



Reactive Power and Ancillary Services for Volatile Power from Renewables

สัมมนา “การควบคุมกำลังรีแอคทีฟไฟฟ้า
เพื่อสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์”

โดยสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ณ โรงแรมโนโวเทล สยามสแควร์



ดร. จิระ อาชายุทธการ
ฝ่ายสัญญาซื้อขายไฟฟ้า
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

20 มกราคม 2558

หัวข้อการบรรยาย

Renewables and Volatile Power Observation

Reactive Power: What Is? Control and Pricing

Ancillary Services / Smart Grid: ชวนคิด

สรุป -- เสนอ



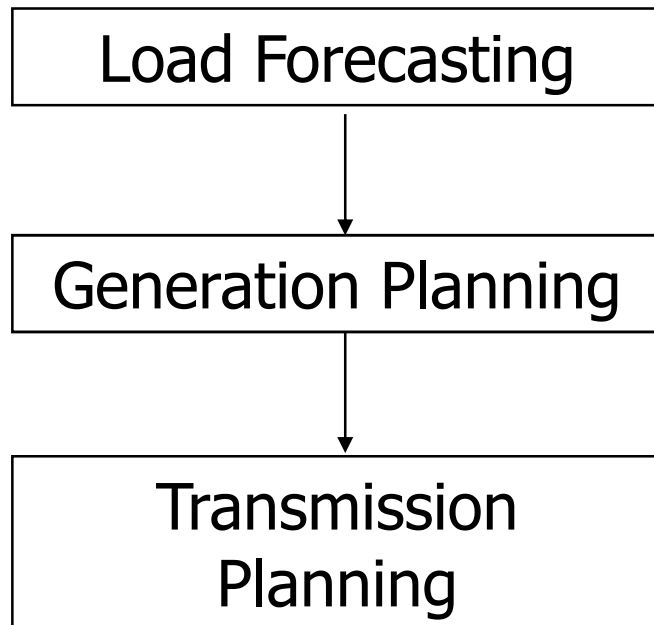
Renewables and Volatile Power Observation

การส่งเสริมพลังงานหมุนเวียน

Key Drivers	Concerns
ฟอสซิลจะหมด ??	ใช้พื้นที่มาก
ขีดจำกัด Emissions	ต้นทุนสูงในปัจจุบัน
	Intermittency (PV+WT)
	Gen. and T&D
	Expansion Planning

Renewables Penetration and Gap between Planning

Conventional [National]
Planning Process



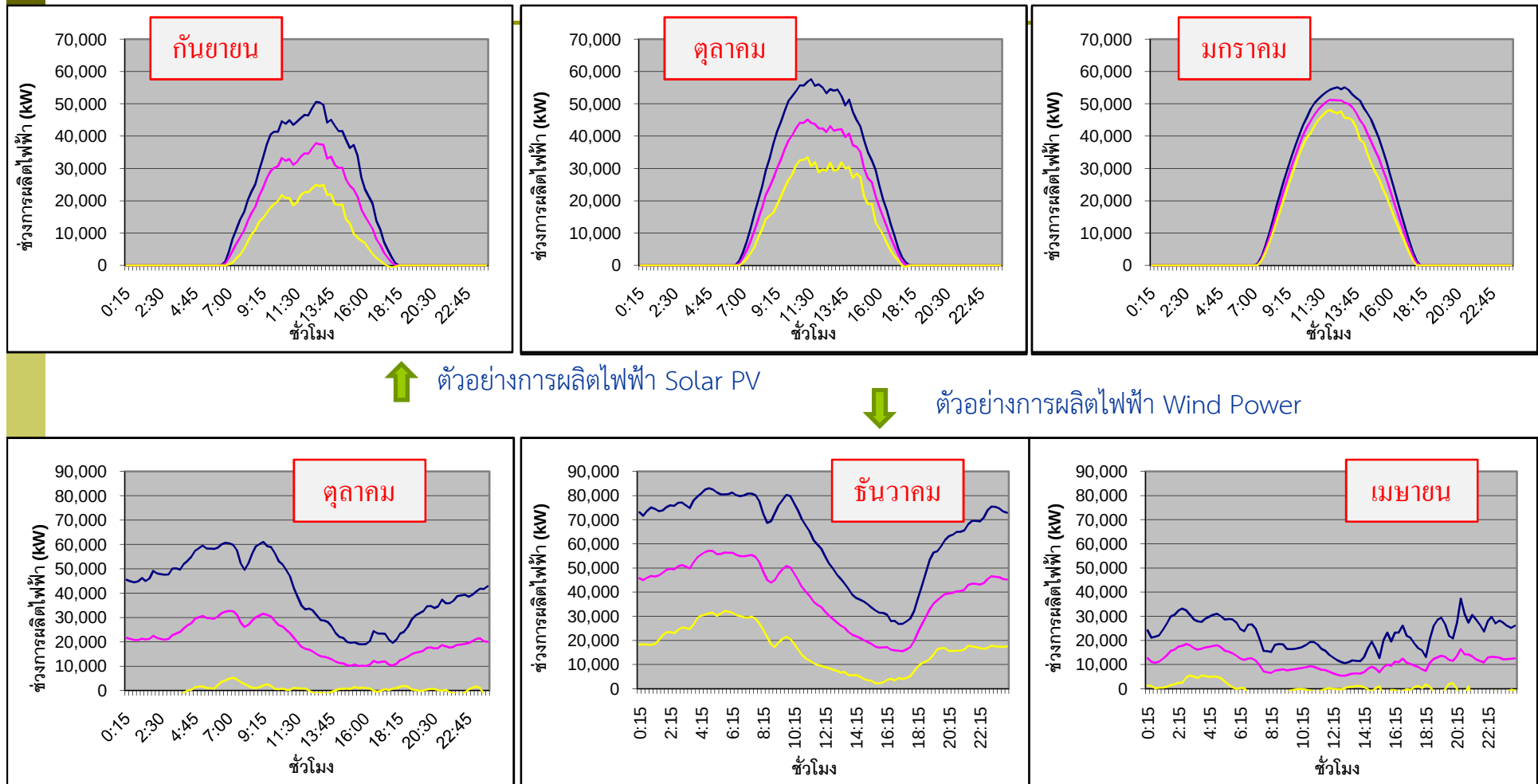
Lead Time of Planning
and Construction

Generation	T&D
CCGT: 3-4 Years	Transmission: 5-8 Years
Coal: 5-7 Years	
Nuke: 15-20 Yrs	
Biomass: 2-4 Years	Distribution: 1-3 Years
Wind & Solar: 1-3 Years	

เส้นการผลิตไฟฟ้าประจำวัน

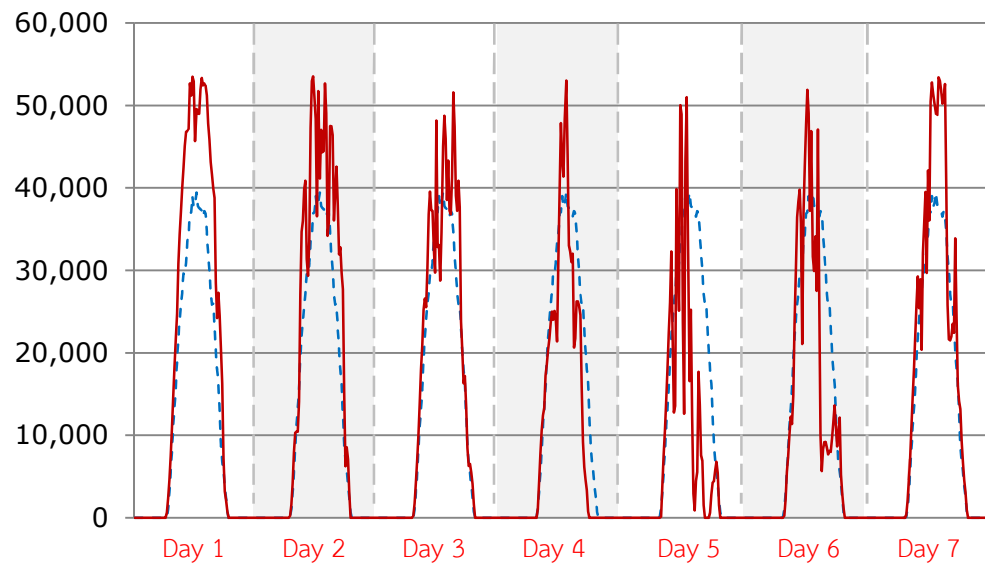
— เฉลี่ย + 1 S.D.
— เฉลี่ย
— เฉลี่ย - 1 S.D.

ความแปรปรวนในการผลิตไฟฟ้า: แสงอาทิตย์+ลม



- ☐ ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จะเกิดช่วง Peak Period และมีความเบี่ยงเบนต่ำในฤดูหนาว (เช่น มกราคม)
- ☐ ไฟฟ้าพลังลม มักเกิดในช่วง Off-peak Period และมีความเบี่ยงเบนสูง ทั้งในแต่ละวัน และระหว่างเดือน

ความแปรปรวนในการผลิตไฟฟ้า — ข้อมูลจริง

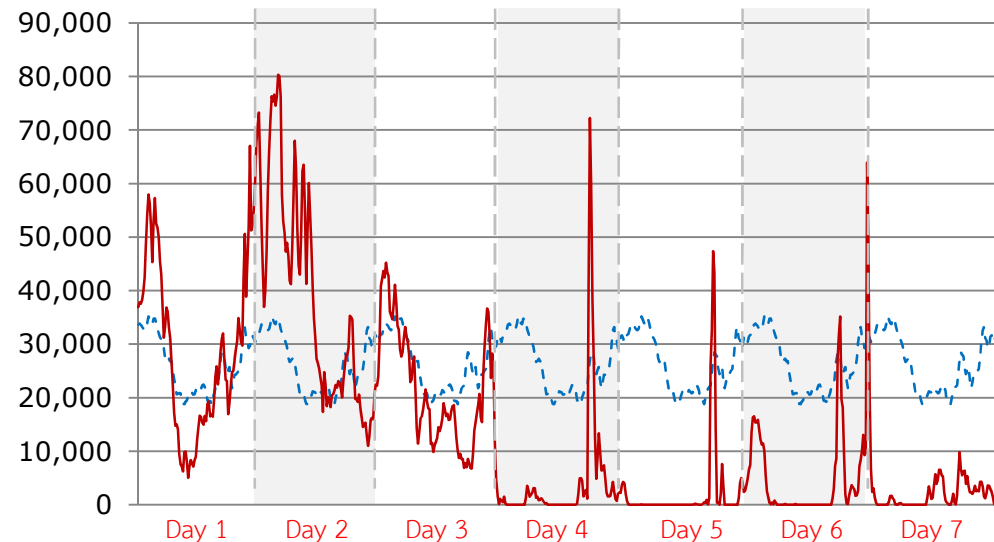


--- การผลิตไฟฟ้าตามเวลา เฉลี่ยรายเดือน
— การผลิตไฟฟ้าจริง

การผลิตไฟฟ้าพลังลม
7 วัน เทียบกับเฉลี่ย

การผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์
7 วัน เทียบกับเฉลี่ย

การเดินเครื่องจริง ไม่ได้อยู่
บนเส้นที่แปรปรวนจาก
ค่าเฉลี่ยเดียวกัน ตลอดทั้งวัน



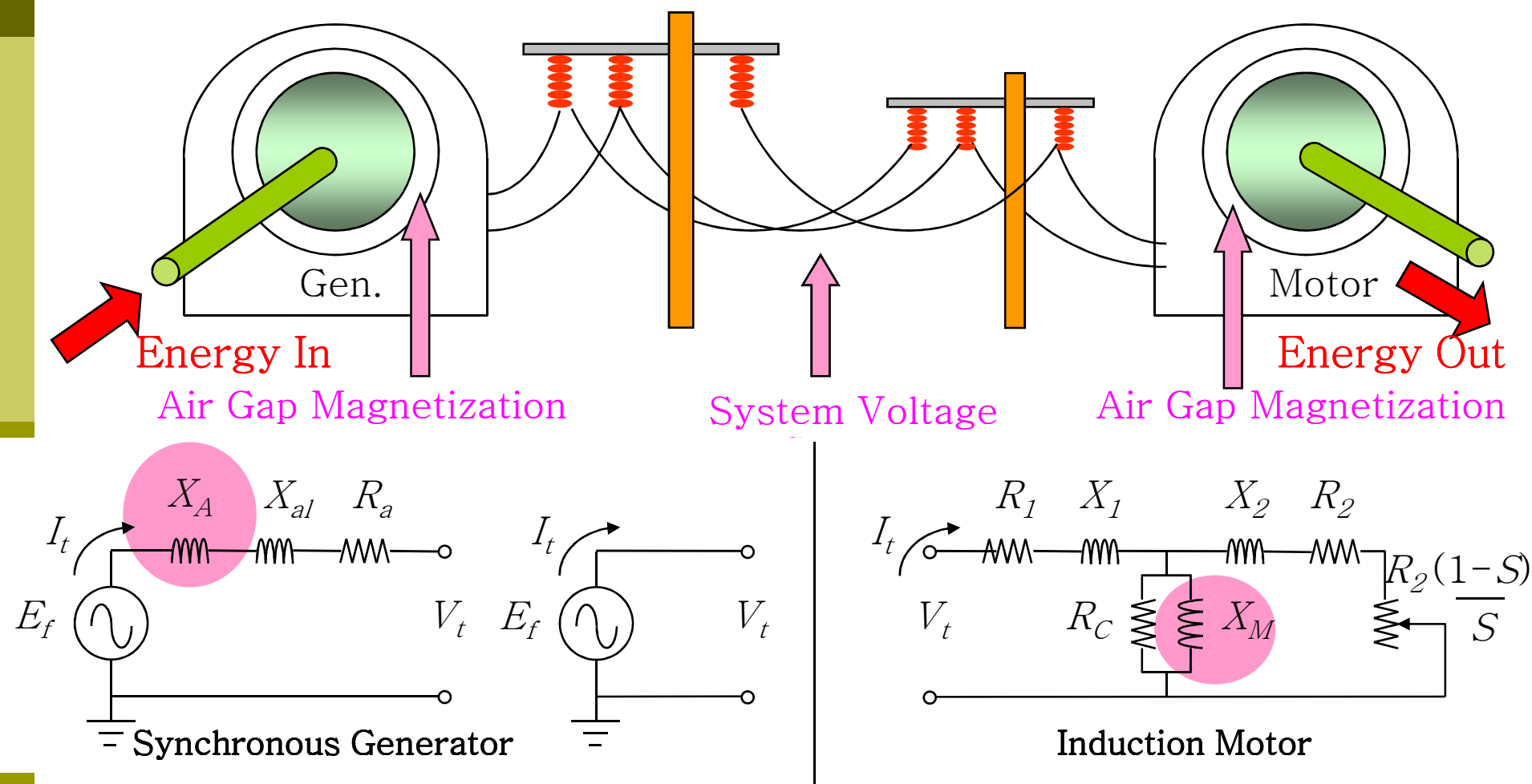


Reactive Power:

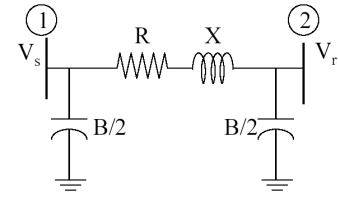
What Is?

Essences of Reactive Power

Reactive power plays very important roles for ENERGY TRANSMISSION.



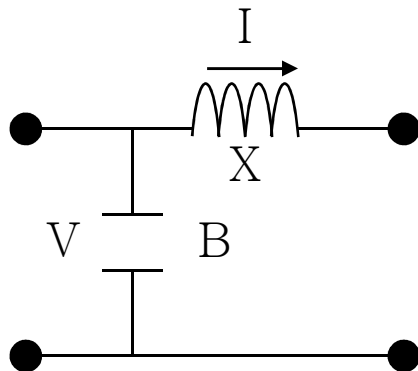
Surge Impedance Load (SIL)



SIL is the amount of power flow that makes network having:

Reactive Power Produced = Reactive Power Absorbed

Or, Net Reactive Power in the Network = 0.



$$I^2 X = V^2 B$$

$$(V / I) = Z_0 = \sqrt{\frac{X}{B}}$$

$$SIL = I * V = V^2 * \sqrt{\frac{B}{X}} = \frac{V^2}{\sqrt{L / C}}$$

SIL can be calculated using the Ω/km of X and the Ω^{-1}/km of B without need to know its line length.

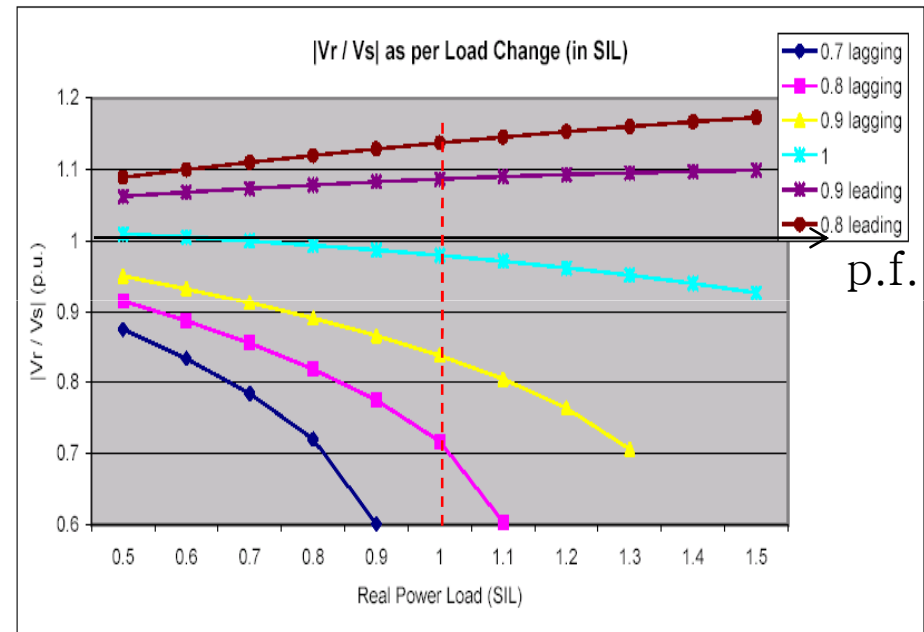
In practical, the line capacity is $2.5 * SIL$.

SIL → Loading

Qloss vs. Loading (n×SIL)

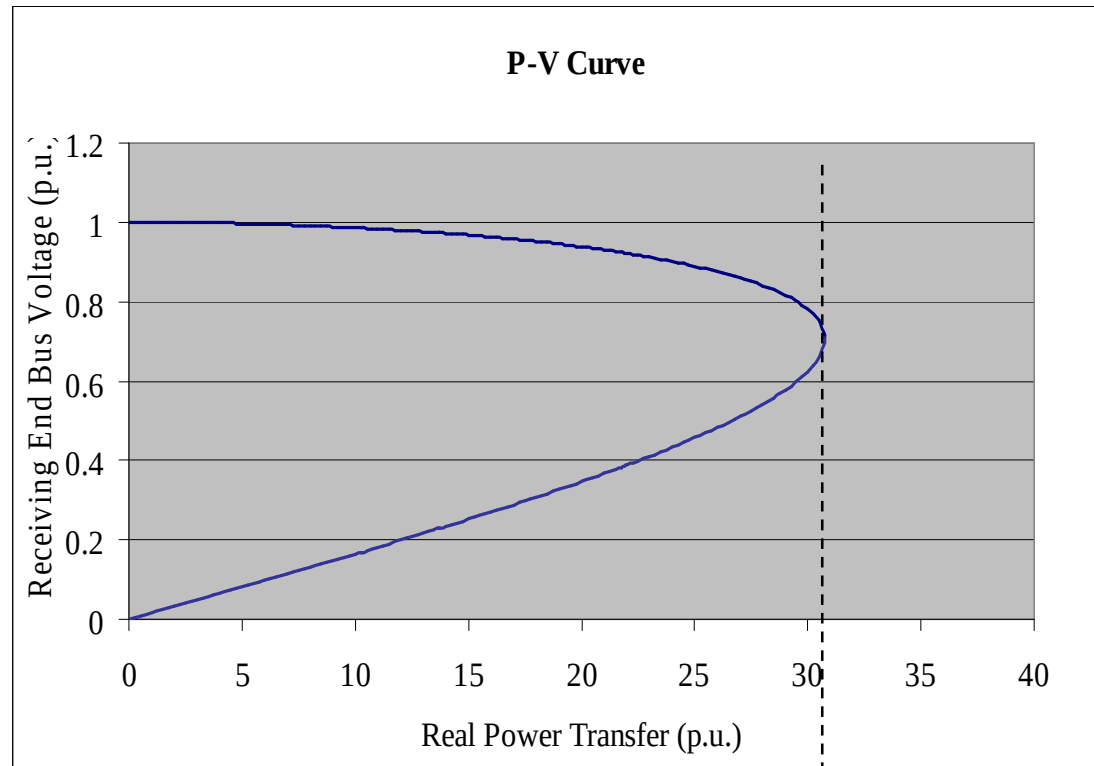
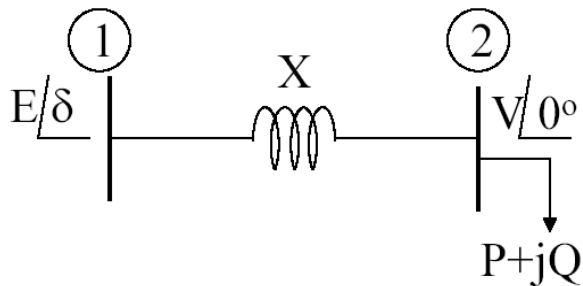


Voltage Profile vs. Loading (n×SIL)



- ในช่วง Light Load (Load < 1.0 SIL) สายส่งผลิตรีแอกทีฟเพาเวอร์ ($Q_{loss} < 0$)
- ค่า Load Power Factor ไม่สามารถสื่อสารถึงคุณค่า หรือผลกระทบต่อระบบได้ชัด/ตรงๆ
- ขนาดของ Loading มีผลต่อสภาพระบบไฟฟ้า (Q and V) อย่างมีนัยสำคัญ

P-V Curve Analysis

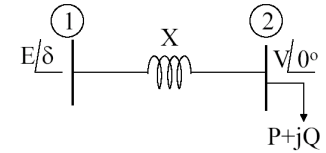


$$P = |E| |V| / X \sin(\delta)$$

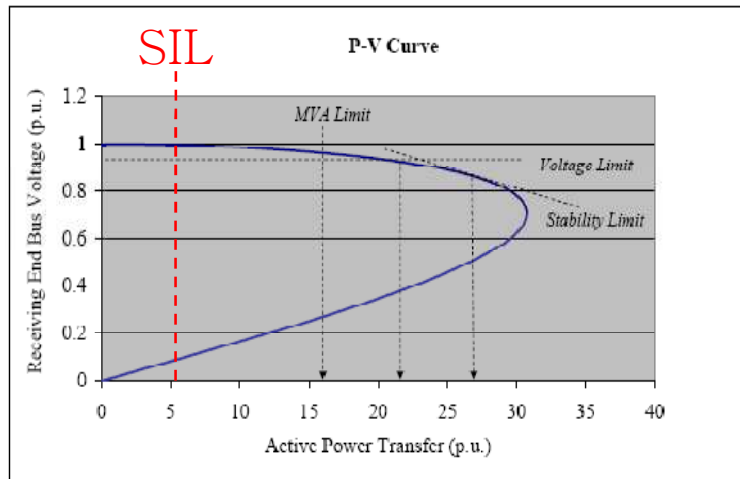
$$Q = |E| |V| / X \cos(\delta) - |V|^2 / X$$

$$|V|^2 = [PX / |E|]^2 + [(QX + |V|^2) / |E|]^2$$

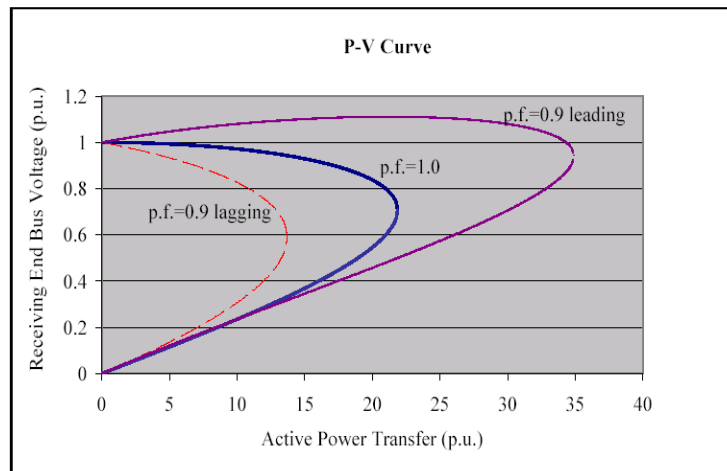
Steady State
Voltage Stability



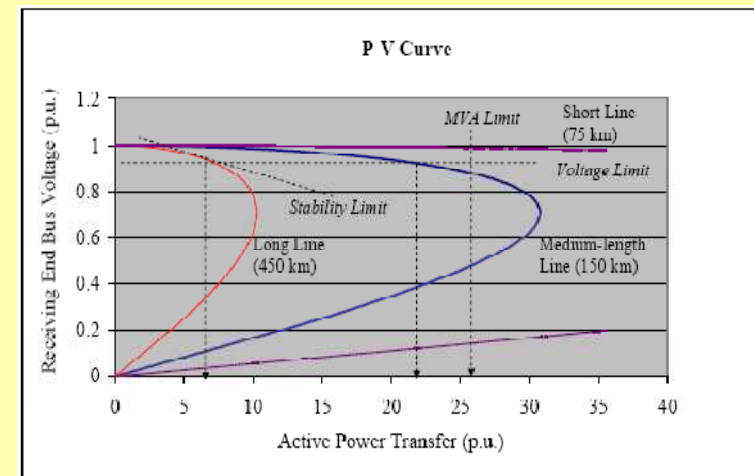
Transfer Capability – Single Circuit



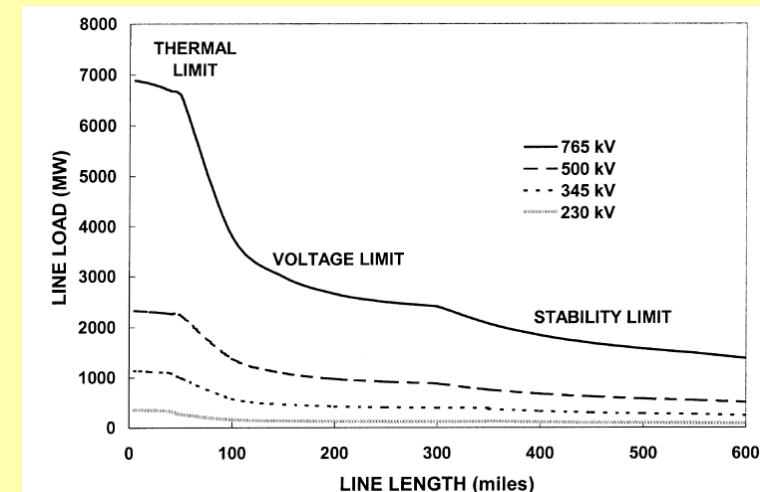
Thermal, Voltage, and Stability Limits



Power Factor of Load @ Receiving End



Line Length



สายส่งยาวๆ จึงควรมี Reactive Support

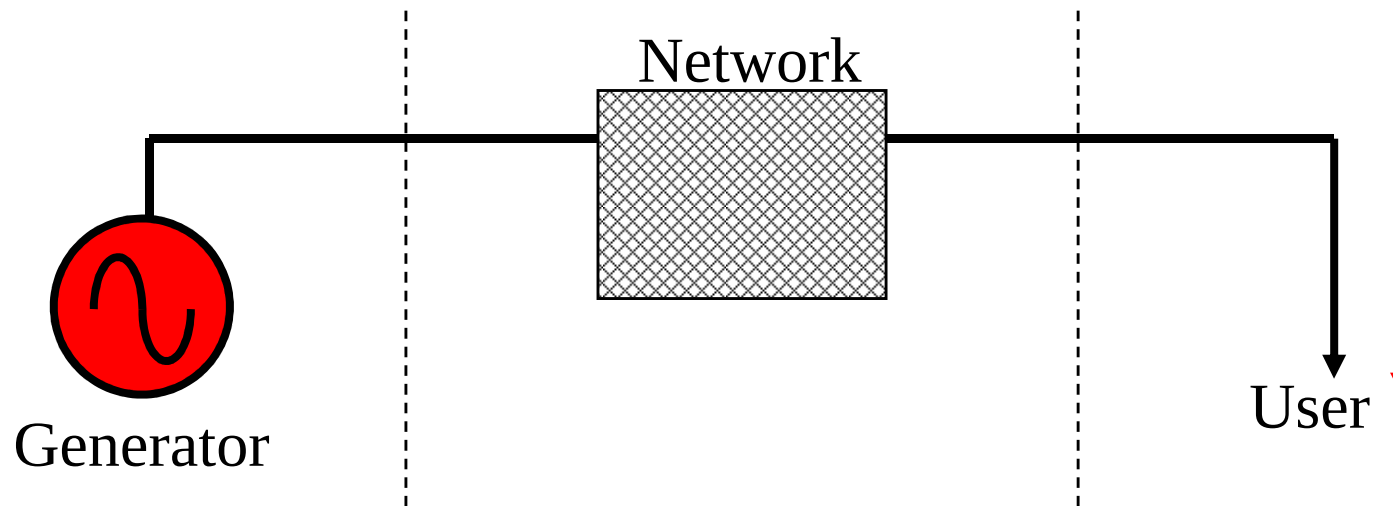
Reactive Power for ORPD

□ 'Optimal Reactive Power Dispatch' as One of Optimization Problems

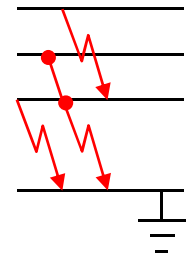
Objective:	Loss minimization
Subject to:	Power flow equations and limits
Control variables:	Generator's reactive power production (Q_G)

Optimization problem can be used for
a kind spot pricing.

What requires Reactive Power?



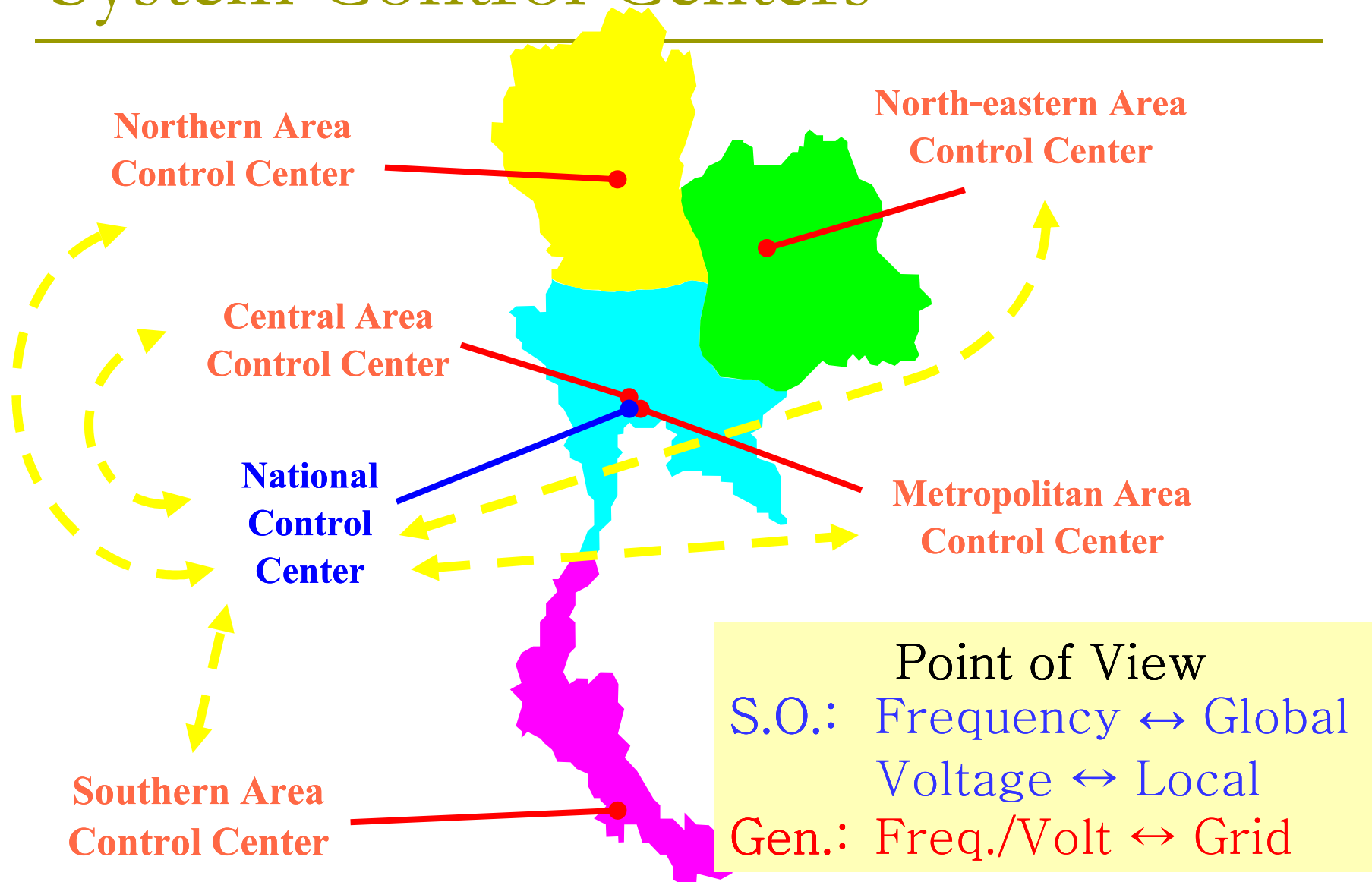
- (1) Direct consumption (loads) and network elements.
- (2) Loading— security and stability.
- (3) Economic benefit: loss minimization, transfer capability enhancement.
- (4) Current feeding fault.





Reactive Power: Control and Pricing

System Control Centers



National Control Center

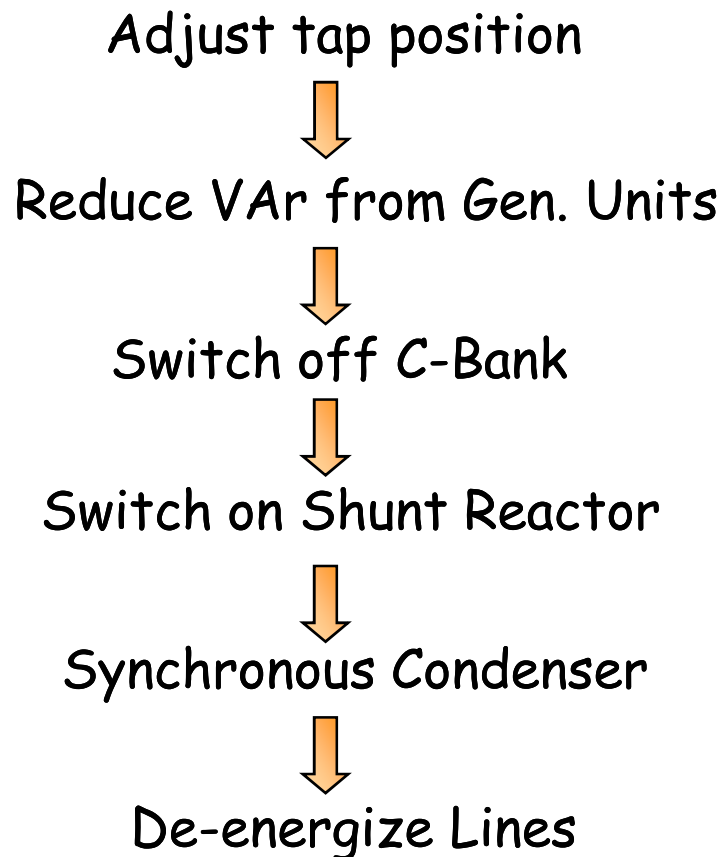
- Economic Dispatch
- Compliance with Irrigation Plan
- Subject to Fuel and Environmental Limits
- Energy Balance
- Frequency Control and Spinning Reserve
- Tie Line Flow and Power Flow ($n-1$)
- Voltage Control for 230 kV or more
- Switching Supervision
- Contact with IPP, SPP, PTT, etc.
- System Restoration

Regional Area Control Centers

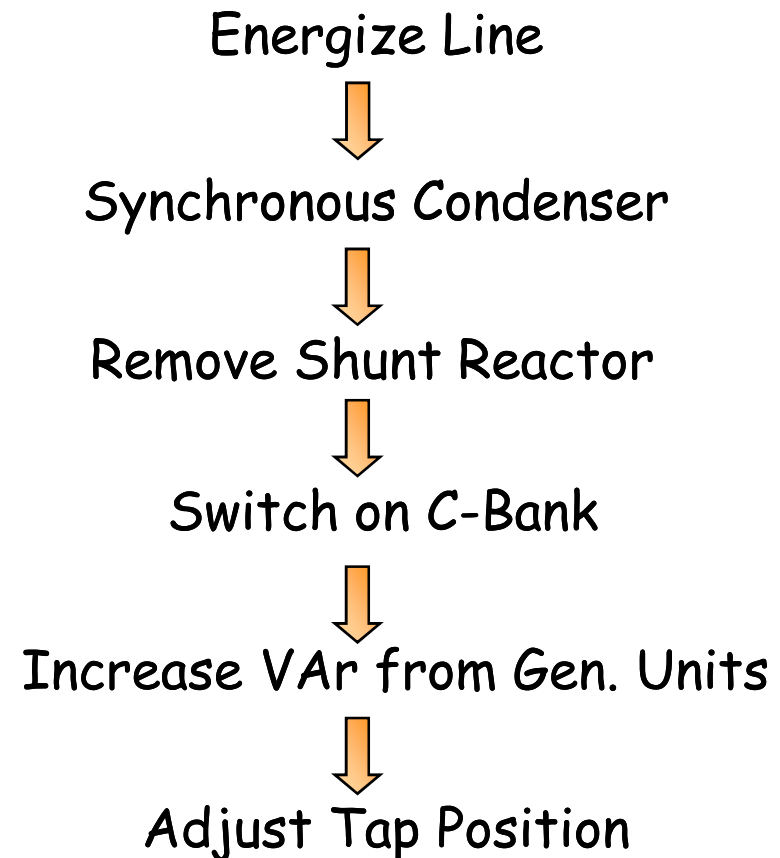
- Voltage Regulation for 115 kV or Lower
- SAIFI / SAIDI at Supply Points to MEA and/or PEA
- Switching Operation
- Maintenance Transmission Facilities
- Contact with MEA and/or PEA
- Local Network Restoration

Procedures for Voltage Control

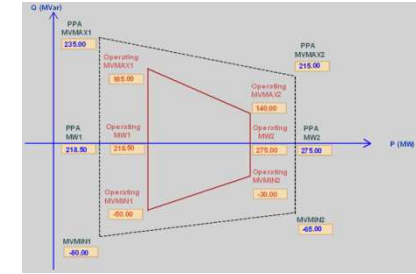
'Voltage High' Situation



'Voltage Low' Situation



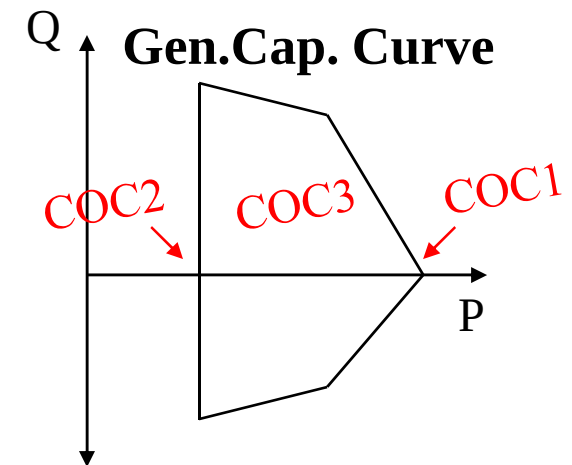
IPP Operating Characteristics



COCs: Contracted Operating Characteristics

- COC1 = Active Power
- COC2 = Minimum Generation
- COC3 = Reactive Power
- COC4 = Loading Rate
- COC5 = De-Loading Rate
- COC6 = Primary Frequency Response
- COC7 = Secondary Frequency Response

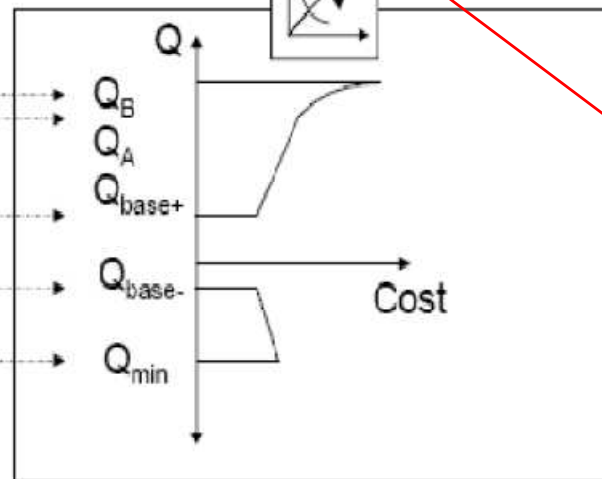
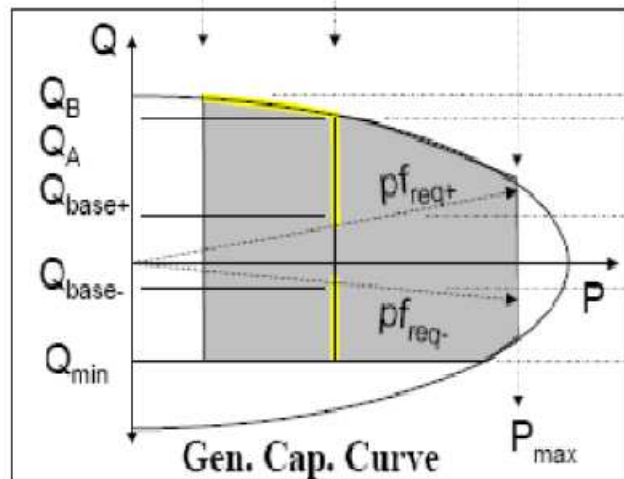
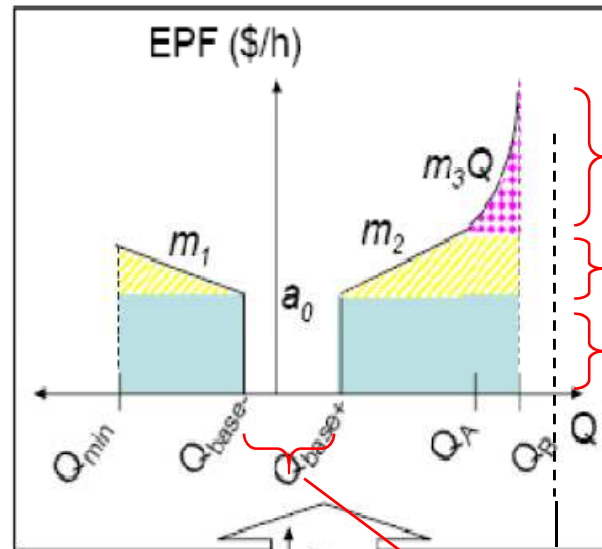
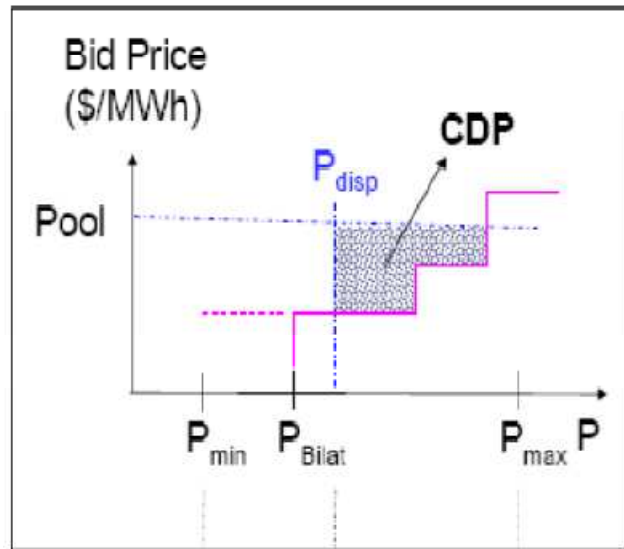
Reflecting
Ancillary
Services



Pricing: คำนวณเต็มราคาไปก่อน หากเดินเครื่องไม่ได้ จะมี Notice/หักเงิน

$$\text{Availability Payment (AP)} = \text{Full AP} - \text{DRA} - \text{DSN} - \text{DDF}$$

Generation-based Reactive Power Production Cost—Model



Loss of Opportunity

Energy Loss

Fixed Cost

(ต้องแบ่ง Costs:
Active vs. Reactive)

**Mandatory Reactive
Provision Mean**

Way to Price Reactive Power

□ Cost-based Pricing

- Reactive power cost embedded in transmission costs etc.

□ Value-based Pricing (Loss Minimization or Network Loading Capability or Security Margin or Power Quality)

- Short-run marginal cost pricing
- Long-run marginal cost pricing

□ Behavioral Pricing

- เช่น ค่าปรับจอดรถในที่ห้ามจอด (โดยไม่ต้องไปคำนวณว่า กระทบต่อสังคมเป็นมูลค่าเท่าใด)

Learned Story 1: Reactive Power Control Improvement by NCC

STEP 1

MVAR Control to kV Control
(Primary Control)

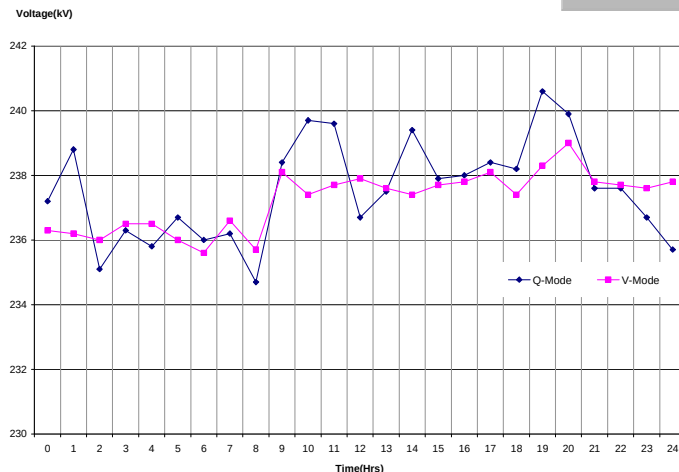
STEP 2

Voice Command to Signal Command

ต้องการ System
requirement สำหรับ
reactive power control

STEP 3

Manual Decision to Automatic Decision by Program
(Secondary Control)

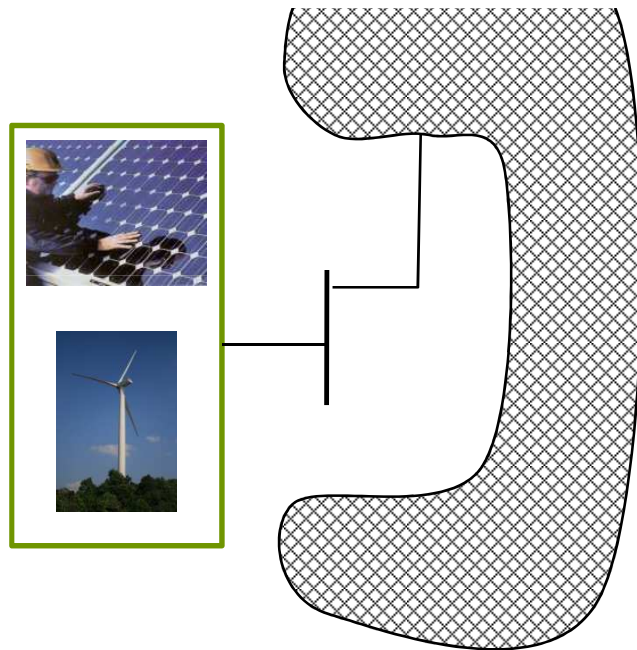


ผลสำเร็จในการควบคุมแรงดัน โดยใช้ kV Control

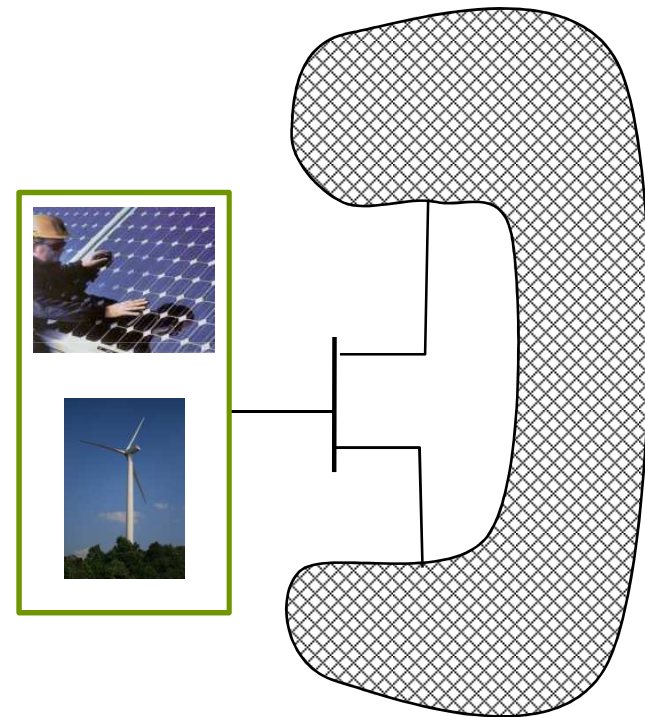
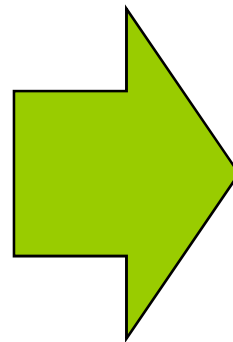
วิธีการควบคุม กับปริมาณที่ใช้
กำหนดราคา บางครั้งไม่ตรงกัน

Learned Story 2: Intermittent Power and Point of Connection

สถานีไฟฟ้าปลายสาย (Radial)

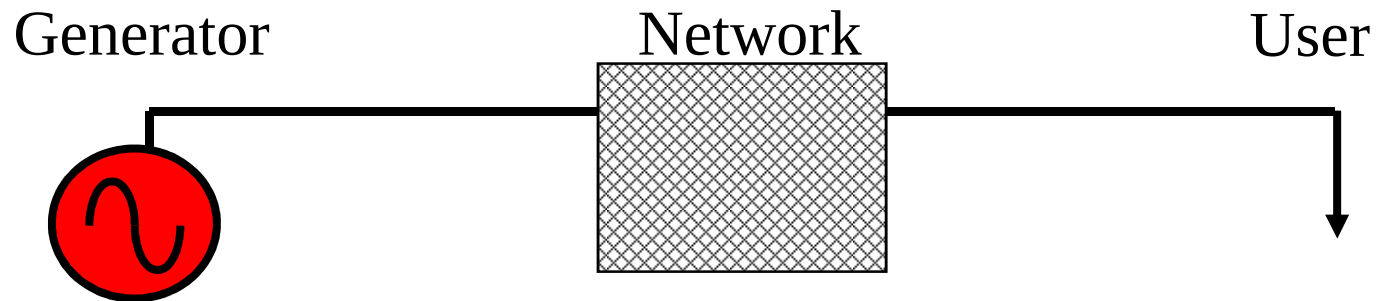


Transformer Tap Changers ทำงาน
100+ ครั้ง/วัน -- Intermittency
กระทบต่อ การควบคุมแรงดัน



Transformer Tap Changers ทำงาน
10s ครั้ง/วัน – รูปแบบ Network ก็มี
ผลต่อ การควบคุมแรงดัน

System Algorithm and Participant's Roles on Reactive Power



System Monitoring/Control Algorithm and Communication:
Transfer Capability, Voltage Security / Stability etc.

Devices	Generator	Network	User
Active	Controllable Q	Adjustable Q	Responsive Q
Passive	Uncontrollable Q	Fixed Z	Fixed Q, Fixed p.f.

ผู้รับเงิน (Provider): Active Devices

ผู้จ่ายเงิน (User): Passive Devices

ก่อนคิด Pricing ควรต้องคิดวิธี
ควบคุม (ที่มีเป้าหมายชัดเจน)



Ancillary Services/Smart Grid:

ชวนคิด

Services Unbundling

Customer's Point of View

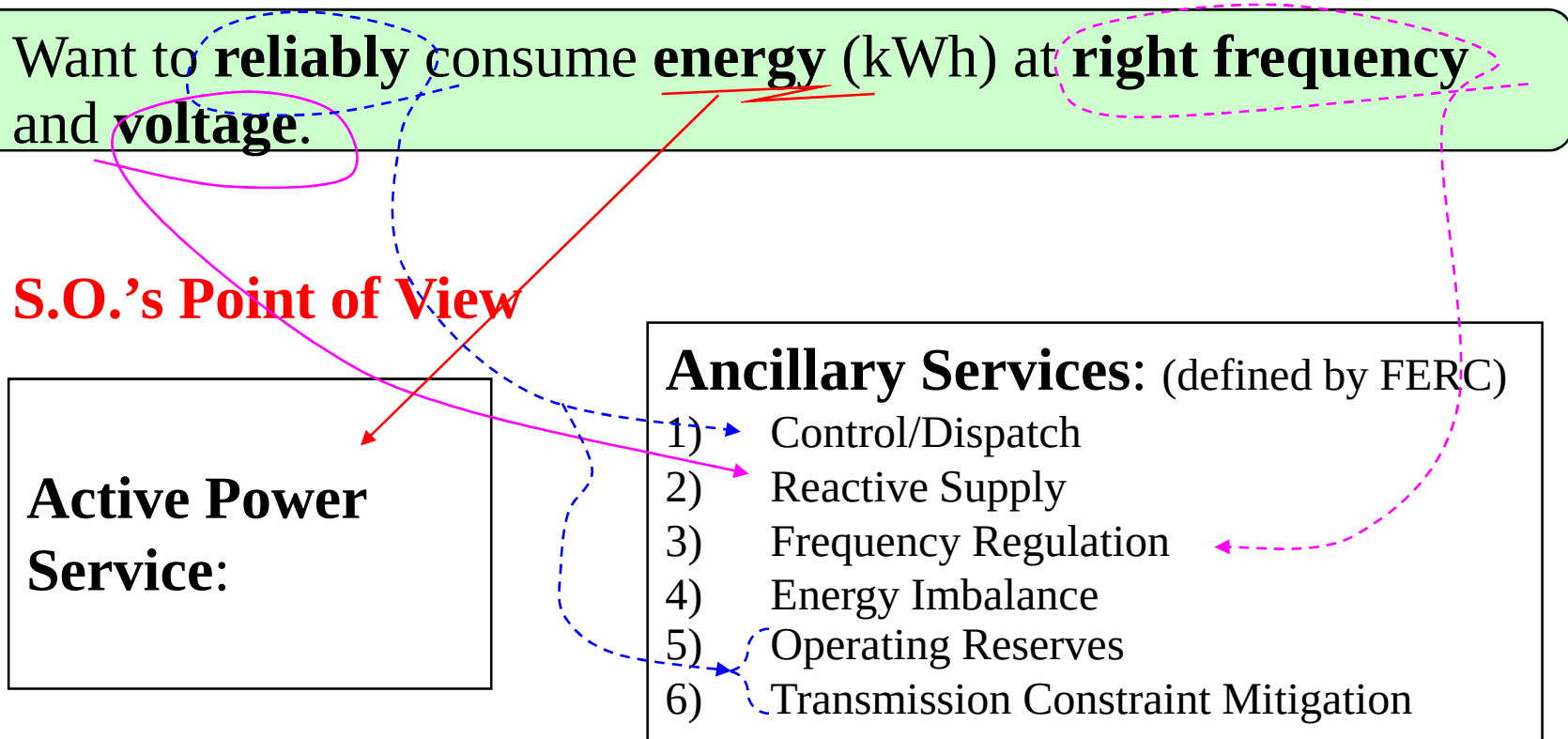
Want to **reliably** consume **energy** (kWh) at **right frequency** and **voltage**.

S.O.'s Point of View

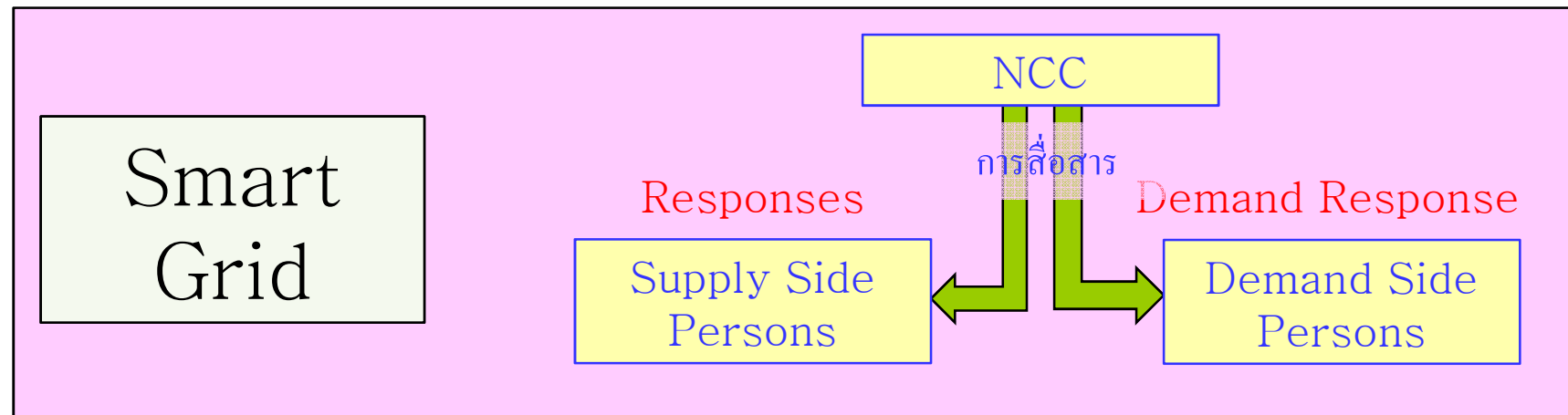
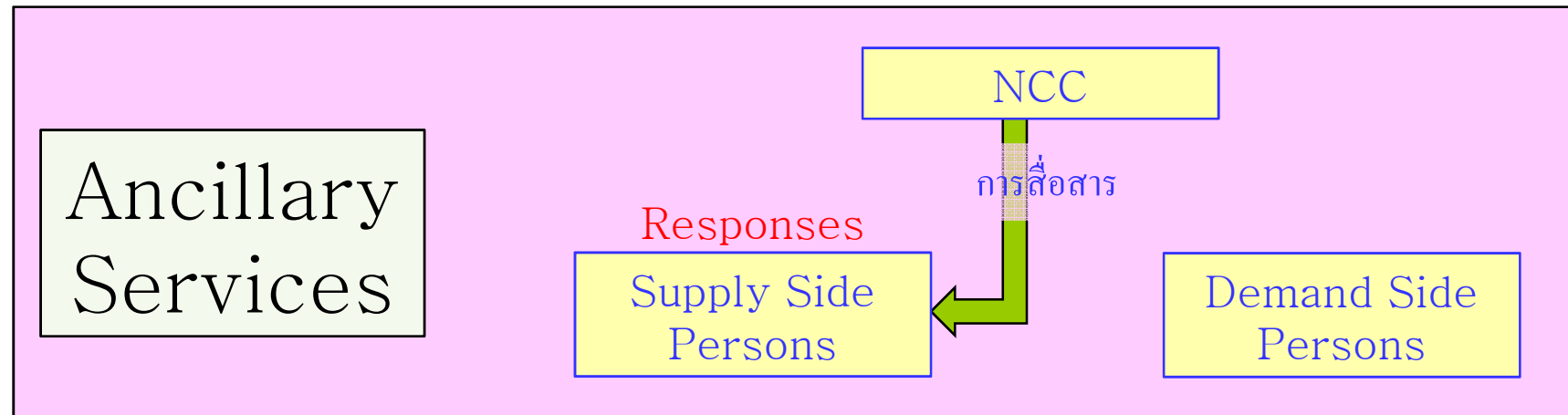
Active Power Service:

Ancillary Services: (defined by FERC)

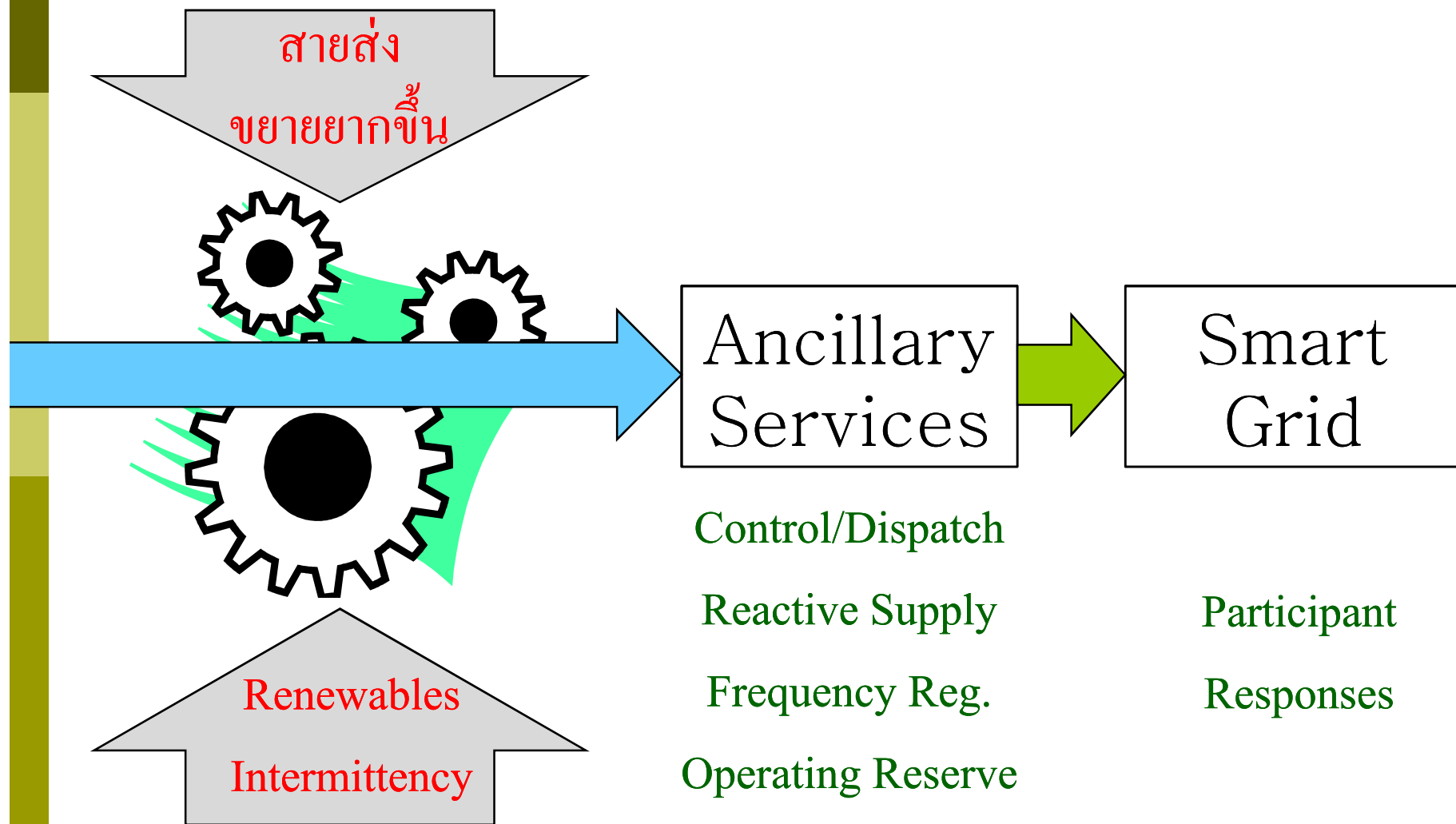
- 1) → Control/Dispatch
- 2) → Reactive Supply
- 3) → Frequency Regulation
- 4) → Energy Imbalance
- 5) → Operating Reserves
- 6) → Transmission Constraint Mitigation



Ancillary Services vs. Smart Grid

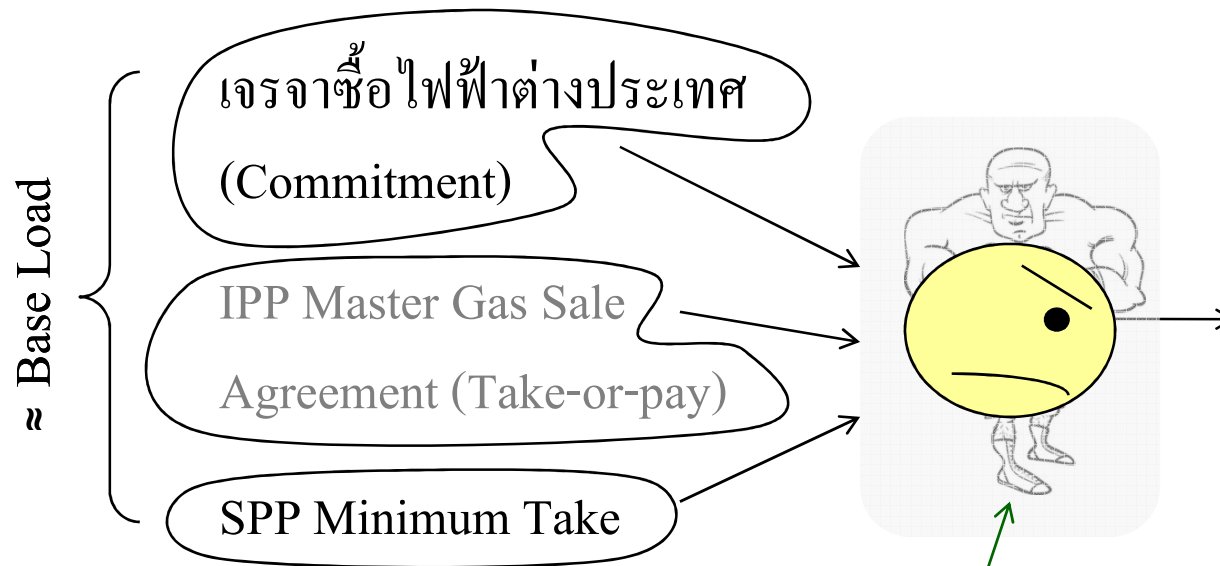


Ancillary Services: Pathway to Smart Grid



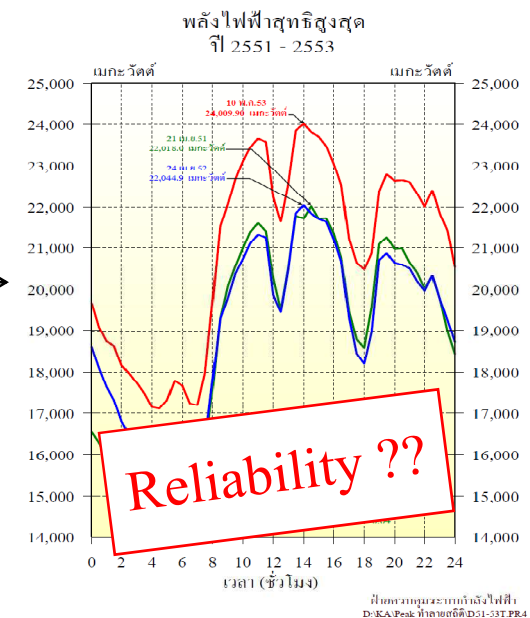
พันธกิจ การจัดหาไฟฟ้าในปัจจุบัน (Individual Interest vs. System Interest)

การเดินเครื่องลักษณะ Base Load ย่อมทำให้ Average Cost ต่ำ



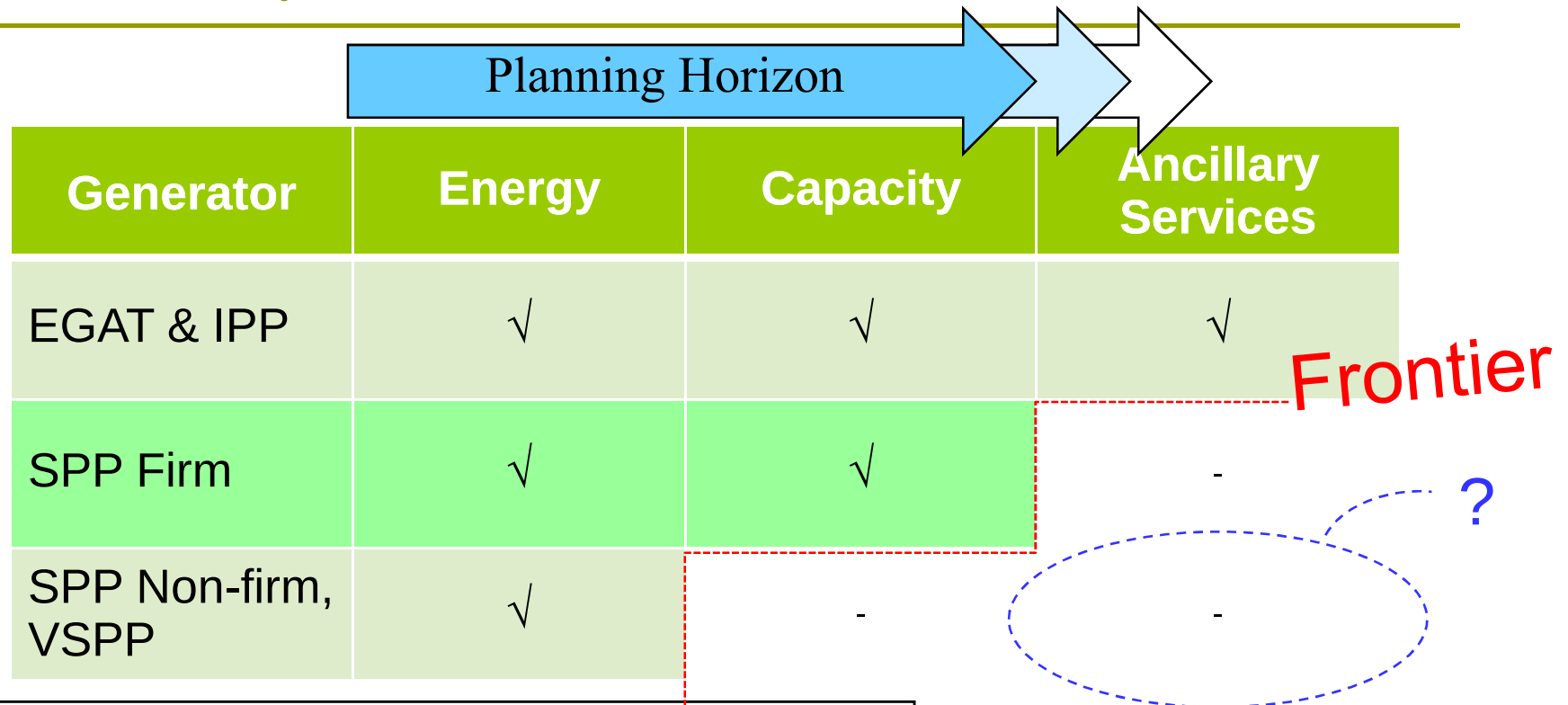
ระบบมีโรงไฟฟ้ารับ Intermediate Load (Cyclic Operation) ??

Renewables Intermittency



ระบบมีโรงไฟฟ้า/อุปกรณ์เสริม Ancillary Services ??

Ancillary Services: ปัจจุบัน และสิ่งคาดหวัง



Generator	Energy	Capacity	Ancillary Services
EGAT & IPP	√	√	√
SPP Firm	√	√	-
SPP Non-firm, VSPP	√	-	-

Frontier

?

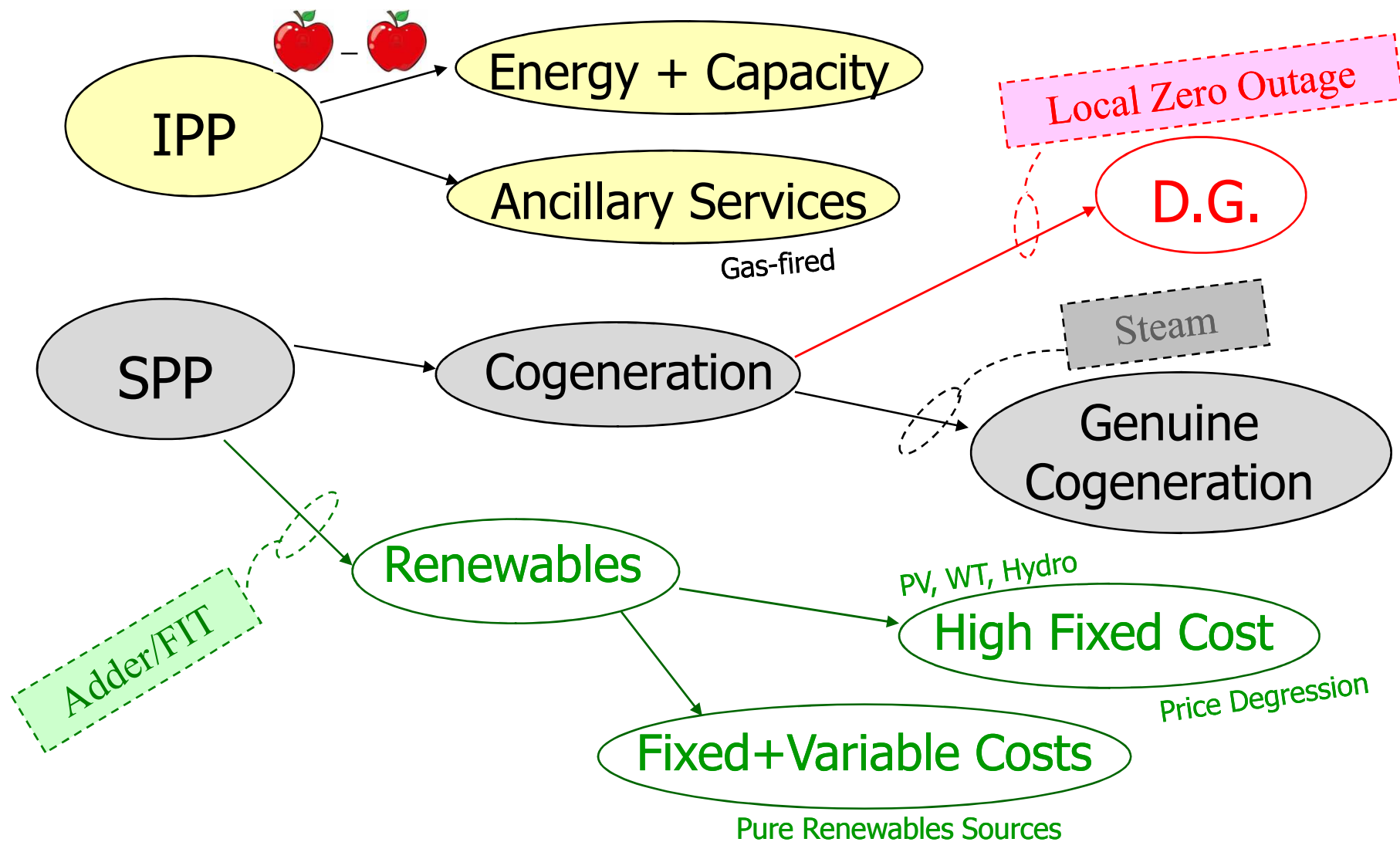
Ancillary Services: (defined by FERC, U.S.)

- 1) Control/Dispatch
- 2) Reactive Supply
- 3) Frequency Regulation
- 4) Energy Imbalance
- 5) Operating Reserves
- 6) Transmission Constraint Mitigation

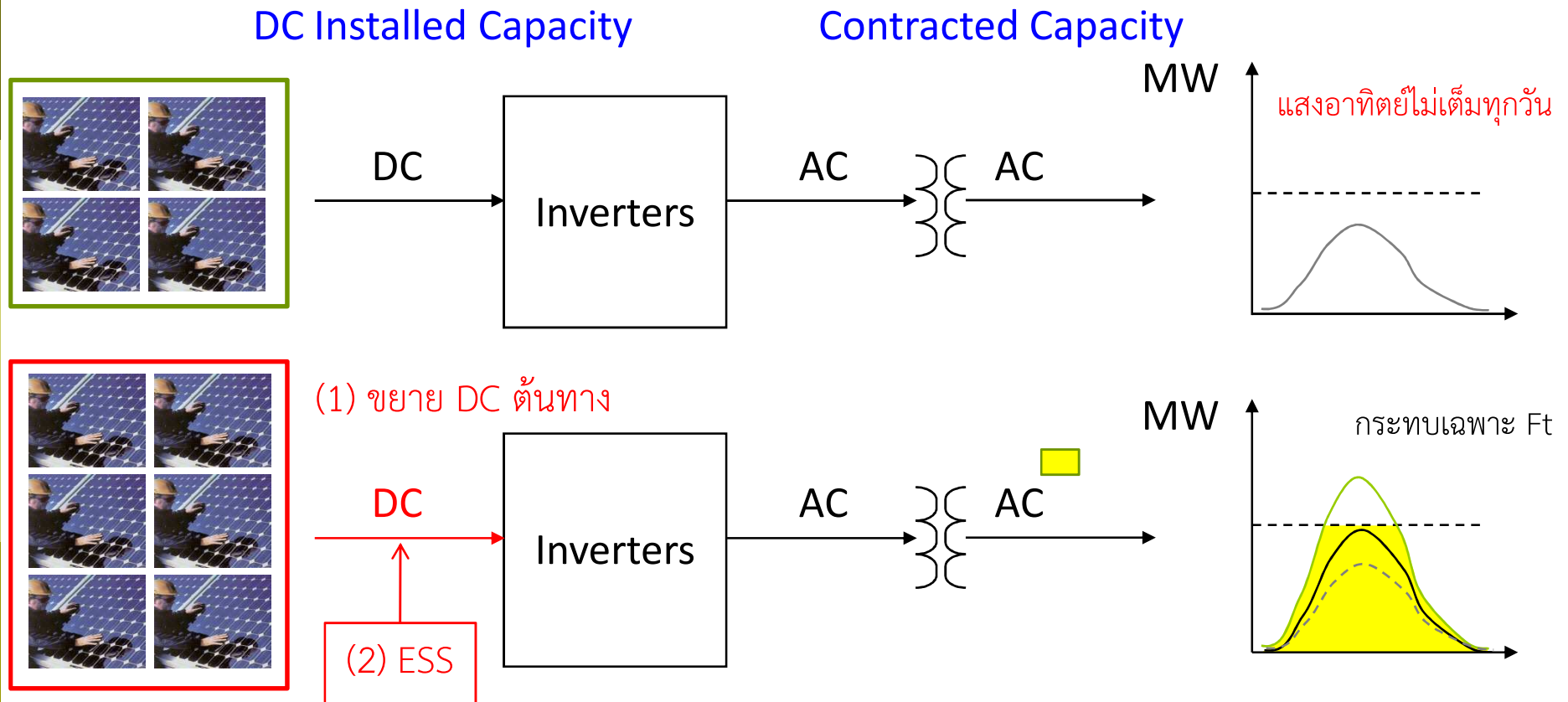
Other Ancillary Services
7) Black Start

**Ancillary Services ต้องพึ่ง
โรงไฟฟ้า Gas-fired?**

Power Producer Differentiation



Benefit Potential from Renewables: Steadier Power Generation



ให้ (1) ขยาย DC Installed Capacity (2) Energy Storage System (ESS) :

1. แต่ห้ามจ่ายไฟฟ้า (AC) เข้าระบบเกินสัญญา (จำกัดขนาด Inverter) – ปัญหา Load Flow
2. หากขยายจนถึงระดับหนึ่ง มีโอกาสทำให้เกิด Better Firm Capacity
3. รับ Adder (การส่งเสริมพลังงานหมุนเวียน) ไม่เกินกว่าค่า Plant Factor ที่กำหนด

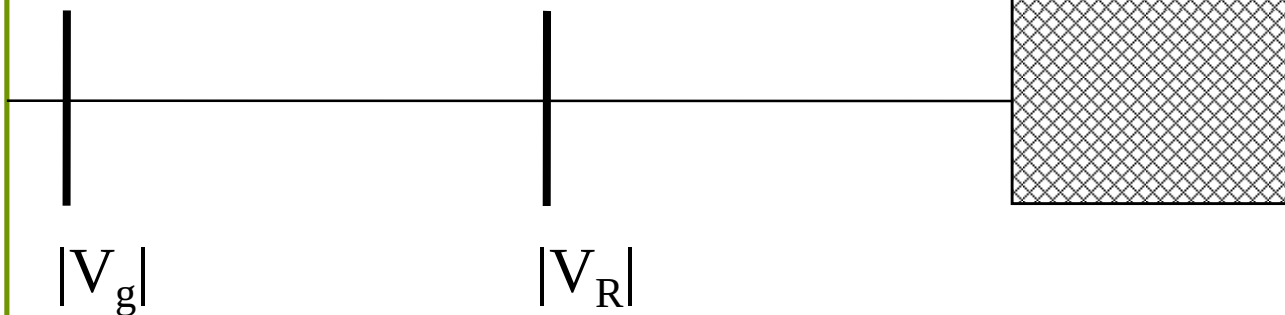
Another Potential from Renewables?

Generator



สถานีไฟฟ้า
ปลายสาย
(Radial)

Network



โรงไฟฟ้าตั้งระบบควบคุม เพื่อรักษาแรงดัน
ที่ $|V_R|$ -- Remote Voltage Control

สรุป -- เสนอ

1. เข้าใจ Reactive Power
 - 1.1 ค้นหาประโยชน์จากการควบคุม Reactive Power ที่ระบบต้องการ
 - 1.2 กำหนด System-wise Control Algorithm
 - 1.3 แล้วจึงกำหนด (Behavioral?) Pricing แก่ผู้ตอบสนองต่อคำสั่ง Control
2. เครื่องมือส่งเสริม Renewables โดย Network
 - 2.1 Go Ancillary Services แล้วจึง Go Smart Grid
 - 2.2 Advance Expansion Planning
3. การสนับสนุนโดยโรงไฟฟ้า
 - 3.1 Steadier Power Generation
 - 3.2 Remote Voltage Control



จบการบรรยาย

ขอขอบคุณทุกท่าน

Q&A