



British Embassy
Bangkok



Department of Alternative
Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY

“ตัวอย่างผลการศึกษา Simulation ในระบบไฟฟ้าตัวอย่าง พร้อมการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ”

ส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย โดย สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

20 มกราคม 2558

โรงแรมโนโวเทล สยามสแควร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัช ชัยทัศนีย์

Dr. Dao Van Tu

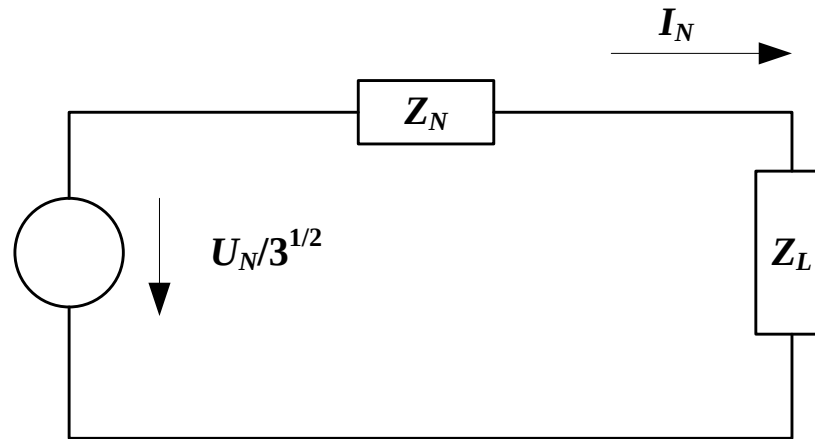
นายรองฤทธิ์ ฉัตรถาวร, นายชนันท์ ธีระนันท์, นายมรุจ หิมสุหรี, และ คณะ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: surachai.c@chula.ac.th

- 1) ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของแรงดันไฟฟ้า
- 2) ข้อกำหนดระบบโครงข่ายไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า และการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า
- 4) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 5) ระบบทดสอบสำหรับ Simulation
- 6) ผลการทดสอบ

1. ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของแรงดันไฟฟ้า

❖ การแปรเปลี่ยนค่าของแรงดันไฟฟ้า



$$\Delta \bar{U} = \Delta \bar{I}_L \cdot \bar{Z}_N$$

$$\Delta U = \Delta U_R + \Delta U_X$$

$$\Delta U = (R \cos \phi + X \sin \phi) \Delta I_L$$

1. ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของแรงดันไฟฟ้า

❖ นิยามแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกิน

Categories	Type	Typical Duration	Typical Magnitude
Permanent	Sustained interruption	>60 seconds	<0.1 pu
	Undervoltage	>60 seconds	0.1-0.9 pu
	Overvoltage	>60 seconds	1.1-1.8 pu

(ที่มา: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std 1159-1995)

❖ การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

อุปกรณ์	ผลของการทำงาน
Load tap changer	ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นระดับขั้น
Voltage regulator	ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นระดับขั้น
Capacitor bank	ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าโดยรวม

2. ข้อกำหนดระบบโครงข่ายไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า และการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

❖ การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระดับแรงดันไฟฟ้าของ กฟผ.

ระดับแรงดันไฟฟ้า	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
500 กิโลโวลต์	525	475
230 กิโลโวลต์	241.5	218.5
115 กิโลโวลต์	120.7	109.2
69 กิโลโวลต์	72.4	65.5

ระดับแรงดันไฟฟ้าของ กฟน.

ระดับแรงดันไฟฟ้า	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 กิโลโวลต์	118.0	113.0
69 กิโลโวลต์	71.0	67.0
24 กิโลโวลต์	23.6	21.8
12 กิโลโวลต์	11.8	10.9
400 โวลต์	410	371
230 โวลต์	237	214

ระดับแรงดันไฟฟ้าของ กฟภ.

ระดับแรงดันไฟฟ้า	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 กิโลโวลต์	120.7	109.2
69 กิโลโวลต์	72.4	65.5
33 กิโลโวลต์	34.7	31.3
22 กิโลโวลต์	23.1	20.9
380 โวลต์	418.0	342.0
220 โวลต์	240.0	200.0

2. ข้อกำหนดระบบโครงข่ายไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า และการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

- ❖ การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

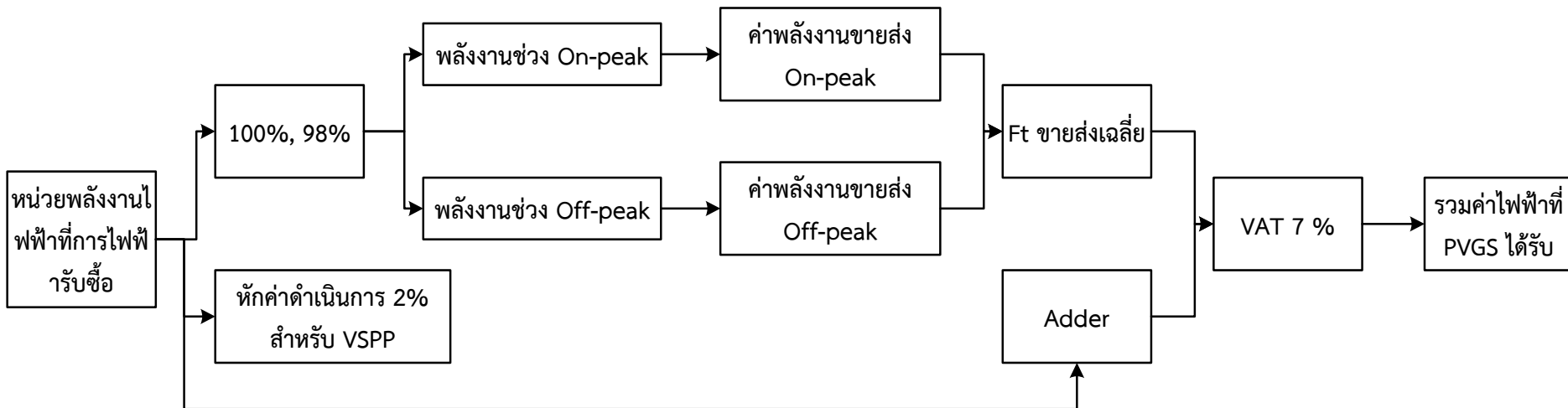
ข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า

	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	0.85 นำหน้า ถึง 0.85 ตามหลัง
การไฟฟ้านครหลวง	0.85 นำหน้า ถึง 0.85 ตามหลัง
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	0.9 นำหน้า ถึง 0.9 ตามหลัง

2. ข้อกำหนดระบบโครงข่ายไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า และการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

❖ การรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ (TOU rate)



❖ ค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Var charge, Power factor charge)

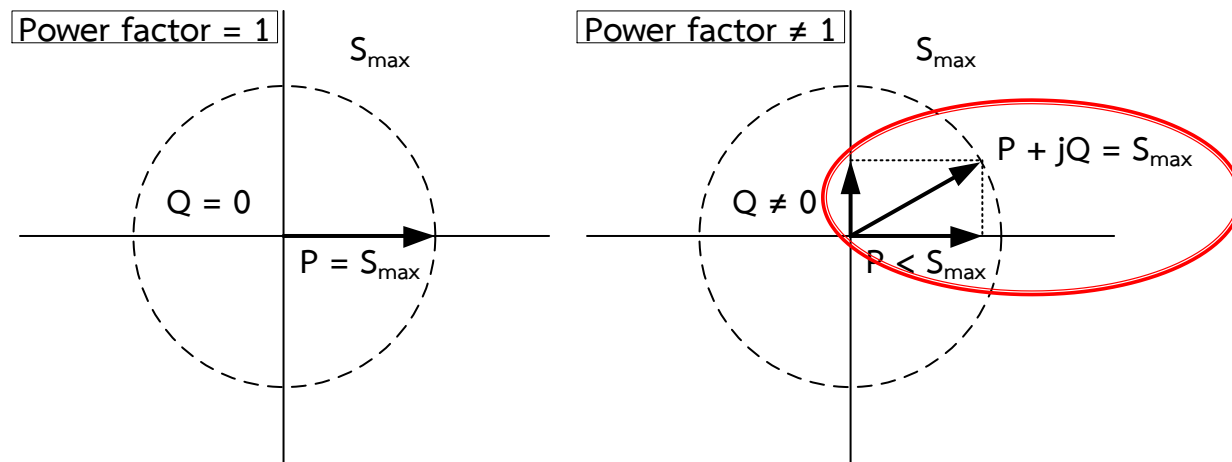
- ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว กิโลวาร์ส่วนที่เกินต้องเสียค่าปรับสำหรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา 56.07 บาทต่อกิโลวาร์
หมายเหตุ: 61.97 คือ ค่า $\tan(\text{ceta})$

3. แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ ต้นทุนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

ด้านผู้ผลิตไฟฟ้า

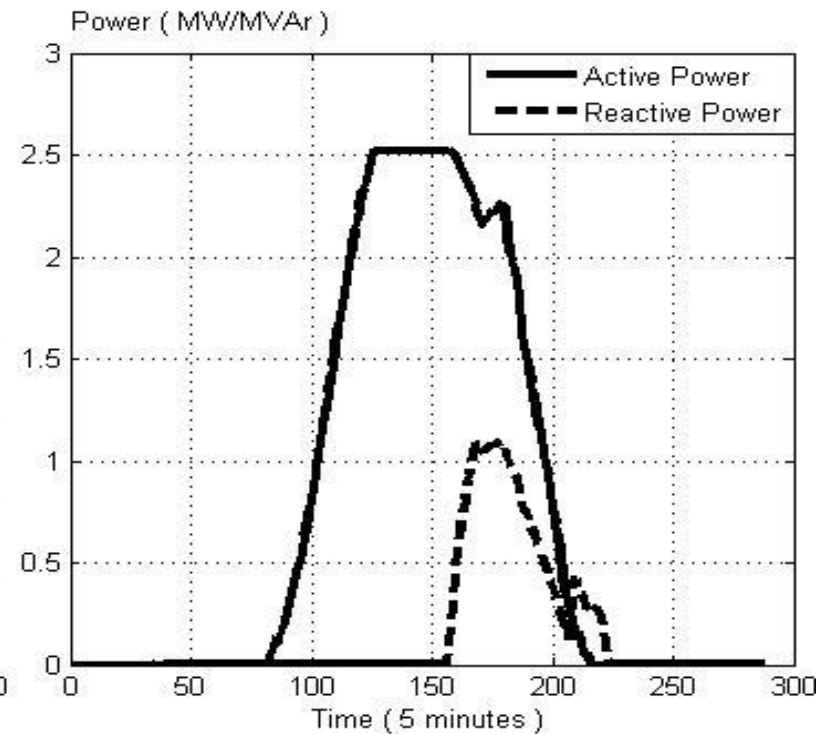
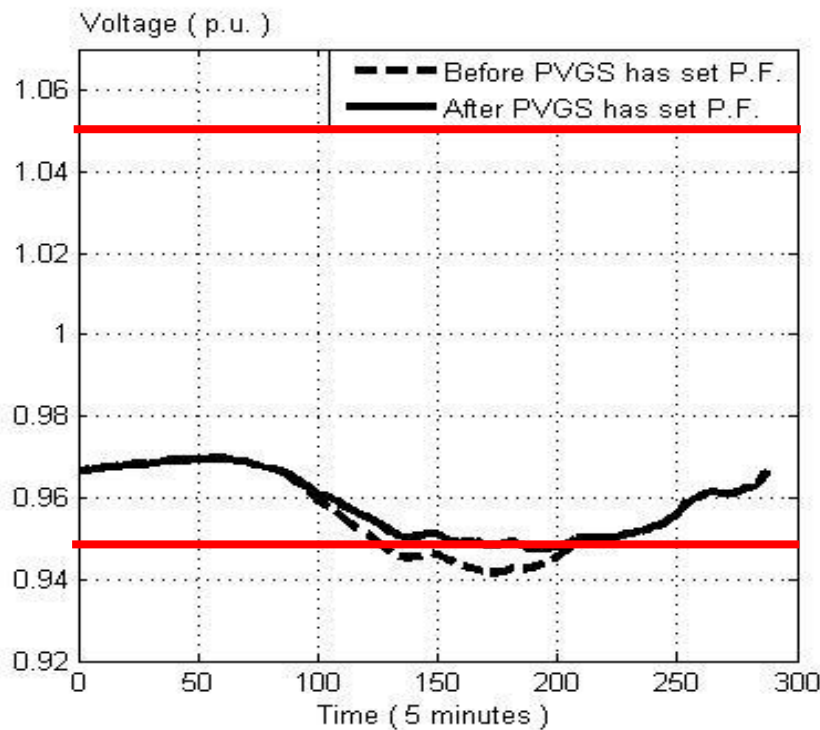
- 1) ค่าปรับสำหรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Var charge)
- 2) ค่าสูญเสียโอกาสจากการลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง (Opportunity costs)



3. แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ ต้นทุนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

Example: ระบบไฟฟ้าตัวอย่างแห่งหนึ่ง



“Before” is bad” and “After” is good

3. แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ ต้นทุนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

Example: ตัวอย่างความสัมพันธ์ P และ Q

S (Apparent Power)	P (Real Power or Power Factor)	Q (Reactive Power)	Q/P
1	1.00	0.00	0.00%
1	0.95	0.31	32.87%
1	0.90	0.44	48.43%
1	0.85	0.53	61.97%
1	0.80	0.60	75.00%
1	0.75	0.66	88.19%
1	0.70	0.71	102.02%

3. แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ ต้นทุนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

ด้านการไฟฟ้า

3) ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า (Utility operation costs)

สมมติฐานเบื้องต้น: ให้ใช้หลักการเดียวกับค่าปรับสำหรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



$$\text{Additional Var charge} = 56.07 \times (Q_u - (P_{peak} \times 61.97\%))$$

Q_u คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากการทำงานของอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันของการไฟฟ้า

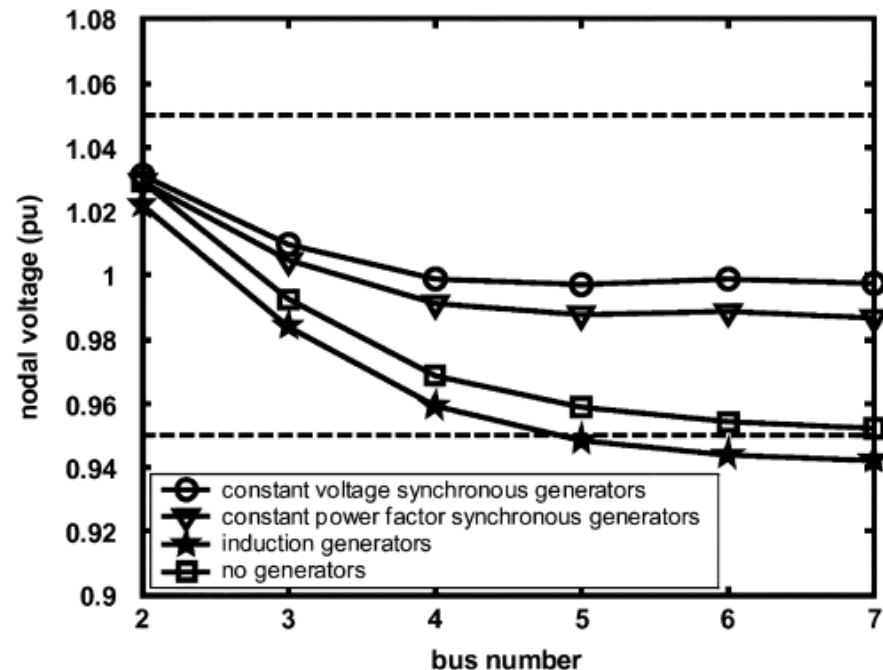
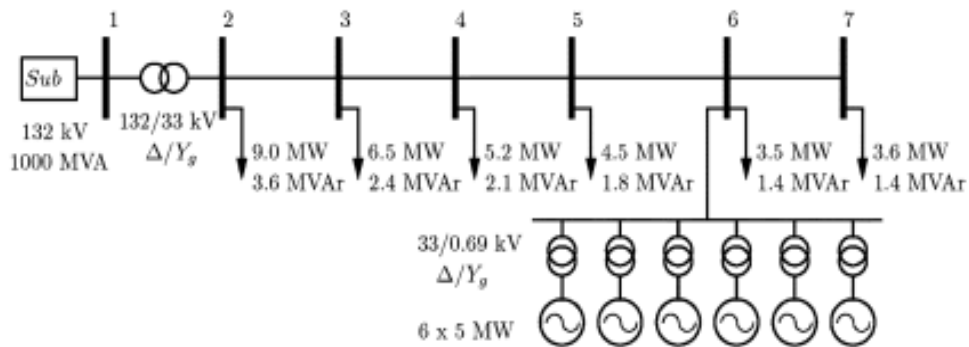
P_{peak} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้

3. แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ช่วงที่ PV ผลิตกำลังไฟฟ้าจริงได้ (กลางวัน)

Example : ผลของการรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่อระดับแรงดันไฟฟ้า



3. แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Important !)

ช่วงที่ PV ผลิตกำลังไฟฟ้าจริงได้ (กลางวัน)

กรณีที่	ก่อนการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	หลังการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ
1	ใช่	ใช่
2	ใช่	ไม่ใช่
3	ไม่ใช่	ใช่
4	ไม่ใช่	ไม่ใช่

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

- 1) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน
- 2) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า (**Proposed Method**)
- 3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) หลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 1 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

- I. PV จะพยายามผลิตกำลังไฟฟ้าจริงเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าให้ได้ปริมาณที่สูงที่สุด โดยไม่จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟหากไม่จำเป็น
- II. PV อาจมีการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งมักจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงในภายหลังเมื่อแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป
- III. PV สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในขณะที่แรงดัน ณ จุดเชื่อมต่ออยู่ในระดับปกติ เท่านั้น

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

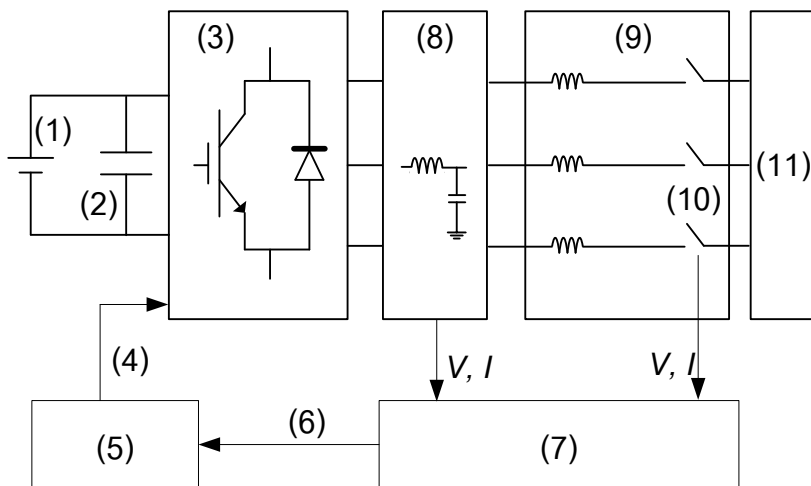
2) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการ สนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Proposed Method)

- I. PV สนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไม่ปกติ โดยจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
- II. PV มีส่วนร่วมในการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า โดยทำงานร่วมกับการปรับแก้ของตัวคุมค่าแรงดันไฟฟ้าในสายป้อน และการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้นทางของสถานีไฟฟ้า
- III. PV จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่น้อยที่สุด เพราะการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงจาก PV ได้

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

2) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการ สนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Proposed Method)

I. PV สนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไม่ปกติ
โดยจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

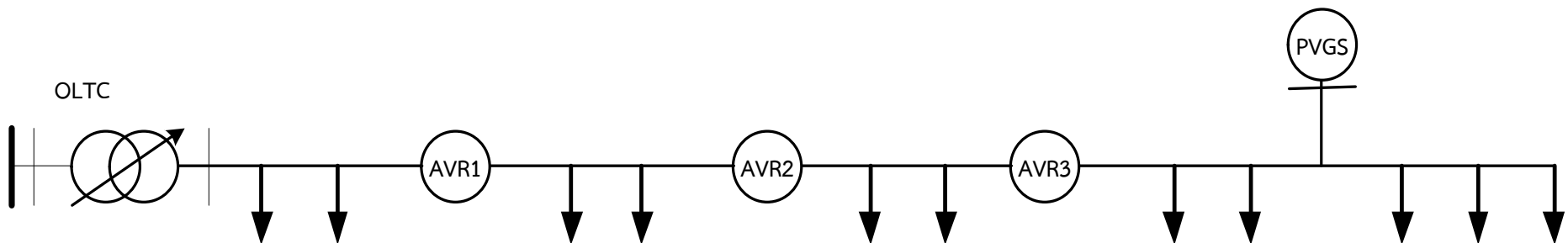


- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| (1) PV cells | (7) Controller |
| (2) Input capacitor | (8) Filter |
| (3) Inverter | (9) Interconnection system |
| (4) Gate signals | (10) PCC |
| (5) PWM/SVPWM generator | (11) Power grid |
| (6) Reference signals | |

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

2) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการ สนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Proposed Method)

- II. PV มีส่วนร่วมในการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบ
ไฟฟ้า ทำงานร่วมกับการปรับแก้ปของตัวคุมค่าแรงดันไฟฟ้าในสายป้อน และ การ
ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้นทางของสถานีไฟฟ้า



4. แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

2) แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Proposed Method)

III. PV จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟน้อยที่สุด เพราะการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงจาก PV ได้

S (Apparent Power)	P (Real Power or Power Factor)	Q (Reactive Power)	Q/P
1	1.00	0.00	0.00%
1	0.95	0.31	32.87%
1	0.90	0.44	48.43%
1	0.85	0.53	61.97%
1	0.80	0.60	75.00%
1	0.75	0.66	88.19%
1	0.70	0.71	102.02%

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิต ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิต ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบรายรับและรายจ่ายมี 4 ส่วน ได้แก่

1. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของ PV
2. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ PV จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
3. ค่าสูญเสียโอกาสจากการลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง
4. ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิต ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบรายรับและรายจ่ายมี 4 ส่วน ได้แก่

2. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ PV จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ



4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิต ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบรายรับและรายจ่ายมี 4 ส่วน ได้แก่

2. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ PV จ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

กรณี ที่	ก่อนการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง ร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ	หลังการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง ร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
1	ใช่	ใช่
2	ใช่	ไม่ใช่
3	ไม่ใช่	ใช่
4	ไม่ใช่	ไม่ใช่

▶ PV ก่อผลกระทบต่อดัชนีแรงดันไฟฟ้า

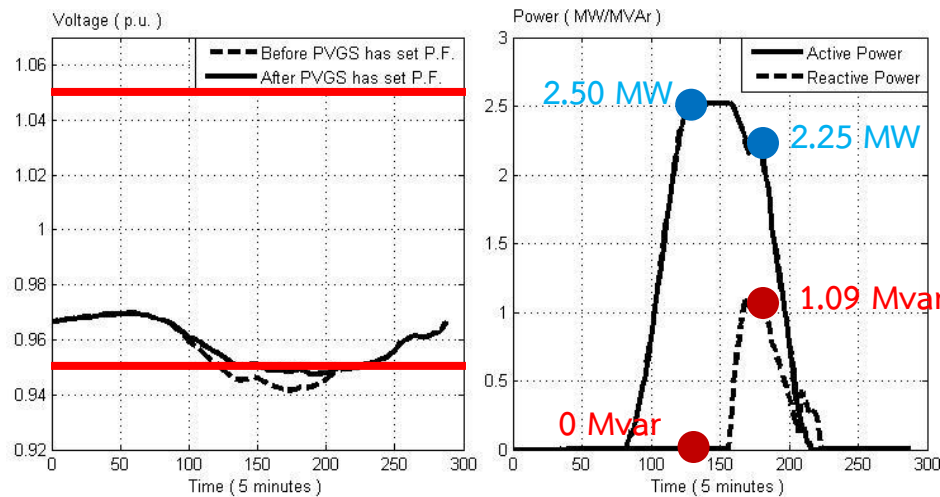
▶ PV สนับสนุนระดับแรงดันไฟฟ้า

4. แบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบรายรับและรายจ่ายมี 4 ส่วน ได้แก่

3. ค่าสูญเสียโอกาสจากการลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง



S (Apparent Power)	P (Real Power or Power Factor)	Q (Reactive Power)	Q/P
1	1.00	0.00	0.00%
1	0.95	0.31	32.87%
1	0.90	0.44	48.43%
1	0.85	0.53	61.97%
1	0.80	0.60	75.00%
1	0.75	0.66	88.19%
1	0.70	0.71	102.02%

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบบจำลองการคำนวณรายรับและรายจ่ายจากการทำงานของระบบผลิต ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบรายรับและรายจ่ายมี 4 ส่วน ได้แก่

4. ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า

กรณี ที่	ก่อนการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง ร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ	หลังการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง ร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
1	ใช่	ใช่
2	ใช่	ไม่ใช่
3	ไม่ใช่	ใช่
4	ไม่ใช่	ไม่ใช่

- ถ้า PV สามารถปรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแล้ว แรงดันไฟฟ้ากลับมาเป็นปกติได้ ... ไม่เป็นปัญหา
- ถ้า PV ไม่สามารถปรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากลับมาเป็นปกติได้ ... การไฟฟ้าหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าอื่นๆ จะต้องแบกรับภาระแทน ... เป็นปัญหา

4. แบบจำลองการทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

4) หลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 1 ระบบ บนสายป้อนเดียวกัน

มี PV 2 ระบบ ในสายป้อนเดียวกัน แทนด้วย PV1 (เชื่อมต่อเข้ากับระบบก่อน) และ PV2 (เชื่อมต่อเข้ากับระบบในภายหลัง)

กรณี ที่	ก่อนการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง ร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ	หลังการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง ร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
1	ใช่	ใช่
2	ใช่	ไม่ใช่
3	ไม่ใช่	ใช่
4	ไม่ใช่	ไม่ใช่

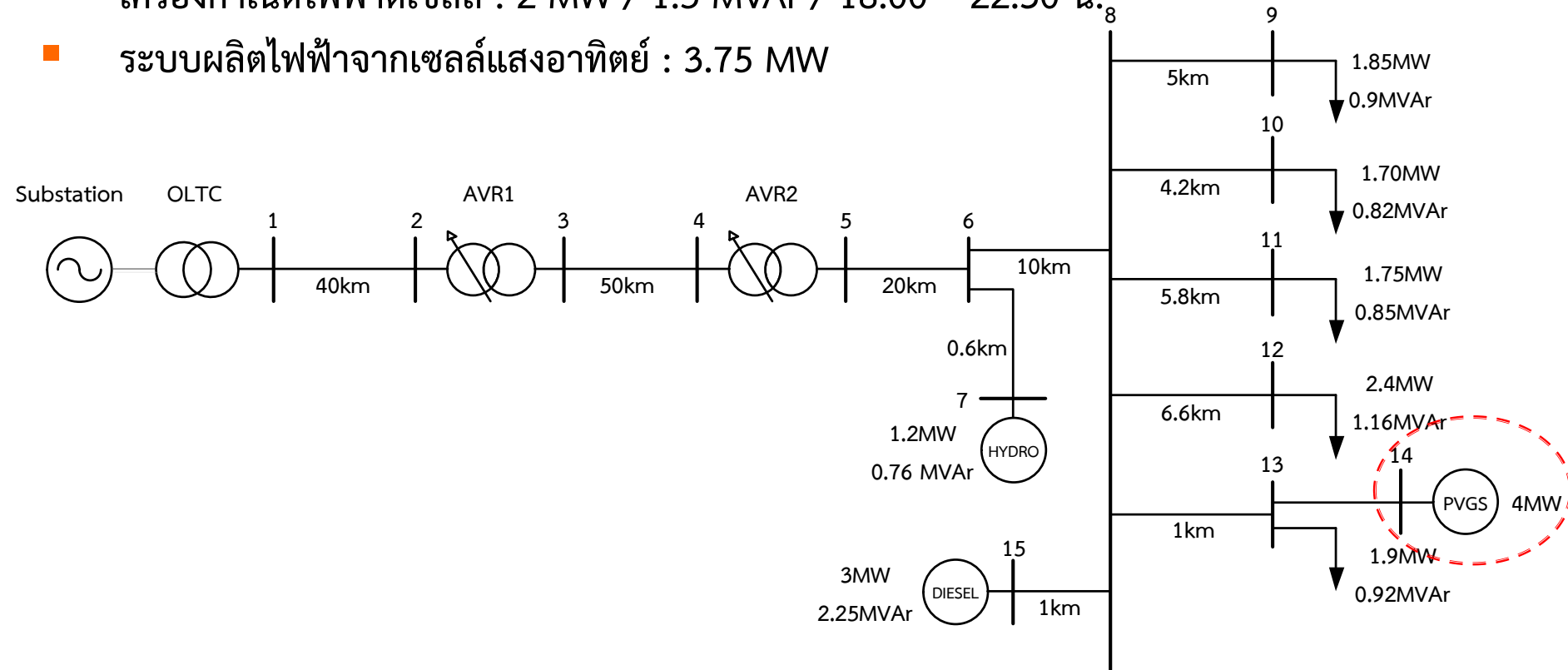
PV1 จะมี
กรณีที่ 1, 2, 3, 4

PV2 จะมี
กรณีที่ 1, 2
(PV1 ถือเป็นส่วนหนึ่งของ
Existing System ไปแล้ว)

5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ระบบโครงข่ายไฟฟ้าดัดแปลง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

- โหลดรวมสูงสุด : 9.6 MW / 4.65 MVA_r
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ : 1.2 MW / 0.76 MVA_r / 00.00 – 24.00 น.
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล : 2 MW / 1.5 MVA_r / 18.00 – 22.30 น.
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ : 3.75 MW

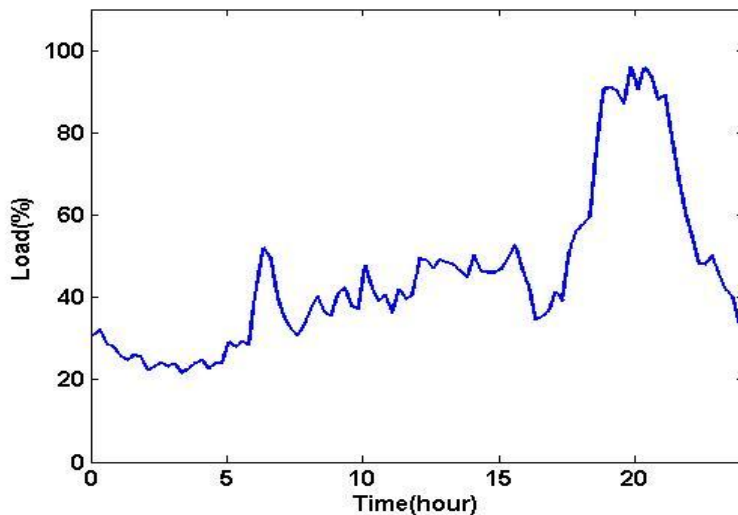


5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

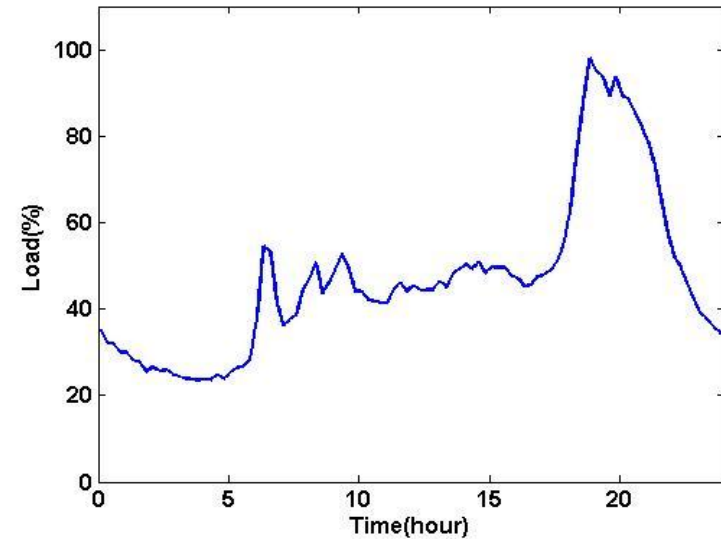
❖ ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า

- เดือน มีนาคม 2557
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคเหนือ)
- ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า
 - บ้านอยู่อาศัย < 150 หน่วย
 - บ้านอยู่อาศัย > 150 หน่วย
 - กิจการขนาดเล็ก

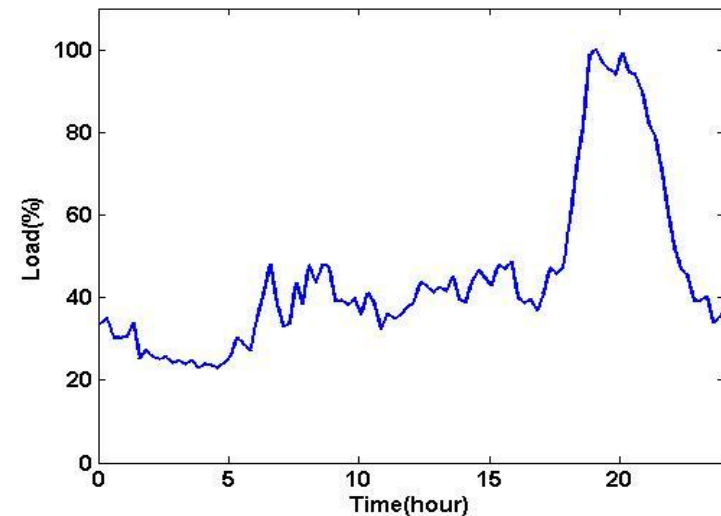
Load Profile on Saturday in 24 hours



Load Profile on Workday in 24 hours



Load Profile on Sunday in 24 hours



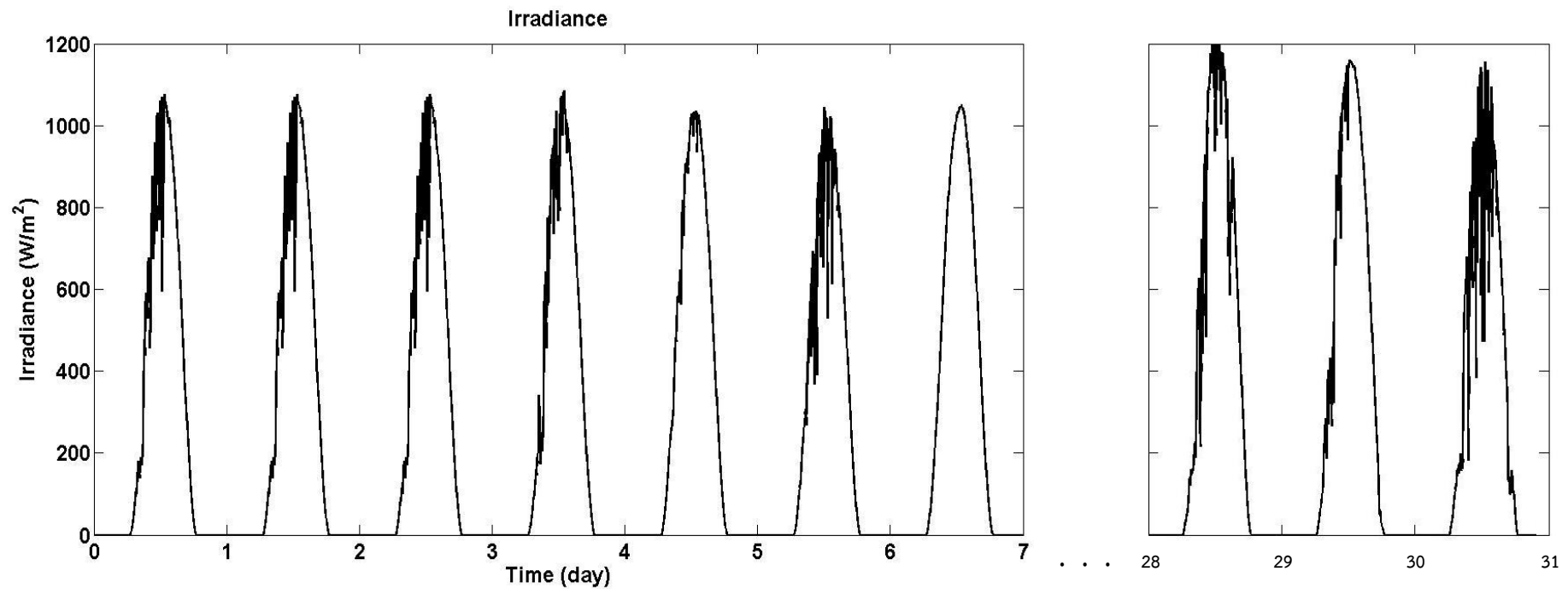
5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ และ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์
อาศัยข้อมูลจาก ระบบทดสอบ ณ อาคาร 4 คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



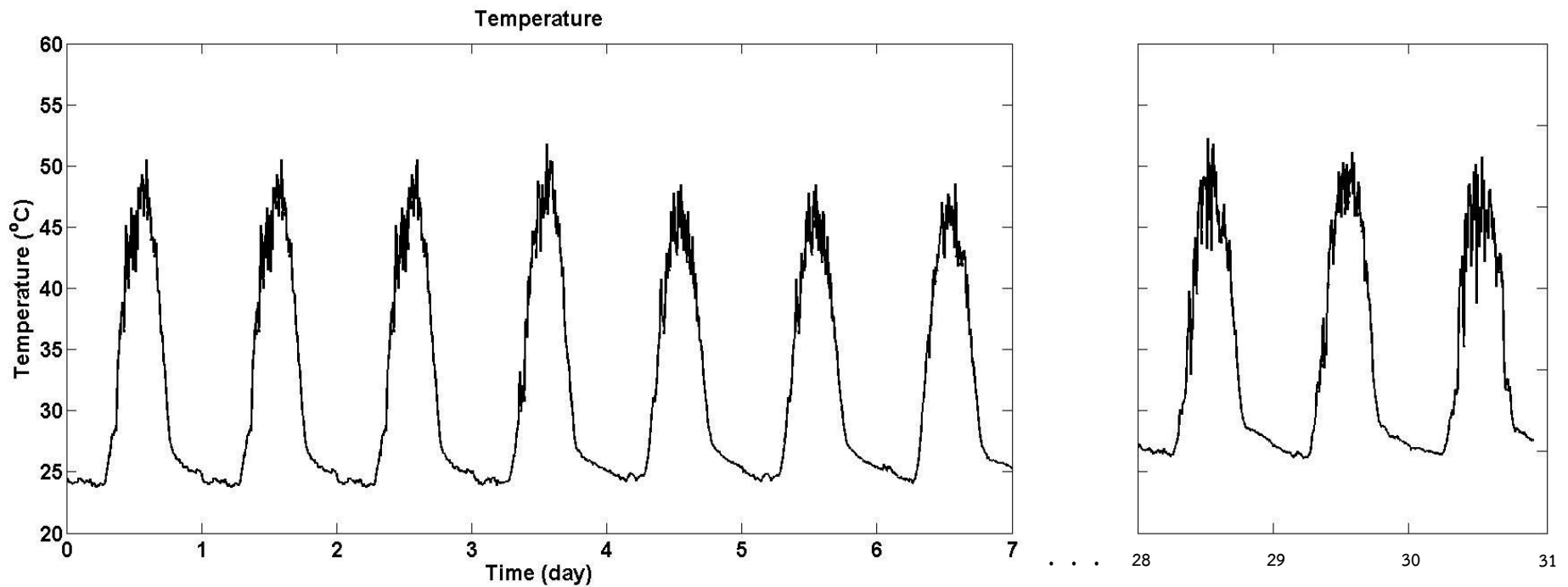
5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์



5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์



1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ
 - 1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ
 - 1.2 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในกรณีต่างๆ
2. การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน
 - 2.1 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ระบบในปัจจุบัน บนสายป้อนเดียวกัน
 - 2.2 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ระบบที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่าย บนสายป้อนเดียวกัน

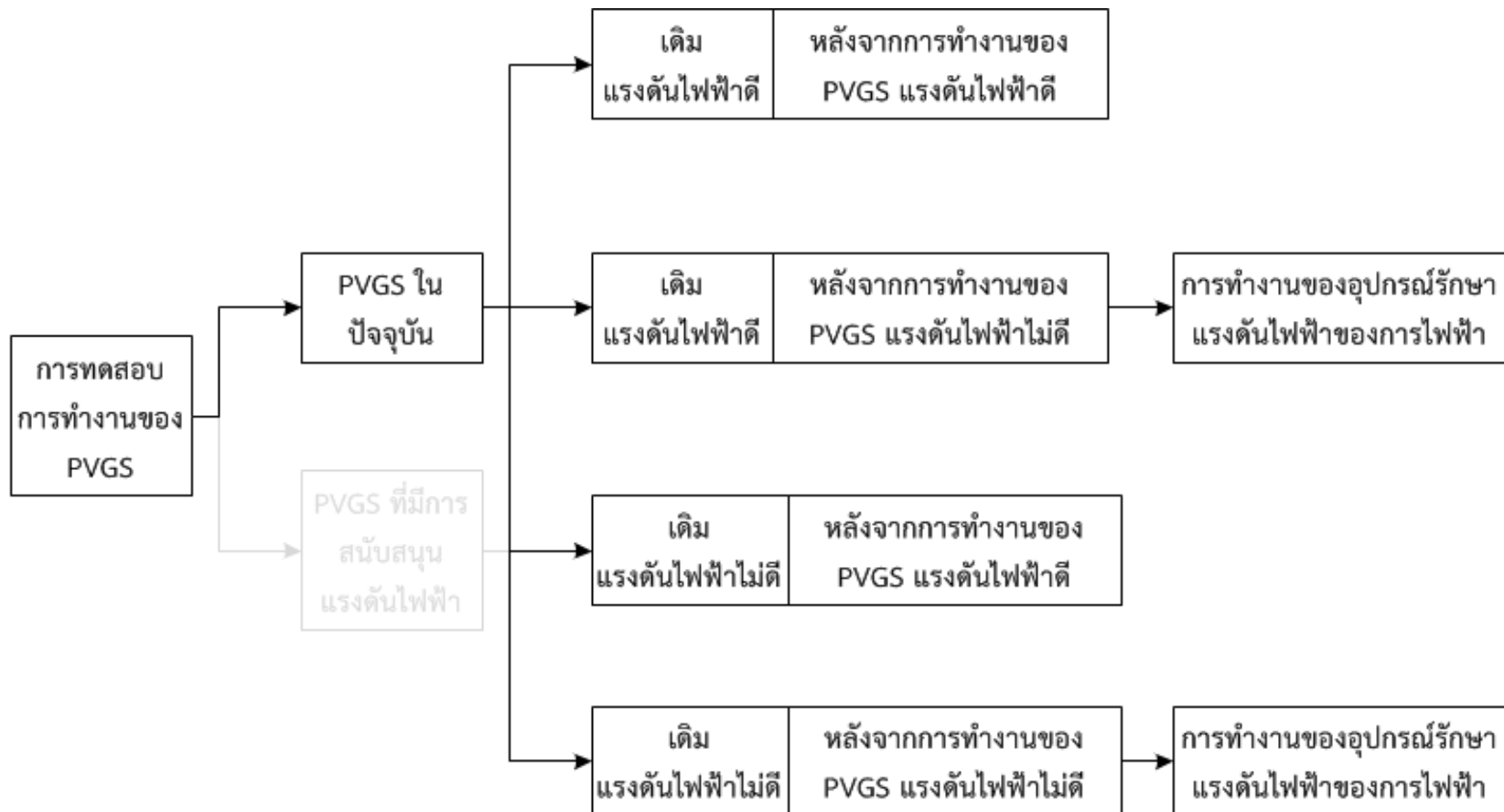
1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

กรณีที่	ก่อนการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	หลังการเชื่อมต่อ PV ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ
1	ใช่	ใช่
2	ใช่	ไม่ใช่
3	ไม่ใช่	ใช่
4	ไม่ใช่	ไม่ใช่

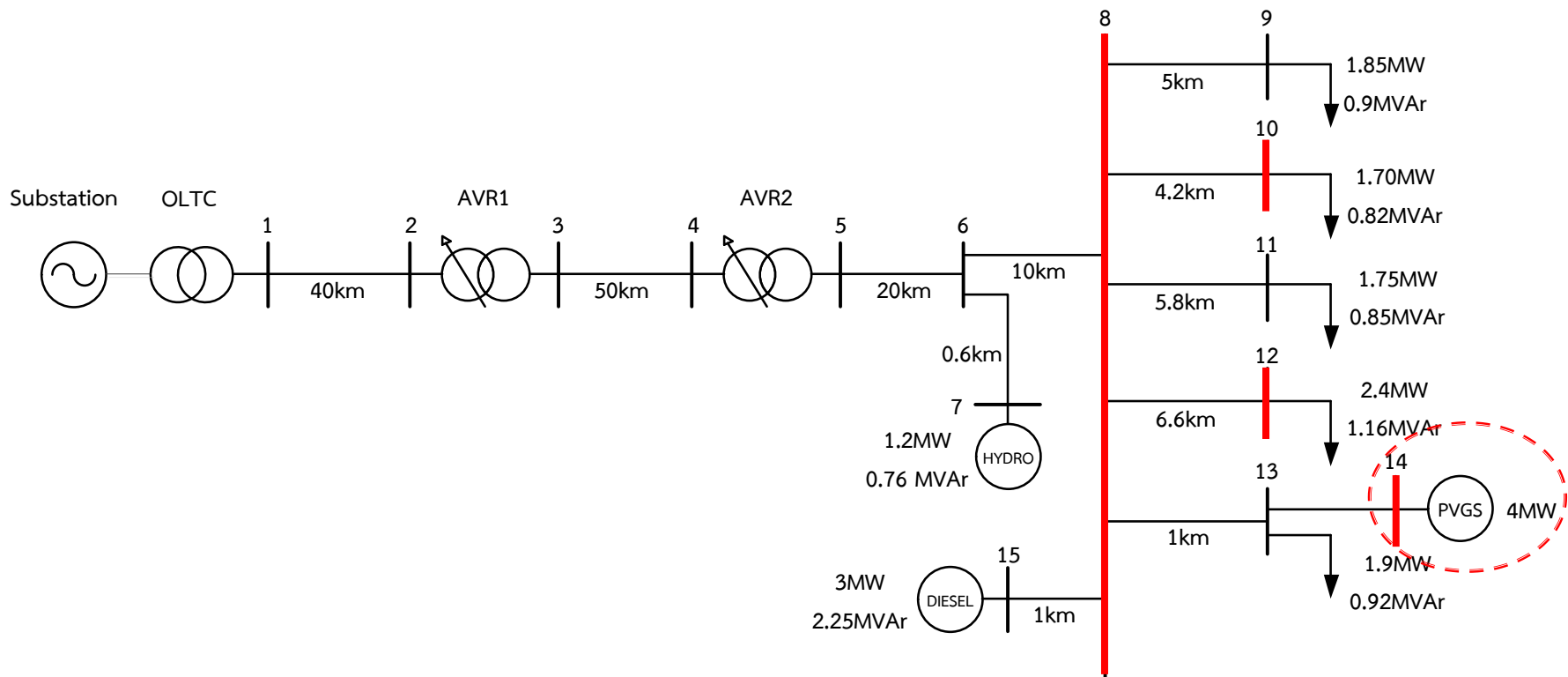
1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ



1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ



1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVA _r)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
1	4.09	1.98	1,131.61	44.14
2	2.91	1.41	1,131.61	44.14
3	5.45	2.64	1,131.61	44.14
4	5.45	2.64	236.46	32.7

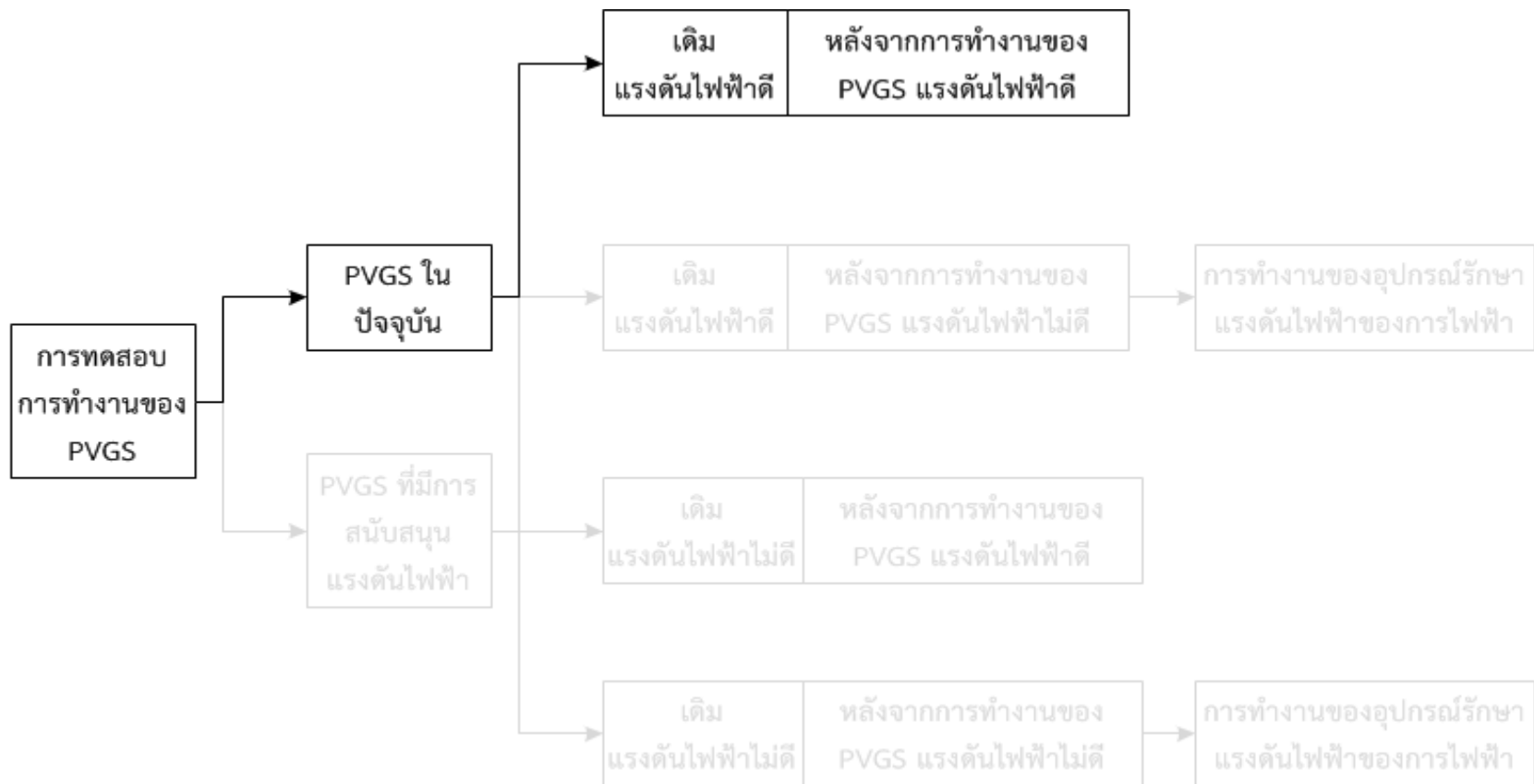
กรณีที่ 1 : แรงดันไฟฟ้าในระบบ มีค่าปกติ

กรณีที่ 2 : แรงดันไฟฟ้าในระบบ (น่าจะ) มีค่าสูงกว่าปกติ

กรณีที่ 3 และ 4 : แรงดันไฟฟ้าในระบบ (น่าจะ) มีค่าต่ำกว่าปกติ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

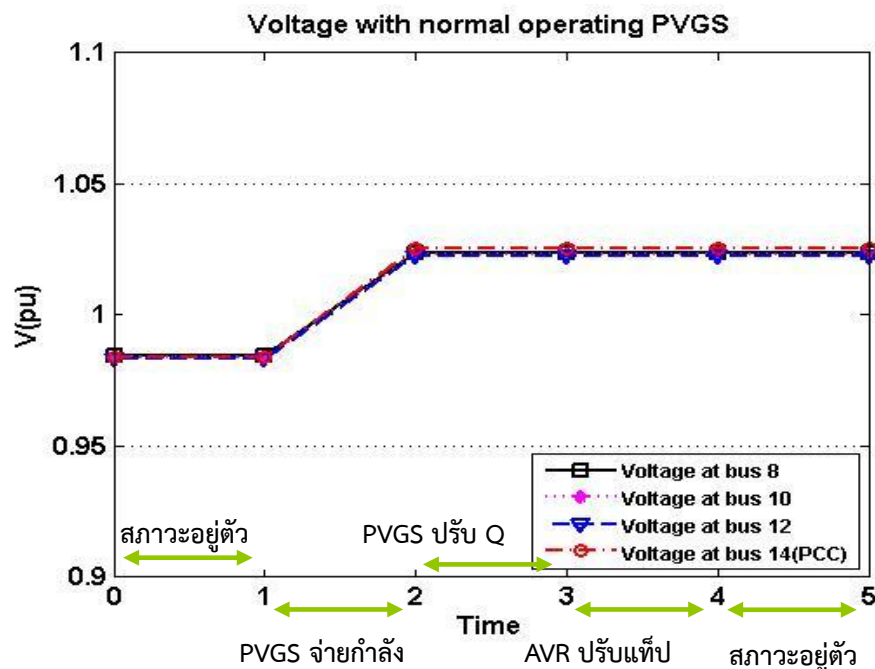


6. ผลการทดสอบ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

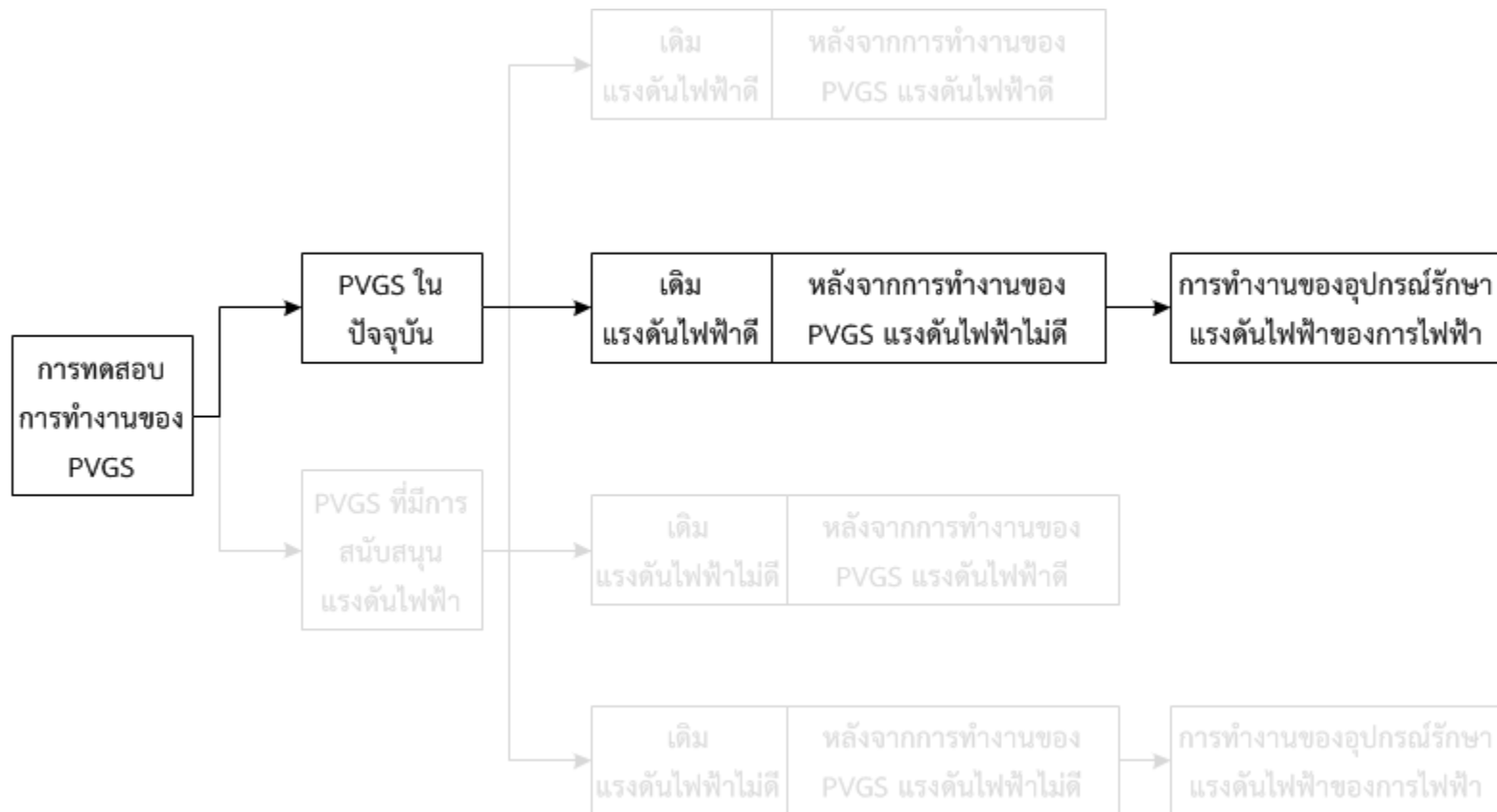
กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVar)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
1	4.09	1.98	1,131.61	44.14



	Time 0-1	Time 1-2	Time 2-3	Time 3-4	Time 4-5
P_{ac} (MW)	0	3.75	3.75	3.75	3.75
Q_{ac} (MVar)	0	0	0	0	0
V_{oltc} (p.u.)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
N1:N2 / V (p.u.) AVR1	0.988 / 1.029	0.988 / 1.044	0.988 / 1.044	0.988 / 1.044	0.988 / 1.044
N1:N2 / V (p.u.) AVR2	0.988 / 1.002	0.988 / 1.034	0.988 / 1.034	0.988 / 1.034	0.988 / 1.034

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ



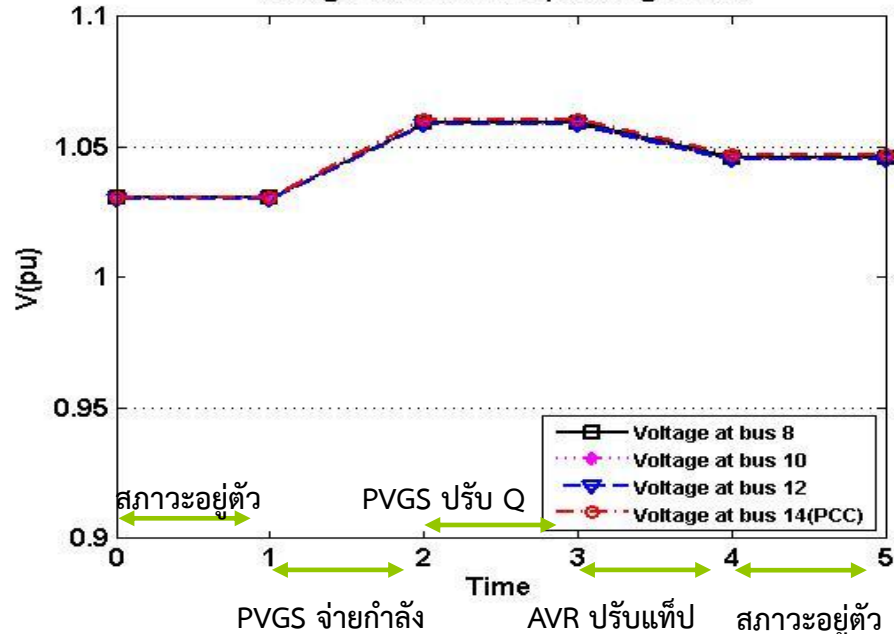
6. ผลการทดสอบ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVar)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
2	2.91	1.41	1,131.61	44.14

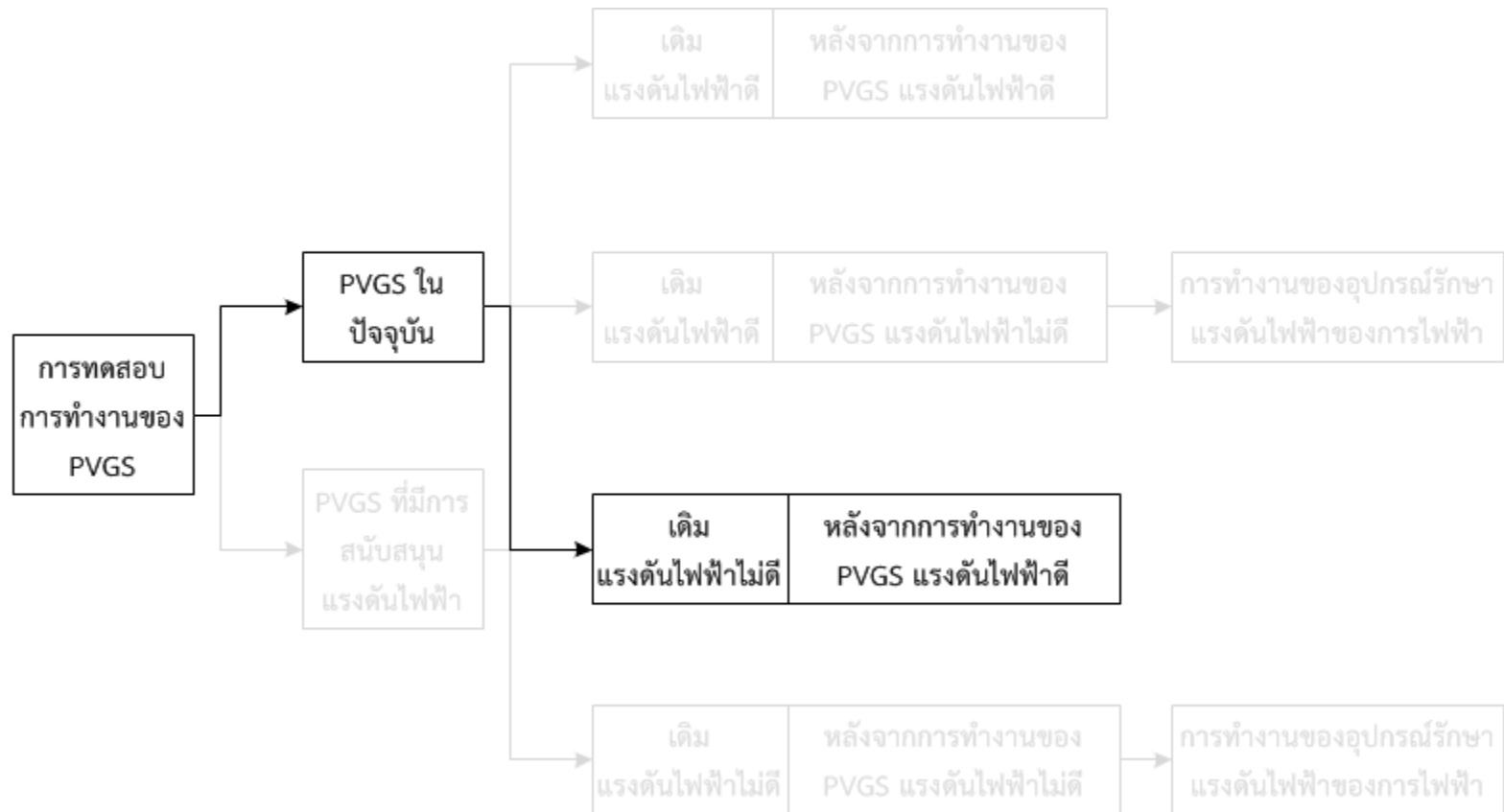
Voltage with normal operating PVGS



	Time 0-1	Time 1-2	Time 2-3	Time 3-4	Time 4-5
P_{ac} (MW)	0	3.75	3.75	3.75	3.75
Q_{ac} (MVar)	0	0	0	0	0
V_{oltc} (p.u.)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
N1:N2 / V (p.u.) AVR1	0.988 / 1.046	0.988 / 1.056	0.988 / 1.056	1 / 1.043	1 / 1.043
N1:N2 / V (p.u.) AVR2	0.988 / 1.040	0.988 / 1.062	0.988 / 1.062	0.988 / 1.048	0.988 / 1.048

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ



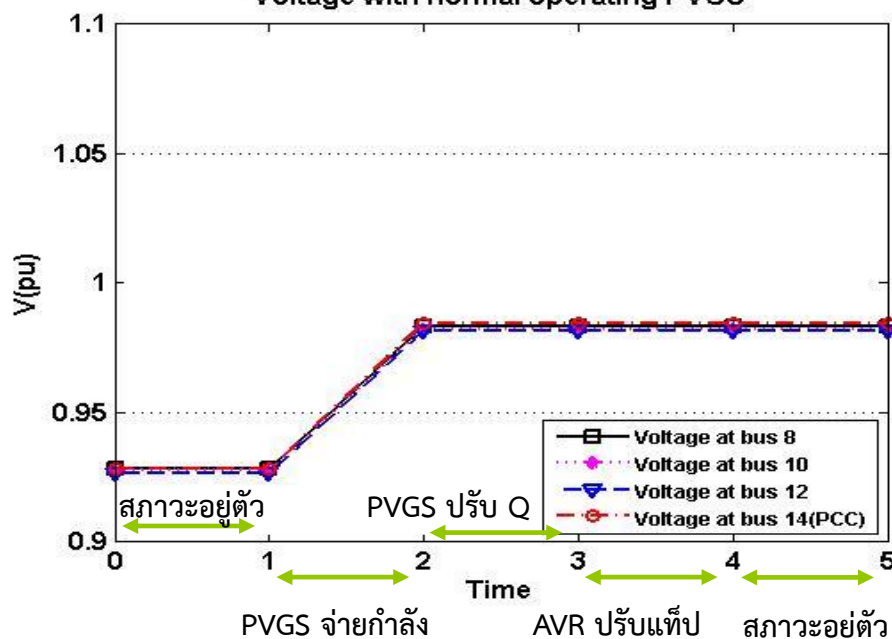
6. ผลการทดสอบ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVar)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
3	5.45	2.64	1,131.61	44.14

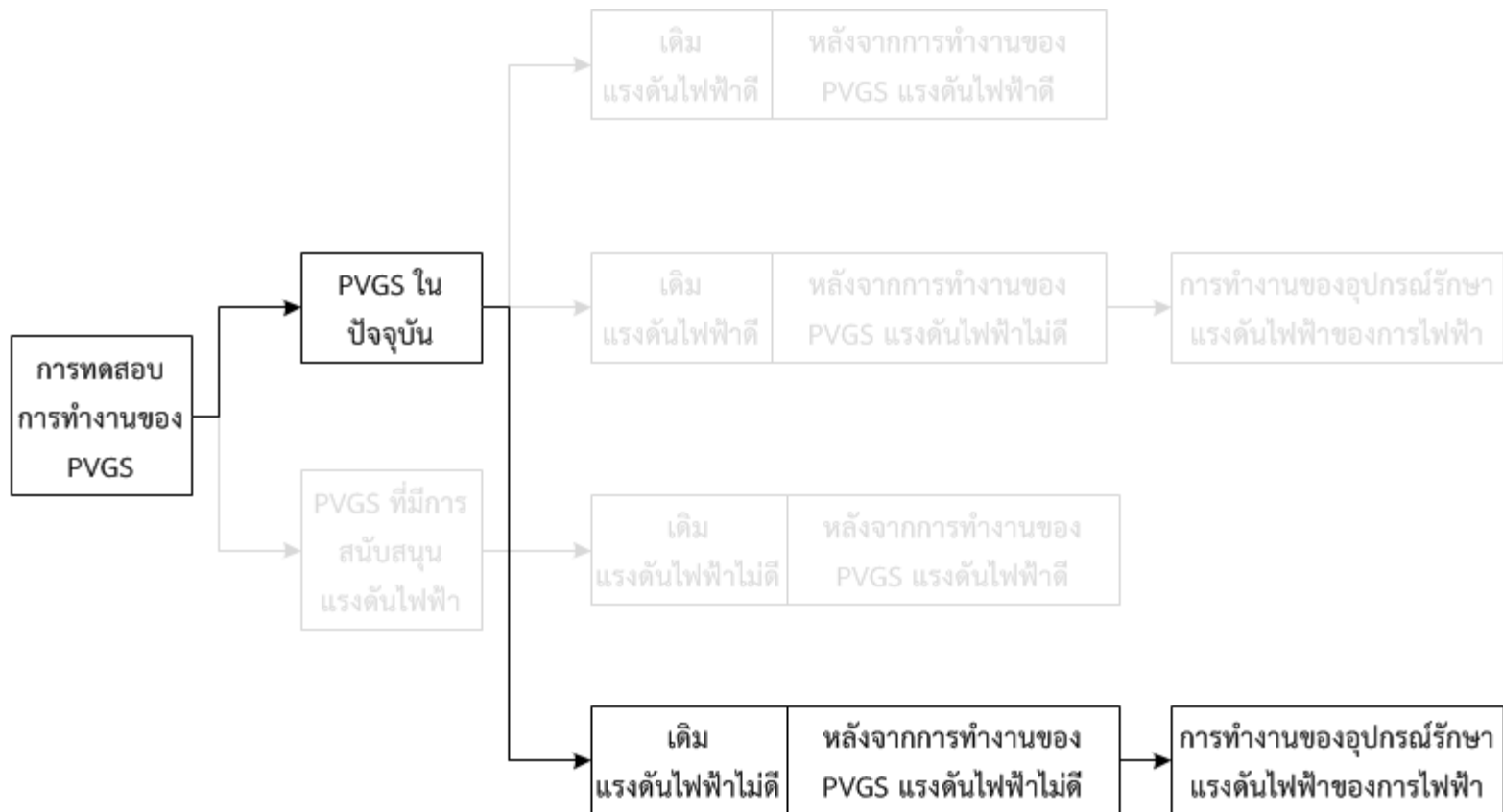
Voltage with normal operating PVGS



	Time 0-1	Time 1-2	Time 2-3	Time 3-4	Time 4-5
P_{ac} (MW)	0	3.75	3.75	3.75	3.75
Q_{ac} (MVar)	0	0	0	0	0
V_{oltc} (p.u.)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
N1:N2 / V (p.u.) AVR1	0.988 / 1.008	0.988 / 1.030	0.988 / 1.030	0.988 / 1.030	0.988 / 1.030
N1:N2 / V (p.u.) AVR2	0.988 / 0.957	0.988 / 1.002	0.988 / 1.002	0.988 / 1.002	0.988 / 1.002

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ



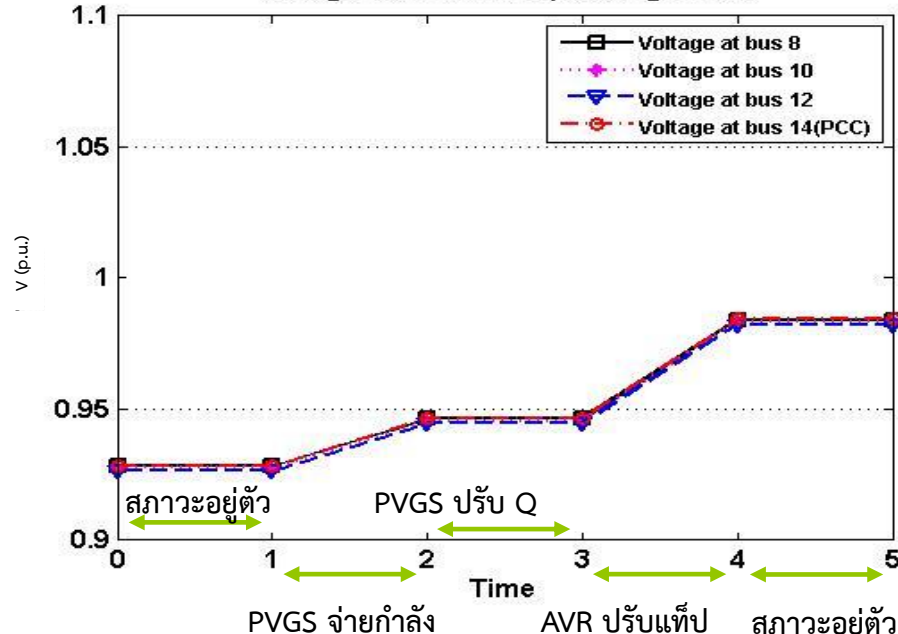
6. ผลการทดสอบ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.1 การทดสอบแบบจำลองการทำงานของ PV ในปัจจุบัน ในกรณีต่างๆ

กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVar)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
4	5.45	2.64	236.46	32.7

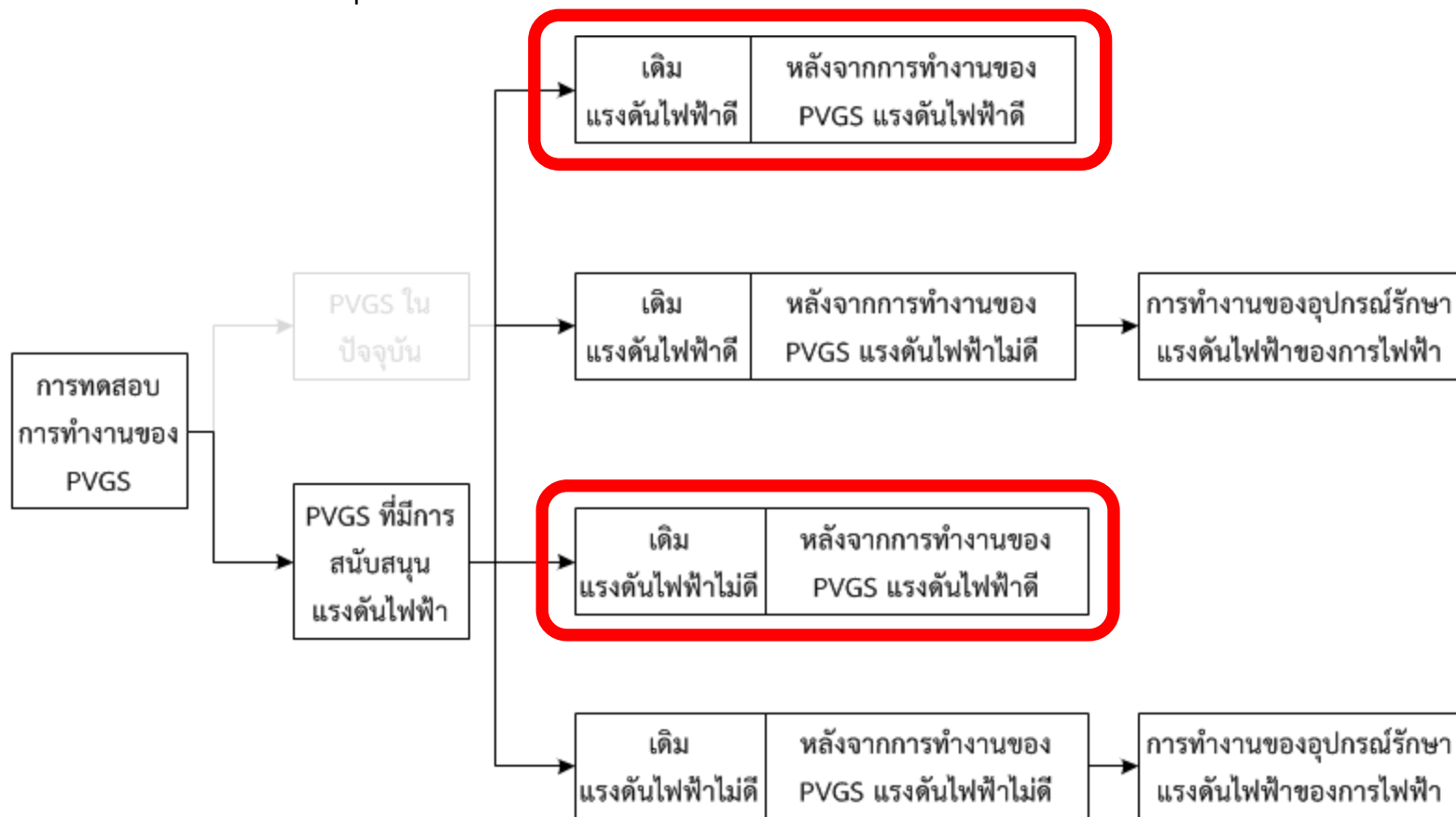
Voltage with normal operating PVGS



	Time 0-1	Time 1-2	Time 2-3	Time 3-4	Time 4-5
P_{ac} (MW)	0	0.93	0.93	0.93	0.93
Q_{ac} (MVar)	0	0	0	0	0
V_{oltc} (p.u.)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
N1:N2 / V	0.988 /	0.988 /	0.988 /	0.988 /	0.988 /
(p.u.) AVR1	1.008	1.015	1.015	1.016	1.016
N1:N2 / V	0.988 /	0.988 /	0.988 /	0.953 /	0.953 /
(p.u.) AVR2	0.957	0.972	0.972	1.009	1.009

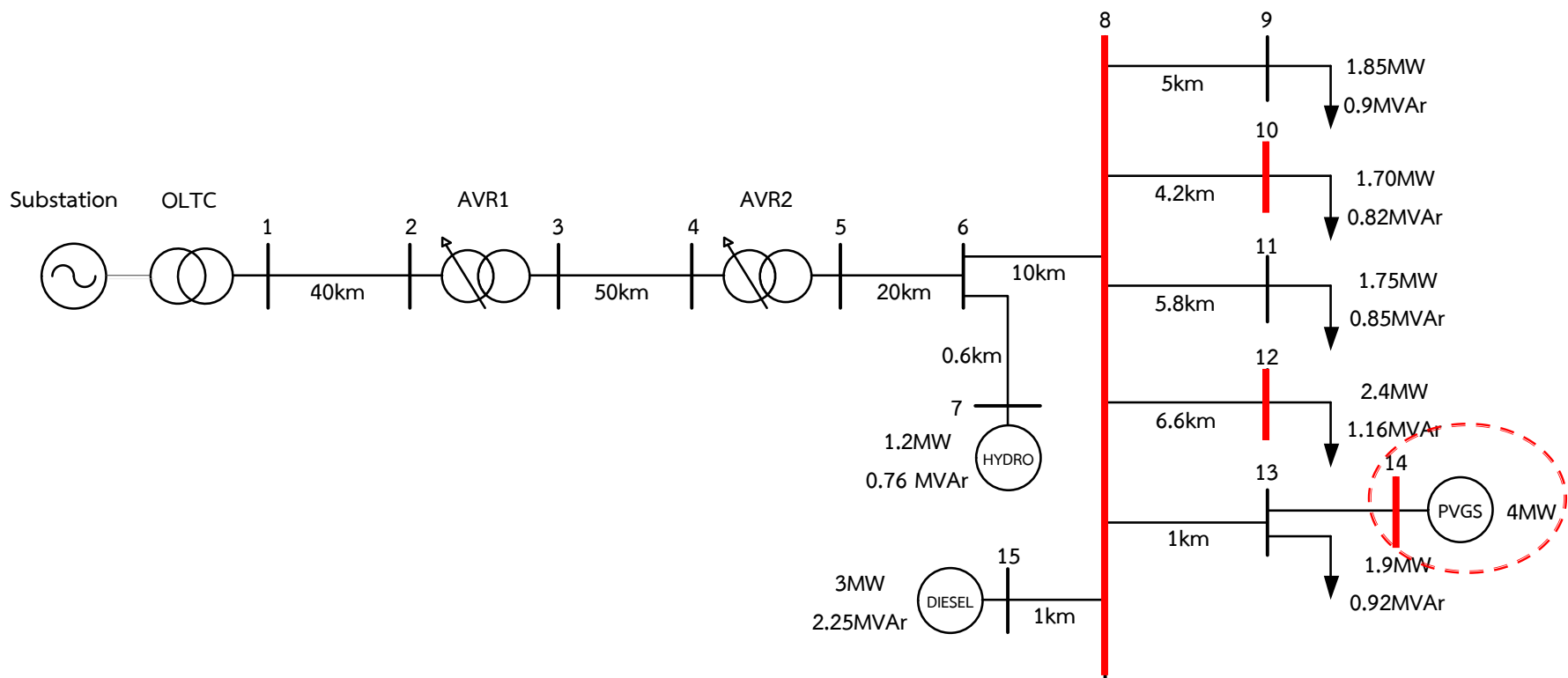
1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ



1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ



1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ

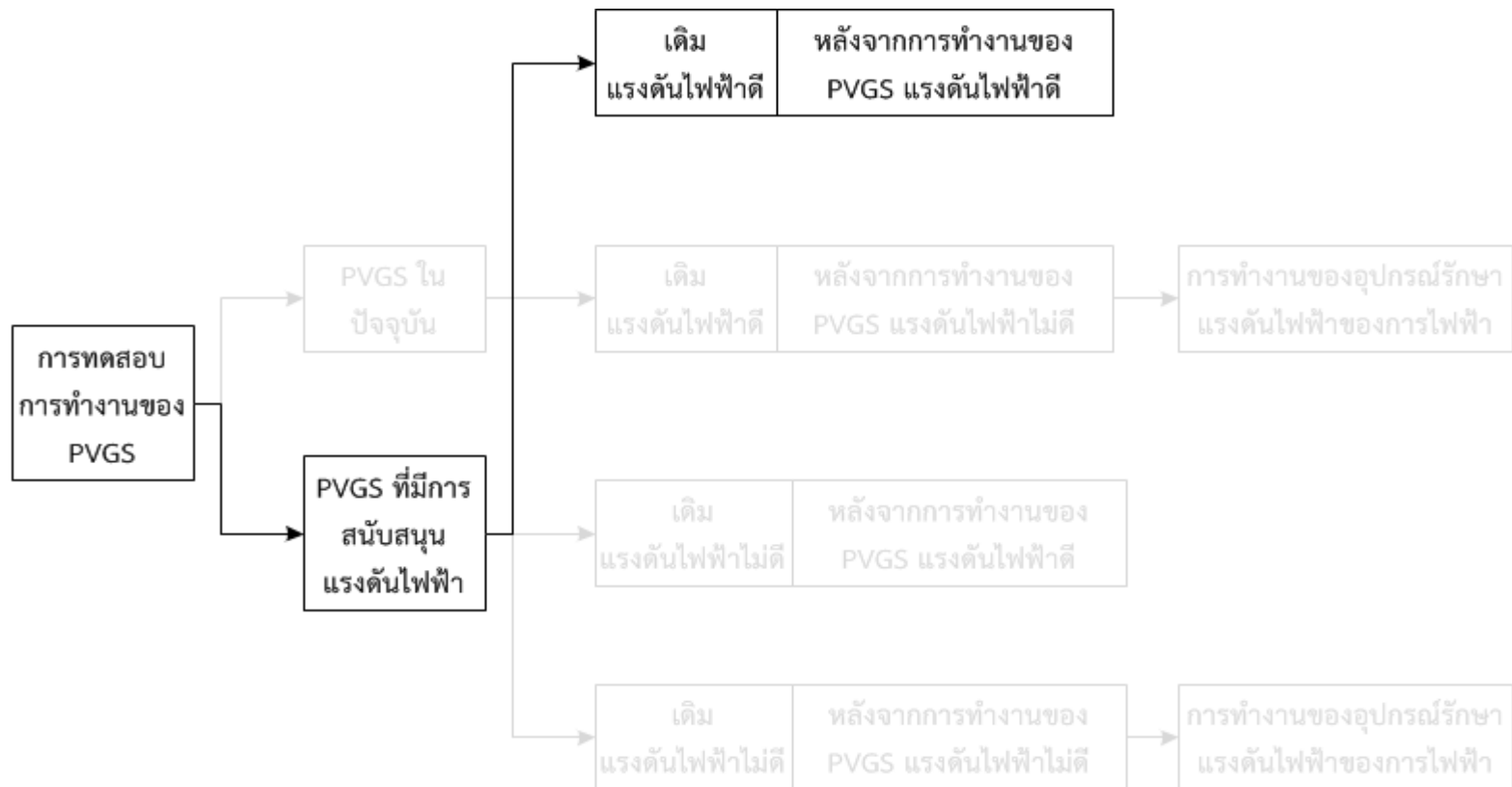
กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVA _r)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
1	2.91	1.41	1,131.61	44.14
3	5.45	2.64	236.43	32.70

กรณีที่ 1 : แรงดันไฟฟ้าในระบบ (น่าจะ) มีค่าสูงกว่าปกติ

กรณีที่ 3 : แรงดันไฟฟ้าในระบบ (น่าจะ) มีค่าต่ำกว่าปกติ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ

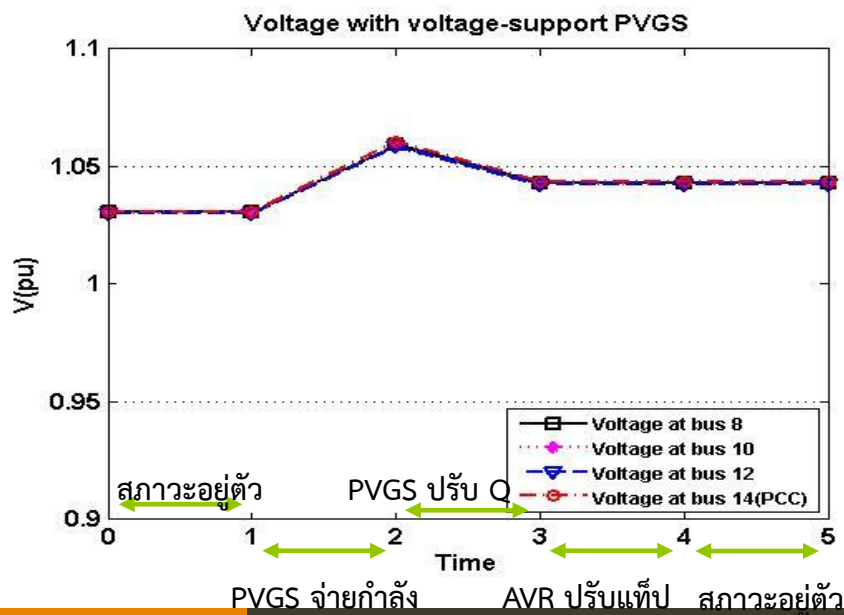


6. ผลการทดสอบ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ

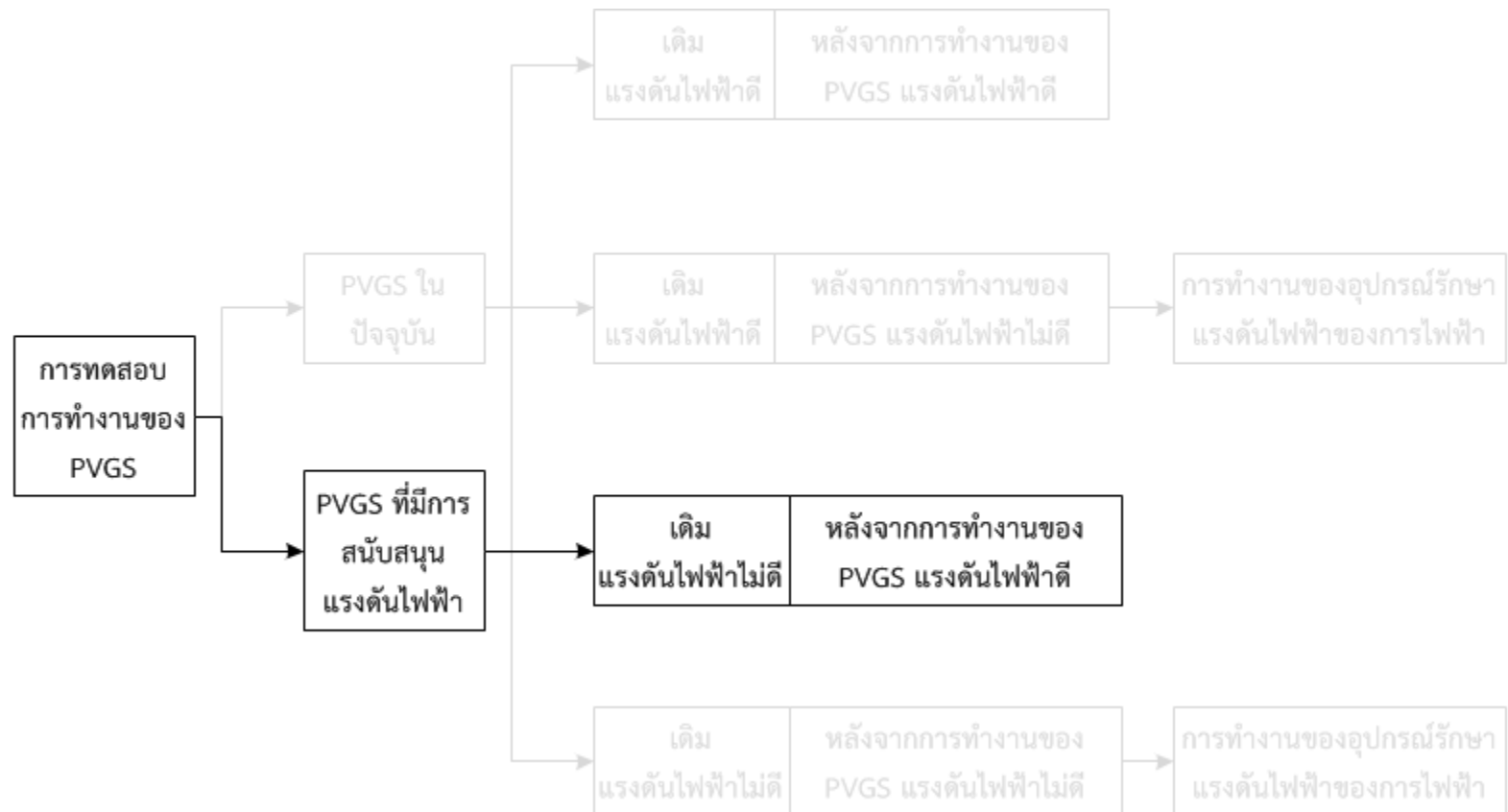
กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (MVar)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
1	2.91	1.41	1,131.61	44.14



	Time 0-1	Time 1-2	Time 2-3	Time 3-4	Time 4-5
P_{ac} (MW)	0	3.75	3.73	3.73	3.73
Q_{ac} (MVar)	0	0	-0.4	-0.4	-0.4
V_{oltc} (p.u.)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
N1:N2 / V (p.u.) AVR1	0.988 / 1.046	0.988 / 1.056	0.988 / 1.050	0.988 / 1.050	0.988 / 1.050
N1:N2 / V (p.u.) AVR2	0.988 / 1.040	0.988 / 1.062	0.988 / 1.049	0.988 / 1.049	0.988 / 1.049

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ

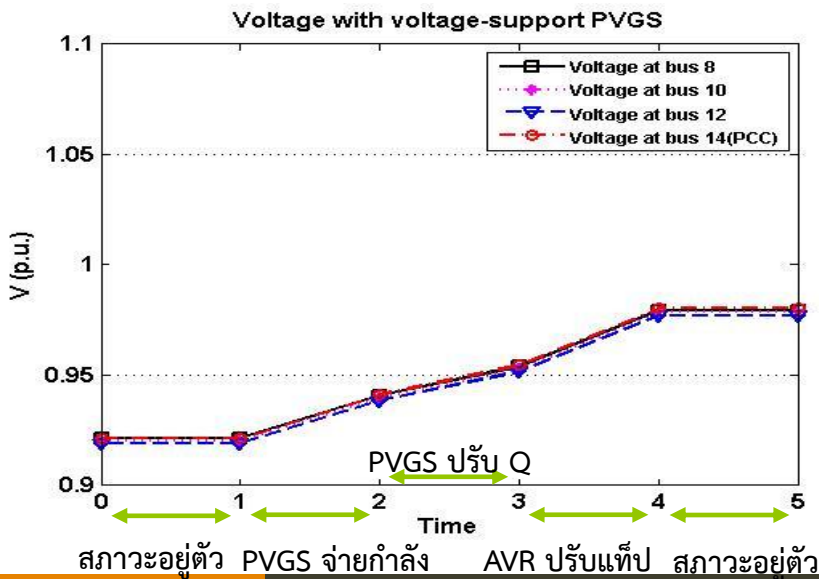


6. ผลการทดสอบ

1. การทดสอบการทำงานของ PV ในกรณีการทำงานต่างๆ

1.2 การทดสอบการทำงานของ PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในกรณีการทำงานต่างๆ

กรณีที่	โหลดกำลังไฟฟ้า จริง (MW)	โหลดกำลังไฟฟ้า รีแอคทีฟ (MVar)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)
3	5.45	2.64	236.43	32.70



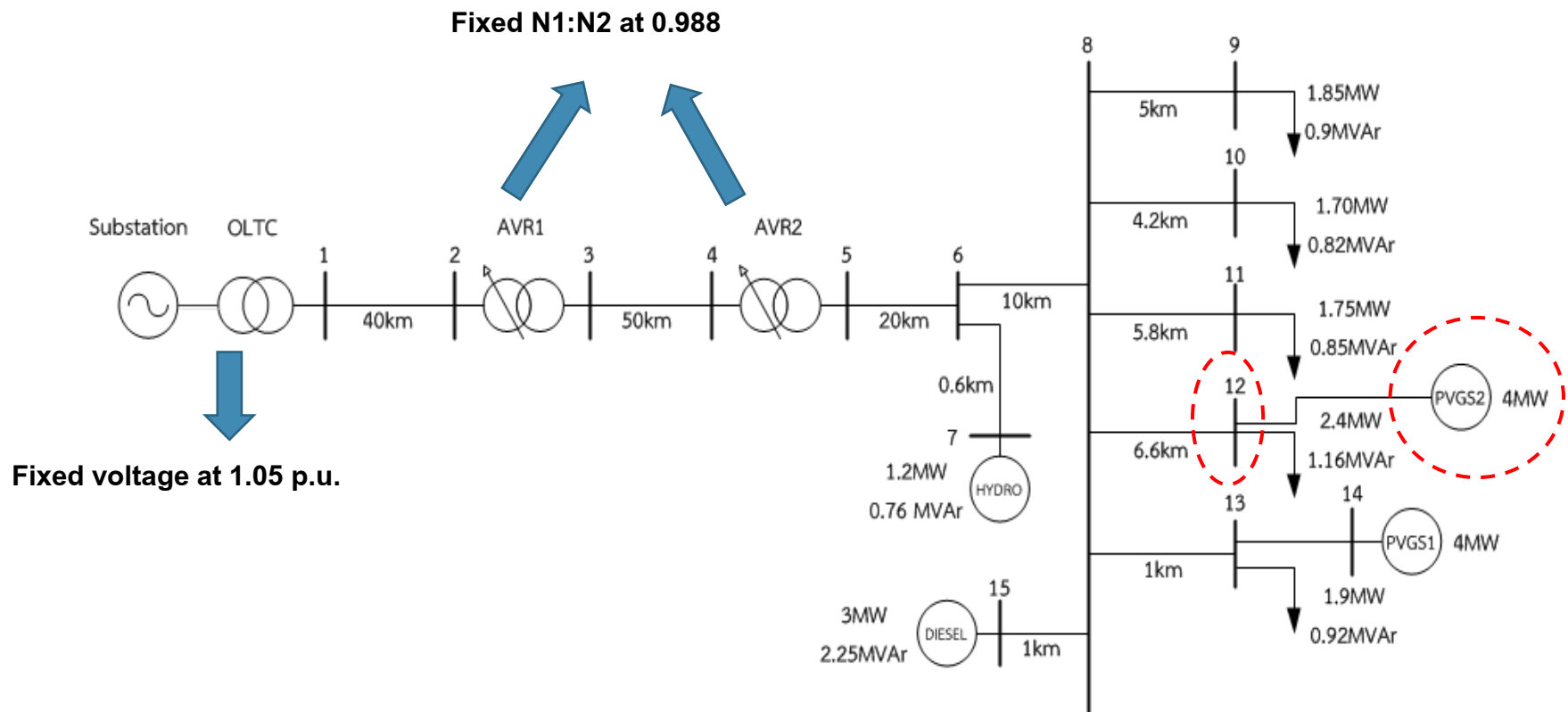
	Time 0-1	Time 1-2	Time 2-3	Time 3-4	Time 4-5
P_{ac} (MW)	0	0.93	0.93	0.93	0.93
Q_{ac} (MVar)	0	0	0.24	0.24	0.24
V_{oltc} (p.u.)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
N1:N2 / V (p.u.) AVR1	0.988 / 1.005	0.988 / 1.014	0.988 / 1.018	0.988 / 1.019	0.988 / 1.019
N1:N2 / V (p.u.) AVR2	0.988 / 0.952	0.988 / 0.969	0.988 / 0.979	0.964 / 1.004	0.964 / 1.004

2. การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

2.1 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

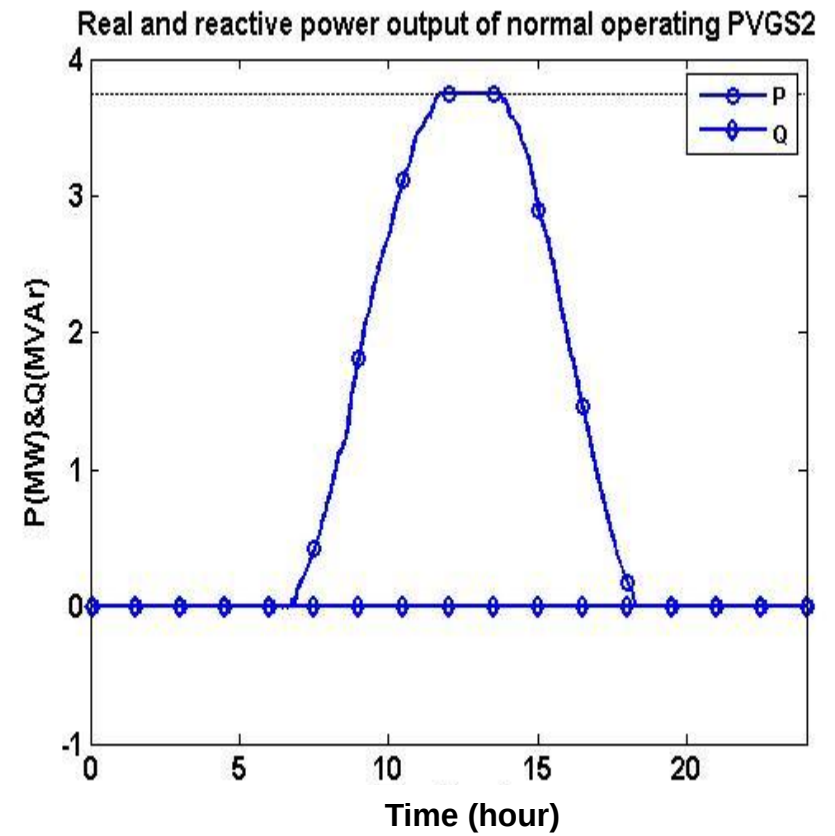
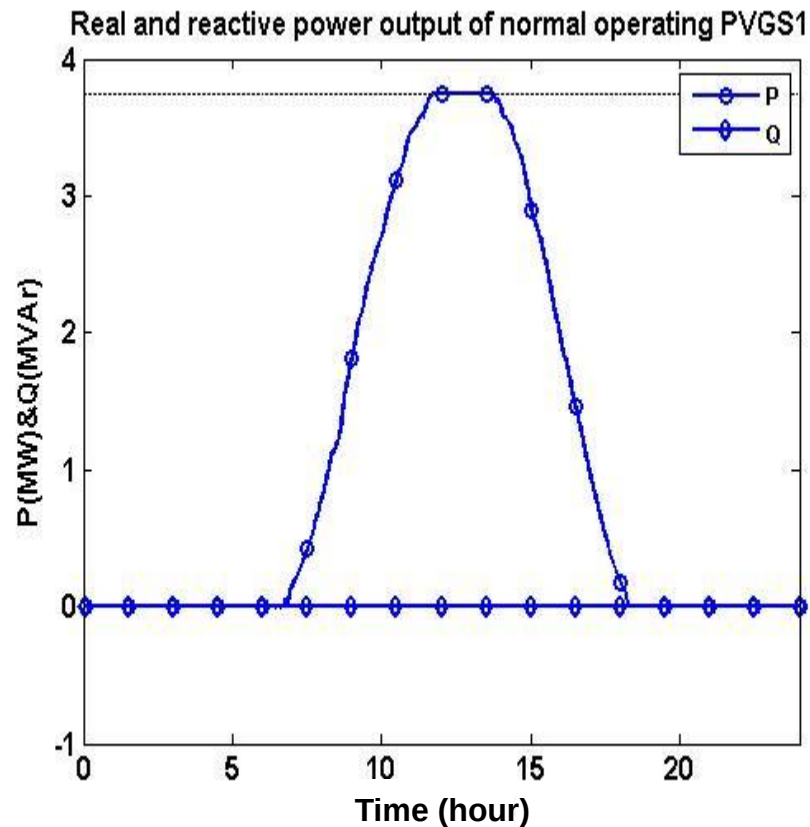
2.2 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

2. การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

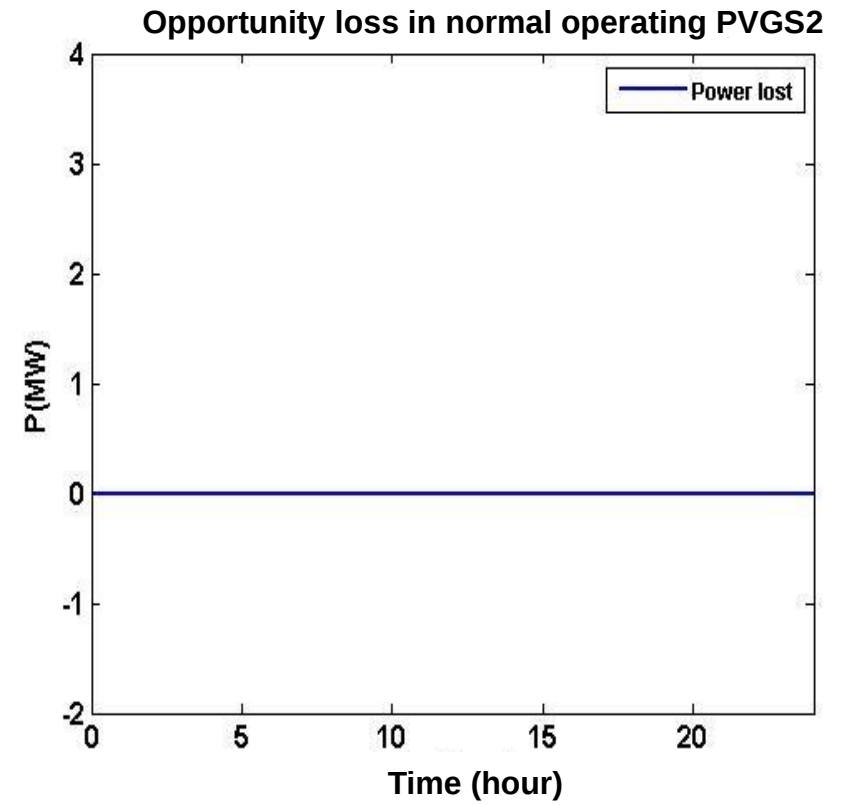
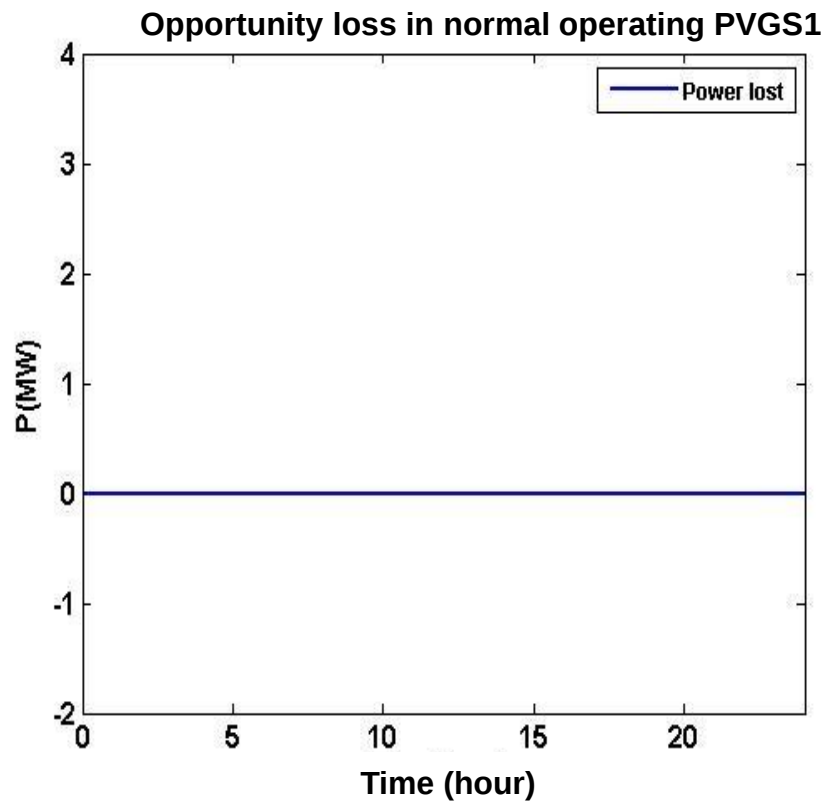


ระบบทดสอบ : ระบบโครงข่ายไฟฟ้าดัดแปลง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

2.1 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

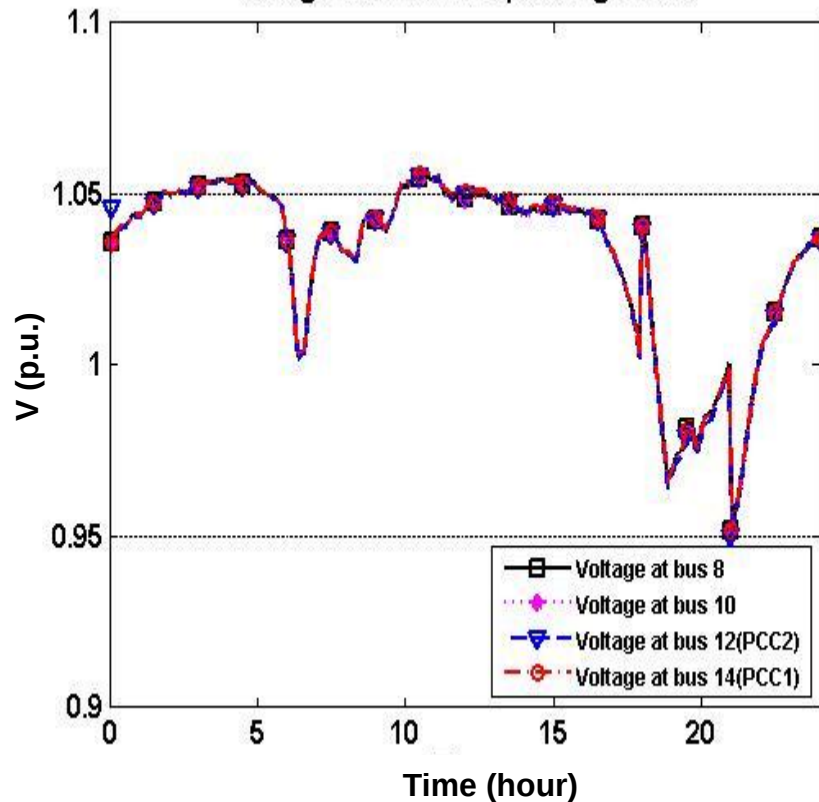


2.1 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

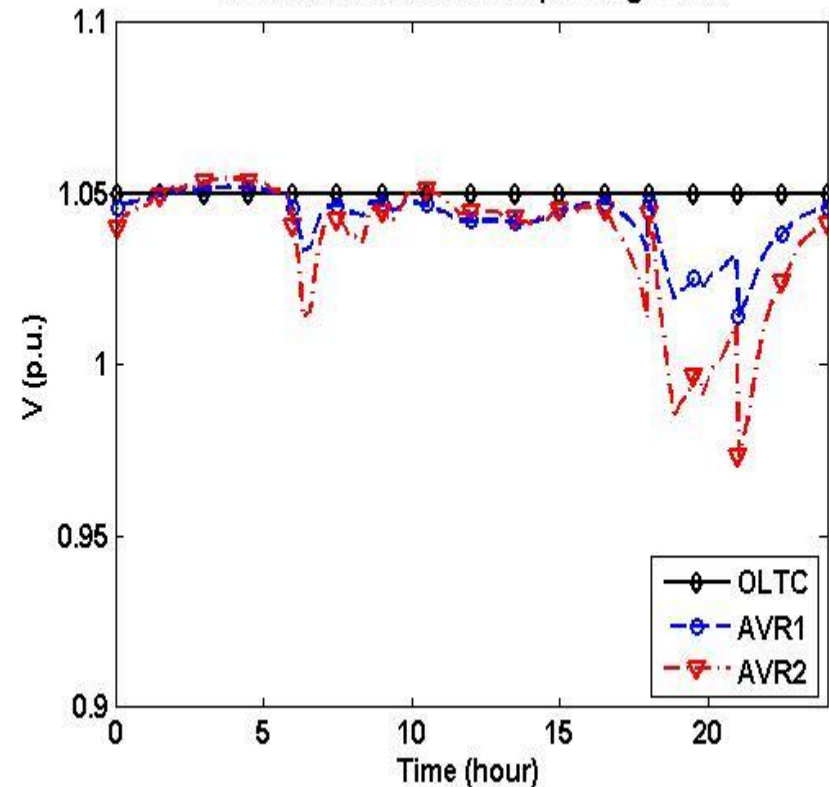


2.1 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน

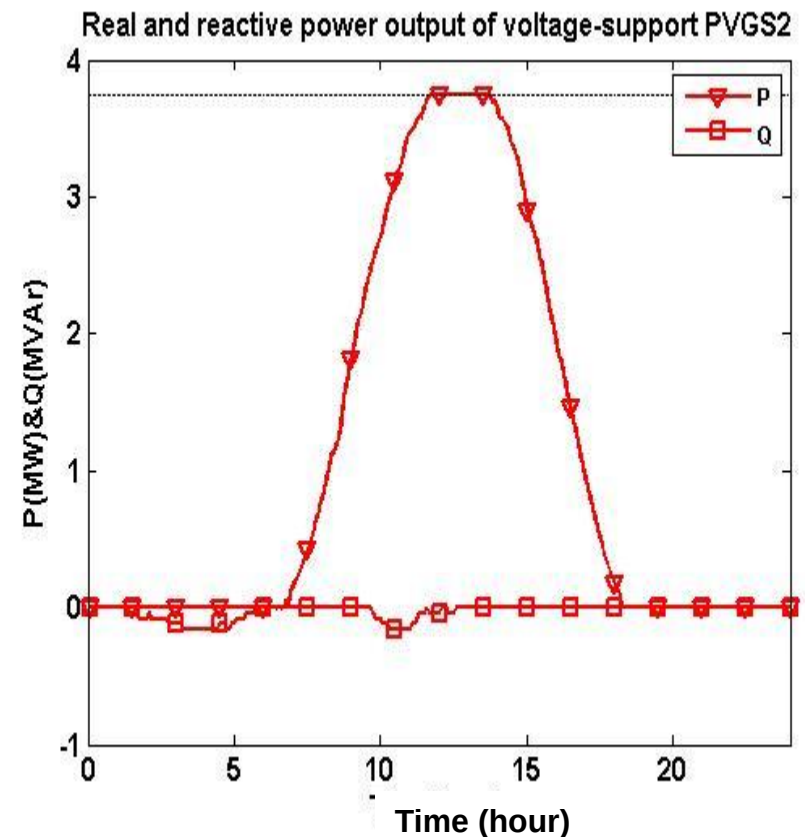
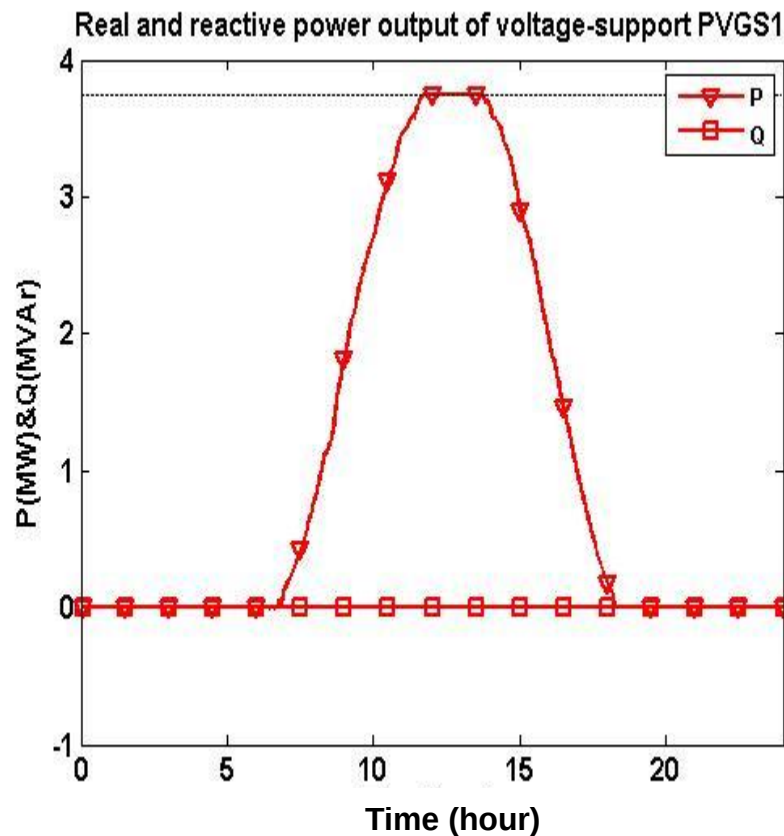
Voltage with normal operating PVGS



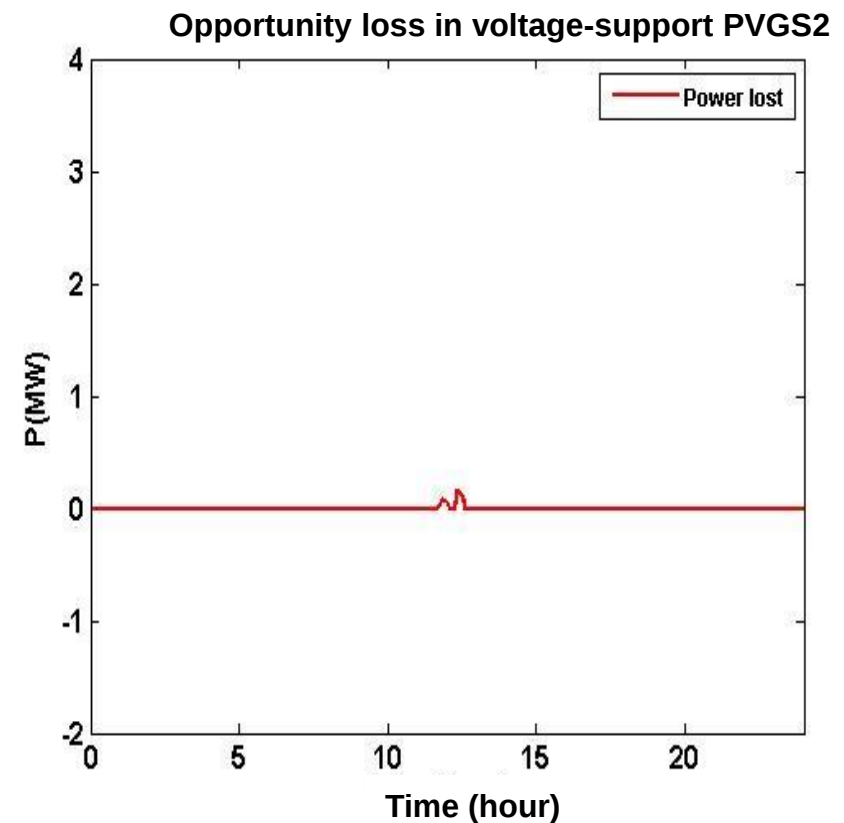
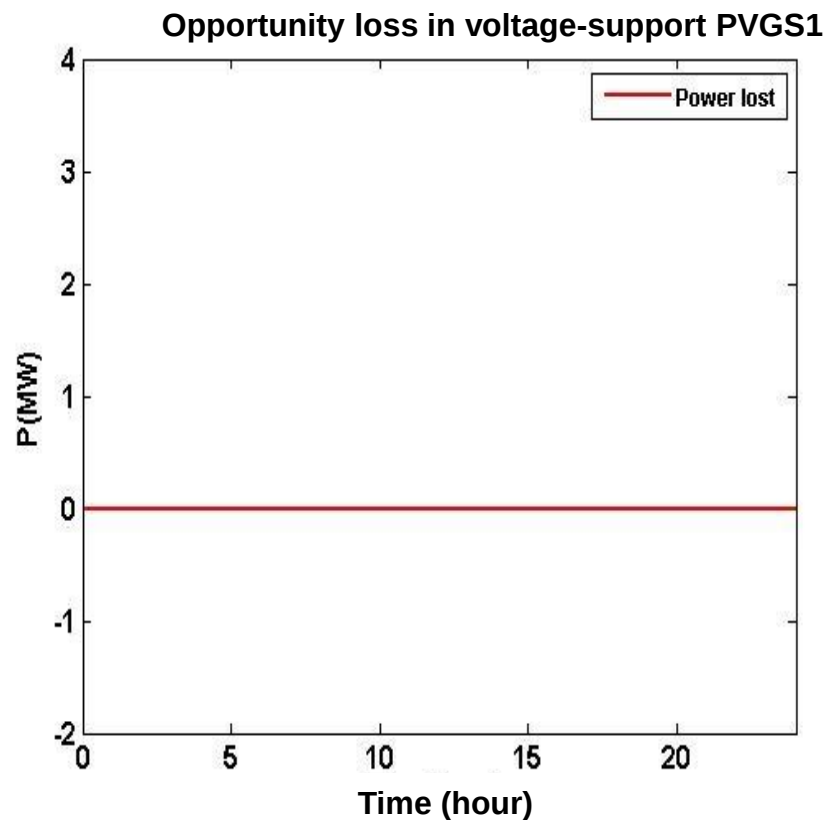
OLTC&AVR with normal operating PVGS



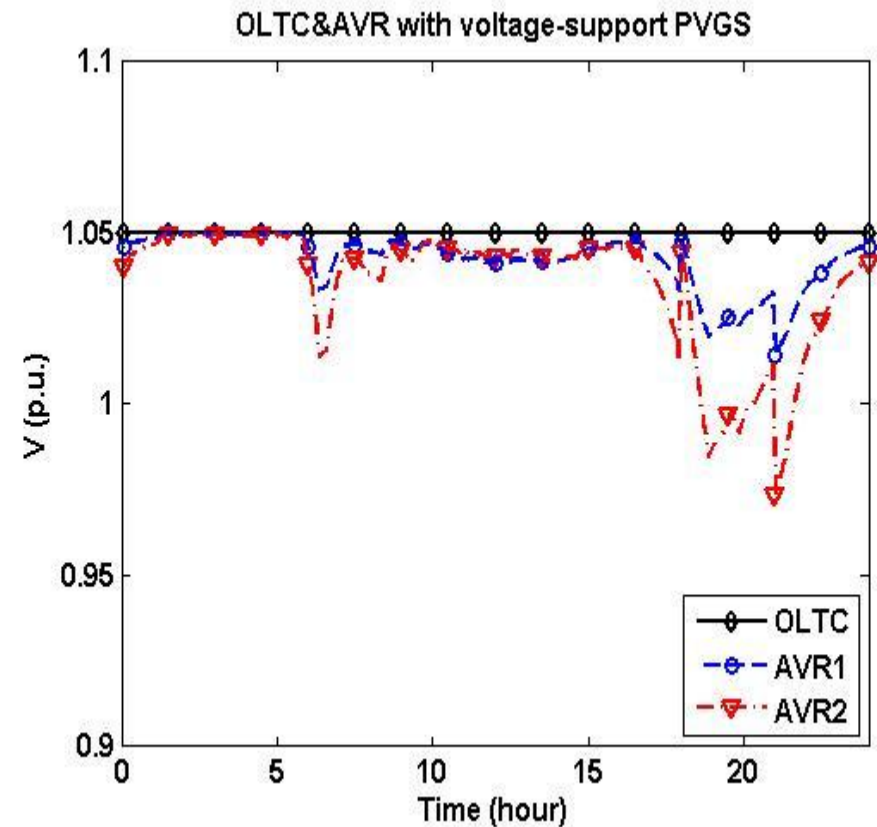
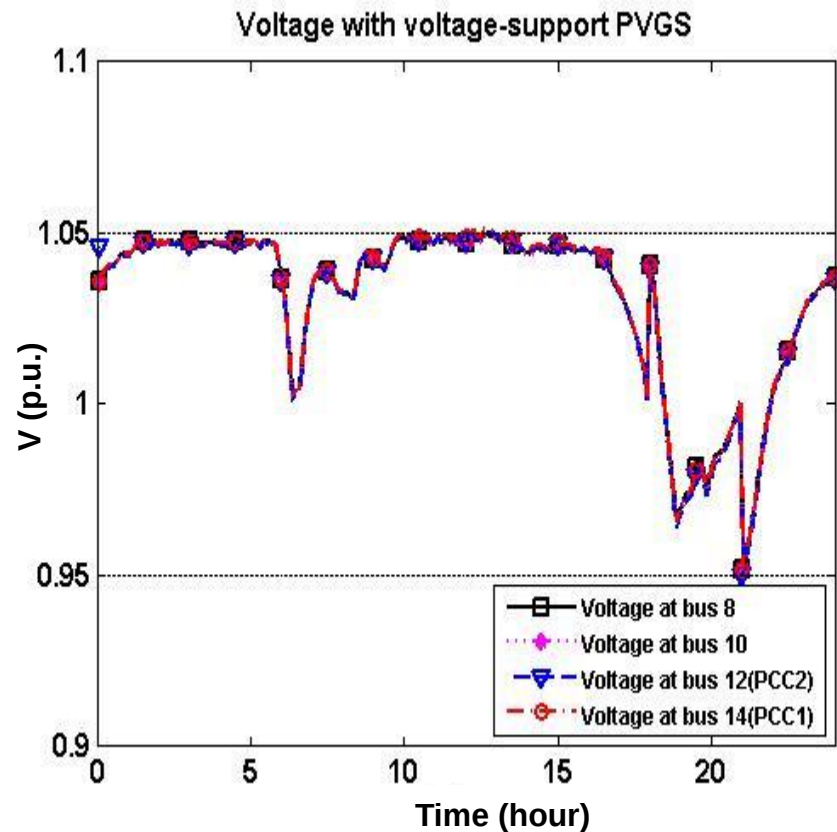
2.2 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน



2.2 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน



2.2 การทดสอบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า 2 ระบบบนสายป้อนเดียวกัน



- 1) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีทั้งการทำงานที่เป็นประโยชน์และสร้างภาระต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าในด้านแรงดันไฟฟ้า
- 2) (ผล Simulation ในภาคผนวก) หากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าได้ ภาพรวมผลประโยชน์เมื่อคิดเป็นจำนวนเงินแล้วจะสูงกว่ากรณีไม่มีการสนับสนุนจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) (ผล Simulation ไม่ได้นำเสนอ) ในกรณีที่ระบบไม่มีการทำงานของอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภาพรวมผลประโยชน์เมื่อคิดเป็นจำนวนเงินของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าจะสูงกว่ากรณีไม่มีการสนับสนุนจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก

4) แนวคิดดังแสดงในงานวิจัยนี้ ใช้กับการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงได้ด้วย เพื่อลดความแออัดของกำลังไฟฟ้า (Power Congestion), ลดการไหลย้อนของกำลังไฟฟ้า (Reverse Power Flow), เป็นต้น ซึ่งเป็นปัญหาของประเทศไทยอยู่ในขณะนี้



ขอบคุณครับ

20 มกราคม 2558

ห้อง Monet-Pissarro ชั้น 4
โรงแรมโนโวเทล สยามสแควร์

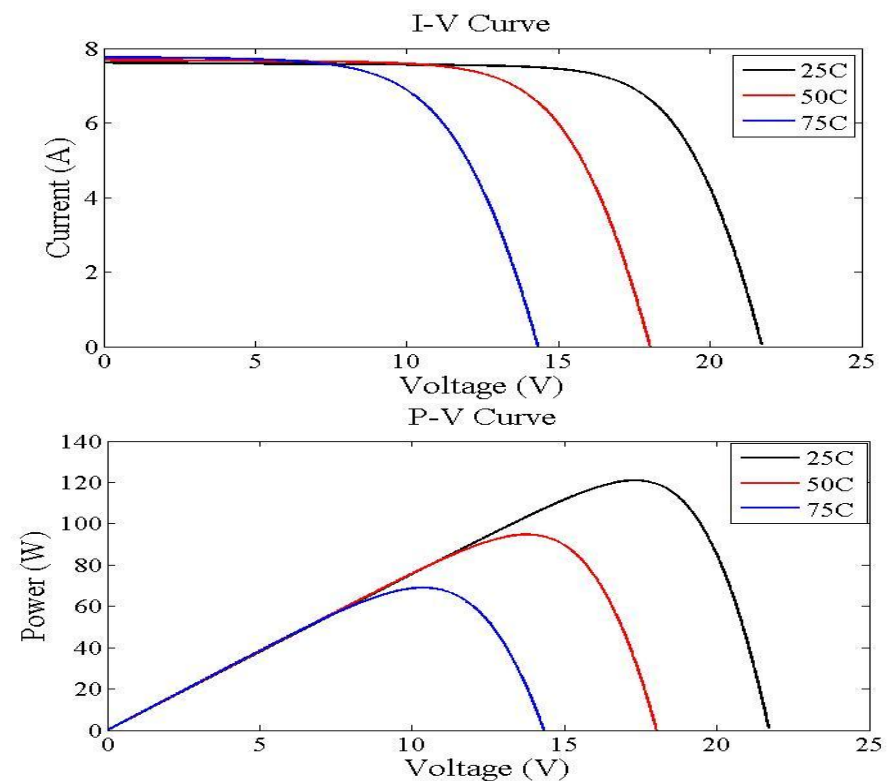
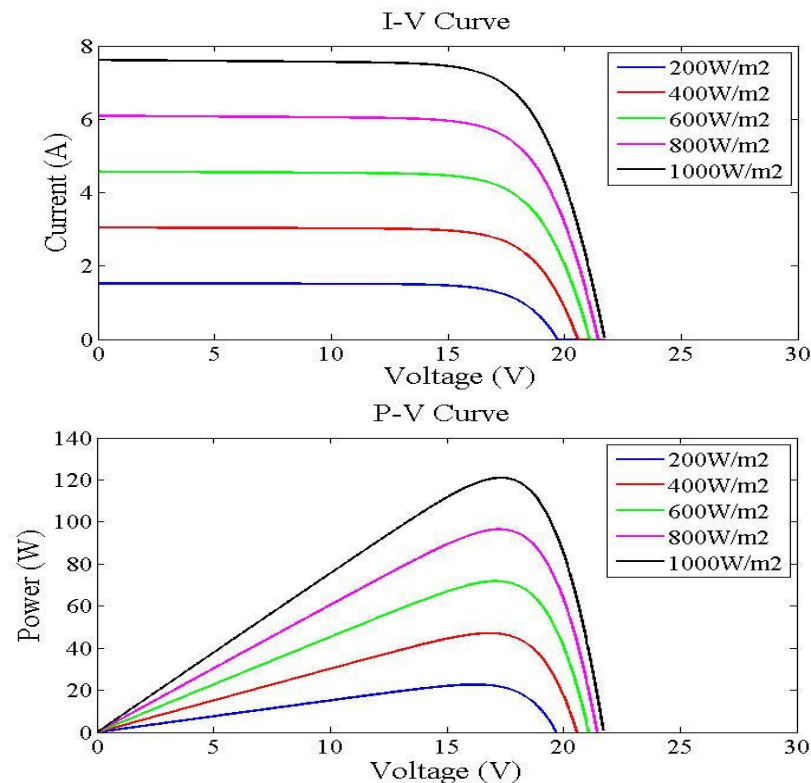


ภาคผนวก

5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลอง PVGS สามารถสร้างจาก พารามิเตอร์จากผู้ผลิตจำนวน 8 ตัว คือ V_{mpp} , I_{mpp} , P_{mpp} , V_{oc} , I_{sc} , K_p , K_v และ N_s และ พารามิเตอร์ที่ต้องหาเพิ่ม 4 ตัว คือ I_{ph} , I_o , R_s และ R_{sh} จึงจะสามารถหา ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน หรือ กำลังไฟฟ้าและแรงดันได้



5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลอง PVGS สามารถสร้างจาก พารามิเตอร์จากผู้ผลิตจำนวน 8 ตัว คือ V_{mpp} , I_{mpp} , P_{mpp} , V_{oc} , I_{sc} , K_p , K_v และ N_s และ พารามิเตอร์ที่ต้องหาเพิ่ม 4 ตัว คือ I_{ph} , I_o , R_s และ R_{sh} จึงจะสามารถหาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน หรือ กำลังไฟฟ้าและแรงดันได้

พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูลจากผู้ผลิต	โซลาร์ตรอน	เคียวเซร่า	General Solar Power
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{mpp})	120 (W)	200.143 (W)	100 (W)
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{mpp})	17.28 (V)	26.3 (V)	76 (V)
กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{mpp})	7 (A)	7.61 (A)	1.3 (A)
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc})	21.7 (V)	32.9 (V)	100 (V)
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})	7.45 (A)	8.21 (A)	1.64 (A)
ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (K_p)	0.0003 (A/°C)	0.00318 (A/°C)	0.0003 (A/°C)
ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (K_v)	-0.0074 (V/°C)	-0.123 (V/°C)	-0.42 (V/°C)
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (n_s)	36	54	119

5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ตัวอย่างข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์

Product		LEONICS APOLLO GTP-512	Satcon PVS-500-UL	Schneider XC 540-NA	SMA Sunny Central 630CP-US
Parameter					
Input	Maximum dc power (kW)	275	730	621	713
	DC voltage range (V)	400-700	333-600	440-800	500-820
	Maximum dc current (A)	688	1,565	1,280	1,350
Output	Maximum ac power (kVA)	250	500	540	630
	Nominal ac voltage (V)	400	480	300	315
	AC voltage range (V)	380-415	183-229	270-330	284-347
	Maximum ac current (A)	625	1388	1040	1283
	Frequency (Hz)	50, 60	60	50, 60	50, 60
	Power factor	0.9 – 1.0 lead/lag	0.8 – 1.0 lead/lag	0.8 – 1.0 lead/lag	0.8 – 1.0 lead/lag
η	Peak efficiency (%)	96.3	97.5	98.5	98.5
	Euro/CEC efficiency (%)	-/ -	-/ 97	98.3/ 98.5	98.3/ 98.0

5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

■ โหมดกำลังไฟฟารีแอกทีฟ

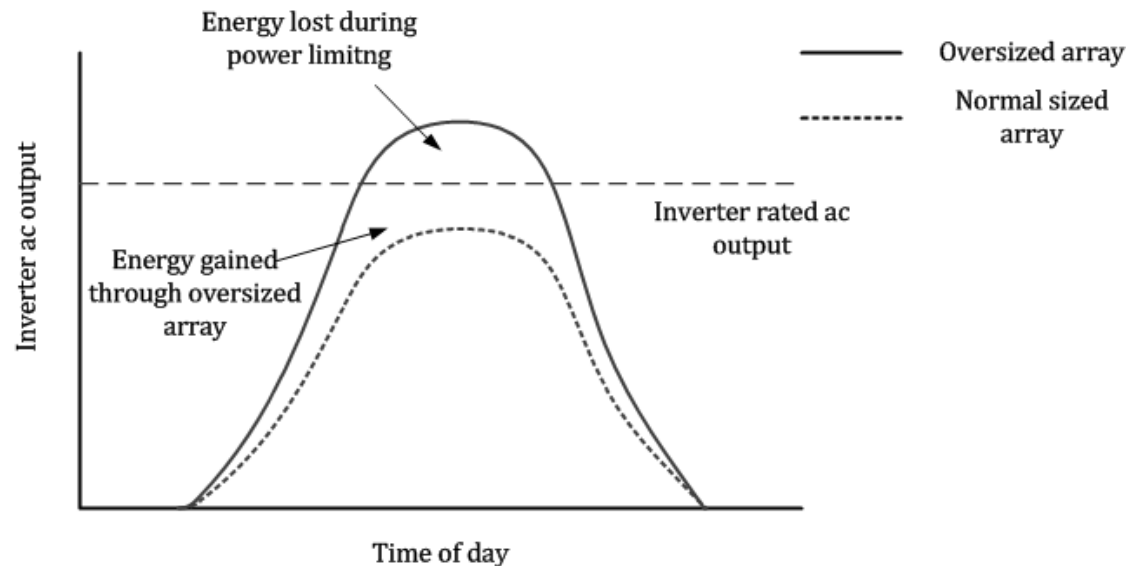
- ปรับการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ตามค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
- ปรับการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่
- ปรับการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ เป็นร้อยละของกำลังไฟฟ้าจริง
- ปรับการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยตรง
- ปรับการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ตามค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

■ โหมดการทำงานในเวลากลางคืน

5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

- กำหนดให้ $0.75 < PV\text{-}to\text{-}Inverter\text{ ratio} < 1.25$
 - หน่วยพลังงานไฟฟ้าที่มากกว่า
 - ต้นทุนค่าอินเวอร์เตอร์ที่ถูกกว่า
 - กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยกว่าค่าที่ระบุไว้



5. ระบบทดสอบสำหรับ Simulation

❖ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการทดสอบ

- กำลังการผลิตติดตั้งรวม 4.112 MW และกำลังการผลิตตามสัญญารวม 3.75 MW

ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท

General Solar Power จำกัด

พารามิเตอร์ของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น GSB100S33	
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{mpp})	100 (W)
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{mpp})	76 (V)
กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{mpp})	1.3 (A)
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc})	100 (V)
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	1.64 (A)
ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิ (K_i)	0.0003 (A/°C)
ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (K_v)	-0.42 (V/°C)
จำนวนของเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมเป็นโมดูล (n_s)	119

ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

Parameter		LEONICS APOLLO GTP-512
Input	Maximum dc power (kW)	275
	DC voltage range (V)	400-700
	Maximum dc current (A)	688
Output	Maximum ac power (kVA)	250
	Nominal ac voltage (V)	400
	AC voltage range (V)	380-415
	Maximum ac current (A)	625
	Frequency (Hz)	50, 60
	Power factor	0.9 – 1.0 lead/lag
η	Peak efficiency (%)	96.3
	Euro/CEC efficiency (%)	-/ -



ภาคผนวก

แนวคิดการคิดค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

❖ การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
ช่วงที่ PV ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจริงได้ (กลางคืน)

กรณีที่	ก่อนการทำงานของ อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	อุปกรณ์ที่ใช้รักษาระดับแรงดัน
0	ใช่	-
-1	ไม่ใช่	PV
-2	ไม่ใช่	อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ของการไฟฟ้า



ภาคผนวก

2. การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในระยะเวลา 1 เดือน
 - 2.1 การทดสอบการทำงานของ PV ในระยะเวลา 1 เดือน (มีการทำงานของอุปกรณ์รักษา
ระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า)
 - 2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ใน
ระยะเวลา 1 เดือน
 - 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุน
แรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน

2. การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในระยะเวลา 1 เดือน

2.1 การทดสอบการทำงานของ PV ในระยะเวลา 1 เดือน (มีการทำงานของอุปกรณ์รักษา ระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า)

- ระบบทดสอบ : ระบบโครงข่ายไฟฟ้า อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน
- โหลดรวมสูงสุด : 9.6 เมกะวัตต์ 4.65 เมกะวาร์
- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ : บัสที่ 14 / กำลังการผลิตตามสัญญา 3.75 เมกะวัตต์ / กำลังการผลิต สูงสุด 4.112 เมกะวัตต์
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ : บัสที่ 7 / กำลังการผลิต 1.2 เมกะวัตต์ 0.76 เมกะวาร์ / เดินเครื่อง 24 ชั่วโมง
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล : บัสที่ 15 / กำลังการผลิต 2 เมกะวัตต์ 1.5 เมกะวาร์ / เดินเครื่อง 18.00 – 22.30 น.
- ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า : กพน.1 / วันที่ 1 – 31 มีนาคม 2557
- ความเข้มแสงและอุณหภูมิ : ดาดฟ้าอาคารเจริญวิศวกรรม / วันที่ 1 – 31 มีนาคม 2557
- ในวันที่ 1-28 (สัปดาห์ที่ 1-4) : ระบบโครงข่ายไฟฟ้าทำงานตามปกติ
- ในวันที่ 29-31 (สัปดาห์ที่ 5) : มีการซ่อมบำรุงสายบัสที่ 12 (โหลดในบัสที่ 12 มีค่าเท่ากับศูนย์) ในระบบ โครงข่ายไฟฟ้า

❖ กรณีการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

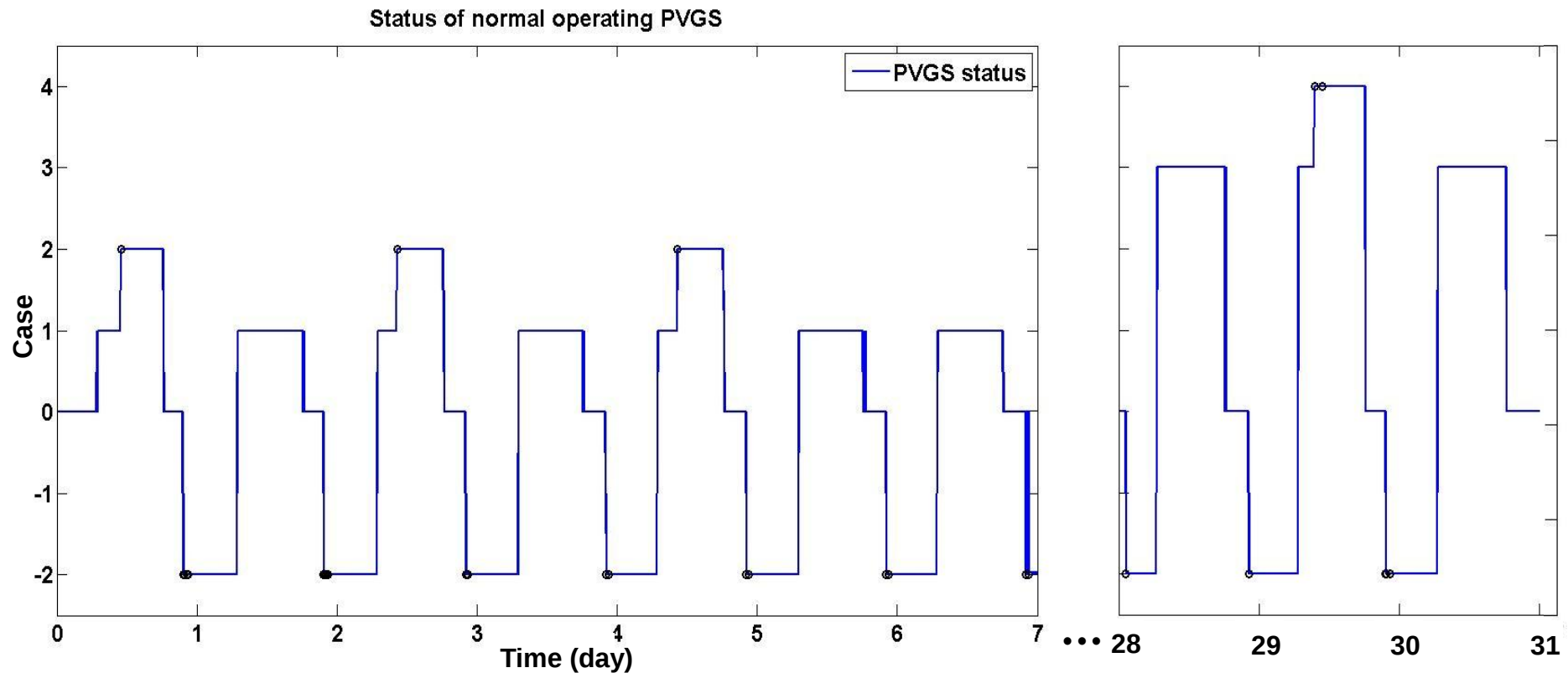
กรณี (case)	สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อของ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลังการเชื่อมต่อของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
1	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
2	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ
3	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
4	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ

❖ กรณีการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

- กรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจริงได้

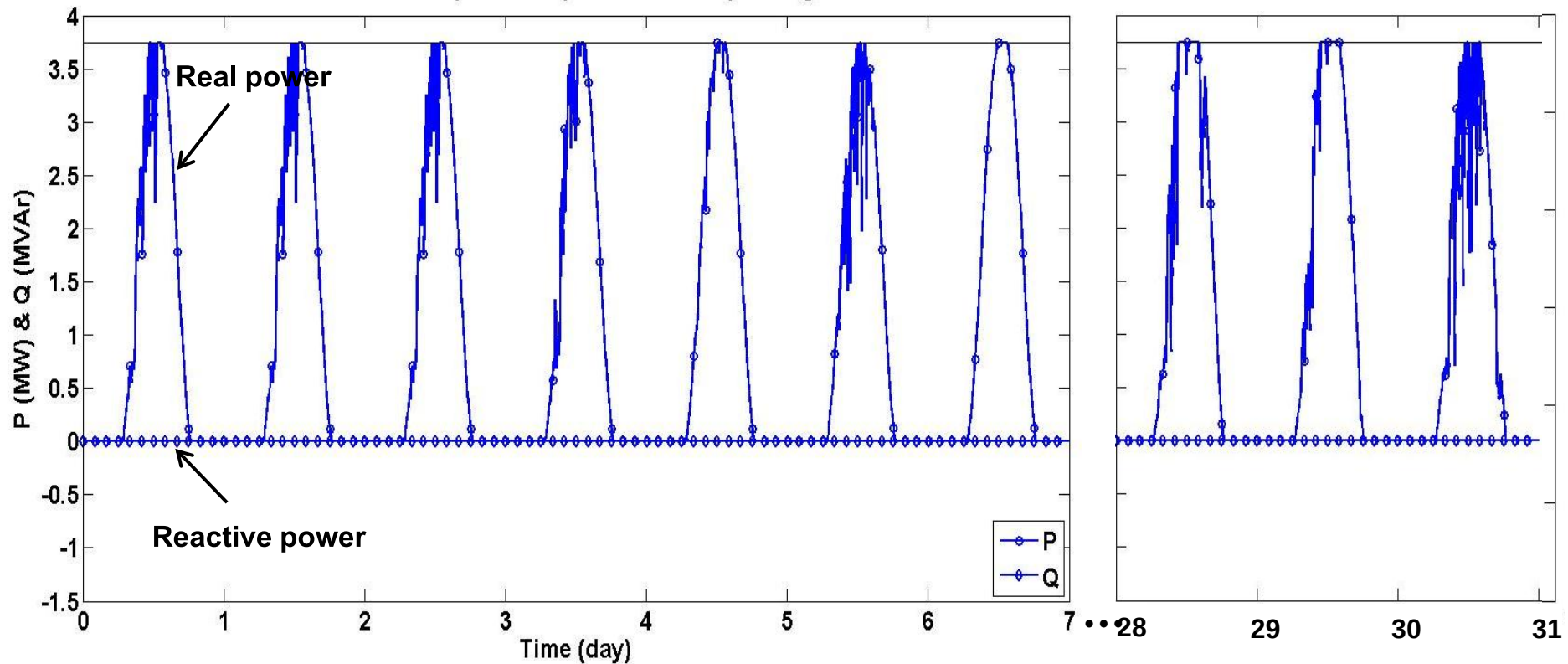
กรณี (case)	สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าก่อนการทำงานเพื่อ รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า	อุปกรณ์ที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของแรงดันไฟฟ้าปกติ
0	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	-
-1	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
-2	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า

2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน

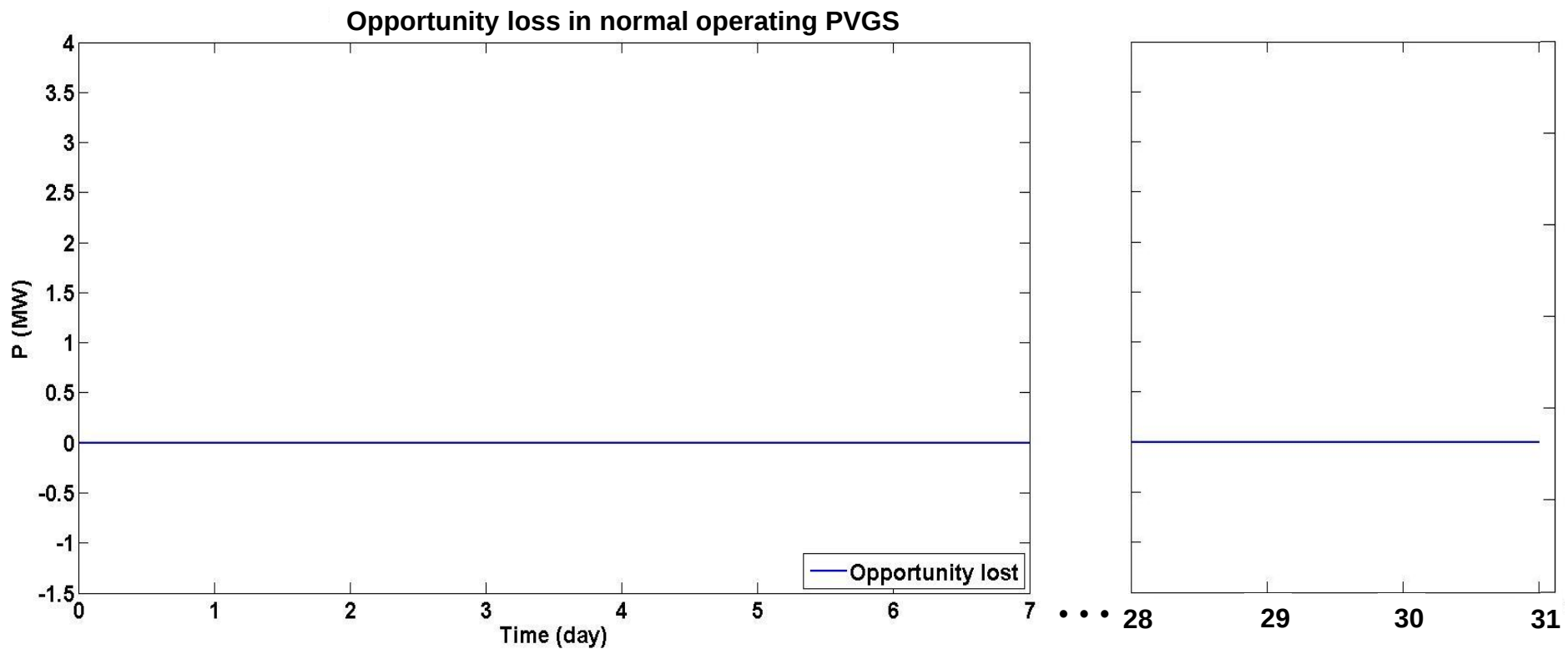


2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน

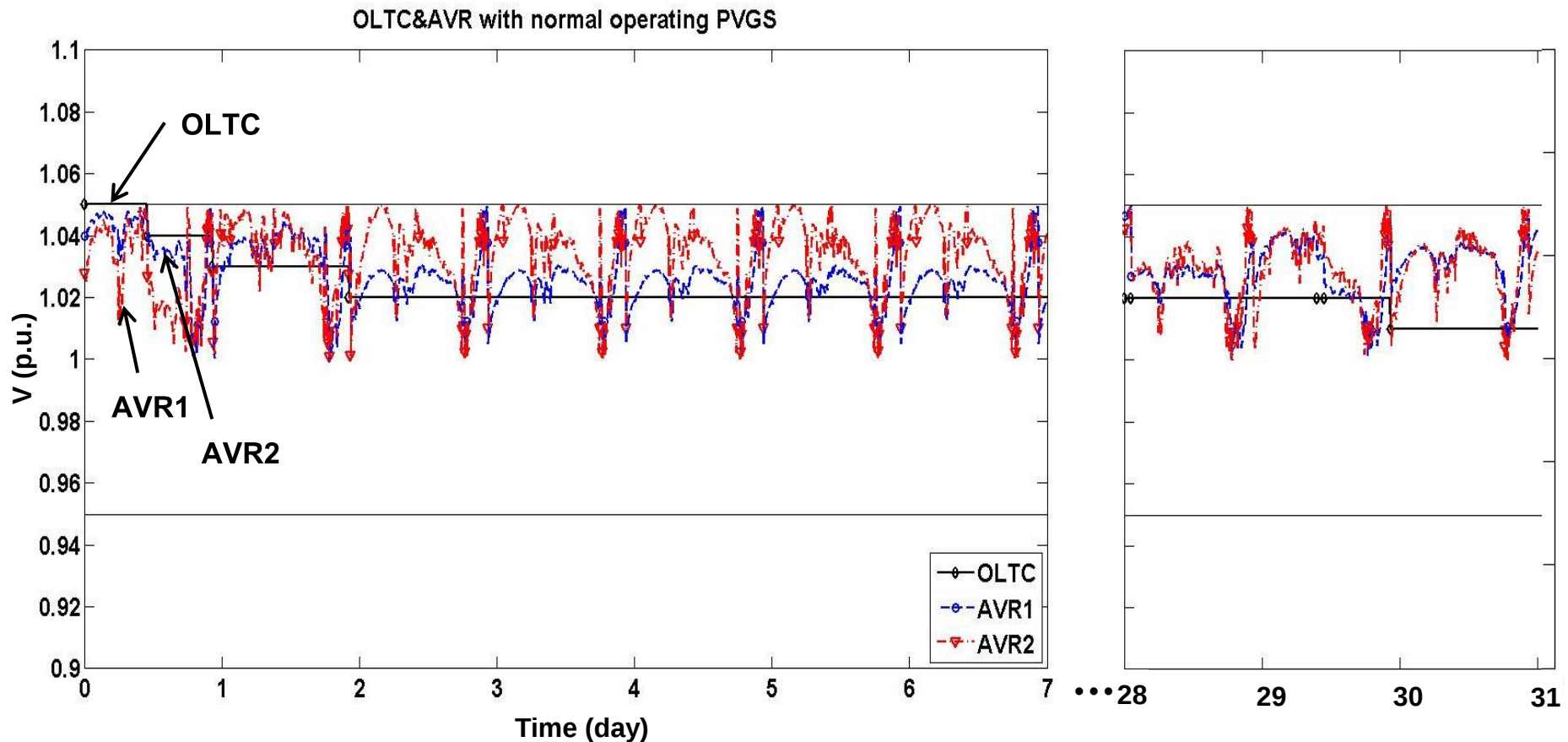
Real and reactive power output of normal operating PVGS



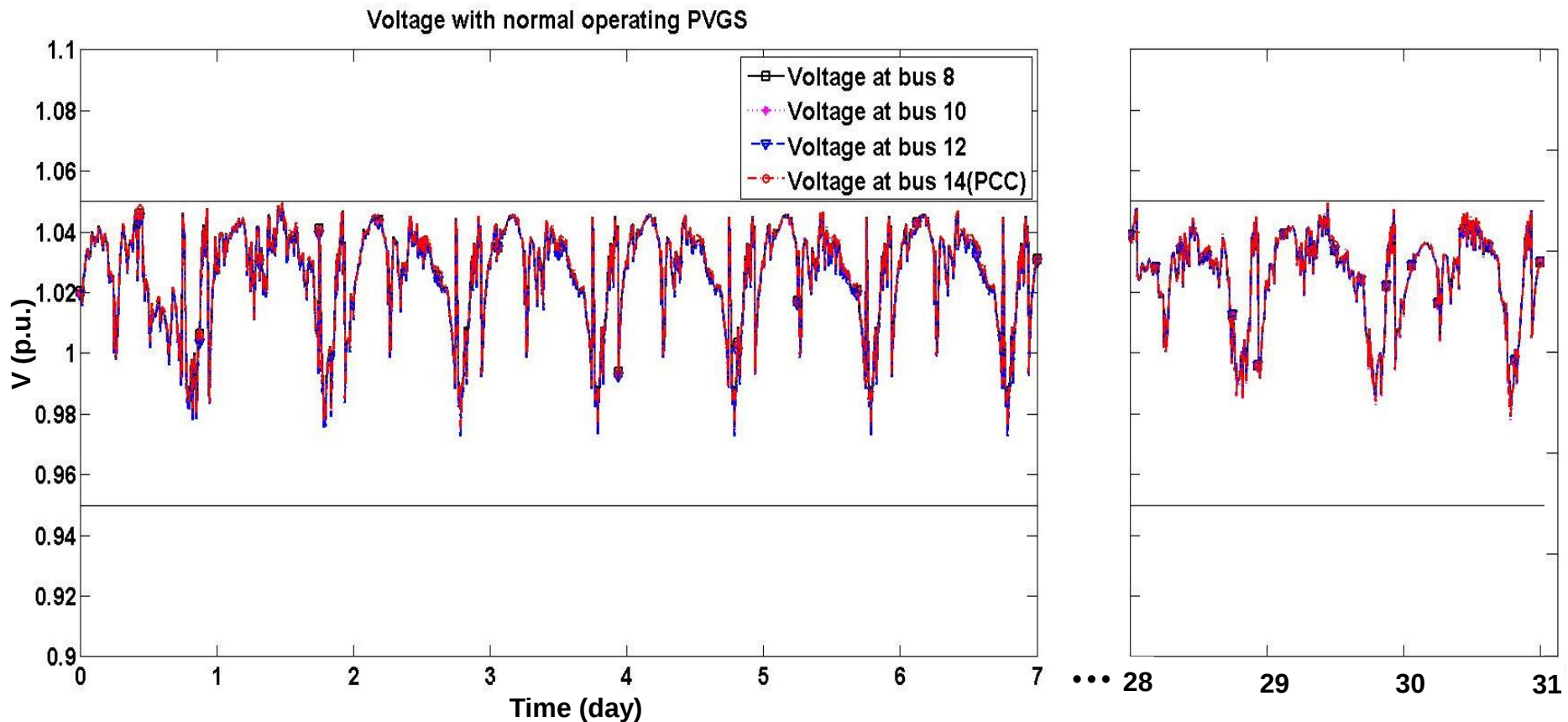
2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน



2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน



2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน



2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน

จำนวนครั้งของแต่ละกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงาน (ค่าฐานนิยมใน 15 นาที)

	$nCase_1$	$nCase_2$	$nCase_3$	$nCase_4$	$nCase_0$	$nCase_{-1}$	$nCase_{-2}$
สัปดาห์ที่ 1	222	93	0	0	137	0	220
สัปดาห์ที่ 2	172	147	0	0	141	0	212
สัปดาห์ที่ 3	248	61	0	0	147	0	216
สัปดาห์ที่ 4	194	127	0	0	138	0	213
สัปดาห์ที่ 5	0	0	105	213	58	0	91
รวม	836	428	105	213	621	0	952

2.1.1 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในระยะเวลา 1 เดือน

	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (หน่วย)	ค่าสูญเสียโอกาสจากการ ลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง (หน่วย)	ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ของการไฟฟ้า (เมกะวาร์)	ค่าปรับตัวประกอบ กำลังไฟฟ้า (เมกะวาร์)
สัปดาห์ที่ 1	131,581.15	0	0.08/0.12/0.12	0
สัปดาห์ที่ 2	119,302.82	0	0.08/0.08/0.08/0.12/0.12	
สัปดาห์ที่ 3	107,395.28	0	0.08/0.12	
สัปดาห์ที่ 4	123,917.50	0	0.08/0.12/0.08/0.12	
สัปดาห์ที่ 5	60,119.09	0	0	
รวม	542,315.09	0	-	0
คิดเป็นเงิน	5,894,965.03 บาท	0 บาท	54,175.38 บาท	0 บาท

❖ กรณีการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

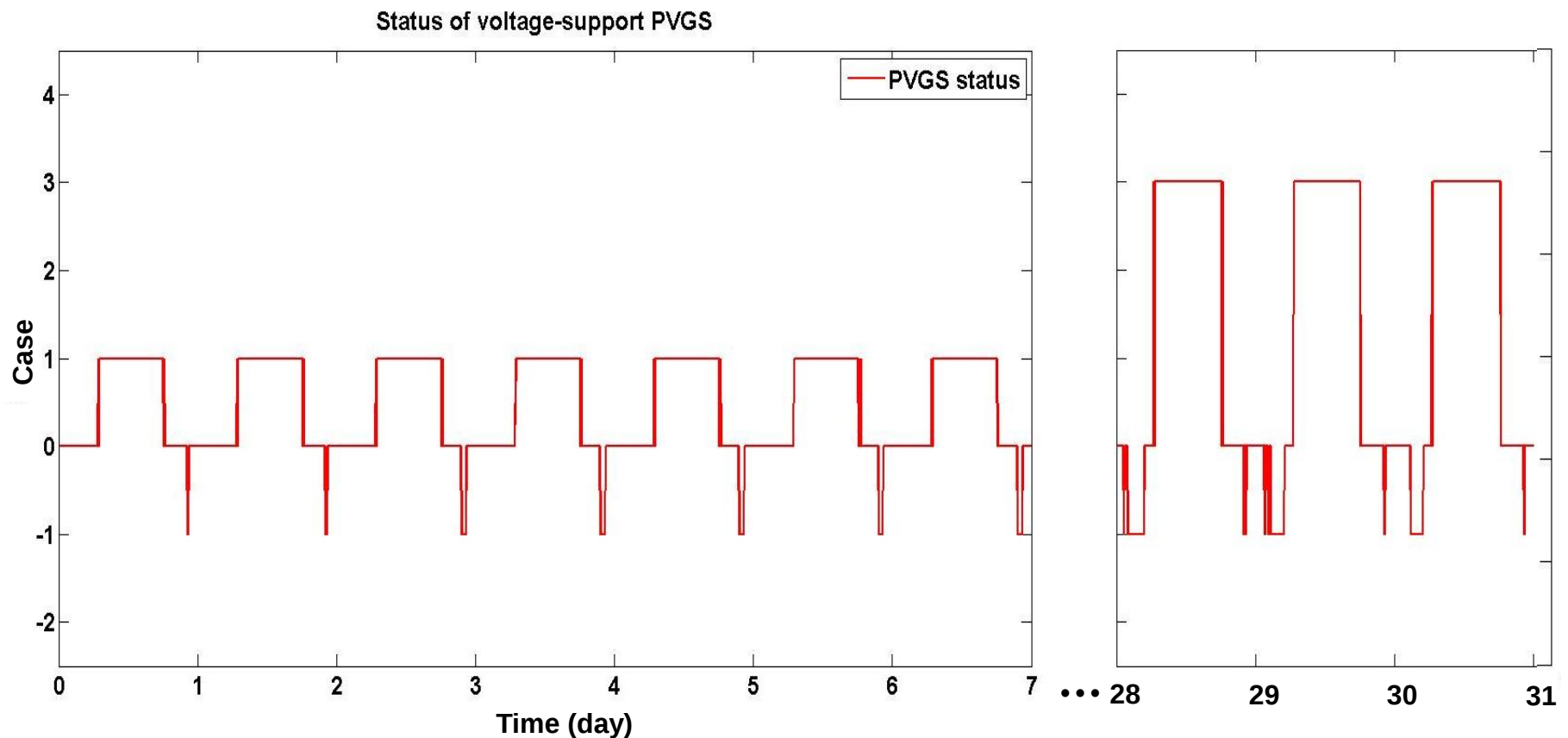
กรณี (case)	สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อของ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลังการเชื่อมต่อของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
1	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
2	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ
3	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับ แรงดันไฟฟ้าปกติ
4	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ

❖ กรณีการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

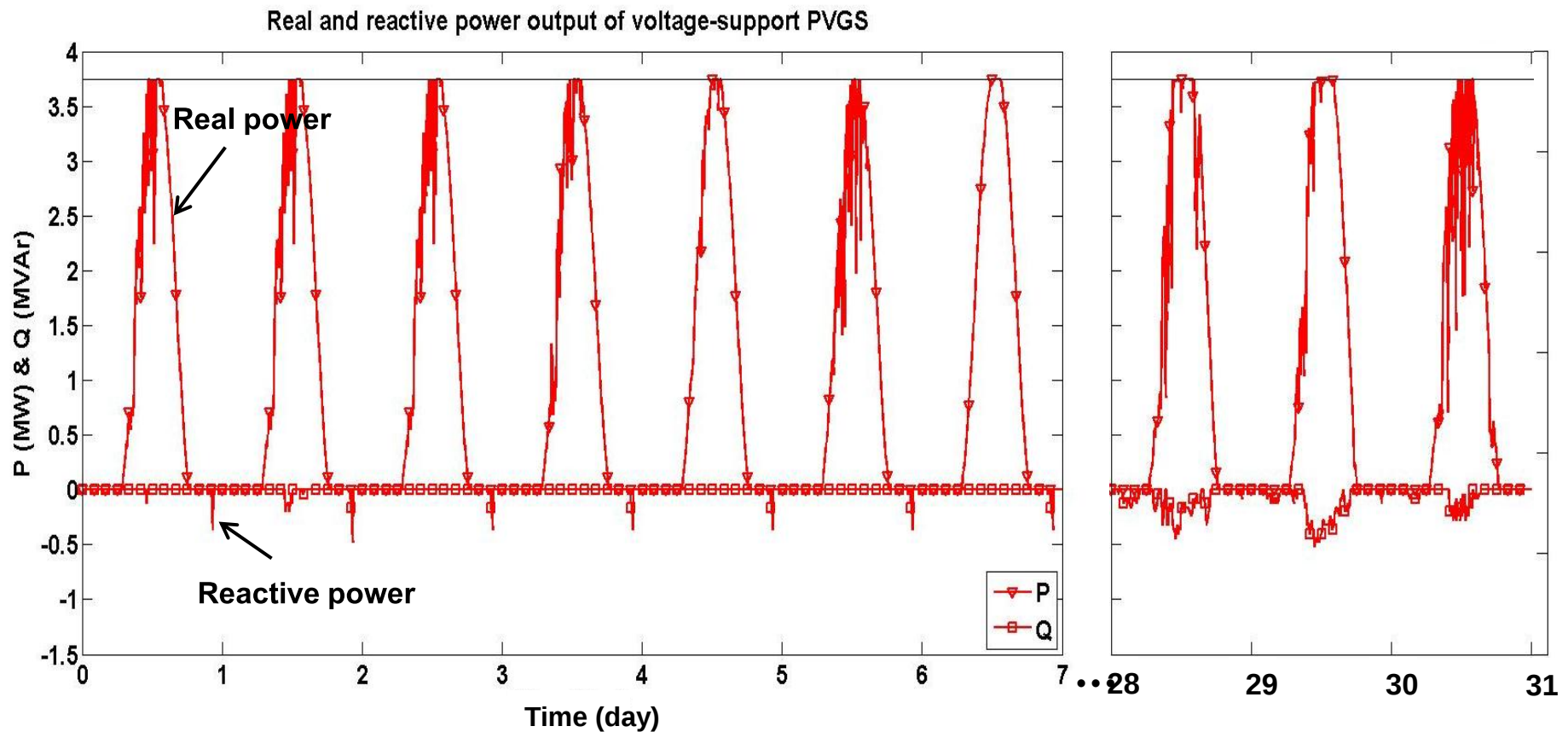
- กรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจริงได้

กรณี (case)	สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าก่อนการทำงานเพื่อ รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า	อุปกรณ์ที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของแรงดันไฟฟ้าปกติ
0	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	-
-1	ทุกบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของ ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
-2	บางบัสมีแรงดันไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 105 ของระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ	อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า

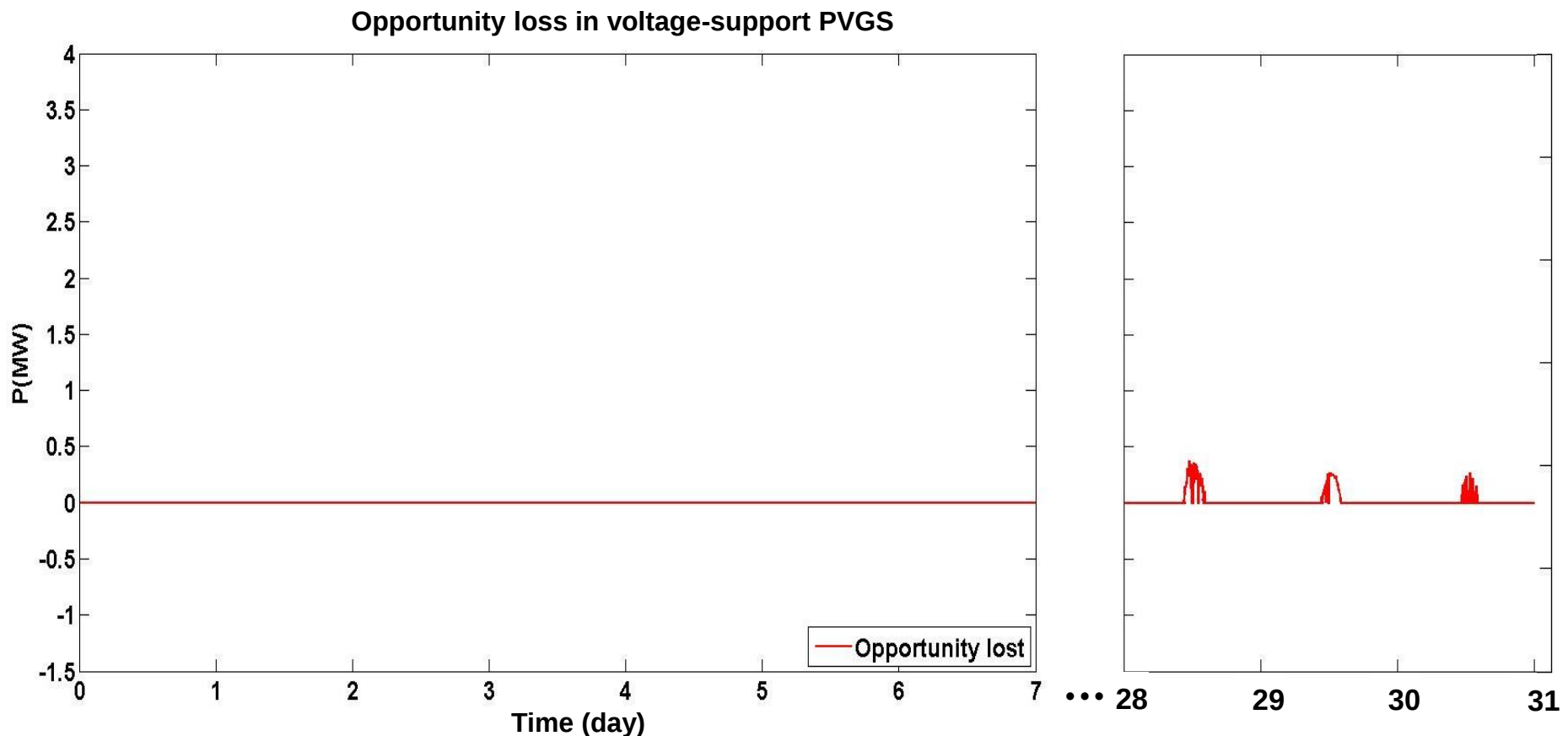
- 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน



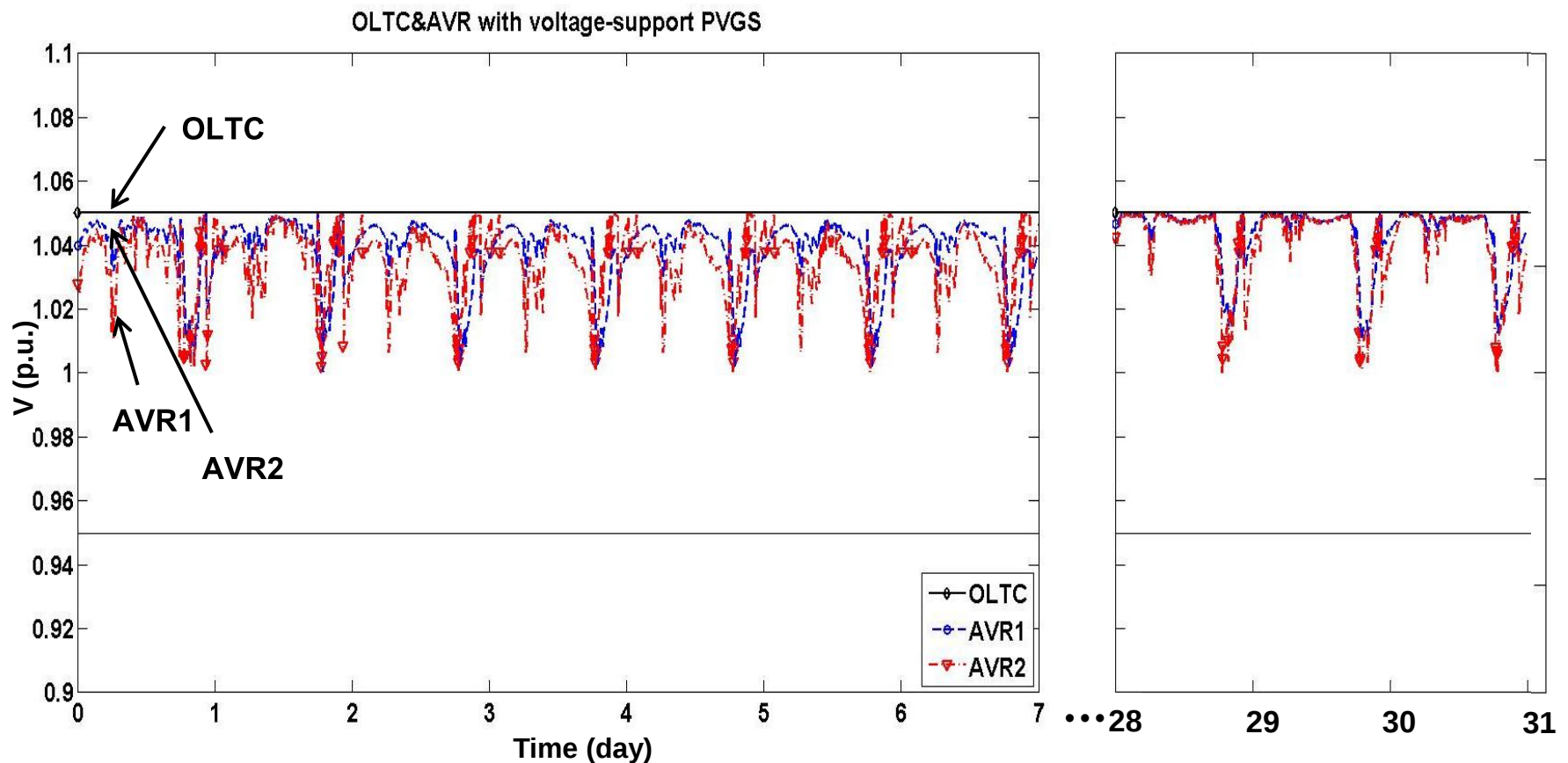
- 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน



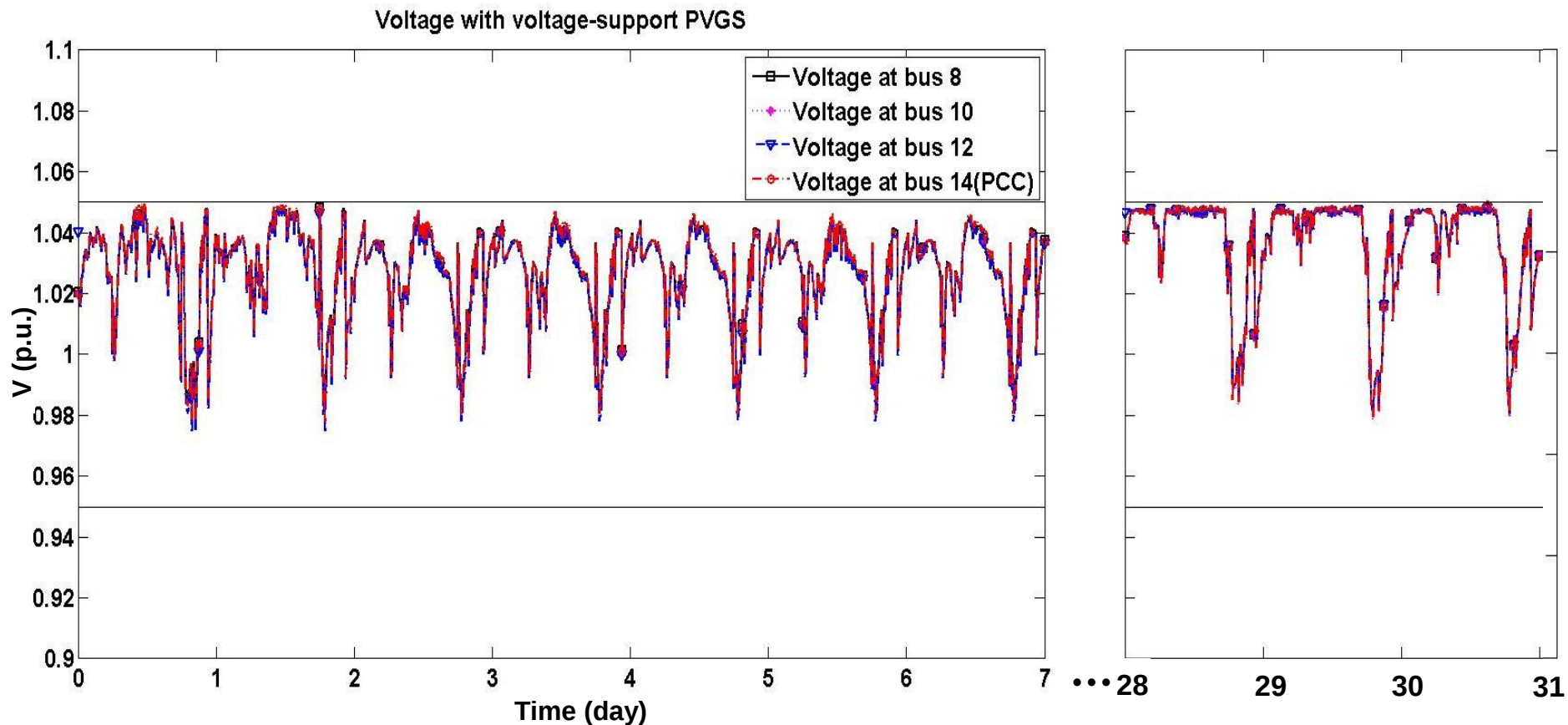
- 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน



- 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน



- 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน



- 2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน

จำนวนครั้งของแต่ละกรณีในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงาน (ค่าฐานนิยมใน 15 นาที)

	$nCase_1$	$nCase_2$	$nCase_3$	$nCase_4$	$nCase_0$	$nCase_{-1}$	$nCase_{-2}$
สัปดาห์ที่ 1	319	0	0	0	329	24	0
สัปดาห์ที่ 2	317	0	0	0	332	23	0
สัปดาห์ที่ 3	310	0	0	0	338	24	0
สัปดาห์ที่ 4	323	0	0	0	328	21	0
สัปดาห์ที่ 5	0	0	140	0	113	35	0
รวม	1,269	0	140	0	1,436	131	0

2.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 เดือน

	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (หน่วย)	ค่าสูญเสียโอกาสจากการ ลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง (หน่วย)	ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ของการไฟฟ้า (เมกะวาร์)	ค่าปรับตัวประกอบ กำลังไฟฟ้า (เมกะวาร์)
สัปดาห์ที่ 1	131,580.40	0	0	0.2
สัปดาห์ที่ 2	119,302.82	0	0	
สัปดาห์ที่ 3	107,395.28	0	0	
สัปดาห์ที่ 4	123,917.50	0	0	
สัปดาห์ที่ 5	58,674.20	1,444.89	0	
รวม	540,870.20	1,444.89	-	0.2
คิดเป็นเงิน	5,879,259.08 บาท	15,705.95 บาท	0 บาท	9,476.67 บาท

2. การทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในระยะเวลา 1 เดือน

2.1 การทดสอบการทำงานของ PV ในระยะเวลา 1 เดือน (มีการทำงานของอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า)

เปรียบเทียบผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 เดือน

		พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	ค่าสูญเสียโอกาสจากการลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง	ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า	ค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
PV ในปัจจุบัน (1)	คิดเป็นเงิน	5,894,965.03 บาท (a)	0 บาท	54,175.38 บาท (b)	0 บาท
PV ที่มีการสนับสนุนแรงดันไฟฟ้า (2)	คิดเป็นเงิน	5,879,259.08 บาท (c)	15,705.95 บาท (d)	0 บาท	9,476.67 บาท (e)
(2)-(1)	คิดเป็นเงิน	-15,705.95 บาท	15,705.95 บาท	-54,175.38 บาท	9,476.67 บาท

	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน (1)	ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สนับสนุนแรงดันไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า (2)
รวมรายได้ของ PV คิดเป็นเงิน (หรือ รวมรายจ่ายของการไฟฟ้า)	(a) หรือ (a)-(b) หรือ อื่นๆ	(a) หรือ (a)+(d) หรือ (a)-(e) หรือ (a)+(d)-(e) หรือ (a)+(d)+(e) อื่นๆ

*** Combination ของ (a), (b), (c), (d), (e) เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น

*** สิ่งที่ต้องพิจารณาให้เห็น คือ รายรับและรายจ่ายในความเป็นจริงจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้, ค่าสูญเสียโอกาสจากการลดลงของกำลังไฟฟ้าจริง, ค่ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า (ตัวอย่างหนึ่งของ Power System Costs ที่มีอยู่แล้ว), ค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



British Embassy
Bangkok



Department of Alternative
Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY

จบการนำเสนอ
ขอบคุณครับ

