



「技術士技能檢定太陽光電設置職類乙級」 訓練課程

太陽光電變流器原理、 規範與發展現況

楊明哲

morgan@itri.org.tw

工業技術研究院 綠能與環境研究所
電網與電力電子技術組 工程師

2022/12/17

簡報大綱

- 太陽光電系統結構
- 太陽光電變流器概觀
- 太陽光電變流器介紹
- 智慧變流器
- 儲能變流器及自動頻率控制
- 變流器商品規範與驗證

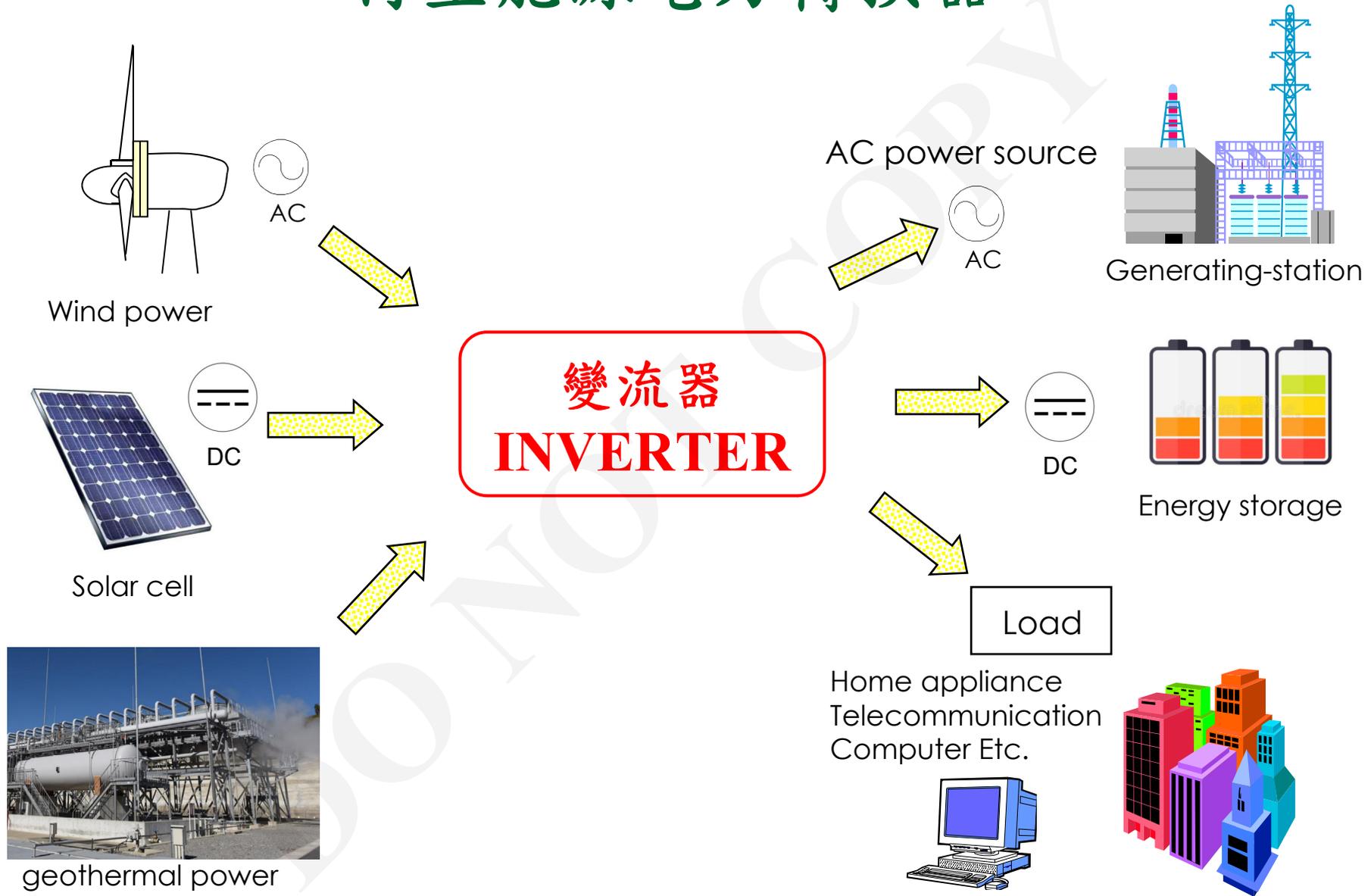
太陽光電系統結構



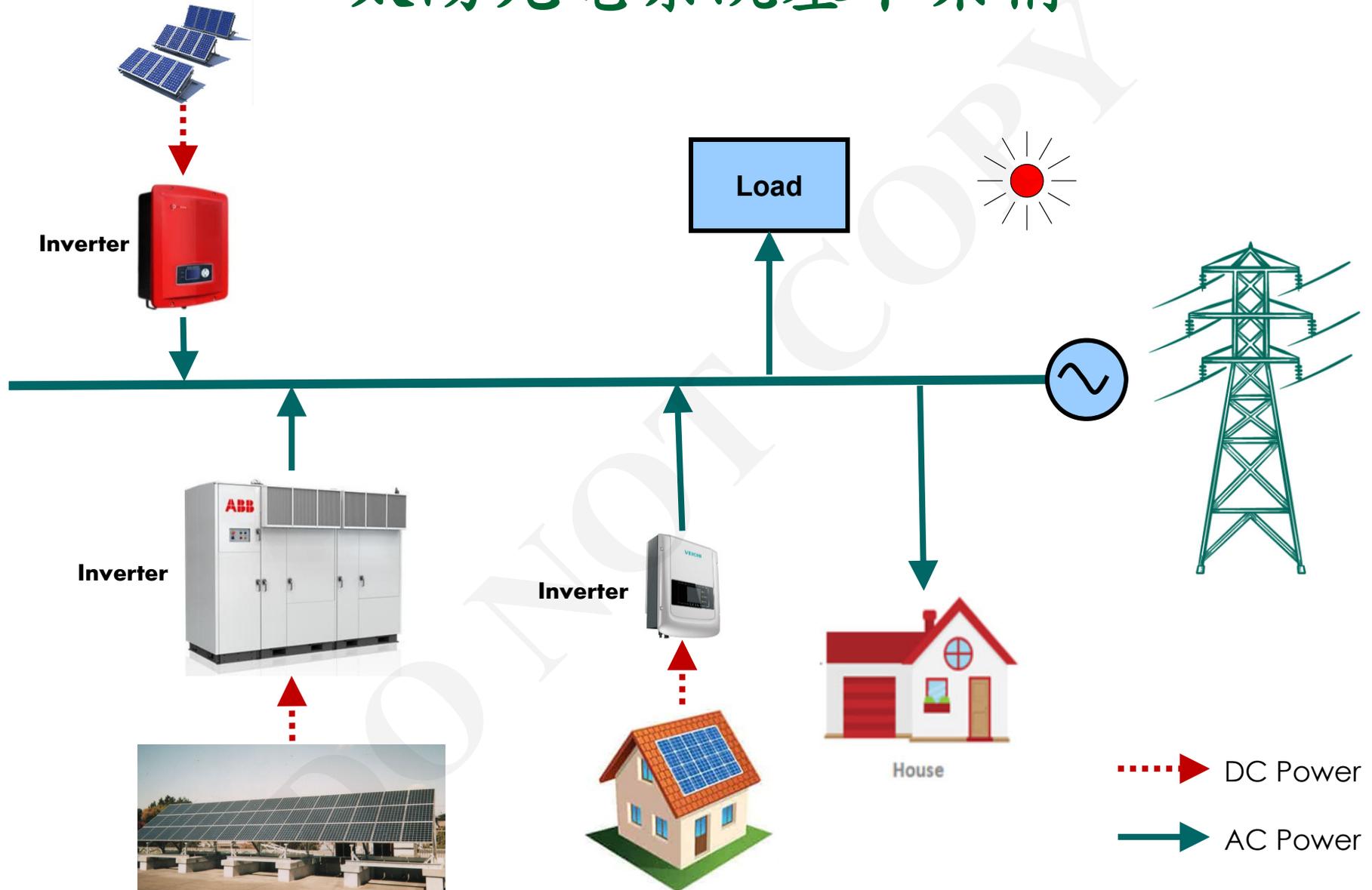
2022/12/17

本資料限於健行科技大學-太陽光電訓練課程使用

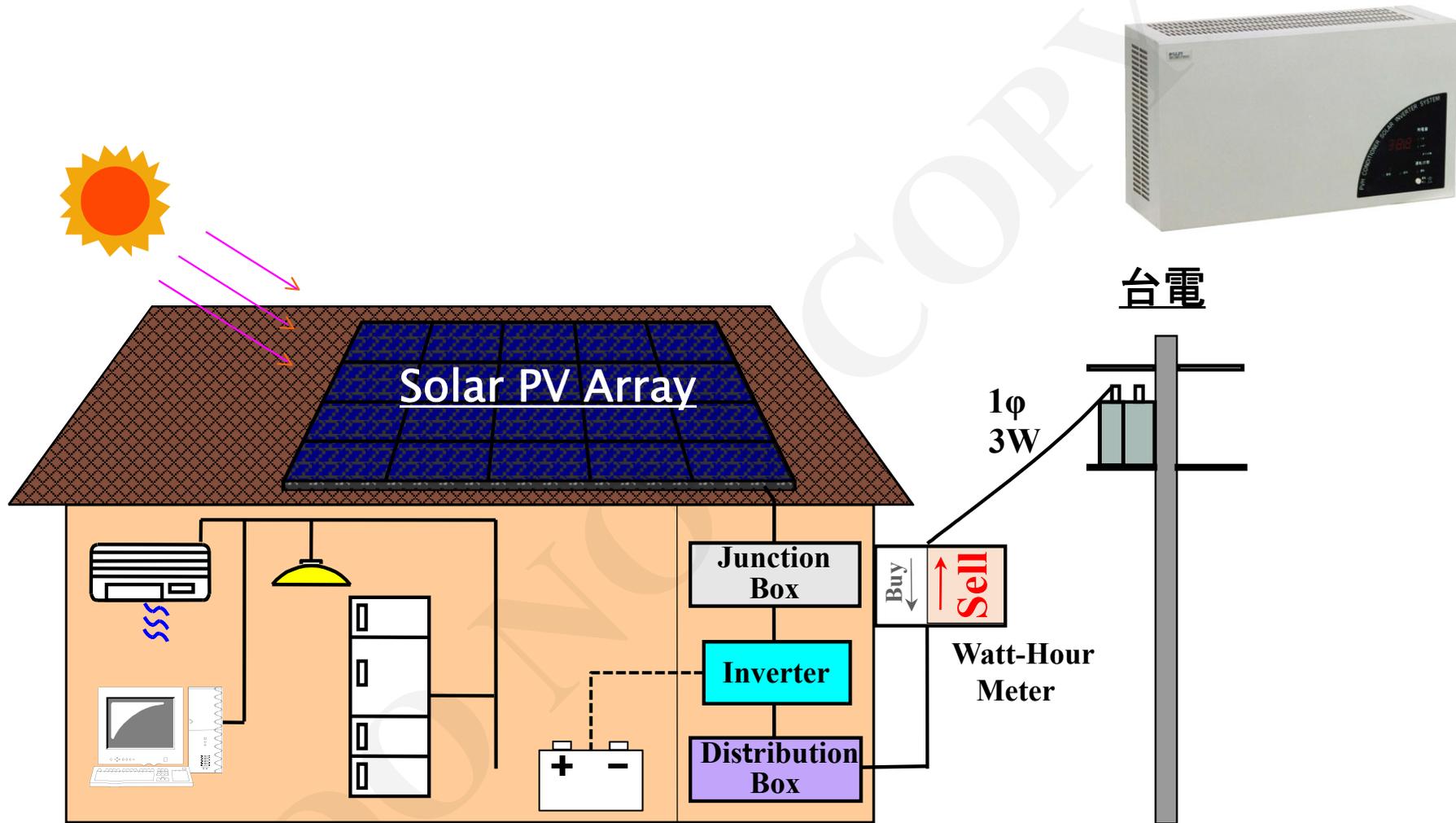
再生能源電力轉換器



太陽光電系統基本架構



住宅型太陽光電系統架構



併網型太陽光電系統

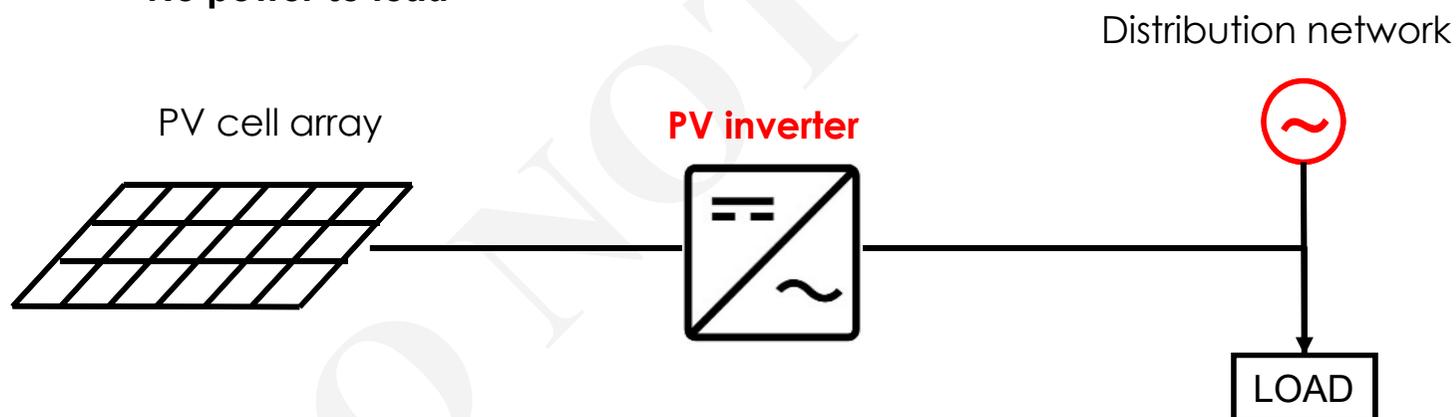
(Advantage)

- Feed stable power to load by connecting power supply
- Easy maintenance

(Disadvantage)

- When service interruption occurs, power conditioner should be disconnected with power system for system safety.

→ No power to load



Block diagram of PV power generation (grid connected system)

離網型太陽光電系統

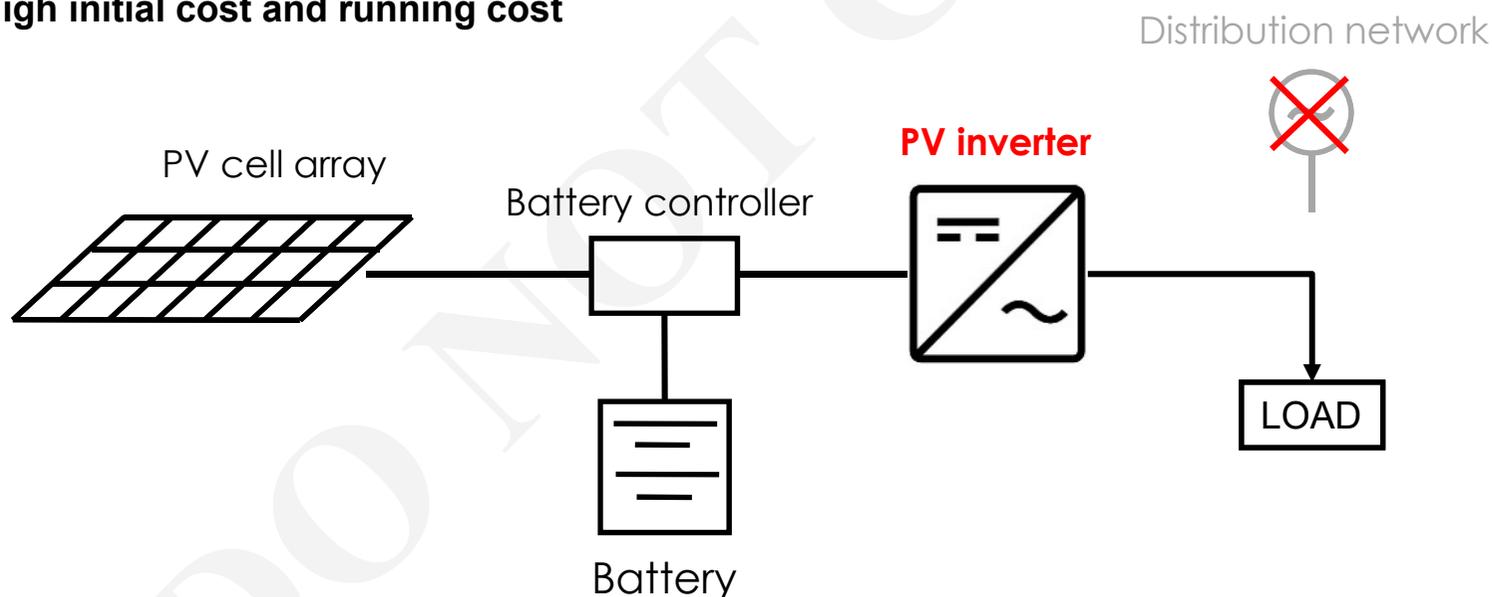
Mainly used for no utility power system, such as lodge, island, ship, etc.

(Advantage)

- Feed stable power to load by PV power generation with back-up battery

(Disadvantage)

- High initial cost and running cost



Block diagram of PV power generation (stand-alone system)

混合型太陽光電發電系統

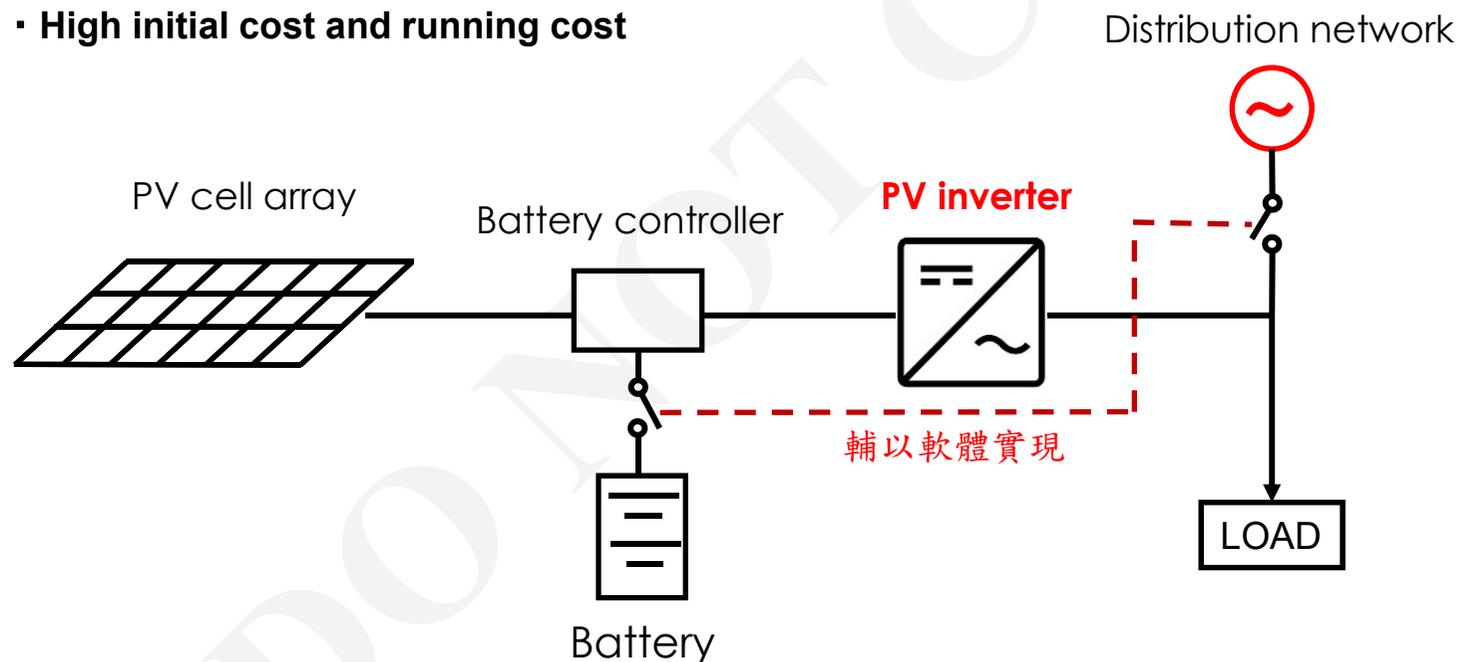
Mainly used for back-up supply

(Advantage)

- High reliability supply, suitable for emergency back-up

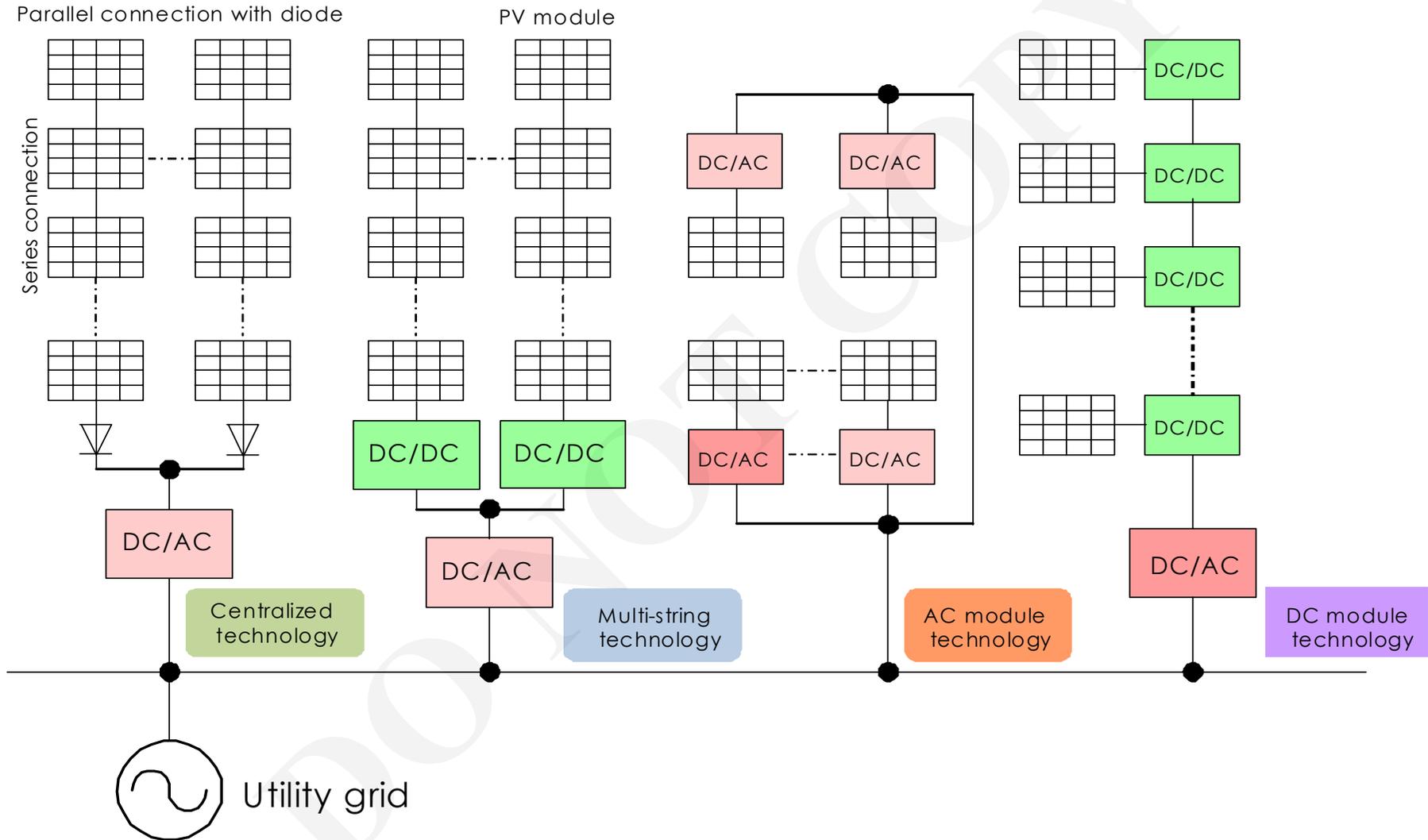
(Disadvantage)

- High initial cost and running cost



Block diagram of PV power generation (hybrid system)

太陽光電模組連接方式



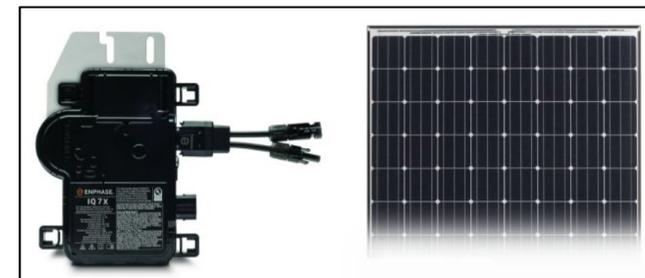
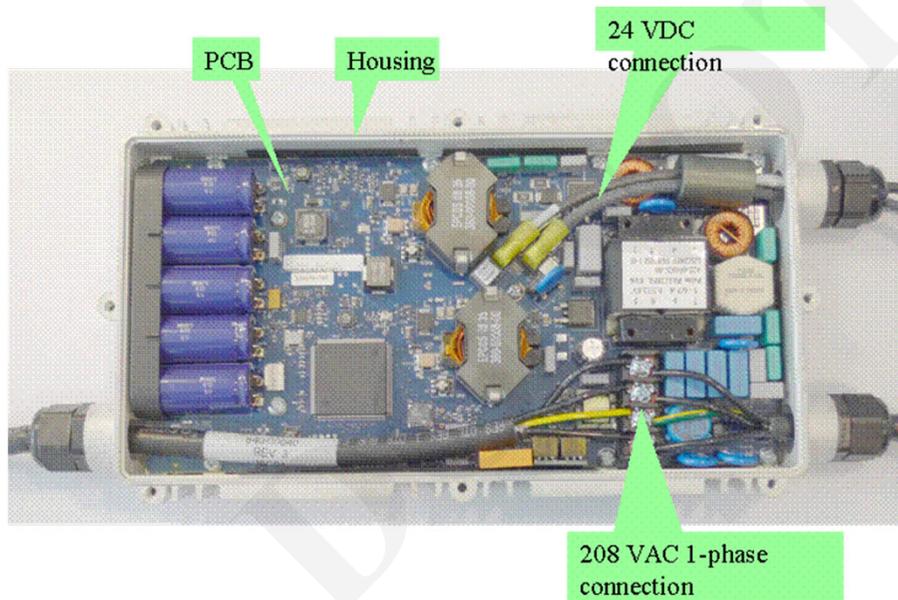
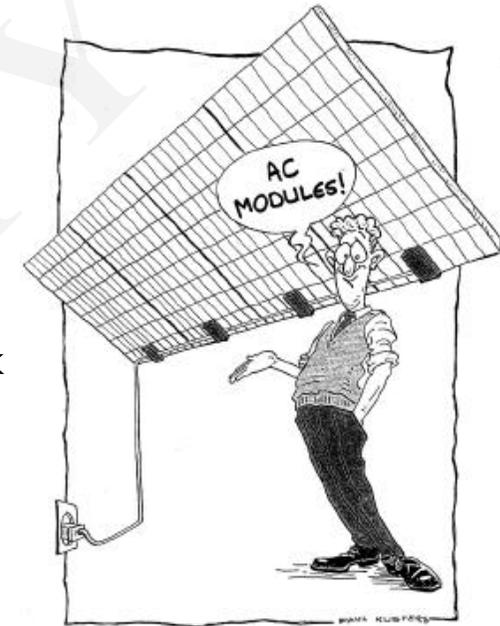
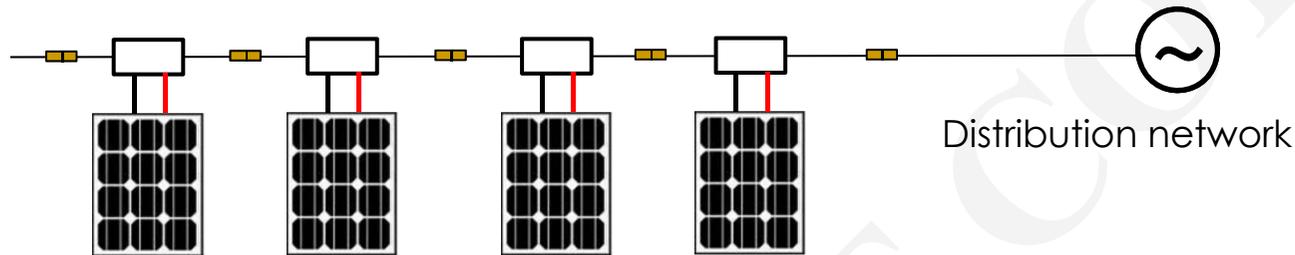


太陽光電 變流器概觀



微型轉換器介紹

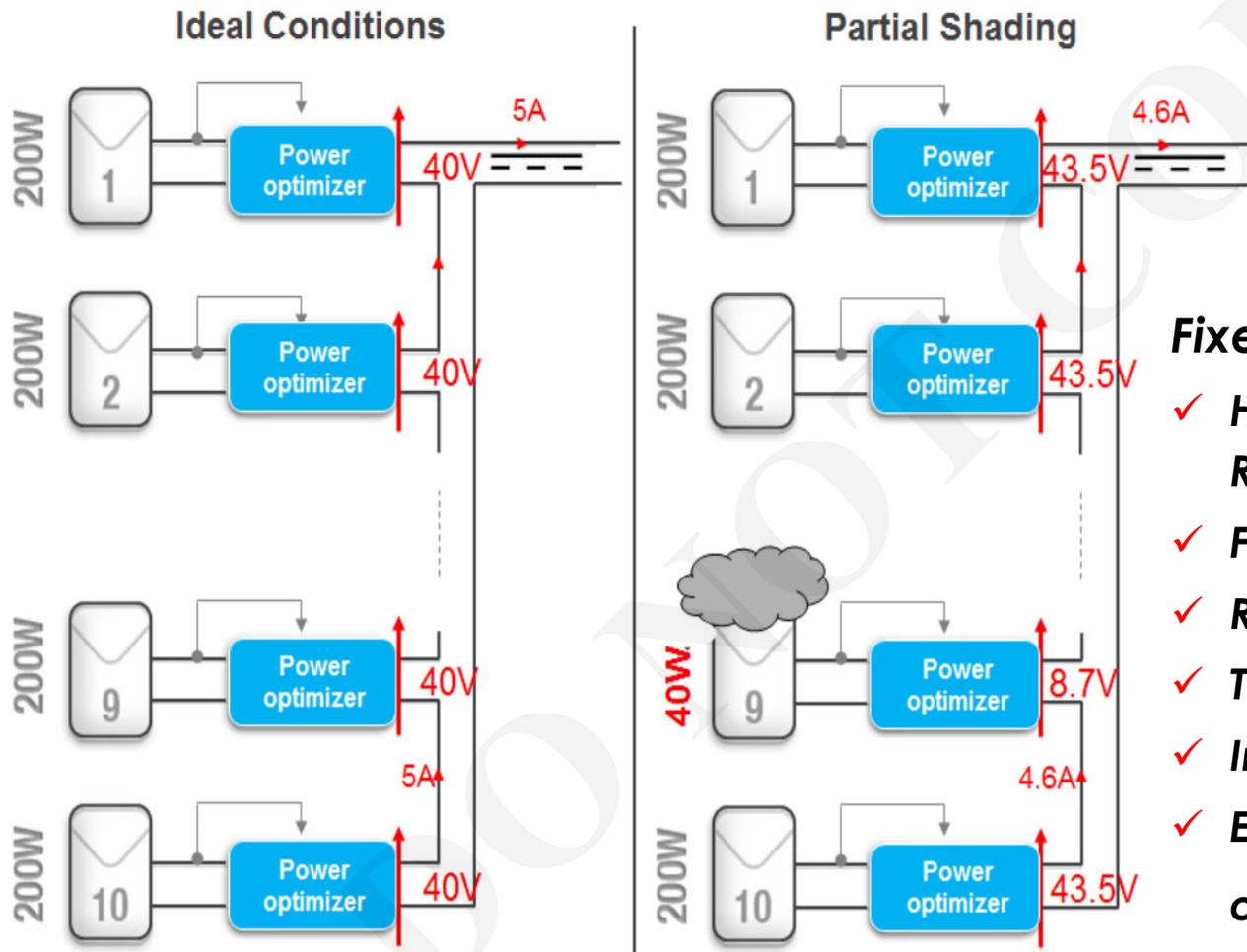
- ✓ Typical capacity 170W~250W
- ✓ Three-phase output up to 900W



- Inverter integrated into PV module**
- Enphase IQ6 系列產品, CEC效率 97%

直流優化器介紹

優化器能重新調適VI輸出特性



Fixed String Voltage Benefits

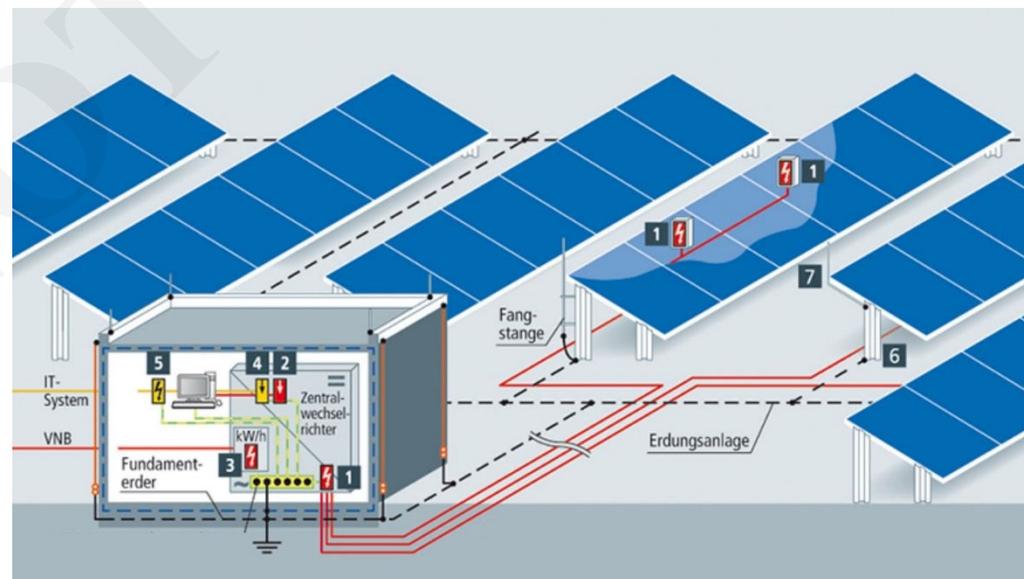
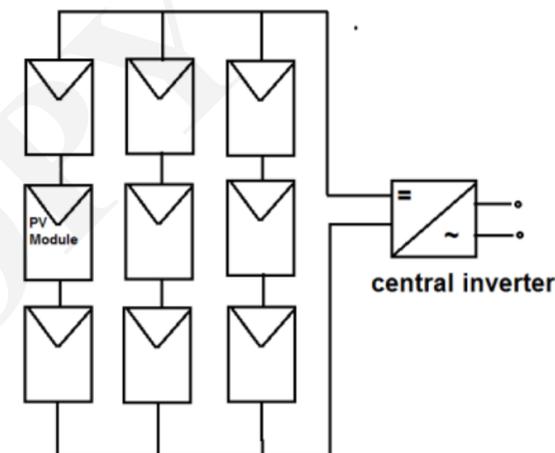
- ✓ High Inverter Efficiency and Reliability
- ✓ Flexible Design
- ✓ Reduced Installation Cost
- ✓ Temperature Indifference
- ✓ Improved Safety
- ✓ Efficient generation in actual operation (partial shade)

<https://www.solar-diamond.com/new-pa>

集中型變流器

Features

- ✓ The largest in terms of capacity.
- ✓ Their sizes can range from 100kW to MW.
- ✓ Cheaper in terms of per kilowatt cost.
- ✓ Easier installation and management.



圖片來源 <https://www.fimer.com/>

太陽光電變流器規格

型號	H5A_220
直流輸入	
最大輸入電壓	600 V
工作電壓範圍	30 - 550 V
最大功率電壓範圍	240 - 500 V
啟動電壓	> 35 V
額定電壓	360 V



交流輸出	
最大輸出功率	5000 W / 5000 VA
最大輸出電流	24 A
額定電壓	220 / 230 V
工作電壓範圍	-20% to +22%
功率因數	0.8 Ind ~ 0.8 Cap
夜間耗電	< 2 W

通用參數	
工作溫度範圍	-25°C to 60°C
保護等級	IP65

IP 6 5

(包括2種環境試驗)

防塵等級(第一個X表示)

- 0：沒有保護
- 1：防止大的固體侵入
- 2：防止中等大小的固體侵入
- 3：防止小固體侵入
- 4：防止大於1mm的固體進入
- 5：防止有害的粉塵堆積
- 6：完全防止粉塵進入**

防水等級(第二個X表示)

- 0：沒有保護
- 1：水滴滴入到外殼無影響
- 2：水或雨水從15度角滴到外殼上無影響
- 3：水或雨水從60度角滴到外殼上無影響
- 4：任何角度潑水無影響
- 5：任何角度低壓噴射無影響**
- 6：高壓噴射水無影響
- 7：可於短時間內耐浸水（15cm-1m，半小時以內）
- 8：於一定壓力下長時間浸水



太陽光電變流器 介紹

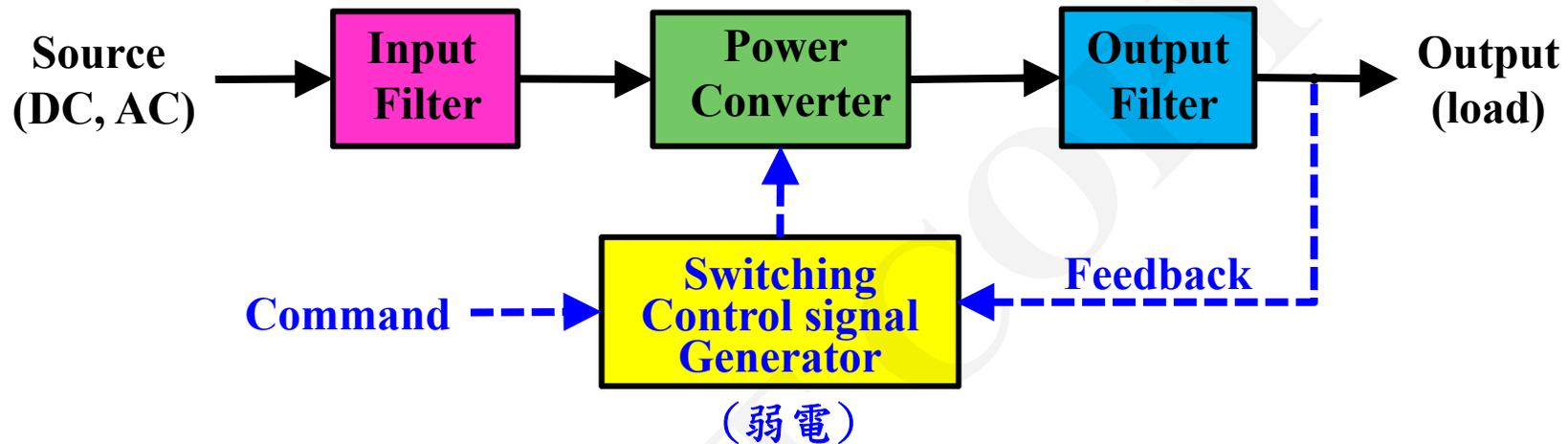


2022/12/17

本資料限於健行科技大學-太陽光電訓練課程使用

16

轉換器架構與種類



交流至直流轉換器(Converter)：Active PFC, Phase control, 充電器



直流至交流轉換器(Inverter)：PV inverter, DC變頻(電動機車)



交流至交流轉換器(Cycloconverter)：變頻器、超大型風洞 (10 MW)



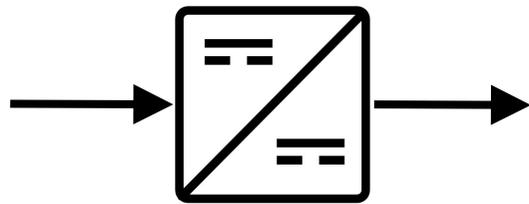
直流至直流轉換器(Chopper)：PV 優化器, 控制電源, 電瓶電力轉換

SMPS基本原理

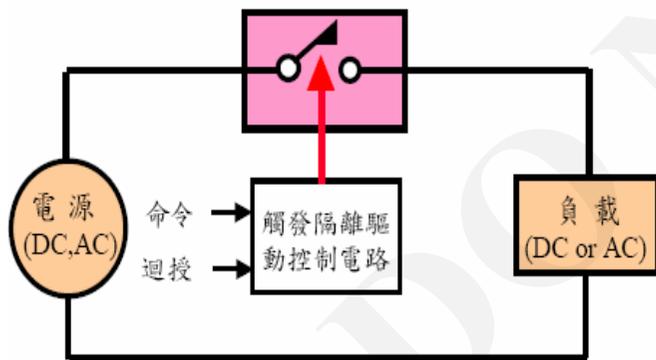
SMPS (切換式電源供應器) 優點:

More Efficient, Smaller Size, Less Weight, Less Cost, Easier PFC support

相較於傳統線性穩壓器，高頻切換可以降低重量體積!!



功率半導體元件
(穩態下: on ↔ off)



Static loads:
Power supplies
Motion loads:
Motor drives



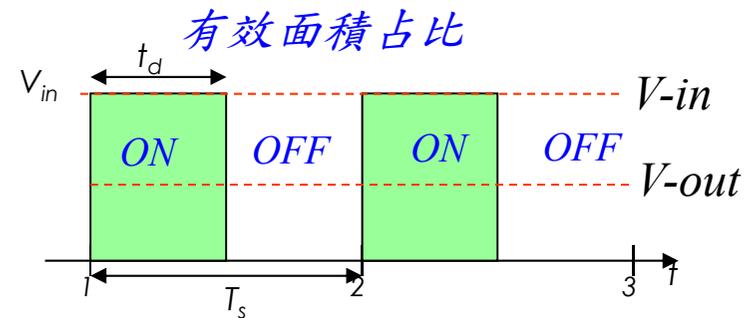
60Hz

降低至7.8% (12.8倍)

50kHz~數MHz



5V 2A (10W)



$$V_{out} = D \times V_{in} = \frac{t_d}{T_s} \times V_{in}$$

高頻化可縮小體積

生活費 3000/月



生活費 700/周



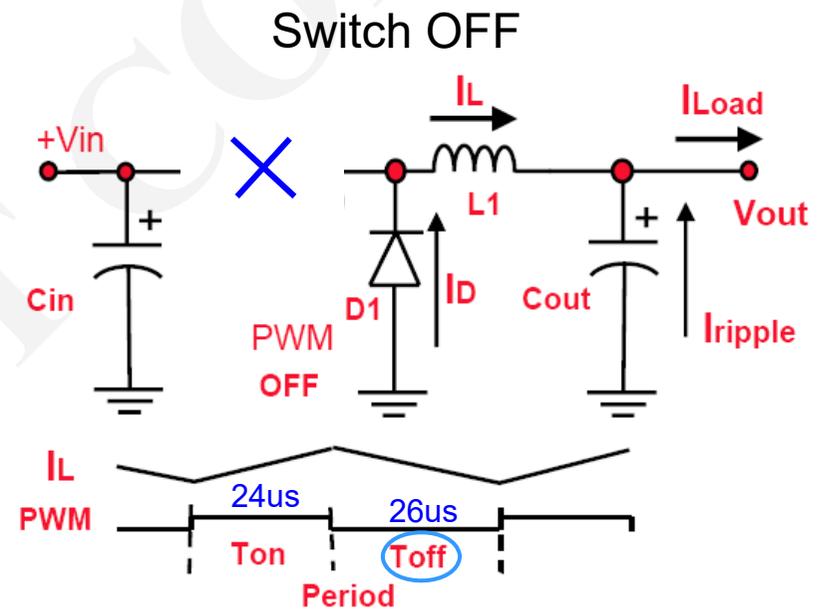
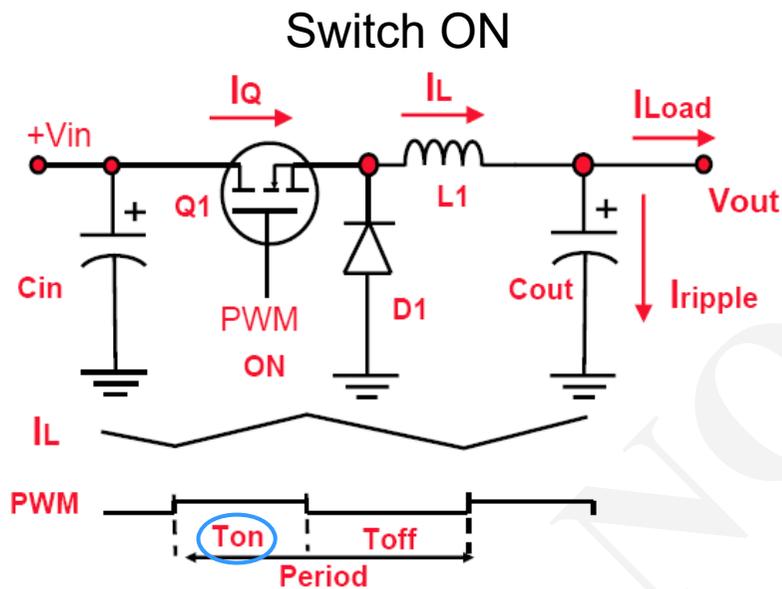
生活費 100/天



DC/DC 操作原理

Step down converter

D = duty



$$V_{out} = V_{in} \cdot D$$

(售價 = 標價 • 折扣)

Where:

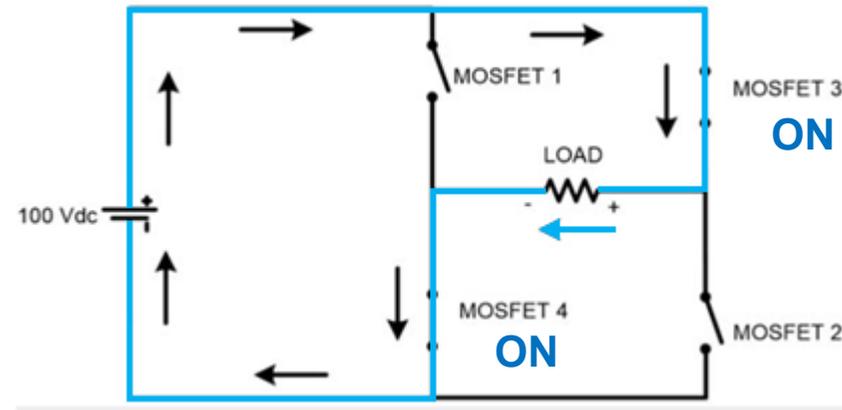
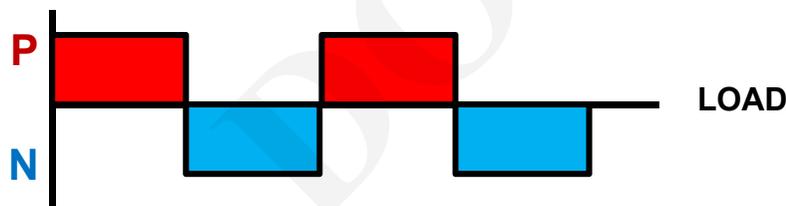
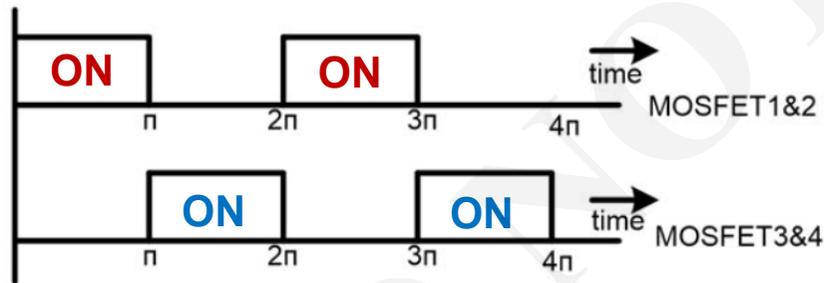
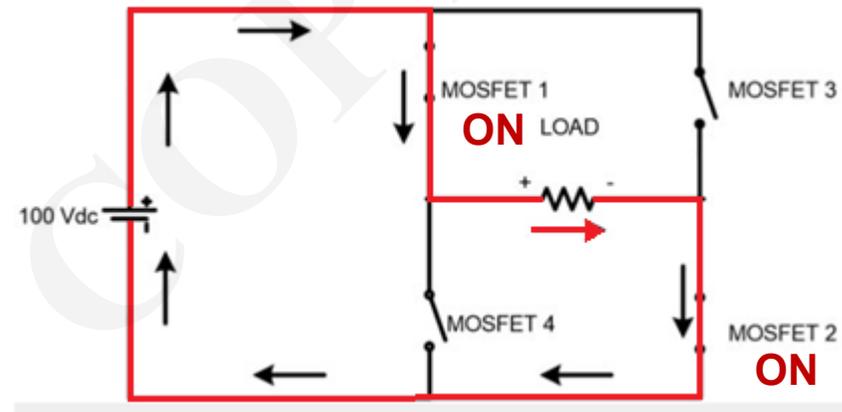
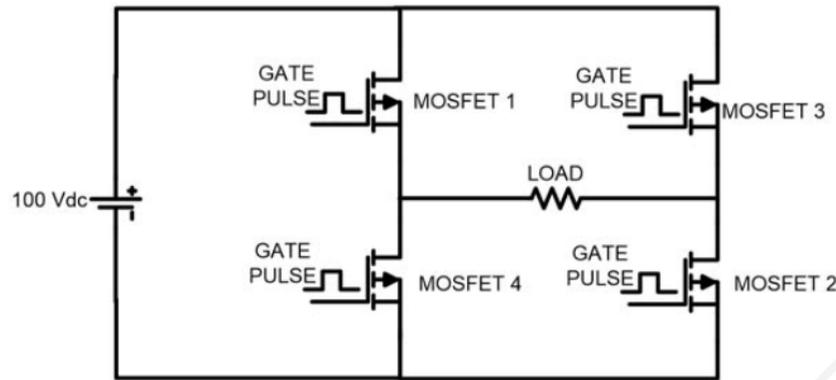
$$D = \text{PWM duty cycle} = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$$

$$\text{週期占比 } D = \frac{24}{24 + 26} = \frac{24}{50} = 48\%$$

Note: range of duty cycle = 0 to 1

DC/AC 操作原理

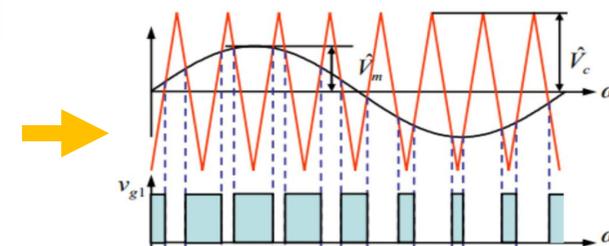
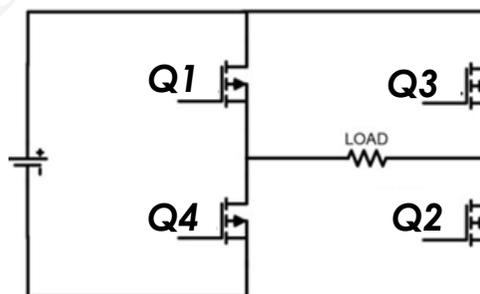
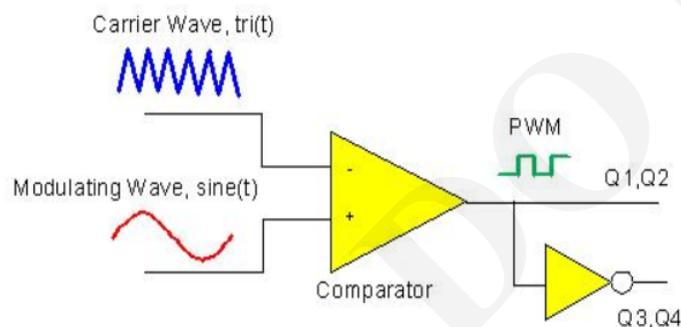
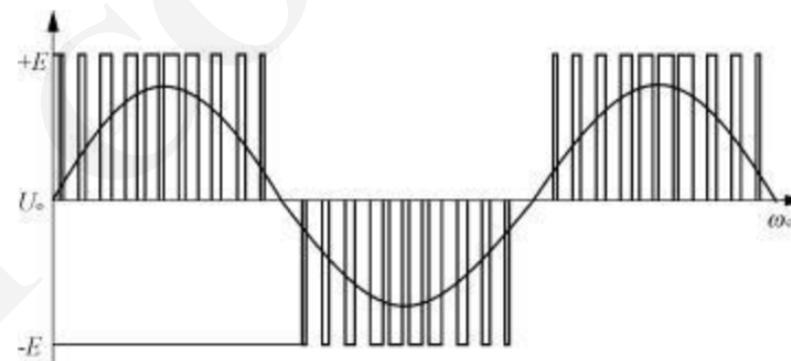
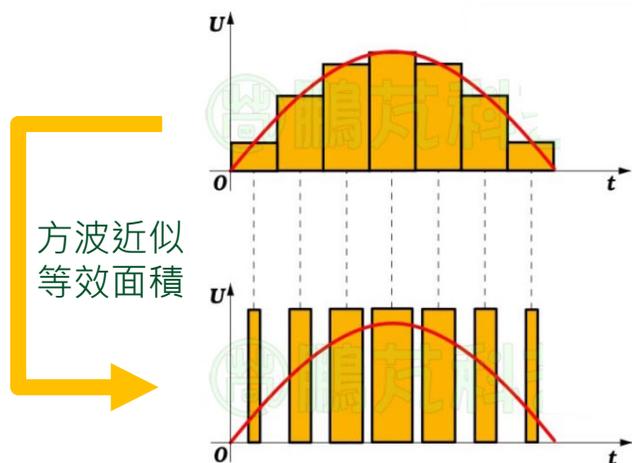
AC：指電流方向於負載(LOAD)方向交變!!



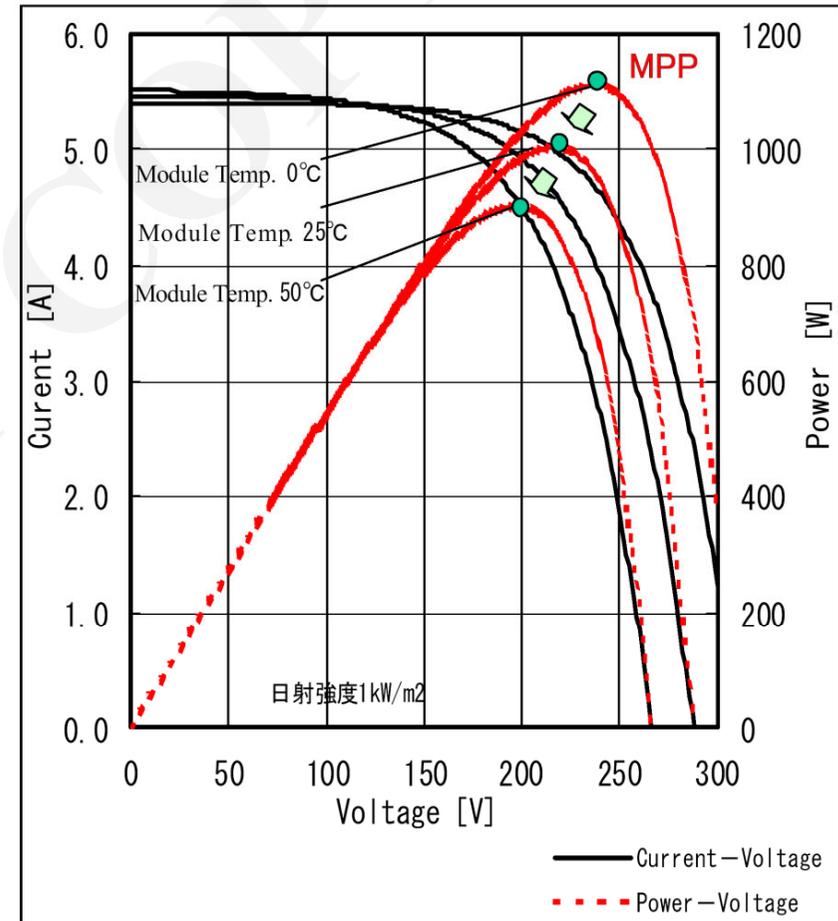
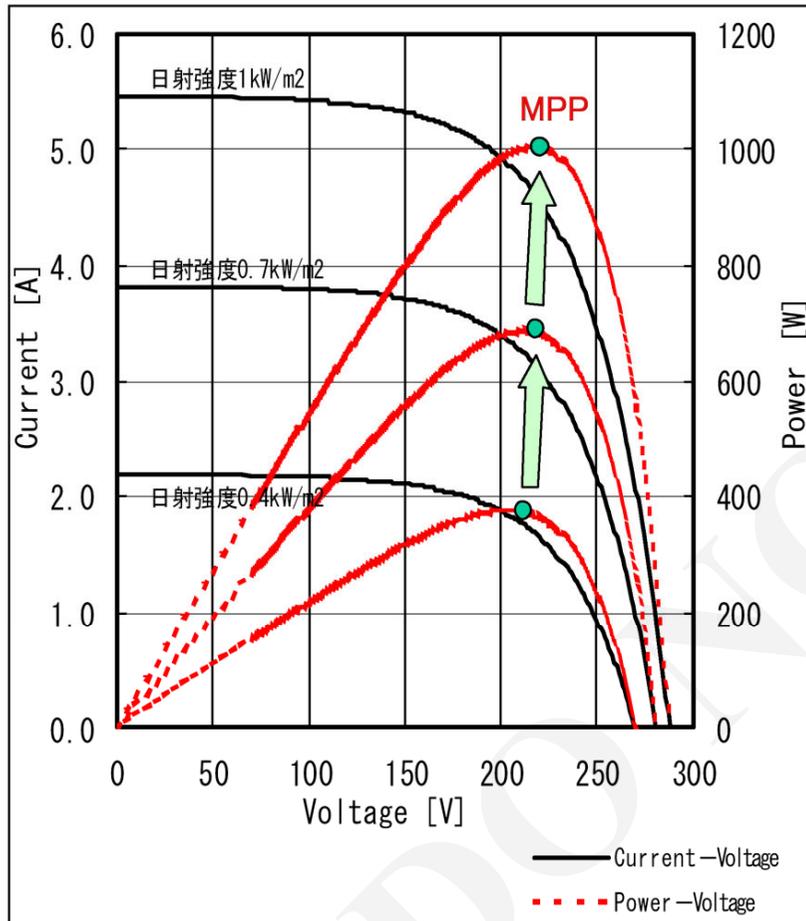
SPWM 操作原理

✓ Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) 正弦波脈寬調變

脈衝寬度按正弦規律變化，使其輸出的脈衝電壓面積與正弦波面積相等。



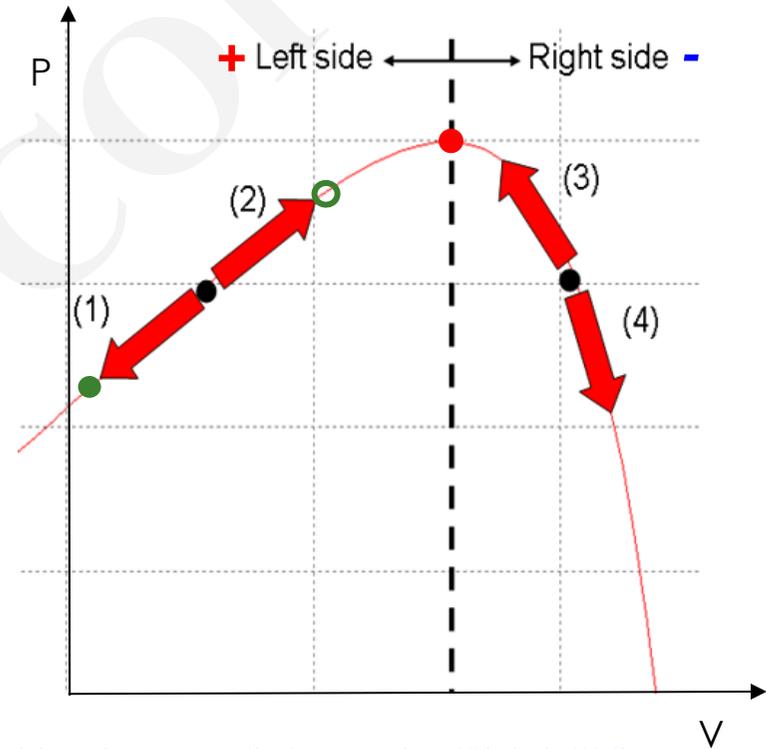
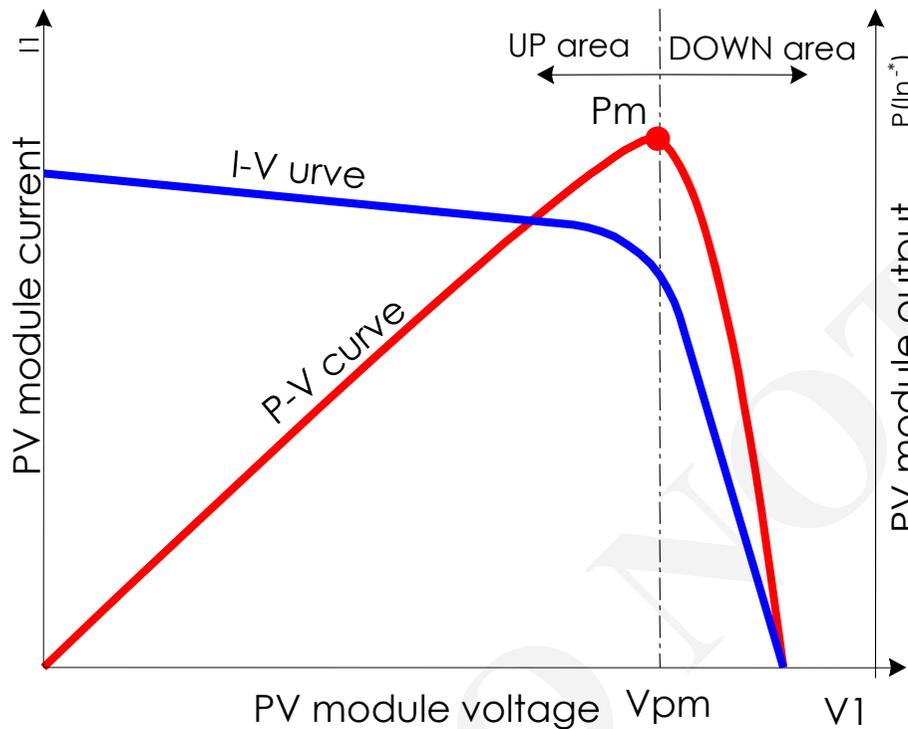
太陽光電模組特形曲線



最大功率追蹤控制

MPPT : Maximum power point tracking

Current vs. voltage and power vs. voltage characteristics of PV module



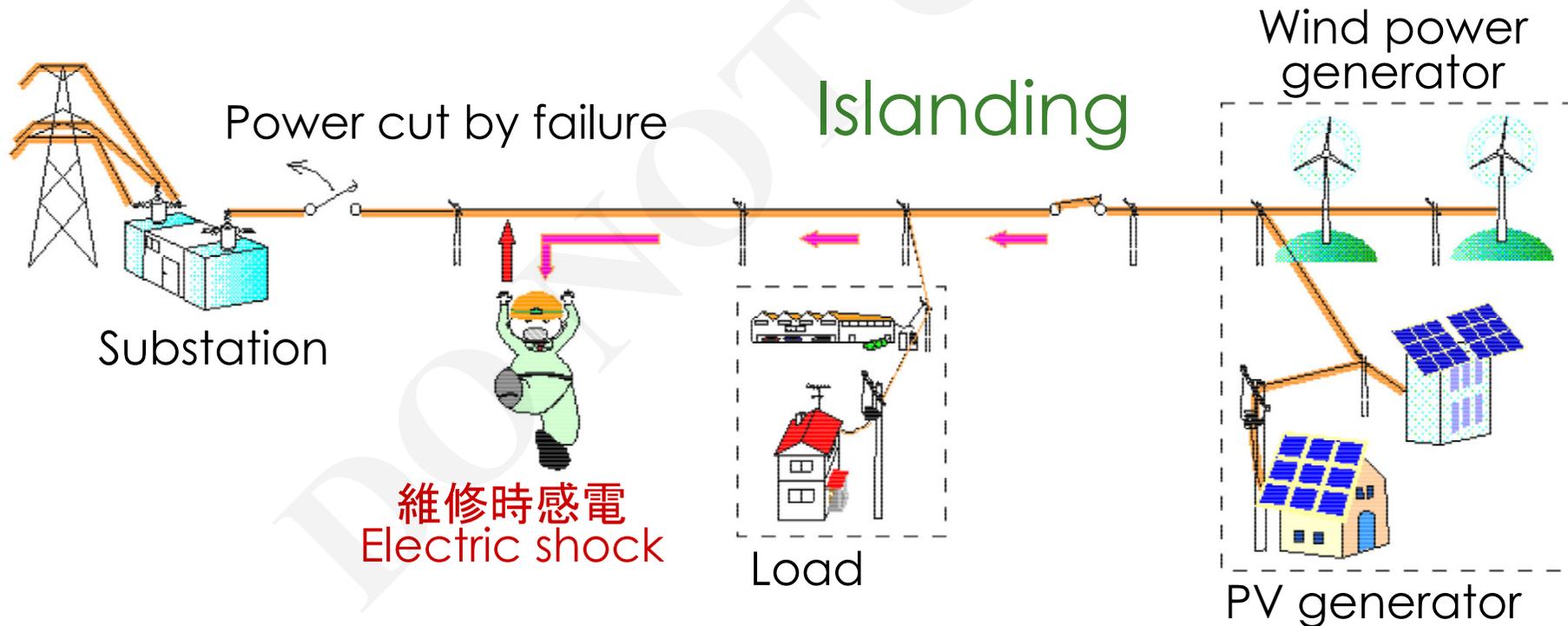
控制電流、電壓升降，同時量測功率變化

- | | |
|--|---|
| (1) $V < V_{mp}$ (Left side), $\frac{dP}{dt} < 0$, $\frac{dV}{dt} < 0 \Rightarrow \frac{dP}{dt} \times \frac{dV}{dt} > 0$ + | (3) $V > V_{mp}$ (Right side), $\frac{dP}{dt} > 0$, $\frac{dV}{dt} < 0 \Rightarrow \frac{dP}{dt} \times \frac{dV}{dt} < 0$ - |
| (2) $V < V_{mp}$ (Left side), $\frac{dP}{dt} > 0$, $\frac{dV}{dt} > 0 \Rightarrow \frac{dP}{dt} \times \frac{dV}{dt} > 0$ + | (4) $V > V_{mp}$ (Right side), $\frac{dP}{dt} < 0$, $\frac{dV}{dt} > 0 \Rightarrow \frac{dP}{dt} \times \frac{dV}{dt} < 0$ - |

孤島運轉保護簡介

孤島效應可能對配電系統設備及用戶端的設備造成不利的影響：

1. 對電力維修人員造成安全威脅。
2. 影響配電系統上的保護協調動作規劃。
3. 孤島效應的供電電壓與頻率的不穩定性可能對用電設備帶損壞。
4. 當供電恢復時，電壓相位不同步將會產生浪涌電流，可能損壞設備。
5. 若光伏發電系統為單相供電，可能造成三相負載欠相供電的不良影響。



孤島保護機制

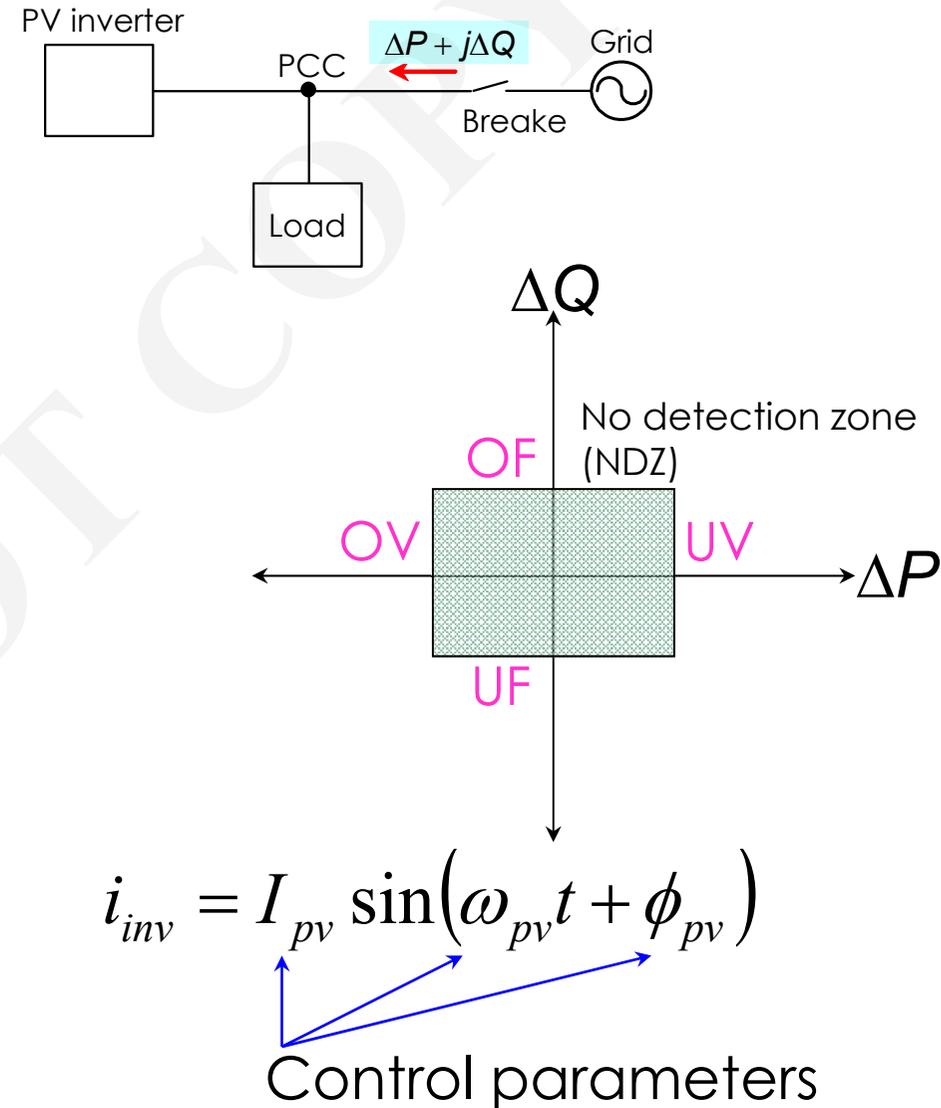
<Protection system>

Passive method

- ✓ Under/over voltage
- ✓ Under/over frequency
- ✓ Voltage phase jump
- ✓ Voltage harmonics
- ✓ Rate of change of frequency

Active method

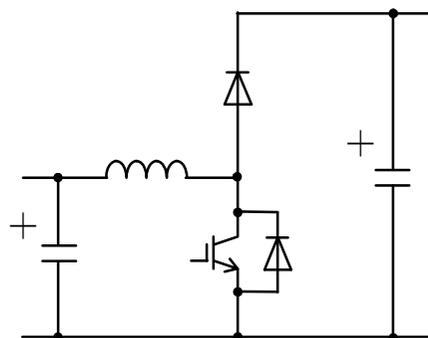
- ✓ Frequency shift
- ✓ Power shift
- ✓ Reactive power shift
- ✓ Impedance insertion



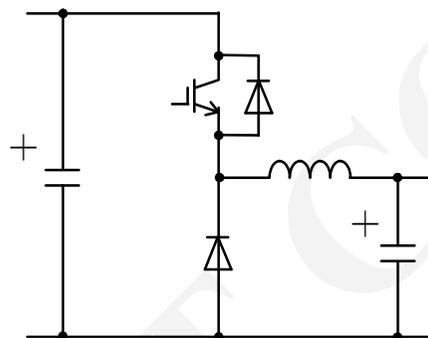
電力轉換器基本架構(1)

Direct d.c. converter: d.c. chopper (DC to DC)

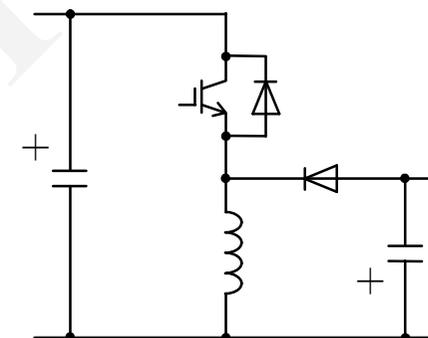
✓ No-reversible power flow



Boost converter

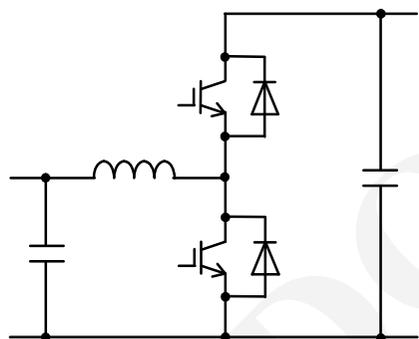


Buck converter

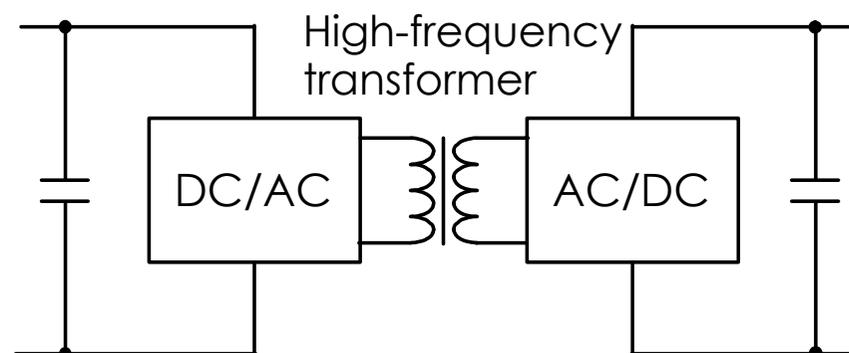


Buck-boost converter

✓ Bi-directional power flow

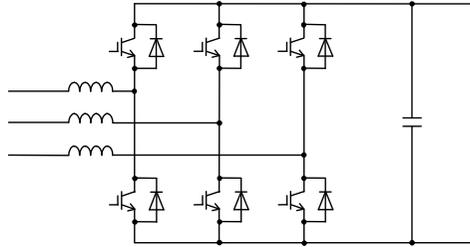


Indirect d.c. converter (DC to DC)

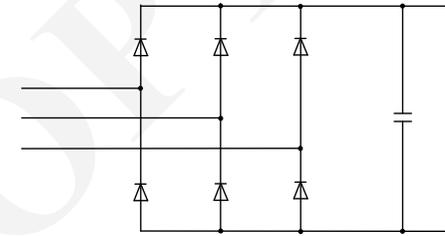


電力轉換器基本架構(2)

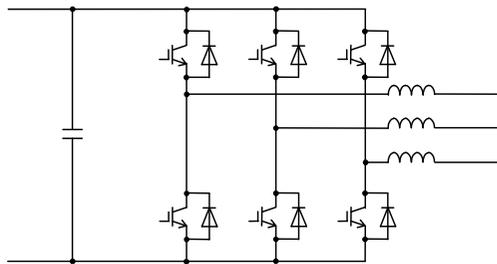
PWM converter (AC to DC)



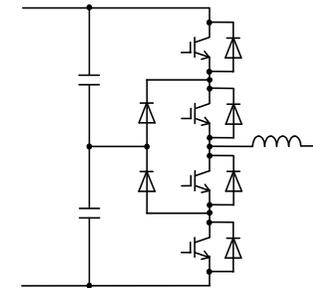
Diode rectifier (AC to DC)



PWM inverter (DC to AC)

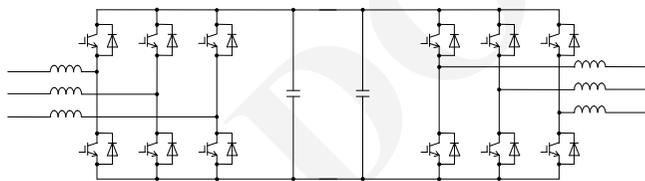


Three-level inverter (DC to AC)

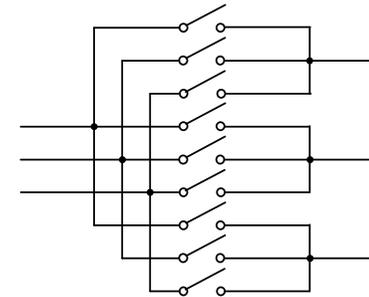


Indirect conversion (AC to AC)

(AC - DC - AC)



Matrix converter (AC to AC)



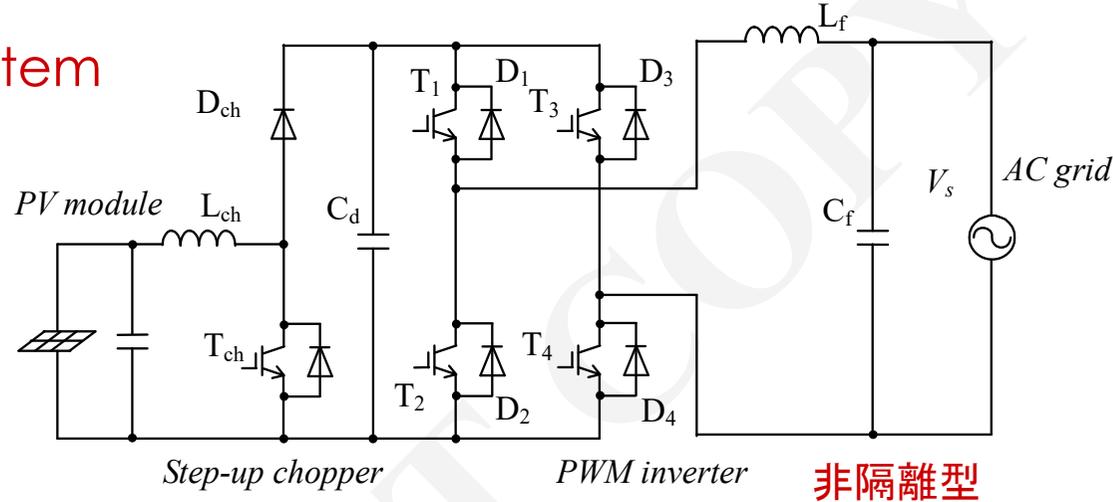
太陽光電變流器架構

Feature

-  Isolation system (with transformer) 隔離型
 - Safety for accidental electrical shock
 - Application for various AC grid voltage
-  No Isolation system (without transformer) 非隔離型
 - Small, light weight, low cost
 - High efficiency
 - Need protection for accidental electrical shock

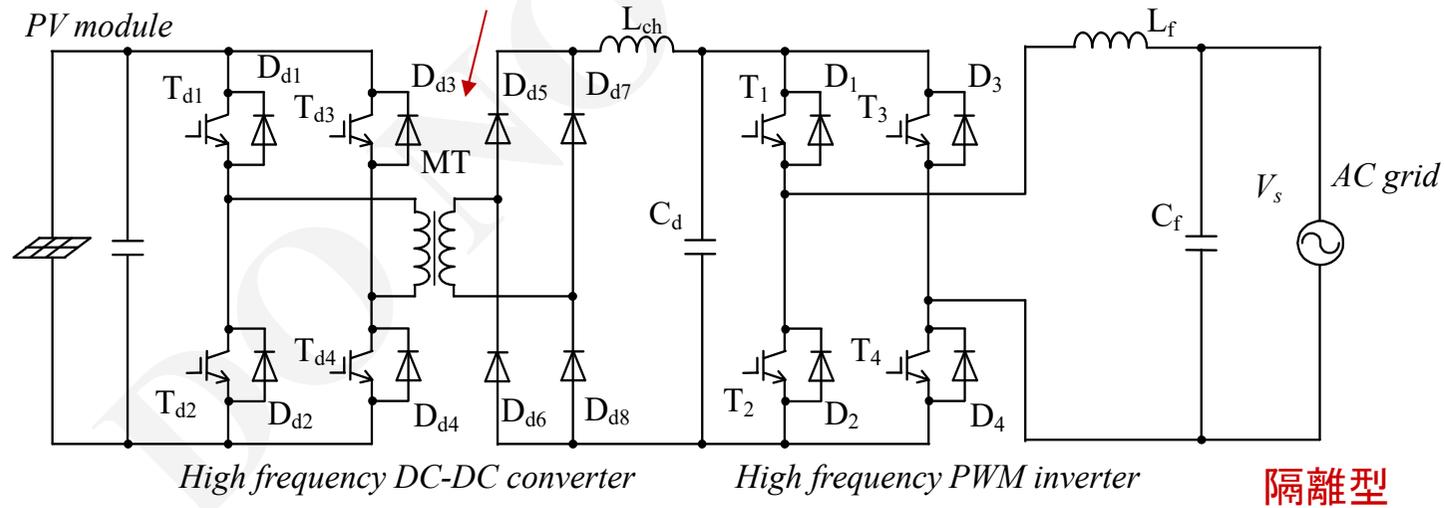
單相(小型)太陽光電變流器主電路架構

◆ No isolation system



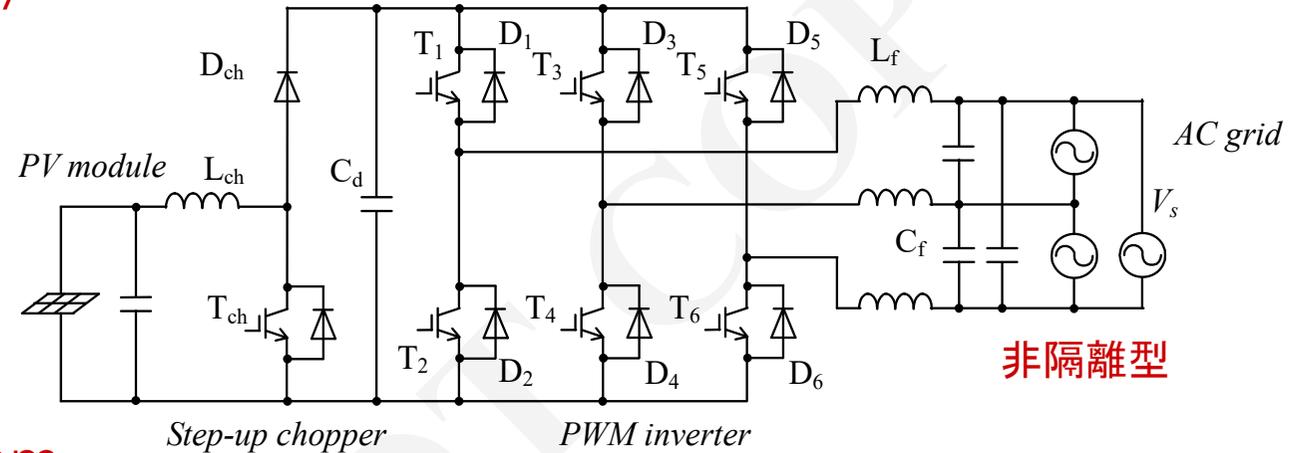
◆ Isolation system

◆ 高頻隔離變壓器

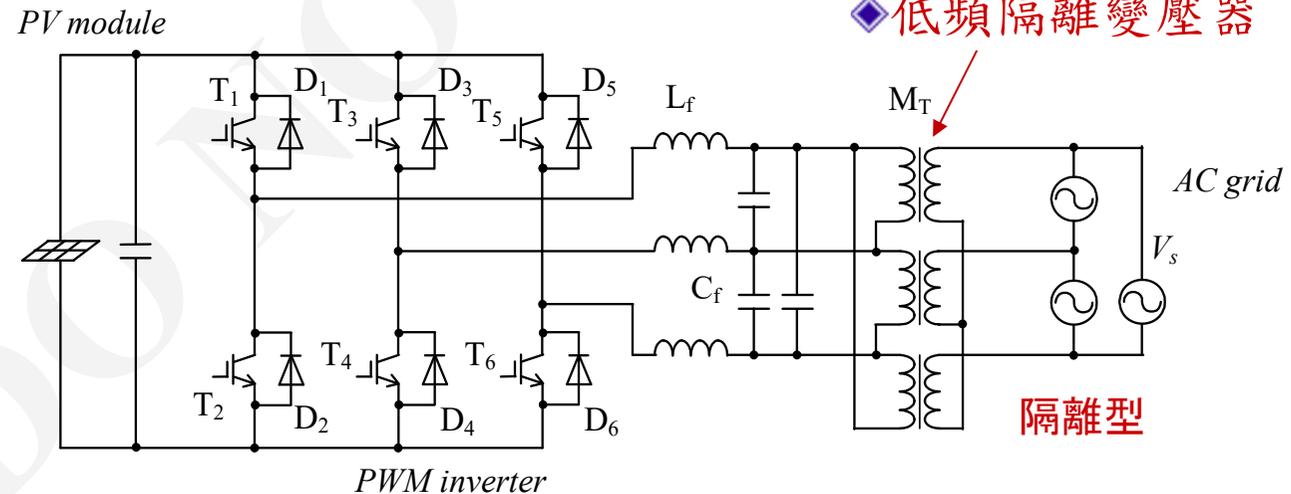


三相太陽光電變流器主電路架構

◆ No isolation system

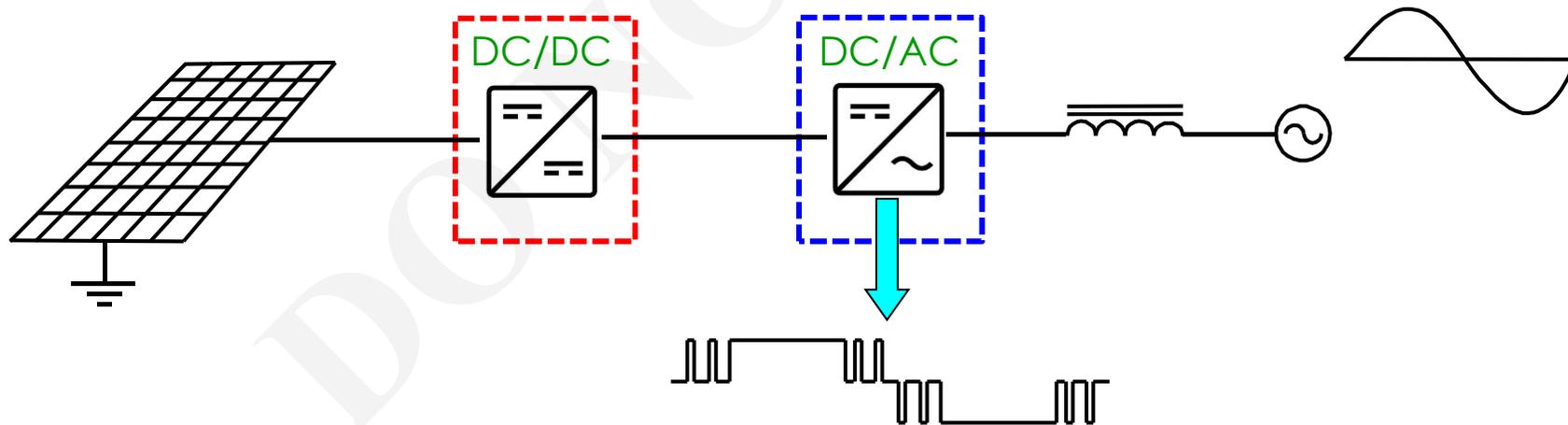
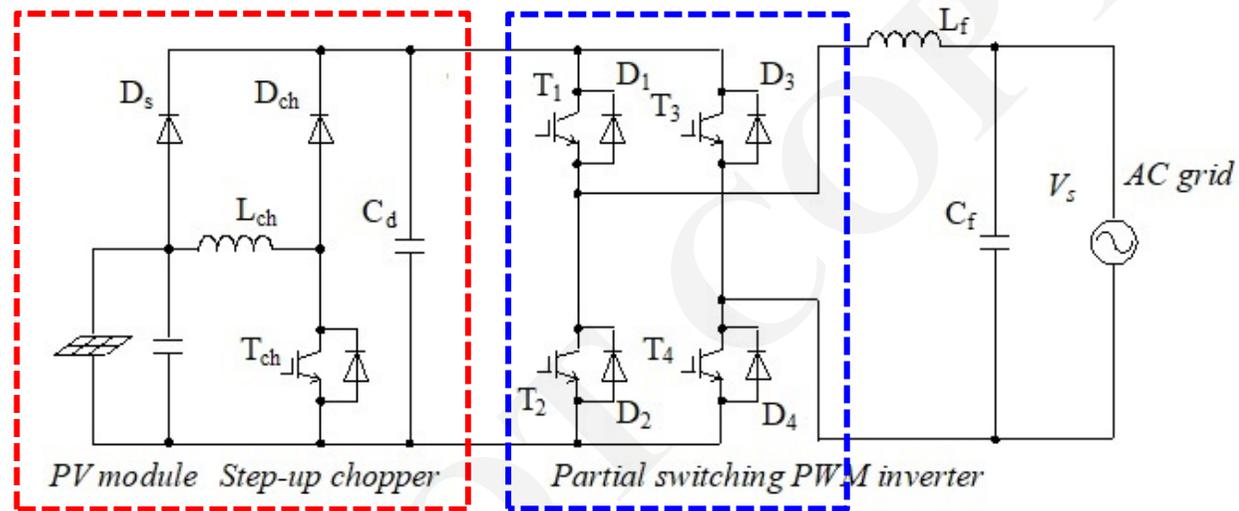


◆ Isolation system



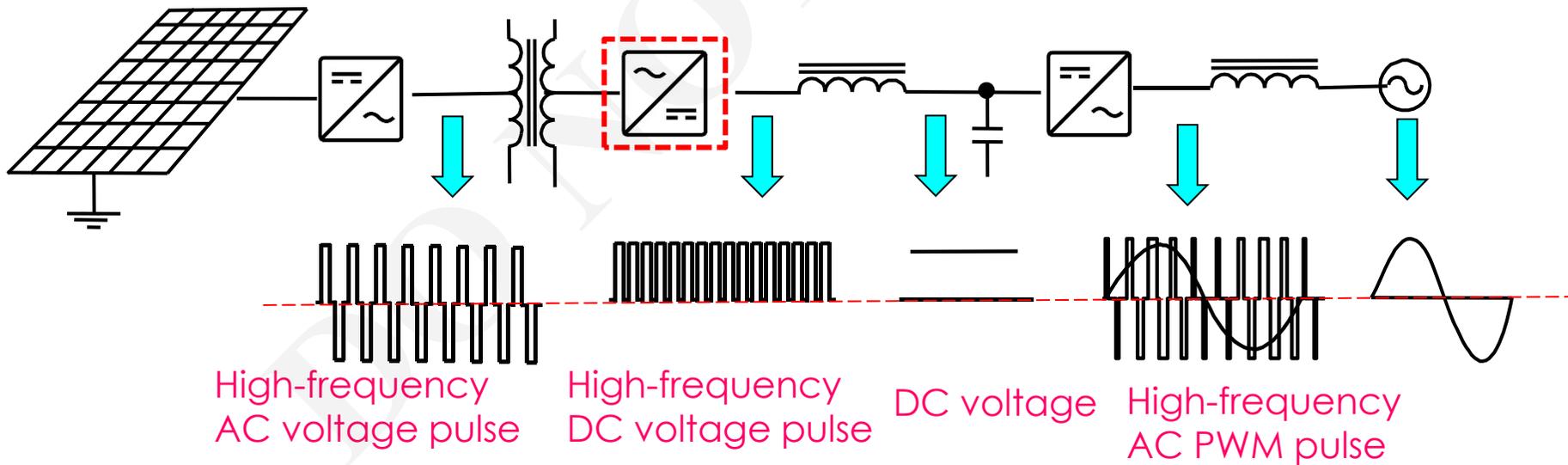
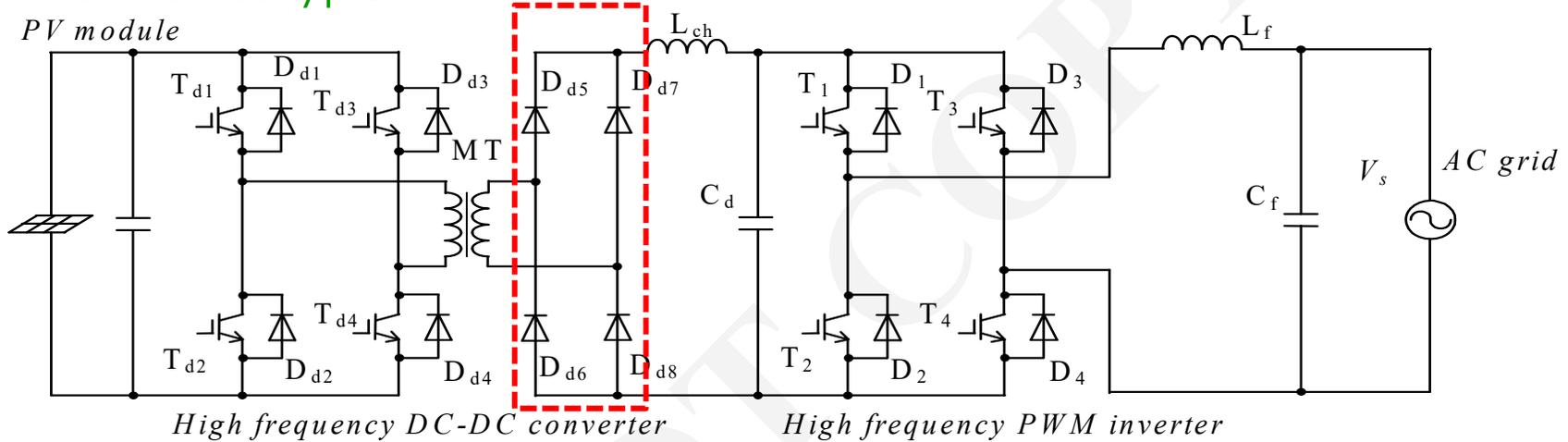
非隔離型太陽光電變流器主電路

Advanced type

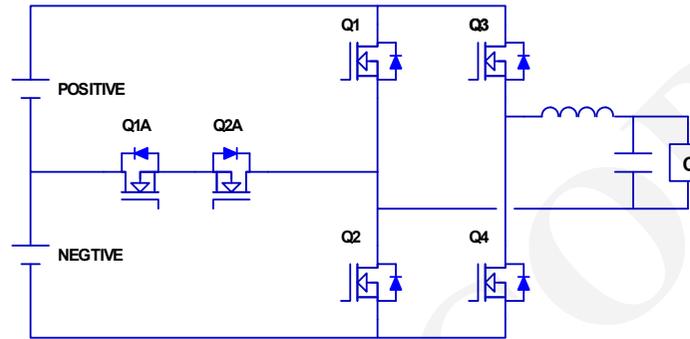


隔離型太陽光電變流器主電路型態(1)

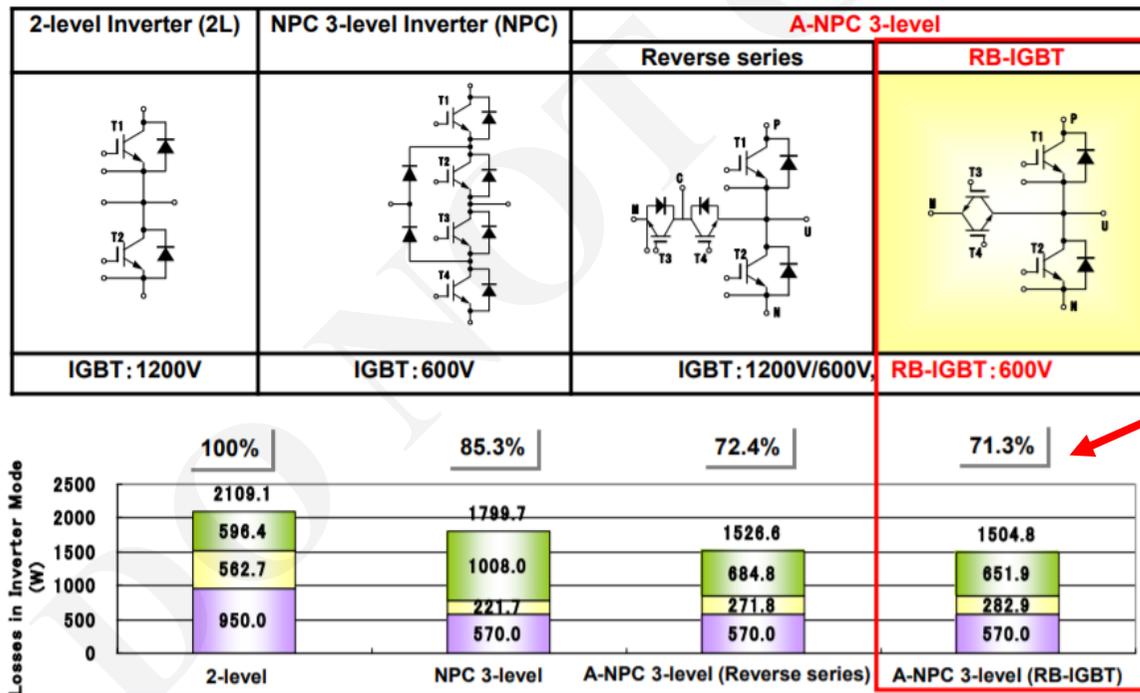
Conventional type



單相多階T-NPC變流器主電路型態



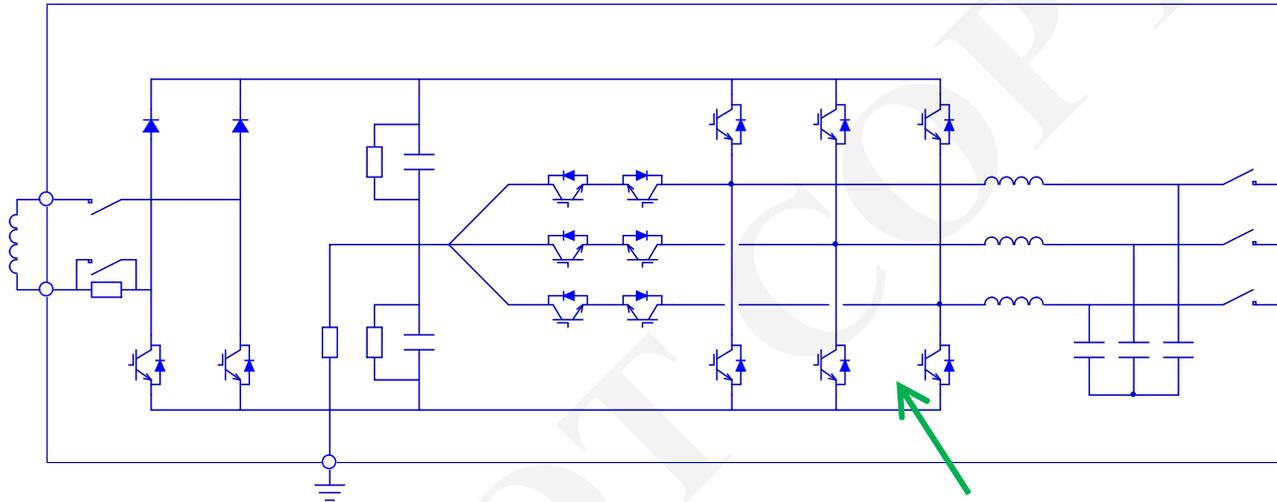
優點比較



重點是降低損失

三相多階T-NPC變流器主電路型態

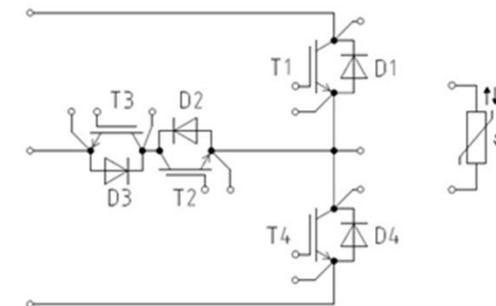
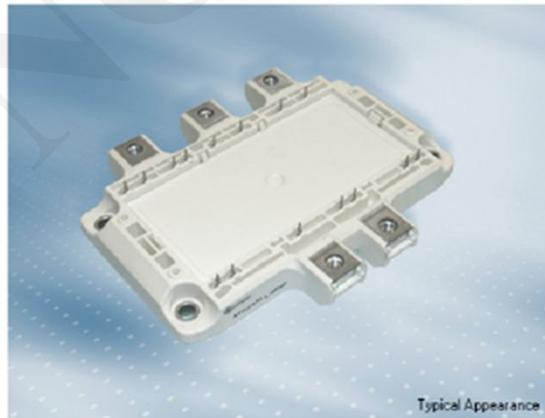
優點：1.效率高 2.干擾小 3.諧波低 (THD) 4.可大型化



APPLICATION

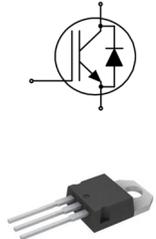
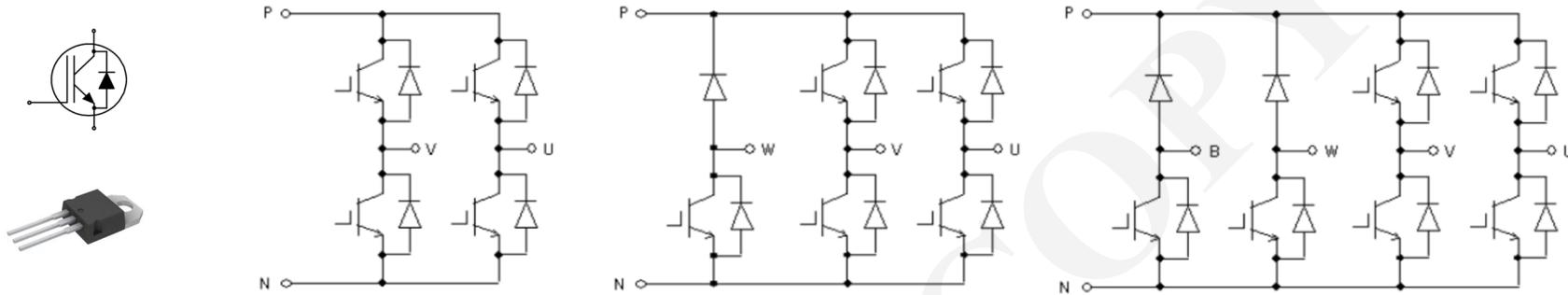
- Uninterruptible power supplies
- Solar inverters
- High speed drives

FD400R12KE3



$V_{CES} = 1200V$
 $I_{C\ nom} = 400A / I_{CRM} = 800A$

功率模組應用於電力調節器



600V, 15A
Air conditioner



600V, 75A
PV inverter



3300V, 2400A
Traction

Features

- All semiconductor devices in one package
- Loss turning for PV application
- Including protection (OC, OT, UV, etc.) and gate driver



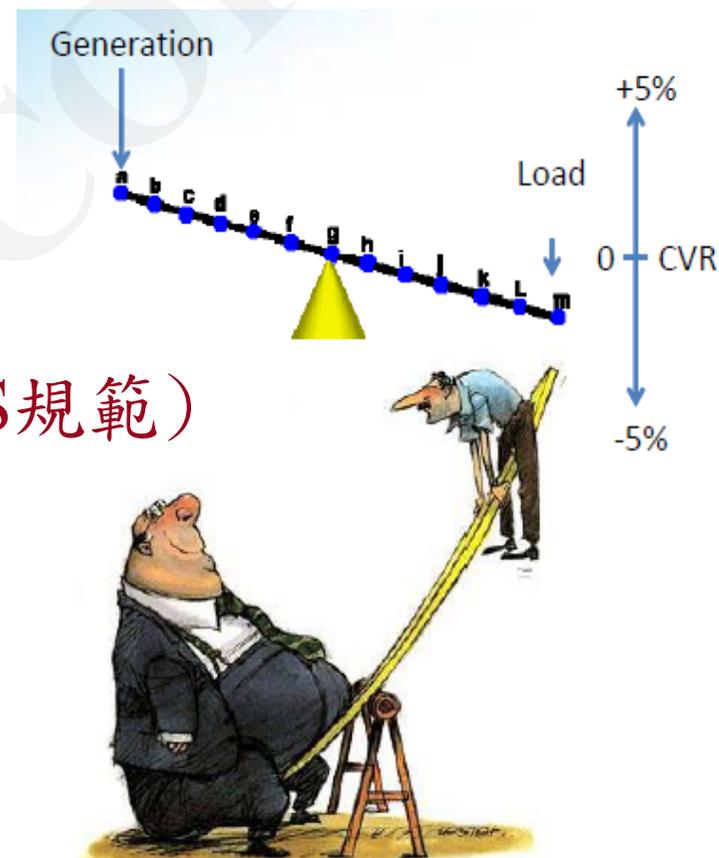
智慧變流器



智慧變流器的功能

智慧變流器功能

- 低電壓穿越能力
- 動態虛功率注入
- 頻率補償
- 自主實虛功率調節功能(CNS規範)



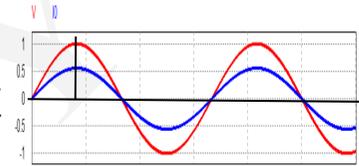
Source : SDGE

實功與虛功

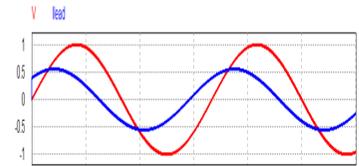
$$P = V \times I \times \cos(\varphi) \dots \text{單位 } W$$

$$Q = V \times I \times \sin(\varphi) \dots \text{單位 } var$$

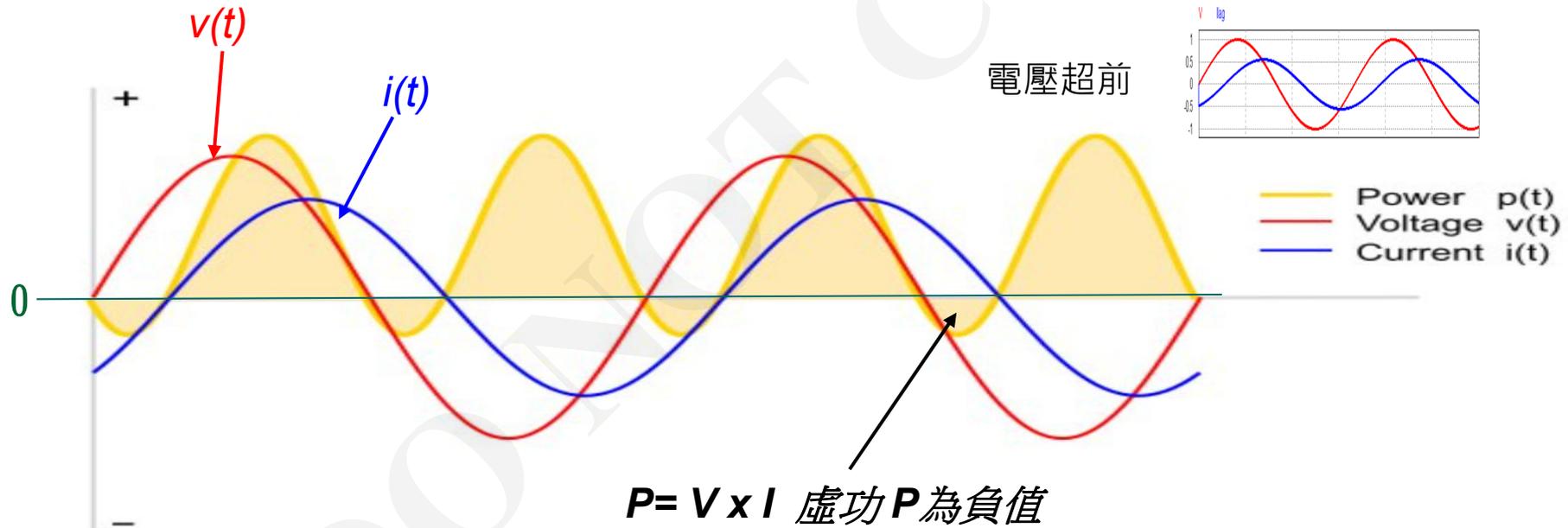
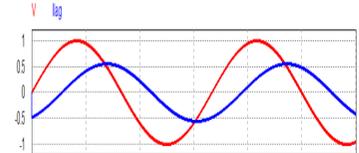
電壓電流同相位



電流超前



電壓超前



電感性負載其電流落後電壓

低電壓穿越

問題:當電網故障或擾動引起電廠併網點的電壓跌落時，使得發電設備異常跳脫，可能致使系統崩潰。

解決方式:當電網故障或擾動引起電廠併網點在一定電壓跌落的範圍內，並且持續一段時間，發電機組仍能夠不間斷併網運行，維持系統的穩定及持續併網的能力，此能力得以大幅減少發電機組在電網發生故障時，反覆跳脫及再次併網的次數，減低對電網的衝擊。

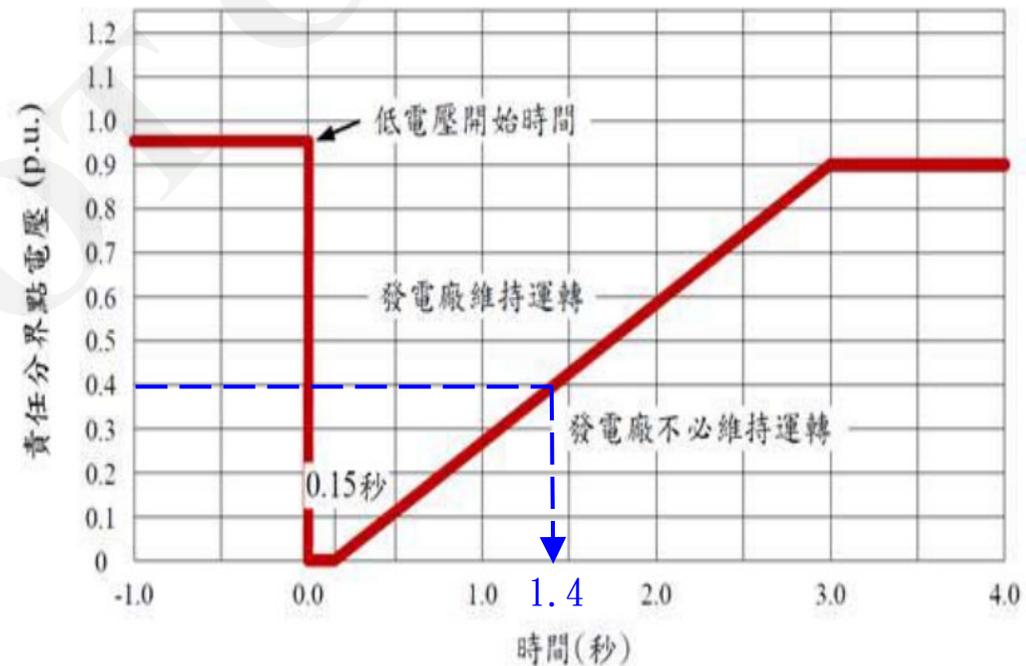
p.u.標么值

實際值與基準值(base value)的比值

$$\text{標么值(p.u.)} = \frac{\text{實際值}}{\text{基準值}}$$

以220VAC為例

$0.4\text{p.u.} = 220 \times 0.4 = 88\text{V}$ ，查表得1.4秒
(百分比概念)



並聯技術要點：七.(四)

風力發電設備併接於特高壓系統以上者應具備低電壓持續運轉能力(LVRT)及高電壓持續運轉能力(HVRT)

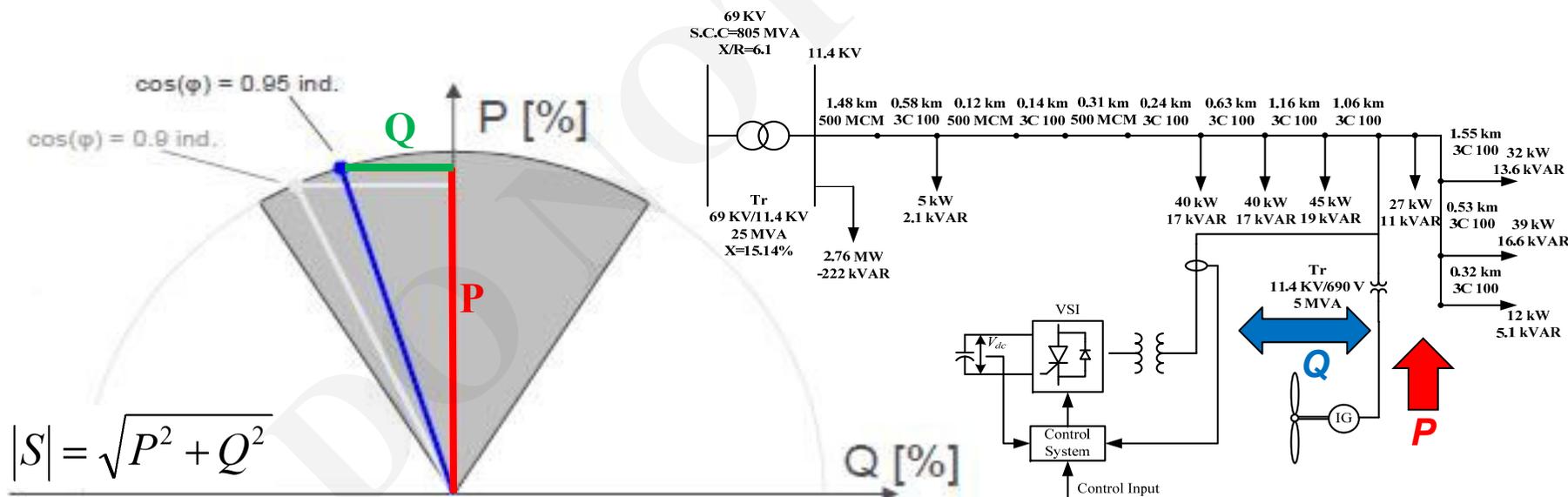
動態虛功注入

問題：饋線導入大量太陽光電時，當併接點後之負載為零時，太陽光電所發的電力逆送回電力網路，造成併接點電壓浮昇，將使得饋線越末端的其他發電業者無法發電。

解決方式：透過對併接點注入虛功的方式，可有效降低電壓上升的問題。

缺點：注入無效功率會使得電力系統的線路損耗增加，降低效率。

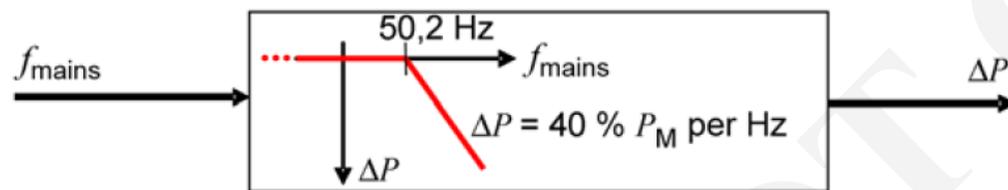
目前變流器CNS規範補償功因0.9，主要是受限於變流器直流輸入端的電容器的尺寸，在不增加成本及體積的情況下，合理可補償的範圍。



頻率補償

問題: 太陽光電發電因劇烈變動時，功率的變化，會使得電力系統反映出頻率的變化，會造成系統的震盪情況。併有可能因為饋線阻抗特性，造成頻率震盪，觸碰頻率保護電驛。

解決方式: 透過直接監控系統頻率的變化，有效抑制實功率的輸出，降低頻率擾動的問題。



電網頻率變高，變流器輸出降低

Where:

P_M is the power generated at the time of exceeding 50,2 Hz;

P is the power reduction;

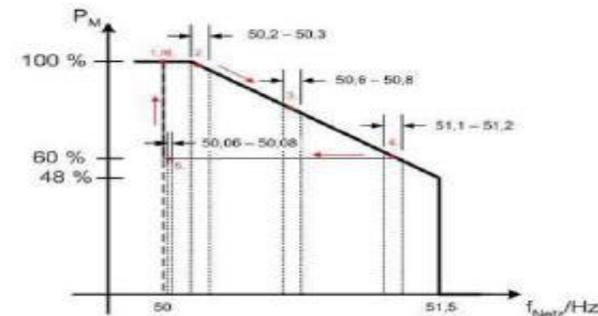
f_{mains} is the mains frequency.

There are no restrictions for frequencies of $47,5 \text{ Hz} \leq f_{mains} \leq 50,2 \text{ Hz}$.

Disconnection from the network is required for $f_{mains} \leq 47,5 \text{ Hz}$ and $f_{mains} \geq 51,5 \text{ Hz}$.

Test Procedure

1. Nominal frequency $\pm 0,01 \text{ Hz}$
2. Nominal frequency $+0,20$ till $+0,30 \text{ Hz}$
3. Nominal frequency $+0,60$ till $+0,80 \text{ Hz}$
4. Nominal frequency $+1,10$ till $+1,20 \text{ Hz}$
5. Nominal frequency $+0,06$ till $+0,08 \text{ Hz}$
6. Nominal frequency $\pm 0,01 \text{ Hz}$



Source: FGW TR3, Mai 2013

Source: AEG Power Solution

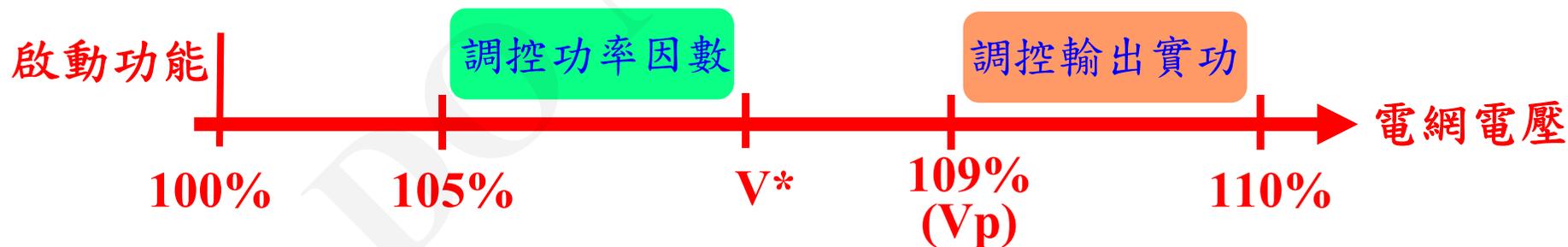
CNS智慧變流器自主調控

太陽光電系統—電力傳輸網界面之特性要求



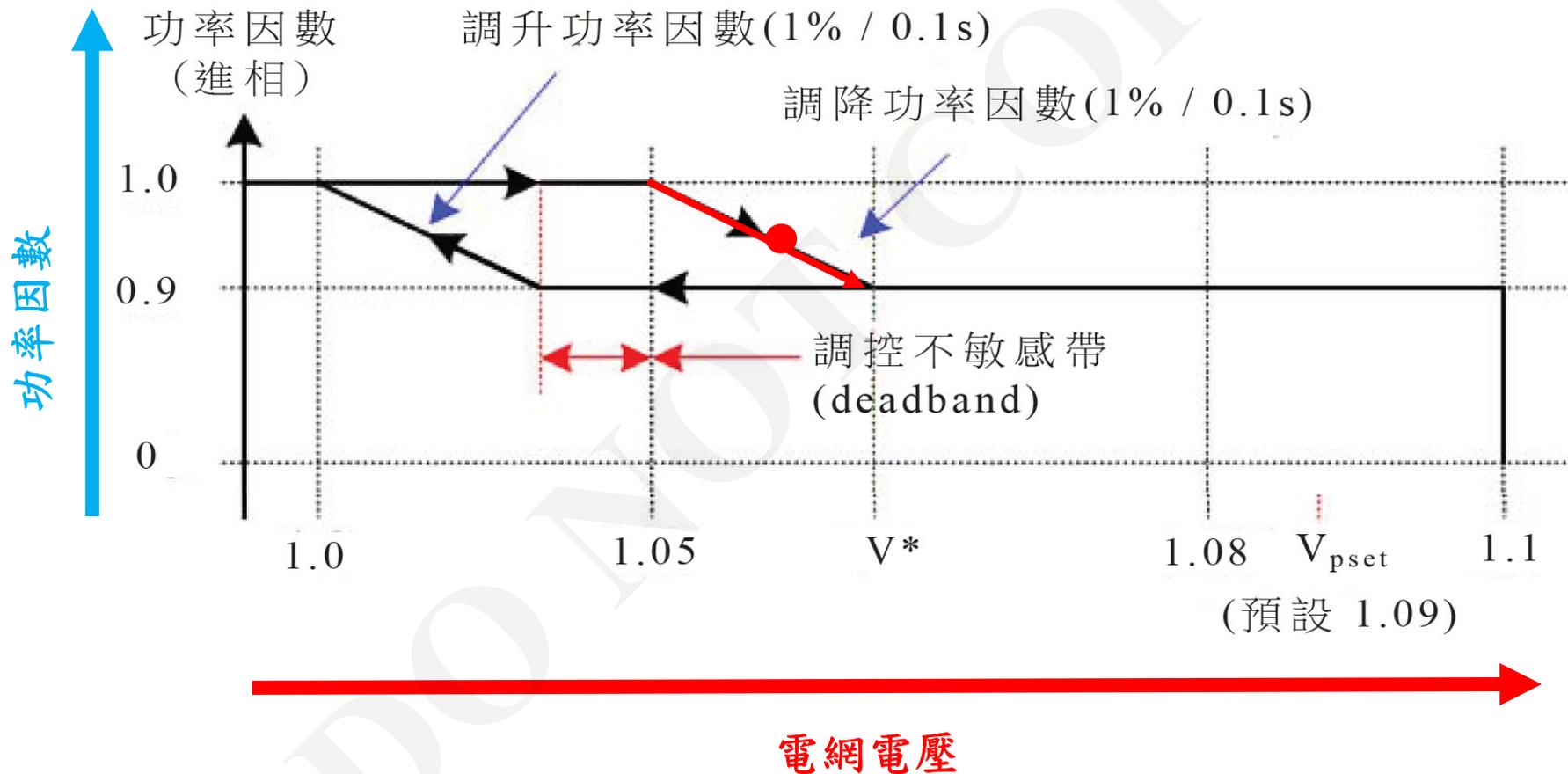
IEC 61727
Photovoltaic (PV) systems –
Characteristics of the utility interface

智慧變流器根據電網電壓，自主調控功率因數與輸出實功



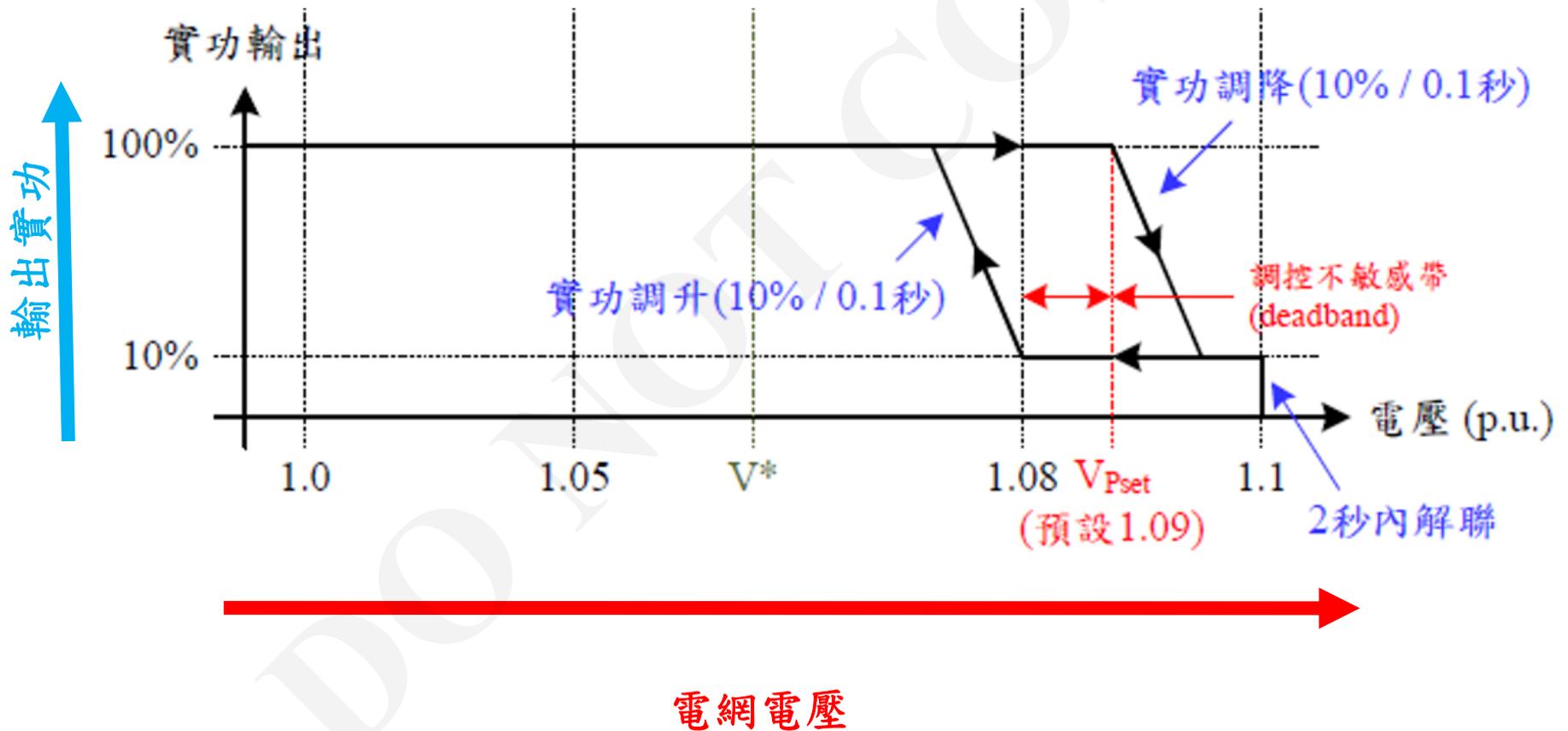
智慧變流器功率因數自主調控

自主調控曲線動態操作-主動虛功注入



智慧變流器實功自主調控

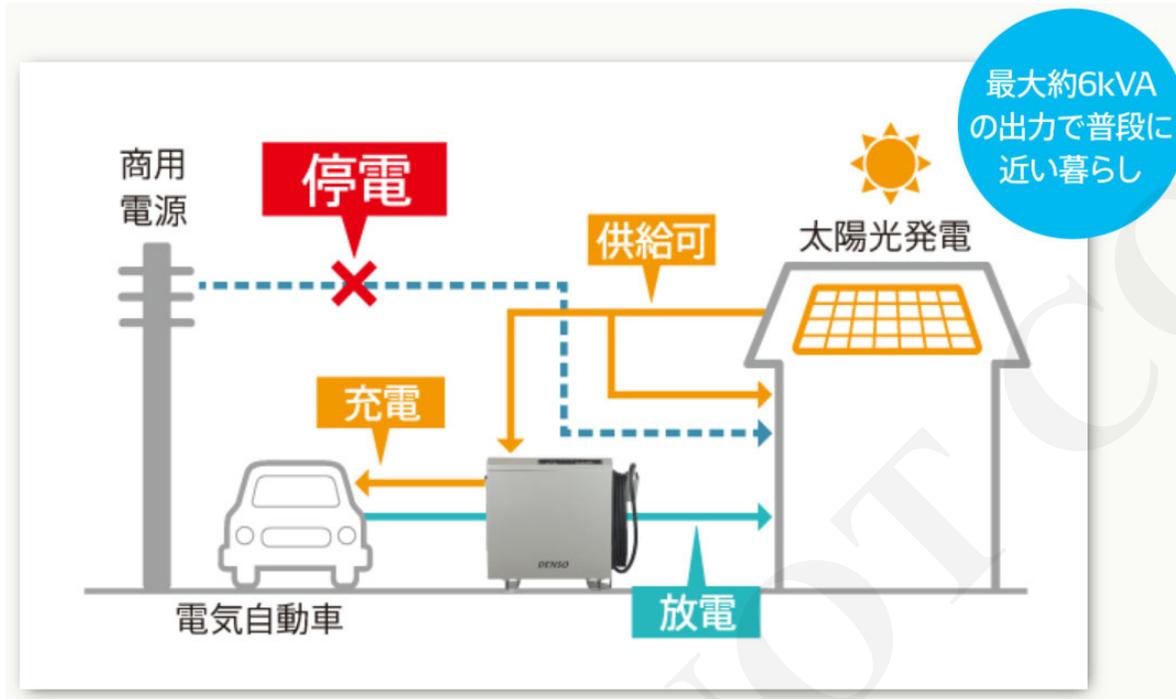
自主調控曲線動態操作-實功控制(降載)



儲能變流器及 自動頻率控制 (AFC)



結合電池儲能之太陽光電系統



中華民國
能源效率標示
每年耗電量
約 **264** 度
本產品能源效率為第**1**級

名稱	電冰箱
型號	NR-B370TV
有效內容積	366 公升
能源因數值	20.3 公升/度/月 (每月消耗1度電所能使用的容積大小)

本產品能源效率符合國家標準，其分級係依據經濟部106年5月10日經能字第10604601990號公告之能源效率分級標準表標示
登錄編號：RFN-108-0093

經濟部能源局

Tesla Model 3 75kWh
(可持續供電103天)



電動汽車=移動式儲能裝置

V2L : Vehicle to Live
V2H : Vehicle to Home
V2G : Vehicle to Grid



備轉輔助服務項目與資源



分類	快速反應備轉	調頻備轉		即時備轉	補充備轉
		dReg	sReg		
反應時間	毫秒~秒	~秒	~1分鐘	~10分鐘 (現在30分鐘)	~30分鐘 (現在60分鐘)
持續時間	3~15分鐘以上	15分鐘以上	30分鐘以上	1小時以上	2~4小時以上
114年 需求量	1000~1200MW (因應偶發事故 系統頻率快速降低)	±1300MW (因應再生能源 瞬時發電變化)		1000MW (視系統最大裝置 容量機組調整)	1000MW (視系統最大裝置 容量機組調整)

資料來源：台電公司

維持**頻率穩定**避免發電機組因低頻保護跳脫

2025年由儲能提供輔助服務達430MW目標

儲能自動頻率控制(AFC)調頻備轉服務採購
Automatic Frequency Control, AFC

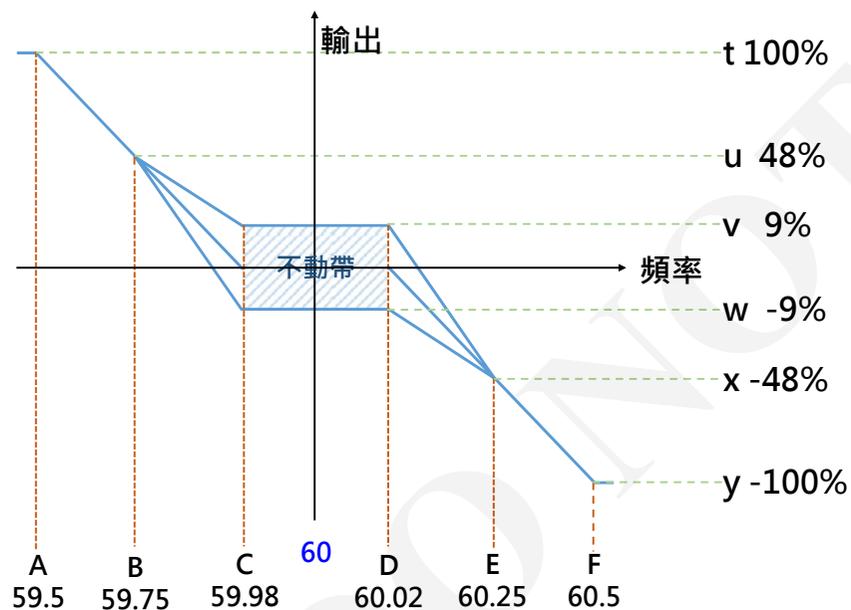
- ✓ 1. 因應電力系統將面對**頻率快速變動**之衝擊。
- ✓ 2. 引進儲能系統快速充/放電之優勢，根據負載波動調整電網頻率穩定。
- ✓ 3. 台電以勞務服務模式，取得由儲能系統提供之自動頻率控制調頻備轉服務。



儲能自動頻率控制(操作規格要求)

操作規格要求：

- ✓ 不動帶：儲能系統可逕行執行放電/充電，功率不允許高於 9%。
- ✓ 第一段：頻率達 59.75Hz 或 60.25Hz 時，系統輸出/輸入功率應達48%。
- ✓ 額定：頻率達 59.50Hz 或 60.50Hz 時，儲能系統輸出/輸入功率應達100%。



頻率與功率對照表

頻率(Frequency)		輸出功率(Output Power)	
系統頻率	位置	功率比值	位置
59.50 Hz	A	100%	t
59.75 Hz	B	48%	u
59.98 Hz	C	9% ~ -9%	v / w
60.02 Hz	D	-9% ~ 9%	w / v
60.25 Hz	E	-48%	x
60.50 Hz	F	-100%	y

頻率與輸出/輸入功率對照圖

變流器商品 規範與驗證



國內變流器產品資訊揭露



標準檢檢局

自願性驗證證書查詢

驗證種類： VPC

登錄字號：

轄區別：

證書號碼：

型號：

貨品中文名稱：

產品分類：

自願性驗證證書查詢

證書號碼	申請人	商品名稱	主型式	▲證書
V457047650012	新望股份有限公司	太陽光電變流器	PV-40000T-U	110.12.09
V637065950031	台達電子工業股份有限公司台南分公司	太陽能變流器	M88H_122	110.12.09
V457047650023	新望股份有限公司	太陽光電變流器	PV-30000T-U	110.12.11
V3C7037550028	日山能源科技有限公司	太陽能變流器	GW60KN-MT	110.12.18
V637065950040	台達電子工業股份有限公司台南分公司	太陽能變流器	RPI M10A	110.12.20

https://civil.bsmi.gov.tw/bsmi_pqn/pqn/uqi2108f.do

國內變流器產品管理機制

台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點 第三點第六款

➤ 太陽光電發電設備之變流器應符合國家標準(CNS)，並提供經濟部標準檢驗局核發之自願性產品驗證證書。



認證體系	北美	歐洲/德國	中華民國	其他
併聯 認證基準	□IEEE 1547	□VDE-AR-N 4105 □VDE 0126-1-1	□CNS 15382	
安規 認證基準	□UL 1741	□EN-62109-1 □EN-50178	□CNS 15426	
電磁相容 認證基準	□FCC part15 class A&B	□EN-61000-6-2 □EN-61000-6-3	□CNS 14674-1 □CNS 14674-3	

能源局
平台登錄



認證體系	中華民國
併聯 驗證標準	CNS 15382(107 年版)
安規 驗證標準	CNS 15426-1(100 年版) CNS 15426-2(102 年版)
電磁相容 驗證標準	CNS 14674-1(免疫,家庭) CNS 14674-2(免疫,工業) CNS 14674-3(輻射,家庭) CNS 14674-4(輻射,工業)

標準檢驗局
VPC登錄



標檢局變流器產品驗證

通過VPC驗證須取得 (1並聯、2安規、3電磁相容、4工檢) 證書。



本局指定試驗室	檢驗能量	檢驗領域
台灣大電力研究試驗中心	700kW	安規、併網、電磁相容
台灣電子檢驗中心	120kW	電磁相容
工研院量測中心	200kVA	安規、併網
全國公證檢驗(股)公司	15kW	安規



VPC標章



電氣安全規範:

- CNS 15426-1 (100 年版)
- CNS 15426-2 (102 年版)

併網:

- CNS 15382 (107 年版)

電磁相容性:二擇一

(1) CNS

- CNS 14674-1(95 年版)
- CNS 14674-2(95 年版)
- CNS 14674-3(95 年版)
- CNS 14674-4(105 年版)

(2) IEC

- IEC 62920(106 年版) 2024年強制實施

資訊安全:

- 太陽光電變流器及監視單元 資安檢測技術規範 (109 年版)

功率容量	~ 120kW 中小型變流器	120kW ~ 2.5MW 大型變流器
執行地點	國內	國外 (臨場試驗、監督試驗)
執行單位	國內指定(法人)實驗室	依據 商品檢驗指定試驗室認可管理辦法第15條規定

電氣安全規範及電磁相容性：二擇一 (1) CNS 14336-1 (99 年版) CNS 13438 (95 年版) (2) CNS 15598-1 (109 年版) CNS 15936 (105 年版) 資訊安全: 太陽光電變流器及監視單元資安檢測技術規範 (109 年版)

課程結束
THANK YOU