

# 比較各種機架電源 冗餘配置的可用性

## 第 48 號白皮書

版本 1

作者 Victor Avelar

### >摘要

轉換開關和 IT 設備雙路配電用於提高計算系統的可用性。統計可用性分析技術表明，各種常用方法預期的可用性大不相同。本白皮書介紹為了在當今任務關鍵環境中實現冗餘而採用的各種電氣架構。然後對各種方案進行可用性分析，並提供分析結果。透過分析，可以確定哪種方法的整體性能最佳，以及其它方法的性價比如何。

### 目錄

簡介	2
為機架配電的方法	2
可用性分析方法	7
結果	8
結論	10
資源	11
附錄	12

## 簡介

配備冗餘電源的設備也稱為雙路設備，具有冗餘電源，每個電源使用自己的電源線。使用雙路設備是“最佳方案”，有助於保證 IT 設備達到最高的電源可用性，並提供必要的冗餘，避免因為配電系統中的單點故障而造成停機。這種增加的冗餘功能還便於進行電源系統的維護。但是，當今大多數任務關鍵環境都沒有完全享受到這種最佳方案帶來的好處。本白皮書提供了可以在當今的資料中心中實施的各種電氣架構方案。然後對各種方案進行可用性分析，並提供分析結果。

## 為機架配電的方法

下面的插圖概述了可以提高機架安裝設備可用性的各種方法，這些方法也適用於單機設備。通常根據所需可用性級別的目標選擇不同的方法，提供的可用性級別越高，成本可能也越高。圖 1 和 2 顯示在當今的資料中心機架中通常如何配電。

圖 1 (左)

典型的機架安裝電源

圖 2 (右)

典型的集中式電源

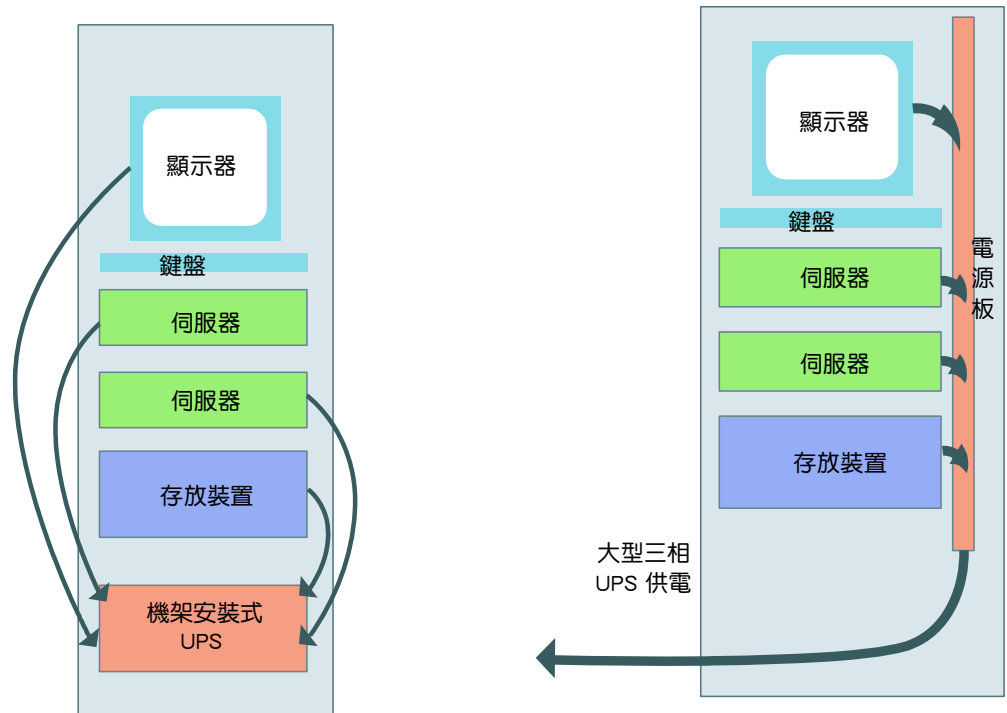


圖 1 顯示在中小型資料中心和配電室使用的典型機架配電配置。此配置考慮了內置備用 UPS 電池和突波保護的便於移動的機架。在使用了數十個或數百個機架的資料中心中，像圖 2 中採用大型集中式 UPS 的配置更為常見。兩種情況下的機架配電都沒有電源冗餘。

其它電氣架構使用設備從主電源切換到備用電源。此類設備包括靜態轉換開關 (STS) 和自動轉換開關 (ATS)。這兩種設備的容量從大約 1 kW 到 1 MW 以上。這些設備在第 62 號白皮書,《為雙路環境中的單路設備供電》中詳細介紹。這兩種開關如下所示。



機架安裝三相 6kVA ATS

圖 3

自動轉換開關 (ATS) 和  
靜態轉換開關 (STS) 示例



三相 300kVA STS

圖 4 和 5 說明有時在大型任務關鍵設施中如何配電。在這兩種情況下，有兩個冗餘線路通向 STS，不過，為 UPS 供電的設備電源也許是冗餘的，也許不是冗餘的，這取決於公用事業公司的成本和是否設有變電站等因素。兩種方案唯一的區別就是 圖 4 在靜態開關的輸出端使用單變壓器，而 圖 5 在靜態開關的輸入端使用冗餘變壓器。不過，在兩種情況下，STS、輸出端分配電盤以及關聯的佈線都是潛在的單故障點。這些方法提供一定的冗餘，但是其它沒有冗餘的組件存在出現故障的危險，可能會造成維護困難。

圖 4  
使用 STS 的負載的冗餘

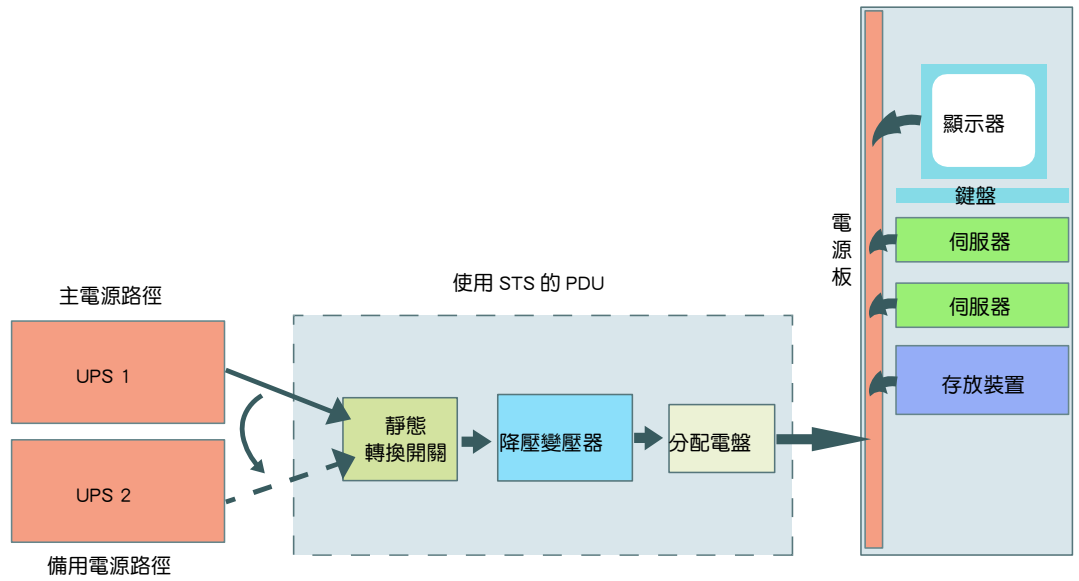


圖 5  
使用 STS 的負載的冗餘  
(冗餘變壓器)

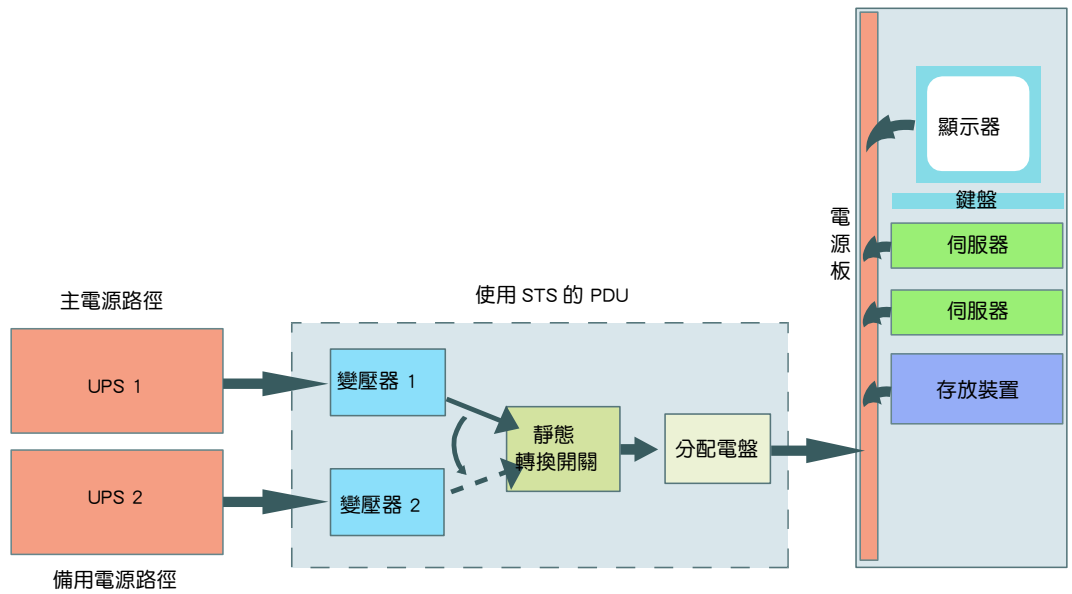


圖 4 和 5 是對圖 1 和 2 中所示的資料中心配置的改進，但是仍沒有為機架提供完全冗餘。儘管增加了冗餘的 UPS 和變壓器，靜態開關、分配電盤以及關聯的佈線都是單故障點。

圖 6 解決了圖 4 和 5 中存在的單故障點的限制性，方法是對負載實現冗餘。此解決方案去掉了 STS，增加了一個分配電盤，因此，利用機架式自動轉換開關 (ATS) 使冗餘帶來的好處更接近負載。機架式 ATS 輸入端的任何維護設備現在無須去除負載即可完成。儘管此方案比圖 4 和 5 中顯示的非冗餘元件要少，機架式 ATS 仍是單故障點，設備自己的電源也是單故障點。

圖 6  
使用機架式 ATS 的負載的  
冗餘

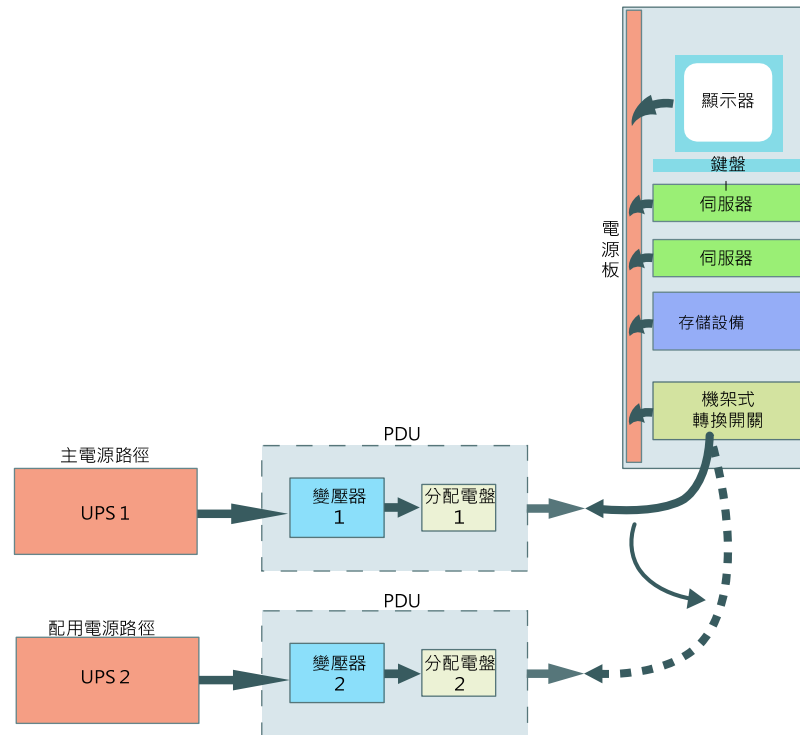


圖 7 顯示如何才能使用具有冗餘電源的雙路設備實現負載的完全冗餘。此方案與圖 6 相比有兩個重要的改變：去掉了機架式 ATS，使用了雙路設備。現在，負載上直接實現完全冗餘。還要注意，使用了機內的雙 PDU 來保證冗餘。與前面介紹的解決方案相比，此解決方案可用性高；不過，也是最昂貴的解決方案，只能與專門為此用途設計的雙路設備配合使用。

圖 7  
使用雙路設備的負載的冗餘

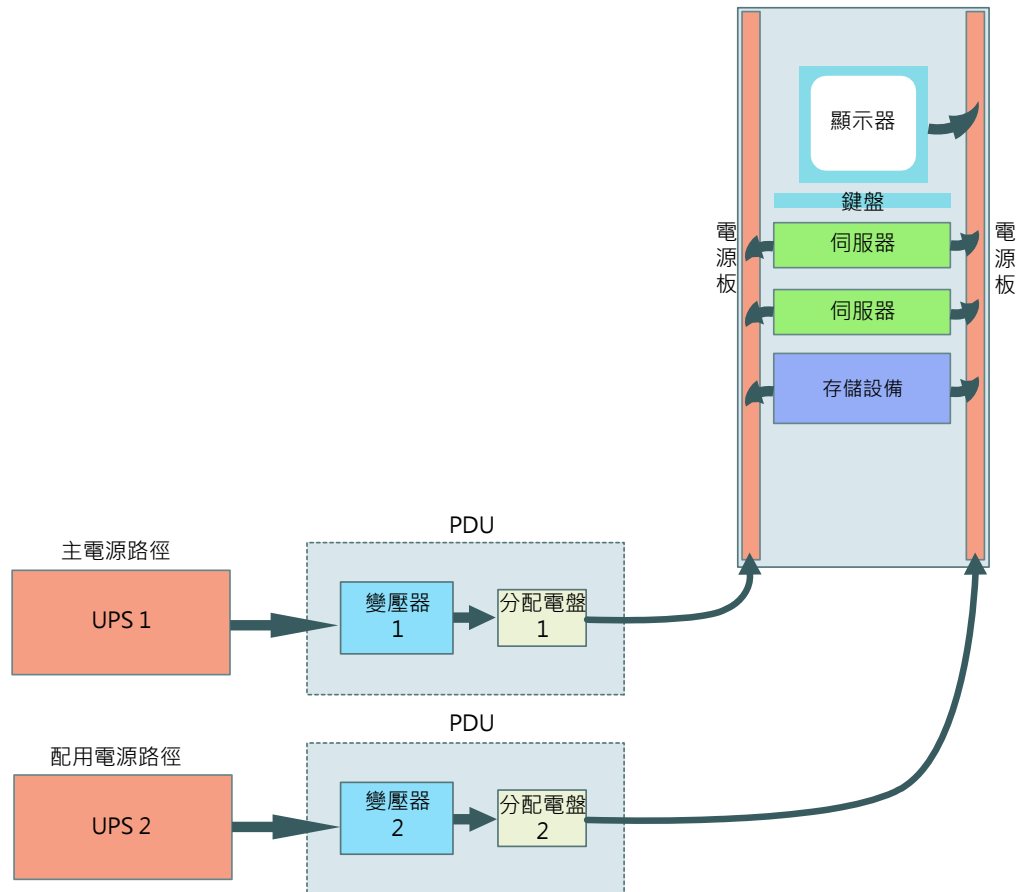


圖 8 中的架構將圖 6 和 7 的架構組合在一起，介紹一種既包括單路負載又包括雙路負載的備選解決方案。此解決方案解決了以前介紹的設計。保證雙路電腦設備的完全電源冗餘。對於單路設備，冗餘可以保持到機架式 ATS，不過，開關和設備電源現在還是單故障點。

圖 8 還顯示了增加的物理分離。這種分離通常稱為‘隔離’，其中配電和備用系統中的各種子系統在物理上是分離的。物理分離如果實施得當，可以避免發生一條線路上的機械、電氣故障影響第二條線路（常見原因的故障）之類的嚴重事件。

圖 8

單路和雙路負載的冗餘架構

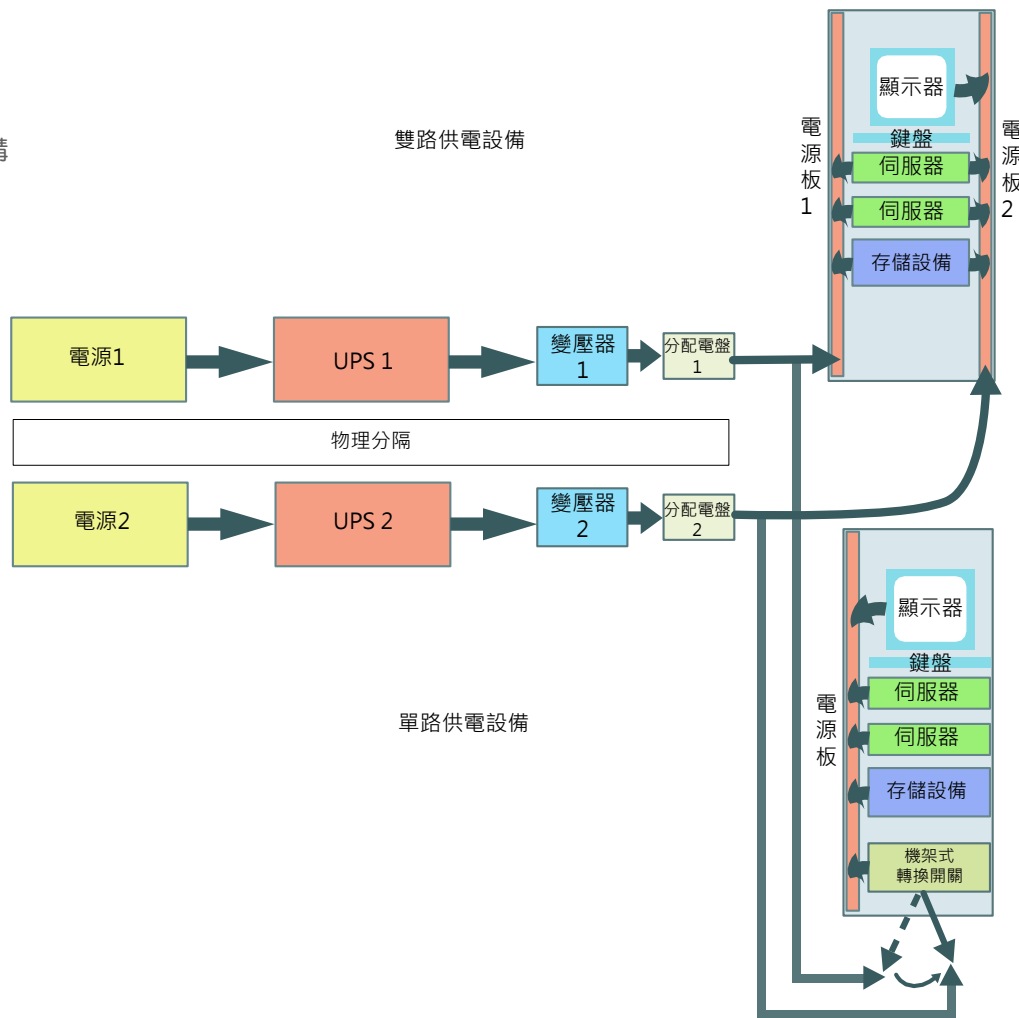


圖 4、5、6 和 8 中介紹的架構包括轉換開關。對於較大的轉換開關，一個故障可能會使設備相當大的一部分關閉，而較小的開關中的故障只會使一個機架關閉。對於某些使用者，任何一個機架的故障與 50 個機架的故障給生意上帶來的後果是相當的；而對於其他使用者，隔離單個機架的故障就是一個優勢。對於後一種類型的用戶，機架式 ATS 增強了故障隔離的可用性優勢。

另外一個要考慮的因素是修理這些開關所需的時間。小的轉換開關不是修理，而是更換，可以作為備件保留，以便可以很快的更換。此外，如果需要，可以快速地旁路。較大的開關則需要修理，根據所在位置的不同，維修人員需要幾個小時的時間才能到位。診斷

和修理系統還需要更長的時間，如果技術人員沒有所需的組件，甚至還需要更長的時間。因此，在評估某些較先進的設計時，應對各種問題進行評估，做出最佳的決策。修理時間在下一節介紹的統計可用性模型中會考慮。

通常，如果努力建立一個高可用性的任務關鍵環境，只有一路電源線的設備可能是一個重大缺點。這條原則不僅僅適用於機架安裝設備，也適用於任何任務關鍵設備。即使是最好的構造，任何單故障點最終會出現故障而造成停機。如果需要真正的高可用性環境，配電中的單故障點如果無法完全排除，必須盡可能少。

## 可用性分析方法

進行可用性分析是為了量化包含單路設備和雙路設備的影響。需要進行五種可用性分析：

- 第 1 種情況 — 圖 2 中的單路負載
- 第 2 種情況 — 圖 4 中使用靜態轉換開關的單路負載（單變壓器）
- 第 3 種情況 — 圖 5 中使用靜態轉換開關的單路負載（冗餘變壓器）
- 第 4 種情況 — 圖 6 中使用機架 ATS 的單路負載
- 第 5 種情況 — 圖 7 中的雙路負載

線性組合分析也稱為可靠性方塊圖 (RBD)，用於說明這五種配置的插座的電源可用性。這種系統建模方法最直接，適合狀態轉換非常少的系統。線性組合分析的工作原理是：使用已定義的可靠性資料，然後建立一個系統模型，代表所分析的配置。因為此分析僅針對配置之間的區別，所以，假定 UPS 系統的所有輸入部分非常好，包括市電。因此，此處提供的可用性會高於實際安裝中預期的可用性。

附錄中提供了分析的詳細資訊。

### 分析中使用的資料

用於為元件建模的大多數資料均來自協力廠商。機架 ATS 的資料基於施耐德電氣旗下 APC 的機架 ATS 產品的現場資料，這款產品已經上市大約 5 年，擁有廣大的安裝客戶群。在此分析中包含以下關鍵組件：

1. 端接點（末端端子）
2. 斷路器
3. UPS 系統
4. 配電櫃
5. 靜態轉換開關 (STS)
6. 機架 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、一個支斷路器和端接點全部在系列中進行評估。機架 ATS 元件僅在第四種情況下使用。

附錄中包括每個子元件的故障率  $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$  和恢復率  $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$  資料的值和來源，其中 MTTF 是平均故障時間，MTTR 是平均恢復時間。



附錄中介紹分析所使用的故障率和修復率。

#### 分析中使用的假設

與任何可用性分析一樣，要建立有效的模型，必須進行一些假設。表 1 列出了此分析中使用的基本假設。

表 1  
分析的假設

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。
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。
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。大部分端接點仍考慮在內。
人為錯誤	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。
故障隔離沒有任何好處	任何機架的故障都被認為是故障，與所有機架同時出現故障的效果相當。這種假設將無法充分體現第 4 種和第 5 種情況的好處。對於某些業務，單個機架出現故障比所有機架出現故障給業務帶來的後果要輕。在這種情況下，分析將無法充分表現第 5 種和第 6 種情況的好處。

## 結果

您一定要瞭解，此分析的目標是比較各種情況之間的理論可用性。因為所有五種情況的所有元件的故障率資料相同，所以，每種情況之間的一區別在於元件的數量、MTTR 和位置。此方法透過將一種架構與另一種架構進行比較，可以非常有效地證明可用性的效果。

可用性的評估是針對為關鍵負載供電的插座。在每種情況下，使用相同的元件可靠性資料。在第 1 種情況下，該鏈中的任何一個元件的故障都會造成負載停用。這是基本情況。

在第 2 種情況和第 3 種情況下，每個冗餘線路上的任何一個元件必須同時出現故障，負載才會停用。不過，STS 的任何單個元件輸出設備的故障（包括 STS）也將使負載停用。這種情況的明顯結果就是 STS 的安裝幾乎不會提高系統的可用性。原因是 STS 的可靠性並非明顯高於輸入 UPS，STS 仍是單故障點。還要注意，在第 2 種情況下，變壓器 MTTR 使 STS 的所有好處幾乎化為烏有。

在第 4 種情況下，每個冗餘線路上的任何一個元件必須同時出現故障，負載才會停用。儘管機架 ATS 的 MTTR 是單故障點，但是因為在有備件的情況下可以快速更換，所以影響不大。此處發現的關鍵點是儘管機架 ATS 並非一定比大型 STS 更可靠，但是低得多的 MTTR 使其具有非常大的可用性優勢。

在第 5 種情況下，每個冗餘線路上的任何一個元件必須同時出現故障，負載才會停用。表 2 概述五種可用性計算的結果。

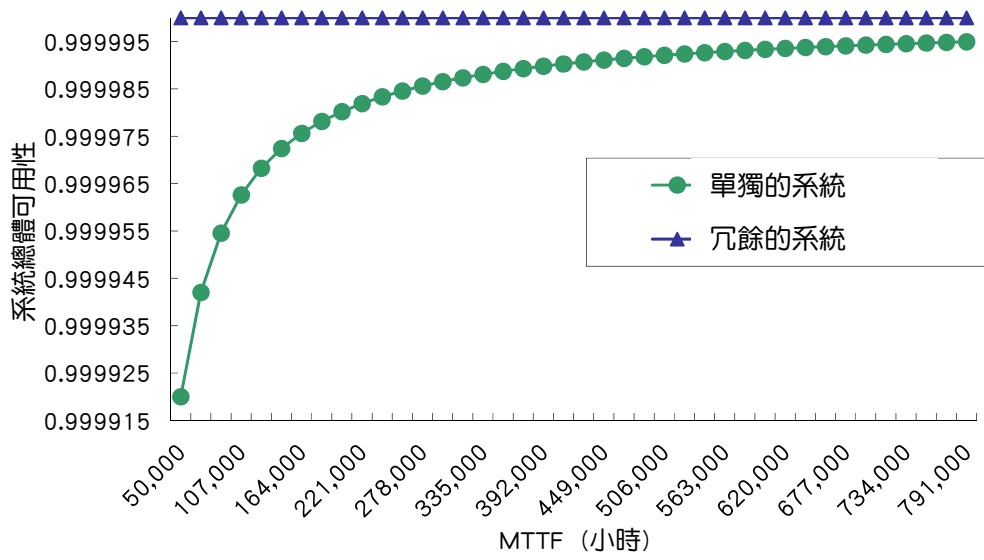
表 2  
可用性結果的總結

情況	配置	可用性	"9"的數目
第 1 種情況	單路負載	99.985 %	3.8
第 2 種情況	使用 STS 的單路負載（單變壓器）	99.98596 %	3.85
第 3 種情況	使用 STS 的單路負載（冗餘變壓器）	99.99715 %	4.5
第 4 種情況	使用機架式 ATS 的單路負載	99.999931 %	6.2
第 5 種情況	雙路負載	99.999977 %	7.6

此分析說明為在雙端電氣架構中實現高可用性雙路設備有多麼重要。使用單路設備無法完全利用這種複雜設計的優勢，但是透過實施機架 ATS 差不多可以利用這種優勢。

從上面提供的結果來看，對負載實現冗餘很明顯提高了可用性。圖 9 證明，即使產品的可靠性 (MTTF) 提高了 10 倍，提供的可用性仍然不如使用可靠性較低的冗餘套件。冗餘系統提供的可用性接近 100%，或多個"9"。

圖 9  
可用性與 MTTF



## 結論

在實施高可用性架構時，機架配電需要認真考慮。本白皮書中所述的典型配電類型在所產生的停機時間方面各不相同，可達 10000 倍。

此分析非常清楚地證明在關鍵資料中心中使用雙路設備的重要性。此處提供的分析表明，完全雙路架構與單路設計相比，停機時間最多可以少 10000 倍。

使用轉換開關提高單路負載可用性的通常做法根據實施方式的不同，結果會大不相同。在某些情況下，該分析表明使用大型 STS 幾乎沒有任何好處。相對而言，如果使轉換開關接近機架，配電系統造成的系統停機時間將降低，以 250 為係數。

此外，基於機架的轉換開關提供了額外的故障隔離，因為故障僅會去掉一個機架。另外，基於機架的轉換開關可以根據需要在雙路環境中部署。

此資料表明，使用大型 STS 系統為單路負載供電的通常做法應進行重新評估，成本幾乎類似的基於機架的轉換開關具有明顯的優勢。

通常，該分析表明，一般原則是，對負載實現冗餘可以提高可用性。

投資任何高可用性系統時，認真分析是一個必要的前提。客戶願意花多少錢來加強電氣基礎設施決定了要選擇哪種解決方案。客戶必須清楚地瞭解業務流程，以便可以計算停機成本。此成本最終將推動在可用性方面的投資。



### 關於作者

**Victor Avelar** 是施耐德電機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獲得了機械工程學的學士學位，而後在波士頓大學獲得 MBA 工商管理碩士學位。Victor Avelar 是 AFCOM 和美國品質協會的成員。



資源  
點擊圖示打開相應  
參考資源連結



為雙路環境中的單路  
設備供電  
第 62 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

表 A1

組件和值

組件	故障率	恢復率	資料來源	備註
UPS 675kW/750kVA	4.0000E-06	0.125	故障率來自 Power Quality Magazine，恢復率資料基於維修人員 4 小時到位並且用 4 個小時維修系統的假設	•用於為 PDU 供應不間斷的 480 VAC 電源。
靜態轉換開關 (STS)	4.1600E-06	0.1667	Gordon Associates - Raleigh, NC	•包括控制項
降壓變壓器	7.0776E-07	0.00641	MTBF 來自 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 40 頁，MTTR 是 Marcus Transformer Data 提供的平均值	•用於將 480 VAC 輸入降低到 208 VAC 輸出，滿足 120 VAC 負載的需要。
斷路器	3.9954E-07	0.45455	IEEE Gold Book Std 493-1997 第 40 頁	•用於斷開元件的電源，以便進行維護或遏制故障。
6 個端接點	8.6988E-008	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，每個導線一個端接點。因為元件之間有兩組端接點，所以，共有六個端接點。
8 個端接點	1.1598E-007	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，每個導線一個端接點加上中性線。因為元件之間有兩組端接點，所以，共有八個端接點。
機架 ATS	2.0E-06	3	施耐德電氣冗餘開關現場資料	•施耐德電氣機架式 ATS MTTF 計算的直達到 1,000,000 個小時。 •使用 500,000 小時的保守值。

## 單路負載的可用性 [第 1 種情況]

圖 2 中的單路負載可用性依據以下 RBD 計算。圖 10 顯示 RBD 的最高層，根據系列元件計算穩定狀態的可用性。此 RBD 包括“變壓器組件”和“分配電盤組件”的“可擴充”方塊。可擴充方塊是指有更加細化的 RBD 來定義其子組件。透過這種方式設計 RBD 有助於計算可用性。分配電盤用於直接為關鍵設備配電。這些方塊的內容如圖 10 和 11 中所示。

圖 10

單路負載

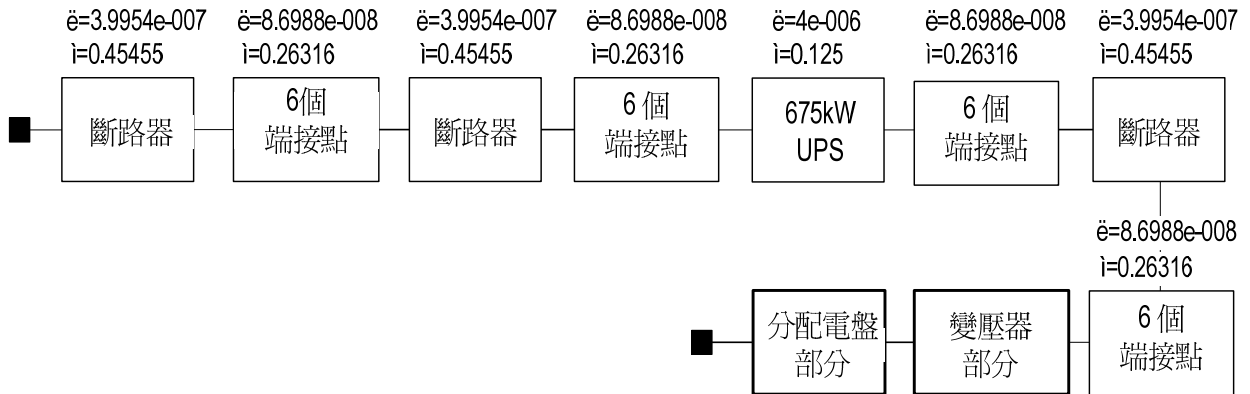


圖 11

變壓器部件

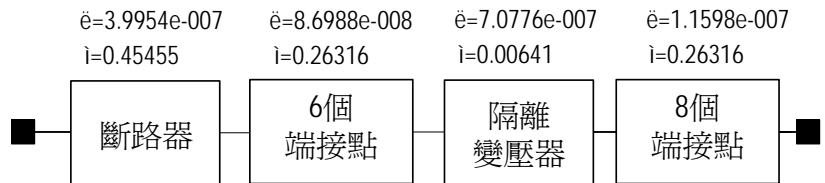
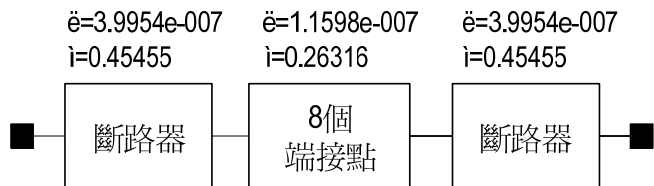


圖 12

分配電盤部件



根據上面提供的 RBD，單路系統的可用性如下所示。

表 A2

單路負載的可用性 [第 1 種情況]

模型名稱	可用性	不可用性	MTTR (小時)	MTTF (小時)	年停機時間 (小時)
單路負載	99.98498 %	1.5021E-04	19.3	128,665	1.3158
UPS 系統	99.99640 %	3.5958E-05	6.5	180291	0.31499
變壓器組件	99.98879 %	1.1205E-04	85.5	763,201	0.98158
分配電盤組件	99.99978 %	2.1987E-06	2.4	1,092,825	0.01926

因為分析所使用的是五個有效數字的資料，不可用性是另一種表示結果的方式。只需使用 (1 - 可用性) 即可計算出不可用性。

### 使用靜態轉換開關的單路負載 (單變壓器) 的可用性 [第 2 種情況]

圖 4 中的配電方法使用 STS，為其所有輸入裝置增加冗餘 (處於輸出的變壓器除外)。此方案的可用性根據 7 個 RBD 進行計算，是為了講解清楚而將其斷開的。圖 13 顯示 RBD 的最高層。“UPS 系統”方塊是 2 個方塊中的 1 個，表示該方塊中的所有組件都是冗餘的。圖 14 顯示“UPS 系統”方塊的內容。

圖 13  
使用 STS 的單路負載

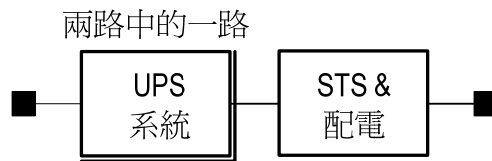
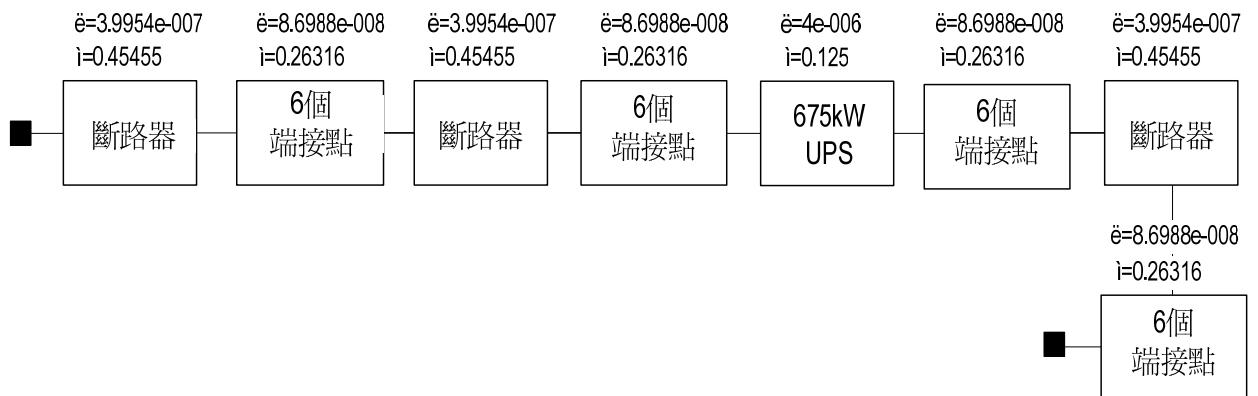


圖 14  
UPS 系統



STS 的所有輸入裝置都是冗餘的，不過“STS 和配電”方塊中的每個元件 (如圖 13 中所示) 都是單故障點。“STS 和配電”方塊包含 STS 系統、變壓器組件和分配電盤組件，如圖 15 中所示。STS 系統允許使用輸入冗餘元件。此系統包括斷路器、端接點，最重要的是還包括靜態轉換開關。STS 系統的 RBD 如圖 16 中所示。

圖 15  
STS 和配電

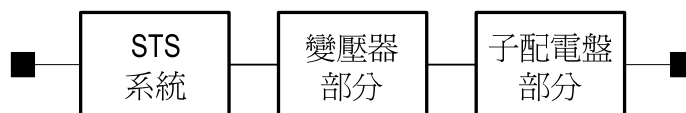




圖 16  
STS 系統

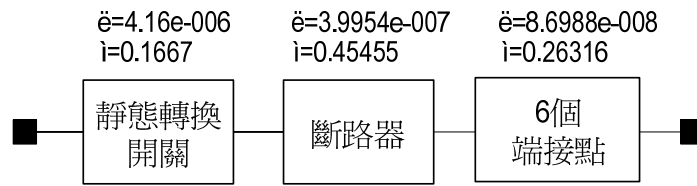


圖 15 中的“變壓器組件”方塊和“分配電盤組件”方塊的內容在圖 17 和 18 中進一步細分

圖 17  
變壓器組件

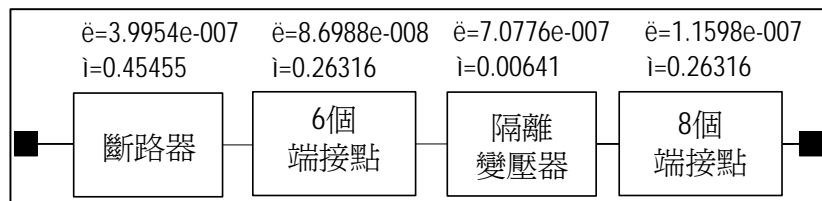
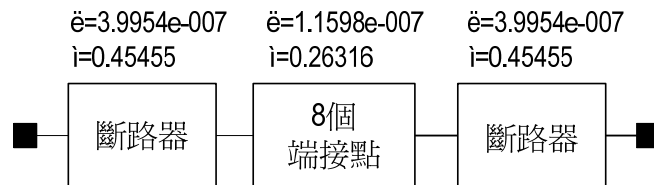


圖 18  
分配電盤組件



根據上面提供的 RBD 圖表，使用 STS 和單變壓器的單路系統的可用性如下所示。

表 A3  
使用 STS 的單路負載（單變壓器）的可用性 [第 2 種情況]

模型名稱	可用性	不可用性	MTTR (小時)	MTTF (小時)	年停機時間 (小時)
使用 STS 的單路負載 (1 個變壓器)	99.98596%	1.4041E-04	20.4	145,513	1.23002
UPS 系統	99.9999987%	1.2930E-09	6.5	5,025,125,628	0.00001
單 UPS	99.99640%	3.5958E-05	6.5	180,291	0.31499
STS 和配電	99.98596%	1.4041E-04	20.4	145,518	1.23001
STS 系統	99.99738%	2.6164E-05	5.6	215,214	0.22920
變壓器組件	99.98879%	1.1205E-04	85.53	763,201	0.98158
分配電盤組件	99.99978%	2.1987E-06	2.4	1,092,825	0.01926

### 使用靜態轉換開關的單路負載（冗餘變壓器）的可用性 [第 3 種情況]

圖 5 中的配電方法使用 STS，為其所有輸入裝置增加冗餘（包括變壓器）。此方案的可用性根據與上一個分析類似的 7 個 RBD 進行計算。圖 19 顯示 RBD 的最高層。“UPS 系統和變壓器”塊是 2 個方塊中的 1 個，表示該方塊中的所有組件都是冗餘的。圖 20 顯示“UPS 系統和變壓器”方塊的內容。組成“變壓器組件”方塊的組件與圖 17 相同。到目前為止，每個元件都是冗餘的，不過，“STS 和配電”方塊中的所有組件（如圖 19 中所示）都是單故障點。

圖 19  
使用 STS 的單路負載

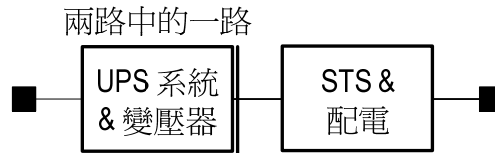
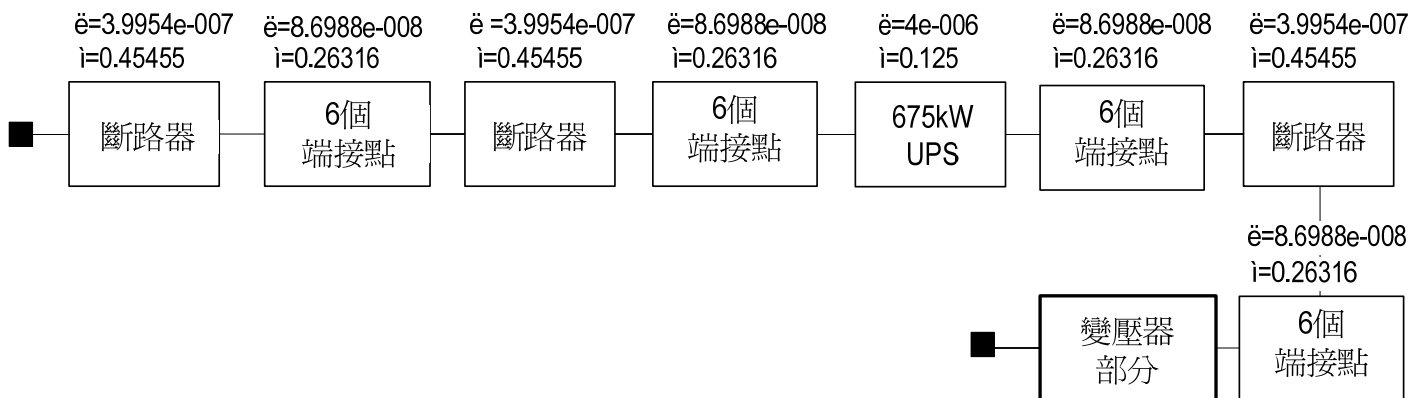


圖 20  
UPS 系統和變壓器



在這種情況下，“STS 和配電”方塊的內容（圖 21）僅包含 STS 系統和分配電盤組件，因為變壓器作為冗餘元件接近輸入部分。此方案中的“STS 系統”與圖 17 完全相同，只是有 8 個端接點，而不是圖 22 中所示的 6 個。“分配電盤組件”方塊的元件與圖 18 完全相同。

圖 21  
STS 和配電

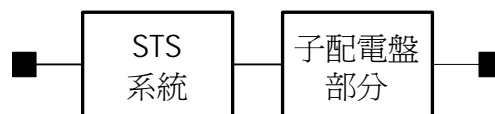


圖 22  
STS 系統



根據上面提供的 RBD 圖表，使用 STS 和冗餘變壓器的單路系統的可用性如下所示。

表 A4

使用 STS 的單路負載（單變壓器）的可用性 [第 3 種情況]

模型名稱	可用性	不可用性	MTTR (小時)	MTTF (小時)	年停機時間 (小時)
使用 STS 的單路負載 (2 個變壓器)	99.99715%	2.8495E-05	5.1	178,839	0.24961
UPS 系統和變壓器	99.9999978%	2.1906E-08	21.6	985,221,675	0.00019
UPS 系統	99.99640%	3.5958E-05	6.5	180,291	0.31499
變壓器組件	99.98879%	1.1205E-04	85.5	763,201	0.98158
STS 和配電	99.99715%	2.8473E-05	5.1	178,872	0.24942
STS 系統	99.99737%	2.6274E-05	5.6	213,880	0.23016
分配電盤組件	99.99978%	2.19867E-06	2.4	1,092,825	0.01926

## 使用機架 ATS 的單路負載的可用性 [第 4 種情況]

圖 6 中對使用機架式 ATS 的單路負載的分析根據圖 23 中的 RBD 計算，該 RBD 代表 RBD 的最高層。現在，此模型為機架提供冗餘，不過，機架 ATS 成為單故障點。圖 24 顯示“UPS 系統和變壓器”方塊的元件。“變壓器組件”和“分配電盤組件”方塊的內容分別與圖 17 和 18 完全相同。

圖 23 使用機架式 ATS 的單路負載

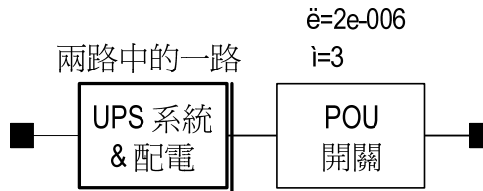
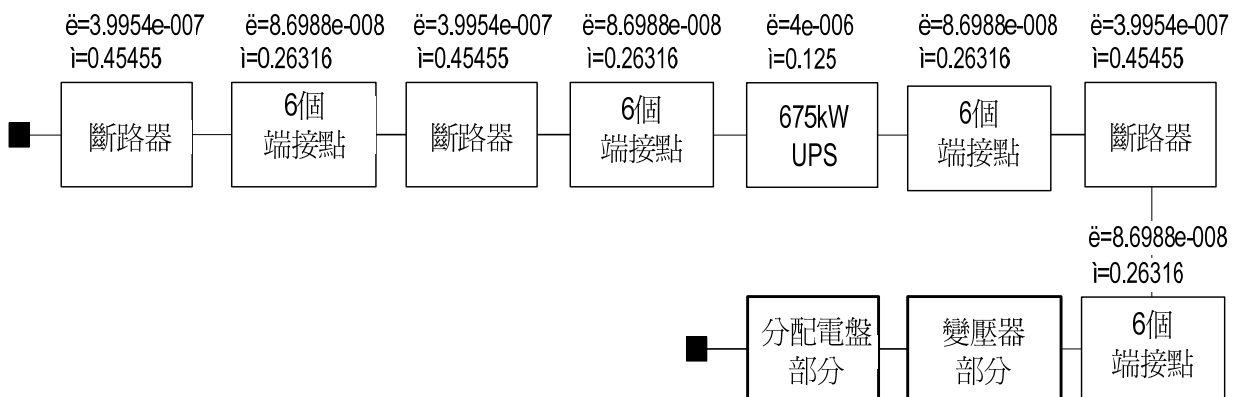


圖 24 UPS 系統和配電



根據這些 RBD，使用機架式 ATS 的單路系統的可用性如下所示。

表 A5

使用機架式 ATS 的單路負載的可用性 [第 4 種情況]

模型名稱	可用性	不可用性	MTTR (小時)	MTTF (小時)	年停機時間 (小時)
使用機架 ATS 的單路負載	99.999931 %	3.558950E-07	0.4	499,705	0.00604
UPS 系統和配電	99.999998 %	2.2562E-08	19.3	856,898,029	0.00018
變壓器組件	99.98879 %	1.1205E-04	85.5	763,201	0.98158
分配電盤組件	99.99978 %	2.1987E-06	2.4	1,092,825	0.01926
機架 ATS	99.999933%	3.3333E-07	0.3	500,000	0.00584

在此情況下，只需再添加一個 PDU，可用性即可大大提高。不過，機架 ATS 是此系統中的單故障點，整體可用性限於六個“9”。因此，機架式 ATS 一定要根據可靠性進行選擇，並且一定要保留備件，使 MTTR 最少。

## 雙路負載的可用性 [第 5 種情況]

圖 7 中對雙路負載的分析根據圖 25 中的 RBD 進行計算，該 RBD 也代表最高層。與使用機架式 ATS 的系統類似，此 RBD 根據整體 UPS 和 PDU 的故障率和恢復率計算穩定狀態的可用性，不過，不包括機架 ATS，因為負載是雙路負載，可以充分利用冗餘線路。要保證關鍵負載，只要 2 個線路中的 1 個正常工作即可。此系統中沒有單故障點。事實上，甚至關鍵負載電源都是冗餘的。

圖 25  
雙路負載



組成“UPS 系統和配電”方塊的更加細化的 RBD 與圖 10 — 12 中完全相同。根據這些方塊，雙路系統的可用性如下所示。

表 A6

雙路負載的可用性 [第 5 種情況]

模型名稱	可用性	不可用性	MTTR (小時)	MTTF (小時)	年停機時間 (小時)
雙路負載	99.9999977 %	2.2562E-08	19.3	856,898,029	0.0001976
UPS 系統和配電	99.9999977 %	2.2562E-08	19.3	856,898,029	0.0001976
變壓器組件	99.98879 %	1.1205E-04	85.5	763,201	0.98158
分配電盤組件	99.99978 %	2.1987E-06	2.4	1,092,825	0.01926

在最後這種情況下，“UPS 系統和配電”的可用性與前一種情況完全相同，然而整體可用性已經提高到七個“9”。主要區別是在使用雙路設備時，不再需要機架 ATS。如最後一個系統中所示，機架 ATS 是單故障點，可用性限於六個“9”。