

# 比較 UPS 系統設計 配置方案

## 第 75 號白皮書

版本 3

作者 Kevin McCarthy, EDG2 Inc.  
Victor Avelar, Schneider Electric

### > 摘要

要從建築物的市電電源為資料中心的關鍵負載配電，有 5 種主要的 UPS 系統設計配置方案可供選擇。要為特定應用環境選擇合適的配置方案，必須充分考慮該應用環境的可用性需求、風險承受能力、資料中心的負載類型、預算以及現有基礎設施等情況。本文對這五種配置進行了說明，並逐一論述每種方案的優缺點。隨後，分析了每種配置方案的可用性，並闡述了如何選擇合適的設計方案。

### 目錄

點擊內容即可跳轉至具體章節

可用性等級與成本	2
容量或“N”系統	4
串聯冗餘	5
並聯冗餘或“N+1”系統	7
分散式冗餘	8
雙系統冗餘	12
如何選擇合適的配置	14
結論	16
資源	17
附錄	18

## 簡介

在多數發達國家中，公共配電系統已然相當可靠，但有研究表明，即使是最完美的市電網路也不可能完全滿足那些不間斷的重要資料處理運營中心的需求。面對市電電源有可能引起停機及資料處理錯誤這一情況，大多數公司都選擇在公共配電系統與其關鍵負載之間安裝不斷電供應系統（UPS）系統。為應用環境選擇何種 UPS 系統設計配置方案會直接影響到該應用環境中的 IT 設備的可用性。影響系統可用性的因素有多種，包括人為錯誤、設備的可靠性、維護水準以及恢復時間等等。而以上每種因素對整個系統的可用性所造成的影響，在很大程度上是由所選擇的配置方案決定的。

長久以來，很多設計工程師都試圖設計出完美無瑕的 UPS 解決方案為關鍵負載提供支援，不過他們的設計方案卻往往不一定達到設計方案的可用性範圍。譬如，並聯冗餘、串聯冗餘、分散式冗餘、熱連接、熱同步、多路並聯匯流排、雙系統以及故障預警系統等等，這些都是設計工程師或製造商賦予不同 UPS 配置方案的名稱。這些名稱的問題在於，對於不同的用戶，它們可能具有不同的含義，可以存在很多種解釋方式。雖然目前市場上的 UPS 配置名目繁多且差別甚大，但最常用的不外乎五種。這五種方案包括：(1) 容量，(2) 串聯冗餘，(3) 並聯冗餘，(4) 分散式冗餘，(5) 雙匯流排系統。

本文對這些 UPS 系統組態方案進行了說明，並逐一論述每種方案的優缺點。選擇系統組態方案時，應當根據負載的關鍵程度而定。此外，還要考慮停機所帶來的影響以及公司的風險承受能力，這樣才能更好地找到合適的系統組態方案。

本文還介紹了如何為特定應用環境選擇恰當的配置方案的一些指導方針。

## 可用性等級與成本

### 可用性

資料處理中心日益增長的可用性需求，推動著 UPS 配置的不斷發展。“可用性”即電源保持供電並正常運行以支援關鍵負載的時間百分比估算值。附錄中的可用性分析對本文所介紹的幾種配置之間的可用性差異進行了量化。如同其他任何模型一樣，為簡化分析過程，必須對模型做出一些假設，因此，本文中的可用性值要比實際應用中的可用性高。為便於比較這五種常用的設計配置，表 1 中給出了一個簡單的可用性等級，根據附錄中的分析結果對這幾種方案的可用性進行了排名。詳細瞭解這些不同配置之後，您會發現這種排列順序是很顯而易見的。

### 分級

一切 UPS 系統（以及配電設備）都需要定期進行維護。系統組態的可用性一方面取決於配置對設備故障干擾的免疫能力，另一方面取決於執行正常維護和例行測試以保證關鍵負載供電的能力。Uptime Institute 一篇名為《採用分類等級的方式定義場地基礎設施性能的工業標準》<sup>1</sup>的文章中進一步討論了此主題。TIA-942 標準也對 Tier 分級提供了相應的資訊<sup>2</sup>。Uptime Institute 文檔中所述的等級涵蓋了本文中提及的五種 UPS 結構，表 1 中對此進行了簡要摘錄。

以下術語常用於描述各種分級，也用於描述分散式冗餘和雙系統冗餘的配置。

**並行維護** — 為了進行維護或例行檢查，能夠關停任何電氣元件，或子元件而不需要將負載轉移至直接使用市電供電的能力。

**單故障點** — 電氣供配系統中的一個元件在某些時候會導致宕機時間，而在系統中沒有開發相應方法來規避這種風險。一個 N 配置的系統就無可避免的具有一些列的單故障點。在設計上消除它們是冗餘的重要一環。

<sup>1</sup> <http://www.upsite.com>

<sup>2</sup> TIA-942 《資料中心通信基礎設施標準》，2005 年 4 月

**加固** — 設計一個系統或者樓宇，並使之能夠抵抗自然的破壞和抵抗各種接連發生於電氣系統的故障的干擾。這種防錯和容錯的能力；例如，兩個 UPS 系統不會安置在同一個房間之內，而且電池組不會和 UPS 模組在同一個房間之內。斷路器的協調也是這些設計方案的重要一環。合理的斷路器協調能夠阻止樓宇中大的區域發生短路。

加固一個樓宇也意味著能讓她抵抗各種突發事件，例如颶風，龍捲風和洪水，這還需要考慮到樓宇的選址。例如設計樓宇遠離 100 年間發生洪水的平原，避免飛機的航線從上方經過，較厚的牆壁和無窗設計都會有助於提高抵抗力。

## 成本

配置的可用性等級越高，其成本也越高。表 1 列出了每種設計方案的大致成本範圍。該成本指的是建造一間新的資料中心所需的成本，因此，其中不僅包括 UPS 結構的成本，還包括資料中心的整個網路關鍵物理基礎設施 (NCPI) 的成本。後者包括發電機、開關裝置、製冷系統、消防系統、活動地板、機架、照明設施、物理空間和整個系統的調試成本。這些還只是前期成本，還不包括運營成本，比如維護成本等。在計算上述成本時，我們假設每個機架平均占地面積為 2.8 平方米（30 平方英尺），且功率密度範圍為每機架 2.3 kW 至 3.8 kW。如果分擔成本的設備占地面積增大，每機架的成本也將隨之降低。

表 1

UPS 配置的可用性等級與成本

配置	可用性尺度	Tier 分級	資料中心成本 (美元)
容量 (N)	1 = 最低	Tier I	每機架 13,500 - 18,000 美元
串聯冗餘	2	Tier II	每機架 18,000 - 24,000 美元
並聯冗餘 (N+1)	3		
分散式冗餘	4	Tier III	每機架 24,000 - 30,000 美元
雙系統 (2N, 2N+1)	5 = 最高	Tier IV	每機架 36,000 - 42,000 美元

## 什麼是 "N"?

說明：在 UPS 設計配置的計算過程中，通常採用字母 "N" 來指代 UPS 設計配置。例如，並聯冗餘系統也稱作 N+1 設計，而雙系統設計可以用 2N 來表示。"N" 可以簡單地定義為關鍵負載的 "need (需求)"。換而言之，即滿足所保護設備供電量的電源容量。我們可以用 RAID (獨立磁片冗陣列) 系統等 IT 設備來解釋 "N" 的用途。例如，如果存儲容量需要 4 個磁片，且 RAID 系統正好包含 4 個磁片，則稱這是一個 "N" 設計。反之，如果 RAID 系統有 5 個磁片，而存儲容量只需要 4 個磁片，則為 "N+1" 設計。

一直以來，在規劃關鍵負載電源時，必須充分考慮以後的發展，以使 UPS 系統可以為負載提供 10 或 15 年的支援。事實證明，按照這一原則進行規劃是很困難的。20 世紀 90 年代，為便於提供討論框架並比較各種設施，曾提出了 "瓦特/單位面積" 的概念。但由於人們對 "單位面積" 的含義無法達成共識，這種電源度量指標造成了很多誤解。近來，伴隨著技術精簡的大趨勢，人們逐漸採用 "瓦特/機架" 的概念來表示系統容量。事實證明，由於單位空間內的機架數量很容易統計，因此這種度量方式的準確性更高。無論如何選擇負載 "N"，有一點很重要，那就是應當從一開始便選擇好配置方案，使設計過程沿著正確的方向進行。

資源連結  
第 37 號白皮書  
避免資料中心和網路機房  
基礎設施因過度規劃  
造成的資金浪費

## 容量或“N”系統

如今，湧現出了可擴充的模組化 UPS 系統設計，從而可以使 UPS 容量隨著 IT 需求的增長而擴大。瞭解更多詳情，請參見第 37 號白皮書《避免資料中心和網路機房基礎設施因過度規劃造成的資金浪費》

簡而言之，N 系統指由單個 UPS 模組或容量與關鍵負載規劃容量相等的一組並聯 UPS 模組構成的系統。迄今為止，這種類型的系統是 UPS 行業中使用最為廣泛的配置。辦公桌下的小型 UPS 即屬 N 配置。同樣，對於規劃設計容量為 400 kW，面積為 500 平方米（5000 平方英尺）的計算器房，如果採用單個 400 kW 的 UPS 或在公共總線採用兩個並聯的 200 kW UPS，那麼也屬 N 配置。因此，可以將 N 配置視作為關鍵負載供電的最低要求。

雖然上述兩例均可視為 N 配置，但其中的 UPS 模組設計卻有所不同。與小型 UPS 不同，超出單相容量（大約為 20 kW）的系統都設置有內部靜態旁路開關，以便在 UPS 模組出現內部問題時，將負載安全地轉換到市電。UPS 到靜態旁路的轉換點都經過製造商的仔細選取，以便為關鍵負載提供最妥善的保護，同時也保護 UPS 模組本身不會受到損害。下面舉例說明了這些保護措施中的一種措施：在三相 UPS 應用中，模組通常都具有額定超載能力指標。該指標的一種表述形式為“模組將承載 125% 的額定負載達 10 分鐘”。因此，一旦負載達到額定值的 125%，模組將啟動一個計時程式，其內部時鐘將開始倒數 10 分鐘。10 分鐘後，如果負載仍未恢復到正常水準，則模組會將負載安全地轉換到靜態旁路。啟用旁路的情況還有很多種，UPS 模組的規格說明中會對此進行詳細闡述。

擴充 N 配置的一種方式是為系統提供“維護”或“外部”旁路。若採用外部旁路，那麼在需要進行維護時，可以將整個 UPS 系統（模組和靜態旁路）安全地關閉。維護旁路與 UPS 共用一個配電盤，並且與 UPS 輸出端直接相連。當然，正常情況下這條電路處於斷開狀態，僅當 UPS 模組轉換到靜態旁路時才合上。在設計過程中，必須採取某些措施以防止當 UPS 未轉換到靜態旁路時，維護旁路電路接通。如果安裝正確，維護旁路可確保 UPS 模組安全運行而無需擔心負載停機，因而是系統中一個極為重要的元件。

大多數“N”系統組態，尤其是低於 100 kW 的配置，都用於對整個電力系統組態無特殊要求的建築環境中。建築物的電力系統一般都採用“N”配置，因此，“N”UPS 配置剛好可滿足這種情況。圖 1 顯示了常用的單模組 UPS 系統組態。

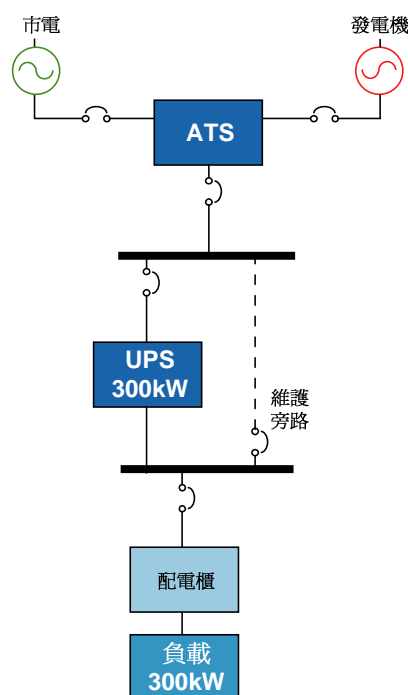


圖 1  
單模組“容量”UPS 配置

## “N”系統的缺點

- 可用性有限，因為如果 UPS 模組出現故障，負載將轉換到旁路供電，從而處於無保護電源下。
- 在 UPS、電池或下游設備維護期間，負載處於無保護電源下（通常，這種情況每年至少會發生一次，而且往往會持續 2-4 小時）。
- 缺乏冗餘，限制了在 UPS 發生故障時對負載的保護能力。
- 存在多個單故障點，這意味著系統的可靠性由其最薄弱的環節決定。

## 串聯冗餘

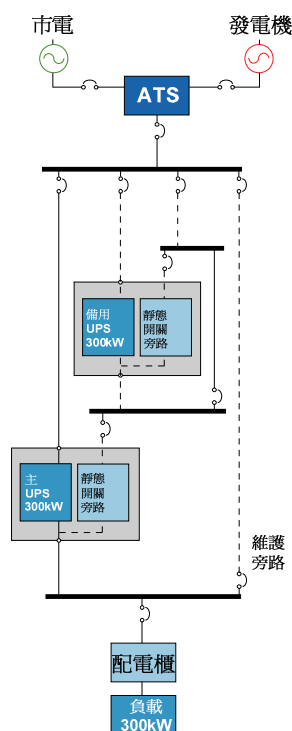
串聯冗餘配置有時也稱為“N+1”系統，不過，它與通常情況下用 N+1 表示的並聯冗餘配置截然不同。串聯冗餘設計概念既不需要並聯匯流排，也不要求模組的容量必須相同，甚至不要求模組來自同一個製造商。在該配置中，正常情況下由一個主要的或“主”UPS 模組為負載供電。同時，一個“串聯”的或“輔助”的 UPS 為主 UPS 模組的靜態旁路供電。該配置要求主 UPS 模組的靜態旁路具有單獨的輸入電路。這種方式可以在保留現有 UPS 的情況下，對之前的無冗餘配置進行擴充，以獲得一定程度的冗餘。圖 2 顯示了串聯冗餘 UPS 配置。

在正常運行條件下，主 UPS 模組將承擔起全部關鍵負載的供電，串聯模組不承擔任何負載。一旦主模組負載轉換到靜態旁路上，串聯模組將即刻接受主模組的全部負載。因此，必須仔細選取串聯模組，以確保它能夠迅速承擔起負載。如果它不能完成該任務，它自身或許可以轉換到靜態旁路，但這樣一來，便使得該配置方案所提供的冗餘保護消失殆盡。

對於這兩個模組而言，只需將負載轉換到另一個模組，便可輕鬆提供服務。由於輸出線路仍存在單故障點，因此，維護旁路仍然是一項重要的設計功能。整個系統每年需要停機 2-4 小時，以便對系統進行預防性的維護。雖然該配置方案的可靠性提高了，但往往卻被開關裝置及相關控制項的複雜性所抵銷。MTechnology Inc<sup>3</sup>，是一家專業高可靠性電氣系統諮詢公司。該公司曾今進行的可靠性比較分析。透過使用概率風險評估（PRA）技術，MTech 開發了用於量化串聯冗餘系統和非冗餘系統的模型。最基本的故障樹分析忽略了人為失誤、元件老化和環境因素導致的故障，顯示出串聯冗餘系統不會在物理上影響故障率（不可靠性）。兩個系統的年故障率都是 1.8%。串聯冗餘最終得出 30 個故障模式（最小採樣）而非冗餘系統只有 7 個。儘管多額外的 23 個故障模式的發生機率較小，但是分析指出為系統增加複雜性和額外的元件不可避免的增加了潛在故障的機率。MTech 認為當考慮到人為失誤和組件老化的影響，串聯冗餘的反面意義就變得更加明顯。串聯冗餘系統的運維比非串聯冗餘系統要複雜得多，而且人為失誤發生的機率也要高得多。串聯冗餘設計所帶來的預防性維護程式的益處經不起嚴格仔細的推敲和審查。串聯冗餘 UPS 設計最重要的受益人是那些最初銷售設備然後從對額外的 UPS 維護服務中獲利的人或組織。客戶的設備並不受益於高可靠性的供電。

<sup>3</sup> MTechnology, Inc; 地址：2 Central Street, Saxonville, MA 01701; 電話：508-788-6260; 傳真：508-788-6233

圖 2  
串聯冗餘 UPS 配置



### 串聯冗餘的優點

- 產品的選擇很靈活，可以混用不同製造商或不同型號的產品。
- 具備 UPS 容錯功能。
- 不需要同步裝置。
- 對於雙模組系統而言，相對比較經濟。

### 串聯冗餘的缺點

- 依賴於主模組靜態旁路是否能從冗餘模組正確接收電力。
- 如果電流超出逆變器的容量，則要求兩個 UPS 模組的靜態旁路都必須能正常運行。
- 主 UPS 模組轉換到旁路時，輔助 UPS 模組必須能夠處理突然的負載變化。（因為輔助 UPS 往往長期工作在 0% 負載的條件下。並非所有 UPS 模組都能執行該任務，因此旁路模組的選擇至關重要。）
- 開關裝置及相關控制項不僅複雜，而且昂貴。
- 由於為保持電源不間斷而設置的輔助 UPS 工作於 0% 負載情況下，因而運營成本提高了。
- 雙模組系統（一個主模組，一個輔助模組）至少需要一個電路斷電器，以便在市電與作為旁路電源的另一個 UPS 之間進行選擇。這比只包含一條公共負載匯流排的系統要複雜得多。
- 兩個或多個主模組需要採用特殊的電路來啟用冗余模組或作為旁路電源的市電（靜態轉換開關）。
- 每個系統一條負載匯流排，因而存在單故障點。

## 並聯冗餘或“N+1”系統

在並聯冗餘配置方案中，當單個 UPS 模組出現故障時，無需將關鍵負載轉換到市電。所有 UPS 的用途都在於保護關鍵負載不受市電變化及斷電的影響。隨著資料重要程度的提高以及風險承受能力的降低，轉換到靜態旁路和維護旁路的理念已逐漸被視為應淘汰之舉。但 N+1 系統設計仍需靜態旁路，而且大多數 N+1 系統都具有維護旁路，因為它們仍起著舉足輕重的作用。

在並聯冗餘配置方案中，多個並聯的容量相同的 UPS 模組共用一條輸出匯流排。如果“備用的”電量至少等於一個系統模組的容量，則系統為 N+1 冗餘；如果備用的電量等於兩個系統模組的容量，則系統為 N+2 冗餘；以此類推。並聯冗餘系統要求採用同一製造商生產的相同容量的 UPS 模組。UPS 模組透過外部的系統並聯電路板進行同步，有時 UPS 模組本身也嵌入這種功能。某些情況下，並聯功能也控制模組間的電流輸出。

各個 UPS 模組之間相互通訊，以產生完全同步的輸出電壓。並聯匯流排應具備監控功能，以顯示系統負載以及系統的電壓與電流特徵。此外，並聯匯流排還必須能顯示並聯總在線的模組數量，以及需要多少模組才能保證系統冗餘。一條公共總在線可以並聯的 UPS 模組的數量存在一個邏輯上限，對於不同的 UPS 製造商而言，該最大值也不同。在正常運行條件下，並聯冗餘設計中的 UPS 模組均勻分攤關鍵負載容量。如果從並聯總在線取下一個模組進行維修（或者如果某個模組因內部故障而停機），則剩下的 UPS 模組必須立即承擔起發生故障的 UPS 模組的負載。由於有了此功能，因此可以從匯流排中取下任意一個模組進行修理，而無需將關鍵負載直接連接到市電。

N 配置示例中面積為 465 平方米（5000 平方英尺）的計算器房，如果採用該方案，則需要 2 個 400 kW 的 UPS 模組，或 3 個 200 kW 的 UPS 模組並聯在一條公共輸出總在線，以提供冗餘。並聯匯流排的設計容量為系統的非冗餘容量。因此，包含 2 個 400 kW 模組的系統，其並聯匯流排的額定容量為 400 kW。

在 N+1 系統組態方案中，UPS 容量可以隨負載的增長而增長。應當設置容量觸發機制，以便當容量百分比達到某個水準時，就應當訂購新的冗餘模組（某些 UPS 模組的交貨時間可能需要幾周甚至幾個月）。UPS 容量越大，安裝新 UPS 模組的難度越大。大型的 UPS 模組重達數噸，需要特殊的傳動裝置才能將它們安置就位。UPS 房間中通常會為這種大型模組預留位置。由於將大型 UPS 模組安放在任何房間中都存在一定的風險，因此，這種部署必須進行周密規劃。

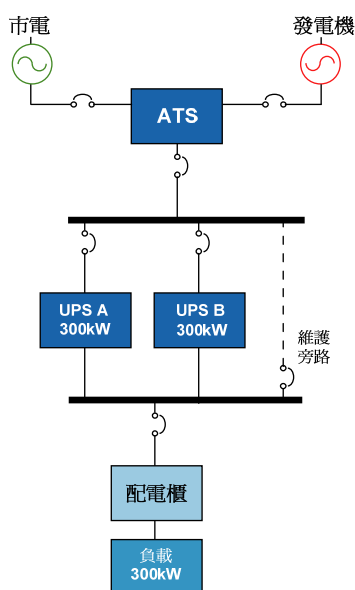
在設計冗余 UPS 系統時，系統效率是一個應當著重考慮的重要因素。一般而言，負載較輕的 UPS 模組的效率要低於負載接近於其額定容量的 UPS 模組。表 2 顯示了為 240 kW 負載供電時，採用不同容量 UPS 模組的系統的負載分配情況。如表所示，為特定應用環境所選的模組大小會嚴重影響系統效率。低負載情況下任何特定 UPS 的效率因製造商而異，在設計過程中應對具體資料進行調查。

表 2  
N + 1 配置

並聯的 UPS 模組	關鍵負載	UPS 系統總容量	每個 UPS 模組的負載百分比
2 x 240 kW	240 kW	480 kW	50%
3 x 120 kW	240 kW	360 kW	66%
4 x 80 kW	240 kW	320 kW	75%
5 x 60 kW	240 kW	300 kW	80%
2 x 240 kW	240 kW	480 kW	50%

圖 3 顯示了一個典型的雙模組並聯冗餘配置。從圖中可看出，儘管該系統提供了單個 UPS 模組故障保護功能，但在並聯匯流排中仍存在單故障點。與“N”配置方案一樣，為了斷開並聯匯流排以進行定期維護，在設計該方案時也應著重考慮維護旁路電路。

圖 3  
並聯冗餘 (N+1) UPS 配置



### “N+1”系統的優點

- 由於在一個 UPS 模組出現故障時有其他冗餘容量可用，因此該方案的可用性要高於“N”配置。
- 由於使用跟梢的斷路器，而且模組一直在線（無遞增負載），與串聯冗餘相比故障率低
- 可根據電力需求的增長進行擴充。在同一裝置中可以同時配置多個單元設備。
- 硬體的佈置不僅設計概念簡單，而且成本低廉。



### “N+1”系統的缺點

- 兩個模組必須採用相同的設計、相同的製造商、相同的額定值以及相同的技術與配置。
- UPS 系統的上游與下游仍存在單故障點。
- 如果在 單個 UPS 系統模組和其電池以外的下游設備維護期間，負載會處於無保護電源下。如果並聯連接板，或者並聯控制器以及其下游設備要求維護，負載會處於無保護電源下。
- 由於各個 UPS 設備的利用率均低於 100%，因此運營效率較低。
- 每個系統一條負載匯流排，因而存在單故障點。

## 分散式冗餘

分散式冗餘配置廣泛應用於當今的資料中心行業，尤其是金融機構。20 世紀 90 年代末期，某家工程公司為了獲得全方位的冗餘，不惜花費任何高額成本，因而便開發出了這種設計方案。該設計以三個或更多個 UPS 模組及獨立的輸入和輸出電路為基礎。獨立的輸出匯流排透過多個三重冗餘和 STS 與關鍵負載相連。從市電接入到 UPS，分散式冗餘設計和雙系統設計（將在下一部分中進行討論）幾乎是一樣的。這兩種方案均提供了並行維護功能，並將單故障點減至最少。二者最主要的區別在於，從 UPS 到關鍵負載的配電結構中，為關鍵負載提供冗餘電源線路所需的 UPS 模組的數量不同。隨著負載要求“N”的增加，UPS 模組的數量增加所帶來的成本，以及反過來因此而產生的節約也在增加。

圖 4、5 和 6 分別顯示了同樣為 300 kW 負載供電的兩種不同的分散式冗餘設計方案。圖 4 採用 3 個 UPS 模組，在該配置中，模組 3 與每個 STS 的輔助輸入電路相連，根據另外兩個主 UPS 模組的故障情況投入系統並向負載供電。在該系統中，模組 3 通常不承載任何負載。

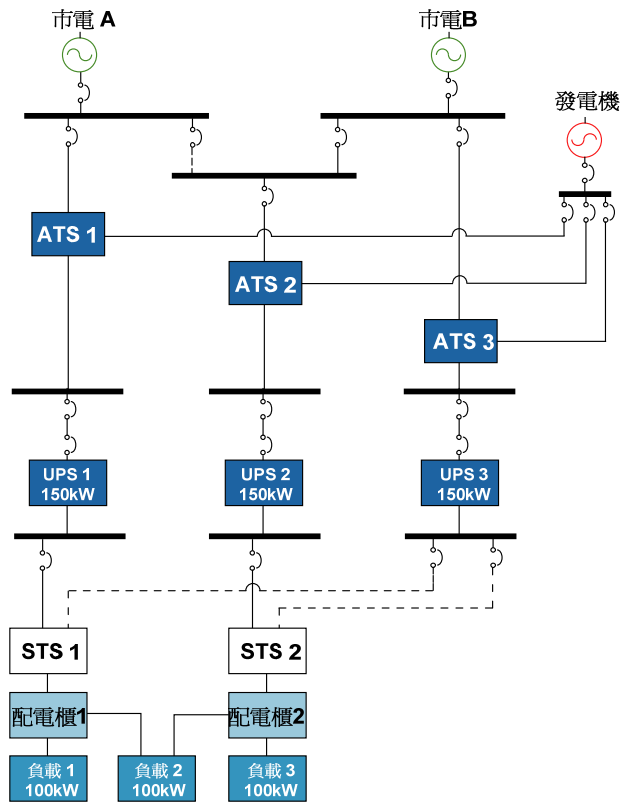


圖 4  
分散式冗餘“備用”UPS 配置

圖 5 的分散式冗餘設計採用三個 STS，正常運行狀態下，負載平均分配在三個 UPS 模組上。如果其中任何一個模組出現故障，則將強制 STS 將負載轉換到為該 STS 供電的另一個 UPS 模組上。

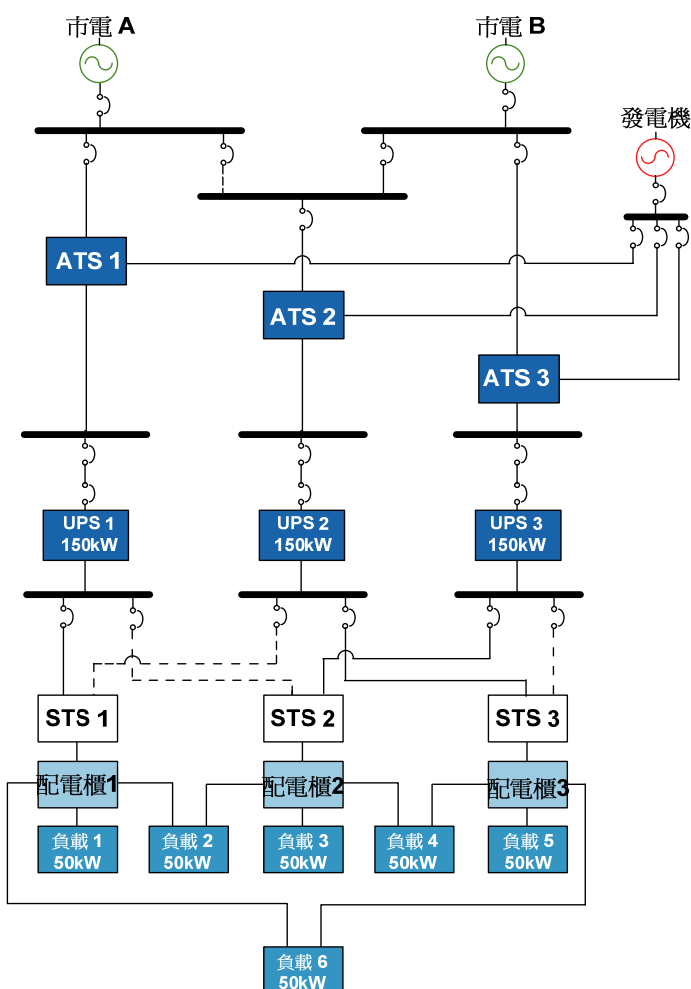
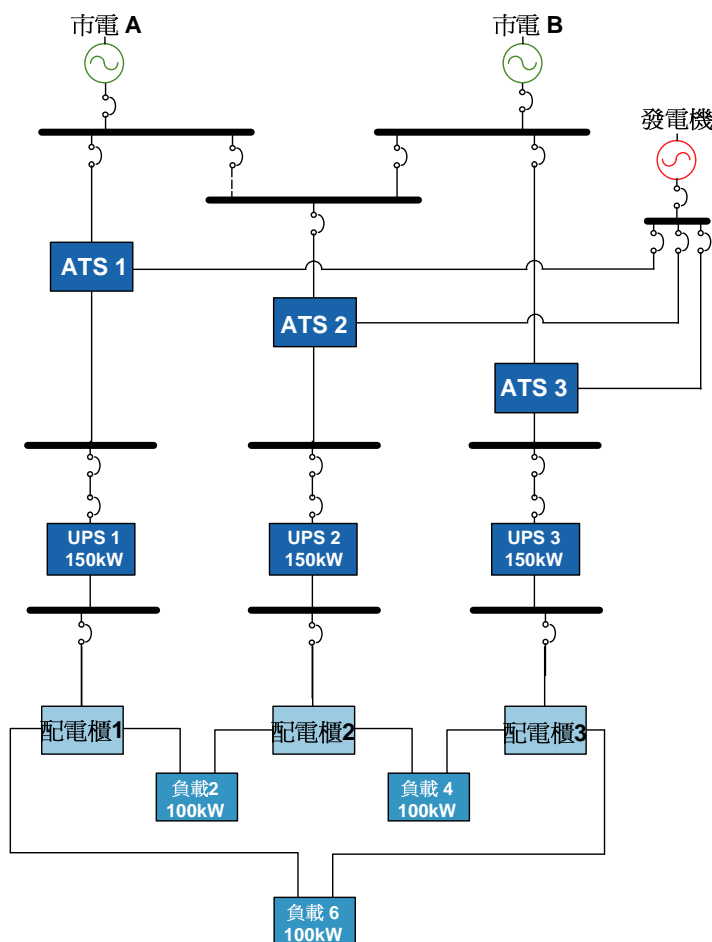


圖 5  
分散式冗餘 UPS 配置  
(帶 STS)

很顯然，雙電源負載與單電源負載的供電電路是不同的。雙電源負載可以採用兩個 STS 設備供電，而單電源負載只能由單個 STS 供電。因此，STS 便成為單電源負載的單故障點。在當今的資料中心中，單電源負載的使用數量日趨減少，因此，可以在單電源負載的附近安裝多個小型轉換開關，該方法既實際又經濟。如果全部為雙電源負載，那麼該配置可以不採用 STS 設備。在 100% 雙電源負載的情況下，這種配置還可以設計成完全沒有 STS，如圖 6 所示。這種設計典型表現為三重冗餘和不適用靜態轉換開關。

圖 5 顯示一路 STS 系統，有著極高的電氣系統可靠性要求的大型機構使用冗餘的 STS 作為將電氣維護活動從關鍵負載隔離的手段。例如，事件在這四層接連發生才需要要在 UPS 維護期間關停一個雙電源的伺服器。首先向市電 A 側的 UPS 靜態旁路的轉換發生故障之後市電 A 側的 STS 跟著發生故障，之後 B 側的 UPS 也跟著發生故障，最後 B 側的 STS 故障。這種層層保護的方式與其昂貴的成本相比提供了很小的可靠性收益 — 報酬遞減規則。總而言之，最好的冗餘是地理空間上的冗餘，就是指冗餘的資料中心相隔一定的距離的地點建造。但是，當前對金融機構而言實施地理上的冗餘是很困難的，因為他們必須能夠安全和快速地訪問他們所有的資料。

圖 6  
三重冗餘 UPS 配置  
(無 STS)



總體來看，對於那些需要進行並行維護，且大多數負載均為單電源負載的複雜的大型計算器室而言，分散式冗餘系統是比較理想的選擇。相對於 2N 架構，其在 UPS 模組上的節約也是這種配置的市場驅動。還有其他一些行業因素也推動著分散式冗餘配置方案的發展：

**靜態轉換開關 (STS)** — STS 具有兩路輸入和一路輸出。通常，STS 從兩個不同的 UPS 系統接受供電，並根據某些條件將其中一路電源提供給負載。如果 STS 的主 UPS 供電電路出現故障，則 STS 將在 4 到 8 毫秒內將負載轉換到輔助 UPS 供電電路上。STS 透過這種方式使負載隨時處於受保護狀態下。此項技術自 20 世紀 90 年代初期出現以來，已廣泛應用於分散式冗餘配置中。

冗餘的雙路架構的最家應用就是將兩條路徑隔離，因此各自獨立的它們當一側發生故障時不會影響到另外一側。在雙路架構中使用靜態轉換開關會妨礙兩條冗餘路徑的隔離。因此，STS 選型取決於對靜態開關的設計和現場性能的全方位調查是極為關鍵的。在市場上，有多種不同配置和不同可靠性等級的 STS 可供選擇。如圖 5 所示，STS 處於三重冗餘的輸入一側（高電壓一側）。對 STS 邏輯和設計的改進已經改進了這種配置的可靠性，將 STS 置於兩個三重冗餘的輸出一側（低電壓一側）會更可靠一些，但是購買兩套三重冗餘的根本也會昂貴很多。但同時，將 STS 置於兩個三重冗餘的輸出一側（低電壓一側）會提供更高的額定電流。這種配置在第 48 號白皮書《比較各種機架電源冗餘配置的可用性》做詳細討論。

**單電源負載** — 如果資料中心全部由單電源負載設備組成，那麼，每個 IT 設備只能由單個 STS 或安裝在機架上的轉換開關來供電。冗餘結構要獲得高可用性，必須將開關安置在靠近負載的位置，如第 48 號白皮書中所述。將數百個單電源設備與單個大型 STS 相連，是一個極其冒險的舉動。如果採用多個小型開關分別為部分負載供電，則可以降低這種危險性。此外，分佈的機架式轉換開關也不會像大型 STS 那樣，出現那種會波及到上游多個 UPS 系統的故障模式。因此，機架式轉換開關得到了越來越廣泛的採用，尤其是當單電源負載只佔據全部負載的一小部分時。在第 62 號白皮書《為雙路環境中的單路設備供電》中詳細討論了 STS 和機架式轉換開關之間的不同之處。

資源連結  
第 48 號白皮書  
比較各種機架電源冗餘  
配置的可用性

使用 STS 時 IT 設備不會受到因 A 或 B 側的故障而導致的很短的轉換時間的影響。

**雙電源負載** — 隨著時代的發展，雙電源負載日漸成為主流，因此，STS 已不是必不可少的設備。負載可以直接與兩個單獨的三重冗余相連，而三重冗余則分別由單獨的 UPS 系統供電。

**多個電源同步** — 如果資料中心採用 STS 設備，那麼應當使兩個 UPS 供電電路保持同步。如果沒有同步控制，UPS 模組之間很可能出現相位差，尤其是當 UPS 採用電池模式時。當先很多 STS 能夠轉換沒有進行同步的電源。這種能力應該會淘汰多電源同步裝置。

一種解決辦法是在兩個 UPS 系統之間安裝一個同步設備，使這兩個 UPS 系統的 AC 輸出同步。當 UPS 模組的輸入電源斷電，使用電池工作時，這一點尤其重要。同步設備可確保所有 UPS 系統在任何時候都保持同步，因此，在 STS 轉換過程中，電源將保持完全同相，從而杜絕了異相轉換以及可能對下游設備造成的損害。當然，在某一個 UPS 系統添加同步設備時，應當考慮會同時影響所有 UPS 系統的故障發生的可能性。

### 分散式冗餘的優點

- 便於所有元件的並行維護（如果所有負載均為雙電源負載）。
- 與  $2(N+1)$  設計相比，UPS 模組較少，因而成本較低。
- 對於任何特定雙電源負載而言，兩條獨立的供電線路自服務入口處便提供了冗餘。
- 無需將負載轉換到旁路模式（負載將處於無保護電源下），即可對 UPS 模組、開關裝置和其他配電設備進行維護。大部分分散式冗餘設計都不需要維護旁路電路。

### 分散式冗餘的缺點

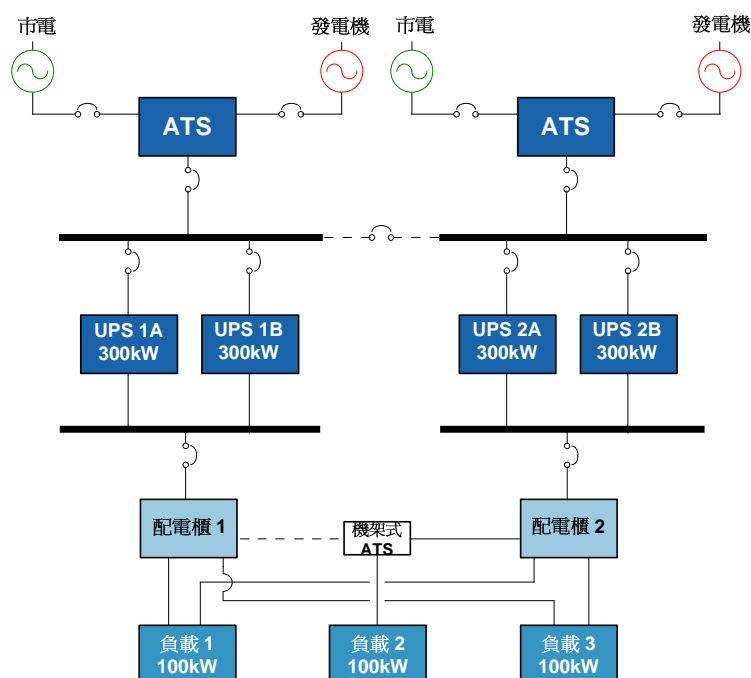
- 與之前幾種配置相比，由於大量採用開關裝置，因此成本相對比較高。
- 設計是否成功依賴於 STS 設備的運行是否正常，因為採用 STS 設備即意味著存在單故障點以及複雜的故障模式。
- 配置方案複雜。在包含眾多 UPS 模組、靜態轉換開關和三重冗余的大型資料中心中，要保證各個 UPS 系統均分負載並瞭解哪些系統為哪些負載供電，是一項艱巨的管理任務。
- 無法預計的運行模式：UPS 系統具備多種運行模式，且各 UPS 系統之間存在多種可能的轉換模式。要在預先定好的條件和故障條件下對所有這些模式進行測試，以檢驗控制策略和故障清除設備是否正常運行，是不切實際的。
- 由於未達到滿負荷工作狀態，UPS 效率低下。

## 雙系統冗餘

雙系統、多路並聯匯流排、雙輸入、 $2(N+1)$ 、 $2N+2$ 、 $[(N+1) + (N+1)]$  以及  $2N$  全都指的是該配置的變體。借助這種設計方案，現在完全可以建立起根本無需將負載轉換到市電的 UPS 系統。在設計這些系統時，可以儘量排除每一個可能的單故障點。不過，排除的單故障點越多，設計方案實施起來代價也越高昂。大多數大型雙系統組態都位於專門設計的獨立建築物中。基礎設施（包括 UPS、電池、製冷系統、發電機、市電和配電室）佔據與資料中心設備同樣大小的空間，是很平常的事情。

該配置是行業中最可靠也最昂貴的一種設計。根據工程師的理念以及客戶要求的不同，它可以非常簡單，也可以異常複雜。雖然採用的是同一個名稱，但具體的設計細節千差萬別，這也是由負責設計任務的設計工程師的理念與知識水準所決定的。圖 7 顯示了該配置的一種變體， $2(N+1)$ ，它由兩個並聯冗餘 UPS 系統構成。理想情況下，可以採用單獨的配電盤，甚至單獨的市電和發電機系統為這些 UPS 系統供電。雖然該設計方案的建造成本頗為不菲，但考慮到資料中心設備的重要程度以及宕機成本，還是物有所值的。全球許多家大公司都紛紛選擇這種配置來保護其關鍵負載

圖 7  
2(N+1) UPS 配置



該配置的成本高低取決於設計工程師認為要滿足客戶的需求應當採用何種“深度和廣度”的系統冗餘。其基本設計概念，是允許每一個電氣設備都可以在出現故障或手動關閉時正常運行而無需將關鍵負載轉換到直接使用市電的條件下。2(N+1) 設計的一個共同之處是採用旁路電路，以使部分系統可以被關閉或旁路至備用電源，從而保證了整個系統的冗餘。圖 7 即顯示了這樣一個示例：UPS 輸入開關櫃之間的電路連接，從而可以關閉其中一個市電接入，而不會使得任何一個 UPS 系統斷電。在 2(N+1) 設計中，倘若單個 UPS 模組發生故障，只會使該 UPS 模組從電路中斷開，與之並聯的另一個模組將承擔起這部分負載。維護旁路在這種設計中並不是一個優勢，因為它們有可能將整個系統完全“跨越”。

在圖 7 的示例中，關鍵負載為 300 kW，因此，共需要四個 300 kW 的 UPS 模組，兩兩組成兩條獨立的並聯匯流排。每條匯流排分別為兩條直接與雙電源負載連接的電路供電。圖 7 中的單電源負載顯示了轉換開關是如何為該負載提供冗餘的。不過，Tier IV 等級的電源結構要求所有負載均為雙電源負載。

一般而言，選擇雙系統組態的公司更關心配置是否具備高可用性，而不是其實現成本。這些公司的負載也大都是雙電源負載。除了在分散式冗餘配置部分中所討論的因素之後，該配置方案還有以下幾個因素：

**靜態轉換開關 (STS)** — 隨著雙電源 IT 設備的問世，在設計中無需再面對 STS 設備及其煩人的故障模式，從而使系統可用性得到了顯著提高。

**單電源負載** — 要充分利用雙系統設計方案的冗餘優勢，應當將單電源負載與轉換開關在機架處相連。這種做法的優勢在第 48 號白皮書《比較各種機架電源冗餘配置的可用性》中進行描述。

## 雙系統冗餘的優點

資源連結  
第 48 號白皮書  
比較各種機架電源冗餘配置的可用性

- 兩條獨立的供電線路，無單故障點，容錯性極強。
- 該配置為從電力入口到關鍵負載的所有線路提供了全方位的冗餘。
- 在 2(N+1) 設計中，即使在並行維護過程中，也仍存在 UPS 冗餘。
- 無需將負載轉換到旁路模式（負載將處於無保護電源下），即可對 UPS 模組、開關裝置和其他配電設備進行維護。
- 更容易使各 UPS 系統均分負載，並瞭解哪些系統為哪些負載供電。

### 雙系統冗餘的缺點

- 冗余組件數量多，成本高。
- 由於未達到滿負荷工作狀態，UPS 效率低下。
- 一般的建築物不太適合採用可用性極高的雙系統，因為這種系統需要對冗余元件進行分開放置。

## 如何選擇合適的配置

應當如何來選擇最適合自己的配置方案呢？讓我們重溫一下在選取合適的配置時應當考慮的注意事項：

- 宕機成本/影響 — 公司每分鐘的流動現金有多少？如果發生故障，系統需要多長時間才能恢復？可以將以上問題的答案作為預算方案討論的開篇。答案是 10,000,000 美元/分鐘還是 1,000,000 美元/小時，討論方向自然不同。
- 預算 — 從任何方面而言，實現 2(N+1) 設計的成本都要比 N (容量) 設計、並聯冗余設計甚至是分散式冗余設計的成本高得多。讓我們以一家大型資料中心為例來看看成本的差距。若該資料中心採用 2(N+1) 設計，則可能需要 30 個 800 kW 的模組（每條並聯匯流排 5 個模組，共 6 條並聯匯流排）。對於同樣的負載，如果採用分散式冗余設計，那麼只需要 18 個 800 kW 的模組，顯然成本要低得多。
- 負載類型（單電源負載與雙電源負載）— 雖然雙系統的設計概念在雙電源設備出現之前便已產生，但雙電源負載的確為這種利用冗余容量的設計方案提供了切實可行的實現機會。計算器製造商們在開始生產雙電源負載之前，無疑會聽取其客戶的意見。資料中心內負載的特性會為設計者提供一些思路，不過其作用要遠遠低於上文所述的各種因素。
- IT 架構類型 — 虛擬化和網路頻寬和速度突飛猛進的改善使整個資料中心能夠無延遲的轉換到另一個場地。這也在質疑原有的認知，具有最高可用性的資料中心是那些有著高度冗余的電力和製冷架構的設施。隨著虛擬化技術的成熟，兩個相隔遙遠的“N”系統資料中心可能比一個高度冗余的資料中心具有更高的可用性。
- 風險承受能力 — 遭遇過重大故障的公司的風險承受能力往往比那些未曾有過此種體驗的公司要強。聰明的公司將會從同行業其他公司身上獲取經驗資料。公司的風險承受能力越弱，就越傾向於採用可靠性更高、故障恢復能力更強的方案。
- 可用性表現 — 公司在一年之內能忍受多長時間的停機？如果回答是決不能停機，那麼應在預算中選用高可用性的設計。不過，如果公司可以在每天晚上 10 點之後以及大多數週末停機，那麼其 UPS 配置選擇並聯冗余設計就差不多了。每個 UPS 在某些方面都需要進行維護，而且 UPS 系統確實會間歇性地發生一些出人意料的故障。每年計畫在維護方面所花的時間越少，系統需要的冗余設計元件就越多。
- 可靠性表現 — 一個 UPS 的可靠性越高，這個系統持續工作的概率也就越高。瞭解更多關於可靠性要求的知識，請參見第 78 號白皮書《平均故障間隔時間：說明和標準》。
- 可維護性表現 — 簡單的僅僅具有高可靠性並不能阻止的故障所導致長時間宕機的影響。維修所耗費的時間嚴重依賴於系統設計和維護技術人員的技能水準。識別延長維修時間的設計參數的同時減少人為失誤是非常重要的。



資源連結

第 78 號白皮書

平均故障間隔時間：說明和標準

- 對可維護性予以支持的表現 — “執行維護的組織的能力，在給定條件下，遵守給定的維護規範，根據需求提供維護一個設備所需的資源。<sup>4</sup>”用來評估這項要素的最好的方法是研究其它公司與某個維護服務組織已經存在的體驗。

上面最後四條可以歸納為一個詞彙，叫作可信性。可信性，在《國際電工詞彙 191-02-03 (IEV)》中的定義為“用於描述可用性表現和其影響的因素：可靠行表現，可維護性表現和對可維護性予以支援的表現的集合性術語。<sup>5</sup>”可信性包括了應該應用於 UPS 設計和其它支援資料中心的關鍵系統的重要因素。

在為特定應用環境選擇合適的 UPS 系統設計配置方案時，可以將表 3 作為一個切入點。對於沒有或很少冗餘元件的設計而言，必然存在停機時段以進行維護。如果不允許停機，那麼應當選擇能進行並行維護的設計。只要依次回答流程圖中提出的問題，便可順利找到最合適的系統。

表 3

設計配置的選取

配置	過往使用	使用原因
無冗餘 (N)	小型公司 具有多個本地辦公地點的公司 具有地理冗餘資料中心的公司	減少投資成本和能源成本 支援關鍵性較低的應用 簡單配置和安裝 允許停機維護
串聯冗餘	中小型公司 IT 容量通常小於 500 kW 的資料中心	與“1N”相比具有較好的容錯性 允許使用不同型號的 UPS 允許未來增加負載
並聯冗餘(N+1)	有資料中心的大中小型公司，其 IT 容量通常小於 500 kW	與“1N”相比具有較好的容錯性 允許未來增加負載
分散式備用冗餘	有資料中心的大型公司，其 IT 容量通常大於 1 MW	允許使用不同型號的 UPS 允許添加更多容量 與 2N 相比更加經濟
帶 STS 的分散式冗餘	有資料中心的大型企業，其 IT 容量通常遠大於 1 MW	並行維護的能力 與 2N 相比更加經濟
無 STS 的分散式冗餘 例如，三重冗餘	大型外包服務提供者	與 2N 相比更加經濟 透過帶有 STS 的設計可以節約成本
雙系統冗餘(2N, 2N+1)	大型 MW 級資料中心	在 A 側和 B 側之間完全冗餘 更容易保持 UPS 系統平衡負載

<sup>4</sup> <http://std.iec.ch/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=191-02-08> (訪問於 2010 年 3 月 22 日)

<sup>5</sup> <http://std.iec.ch/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=191-02-08> (訪問於 2010 年 3 月 22 日)



## 結論

供電基礎設施對於資料中心設備是否能正常運行至關重要。可供選擇的 UPS 配置有很多種，每一種都有優勢，也有不足之處。只有充分瞭解了公司的可用性要求、風險承受能力和預算範圍之後，才能選擇合適的設計方案。如本文中所分析，為雙電源負載直接供電的 2(N+1) 結構可提供全面的冗餘，並排除了單故障點，因此是可用性最高的一種配置。

### 關於作者


Kevin McCarthy 是 EDG2 的副總裁和 CTO，EDG2 是一家國際性的工程設計和專案管理公司，致力於關鍵任務設施（如資料中心和金融機構）的創新工程設計。他參與過超過 1500 座資料中心和機房的設計，規模從幾十平方米到幾萬平方米，總面積超過 50 萬平方米。Kevin 擁有俄亥俄州立大學（The Ohio State University）的電氣工程和計算器科學雙學士學位。他經常作為演講嘉賓出席全國範圍內的資料中心會議，他還是 7x24，AFCOM 和華盛頓建築協會的成員。

Victor Avelar 是施耐德電氣資料中心科研中心的高級研究員。Victor 致力於資料中心的設計和運營方面的研究。並且透過向客戶提供風險評估和設計實踐方面的諮詢，來優化資料中心環境的可用性和能效。Victor 於 1995 年從倫斯勒理工學院（Rensselaer Polytechnic Institute）獲得了機械工程學的學士學位，而後在波士頓大學（Babson College）獲得 MBA 工商管理碩士學位。Victor Avelar 是 AFCOM 和美國品質協會的成員。




點擊圖示打開相應  
參考資源連結

 避免資料中心和網路機房基礎設施  
因過度規劃造成的資金浪費  
第 37 號白皮書

 比較各種機架電源冗餘  
配置的可用性  
第 48 號白皮書

 平均故障間隔時間：說明和標準  
第 78 號白皮書

 流覽所有 白皮書  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)

 流覽所有 TradeOff Tools™ 權衡工具  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)

## 聯絡我們

關於本白皮書內容的回饋和建議請聯絡：

資料中心科研中心  
[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)

如果您是我們的客戶並對資料中心專案有任何疑問：

請與所在地區的 施耐德電機 銷售代表聯絡，或登陸：  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)

## 附錄 一 可用性分析

進行可用性分析的目的是為了對本文中所討論的 五種配置之間的可用性差異進行量化。詳細分析過程見下文。

### 可用性分析方法

美國可用性研究中心採用一種綜合的可用性分析方法來計算可用性等級。該方法結合使用可靠性方塊圖 (RBD) 與狀態空間模型，透過圖形方式來求解這 五種配置的電源可用性。其中，RBD 用於表示結構的子系統，而狀態空間圖（也稱作 Markov 圖）用於表示電力結構可能呈現的各種狀態。例如，市電斷開時，UPS 將轉換到電池模式。分析過程所使用的所有資料均來自為行業所廣泛接受的協力廠商，如 IEEE 和 RAC。這些統計的可用性等級均基於多個經過獨立驗證的假設條件。

Joanne Bechta Dugan, 博士, 維吉尼亞大學教授

“我發現分析的可信和方法論的合理。可靠性方塊圖(RBD) 和瑪律可夫過程隨機概率建模(MRM) 相結合是將 RBD 簡潔性和 MRM 的靈活性和準確性完美結合的一個絕佳選擇。”

### 分析中使用的資料

用於為元件建模的資料均來自協力廠商。在此分析中包含以下關鍵部件：

1. 端接點
2. 斷路器
3. UPS 系統
4. 三重冗餘
5. 靜態轉換開關 (STS)
6. 發電機
7. 自動轉換開關 ATS

配電櫃細分為三個基本的子組件：斷路器、隔離變壓器和末端端子。分配電盤根據一個主斷路器、一個支斷路器和終接點全部在系列中進行評估。

### 分析中使用的假設

能否令讀者正確理解這 五種配置的可用性數值至關重要。為了對複雜的系統進行可用性分析，必須做出一些假設，以簡化分析過程。因此，此處提供的可用性會高於實際安裝中預期的可用性。

**表 A1** 列出了分析過程中所使用的基本假設條件。

表 A1

分析過程中所用的假設條件

假設	說明
元件的故障率	分析中的所有元件均表現出穩定的故障率。如果設備只是在設計的有效壽命內使用，這是最佳的假設。如果產品使用時間超過了其有效壽命，故障率中將需要加入非線性特徵。
維修團隊	對於系列中的“n”個元件，假定有“n”個維修人員。
系統元件仍可以運行	假定在維修出現故障的元件時，系統內的所有元件仍可以運行。
佈線的故障率	架構中各元件之間的佈線沒有計算在內，因為佈線的故障率太低，無法進行確定的和符合統計準確性的預測。以前的工作也表明，如此低的故障率對整體可用性影響非常小。大部分終接點仍考慮在內。
故障的獨立性	這些模型假定所述架構的建立依據行業最佳方案。這樣，因為物理和電氣隔離產生常見原因故障的可能性非常低。此假設不完全適用於分散式冗餘結構，因為靜態轉換開關會影響 3 個 UPS 中的 2 個，進而使整個結構出現故障。對於兩個分散式冗餘結構，應當為此常見故障建模。
人為失誤	此分析中沒有考慮因為人為錯誤造成的停機。儘管這是資料中心停機的一個重要原因，但是，這些模型針對的是比較電源基礎設施的架構以及找出這些架構中的物理弱點。 此外，還缺乏與人為錯誤對可用性的影響有關的資料。
電源可用性是關鍵指標	此分析提供與電源可用性有關的資訊。因為電源重新啟動不會立即重新恢復業務可用性，業務流程的可用性通常會降低。IT 系統通常有一個重新開機時間，它會使不可用性加劇，此分析中沒有考慮這個因素。
故障的定義摘自 IEEE Std 493-1997 (Gold Book) IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and commercial Power Systems (IEEE 對 設計可靠的工業和商業電源系統的 建議)	造成以下任何事故的電源系統元件的任何問題： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 部分或整個系統停機，或系統運營達不到標準水準</li> <li>• 使用者設備的性能不可接受</li> <li>• 電氣保護繼電器運行或電氣系統處於緊急運行狀態下</li> <li>• 任何電路或設備斷電</li> </ul>

## 故障率和恢復率資料

表 A2 中列出了每個子元件的故障率  $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$  和恢復率  $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$  資料和來源，其中 MTBF 是平均故障時間，MTTR 是平均恢復時間。

表 A2

組件和值

組件	故障率	恢復率	資料來源	備註
市電	3.887E-003	30.487	EPRI — 收集了市電資料並計算了所有分散式電源事件的加權平均值此資料與地理位置有很大關係。	此資料與地理位置有很大關係。
柴油發電機	1.0274E-04	0.25641	IEEE Gold Book Std 493-1997 第 406 頁	故障率取決於執行時間。根據第 44 頁表 3-4，每次啟動的故障率為 0.01350。
自動轉換開關	9.7949E-06	0.17422	可靠性/可用性調查 — ASHRAE 第 4489 號文章	用於將電源從市電轉換到發電機，或反之。
端子，0-600V	1.4498E-08	0.26316	IEEE Gold Book Std 493-1997 第 41 頁	用於連接兩根導線。
6 個端子	8.6988E-08	0.26316	6 x IEEE 值 使用 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 41 頁提供的值計算	變壓器的輸入部分，每根導線一個端子。因為元件之間有兩組端子，所以，共有六個端子。
8 個端子	1.1598E-07	0.26316	8 x IEEE 值 使用 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 41 頁提供的值計算	變壓器的輸出部分，每根導線一個端子加上零線。因為元件之間有兩組端子，所以，共有八個端子。
斷路器	3.9954E-07	0.45455	IEEE Gold Book Std 493-1997 第 40 頁	用於隔離元件和電源，以便進行維護或遏制故障。 固定式（包括模制殼體），0-600A
PDU 變壓器，	7.0776E-07	0.00641	MTBF 來自 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 40 頁，MTTR 是 Marcus Transformer Data 與 Square D。	提供的平均值用於將 480VAC 輸入降低到 208VAC 輸出，以滿足 120VAC 負載的需要。
降壓	4.1600E-06	0.16667	北卡羅來納州萊利市的 Gordon Associates	故障率中包括控制項；ASHRAE 未給出此型號 STS 的恢復率，因此採用的是 600 - 1000A STS 的恢復率值
> 100KVA	3.64E-05	0.125	故障率摘自 Power Quality Magazine 2001 年 2 月號，恢復率資料基於維修人員 4 小時到位並且用 4 個小時維修系統	假設 UPS 無旁路。MTBF 是 27,400 小時無跳轉至旁路。根據 MGE“電源系統應用指南”

## 狀態空間模型

狀態空間模型用於表示這六種結構可能存在的各種狀態。除可靠性資料之外，狀態空間模型還用到了其他一些變數，其定義見表 A3。

變數	故障率	資料來源	備註
PbypassFailSwitch	0.001	行業平均值	UPS 出現故障時旁路無法成功切換到市電的概率。
Pbatfailed	0.001	北卡羅來納州萊利市的 Gordon Associates	切換到電池模式時 UPS 無法給負載供電的概率。包括控制項。
Tbat	7 分鐘		剩餘電池執行時間，所有配置均相同。
Pgenfail_start	0.0135	IEEE Gold Book Std 493-1997 第 44 頁	發電機無法啟動的概率。故障率取決於執行時間。根據第 44 頁表 3-4，每次啟動的故障率為 0.01350。此數據也適用於 ATS。
Tgen_start	0.05278	行業平均值	斷電後發電機的啟動延時。等同於 190 秒。

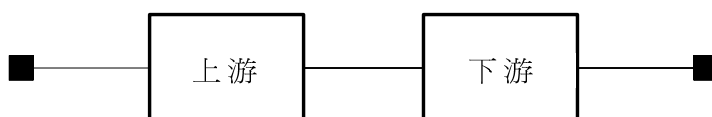
## 可用性模型說明

本部分的目的是於簡要介紹對“容量”配置的分析過程。圖 A1 至圖 A3 給出了圖 1 所示的“容量”配置的可用性模型。其他幾種 UPS 配置的模型可以依照同樣的方法創建。

圖 A1 描繪了“容量”配置的上游部分與下游部分之間的順序關係。“上游”方塊囊括了市電與整個 UPS 之間的所有元件。“下游”方塊則表示 UPS 之後直到變壓器輸出斷路器的所有元件（包括變壓器輸出斷路器）。

圖 A1

表示上游線路和下游線路的 RBD



在“上游”方塊中創建 Markov 圖來計算為下游元件供電的上游元件的可用性。圖 A2 上方的方塊依次代表旁路、UPS 系統、發電機、自動轉換開關（ATS）和市電的獨立組件。這些元件的故障率和恢復率計入 Markov 圖從而得出整個“上游”方塊總的可用性。

圖 A2

上游 Markov 圖

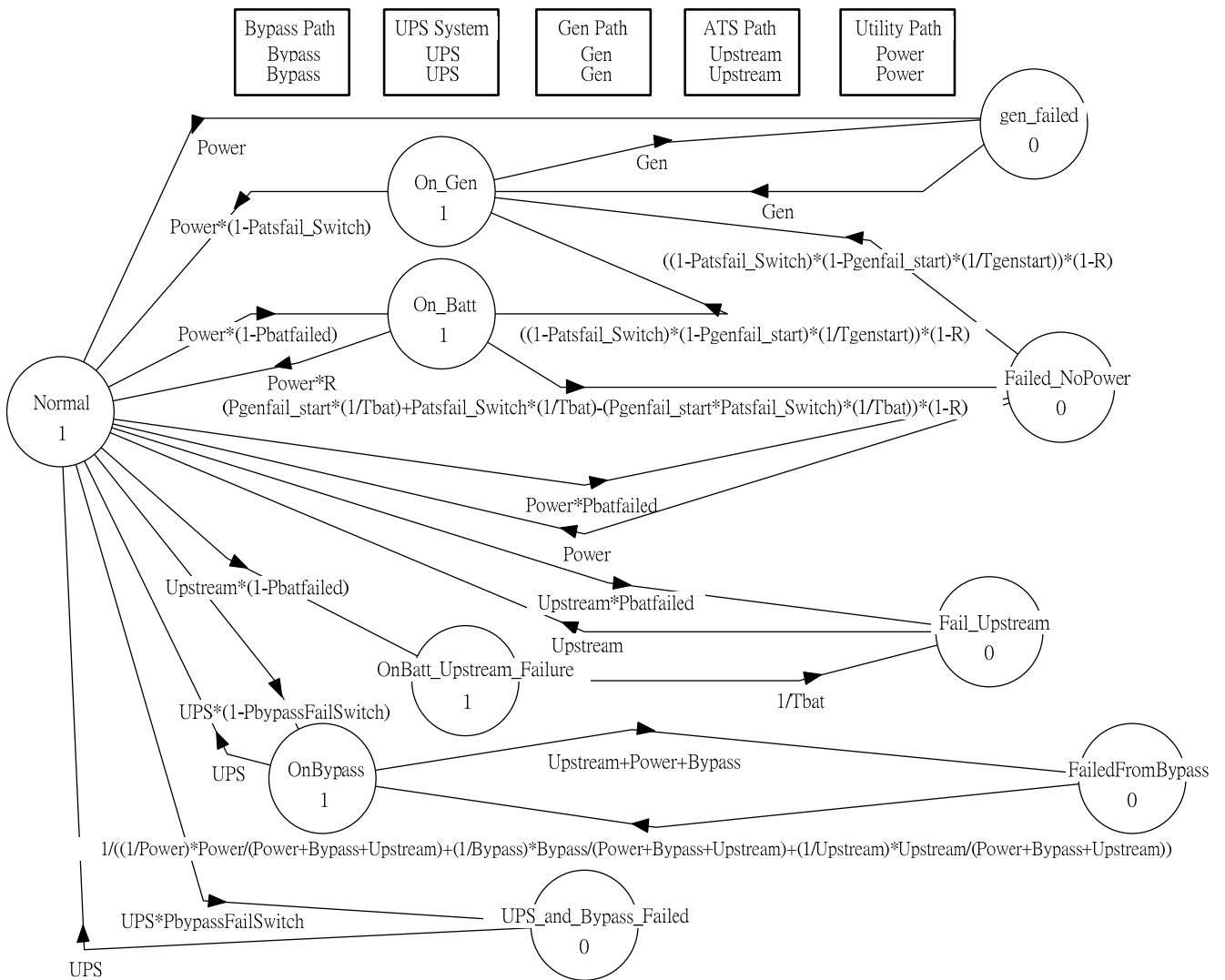
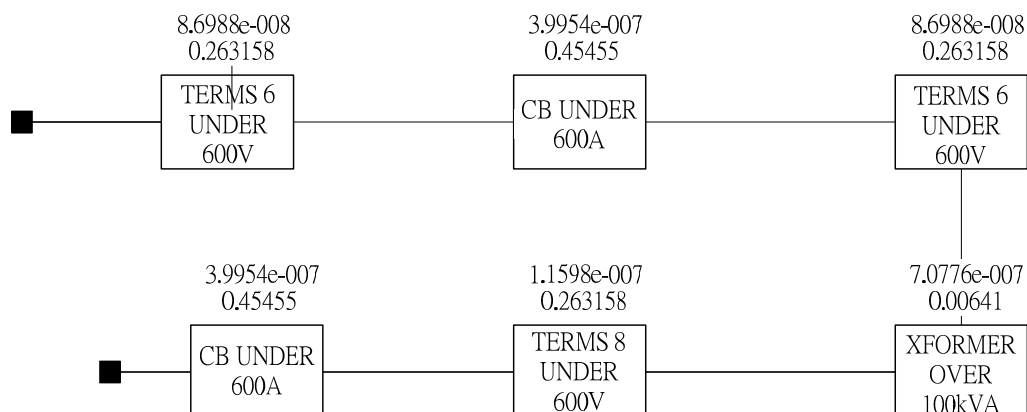


圖 A3 描繪了圖 A1 中所示的“下游”方塊中的各個元件。對於分散式冗余配置（正文圖 4 和圖 5），應當在圖中一系列組件的開始處添上 STS。

圖 A3  
下游圖



結果

表 A4 列出了所有五種 UPS 配置的分析結果。

表 A4  
分析結果

UPS 配置	圖號	可用性
單模組“容量”UPS 配置	1	99.92%
串聯冗餘 UPS 配置	2	99.93%
並聯冗餘 (N+1) UPS 配置	3	99.93%
分散式冗餘“備用”UPS 配置	4	99.9989%
分散式冗餘 UPS 配置	5	99.9994%
2(N+1) UPS 配置	6	99.99997%