)

2.4.1 รายละเอียดการใช้งานระบบเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมไฟฟ้า

จากตารางที่ 4 สามารถอธิบายรายละเอียดของการใช้งานระบบเก็บพลังงานในอุตสาหกรรมไฟฟ้าได้ดังนี้ (มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2561)

1) กักเก็บไฟฟ้าส่วนเกินไว้สำหรับสร้างกำไรจากการซื้อ/ขายไฟฟ้า (Electric energy time-shift)

โดย Energy Storage สามารถสร้างกำไรเพิ่มเติมหรือลดต้นทุนการจัดการไฟฟ้าโดยรวมได้ โดยการซื้อไฟฟ้าในช่วงที่ไฟฟ้าราคาถูกมากกักเก็บไว้ใน Energy Storage และนำออกมาขายต่อได้ในช่วงที่ไฟฟ้าราคาสูง (Electric energy time-shift) ซึ่งความสามารถในการกักเก็บพลังงานนี้ จะทำให้การซื้อขายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง เพราะการผลิตไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ไม่จำเป็นต้องเท่ากับความต้องการไฟฟ้า ณ เวลานั้นๆ อีกต่อไป

การใช้เทคโนโลยี Energy Storage ในลักษณะนี้ จะสร้างประโยชน์ได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำมาใช้คู่กับพลังงานทดแทน เช่น ลม หรือแสงอาทิตย์ ซึ่งในบางครั้งผลิตไฟฟ้าได้มากในช่วงเวลาที่ความต้องการไฟฟ้าต่ำ ทำให้มูลค่าของไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่มากนัก การเก็บไฟฟ้าส่วนเกินนี้ไว้ใช้หรือขายในช่วงเวลาที่ความต้องการไฟฟ้าสูง จะช่วยเพิ่มมูลค่าของไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนดังกล่าวได้

2) ขดเคຍการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม (Electric supply capacity)

จากแนวโน้มความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (peak demand) ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การไฟฟ้าหรือผู้ผลิตไฟฟ้าต้องลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม ซึ่งการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ มีลักษณะคล้ายกับการลงทุนขายสร้างระบบสายส่งและสายจำหน่าย คือเป็นการลงทุนขนาดใหญ่ (lumpy investment) ที่ต้องมาเสริมให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังการผลิตเพียงพอสำหรับความต้องการบริโภค

ไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเกิดขึ้นเพียงแค่วันละชั่วโมงใน 1 ปี ดังนั้น การลงทุนในโรงไฟฟ้าใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (peaking capacity) ส่วนมากจึงใช้ระบบกังหันก๊าซแบบ simple cycle ที่มีต้นทุนการสร้างต่ำกว่ากังหันแบบ combined cycle แต่มีต้นทุนการดำเนินการสูงกว่า (operating cost) เพราะระบบไม่มีประสิทธิภาพเทียบเท่า

การสร้างโรงไฟฟ้าในลักษณะดังกล่าวจึงไม่มีความคุ้มค่า เพราะระบบการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องมีกำลังการผลิตเกินความต้องการไฟฟ้าปกติอยู่เกือบจะตลอดเวลา (idle capacity) เทคโนโลยี Energy Storage สามารถชะลอหรือลดความจำเป็นในการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติมได้ โดยการกักเก็บพลังงานในยามปกติสำรองไว้ใช้สำหรับนำจ่ายในช่วงความต้องการบริโภคไฟฟ้าสูงสุด หรือพูดในอีกแง่ก็คือ Energy Storage สามารถทำหน้าที่แทน “โรงไฟฟ้า peaking plant” ในยามที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งข้อได้เปรียบของ Energy Storage ก็คือความสามารถเลือกขนาดของการลงทุนเท่าที่จำเป็นได้ (scalable) จึงทำให้หลีกเลี่ยงการลงทุนในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สิ้นเปลืองและนำไปสู่ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยรวมที่ลดลง

3) บริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า (Ancillary Service)

บริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า (Ancillary Services) สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนซึ่งมีความคล้ายคลึงกันคือ Load Following Service และ Regulation Service โดยทั้งสองส่วนนี้ต่างใช้ควบคุมความผันผวนในปริมาณการใช้ไฟฟ้า (load) และปริมาณการผลิตไฟฟ้า (supply) ที่อาจไม่สอดคล้องกัน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งเมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น ระบบจะสูญเสียเสถียรภาพในการทำงาน โครงข่ายไฟฟ้าจำเป็นต้องรักษาสมดุลระหว่างกำลังการผลิตและการใช้ไฟฟ้า เพื่อรักษาเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบ โดย Load Following จะสร้างสมดุลในช่วงเวลาประมาณห้านาทีไปจนถึงสามสิบนาที ในขณะที่ Regulation Service จะสร้างสมดุลในระยะที่ต่ำกว่า (ระดับนาที) ซึ่งงานควบคุมไฟฟ้านี้จะมีความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างมากในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีส่วนของพลังงานทดแทนสูงขึ้น โดยเฉพาะพลังงานจากลมและแสงอาทิตย์ซึ่งมีความผันผวนสูงกว่าพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงอื่น ประโยชน์ของการมีเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานต่อ regulation service และ load following service ได้แก่ ผลต่อ Load Following โดยทั่วไป Load Following Service จะใช้การผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเป็นหลัก ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามหลังการเพิ่มความต้องการบริโภคไฟฟ้าโดยรวม และการผลิตจะลดลงตามหลังการลดลงของความต้องการบริโภคไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของ load จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาเช้า และลดลงในช่วงเวลาเย็น เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนส่วนใหญ่ ถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระดับการผลิตค่าใดค่าหนึ่ง ดังนั้น การเดินโรงไฟฟ้าให้เพิ่มหรือลดการผลิตไฟฟ้าตามระดับการเปลี่ยนแปลงของ load เป็นการบังคับให้โรงไฟฟ้าไม่สามารถผลิตได้เต็มกำลัง (Generation at partial load) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำลง ใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองขึ้นและปล่อยมลภาวะเพิ่ม

สูงขึ้น ดังนั้นเทคโนโลยี Energy Storage สามารถให้บริการ Load Following แทนการใช้โรงไฟฟ้าหลักได้ ด้วยข้อได้เปรียบหลายประการ ได้แก่ ประการแรก เทคโนโลยี Energy Storage สามารถเก็บหรือปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ที่หลายระดับ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพมากเท่ากับกรณีของการใช้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนประการที่สอง Energy Storage หลายเทคโนโลยีสามารถที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการผลิตด้วยการกักเก็บและปลดปล่อยไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เมื่อมีความจำเป็นต้องเพิ่มหรือลดพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลาอันสั้น สำหรับผลต่อ Regulation Service มีจุดประสงค์หลักในการลดความผันผวนของปริมาณการใช้ไฟฟ้า (load) และการผลิตไฟฟ้า (supply) ที่เกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ เช่น ความผันผวนของไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ หรือการเปลี่ยนแปลงของการใช้ไฟฟ้าอย่างกะทันหัน โดยในปัจจุบัน Regulation service จะพึ่งพาโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนเป็นหลัก ซึ่งไม่ได้ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับการเพิ่มหรือลดการผลิตในเวลาอันสั้นด้วยสาเหตุเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวไปในกรณีของ Load following ดังนั้น การนำเทคโนโลยี Energy Storage เข้ามาใช้แทนที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน จะช่วยลดความสิ้นเปลืองและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมของระบบได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบไฟฟ้ามีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมากขึ้น การติดตั้ง Energy Storage ควบคู่กับแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทน จะช่วยให้ไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ผลิตได้มีความคงที่มากขึ้น (Renewable energy firming) และช่วยป้องกันระบบจากความผันผวนระยะสั้น

4) บริการสำรองไฟฟ้า (Electric supply reserve capacity)

โดยปกติผู้ดูแลระบบ (System operator) จะต้องมีการสำรองการผลิตไฟฟ้าบางส่วนเอาไว้ใช้เพื่อรองรับเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝัน เช่น ในกรณีที่กำลังการผลิตบางส่วนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถผลิตได้ โดยปริมาณการสำรองจะต้องมีขนาดขั้นต่ำเท่ากับกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในระบบ หรือทั่วไปจะประมาณร้อยละ 15–20 ของกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด โดยประเภทของการสำรองไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ Spinning reserve คือการสำรองไฟฟ้าโดยที่ระบบสำรองไฟฟ้ามักมีการทำงานอยู่ตลอดเวลาแต่จะไม่มีการผลิตไฟฟ้าออกมา เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อคำสั่งการผลิตไฟฟ้าได้ภายใน 10 นาที และประเภทที่สองคือ Non-spinning reserve คือระบบที่มีการสร้างระบบไว้สำรองไฟฟ้าแต่ไม่มีการเดินเครื่องใดๆ ทั้งสิ้น แต่สามารถเดินเครื่องเพื่อตอบสนองต่อคำสั่งการผลิตไฟฟ้าได้ภายใน 10 นาที เช่นเดียวกันกับกรณี Load following service และ Regulation service โรงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อสำรองไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ต้องการเดินเครื่องแบบไม่เต็มกำลังตลอดเวลา (ในกรณี Spinning reserve) และต้องสามารถเร่งเครื่องเพื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มอย่างรวดเร็วได้เมื่อมีความต้องการ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ การสำรองไฟฟ้าแบบ spinning reserve ก็มีการใช้ระบบ pumped hydro เช่นกัน ซึ่งก็ติดปัญหาการหาสถานที่เหมาะสมในการสร้างเขื่อน และแรงดันที่เพิ่มขึ้นอัน

เนื่องจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยคุณสมบัติและข้อได้เปรียบของเทคโนโลยี Energy Storage ดังที่กล่าวไปในกรณี Load following service และ Regulation service ทำให้ Energy Storage เหมาะแก่การนำมาใช้สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ยามสำรองแทนที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน

5) ช่วยรักษาสมดุลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage support)

อีกหนึ่งปัญหาที่ทางผู้จัดการระบบไฟฟ้าต้องจัดการและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอคือ การปรับสมดุลค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อป้องกันปัญหาไฟฟ้าดกหรือแรงดันไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีความผันผวนโดยเฉพาะจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ วิธีปัจจุบันที่ผู้จัดการระบบใช้รักษาสมดุลค่าแรงดันไฟฟ้า คือการจัดสรรทรัพยากรการผลิตบางส่วนโรงไฟฟ้า เพื่อสร้าง Reactive power (VAR) สำหรับในการปรับแรงดันไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้า โดยเทคโนโลยี Energy Storage สามารถนำมาใช้แทนกำลังการผลิตจากโรงไฟฟ้า เพื่อรักษาระดับแรงดันได้ ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยี Energy Storage คือสามารถติดตั้งกระจายในส่วนต่างๆ ของระบบสายส่ง/สายจำหน่ายในลักษณะ Distributed storage เพื่อแก้ปัญหาของการรักษาสมดุล ณ จุดนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการพึ่งพา Reactive power จากโรงไฟฟ้าที่ถูกส่งมาจากระยะไกลๆ นอกจากนี้เทคโนโลยี Energy Storage ยังสามารถนำมาติดตั้งควบคู่กับแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เพื่อควบคุมผลผลิตไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Renewable energy firming) ทำให้สามารถลดผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าได้

6) กักเก็บไฟฟ้าส่วนเกินจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในระยะเวลาอื่น (Renewable energy time-shift)

การติดตั้ง Energy Storage สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เอง (PV self-consumption) โดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Self-consumption นั้น ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำไปใช้สนองความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารก่อน (Selfconsumption) ไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนที่เหลือ (excess electricity) จะถูกส่งกลับเข้าโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งในบางกรณีอาจไม่ได้รับการชดเชยใดๆ เลย ดังนั้น มูลค่าหรือประโยชน์หลักของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Selfconsumption จะมาจากการลดค่าไฟฟ้าเป็นหลัก หากต้นทุนของระบบ Energy Storage ต่ำเพียงพอหรือราคาขายปลีกไฟฟ้าสูงพอ การติดตั้ง Energy Storage สามารถถูกนำมาใช้เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ส่วนเกิน (excess electricity) เพื่อเก็บไว้ใช้ยามที่เซลล์แสงอาทิตย์หยุดทำงาน หรือเก็บไว้ใช้ยามที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ณ ขณะนั้น ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลตอบแทนจากการลงทุนในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

จากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว การติดตั้ง Energy Storage ควบคู่กับพลังงานลม สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของโครงการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ในลักษณะเดียวกัน โดยเฉพาะโครงการที่มีการทำสัญญาขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้า เพราะโดยทั่วไปแล้ว สัญญาการขายไฟฟ้าจะมีการกำหนดปริมาณไฟฟ้าสูงสุดที่ขายได้ในแต่ละช่วงเวลา จากธรรมชาติของลมที่พัดไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีการผลิตไฟฟ้าได้เกินปริมาณขายสูงสุดในบางช่วงและผลิตได้ไม่ถึงปริมาณขายสูงสุดในบางช่วงเวลา การติดตั้ง Energy Storage จะช่วยเก็บไฟฟ้าจากช่วงเวลาผลิตได้เกินกว่าปริมาณที่ขายได้ เพื่อนำไปไว้ขายคืนระบบในช่วงเวลาที่ผลิตได้ต่ำ ทำให้รายได้จากการขายไฟฟ้าโดยรวมสูงขึ้น

7) การลดความผันผวนของพลังงานทดแทน (Renewable capacity firming)

ดังที่กล่าวไปในตอนต้น ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนบางประเภท โดยเฉพาะลมและแสงอาทิตย์ จะมีความผันผวนและควบคุมไม่ได้ (intermittent) เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เช่น ไฟฟ้าที่ผลิตจากแผง solar PV อาจลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีเมฆเคลื่อนผ่านหรือไฟฟ้าจากกังหันลมอาจพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีลมกระโชก ความผันผวนของไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนนี้เอง อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานและความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ทำให้ผู้ดูแลระบบ (system operator) มีความจำเป็นต้องเพิ่มกำลังการผลิตสำหรับดูแลระบบความมั่นคง (ancillary service) ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงการสร้างโรงไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองและปรับเปลี่ยนระดับการผลิตได้ในระยะเวลาอันสั้น เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นและลดลงของพลังงานทดแทนอย่างกะทันหัน ดังนั้นเทคโนโลยี Energy Storage สามารถนำมาใช้ควบคู่กับพลังงานทดแทนเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพของไฟฟ้าที่ผลิตได้มิให้เปลี่ยนแปลงมากเกินไปในระยะเวลาดังกล่าว การทำงานร่วมกันดังกล่าวจะช่วยลดความต้องการ ancillary service และลดต้นทุนการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อดูแลความมั่นคงของระบบได้ ทั้งนี้จากมุมมองของผู้ใช้งาน (prosumer) อาจไม่มีแรงจูงใจในการรักษาเสถียรภาพการผลิตพลังงานทดแทนนอกเสียจากจะมีโครงสร้างการรับซื้อไฟฟ้าที่ให้ราคาพิเศษแก่พลังงานที่เสถียร (firmed renewables)

8) การลดข้อจำกัดในสายส่งไฟฟ้า (Transmission congestion relief)

ประโยชน์อีกประการของ Energy Storage คือสามารถใช้ในการแก้ปัญหาข้อจำกัด/ความแออัด (Transmission congestion relief) ที่เกิดขึ้นกับสายส่งในกรณีที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก หรือช่วงเวลาที่มีการผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าสู่สายส่งในปริมาณที่สูง (โดยเฉพาะไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และลม) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเหตุการณ์ปัญหาดังกล่าวจะทำให้การไฟฟ้าต้องลงทุนขยายขนาดของสายส่ง หรือต้องกำหนดราคาค่าไฟฟ้าในบางพื้นที่ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากให้สูงขึ้น หรือที่เรียกว่า Locational marginal pricing (LMP) เพื่อที่จะลดปัญหาดังกล่าว โดยการติดตั้งเทคโนโลยี Energy Storage ในตำแหน่งที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากหรือตำแหน่งที่มีการป้อนไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำนวนมาก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้สายส่ง/สายจำหน่ายได้ เพราะ

Energy Storage จะทำการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าบางส่วนในช่วงเวลาที่ไม่มีความแออัดของสายส่ง และดึงพลังงานออกมาใช้ในช่วงเวลาหรือบริเวณที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่สูง ทำหน้าที่เป็นดั่งกันชนที่ช่วยลดการเกิดเหตุการณ์แออัดของระบบสายส่งได้

9) การชะลอหรืองดการลงทุนเพื่อขยายระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้า (T&D upgrade deferral)

โดยทั่วไปแล้ว ขนาดของสายส่งและจำหน่ายไฟฟ้าจะถูกออกแบบมาให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Peak demand) ซึ่งความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตและฝ่ายจำหน่ายมีความจำเป็นต้องลงทุนขยายระบบสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้า (Transmission and distribution system) เพื่อรองรับความต้องการสูงสุดนี้ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) มิได้เกิดขึ้นตลอดเวลา หากแต่เกิดขึ้นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ในแต่ละปีเท่านั้น ในขณะที่การลงทุนเพื่อขยายระบบสายส่งและระบบจำหน่ายเพื่อรองรับความต้องการสูงสุดนี้ เป็นการลงทุนขนาดใหญ่ (Lumpy investment) ดังนั้น แม้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก การไฟฟ้ากลับจำเป็นต้องลงทุนจำนวนมากเพื่อขยายระบบส่งและจำหน่าย ซึ่งถูกใช้งานอย่างเต็มที่ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น จึงถือเป็นการลงทุนที่มีประสิทธิภาพต่ำ ในกรณีนี้ การติดตั้ง Grid Energy Storage แม้เพียงเล็กน้อย (Incremental) ในบริเวณระบบส่งหรือสายจำหน่ายที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (peak load) ใกล้เคียงกับกำลังการส่งไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบสามารถทำได้ (Design ratings) จะสามารถช่วยชะลอหรือลดความจำเป็นในการขยายระบบส่งหรือจำหน่ายไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ การใช้ Grid Energy Storage ยังช่วยลดภาระการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบส่ง/จำหน่ายที่มีอายุมากแล้ว ทำให้สามารถยืดอายุของอุปกรณ์ในระบบส่ง/ระบบจำหน่ายที่มีอยู่แล้วออกไปได้อีกด้วย ซึ่งความได้เปรียบของเทคโนโลยี Energy Storage ก็คือการไฟฟ้าสามารถเลือกลงทุนในระบบขนาดเล็กเท่าที่จำเป็นเท่านั้น (Incremental) ส่งผลให้การไฟฟ้าสามารถนำเม็ดเงินที่ประหยัดได้ไปใช้ในการลงทุนอื่นที่มีความคุ้มค่าสูงกว่า

10) การบริหารค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time-of-use management)

เทคโนโลยี Grid Energy Storage จะช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับผู้ไฟฟ้าภายใต้โครงสร้างราคาแบบ Time-of-use (“TOU”) ลงได้ เพราะผู้บริโภครักษาไฟฟ้าสามารถที่จะกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ไฟฟ้ามียาราคาถูก (ช่วง Off-peak) และนำไฟฟ้าที่กักเก็บไว้ใน Energy Storage มาใช้ในช่วงที่ไฟฟ้ามียาราคาแพง (ช่วง Peak) ซึ่งลักษณะของการใช้งานนี้จะเหมือนกับในกรณี Energy arbitrage ของผู้ดูแลระบบ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้ Energy Storage โดยผู้ไฟฟ้ามักจะเป็นระบบขนาดเล็ก ดังนั้นประโยชน์และความคุ้มค่าที่ผู้ไฟฟ้าจะได้รับจากการติดตั้งเทคโนโลยีดังกล่าว อาจยังไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับต้นทุนระบบ Energy Storage ในปัจจุบัน กรณีที่มีความเป็นไปได้

คือการใช้ระบบดังกล่าวสำหรับผู้ประกอบการขนาดใหญ่ เช่น ตามนิคมอุตสาหกรรมต่างๆ หรือหมู่บ้านจัดสรรขนาดใหญ่ เป็นต้น

11) การบริหารค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge management)

ประโยชน์ประการต่อมาของการมีเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานต่อผู้ใช้ไฟฟ้าคือ การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge²) โดยแนวทางโดยทั่วไปของการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าให้ได้ประโยชน์สูงสุด ได้แก่ การลดการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่ายในช่วงที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (load) สูงสุด และเพิ่มการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายในช่วงเวลาที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำ โดยเฉลี่ยการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่ายในแต่ละเวลาให้ใกล้เคียงกัน มีการจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยการดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพอยู่เสมอ ซึ่งในอดีต ความพยายามที่จะลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องจัดทำลักษณะการใช้ไฟฟ้าของตนเองทุก 15 นาที (load profile) และต้องคอยจดหน่วยการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์หน้าโรงงานทุก 15 นาที เพื่อดูว่าเวลาใดคือเวลาที่มีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด แต่ในปัจจุบันนี้มีอุปกรณ์ที่ช่วยในการบริหารจัดการค่าความต้องการไฟฟ้าได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ได้แก่ โปรแกรมการอ่านข้อมูลจาก Digital Power Meter ผ่านทางช่องทางการสื่อสารต่างๆ เช่น ระบบ LAN หรือ USB ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรู้ และตรวจสอบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ในทันที (real-time) และย้อนหลัง (retrospective) ทั้งยังสามารถคำนวณการใช้ไฟฟ้าออกมาในรูปแบบของบิลค่าไฟฟ้าได้ในทันที ทำให้ง่ายในการบริหารจัดการลดค่าไฟฟ้าส่วนนี้มากขึ้น ในกรณีนี้เทคโนโลยี Energy Storage สามารถนำมาใช้เป็นทางเลือกเพิ่มเติมในการบริหารจัดการความต้องการพลังไฟฟ้า โดยการดึงพลังงานไฟฟ้าที่สำรองไว้มาใช้ในบางช่วงเวลาโดยเฉพาะช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (peak) เพื่อลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าดังกล่าว และเฉลี่ยการซื้อใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายในแต่ละช่วงเวลาให้ใกล้เคียงกันมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไป Energy Storage ประเภทแบตเตอรี่สามารถให้พลังงานใช้ไฟฟ้าได้ประมาณห้าถึงหกชั่วโมงสำหรับการนำมาใช้แทนการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่ายในช่วงความต้องการบริโภคไฟฟ้าสูงสุด

12) การสำรองไฟฟ้า และการรักษาคุณภาพไฟฟ้า (Electric service reliability and power quality)

ประโยชน์สำคัญประการสุดท้ายของการใช้เทคโนโลยี Energy Storage สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า คือ การสร้างความมั่นคงทางพลังงาน ลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบสายส่ง ลดความเสี่ยงจากปัญหาไฟฟ้าดับ (outages) รวมไปถึงช่วยรักษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage) ให้คงที่ ซึ่งการมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่องที่ความต่างศักย์คงที่ จะมีความสำคัญมากสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเดินเครื่องจักรการผลิตอย่างสม่ำเสมอ และโรงงานอุตสาหกรรมที่อ่อนไหวต่อความผันผวนของคุณภาพไฟฟ้า เช่น โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเซมิคอนดักเตอร์ เป็นต้น

2.4.2 เทคโนโลยีระบบเก็บพลังงานที่มีใช้ในปัจจุบัน

เทคโนโลยีสำรองไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลักๆ ตามการทำงาน ดังที่แสดงในตารางที่ 5 (มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศ, 2561)

ตารางที่ 5 เทคโนโลยีระบบเก็บพลังงาน

ประเภท	เทคโนโลยี
ระบบสำรองพลังงานเชิงกล (Mechanical Energy storage)	- Pumped-Storage Hydro (PSH) - Compressed Air Energy Storage (CAES) - Liquid Air Energy Storage (LAES) - Flywheels (FW)
ระบบสำรองพลังงานความร้อน (Thermal Energy storage)	- Thermo-Chemical - Sensible Thermal - Latent Thermal
ระบบสำรองพลังงานเคมี (Chemical Energy storage)	- Hydrogen Storage (H) - Substitute Natural Gas (SNG)
ระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Energy storage)	- Lead-Acid Batteries (L/A) - Sodium-Sulfur Batteries (NaS) - Lithium-Ion Batteries (Li-ion) - Redox Flow Batteries
ระบบสำรองพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy storage)	- Super-capacitors - Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

โดยมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละเทคโนโลยี ดังนี้

1) Pumped-Storage Hydro (PSH) ใช้วิธีกักเก็บมวลน้ำเหนือเขื่อนในรูปของพลังงานศักย์ (potential energy) ที่สามารถปล่อยออกมาเพื่อนำมาหมุนกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าในภายหลังได้ รูปแบบการทำงานของ PSH ไม่ต่างจากเขื่อนกักเก็บน้ำทั่วไป แต่จะมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่สามารถนำมวลน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างนำมาเก็บไว้ใช้ใหม่ โดยมักจะมีการสูบลูกกลับในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (off-peak)

2) Compressed Air Energy Storage (CAES) ใช้วิธีกักเก็บพลังงานด้วยการบีบอัดก๊าซในถัง หรือในชั้นหินใต้ดิน ซึ่งระบบ CAES จะประกอบไปด้วย compressor ที่มีหน้าที่บีบอัดก๊าซ และ expander ที่มีหน้าที่ปลดปล่อยก๊าซ โดยกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งจะถูกขับเคลื่อนด้วยมวลอากาศที่ถูกผลักดันจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

3) Liquid Air Energy Storage (LAES) หรือการกักเก็บพลังงานด้วยอากาศเหลว เป็นเทคโนโลยีเก่าที่นำมาปรับปรุงใหม่ ทำงานด้วยการเพิ่มอุณหภูมิจนอากาศเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว แล้วจึงกักเก็บของเหลวลงสู่ภาชนะบรรจุ เมื่อปลดปล่อยของเหลวจะกลับรูปคืนสู่สถานะดั้งเดิม โดยก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจะมีแรงดันที่สามารถนำมาปั่นกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าได้

4) Flywheels (FW) คือระบบกักเก็บพลังงานในรูปของแรงเฉื่อยที่กระทำต่อวัตถุรูปทรงกระบอก พลังงานที่เก็บสะสมจะขึ้นอยู่กับรูปทรง มวล น้ำหนัก และความเร็วในการหมุน (angular velocity) ของวัตถุ ทำให้มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานที่ต่างกันออกไปตามวัสดุที่เลือกใช้ ระบบ flywheels สามารถนำมาเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง เพื่อทำหน้าที่แปลงพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า (discharge) และแปลงพลังงานไฟฟ้ากลับมาเป็นพลังงานจลน์ (charge) ระบบ flywheels สมัยใหม่อาจมีการสูบลูกปืนแม่เหล็ก (magnetic bearing) เพื่อลดแรงเสียดทาน ทำให้ระบบสามารถกักเก็บพลังงานได้ยาวนาน

5) Thermo-Chemical ใช้หลักการกักเก็บความร้อนโดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี (physic-chemical process) คือกระบวนการดูดซับ (adsorption process) และกระบวนการดูดซึม (absorption process) ที่มีหน้าที่ดึงดูดความร้อน (charge) และปลดปล่อยความร้อน (discharge) ของสารเคมีที่เลือกใช้เป็นตัวกลาง

6) Sensible Thermal หรือระบบความร้อนสัมผัสที่ใช้พลังงานความร้อนมาเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุโดยตรง วัสดุที่นำมาใช้และมวลน้ำหนักรจะเป็นตัวกำหนดขนาดของพลังงานที่สามารถกักเก็บได้ โดยวัสดุที่นำมาใช้อาจจะเป็นของเหลว ของแข็ง หรือเป็นของเหลวผสมของแข็งก็ได้ วัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายคือ molten salt เพราะสามารถทนความร้อนได้สูง

7) Latent Thermal ไม่ได้กักเก็บพลังงานความร้อนสัมผัส แต่ใช้ latent heat หรือพลังงานความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะ เช่น เปลี่ยนจากของเหลวเป็นก๊าซ เป็นต้น โดยใช้วัสดุที่เรียกว่า phase change materials (PCMs) เป็นตัวกลาง ระบบดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) มวลน้ำหนักรของวัสดุ และค่า enthalpy ของระบบ ที่ใช้เป็นตัวกำหนดปริมาณพลังงานที่สามารถกักเก็บได้

8) Hydrogen Storage (H) การกักเก็บพลังงานในรูปของก๊าซไฮโดรเจน มีข้อดีคือเป็นตัวกลางที่สะอาด สามารถผลิตทดแทนได้เรื่อยๆ และนำมาใช้งานได้หลายวิธี โดยทั่วไปก๊าซ Hydrogen จะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมีแทนการใช้พลังงานฟอสซิล โดยจะมีเพียงไอน้ำที่เป็น

ของเหลือจากปฏิกิริยาทางเคมี รูปแบบการกักเก็บมี 2 แนวทาง คือการกักเก็บแบบกายภาพ (physical storage) ที่กักเก็บ Hydrogen ในรูปของก๊าซ หรือของเหลว (Liquid Hydrogen) และการกักเก็บในวัสดุ (material-based storage) ที่ใช้กระบวนการดูดซับ (adsorption process) ระบบ hydrogen storage สามารถนำมาต่อใช้กับเครื่องยนต์กังหันก๊าซ (combustion turbines) หรือต่อเข้ากับ fuel cells เพื่อผลิตเป็นไฟฟ้า หรือต่อเข้ากับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engines) ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อผลิตความร้อนได้

9) การกักเก็บพลังงานในรูปของ Substitute Natural Gas (SNG) ซึ่งก็คือก๊าซธรรมชาติ (natural gas) และก๊าซชีวภาพ (bio gas) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแบบ Hydro-Carbon ที่บรรจุอยู่ในแท็งก์ความดันหรือในใต้ดิน ที่สามารถนำมาใช้เพื่อผลิตความร้อนในภายหลังได้ ข้อเสียหลักคือ ยังคงมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศระหว่างกระบวนการเผาไหม้

10) ระบบ Electrochemical Energy Storage คือ ระบบสำรองไฟฟ้าเคมี หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าแบตเตอรี่ ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า เทคโนโลยีแบตเตอรี่มีหลากหลายประเภท โดยคุณลักษณะของเทคโนโลยีต่างๆ จะขึ้นอยู่กับวัสดุและสารเคมีที่ใช้ เทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ Lead-Acid Batteries, Sodium-Sulfur Batteries (NaS), Lithium-Ion Batteries (Li-ion) และ Redox Flow Batteries เป็นต้น

11) Super-capacitors เป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ ที่มาเติมช่องว่างระหว่าง capacitors ดั้งเดิม และแบตเตอรี่ทั่วไป การทำงานของ Super-Capacitors มีความคล้ายคลึงกับเทคโนโลยี capacitors ดั้งเดิม แต่มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานมากกว่า เทคโนโลยี super-capacitors มีส่วนประกอบที่แตกต่างจากแบตเตอรี่ทั่วไป โดยการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) ระหว่างตัวนำไฟฟ้าสองด้านที่เป็นของแข็ง (solid conductors) จึงทำให้สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป

12) Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) ทำงานโดยใช้ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและพลังแม่เหล็กไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า electrodynamic principle พลังงานจะถูกกักเก็บในรูปของสนามพลังแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้าใน superconducting coil โดยระบบจะต้องรักษาอุณหภูมิให้ต่ำพอเพื่อที่จะทำให้วัสดุมีคุณลักษณะที่เป็นตัวนำยิ่งยวด (superconductivity)

2.4.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย เซลล์ไฟฟ้าเคมี หนึ่งเซลล์หรือมากกว่า ที่มีการเชื่อมต่อภายนอกเพื่อให้กำลังงานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า แบตเตอรี่มีขั้วบวกเรียกว่าแอโนด และขั้วลบ

เรียกว่าแคโทด ขั้วที่มีเครื่องหมายบวกจะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วที่มีเครื่องหมายลบ ขั้วที่มีเครื่องหมายลบคือแหล่งที่มาของอิเล็กตรอนที่เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรภายนอกแล้วอิเล็กตรอนเหล่านี้จะไหลและส่งมอบพลังงานให้กับอุปกรณ์ภายนอก เมื่อแบตเตอรี่เชื่อมต่อกับวงจรภายนอก สารอิเล็กโทรไลต์ มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่โดยทำตัวเป็นไอออน ยอมให้ปฏิกิริยาทางเคมีทำงานแล้วเสร็จในขั้วไฟฟ้าที่อยู่ห่างกัน เป็นการส่งมอบพลังงานให้กับวงจรภายนอก การเคลื่อนไหวของไอออนเหล่านั้นที่อยู่ในแบตเตอรี่ทำให้เกิดกระแสไหลออกจากแบตเตอรี่ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ (ใช้แล้วทิ้ง) และแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้

แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ถูกเรียกอีกอย่างว่า แบตเตอรี่ปฐมภูมิ วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรในช่วงปล่อยประจุออก (Discharge) ตัวอย่างที่พบบ่อยก็คือ แบตเตอรี่อัลคาไลน์ ที่ใช้สำหรับ ไฟฉาย และอีกหลายอุปกรณ์พกพา

สำหรับแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แบตเตอรี่ทุติยภูมิ สามารถดิสชาร์จและชาร์จใหม่ได้หลายครั้ง เนื่องจากองค์ประกอบเดิมของขั้วไฟฟ้าสามารถเรียกคืนสภาพเดิมได้โดยกระแสย้อนกลับ ซึ่งเทคโนโลยีแบตเตอรี่ในปัจจุบันมีอยู่หลากหลาย โดยมีความแตกต่างหลักอยู่ที่อัตราส่วนและองค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ผลิต cathode, anode, และ electrolyte ซึ่งองค์ประกอบของสารเคมีที่แตกต่างกันจะส่งผลให้แบตเตอรี่ชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น อัตราการกักเก็บหรือการปลดปล่อยประจุของพลังงานที่สะสมไว้ (Power rating) พลังงานและกำลังไฟฟ้าต่อปริมาตร (Power and energy density) พลังงานและกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนัก (Specific power and energy) จำนวนรอบที่สามารถกักเก็บและปล่อยพลังงานได้ (discharge cycle) เป็นต้น โดยแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันส่วนใหญ่ คือแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-acid battery), แบตเตอรี่ Lithium-ion, แบตเตอรี่ Lithium-ion polymer, แบตเตอรี่ Nickel-Metal Hydrid (NiMH) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เนื่องจากมีราคาที่ถูก มีความทนทาน ดูแลรักษาง่าย สามารถประจุไฟฟ้าซ้ำได้มากกว่า 2,000 ครั้ง และมีความปลอดภัยสูง โดยแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย สามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย ซึ่งแตกต่างจากแบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ ซึ่งถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้

สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid battery) ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1859 (พ.ศ. 2402) โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส แกสตัน ฟลองต์ (Gaston Planté) แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบบชาร์จ

ไฟได้ชนิดที่เก่าแก่ที่สุด ซึ่งมีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ต่ำมากและอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาณที่ต่ำ แต่มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง มีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟกระชากที่สูง ด้วยคุณสมบัติข้างต้นรวมกับราคาที่ย่อมเยา ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานที่ต้องใช้กระแสสูง และเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้า โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุสูงจะให้กระแสไฟฟ้าได้มาก เนื่องจากมีต้นทุนในการเก็บพลังงานถูกกว่าแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดอื่นๆ นิยมใช้ในรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน และระบบกักเก็บพลังงานขนาดใหญ่ ในช่วงแรกแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก ที่ต้องคอยเติมน้ำกลั่นเท่านั้น จน พ.ศ. 2513-2523 ได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบแห้งให้ใช้งานได้ หลังจากที่มีการจดสิทธิบัตรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 โดยอ็อตโต จาเช่ (Otto Jache) (ยาวลักษณ์ สิทธิขุนทด, 2560)

2.4.4 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่มีส่วนประกอบคือเปลือกนอกซึ่งทำด้วยพลาสติก ฝาครอบส่วนบนของแบตเตอรี่ ขั้วของแบตเตอรี่ สะพานไฟ แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ แผ่นกั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ยาวลักษณ์ สิทธิขุนทด, 2560)

1) แผ่นธาตุ (Plates) โดยแบตเตอรี่มีแผ่นธาตุ 2 ชนิด คือแผ่นธาตุบวก (Positive Plate) และแผ่นธาตุลบ (Negative Plate) โดยแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วเปอร์ออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกัน จนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์ แล้วกั้นไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้น

2) แผ่นกั้น (Separators) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบแตะกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้ทำจากไฟเบอร์กลาสหรือยางและอาจจะรวมถึงโพลีเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นและมีรูพรุน เพื่อให้ น้ำกรดสามารถไหลถ่ายเทไปมาได้และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ

3) น้ำกรดหรือน้ำยาลีเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) ที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ผสมกับน้ำบริสุทธิ์ (H_2O) ให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 1.250-1.300 ขึ้นอยู่กับการออกแบบและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่นการคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศหนาว เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง ซึ่งปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่ แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ทั้งนี้ไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำ แต่ปริมาณไอออนที่อยู่ในสารละลายก็ต้องเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลายนอกจากจะมีกรดซัลฟิวริก

4) กลุ่มแผ่นธาตุ ประกอบขึ้นจากแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ โดยคั่นด้วยแผ่นกั้น โดยจำนวนแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่และความจุของกระแสไฟฟ้า โดยส่วนบนของกลุ่มแผ่นธาตุจะถูกเชื่อมต่อกันระหว่างช่องเซลล์ด้วยสะพานไฟ โดยด้านหนึ่งของกลุ่มจะเป็นขั้วบวก และอีกด้านหนึ่งจะเป็นขั้วลบ

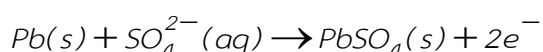
5) ฝาจุกแบตเตอรี่หรือฝาจุกระบายอากาศ ส่วนมากทำจากพลาสติก ด้านบนของจุกจะมีรูเล็กๆ เพื่อระบายแก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นตลอดการใช้งานควรรักษาความสะอาดระบายแก๊สไม่ให้เกิดการอุดตัน

2.4.5 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประกอบด้วยเซลล์หรือหมู่ของเซลล์ต่อเข้าด้วยกัน ในหมู่ของเซลล์ ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของแผ่นธาตุทั้งแผ่นบวกและแผ่นลบซึ่งแผ่นธาตุทั้งบวกและลบทำจากโลหะต่างชนิดกัน ถูกกั้นด้วยฉนวน เรียกว่า “แผ่นกั้น” โดยนำมาจุ่มไว้ในอิเล็กโทรไลต์หรือที่เรียกว่า “น้ำกรดผสม” (Sulfuric Acid) น้ำกรดผสมจะทำปฏิกิริยากับแผ่นธาตุในเชิงเคมีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และแต่ละเซลล์สามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ของแบตเตอรี่ส่วนมากจะถูกนำมาต่อเข้ากันแบบอนุกรม (Series) ซึ่งจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ เช่นแบตเตอรี่ 12 โวลต์จะต้องใช้จำนวนเซลล์ 6 เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม แบตเตอรี่ 24 โวลต์ จะใช้ 12 เซลล์เป็นต้น

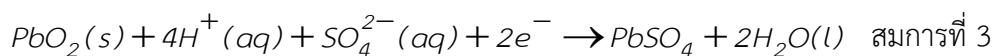
การเกิดพลังงานไฟฟ้า แผ่นธาตุสองชนิด “แผ่นธาตุบวก” คือ Lead Dioxide และ “แผ่นธาตุลบ” คือ Sponge Lead ถูกนำมาจุ่มลงในกรดผสม “แรงดันไฟฟ้า” จะเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ซึ่งเมื่อระบบแบตเตอรี่ครบวงจร กระแสก็จะไหลทันทีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ในกรณีนี้เรียกว่า “การคายประจุไฟ”(Discharge) ซึ่งตัวกรดในน้ำกรดผสมวิ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ โดยจะค่อยๆ เปลี่ยนสถานะของแผ่นธาตุทั้งสองชนิดให้กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulfate) เมื่อแผ่นธาตุทั้งบวก และลบเปลี่ยนสภาพไปเป็นโลหะชนิดเดียวกันคือ “ตะกั่วซัลเฟต” แบตเตอรี่จะไม่มีสภาพของความแตกต่างทางแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าจะหยุดไหล แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว-กรด จะประกอบด้วยอิเล็กโทรดคือแผ่นตะกั่ว มีกรดกำมะถันเจือจางเป็นอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงตามสมการที่ 2 และ 3

ขั้วแอโนด (ขั้วลบ)



สมการที่ 2

ขั้วแคโทด (ขั้วบวก)

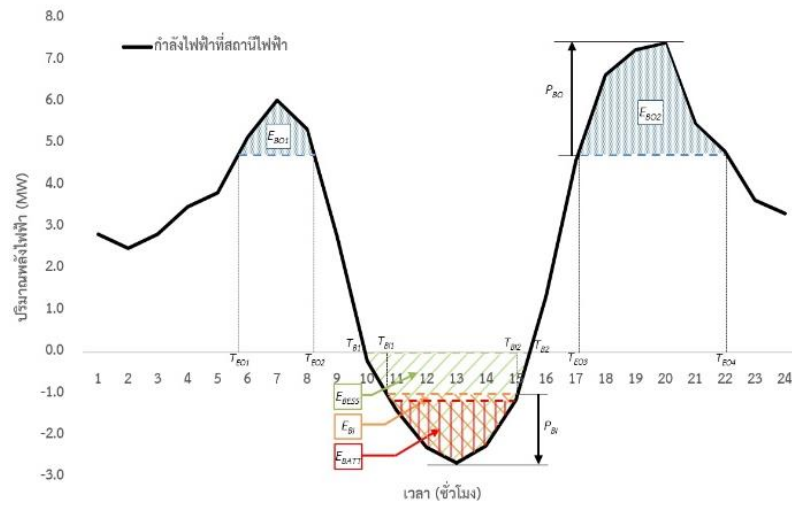


อิเล็กโทรดที่เป็นขั้วแอโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ในขณะที่ขั้วแคโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วไดออกไซด์ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และปล่อยอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก

ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Soleplate) ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้ง 2 และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งรวมกับไอออนของออกซิเจนจากแคโทดกลายเป็นน้ำ โดยเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากแคโทดไปสู่แอโนด โดยสูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้น ในขณะเดียวกันกับเซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานการณ์ประจุและคายประจุของเซลล์ได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งจะบอกได้ว่าเซลล์ใกล้สถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปใหม่

2.5 การหาค่าเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของแบตเตอรี่

สำหรับการติดตั้งระบบเก็บพลังงานเพื่อเก็บพลังงานส่วนเกินจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องคำนึงถึงขนาดของระบบเก็บพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าพิกัด (rate power) หน่วยเป็นเมกะวัตต์ และพลังงานไฟฟ้าพิกัด (rate energy) หน่วยเป็นเมกะวัตต์ชั่วโมง และต้องคำนึงถึงช่วงเวลาเก็บพลังงานและช่วงเวลาจ่ายพลังงาน โดยคำนึงถึงความสามารถในการคายประจุ และประสิทธิภาพของระบบเก็บพลังงาน พร้อมด้วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถเก็บและจ่ายออกได้ สำหรับขนาดของกำลังไฟฟ้าพิกัด ช่วงเวลาเก็บพลังงานและช่วงเวลาจ่ายพลังงาน มีรายละเอียดและเงื่อนไขการคำนวณตามสมการที่ 4 – 7 และภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การหาค่ากำลังไฟฟ้าพิกัด ช่วงเวลาการเก็บพลังงาน และช่วงเวลาจ่ายพลังงาน

ที่มา: การวิเคราะห์หาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปานกลางที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมากเพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายระบบจำหน่าย (2560 : งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กฟภ. ปี 2560)

$$E_{BATT} = E_{BESS} \cdot \eta_{BATT} \quad \text{สมการที่ 4}$$

$$E_{BI}, E_{BO} = E_{BATT} \cdot \eta_{BESS} \quad \text{สมการที่ 5}$$

$$E_{BO} = E_{BO1} + E_{BO2} \quad \text{สมการที่ 6}$$

$$P_{BESS} = \max(P_{BI}, P_{BO}) \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ	E_{BESS}	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าพิกัดของระบบเก็บพลังงาน (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
	E_{BATT}	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถเก็บสะสมได้ (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
	η_{BATT}	คือ	ความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่ (เปอร์เซ็นต์)
	η_{BESS}	คือ	ประสิทธิภาพของระบบเก็บพลังงาน (เปอร์เซ็นต์)
	E_{BI}	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าช่วงที่ระบบเก็บพลังงาน เก็บพลังงาน (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
	E_{BO}	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าช่วงที่ระบบเก็บพลังงาน จ่ายพลังงาน (เมกะวัตต์ชั่วโมง)

E_{BO1}	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าช่วงที่ระบบเก็บพลังงาน จ่ายพลังงานช่วงที่ 1 (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
E_{BO2}	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าช่วงที่ระบบเก็บพลังงาน จ่ายพลังงานช่วงที่ 2 (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
P_{BESS}	คือ	กำลังไฟฟ้าพิกัดของระบบเก็บพลังงาน (เมกะวัตต์)
P_{BI}, P_{BO}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วงเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงานตามลำดับ (เมกะวัตต์)

2.6 การคำนวณความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับการคำนวณความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนหรือรายได้ที่เกิดจากโครงการกับต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการในรูปของตัวเงินและประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนในโครงการหรือความสามารถทำกำไรของโครงการว่าเป็นไปได้หรือไม่ ผู้ลงทุนหรือผู้ถือหุ้นจะได้ผลตอบแทนหรือกำไรอย่างน้อยเพียงใด ลงทุนแล้วจะใช้เวลาคืนทุนนานแค่ไหนรวมทั้งประมาณการแนวโน้มในอนาคตว่าจะสามารถทำกำไรได้อย่างไร ในการดำเนินโครงการจะก่อให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าต่อการลงทุนอย่างน้อยแค่ไหนซึ่งการวิเคราะห์โครงการทางการเงินจะเน้นที่ตัวเงินโดยคิดมูลค่าตามราคาตลาดและวิเคราะห์สถานะทางการเงินของโครงการและแหล่งที่มาของเงินทุนจากประมาณการงบการเงินของโครงการ ทำให้ทราบสถานะทางการเงินของโครงการ ความสามารถในการทำกำไรของโครงการรวมทั้งสภาพคล่อง แหล่งที่มาของเงินทุน ความสามารถในการกู้ยืมและชำระคืนเงินกู้ ซึ่งผลของการวิเคราะห์สถานะทางการเงินของโครงการจะเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจในการปล่อยเงินกู้หรือการร่วมลงทุนของสถาบันการเงินและนักลงทุนและทำให้มั่นใจได้ว่าโครงการมีความเป็นไปได้ในการลงทุนสามารถดำเนินโครงการไปได้ตามวัตถุประสงค์โดยไม่มีปัญหาขาดสภาพคล่องทางการเงินและมีแหล่งเงินทุนสนับสนุนเพียงพอ อีกทั้งประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการในการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าโครงการที่ลงทุนไปนั้นจะคุ้มค่ากับการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิต โดยจะคำนึงถึงต้นทุนภายนอก ต้นทุนค่าเสียโอกาส มองในแง่ส่วนรวม สังคมหรือระดับประเทศ การวิเคราะห์โครงการทางการเงินและเศรษฐศาสตร์จะเน้นที่มูลค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งการประเมินผลตอบแทนหรือผลประโยชน์จากโครงการเปรียบเทียบกับต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการจะแตกต่างจากการวิเคราะห์โครงการทางการเงิน

สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การประมาณการหรือการคาดคะเนงบการเงินของโครงการ โดยการวิเคราะห์โครงการทางการเงินและเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาจากการประมาณการงบกระแสเงินสด การเคลื่อนไหวของกระแสเงินสดเข้า

และเงินสดออกของโครงการซึ่งจะทำให้วิเคราะห์ได้ว่าโครงการมีรายได้หรือเงินสดไหลเข้ามาในช่วงใด และต้องมีรายจ่ายหรือเงินสดไหลออกซึ่ง จำเป็นต้องใช้เงินทุนหรือต้องกู้ยืมเงินในช่วงเวลาใดมากน้อย แค่ไหนเพื่อจะได้วางแผนจัดหาเงินทุนได้ทัน ทำให้การดำเนินงานของโครงการไม่ต้องหยุดชะงัก หรือไม่มีปัญหาทางการเงินและสามารถประมาณการได้ว่าโครงการจะสามารถชำระคืนเงินกู้ได้ เมื่อไหร่และมีกำไรหรือคุ้มทุนในช่วงเวลาใด และการวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงินหลังจากที่ได้เริ่ม ดำเนินโครงการไปแล้วจะประมาณการงบการเงินและนำข้อมูลจากงบการเงินต่างๆ มาคำนวณหา อัตราส่วนทางการเงินเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์โครงการทางการเงินเพื่อชี้ถึงฐานะทาง การเงินของโครงการ ความสามารถทำกำไรของโครงการ รวมทั้งสภาพคล่องของโครงการ ความสามารถชำระหนี้และการจ่ายเงินปันผลซึ่งอัตราส่วนทางการเงินโดยทั่วไป เช่น อัตราส่วนกำไร สุทธิต่อยอดขาย (net profit margin on sales) อัตราผลตอบแทนต่อสินทรัพย์ทั้งหมด (return on total assets) ซึ่งจะแสดงถึงผลตอบแทนจากการลงทุนหรือความสามารถในการลงทุนของโครงการ ว่ามีประสิทธิภาพอย่างไร

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินเพื่อจัดลำดับความสำคัญในการตัดสินใจลงทุน รวมทั้งเพื่อให้การตัดสินใจลงทุนมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยเครื่องมือทาง การเงินเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยมีการจัดทำประมาณการกระแสเงินสดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นใน อนาคตก่อน แล้วนำมาคำนวณผ่านเครื่องมือต่างๆ ที่สำคัญ ดังนี้ (สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2558)

2.6.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการ เท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลา คืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการ ประเมินคร่าวๆและรวดเร็วเหมาะกับเม็ดเงินลงทุนจำนวนไม่มาก อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะเวลา คืนทุนมีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงิน สดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน ทำให้อาจเกิดการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในบางกรณีอาจแก้ปัญหาโดยนำกระแสเงินสดมาปรับลดด้วยอัตราคิดลด ซึ่งเป็นการสะท้อน มูลค่าเงินตามเวลาก่อน แล้วค่อยนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาคืนทุน แบบคิดลด (discount payback period : DPB) โดยมีสูตรการคำนวณตามสมการที่ 8

$$PBP = \frac{OC}{CI}$$

สมการที่ 8

เมื่อ	PBP	คือ	ระยะเวลาการคืนทุน (ปี)
	OC	คือ	เงินลงทุนของโครงการ (Original Cost of the Asset)
	CI	คือ	เงินรายต่อปี (Cash Inflows)

โดยทั่วไปเกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการนั้นๆมีความต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลาใด สำหรับวิธีการคำนวณระยะเวลาคืนทุนนี้ เป็นการพิจารณาอย่างคร่าวๆ และมีความสะดวกในการเปรียบเทียบหรือจัดลำดับโครงการโดยเฉพาะโครงการขนาดเล็ก การคืนทุนเร็วจะช่วยให้โครงการมีสภาพคล่องดีขึ้นและมีความเสี่ยงน้อยลง แต่ก็มีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน

2.6.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน โดยใช้อัตราคิดลด (discount rate) ตัวใดตัวหนึ่งมาปรับมูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ที่จุดเดียวกัน คือ ณ ปัจจุบัน วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV นับเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการนำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาร่วมพิจารณา และเป็นการคำนวณกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ โดยมีสูตรการคำนวณตามสมการที่ 9

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ	CF_t	คือ	กระแสเงินสดสุทธิ ณ ปีที่ t
	I	คือ	เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ
	t	คือ	ปีของโครงการ
	n	คือ	อายุโครงการ
	k	คือ	ค่าของทุนหรืออัตราผลตอบแทนที่ต้องการ

โดยทั่วไปเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิที่คำนวณได้ของโครงการมีค่ามากกว่า 0 ก็ตัดสินใจลงทุนหรือยอมรับโครงการนั้น หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 หรือ มีค่าเป็นลบก็ไม่ลงทุนในโครงการดังกล่าวเนื่องจากไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน สำหรับในกรณีที่มีโครงการลงทุนที่น่าสนใจมากกว่า 1 โครงการ จะต้องจัดอันดับโครงการโดยเรียงลำดับตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่คำนวณได้จากค่ามากไปหาน้อย

2.6.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน หมายถึง อัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการนั่นเอง ในทางปฏิบัติอัตราผลตอบแทนภายในนิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีอัตราผลตอบแทนภายในนี้มีการแสดงค่าผลตอบแทนเป็นร้อยละ ซึ่งทำให้เข้าใจง่ายและมีความสะดวกในการเปรียบเทียบระหว่างโครงการต่างๆที่เป็นทางเลือกของการลงทุนที่มีอยู่ขณะนั้น โดยมีสูตรการคำนวณตามสมการที่ 10

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = I$$

สมการที่ 10

เมื่อ	IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนภายใน
	I	คือ	เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ
	CF_t	คือ	กระแสเงินสดสุทธิ ณ ปีที่ t
	t	คือ	ปีของโครงการ
	n	คือ	อายุโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่าน้อยกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน แสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

2.6.4 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit/Cost Ratio : BCR)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดที่ได้รับตลอดอายุโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการนั้น เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนในรูปของกระแสรายได้ที่เกิดขึ้นในอนาคตตลอดอายุโครงการที่มีการปรับค่าให้เป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วกับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยมีสูตรการคำนวณตามสมการที่ 11

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}}$$

สมการที่ 11

เมื่อ	BCR	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน
	B_t	คือ	กระแสเงินสดรับ ณ ปี ที่ t
	C_t	คือ	กระแสเงินสดจ่าย ณ ปี ที่ t
	t	คือ	ปีของโครงการ
	n	คือ	อายุโครงการ
	k	คือ	อัตราคิดลด

สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจของวิธีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน คือ หากค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนที่คำนวณได้ของโครงการมีค่ามากกว่า 1 ก็ตัดสินใจลงทุนหรือยอมรับโครงการนั้น เนื่องจากโครงการจะได้รับผลตอบแทนจากกระแสเงินสดรับทั้งหมดในรูปมูลค่าปัจจุบันสูงกว่าเม็ดเงินที่ลงทุนไปนั่นเอง อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีทางเลือกหลายโครงการและแต่ละโครงการมีขนาดของเงินลงทุนไม่เท่ากัน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าโครงการใดดีกว่ากัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้า และการลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า รวมทั้งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเชื่อมโยง ได้มีการศึกษาไว้ดังนี้

ประทีป พุผล (2553) ทำการศึกษาผลกระทบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน หรือผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) ให้แก่

กพน., กพท. ซึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กพท. มีระบบการจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล กระแสไฟจะไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดในทิศทางเดียว แต่เมื่อมี VSPP ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Distributed Generator : DG) ต่อเชื่อมและจ่ายไฟฟ้าขนานเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง ส่งผลกระทบด้านเทคนิคต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) แรงดันไฟฟ้ารวมถึงระดับกระแสลัดวงจร (Fault Level) ทำการศึกษาโดยโปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง DigSILENT เพื่อประมวลผลกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และเปรียบเทียบผลต่างกรณีที่ไม่มีการติดตั้ง DG กับกรณีที่มีการติดตั้ง DG พบว่าการที่มี DG ติดตั้งอยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้ากับกลุ่มโหลด ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนใหญ่จะลดลง ยกเว้นกรณีที่ DG มีขนาดใหญ่ มีปริมาณโหลดน้อยและมีระยะทางจากสถานีไฟฟ้าถึงกลุ่มโหลดมาก จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะการติดตั้งที่มีกลุ่มโหลดอยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้ากับตำแหน่งการติดตั้ง DG พบว่า หาก DG มีขนาดเล็กถึงปานกลาง (ไม่เกิน 5 เมกะวัตต์) ระยะทางจาก DG ถึงกลุ่มโหลดไม่มากนัก (ไม่เกิน 15 กิโลเมตร) ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนใหญ่จะลดลง ยกเว้นระบบจำหน่ายที่มีปริมาณโหลดน้อยจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้น และหาก DG มีขนาดใหญ่ขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะยิ่งเพิ่มขึ้น ยกเว้นกรณีที่ระยะทางจากสถานีไฟฟ้าถึงกลุ่มโหลดมาก และมีปริมาณโหลดมากค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะลดลง

R. Srinivasa et al. (2013) ทำการวิเคราะห์และศึกษาการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าต่อรวม ด้วยการกำหนดที่ตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ โดยใช้แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส และ 69 บัส ที่มีขนาดโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าจำลอง 3 ระดับ ซึ่งจากผลการจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ พบว่าระบบไฟฟ้าที่กำหนดที่ตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหม่ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง และมีเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

Ramakrishnan Venkatraman and Siddhartha Kumar Khaitan (2016) ศึกษาการปรับกำลังไฟฟ้าแบบรีแอกทีฟที่เหมาะสมเพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเส้นทางเดียว (Radial Distribution System) ซึ่งกำลังไฟฟารีแอกทีฟจากโรงไฟฟ้าสามารถปรับปรุงเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าและลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ แต่หากปรับกำลังไฟฟ้าแบบรีแอกทีฟมากเกินไปจะส่งผลให้หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการศึกษาจะใช้แบบจำลอง 33 บัส แบ่งกรณีศึกษาให้โรงไฟฟ้าจ่ายเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริง, ให้โรงไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงพร้อมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ สำหรับลดการสูญเสียในสายจำหน่าย และให้โรงไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงพร้อมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ สำหรับลดการสูญเสียทั้งระบบ ผลการวิจัยพบว่าการปรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ สำหรับลดการสูญเสียในสายจำหน่ายสามารถช่วยปรับปรุงเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าได้ดีกว่า และลดหน่วยสูญเสียในสายจำหน่ายไฟฟ้าได้ดีที่สุด

M. A. Zehir et al. (2017) ทำการศึกษาการลดผลกระทบเชิงลบจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าแรงต่ำผ่านระบบการจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid System) ทำการวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ PSCAD โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบไฟฟ้าที่ไม่ใช้การจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก และระบบไฟฟ้าที่มีการจัดการด้วยระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กและระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดแรงดันเกินและแรงดันต่ำ ผลการวิจัยพบว่าระบบไฟฟ้าที่มีการจัดการด้วยระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กโดยควบคุมกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าสามารถป้องกันการเกิดแรงดันเกินและแรงดันต่ำในระบบไฟฟ้าได้ พร้อมทั้งช่วยลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า

Tang Y et al. (2015) ทำการประเมินระบบไฟฟ้าแรงกลาง (Medium Voltage) ภายใต้การแพร่กระจายของระบบจ่ายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้า 12 กิโลโวลต์ 56 บัส โดยการปรับชุดควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งแบ่งการศึกษาเป็น 3 ลักษณะ คือ ปรับค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับศูนย์ (ไม่มีกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ), ปรับแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ให้เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด และปรับให้อินเวอร์เตอร์รับและจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เพื่อรักษาระดับแรงดันให้เป็นไปตามที่กำหนด ทำการวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ผลการวิจัยพบว่า การควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้รับและจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ สำหรับผลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียพบว่าการควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้ปรับแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนดส่งผลให้หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการปรับอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับศูนย์ ส่งผลให้หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด

K. Fekete et al. (2016) ทำการศึกษาผลกระทบของระบบจัดการพลังงานในด้านเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยระบบจัดการพลังงานประกอบไปด้วยส่วนสำคัญหลายส่วนเช่น ชุดควบคุมอุปกรณ์จ่ายพลังงาน ระบบจ่ายพลังงาน ระเบียบพลังงาน ที่จะย้ายการใช้พลังงานในช่วงที่ไฟฟ้ามีราคาแพง ไปใช้ในช่วงที่ไฟฟ้ามีราคาถูก โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 สมมุติให้มีบ้านที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าติดตั้งระบบจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์ 3 หลัง กรณีที่ 2 สมมุติให้มีบ้านที่ติดตั้งระบบจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ 5 หลัง และกรณีที่ 3 สมมุติให้มีบ้านที่ติดตั้งระบบจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ 7 หลัง ซึ่งผลการวิจัยพบว่าหากมีการใช้ระบบจัดการพลังงาน (ระบบเก็บพลังงานและชุดควบคุม) จะสามารถเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าได้ โดยลดผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดการลดลงอย่างฉับพลันจากกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่หายไปอย่างฉับพลันในทุกกรณีศึกษา นอกจากนี้การใช้ระบบจัดการพลังงานยังสามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าลงได้ในทุกกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี

V. Chobanov (2016) ศึกษาผลกระทบของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมโยงกับระบบโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart Grids) โดยใช้ระบบเก็บพลังงานขนาดต่างๆ เพื่อหาจุดติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนและหน่วยสูญเสียที่ต่ำ ใช้แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงกลาง 23 โหนด มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ทำการวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ SPREAD ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการลงทุน หน่วยสูญเสีย การซ่อมบำรุง และแรงดันไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้กระจายตามโหนดต่างๆ พร้อมระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ด้วยระบบบริหารจัดการที่เหมาะสม สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าลงได้

ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์ และคณะ (2560) ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปานกลางที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลองวงจรมาตรฐาน 12 บัส พิกัดแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 10 เมกะวัตต์ ระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 17 กิโลเมตร กำหนดให้ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เก็บพลังงานส่วนเกินที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตช่วงกลางวัน และนำพลังงานดังกล่าวมาใช้ในช่วงที่วงจรระบบไฟฟ้ามีโหลดสูง ติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในตำแหน่งสถานีไฟฟ้า, โหลดผู้ใช้ไฟฟ้าสูงสุด และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้มากที่สุดถึงร้อยละ 84.48 และการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งสถานีไฟฟ้า ไม่สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้

ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์ และคณะ (2560) ทำการวิเคราะห์หาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปานกลางที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายระบบจำหน่าย โดยใช้วงจรจากสถานีไฟฟ้าโพธาราม วงจรที่ 7 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นำมาสร้างแบบจำลอง 12 บัส พร้อมเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่กับบัสของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดต่างๆ วิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory โดยกำหนดให้ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เก็บพลังงานส่วนเกินที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตช่วงกลางวัน และนำพลังงานดังกล่าวมาใช้ในช่วงที่วงจรระบบไฟฟ้าเกิดแรงดันต่ำ ผลการวิจัยพบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีขนาดร้อยละ 25 ของพลังงานไฟฟ้าช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายเกิดกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายระบบจำหน่ายให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ และการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีขนาด ร้อยละ 75 ของพลังงานไฟฟ้าช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายเกิดกว่าโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า เพียงพอสำหรับช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าปลายสายให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและการเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่รับเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถใช้ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เชื่อมโยงกับบัสของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อเก็บพลังงานส่วนเกินจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน และนำพลังงานดังกล่าวมาช่วยเสริมในช่วงเวลาที่โหลดผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาหาตำแหน่งการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า และหาขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและปรับปรุงเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ กฟผ. กำหนด พร้อมทั้งคำนวณหาความคุ้มค่าการลงทุน โดยการสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากข้อมูลจริง และสร้างแบบจำลองระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อเชื่อมโยงกับบัสต่างๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนด จากนั้นวิเคราะห์หาค่าหน่วยสูญเสียและค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยซอฟต์แวร์วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า และนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และตำแหน่งเชื่อมโยงระบบดังกล่าวที่เหมาะสม

3.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องการใช้ซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถในการกำหนดค่าต่างๆ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะปรับเปลี่ยนตำแหน่งต่างๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

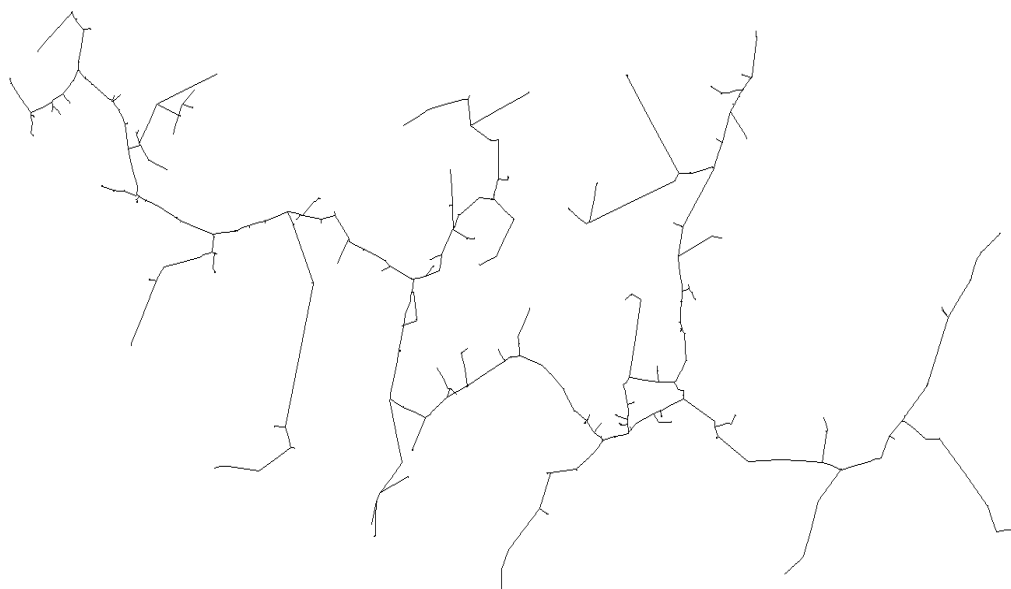
เพื่อการบรรลุวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory รุ่น 15.1.7 เนื่องจากซอฟต์แวร์สามารถใช้ข้อมูลจริงในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วน เช่น ค่าพารามิเตอร์สายไฟฟ้า สามารถเลือกลักษณะการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้ สามารถกำหนดปริมาณโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามช่วงเวลาได้ สามารถใช้ฟังก์ชัน Time Sweep MW ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของซอฟต์แวร์ (DigSILENT Programming Language : DPL Script) สำหรับวิเคราะห์และคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยซอฟต์แวร์สามารถแสดงผลเป็นกราฟ และชุดข้อมูลตามช่วงเวลาได้

นอกจากนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel รุ่น 2013 เพื่อนำผลการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory มาวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return : IRR) และระยะเวลาการคืนทุน (payback period : PBP) ที่เหมาะสม ตามเงื่อนไขที่กำหนด

3.2 แบบจำลองการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

3.2.1 วงจรระบบไฟฟ้า

จากฐานข้อมูลผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ในพื้นที่การไฟฟ้าเขต 3 ภาคกลาง พบว่า ที่สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี รหัสวงจร DBA04 ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าแบบเส้นทางเดียว ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าฐาน 22 กิโลโวลต์ มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี 1 จำกัด ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 9.8 เมกะวัตต์ เชื่อมโยงและจำหน่ายไฟฟ้าให้ กฟภ. ปริมาณเสนอขาย 8.0 เมกะวัตต์ โดยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าว เชื่อมโยงในตำแหน่งปลายสายระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้าประมาณ 25 กิโลเมตร มีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้ากระจายอยู่ทั่วทั้งวงจร โดยมีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าหนาแน่นช่วงปลายสายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังแสดงตามแผนผังวงจรจากฐานข้อมูลระบบไฟฟ้าที่ถูกแปลงให้สามารถแสดงผลในซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory ในภาพที่ 9 ซึ่งการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปริมาณเสนอขายเท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้าสามารถรับซื้อได้นั้น จะส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าสูงขึ้น เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐานขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้าเต็มพิกัด และเกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่ามาตรฐานในขณะที่โหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าสูง



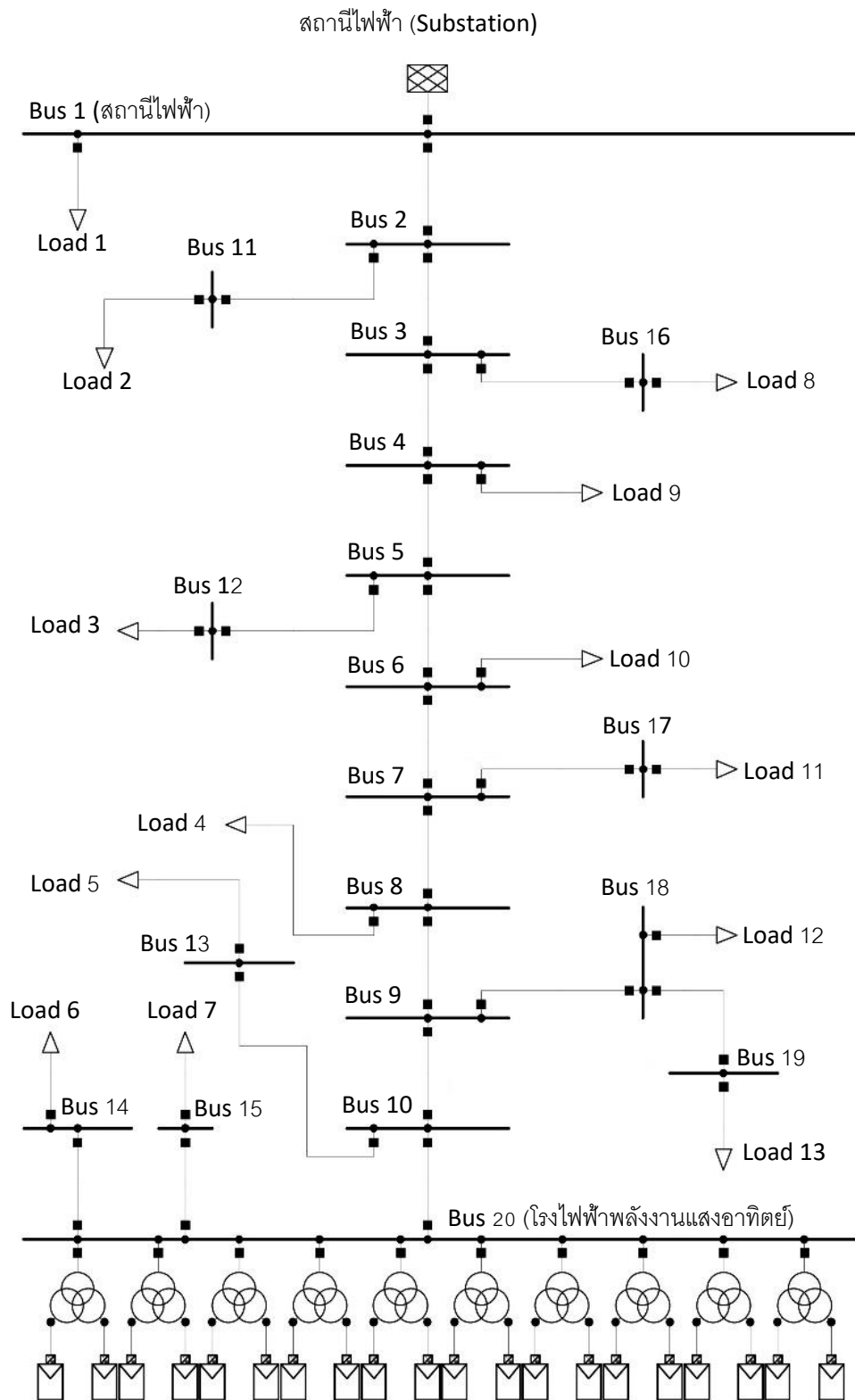
ภาพที่ 9 แผนผังวงจรแสดงการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า รหัสวงจร DBA04 สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี

สำหรับแผนผังวงจรระบบไฟฟ้าตามภาพที่ 9 สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าต่างๆ ที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากแผนผังวงรดังกล่าวมีข้อมูลอุปกรณ์ต่าง เช่น บัส หม้อแปลง โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า

ที่มากเกินไปจนจำเป็น ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลซับซ้อนและใช้เวลานาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำแผนผังวงจรจากฐานข้อมูลระบบไฟฟ้าดังกล่าว มาสร้างแผนผังวงจรระบบไฟฟ้าจำลอง 20 บัส เพื่อจำลองการไหลของพลังไฟฟ้าตามกลุ่มโหลด ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยกำหนดค่าระดับแรงดันไฟฟ้าฐาน 22 กิโลโวลต์ หรือ 1.0 เพอร์ยูนิท (P.U.) กำหนดแรงดันไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้า 22.66 กิโลโวลต์ หรือ 1.03 P.U. ใช้สายไฟฟ้าขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ทั้งวงจร โดยมีค่าพารามิเตอร์ของสายไฟฟ้าเพื่อใช้กำหนดในซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory เป็นไปตามตารางที่ 6 และระยะทางของสายไฟฟ้าระหว่างบัสต่างๆ ตามตารางที่ 7 เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่บัส 20 มีระยะทางจากสถานีไฟฟ้าถึงบัสที่ 20 รวม 25 กิโลเมตร เชื่อมโยงโหลดทั้งหมด 13 ตำแหน่ง โดยมีค่าโหลดแต่ละตำแหน่ง ซึ่งแบ่งตามร้อยละของโหลดรวมทั้งวงจรตามตารางที่ 8 โดยโหลดมีหนาแน่นช่วงปลายสายคือโหลดที่ 11, 12 และ 13 รับกำลังไฟฟ้าร้อยละ 45 ของกำลังไฟฟ้าทั้งวงจร

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟฟ้าขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร

ที่	ตัวแปร	ค่าสำหรับซอฟต์แวร์
1	Conductor Material	Aluminum
2	Cable/OHL	Overhead Line
3	System Type	AC 3 Phase
4	Max. Operational Temperature	80 dec.C
5	Rated Voltage	22 kV
6	Rated Current	0.429 kA
7	Nominal Frequency	50 Hz
8	Parameter for 1,2 Sequence	
	- AC-Resistance R' (20 C)	0.2106598 Ohm/km
	- Reactance X'	0.2985855 Ohm/km
9	Parameter for Zero Sequence	
	- AC-Resistance R0'	0.402942 Ohm/km
	- Reactance X0'	1.857875 Ohm/km



ภาพที่ 10 แผนผังวงจรวจรไฟฟ้าเพื่อจำลองการไหลของพลังไฟฟ้าตามกลุ่มโหลด
ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช รหัสวงจร DBA04

ตารางที่ 7 ระยะทางของสายไฟฟ้าระหว่างบัสต่างๆ

Bus - Bus	ระยะทาง (km)
Bus 1 - Bus 2	2.5
Bus 2 - Bus 3	2.5
Bus 3 - Bus 4	2.5
Bus 4 - Bus 5	2.5
Bus 5 - Bus 6	2.5
Bus 6 - Bus 7	2.5
Bus 7 - Bus 8	2.5
Bus 8 - Bus 9	2.5
Bus 9 - Bus 10	2.5
Bus 10 - Bus 20	2.5
Bus 2 - Bus 11	2
Bus 5 - Bus 12	1.5
Bus 10 - Bus 13	2.5
Bus 20 - Bus 14	2
Bus 20 - Bus 15	2
Bus 3 - Bus 16	4
Bus 7 - Bus 17	2
Bus 9 - Bus 18	1.5
Bus 18 - Bus 19	1.5

ตารางที่ 8 ค่าร้อยละของโหลดแต่ละตำแหน่ง จากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งวงจร

Load ลำดับที่	ร้อยละจากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งวงจร
Load 1	3
Load 2	6.5
Load 3	8
Load 4	5.5
Load 5	7.5
Load 6	3.5

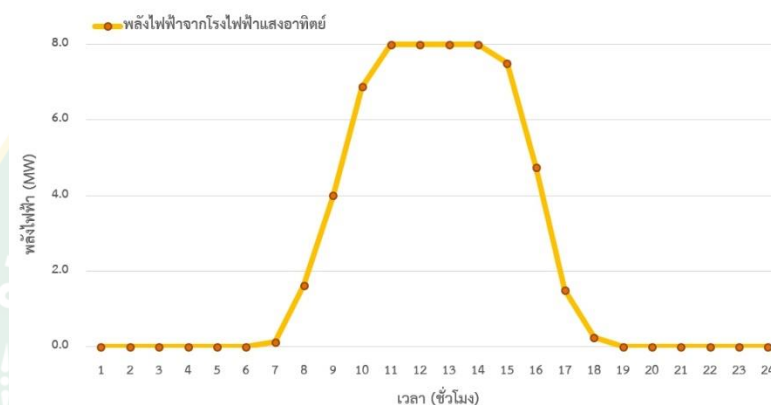
ตารางที่ 8 (ต่อ)

Load ลำดับที่	ร้อยละจากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งวงจร
Load 7	3
Load 8	7
Load 9	5.5
Load 10	5.5
Load 11	15
Load 12	20
Load 13	10

3.2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

แบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี 1 จำกัด (บริษัทฯ) ที่เชื่อมโยงกับสถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช วงจรที่ 4 (รหัสวงจร DBA04) ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าร่วมนโยบายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ในช่วงที่ยังไม่ได้กำหนดให้ปริมาณกำลังผลิตติดตั้ง (install capacity) เท่ากับปริมาณพลังไฟฟ้าพลังไฟเสนาขยาย ดังนั้นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงนโยบายนี้จะมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งสูงกว่าปริมาณพลังไฟฟ้าเสนาขยายพอสมควร เนื่องจากต้องการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบให้ได้ปริมาณมากที่สุด ในขณะที่มีความเข้มแสงน้อย และพลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกแปลงเป็นกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เพื่อลดระดับแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อให้มีระดับแรงดันตามข้อกำหนด กฟภ. ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 23.1 กิโลโวลต์ หรือ 1.05 P.U. โดยโรงไฟฟ้าของบริษัทฯ มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งที่ 9.80 เมกะวัตต์ (ใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 280 วัตต์ จำนวน 35,000 แผง) มีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนาขยายหรือปริมาณพลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายเข้าระบบสูงสุดที่ 8.0 เมกะวัตต์ ตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า (สัญญาฯ) เชื่อมโยงแผงโซลาร์เซลล์ผ่านอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 กิโลโวลต์-แอมป์แปร์ จำนวน 20 ชุด รวมกำลังผลิตของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 10 เมกะโวลต์-แอมแปร์ และเชื่อมโยงอินเวอร์เตอร์ 2 ชุด ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1.25 เมกะโวลต์-แอมแปร์ 1 ลูก โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้า รวมทั้งหมด 10 ลูก กำหนดใช้การควบคุมโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบควบคุม Power Factor (PF. Control) กำหนดค่า Power Factor ควบคุมเท่ากับ 1 ในช่วงแรงดันไม่เกิน 23 กิโลโวลต์ หรือ 1.05 P.U. และควบคุมโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบควบคุมแรงดัน (PV. Control) กำหนดให้รักษาระดับแรงดันคงที่ 23 กิโลโวลต์ หรือ 1.05 P.U. กรณีแรงดันเริ่มเกิน 1.05 P.U. เพื่อรับกำลังรีแอกทีฟช่วยปรับระดับแรงดัน พร้อมควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 8.0 เมกะวัตต์

จากการตรวจสอบข้อมูลการจ่ายพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของ บริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี 1 จำกัด เฉลี่ยในช่วงวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562 พบว่าโรงไฟฟ้าจะเริ่มผลิตพลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ช่วงเวลาประมาณ 06.00 น. - 7.00 น. และมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นตามความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ โดยโรงไฟฟ้าผลิตพลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 8.0 เมกะวัตต์ ณ เวลาตั้งแต่ 11.00 น. ถึง 14.00 น. หลังจากนั้นพลังไฟฟ้าจะลดลงจนถึงศูนย์ ณ เวลาประมาณ 19.00 น. โดยมีรายละเอียดการจ่ายพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แสดงตามตารางที่ 9 และลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าแสดงตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี 1 จำกัด ช่วงวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562

จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. จะจ่ายพลังไฟฟ้าเต็มปริมาณสูงสุด ซึ่งไม่เหมือนกับกำลังการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ตามทฤษฎี ที่มีกำลังการผลิตสูงสุดในช่วงความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด ช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. ถึง 13.00 น. ทั้งนี้เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณกำลังการผลิต 9.8 เมกะวัตต์ มากกว่าปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขายที่ 8.0 เมกะวัตต์ ส่งผลให้ถึงแม้ว่า ช่วงเวลา 11.00 น. และ 14.00 น. ความเข้มแสงอาทิตย์ยังไม่ถึงจุดสูงสุด แต่โรงไฟฟ้าก็สามารถจ่ายพลังไฟฟ้าได้เต็มตามสัญญาฯ และโรงไฟฟ้ายังคงต้องควบคุมปริมาณพลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบไฟฟ้า ให้ไม่เกินสัญญาฯ อีกด้วย

ตารางที่ 9 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า

เวลา	พลังไฟฟ้า (เมกะวัตต์)		
	พลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าผ่านสถานีไฟฟ้า
01.00 น.	0.00	3.10	3.10
02.00 น.	0.00	2.74	2.74
03.00 น.	0.00	3.10	3.10
04.00 น.	0.00	3.83	3.83
05.00 น.	0.00	4.20	4.20
06.00 น.	0.00	5.40	5.40
07.00 น.	0.13	6.45	6.32
08.00 น.	1.63	6.97	5.35
09.00 น.	4.00	6.27	2.27
10.00 น.	6.88	5.57	-1.31
11.00 น.	8.00	5.67	-2.33
12.00 น.	8.00	5.80	-2.20
13.00 น.	8.00	5.61	-2.39
14.00 น.	8.00	5.20	-2.80
15.00 น.	7.50	5.09	-2.41
16.00 น.	4.75	5.40	0.65
17.00 น.	1.50	6.10	4.60
18.00 น.	0.25	7.18	6.93
19.00 น.	0.00	7.60	7.60
20.00 น.	0.00	7.77	7.77
21.00 น.	0.00	5.75	5.75
22.00 น.	0.00	5.30	5.30
23.00 น.	0.00	4.02	4.02
24.00 น.	0.00	3.65	3.65

3.2.3 โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้ว โหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอาคาร บ้านเรือน อาคารธุรกิจ รวมถึงกิจการขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสัดส่วนระหว่างอาคารบ้านเรือนและอาคารธุรกิจ หรือกิจการขนาดเล็กจะแตกต่างกันไปตามแต่ละวงจรไฟฟ้า สำหรับโหลดประเภทกิจการขนาดใหญ่ จะพบในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นส่วนน้อย เนื่องจากโดยทั่วไปกิจการขนาดใหญ่จะขอใช้ไฟฟ้าพิกัดแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช รหัสวงจร DBA04 ในช่วงวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562 มาเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นข้อมูลโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ พบว่าเป็นโหลดประเภทประเภทอาคารธุรกิจและบ้านเรือน โดยมีลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นไปตามภาพที่ 12 และมีรายละเอียดโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 9 ซึ่งมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเวลา 07.00 – 9.00 น. เปรียบเทียบได้กับช่วงเวลาที่ประชาชนเริ่มตื่นนอนเพื่อเตรียมตัวออกไปทำงาน ส่วนช่วงเวลา 9.00 – 16.00 น. การใช้ไฟฟ้าจะลดลงเล็กน้อย และค่อนข้างคงที่ เปรียบเทียบได้กับเวลาทำงานของอาคารธุรกิจ และกิจการขนาดเล็ก สำหรับช่วงเวลา 16.00 – 22.00 น. การใช้ไฟฟ้าเริ่มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดที่ 7.77 เมกะวัตต์ ณ เวลา 20.00 น. เปรียบได้กับช่วงที่ประชาชนกลับจากการทำงาน มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน และพักผ่อน และในช่วงเวลา 22.00 – 07.00 น. การใช้ไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดที่ 2.74 เมกะวัตต์ ณ เวลา 02.00 น. เปรียบได้กับช่วงเวลาที่ประชาชนเข้านอน



ภาพที่ 12 ลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช รหัสวงจร DBA04 ช่วงวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562

3.2.4 พลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า

สำหรับพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าสถานีไฟฟ้า คิดจากปริมาณโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า หักออกด้วยปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ยังไม่คิดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อดูปริมาณพลังไฟฟ้าส่วนเกินที่จะนำมาเก็บในระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ โดยลักษณะพลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าเป็นไปตามภาพที่ 13 และมีรายละเอียดค่าพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าตามตารางที่ 9



ภาพที่ 13 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า

จากภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าการผลิตพลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. มีมากเกินไปกว่าความต้องการของโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้เกิดพลังไฟฟ้าไหลย้อนจากโรงไฟฟ้าในตำแหน่งปลายสายผ่านสายไฟฟ้าซึ่งมีค่าความต้านทานตามระยะทาง กลับสู่สถานีไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าปริมาณสูง และเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐาน กรณีโรงไฟฟ้าควบคุมค่า Power Factor เท่ากับ 1 ซึ่งหากโรงไฟฟ้ารับกำลังรีแอกทีฟเพื่อช่วยปรับระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าปริมาณสูงขึ้นกว่าเดิม และส่งผลให้เกิดหน่วยสูญเสียเพิ่มขึ้นอีก สำหรับช่วงเวลาที่มิโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าสูงสุดยังคงเป็นช่วงเวลาเดิม ซึ่งส่งผลกระทบต่อทำให้แรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งปลายสายระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามการจำกัดเก็บพลังงานในช่วงที่มีพลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า และนำพลังงานดังกล่าวมาชดเชยช่วงที่มีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าสูงสุด จะสามารถลดหน่วยสูญเสีย และปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

3.2.5 ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

การเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายพลังงานส่วนเกินเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น มีลักษณะการเก็บพลังงานในรอบวันอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการรับหรือจ่ายพลังงานอย่างทันทีทันใดในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีการตอบสนองที่ไม่รวดเร็วได้ และตำแหน่งการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดพื้นที่ใช้งานมากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ (n_{BESS}) เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) มีคุณลักษณะแบบ deep cycle มีค่าการคายประจุ (depth of discharge : DOD) ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดความจุแบตเตอรี่ เชื่อมโยงผ่านคอนเวอร์เตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 5.0 เมกะโวลต์-แอมแปร์ ใช้การควบคุมแบบควบคุม Power Factor (PF. Control) กำหนดค่า Power Factor เท่ากับ 1 ทั้งการรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้า

โดยสาเหตุที่เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด สำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจาก มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง นั่นหมายถึงมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟกระชากที่สูงเหมาะสมสำหรับการกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และมีราคาต่อพลังงานที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าด้านการลงทุน อีกทั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่ปริมาณขนาดความจุพลังงานสูง ส่งผลให้บำรุงรักษาง่าย ต้นทุนค่าบำรุงรักษาค่อนข้างถูก

3.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระยะเวลาการคืนทุน (payback period : PBP) และอัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return : IRR) จะคิดจากหน่วยสูญเสียของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ลดลงหลังจากใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จ่ายเพื่อทดแทนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าสูง โดยคิดมูลค่าของหน่วยสูญเสียที่สามารถลดได้ตามอัตราค่าไฟฟ้าขายส่ง สำหรับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ระดับแรงดัน 11 - 33 กิโลโวลต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดสมมุติฐานสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สมมุติฐานสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

ข้อ	เรื่อง	รายละเอียด
1	อัตราค่าไฟฟ้าขายส่ง	
	- ช่วงเวลา Peak	4.2243 บาท/kWh
	- ช่วงเวลา Off-Peak	2.3567 บาท/kWh
2	การเติบโตของราคารับซื้อไฟฟ้า	ร้อยละ 3 ต่อปี
3	ระยะเวลา Peak/Off-Peak ต่อปี	
	- ระยะเวลา Peak	261 วันต่อปี
	- ระยะเวลา Off-Peak	104 วันต่อปี
4	ช่วงเวลา Peak/Off-Peak	
	- ช่วงเวลา Peak	09.00 น. - 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์
	- ช่วงเวลา Off-Peak	22.00 น. - 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ 00.00 น. - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติและวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชยและวันพีชมงคล)
5	ราคาระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	5,000,000.- บาท/MWh
6	ค่าใช้จ่ายเพื่อซ่อมบำรุง	3,000,000.- บาท/MWh/ครั้ง
7	ระยะเวลาการซ่อมบำรุง	ทุก 10 ปี
8	อายุโครงการ	30 ปี
9	มูลค่าทรัพย์สินหลังสิ้นสุดโครงการ	0 บาท

3.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

สำหรับขั้นตอนการวิจัยเพื่อหาขนาดและตำแหน่งเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสม เป็นไปตามภาพไดอะแกรมที่ 3-06 โดยมีรายละเอียดดังนี้

นำเข้าแผนผังวงจรระบบไฟฟ้า

ในขั้นตอนนี้จะนำเข้าข้อมูลระบบไฟฟ้าจากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) ของ กฟผ. โดยแปลงข้อมูลให้สามารถแสดงผลและใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory ซึ่งจะได้ข้อมูลตามภาพที่ 9 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบไปด้วยข้อมูลสถานีไฟฟ้า จุดเชื่อมต่อและข้อมูลเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดและระยะทางสายไฟฟ้า ข้อมูลโหลดสูงสุดซึ่งถูกแปลงจากขนาดหม้อแปลงแรงต่ำที่เชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง

สร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำแผนผังวงจรระบบไฟฟ้าที่ได้จากการนำเข้าข้อมูลจากระบบ GIS มาสร้างแผนผังวงจรระบบไฟฟ้าจำลองในซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory เพื่อจำลองการไหลของพลังไฟฟ้าตามกลุ่มโหลด ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า 20 บัส มีกลุ่มโหลดทั้งหมด 13 ตำแหน่ง เชื่อมโยงสถานีไฟฟ้ากับบัสที่ 1 และเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับบัสที่ 20 ดังแสดงในภาพที่ 10

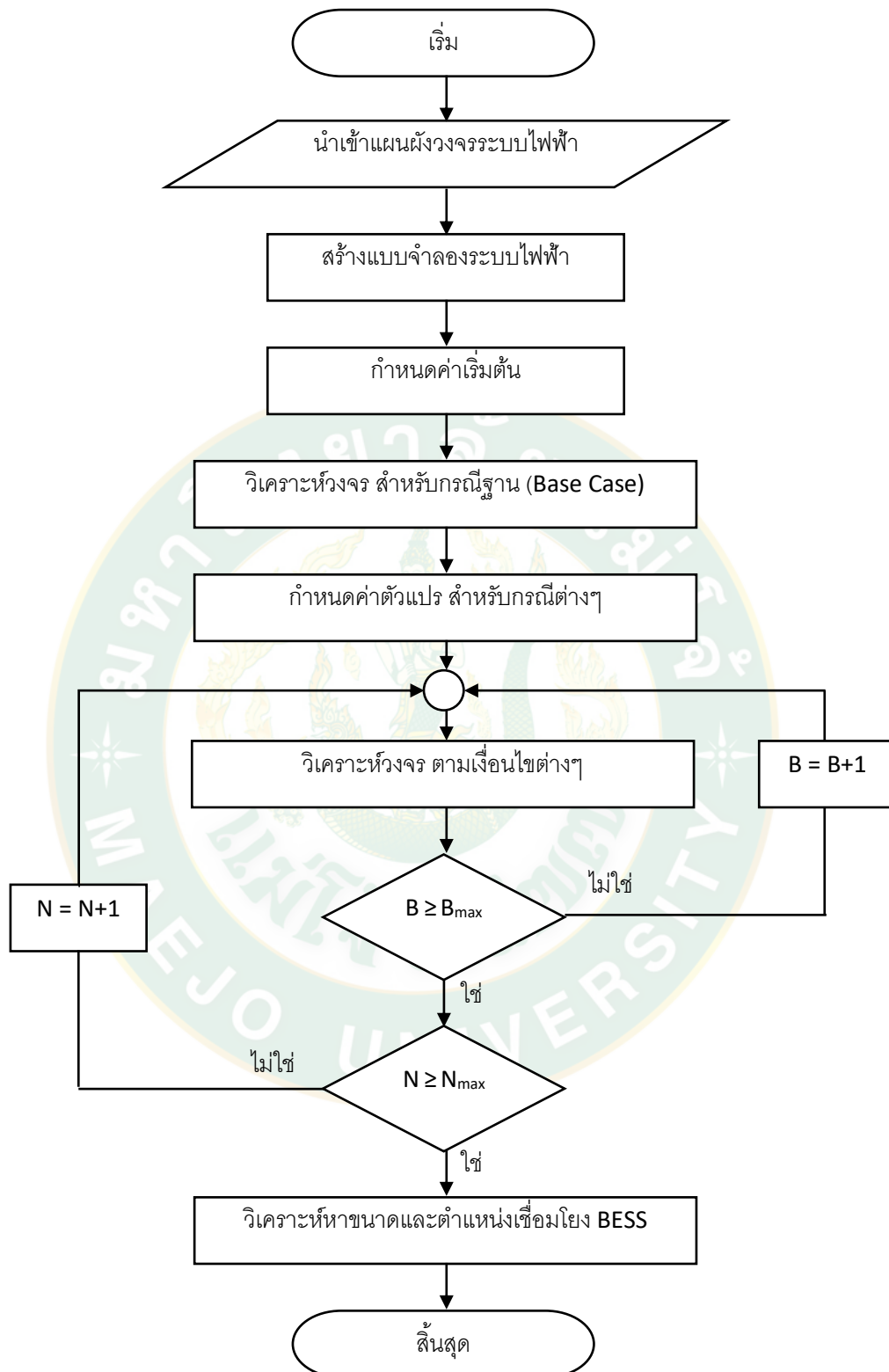
กำหนดค่าเริ่มต้น

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดค่าให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ในแบบจำลองระบบไฟฟ้า โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้า ระยะทางสายไฟฟ้า ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟฟ้า ค่าโหลดแต่ละตำแหน่ง ตามข้อ 3.2.1 กำหนดลักษณะการควบคุม และโปรไฟล์การจ่ายพลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ตามข้อ 3.2.2 กำหนดโปรไฟล์โหลดรวมทั้งวงจรเพื่อเฉลี่ยให้ค่าโหลดทั้ง 13 ตำแหน่ง ตามข้อ 3.2.3

วิเคราะห์วงจร สำหรับกรณีฐาน (Base Case)

ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์วงจรระบบไฟฟ้าจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นค่าตั้งต้น (กรณีฐาน) สำหรับเปรียบเทียบหน่วยสูญเสียที่ลดลง และระดับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง เมื่อติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตามกรณีต่างๆ โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวจะใช้ฟังก์ชัน Time Sweep MW ซึ่งเป็น DigSILENT Programming Language (DPL Script) ในซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory โดยตั้งค่าในฟังก์ชันดังกล่าวให้วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (01.00 น. - 24.00 น.) ให้วิเคราะห์เป็นรายชั่วโมง (Step size = 1 ชั่วโมง) โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงเป็นแผนภูมิค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรายชั่วโมง ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม 24 ชั่วโมง แผนภูมิแรงดัน ณ บัสที่สนใจรายชั่วโมง และสามารถ Export ค่าดังกล่าวในรูปแบบไฟล์ Microsoft Excel ได้

ผลจากการวิเคราะห์วงจร ได้หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ากรณีไม่ติดตั้งระบบเก็บพลังงานเท่ากับ 6,186.695 หน่วยต่อวัน หรือเท่ากับ 2,258,144 หน่วยต่อปี (กรณีฐาน) มีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด 20.847 กิโลโวลต์ หรือ 0.947 P.U. ณ บัสลำดับที่ 14 ณ เวลา 20.00 น. สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจะมีขนาดไม่เกิน 23.10 กิโลโวลต์ หรือไม่เกิน 1.05 P.U. เกิดที่บัส 20 หรือบัสโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากการตั้งค่าควบคุมการรับและจ่ายพลังงานกำหนดให้รับกำลังไฟฟ้านอกทีฟ เพื่อปรับปรุงค่าแรงดันไฟฟ้าไม่ให้เกินค่ามาตรฐาน



ภาพที่ 14 ไดอะแกรมการวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งเชื่อมต่อ
ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

กำหนดค่าตัวแปร สำหรับกรณีต่างๆ

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดค่าเงื่อนไข ตัวแปร และค่าโพรไฟล์การรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ สำหรับกรณีศึกษาต่างๆ โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

1) กำหนดให้ N คือลำดับขั้นในวงจรไฟฟ้า โดยขั้นที่เริ่มต้นคำนวณคือขั้นที่ 1 ($N = 1$) และขั้นสุดท้ายคือขั้นที่ 20 ($N_{\max} = 20$)

2) กำหนดให้ B แทนลำดับช่วงของขนาดความจุระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ กำหนดให้ B_{\max} แทนลำดับช่วงของค่าความจุปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ($E_{\text{BESS}(\max)}$) โดยคำนวณจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า ซึ่งจากข้อ 3.2.4 จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินเท่ากับ 20.22 เมกะวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือก $E_{\text{BESS}(\max)}$ สำหรับลำดับ B_{\max} เท่ากับ 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง และกำหนดให้ค่าความจุปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (E_{BESS}) มีค่าตั้งแต่ 10 เพอร์เซ็นต์ ถึง 100 เพอร์เซ็นต์ ของปริมาณ $E_{\text{BESS}(\max)}$ โดยให้กำหนดให้มี Step Size อยู่ที่ 10 เพอร์เซ็นต์ ดังนั้น B จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 เพื่อแทนค่า E_{BESS} แต่ละลำดับช่วง หลังจากนั้นคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ตามข้อ 2.5 ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ตามลำดับช่วง B ต่างๆ ตามตารางที่ 11 และนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาสร้างโพรไฟล์การรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สำหรับซอฟต์แวร์ DigSILENT PowerFactory โดยมีรายละเอียดค่าการรับและจ่ายพลังงานตามลำดับช่วง B ต่างๆ เป็นไปตามตารางที่ 12 และภาพที่ 15

ตารางที่ 11 ค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตามลำดับช่วง B ต่างๆ

ลำดับที่	พลังงานไฟฟ้า (Mwh) ของ			P_{BESS} (MW)	T_{Bi}	T_{Bo}
	E_{BESS}	E_{Bi}	E_{Bo}			
1	2.00	1.33	1.26	0.72	11.00 น. - 16.00 น.	19.00 น. - 21.00 น.
2	4.00	2.66	2.53	1.18	11.00 น. - 16.00 น.	18.00 น. - 21.00 น.
3	6.00	3.99	3.79	1.56	11.00 น. - 16.00 น.	7.00 น. - 8.00 น. 18.00 น. - 21.00 น.
4	8.00	5.32	5.05	1.88	11.00 น. - 16.00 น.	7.00 น. - 8.00 น. 18.00 น. - 21.00 น.
5	10.00	6.65	6.32	2.16	10.00 น. - 16.00 น.	7.00 น. - 8.00 น. 18.00 น. - 22.00 น.

ตารางที่ 11 (ต่อ)

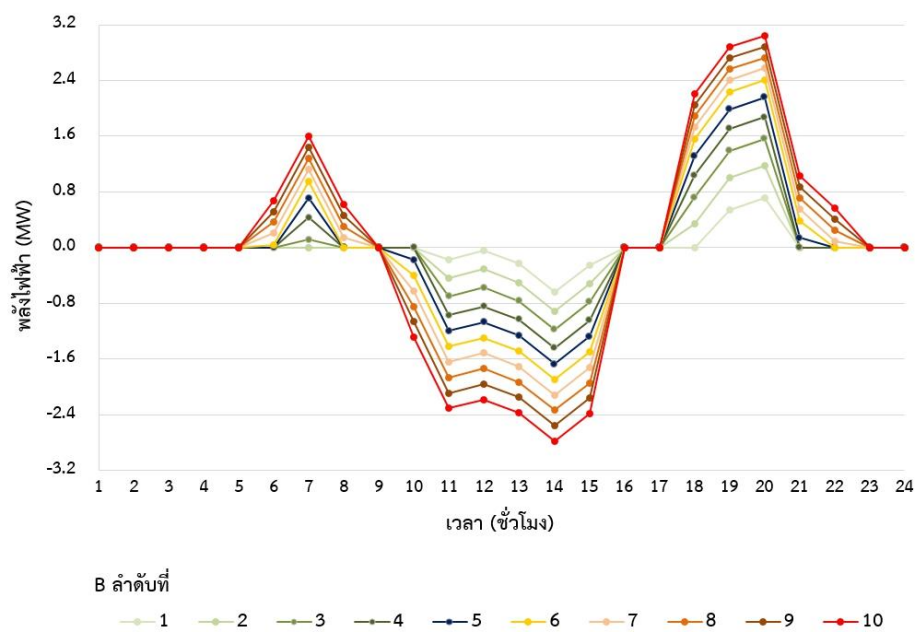
B ลำดับที่	พลังงานไฟฟ้า (Mwh) ของ			P_{BESS} (MW)	T_{BI}	T_{BO}
	E_{BESS}	E_{Bi}	E_{Bo}			
6	12.00	7.98	7.58	2.40	10.00 น. - 16.00 น.	6.00 น. - 8.00 น. 18.00 น. - 22.00 น.
7	14.00	9.31	8.84	2.57	10.00 น. - 16.00 น.	6.00 น. - 9.00 น. 18.00 น. - 23.00 น.
8	16.00	10.64	10.11	2.73	10.00 น. - 16.00 น.	6.00 น. - 9.00 น. 18.00 น. - 23.00 น.
9	18.00	11.97	11.37	2.89	10.00 น. - 16.00 น.	6.00 น. - 9.00 น. 18.00 น. - 23.00 น.
10	20.00	13.30	12.64	3.05	10.00 น. - 16.00 น.	6.00 น. - 9.00 น. 18.00 น. - 23.00 น.

ตารางที่ 12 รายละเอียดค่าการรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
ตามลำดับช่วง B ต่าง

เวลา	พลังงานไฟฟ้า (MW) สำหรับช่วง B ลำดับที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.21	0.36	0.52	0.68
07.00 น.	0.00	0.00	0.11	0.43	0.71	0.96	1.13	1.28	1.44	1.60
08.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.31	0.47	0.62
09.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18	-0.40	-0.62	-0.84	-1.06	-1.29
11.00 น.	-0.17	-0.43	-0.70	-0.97	-1.20	-1.42	-1.64	-1.86	-2.08	-2.31

ตารางที่ 12 (ต่อ)

เวลา	พลังไฟฟ้า (MW) สำหรับช่วง B ลำดับที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12.00 น.	-0.04	-0.31	-0.57	-0.84	-1.07	-1.29	-1.51	-1.74	-1.96	-2.18
13.00 น.	-0.23	-0.50	-0.76	-1.03	-1.26	-1.48	-1.70	-1.93	-2.15	-2.37
14.00 น.	-0.64	-0.91	-1.17	-1.44	-1.67	-1.89	-2.11	-2.33	-2.56	-2.78
15.00 น.	-0.25	-0.51	-0.78	-1.04	-1.27	-1.50	-1.72	-1.94	-2.16	-2.38
16.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.00 น.	0.00	0.34	0.72	1.04	1.32	1.56	1.73	1.89	2.05	2.21
19.00 น.	0.55	1.01	1.39	1.71	1.99	2.23	2.40	2.56	2.72	2.88
20.00 น.	0.72	1.18	1.56	1.88	2.16	2.40	2.57	2.73	2.89	3.05
21.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.38	0.55	0.71	0.87	1.03
22.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.26	0.41	0.57
23.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.00 น.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ภาพที่ 15 โพรไฟล์การรับและจ่ายพลังไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
ตามลำดับ N แต่ละช่วง

เปรียบเทียบค่าตัวแปร B

ตรวจสอบค่าตัวแปร B ว่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า B_{max} หรือไม่ หากไม่ใช่ ให้เพิ่มค่า N อีก 1 หากใช่ ให้ไปลำดับถัดไป

เปรียบเทียบค่าตัวแปร N

ตรวจสอบค่าตัวแปร N ว่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า N_{max} หรือไม่ หากไม่ใช่ ให้เพิ่มค่า N อีก 1 หากใช่ ให้ไปลำดับถัดไป

วิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งเชื่อมต่อโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

จากการรวบรวมผลลัพธ์ของกรณีต่างๆ สามารถวิเคราะห์เพื่อหา

1) ขนาดและตำแหน่งบัสเชื่อมต่อโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถลดหน่วยสูญเสียได้มากที่สุด

2) ขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่น้อยที่สุดและตำแหน่งบัสเชื่อมต่อโยงที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

3) ขนาดและตำแหน่งบัสเชื่อมต่อโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ส่งผลให้ระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายในดีที่สุด

จากผลลัพธ์ข้อ 1) - 3) ข้างต้น สามารถวิเคราะห์เพื่อหาขนาดและตำแหน่งบัสเชื่อมต่อโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ด้วยขนาดและตำแหน่งบัสต่างๆ จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัสต่างๆ และมีการเปลี่ยนแปลงของหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า โดยหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ เปรียบเสมือนการลดใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงดังกล่าว สามารถนำไปคำนวณความคุ้มค่าการลงทุน ได้แก่ อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return : IRR) และระยะเวลาการคืนทุน (payback period : PBP) โดยมีผลการวิจัยพร้อมรายละเอียด ดังนี้

4.1 แรงดันไฟฟ้า

ผลการวิจัยถูกแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตามเงื่อนไขที่กำหนดที่ตำแหน่งบัสต่างๆ โดยมีรายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 13 และภาพที่ 16 และมีรายละเอียดบัสที่เกิดแรงดันต่ำสุดเป็นไปตามตารางที่ 14

ตารางที่ 13 รายละเอียดค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

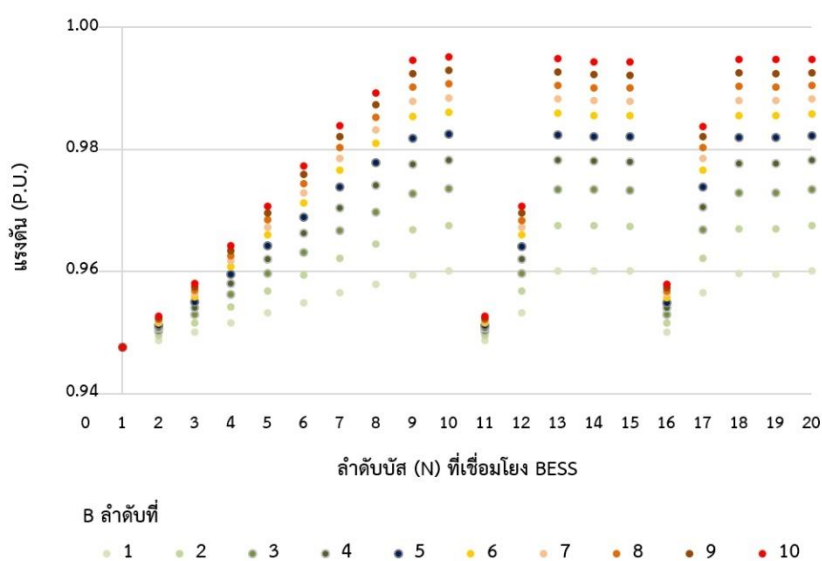
เชื่อมโยง BESS	ค่าแรงดันไฟฟ้า (kV) และ (ค่าแรงดันไฟฟ้า (P.U.))									
	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
บัส (N)										
ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)	20.85 (0.948)
2	20.87 (0.949)	20.89 (0.950)	20.90 (0.950)	20.92 (0.951)	20.93 (0.951)	20.94 (0.952)	20.94 (0.952)	20.95 (0.952)	20.95 (0.952)	20.96 (0.953)
3	20.90 (0.950)	20.94 (0.952)	20.97 (0.953)	20.99 (0.954)	21.01 (0.955)	21.03 (0.956)	21.04 (0.956)	21.05 (0.957)	21.07 (0.958)	21.08 (0.958)
4	20.94 (0.952)	20.99 (0.954)	21.04 (0.956)	21.08 (0.958)	21.11 (0.960)	21.14 (0.961)	21.16 (0.962)	21.18 (0.963)	21.20 (0.964)	21.22 (0.964)
5	20.97 (0.953)	21.05 (0.957)	21.11 (0.960)	21.17 (0.962)	21.21 (0.964)	21.25 (0.966)	21.28 (0.967)	21.31 (0.968)	21.33 (0.970)	21.36 (0.971)

ตารางที่ 13 (ต่อ)

เชื่อมโยง BESS	ค่าแรงดันไฟฟ้า (kV) และ (ค่าแรงดันไฟฟ้า (P.U.))									
	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
บัส (N) ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	21.01 (0.955)	21.11 (0.959)	21.19 (0.963)	21.26 (0.966)	21.32 (0.969)	21.37 (0.971)	21.40 (0.973)	21.44 (0.974)	21.47 (0.976)	21.50 (0.977)
7	21.04 (0.957)	21.17 (0.962)	21.27 (0.967)	21.35 (0.971)	21.43 (0.974)	21.49 (0.977)	21.53 (0.979)	21.57 (0.980)	21.61 (0.982)	21.65 (0.984)
8	21.08 (0.958)	21.22 (0.965)	21.34 (0.970)	21.43 (0.974)	21.51 (0.978)	21.58 (0.981)	21.63 (0.983)	21.68 (0.985)	21.72 (0.987)	21.77 (0.989)
9	21.11 (0.959)	21.27 (0.967)	21.40 (0.973)	21.51 (0.978)	21.60 (0.982)	21.68 (0.986)	21.74 (0.988)	21.79 (0.990)	21.84 (0.993)	21.88 (0.995)
10	21.12 (0.960)	21.29 (0.968)	21.42 (0.974)	21.52 (0.978)	21.62 (0.983)	21.69 (0.986)	21.75 (0.989)	21.80 (0.991)	21.85 (0.993)	21.89 (0.995)
11	20.87 (0.949)	20.89 (0.950)	20.90 (0.950)	20.92 (0.951)	20.93 (0.951)	20.94 (0.952)	20.94 (0.952)	20.95 (0.952)	20.95 (0.952)	20.96 (0.953)
12	20.97 (0.953)	21.05 (0.957)	21.11 (0.960)	21.17 (0.962)	21.21 (0.964)	21.25 (0.966)	21.28 (0.967)	21.31 (0.968)	21.33 (0.970)	21.36 (0.971)
13	21.12 (0.960)	21.29 (0.968)	21.42 (0.974)	21.52 (0.978)	21.61 (0.982)	21.69 (0.986)	21.74 (0.988)	21.79 (0.991)	21.84 (0.993)	21.89 (0.995)
14	21.12 (0.960)	21.29 (0.968)	21.42 (0.973)	21.52 (0.978)	21.61 (0.982)	21.68 (0.986)	21.74 (0.988)	21.78 (0.990)	21.83 (0.992)	21.88 (0.994)
15	21.12 (0.960)	21.29 (0.968)	21.42 (0.973)	21.52 (0.978)	21.61 (0.982)	21.68 (0.986)	21.74 (0.988)	21.78 (0.990)	21.83 (0.992)	21.88 (0.994)
16	20.90 (0.950)	20.94 (0.952)	20.97 (0.953)	20.99 (0.954)	21.01 (0.955)	21.03 (0.956)	21.04 (0.956)	21.05 (0.957)	21.06 (0.957)	21.07 (0.958)
17	21.05 (0.957)	21.17 (0.962)	21.27 (0.967)	21.35 (0.971)	21.43 (0.974)	21.49 (0.977)	21.53 (0.979)	21.57 (0.980)	21.61 (0.982)	21.65 (0.984)
18	21.11 (0.960)	21.28 (0.967)	21.41 (0.973)	21.51 (0.978)	21.60 (0.982)	21.68 (0.986)	21.74 (0.988)	21.79 (0.990)	21.84 (0.993)	21.89 (0.995)

ตารางที่ 14 (ต่อ)

เชื่อมโยง BESS บัส (N) ลำดับที่	บัสที่เกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19



ภาพที่ 16 ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

จากรายละเอียดผลการวิจัยตามตารางที่ 13 - 14 และภาพที่ 16 พบว่าการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ทุกขนาดตำแหน่งบัสที่ 1 ไม่สามารถช่วยให้เสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นได้ โดยระดับแรงดันไฟฟ้าทุกบัสยังคงสภาพเดิมเช่นเดียวกับการไม่เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ยังคงเกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดขนาด 20.85 กิโลโวลต์ หรือ 0.948 เพอร์ยูนิต ที่ตำแหน่งบัส 14 ทั้งนี้เนื่องจากจ่ายพลังงานของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ยังคงจ่าย ณ ตำแหน่งเดียวกับสถานีไฟฟ้า ซึ่งเปรียบเสมือนว่าสถานีไฟฟ้าเป็นผู้จ่ายพลังงาน

สำหรับการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 10, 13, 18 และ 20 ด้วยขนาด 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง สามารถเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้สูงขึ้นได้มากที่สุด โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุดอยู่ที่ 21.89 กิโลโวลต์ หรือ 0.995 เพอร์ยูนิต ที่ตำแหน่งบัส 14 และ 19 ทั้งนี้การเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่บัสดังกล่าว แต่ลดขนาดของระบบเก็บพลังงานลง ก็ยังสามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าได้ดีกว่าการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งบัสอื่นๆ

สำหรับการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 9, 14, 15 และ 19 ด้วยขนาด 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง สามารถช่วยเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็นลำดับรองลงมา ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 21.88 กิโลโวลต์ หรือ 0.994 เพอร์ยูนิต ซึ่งแทบไม่แตกต่างจากการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานที่ตำแหน่งบัส 10, 13, 18 และ 20 แต่การเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 2, 3, 4, 5, 11, 12 และ 16 สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ไม่มาก

4.2 หน่วยสูญเสีย

4.2.1 หน่วยสูญเสียรายวัน

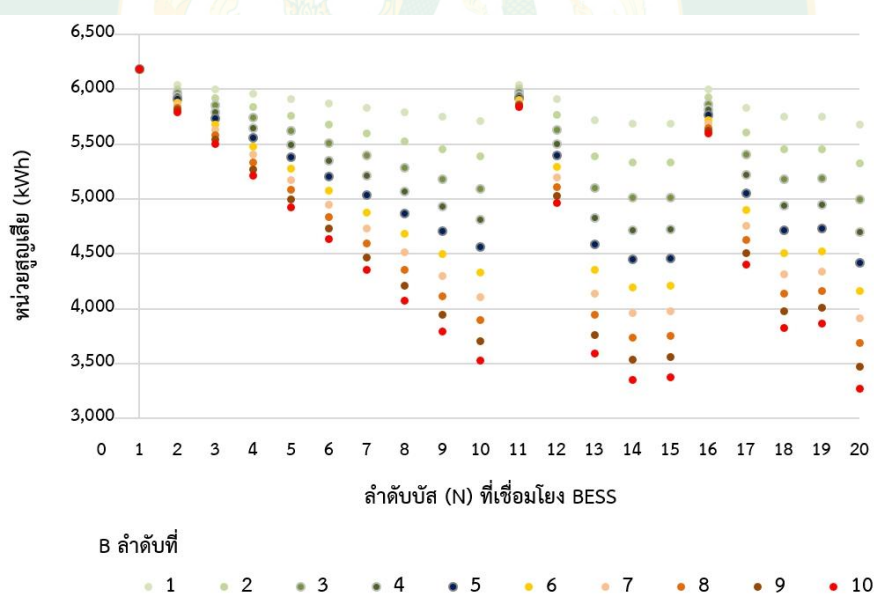
ผลการวิจัยถูกแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดค่าหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้ารายวันเมื่อเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตามเงื่อนไขที่กำหนดที่ตำแหน่งบัสต่างๆ โดยมีรายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 15 และภาพที่ 17

ตารางที่ 15 รายละเอียดค่าหน่วยสูญเสียรายวันเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

เชื่อมโยง BESS บัส (N) ลำดับที่	ค่าหน่วยสูญเสีย (kWh/วัน) สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187
2	6,043	6,006	5,971	5,937	5,910	5,883	5,859	5,836	5,815	5,795
3	6,001	5,925	5,856	5,793	5,735	5,681	5,632	5,586	5,544	5,505
4	5,958	5,845	5,742	5,647	5,560	5,479	5,405	5,336	5,273	5,215
5	5,916	5,764	5,627	5,501	5,385	5,278	5,179	5,087	5,003	4,926
6	5,873	5,684	5,513	5,356	5,211	5,078	4,955	4,841	4,735	4,639
7	5,831	5,605	5,400	5,212	5,040	4,880	4,732	4,595	4,468	4,353
8	5,791	5,529	5,292	5,074	4,875	4,690	4,517	4,357	4,209	4,074
9	5,751	5,455	5,186	4,938	4,712	4,501	4,304	4,120	3,950	3,795
10	5,717	5,390	5,092	4,818	4,566	4,331	4,109	3,902	3,710	3,534

ตารางที่ 15 (ต่อ)

เชื่อมโยง BESS บัส (N) ลำดับที่	ค่าหน่วยสูญเสีย (kWh/วัน) สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	6,044	6,009	5,977	5,950	5,926	5,904	5,885	5,868	5,854	5,842
12	5,916	5,766	5,631	5,509	5,397	5,294	5,200	5,113	5,034	4,964
13	5,718	5,393	5,100	4,832	4,586	4,358	4,144	3,945	3,763	3,598
14	5,686	5,333	5,013	4,720	4,450	4,199	3,962	3,741	3,538	3,353
15	5,687	5,335	5,017	4,726	4,458	4,211	3,977	3,759	3,560	3,379
16	6,003	5,931	5,869	5,815	5,766	5,724	5,686	5,653	5,625	5,602
17	5,831	5,607	5,405	5,221	5,054	4,900	4,758	4,628	4,509	4,403
18	5,750	5,453	5,186	4,942	4,719	4,512	4,319	4,140	3,977	3,828
19	5,750	5,456	5,191	4,950	4,730	4,529	4,340	4,166	4,009	3,867
20	5,685	5,328	5,003	4,702	4,425	4,165	3,919	3,688	3,474	3,276



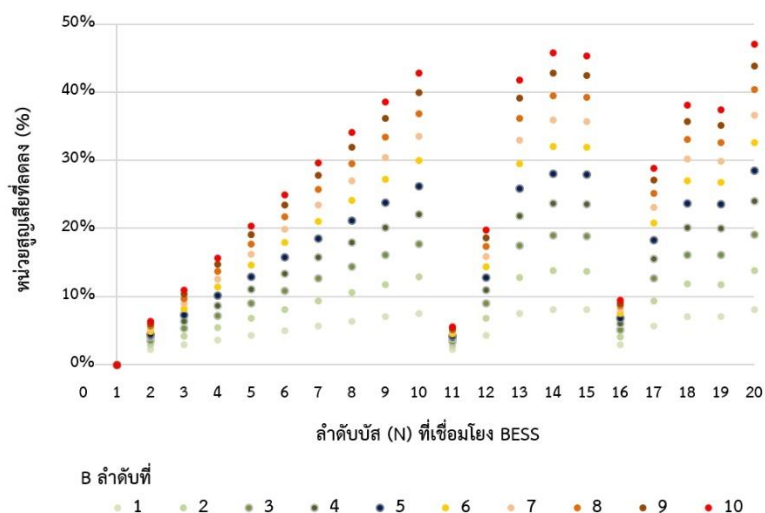
ภาพที่ 17 ค่าหน่วยสูญเสียรายวันเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

4.2.2 หน่วยสูญเสียที่สามารถลดได้

ผลการวิจัยถูกแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดร้อยละหน่วยสูญเสียที่สามารถลดลงได้ เมื่อเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตามเงื่อนไขที่กำหนดที่ตำแหน่งบัสต่างๆ โดยมีรายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 16 และภาพที่ 17

ตารางที่ 16 รายละเอียดหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

เชื่อมโยง BESS	ร้อยละของหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน (%)									
	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
บัส (N) ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.32	2.93	3.48	4.04	4.47	4.90	5.30	5.67	6.02	6.33
3	3.00	4.22	5.34	6.36	7.30	8.17	8.97	9.71	10.40	11.02
4	3.69	5.52	7.19	8.72	10.13	11.43	12.63	13.74	14.77	15.71
5	4.38	6.83	9.05	11.09	12.96	14.70	16.29	17.77	19.13	20.38
6	5.07	8.12	10.89	13.43	15.76	17.92	19.91	21.76	23.46	25.01
7	5.75	9.40	12.72	15.75	18.54	21.12	23.51	25.73	27.77	29.64
8	6.40	10.63	14.46	17.98	21.21	24.20	26.99	29.58	31.97	34.15
9	7.04	11.83	16.18	20.18	23.84	27.24	30.44	33.41	36.15	38.66
10	7.59	12.88	17.69	22.12	26.20	30.00	33.58	36.93	40.03	42.88
11	2.30	2.88	3.38	3.82	4.22	4.57	4.88	5.15	5.38	5.57
12	4.37	6.79	8.98	10.96	12.77	14.43	15.95	17.35	18.63	19.77
13	7.58	12.82	17.56	21.90	25.88	29.55	33.02	36.23	39.18	41.85
14	8.09	13.80	18.97	23.71	28.08	32.12	35.96	39.53	42.81	45.80
15	8.08	13.77	18.91	23.62	27.93	31.93	35.72	39.24	42.46	45.38
16	2.98	4.13	5.13	6.01	6.80	7.48	8.10	8.63	9.08	9.45
17	5.75	9.38	12.64	15.60	18.31	20.79	23.09	25.20	27.12	28.84
18	7.07	11.85	16.18	20.12	23.73	27.06	30.19	33.08	35.72	38.12
19	7.05	11.82	16.10	19.99	23.54	26.80	29.85	32.66	35.21	37.50
20	8.11	13.88	19.14	24.00	28.48	32.67	36.65	40.38	43.85	47.05



ภาพที่ 18 หน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

จากรายละเอียดผลการวิจัยตามตารางที่ 15 - 16 และภาพที่ 17 - 18 พบว่าการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ทุกขนาดตำแหน่งบัสที่ 1 ไม่สามารถช่วยลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ายังคงเท่ากับกรณีฐาน คือมีค่าประมาณ 6,187 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บพลังงานส่วนเกินจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น พลังงานที่ผ่านสายไฟฟ้าสู่ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ยังคงมีระยะทางเท่ากับพลังงานที่ผ่านสายไฟฟ้าสู่สถานีไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานคืนให้โหลดผู้ใช้ไฟฟ้าก็ยังคงมีระยะทางเช่นเดียวกับการจ่ายไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้า

สำหรับการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 20 ด้วยขนาด 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้มากที่สุด โดยหน่วยสูญเสียมีค่าประมาณ 3,276 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ลดลงจากกรณีฐานร้อยละ 47.05 และยังพบว่าการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาดอื่นๆ ที่ตำแหน่งบัส 20 ก็สามารถลดหน่วยสูญเสียได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาดเท่าๆ กัน ที่ตำแหน่งบัสอื่นๆ

สำหรับระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้มากกว่าร้อยละ 40 มีการเชื่อมโยงตำแหน่งบัสและขนาดดังนี้ ตำแหน่งบัสที่ 10 ขนาด 18 และ 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง, ตำแหน่งบัส 13 ขนาด 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง, ตำแหน่งบัส 14 ขนาด และ 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง, ตำแหน่งบัส 15 ขนาด 18 และ 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง และตำแหน่งบัส 20 ขนาด 16, 18 และ 20 เมกะวัตต์ชั่วโมง ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าตำแหน่งบัสที่เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถลดหน่วยสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพคือบัสของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

และบัสในบริเวณโดยรอบ แต่การเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่ง 2, 3, 4, 5, 11, 12 และ 16 ทุกขนาด สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้น้อยกว่าร้อยละ 25 ซึ่งพบว่าบัสดังกล่าวอยู่ในตำแหน่งใกล้กับสถานีไฟฟ้า

4.3 ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

4.3.1 มูลค่าของหน่วยสูญเสีย

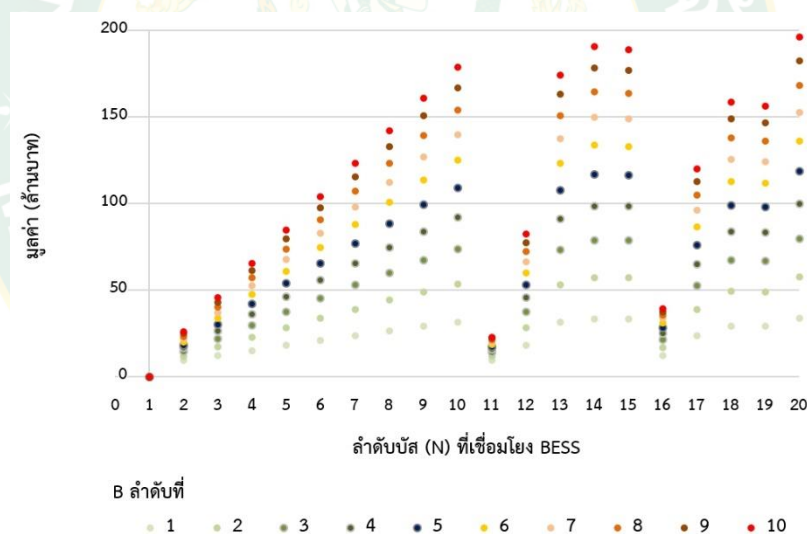
ผลการวิจัยถูกแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดมูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลงได้ ตลอดอายุโครงการ เมื่อเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดที่ตำแหน่งบัสต่างๆ โดยมีรายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 17 และภาพที่ 19

ตารางที่ 17 รายละเอียดมูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

เชื่อมโยง BESS บัส (N) ลำดับที่	มูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลงตลอดอายุโครงการ (ล้านบาท)									
	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	9.66	12.20	14.52	16.86	18.62	20.43	22.10	23.64	25.08	26.40
3	12.51	17.60	22.25	26.51	30.44	34.07	37.39	40.48	43.34	45.96
4	15.38	23.03	29.99	36.37	42.25	47.67	52.66	57.30	61.57	65.48
5	18.27	28.47	37.75	46.23	54.04	61.27	67.91	74.07	79.77	84.96
6	21.13	33.85	45.41	55.99	65.72	74.70	83.01	90.71	97.80	104.28
7	23.97	39.21	53.03	65.67	77.30	88.03	98.00	107.26	115.78	123.56
8	26.68	44.31	60.30	74.96	88.42	100.87	112.51	123.32	133.27	142.38
9	29.35	49.33	67.47	84.11	99.40	113.58	126.89	139.28	150.71	161.18
10	31.63	53.69	73.74	92.21	109.22	125.05	140.00	153.96	166.89	178.77
11	9.60	12.00	14.10	15.94	17.58	19.03	20.33	21.46	22.41	23.20
12	18.23	28.32	37.43	45.69	53.24	60.16	66.51	72.34	77.65	82.41

ตารางที่ 17 (ต่อ)

เชื่อมโยง BESS	มูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลง (ล้านบาท)										
	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
บัส (N)											
ลำดับที่											
13	31.58	53.45	73.21	91.30	107.88	123.21	137.66	151.06	163.33	174.47	
14	33.72	57.52	79.07	98.87	117.04	133.92	149.92	164.81	178.48	190.96	
15	33.68	57.39	78.82	98.46	116.46	133.13	148.93	163.60	177.02	189.19	
16	12.40	17.21	21.40	25.07	28.33	31.20	33.77	35.99	37.87	39.39	
17	23.97	39.09	52.70	65.05	76.35	86.69	96.26	105.06	113.04	120.22	
18	29.46	49.41	67.44	83.87	98.92	112.82	125.84	137.90	148.92	158.93	
19	29.41	49.26	67.12	83.34	98.13	111.73	124.44	136.15	146.77	156.32	
20	33.82	57.86	79.78	100.04	118.75	136.21	152.80	168.36	182.80	196.13	

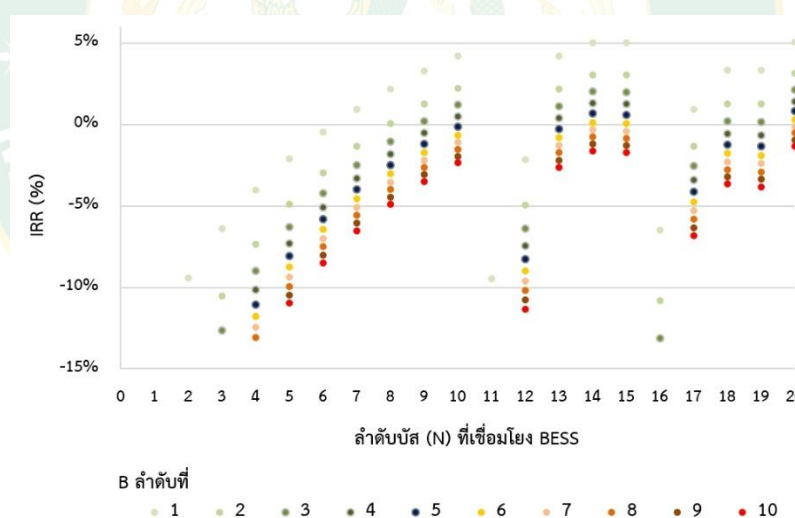


ภาพที่ 19 มูลค่าหน่วยสูญเสียที่ลดลงเมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

จากรายละเอียดผลการวิจัยตามตารางที่ 17 และภาพที่ 19 โดยพิจารณาถึงการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในขนาดความจุเดียวกัน (B เดียวกัน) พบว่าที่ตำแหน่งบัส 20 มีมูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลงมากที่สุด และบัสที่ 10, 13, 14, 15 มีมูลค่ารองลงมา ส่วนการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตำแหน่งบัส 2, 3, 4, 5, 11, 12, 16 มีมูลค่าของหน่วยสูญเสียที่ลดลงน้อยมาก และสำหรับการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตำแหน่งบัสที่ 1 ไม่ทำให้

ตารางที่ 18 (ต่อ)

เชื่อมโยง BESS	อัตราผลตอบแทนภายใน : IRR (%)										
	บัส (N) ลำดับที่	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	-2.10	-4.93	-6.38	-7.40	-8.23	-8.94	-9.59	-10.19	-10.76	-11.32	
13	4.23	2.23	1.18	0.42	-0.22	-0.77	-1.26	-1.71	-2.15	-2.59	
14	5.05	3.09	2.07	1.32	0.70	0.16	-0.30	-0.74	-1.16	-1.58	
15	5.03	3.07	2.03	1.28	0.64	0.10	-0.38	-0.82	-1.26	-1.69	
16	-6.44	-10.79	-13.11	-	-	-	-	-	-	-	
17	0.97	-1.33	-2.51	-3.37	-4.08	-4.70	-5.26	-5.79	-6.30	-6.81	
18	3.38	1.32	0.24	-0.54	-1.19	-1.76	-2.26	-2.73	-3.18	-3.63	
19	3.36	1.28	0.19	-0.61	-1.28	-1.86	-2.38	-2.87	-3.34	-3.82	
20	5.09	3.17	2.17	1.46	0.87	0.35	-0.09	-0.50	-0.90	-1.29	

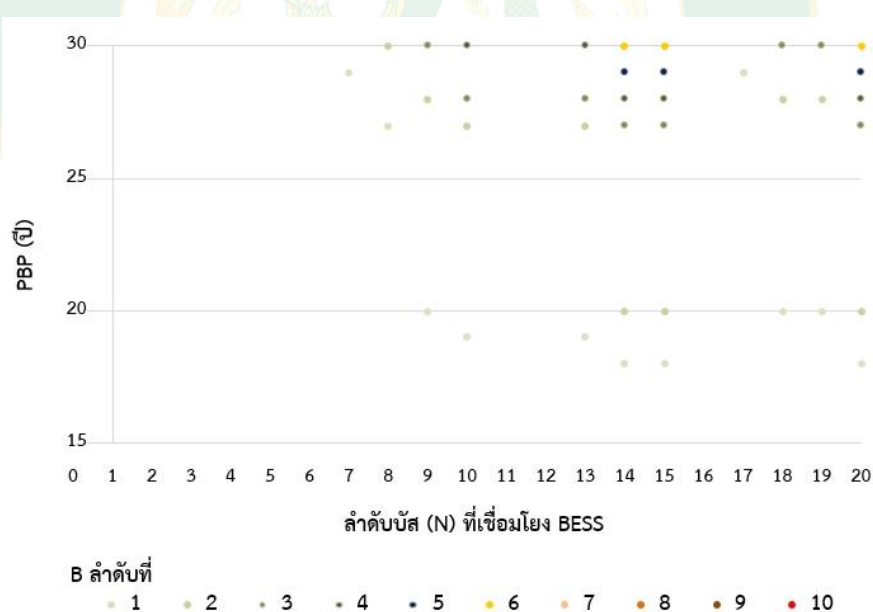


ภาพที่ 20 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เมื่อเชื่อมโยง BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

จากรายละเอียดผลการวิจัยตามตารางที่ 18 และภาพที่ 20 พบว่าการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 20 ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ดีที่สุด มีค่า 5.09 เปอร์เซ็นต์ และอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น โดยเริ่มมีค่าติดลบเมื่อระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีขนาด 14 เมกะวัตต์ชั่วโมง ทั้งนี้หากเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 14 และ 15 ค่า

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เชื่อมต่อ BESS	ระยะเวลาการคืนทุน : PBP (ปี)										
	บัส (N) ลำดับที่	สำหรับขนาด BESS ตามลำดับช่วง (B) ที่									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	19	27	28	30	-	-	-	-	-	-	
14	18	20	27	28	29	30	-	-	-	-	
15	18	20	27	28	29	30	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	20	28	30	-	-	-	-	-	-	-	
19	20	28	30	-	-	-	-	-	-	-	
20	18	20	27	28	29	30	-	-	-	-	



ภาพที่ 21 ระยะเวลาการคืนทุน (PBP) เมื่อเชื่อมต่อ BESS ตามเงื่อนไขต่างๆ

จากรายละเอียดผลการวิจัยตามตารางที่ 19 และภาพที่ 21 พบว่าการเชื่อมต่อระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งบัส 14, 15 และ 20 ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง มีระยะเวลาการคืนทุนที่ดีที่สุดคือ 18 ปี และมีระยะเวลาการคืนทุนเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้น โดยหากระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีขนาดเกิน 12 เมกะวัตต์ชั่วโมง จะ

ส่งผลให้โครงการไม่เกิดการคืนทุน ทั้งนี้พบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่บัส 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12 และ 16 ทุกขนาดความจุ ส่งผลให้โครงการไม่เกิดการคืนทุนด้วยเช่นกัน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์การลดการสูญเสียในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วยวิธีเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ ได้นำเสนอวิธีการหาตำแหน่งเชื่อมโยงและขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า พร้อมทั้งเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าให้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งคำนวณหาความคุ้มค่าการลงทุนซึ่งประกอบไปด้วยอัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาการคืนทุน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเชื่อมโยงและขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้

จากผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง เชื่อมโยงกับตำแหน่งบัสที่ 3 - 10 และ 12 - 20 เพียงพอต่อการปรับปรุงเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แต่บัสที่ 10, 13, 14, 15, 18, 19 และ 20 สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้ดีที่สุดในกลุ่ม และจากการเปรียบเทียบหน่วยสูญเสียที่ลดลงต่อขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ พบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง มีอัตราส่วนการลดหน่วยสูญเสียต่อขนาดดีที่สุดในกลุ่ม โดยการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง กับตำแหน่งบัสที่ 20 สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้ดีที่สุดในกลุ่ม และตำแหน่งบัสที่ 14, 15 สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับบัสที่ 20 สำหรับผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง เชื่อมโยงกับตำแหน่งบัสที่ 20 ให้ค่าอัตราผลตอบแทนภายในสูงที่สุด และตำแหน่งบัสที่ 14, 15 ให้ค่าอัตราผลตอบแทนภายในรองลงมา ส่วนระยะเวลาการคืนทุนเมื่อเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง ที่ตำแหน่งบัส 14, 15 และ 20 คือ 18 ปี เท่ากัน

ดังนั้นจึงพบว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ดีที่สุด คือติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาดเท่ากับ 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง ($B = 1$) เชื่อมโยงตำแหน่งบัสลำดับที่ 20 ($N = 20$) ซึ่งสามารถปรับปรุงแรงดันในวงจรไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (มากกว่า 20.90 กิโลโวลต์ หรือ 0.95 เฟอร์ยูนิต) สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าลงได้ 8.1 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราผลตอบแทนภายในที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์ และมีความคุ้มค่าการลงทุนอยู่ที่ 18 ปี อย่างไรก็ตามการเพิ่มขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ สามารถทำให้เสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มีหน่วยสูญเสียใน

ระบบไฟฟ้าที่ลดลง แต่ระยะเวลาการคืนทุนจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มขนาดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ยังให้ความสำคัญค่าการลงทุน สามารถเพิ่มได้ถึงขนาด 12 เมกะวัตต์ชั่วโมง ($B = 6$) และหากไม่สามารถติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตำแหน่งบัสที่ 20 ก็ยังสามารถติดตั้งในตำแหน่งบัส 10, 13, 14 และ 15 ซึ่งยังคงให้ความสำคัญค่าการลงทุน สามารถเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้า และลดหน่วยสูญเสียลงได้

ถึงแม้ว่าการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตำแหน่งสถานีไฟฟ้า ($N = 1$) ไม่สามารถเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้า ไม่สามารถลดหน่วยสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และไม่มีมูลค่าการลงทุน แต่การติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ตำแหน่งสถานีไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนี้อาจส่งผลดีต่อวงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าข้างเคียงในสถานีไฟฟ้า และระบบส่งไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ ซึ่งการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าจะช่วยลดพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าระบบส่งไฟฟ้า และอาจเป็นหนึ่งในส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ได้

ทั้งนี้จากผลการวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติม สำหรับกรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตลดลง 20% และ 40% อันเนื่องมาจากเหตุผลด้านสภาพอากาศ ฤดูอุณหภูมิจึงส่งผลให้ความเข้มแสงมีค่าลดลง เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน โดยลักษณะการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และลักษณะพลังงานไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าเป็นไปตามภาพผนวกที่ 3-6 และตารางผนวกที่ 2-3 อีกทั้งผู้วิจัยได้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมสำหรับกรณีที่โหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น 20% และลดลง 20% จากกรณีฐาน ซึ่งลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และลักษณะพลังงานไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าเป็นไปตามภาพผนวกที่ 7-10 และตารางผนวกที่ 4-5 โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) กรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตลดลง 20%

การติดตั้งระบบเก็บพลังงานที่ดีที่สุดคือ ติดตั้งระบบเก็บพลังงานขนาด 0.87 MWh ($B = 1$) เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานตำแหน่งบัสที่ 20 ($N = 20$) ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง 4.9% มีอัตราผลตอบแทนภายในที่ 6.6% และมีความคุ้มค่าการลงทุนอยู่ที่ 16 ปี

2) กรณีที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตลดลง 40%

การติดตั้งระบบเก็บพลังงานที่ดีที่สุดคือ ติดตั้งระบบเก็บพลังงานขนาด 0.18 MWh ($B = 4$) เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานตำแหน่งบัสที่ 20 ($N = 20$) ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง 2.7% มีอัตราผลตอบแทนภายในที่ 19.9% และมีความคุ้มค่าการลงทุนอยู่ที่ 6 ปี

3) กรณีที่โหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น 20%

การติดตั้งระบบเก็บพลังงานที่ดีที่สุดคือ ติดตั้งระบบเก็บพลังงานขนาด 3.43 MWh ($B = 5$) เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานตำแหน่งบัสที่ 20 ($N = 20$) ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง 11.4% มีอัตราผลตอบแทนภายในที่ 4.0% และมีความคุ้มค่าการลงทุนอยู่ที่ 19 ปี

4) กรณีที่โหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าลดลง 20%

การติดตั้งระบบเก็บพลังงานที่ดีที่สุดคือ ติดตั้งระบบเก็บพลังงานขนาด 2.05 MWh ($B = 1$) เชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานตำแหน่งบัสที่ 20 ($N = 20$) ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง 8.3% มีอัตราผลตอบแทนภายในที่ 2.0% และมีความคุ้มค่าการลงทุนอยู่ที่ 27 ปี

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานที่ดีที่สุดคือเชื่อมโยงระบบเก็บพลังงานตำแหน่งบัสที่ 20 โดยขนาดของระบบเก็บพลังงานจะขึ้นอยู่กับปริมาณพลังไฟฟ้าที่ทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้า ซึ่งหากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตลดลง จะส่งผลให้ปริมาณพลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับสถานีไฟฟ้ามีค่าลดลง ทำให้ระบบเก็บพลังงานมีขนาดลดลงตามไปด้วย ซึ่งหากระบบเก็บพลังงานมีขนาดน้อยลงจะส่งผลให้ค่า IRR มีค่าสูงขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า หากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายมีค่าต่ำลง ทำให้ต้องใช้ระบบเก็บพลังงานที่มีขนาดสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบเก็บพลังงานเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยังคงทำให้โครงการมีให้มีความคุ้มค่าการลงทุน ในทางตรงกันข้ามหากโหลดผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าลดลง อาจไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบเก็บพลังงานเพิ่มเติมเนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่การติดตั้งระบบเก็บพลังงานสามารถช่วยสนับสนุนให้โรงไฟฟ้ารับกำลังไฟฟ้าที่นอกที่ผลิตลง ซึ่งทำให้หน่วยสูญเสียลดลงถึง 8.3%

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้า การลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า ด้วยระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ซึ่งการวางแผนเลือกใช้ระบบเก็บพลังงานให้คุ้มค่าควรคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ด้วย เช่น การลดผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อม การสำรองพลังงานกรณีฉุกเฉิน การลดผลกระทบ Duck Curve และควรเปรียบเทียบตัวเลือกแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ หรือระบบเก็บพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมที่สามารถคายประจุได้มากกว่าร้อยละ 90 ของขนาดความจุ และมีราคาต่อหน่วยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลต่อมูลค่าการลงทุนและมูลค่าการบำรุงรักษา อีกทั้งการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ควรศึกษาผลกระทบของมูลค่าของที่ดิน กรณีติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

ในตำแหน่งชุมชน และผลกระทบของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้กรณีมีการกู้เงินเพื่อลงทุนด้วย รวมทั้ง การศึกษากรณีมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดต่างๆ ซึ่งอาจมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมโยงในหลายๆ ตำแหน่งด้วย ซึ่งส่งผลให้การเลือกใช้แบตเตอรี่มีความหลากหลายมากขึ้น



บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp> (15 ธันวาคม 2562)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559). **ข้อกำหนดการใช้บริการระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559, ข้อกำหนดการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559, ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.pea.co.th/เกี่ยวกับเรา/การดำเนินการตามนโยบายรัฐบาล/โครงการเชื่อมโยงโครงการต่างๆกับระบบงาน-กฟภ-VSPP/PID/1070/evl/0/CategoryID/42/CategoryName/ระเบียบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง> (15 ธันวาคม 2562)
- ประทีป พูลผล. (2553). **การศึกษาผลกระทบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย**. ปริญญาโท วิศวกรรม (การจัดการทางวิศวกรรม). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. (2561). **รายงานผลการดำเนินงาน (งวดที่ 3) โครงการศึกษาความเหมาะสมและแนวทางการส่งเสริมอุตสาหกรรมสำรองไฟฟ้าสำหรับโครงข่ายไฟฟ้าของประเทศ (Grid Energy Storage)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://tdri.or.th/wp-content/uploads/2018/06/Grid-Energy-storage.pdf> (18 ธันวาคม 2562)
- เยาวลักษณ์ สิทธิขุนทด. (2560). **การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เพื่อประเมินสมรรถนะของแบตเตอรี่**. รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา. ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.
- ศุภเสถ์ ตันไชยโรจน์, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล, กมล จิรเสรีอมรกุล, วันจักรี เล่นวารี และเสริมสุข บัวเจริญ. (2560a). **การวิเคราะห์หาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปานกลางที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมากเพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายระบบจำหน่าย**. งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กฟภ. ปี 2560. 47-53.
- ศุภเสถ์ ตันไชยโรจน์, ต๋องพงศ์ ศรีบุญ, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล, กมล จิรเสรีอมรกุล และวันจักรี เล่นวารี. (2560b). **การวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปานกลางที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมากเพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า**. งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กฟภ. ปี 2560. 70-76.

- ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). **สถานการณ์พลังงานปี2561 และแนวโน้มปี 2562**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th/mages/Energy-Statistics/energyinformation/Forecast/Shortterm Forecast/2018-12_energyforecast.pdf (15 ธันวาคม 2562)
- สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2558). **การวิเคราะห์โครงการ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.stou.ac.th/stouonline/LOM/data/sec/Lom14/home.html> (18 ธันวาคม 2562)
- K. Fekete, Z. Klaic, D. Sljivac. (2016). Influence of load management in distribution network on voltages and active power losses: Case Study. **IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)**, 1-6.
- Ramakrishnan Venkatraman and Siddhartha Kumar Khaitan. (2016). Optimal reactive power allocation to minimize line and DG losses in a radial distribution system. **IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)**, 1-5.
- R. Srinivasa Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham. (2013). Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation. **IEEE Trans. Power Syst**, vol. 1, 317-325.
- Tang Y, Burgos R, Li C, Boroyevich D. (2015). Assessment of Medium Voltage Distribution Feeders under High Penetration of PV Generation. **IEEE 16th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)**, 1-6.
- V. Chobanov. (2016). The impact of PV orientation in smart grids. **IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)**, 1055-1059.
- Zehir M A, Batman A, Sonmez M A, Font A, Tsiamitros D, Stimoniaris d, Zacharaki B, Orth C, Bagriyanik M, Ozdemir A, Dialynas E. (2017). Mitigation of Negative Impacts of Distributed Generation on LV Distribution Networks through Microgrid Management Systems. **IEEE Manchester PowerTech**, 27(1), 1-6.



ภาคผนวก

ข้อมูลโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค วงจรที่ 4 ระหว่างวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562 มีรายละเอียดเป็นไปตามภาพผนวกที่ 1

DBA@04					
date--time		MW			
18-02-62	1:00 ...	2.54	19-02-62	17:00 ...	5.67
18-02-62	2:00 ...	2.18	19-02-62	18:00 ...	6.99
18-02-62	3:00 ...	2.65	19-02-62	19:00 ...	7.32
18-02-62	4:00 ...	3.58	19-02-62	20:00 ...	6.93
18-02-62	5:00 ...	3.87	19-02-62	21:00 ...	5.55
18-02-62	6:00 ...	5.30	19-02-62	22:00 ...	5.22
18-02-62	7:00 ...	5.97	19-02-62	23:00 ...	3.70
18-02-62	8:00 ...	6.18	19-02-62	24:00 ...	3.14
18-02-62	9:00 ...	5.81	20-02-62	1:00 ...	2.98
18-02-62	10:00 ...	4.93	20-02-62	2:00 ...	2.72
18-02-62	11:00 ...	5.02	20-02-62	3:00 ...	3.21
18-02-62	12:00 ...	5.10	20-02-62	4:00 ...	4.26
18-02-62	13:00 ...	4.82	20-02-62	5:00 ...	4.15
18-02-62	14:00 ...	4.48	20-02-62	6:00 ...	5.72
18-02-62	15:00 ...	4.12	20-02-62	7:00 ...	6.10
18-02-62	16:00 ...	4.80	20-02-62	8:00 ...	6.87
18-02-62	17:00 ...	5.77	20-02-62	9:00 ...	5.93
18-02-62	18:00 ...	6.81	20-02-62	10:00 ...	5.15
18-02-62	19:00 ...	6.79	20-02-62	11:00 ...	5.28
18-02-62	20:00 ...	7.10	20-02-62	12:00 ...	6.11
18-02-62	21:00 ...	5.93	20-02-62	13:00 ...	5.32
18-02-62	22:00 ...	4.90	20-02-62	14:00 ...	5.01
18-02-62	23:00 ...	3.61	20-02-62	15:00 ...	4.88
18-02-62	24:00 ...	3.33	20-02-62	16:00 ...	5.32
19-02-62	1:00 ...	2.78	20-02-62	17:00 ...	5.91
19-02-62	2:00 ...	2.64	20-02-62	18:00 ...	7.19
19-02-62	3:00 ...	2.47	20-02-62	19:00 ...	7.87
19-02-62	4:00 ...	3.22	20-02-62	20:00 ...	8.32
19-02-62	5:00 ...	4.11	20-02-62	21:00 ...	5.71
19-02-62	6:00 ...	5.13	20-02-62	22:00 ...	5.23
19-02-62	7:00 ...	6.24	20-02-62	23:00 ...	3.93
19-02-62	8:00 ...	6.74	20-02-62	24:00 ...	3.85
19-02-62	9:00 ...	5.75	21-02-62	1:00 ...	3.14
19-02-62	10:00 ...	5.01	21-02-62	2:00 ...	2.84
19-02-62	11:00 ...	5.10	21-02-62	3:00 ...	3.11
19-02-62	12:00 ...	5.28	21-02-62	4:00 ...	3.33
19-02-62	13:00 ...	4.91	21-02-62	5:00 ...	4.10
19-02-62	14:00 ...	4.99	21-02-62	6:00 ...	5.38
19-02-62	15:00 ...	4.02	21-02-62	7:00 ...	6.33
19-02-62	16:00 ...	5.11	21-02-62	8:00 ...	7.03
			21-02-62	9:00 ...	6.28
			21-02-62	10:00 ...	5.32
			21-02-62	11:00 ...	6.07

ภาพผนวกที่ 1 ข้อมูลโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า วันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562

21-02-62	12:00 ...	5.55
21-02-62	13:00 ...	6.10
21-02-62	14:00 ...	5.06
21-02-62	15:00 ...	5.85
21-02-62	16:00 ...	5.73
21-02-62	17:00 ...	5.26
21-02-62	18:00 ...	7.18
21-02-62	19:00 ...	7.76
21-02-62	20:00 ...	8.20
21-02-62	21:00 ...	5.07
21-02-62	22:00 ...	5.21
21-02-62	23:00 ...	3.59
21-02-62	24:00 ...	3.75
22-02-62	1:00 ...	3.20
22-02-62	2:00 ...	2.81
22-02-62	3:00 ...	3.42
22-02-62	4:00 ...	3.95
22-02-62	5:00 ...	4.37
22-02-62	6:00 ...	5.21
22-02-62	7:00 ...	6.72
22-02-62	8:00 ...	7.32
22-02-62	9:00 ...	6.16
22-02-62	10:00 ...	4.87
22-02-62	11:00 ...	5.05
22-02-62	12:00 ...	6.40
22-02-62	13:00 ...	5.87
22-02-62	14:00 ...	4.67
22-02-62	15:00 ...	5.63
22-02-62	16:00 ...	5.62
22-02-62	17:00 ...	6.66
22-02-62	18:00 ...	7.38
22-02-62	19:00 ...	8.11
22-02-62	20:00 ...	8.18
22-02-62	21:00 ...	6.12
22-02-62	22:00 ...	5.80
22-02-62	23:00 ...	4.73
22-02-62	24:00 ...	4.03
23-02-62	1:00 ...	3.62
23-02-62	2:00 ...	3.05
23-02-62	3:00 ...	3.08
23-02-62	4:00 ...	4.12
23-02-62	5:00 ...	4.27
23-02-62	6:00 ...	5.76
23-02-62	7:00 ...	6.76
23-02-62	8:00 ...	7.00
23-02-62	9:00 ...	7.12
23-02-62	10:00 ...	6.65
23-02-62	11:00 ...	6.78
23-02-62	12:00 ...	6.18
23-02-62	13:00 ...	6.08
23-02-62	14:00 ...	5.93
23-02-62	15:00 ...	5.71
23-02-62	16:00 ...	5.64
23-02-62	17:00 ...	6.82
23-02-62	18:00 ...	7.32
23-02-62	19:00 ...	7.91
23-02-62	20:00 ...	8.01
23-02-62	21:00 ...	5.78
23-02-62	22:00 ...	5.41
23-02-62	23:00 ...	4.23
23-02-62	24:00 ...	3.89
24-02-62	1:00 ...	3.47
24-02-62	2:00 ...	2.93
24-02-62	3:00 ...	3.79
24-02-62	4:00 ...	4.38
24-02-62	5:00 ...	4.53
24-02-62	6:00 ...	5.32
24-02-62	7:00 ...	7.02
24-02-62	8:00 ...	7.66
24-02-62	9:00 ...	6.87
24-02-62	10:00 ...	7.03
24-02-62	11:00 ...	6.39
24-02-62	12:00 ...	5.95
24-02-62	13:00 ...	6.15
24-02-62	14:00 ...	6.24
24-02-62	15:00 ...	5.44
24-02-62	16:00 ...	5.60
24-02-62	17:00 ...	6.61
24-02-62	18:00 ...	7.40
24-02-62	19:00 ...	7.45
24-02-62	20:00 ...	7.65
24-02-62	21:00 ...	6.10
24-02-62	22:00 ...	5.30
24-02-62	23:00 ...	4.33
24-02-62	24:00 ...	3.57

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

ข้อมูลปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัท สยามโซลาร์ เอ็นเนอร์ยี 1 จำกัด ที่เชื่อมโยงกับสถานีไฟฟ้าเดิมบางนางบวช การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค วงจรที่ 1 ระหว่างวันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562 มีรายละเอียดเป็นไปตามภาพผนวกที่ 2

SSE1@DBA4				
date-time		MW		
18-02-62	1:00 ...	0.00	19-02-62	17:00 ... 1.48
18-02-62	2:00 ...	0.00	19-02-62	18:00 ... 0.28
18-02-62	3:00 ...	0.00	19-02-62	19:00 ... 0.00
18-02-62	4:00 ...	0.00	19-02-62	20:00 ... 0.00
18-02-62	5:00 ...	0.00	19-02-62	21:00 ... 0.00
18-02-62	6:00 ...	0.00	19-02-62	22:00 ... 0.00
18-02-62	7:00 ...	0.21	19-02-62	23:00 ... 0.00
18-02-62	8:00 ...	1.87	19-02-62	24:00 ... 0.00
18-02-62	9:00 ...	3.81	20-02-62	1:00 ... 0.00
18-02-62	10:00 ...	6.67	20-02-62	2:00 ... 0.00
18-02-62	11:00 ...	8.00	20-02-62	3:00 ... 0.00
18-02-62	12:00 ...	8.00	20-02-62	4:00 ... 0.00
18-02-62	13:00 ...	8.00	20-02-62	5:00 ... 0.00
18-02-62	14:00 ...	8.00	20-02-62	6:00 ... 0.00
18-02-62	15:00 ...	7.76	20-02-62	7:00 ... 0.08
18-02-62	16:00 ...	4.80	20-02-62	8:00 ... 1.18
18-02-62	17:00 ...	1.81	20-02-62	9:00 ... 3.05
18-02-62	18:00 ...	0.09	20-02-62	10:00 ... 6.55
18-02-62	19:00 ...	0.00	20-02-62	11:00 ... 7.98
18-02-62	20:00 ...	0.00	20-02-62	12:00 ... 8.00
18-02-62	21:00 ...	0.00	20-02-62	13:00 ... 8.00
18-02-62	22:00 ...	0.00	20-02-62	14:00 ... 8.00
18-02-62	23:00 ...	0.00	20-02-62	15:00 ... 7.81
18-02-62	24:00 ...	0.00	20-02-62	16:00 ... 4.65
19-02-62	1:00 ...	0.00	20-02-62	17:00 ... 1.55
19-02-62	2:00 ...	0.00	20-02-62	18:00 ... 0.25
19-02-62	3:00 ...	0.00	20-02-62	19:00 ... 0.00
19-02-62	4:00 ...	0.00	20-02-62	20:00 ... 0.00
19-02-62	5:00 ...	0.00	20-02-62	21:00 ... 0.00
19-02-62	6:00 ...	0.00	20-02-62	22:00 ... 0.00
19-02-62	7:00 ...	0.15	20-02-62	23:00 ... 0.00
19-02-62	8:00 ...	1.73	20-02-62	24:00 ... 0.00
19-02-62	9:00 ...	4.44	21-02-62	1:00 ... 0.00
19-02-62	10:00 ...	6.95	21-02-62	2:00 ... 0.00
19-02-62	11:00 ...	8.00	21-02-62	3:00 ... 0.00
19-02-62	12:00 ...	8.00	21-02-62	4:00 ... 0.00
19-02-62	13:00 ...	8.00	21-02-62	5:00 ... 0.00
19-02-62	14:00 ...	7.97	21-02-62	6:00 ... 0.00
19-02-62	15:00 ...	7.44	21-02-62	7:00 ... 0.13
19-02-62	16:00 ...	4.42	21-02-62	8:00 ... 1.44
			21-02-62	9:00 ... 4.65
			21-02-62	10:00 ... 7.02
			21-02-62	11:00 ... 8.00

ภาพผนวกที่ 2 ข้อมูลปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า วันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2562

21-02-62	12:00	...	8.00
21-02-62	13:00	...	8.00
21-02-62	14:00	...	8.00
21-02-62	15:00	...	7.35
21-02-62	16:00	...	4.91
21-02-62	17:00	...	1.33
21-02-62	18:00	...	0.26
21-02-62	19:00	...	0.00
21-02-62	20:00	...	0.00
21-02-62	21:00	...	0.00
21-02-62	22:00	...	0.00
21-02-62	23:00	...	0.00
21-02-62	24:00	...	0.00
22-02-62	1:00	...	0.00
22-02-62	2:00	...	0.00
22-02-62	3:00	...	0.00
22-02-62	4:00	...	0.00
22-02-62	5:00	...	0.00
22-02-62	6:00	...	0.00
22-02-62	7:00	...	0.05
22-02-62	8:00	...	1.58
22-02-62	9:00	...	4.25
22-02-62	10:00	...	7.11
22-02-62	11:00	...	8.00
22-02-62	12:00	...	8.00
22-02-62	13:00	...	8.00
22-02-62	14:00	...	8.00
22-02-62	15:00	...	7.84
22-02-62	16:00	...	5.06
22-02-62	17:00	...	1.44
22-02-62	18:00	...	0.31
22-02-62	19:00	...	0.00
22-02-62	20:00	...	0.00
22-02-62	21:00	...	0.00
22-02-62	22:00	...	0.00
22-02-62	23:00	...	0.00
22-02-62	24:00	...	0.00
23-02-62	1:00	...	0.00
23-02-62	2:00	...	0.00
23-02-62	3:00	...	0.00
23-02-62	4:00	...	0.00
23-02-62	5:00	...	0.00
23-02-62	6:00	...	0.00
23-02-62	7:00	...	0.10
23-02-62	8:00	...	1.81
23-02-62	9:00	...	3.87
23-02-62	10:00	...	6.92
23-02-62	11:00	...	7.99
23-02-62	12:00	...	8.00
23-02-62	13:00	...	8.00
23-02-62	14:00	...	8.00
23-02-62	15:00	...	7.18
23-02-62	16:00	...	4.48
23-02-62	17:00	...	1.37
23-02-62	18:00	...	0.24
23-02-62	19:00	...	0.00
23-02-62	20:00	...	0.00
23-02-62	21:00	...	0.00
23-02-62	22:00	...	0.00
23-02-62	23:00	...	0.00
23-02-62	24:00	...	0.00
24-02-62	1:00	...	0.00
24-02-62	2:00	...	0.00
24-02-62	3:00	...	0.00
24-02-62	4:00	...	0.00
24-02-62	5:00	...	0.00
24-02-62	6:00	...	0.00
24-02-62	7:00	...	0.15
24-02-62	8:00	...	1.76
24-02-62	9:00	...	3.93
24-02-62	10:00	...	6.90
24-02-62	11:00	...	8.00
24-02-62	12:00	...	8.00
24-02-62	13:00	...	8.00
24-02-62	14:00	...	8.00
24-02-62	15:00	...	7.12
24-02-62	16:00	...	4.93
24-02-62	17:00	...	1.52
24-02-62	18:00	...	0.32
24-02-62	19:00	...	0.00
24-02-62	20:00	...	0.00
24-02-62	21:00	...	0.00
24-02-62	22:00	...	0.00
24-02-62	23:00	...	0.00
24-02-62	24:00	...	0.00

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)

ผลของค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส กรณีติดตั้งอุปกรณ์เก็บพลังงานตามเงื่อนไขต่างๆ

ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าของบัสที่ 1 ถึงบัสที่ 20 กรณีเชื่อมโยงอุปกรณ์เก็บพลังงานตามเงื่อนไข N (ตำแหน่งบัส) และ B (ขนาดอุปกรณ์เก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่) ค่าต่างๆ มีรายละเอียดเป็นไปตามตารางผนวกที่ 1

ตารางผนวกที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส กรณีติดตั้งอุปกรณ์เก็บพลังงานตามเงื่อนไข N และ B

N = 1, B = 1-10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
✓	bus02	Grid	22.	22.37736	1.01715
✓	bus03	Grid	22.	22.11594	1.00527
✓	bus04	Grid	22.	21.84251	0.99284
✓	bus05	Grid	22.	21.59048	0.98138
✓	bus06	Grid	22.	21.36669	0.97121
✓	bus07	Grid	22.	21.16324	0.96196
✓	bus08	Grid	22.	21.02776	0.95580
✓	bus09	Grid	22.	20.90838	0.95038
✓	bus10	Grid	22.	20.87162	0.94871
✓	bus11	Grid	22.	22.36792	1.01672
✓	bus12	Grid	22.	21.58142	0.98097
✓	bus13	Grid	22.	20.85701	0.94804
✓	bus14	Grid	22.	20.84671	0.94757
✓	bus15	Grid	22.	20.84677	0.94758
✓	bus16	Grid	22.	22.09549	1.00434
✓	bus17	Grid	22.	21.14006	0.96091
✓	bus18	Grid	22.	20.87314	0.94877
✓	bus19	Grid	22.	20.86141	0.94824
✓	bus20	Grid	22.	20.8548	0.94794

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 2, B = 1						N = 2, B = 2					
	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.		Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03	→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40184	1.01826	→✓	bus02	Grid	22.	22.41759	1.01898
→✓	bus03	Grid	22.	22.14082	1.00640	→✓	bus03	Grid	22.	22.15681	1.00712
→✓	bus04	Grid	22.	21.8678	0.99399	→✓	bus04	Grid	22.	21.88406	0.99472
→✓	bus05	Grid	22.	21.61613	0.98255	→✓	bus05	Grid	22.	21.63262	0.98330
→✓	bus06	Grid	22.	21.39266	0.97239	→✓	bus06	Grid	22.	21.40936	0.97315
→✓	bus07	Grid	22.	21.1895	0.96315	→✓	bus07	Grid	22.	21.20638	0.96392
→✓	bus08	Grid	22.	21.0542	0.95700	→✓	bus08	Grid	22.	21.0712	0.95778
→✓	bus09	Grid	22.	20.93499	0.95159	→✓	bus09	Grid	22.	20.95209	0.95236
→✓	bus10	Grid	22.	20.89827	0.94992	→✓	bus10	Grid	22.	20.91541	0.95070
→✓	bus11	Grid	22.	22.39242	1.01783	→✓	bus11	Grid	22.	22.40817	1.01855
→✓	bus12	Grid	22.	21.60708	0.98213	→✓	bus12	Grid	22.	21.62358	0.98288
→✓	bus13	Grid	22.	20.88368	0.94925	→✓	bus13	Grid	22.	20.90084	0.95003
→✓	bus14	Grid	22.	20.87341	0.94879	→✓	bus14	Grid	22.	20.89057	0.94957
→✓	bus15	Grid	22.	20.87347	0.94879	→✓	bus15	Grid	22.	20.89063	0.94957
→✓	bus16	Grid	22.	22.12039	1.00547	→✓	bus16	Grid	22.	22.13641	1.0062
→✓	bus17	Grid	22.	21.16635	0.96210	→✓	bus17	Grid	22.	21.18325	0.96287
→✓	bus18	Grid	22.	20.89979	0.94999	→✓	bus18	Grid	22.	20.91693	0.95076
→✓	bus19	Grid	22.	20.88807	0.94945	→✓	bus19	Grid	22.	20.90522	0.95023
→✓	bus20	Grid	22.	20.88148	0.94915	→✓	bus20	Grid	22.	20.89863	0.94993

N = 2, B = 3						N = 2, B = 4					
	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.		Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03	→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43061	1.01957	→✓	bus02	Grid	22.	22.44133	1.02006
→✓	bus03	Grid	22.	22.17004	1.00772	→✓	bus03	Grid	22.	22.18093	1.00822
→✓	bus04	Grid	22.	21.8975	0.99534	→✓	bus04	Grid	22.	21.90856	0.99584
→✓	bus05	Grid	22.	21.64626	0.98392	→✓	bus05	Grid	22.	21.65748	0.98443
→✓	bus06	Grid	22.	21.42317	0.97378	→✓	bus06	Grid	22.	21.43453	0.97429
→✓	bus07	Grid	22.	21.22033	0.96456	→✓	bus07	Grid	22.	21.23182	0.96508
→✓	bus08	Grid	22.	21.08525	0.95842	→✓	bus08	Grid	22.	21.09682	0.95894
→✓	bus09	Grid	22.	20.96623	0.95301	→✓	bus09	Grid	22.	20.97788	0.95353
→✓	bus10	Grid	22.	20.92958	0.95134	→✓	bus10	Grid	22.	20.94125	0.95187
→✓	bus11	Grid	22.	22.4212	1.01914	→✓	bus11	Grid	22.	22.43192	1.01963
→✓	bus12	Grid	22.	21.63722	0.98351	→✓	bus12	Grid	22.	21.64845	0.98402
→✓	bus13	Grid	22.	20.91501	0.95068	→✓	bus13	Grid	22.	20.92669	0.95121
→✓	bus14	Grid	22.	20.90475	0.95021	→✓	bus14	Grid	22.	20.91643	0.95074
→✓	bus15	Grid	22.	20.90481	0.95021	→✓	bus15	Grid	22.	20.91649	0.95074
→✓	bus16	Grid	22.	22.14964	1.00680	→✓	bus16	Grid	22.	22.16054	1.00729
→✓	bus17	Grid	22.	21.19722	0.96350	→✓	bus17	Grid	22.	21.20872	0.96403
→✓	bus18	Grid	22.	20.93109	0.95141	→✓	bus18	Grid	22.	20.94275	0.95194
→✓	bus19	Grid	22.	20.91939	0.95088	→✓	bus19	Grid	22.	20.93106	0.95141
→✓	bus20	Grid	22.	20.91281	0.95058	→✓	bus20	Grid	22.	20.92448	0.95111

N = 2, B = 5						N = 2, B = 6					
	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.		Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03	→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45085	1.02049	→✓	bus02	Grid	22.	22.45915	1.02087
→✓	bus03	Grid	22.	22.1906	1.00866	→✓	bus03	Grid	22.	22.19903	1.00904
→✓	bus04	Grid	22.	21.91839	0.99629	→✓	bus04	Grid	22.	21.92696	0.99667
→✓	bus05	Grid	22.	21.66745	0.98488	→✓	bus05	Grid	22.	21.67614	0.98527
→✓	bus06	Grid	22.	21.44462	0.97475	→✓	bus06	Grid	22.	21.45342	0.97515
→✓	bus07	Grid	22.	21.24202	0.96554	→✓	bus07	Grid	22.	21.25092	0.96595
→✓	bus08	Grid	22.	21.10709	0.95941	→✓	bus08	Grid	22.	21.11605	0.95982
→✓	bus09	Grid	22.	20.98821	0.95400	→✓	bus09	Grid	22.	20.99722	0.95441
→✓	bus10	Grid	22.	20.9516	0.95234	→✓	bus10	Grid	22.	20.96063	0.95275
→✓	bus11	Grid	22.	22.44144	1.02006	→✓	bus11	Grid	22.	22.44974	1.02044
→✓	bus12	Grid	22.	21.65842	0.98447	→✓	bus12	Grid	22.	21.66712	0.98486
→✓	bus13	Grid	22.	20.93705	0.95168	→✓	bus13	Grid	22.	20.94609	0.95209
→✓	bus14	Grid	22.	20.9268	0.95121	→✓	bus14	Grid	22.	20.93584	0.95162
→✓	bus15	Grid	22.	20.92686	0.95122	→✓	bus15	Grid	22.	20.9359	0.95163
→✓	bus16	Grid	22.	22.17022	1.00773	→✓	bus16	Grid	22.	22.17866	1.00812
→✓	bus17	Grid	22.	21.21893	0.96449	→✓	bus17	Grid	22.	21.22783	0.96490
→✓	bus18	Grid	22.	20.9531	0.95241	→✓	bus18	Grid	22.	20.96213	0.95282
→✓	bus19	Grid	22.	20.94141	0.95188	→✓	bus19	Grid	22.	20.95045	0.95229
→✓	bus20	Grid	22.	20.93485	0.95158	→✓	bus20	Grid	22.	20.94389	0.95199

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 2, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46487	1.021137
→✓	bus03	Grid	22.	22.20484	1.00931
→✓	bus04	Grid	22.	21.93286	0.99634
→✓	bus05	Grid	22.	21.68213	0.98555
→✓	bus06	Grid	22.	21.45949	0.97543
→✓	bus07	Grid	22.	21.25705	0.96622
→✓	bus08	Grid	22.	21.12223	0.96010
→✓	bus09	Grid	22.	21.00344	0.95470
→✓	bus10	Grid	22.	20.96686	0.95303
→✓	bus11	Grid	22.	22.45547	1.02070
→✓	bus12	Grid	22.	21.67311	0.98514
→✓	bus13	Grid	22.	20.95231	0.95237
→✓	bus14	Grid	22.	20.94208	0.95191
→✓	bus15	Grid	22.	20.94214	0.95191
→✓	bus16	Grid	22.	22.18448	1.00838
→✓	bus17	Grid	22.	21.23397	0.96518
→✓	bus18	Grid	22.	20.96836	0.95310
→✓	bus19	Grid	22.	20.95667	0.95257
→✓	bus20	Grid	22.	20.95012	0.95227

N = 2, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4702	1.02137
→✓	bus03	Grid	22.	22.21026	1.00955
→✓	bus04	Grid	22.	21.93836	0.99719
→✓	bus05	Grid	22.	21.68771	0.98580
→✓	bus06	Grid	22.	21.46514	0.97568
→✓	bus07	Grid	22.	21.26276	0.96648
→✓	bus08	Grid	22.	21.12798	0.96036
→✓	bus09	Grid	22.	21.00922	0.95496
→✓	bus10	Grid	22.	20.97265	0.95330
→✓	bus11	Grid	22.	22.4608	1.02094
→✓	bus12	Grid	22.	21.67869	0.98539
→✓	bus13	Grid	22.	20.95811	0.95264
→✓	bus14	Grid	22.	20.94788	0.95217
→✓	bus15	Grid	22.	20.94794	0.95217
→✓	bus16	Grid	22.	22.1899	1.00863
→✓	bus17	Grid	22.	21.23969	0.96544
→✓	bus18	Grid	22.	20.97415	0.95337
→✓	bus19	Grid	22.	20.96247	0.95283
→✓	bus20	Grid	22.	20.95592	0.95254

N = 2, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47552	1.02161
→✓	bus03	Grid	22.	22.21566	1.00980
→✓	bus04	Grid	22.	21.94386	0.99744
→✓	bus05	Grid	22.	21.69329	0.98605
→✓	bus06	Grid	22.	21.47078	0.97594
→✓	bus07	Grid	22.	21.26846	0.96674
→✓	bus08	Grid	22.	21.13372	0.96062
→✓	bus09	Grid	22.	21.015	0.95522
→✓	bus10	Grid	22.	20.97844	0.95356
→✓	bus11	Grid	22.	22.46612	1.02118
→✓	bus12	Grid	22.	21.68427	0.98564
→✓	bus13	Grid	22.	20.96391	0.95290
→✓	bus14	Grid	22.	20.95368	0.95243
→✓	bus15	Grid	22.	20.95374	0.95244
→✓	bus16	Grid	22.	22.19531	1.00887
→✓	bus17	Grid	22.	21.2454	0.96569
→✓	bus18	Grid	22.	20.97994	0.95363
→✓	bus19	Grid	22.	20.96826	0.95310
→✓	bus20	Grid	22.	20.96171	0.95280

N = 2, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48084	1.02185
→✓	bus03	Grid	22.	22.22107	1.01004
→✓	bus04	Grid	22.	21.94935	0.99769
→✓	bus05	Grid	22.	21.69886	0.98631
→✓	bus06	Grid	22.	21.47642	0.97620
→✓	bus07	Grid	22.	21.27416	0.96700
→✓	bus08	Grid	22.	21.13946	0.96088
→✓	bus09	Grid	22.	21.02078	0.95548
→✓	bus10	Grid	22.	20.98423	0.95382
→✓	bus11	Grid	22.	22.47145	1.02142
→✓	bus12	Grid	22.	21.68984	0.98590
→✓	bus13	Grid	22.	20.9697	0.95316
→✓	bus14	Grid	22.	20.95947	0.95270
→✓	bus15	Grid	22.	20.95953	0.95270
→✓	bus16	Grid	22.	22.20072	1.00912
→✓	bus17	Grid	22.	21.2511	0.96595
→✓	bus18	Grid	22.	20.98572	0.95389
→✓	bus19	Grid	22.	20.97405	0.95336
→✓	bus20	Grid	22.	20.96751	0.95306

N = 3, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40347	1.01833
→✓	bus03	Grid	22.	22.16714	1.00759
→✓	bus04	Grid	22.	21.89455	0.99520
→✓	bus05	Grid	22.	21.64326	0.98378
→✓	bus06	Grid	22.	21.42014	0.97364
→✓	bus07	Grid	22.	21.21727	0.96442
→✓	bus08	Grid	22.	21.08217	0.95828
→✓	bus09	Grid	22.	20.96313	0.95286
→✓	bus10	Grid	22.	20.92647	0.95120
→✓	bus11	Grid	22.	22.39404	1.01791
→✓	bus12	Grid	22.	21.63423	0.98337
→✓	bus13	Grid	22.	20.9119	0.95054
→✓	bus14	Grid	22.	20.90164	0.95007
→✓	bus15	Grid	22.	20.9017	0.95007
→✓	bus16	Grid	22.	22.14674	1.00667
→✓	bus17	Grid	22.	21.19415	0.96337
→✓	bus18	Grid	22.	20.92798	0.95127
→✓	bus19	Grid	22.	20.91628	0.95073
→✓	bus20	Grid	22.	20.9097	0.95044

N = 3, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.42017	1.01909
→✓	bus03	Grid	22.	22.19994	1.00908
→✓	bus04	Grid	22.	21.92788	0.99672
→✓	bus05	Grid	22.	21.67708	0.98532
→✓	bus06	Grid	22.	21.45437	0.97519
→✓	bus07	Grid	22.	21.25187	0.96599
→✓	bus08	Grid	22.	21.11702	0.95986
→✓	bus09	Grid	22.	20.99819	0.95446
→✓	bus10	Grid	22.	20.9616	0.95280
→✓	bus11	Grid	22.	22.41075	1.01867
→✓	bus12	Grid	22.	21.66805	0.98491
→✓	bus13	Grid	22.	20.94706	0.95213
→✓	bus14	Grid	22.	20.93681	0.95167
→✓	bus15	Grid	22.	20.93688	0.95167
→✓	bus16	Grid	22.	22.17957	1.00816
→✓	bus17	Grid	22.	21.22879	0.96494
→✓	bus18	Grid	22.	20.9631	0.95286
→✓	bus19	Grid	22.	20.95142	0.95233
→✓	bus20	Grid	22.	20.94486	0.95203

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 3, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43392	1.01972
→✓	bus03	Grid	22.	22.22698	1.01031
→✓	bus04	Grid	22.	21.95536	0.99797
→✓	bus05	Grid	22.	21.70495	0.98658
→✓	bus06	Grid	22.	21.48259	0.97648
→✓	bus07	Grid	22.	21.2804	0.96729
→✓	bus08	Grid	22.	21.14574	0.96117
→✓	bus09	Grid	22.	21.02709	0.95577
→✓	bus10	Grid	22.	20.99056	0.95411
→✓	bus11	Grid	22.	22.42451	1.01929
→✓	bus12	Grid	22.	21.69594	0.98617
→✓	bus13	Grid	22.	20.97603	0.95345
→✓	bus14	Grid	22.	20.96581	0.95299
→✓	bus15	Grid	22.	20.96587	0.95299
→✓	bus16	Grid	22.	22.20664	1.00939
→✓	bus17	Grid	22.	21.25735	0.96624
→✓	bus18	Grid	22.	20.99205	0.95418
→✓	bus19	Grid	22.	20.98038	0.95365
→✓	bus20	Grid	22.	20.97384	0.95335

N = 3, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44521	1.02023
→✓	bus03	Grid	22.	22.2492	1.01132
→✓	bus04	Grid	22.	21.97793	0.99899
→✓	bus05	Grid	22.	21.72784	0.98762
→✓	bus06	Grid	22.	21.50576	0.97753
→✓	bus07	Grid	22.	21.30382	0.96835
→✓	bus08	Grid	22.	21.16933	0.96224
→✓	bus09	Grid	22.	21.05083	0.95685
→✓	bus10	Grid	22.	21.01434	0.95519
→✓	bus11	Grid	22.	22.4358	1.01980
→✓	bus12	Grid	22.	21.71884	0.98722
→✓	bus13	Grid	22.	20.99983	0.95453
→✓	bus14	Grid	22.	20.98962	0.95407
→✓	bus15	Grid	22.	20.98968	0.95407
→✓	bus16	Grid	22.	22.22887	1.01040
→✓	bus17	Grid	22.	21.2808	0.96730
→✓	bus18	Grid	22.	21.01583	0.95526
→✓	bus19	Grid	22.	21.00417	0.95473
→✓	bus20	Grid	22.	20.99765	0.95443

N = 3, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4552	1.02069
→✓	bus03	Grid	22.	22.26888	1.01222
→✓	bus04	Grid	22.	21.99793	0.99990
→✓	bus05	Grid	22.	21.74813	0.98855
→✓	bus06	Grid	22.	21.5263	0.97846
→✓	bus07	Grid	22.	21.32458	0.96929
→✓	bus08	Grid	22.	21.19024	0.96319
→✓	bus09	Grid	22.	21.07186	0.95781
→✓	bus10	Grid	22.	21.03541	0.95615
→✓	bus11	Grid	22.	22.4458	1.02026
→✓	bus12	Grid	22.	21.73914	0.98814
→✓	bus13	Grid	22.	21.02092	0.95549
→✓	bus14	Grid	22.	21.01072	0.95503
→✓	bus15	Grid	22.	21.01078	0.95503
→✓	bus16	Grid	22.	22.24858	1.01129
→✓	bus17	Grid	22.	21.30158	0.96825
→✓	bus18	Grid	22.	21.0369	0.95622
→✓	bus19	Grid	22.	21.02525	0.95569
→✓	bus20	Grid	22.	21.01874	0.95539

N = 3, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4639	1.02108
→✓	bus03	Grid	22.	22.28603	1.01300
→✓	bus04	Grid	22.	22.01535	1.00069
→✓	bus05	Grid	22.	21.7658	0.98935
→✓	bus06	Grid	22.	21.54418	0.97928
→✓	bus07	Grid	22.	21.34266	0.97012
→✓	bus08	Grid	22.	21.20844	0.96402
→✓	bus09	Grid	22.	21.09017	0.95864
→✓	bus10	Grid	22.	21.05376	0.95698
→✓	bus11	Grid	22.	22.4545	1.02065
→✓	bus12	Grid	22.	21.75681	0.98894
→✓	bus13	Grid	22.	21.03928	0.95633
→✓	bus14	Grid	22.	21.02909	0.95586
→✓	bus15	Grid	22.	21.02915	0.95587
→✓	bus16	Grid	22.	22.26574	1.01207
→✓	bus17	Grid	22.	21.31968	0.96907
→✓	bus18	Grid	22.	21.05524	0.95705
→✓	bus19	Grid	22.	21.04361	0.95652
→✓	bus20	Grid	22.	21.0371	0.95623

N = 3, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46988	1.02135
→✓	bus03	Grid	22.	22.29783	1.01353
→✓	bus04	Grid	22.	22.02734	1.00124
→✓	bus05	Grid	22.	21.77796	0.98990
→✓	bus06	Grid	22.	21.55649	0.97984
→✓	bus07	Grid	22.	21.3551	0.97068
→✓	bus08	Grid	22.	21.22097	0.96458
→✓	bus09	Grid	22.	21.10278	0.95921
→✓	bus10	Grid	22.	21.06639	0.95756
→✓	bus11	Grid	22.	22.46048	1.02093
→✓	bus12	Grid	22.	21.76897	0.98949
→✓	bus13	Grid	22.	21.05192	0.95690
→✓	bus14	Grid	22.	21.04174	0.95644
→✓	bus15	Grid	22.	21.0418	0.95644
→✓	bus16	Grid	22.	22.27755	1.01261
→✓	bus17	Grid	22.	21.33213	0.96964
→✓	bus18	Grid	22.	21.06796	0.95763
→✓	bus19	Grid	22.	21.05624	0.95710
→✓	bus20	Grid	22.	21.04974	0.95680

N = 3, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47544	1.02161
→✓	bus03	Grid	22.	22.3088	1.01403
→✓	bus04	Grid	22.	22.03849	1.00174
→✓	bus05	Grid	22.	21.78927	0.99042
→✓	bus06	Grid	22.	21.56794	0.98036
→✓	bus07	Grid	22.	21.36667	0.97121
→✓	bus08	Grid	22.	21.23262	0.96511
→✓	bus09	Grid	22.	21.1145	0.95974
→✓	bus10	Grid	22.	21.07813	0.95809
→✓	bus11	Grid	22.	22.46605	1.02118
→✓	bus12	Grid	22.	21.78029	0.99001
→✓	bus13	Grid	22.	21.06367	0.95743
→✓	bus14	Grid	22.	21.0535	0.95697
→✓	bus15	Grid	22.	21.05356	0.95697
→✓	bus16	Grid	22.	22.28854	1.01311
→✓	bus17	Grid	22.	21.34371	0.97016
→✓	bus18	Grid	22.	21.0796	0.95816
→✓	bus19	Grid	22.	21.06799	0.95763
→✓	bus20	Grid	22.	21.0615	0.95734

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 3, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48099	1.02186
→✓	bus03	Grid	22.	22.31976	1.01453
→✓	bus04	Grid	22.	22.04962	1.00225
→✓	bus05	Grid	22.	21.80055	0.99093
→✓	bus06	Grid	22.	21.57936	0.98088
→✓	bus07	Grid	22.	21.37822	0.97173
→✓	bus08	Grid	22.	21.24425	0.96564
→✓	bus09	Grid	22.	21.1262	0.96028
→✓	bus10	Grid	22.	21.08985	0.95862
→✓	bus11	Grid	22.	22.4716	1.02143
→✓	bus12	Grid	22.	21.79158	0.99052
→✓	bus13	Grid	22.	21.0754	0.95797
→✓	bus14	Grid	22.	21.06523	0.95751
→✓	bus15	Grid	22.	21.06529	0.95751
→✓	bus16	Grid	22.	22.2995	1.01361
→✓	bus17	Grid	22.	21.35527	0.97069
→✓	bus18	Grid	22.	21.09132	0.95869
→✓	bus19	Grid	22.	21.07971	0.95816
→✓	bus20	Grid	22.	21.07323	0.95787

N = 3, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48653	1.02211
→✓	bus03	Grid	22.	22.3307	1.01503
→✓	bus04	Grid	22.	22.06073	1.00276
→✓	bus05	Grid	22.	21.81183	0.99144
→✓	bus06	Grid	22.	21.59077	0.98139
→✓	bus07	Grid	22.	21.38975	0.97226
→✓	bus08	Grid	22.	21.25586	0.96617
→✓	bus09	Grid	22.	21.13788	0.96081
→✓	bus10	Grid	22.	21.10156	0.95916
→✓	bus11	Grid	22.	22.47714	1.02168
→✓	bus12	Grid	22.	21.80286	0.99103
→✓	bus13	Grid	22.	21.08711	0.95850
→✓	bus14	Grid	22.	21.07695	0.95804
→✓	bus15	Grid	22.	21.07701	0.95804
→✓	bus16	Grid	22.	22.31045	1.01412
→✓	bus17	Grid	22.	21.36682	0.97121
→✓	bus18	Grid	22.	21.10302	0.95922
→✓	bus19	Grid	22.	21.09142	0.95870
→✓	bus20	Grid	22.	21.08494	0.95840

N = 4, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40522	1.01841
→✓	bus03	Grid	22.	22.17064	1.00775
→✓	bus04	Grid	22.	21.92666	0.99666
→✓	bus05	Grid	22.	21.67584	0.98526
→✓	bus06	Grid	22.	21.45311	0.97514
→✓	bus07	Grid	22.	21.2506	0.96593
→✓	bus08	Grid	22.	21.11574	0.95980
→✓	bus09	Grid	22.	20.99691	0.95440
→✓	bus10	Grid	22.	20.96031	0.95274
→✓	bus11	Grid	22.	22.39579	1.01799
→✓	bus12	Grid	22.	21.66681	0.98485
→✓	bus13	Grid	22.	20.94577	0.95208
→✓	bus14	Grid	22.	20.93553	0.95161
→✓	bus15	Grid	22.	20.93559	0.95161
→✓	bus16	Grid	22.	22.15024	1.00682
→✓	bus17	Grid	22.	21.22752	0.96488
→✓	bus18	Grid	22.	20.96181	0.95280
→✓	bus19	Grid	22.	20.95013	0.95227
→✓	bus20	Grid	22.	20.94357	0.95198

N = 4, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.42293	1.01922
→✓	bus03	Grid	22.	22.20545	1.00933
→✓	bus04	Grid	22.	21.9803	0.99910
→✓	bus05	Grid	22.	21.73025	0.98773
→✓	bus06	Grid	22.	21.5082	0.97764
→✓	bus07	Grid	22.	21.30629	0.96846
→✓	bus08	Grid	22.	21.17182	0.96235
→✓	bus09	Grid	22.	21.05332	0.95696
→✓	bus10	Grid	22.	21.01684	0.95531
→✓	bus11	Grid	22.	22.41351	1.01879
→✓	bus12	Grid	22.	21.72125	0.98732
→✓	bus13	Grid	22.	21.00233	0.95465
→✓	bus14	Grid	22.	20.99213	0.95418
→✓	bus15	Grid	22.	20.99219	0.95419
→✓	bus16	Grid	22.	22.18509	1.00841
→✓	bus17	Grid	22.	21.28326	0.96742
→✓	bus18	Grid	22.	21.01833	0.95537
→✓	bus19	Grid	22.	21.00668	0.95484
→✓	bus20	Grid	22.	21.00015	0.95455

N = 4, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43744	1.01988
→✓	bus03	Grid	22.	22.23403	1.01063
→✓	bus04	Grid	22.	22.02439	1.00110
→✓	bus05	Grid	22.	21.77496	0.98977
→✓	bus06	Grid	22.	21.55346	0.97970
→✓	bus07	Grid	22.	21.35203	0.97054
→✓	bus08	Grid	22.	21.21789	0.96444
→✓	bus09	Grid	22.	21.09967	0.95907
→✓	bus10	Grid	22.	21.06328	0.95742
→✓	bus11	Grid	22.	22.42803	1.01945
→✓	bus12	Grid	22.	21.76598	0.98936
→✓	bus13	Grid	22.	21.0488	0.95676
→✓	bus14	Grid	22.	21.03862	0.95630
→✓	bus15	Grid	22.	21.03868	0.95630
→✓	bus16	Grid	22.	22.21369	1.00971
→✓	bus17	Grid	22.	21.32906	0.96950
→✓	bus18	Grid	22.	21.06475	0.95748
→✓	bus19	Grid	22.	21.05313	0.95696
→✓	bus20	Grid	22.	21.04663	0.95666

N = 4, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44931	1.02042
→✓	bus03	Grid	22.	22.25741	1.01117
→✓	bus04	Grid	22.	22.0605	1.00275
→✓	bus05	Grid	22.	21.81159	0.99143
→✓	bus06	Grid	22.	21.59053	0.98138
→✓	bus07	Grid	22.	21.3895	0.97225
→✓	bus08	Grid	22.	21.25562	0.96616
→✓	bus09	Grid	22.	21.13763	0.96080
→✓	bus10	Grid	22.	21.10131	0.95915
→✓	bus11	Grid	22.	22.43991	1.01999
→✓	bus12	Grid	22.	21.80262	0.99102
→✓	bus13	Grid	22.	21.08686	0.95849
→✓	bus14	Grid	22.	21.07671	0.95803
→✓	bus15	Grid	22.	21.07677	0.95803
→✓	bus16	Grid	22.	22.23709	1.01077
→✓	bus17	Grid	22.	21.36657	0.97120
→✓	bus18	Grid	22.	21.10278	0.95921
→✓	bus19	Grid	22.	21.09117	0.95868
→✓	bus20	Grid	22.	21.08469	0.95839

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 4, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45979	1.0209
→✓	bus03	Grid	22.	22.27806	1.01263
→✓	bus04	Grid	22.	22.09243	1.00420
→✓	bus05	Grid	22.	21.84397	0.99290
→✓	bus06	Grid	22.	21.62331	0.98287
→✓	bus07	Grid	22.	21.42263	0.97375
→✓	bus08	Grid	22.	21.28897	0.96768
→✓	bus09	Grid	22.	21.17119	0.96232
→✓	bus10	Grid	22.	21.13493	0.96067
→✓	bus11	Grid	22.	22.45039	1.02047
→✓	bus12	Grid	22.	21.83501	0.99250
→✓	bus13	Grid	22.	21.12051	0.96002
→✓	bus14	Grid	22.	21.11037	0.95956
→✓	bus15	Grid	22.	21.11043	0.95956
→✓	bus16	Grid	22.	22.25777	1.01171
→✓	bus17	Grid	22.	21.39973	0.97271
→✓	bus18	Grid	22.	21.13639	0.96074
→✓	bus19	Grid	22.	21.1248	0.96021
→✓	bus20	Grid	22.	21.11835	0.95992

N = 4, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46889	1.02131
→✓	bus03	Grid	22.	22.296	1.01345
→✓	bus04	Grid	22.	22.12018	1.00546
→✓	bus05	Grid	22.	21.87211	0.99418
→✓	bus06	Grid	22.	21.65179	0.98417
→✓	bus07	Grid	22.	21.45141	0.97506
→✓	bus08	Grid	22.	21.31796	0.96899
→✓	bus09	Grid	22.	21.20035	0.96385
→✓	bus10	Grid	22.	21.16415	0.96200
→✓	bus11	Grid	22.	22.45949	1.02088
→✓	bus12	Grid	22.	21.86316	0.99378
→✓	bus13	Grid	22.	21.14974	0.96135
→✓	bus14	Grid	22.	21.13962	0.96089
→✓	bus15	Grid	22.	21.13968	0.96089
→✓	bus16	Grid	22.	22.27572	1.01253
→✓	bus17	Grid	22.	21.42855	0.97402
→✓	bus18	Grid	22.	21.1656	0.96207
→✓	bus19	Grid	22.	21.15403	0.96154
→✓	bus20	Grid	22.	21.14759	0.96125

N = 4, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47513	1.02159
→✓	bus03	Grid	22.	22.30832	1.01401
→✓	bus04	Grid	22.	22.13924	1.00632
→✓	bus05	Grid	22.	21.89144	0.99506
→✓	bus06	Grid	22.	21.67136	0.98506
→✓	bus07	Grid	22.	21.47119	0.97596
→✓	bus08	Grid	22.	21.33787	0.96990
→✓	bus09	Grid	22.	21.22038	0.96456
→✓	bus10	Grid	22.	21.18422	0.96291
→✓	bus11	Grid	22.	22.46573	1.02117
→✓	bus12	Grid	22.	21.88251	0.99465
→✓	bus13	Grid	22.	21.16983	0.96226
→✓	bus14	Grid	22.	21.15972	0.96180
→✓	bus15	Grid	22.	21.15978	0.96180
→✓	bus16	Grid	22.	22.28805	1.01309
→✓	bus17	Grid	22.	21.44835	0.97492
→✓	bus18	Grid	22.	21.18566	0.96298
→✓	bus19	Grid	22.	21.1741	0.96245
→✓	bus20	Grid	22.	21.16768	0.96216

N = 4, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48092	1.02186
→✓	bus03	Grid	22.	22.31976	1.01453
→✓	bus04	Grid	22.	22.15696	1.00713
→✓	bus05	Grid	22.	21.90941	0.99588
→✓	bus06	Grid	22.	21.68954	0.98588
→✓	bus07	Grid	22.	21.48956	0.97679
→✓	bus08	Grid	22.	21.35637	0.97074
→✓	bus09	Grid	22.	21.23899	0.96540
→✓	bus10	Grid	22.	21.20286	0.96376
→✓	bus11	Grid	22.	22.47153	1.02143
→✓	bus12	Grid	22.	21.90048	0.99547
→✓	bus13	Grid	22.	21.18849	0.96311
→✓	bus14	Grid	22.	21.17839	0.96265
→✓	bus15	Grid	22.	21.17845	0.96265
→✓	bus16	Grid	22.	22.2995	1.01361
→✓	bus17	Grid	22.	21.46674	0.97576
→✓	bus18	Grid	22.	21.20431	0.96383
→✓	bus19	Grid	22.	21.19276	0.96330
→✓	bus20	Grid	22.	21.18634	0.96301

N = 4, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48669	1.02212
→✓	bus03	Grid	22.	22.33115	1.01505
→✓	bus04	Grid	22.	22.17462	1.00793
→✓	bus05	Grid	22.	21.92732	0.99669
→✓	bus06	Grid	22.	21.70766	0.98671
→✓	bus07	Grid	22.	21.50798	0.97763
→✓	bus08	Grid	22.	21.37482	0.97158
→✓	bus09	Grid	22.	21.25754	0.96625
→✓	bus10	Grid	22.	21.22145	0.96461
→✓	bus11	Grid	22.	22.4773	1.02169
→✓	bus12	Grid	22.	21.9184	0.99629
→✓	bus13	Grid	22.	21.20709	0.96395
→✓	bus14	Grid	22.	21.197	0.9635
→✓	bus15	Grid	22.	21.19706	0.96350
→✓	bus16	Grid	22.	22.31091	1.01413
→✓	bus17	Grid	22.	21.48508	0.97659
→✓	bus18	Grid	22.	21.22289	0.96467
→✓	bus19	Grid	22.	21.21135	0.96415
→✓	bus20	Grid	22.	21.20494	0.96386

N = 4, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49245	1.02238
→✓	bus03	Grid	22.	22.34252	1.01556
→✓	bus04	Grid	22.	22.19224	1.00873
→✓	bus05	Grid	22.	21.94518	0.99750
→✓	bus06	Grid	22.	21.72574	0.98753
→✓	bus07	Grid	22.	21.52615	0.97846
→✓	bus08	Grid	22.	21.39321	0.97241
→✓	bus09	Grid	22.	21.27605	0.96709
→✓	bus10	Grid	22.	21.23999	0.96545
→✓	bus11	Grid	22.	22.48306	1.02195
→✓	bus12	Grid	22.	21.93626	0.99710
→✓	bus13	Grid	22.	21.22564	0.96480
→✓	bus14	Grid	22.	21.21556	0.96434
→✓	bus15	Grid	22.	21.21562	0.96434
→✓	bus16	Grid	22.	22.32228	1.01464
→✓	bus17	Grid	22.	21.50336	0.97742
→✓	bus18	Grid	22.	21.24142	0.96551
→✓	bus19	Grid	22.	21.22989	0.96499
→✓	bus20	Grid	22.	21.2235	0.96470

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 5, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40689	1.01849
→✓	bus03	Grid	22.	22.17397	1.00790
→✓	bus04	Grid	22.	21.93189	0.99630
→✓	bus05	Grid	22.	21.7099	0.98681
→✓	bus06	Grid	22.	21.4876	0.97670
→✓	bus07	Grid	22.	21.28546	0.96752
→✓	bus08	Grid	22.	21.15084	0.96140
→✓	bus09	Grid	22.	21.03223	0.95601
→✓	bus10	Grid	22.	20.9957	0.95435
→✓	bus11	Grid	22.	22.39746	1.01806
→✓	bus12	Grid	22.	21.70089	0.98640
→✓	bus13	Grid	22.	20.98118	0.95369
→✓	bus14	Grid	22.	20.97096	0.95322
→✓	bus15	Grid	22.	20.97102	0.95322
→✓	bus16	Grid	22.	22.15358	1.00698
→✓	bus17	Grid	22.	21.26242	0.96647
→✓	bus18	Grid	22.	20.99719	0.95441
→✓	bus19	Grid	22.	20.98553	0.95388
→✓	bus20	Grid	22.	20.97899	0.95359

N = 5, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.42553	1.01934
→✓	bus03	Grid	22.	22.21067	1.00957
→✓	bus04	Grid	22.	21.98849	0.99947
→✓	bus05	Grid	22.	21.78565	0.99025
→✓	bus06	Grid	22.	21.56428	0.98019
→✓	bus07	Grid	22.	21.36297	0.97104
→✓	bus08	Grid	22.	21.2289	0.96494
→✓	bus09	Grid	22.	21.11075	0.95957
→✓	bus10	Grid	22.	21.07438	0.95792
→✓	bus11	Grid	22.	22.41612	1.01891
→✓	bus12	Grid	22.	21.77667	0.98984
→✓	bus13	Grid	22.	21.05991	0.95726
→✓	bus14	Grid	22.	21.04974	0.95680
→✓	bus15	Grid	22.	21.0498	0.95680
→✓	bus16	Grid	22.	22.19031	1.00865
→✓	bus17	Grid	22.	21.34001	0.97000
→✓	bus18	Grid	22.	21.07585	0.95799
→✓	bus19	Grid	22.	21.06423	0.95746
→✓	bus20	Grid	22.	21.05774	0.95717

N = 5, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44075	1.02003
→✓	bus03	Grid	22.	22.24064	1.01093
→✓	bus04	Grid	22.	22.03477	1.00158
→✓	bus05	Grid	22.	21.84768	0.99307
→✓	bus06	Grid	22.	21.62706	0.98304
→✓	bus07	Grid	22.	21.42643	0.97392
→✓	bus08	Grid	22.	21.2928	0.96785
→✓	bus09	Grid	22.	21.17503	0.96250
→✓	bus10	Grid	22.	21.13879	0.96085
→✓	bus11	Grid	22.	22.43134	1.01960
→✓	bus12	Grid	22.	21.83873	0.99266
→✓	bus13	Grid	22.	21.12436	0.96019
→✓	bus14	Grid	22.	21.11423	0.95973
→✓	bus15	Grid	22.	21.11429	0.95974
→✓	bus16	Grid	22.	22.22031	1.01001
→✓	bus17	Grid	22.	21.40353	0.97288
→✓	bus18	Grid	22.	21.14024	0.96092
→✓	bus19	Grid	22.	21.12866	0.96039
→✓	bus20	Grid	22.	21.1222	0.96010

N = 5, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45315	1.02059
→✓	bus03	Grid	22.	22.26508	1.01204
→✓	bus04	Grid	22.	22.07254	1.00329
→✓	bus05	Grid	22.	21.89835	0.99537
→✓	bus06	Grid	22.	21.67834	0.98537
→✓	bus07	Grid	22.	21.47825	0.97628
→✓	bus08	Grid	22.	21.34498	0.97022
→✓	bus09	Grid	22.	21.22753	0.96488
→✓	bus10	Grid	22.	21.19138	0.96324
→✓	bus11	Grid	22.	22.44375	1.02017
→✓	bus12	Grid	22.	21.88941	0.99497
→✓	bus13	Grid	22.	21.177	0.96259
→✓	bus14	Grid	22.	21.16689	0.96213
→✓	bus15	Grid	22.	21.16695	0.96213
→✓	bus16	Grid	22.	22.24477	1.01112
→✓	bus17	Grid	22.	21.45541	0.97524
→✓	bus18	Grid	22.	21.19283	0.96331
→✓	bus19	Grid	22.	21.18127	0.96278
→✓	bus20	Grid	22.	21.17485	0.96249

N = 5, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46406	1.02109
→✓	bus03	Grid	22.	22.28659	1.01302
→✓	bus04	Grid	22.	22.10582	1.00481
→✓	bus05	Grid	22.	21.94304	0.99741
→✓	bus06	Grid	22.	21.72357	0.98743
→✓	bus07	Grid	22.	21.52396	0.97836
→✓	bus08	Grid	22.	21.391	0.97231
→✓	bus09	Grid	22.	21.27383	0.96699
→✓	bus10	Grid	22.	21.23777	0.96535
→✓	bus11	Grid	22.	22.45466	1.02066
→✓	bus12	Grid	22.	21.93412	0.99700
→✓	bus13	Grid	22.	21.22341	0.96470
→✓	bus14	Grid	22.	21.21334	0.96424
→✓	bus15	Grid	22.	21.2134	0.96424
→✓	bus16	Grid	22.	22.26631	1.01210
→✓	bus17	Grid	22.	21.50117	0.97732
→✓	bus18	Grid	22.	21.2392	0.96541
→✓	bus19	Grid	22.	21.22767	0.96489
→✓	bus20	Grid	22.	21.22127	0.96460

N = 5, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4735	1.02152
→✓	bus03	Grid	22.	22.30523	1.01387
→✓	bus04	Grid	22.	22.13466	1.00612
→✓	bus05	Grid	22.	21.98179	0.99917
→✓	bus06	Grid	22.	21.76279	0.98921
→✓	bus07	Grid	22.	21.56359	0.98016
→✓	bus08	Grid	22.	21.43091	0.97413
→✓	bus09	Grid	22.	21.31397	0.96881
→✓	bus10	Grid	22.	21.27799	0.96718
→✓	bus11	Grid	22.	22.46411	1.02109
→✓	bus12	Grid	22.	21.97289	0.99876
→✓	bus13	Grid	22.	21.26366	0.96653
→✓	bus14	Grid	22.	21.25361	0.96607
→✓	bus15	Grid	22.	21.25367	0.96607
→✓	bus16	Grid	22.	22.28496	1.01295
→✓	bus17	Grid	22.	21.54085	0.97912
→✓	bus18	Grid	22.	21.27941	0.96724
→✓	bus19	Grid	22.	21.2679	0.96672
→✓	bus20	Grid	22.	21.26153	0.96643

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 5, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47997	1.021811
→✓	bus03	Grid	22.	22.31799	1.014445
→✓	bus04	Grid	22.	22.15443	1.00702
→✓	bus05	Grid	22.	22.00838	1.00038
→✓	bus06	Grid	22.	21.7897	0.99044
→✓	bus07	Grid	22.	21.59078	0.98139
→✓	bus08	Grid	22.	21.45829	0.97537
→✓	bus09	Grid	22.	21.34151	0.97006
→✓	bus10	Grid	22.	21.30558	0.96843
→✓	bus11	Grid	22.	22.47058	1.02139
→✓	bus12	Grid	22.	21.99949	0.99997
→✓	bus13	Grid	22.	21.29127	0.96778
→✓	bus14	Grid	22.	21.28123	0.96732
→✓	bus15	Grid	22.	21.28129	0.96733
→✓	bus16	Grid	22.	22.29774	1.01953
→✓	bus17	Grid	22.	21.56807	0.98036
→✓	bus18	Grid	22.	21.30699	0.96849
→✓	bus19	Grid	22.	21.2955	0.96797
→✓	bus20	Grid	22.	21.28914	0.96768

N = 5, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48596	1.02208
→✓	bus03	Grid	22.	22.32983	1.01493
→✓	bus04	Grid	22.	22.17277	1.00785
→✓	bus05	Grid	22.	22.03305	1.00150
→✓	bus06	Grid	22.	21.81467	0.99157
→✓	bus07	Grid	22.	21.61601	0.98254
→✓	bus08	Grid	22.	21.48369	0.97653
→✓	bus09	Grid	22.	21.36706	0.97122
→✓	bus10	Grid	22.	21.33117	0.96959
→✓	bus11	Grid	22.	22.47657	1.02166
→✓	bus12	Grid	22.	22.02418	1.00109
→✓	bus13	Grid	22.	21.31688	0.96894
→✓	bus14	Grid	22.	21.30686	0.96849
→✓	bus15	Grid	22.	21.30692	0.96849
→✓	bus16	Grid	22.	22.30958	1.01407
→✓	bus17	Grid	22.	21.59332	0.98151
→✓	bus18	Grid	22.	21.33258	0.96966
→✓	bus19	Grid	22.	21.3211	0.96914
→✓	bus20	Grid	22.	21.31476	0.96885

N = 5, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49192	1.02236
→✓	bus03	Grid	22.	22.3416	1.01552
→✓	bus04	Grid	22.	22.19102	1.00868
→✓	bus05	Grid	22.	22.05762	1.00261
→✓	bus06	Grid	22.	21.83952	0.99270
→✓	bus07	Grid	22.	21.64112	0.98368
→✓	bus08	Grid	22.	21.50898	0.97768
→✓	bus09	Grid	22.	21.39249	0.97238
→✓	bus10	Grid	22.	21.35666	0.97075
→✓	bus11	Grid	22.	22.48253	1.02193
→✓	bus12	Grid	22.	22.04875	1.00221
→✓	bus13	Grid	22.	21.34239	0.97010
→✓	bus14	Grid	22.	21.33238	0.96965
→✓	bus15	Grid	22.	21.33244	0.96965
→✓	bus16	Grid	22.	22.32137	1.01460
→✓	bus17	Grid	22.	21.61846	0.98265
→✓	bus18	Grid	22.	21.35806	0.97082
→✓	bus19	Grid	22.	21.3466	0.97029
→✓	bus20	Grid	22.	21.34027	0.97001

N = 5, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49785	1.02263
→✓	bus03	Grid	22.	22.35332	1.01606
→✓	bus04	Grid	22.	22.2092	1.00950
→✓	bus05	Grid	22.	22.08209	1.00373
→✓	bus06	Grid	22.	21.86429	0.99383
→✓	bus07	Grid	22.	21.66615	0.98482
→✓	bus08	Grid	22.	21.53417	0.97882
→✓	bus09	Grid	22.	21.41783	0.97353
→✓	bus10	Grid	22.	21.38204	0.97191
→✓	bus11	Grid	22.	22.48846	1.02220
→✓	bus12	Grid	22.	22.07323	1.00332
→✓	bus13	Grid	22.	21.36779	0.97126
→✓	bus14	Grid	22.	21.3578	0.97080
→✓	bus15	Grid	22.	21.35786	0.97081
→✓	bus16	Grid	22.	22.3331	1.01514
→✓	bus17	Grid	22.	21.64351	0.98379
→✓	bus18	Grid	22.	21.38344	0.97197
→✓	bus19	Grid	22.	21.37199	0.97145
→✓	bus20	Grid	22.	21.36568	0.97116

N = 6, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40841	1.01856
→✓	bus03	Grid	22.	22.17701	1.00804
→✓	bus04	Grid	22.	21.93665	0.99712
→✓	bus05	Grid	22.	21.71639	0.98710
→✓	bus06	Grid	22.	21.52306	0.97832
→✓	bus07	Grid	22.	21.3213	0.96915
→✓	bus08	Grid	22.	21.18694	0.96304
→✓	bus09	Grid	22.	21.06854	0.95766
→✓	bus10	Grid	22.	21.03208	0.95600
→✓	bus11	Grid	22.	22.39898	1.01813
→✓	bus12	Grid	22.	21.70738	0.98669
→✓	bus13	Grid	22.	21.01759	0.95534
→✓	bus14	Grid	22.	21.00739	0.95488
→✓	bus15	Grid	22.	21.00745	0.95488
→✓	bus16	Grid	22.	22.15662	1.00711
→✓	bus17	Grid	22.	21.2983	0.96810
→✓	bus18	Grid	22.	21.03357	0.95607
→✓	bus19	Grid	22.	21.02192	0.95554
→✓	bus20	Grid	22.	21.01541	0.95524

N = 6, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.42788	1.01944
→✓	bus03	Grid	22.	22.21536	1.00978
→✓	bus04	Grid	22.	21.99586	0.99981
→✓	bus05	Grid	22.	21.79569	0.99071
→✓	bus06	Grid	22.	21.62172	0.98280
→✓	bus07	Grid	22.	21.42102	0.97368
→✓	bus08	Grid	22.	21.28735	0.96760
→✓	bus09	Grid	22.	21.16956	0.96225
→✓	bus10	Grid	22.	21.1333	0.96060
→✓	bus11	Grid	22.	22.41847	1.01902
→✓	bus12	Grid	22.	21.78672	0.99030
→✓	bus13	Grid	22.	21.11887	0.95994
→✓	bus14	Grid	22.	21.10874	0.95948
→✓	bus15	Grid	22.	21.1088	0.95949
→✓	bus16	Grid	22.	22.19501	1.00886
→✓	bus17	Grid	22.	21.39812	0.97264
→✓	bus18	Grid	22.	21.13476	0.96067
→✓	bus19	Grid	22.	21.12317	0.96014
→✓	bus20	Grid	22.	21.11671	0.95985

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 6, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44371	1.02016
→✓	bus03	Grid	22.	22.24655	1.01120
→✓	bus04	Grid	22.	22.04405	1.00200
→✓	bus05	Grid	22.	21.86031	0.99365
→✓	bus06	Grid	22.	21.7022	0.98646
→✓	bus07	Grid	22.	21.50236	0.97738
→✓	bus08	Grid	22.	21.36926	0.97133
→✓	bus09	Grid	22.	21.25196	0.96599
→✓	bus10	Grid	22.	21.21585	0.96435
→✓	bus11	Grid	22.	22.4343	1.01974
→✓	bus12	Grid	22.	21.85136	0.99324
→✓	bus13	Grid	22.	21.20148	0.96370
→✓	bus14	Grid	22.	21.19139	0.96324
→✓	bus15	Grid	22.	21.19146	0.96324
→✓	bus16	Grid	22.	22.22623	1.01028
→✓	bus17	Grid	22.	21.47955	0.97634
→✓	bus18	Grid	22.	21.21729	0.96442
→✓	bus19	Grid	22.	21.20575	0.96389
→✓	bus20	Grid	22.	21.19934	0.96360

N = 6, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45655	1.02075
→✓	bus03	Grid	22.	22.27188	1.01235
→✓	bus04	Grid	22.	22.08321	1.00378
→✓	bus05	Grid	22.	21.91289	0.99604
→✓	bus06	Grid	22.	21.76776	0.98944
→✓	bus07	Grid	22.	21.56861	0.98039
→✓	bus08	Grid	22.	21.43596	0.97436
→✓	bus09	Grid	22.	21.31905	0.96904
→✓	bus10	Grid	22.	21.28307	0.96741
→✓	bus11	Grid	22.	22.44715	1.02032
→✓	bus12	Grid	22.	21.90396	0.99563
→✓	bus13	Grid	22.	21.26875	0.96676
→✓	bus14	Grid	22.	21.2587	0.96630
→✓	bus15	Grid	22.	21.25876	0.96630
→✓	bus16	Grid	22.	22.25158	1.01143
→✓	bus17	Grid	22.	21.54587	0.97935
→✓	bus18	Grid	22.	21.2845	0.96747
→✓	bus19	Grid	22.	21.27299	0.96695
→✓	bus20	Grid	22.	21.26662	0.96666

N = 6, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46782	1.02126
→✓	bus03	Grid	22.	22.29411	1.01336
→✓	bus04	Grid	22.	22.11762	1.00534
→✓	bus05	Grid	22.	21.9591	0.99814
→✓	bus06	Grid	22.	21.82543	0.99206
→✓	bus07	Grid	22.	21.62689	0.98304
→✓	bus08	Grid	22.	21.49464	0.97702
→✓	bus09	Grid	22.	21.37808	0.97173
→✓	bus10	Grid	22.	21.34221	0.97010
→✓	bus11	Grid	22.	22.45842	1.02083
→✓	bus12	Grid	22.	21.9502	0.99773
→✓	bus13	Grid	22.	21.32793	0.96945
→✓	bus14	Grid	22.	21.31791	0.96899
→✓	bus15	Grid	22.	21.31798	0.96899
→✓	bus16	Grid	22.	22.27383	1.01244
→✓	bus17	Grid	22.	21.60421	0.98200
→✓	bus18	Grid	22.	21.34362	0.97016
→✓	bus19	Grid	22.	21.33215	0.96964
→✓	bus20	Grid	22.	21.32581	0.96935

N = 6, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47754	1.02170
→✓	bus03	Grid	22.	22.3133	1.01424
→✓	bus04	Grid	22.	22.14734	1.00669
→✓	bus05	Grid	22.	21.99907	0.99996
→✓	bus06	Grid	22.	21.87535	0.99433
→✓	bus07	Grid	22.	21.67732	0.98533
→✓	bus08	Grid	22.	21.54542	0.97933
→✓	bus09	Grid	22.	21.42915	0.97405
→✓	bus10	Grid	22.	21.39338	0.97242
→✓	bus11	Grid	22.	22.46815	1.02127
→✓	bus12	Grid	22.	21.99018	0.99955
→✓	bus13	Grid	22.	21.37914	0.97177
→✓	bus14	Grid	22.	21.36915	0.97132
→✓	bus15	Grid	22.	21.36921	0.97132
→✓	bus16	Grid	22.	22.29304	1.01332
→✓	bus17	Grid	22.	21.6547	0.98430
→✓	bus18	Grid	22.	21.39478	0.97249
→✓	bus19	Grid	22.	21.38333	0.97196
→✓	bus20	Grid	22.	21.37703	0.97168

N = 6, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48419	1.02200
→✓	bus03	Grid	22.	22.32643	1.01483
→✓	bus04	Grid	22.	22.16768	1.00762
→✓	bus05	Grid	22.	22.02642	1.00120
→✓	bus06	Grid	22.	21.90953	0.99588
→✓	bus07	Grid	22.	21.71186	0.98630
→✓	bus08	Grid	22.	21.5802	0.98091
→✓	bus09	Grid	22.	21.46413	0.97564
→✓	bus10	Grid	22.	21.42843	0.97401
→✓	bus11	Grid	22.	22.4748	1.02158
→✓	bus12	Grid	22.	22.01754	1.00079
→✓	bus13	Grid	22.	21.41421	0.97337
→✓	bus14	Grid	22.	21.40424	0.97231
→✓	bus15	Grid	22.	21.4043	0.97292
→✓	bus16	Grid	22.	22.30618	1.01391
→✓	bus17	Grid	22.	21.68928	0.98587
→✓	bus18	Grid	22.	21.42981	0.97408
→✓	bus19	Grid	22.	21.41839	0.97356
→✓	bus20	Grid	22.	21.4121	0.97327

N = 6, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49034	1.02228
→✓	bus03	Grid	22.	22.33858	1.01539
→✓	bus04	Grid	22.	22.18651	1.00847
→✓	bus05	Grid	22.	22.05176	1.00235
→✓	bus06	Grid	22.	21.94122	0.99732
→✓	bus07	Grid	22.	21.74387	0.98835
→✓	bus08	Grid	22.	21.61242	0.98238
→✓	bus09	Grid	22.	21.49654	0.97711
→✓	bus10	Grid	22.	21.4609	0.97549
→✓	bus11	Grid	22.	22.48095	1.02186
→✓	bus12	Grid	22.	22.04289	1.00195
→✓	bus13	Grid	22.	21.4467	0.97485
→✓	bus14	Grid	22.	21.43675	0.97439
→✓	bus15	Grid	22.	21.43681	0.97440
→✓	bus16	Grid	22.	22.31834	1.01447
→✓	bus17	Grid	22.	21.72132	0.98733
→✓	bus18	Grid	22.	21.46228	0.97555
→✓	bus19	Grid	22.	21.45087	0.97503
→✓	bus20	Grid	22.	21.4446	0.97475

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 6, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49653	1.02257
→✓	bus03	Grid	22.	22.35081	1.01594
→✓	bus04	Grid	22.	22.20549	1.00934
→✓	bus05	Grid	22.	22.07732	1.00351
→✓	bus06	Grid	22.	21.97318	0.99878
→✓	bus07	Grid	22.	21.77633	0.98983
→✓	bus08	Grid	22.	21.64522	0.98387
→✓	bus09	Grid	22.	21.52965	0.97862
→✓	bus10	Grid	22.	21.4941	0.97700
→✓	bus11	Grid	22.	22.48714	1.02214
→✓	bus12	Grid	22.	22.06846	1.00311
→✓	bus13	Grid	22.	21.47994	0.97636
→✓	bus14	Grid	22.	21.47002	0.97591
→✓	bus15	Grid	22.	21.47008	0.97591
→✓	bus16	Grid	22.	22.33059	1.01502
→✓	bus17	Grid	22.	21.75383	0.98881
→✓	bus18	Grid	22.	21.49547	0.97706
→✓	bus19	Grid	22.	21.48409	0.97654
→✓	bus20	Grid	22.	21.47785	0.97626

N = 6, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50258	1.02284
→✓	bus03	Grid	22.	22.36278	1.01649
→✓	bus04	Grid	22.	22.22406	1.01018
→✓	bus05	Grid	22.	22.10233	1.00465
→✓	bus06	Grid	22.	22.00449	1.00020
→✓	bus07	Grid	22.	21.80795	0.99127
→✓	bus08	Grid	22.	21.67704	0.98532
→✓	bus09	Grid	22.	21.56164	0.98007
→✓	bus10	Grid	22.	21.52615	0.97846
→✓	bus11	Grid	22.	22.4932	1.02241
→✓	bus12	Grid	22.	22.09348	1.00424
→✓	bus13	Grid	22.	21.51201	0.97781
→✓	bus14	Grid	22.	21.50211	0.97736
→✓	bus15	Grid	22.	21.50217	0.97737
→✓	bus16	Grid	22.	22.34257	1.01557
→✓	bus17	Grid	22.	21.78547	0.99024
→✓	bus18	Grid	22.	21.52751	0.97852
→✓	bus19	Grid	22.	21.51615	0.97800
→✓	bus20	Grid	22.	21.50992	0.97772

N = 7, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40982	1.01862
→✓	bus03	Grid	22.	22.17983	1.00817
→✓	bus04	Grid	22.	21.94108	0.99732
→✓	bus05	Grid	22.	21.72242	0.98738
→✓	bus06	Grid	22.	21.53068	0.97866
→✓	bus07	Grid	22.	21.35804	0.97082
→✓	bus08	Grid	22.	21.22394	0.96472
→✓	bus09	Grid	22.	21.10576	0.95935
→✓	bus10	Grid	22.	21.06938	0.95769
→✓	bus11	Grid	22.	22.40039	1.0182
→✓	bus12	Grid	22.	21.71341	0.98697
→✓	bus13	Grid	22.	21.05491	0.95704
→✓	bus14	Grid	22.	21.04473	0.95657
→✓	bus15	Grid	22.	21.04479	0.95658
→✓	bus16	Grid	22.	22.15944	1.00724
→✓	bus17	Grid	22.	21.33508	0.96977
→✓	bus18	Grid	22.	21.07085	0.95776
→✓	bus19	Grid	22.	21.05923	0.95723
→✓	bus20	Grid	22.	21.05274	0.95694

N = 7, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43005	1.01954
→✓	bus03	Grid	22.	22.21969	1.00998
→✓	bus04	Grid	22.	22.00265	1.00012
→✓	bus05	Grid	22.	21.80494	0.99113
→✓	bus06	Grid	22.	21.6334	0.98333
→✓	bus07	Grid	22.	21.48028	0.97637
→✓	bus08	Grid	22.	21.34703	0.97031
→✓	bus09	Grid	22.	21.22959	0.96498
→✓	bus10	Grid	22.	21.19344	0.96333
→✓	bus11	Grid	22.	22.42063	1.01912
→✓	bus12	Grid	22.	21.79597	0.99072
→✓	bus13	Grid	22.	21.17906	0.96268
→✓	bus14	Grid	22.	21.16896	0.96222
→✓	bus15	Grid	22.	21.16902	0.96222
→✓	bus16	Grid	22.	22.19934	1.00906
→✓	bus17	Grid	22.	21.45745	0.97533
→✓	bus18	Grid	22.	21.19489	0.96340
→✓	bus19	Grid	22.	21.18333	0.96287
→✓	bus20	Grid	22.	21.17691	0.96258

N = 7, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44641	1.02029
→✓	bus03	Grid	22.	22.25195	1.01145
→✓	bus04	Grid	22.	22.05252	1.00238
→✓	bus05	Grid	22.	21.87185	0.99417
→✓	bus06	Grid	22.	21.71679	0.98712
→✓	bus07	Grid	22.	21.57963	0.98089
→✓	bus08	Grid	22.	21.44706	0.97486
→✓	bus09	Grid	22.	21.33022	0.96955
→✓	bus10	Grid	22.	21.29426	0.96792
→✓	bus11	Grid	22.	22.437	1.01986
→✓	bus12	Grid	22.	21.86291	0.99376
→✓	bus13	Grid	22.	21.27995	0.96727
→✓	bus14	Grid	22.	21.2699	0.96681
→✓	bus15	Grid	22.	21.26997	0.96681
→✓	bus16	Grid	22.	22.23163	1.01052
→✓	bus17	Grid	22.	21.55691	0.97985
→✓	bus18	Grid	22.	21.29568	0.96798
→✓	bus19	Grid	22.	21.28418	0.96746
→✓	bus20	Grid	22.	21.27782	0.96717

N = 7, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45964	1.02089
→✓	bus03	Grid	22.	22.27804	1.01263
→✓	bus04	Grid	22.	22.09289	1.00422
→✓	bus05	Grid	22.	21.92607	0.99663
→✓	bus06	Grid	22.	21.78443	0.99020
→✓	bus07	Grid	22.	21.6603	0.98455
→✓	bus08	Grid	22.	21.52829	0.97855
→✓	bus09	Grid	22.	21.41192	0.97326
→✓	bus10	Grid	22.	21.37612	0.97164
→✓	bus11	Grid	22.	22.45024	1.02046
→✓	bus12	Grid	22.	21.91715	0.99623
→✓	bus13	Grid	22.	21.36186	0.97099
→✓	bus14	Grid	22.	21.35186	0.97053
→✓	bus15	Grid	22.	21.35192	0.97054
→✓	bus16	Grid	22.	22.25775	1.01171
→✓	bus17	Grid	22.	21.63766	0.98353
→✓	bus18	Grid	22.	21.37752	0.97170
→✓	bus19	Grid	22.	21.36606	0.97118
→✓	bus20	Grid	22.	21.35974	0.97089

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 7, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47121	1.021418
→✓	bus03	Grid	22.	22.30088	1.013671
→✓	bus04	Grid	22.	22.12825	1.00582
→✓	bus05	Grid	22.	21.97358	0.99879
→✓	bus06	Grid	22.	21.84374	0.99289
→✓	bus07	Grid	22.	21.73111	0.98777
→✓	bus08	Grid	22.	21.59957	0.98179
→✓	bus09	Grid	22.	21.48362	0.97652
→✓	bus10	Grid	22.	21.44795	0.97490
→✓	bus11	Grid	22.	22.46181	1.02099
→✓	bus12	Grid	22.	21.96468	0.99839
→✓	bus13	Grid	22.	21.43374	0.97426
→✓	bus14	Grid	22.	21.42379	0.97380
→✓	bus15	Grid	22.	21.42385	0.97381
→✓	bus16	Grid	22.	22.28061	1.01275
→✓	bus17	Grid	22.	21.70854	0.98675
→✓	bus18	Grid	22.	21.44934	0.97496
→✓	bus19	Grid	22.	21.43792	0.97445
→✓	bus20	Grid	22.	21.43164	0.97416

N = 7, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48116	1.02187
→✓	bus03	Grid	22.	22.32054	1.01457
→✓	bus04	Grid	22.	22.15871	1.00721
→✓	bus05	Grid	22.	22.01455	1.00066
→✓	bus06	Grid	22.	21.89492	0.99522
→✓	bus07	Grid	22.	21.79225	0.99055
→✓	bus08	Grid	22.	21.66113	0.98459
→✓	bus09	Grid	22.	21.54553	0.97934
→✓	bus10	Grid	22.	21.50998	0.97772
→✓	bus11	Grid	22.	22.47177	1.02144
→✓	bus12	Grid	22.	22.00566	1.00025
→✓	bus13	Grid	22.	21.49581	0.97708
→✓	bus14	Grid	22.	21.48589	0.97663
→✓	bus15	Grid	22.	21.48596	0.97663
→✓	bus16	Grid	22.	22.30029	1.01364
→✓	bus17	Grid	22.	21.76975	0.98953
→✓	bus18	Grid	22.	21.51135	0.97778
→✓	bus19	Grid	22.	21.49997	0.97727
→✓	bus20	Grid	22.	21.49372	0.97698

N = 7, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48799	1.02218
→✓	bus03	Grid	22.	22.33403	1.01518
→✓	bus04	Grid	22.	22.17962	1.00816
→✓	bus05	Grid	22.	22.04268	1.00194
→✓	bus06	Grid	22.	21.93009	0.99682
→✓	bus07	Grid	22.	21.83429	0.99246
→✓	bus08	Grid	22.	21.70353	0.98652
→✓	bus09	Grid	22.	21.58826	0.98128
→✓	bus10	Grid	22.	21.55281	0.97967
→✓	bus11	Grid	22.	22.4786	1.02175
→✓	bus12	Grid	22.	22.03381	1.00153
→✓	bus13	Grid	22.	21.53868	0.97903
→✓	bus14	Grid	22.	21.52879	0.97858
→✓	bus15	Grid	22.	21.52886	0.97858
→✓	bus16	Grid	22.	22.31379	1.01426
→✓	bus17	Grid	22.	21.81184	0.99144
→✓	bus18	Grid	22.	21.55416	0.97973
→✓	bus19	Grid	22.	21.54281	0.97921
→✓	bus20	Grid	22.	21.5366	0.97893

N = 7, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49426	1.02246
→✓	bus03	Grid	22.	22.34642	1.01574
→✓	bus04	Grid	22.	22.19882	1.00903
→✓	bus05	Grid	22.	22.06852	1.00311
→✓	bus06	Grid	22.	21.96241	0.99829
→✓	bus07	Grid	22.	21.87295	0.99422
→✓	bus08	Grid	22.	21.74244	0.98829
→✓	bus09	Grid	22.	21.62738	0.98306
→✓	bus10	Grid	22.	21.592	0.98145
→✓	bus11	Grid	22.	22.48487	1.02204
→✓	bus12	Grid	22.	22.05966	1.00271
→✓	bus13	Grid	22.	21.5779	0.98081
→✓	bus14	Grid	22.	21.56803	0.98036
→✓	bus15	Grid	22.	21.56809	0.98036
→✓	bus16	Grid	22.	22.32619	1.01482
→✓	bus17	Grid	22.	21.85054	0.99320
→✓	bus18	Grid	22.	21.59335	0.98151
→✓	bus19	Grid	22.	21.58201	0.98100
→✓	bus20	Grid	22.	21.57583	0.98071

N = 7, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50047	1.02274
→✓	bus03	Grid	22.	22.3587	1.01630
→✓	bus04	Grid	22.	22.21796	1.00990
→✓	bus05	Grid	22.	22.09418	1.00428
→✓	bus06	Grid	22.	21.99451	0.99975
→✓	bus07	Grid	22.	21.91136	0.99597
→✓	bus08	Grid	22.	21.7811	0.99004
→✓	bus09	Grid	22.	21.66625	0.98482
→✓	bus10	Grid	22.	21.63094	0.98322
→✓	bus11	Grid	22.	22.49109	1.02232
→✓	bus12	Grid	22.	22.08532	1.00387
→✓	bus13	Grid	22.	21.61686	0.98258
→✓	bus14	Grid	22.	21.60701	0.98213
→✓	bus15	Grid	22.	21.60707	0.98213
→✓	bus16	Grid	22.	22.33848	1.01538
→✓	bus17	Grid	22.	21.88899	0.99495
→✓	bus18	Grid	22.	21.63227	0.98328
→✓	bus19	Grid	22.	21.62096	0.98277
→✓	bus20	Grid	22.	21.61479	0.98249

N = 7, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50664	1.02302
→✓	bus03	Grid	22.	22.37088	1.01685
→✓	bus04	Grid	22.	22.23677	1.01076
→✓	bus05	Grid	22.	22.11965	1.00543
→✓	bus06	Grid	22.	22.0264	1.0012
→✓	bus07	Grid	22.	21.94955	0.99770
→✓	bus08	Grid	22.	21.81952	0.99179
→✓	bus09	Grid	22.	21.70489	0.98658
→✓	bus10	Grid	22.	21.66964	0.98498
→✓	bus11	Grid	22.	22.49725	1.02260
→✓	bus12	Grid	22.	22.11081	1.00503
→✓	bus13	Grid	22.	21.65559	0.98434
→✓	bus14	Grid	22.	21.64576	0.98389
→✓	bus15	Grid	22.	21.64583	0.98390
→✓	bus16	Grid	22.	22.35068	1.01594
→✓	bus17	Grid	22.	21.92721	0.99669
→✓	bus18	Grid	22.	21.67097	0.98504
→✓	bus19	Grid	22.	21.65968	0.98453
→✓	bus20	Grid	22.	21.65353	0.98425

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 8, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41076	1.01867
→✓	bus03	Grid	22.	22.18171	1.00826
→✓	bus04	Grid	22.	21.94403	0.99745
→✓	bus05	Grid	22.	21.72644	0.98756
→✓	bus06	Grid	22.	21.53576	0.97889
→✓	bus07	Grid	22.	21.36418	0.97109
→✓	bus08	Grid	22.	21.2554	0.96615
→✓	bus09	Grid	22.	21.13741	0.96079
→✓	bus10	Grid	22.	21.10109	0.95914
→✓	bus11	Grid	22.	22.40133	1.01824
→✓	bus12	Grid	22.	21.71743	0.98715
→✓	bus13	Grid	22.	21.08665	0.95848
→✓	bus14	Grid	22.	21.07649	0.95802
→✓	bus15	Grid	22.	21.07655	0.95802
→✓	bus16	Grid	22.	22.16132	1.00733
→✓	bus17	Grid	22.	21.34122	0.97005
→✓	bus18	Grid	22.	21.10256	0.95920
→✓	bus19	Grid	22.	21.09095	0.95867
→✓	bus20	Grid	22.	21.08448	0.95838

N = 8, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43146	1.01961
→✓	bus03	Grid	22.	22.22251	1.010114
→✓	bus04	Grid	22.	22.00707	1.00032
→✓	bus05	Grid	22.	21.81096	0.99140
→✓	bus06	Grid	22.	21.64102	0.98368
→✓	bus07	Grid	22.	21.48948	0.97679
→✓	bus08	Grid	22.	21.39758	0.97261
→✓	bus09	Grid	22.	21.28044	0.96729
→✓	bus10	Grid	22.	21.24439	0.96565
→✓	bus11	Grid	22.	22.42204	1.01918
→✓	bus12	Grid	22.	21.80199	0.99099
→✓	bus13	Grid	22.	21.23005	0.96500
→✓	bus14	Grid	22.	21.21997	0.96454
→✓	bus15	Grid	22.	21.22003	0.96454
→✓	bus16	Grid	22.	22.20216	1.00918
→✓	bus17	Grid	22.	21.46665	0.97575
→✓	bus18	Grid	22.	21.24583	0.96571
→✓	bus19	Grid	22.	21.2343	0.96519
→✓	bus20	Grid	22.	21.22791	0.96490

N = 8, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44813	1.02037
→✓	bus03	Grid	22.	22.25539	1.01160
→✓	bus04	Grid	22.	22.05793	1.00263
→✓	bus05	Grid	22.	21.87922	0.99450
→✓	bus06	Grid	22.	21.7261	0.98755
→✓	bus07	Grid	22.	21.59088	0.98140
→✓	bus08	Grid	22.	21.51278	0.97785
→✓	bus09	Grid	22.	21.39632	0.97255
→✓	bus10	Grid	22.	21.36049	0.97093
→✓	bus11	Grid	22.	22.43873	1.01994
→✓	bus12	Grid	22.	21.87028	0.99410
→✓	bus13	Grid	22.	21.34622	0.97028
→✓	bus14	Grid	22.	21.33621	0.96982
→✓	bus15	Grid	22.	21.33628	0.96983
→✓	bus16	Grid	22.	22.23508	1.01068
→✓	bus17	Grid	22.	21.56817	0.98037
→✓	bus18	Grid	22.	21.36189	0.97099
→✓	bus19	Grid	22.	21.35043	0.97047
→✓	bus20	Grid	22.	21.3441	0.97018

N = 8, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46157	1.02098
→✓	bus03	Grid	22.	22.28191	1.01281
→✓	bus04	Grid	22.	22.09897	1.00449
→✓	bus05	Grid	22.	21.93435	0.99701
→✓	bus06	Grid	22.	21.79489	0.99067
→✓	bus07	Grid	22.	21.67294	0.98513
→✓	bus08	Grid	22.	21.60608	0.98209
→✓	bus09	Grid	22.	21.49017	0.97682
→✓	bus10	Grid	22.	21.45451	0.97520
→✓	bus11	Grid	22.	22.45217	1.02055
→✓	bus12	Grid	22.	21.92543	0.99661
→✓	bus13	Grid	22.	21.44031	0.97455
→✓	bus14	Grid	22.	21.43036	0.97410
→✓	bus15	Grid	22.	21.43042	0.97410
→✓	bus16	Grid	22.	22.26162	1.01189
→✓	bus17	Grid	22.	21.65032	0.98410
→✓	bus18	Grid	22.	21.45589	0.97526
→✓	bus19	Grid	22.	21.44448	0.97474
→✓	bus20	Grid	22.	21.43821	0.97446

N = 8, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4733	1.02151
→✓	bus03	Grid	22.	22.30506	1.01386
→✓	bus04	Grid	22.	22.13481	1.00612
→✓	bus05	Grid	22.	21.98252	0.99920
→✓	bus06	Grid	22.	21.85504	0.99341
→✓	bus07	Grid	22.	21.74476	0.98839
→✓	bus08	Grid	22.	21.68781	0.98580
→✓	bus09	Grid	22.	21.57237	0.98056
→✓	bus10	Grid	22.	21.53687	0.97894
→✓	bus11	Grid	22.	22.4639	1.02108
→✓	bus12	Grid	22.	21.97362	0.99880
→✓	bus13	Grid	22.	21.52272	0.97830
→✓	bus14	Grid	22.	21.51281	0.97785
→✓	bus15	Grid	22.	21.51287	0.97785
→✓	bus16	Grid	22.	22.28479	1.01294
→✓	bus17	Grid	22.	21.72221	0.98737
→✓	bus18	Grid	22.	21.53823	0.97901
→✓	bus19	Grid	22.	21.52686	0.97849
→✓	bus20	Grid	22.	21.52063	0.97821

N = 8, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48338	1.02197
→✓	bus03	Grid	22.	22.32497	1.01477
→✓	bus04	Grid	22.	22.16566	1.00753
→✓	bus05	Grid	22.	22.02401	1.00109
→✓	bus06	Grid	22.	21.90689	0.99576
→✓	bus07	Grid	22.	21.80671	0.99121
→✓	bus08	Grid	22.	21.75834	0.98901
→✓	bus09	Grid	22.	21.64335	0.98378
→✓	bus10	Grid	22.	21.608	0.98218
→✓	bus11	Grid	22.	22.47399	1.02154
→✓	bus12	Grid	22.	22.01513	1.00068
→✓	bus13	Grid	22.	21.5939	0.98154
→✓	bus14	Grid	22.	21.58404	0.98103
→✓	bus15	Grid	22.	21.5841	0.98109
→✓	bus16	Grid	22.	22.30472	1.01385
→✓	bus17	Grid	22.	21.78423	0.99019
→✓	bus18	Grid	22.	21.60934	0.98224
→✓	bus19	Grid	22.	21.59801	0.98172
→✓	bus20	Grid	22.	21.59183	0.98144

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 8, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49023	1.02228
→✓	bus03	Grid	22.	22.33951	1.01538
→✓	bus04	Grid	22.	22.18664	1.00848
→✓	bus05	Grid	22.	22.05225	1.00237
→✓	bus06	Grid	22.	21.94219	0.99737
→✓	bus07	Grid	22.	21.84892	0.99313
→✓	bus08	Grid	22.	21.80643	0.99120
→✓	bus09	Grid	22.	21.69171	0.98598
→✓	bus10	Grid	22.	21.65644	0.98438
→✓	bus11	Grid	22.	22.48084	1.02185
→✓	bus12	Grid	22.	22.04338	1.00197
→✓	bus13	Grid	22.	21.64238	0.98374
→✓	bus14	Grid	22.	21.63254	0.98329
→✓	bus15	Grid	22.	21.63261	0.98330
→✓	bus16	Grid	22.	22.31827	1.01446
→✓	bus17	Grid	22.	21.82648	0.99211
→✓	bus18	Grid	22.	21.65777	0.98444
→✓	bus19	Grid	22.	21.64647	0.98393
→✓	bus20	Grid	22.	21.64032	0.98365

N = 8, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49655	1.02257
→✓	bus03	Grid	22.	22.351	1.01595
→✓	bus04	Grid	22.	22.20601	1.00936
→✓	bus05	Grid	22.	22.07832	1.00356
→✓	bus06	Grid	22.	21.97481	0.99885
→✓	bus07	Grid	22.	21.88793	0.99490
→✓	bus08	Grid	22.	21.85091	0.99322
→✓	bus09	Grid	22.	21.73643	0.98801
→✓	bus10	Grid	22.	21.70124	0.98642
→✓	bus11	Grid	22.	22.48716	1.02214
→✓	bus12	Grid	22.	22.06946	1.00315
→✓	bus13	Grid	22.	21.6872	0.98578
→✓	bus14	Grid	22.	21.6774	0.98533
→✓	bus15	Grid	22.	21.67746	0.98533
→✓	bus16	Grid	22.	22.33077	1.01503
→✓	bus17	Grid	22.	21.86553	0.99388
→✓	bus18	Grid	22.	21.70256	0.98648
→✓	bus19	Grid	22.	21.69128	0.98596
→✓	bus20	Grid	22.	21.68515	0.98568

N = 8, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50281	1.02285
→✓	bus03	Grid	22.	22.36337	1.01651
→✓	bus04	Grid	22.	22.2252	1.01023
→✓	bus05	Grid	22.	22.10417	1.00473
→✓	bus06	Grid	22.	22.00714	1.00032
→✓	bus07	Grid	22.	21.92664	0.99666
→✓	bus08	Grid	22.	21.89505	0.99522
→✓	bus09	Grid	22.	21.78081	0.99003
→✓	bus10	Grid	22.	21.7457	0.98844
→✓	bus11	Grid	22.	22.49342	1.02242
→✓	bus12	Grid	22.	22.09532	1.00433
→✓	bus13	Grid	22.	21.73169	0.98780
→✓	bus14	Grid	22.	21.72191	0.98735
→✓	bus15	Grid	22.	21.72197	0.98736
→✓	bus16	Grid	22.	22.34315	1.01559
→✓	bus17	Grid	22.	21.90427	0.99564
→✓	bus18	Grid	22.	21.74701	0.98850
→✓	bus19	Grid	22.	21.73575	0.98798
→✓	bus20	Grid	22.	21.72965	0.98771

N = 8, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50901	1.02313
→✓	bus03	Grid	22.	22.37563	1.01707
→✓	bus04	Grid	22.	22.24422	1.01101
→✓	bus05	Grid	22.	22.1298	1.0059
→✓	bus06	Grid	22.	22.03923	1.00178
→✓	bus07	Grid	22.	21.96505	0.99841
→✓	bus08	Grid	22.	21.93888	0.99722
→✓	bus09	Grid	22.	21.82489	0.99204
→✓	bus10	Grid	22.	21.78985	0.99044
→✓	bus11	Grid	22.	22.49963	1.02271
→✓	bus12	Grid	22.	22.12096	1.00549
→✓	bus13	Grid	22.	21.77587	0.98981
→✓	bus14	Grid	22.	21.76611	0.98936
→✓	bus15	Grid	22.	21.76617	0.98937
→✓	bus16	Grid	22.	22.35542	1.01615
→✓	bus17	Grid	22.	21.94273	0.99739
→✓	bus18	Grid	22.	21.79115	0.99050
→✓	bus19	Grid	22.	21.77992	0.98999
→✓	bus20	Grid	22.	21.77383	0.98971

N = 9, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41159	1.01870
→✓	bus03	Grid	22.	22.18337	1.00833
→✓	bus04	Grid	22.	21.94664	0.99757
→✓	bus05	Grid	22.	21.72998	0.98772
→✓	bus06	Grid	22.	21.54024	0.97910
→✓	bus07	Grid	22.	21.36959	0.97134
→✓	bus08	Grid	22.	21.26162	0.96643
→✓	bus09	Grid	22.	21.169	0.96222
→✓	bus10	Grid	22.	21.13274	0.96057
→✓	bus11	Grid	22.	22.40216	1.01828
→✓	bus12	Grid	22.	21.72098	0.98731
→✓	bus13	Grid	22.	21.11832	0.95992
→✓	bus14	Grid	22.	21.10818	0.95946
→✓	bus15	Grid	22.	21.10824	0.95946
→✓	bus16	Grid	22.	22.16299	1.00740
→✓	bus17	Grid	22.	21.34664	0.97030
→✓	bus18	Grid	22.	21.1342	0.96064
→✓	bus19	Grid	22.	21.12261	0.96011
→✓	bus20	Grid	22.	21.11615	0.95982

N = 9, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43268	1.01966
→✓	bus03	Grid	22.	22.22496	1.01022
→✓	bus04	Grid	22.	22.01092	1.00049
→✓	bus05	Grid	22.	21.8162	0.99164
→✓	bus06	Grid	22.	21.64764	0.98398
→✓	bus07	Grid	22.	21.49748	0.97715
→✓	bus08	Grid	22.	21.40677	0.97303
→✓	bus09	Grid	22.	21.33102	0.96959
→✓	bus10	Grid	22.	21.29506	0.96795
→✓	bus11	Grid	22.	22.42327	1.01924
→✓	bus12	Grid	22.	21.80724	0.99123
→✓	bus13	Grid	22.	21.28075	0.96730
→✓	bus14	Grid	22.	21.2707	0.96685
→✓	bus15	Grid	22.	21.27077	0.96685
→✓	bus16	Grid	22.	22.20461	1.00930
→✓	bus17	Grid	22.	21.47466	0.97612
→✓	bus18	Grid	22.	21.29648	0.96802
→✓	bus19	Grid	22.	21.28498	0.96749
→✓	bus20	Grid	22.	21.27862	0.96720

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 9, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44961	1.02043
→✓	bus03	Grid	22.	22.25835	1.01174
→✓	bus04	Grid	22.	22.06257	1.00284
→✓	bus05	Grid	22.	21.88555	0.99479
→✓	bus06	Grid	22.	21.7341	0.98791
→✓	bus07	Grid	22.	21.60055	0.98184
→✓	bus08	Grid	22.	21.52388	0.97835
→✓	bus09	Grid	22.	21.46187	0.97553
→✓	bus10	Grid	22.	21.42616	0.97391
→✓	bus11	Grid	22.	22.44021	1.02000
→✓	bus12	Grid	22.	21.87661	0.99439
→✓	bus13	Grid	22.	21.41194	0.97327
→✓	bus14	Grid	22.	21.40197	0.97281
→✓	bus15	Grid	22.	21.40203	0.97281
→✓	bus16	Grid	22.	22.23804	1.01082
→✓	bus17	Grid	22.	21.57784	0.98081
→✓	bus18	Grid	22.	21.42755	0.97397
→✓	bus19	Grid	22.	21.41612	0.97346
→✓	bus20	Grid	22.	21.40983	0.97317

N = 9, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46322	1.02105
→✓	bus03	Grid	22.	22.2852	1.01296
→✓	bus04	Grid	22.	22.10413	1.00473
→✓	bus05	Grid	22.	21.94137	0.99733
→✓	bus06	Grid	22.	21.80377	0.99108
→✓	bus07	Grid	22.	21.68368	0.98562
→✓	bus08	Grid	22.	21.61841	0.98265
→✓	bus09	Grid	22.	21.5676	0.98034
→✓	bus10	Grid	22.	21.53209	0.97873
→✓	bus11	Grid	22.	22.45382	1.02062
→✓	bus12	Grid	22.	21.93246	0.99692
→✓	bus13	Grid	22.	21.51794	0.97808
→✓	bus14	Grid	22.	21.50803	0.97763
→✓	bus15	Grid	22.	21.50809	0.97764
→✓	bus16	Grid	22.	22.26491	1.01204
→✓	bus17	Grid	22.	21.66106	0.98459
→✓	bus18	Grid	22.	21.53345	0.97879
→✓	bus19	Grid	22.	21.52208	0.97827
→✓	bus20	Grid	22.	21.51585	0.97799

N = 9, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47506	1.02159
→✓	bus03	Grid	22.	22.30857	1.01402
→✓	bus04	Grid	22.	22.14032	1.00637
→✓	bus05	Grid	22.	21.99003	0.99954
→✓	bus06	Grid	22.	21.86453	0.99384
→✓	bus07	Grid	22.	21.75623	0.98891
→✓	bus08	Grid	22.	21.70096	0.98640
→✓	bus09	Grid	22.	21.65999	0.98454
→✓	bus10	Grid	22.	21.62466	0.98293
→✓	bus11	Grid	22.	22.46566	1.02116
→✓	bus12	Grid	22.	21.98114	0.99914
→✓	bus13	Grid	22.	21.61057	0.98229
→✓	bus14	Grid	22.	21.60072	0.98185
→✓	bus15	Grid	22.	21.60079	0.98185
→✓	bus16	Grid	22.	22.28831	1.01310
→✓	bus17	Grid	22.	21.73369	0.98789
→✓	bus18	Grid	22.	21.626	0.983
→✓	bus19	Grid	22.	21.61468	0.98248
→✓	bus20	Grid	22.	21.60851	0.98220

N = 9, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4852	1.02205
→✓	bus03	Grid	22.	22.3286	1.01493
→✓	bus04	Grid	22.	22.17136	1.00778
→✓	bus05	Grid	22.	22.03178	1.00144
→✓	bus06	Grid	22.	21.91671	0.99621
→✓	bus07	Grid	22.	21.81858	0.99175
→✓	bus08	Grid	22.	21.77198	0.98963
→✓	bus09	Grid	22.	21.73955	0.98816
→✓	bus10	Grid	22.	21.70436	0.98656
→✓	bus11	Grid	22.	22.4758	1.02162
→✓	bus12	Grid	22.	22.0229	1.00104
→✓	bus13	Grid	22.	21.69032	0.98592
→✓	bus14	Grid	22.	21.68051	0.98547
→✓	bus15	Grid	22.	21.68058	0.98548
→✓	bus16	Grid	22.	22.30836	1.01401
→✓	bus17	Grid	22.	21.79611	0.99073
→✓	bus18	Grid	22.	21.70568	0.98662
→✓	bus19	Grid	22.	21.6944	0.98610
→✓	bus20	Grid	22.	21.68827	0.98583

N = 9, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49209	1.02236
→✓	bus03	Grid	22.	22.34222	1.01555
→✓	bus04	Grid	22.	22.19248	1.00874
→✓	bus05	Grid	22.	22.0602	1.00273
→✓	bus06	Grid	22.	21.95224	0.99782
→✓	bus07	Grid	22.	21.86106	0.99368
→✓	bus08	Grid	22.	21.82039	0.99183
→✓	bus09	Grid	22.	21.79382	0.99062
→✓	bus10	Grid	22.	21.75872	0.98903
→✓	bus11	Grid	22.	22.4827	1.02194
→✓	bus12	Grid	22.	22.05133	1.00233
→✓	bus13	Grid	22.	21.74472	0.98839
→✓	bus14	Grid	22.	21.73494	0.98795
→✓	bus15	Grid	22.	21.73501	0.98795
→✓	bus16	Grid	22.	22.32199	1.01463
→✓	bus17	Grid	22.	21.83864	0.99266
→✓	bus18	Grid	22.	21.76003	0.98909
→✓	bus19	Grid	22.	21.74878	0.98858
→✓	bus20	Grid	22.	21.74268	0.98830

N = 9, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49844	1.02265
→✓	bus03	Grid	22.	22.35477	1.01612
→✓	bus04	Grid	22.	22.21194	1.00963
→✓	bus05	Grid	22.	22.0864	1.00392
→✓	bus06	Grid	22.	21.98502	0.99931
→✓	bus07	Grid	22.	21.90028	0.99546
→✓	bus08	Grid	22.	21.8651	0.99386
→✓	bus09	Grid	22.	21.84395	0.99290
→✓	bus10	Grid	22.	21.80895	0.99131
→✓	bus11	Grid	22.	22.48905	1.02223
→✓	bus12	Grid	22.	22.07755	1.00352
→✓	bus13	Grid	22.	21.79498	0.99068
→✓	bus14	Grid	22.	21.78523	0.99023
→✓	bus15	Grid	22.	21.78529	0.99024
→✓	bus16	Grid	22.	22.33455	1.01520
→✓	bus17	Grid	22.	21.87789	0.99444
→✓	bus18	Grid	22.	21.81024	0.99137
→✓	bus19	Grid	22.	21.79902	0.99086
→✓	bus20	Grid	22.	21.79294	0.99058

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 9, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50472	1.02294
→✓	bus03	Grid	22.	22.36719	1.01669
→✓	bus04	Grid	22.	22.23119	1.01050
→✓	bus05	Grid	22.	22.11234	1.00510
→✓	bus06	Grid	22.	22.01748	1.00079
→✓	bus07	Grid	22.	21.93912	0.99723
→✓	bus08	Grid	22.	21.9094	0.99588
→✓	bus09	Grid	22.	21.89365	0.99516
→✓	bus10	Grid	22.	21.85873	0.99357
→✓	bus11	Grid	22.	22.49534	1.02251
→✓	bus12	Grid	22.	22.10349	1.00470
→✓	bus13	Grid	22.	21.84479	0.99294
→✓	bus14	Grid	22.	21.83507	0.99250
→✓	bus15	Grid	22.	21.83514	0.99250
→✓	bus16	Grid	22.	22.34698	1.01577
→✓	bus17	Grid	22.	21.91677	0.99621
→✓	bus18	Grid	22.	21.86002	0.99363
→✓	bus19	Grid	22.	21.84882	0.99312
→✓	bus20	Grid	22.	21.84277	0.99285

N = 9, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.51093	1.02322
→✓	bus03	Grid	22.	22.37947	1.01724
→✓	bus04	Grid	22.	22.25025	1.01137
→✓	bus05	Grid	22.	22.13802	1.00627
→✓	bus06	Grid	22.	22.04963	1.00225
→✓	bus07	Grid	22.	21.97762	0.99898
→✓	bus08	Grid	22.	21.95333	0.99787
→✓	bus09	Grid	22.	21.94295	0.99740
→✓	bus10	Grid	22.	21.90812	0.99582
→✓	bus11	Grid	22.	22.50155	1.02279
→✓	bus12	Grid	22.	22.12918	1.00587
→✓	bus13	Grid	22.	21.89421	0.99519
→✓	bus14	Grid	22.	21.88452	0.99475
→✓	bus15	Grid	22.	21.88458	0.99475
→✓	bus16	Grid	22.	22.35927	1.01633
→✓	bus17	Grid	22.	21.95531	0.99796
→✓	bus18	Grid	22.	21.90939	0.99588
→✓	bus19	Grid	22.	21.89822	0.99537
→✓	bus20	Grid	22.	21.8922	0.9951

N = 10, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41179	1.01871
→✓	bus03	Grid	22.	22.18377	1.00835
→✓	bus04	Grid	22.	21.94727	0.99760
→✓	bus05	Grid	22.	21.73084	0.98776
→✓	bus06	Grid	22.	21.54133	0.97915
→✓	bus07	Grid	22.	21.3709	0.97140
→✓	bus08	Grid	22.	21.26313	0.96650
→✓	bus09	Grid	22.	21.17071	0.96230
→✓	bus10	Grid	22.	21.1595	0.96179
→✓	bus11	Grid	22.	22.40237	1.01828
→✓	bus12	Grid	22.	21.72184	0.98735
→✓	bus13	Grid	22.	21.14509	0.96114
→✓	bus14	Grid	22.	21.13497	0.96068
→✓	bus15	Grid	22.	21.13503	0.96068
→✓	bus16	Grid	22.	22.16339	1.00742
→✓	bus17	Grid	22.	21.34795	0.97036
→✓	bus18	Grid	22.	21.13591	0.96072
→✓	bus19	Grid	22.	21.12432	0.96019
→✓	bus20	Grid	22.	21.14293	0.96104

N = 10, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43291	1.01967
→✓	bus03	Grid	22.	22.2254	1.01024
→✓	bus04	Grid	22.	22.01162	1.00052
→✓	bus05	Grid	22.	21.81715	0.99168
→✓	bus06	Grid	22.	21.64884	0.98403
→✓	bus07	Grid	22.	21.49893	0.97722
→✓	bus08	Grid	22.	21.40843	0.97311
→✓	bus09	Grid	22.	21.33289	0.96967
→✓	bus10	Grid	22.	21.33778	0.96989
→✓	bus11	Grid	22.	22.42349	1.01925
→✓	bus12	Grid	22.	21.80818	0.99128
→✓	bus13	Grid	22.	21.3235	0.96925
→✓	bus14	Grid	22.	21.31348	0.96879
→✓	bus15	Grid	22.	21.31354	0.96879
→✓	bus16	Grid	22.	22.20506	1.00932
→✓	bus17	Grid	22.	21.47611	0.97618
→✓	bus18	Grid	22.	21.29836	0.96810
→✓	bus19	Grid	22.	21.28686	0.96758
→✓	bus20	Grid	22.	21.32138	0.96915

N = 10, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44979	1.02044
→✓	bus03	Grid	22.	22.25871	1.01176
→✓	bus04	Grid	22.	22.06314	1.00287
→✓	bus05	Grid	22.	21.88632	0.99483
→✓	bus06	Grid	22.	21.73508	0.98795
→✓	bus07	Grid	22.	21.60173	0.98189
→✓	bus08	Grid	22.	21.52523	0.97841
→✓	bus09	Grid	22.	21.4634	0.97560
→✓	bus10	Grid	22.	21.48142	0.97642
→✓	bus11	Grid	22.	22.44039	1.02001
→✓	bus12	Grid	22.	21.87738	0.99442
→✓	bus13	Grid	22.	21.46723	0.97578
→✓	bus14	Grid	22.	21.4573	0.97533
→✓	bus15	Grid	22.	21.45736	0.97533
→✓	bus16	Grid	22.	22.2384	1.01083
→✓	bus17	Grid	22.	21.57903	0.98086
→✓	bus18	Grid	22.	21.42909	0.97404
→✓	bus19	Grid	22.	21.41766	0.97353
→✓	bus20	Grid	22.	21.46514	0.97568

N = 10, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46335	1.02106
→✓	bus03	Grid	22.	22.28547	1.01297
→✓	bus04	Grid	22.	22.10455	1.00475
→✓	bus05	Grid	22.	21.94194	0.99736
→✓	bus06	Grid	22.	21.80448	0.99112
→✓	bus07	Grid	22.	21.68452	0.98566
→✓	bus08	Grid	22.	21.61936	0.98269
→✓	bus09	Grid	22.	21.56865	0.98039
→✓	bus10	Grid	22.	21.5973	0.98169
→✓	bus11	Grid	22.	22.45395	1.02063
→✓	bus12	Grid	22.	21.93303	0.99695
→✓	bus13	Grid	22.	21.58319	0.98105
→✓	bus14	Grid	22.	21.57333	0.98060
→✓	bus15	Grid	22.	21.57339	0.98060
→✓	bus16	Grid	22.	22.26518	1.01205
→✓	bus17	Grid	22.	21.66192	0.98463
→✓	bus18	Grid	22.	21.53452	0.97884
→✓	bus19	Grid	22.	21.52315	0.97832
→✓	bus20	Grid	22.	21.58112	0.98096

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 10, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47509	1.02159
→✓	bus03	Grid	22.	22.30865	1.01402
→✓	bus04	Grid	22.	22.14044	1.00638
→✓	bus05	Grid	22.	21.99019	0.99955
→✓	bus06	Grid	22.	21.86473	0.99385
→✓	bus07	Grid	22.	21.75647	0.98893
→✓	bus08	Grid	22.	21.70124	0.98641
→✓	bus09	Grid	22.	21.6603	0.98455
→✓	bus10	Grid	22.	21.63838	0.98629
→✓	bus11	Grid	22.	22.4657	1.02116
→✓	bus12	Grid	22.	21.98129	0.99914
→✓	bus13	Grid	22.	21.68434	0.98565
→✓	bus14	Grid	22.	21.67453	0.98520
→✓	bus15	Grid	22.	21.67459	0.98520
→✓	bus16	Grid	22.	22.28838	1.01310
→✓	bus17	Grid	22.	21.73393	0.98790
→✓	bus18	Grid	22.	21.62631	0.98301
→✓	bus19	Grid	22.	21.61499	0.98249
→✓	bus20	Grid	22.	21.68229	0.98555

N = 10, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48514	1.02205
→✓	bus03	Grid	22.	22.32848	1.01493
→✓	bus04	Grid	22.	22.17118	1.00778
→✓	bus05	Grid	22.	22.03153	1.00143
→✓	bus06	Grid	22.	21.91639	0.99619
→✓	bus07	Grid	22.	21.81819	0.99173
→✓	bus08	Grid	22.	21.77153	0.98961
→✓	bus09	Grid	22.	21.73905	0.98813
→✓	bus10	Grid	22.	21.78529	0.99024
→✓	bus11	Grid	22.	22.47575	1.02162
→✓	bus12	Grid	22.	22.02265	1.00103
→✓	bus13	Grid	22.	21.77131	0.98960
→✓	bus14	Grid	22.	21.76154	0.98916
→✓	bus15	Grid	22.	21.76161	0.98916
→✓	bus16	Grid	22.	22.30824	1.01401
→✓	bus17	Grid	22.	21.79572	0.99071
→✓	bus18	Grid	22.	21.70518	0.98659
→✓	bus19	Grid	22.	21.6939	0.98608
→✓	bus20	Grid	22.	21.76327	0.98951

N = 10, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49195	1.02236
→✓	bus03	Grid	22.	22.34195	1.01554
→✓	bus04	Grid	22.	22.19205	1.00873
→✓	bus05	Grid	22.	22.05962	1.00271
→✓	bus06	Grid	22.	21.95151	0.99779
→✓	bus07	Grid	22.	21.86018	0.99364
→✓	bus08	Grid	22.	21.81938	0.99178
→✓	bus09	Grid	22.	21.79267	0.99057
→✓	bus10	Grid	22.	21.8445	0.99293
→✓	bus11	Grid	22.	22.48257	1.02193
→✓	bus12	Grid	22.	22.05075	1.00230
→✓	bus13	Grid	22.	21.83056	0.99229
→✓	bus14	Grid	22.	21.82083	0.99185
→✓	bus15	Grid	22.	21.82089	0.99185
→✓	bus16	Grid	22.	22.32172	1.01462
→✓	bus17	Grid	22.	21.83775	0.99262
→✓	bus18	Grid	22.	21.75888	0.98904
→✓	bus19	Grid	22.	21.74763	0.98852
→✓	bus20	Grid	22.	21.82853	0.99220

N = 10, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49823	1.02264
→✓	bus03	Grid	22.	22.35435	1.01610
→✓	bus04	Grid	22.	22.21127	1.00960
→✓	bus05	Grid	22.	22.08549	1.00388
→✓	bus06	Grid	22.	21.98386	0.99926
→✓	bus07	Grid	22.	21.89888	0.99540
→✓	bus08	Grid	22.	21.86349	0.99379
→✓	bus09	Grid	22.	21.84213	0.99282
→✓	bus10	Grid	22.	21.89915	0.99541
→✓	bus11	Grid	22.	22.48884	1.02222
→✓	bus12	Grid	22.	22.07663	1.00348
→✓	bus13	Grid	22.	21.88524	0.99478
→✓	bus14	Grid	22.	21.87554	0.99434
→✓	bus15	Grid	22.	21.8756	0.99434
→✓	bus16	Grid	22.	22.33412	1.01518
→✓	bus17	Grid	22.	21.87649	0.99438
→✓	bus18	Grid	22.	21.80842	0.99129
→✓	bus19	Grid	22.	21.7972	0.99078
→✓	bus20	Grid	22.	21.88322	0.99469

N = 10, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50442	1.02292
→✓	bus03	Grid	22.	22.36659	1.01666
→✓	bus04	Grid	22.	22.23025	1.01046
→✓	bus05	Grid	22.	22.11105	1.00504
→✓	bus06	Grid	22.	22.01585	1.00072
→✓	bus07	Grid	22.	21.93716	0.99714
→✓	bus08	Grid	22.	21.90714	0.99577
→✓	bus09	Grid	22.	21.8911	0.99505
→✓	bus10	Grid	22.	21.95327	0.99787
→✓	bus11	Grid	22.	22.49503	1.02250
→✓	bus12	Grid	22.	22.1022	1.00464
→✓	bus13	Grid	22.	21.93939	0.99724
→✓	bus14	Grid	22.	21.92972	0.99680
→✓	bus15	Grid	22.	21.92979	0.99680
→✓	bus16	Grid	22.	22.34637	1.01574
→✓	bus17	Grid	22.	21.91481	0.99612
→✓	bus18	Grid	22.	21.85747	0.99352
→✓	bus19	Grid	22.	21.84627	0.99301
→✓	bus20	Grid	22.	21.93739	0.99715

N = 10, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.51054	1.02320
→✓	bus03	Grid	22.	22.37868	1.01721
→✓	bus04	Grid	22.	22.24902	1.01131
→✓	bus05	Grid	22.	22.13633	1.00619
→✓	bus06	Grid	22.	22.0475	1.00215
→✓	bus07	Grid	22.	21.97505	0.99886
→✓	bus08	Grid	22.	21.95037	0.99774
→✓	bus09	Grid	22.	21.93961	0.99725
→✓	bus10	Grid	22.	22.00691	1.00031
→✓	bus11	Grid	22.	22.50116	1.02278
→✓	bus12	Grid	22.	22.1275	1.00579
→✓	bus13	Grid	22.	21.99307	0.99968
→✓	bus14	Grid	22.	21.98343	0.99924
→✓	bus15	Grid	22.	21.98349	0.99924
→✓	bus16	Grid	22.	22.35848	1.01629
→✓	bus17	Grid	22.	21.95274	0.99785
→✓	bus18	Grid	22.	21.90605	0.99572
→✓	bus19	Grid	22.	21.89487	0.99522
→✓	bus20	Grid	22.	21.99107	0.99959

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 11, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40186	1.018261
→✓	bus03	Grid	22.	22.14083	1.00640
→✓	bus04	Grid	22.	21.86782	0.99399
→✓	bus05	Grid	22.	21.61615	0.98255
→✓	bus06	Grid	22.	21.39268	0.97239
→✓	bus07	Grid	22.	21.18951	0.96315
→✓	bus08	Grid	22.	21.05422	0.95700
→✓	bus09	Grid	22.	20.93501	0.95159
→✓	bus10	Grid	22.	20.89829	0.94992
→✓	bus11	Grid	22.	22.4059	1.01845
→✓	bus12	Grid	22.	21.6071	0.98214
→✓	bus13	Grid	22.	20.8837	0.94925
→✓	bus14	Grid	22.	20.87342	0.94879
→✓	bus15	Grid	22.	20.87349	0.94879
→✓	bus16	Grid	22.	22.12041	1.00547
→✓	bus17	Grid	22.	21.16636	0.96210
→✓	bus18	Grid	22.	20.89981	0.94999
→✓	bus19	Grid	22.	20.88809	0.94945
→✓	bus20	Grid	22.	20.88149	0.94915

N = 11, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41758	1.01898
→✓	bus03	Grid	22.	22.1568	1.00712
→✓	bus04	Grid	22.	21.88404	0.99472
→✓	bus05	Grid	22.	21.63261	0.98330
→✓	bus06	Grid	22.	21.40935	0.97315
→✓	bus07	Grid	22.	21.20636	0.96392
→✓	bus08	Grid	22.	21.07118	0.95778
→✓	bus09	Grid	22.	20.95208	0.95236
→✓	bus10	Grid	22.	20.9154	0.95069
→✓	bus11	Grid	22.	22.43028	1.01955
→✓	bus12	Grid	22.	21.62356	0.98288
→✓	bus13	Grid	22.	20.90082	0.95003
→✓	bus14	Grid	22.	20.89055	0.94957
→✓	bus15	Grid	22.	20.89061	0.94957
→✓	bus16	Grid	22.	22.13639	1.00619
→✓	bus17	Grid	22.	21.18323	0.96287
→✓	bus18	Grid	22.	20.91691	0.95076
→✓	bus19	Grid	22.	20.9052	0.95023
→✓	bus20	Grid	22.	20.89861	0.94933

N = 11, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43054	1.01957
→✓	bus03	Grid	22.	22.16997	1.00772
→✓	bus04	Grid	22.	21.89742	0.99533
→✓	bus05	Grid	22.	21.64618	0.98391
→✓	bus06	Grid	22.	21.42309	0.97377
→✓	bus07	Grid	22.	21.22026	0.96455
→✓	bus08	Grid	22.	21.08518	0.95841
→✓	bus09	Grid	22.	20.96616	0.95300
→✓	bus10	Grid	22.	20.9295	0.95134
→✓	bus11	Grid	22.	22.45041	1.02047
→✓	bus12	Grid	22.	21.63714	0.98350
→✓	bus13	Grid	22.	20.91494	0.95067
→✓	bus14	Grid	22.	20.90468	0.95021
→✓	bus15	Grid	22.	20.90474	0.95021
→✓	bus16	Grid	22.	22.14957	1.00679
→✓	bus17	Grid	22.	21.19714	0.96350
→✓	bus18	Grid	22.	20.93101	0.95140
→✓	bus19	Grid	22.	20.91931	0.95087
→✓	bus20	Grid	22.	20.91273	0.95057

N = 11, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44119	1.02005
→✓	bus03	Grid	22.	22.18079	1.00821
→✓	bus04	Grid	22.	21.90842	0.99583
→✓	bus05	Grid	22.	21.65734	0.98442
→✓	bus06	Grid	22.	21.43439	0.97429
→✓	bus07	Grid	22.	21.23167	0.96507
→✓	bus08	Grid	22.	21.09668	0.95893
→✓	bus09	Grid	22.	20.97773	0.95353
→✓	bus10	Grid	22.	20.9411	0.95186
→✓	bus11	Grid	22.	22.46696	1.02122
→✓	bus12	Grid	22.	21.64831	0.98401
→✓	bus13	Grid	22.	20.92654	0.95120
→✓	bus14	Grid	22.	20.91628	0.95074
→✓	bus15	Grid	22.	20.91634	0.95074
→✓	bus16	Grid	22.	22.16041	1.00729
→✓	bus17	Grid	22.	21.20857	0.96402
→✓	bus18	Grid	22.	20.9426	0.95193
→✓	bus19	Grid	22.	20.93091	0.95140
→✓	bus20	Grid	22.	20.92434	0.95110

N = 11, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45064	1.02048
→✓	bus03	Grid	22.	22.19039	1.00865
→✓	bus04	Grid	22.	21.91817	0.99628
→✓	bus05	Grid	22.	21.66723	0.98487
→✓	bus06	Grid	22.	21.4444	0.97474
→✓	bus07	Grid	22.	21.2418	0.96553
→✓	bus08	Grid	22.	21.10687	0.95940
→✓	bus09	Grid	22.	20.98799	0.95399
→✓	bus10	Grid	22.	20.95138	0.95233
→✓	bus11	Grid	22.	22.48164	1.02189
→✓	bus12	Grid	22.	21.6582	0.98446
→✓	bus13	Grid	22.	20.93682	0.95167
→✓	bus14	Grid	22.	20.92658	0.95120
→✓	bus15	Grid	22.	20.92664	0.95121
→✓	bus16	Grid	22.	22.17001	1.00772
→✓	bus17	Grid	22.	21.21871	0.96448
→✓	bus18	Grid	22.	20.95288	0.95240
→✓	bus19	Grid	22.	20.94119	0.95187
→✓	bus20	Grid	22.	20.93462	0.95157

N = 11, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45887	1.02085
→✓	bus03	Grid	22.	22.19875	1.00903
→✓	bus04	Grid	22.	21.92667	0.99666
→✓	bus05	Grid	22.	21.67585	0.98526
→✓	bus06	Grid	22.	21.45313	0.97514
→✓	bus07	Grid	22.	21.25062	0.96593
→✓	bus08	Grid	22.	21.11575	0.95980
→✓	bus09	Grid	22.	20.99692	0.95440
→✓	bus10	Grid	22.	20.96033	0.95274
→✓	bus11	Grid	22.	22.49444	1.02247
→✓	bus12	Grid	22.	21.66683	0.98485
→✓	bus13	Grid	22.	20.94578	0.95208
→✓	bus14	Grid	22.	20.93554	0.95161
→✓	bus15	Grid	22.	20.9356	0.95161
→✓	bus16	Grid	22.	22.17838	1.00810
→✓	bus17	Grid	22.	21.22754	0.96488
→✓	bus18	Grid	22.	20.96183	0.95281
→✓	bus19	Grid	22.	20.95015	0.95227
→✓	bus20	Grid	22.	20.94359	0.95198

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 11, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46453	1.021115
→✓	bus03	Grid	22.	22.20451	1.00929
→✓	bus04	Grid	22.	21.93252	0.99693
→✓	bus05	Grid	22.	21.68178	0.98553
→✓	bus06	Grid	22.	21.45913	0.97541
→✓	bus07	Grid	22.	21.25669	0.96621
→✓	bus08	Grid	22.	21.12187	0.96008
→✓	bus09	Grid	22.	21.00307	0.95468
→✓	bus10	Grid	22.	20.96649	0.95302
→✓	bus11	Grid	22.	22.50325	1.02287
→✓	bus12	Grid	22.	21.67276	0.98512
→✓	bus13	Grid	22.	20.95195	0.95236
→✓	bus14	Grid	22.	20.94171	0.95189
→✓	bus15	Grid	22.	20.94177	0.95189
→✓	bus16	Grid	22.	22.18414	1.00837
→✓	bus17	Grid	22.	21.23361	0.96516
→✓	bus18	Grid	22.	20.96799	0.95309
→✓	bus19	Grid	22.	20.95631	0.95255
→✓	bus20	Grid	22.	20.94976	0.95226

N = 11, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46981	1.02135
→✓	bus03	Grid	22.	22.20986	1.00953
→✓	bus04	Grid	22.	21.93796	0.99718
→✓	bus05	Grid	22.	21.6873	0.98578
→✓	bus06	Grid	22.	21.46472	0.97566
→✓	bus07	Grid	22.	21.26234	0.96646
→✓	bus08	Grid	22.	21.12756	0.96034
→✓	bus09	Grid	22.	21.0088	0.95494
→✓	bus10	Grid	22.	20.97223	0.95328
→✓	bus11	Grid	22.	22.51146	1.02324
→✓	bus12	Grid	22.	21.67828	0.98537
→✓	bus13	Grid	22.	20.95769	0.95262
→✓	bus14	Grid	22.	20.94745	0.95215
→✓	bus15	Grid	22.	20.94751	0.95215
→✓	bus16	Grid	22.	22.1895	1.00861
→✓	bus17	Grid	22.	21.23927	0.96542
→✓	bus18	Grid	22.	20.97373	0.95335
→✓	bus19	Grid	22.	20.96205	0.95282
→✓	bus20	Grid	22.	20.95549	0.95252

N = 11, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47507	1.02159
→✓	bus03	Grid	22.	22.21521	1.00978
→✓	bus04	Grid	22.	21.94339	0.99742
→✓	bus05	Grid	22.	21.69281	0.98603
→✓	bus06	Grid	22.	21.4703	0.97592
→✓	bus07	Grid	22.	21.26798	0.96672
→✓	bus08	Grid	22.	21.13324	0.96060
→✓	bus09	Grid	22.	21.01451	0.95520
→✓	bus10	Grid	22.	20.97795	0.95354
→✓	bus11	Grid	22.	22.51965	1.02362
→✓	bus12	Grid	22.	21.6838	0.98562
→✓	bus13	Grid	22.	20.96342	0.95288
→✓	bus14	Grid	22.	20.95319	0.95241
→✓	bus15	Grid	22.	20.95325	0.95242
→✓	bus16	Grid	22.	22.19485	1.00885
→✓	bus17	Grid	22.	21.24491	0.96567
→✓	bus18	Grid	22.	20.97945	0.95361
→✓	bus19	Grid	22.	20.96777	0.95308
→✓	bus20	Grid	22.	20.96122	0.95278

N = 11, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48032	1.02183
→✓	bus03	Grid	22.	22.22055	1.01002
→✓	bus04	Grid	22.	21.94882	0.99767
→✓	bus05	Grid	22.	21.69832	0.98628
→✓	bus06	Grid	22.	21.47587	0.97617
→✓	bus07	Grid	22.	21.27361	0.96698
→✓	bus08	Grid	22.	21.13891	0.96085
→✓	bus09	Grid	22.	21.02022	0.95546
→✓	bus10	Grid	22.	20.98367	0.95380
→✓	bus11	Grid	22.	22.52783	1.02399
→✓	bus12	Grid	22.	21.6893	0.98587
→✓	bus13	Grid	22.	20.96914	0.95314
→✓	bus14	Grid	22.	20.95891	0.95267
→✓	bus15	Grid	22.	20.95897	0.95268
→✓	bus16	Grid	22.	22.2002	1.0091
→✓	bus17	Grid	22.	21.25055	0.96593
→✓	bus18	Grid	22.	20.98516	0.95387
→✓	bus19	Grid	22.	20.97349	0.95334
→✓	bus20	Grid	22.	20.96695	0.95304

N = 12, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40691	1.01849
→✓	bus03	Grid	22.	22.17403	1.00791
→✓	bus04	Grid	22.	21.93198	0.99690
→✓	bus05	Grid	22.	21.71002	0.98681
→✓	bus06	Grid	22.	21.48772	0.97671
→✓	bus07	Grid	22.	21.28558	0.96752
→✓	bus08	Grid	22.	21.15096	0.96140
→✓	bus09	Grid	22.	21.03235	0.95601
→✓	bus10	Grid	22.	20.99582	0.95435
→✓	bus11	Grid	22.	22.39749	1.01806
→✓	bus12	Grid	22.	21.71143	0.98688
→✓	bus13	Grid	22.	20.9813	0.95369
→✓	bus14	Grid	22.	20.97108	0.95323
→✓	bus15	Grid	22.	20.97114	0.95323
→✓	bus16	Grid	22.	22.15363	1.00698
→✓	bus17	Grid	22.	21.26254	0.96647
→✓	bus18	Grid	22.	20.99731	0.95442
→✓	bus19	Grid	22.	20.98585	0.95389
→✓	bus20	Grid	22.	20.97911	0.95359

N = 12, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.42554	1.01934
→✓	bus03	Grid	22.	22.21068	1.00957
→✓	bus04	Grid	22.	21.9885	0.99947
→✓	bus05	Grid	22.	21.78568	0.99025
→✓	bus06	Grid	22.	21.5643	0.98019
→✓	bus07	Grid	22.	21.363	0.97104
→✓	bus08	Grid	22.	21.22892	0.96495
→✓	bus09	Grid	22.	21.11078	0.95958
→✓	bus10	Grid	22.	21.0744	0.95792
→✓	bus11	Grid	22.	22.41612	1.01891
→✓	bus12	Grid	22.	21.79378	0.99062
→✓	bus13	Grid	22.	21.05994	0.95726
→✓	bus14	Grid	22.	21.04976	0.95680
→✓	bus15	Grid	22.	21.04983	0.95681
→✓	bus16	Grid	22.	22.19032	1.00865
→✓	bus17	Grid	22.	21.34004	0.97000
→✓	bus18	Grid	22.	21.07588	0.95799
→✓	bus19	Grid	22.	21.06426	0.95746
→✓	bus20	Grid	22.	21.05776	0.95717

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 12, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44072	1.02003
→✓	bus03	Grid	22.	22.24057	1.01093
→✓	bus04	Grid	22.	22.03466	1.00157
→✓	bus05	Grid	22.	21.84753	0.99306
→✓	bus06	Grid	22.	21.62691	0.98304
→✓	bus07	Grid	22.	21.42627	0.97392
→✓	bus08	Grid	22.	21.29264	0.96784
→✓	bus09	Grid	22.	21.17488	0.96249
→✓	bus10	Grid	22.	21.13863	0.96084
→✓	bus11	Grid	22.	22.43131	1.01960
→✓	bus12	Grid	22.	21.86114	0.99368
→✓	bus13	Grid	22.	21.12421	0.96019
→✓	bus14	Grid	22.	21.11407	0.95973
→✓	bus15	Grid	22.	21.11414	0.95973
→✓	bus16	Grid	22.	22.22024	1.01001
→✓	bus17	Grid	22.	21.40338	0.97288
→✓	bus18	Grid	22.	21.14009	0.96091
→✓	bus19	Grid	22.	21.1285	0.96038
→✓	bus20	Grid	22.	21.12205	0.96009

N = 12, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45307	1.02059
→✓	bus03	Grid	22.	22.26491	1.01204
→✓	bus04	Grid	22.	22.07228	1.00328
→✓	bus05	Grid	22.	21.89799	0.99536
→✓	bus06	Grid	22.	21.67799	0.98536
→✓	bus07	Grid	22.	21.47789	0.97626
→✓	bus08	Grid	22.	21.34462	0.97020
→✓	bus09	Grid	22.	21.22717	0.96487
→✓	bus10	Grid	22.	21.19102	0.96322
→✓	bus11	Grid	22.	22.44366	1.02016
→✓	bus12	Grid	22.	21.91612	0.99618
→✓	bus13	Grid	22.	21.17663	0.96257
→✓	bus14	Grid	22.	21.16653	0.96211
→✓	bus15	Grid	22.	21.16659	0.96211
→✓	bus16	Grid	22.	22.2446	1.01116
→✓	bus17	Grid	22.	21.45505	0.97522
→✓	bus18	Grid	22.	21.19246	0.96329
→✓	bus19	Grid	22.	21.1809	0.96276
→✓	bus20	Grid	22.	21.17448	0.96247

N = 12, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46392	1.02108
→✓	bus03	Grid	22.	22.28632	1.01301
→✓	bus04	Grid	22.	22.10539	1.00479
→✓	bus05	Grid	22.	21.94245	0.99738
→✓	bus06	Grid	22.	21.72298	0.98740
→✓	bus07	Grid	22.	21.52336	0.97833
→✓	bus08	Grid	22.	21.39041	0.97229
→✓	bus09	Grid	22.	21.27323	0.96696
→✓	bus10	Grid	22.	21.23716	0.96532
→✓	bus11	Grid	22.	22.45452	1.02066
→✓	bus12	Grid	22.	21.96457	0.99838
→✓	bus13	Grid	22.	21.22281	0.96467
→✓	bus14	Grid	22.	21.21273	0.96421
→✓	bus15	Grid	22.	21.21279	0.96421
→✓	bus16	Grid	22.	22.26604	1.01209
→✓	bus17	Grid	22.	21.50058	0.97729
→✓	bus18	Grid	22.	21.2386	0.96539
→✓	bus19	Grid	22.	21.22707	0.96486
→✓	bus20	Grid	22.	21.22067	0.96457

N = 12, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47331	1.02151
→✓	bus03	Grid	22.	22.30484	1.01385
→✓	bus04	Grid	22.	22.13406	1.00609
→✓	bus05	Grid	22.	21.98098	0.99913
→✓	bus06	Grid	22.	21.76197	0.98918
→✓	bus07	Grid	22.	21.56276	0.98012
→✓	bus08	Grid	22.	21.43007	0.97409
→✓	bus09	Grid	22.	21.31313	0.96877
→✓	bus10	Grid	22.	21.27714	0.96714
→✓	bus11	Grid	22.	22.46392	1.02108
→✓	bus12	Grid	22.	22.00657	1.00029
→✓	bus13	Grid	22.	21.26281	0.96649
→✓	bus14	Grid	22.	21.25276	0.96603
→✓	bus15	Grid	22.	21.25282	0.96603
→✓	bus16	Grid	22.	22.28458	1.01293
→✓	bus17	Grid	22.	21.54001	0.97909
→✓	bus18	Grid	22.	21.27856	0.96720
→✓	bus19	Grid	22.	21.26705	0.96668
→✓	bus20	Grid	22.	21.26068	0.96639

N = 12, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47974	1.02180
→✓	bus03	Grid	22.	22.31753	1.01443
→✓	bus04	Grid	22.	22.1537	1.00698
→✓	bus05	Grid	22.	22.00739	1.00033
→✓	bus06	Grid	22.	21.78869	0.99039
→✓	bus07	Grid	22.	21.58976	0.98135
→✓	bus08	Grid	22.	21.45726	0.97533
→✓	bus09	Grid	22.	21.34048	0.97002
→✓	bus10	Grid	22.	21.30454	0.96838
→✓	bus11	Grid	22.	22.47034	1.02137
→✓	bus12	Grid	22.	22.03537	1.00160
→✓	bus13	Grid	22.	21.29023	0.96773
→✓	bus14	Grid	22.	21.2802	0.96728
→✓	bus15	Grid	22.	21.28026	0.96728
→✓	bus16	Grid	22.	22.29727	1.01351
→✓	bus17	Grid	22.	21.56705	0.98032
→✓	bus18	Grid	22.	21.30596	0.96845
→✓	bus19	Grid	22.	21.29446	0.96793
→✓	bus20	Grid	22.	21.28811	0.96764

N = 12, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48569	1.02207
→✓	bus03	Grid	22.	22.32928	1.01496
→✓	bus04	Grid	22.	22.17191	1.00781
→✓	bus05	Grid	22.	22.03188	1.00144
→✓	bus06	Grid	22.	21.81347	0.99152
→✓	bus07	Grid	22.	21.6148	0.98249
→✓	bus08	Grid	22.	21.48248	0.97647
→✓	bus09	Grid	22.	21.36584	0.97117
→✓	bus10	Grid	22.	21.32995	0.96954
→✓	bus11	Grid	22.	22.4763	1.02165
→✓	bus12	Grid	22.	22.06208	1.00282
→✓	bus13	Grid	22.	21.31566	0.96889
→✓	bus14	Grid	22.	21.30564	0.96843
→✓	bus15	Grid	22.	21.3057	0.96844
→✓	bus16	Grid	22.	22.30903	1.01404
→✓	bus17	Grid	22.	21.59211	0.98145
→✓	bus18	Grid	22.	21.33136	0.96960
→✓	bus19	Grid	22.	21.31988	0.96908
→✓	bus20	Grid	22.	21.31354	0.96879

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 12, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4916	1.02234
→✓	bus03	Grid	22.	22.34096	1.01549
→✓	bus04	Grid	22.	22.19002	1.00863
→✓	bus05	Grid	22.	22.05625	1.00255
→✓	bus06	Grid	22.	21.83813	0.99264
→✓	bus07	Grid	22.	21.63972	0.98362
→✓	bus08	Grid	22.	21.50756	0.97761
→✓	bus09	Grid	22.	21.39107	0.97232
→✓	bus10	Grid	22.	21.35523	0.97069
→✓	bus11	Grid	22.	22.48221	1.02191
→✓	bus12	Grid	22.	22.08867	1.00403
→✓	bus13	Grid	22.	21.34096	0.97004
→✓	bus14	Grid	22.	21.33095	0.96958
→✓	bus15	Grid	22.	21.33101	0.96959
→✓	bus16	Grid	22.	22.32072	1.01457
→✓	bus17	Grid	22.	21.61706	0.98259
→✓	bus18	Grid	22.	21.35664	0.97075
→✓	bus19	Grid	22.	21.34517	0.97023
→✓	bus20	Grid	22.	21.33884	0.96994

N = 12, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49748	1.02261
→✓	bus03	Grid	22.	22.35258	1.01602
→✓	bus04	Grid	22.	22.20804	1.00945
→✓	bus05	Grid	22.	22.08051	1.00366
→✓	bus06	Grid	22.	21.86269	0.99375
→✓	bus07	Grid	22.	21.66453	0.98475
→✓	bus08	Grid	22.	21.53254	0.97875
→✓	bus09	Grid	22.	21.4162	0.97346
→✓	bus10	Grid	22.	21.38041	0.97183
→✓	bus11	Grid	22.	22.48809	1.02218
→✓	bus12	Grid	22.	22.11515	1.00523
→✓	bus13	Grid	22.	21.36615	0.97118
→✓	bus14	Grid	22.	21.35616	0.97073
→✓	bus15	Grid	22.	21.35622	0.97073
→✓	bus16	Grid	22.	22.33236	1.01510
→✓	bus17	Grid	22.	21.6419	0.98372
→✓	bus18	Grid	22.	21.38181	0.97190
→✓	bus19	Grid	22.	21.37035	0.97137
→✓	bus20	Grid	22.	21.36404	0.97103

N = 13, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41183	1.01872
→✓	bus03	Grid	22.	22.18386	1.00835
→✓	bus04	Grid	22.	21.94741	0.99760
→✓	bus05	Grid	22.	21.73103	0.98777
→✓	bus06	Grid	22.	21.54156	0.97916
→✓	bus07	Grid	22.	21.37119	0.97141
→✓	bus08	Grid	22.	21.26345	0.96652
→✓	bus09	Grid	22.	21.17107	0.96232
→✓	bus10	Grid	22.	21.15991	0.96181
→✓	bus11	Grid	22.	22.40241	1.01829
→✓	bus12	Grid	22.	21.72203	0.98736
→✓	bus13	Grid	22.	21.16333	0.96196
→✓	bus14	Grid	22.	21.13538	0.96069
→✓	bus15	Grid	22.	21.13544	0.96070
→✓	bus16	Grid	22.	22.16348	1.00743
→✓	bus17	Grid	22.	21.34824	0.97037
→✓	bus18	Grid	22.	21.13627	0.96073
→✓	bus19	Grid	22.	21.12469	0.96021
→✓	bus20	Grid	22.	21.14334	0.96106

N = 13, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4329	1.01967
→✓	bus03	Grid	22.	22.2254	1.01024
→✓	bus04	Grid	22.	22.01161	1.00052
→✓	bus05	Grid	22.	21.81714	0.99168
→✓	bus06	Grid	22.	21.64883	0.98403
→✓	bus07	Grid	22.	21.49892	0.97722
→✓	bus08	Grid	22.	21.40842	0.97311
→✓	bus09	Grid	22.	21.33288	0.96967
→✓	bus10	Grid	22.	21.33777	0.96989
→✓	bus11	Grid	22.	22.42349	1.01925
→✓	bus12	Grid	22.	21.80818	0.99128
→✓	bus13	Grid	22.	21.35255	0.97057
→✓	bus14	Grid	22.	21.31347	0.96879
→✓	bus15	Grid	22.	21.31353	0.96879
→✓	bus16	Grid	22.	22.20505	1.00932
→✓	bus17	Grid	22.	21.47611	0.97618
→✓	bus18	Grid	22.	21.29835	0.96810
→✓	bus19	Grid	22.	21.28685	0.96758
→✓	bus20	Grid	22.	21.32137	0.96915

N = 13, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44972	1.02044
→✓	bus03	Grid	22.	22.25856	1.01175
→✓	bus04	Grid	22.	22.0629	1.00285
→✓	bus05	Grid	22.	21.88599	0.99481
→✓	bus06	Grid	22.	21.73467	0.98793
→✓	bus07	Grid	22.	21.60123	0.98187
→✓	bus08	Grid	22.	21.52466	0.97839
→✓	bus09	Grid	22.	21.46276	0.97557
→✓	bus10	Grid	22.	21.4807	0.97639
→✓	bus11	Grid	22.	22.44031	1.02001
→✓	bus12	Grid	22.	21.87705	0.99441
→✓	bus13	Grid	22.	21.50474	0.97748
→✓	bus14	Grid	22.	21.45658	0.97529
→✓	bus15	Grid	22.	21.45664	0.97530
→✓	bus16	Grid	22.	22.23825	1.01082
→✓	bus17	Grid	22.	21.57853	0.98084
→✓	bus18	Grid	22.	21.42844	0.97401
→✓	bus19	Grid	22.	21.41701	0.97350
→✓	bus20	Grid	22.	21.46442	0.97565

N = 13, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4632	1.02105
→✓	bus03	Grid	22.	22.28517	1.01296
→✓	bus04	Grid	22.	22.10408	1.00473
→✓	bus05	Grid	22.	21.9413	0.99733
→✓	bus06	Grid	22.	21.80367	0.99107
→✓	bus07	Grid	22.	21.68354	0.98561
→✓	bus08	Grid	22.	21.61823	0.98264
→✓	bus09	Grid	22.	21.56738	0.98033
→✓	bus10	Grid	22.	21.59588	0.98163
→✓	bus11	Grid	22.	22.4538	1.02062
→✓	bus12	Grid	22.	21.93239	0.99692
→✓	bus13	Grid	22.	21.62742	0.98306
→✓	bus14	Grid	22.	21.57191	0.98054
→✓	bus15	Grid	22.	21.57197	0.98054
→✓	bus16	Grid	22.	22.26488	1.01204
→✓	bus17	Grid	22.	21.66094	0.98458
→✓	bus18	Grid	22.	21.53324	0.97878
→✓	bus19	Grid	22.	21.52188	0.97826
→✓	bus20	Grid	22.	21.57971	0.98089

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 13, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47485	1.02158
→✓	bus03	Grid	22.	22.30816	1.01400
→✓	bus04	Grid	22.	22.13968	1.00634
→✓	bus05	Grid	22.	21.98915	0.99950
→✓	bus06	Grid	22.	21.86342	0.99379
→✓	bus07	Grid	22.	21.75488	0.98885
→✓	bus08	Grid	22.	21.69941	0.98633
→✓	bus09	Grid	22.	21.65824	0.98446
→✓	bus10	Grid	22.	21.63608	0.98618
→✓	bus11	Grid	22.	22.46545	1.02115
→✓	bus12	Grid	22.	21.98025	0.99910
→✓	bus13	Grid	22.	21.73427	0.98792
→✓	bus14	Grid	22.	21.67223	0.98510
→✓	bus15	Grid	22.	21.6723	0.98510
→✓	bus16	Grid	22.	22.28789	1.01308
→✓	bus17	Grid	22.	21.73234	0.98783
→✓	bus18	Grid	22.	21.62424	0.98292
→✓	bus19	Grid	22.	21.61293	0.98240
→✓	bus20	Grid	22.	21.67999	0.98545

N = 13, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4848	1.02203
→✓	bus03	Grid	22.	22.32781	1.0149
→✓	bus04	Grid	22.	22.17011	1.00773
→✓	bus05	Grid	22.	22.03008	1.00136
→✓	bus06	Grid	22.	21.91456	0.99611
→✓	bus07	Grid	22.	21.81598	0.99163
→✓	bus08	Grid	22.	21.76899	0.98949
→✓	bus09	Grid	22.	21.73618	0.98800
→✓	bus10	Grid	22.	21.78209	0.99009
→✓	bus11	Grid	22.	22.47541	1.02160
→✓	bus12	Grid	22.	22.0212	1.00096
→✓	bus13	Grid	22.	21.82604	0.99209
→✓	bus14	Grid	22.	21.75834	0.98901
→✓	bus15	Grid	22.	21.75841	0.98901
→✓	bus16	Grid	22.	22.30756	1.01398
→✓	bus17	Grid	22.	21.79351	0.99061
→✓	bus18	Grid	22.	21.7023	0.98646
→✓	bus19	Grid	22.	21.69102	0.98595
→✓	bus20	Grid	22.	21.76607	0.98936

N = 13, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49154	1.02234
→✓	bus03	Grid	22.	22.34113	1.01550
→✓	bus04	Grid	22.	22.19076	1.00867
→✓	bus05	Grid	22.	22.05786	1.00263
→✓	bus06	Grid	22.	21.94929	0.99769
→✓	bus07	Grid	22.	21.85749	0.99352
→✓	bus08	Grid	22.	21.81629	0.99164
→✓	bus09	Grid	22.	21.78918	0.99041
→✓	bus10	Grid	22.	21.84062	0.99275
→✓	bus11	Grid	22.	22.48215	1.02191
→✓	bus12	Grid	22.	22.04899	1.00222
→✓	bus13	Grid	22.	21.88851	0.99493
→✓	bus14	Grid	22.	21.81694	0.99167
→✓	bus15	Grid	22.	21.817	0.99168
→✓	bus16	Grid	22.	22.3209	1.01458
→✓	bus17	Grid	22.	21.83506	0.99250
→✓	bus18	Grid	22.	21.75539	0.98888
→✓	bus19	Grid	22.	21.74414	0.98836
→✓	bus20	Grid	22.	21.82465	0.99202

N = 13, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49774	1.02262
→✓	bus03	Grid	22.	22.35338	1.01606
→✓	bus04	Grid	22.	22.20975	1.00953
→✓	bus05	Grid	22.	22.08341	1.00379
→✓	bus06	Grid	22.	21.98124	0.99914
→✓	bus07	Grid	22.	21.89572	0.99525
→✓	bus08	Grid	22.	21.85985	0.99362
→✓	bus09	Grid	22.	21.83802	0.99263
→✓	bus10	Grid	22.	21.89458	0.99520
→✓	bus11	Grid	22.	22.48836	1.02219
→✓	bus12	Grid	22.	22.07456	1.00338
→✓	bus13	Grid	22.	21.94612	0.99755
→✓	bus14	Grid	22.	21.87096	0.99413
→✓	bus15	Grid	22.	21.87103	0.99413
→✓	bus16	Grid	22.	22.33315	1.01514
→✓	bus17	Grid	22.	21.87332	0.99424
→✓	bus18	Grid	22.	21.80431	0.99110
→✓	bus19	Grid	22.	21.79308	0.99059
→✓	bus20	Grid	22.	21.87865	0.99448

N = 13, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50386	1.02290
→✓	bus03	Grid	22.	22.36546	1.01661
→✓	bus04	Grid	22.	22.22849	1.01038
→✓	bus05	Grid	22.	22.10865	1.00493
→✓	bus06	Grid	22.	22.01282	1.00058
→✓	bus07	Grid	22.	21.93349	0.99697
→✓	bus08	Grid	22.	21.90292	0.99558
→✓	bus09	Grid	22.	21.88634	0.99483
→✓	bus10	Grid	22.	21.94797	0.99763
→✓	bus11	Grid	22.	22.49447	1.02247
→✓	bus12	Grid	22.	22.0998	1.00453
→✓	bus13	Grid	22.	22.00315	1.00014
→✓	bus14	Grid	22.	21.92442	0.99656
→✓	bus15	Grid	22.	21.92448	0.99656
→✓	bus16	Grid	22.	22.34525	1.01569
→✓	bus17	Grid	22.	21.91114	0.99596
→✓	bus18	Grid	22.	21.85269	0.99330
→✓	bus19	Grid	22.	21.84149	0.99279
→✓	bus20	Grid	22.	21.93209	0.99691

N = 13, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50989	1.02317
→✓	bus03	Grid	22.	22.3774	1.01715
→✓	bus04	Grid	22.	22.247	1.01122
→✓	bus05	Grid	22.	22.13358	1.00607
→✓	bus06	Grid	22.	22.04402	1.00200
→✓	bus07	Grid	22.	21.97084	0.99867
→✓	bus08	Grid	22.	21.94554	0.99752
→✓	bus09	Grid	22.	21.93415	0.99700
→✓	bus10	Grid	22.	22.00084	1.00003
→✓	bus11	Grid	22.	22.50051	1.02275
→✓	bus12	Grid	22.	22.12475	1.00567
→✓	bus13	Grid	22.	22.05963	1.00271
→✓	bus14	Grid	22.	21.97735	0.99897
→✓	bus15	Grid	22.	21.97741	0.99897
→✓	bus16	Grid	22.	22.3572	1.01623
→✓	bus17	Grid	22.	21.94853	0.99766
→✓	bus18	Grid	22.	21.90058	0.99548
→✓	bus19	Grid	22.	21.88941	0.99497
→✓	bus20	Grid	22.	21.985	0.99931

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 14, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41181	1.018719
→✓	bus03	Grid	22.	22.18382	1.00835
→✓	bus04	Grid	22.	21.94734	0.99760
→✓	bus05	Grid	22.	21.73094	0.98777
→✓	bus06	Grid	22.	21.54145	0.97915
→✓	bus07	Grid	22.	21.37105	0.97141
→✓	bus08	Grid	22.	21.2633	0.96651
→✓	bus09	Grid	22.	21.1709	0.96231
→✓	bus10	Grid	22.	21.15971	0.96180
→✓	bus11	Grid	22.	22.40239	1.01829
→✓	bus12	Grid	22.	21.72194	0.98736
→✓	bus13	Grid	22.	21.14531	0.96115
→✓	bus14	Grid	22.	21.1815	0.96279
→✓	bus15	Grid	22.	21.1602	0.96182
→✓	bus16	Grid	22.	22.16343	1.00742
→✓	bus17	Grid	22.	21.3481	0.97036
→✓	bus18	Grid	22.	21.1361	0.96073
→✓	bus19	Grid	22.	21.12451	0.96020
→✓	bus20	Grid	22.	21.1681	0.96218

N = 14, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43276	1.01967
→✓	bus03	Grid	22.	22.22511	1.01023
→✓	bus04	Grid	22.	22.01116	1.00050
→✓	bus05	Grid	22.	21.81653	0.99166
→✓	bus06	Grid	22.	21.64805	0.98400
→✓	bus07	Grid	22.	21.49798	0.97718
→✓	bus08	Grid	22.	21.40734	0.97306
→✓	bus09	Grid	22.	21.33166	0.96962
→✓	bus10	Grid	22.	21.33642	0.96983
→✓	bus11	Grid	22.	22.42335	1.01924
→✓	bus12	Grid	22.	21.80756	0.99125
→✓	bus13	Grid	22.	21.32213	0.96918
→✓	bus14	Grid	22.	21.38748	0.97215
→✓	bus15	Grid	22.	21.35276	0.97058
→✓	bus16	Grid	22.	22.20477	1.00930
→✓	bus17	Grid	22.	21.47516	0.97614
→✓	bus18	Grid	22.	21.29713	0.96805
→✓	bus19	Grid	22.	21.28563	0.96752
→✓	bus20	Grid	22.	21.36058	0.97093

N = 14, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44941	1.02042
→✓	bus03	Grid	22.	22.25795	1.01172
→✓	bus04	Grid	22.	22.06194	1.00281
→✓	bus05	Grid	22.	21.88469	0.99475
→✓	bus06	Grid	22.	21.73302	0.98786
→✓	bus07	Grid	22.	21.59924	0.98178
→✓	bus08	Grid	22.	21.52238	0.97829
→✓	bus09	Grid	22.	21.46018	0.97546
→✓	bus10	Grid	22.	21.47784	0.97626
→✓	bus11	Grid	22.	22.44001	1.02
→✓	bus12	Grid	22.	21.87575	0.99435
→✓	bus13	Grid	22.	21.46366	0.97562
→✓	bus14	Grid	22.	21.55271	0.97966
→✓	bus15	Grid	22.	21.50706	0.97759
→✓	bus16	Grid	22.	22.23764	1.01080
→✓	bus17	Grid	22.	21.57654	0.98075
→✓	bus18	Grid	22.	21.42586	0.97390
→✓	bus19	Grid	22.	21.41443	0.97338
→✓	bus20	Grid	22.	21.51482	0.97794

N = 14, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46275	1.02103
→✓	bus03	Grid	22.	22.28427	1.01292
→✓	bus04	Grid	22.	22.10266	1.00466
→✓	bus05	Grid	22.	21.93937	0.99724
→✓	bus06	Grid	22.	21.80124	0.99096
→✓	bus07	Grid	22.	21.6806	0.98548
→✓	bus08	Grid	22.	21.61485	0.98249
→✓	bus09	Grid	22.	21.56355	0.98016
→✓	bus10	Grid	22.	21.59163	0.98143
→✓	bus11	Grid	22.	22.45335	1.02060
→✓	bus12	Grid	22.	21.93046	0.99683
→✓	bus13	Grid	22.	21.57753	0.98079
→✓	bus14	Grid	22.	21.68576	0.98571
→✓	bus15	Grid	22.	21.63126	0.98323
→✓	bus16	Grid	22.	22.26398	1.01199
→✓	bus17	Grid	22.	21.65799	0.98445
→✓	bus18	Grid	22.	21.52942	0.97860
→✓	bus19	Grid	22.	21.51805	0.97809
→✓	bus20	Grid	22.	21.63897	0.98358

N = 14, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47422	1.02155
→✓	bus03	Grid	22.	22.3069	1.01395
→✓	bus04	Grid	22.	22.13771	1.00625
→✓	bus05	Grid	22.	21.98646	0.99938
→✓	bus06	Grid	22.	21.86003	0.99363
→✓	bus07	Grid	22.	21.75078	0.98867
→✓	bus08	Grid	22.	21.6947	0.98612
→✓	bus09	Grid	22.	21.65292	0.98422
→✓	bus10	Grid	22.	21.69017	0.98591
→✓	bus11	Grid	22.	22.46482	1.02112
→✓	bus12	Grid	22.	21.97757	0.99898
→✓	bus13	Grid	22.	21.67613	0.98527
→✓	bus14	Grid	22.	21.80133	0.99096
→✓	bus15	Grid	22.	21.73898	0.98813
→✓	bus16	Grid	22.	22.28664	1.01302
→✓	bus17	Grid	22.	21.72824	0.98764
→✓	bus18	Grid	22.	21.61892	0.98267
→✓	bus19	Grid	22.	21.6076	0.98216
→✓	bus20	Grid	22.	21.74665	0.98848

N = 14, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.484	1.022
→✓	bus03	Grid	22.	22.3262	1.01482
→✓	bus04	Grid	22.	22.16759	1.00761
→✓	bus05	Grid	22.	22.02665	1.00121
→✓	bus06	Grid	22.	21.91022	0.99591
→✓	bus07	Grid	22.	21.81074	0.99139
→✓	bus08	Grid	22.	21.76297	0.98922
→✓	bus09	Grid	22.	21.72937	0.98769
→✓	bus10	Grid	22.	21.77453	0.98975
→✓	bus11	Grid	22.	22.4746	1.02157
→✓	bus12	Grid	22.	22.01777	1.00080
→✓	bus13	Grid	22.	21.76054	0.98911
→✓	bus14	Grid	22.	21.90041	0.99547
→✓	bus15	Grid	22.	21.83128	0.99233
→✓	bus16	Grid	22.	22.30596	1.01390
→✓	bus17	Grid	22.	21.78826	0.99037
→✓	bus18	Grid	22.	21.69549	0.98615
→✓	bus19	Grid	22.	21.68421	0.98564
→✓	bus20	Grid	22.	21.83892	0.99267

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 14, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49061	1.0223
→✓	bus03	Grid	22.	22.33926	1.01542
→✓	bus04	Grid	22.	22.18783	1.00853
→✓	bus05	Grid	22.	22.05387	1.00244
→✓	bus06	Grid	22.	21.94424	0.99746
→✓	bus07	Grid	22.	21.8514	0.99324
→✓	bus08	Grid	22.	21.80928	0.99133
→✓	bus09	Grid	22.	21.78127	0.99005
→✓	bus10	Grid	22.	21.83182	0.99235
→✓	bus11	Grid	22.	22.48122	1.02187
→✓	bus12	Grid	22.	22.045	1.00204
→✓	bus13	Grid	22.	21.81787	0.99172
→✓	bus14	Grid	22.	21.96777	0.99853
→✓	bus15	Grid	22.	21.894	0.99518
→✓	bus16	Grid	22.	22.31903	1.01450
→✓	bus17	Grid	22.	21.82896	0.99222
→✓	bus18	Grid	22.	21.74747	0.98852
→✓	bus19	Grid	22.	21.73621	0.98800
→✓	bus20	Grid	22.	21.90161	0.99552

N = 14, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49668	1.02257
→✓	bus03	Grid	22.	22.35125	1.01596
→✓	bus04	Grid	22.	22.20641	1.00938
→✓	bus05	Grid	22.	22.07888	1.00358
→✓	bus06	Grid	22.	21.9755	0.99888
→✓	bus07	Grid	22.	21.88878	0.99494
→✓	bus08	Grid	22.	21.85188	0.99326
→✓	bus09	Grid	22.	21.82902	0.99222
→✓	bus10	Grid	22.	21.88456	0.99475
→✓	bus11	Grid	22.	22.48729	1.02215
→✓	bus12	Grid	22.	22.07002	1.00318
→✓	bus13	Grid	22.	21.87065	0.99412
→✓	bus14	Grid	22.	22.02983	1.00135
→✓	bus15	Grid	22.	21.95176	0.99780
→✓	bus16	Grid	22.	22.33103	1.01504
→✓	bus17	Grid	22.	21.86638	0.99392
→✓	bus18	Grid	22.	21.79529	0.99069
→✓	bus19	Grid	22.	21.78406	0.99018
→✓	bus20	Grid	22.	21.95335	0.99815

N = 14, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50266	1.02284
→✓	bus03	Grid	22.	22.36307	1.01650
→✓	bus04	Grid	22.	22.22473	1.01021
→✓	bus05	Grid	22.	22.10353	1.00470
→✓	bus06	Grid	22.	22.00634	1.00028
→✓	bus07	Grid	22.	21.92567	0.99662
→✓	bus08	Grid	22.	21.89393	0.99517
→✓	bus09	Grid	22.	21.87618	0.99437
→✓	bus10	Grid	22.	21.93668	0.99712
→✓	bus11	Grid	22.	22.49328	1.02242
→✓	bus12	Grid	22.	22.09468	1.00430
→✓	bus13	Grid	22.	21.92279	0.99649
→✓	bus14	Grid	22.	22.0912	1.00414
→✓	bus15	Grid	22.	22.00886	1.00040
→✓	bus16	Grid	22.	22.34286	1.01558
→✓	bus17	Grid	22.	21.90331	0.99560
→✓	bus18	Grid	22.	21.84252	0.99284
→✓	bus19	Grid	22.	21.83132	0.99233
→✓	bus20	Grid	22.	22.01643	1.00074

N = 14, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50855	1.02311
→✓	bus03	Grid	22.	22.37472	1.01703
→✓	bus04	Grid	22.	22.2428	1.01103
→✓	bus05	Grid	22.	22.12786	1.00581
→✓	bus06	Grid	22.	22.03678	1.00167
→✓	bus07	Grid	22.	21.9621	0.99827
→✓	bus08	Grid	22.	21.93548	0.99706
→✓	bus09	Grid	22.	21.92279	0.99649
→✓	bus10	Grid	22.	21.98821	0.99946
→✓	bus11	Grid	22.	22.49917	1.02269
→✓	bus12	Grid	22.	22.11902	1.00541
→✓	bus13	Grid	22.	21.97436	0.99883
→✓	bus14	Grid	22.	22.15194	1.00690
→✓	bus15	Grid	22.	22.06535	1.00297
→✓	bus16	Grid	22.	22.35452	1.01611
→✓	bus17	Grid	22.	21.93977	0.99726
→✓	bus18	Grid	22.	21.88921	0.99496
→✓	bus19	Grid	22.	21.87803	0.99445
→✓	bus20	Grid	22.	22.0729	1.00331

N = 15, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4118	1.01871
→✓	bus03	Grid	22.	22.18379	1.00835
→✓	bus04	Grid	22.	21.9473	0.99760
→✓	bus05	Grid	22.	21.73088	0.98776
→✓	bus06	Grid	22.	21.54138	0.97915
→✓	bus07	Grid	22.	21.37096	0.97140
→✓	bus08	Grid	22.	21.2632	0.96650
→✓	bus09	Grid	22.	21.17079	0.96230
→✓	bus10	Grid	22.	21.15959	0.96179
→✓	bus11	Grid	22.	22.40238	1.01829
→✓	bus12	Grid	22.	21.72188	0.98735
→✓	bus13	Grid	22.	21.14518	0.96114
→✓	bus14	Grid	22.	21.16	0.96181
→✓	bus15	Grid	22.	21.18497	0.96295
→✓	bus16	Grid	22.	22.16341	1.00742
→✓	bus17	Grid	22.	21.34801	0.97036
→✓	bus18	Grid	22.	21.13599	0.96072
→✓	bus19	Grid	22.	21.1244	0.96019
→✓	bus20	Grid	22.	21.16796	0.96218

N = 15, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43272	1.01966
→✓	bus03	Grid	22.	22.22504	1.01022
→✓	bus04	Grid	22.	22.01105	1.00050
→✓	bus05	Grid	22.	21.81638	0.99165
→✓	bus06	Grid	22.	21.64786	0.98399
→✓	bus07	Grid	22.	21.49775	0.97717
→✓	bus08	Grid	22.	21.40708	0.97304
→✓	bus09	Grid	22.	21.33136	0.96960
→✓	bus10	Grid	22.	21.33609	0.96982
→✓	bus11	Grid	22.	22.42331	1.01924
→✓	bus12	Grid	22.	21.80741	0.99124
→✓	bus13	Grid	22.	21.3218	0.96917
→✓	bus14	Grid	22.	21.35234	0.97056
→✓	bus15	Grid	22.	21.39296	0.97240
→✓	bus16	Grid	22.	22.20469	1.00930
→✓	bus17	Grid	22.	21.47493	0.97613
→✓	bus18	Grid	22.	21.29683	0.96803
→✓	bus19	Grid	22.	21.28533	0.96751
→✓	bus20	Grid	22.	21.36022	0.97091

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 15, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44935	1.02042
→✓	bus03	Grid	22.	22.25783	1.01172
→✓	bus04	Grid	22.	22.06176	1.00280
→✓	bus05	Grid	22.	21.88443	0.99474
→✓	bus06	Grid	22.	21.7327	0.98784
→✓	bus07	Grid	22.	21.59885	0.98176
→✓	bus08	Grid	22.	21.52193	0.97826
→✓	bus09	Grid	22.	21.45967	0.97543
→✓	bus10	Grid	22.	21.47728	0.97624
→✓	bus11	Grid	22.	22.43995	1.01999
→✓	bus12	Grid	22.	21.87549	0.99434
→✓	bus13	Grid	22.	21.46309	0.97559
→✓	bus14	Grid	22.	21.50638	0.97756
→✓	bus15	Grid	22.	21.55974	0.97998
→✓	bus16	Grid	22.	22.23752	1.01079
→✓	bus17	Grid	22.	21.57614	0.98073
→✓	bus18	Grid	22.	21.42535	0.97387
→✓	bus19	Grid	22.	21.41392	0.97336
→✓	bus20	Grid	22.	21.5142	0.97791

N = 15, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46267	1.02103
→✓	bus03	Grid	22.	22.2841	1.01291
→✓	bus04	Grid	22.	22.1024	1.00465
→✓	bus05	Grid	22.	21.93902	0.99722
→✓	bus06	Grid	22.	21.80079	0.99094
→✓	bus07	Grid	22.	21.68006	0.98545
→✓	bus08	Grid	22.	21.61423	0.98246
→✓	bus09	Grid	22.	21.56286	0.98012
→✓	bus10	Grid	22.	21.59086	0.98140
→✓	bus11	Grid	22.	22.45327	1.02060
→✓	bus12	Grid	22.	21.93011	0.99682
→✓	bus13	Grid	22.	21.57675	0.98076
→✓	bus14	Grid	22.	21.63034	0.98319
→✓	bus15	Grid	22.	21.69402	0.98609
→✓	bus16	Grid	22.	22.26382	1.01199
→✓	bus17	Grid	22.	21.65746	0.98442
→✓	bus18	Grid	22.	21.52872	0.97857
→✓	bus19	Grid	22.	21.51736	0.97806
→✓	bus20	Grid	22.	21.63812	0.98355

N = 15, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47411	1.02155
→✓	bus03	Grid	22.	22.30669	1.01394
→✓	bus04	Grid	22.	22.13737	1.00624
→✓	bus05	Grid	22.	21.98601	0.99936
→✓	bus06	Grid	22.	21.85944	0.99361
→✓	bus07	Grid	22.	21.75008	0.98863
→✓	bus08	Grid	22.	21.69389	0.98608
→✓	bus09	Grid	22.	21.65201	0.98418
→✓	bus10	Grid	22.	21.68916	0.98587
→✓	bus11	Grid	22.	22.46472	1.02112
→✓	bus12	Grid	22.	21.97711	0.99895
→✓	bus13	Grid	22.	21.67511	0.98523
→✓	bus14	Grid	22.	21.73781	0.98808
→✓	bus15	Grid	22.	21.81061	0.99139
→✓	bus16	Grid	22.	22.28642	1.01301
→✓	bus17	Grid	22.	21.72754	0.98761
→✓	bus18	Grid	22.	21.61801	0.98263
→✓	bus19	Grid	22.	21.60669	0.98212
→✓	bus20	Grid	22.	21.74554	0.98843

N = 15, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48386	1.02199
→✓	bus03	Grid	22.	22.32594	1.01481
→✓	bus04	Grid	22.	22.16718	1.00759
→✓	bus05	Grid	22.	22.02609	1.00188
→✓	bus06	Grid	22.	21.90951	0.99588
→✓	bus07	Grid	22.	21.80988	0.99135
→✓	bus08	Grid	22.	21.76198	0.98918
→✓	bus09	Grid	22.	21.72825	0.98764
→✓	bus10	Grid	22.	21.77329	0.98969
→✓	bus11	Grid	22.	22.47447	1.02156
→✓	bus12	Grid	22.	22.01721	1.00078
→✓	bus13	Grid	22.	21.7593	0.98905
→✓	bus14	Grid	22.	21.82985	0.99226
→✓	bus15	Grid	22.	21.91055	0.99593
→✓	bus16	Grid	22.	22.30569	1.01389
→✓	bus17	Grid	22.	21.7874	0.99033
→✓	bus18	Grid	22.	21.69437	0.98610
→✓	bus19	Grid	22.	21.68309	0.98559
→✓	bus20	Grid	22.	21.83755	0.99261

N = 15, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49046	1.02229
→✓	bus03	Grid	22.	22.33896	1.01540
→✓	bus04	Grid	22.	22.18736	1.00851
→✓	bus05	Grid	22.	22.05323	1.00242
→✓	bus06	Grid	22.	21.94343	0.99742
→✓	bus07	Grid	22.	21.85042	0.99320
→✓	bus08	Grid	22.	21.80816	0.99127
→✓	bus09	Grid	22.	21.78	0.98999
→✓	bus10	Grid	22.	21.83041	0.99229
→✓	bus11	Grid	22.	22.48107	1.02186
→✓	bus12	Grid	22.	22.04436	1.00201
→✓	bus13	Grid	22.	21.81646	0.99165
→✓	bus14	Grid	22.	21.89238	0.99510
→✓	bus15	Grid	22.	21.97849	0.99902
→✓	bus16	Grid	22.	22.31873	1.01448
→✓	bus17	Grid	22.	21.82798	0.99218
→✓	bus18	Grid	22.	21.74619	0.98846
→✓	bus19	Grid	22.	21.73494	0.98795
→✓	bus20	Grid	22.	21.90006	0.99545

N = 15, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49651	1.02256
→✓	bus03	Grid	22.	22.35092	1.01595
→✓	bus04	Grid	22.	22.20589	1.00935
→✓	bus05	Grid	22.	22.07816	1.00355
→✓	bus06	Grid	22.	21.9746	0.99884
→✓	bus07	Grid	22.	21.88768	0.99489
→✓	bus08	Grid	22.	21.85062	0.99320
→✓	bus09	Grid	22.	21.8276	0.99216
→✓	bus10	Grid	22.	21.88298	0.99468
→✓	bus11	Grid	22.	22.48713	1.02214
→✓	bus12	Grid	22.	22.0693	1.00315
→✓	bus13	Grid	22.	21.86906	0.99404
→✓	bus14	Grid	22.	21.94996	0.99772
→✓	bus15	Grid	22.	22.04107	1.00186
→✓	bus16	Grid	22.	22.33069	1.01503
→✓	bus17	Grid	22.	21.86528	0.99387
→✓	bus18	Grid	22.	21.79387	0.99063
→✓	bus19	Grid	22.	21.78264	0.99011
→✓	bus20	Grid	22.	21.95762	0.99807

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 15, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50247	1.02284
→✓	bus03	Grid	22.	22.3627	1.01649
→✓	bus04	Grid	22.	22.22415	1.01018
→✓	bus05	Grid	22.	22.10274	1.00467
→✓	bus06	Grid	22.	22.00534	1.00024
→✓	bus07	Grid	22.	21.92445	0.99656
→✓	bus08	Grid	22.	21.89253	0.99511
→✓	bus09	Grid	22.	21.8746	0.99430
→✓	bus10	Grid	22.	21.93492	0.99704
→✓	bus11	Grid	22.	22.49309	1.02241
→✓	bus12	Grid	22.	22.09389	1.00426
→✓	bus13	Grid	22.	21.92104	0.99641
→✓	bus14	Grid	22.	22.00687	1.00031
→✓	bus15	Grid	22.	22.10296	1.00468
→✓	bus16	Grid	22.	22.34248	1.01556
→✓	bus17	Grid	22.	21.90209	0.99554
→✓	bus18	Grid	22.	21.84094	0.99277
→✓	bus19	Grid	22.	21.82974	0.99226
→✓	bus20	Grid	22.	22.01451	1.00065

N = 15, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50835	1.02310
→✓	bus03	Grid	22.	22.37431	1.01701
→✓	bus04	Grid	22.	22.24215	1.01100
→✓	bus05	Grid	22.	22.12698	1.00577
→✓	bus06	Grid	22.	22.03567	1.00162
→✓	bus07	Grid	22.	21.96076	0.99821
→✓	bus08	Grid	22.	21.93394	0.99699
→✓	bus09	Grid	22.	21.92105	0.99641
→✓	bus10	Grid	22.	21.98628	0.99937
→✓	bus11	Grid	22.	22.49897	1.02268
→✓	bus12	Grid	22.	22.11815	1.00537
→✓	bus13	Grid	22.	21.97242	0.99874
→✓	bus14	Grid	22.	22.06316	1.00287
→✓	bus15	Grid	22.	22.1642	1.00746
→✓	bus16	Grid	22.	22.35411	1.01609
→✓	bus17	Grid	22.	21.93843	0.99720
→✓	bus18	Grid	22.	21.88747	0.99488
→✓	bus19	Grid	22.	21.87629	0.99437
→✓	bus20	Grid	22.	22.07078	1.00321

N = 16, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40352	1.01834
→✓	bus03	Grid	22.	22.16723	1.00760
→✓	bus04	Grid	22.	21.89464	0.99521
→✓	bus05	Grid	22.	21.64336	0.98378
→✓	bus06	Grid	22.	21.42024	0.97364
→✓	bus07	Grid	22.	21.21737	0.96442
→✓	bus08	Grid	22.	21.08227	0.95828
→✓	bus09	Grid	22.	20.96323	0.95287
→✓	bus10	Grid	22.	20.92657	0.95120
→✓	bus11	Grid	22.	22.39409	1.01791
→✓	bus12	Grid	22.	21.63432	0.98337
→✓	bus13	Grid	22.	20.912	0.95054
→✓	bus14	Grid	22.	20.90174	0.95007
→✓	bus15	Grid	22.	20.9018	0.95008
→✓	bus16	Grid	22.	22.17408	1.00791
→✓	bus17	Grid	22.	21.19425	0.96337
→✓	bus18	Grid	22.	20.92808	0.95127
→✓	bus19	Grid	22.	20.91638	0.95074
→✓	bus20	Grid	22.	20.9098	0.95044

N = 16, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.42015	1.01909
→✓	bus03	Grid	22.	22.1999	1.00908
→✓	bus04	Grid	22.	21.92784	0.99672
→✓	bus05	Grid	22.	21.67704	0.98532
→✓	bus06	Grid	22.	21.45433	0.97519
→✓	bus07	Grid	22.	21.25183	0.96599
→✓	bus08	Grid	22.	21.11698	0.95986
→✓	bus09	Grid	22.	20.99815	0.95446
→✓	bus10	Grid	22.	20.96156	0.95279
→✓	bus11	Grid	22.	22.41073	1.01867
→✓	bus12	Grid	22.	21.66801	0.98490
→✓	bus13	Grid	22.	20.94702	0.95213
→✓	bus14	Grid	22.	20.93678	0.95167
→✓	bus15	Grid	22.	20.93684	0.95167
→✓	bus16	Grid	22.	22.22422	1.01019
→✓	bus17	Grid	22.	21.22875	0.96494
→✓	bus18	Grid	22.	20.96306	0.95286
→✓	bus19	Grid	22.	20.95138	0.95233
→✓	bus20	Grid	22.	20.94482	0.95203

N = 16, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43379	1.01971
→✓	bus03	Grid	22.	22.22673	1.01030
→✓	bus04	Grid	22.	21.9551	0.99795
→✓	bus05	Grid	22.	21.70469	0.98657
→✓	bus06	Grid	22.	21.48232	0.97646
→✓	bus07	Grid	22.	21.28013	0.96727
→✓	bus08	Grid	22.	21.14547	0.96115
→✓	bus09	Grid	22.	21.02682	0.95576
→✓	bus10	Grid	22.	20.99029	0.95410
→✓	bus11	Grid	22.	22.42438	1.01929
→✓	bus12	Grid	22.	21.69567	0.98616
→✓	bus13	Grid	22.	20.97576	0.95344
→✓	bus14	Grid	22.	20.96554	0.95297
→✓	bus15	Grid	22.	20.9656	0.95298
→✓	bus16	Grid	22.	22.26546	1.01206
→✓	bus17	Grid	22.	21.25708	0.96623
→✓	bus18	Grid	22.	20.99178	0.95417
→✓	bus19	Grid	22.	20.98011	0.95364
→✓	bus20	Grid	22.	20.97357	0.95334

N = 16, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44495	1.02022
→✓	bus03	Grid	22.	22.24869	1.01130
→✓	bus04	Grid	22.	21.97741	0.99897
→✓	bus05	Grid	22.	21.72732	0.98760
→✓	bus06	Grid	22.	21.50523	0.97751
→✓	bus07	Grid	22.	21.30329	0.96833
→✓	bus08	Grid	22.	21.16879	0.96221
→✓	bus09	Grid	22.	21.05028	0.95683
→✓	bus10	Grid	22.	21.0138	0.95517
→✓	bus11	Grid	22.	22.43554	1.01979
→✓	bus12	Grid	22.	21.71832	0.98719
→✓	bus13	Grid	22.	20.99929	0.95451
→✓	bus14	Grid	22.	20.98908	0.95404
→✓	bus15	Grid	22.	20.98914	0.95405
→✓	bus16	Grid	22.	22.29925	1.01360
→✓	bus17	Grid	22.	21.28026	0.96728
→✓	bus18	Grid	22.	21.01528	0.95524
→✓	bus19	Grid	22.	21.00363	0.95471
→✓	bus20	Grid	22.	20.9971	0.95441

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 16, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4548	1.02067
→✓	bus03	Grid	22.	22.26809	1.01218
→✓	bus04	Grid	22.	21.99713	0.99986
→✓	bus05	Grid	22.	21.74732	0.98851
→✓	bus06	Grid	22.	21.52547	0.97843
→✓	bus07	Grid	22.	21.32375	0.96926
→✓	bus08	Grid	22.	21.1894	0.96315
→✓	bus09	Grid	22.	21.07101	0.95777
→✓	bus10	Grid	22.	21.03457	0.95611
→✓	bus11	Grid	22.	22.4454	1.02024
→✓	bus12	Grid	22.	21.73832	0.98810
→✓	bus13	Grid	22.	21.02007	0.95545
→✓	bus14	Grid	22.	21.00987	0.95499
→✓	bus15	Grid	22.	21.00993	0.95499
→✓	bus16	Grid	22.	22.32913	1.01496
→✓	bus17	Grid	22.	21.30074	0.96821
→✓	bus18	Grid	22.	21.03605	0.95618
→✓	bus19	Grid	22.	21.02441	0.95565
→✓	bus20	Grid	22.	21.01789	0.95535

N = 16, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46336	1.02106
→✓	bus03	Grid	22.	22.28495	1.01295
→✓	bus04	Grid	22.	22.01425	1.00064
→✓	bus05	Grid	22.	21.76468	0.98930
→✓	bus06	Grid	22.	21.54306	0.97922
→✓	bus07	Grid	22.	21.34152	0.97006
→✓	bus08	Grid	22.	21.20729	0.96396
→✓	bus09	Grid	22.	21.08902	0.95859
→✓	bus10	Grid	22.	21.0526	0.95693
→✓	bus11	Grid	22.	22.45396	1.02063
→✓	bus12	Grid	22.	21.7557	0.98889
→✓	bus13	Grid	22.	21.03812	0.95627
→✓	bus14	Grid	22.	21.02794	0.95581
→✓	bus15	Grid	22.	21.028	0.95581
→✓	bus16	Grid	22.	22.35512	1.01614
→✓	bus17	Grid	22.	21.31853	0.96902
→✓	bus18	Grid	22.	21.05408	0.95700
→✓	bus19	Grid	22.	21.04245	0.95647
→✓	bus20	Grid	22.	21.03594	0.95617

N = 16, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46923	1.02132
→✓	bus03	Grid	22.	22.29652	1.01347
→✓	bus04	Grid	22.	22.02601	1.00118
→✓	bus05	Grid	22.	21.77661	0.98984
→✓	bus06	Grid	22.	21.55513	0.97977
→✓	bus07	Grid	22.	21.35372	0.97062
→✓	bus08	Grid	22.	21.21959	0.96452
→✓	bus09	Grid	22.	21.10138	0.95915
→✓	bus10	Grid	22.	21.06499	0.95749
→✓	bus11	Grid	22.	22.45983	1.02090
→✓	bus12	Grid	22.	21.76763	0.98943
→✓	bus13	Grid	22.	21.05052	0.95684
→✓	bus14	Grid	22.	21.04034	0.95637
→✓	bus15	Grid	22.	21.0404	0.95638
→✓	bus16	Grid	22.	22.37298	1.01695
→✓	bus17	Grid	22.	21.33075	0.96957
→✓	bus18	Grid	22.	21.06647	0.95756
→✓	bus19	Grid	22.	21.05484	0.95703
→✓	bus20	Grid	22.	21.04834	0.95674

N = 16, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47468	1.02157
→✓	bus03	Grid	22.	22.30727	1.01396
→✓	bus04	Grid	22.	22.03694	1.00167
→✓	bus05	Grid	22.	21.78769	0.99034
→✓	bus06	Grid	22.	21.56634	0.98028
→✓	bus07	Grid	22.	21.36506	0.97113
→✓	bus08	Grid	22.	21.231	0.96504
→✓	bus09	Grid	22.	21.11287	0.95967
→✓	bus10	Grid	22.	21.0765	0.95802
→✓	bus11	Grid	22.	22.46528	1.02114
→✓	bus12	Grid	22.	21.77871	0.98994
→✓	bus13	Grid	22.	21.06203	0.95736
→✓	bus14	Grid	22.	21.05186	0.95690
→✓	bus15	Grid	22.	21.05192	0.95690
→✓	bus16	Grid	22.	22.38957	1.01770
→✓	bus17	Grid	22.	21.3421	0.97009
→✓	bus18	Grid	22.	21.07797	0.95808
→✓	bus19	Grid	22.	21.06635	0.95756
→✓	bus20	Grid	22.	21.05986	0.95726

N = 16, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48011	1.02182
→✓	bus03	Grid	22.	22.31799	1.01445
→✓	bus04	Grid	22.	22.04782	1.00217
→✓	bus05	Grid	22.	21.79873	0.99085
→✓	bus06	Grid	22.	21.57752	0.98079
→✓	bus07	Grid	22.	21.37635	0.97165
→✓	bus08	Grid	22.	21.24237	0.96556
→✓	bus09	Grid	22.	21.12431	0.96019
→✓	bus10	Grid	22.	21.08796	0.95854
→✓	bus11	Grid	22.	22.47072	1.02139
→✓	bus12	Grid	22.	21.78976	0.99044
→✓	bus13	Grid	22.	21.0735	0.95788
→✓	bus14	Grid	22.	21.06334	0.95742
→✓	bus15	Grid	22.	21.0634	0.95742
→✓	bus16	Grid	22.	22.40612	1.01846
→✓	bus17	Grid	22.	21.35341	0.97060
→✓	bus18	Grid	22.	21.08943	0.95861
→✓	bus19	Grid	22.	21.07782	0.95808
→✓	bus20	Grid	22.	21.07133	0.95778

N = 16, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48552	1.02206
→✓	bus03	Grid	22.	22.32867	1.01494
→✓	bus04	Grid	22.	22.05868	1.00266
→✓	bus05	Grid	22.	21.80974	0.99135
→✓	bus06	Grid	22.	21.58866	0.98130
→✓	bus07	Grid	22.	21.38761	0.97216
→✓	bus08	Grid	22.	21.25371	0.96607
→✓	bus09	Grid	22.	21.13572	0.96071
→✓	bus10	Grid	22.	21.09339	0.95906
→✓	bus11	Grid	22.	22.47613	1.02164
→✓	bus12	Grid	22.	21.80077	0.99094
→✓	bus13	Grid	22.	21.08494	0.95840
→✓	bus14	Grid	22.	21.07478	0.95794
→✓	bus15	Grid	22.	21.07485	0.95794
→✓	bus16	Grid	22.	22.42263	1.01921
→✓	bus17	Grid	22.	21.36468	0.97112
→✓	bus18	Grid	22.	21.10086	0.95913
→✓	bus19	Grid	22.	21.08925	0.95860
→✓	bus20	Grid	22.	21.08277	0.95830

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 17, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.40994	1.01863
→✓	bus03	Grid	22.	22.18007	1.00818
→✓	bus04	Grid	22.	21.94146	0.99733
→✓	bus05	Grid	22.	21.72293	0.98740
→✓	bus06	Grid	22.	21.53133	0.97869
→✓	bus07	Grid	22.	21.35883	0.97085
→✓	bus08	Grid	22.	21.22473	0.96476
→✓	bus09	Grid	22.	21.10655	0.95938
→✓	bus10	Grid	22.	21.07017	0.95773
→✓	bus11	Grid	22.	22.40051	1.01820
→✓	bus12	Grid	22.	21.71393	0.98699
→✓	bus13	Grid	22.	21.0557	0.95707
→✓	bus14	Grid	22.	21.04553	0.95661
→✓	bus15	Grid	22.	21.04559	0.95661
→✓	bus16	Grid	22.	22.15968	1.00725
→✓	bus17	Grid	22.	21.35002	0.97045
→✓	bus18	Grid	22.	21.07165	0.95780
→✓	bus19	Grid	22.	21.06002	0.95727
→✓	bus20	Grid	22.	21.05353	0.95697

N = 17, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43019	1.01955
→✓	bus03	Grid	22.	22.21996	1.00999
→✓	bus04	Grid	22.	22.00308	1.00014
→✓	bus05	Grid	22.	21.80553	0.99116
→✓	bus06	Grid	22.	21.63415	0.98337
→✓	bus07	Grid	22.	21.48118	0.97641
→✓	bus08	Grid	22.	21.34793	0.97036
→✓	bus09	Grid	22.	21.2305	0.96502
→✓	bus10	Grid	22.	21.19435	0.96337
→✓	bus11	Grid	22.	22.42077	1.01912
→✓	bus12	Grid	22.	21.79656	0.99075
→✓	bus13	Grid	22.	21.17997	0.96272
→✓	bus14	Grid	22.	21.16987	0.96226
→✓	bus15	Grid	22.	21.16993	0.96226
→✓	bus16	Grid	22.	22.19962	1.00907
→✓	bus17	Grid	22.	21.48149	0.97643
→✓	bus18	Grid	22.	21.1958	0.96344
→✓	bus19	Grid	22.	21.18424	0.96292
→✓	bus20	Grid	22.	21.17782	0.96262

N = 17, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44653	1.02029
→✓	bus03	Grid	22.	22.25219	1.01146
→✓	bus04	Grid	22.	22.05289	1.00240
→✓	bus05	Grid	22.	21.87236	0.99419
→✓	bus06	Grid	22.	21.71744	0.98715
→✓	bus07	Grid	22.	21.58041	0.98092
→✓	bus08	Grid	22.	21.44785	0.97490
→✓	bus09	Grid	22.	21.33101	0.96959
→✓	bus10	Grid	22.	21.29505	0.96795
→✓	bus11	Grid	22.	22.43712	1.01986
→✓	bus12	Grid	22.	21.86342	0.99379
→✓	bus13	Grid	22.	21.28074	0.96730
→✓	bus14	Grid	22.	21.2707	0.96684
→✓	bus15	Grid	22.	21.27076	0.96685
→✓	bus16	Grid	22.	22.23187	1.01053
→✓	bus17	Grid	22.	21.5882	0.98128
→✓	bus18	Grid	22.	21.29647	0.96802
→✓	bus19	Grid	22.	21.28497	0.96749
→✓	bus20	Grid	22.	21.27861	0.96720

N = 17, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.45972	1.02089
→✓	bus03	Grid	22.	22.27821	1.01264
→✓	bus04	Grid	22.	22.09316	1.00423
→✓	bus05	Grid	22.	21.92643	0.99665
→✓	bus06	Grid	22.	21.78488	0.99022
→✓	bus07	Grid	22.	21.66085	0.98458
→✓	bus08	Grid	22.	21.52884	0.97858
→✓	bus09	Grid	22.	21.41247	0.97329
→✓	bus10	Grid	22.	21.37667	0.97166
→✓	bus11	Grid	22.	22.45032	1.02046
→✓	bus12	Grid	22.	21.91751	0.99625
→✓	bus13	Grid	22.	21.36241	0.97101
→✓	bus14	Grid	22.	21.35242	0.97056
→✓	bus15	Grid	22.	21.35248	0.97056
→✓	bus16	Grid	22.	22.25792	1.01172
→✓	bus17	Grid	22.	21.67474	0.98521
→✓	bus18	Grid	22.	21.37807	0.97173
→✓	bus19	Grid	22.	21.36662	0.97120
→✓	bus20	Grid	22.	21.3603	0.97092

N = 17, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47131	1.02142
→✓	bus03	Grid	22.	22.30109	1.01368
→✓	bus04	Grid	22.	22.12858	1.00584
→✓	bus05	Grid	22.	21.97403	0.99881
→✓	bus06	Grid	22.	21.8443	0.99292
→✓	bus07	Grid	22.	21.73177	0.98780
→✓	bus08	Grid	22.	21.60036	0.98183
→✓	bus09	Grid	22.	21.48452	0.97656
→✓	bus10	Grid	22.	21.44889	0.97494
→✓	bus11	Grid	22.	22.46192	1.02099
→✓	bus12	Grid	22.	21.96513	0.99841
→✓	bus13	Grid	22.	21.4347	0.97430
→✓	bus14	Grid	22.	21.42476	0.97385
→✓	bus15	Grid	22.	21.42482	0.97385
→✓	bus16	Grid	22.	22.28082	1.01278
→✓	bus17	Grid	22.	21.75101	0.98868
→✓	bus18	Grid	22.	21.45027	0.97501
→✓	bus19	Grid	22.	21.43887	0.97449
→✓	bus20	Grid	22.	21.4326	0.97420

N = 17, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4812	1.02187
→✓	bus03	Grid	22.	22.32062	1.01457
→✓	bus04	Grid	22.	22.15883	1.00722
→✓	bus05	Grid	22.	22.01471	1.00066
→✓	bus06	Grid	22.	21.89512	0.99523
→✓	bus07	Grid	22.	21.79249	0.99056
→✓	bus08	Grid	22.	21.66146	0.98461
→✓	bus09	Grid	22.	21.54596	0.97936
→✓	bus10	Grid	22.	21.51044	0.97774
→✓	bus11	Grid	22.	22.47181	1.02144
→✓	bus12	Grid	22.	22.00583	1.00026
→✓	bus13	Grid	22.	21.49628	0.97710
→✓	bus14	Grid	22.	21.48637	0.97665
→✓	bus15	Grid	22.	21.48643	0.97665
→✓	bus16	Grid	22.	22.30037	1.01365
→✓	bus17	Grid	22.	21.81641	0.99165
→✓	bus18	Grid	22.	21.5118	0.97780
→✓	bus19	Grid	22.	21.50043	0.97729
→✓	bus20	Grid	22.	21.4942	0.97700

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 17, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48795	1.02217
→✓	bus03	Grid	22.	22.33394	1.01517
→✓	bus04	Grid	22.	22.17947	1.00815
→✓	bus05	Grid	22.	22.04248	1.00193
→✓	bus06	Grid	22.	21.92983	0.99681
→✓	bus07	Grid	22.	21.83398	0.99245
→✓	bus08	Grid	22.	21.70322	0.98651
→✓	bus09	Grid	22.	21.58795	0.98127
→✓	bus10	Grid	22.	21.5525	0.97965
→✓	bus11	Grid	22.	22.47856	1.02175
→✓	bus12	Grid	22.	22.0336	1.00152
→✓	bus13	Grid	22.	21.53837	0.97901
→✓	bus14	Grid	22.	21.52848	0.97856
→✓	bus15	Grid	22.	21.52854	0.97857
→✓	bus16	Grid	22.	22.3137	1.01425
→✓	bus17	Grid	22.	21.86111	0.99368
→✓	bus18	Grid	22.	21.55385	0.97972
→✓	bus19	Grid	22.	21.5425	0.97920
→✓	bus20	Grid	22.	21.53629	0.97892

N = 17, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49417	1.02246
→✓	bus03	Grid	22.	22.34624	1.01573
→✓	bus04	Grid	22.	22.19853	1.00902
→✓	bus05	Grid	22.	22.06814	1.00309
→✓	bus06	Grid	22.	21.96192	0.99826
→✓	bus07	Grid	22.	21.87236	0.99419
→✓	bus08	Grid	22.	21.74185	0.98826
→✓	bus09	Grid	22.	21.62679	0.98303
→✓	bus10	Grid	22.	21.59141	0.98142
→✓	bus11	Grid	22.	22.48478	1.02203
→✓	bus12	Grid	22.	22.05928	1.00269
→✓	bus13	Grid	22.	21.5773	0.98078
→✓	bus14	Grid	22.	21.56744	0.98033
→✓	bus15	Grid	22.	21.5675	0.98034
→✓	bus16	Grid	22.	22.32601	1.01481
→✓	bus17	Grid	22.	21.90248	0.99556
→✓	bus18	Grid	22.	21.59275	0.98148
→✓	bus19	Grid	22.	21.58142	0.98097
→✓	bus20	Grid	22.	21.57523	0.98069

N = 17, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50033	1.02274
→✓	bus03	Grid	22.	22.35842	1.01629
→✓	bus04	Grid	22.	22.21743	1.00988
→✓	bus05	Grid	22.	22.09359	1.00425
→✓	bus06	Grid	22.	21.99376	0.99971
→✓	bus07	Grid	22.	21.91046	0.99593
→✓	bus08	Grid	22.	21.78019	0.99000
→✓	bus09	Grid	22.	21.66534	0.98478
→✓	bus10	Grid	22.	21.63003	0.98318
→✓	bus11	Grid	22.	22.49095	1.02231
→✓	bus12	Grid	22.	22.08474	1.00385
→✓	bus13	Grid	22.	21.61595	0.98254
→✓	bus14	Grid	22.	21.60611	0.98209
→✓	bus15	Grid	22.	21.60617	0.98209
→✓	bus16	Grid	22.	22.3382	1.01537
→✓	bus17	Grid	22.	21.94355	0.99743
→✓	bus18	Grid	22.	21.63137	0.98324
→✓	bus19	Grid	22.	21.62005	0.98272
→✓	bus20	Grid	22.	21.61389	0.98244

N = 17, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50645	1.02302
→✓	bus03	Grid	22.	22.37051	1.01684
→✓	bus04	Grid	22.	22.23618	1.01073
→✓	bus05	Grid	22.	22.11884	1.00540
→✓	bus06	Grid	22.	22.02538	1.00115
→✓	bus07	Grid	22.	21.94831	0.99765
→✓	bus08	Grid	22.	21.81828	0.99174
→✓	bus09	Grid	22.	21.70364	0.98652
→✓	bus10	Grid	22.	21.6684	0.98492
→✓	bus11	Grid	22.	22.49706	1.02259
→✓	bus12	Grid	22.	22.11	1.005
→✓	bus13	Grid	22.	21.65434	0.98428
→✓	bus14	Grid	22.	21.64452	0.98384
→✓	bus15	Grid	22.	21.64458	0.98384
→✓	bus16	Grid	22.	22.3503	1.01592
→✓	bus17	Grid	22.	21.98436	0.99928
→✓	bus18	Grid	22.	21.66973	0.98498
→✓	bus19	Grid	22.	21.65843	0.98447
→✓	bus20	Grid	22.	21.65228	0.98419

N = 18, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41206	1.01873
→✓	bus03	Grid	22.	22.18432	1.00837
→✓	bus04	Grid	22.	21.94812	0.99764
→✓	bus05	Grid	22.	21.73199	0.98781
→✓	bus06	Grid	22.	21.54276	0.97921
→✓	bus07	Grid	22.	21.37259	0.97148
→✓	bus08	Grid	22.	21.26498	0.96659
→✓	bus09	Grid	22.	21.1727	0.96239
→✓	bus10	Grid	22.	21.13653	0.96075
→✓	bus11	Grid	22.	22.40264	1.01830
→✓	bus12	Grid	22.	21.723	0.98740
→✓	bus13	Grid	22.	21.12213	0.96009
→✓	bus14	Grid	22.	21.11202	0.95963
→✓	bus15	Grid	22.	21.11208	0.95964
→✓	bus16	Grid	22.	22.16394	1.00745
→✓	bus17	Grid	22.	21.34968	0.97044
→✓	bus18	Grid	22.	21.14865	0.96130
→✓	bus19	Grid	22.	21.1371	0.96077
→✓	bus20	Grid	22.	21.11998	0.95999

N = 18, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.433	1.01968
→✓	bus03	Grid	22.	22.2256	1.01025
→✓	bus04	Grid	22.	22.01193	1.00054
→✓	bus05	Grid	22.	21.81757	0.99170
→✓	bus06	Grid	22.	21.64937	0.98406
→✓	bus07	Grid	22.	21.49957	0.97725
→✓	bus08	Grid	22.	21.40917	0.97314
→✓	bus09	Grid	22.	21.33373	0.96971
→✓	bus10	Grid	22.	21.29778	0.96808
→✓	bus11	Grid	22.	22.42359	1.01925
→✓	bus12	Grid	22.	21.80861	0.99130
→✓	bus13	Grid	22.	21.28347	0.96743
→✓	bus14	Grid	22.	21.27342	0.96697
→✓	bus15	Grid	22.	21.27349	0.96697
→✓	bus16	Grid	22.	22.20526	1.00933
→✓	bus17	Grid	22.	21.47676	0.97621
→✓	bus18	Grid	22.	21.31673	0.96894
→✓	bus19	Grid	22.	21.30524	0.96841
→✓	bus20	Grid	22.	21.28134	0.96733

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 18, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44998	1.02045
→✓	bus03	Grid	22.	22.25909	1.01177
→✓	bus04	Grid	22.	22.06373	1.00289
→✓	bus05	Grid	22.	21.88712	0.99486
→✓	bus06	Grid	22.	21.73609	0.98800
→✓	bus07	Grid	22.	21.60295	0.98195
→✓	bus08	Grid	22.	21.52664	0.97848
→✓	bus09	Grid	22.	21.46499	0.97568
→✓	bus10	Grid	22.	21.42929	0.97405
→✓	bus11	Grid	22.	22.44057	1.02002
→✓	bus12	Grid	22.	21.87818	0.99446
→✓	bus13	Grid	22.	21.41506	0.97341
→✓	bus14	Grid	22.	21.4051	0.97295
→✓	bus15	Grid	22.	21.40516	0.97296
→✓	bus16	Grid	22.	22.23878	1.01085
→✓	bus17	Grid	22.	21.58025	0.98092
→✓	bus18	Grid	22.	21.45375	0.97517
→✓	bus19	Grid	22.	21.44233	0.97465
→✓	bus20	Grid	22.	21.41296	0.97331

N = 18, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46362	1.02107
→✓	bus03	Grid	22.	22.286	1.013
→✓	bus04	Grid	22.	22.10538	1.00479
→✓	bus05	Grid	22.	21.94307	0.99741
→✓	bus06	Grid	22.	21.80591	0.99117
→✓	bus07	Grid	22.	21.68625	0.98573
→✓	bus08	Grid	22.	21.62134	0.98278
→✓	bus09	Grid	22.	21.57089	0.98049
→✓	bus10	Grid	22.	21.5354	0.97888
→✓	bus11	Grid	22.	22.45422	1.02064
→✓	bus12	Grid	22.	21.93416	0.99700
→✓	bus13	Grid	22.	21.52126	0.97823
→✓	bus14	Grid	22.	21.51136	0.97778
→✓	bus15	Grid	22.	21.51142	0.97779
→✓	bus16	Grid	22.	22.26571	1.01207
→✓	bus17	Grid	22.	21.66365	0.98471
→✓	bus18	Grid	22.	21.56432	0.98019
→✓	bus19	Grid	22.	21.55297	0.97968
→✓	bus20	Grid	22.	21.51918	0.97814

N = 18, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47545	1.02161
→✓	bus03	Grid	22.	22.30936	1.01406
→✓	bus04	Grid	22.	22.14157	1.00643
→✓	bus05	Grid	22.	21.99172	0.99962
→✓	bus06	Grid	22.	21.86668	0.99393
→✓	bus07	Grid	22.	21.75881	0.98903
→✓	bus08	Grid	22.	21.70393	0.98654
→✓	bus09	Grid	22.	21.66335	0.98469
→✓	bus10	Grid	22.	21.62802	0.98309
→✓	bus11	Grid	22.	22.46606	1.02118
→✓	bus12	Grid	22.	21.98283	0.99921
→✓	bus13	Grid	22.	21.61394	0.98245
→✓	bus14	Grid	22.	21.60409	0.98200
→✓	bus15	Grid	22.	21.60415	0.98200
→✓	bus16	Grid	22.	22.2891	1.01314
→✓	bus17	Grid	22.	21.73628	0.98801
→✓	bus18	Grid	22.	21.66092	0.98458
→✓	bus19	Grid	22.	21.64962	0.98407
→✓	bus20	Grid	22.	21.61187	0.98235

N = 18, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48559	1.02207
→✓	bus03	Grid	22.	22.32939	1.01497
→✓	bus04	Grid	22.	22.1726	1.00784
→✓	bus05	Grid	22.	22.03346	1.00152
→✓	bus06	Grid	22.	21.91884	0.99631
→✓	bus07	Grid	22.	21.82115	0.99187
→✓	bus08	Grid	22.	21.77493	0.98976
→✓	bus09	Grid	22.	21.74289	0.98831
→✓	bus10	Grid	22.	21.7077	0.98671
→✓	bus11	Grid	22.	22.4762	1.02164
→✓	bus12	Grid	22.	22.02459	1.00118
→✓	bus13	Grid	22.	21.69367	0.98607
→✓	bus14	Grid	22.	21.68386	0.98563
→✓	bus15	Grid	22.	21.68393	0.98563
→✓	bus16	Grid	22.	22.30914	1.01405
→✓	bus17	Grid	22.	21.79868	0.99084
→✓	bus18	Grid	22.	21.74404	0.98836
→✓	bus19	Grid	22.	21.73278	0.98785
→✓	bus20	Grid	22.	21.69162	0.98598

N = 18, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49248	1.02238
→✓	bus03	Grid	22.	22.343	1.01559
→✓	bus04	Grid	22.	22.19369	1.00880
→✓	bus05	Grid	22.	22.06185	1.00281
→✓	bus06	Grid	22.	21.95434	0.99792
→✓	bus07	Grid	22.	21.8636	0.99379
→✓	bus08	Grid	22.	21.8233	0.99196
→✓	bus09	Grid	22.	21.7971	0.99077
→✓	bus10	Grid	22.	21.76201	0.98918
→✓	bus11	Grid	22.	22.48309	1.02195
→✓	bus12	Grid	22.	22.05299	1.00240
→✓	bus13	Grid	22.	21.74802	0.98854
→✓	bus14	Grid	22.	21.73824	0.98810
→✓	bus15	Grid	22.	21.7383	0.98810
→✓	bus16	Grid	22.	22.32277	1.01467
→✓	bus17	Grid	22.	21.84117	0.99278
→✓	bus18	Grid	22.	21.80071	0.99094
→✓	bus19	Grid	22.	21.78948	0.99043
→✓	bus20	Grid	22.	21.74597	0.98845

N = 18, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49882	1.02267
→✓	bus03	Grid	22.	22.35553	1.01616
→✓	bus04	Grid	22.	22.21312	1.00968
→✓	bus05	Grid	22.	22.08802	1.00400
→✓	bus06	Grid	22.	21.98706	0.99941
→✓	bus07	Grid	22.	21.90275	0.99557
→✓	bus08	Grid	22.	21.86794	0.99399
→✓	bus09	Grid	22.	21.84715	0.99305
→✓	bus10	Grid	22.	21.81215	0.99146
→✓	bus11	Grid	22.	22.48943	1.02224
→✓	bus12	Grid	22.	22.07916	1.00359
→✓	bus13	Grid	22.	21.79819	0.99082
→✓	bus14	Grid	22.	21.78844	0.99038
→✓	bus15	Grid	22.	21.7885	0.99038
→✓	bus16	Grid	22.	22.33531	1.01524
→✓	bus17	Grid	22.	21.88036	0.99456
→✓	bus18	Grid	22.	21.85304	0.99332
→✓	bus19	Grid	22.	21.84184	0.99281
→✓	bus20	Grid	22.	21.79615	0.99073

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 18, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50508	1.02295
→✓	bus03	Grid	22.	22.36791	1.01672
→✓	bus04	Grid	22.	22.23234	1.01056
→✓	bus05	Grid	22.	22.11389	1.00517
→✓	bus06	Grid	22.	22.01945	1.00088
→✓	bus07	Grid	22.	21.9415	0.99734
→✓	bus08	Grid	22.	21.91213	0.99600
→✓	bus09	Grid	22.	21.89674	0.99530
→✓	bus10	Grid	22.	21.86183	0.99371
→✓	bus11	Grid	22.	22.4957	1.02253
→✓	bus12	Grid	22.	22.10505	1.00477
→✓	bus13	Grid	22.	21.84789	0.99308
→✓	bus14	Grid	22.	21.83817	0.99264
→✓	bus15	Grid	22.	21.83823	0.99264
→✓	bus16	Grid	22.	22.3477	1.01580
→✓	bus17	Grid	22.	21.91915	0.99632
→✓	bus18	Grid	22.	21.9049	0.99567
→✓	bus19	Grid	22.	21.89372	0.99516
→✓	bus20	Grid	22.	21.84587	0.99299

N = 18, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.51128	1.02324
→✓	bus03	Grid	22.	22.38016	1.01728
→✓	bus04	Grid	22.	22.25134	1.01142
→✓	bus05	Grid	22.	22.1395	1.00634
→✓	bus06	Grid	22.	22.05151	1.00234
→✓	bus07	Grid	22.	21.97989	0.99908
→✓	bus08	Grid	22.	21.95593	0.99799
→✓	bus09	Grid	22.	21.9459	0.99754
→✓	bus10	Grid	22.	21.91107	0.99595
→✓	bus11	Grid	22.	22.5019	1.02281
→✓	bus12	Grid	22.	22.13067	1.00593
→✓	bus13	Grid	22.	21.89717	0.99532
→✓	bus14	Grid	22.	21.88747	0.99488
→✓	bus15	Grid	22.	21.88753	0.99488
→✓	bus16	Grid	22.	22.35996	1.01636
→✓	bus17	Grid	22.	21.95758	0.99807
→✓	bus18	Grid	22.	21.95631	0.99801
→✓	bus19	Grid	22.	21.94516	0.99750
→✓	bus20	Grid	22.	21.89515	0.99523

N = 19, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41186	1.01872
→✓	bus03	Grid	22.	22.18392	1.00836
→✓	bus04	Grid	22.	21.94751	0.99761
→✓	bus05	Grid	22.	21.73116	0.98778
→✓	bus06	Grid	22.	21.54173	0.97916
→✓	bus07	Grid	22.	21.37139	0.97142
→✓	bus08	Grid	22.	21.26369	0.96653
→✓	bus09	Grid	22.	21.17134	0.96233
→✓	bus10	Grid	22.	21.13508	0.96068
→✓	bus11	Grid	22.	22.40244	1.01829
→✓	bus12	Grid	22.	21.72216	0.98737
→✓	bus13	Grid	22.	21.12066	0.96002
→✓	bus14	Grid	22.	21.11052	0.95956
→✓	bus15	Grid	22.	21.11058	0.95957
→✓	bus16	Grid	22.	22.16354	1.00743
→✓	bus17	Grid	22.	21.34844	0.97038
→✓	bus18	Grid	22.	21.1473	0.96124
→✓	bus19	Grid	22.	21.14643	0.96120
→✓	bus20	Grid	22.	21.1185	0.95993

N = 19, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43304	1.01968
→✓	bus03	Grid	22.	22.22567	1.01025
→✓	bus04	Grid	22.	22.01203	1.00054
→✓	bus05	Grid	22.	21.81772	0.99171
→✓	bus06	Grid	22.	21.64956	0.98407
→✓	bus07	Grid	22.	21.4998	0.97726
→✓	bus08	Grid	22.	21.40943	0.97315
→✓	bus09	Grid	22.	21.33402	0.96972
→✓	bus10	Grid	22.	21.29807	0.96809
→✓	bus11	Grid	22.	22.42362	1.01925
→✓	bus12	Grid	22.	21.80875	0.99130
→✓	bus13	Grid	22.	21.28376	0.96744
→✓	bus14	Grid	22.	21.27372	0.96698
→✓	bus15	Grid	22.	21.27378	0.96699
→✓	bus16	Grid	22.	22.20532	1.00933
→✓	bus17	Grid	22.	21.47699	0.97622
→✓	bus18	Grid	22.	21.31703	0.96895
→✓	bus19	Grid	22.	21.32301	0.96922
→✓	bus20	Grid	22.	21.28163	0.96734

N = 19, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44998	1.02045
→✓	bus03	Grid	22.	22.25909	1.01177
→✓	bus04	Grid	22.	22.06373	1.00289
→✓	bus05	Grid	22.	21.88712	0.99486
→✓	bus06	Grid	22.	21.73609	0.98800
→✓	bus07	Grid	22.	21.60295	0.98195
→✓	bus08	Grid	22.	21.52664	0.97848
→✓	bus09	Grid	22.	21.46499	0.97568
→✓	bus10	Grid	22.	21.42928	0.97405
→✓	bus11	Grid	22.	22.44057	1.02002
→✓	bus12	Grid	22.	21.87818	0.99446
→✓	bus13	Grid	22.	21.41506	0.97341
→✓	bus14	Grid	22.	21.4051	0.97295
→✓	bus15	Grid	22.	21.40516	0.97296
→✓	bus16	Grid	22.	22.23878	1.01085
→✓	bus17	Grid	22.	21.58025	0.98092
→✓	bus18	Grid	22.	21.45374	0.97517
→✓	bus19	Grid	22.	21.46531	0.97569
→✓	bus20	Grid	22.	21.41296	0.97331

N = 19, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.46358	1.02107
→✓	bus03	Grid	22.	22.28592	1.01299
→✓	bus04	Grid	22.	22.10526	1.00478
→✓	bus05	Grid	22.	21.94291	0.99740
→✓	bus06	Grid	22.	21.80571	0.99116
→✓	bus07	Grid	22.	21.68601	0.98572
→✓	bus08	Grid	22.	21.62106	0.98277
→✓	bus09	Grid	22.	21.57057	0.98048
→✓	bus10	Grid	22.	21.53509	0.97886
→✓	bus11	Grid	22.	22.45418	1.02064
→✓	bus12	Grid	22.	21.934	0.997
→✓	bus13	Grid	22.	21.52094	0.97822
→✓	bus14	Grid	22.	21.51104	0.97777
→✓	bus15	Grid	22.	21.51111	0.97777
→✓	bus16	Grid	22.	22.26564	1.01207
→✓	bus17	Grid	22.	21.6634	0.98470
→✓	bus18	Grid	22.	21.56399	0.98018
→✓	bus19	Grid	22.	21.58009	0.98091
→✓	bus20	Grid	22.	21.51886	0.97813

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 19, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.47537	1.02160
→✓	bus03	Grid	22.	22.30919	1.01405
→✓	bus04	Grid	22.	22.1413	1.00642
→✓	bus05	Grid	22.	21.99135	0.99960
→✓	bus06	Grid	22.	21.86621	0.99391
→✓	bus07	Grid	22.	21.75825	0.98901
→✓	bus08	Grid	22.	21.70329	0.98651
→✓	bus09	Grid	22.	21.66262	0.98466
→✓	bus10	Grid	22.	21.62729	0.98305
→✓	bus11	Grid	22.	22.46597	1.02118
→✓	bus12	Grid	22.	21.98246	0.99920
→✓	bus13	Grid	22.	21.61321	0.98241
→✓	bus14	Grid	22.	21.60336	0.98197
→✓	bus15	Grid	22.	21.60342	0.98197
→✓	bus16	Grid	22.	22.28893	1.01313
→✓	bus17	Grid	22.	21.73572	0.98798
→✓	bus18	Grid	22.	21.66015	0.98455
→✓	bus19	Grid	22.	21.68028	0.98546
→✓	bus20	Grid	22.	21.61114	0.98232

N = 19, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48545	1.02206
→✓	bus03	Grid	22.	22.32911	1.01496
→✓	bus04	Grid	22.	22.17216	1.00782
→✓	bus05	Grid	22.	22.03287	1.00149
→✓	bus06	Grid	22.	21.91809	0.99627
→✓	bus07	Grid	22.	21.82025	0.99182
→✓	bus08	Grid	22.	21.7739	0.98972
→✓	bus09	Grid	22.	21.74172	0.98825
→✓	bus10	Grid	22.	21.70653	0.98666
→✓	bus11	Grid	22.	22.47606	1.02163
→✓	bus12	Grid	22.	22.024	1.00109
→✓	bus13	Grid	22.	21.6925	0.98602
→✓	bus14	Grid	22.	21.68269	0.98557
→✓	bus15	Grid	22.	21.68275	0.98557
→✓	bus16	Grid	22.	22.30887	1.01403
→✓	bus17	Grid	22.	21.79778	0.99080
→✓	bus18	Grid	22.	21.74281	0.98830
→✓	bus19	Grid	22.	21.76643	0.98938
→✓	bus20	Grid	22.	21.69045	0.98592

N = 19, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4923	1.02237
→✓	bus03	Grid	22.	22.34264	1.01557
→✓	bus04	Grid	22.	22.19313	1.00877
→✓	bus05	Grid	22.	22.06109	1.00277
→✓	bus06	Grid	22.	21.95337	0.99788
→✓	bus07	Grid	22.	21.86243	0.99374
→✓	bus08	Grid	22.	21.82197	0.99190
→✓	bus09	Grid	22.	21.7956	0.99070
→✓	bus10	Grid	22.	21.7605	0.98911
→✓	bus11	Grid	22.	22.48291	1.02195
→✓	bus12	Grid	22.	22.05223	1.00237
→✓	bus13	Grid	22.	21.7465	0.98847
→✓	bus14	Grid	22.	21.73673	0.98803
→✓	bus15	Grid	22.	21.73679	0.98803
→✓	bus16	Grid	22.	22.32241	1.01465
→✓	bus17	Grid	22.	21.84001	0.99272
→✓	bus18	Grid	22.	21.79913	0.99086
→✓	bus19	Grid	22.	21.82514	0.99205
→✓	bus20	Grid	22.	21.74446	0.98838

N = 19, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4986	1.02266
→✓	bus03	Grid	22.	22.35509	1.01614
→✓	bus04	Grid	22.	22.21244	1.00965
→✓	bus05	Grid	22.	22.08708	1.00395
→✓	bus06	Grid	22.	21.98588	0.99935
→✓	bus07	Grid	22.	21.90132	0.99551
→✓	bus08	Grid	22.	21.8663	0.99392
→✓	bus09	Grid	22.	21.8453	0.99296
→✓	bus10	Grid	22.	21.8103	0.99173
→✓	bus11	Grid	22.	22.48921	1.02223
→✓	bus12	Grid	22.	22.07823	1.00355
→✓	bus13	Grid	22.	21.79633	0.99074
→✓	bus14	Grid	22.	21.78658	0.99029
→✓	bus15	Grid	22.	21.78664	0.99030
→✓	bus16	Grid	22.	22.33487	1.01522
→✓	bus17	Grid	22.	21.87893	0.99449
→✓	bus18	Grid	22.	21.8511	0.99323
→✓	bus19	Grid	22.	21.87932	0.99451
→✓	bus20	Grid	22.	21.7943	0.99064

N = 19, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50482	1.02294
→✓	bus03	Grid	22.	22.36739	1.0167
→✓	bus04	Grid	22.	22.23152	1.01052
→✓	bus05	Grid	22.	22.11277	1.00512
→✓	bus06	Grid	22.	22.01803	1.00082
→✓	bus07	Grid	22.	21.93979	0.99726
→✓	bus08	Grid	22.	21.91017	0.99591
→✓	bus09	Grid	22.	21.89452	0.99520
→✓	bus10	Grid	22.	21.8596	0.99361
→✓	bus11	Grid	22.	22.49544	1.02252
→✓	bus12	Grid	22.	22.10393	1.00472
→✓	bus13	Grid	22.	21.84567	0.99298
→✓	bus14	Grid	22.	21.83594	0.99254
→✓	bus15	Grid	22.	21.83601	0.99254
→✓	bus16	Grid	22.	22.34718	1.01578
→✓	bus17	Grid	22.	21.91744	0.99624
→✓	bus18	Grid	22.	21.90257	0.99557
→✓	bus19	Grid	22.	21.93299	0.99695
→✓	bus20	Grid	22.	21.84364	0.99289

N = 19, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.51097	1.02322
→✓	bus03	Grid	22.	22.37955	1.01725
→✓	bus04	Grid	22.	22.25038	1.01138
→✓	bus05	Grid	22.	22.13819	1.00628
→✓	bus06	Grid	22.	22.04984	1.00226
→✓	bus07	Grid	22.	21.97788	0.99899
→✓	bus08	Grid	22.	21.95362	0.99789
→✓	bus09	Grid	22.	21.94328	0.99742
→✓	bus10	Grid	22.	21.90845	0.99583
→✓	bus11	Grid	22.	22.50159	1.02279
→✓	bus12	Grid	22.	22.12935	1.00588
→✓	bus13	Grid	22.	21.89455	0.99520
→✓	bus14	Grid	22.	21.88485	0.99476
→✓	bus15	Grid	22.	21.88492	0.99476
→✓	bus16	Grid	22.	22.35935	1.01633
→✓	bus17	Grid	22.	21.95557	0.99798
→✓	bus18	Grid	22.	21.95357	0.99788
→✓	bus19	Grid	22.	21.98619	0.99937
→✓	bus20	Grid	22.	21.89253	0.99511

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 20, B = 1

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.41183	1.01872
→✓	bus03	Grid	22.	22.18386	1.00835
→✓	bus04	Grid	22.	21.9474	0.99760
→✓	bus05	Grid	22.	21.73102	0.98777
→✓	bus06	Grid	22.	21.54156	0.97916
→✓	bus07	Grid	22.	21.37118	0.97141
→✓	bus08	Grid	22.	21.26344	0.96652
→✓	bus09	Grid	22.	21.17106	0.96232
→✓	bus10	Grid	22.	21.1599	0.96181
→✓	bus11	Grid	22.	22.40241	1.01829
→✓	bus12	Grid	22.	21.72202	0.98736
→✓	bus13	Grid	22.	21.14549	0.96115
→✓	bus14	Grid	22.	21.16034	0.96183
→✓	bus15	Grid	22.	21.1604	0.96183
→✓	bus16	Grid	22.	22.16347	1.00743
→✓	bus17	Grid	22.	21.34823	0.97037
→✓	bus18	Grid	22.	21.13626	0.96073
→✓	bus19	Grid	22.	21.12468	0.96021
→✓	bus20	Grid	22.	21.1683	0.96219

N = 20, B = 2

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.43287	1.01967
→✓	bus03	Grid	22.	22.22534	1.01024
→✓	bus04	Grid	22.	22.01152	1.00052
→✓	bus05	Grid	22.	21.81702	0.99168
→✓	bus06	Grid	22.	21.64867	0.98403
→✓	bus07	Grid	22.	21.49872	0.97721
→✓	bus08	Grid	22.	21.4082	0.97310
→✓	bus09	Grid	22.	21.33263	0.96966
→✓	bus10	Grid	22.	21.33749	0.96988
→✓	bus11	Grid	22.	22.42346	1.01924
→✓	bus12	Grid	22.	21.80805	0.99127
→✓	bus13	Grid	22.	21.32321	0.96923
→✓	bus14	Grid	22.	21.35388	0.97063
→✓	bus15	Grid	22.	21.35394	0.97063
→✓	bus16	Grid	22.	22.20499	1.00931
→✓	bus17	Grid	22.	21.47591	0.97617
→✓	bus18	Grid	22.	21.2981	0.96809
→✓	bus19	Grid	22.	21.2866	0.96757
→✓	bus20	Grid	22.	21.36176	0.97098

N = 20, B = 3

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.44965	1.02043
→✓	bus03	Grid	22.	22.25842	1.01174
→✓	bus04	Grid	22.	22.06269	1.00284
→✓	bus05	Grid	22.	21.8857	0.99480
→✓	bus06	Grid	22.	21.7343	0.98792
→✓	bus07	Grid	22.	21.60078	0.98185
→✓	bus08	Grid	22.	21.52415	0.97837
→✓	bus09	Grid	22.	21.46218	0.97555
→✓	bus10	Grid	22.	21.48006	0.97636
→✓	bus11	Grid	22.	22.44024	1.02001
→✓	bus12	Grid	22.	21.87676	0.99439
→✓	bus13	Grid	22.	21.46587	0.97572
→✓	bus14	Grid	22.	21.50944	0.97770
→✓	bus15	Grid	22.	21.5095	0.97770
→✓	bus16	Grid	22.	22.23811	1.01082
→✓	bus17	Grid	22.	21.57808	0.98082
→✓	bus18	Grid	22.	21.42786	0.97399
→✓	bus19	Grid	22.	21.41643	0.97347
→✓	bus20	Grid	22.	21.51726	0.97805

N = 20, B = 4

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4631	1.02105
→✓	bus03	Grid	22.	22.28496	1.01295
→✓	bus04	Grid	22.	22.10375	1.00471
→✓	bus05	Grid	22.	21.94086	0.99731
→✓	bus06	Grid	22.	21.80311	0.99105
→✓	bus07	Grid	22.	21.68287	0.98558
→✓	bus08	Grid	22.	21.61746	0.98261
→✓	bus09	Grid	22.	21.5665	0.98029
→✓	bus10	Grid	22.	21.59491	0.98158
→✓	bus11	Grid	22.	22.4537	1.02062
→✓	bus12	Grid	22.	21.93194	0.99690
→✓	bus13	Grid	22.	21.5808	0.98094
→✓	bus14	Grid	22.	21.6348	0.98339
→✓	bus15	Grid	22.	21.63486	0.98340
→✓	bus16	Grid	22.	22.26468	1.01203
→✓	bus17	Grid	22.	21.66026	0.98455
→✓	bus18	Grid	22.	21.53237	0.97874
→✓	bus19	Grid	22.	21.521	0.97822
→✓	bus20	Grid	22.	21.64257	0.98375

N = 20, B = 5

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.4747	1.02157
→✓	bus03	Grid	22.	22.30787	1.01399
→✓	bus04	Grid	22.	22.13922	1.00632
→✓	bus05	Grid	22.	21.98852	0.99947
→✓	bus06	Grid	22.	21.86263	0.99375
→✓	bus07	Grid	22.	21.75392	0.98881
→✓	bus08	Grid	22.	21.69831	0.98628
→✓	bus09	Grid	22.	21.657	0.98440
→✓	bus10	Grid	22.	21.69471	0.98612
→✓	bus11	Grid	22.	22.46531	1.02115
→✓	bus12	Grid	22.	21.97963	0.99907
→✓	bus13	Grid	22.	21.68066	0.98548
→✓	bus14	Grid	22.	21.74391	0.98835
→✓	bus15	Grid	22.	21.74397	0.98836
→✓	bus16	Grid	22.	22.2876	1.01307
→✓	bus17	Grid	22.	21.73138	0.98779
→✓	bus18	Grid	22.	21.623	0.98286
→✓	bus19	Grid	22.	21.61168	0.98234
→✓	bus20	Grid	22.	21.75164	0.98871

N = 20, B = 6

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.48461	1.02202
→✓	bus03	Grid	22.	22.32743	1.01488
→✓	bus04	Grid	22.	22.16952	1.00770
→✓	bus05	Grid	22.	22.02927	1.00133
→✓	bus06	Grid	22.	21.91354	0.99606
→✓	bus07	Grid	22.	21.81474	0.99157
→✓	bus08	Grid	22.	21.76757	0.98943
→✓	bus09	Grid	22.	21.73457	0.98793
→✓	bus10	Grid	22.	21.78031	0.99001
→✓	bus11	Grid	22.	22.47522	1.02160
→✓	bus12	Grid	22.	22.02039	1.00092
→✓	bus13	Grid	22.	21.76633	0.98937
→✓	bus14	Grid	22.	21.83758	0.99261
→✓	bus15	Grid	22.	21.83764	0.99262
→✓	bus16	Grid	22.	22.30718	1.01396
→✓	bus17	Grid	22.	21.79227	0.99055
→✓	bus18	Grid	22.	21.7007	0.98639
→✓	bus19	Grid	22.	21.68942	0.98588
→✓	bus20	Grid	22.	21.84528	0.99296

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N = 20, B = 7

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49132	1.02233
→✓	bus03	Grid	22.	22.34069	1.01549
→✓	bus04	Grid	22.	22.19006	1.00863
→✓	bus05	Grid	22.	22.05691	1.00258
→✓	bus06	Grid	22.	21.94809	0.99764
→✓	bus07	Grid	22.	21.85605	0.99345
→✓	bus08	Grid	22.	21.81463	0.99157
→✓	bus09	Grid	22.	21.7873	0.99033
→✓	bus10	Grid	22.	21.83853	0.99266
→✓	bus11	Grid	22.	22.48193	1.02190
→✓	bus12	Grid	22.	22.04805	1.00218
→✓	bus13	Grid	22.	21.82459	0.99202
→✓	bus14	Grid	22.	21.90132	0.99551
→✓	bus15	Grid	22.	21.90138	0.99551
→✓	bus16	Grid	22.	22.32045	1.01456
→✓	bus17	Grid	22.	21.83362	0.99243
→✓	bus18	Grid	22.	21.75351	0.98879
→✓	bus19	Grid	22.	21.74226	0.98828
→✓	bus20	Grid	22.	21.90899	0.99586

N = 20, B = 8

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.49749	1.02261
→✓	bus03	Grid	22.	22.35287	1.01604
→✓	bus04	Grid	22.	22.20895	1.00949
→✓	bus05	Grid	22.	22.08233	1.00374
→✓	bus06	Grid	22.	21.97988	0.99908
→✓	bus07	Grid	22.	21.89406	0.99518
→✓	bus08	Grid	22.	21.85795	0.99354
→✓	bus09	Grid	22.	21.83588	0.99253
→✓	bus10	Grid	22.	21.89219	0.99509
→✓	bus11	Grid	22.	22.4881	1.02218
→✓	bus12	Grid	22.	22.07348	1.00334
→✓	bus13	Grid	22.	21.87828	0.99446
→✓	bus14	Grid	22.	21.96009	0.99818
→✓	bus15	Grid	22.	21.96015	0.99818
→✓	bus16	Grid	22.	22.33265	1.01512
→✓	bus17	Grid	22.	21.87167	0.99416
→✓	bus18	Grid	22.	21.80216	0.99100
→✓	bus19	Grid	22.	21.79093	0.99049
→✓	bus20	Grid	22.	21.96774	0.99853

N = 20, B = 9

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50357	1.02289
→✓	bus03	Grid	22.	22.36489	1.01658
→✓	bus04	Grid	22.	22.22759	1.01034
→✓	bus05	Grid	22.	22.10742	1.00488
→✓	bus06	Grid	22.	22.01127	1.00051
→✓	bus07	Grid	22.	21.93162	0.99689
→✓	bus08	Grid	22.	21.90077	0.99548
→✓	bus09	Grid	22.	21.88391	0.99472
→✓	bus10	Grid	22.	21.94527	0.99751
→✓	bus11	Grid	22.	22.49419	1.02246
→✓	bus12	Grid	22.	22.09858	1.00448
→✓	bus13	Grid	22.	21.93139	0.99688
→✓	bus14	Grid	22.	22.01825	1.00082
→✓	bus15	Grid	22.	22.01831	1.00083
→✓	bus16	Grid	22.	22.34468	1.01566
→✓	bus17	Grid	22.	21.90926	0.99587
→✓	bus18	Grid	22.	21.85026	0.99319
→✓	bus19	Grid	22.	21.83906	0.99268
→✓	bus20	Grid	22.	22.02588	1.00117

N = 20, B = 10

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
→✓	bus01	Grid	22.	22.66	1.03
→✓	bus02	Grid	22.	22.50957	1.02316
→✓	bus03	Grid	22.	22.37675	1.01712
→✓	bus04	Grid	22.	22.24599	1.01118
→✓	bus05	Grid	22.	22.13221	1.00600
→✓	bus06	Grid	22.	22.04228	1.00192
→✓	bus07	Grid	22.	21.96874	0.99857
→✓	bus08	Grid	22.	21.94312	0.99741
→✓	bus09	Grid	22.	21.93142	0.99688
→✓	bus10	Grid	22.	21.99781	0.99990
→✓	bus11	Grid	22.	22.50019	1.02273
→✓	bus12	Grid	22.	22.12337	1.00560
→✓	bus13	Grid	22.	21.98396	0.99927
→✓	bus14	Grid	22.	22.07584	1.00344
→✓	bus15	Grid	22.	22.0759	1.00345
→✓	bus16	Grid	22.	22.35655	1.01620
→✓	bus17	Grid	22.	21.94642	0.99756
→✓	bus18	Grid	22.	21.89785	0.99535
→✓	bus19	Grid	22.	21.88667	0.99484
→✓	bus20	Grid	22.	22.08345	1.00379

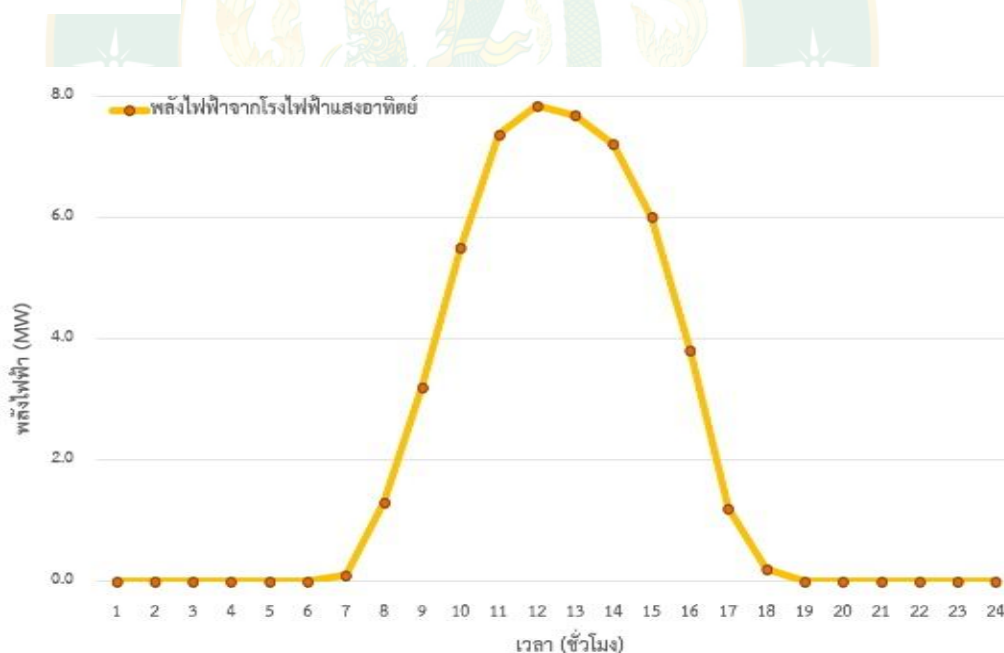
ข้อมูลกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าและโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลง 20% จากกรณีฐาน และลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าจากปริมาณพลังไฟฟ้างดกล่าว มีรายละเอียดเป็นไปตามภาพผนวกที่ 3 - 4 และตารางผนวกที่ 2

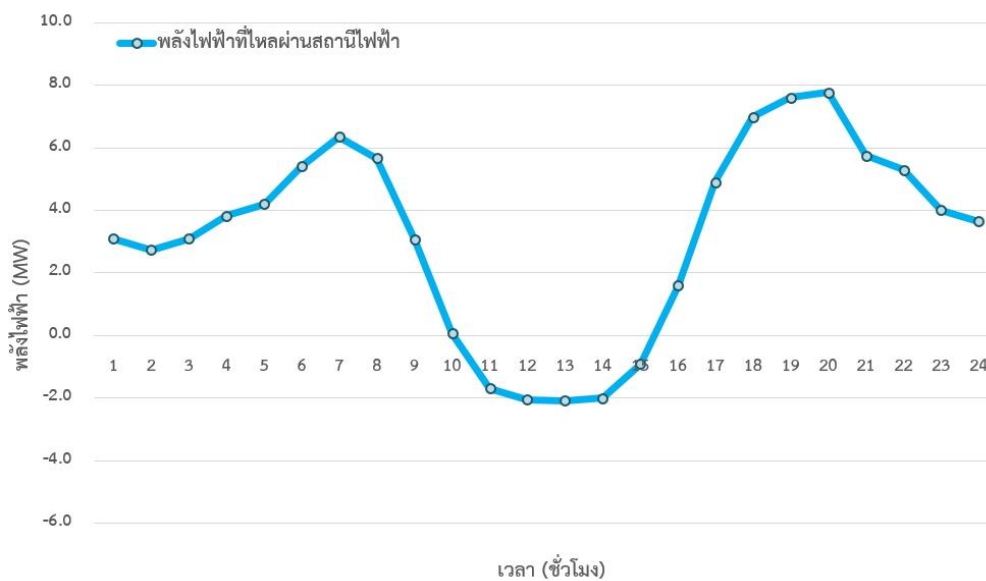
ข้อมูลปริมาณพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลง 40% จากกรณีฐาน และลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าจากปริมาณพลังไฟฟ้างดกล่าว มีรายละเอียดเป็นไปตามภาพผนวกที่ 5 - 6 และตารางผนวกที่ 3

ข้อมูลปริมาณโหลดผู้ใช้ไฟฟ้ากรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน และลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าจากปริมาณโหลดดังกล่าว มีรายละเอียดเป็นไปตามภาพผนวกที่ 7 - 8 และตารางผนวกที่ 4

ข้อมูลปริมาณโหลดผู้ใช้ไฟฟ้ากรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน และลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้าจากปริมาณโหลดดังกล่าว มีรายละเอียดเป็นไปตามภาพผนวกที่ 9 - 10 และตารางผนวกที่ 5



ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลง 20% จากกรณีฐาน



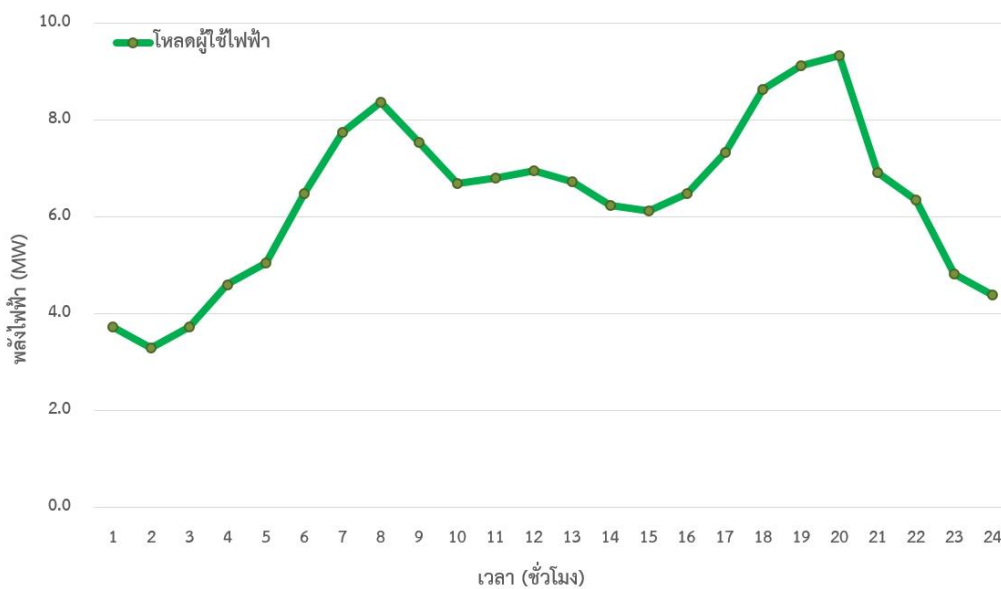
ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีกำลังผลิตลดลง 20% จากกรณีฐาน



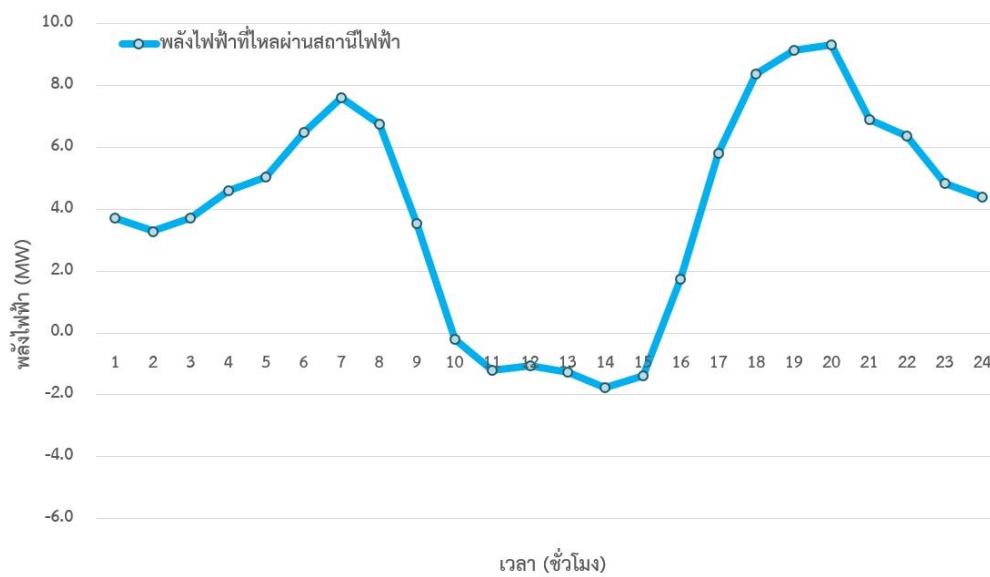
ภาพผนวกที่ 5 ลักษณะการจ่ายพลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลง 40% จากกรณีฐาน



ภาพผนวกที่ 6 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีกำลังผลิตลดลง 40% จากกรณีฐาน



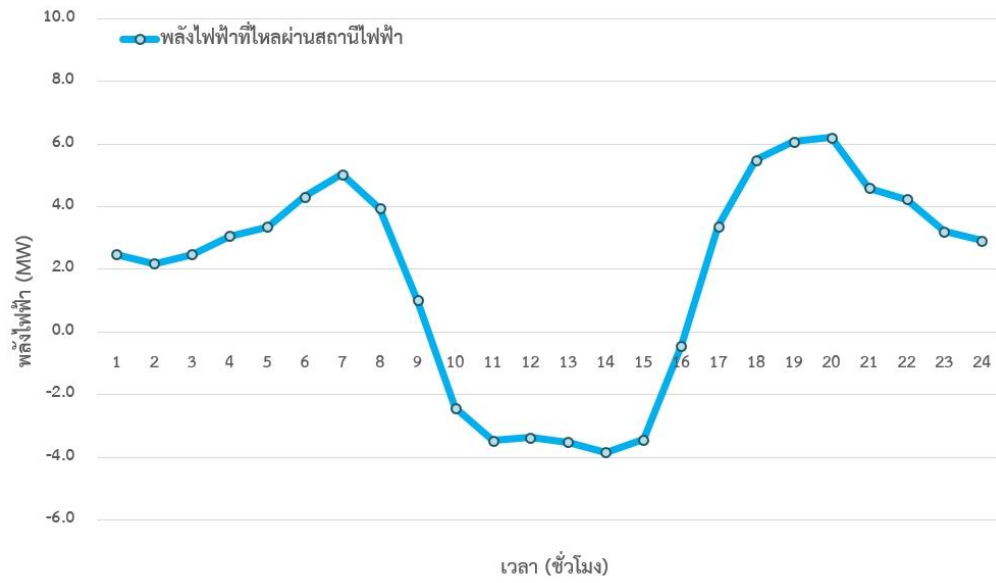
ภาพผนวกที่ 7 ลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน



ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน



ภาพผนวกที่ 9 ลักษณะโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน



ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะพลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสถานีไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน



ตารางผนวกที่ 2 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิต
ลดลง 20% จากกรณีฐาน

เวลา	พลังไฟฟ้า (เมกะวัตต์)		
	พลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าผ่านสถานีไฟฟ้า
01.00 น.	0.00	3.10	3.10
02.00 น.	0.00	2.74	2.74
03.00 น.	0.00	3.10	3.10
04.00 น.	0.00	3.83	3.83
05.00 น.	0.00	4.20	4.20
06.00 น.	0.00	5.40	5.40
07.00 น.	0.10	6.45	6.35
08.00 น.	1.30	6.97	5.67
09.00 น.	3.20	6.27	3.07
10.00 น.	5.50	5.57	0.07
11.00 น.	7.36	5.67	-1.69
12.00 น.	7.84	5.80	-2.04
13.00 น.	7.68	5.61	-2.07
14.00 น.	7.20	5.20	-2.00
15.00 น.	6.00	5.09	-0.91
16.00 น.	3.80	5.40	1.60
17.00 น.	1.20	6.10	4.90
18.00 น.	0.20	7.18	6.98
19.00 น.	0.00	7.60	7.60
20.00 น.	0.00	7.77	7.77
21.00 น.	0.00	5.75	5.75
22.00 น.	0.00	5.30	5.30
23.00 น.	0.00	4.02	4.02
24.00 น.	0.00	3.65	3.65

ตารางผนวกที่ 3 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังงานไฟฟ้า กรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิต
ลดลง 40% จากกรณีฐาน

เวลา	พลังไฟฟ้า (เมกะวัตต์)		
	พลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าผ่านสถานีไฟฟ้า
01.00 น.	0.00	3.10	3.10
02.00 น.	0.00	2.74	2.74
03.00 น.	0.00	3.10	3.10
04.00 น.	0.00	3.83	3.83
05.00 น.	0.00	4.20	4.20
06.00 น.	0.00	5.40	5.40
07.00 น.	0.08	6.45	6.37
08.00 น.	0.98	6.97	6.00
09.00 น.	2.40	6.27	3.87
10.00 น.	4.13	5.57	1.44
11.00 น.	5.52	5.67	0.15
12.00 น.	5.88	5.80	-0.08
13.00 น.	5.76	5.61	-0.15
14.00 น.	5.40	5.20	-0.20
15.00 น.	4.50	5.09	0.59
16.00 น.	2.85	5.40	2.55
17.00 น.	0.90	6.10	5.20
18.00 น.	0.15	7.18	7.03
19.00 น.	0.00	7.60	7.60
20.00 น.	0.00	7.77	7.77
21.00 น.	0.00	5.75	5.75
22.00 น.	0.00	5.30	5.30
23.00 น.	0.00	4.02	4.02
24.00 น.	0.00	3.65	3.65

ตารางผนวกที่ 4 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังงานไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น 20% จากกรณีฐาน

เวลา	พลังงานไฟฟ้า (เมกะวัตต์)		
	พลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้าผ่านสถานีไฟฟ้า
01.00 น.	0.00	3.73	3.73
02.00 น.	0.00	3.29	3.29
03.00 น.	0.00	3.73	3.73
04.00 น.	0.00	4.60	4.60
05.00 น.	0.00	5.04	5.04
06.00 น.	0.00	6.48	6.48
07.00 น.	0.13	7.74	7.61
08.00 น.	1.63	8.37	6.74
09.00 น.	4.00	7.53	3.53
10.00 น.	6.88	6.68	-0.20
11.00 น.	8.00	6.80	-1.20
12.00 น.	8.00	6.96	-1.04
13.00 น.	8.00	6.73	-1.27
14.00 น.	8.00	6.24	-1.76
15.00 น.	7.50	6.11	-1.39
16.00 น.	4.75	6.48	1.73
17.00 น.	1.50	7.32	5.82
18.00 น.	0.25	8.62	8.37
19.00 น.	0.00	9.12	9.12
20.00 น.	0.00	9.32	9.32
21.00 น.	0.00	6.90	6.90
22.00 น.	0.00	6.35	6.35
23.00 น.	0.00	4.82	4.82
24.00 น.	0.00	4.38	4.38

ตารางผนวกที่ 5 รายละเอียดค่าการจ่ายพลังงานไฟฟ้า กรณีโหลดมีค่าลดลง 20% จากกรณีฐาน

เวลา	พลังงานไฟฟ้า (เมกะวัตต์)		
	พลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้าผ่านสถานีไฟฟ้า
01.00 น.	0.00	2.48	2.48
02.00 น.	0.00	2.19	2.19
03.00 น.	0.00	2.48	2.48
04.00 น.	0.00	3.07	3.07
05.00 น.	0.00	3.36	3.36
06.00 น.	0.00	4.32	4.32
07.00 น.	0.13	5.16	5.03
08.00 น.	1.63	5.58	3.95
09.00 น.	4.00	5.02	1.02
10.00 น.	6.88	4.45	-2.42
11.00 น.	8.00	4.54	-3.46
12.00 น.	8.00	4.64	-3.36
13.00 น.	8.00	4.49	-3.51
14.00 น.	8.00	4.16	-3.84
15.00 น.	7.50	4.07	-3.43
16.00 น.	4.75	4.32	-0.43
17.00 น.	1.50	4.88	3.38
18.00 น.	0.25	5.75	5.50
19.00 น.	0.00	6.08	6.08
20.00 น.	0.00	6.22	6.22
21.00 น.	0.00	4.60	4.60
22.00 น.	0.00	4.24	4.24
23.00 น.	0.00	3.21	3.21
24.00 น.	0.00	2.92	2.92

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์
เกิดเมื่อ	24 เมษายน 2530
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2556 - ปัจจุบัน วิศวกรไฟฟ้า กองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผลงานทางวิชาการ ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์, ยิ่งรัช อรรถเวชกุล, กมล จิรเสรีอมรกุล, วันจักรี เล่นวารี และ เสริมสุข บัวเจริญ. (2560). การวิเคราะห์ขนาด แบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปานกลางที่เชื่อมโยง โรงไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย ระบบจำหน่าย. งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กพท. ปี 2560 (หน้า 47- 53) กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย. ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์, ต้องพงศ์ ศรีบุญ, ยิ่งรัช อรรถเวชกุล, กมล จิรเสรีอมรกุล และ วันจักรี เล่นวารี. (2560). การวิเคราะห์หา ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแรงดันระดับปาน กลางที่เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า. งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กพท. ปี 2560 (หน้า 70-76) กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.