

高可靠度新型分散式 ATS

林鴻杰 詹健智

台達電子工業股份有限公司

摘要

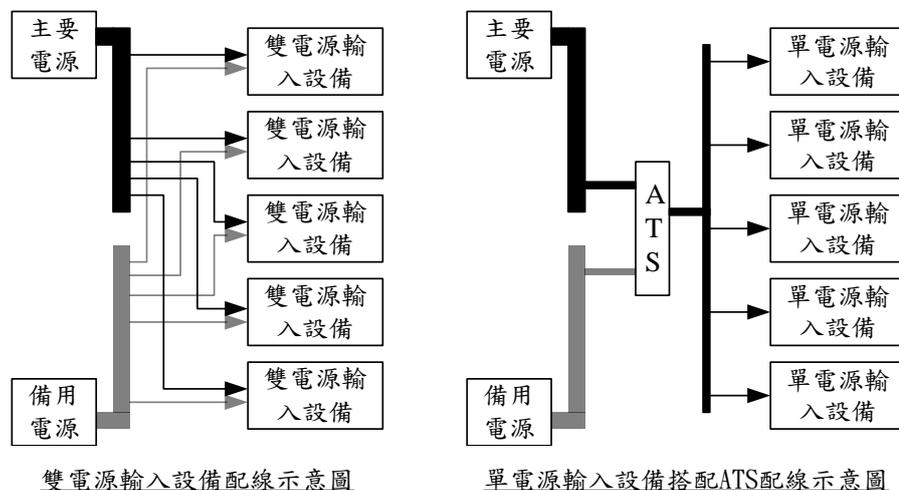
由於科技的進步，改變了人類生活方式，對於資訊的儲存、運算、傳輸的需求日益增加，於是帶動大型的數據中心 (Data center) 的建置需求，而在數據中心的運行中最重要的要求是持續不間斷的提供服務，而要滿足此要求，最基本需求便是穩定不間斷的電源，一旦電源中斷，其所帶來的經濟損失將是非常可觀。而為了有持續不間斷的電源，除了不斷電系統外，有時還會透過兩路饋線，提高電源系統的可靠度。此時，最常使用的是自動切換開關(ATS, Automatic Transfer Switch)。本文針對分散式 ATS 進行介紹，並說明傳統使用繼電器(Relay)之 ATS 應用在現今資訊設備可能產生的問題，並提出相對應的解決方案。

一、前言

本文所介紹之分散式 ATS，是指直接和負載連接，只提供關鍵負載使用。和接在電源側的集中式 ATS 相比，一般容量不大。此分散式 ATS 在電源系統的配置上，一般是接近負載側。在本文中，第二節將對 ATS 的功能做說明，第三節說明傳統 ATS 的架構，第四節介紹具主動式功因調整(PFC, Power Factor Correction)功能的電源供應器的特性，第五節介紹使用矽控整流器(SCR, Silicon Controlled Rectifier) 做為開關元件的新型 ATS，第六節則作一結論。

二、ATS 的功能說明

一個達到 TIA-942 Tier III 等級的數據中心，其使用的資訊設備必須為雙電源輸入設備(Dual-powered equipment)，具備由兩個獨立電源系統饋電的能力。然而具備此功能的設備本身須有特別設計的電源供應器，不但成本昂貴，選擇不多，不容易採購，配線更是複雜。一般的解決對策是在資訊設備前端加裝 ATS，可達到雙迴路饋電的要求。此種 ATS，一般直接和負載之資訊設備相連，我們將其稱為分散式 ATS。

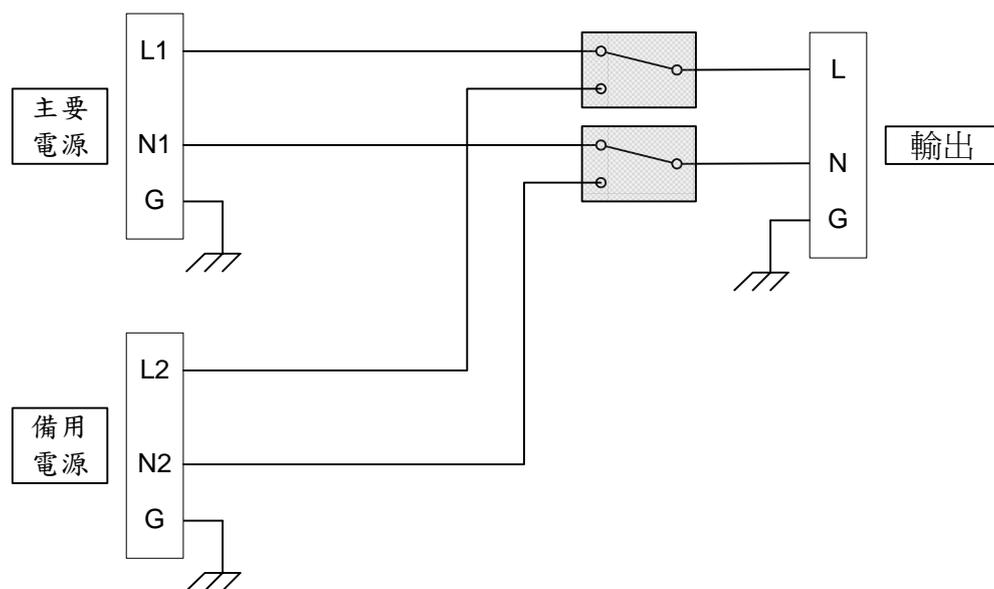


ATS 的主要功能是将輸出負載自動選擇切換到可用之兩路輸入電源之一，避免單一電源失效所造成的斷電問題。ATS 自動轉接負載於兩個獨立電源之間，當主要電源(Primary Source)異常，中斷或電壓超出設定範圍，ATS 需能自動且立即轉換至另一路電源(備用電源)(Secondary Source)。當主要電源回復正常，ATS 將在所設定的延遲時間內自動轉換回主要電源。為了提供最好的保護，一般兩路電源皆採用在線式(On Line)不斷電系統。然而 ATS 也可使用在一般市電或發電機的場所。

另一項最基本但是不可缺的要求是 ATS 的轉換動作必須先斷開後接合 (break-before-make)。供電的迴路必須完全斷開後接續供電的迴路才能接合。此要求乃是防止兩電源在轉換過程中短路。若在轉換過程中造成兩輸入電源短路，輕則造成 ATS 因短路大電流而損壞，ATS 輸出所接負載設備因此斷電。重則造成兩路電源損壞或上游的斷路器開路，影響更多其他設備的運轉。

三、傳統 ATS

傳統的 ATS，是使用 Relay 做為轉換開關元件(如圖一)。其優點是架構簡單，且天生具有先斷開後接合的特性。



圖一 使用 Relay 做為開關元件的傳統 ATS 線路架構

但使用 Relay，除了壽命受限於 Relay 的切換次數外，還有以下幾點問題點需要進行探討。

1. 電弧(Arc):

Relay 在打開或搭上時，當接點非常靠近但未接合時，會產生電弧，此現象會使 Relay 的接點碳化。多次切換後，會造成積碳，降低 Relay 的接點導電性，使迴路阻抗加大，輸出電壓因而下降。此時 ATS 可透過監視輸出電壓是否異常，而主動切換至另一供電迴路，確保負載不斷電並同時送出 ATS 故障信號。

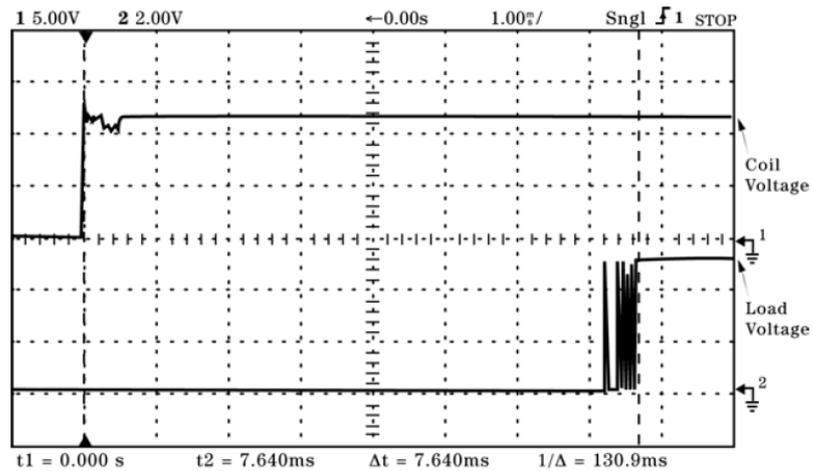
當電弧嚴重時，也可能造成 Relay 的接點熔接在一起。此時 ATS 無法切換至另一供電迴路。若 ATS 無法偵測到此種失效模式，則當接點熔接迴路的輸入電源斷電時，就會造成負載斷電。若此時又進行切換，則會造成兩輸入電源的短路。

為避免 Relay 因電弧產生失效，一般的做法為零電流切換，減少電弧的能量，不會對 Relay 接點產生重大的損傷。

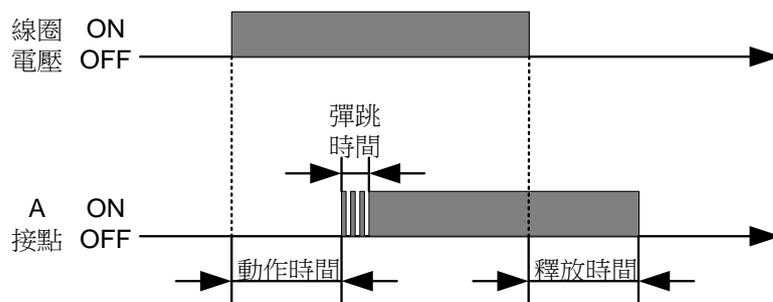
2. 彈跳(Bounce):

當 Relay 接點接上時，彈臂與接點會造成彈跳，使得輸出電壓閃爍，不只容易造成受保護設備誤動作，其所產生的高頻雜訊，也常干擾其他鄰近設備，使其誤動作。

一般可透過加入濾波線路(如電容)，改善 Relay 切換時因彈跳造成的問題。



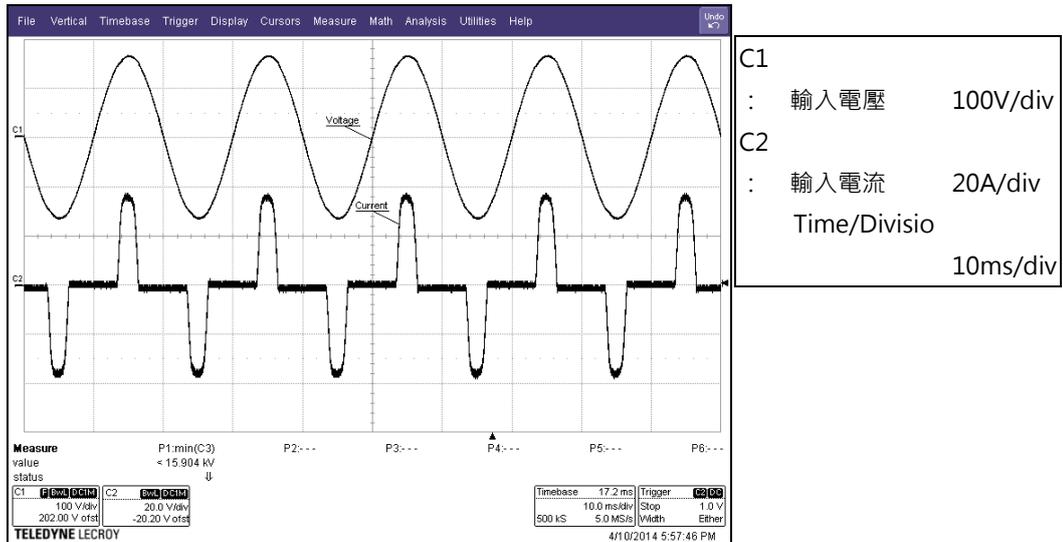
圖二 Relay 彈跳波形圖[2]



圖三 Relay 開關時序圖

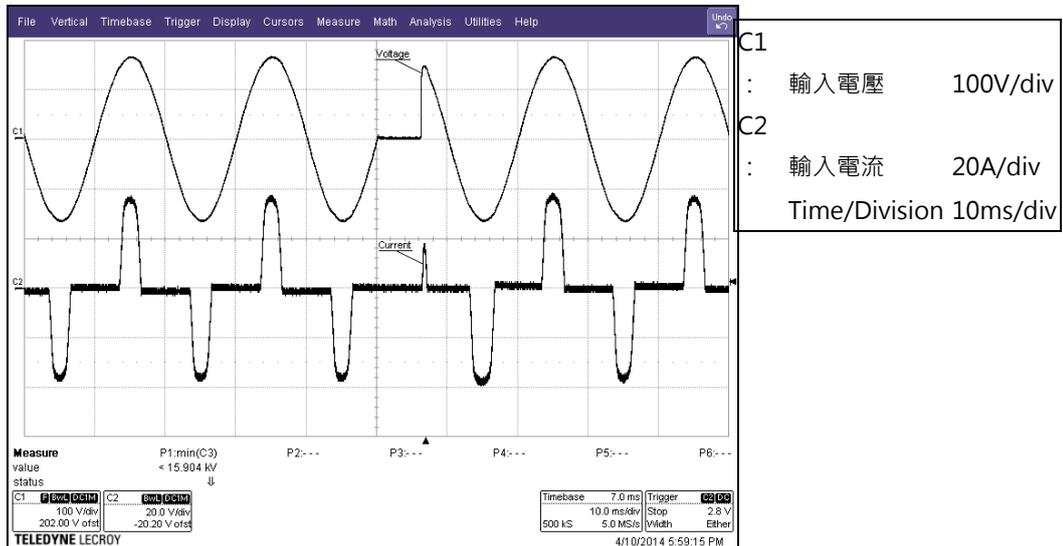
根據以上 Relay 的特性，為避免傳統 ATS 失效故障，最重要是避免大電流進行切換，產生過大電弧，使 Relay 接點損壞。

傳統的電源供應器前級為橋式整流器配合大型濾波電容，其電流波形不連續，脈衝電流出現在電壓峰值處(如圖四)，對於使用 Relay 作為轉換開關元件的 ATS，Relay 關斷的動作會因為有零電流的時段，不會造成接點損傷。



圖四 傳統電源供應器的輸入電流波形

傳統的電源供應器的輸入端對電源系統相當是被動式負載。當 ATS 做轉換時所造成電壓瞬斷，對此種線路不會產生大電流(如圖五)，只有對電源供應器內部電解電容充電的所產生的瞬時電流。Relay 接通瞬間不會有持續大電流而導致接點熔接損壞。

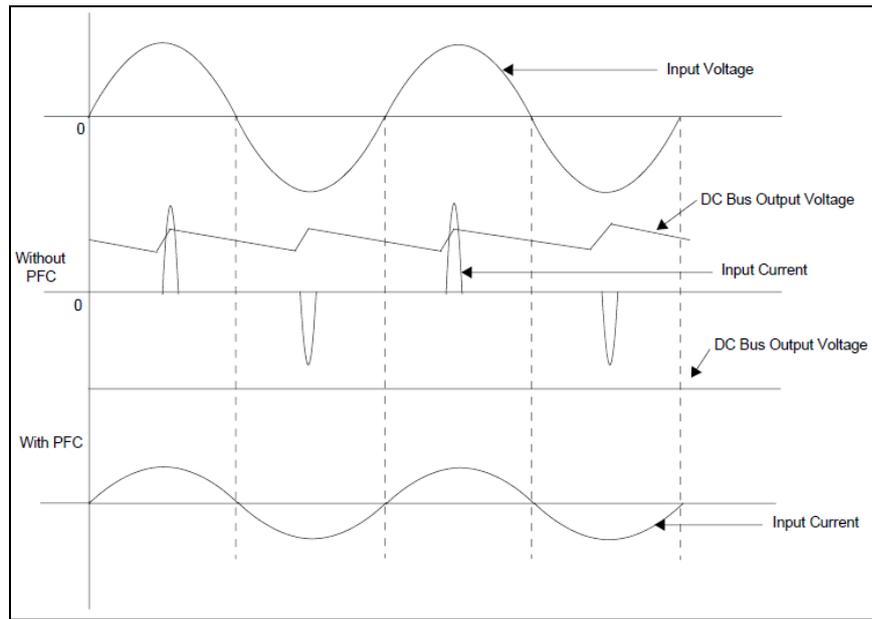


圖五 傳統電源供應器輸入電壓瞬斷所產生電流波形

由於以上傳統的電源供應器的特性，使用 Relay 作為轉換開關元件的傳統 ATS 在應用上不會有太大問題。但是傳統的電源供應器，因其輸入電流諧波過大，造成過大的虛功使其功因過低。此種電源供應器會造成電力系統不必要的負擔，世界各國已透過法規，限制此種電流供應器的使用。尤其是資訊設備，已不再使用此種電流供應器，而改用具有功因調整的電流供應器。

四、主動式功因調整電源供應器的特性

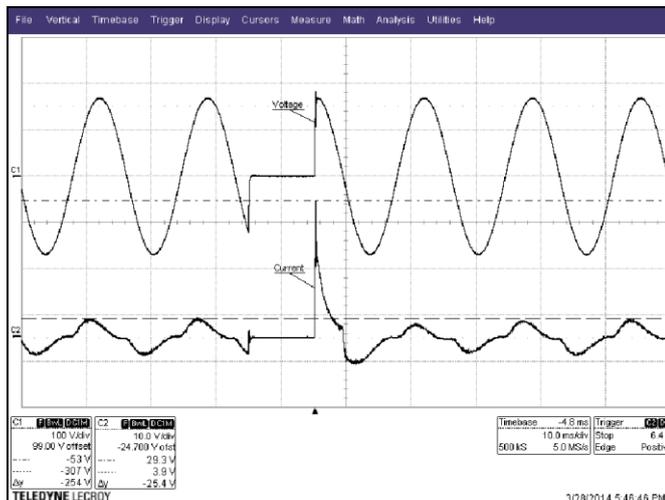
功因(PF, Power Factor)，是指有效功率與視在功率的比值。低功因的設備，其輸入電流會因為額外的虛功電流，會比高功因設備的輸入電流大。但此虛功電流，並沒有實際對負載產生貢獻，而是產生在電力系統和負載間無效的消耗。為了提供此無功電流，電力系統的容量必須增加，如較大的配電纜線，較大的不斷電系統或發電機等，這都大幅提高投資成本。藉由提高功因來減少無功電流，節省能源，降低電力系統所需容量便可大幅降低成本。於是輸入功因的要求對使用大量資訊設備的大型數據中心，成為最基本需求。具主動式功因調整線路是滿足此需求的最佳方案。從圖六可看出，此線路可以大幅改善輸入電流，使得電源供應器輸入端的特性對電源系統來看，就如同是一純電阻，不但功因可以達到 0.99，對於輸入電壓範圍也大大提升而達到全區域(Full Range)，對於日益增大的功率需求，也可以輕易滿足。



圖六 傳統的電源供應器與主動式 PFC 電源供應器輸入電流比較[1]

具有主動式 PFC 線路的電源供應器，為了達到高性能的要求，一般都是採用平均電流模式控制法，當輸入電壓瞬斷，在恢復瞬間常造成大電流，此電流往往是額定工作電流峰值的數倍之譜。圖七是輸入電壓瞬斷時所量測到的電流波形，從圖中可得知，正常工作電流峰值只有 3.9A，但是當輸入電壓回復後將產生 29.3A 的大電流。

當 ATS 進行轉換時，因為需要達到先斷開後接合的要求，一定會在輸出產生電壓瞬斷。此因 ATS 轉換造成的電壓瞬斷，等同對主動式功因調整電源供應器輸入產生一電壓瞬斷，會產生如上述的大電流。若 ATS 使用 Relay 做為切換開關且若此大電流發生於 Relay 搭上瞬間，在這狀況下 Relay 接點便容易因過大的電弧熔接在一起，造成 ATS 故障失效。



C1
: 輸入電壓 100V/div

C2
: 輸入電流 10A/div

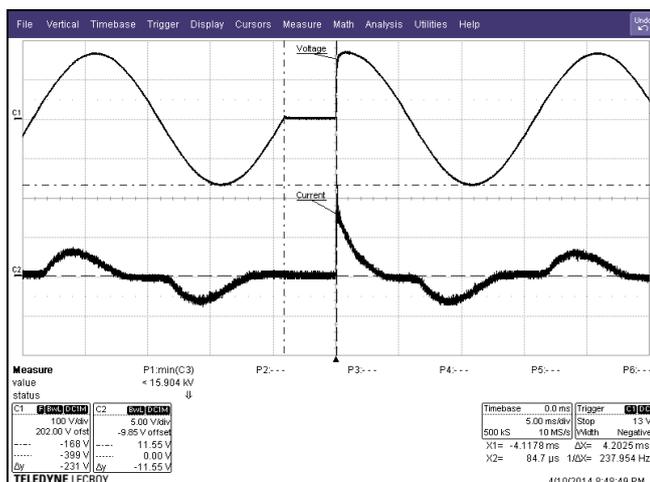
Time/Divisio
10ms/div

圖七 具有主動式 PFC 線路的電源供應器輸入電壓瞬斷所產生電流波形

另一個影響此電流大小的因素是此電壓瞬斷的時間長短，亦即 ATS 的轉換時間。

從下面的實驗波形可得知，轉換時間對具有主動式功因調整電源供應器的影響。轉換時間越長，產生的湧入電流越大，越會對 Relay 造成損壞。而使用 Relay 作為轉換開關的 ATS 因 Relay 需要動作時間，轉換時間較長，會使得情況更加嚴重。

◆ 轉換時間 4mS



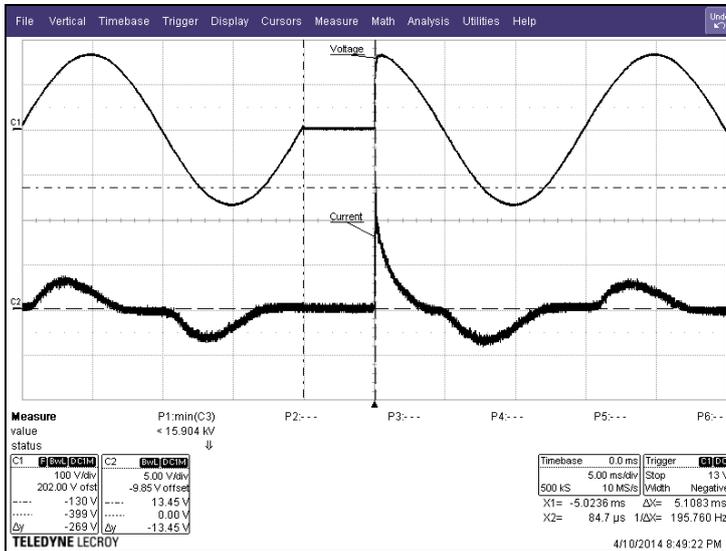
C1
: 輸入電壓 100V/div

C2
: 輸入電流 5A/div

Maximum
.11.55A

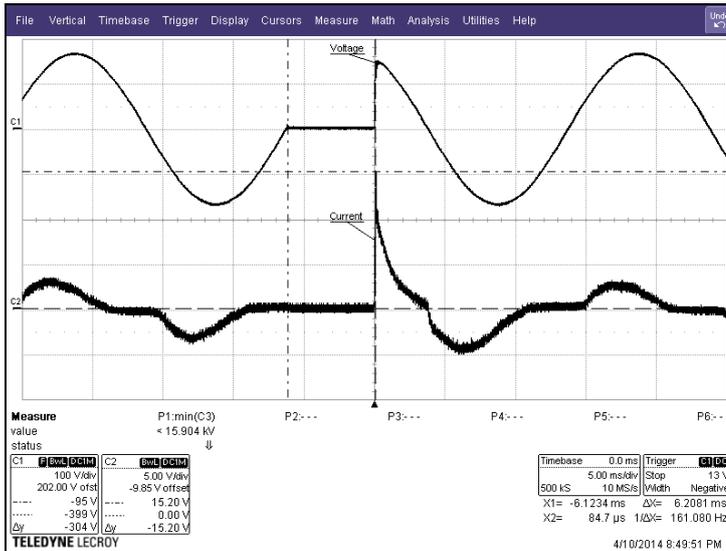
Time/Divisio
5ms/div

◆ 轉換時間 5ms



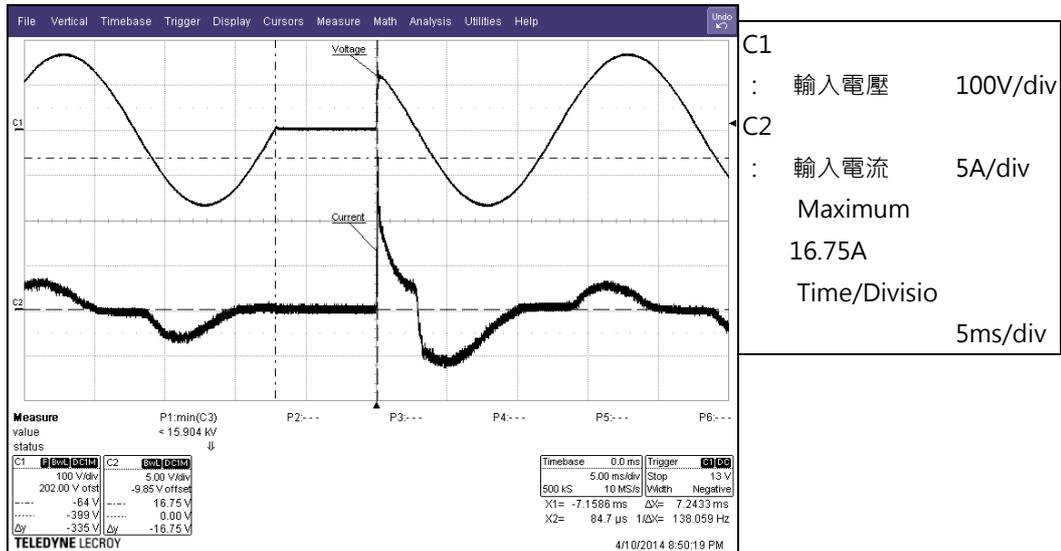
C1 : 輸入電壓 100V/div
 C2 : 輸入電流 5A/div
 Maximum 13.45A
 Time/Divisio 5ms/div

◆ 轉換時間 6ms



C1 : 輸入電壓 100V/div
 C2 : 輸入電流 5A/div
 Maximum 15.20A
 Time/Divisio 5ms/div

◆ 轉換時間 7mS



五、使用矽控整流器(SCR)做為開關元件的新型 ATS

為了解決傳統 ATS 使用 Relay 做為開關元件可能造成的問題，使用 SCR 來取代 Relay 做為開關元件是最佳解決對策。

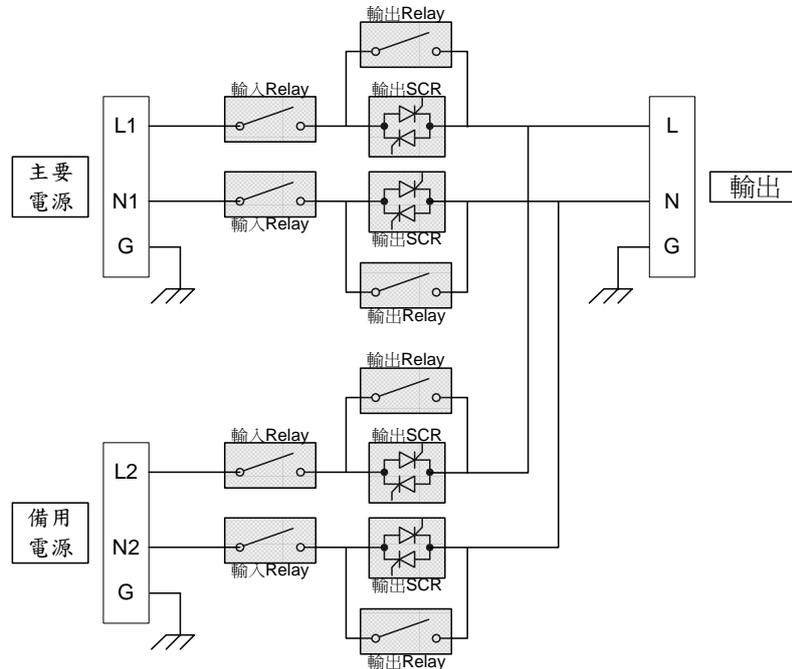
1、SCR 在使用上並無電弧損壞接點的缺點，在使用壽命遠遠的超過 Relay。使用 SCR 取代 Relay 作為轉換開關，可以大大提高 ATS 的壽命。

2、SCR 進行切換時也不會造成如 Relay 的彈跳現象，不會產生高頻雜訊而干擾其他鄰近設備。

3、SCR 相較於其他半導體開關元件，能夠承受較高的電壓及有較大的湧浪電流規格，可靠度相較於其他功率元件高，非常適合使用在 ATS 上。

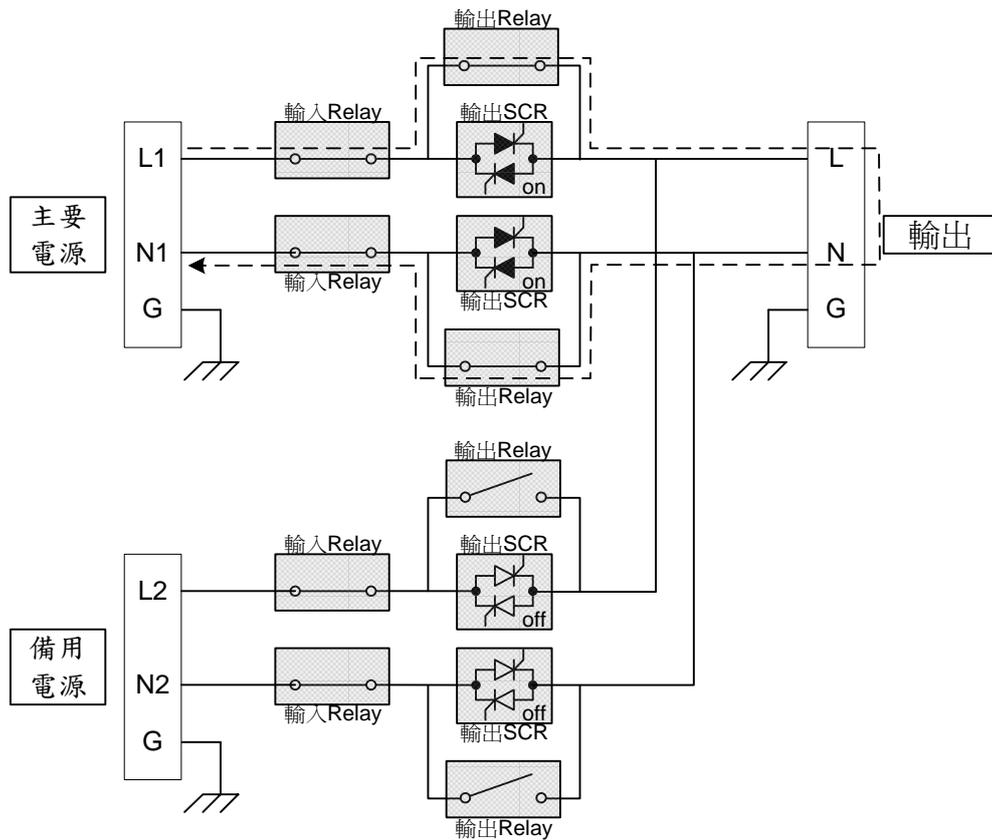
圖八是使用 SCR 做為開關元件的新型 ATS 線路架構。同時利用 SCR 與 Relay 的優點來搭配使用。其主要開關動作皆由輸出 SCR 來完成，而並聯輸出 Relay

主要是利用其較低的導通阻抗來降低 SCR 的導通損耗，將整機的損耗降至最低。如此不但可以提高效率，也避免因需使用風扇散熱而降低 ATS 的可靠度。



圖八 使用 SCR 做為開關元件的新型 ATS 線路架構

當主要電源與備用電源皆正常時，ATS 保持主要電源輸出，備用電源輸入 Relay 導通讓備用電源保持待命(Standby)。此時主要電源電流路徑如圖九所示，經由主要電源輸入 Relay、主要電源輸出 Relay 而輸出給受保護設備。此時備用電源接續供電的時間(轉換時間)為偵測時間加上 SCR 導通(Turn on)的時間。一旦程式偵測到主要電源斷電，備用電源即可馬上供電，與 Relay 相比，少了 Relay 的動作時間，於是可以大大的縮短轉換時間。

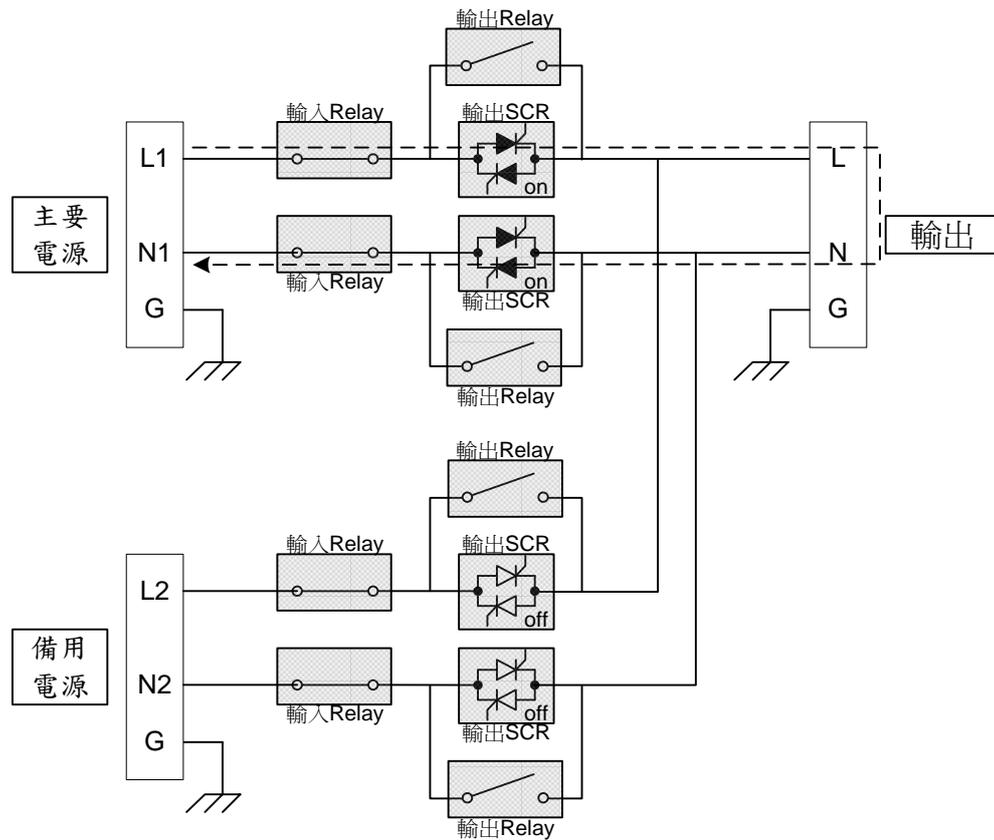


圖九 主要電要源輸出時的電流路徑

當主要電源電壓不足(Brownout), 轉換的動作如下所述：

步驟一：

斷開**主要電源輸出 Relay**，輸出電流由**主要電源輸出 SCR** 接續輸出；此時**主要電源輸出 SCR** 維持導通，**主要電源輸出 Relay** 兩端無電壓差，**Relay** 斷開時不會產生電弧，可以安全可靠的斷開，不會造成 **Relay** 壽命的減少。



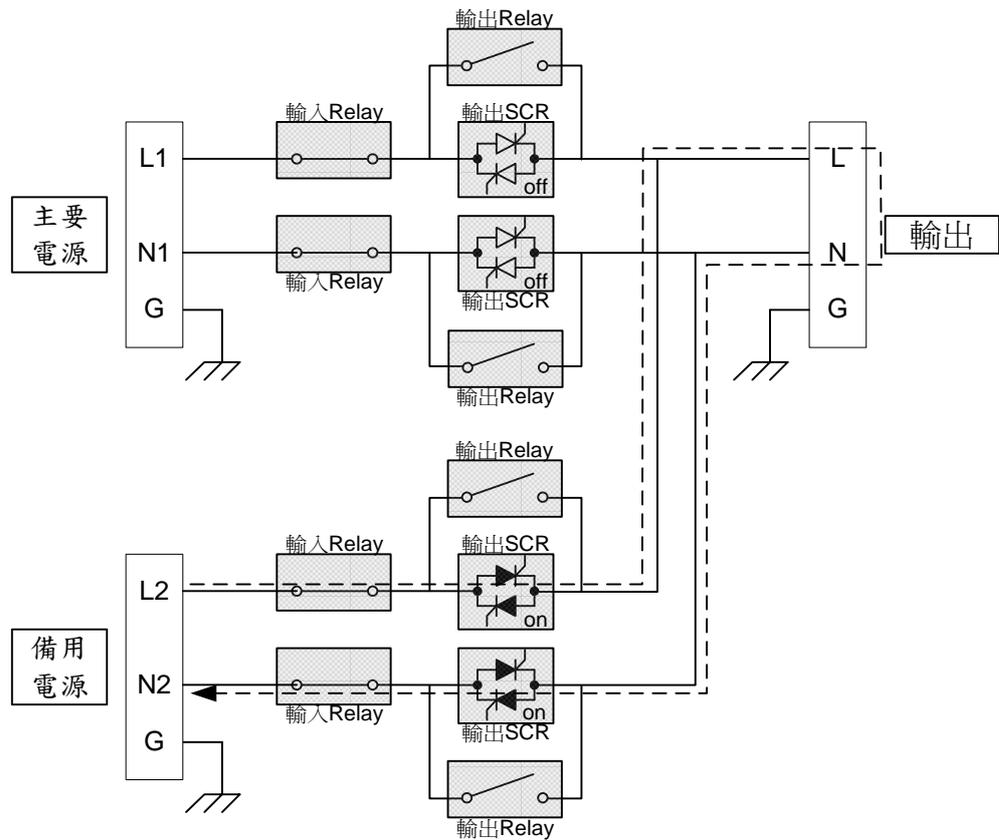
圖十 主要電源輸出 Relay 斷開後的電流路徑

步驟二：

關斷**主要電源輸出 SCR**，接著斷開**主要電源輸入 Relay**，輸出電流完全中斷，受保護設備需承受短暫斷電。關斷的動作由 SCR 完成，當 SCR 完成關斷的動作後 Relay 再關斷，此時 Relay 可以安全可靠的斷開，不影響其壽命。

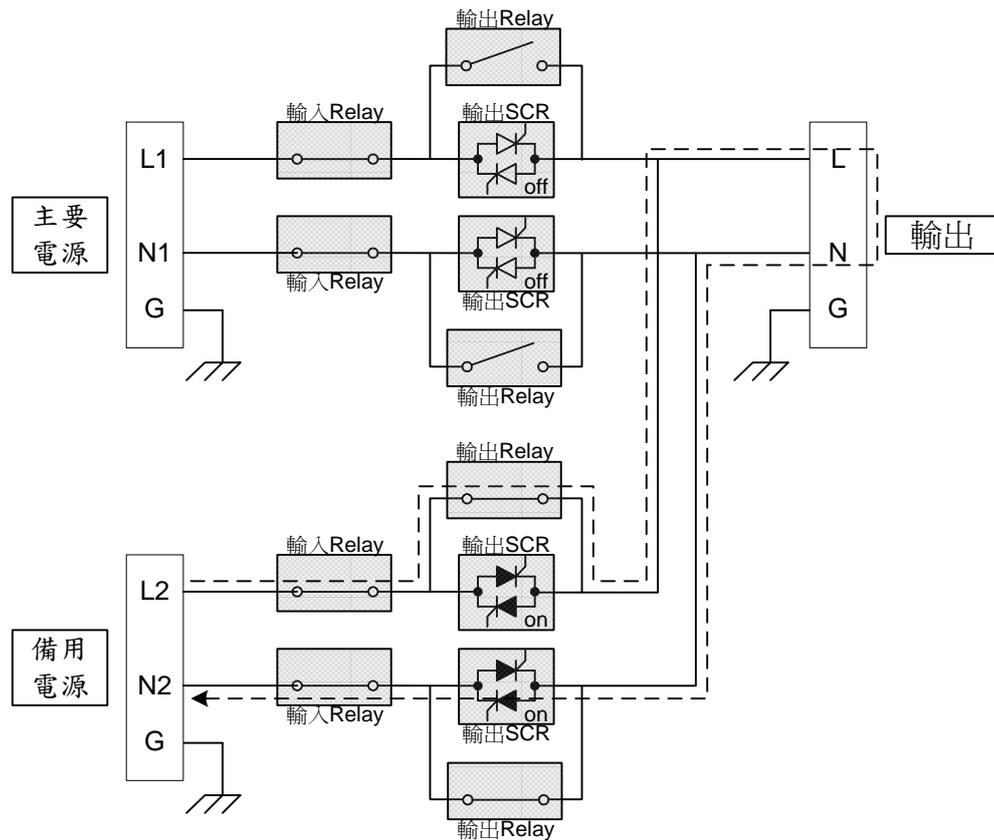
步驟三：

啟動**備用電源輸出 SCR**，重新提供輸出電流，受保護設備重新獲得供電。此時**備用電源輸入 Relay**已在導通狀態，開關動作由 SCR 完成，Relay 不會產生電弧及彈跳的現象，對 Relay 的壽命幾乎無影響。



步驟四：

啟動備用電源輸出 Relay，輸出電流轉移至備用電源輸出 Relay，此時備用電源輸出 Relay 兩端無電壓差，Relay 接合時不會產生電弧，可以安全可靠的接合，不會造成 Relay 壽命的減少。



由以上的切換動作說明，所有的 Relay 皆是在無電流下進行切換，可有效的減少電弧的產生，避免 Relay 接點的損傷。而使用 SCR 進行主要的切換開關，可以耐受主動功因調整電流供應器因 ATS 切換的轉換時間所造成的大電流。此新型的 ATS，可大大提升分散式 ATS 的使用壽命。

六、結 語

現代資訊設備使用的主動功因調整電源供應器，在輸入電壓瞬斷後會產生大於額定數倍大的輸入電流。而 ATS 進行轉換時一定會造成電源供應器輸入電壓的瞬斷。此大電流會造成傳統使用 Relay 做為主要切換開關的 ATS 的損壞。



本文提出的新的分散式 ATS 架構，使用 SCR 來取代 Relay 做為開關。不僅可大大的增加 ATS 的壽命，也可避免因轉換所產生雜訊干擾設備的問題。再搭配並聯 Relay 的使用，可以保持原本的高效率。

七、參考文獻

1. Vinaya Skanda; Microchip Technology Inc. "Power Factor Correction in Power Conversion Applications Using the dsPIC® DSC"
2. Walter Banzhaf: P.E. Professor of Engineering Technology
University of Hartford Ward College of Technology "Contact Bounce of a Relay"