

# 變電站測試的新方法

作者：W Kibart MBA BSc CEng MIEE, OMICRON electronics UK Ltd

譯者：范建誼（亞力電機）

## 摘要

本文介紹一種採用現代數位化設備進行電力系統測試的全新方法。

此方法展示了應用數位化技術、結合最先進的功率放大技術所開發出的綜合測試設備，可完成變電站內絕大部份功能的測試。此設備可完全取代多種專用的傳統測試設備，大大減少了測試工程師的工作量。

數位化技術的應用給測試工程師帶來了變電站測試的全新方法。以電腦為主體的數位設備，使得測試工程師在辦公室即可完成全部的測試準備工作。在現場只需進行測試接線，並執行預先編輯好的測試程序即可，測試設備還可將測試結果按預定格式編輯，輸出及列印，大大地減少了整個測試所需的時間。

本文也解釋了該設備如何從一個標準的單相 16A 電源輸出口產生最大 2000A (400A DC) 的電流，或最大 2000V AC 的電壓。由於採用了新型硬體，大電流產生裝置可以靠近被測設備放置，從而減少使用笨重的大電流電纜，並使電纜及被測設備中因阻抗所產生的電壓也減至最少。

這項綜合技術使一些更為複雜的測試過程有了新的實現方法。本文將描述變電站設備的完整測試方法，重點強調在電流變壓器的極性檢測，磁化曲點計算以及變比和負載的測量。與傳統方式相比，文中將解釋如何由最少的測試人員在最短

的時間內完成這些試驗。

## 簡介

長期以來，變電站一次設備的測試沒有什麼大的變化，所採用的技術都是上一代工程師所熟悉的。完成這項工作需要大量的設備，因而造成許多困難。負責進行測試的工程師需要配備許多專用的設備，每種設備只完成某種特定功能；通常這些設備的重量都比較重，體積也比較大，所以其運送過程及變電站內的搬動都相當費力。除了每種設備均需單獨與被測設備連接之外，進行測試的工程師亦需針對每一設備進行培訓。某些單一功能儀器的技術雖已成熟，但大多數現有設備沒有設計自動化的功能，所以測試結果需要人工整理，並要在測試完成後，使用文書處理軟體完成測試報告，這樣一個測試的完成是非常費時和費力的。

功率放大及數位控制技術的最新發展，使得許多測試過程都可以在相對較輕、較小的單一設備內完成（如圖 1）。其內裝的電腦可以進行各類自動化測試、結果讀取及報告產生。



圖 1 · CPC 100 多功能測試系統

## 數位化 CPC100 的設計特點

設備的硬體是圍繞著功率元件設計的(如圖 2)。這些功率元件是由一個內裝 PC 及兩個數位信號處理器(DSP)來進行控制。這類型的設備需要內裝式 PC, 因為工作的環境常是惡劣的。普通 PC 不適用於潮濕或溫度穩定的環境。將 PC 裝入設備內可更“堅固耐用”, 這樣就更能適應各樣惡劣的工作環境, 增加整個測試系統的可用性及其可靠性。

該 PC 採用 Windows CE™, 因此具有許多專用軟體的功能。採用這個作業系統可以設計比較簡單的人機介面。對 PC 的控制通常通過測試設備內建的“搬運機”(jog shuttle)進行。也有數位鍵盤, 可用於資料的快速輸入(如電流值的設定等)。

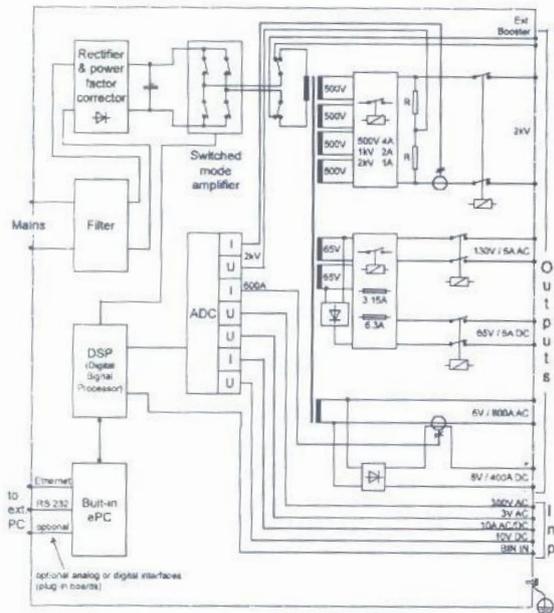


圖 2 · CPC 100 系統方塊圖

兩塊 DSP 控制器決定了整個系統的靈活性。一塊用於控制系統測量及控制預設測試程式的流程。另一塊 DSP 控制系統內的功率元件。後者的規劃實現了應用的靈活性，這對於系統的多功能性是非常

關鍵的。功率元件使得系統的輸出完全獨立於電源輸入之外。因此，輸出可以精確控制；反過來也使得所有的測試均可完整地重覆執行，即使是採用不穩定電源，如移動式發電裝置等。

功率元件是以交換式放大器為基礎製造的。放大器採用了諧震式交換，使得供電電源獲得的能量，可以非常高效地傳輸到輸出。另一個關鍵的硬體是一個 6KVA 的變壓器，該變壓器具有多個輸出，以產生測試系統所需的各個量。由於採用了交換式放大器以及一個可以產生最大 800A 電流或 2KV 電壓的輕巧變壓器，使得整個系統的重量變的非常輕。

## “卡式”系統 (“Card” System)

為了對一次系統進行測試，開發了“卡式”系統。卡顯示在 PC 螢幕上，並在手冊索引系統中表示出來。該測試系統所進行的每項測試均存於該卡中。設置測試所需的值，用戶只需在系統提示的相應框內填入相應數值即可。其中只有“Quick”卡例外(圖 3)，該卡為系統的手控介面，可以控制任何電壓或電流的輸出。卡可以從被測設備的測試特別項目功能表上選擇(如變壓器等)。當完成了卡

Quick		0.0
AC 800A	<b>799.0 A</b>	
15.00 Hz		Min
Trigger on: No Trigger	n/a	Max
Bin In: n/a	<input checked="" type="checkbox"/> Switch off on trigger	
V1 AC	I AC	Z
0.0	n/a	0.0
		n/a
		1.0000
		n/a
Assessed: n/a	State: Measuring	
		Save Result
		Back to top

圖 3 · Quick 測試卡

內所設定的一組測試後，可以選擇另外一個新卡測試另一個特別項目。就這樣經過一些卡的設定，形成一套測試程序，來進行一個變電站設備的完整測試程式。

卡的設定可以在辦公室完成，以節約現場工作時間。另外卡也可以依需要不斷重覆使用，減少不必要的重覆工作。

系統內具有計時器功能，並可以多種方式啟動此功能，增加了系統的靈活性。以過載作為啟動條件是其中一個有創意的方式。當本測試系統向斷路器提供穩定的電流時，採用這種方式可以對斷路器的動作進行精確的計時。計時功能也可由電流輸出啟動。當斷路器打開時，由於測試系統仍試圖向一個斷開的回路輸出電流，因而有過載發生，這種狀態可用於中止計時。

## 報告

藉由 PC 可以截取有測試結果，編輯成報告。該報告採用 ActiveX™ 技術，可以將圖形及表格插入適當格式化的文件檔中，該文件檔即可以直接成為報告，無需任何修正。

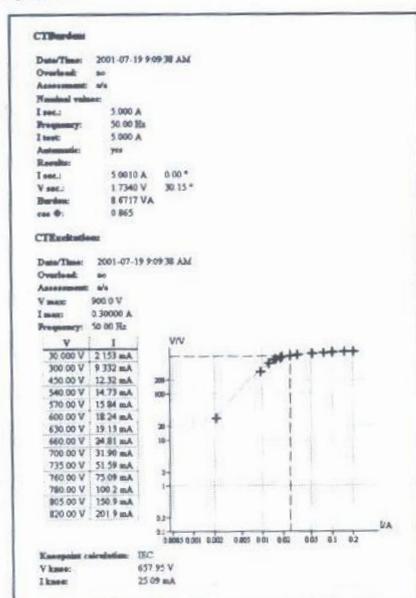


圖 4 · 自動生成的報告

報告可由 PC 通過乙太網介面，從測試系統中讀出。在 PC 中，可以進行存檔或列印，這樣可以節約人工編輯測試結果所需的大量時間。

## 大電流測試

變電站設備的測試，通常需向被測設備輸出大電流。除產生大電流有一定的困難外，傳輸大電流也有相當的困難。例如，如果需注入 2000A 的電流，導線截面應為  $190\text{mm}^2$  才可滿足要求。一般被測設備與測試裝置之間的距離可能大到 9m，所以測試用電纜將重達 80kg。由於電流非常高，也電纜的阻抗就變得不可忽略。測試裝置需克服測試電纜的壓降，以保證能向被測試設備輸出足夠的電流。

如果電纜重量能減輕的話，將大大方便測試系統的運送。在現代的 CPC100 中，可利用電流升流器而實現。測試系統與電流升流器之間的功率傳遞，採用相對較高的電壓（即 230V），因而將電流降至較低的水平（ $<30\text{A}$ ），也將所用的電纜截面減小為  $7.5\text{mm}^2$ 。因電纜減輕的緣故，可將測試系統放置在離測試物件相當遠的地方，而無重量上的增加（圖 5）。

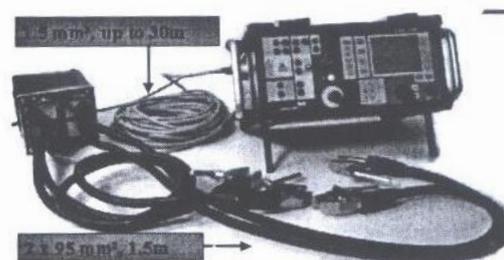


圖 5 · CPC 100 的升流器及其引接電纜

升流器從測試系統接收較低電流後轉為最大 2000A 的測試電流，電壓提供能力為 2.5V。這個電壓水平看起來不高，但是由於升流器的輸出只需 1m 的引線電纜，所以其所需要的電壓也相對較低。

## 電流互感器 (CT) 測試

基本來說，對 CT 特性進行完整評估通常需要進行多種不同的測試，故需要多種專用的設備。而 CPC100 的運用，可為變電站的 CT 測試帶來特別的效益。

### 極性測試

CT 正式運轉前，確認 CT 至二次設備的正確連接，是非常重要的。要進行這種檢測則必須進行極性檢驗。過去這類檢驗非常複雜且需要至少兩位技術人員，並配有無線對講機或其他通訊工具。一位技術人員位於 CT 的一次側端子，另一位須在 CT 所連接的二次側設備處。在二次側配電盤的人需向同伴發出信號，向 CT 加直流脈衝。通常使用 9V 電池的端子短時間接觸一次回路（標識為 P1 和 P2）並在二次側盤上測量其所得到的脈衝。這種方法，儘管有效，但是做起來較複雜。向 CT 加入直流的另一個不利的因素是增加了剩磁，可能影響其特性，特別是當試驗要重覆進行的時候。

採用 CPC100 新測試方式後，可以進行更為進步的極性測試。新裝置具有波形合成能力，該波形與系統條件無關。用於極性測試的波形，為不對稱的鋸齒波，可由一個簡單的手持附件進行檢測（圖 6）。

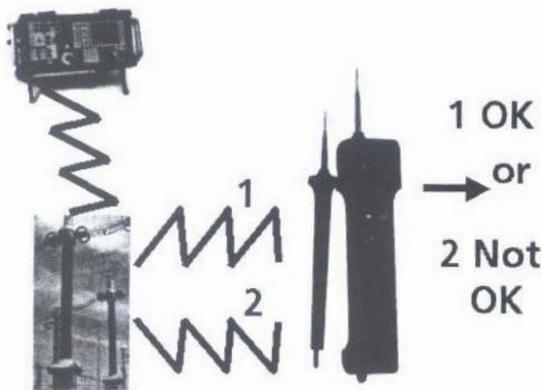


圖 6 · 極性檢測技術及手持附件

如果極性正確，儀器檢測到陡波，並以一個簡單的綠燈指示“正確”。否則，當極性不正確時，儀器將檢測到緩波，並以紅燈表示出極性不正確。

此系統的好處是該任務可以由一個人在很短的時間內完成，且“鋸齒”波也具有對 CT 自動去磁的功能，不會影響其特性。

### 磁化曲線

為使確保正確動作，CT 必須具有足夠高的飽和點，以保證在二次側設備的整個工作範圍內，一、二側次之間電流具有線性關係。為對其進行驗證，要在一次側繞組開路條件下，對不同電壓下的 CT 二次側電流進行測量。

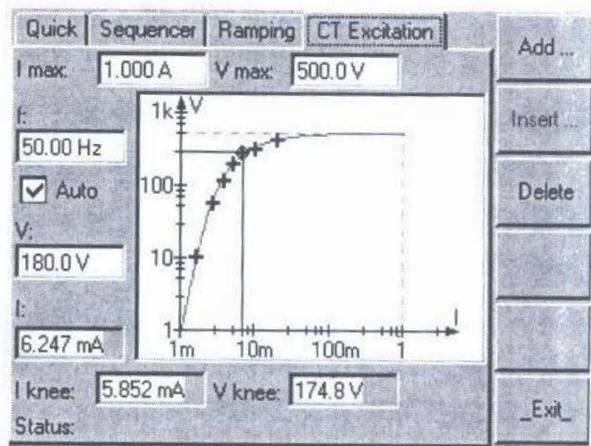


圖 7 · PC 螢幕上的飽和點計算

為測出磁化曲線，需加一系列電壓，並將其與所得二次側電流畫成曲線。通過測試斜率得到飽和點，該點在 10% 的電壓增加，卻產生 50% 的電流增加結果處。

以手工測製這個曲線非常費時，且需要手調電壓源及電流測量裝置。採用單一測試裝置可大大簡化該過程。內置的 PC，可測量裝置的電壓輸出及 CT 的二次側電流。自動在螢幕上繪出一系列點，不斷計算其斜率以找出飽和點的值（圖 7）。

整個過程只需幾分鐘，而平常使用的方法，則需一個多小時。

### 變比、負載、相位及幅值誤差

以前這些測試需要專門的設備以提供測試工程師所需的資料。為確定變壓器的變比，需在整個測試的不同階段，對高壓側電壓及低壓側電壓進行測量；即可得到同向與垂直分量值，由此計算出變比及相位誤差。相位及幅值的誤差測量也需要精密的專用儀器。在測量進行過程中，每一個儀器均須單獨接在被測的 CT 上。與舊方法為對比，本新型的 CPC100 同時具有同時向 CT 一次側輸出大電流及測量 CT 二次側電流的功能。啟動預設置的程式之後，即可直接由所測量的量進行計算，而無需耗時的重新接線。

### 線圈繞阻

線圈繞阻的標準測試是採用基於惠斯通電橋原理進行測量。通過新技術的應用，線圈繞阻可以直接測量；並可補償由線圈充電所造成的影響，且對銅線圈的溫升補償，可作為測試功能之選項。

### 耐壓試驗

CT 測試的最後一步是確保二次側線圈滿足絕緣要求。這需要加入一個高電壓，且檢查其絕緣不被擊穿。這種“加壓”測試需要適當的步進式升壓變壓器，以提供適當的電壓等級，通常為 2KV。由於 CPC100 具有 2KV 電壓輸出能力，同時也可監視所通過的電流，以檢查其絕緣是否擊穿，使得該項測試可以作為一個 CT 測試整體過程中的一部分來執行。

### 電壓互感器 (VT) 測試

許多對 PT 所作的測試與 CT 相似，同樣也需要使用大量的儀器設備。其中很多與用於 CT 測試所用的儀器有所不同，但都可由 CPC100 取代。

### 電力變壓器測試

電力變壓器與儀測變壓器之間的主要差別在於測試項目的不同，需要考慮分接頭調節的影響。需要對分接頭的動作進行檢查，且線圈變比測試需要考慮到變比受分接開關位置影響的因素。

採用 CPC100，由所注入的一次側電壓及所測量到的二次側電壓，可以快速地完成多次變比計算。這使得對每個分接開關位置，變壓器的變比均可以快速測出。

除變壓器的變比外，測量其線圈繞阻也非常重要。對於電力變壓器之測量，檢查分接開關的連續性，應作為全面測試的一部分。此項檢查也是確保在分接位置之間沒有暫態間斷的現象，因為這將導致能量損耗及產生危險的電弧。

### 接地網測試

變電站接地系統的完整性及低阻抗的要求，對系統的安全運轉，是非常關鍵的。較高的接地電阻值將導致在故障條件下產生過高的電壓，危害附近的人員及生物。CPC100 可以取代接地電阻測試表計，對插入地網的兩個輔助電極間的電流進行測量。採用此設備的技術優點之一是數位信號發生裝置的應用。由於輸出的信號與輸入電源無關，因此其頻率是可調的。選擇一個與電力系統工作頻率及其諧波不同的頻率，可以使得測量不受其影響，因而可以得到較高的精度。由於測試設備的大功率輸出，具有較高的信號雜訊比，減小了系統接地電流的影響，進一步

地提高了其測量精度。

多樣的基本測試功能，使得同一設備可用於測試大接地系統的電阻，也可用於測試土壤電阻。通過精確的測量，即可滿足安全運轉的要求又可避免接地網的過當設計所造成的浪費。

### 低電阻測量

為保證運轉可靠，變電站內的許多設備需要有很低的電阻值。為測得電阻的精確數值，例如斷路器的接觸電阻，需要注入非常高的直流電流。大電流在回路接點產生可測量的電壓值，由該電壓值及注入的電流值通過簡單的歐姆定律即可計算出其電阻值。CPC100 具有 400A 的直流電流輸出能力，足以滿足絕大多數實際測試的需要。

### 結論

現代的數位控制測試系統，為變電站測試領域帶來了許多新的便利。

由於取代了大量的傳統專用測試設備，節省了大量的初始投資。同時也可節約了許多運輸費用，尤其是在需要航空運輸的時候。在陸地運輸時，不再需要大卡車來運測試設備，只需小轎車即可；在空中運時，可作為個人行李進行托運。數位化 CPC100 重量輕到一個人即可攜帶，不再需要大量的勞動力在現場協助搬運設備。

數位化控制設備所能進行自動測試，也是節省時間、節約資金的另一個主要因素。測試程序可以到現場前規劃完成，或者重新利用前一個專案準備的測試程式。一旦設備接線完成，自動測試即可在相當短的時間裏完成。加上報告的自動產生功能，大大地減少了每個測試所需的時間。

總體說來，採用了這型設備後，對於變電站的測試只需要很少的人員，在很短的時間內即可完成，所達到的結果完全符合了現代工業的新要求。

