

SCADA 系統

電力轉換器之運用

■ 鄭強

台電試驗所

壹、前言

開發電源並加以妥善規畫、利用，是工業發展的關鍵，同時不斷改進電源結構，降低環境污染，有效提昇能源效率，則是工業發展中的重要目標。電力系統是能量轉換及輸送的一種工具，它需要不同階層的電力工程師分工合作，共同解決電力工業上的許多問題。

台灣電力系統主要分為三大部份：

一、發電系統：

核能、火力、水力發電機組。

二、輸變電系統：

超高壓及一次變電所。

- 1.345KV 輸電線路，連接核能、火力、大型水力抽蓄機組，為台灣電力系統的高速公路，負責大量電力的傳輸。
- 2.161KV 輸電線路，為配電系統與大用戶之供電媒介。

三、配電系統：此系統內包括一次配電變

電所、二次變電所及部分小型汽電共生廠，經 22KV 或 11KV 配電線供應各類電力用戶，並經電力變壓器轉換降壓後供一般用戶使用。為供應電能至用戶的媒介。

台灣電力系統為一獨立之系統，無其他電力系統可互連。由於缺乏其他電力系統為奧援，本身須具備足夠的備轉容量，以確保供電穩定與安全，因而成為一極大型的電力系統。

互連系統的優點：

- 1.應付尖峰負載的備載容量可減少。
- 2.應付突變性負載而需經常準備的應急容量(Spinning Reserve)可減少。

大電力系統亦產生許多問題如：

- 1.某一地點發生短路故障時，將產生較大的短路故障電流，此故障電流亦對系統產生嚴重干擾，諸如斷路器遮斷容量的攀升、系統穩定度的降低、故

障時對設備損害的程度等等。

2. 電力諧波經由輸電網路污染電源，對電力品質及設備安全，產生嚴重負面影響。

關於電力系統的運轉、改善及擴充計畫，需經由以下措施完成：

1. 電力潮流研究。
2. 故障電流計算。
3. 短路接地事故之保護協調。
4. 系統穩定度研究。
5. 雷擊、開關突波研究。

電力系統在運轉、或擬定改善、擴充計畫時，所需之即時性與完整性等諸多重要電力分析所需資料，實有賴一套操作簡便、性能可靠、準確度高的量測控制系統，以針對不同業務之需求，進行一般運轉調度控制或系統分析。SCADA 自動化系統結合了電機電子及資訊等現代化科技，並由量測與控制兩大單元所組成。以下我們來討論電力量測單元的組成，及其準確度與可靠度的維護方法，期能提昇自動化設備的營運效率。

貳、電力潮流基本原理

交流電力係隨著時間而週期性變化，包括電流、電壓與頻率，都隨著時間不斷的在改變，與直流電有極大的不同。發電機是產生電壓的原動力，而電壓則是維持電力系統的生命力。發電機與負載之

間，依賴輸電線與變壓器之傳輸媒介連接。電阻(R)、電容(C)、電感(L)為電力系統三大主要負載成分，電容與電感之效應，亦因頻率變化而顯現在交流系統中，使得電流產生超前或滯後電壓的現象。亦因為電容、電感的效應，使得在交流系統中，難以單獨由電壓的高低，來判斷何者是屬於電源或負載。

發電機供給 P(Active Power)，P 是由原動機的轉距(Torque)產生；換言之，P 是由機械能轉換為電能，而 $P \leftrightarrow \delta \leftrightarrow F \leftrightarrow R$ 相互關連，所以 R(電阻)的變化影響 P、 δ 、F 的改變(δ 為發電機與負載之間的相位角，F 為頻率)，激磁機控制著發電機與負載之間 Q(Reactive Power)的流動方向。由激磁的改變，可令發電機供給或吸收無效電力，所以 Q 的控制是屬電氣控制，且 $Q \leftrightarrow \theta \leftrightarrow |V| \leftrightarrow \frac{L}{C}$ 相互關連(θ 為功因角)。L、C 變化影響 $|V|$ 、 θ 及 Q。

一、電力潮流五種基本狀態：

1. R-L 負載

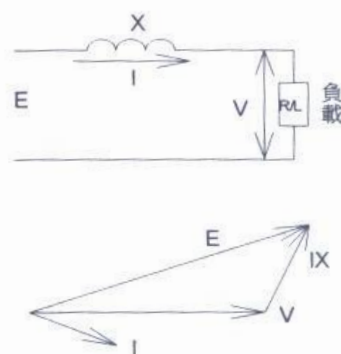
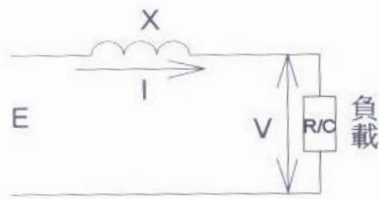


圖1 R-L負載

2. R-C 負載



$E = V, E > V \text{ 或 } E < V$

圖2 R-C負載

3. R 負載

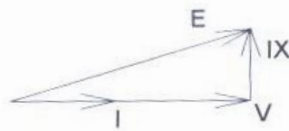
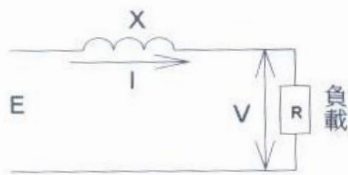


圖3 R負載

4. L 負載

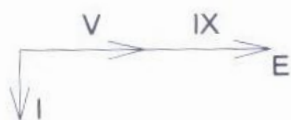
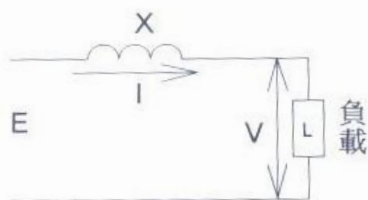


圖4. L負載

5. C 負載

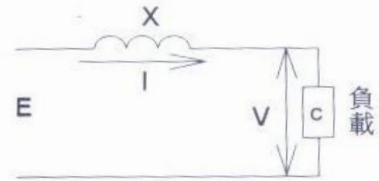


圖5. C負載

二、電力潮流定義

1. 發電機

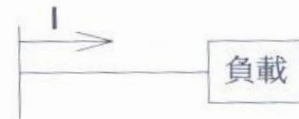


P：正值，Q：滯後功因為正值。



P：負值，Q：滯後功因為負值。

2. 負載：吸收電力為正值。



P：正值，Q：滯後功因為正值。



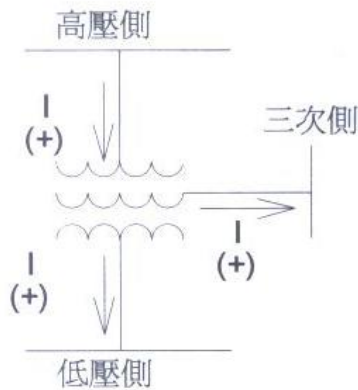
P：負值，Q：滯後功因為負值。

3. 傳輸線 (Line) :

P、Q 潮流方向，離開匯流排為正值，進入匯流排為負值。



4. 變壓器從高壓側到低壓側為正值。



參、電力轉換器基本原理

電力系統中電力數值的量測，是經由比壓器(P.T)、比流器(CT)，將高電壓、大電流轉換為適宜錶計使用的二次電壓及電流。一般二次額定電壓及電流值，分別為 110 伏特 5 安培。由二次電壓、電流額定值，我們可以選取適當規格的電力計 (Power Meter) 或電力轉換器 (Transducer) 來使用。電力計可做為運轉人員運轉、控制之參考依據；電力轉換器則多用於 SCADA 系統，以利電腦進行各種運轉工作。以下將介紹量測實功率與虛功率的電

力轉換器。

電力轉換器依組合元件多寡，可區分為：單元件（單相式），二元件（三相三線式），三元件（三相四線式）等型式，均可於不同條件下量測三相電力。三相平衡負載，可使用單元件電力轉換器；非接地系統中，三相平衡或不平衡負載，使用二元件電力轉換器；若是接地系統，則須使用三元件式電力轉換器，方能準確量測三相電功率。

電力轉換器無論是屬於何種型式，在轉換值與計算值須相互符合。

$$P=VI\cos\theta$$

$$\theta=90^{\circ}\sim 0^{\circ}\sim -90^{\circ} \quad P \text{ 為正值}$$

$$\theta=+90^{\circ}\sim 180^{\circ}\sim 90^{\circ} \quad P \text{ 為負值}$$

$$Q=VI\sin\theta$$

$$\theta=0^{\circ}\sim -90^{\circ}\sim 180^{\circ} \quad Q \text{ 為正值}$$

$$\theta=0^{\circ}\sim (+)90^{\circ}\sim 180^{\circ} \quad P \text{ 為負值}$$

一、二元件式電力轉換器

三相非接地電力系統若屬三相不平衡負載，因其不平衡電流不會經由大地回路流回系統，故以二元件式電力轉換器可準確量測三相電力。

1. 二元件式電力轉換器計算與向量圖：

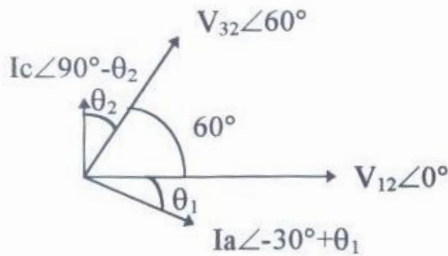
$$S_t=P_t+jQ_t$$

$$=(P_1+P_2)+j(Q_1+Q_2)$$

$$=(V_{ab}I_a\cos\theta_1+V_{cb}I_c\cos\theta_2)+$$

$$j(V_{ab}I_a\sin\theta_1+V_{cb}I_c\sin\theta_2)$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{ab}I_a + V_{cb}I_c &= (V_a - V_b)I_a + (V_c - V_b)I_c \\ &= V_a I_a - V_b I_a + V_c I_c - V_b I_c \\ &= V_a I_a + V_c I_c - V_b (I_a + I_c) \\ \therefore I_a + I_c &= -I_b \\ \therefore V_a I_a + V_c I_c - V_b (-I_b) &= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c \\ &= 3VI \\ &= \sqrt{3} V_{L-L} I \end{aligned}$$



二元件相量圖

2. 量測電力量與轉換輸出值之計算：

a. 假設輸入/輸出額定值如下：

120ACV, 5ACA, 0~1,000Watt, 0~1DCV

P.C Ratio 600/1

C.T Ratio 200/1

b. 輸入值/輸出值比例計算：

$$V(\text{計算值}) = \frac{1\text{Volt}}{1000\text{Watt}} \times \text{Watt}(\text{量測值})$$

$$\text{Watt}(\text{計算值}) = \frac{1000\text{Watt}}{1\text{Volt}} \times \text{Volt}(\text{量測值})$$

c. 一次值/二次值比例計算：

$$\text{MW}(\text{一次值}) = \text{Watt}(\text{二次值}) \times \text{P.T}$$

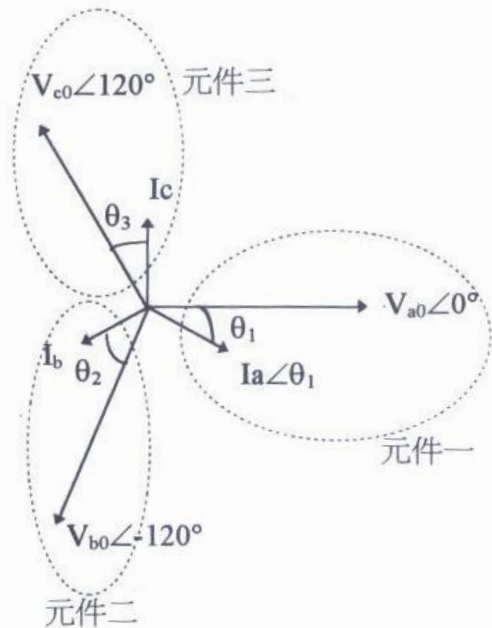
Ratio×C.T Ratio

例：120MW(一次值)=1000Watt(二次值)×600×200

$$= \sqrt{3} \times 120\text{V} \times 4.811\text{A} \times \cos\theta \times 600 \times 200$$

3. 三元件式電力轉換器計算與向量圖：

$$\begin{aligned} S_t &= P_t + jQ_t \\ &= P_1 + P_2 + P_3 + j(Q_1 + Q_2 + Q_3) \\ &= V_{a0}I_a \cos\theta_1 + V_{b0}I_b \cos\theta_2 + V_{c0}I_c \cos\theta_1 + \\ &\quad jV_{a0}I_a \sin\theta_1 + jV_{b0}I_b \sin\theta_2 + jV_{c0}I_c \sin\theta_3 \\ &= 3VI(\cos\theta + j\sin\theta) \\ &= \sqrt{3} V_{L-L} I(\cos\theta + j\sin\theta) \end{aligned}$$



三元件相量圖

a. 假設輸入/輸出額定值如下：

120ACV, 5ACA, 0~1,000Watt, 0~1cV

P.T Ratio : 600/1,

C.T Ratio : 200/1

b.輸入值/輸出值比例計算：

$$V(\text{計算值}) = \frac{1\text{Volt}}{1000\text{Watt}} \times \text{Watt}(\text{量測值})$$

$$\text{Watt}(\text{計算值}) = \frac{1000\text{Watt}}{1\text{Volt}} \times \text{Volt}(\text{量測值})$$

c.一次值/二次值比例計算：

$$\text{MW}(\text{計算值}) = \text{Watt}(\text{二次值}) \times \text{P.T Ratio} \times \text{C.T Ratio}$$

例：120MW=1000Watt×600×200

$$= 3 \times \frac{120}{\sqrt{3}} V \times 4.811A \times \cos\theta \times 600 \times 200$$

$$= \sqrt{3} \times 120 V \times 4.811A \times \cos\theta \times 600 \times 200$$

肆、電力轉換器的維護

$$\text{由 } P = \sqrt{3}V_{L-L}I \cos\theta, Q = \sqrt{3}V_{L-L}I \sin\theta$$

計算式分析，影響 P、Q 數值大小的變因，為負載電流與功率因數角。假設當負載電流上升，功因角不變，則有效、無效及視功率均增加；若電流固定，功因角增加，則有效功率降低，無效功率增加，而視功率則不變。系統中實際的負載變化，常常是電壓、電流、功因角三者同時處於變化的狀態。當我們從事準確度週期性維護工作時，基本上可由(1)零位點調整，(2)滿刻度調整，(3)特性圖調整等三個步驟來完成維護工作，以確保安裝於系統，從事量

測作業的電力轉換器之準確度。



電力轉換器校正方塊圖

電力轉換器試驗與調整步驟：

1.零位點調整(Zero Adjust)

- a.加入額定電壓。
- b.量測及記錄輸出直流電壓。
- c.調整 Zero Adj.電位計使輸出為零伏特。

2.滿刻度調整(Span Adj.)

- a.加入額定電壓(100%)。
- b.加入額定電流(100%)。
- c.調整功因角 $\Phi=0^\circ$ 或 90° 。
- d.讀取瓦特、乏標準器讀值。
- e.量測及記錄輸出值。
- f.調整 Span Adj.電位計使輸出為 1 伏特。
- g.調整輸入電流值(50%)。
- h.量測及記錄 50%額定輸出值。
- i.調整輸入電流值(10%)。

- j. 量測及記錄 10% 額定輸出值。
- k. 關閉試驗電源。

3. 特性圖調整(ϕ Adj)

- a. 加入額定電壓。
- b. 加入 50% 額定電流。
- c. 調整功因角 $\theta = -90^\circ$
或 0° ($\cos 90^\circ = 0, \sin 0^\circ = 0$)。
- d. 量測及記錄輸出值。
- e. 調整 ϕ Adj 電位及使輸出為零伏特。
- f. 調整功因角 $\theta = -60^\circ$ 或 -30°
($\cos 60^\circ = 0.5, \sin 30^\circ = 0.5$)。
- g. 量測及記錄輸出為 25% 額定輸出值。
- h. 調整功因角 $\theta = -30^\circ$ 或 -60°
($\cos 30^\circ = 0.866, \sin 60^\circ = 0.866$)。

- i. 量測及記錄輸出值為 43.3%。

- j. 調整功因角 $\theta = 0^\circ$ 或 -90°
($\cos 0^\circ = 1, \sin 90^\circ = 1$)。

- k. 量測及記錄輸出為 50% 額定輸出值。

- l. 關閉試驗電源。

伍、結論

上述試驗過程屬於穩態試驗，就 SCADA 系統而言，維持轉換器的準確度是維持遙測電力資料正確的必要程序之一，我們可經由計畫性的維護工作模組，如轉換器穩態試驗接線檢查，RUT 類比/數位轉換校驗，圖控檢查等項目，有步驟的進行維護工作，可維持 SCADA 系統中遙測資料的正確性，進而依據這些電力資料，進行高等工程分析後，更進一層達到經濟、穩定、安全的調度控制之目的。