

5. 設計計算資料

(一) 各相間不平衡檢討

採用 三相 變流器，共 8 台，交流輸出功率合計 240 kW，各相平衡。

項次	交流輸出功率 (kW)	數量	小計 (kW)
1	30	8	240
合計		8	240

各相之交流輸出功率合計：A ϕ = 70.140 kW，B ϕ = 70.140 kW，C ϕ = 70.140 kW

本案符合再生能源發電併聯要點第三條第四項，1. 併接於低壓三相之配電系統，各相間不平衡未超過 5,000 伏安。2. 併接於低壓單相之配電系統，其最大裝置容量不得超過 20,000 伏安。

(二) 保護協調（故障電流）檢討（第五條與第七條第一項）

1. 發電設備短路容量計算：

短路容量 (kVA) = $V_{mp} \times I_{sc} \times E \times$ 太陽光電模組片數

項次	太陽光電模組峰值電壓 V_{mp} (V)	太陽光電模組短路電流 I_{sc} (A)	變流器效率 E (%)	太陽光電模組片數	短路容量 (kVA)
1	33.35	9.98	98.5	668	218.99
合計				668	218.99

2. 故障電流計算：

故障電流檢討用以正確太陽光電發電系統與台電公司併接後，系統單相短路電流是否會超出管制標準。太陽能光電發電系統產生之故障電流，可採用電力調節器額定電流的 2 倍，作為其產生之故障電流值，再加上故障時，由台電電源系統流入之故障電流共同檢討之。

$\Sigma I_{asy} (kA) = I_{asy} (kA) + PV$ 產生之故障電流

太陽能發電系統單線圖 參考詳圖

2.1 由市電流入之故障電流檢討：

◆系統資料

電 源 系 統		責任分界點之三相短路容量	X / R
3 ϕ	22.8 kV	500 MVA	25

◆變壓器之基本資料

變壓器名稱	容量 (kVA)	變壓器 結線法	一次側電壓 (V)	二次側電壓 (V)	百分率阻抗值			激磁電流 (%)	備註
					R %	X %	Z %		
TPC-TR1	501		22,800	380 - 220	1.20	1.96	2.30		台電

◆計算基準：基值容量 $kVA_b = 1000 \text{ kVA}$

基值電壓 $kV_{b1(3\phi)} = 22.8 \text{ kV}$	基準電流 $I_{b1(3\phi)} = 25.3 \text{ A}$	基準阻抗 $Z_{b1(3\phi)} = 519.84 \Omega$
基值電壓 $kV_{b2(3\phi)} = 0.38 \text{ kV}$	基準電流 $I_{b2(3\phi)} = 1519.3 \text{ A}$	基準阻抗 $Z_{b2(3\phi)} = 0.1444 \Omega$

5. 設計計算資料

◆基值電流 I_b 及基值阻抗 Z_b 之計算公式如下：

單相基值電流 $I_{b(1\phi)} = \frac{kVA_b}{kV_b}$ A	單相基值阻抗 $Z_{b(1\phi)} = \frac{kV_b \times 1000}{I_b} = \frac{(kV_b)^2 \times 1000}{kVA_b}$ Ω
三相基值電流 $I_{b(3\phi)} = \frac{kVA_b}{\sqrt{3}kV_b}$ A	三相基值阻抗 $Z_{b(3\phi)} = \frac{kV_b \times 1000}{\sqrt{3}I_b} = \frac{(kV_b)^2 \times 1000}{kVA_b}$ Ω

◆單相短路容量為三相短路容量的二分之一，證明如下：

$$\text{三相短路容量 MVA} = \sqrt{3}kV \times I_{s(3\phi)} \quad , \quad I_{s(3\phi)} = \frac{I_{b(3\phi)}}{puz} \quad , \quad I_{s(1\phi)} = \frac{I_{b(1\phi)}}{puz}$$

三相平衡時流入中性點之電流為零，又單相短路時其阻抗為兩線之和 $= 2 puz$ ，則：

$$\frac{I_{s(1\phi)}}{I_{s(3\phi)}} = \frac{\frac{I_{b(1\phi)}}{2 puz}}{\frac{I_{b(3\phi)}}{puz}} = \frac{I_{b(1\phi)}}{2 \times I_{b(3\phi)}} = \frac{\frac{kVA_b}{kV_b}}{2 \times \frac{kVA_b}{\sqrt{3}kV_b}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \rightarrow \quad \text{得 } I_{s(1\phi)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{s(3\phi)}$$

$$kV \times I_{s(1\phi)} = \frac{1}{2} \times \sqrt{3} \times kV \times I_{s(3\phi)} \quad \rightarrow \quad \text{單相短路容量 MVA} = \frac{1}{2} \text{ 三相短路容量 MVA} \quad \dots\dots OK$$

5. 設計計算資料

故障點	配電盤名稱	基準電壓 (kV)	基準電流 (A)	基準阻抗 (Ω)	電壓 (kV)	長度 (m)	每 相 電 纜			管別	電阻 R (Ω/km)	電抗 X _l (Ω/km)	Σ 等效阻抗 (Ω)		X/R	K	I _{sym} (kA)	I _{asy} (kA)	I _{cu} (kA) I _{cs} = 50%I _{cu}
							線別	線 徑	條數				R (pu)	X (pu)					
f-1	KWH	0.38	1519.3	0.1444	0.6	10	XLPE.C	250	2	PVC.P	0.0957	0.1144	0.02726581	0.04512290	1.65	1.01	28.82	29.11	30
f-2	AC	0.38	1519.3	0.1444	0.6	20	XLPE.C	250	2	PVC.P	0.0957	0.1144	0.03389323	0.05304534	1.57	1.01	24.14	24.38	30

5. 設計計算資料

★TPC-TR1 容量： 501 kVA 二次側 3 ϕ 4W 380 - 220 V 供電系統：

◆電源系統阻抗：責任分界點之三相短路容量 500 MVA，基值容量 $kVA_b = 1000$ kVA

$$Z_s = j \frac{kVA_b}{kVA_s} = \frac{1000}{500} \frac{kVA}{MVA} = \frac{1000}{500 \times 1000} \frac{kVA}{kVA} = j 0.002 = 0.002 \angle 90^\circ (p.u.)$$

$$\text{◆變壓器阻抗 } Z_{TR} = 0.012 + j 0.01962 \rightarrow Z_{TR} \times \frac{kVA_b}{kVA_{TR}} = 0.0239521 + j 0.03916168 (p.u.)$$

$$\Sigma Z_{TR} = Z_s + Z_{TR} = 0.02395210 + j 0.04116168 = 0.04762339 \angle 59.8^\circ (p.u.)$$

◆配電盤名稱：KWH 故障點： $f-1$ TR二次側： $kV_{b2} = 0.38$ kV $I_{b2} = 1519.3$ A $Z_{b2} = 0.1444 \Omega$

配管線： 0.6 kV XLPE.C 250 mm²， 2 / ϕ ， 10 m， IN PVC.P $Z_{cable} = 0.0957 + j 0.1144 (\Omega/km)$

$$Z_w = \frac{Z_{cable}}{Z_{b2}} = \frac{0.0957 + j 0.1144}{0.1444} \times \frac{10 \text{ m}}{1000 \text{ m}} \times \frac{1}{2} = 0.00331371 + j 0.00396122 = 0.00516449 \angle 50.1^\circ (p.u.)$$

$$\Sigma Z_{f-1} = \Sigma Z_{TR} + Z_w = 0.02726581 + j 0.04512290 = 0.05272097 \angle 58.9^\circ (p.u.)$$

$$\text{對稱故障電流： } I_{f-1} (sym) = \frac{I_{b2}}{\Sigma Z_{f-1}} = 28.82 \text{ (kA)} \quad \frac{X}{R} = 1.65, K = 1.01$$

$$\text{非對稱故障電流： } I_{f-1} (asy) = K \times I_{f-1} (sym) = 29.11 \text{ (kA)} \rightarrow (I_{cu} = 30 \text{ kA} \geq 29.11 \text{ kA}) \dots\dots \text{OK}$$

◆配電盤名稱：AC 故障點： $f-2$ 基準值： $kV_{b2} = 0.38$ kV $I_{b2} = 1519.3$ A $Z_{b2} = 0.1444 \Omega$

配管線： 0.6 kV XLPE.C 250 mm²， 2 / ϕ ， 20 m， IN PVC.P $Z_{cable} = 0.0957 + j 0.1144 (\Omega/km)$

$$Z_w = \frac{Z_{cable}}{Z_{b2}} = \frac{0.0957 + j 0.1144}{0.1444} \times \frac{20 \text{ m}}{1000 \text{ m}} \times \frac{1}{2} = 0.00662742 + j 0.00792244 = 0.01032898 \angle 50.1^\circ (p.u.)$$

$$\Sigma Z_{f-2} = \Sigma Z_{f-1} + Z_w = 0.03389323 + j 0.05304534 = 0.06294886 \angle 57.4^\circ (p.u.)$$

$$\text{對稱故障電流： } I_{f-2} (sym) = \frac{I_{b2}}{\Sigma Z_{f-2}} = 24.14 \text{ (kA)} \quad \frac{X}{R} = 1.57, K = 1.01$$

$$\text{非對稱故障電流： } I_{f-2} (asy) = K \times I_{f-2} (sym) = 24.38 \text{ (kA)} \rightarrow (I_{cu} = 30 \text{ kA} \geq 24.38 \text{ kA}) \dots\dots \text{OK}$$

5. 設計計算資料

2.2 由太陽光發電系統 PV 產生之故障電流檢討：

$$PV \text{ 總額定電流 } I_n (A) = 210.42 \text{ kWp} / (\sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 1) = 319.7 (A)$$

$$PV \text{ 產生之故障電流 } = 2 \times I_n (A) = 2 \times 319.7 = 639.4 (A) \approx 0.64 (kA)$$

2.3 故障點 KWH 表後箱之故障電流 $\Sigma I_{asy} (kA) = I_{asy} (kA) + PV \text{ 產生之故障電流}：$

$$\Sigma I_{asy} (kA) = 29.14 (kA) + 0.64 (kA) = 29.78 (kA)，採用 30 (kA) \dots\dots \text{OK}$$

2.4 故障點 AC 箱之故障電流 $\Sigma I_{asy} (kA) = I_{asy} (kA) + PV \text{ 產生之故障電流}：$

$$\Sigma I_{asy} (kA) = 24.44 (kA) + 0.64 (kA) = 25.08 (kA)，採用 30 (kA) \dots\dots \text{OK}$$

5. 設計計算資料

(三) 電壓變動率（壓降、損失率）檢討：（詳註3）（第七條第二項及第五項）

1. 線路損失計算檢討： ☐ 併聯低壓內線，不計線損。

計量設備至責任分界點線路損失

三相 線路損失 $P_{Loss} = 3 \times I_{OUT}^2 \times Z \times L$

售電表箱至併接點距離大約 10 M $\rightarrow L = 0.01$ (km)

採用 XLPE 電纜 250 mm²，線路阻抗 $R = 0.0722$ (Ω / km) @ (20℃ 直流電阻)

$0.0722 \times [1 + 0.00393 (60 - 20)] \times 1.04 = 0.0868$ (Ω / km) @ (60℃ 交流電阻)

雙路 並聯，並聯後之線路總阻抗 $R' = 0.0434$ (Ω / km) @ (60℃ 交流電阻)

裝置容量 $P_{OUT} = 210.42$ kWp，輸出電壓 $V_{OUT} = 380$ V

$I_{OUT} = PV \text{ 裝置容量 kWp} / (\sqrt{3} \times \text{線電壓}) = 210.42 / (\sqrt{3} \times 0.38) = 319.7$ (A)

三相 線路損失 $P_{Loss} = 3 \times I_{OUT}^2 \times Z \times L$

$= 3 \times 319.7^2 \times 0.0434 \times 0.01 = 133.07$ (W)

◆ 損失率 $Loss (\%) = P_{Loss} / P_{OUT} \times 100 \% = 133.07 / 210420 \times 100 \% = 0.0632$ (%)

2. 電壓變動率及閃爍檢討：

併聯電壓變動率 $\leq 3 \%$ 檢討符合規定。

太陽光電發電系統非屬「台灣電力股份有限公司電壓閃爍管制要點」適用對象，故免檢討。

3. 電壓降計算檢討：

電壓降檢討說明

依據「用戶用電設備裝置規則」之「第 7 條」規定：

供電給照明、電力、電熱或該等混合負載之低壓幹線及其分路，其電壓降均不得超過標稱電壓百分之三，兩者合計不得超過百分之五。

計算公式依供電方式如下：

單相兩線：	$VD(\%) = \frac{2 \times I \times L \times (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta)}{V} \times 1000$	符號說明 I ：線路電流 (A)
-------	---	-------------------------

5. 設計計算資料

單相三線和三相四線：	$VD(\%) = \frac{I \times L \times (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta)}{V} \times 1000$	L：導線長度 (km) V：相電壓 (V) R：導線電阻 (Ω / km) X：導線電抗 (Ω / km)
三相三線：	$VD(\%) = \frac{\sqrt{3} \times I \times L \times (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta)}{V} \times 1000$	

◆單路幹線壓降：																		
迴路類型	起始盤名	→	迄點盤名 或負載名	相 / 線	電壓 (V)	負載容量 (kVA)	負載電流 (A)	長度 (m)	每 相 電 纜			電阻 R (Ω / km)	電抗 XL (Ω / km)	功 因		配管管徑		壓降 VD(%)
									線別	線徑	組數			cos θ	sin θ	管別	(mm)	
單路幹線	TPC-TR1	→	KWH	3 \$ 4W	380 - 220 V	210.42	319.70	10	XLPE.C	250	2	0.0869	0.1144	1.00	0.00	PVC	Ø 100	0.060
單路幹線	KWH	→	AC	3 \$ 4W	380 - 220 V	210.42	319.70	20	XLPE.C	250	2	0.0869	0.1144	1.00	0.00	PVC	Ø 100	0.130
◆分路壓降：採該盤最大值者來呈現																		
迴路類型	起始盤名	→	迄點盤名 或負載名	相 / 線	電壓 (V)	負載容量 (kVA)	負載電流 (A)	長度 (m)	每 相 電 纜			電阻 R (Ω / km)	電抗 XL (Ω / km)	功 因		配管管徑		壓降 VD(%)
									線別	線徑	組數			cos θ	sin θ	管別	(mm)	
分路	AC	→	INV2	3 \$ 4W	380 - 220 V	25.83	39.24	3	XLPE.C	14	1	1.5044	0.2086	1.00	0.00	DUCT	DUCT	0.080
◆合成幹線壓降：																		
迴路類型	起始盤名 → 迄點盤名或負載名																	壓降 VD(%)
合成幹線	TPC-TR1→KWH→AC = 0.06+0.13 = 0.19% < 3% ... OK																	0.190
◆幹線+分路壓降：分路採該盤最大值者來計算																		
迴路類型	起始盤名 → 迄點盤名或負載名																	壓降 VD(%)
幹線+分路	TPC-TR1→KWH→AC→INV2 = 0.06+0.13+0.08 = 0.27% < 5% ... OK																	0.270

5. 設計計算資料

(四) 暫態穩定度 (併接離島獨立高壓系統者檢討)

本系統非屬 161,000 伏特以上特高壓系統及離島地區免檢討，符合併聯要點第七條第三項規定。

(五) 接地系統檢討

1. 太陽能發電系統接地屬設備接地，接地電阻值 $R \leq 10 \Omega$ ，符合用戶用電設備裝置規則第一章第八節。

2. 接地計算檢討：

依據規範：IEEE Std 142-1982，BS-7430-1991 及「用戶用電設備裝置規則」標準規定計算。

◆ 接地棒之接地電阻 R_r ：

1. 單一接地棒之接地電阻：	$R_1 = \frac{\rho}{2\pi \times L} \times \left(\ln \frac{4 \times L}{r} - 1 \right) (\Omega)$	並聯係數 $a = \frac{\rho}{2\pi \times R_1 \times S}$
2. N 根接地棒並聯之接地總電阻：	$R_r = R_1 \times \frac{1 + \lambda \times a}{N} (\Omega)$	
ρ ：土壤電阻係數 ($\Omega \cdot m$)， L ：接地棒長度 (m)， r ：接地棒半徑 (m)， S ：接地棒之間距 (m)， λ ：每一邊接地棒數量之參數		

◆ 接地線之接地電阻 R_w ：

1. 單一接地線之接地電阻：	$R_1 = \frac{\rho}{2\pi \times L} \times \left\{ \left[\ln \left(\frac{2 \times L}{r} \right) + \ln \left(\frac{L}{D} \right) - 2 + \frac{2 \times D}{L} - \frac{D \times D}{L \times L} \right] \right\} (\Omega)$
2. N 條接地線並聯之接地總電阻：	$R_w = \frac{R_1}{N} (\Omega)$
ρ ：土壤電阻係數 ($\Omega \cdot m$)， L ：接地線長度 (m)， r ：接地線半徑 (m)， D ：埋設深度 (m)	

◆ 接地板之接地電阻 R_p ：

1. 單一接地板之接地電阻：	$R_1 = \frac{\rho}{2 \times r} \times \left(1 + \frac{r}{2.5 \times D + r} \right) (\Omega)$	等效半徑 $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$
2. N 塊接地板並聯之接地總電阻：	$R_p = \frac{R_1}{N} (\Omega)$	
ρ ：土壤電阻係數 ($\Omega \cdot m$)， A ：接地板面積 (m^2)， r ：等效圓形面積之半徑 (m)， D ：埋設深度 (m)		

◆ 接地棒，接地線與接地板之合成接地電阻 R_t ：

$R_t = (R_r \times R_w \times R_p) / (R_r \times R_w + R_w \times R_p + R_p \times R_r)$
--

接地場所：自設變電站

接地種類：特種接地

規定之接地電阻以下：**10** (Ω)

土壤平均之電阻係數 (ρ)	接地方式	型 式	半徑 r (m)	長度 L (m)	間距 S 或埋深 D (m)	數量 N	各邊接地棒數之參數 (λ)	接地電阻 (Ω)
200	接地棒	3 / 4 " x 10'	0.009525	3.048	4	12	5.48	8.99

合成接地電阻：**8.99** (Ω)

(六) 防止單獨運轉之電驛：

保護功能符合 VDE-AR-N4105 併網認證，市電停電發生時變流器將於 2 秒，其內部斷路器與電網斷開，在台電恢復供電電壓穩定後，系統 300 秒後自動與台電復聯。

(七) 功率因數檢討：

依再生能源發電系統併聯技術要點規定：併聯於高壓系統以下之發電廠，責任分界點運轉原則。

不論日間或深夜、例假日、國定假日及春節（除夕至元宵）等期間，得維持在百分之百。檢討如下：

變流器功率因數 $\geq 0.99 \sim 1$ 符合規定，詳變流器型錄。

(八) 諧波管制檢討：

變流器輸出之總諧波電流失真率（THDi）於額定輸出時小於 3%，符合併聯要點第七條第七項規定，詳經濟部標準檢驗局 VPC 認證及原廠電力諧波測試合格報告。