

# 比较各种机架电源 冗余配置的可用性

## 第 48 号白皮书

版本 1

作者 Victor Avelar

### > 摘要

转换开关和 IT 设备双路配电用于提高计算系统的可用性。统计可用性分析技术表明，各种常用方法预期的可用性大不相同。本白皮书介绍为了在当今任务关键环境中实现冗余而采用的各种电气架构。然后对各种方案进行可用性分析，并提供分析结果。通过分析，可以确定哪种方法的整体性能最佳，以及其它方法的性价比如何。

### 目录

*点击内容即可跳转至具体章节*

|          |    |
|----------|----|
| 简介       | 2  |
| 为机架配电的方法 | 2  |
| 可用性分析方法  | 7  |
| 结果       | 8  |
| 结论       | 10 |
| 资源       | 11 |
| 附录       | 12 |

## 简介

配备冗余电源的设备也称为双路设备，具有冗余电源，每个电源使用自己的电源线。使用双路设备是“最佳方案”，有助于保证 IT 设备达到最高的电源可用性，并提供必要的冗余，避免因配电系统中的单点故障而造成停机。这种增加的冗余功能还便于进行电源系统的维护。但是，当今大多数任务关键环境都没有完全享受到这种最佳方案带来的好处。本白皮书提供了可以在当今的数据中心中实施的各种电气架构方案。然后对各种方案进行可用性分析，并提供分析结果。

## 为机架配电的方法

下面的插图概述了可以提高机架安装设备可用性的各种方法，这些方法也适用于单机设备。通常根据所需可用性级别的目标选择不同的方法，提供的可用性级别越高，成本可能也越高。图 1 和 2 显示在当今的数据中心机架中通常如何配电。

图 1 (左)

典型的机架安装电源

图 2 (右)

典型的集中式电源

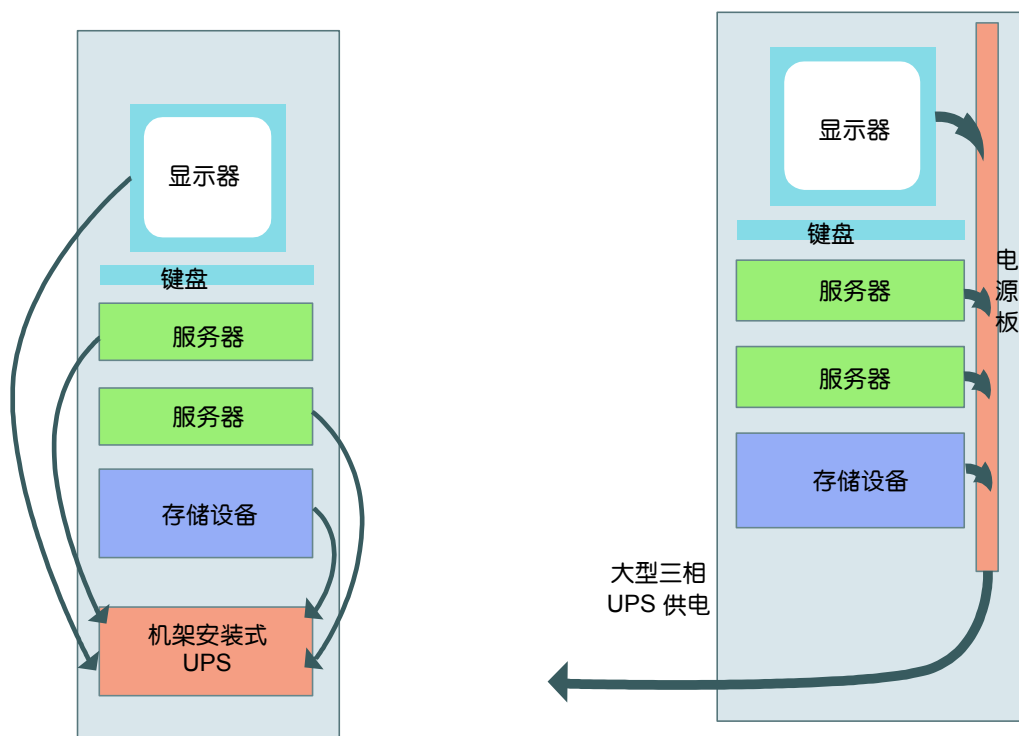


图 1 显示在中小型数据中心和配电室使用的典型机架配电配置。此配置考虑了内置备用 UPS 电池和电涌保护的便于移动的机架。在使用了数十个或数百个机架的数据中心中，象图 2 中采用大型集中式 UPS 的配置更为常见。两种情况下的机架配电都没有电源冗余。

资源链接  
第 62 号白皮书  
为双路环境中的单路设备供电

其它电气架构使用设备从主电源切换到备用电源。此类设备包括静态转换开关 (STS) 和自动转换开关 (ATS)。这两种设备的容量从大约 1 kW 到 1 MW 以上。这些设备在第 62 号白皮书,《为双路环境中的单路设备供电》中详细介绍。这两种开关如下所示。



机架安装三相 6kVA ATS

图 3

自动转换开关 (ATS) 和  
静态转换开关 (STS) 示例



三相 300kVA STS

图 4 和 5 说明有时在大型任务关键设施中如何配电。在这两种情况下，有两个冗余线路通向 STS，不过，为 UPS 供电的设备电源也许是冗余的，也许不是冗余的，这取决于公用事业公司的成本和是否设有变电站等因素。两种方案唯一的区别就是图 4 在静态开关的输出端使用单变压器，而图 5 在静态开关的输入端使用冗余变压器。不过，在两种情况下，STS、输出端分配电盘以及关联的布线都是潜在的单故障点。这些方法提供一定的冗余，但是其它没有冗余的部件存在出现故障的危险，可能会造成维护困难。

图 4

使用 STS 的负载的冗余

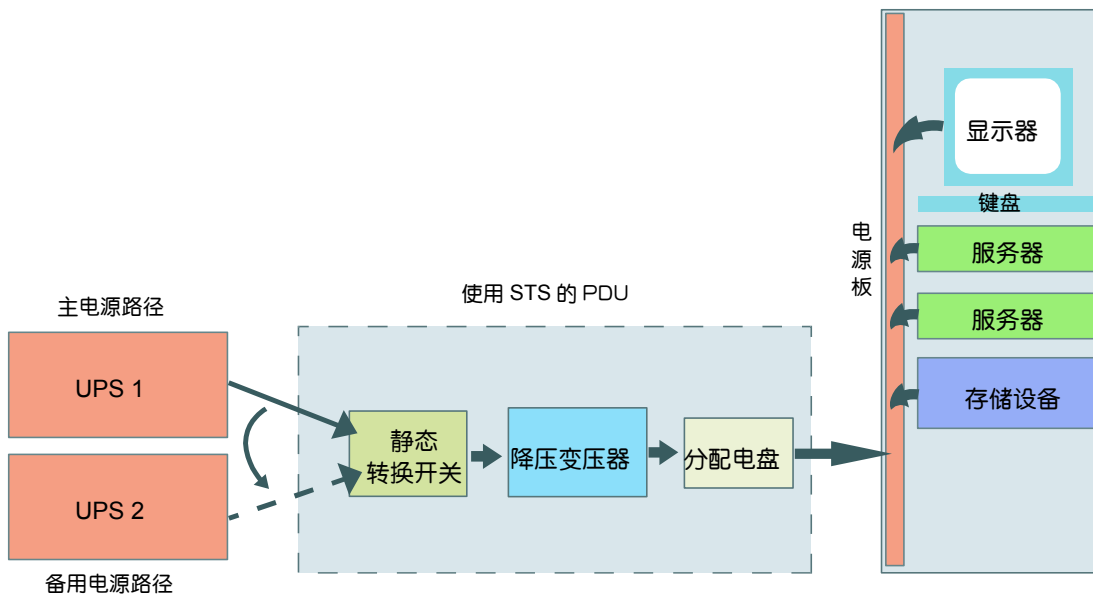


图 5

使用 STS 的负载的冗余  
(冗余变压器)

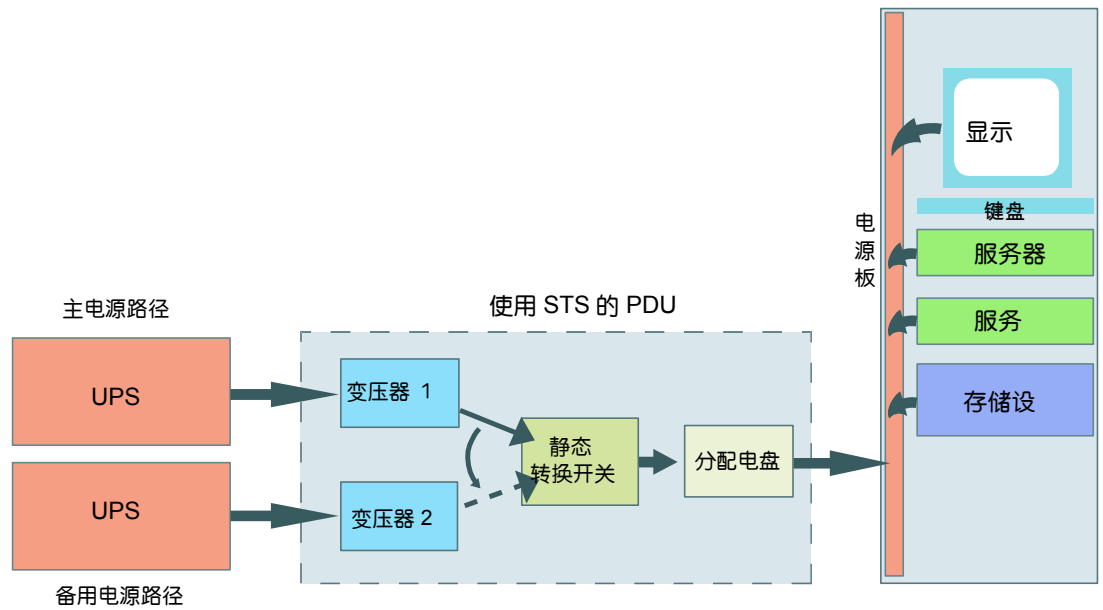


图 4 和 5 是对图 1 和 2 中所示的数据中心配置的改进，但是仍没有为机架提供完全冗余。尽管增加了冗余的 UPS 和变压器，静态开关、分配电盘以及关联的布线都是单故障点。

图 6 解决了图 4 和 5 中存在的单故障点的局限性，方法是对负载实现冗余。此解决方案去掉了 STS，增加了一个分配电盘，因此，利用机架式自动转换开关 (ATS) 使冗余带来的好处更接近负载。机架式 ATS 输入端的任何维护设备现在无须去除负载即可完成。尽管此方案比图 4 和 5 中显示的非冗余组件要少，机架式 ATS 仍是单故障点，设备自己的电源也是单故障点。

图 6

使用机架式 ATS 的负载的冗余

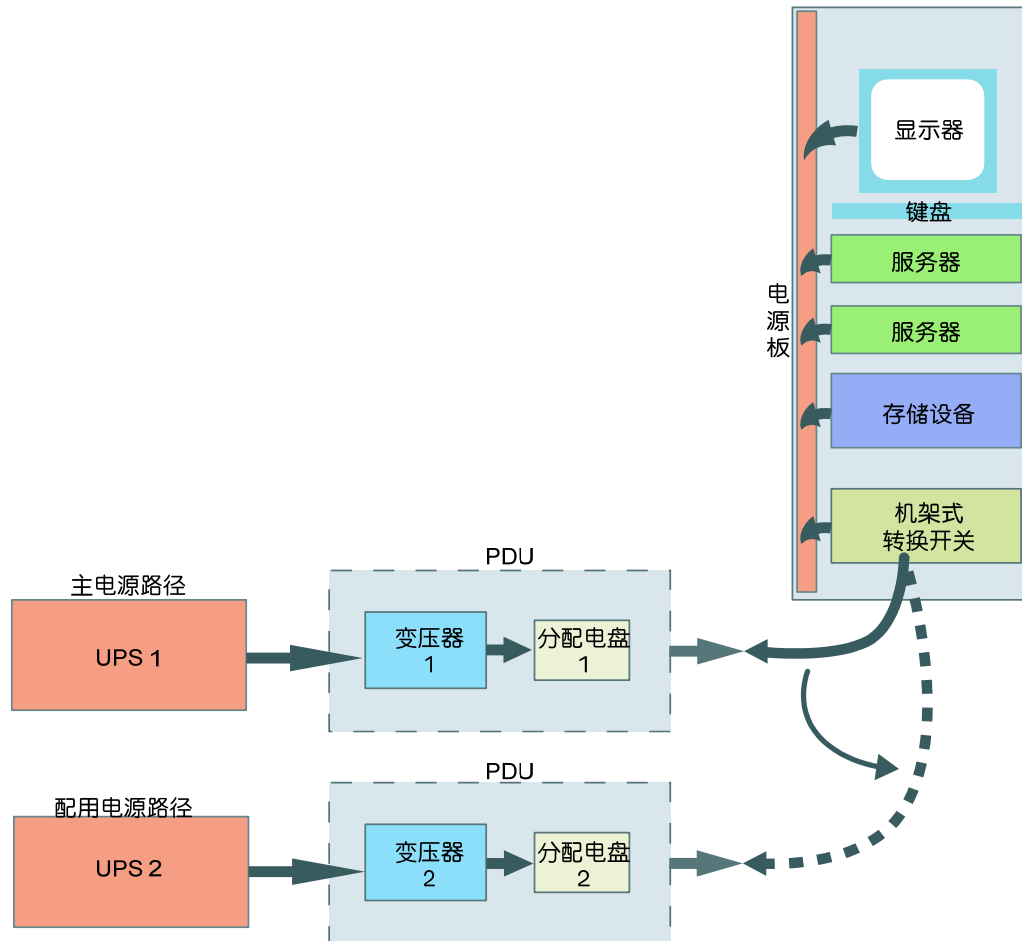


图 7 显示如何才能使用具有冗余电源的双路设备实现负载的完全冗余。此方案与图 6 相比有两个重要的改变：去掉了机架式 ATS，使用了双路设备。现在，负载上直接实现完全冗余。还要注意，使用了机内的双 PDU 来保证冗余。与前面介绍的解决方案相比，此解决方案可用性高；不过，也是最昂贵的解决方案，只能与专门为此用途设计的双路设备配合使用。

图 7  
使用双路设备的负载的冗余

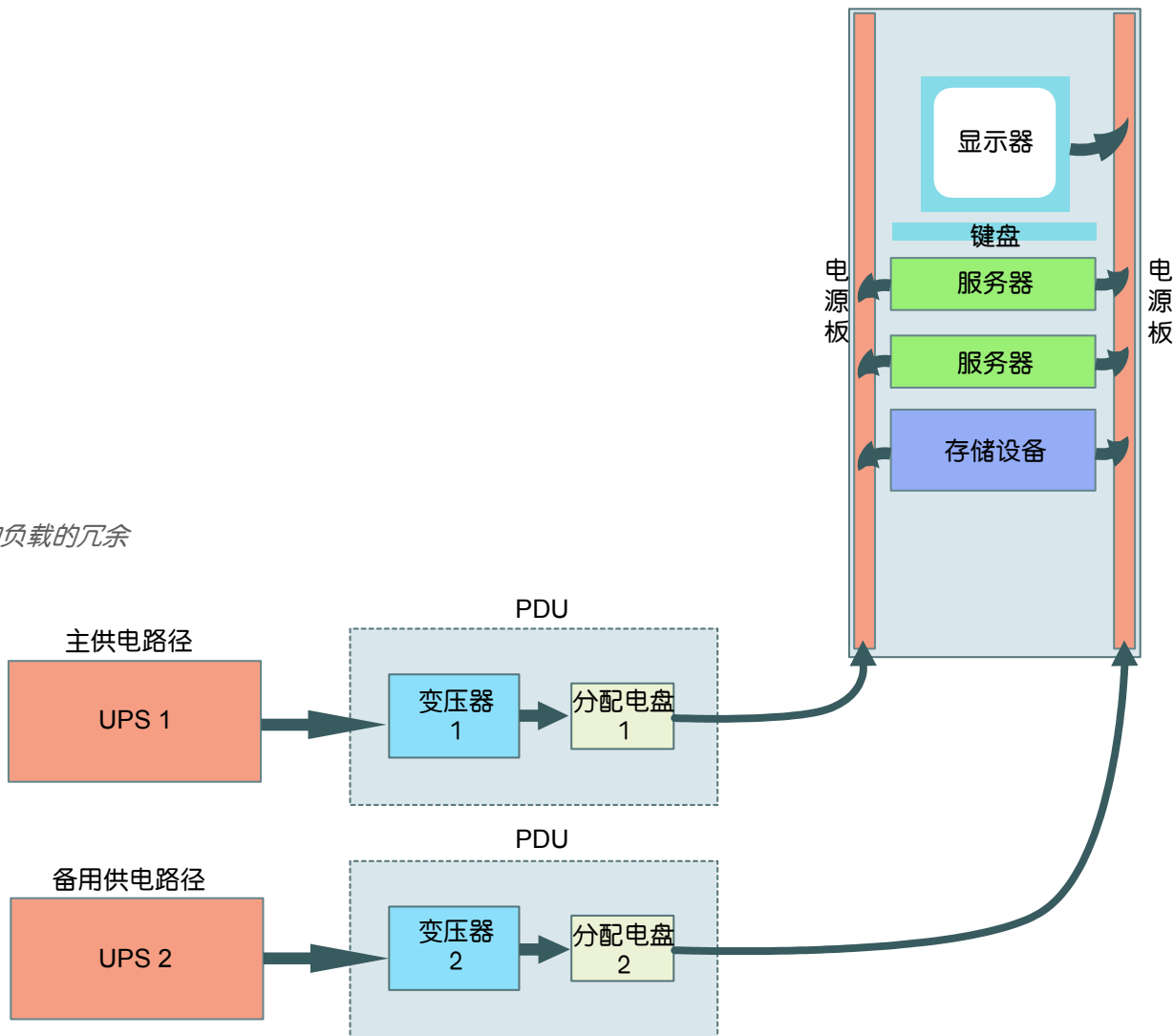


图 8 中的架构将图 6 和 7 的架构组合在一起，介绍一种既包括单路负载又包括双路负载的备选解决方案。此解决方案解决了以前介绍的设计。保证双路计算机设备的完全电源冗余。对于单路设备，冗余可以保持到机架式 ATS，不过，开关和设备电源现在还是单故障点。

图 8 还显示了增加的物理分离。这种分离通常称为“隔离”，其中配电和备用系统中的各种子系统在物理上是分离的。物理分离如果实施得当，可以避免发生一条线路上的机械、电气故障影响第二条线路（常见原因的故障）之类的严重事件。

图 4、5、6 和 8 中介绍的架构包括转换开关。对于较大的转换开关，一个故障可能会使设备相当大的一部分关闭，而较小的开关中的故障只会使一个机架关闭。对于某些用户，任何一个机架的故障与 50 个机架的故障给生意上带来的后果是相当的；而对于其他用户，隔离单个机架的故障就是一个优势。对于后一种类型的用户，机架式 ATS 增强了故障隔离的可用性优势。

另外一个要考虑的因素是修理这些开关所需的时间。小的转换开关不是修理，而是更换，可以作为备件保留，以便可以很快的更换。此外，如果需要，可以快速地旁路。较大的开关则需要修理，根据所在位置的不同，维修人员需要几个小时的时间才能到位。诊断和修理系统还需要更长的时间，如果技术人员没有所需的部件，甚至还需要更长的时间。因此，在评估某些较先进的设计时，应对各种问题进行评估，做出最佳的决策。修理时间在下一节介绍的统计可用性模型中会考虑。

通常，如果努力建立一个高可用性的任务关键环境，只有一路电源线的设备可能是一个重大缺点。这条原则不仅仅适用于机架安装设备，也适用于任何任务关键设备。即使是最好的构造，任何单故障点最终会出现故障而造成停机。如果需要真正的高可用性环境，配电中的单故障点如果无法完全排除，必须尽可能少。

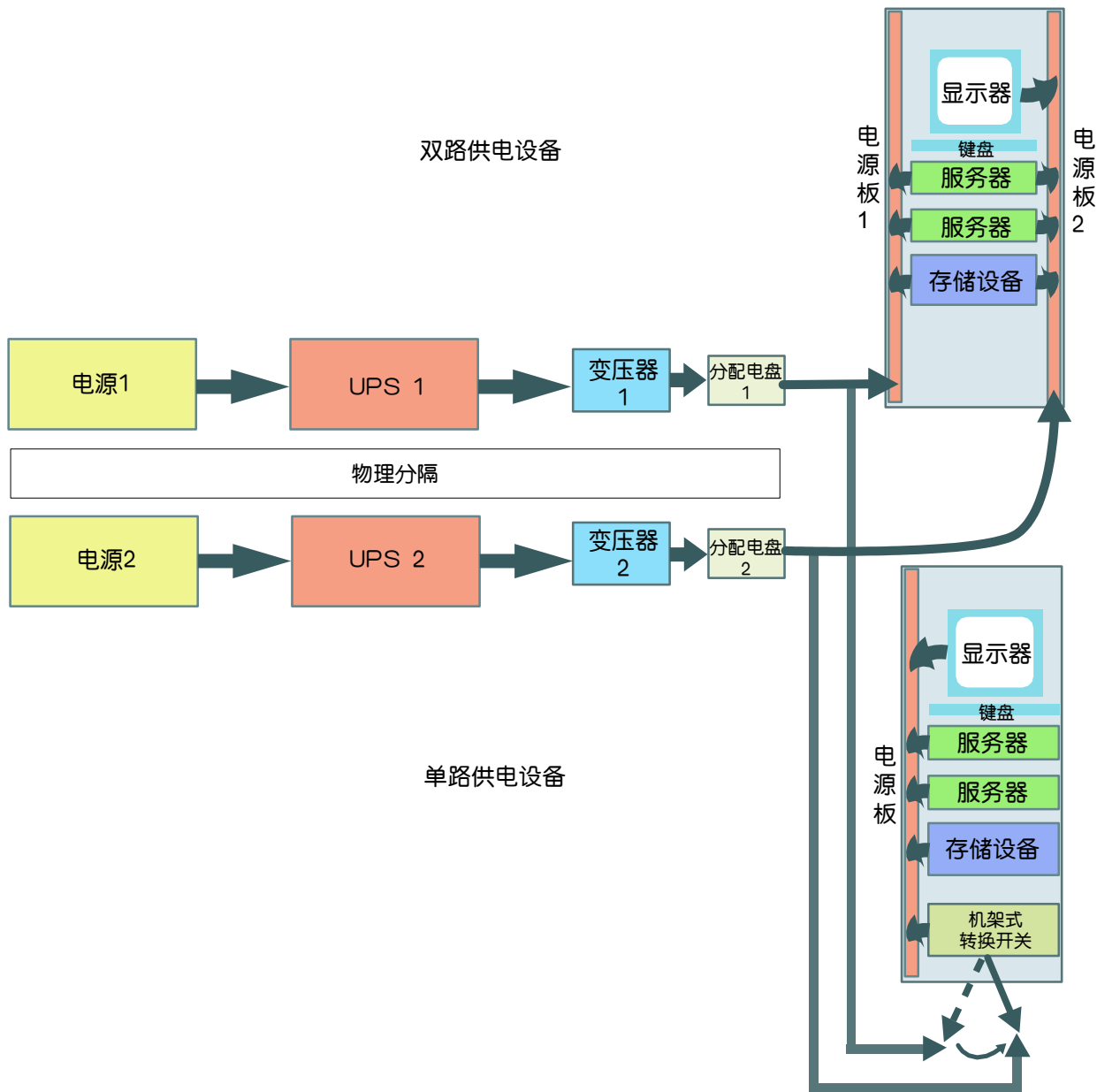


图 8  
单路和双路  
负载的冗余架构

## 可用性分析方法

进行可用性分析是为了量化包含单路设备和双路设备的影响。需要进行五种可用性分析：

- 第 1 种情况 — 图 2 中的单路负载
- 第 2 种情况 — 图 4 中使用静态转换开关的单路负载（单变压器）
- 第 3 种情况 — 图 5 中使用静态转换开关的单路负载（冗余变压器）
- 第 4 种情况 — 图 6 中使用机架 ATS 的单路负载
- 第 5 种情况 — 图 7 中的双路负载

线性组合分析也称为可靠性方块图 (RBD)，用于说明这五种配置的插座的电源可用性。这种系统建模方法最直接，适合状态转换非常少的系统。线性组合分析的工作原理是：使用已定义的可靠性数据，然后建立一个系统模型，代表所分析的配置。因为此分析仅针对配置之间的区别，所以，假定 UPS 系统的所有输入部分非常好，包括市电。因此，此处提供的可用性会高于实际安装中预期的可用性。

附录中提供了分析的详细信息。

### 分析中使用的数据

用于为组件建模的大多数数据均来自第三方。机架 ATS 的数据基于施耐德电气旗下 APC 的机架 ATS 产品的现场数据，这款产品已经面市大约 5 年，拥有广大的安装客户群。在此分析中包含以下关键部件：

1. 端接点（末端端子）
2. 断路器
3. UPS 系统
4. 配电柜
5. 静态转换开关 (STS)
6. 机架 ATS

配电柜细分为三个基本的子组件：断路器、隔离变压器和末端端子。分配电盘根据一个主断路器、一个支断路器和端接点全部在系列中进行评估。机架 ATS 组件仅在第四种情况下使用。附录中包括每个子组件的故障率  $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$  和恢复率  $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$  数据的值和来源，其中 MTTF 是平均故障时间，MTTR 是平均恢复时间。

附录中介绍分析所使用的故障率和修复率。

### 分析中使用的假设

与任何可用性分析一样，要建立有效的模型，必须进行一些假设。表 1 列出了此分析中使用的基本假设。

表 1

分析的假设

| 假设         | 说明   |
|------------|--|
| 组件的故障率     | 分析中的所有组件均表现出稳定的故障率。如果设备只是在设计的有效寿命内使用，这是最佳的假设。如果产品使用时间超过了其有效寿命，故障率中将需要加入非线性特征。  |
| 维修团队       | 对于系列中的“n”个组件，假定有“n”个维修人员。  |
| 系统组件仍可以运行  | 假定在维修出现故障的组件时，系统内的所有组件仍可以运行。   |
| 故障的独立性     | 这些模型假定所述架构的建立依据行业最佳方案。这样，因为物理和电气隔离产生常见原因故障的可能性非常低。   |
| 布线的故障率     | 架构中各组件之间的布线没有计算在内，因为布线的故障率太低，无法进行确定的和符合统计准确性的预测。以前的工作也表明，如此低的故障率对整体可用性影响非常小。大部分端接点仍考虑在内。   |
| 人为错误       | 此分析中没有考虑因为人为错误造成的停机。尽管这是数据中心停机的一个重要原因，但是，这些模型针对的是比较电源基础设施的架构以及找出这些架构中的物理弱点。<br>此外，还缺乏与人为错误对可用性的影响有关的数据。                          |
| 电源可用性是关键指标 | 此分析提供与电源可用性有关的信息。因为电源重新启动不会立即重新恢复业务可用性，业务流程的可用性通常会降低。IT 系统通常有一个重新启动时间，它会使不可用性加剧，此分析中没有考虑这个因素。                                    |
| 故障隔离没有任何好处 | 任何机架的故障都被认为是故障，与所有机架同时出现故障的效果相当。这种假设将无法充分体现第 4 种和第 5 种情况的好处。对于某些业务，单个机架出现故障比所有机架出现故障给业务带来的后果要轻。在这种情况下，分析将无法充分表现第 5 种和第 6 种情况的好处。 |

## 结果

您一定要了解，此分析的目标是比较各种情况之间的理论可用性。因为所有五种情况的所有组件的故障率数据相同，所以，每种情况之间的唯一区别在于组件的数量、MTTR 和位置。此方法通过将一种架构与另一种架构进行比较，可以非常有效地证明可用性的效果。

可用性的评估是针对为关键负载供电的插座。在每种情况下，使用相同的组件可靠性数据。在第 1 种情况下，该链中的任何一个组件的故障都会造成负载停用。这是基本情况。

在第 2 种情况和第 3 种情况下，每个冗余线路上的任何一个组件必须同时出现故障，负载才会停用。不过，STS 的任何单个组件输出设备的故障（包括 STS）也将使负载停用。这种情况的明显结果就是 STS 的安装几乎不会提高系统的可用性。原因是 STS 的可靠性并非明显高于输入 UPS，STS 仍是单故障点。还要注意，在第 2 种情况下，变压器 MTTR 使 STS 的所有好处几乎化为乌有。

在第 4 种情况下，每个冗余线路上的任何一个组件必须同时出现故障，负载才会停用。尽管机架 ATS 的 MTTR 是单故障点，但是因为存在有备件的情况下可以快速更换，所以影响不大。此处发



现的关键点是尽管机架 ATS 并非一定比大型 STS 更可靠，但是低得多的 MTTR 使其具有非常大的可用性优势。

在第 5 种情况下，每个冗余线路上的任何一个组件必须同时出现故障，负载才会停用。表 2 概述五种可用性计算的结果。

表 2

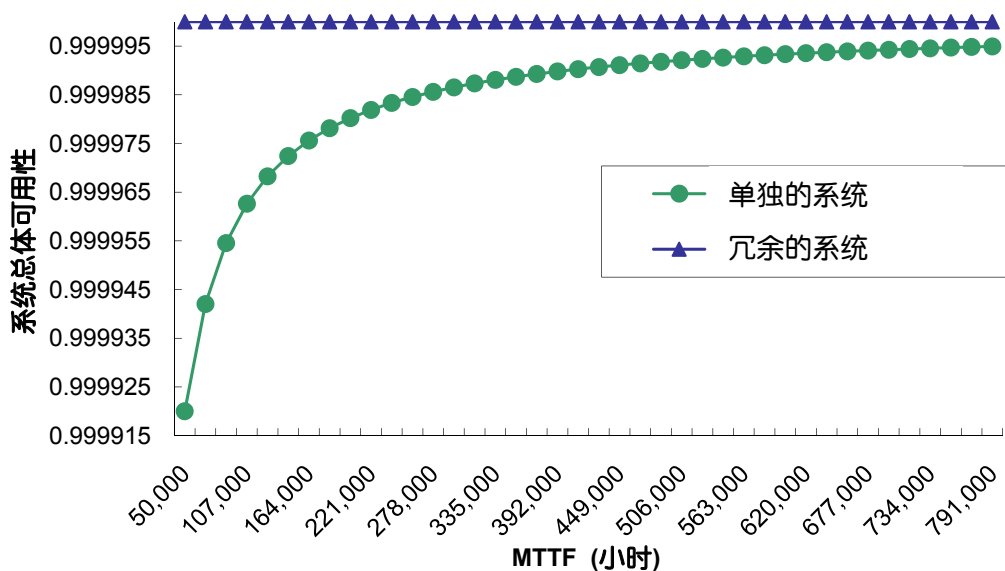
可用性结果的总结

| 情况      | 配置                   | 可用性         | “9”的数目 |
|---------|----------------------|-------------|--------|
| 第 1 种情况 | 单路负载                 | 99.985 %    | 3.8    |
| 第 2 种情况 | 使用 STS 的单路负载 (单变压器)  | 99.98596 %  | 3.85   |
| 第 3 种情况 | 使用 STS 的单路负载 (冗余变压器) | 99.99715 %  | 4.5    |
| 第 4 种情况 | 使用机架式 ATS 的单路负载      | 99.999931 % | 6.2    |
| 第 5 种情况 | 双路负载                 | 99.999977 % | 7.6    |

此分析说明为在双端电气架构中实现高可用性双路设备有多么重要。使用单路设备无法完全利用这种复杂设计的优势，但是通过实施机架 ATS 差不多可以利用这种优势。

从上面提供的结果来看，对负载实现冗余很明显提高了可用性。图 9 证明，即使产品的可靠性 (MTTF) 提高了 10 倍，提供的可用性仍然不如使用可靠性较低的冗余套件。冗余系统提供的可用性接近 100%，或多个“9”。

图 9  
可用性与 MTTF



## 结论

在实施高可用性架构时，机架配电需要认真考虑。本白皮书中所述的典型配电类型在所产生的停机时间方面各不相同，可达 10000 倍。

此分析非常清楚地证明在关键数据中心中使用双路设备的重要性。此处提供的分析表明，完全双路架构与单路设计相比，停机时间最多可以少 10000 倍。

使用转换开关提高单路负载可用性的通常做法根据实施方式的不同，结果会大不相同。在某些情况下，该分析表明使用大型 STS 几乎没有任何好处。相对而言，如果使转换开关接近机架，配电系统造成的系统停机时间将降低，以 250 为系数。

此外，基于机架的转换开关提供了额外的故障隔离，因为故障只会去掉一个机架。另外，基于机架的转换开关可以根据需要在双路环境中部署。

此数据表明，使用大型 STS 系统为单路负载供电的通常做法应进行重新评估，成本几乎类似的基于机架的转换开关具有明显的优势。

通常，该分析表明，一般原则是，对负载实现冗余可以提高可用性。

投资任何高可用性系统时，认真分析是一个必要的前提。客户愿意花多少钱来加强电气基础设施决定了要选择哪种解决方案。客户必须清楚地了解业务流程，以便可以计算停机成本。此成本最终将推动在可用性方面的投资。



### 关于作者

**Victor Avelar** 是施耐德电气数据中心科研中心的高级研究员。Victor 致力于数据中心的设计和运营方面的研究。并且通过向客户提供风险评估和设计实践方面的咨询，来优化数据中心环境的可用性和能效。Victor 于 1995 年从伦斯勒理工学院获得了机械工程学的学士学位，而后在波士顿大学获得 MBA 工商管理硕士学位。Victor Avelar 是 AFCOM 和美国质量协会的成员。



资源

点击图标打开相应  
参考资源链接



为双路环境中的单路  
设备供电  
第 62 号白皮书



浏览所有 白皮书  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## 联系我们

关于本白皮书内容的反馈和建议请联系：

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

如果您是我們的客戶並對數據中心項目有任何疑問：

請與您的 **施耐德電氣** 銷售代表聯繫

## 附录

表 A1

组件和值

| 组件               | 故障率         | 恢复率     | 资料来源  | 备注  |
|------------------|-------------|---------|---|---|
| UPS 675kW/750kVA | 4.0000E-06  | 0.125   | 故障率来自 Power Quality Magazine, 恢复率数据基于维修人员 4 小时到位并且用 4 个小时维修系统的假设                  | •用于为 PDU 供应不间断的 480 VAC 电源。                                     |
| 静态转换开关 (STS)     | 4.1600E-06  | 0.1667  | Gordon Associates - Raleigh, NC   | •包括控件   |
| 降压变压器            | 7.0776E-07  | 0.00641 | MTBF 来自 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 40 页, MTTR 是 Marcus Transformer Data 提供的平均值 | •用于将 480 VAC 输入降低到 208 VAC 输出, 满足 120 VAC 负载的需要。                |
| 断路器              | 3.9954E-07  | 0.45455 | IEEE Gold Book Std 493-1997 第 40 页  | •用于断开组件的电源, 以便进行维护或遏制故障。  |
| 6 个端接点           | 8.6988E-008 | 0.26316 | 6 x IEEE 值使用 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 41 页提供的值计算                             | •变压器的输入部分, 每个导线一个端接点。因为组件之间有两组端接点, 所以, 共有六个端接点。                 |
| 8 个端接点           | 1.1598E-007 | 0.26316 | 8 x IEEE 值使用 IEEE Gold Book Std 493-1997 第 41 页提供的值计算                             | •变压器的输出部分, 每个导线一个端接点加上中性线。因为组件之间有两组端接点, 所以, 共有八个端接点。            |
| 机架 ATS           | 2.0E-06     | 3       | 施耐德电气冗余开关现场数据   | •施耐德电气机架式 ATS MTTF 计算的值达到 1,000,000 个小时。<br>•使用 500,000 小时的保守值。 |

## 单路负载的可用性 [第 1 种情况]

图 2 中的单路负载可用性依据以下 RBD 计算。图 10 显示 RBD 的最高层, 根据系列组件计算稳定状态的可用性。此 RBD 包括“变压器部件”和“分配电盘部件”的“可扩展”方块。可扩展方块是指有更加细化的 RBD 来定义其子组件。通过这种方式设计 RBD 有助于计算可用性。分配电盘用于直接为关键设备配电。这些方块的内容如图 10 和 11 中所示。

图 10

单路负载

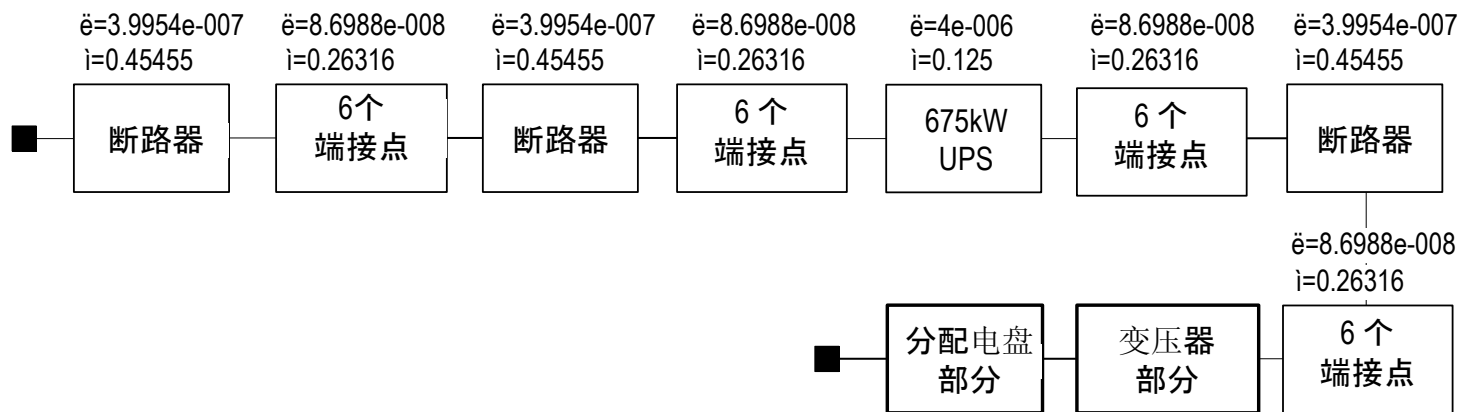


图 11

变压器部件

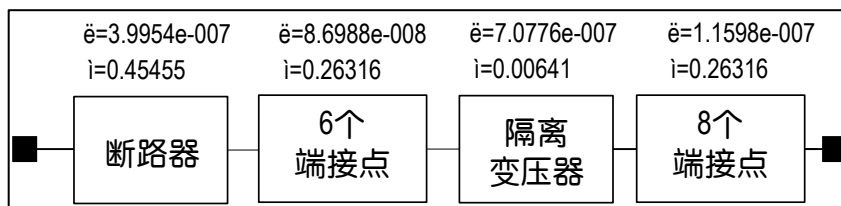


图 12

分配电盘部件



根据上面提供的 RBD，单路系统的可用性如下所示。

表 A2

单路负载的可用性[第 1 种情况]

| 模型名称   | 可用性        | 不可用性       | MTTR (小时) | MTTF (小时) | 年停机时间 (小时) |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 单路负载   | 99.98498 % | 1.5021E-04 | 19.3      | 128,665   | 1.3158     |
| UPS 系统 | 99.99640 % | 3.5958E-05 | 6.5       | 180291    | 0.31499    |
| 变压器部件  | 99.98879 % | 1.1205E-04 | 85.5      | 763,201   | 0.98158    |
| 分配电盘部件 | 99.99978 % | 2.1987E-06 | 2.4       | 1,092,825 | 0.01926    |

因为分析所使用的是五个有效数字的数据，不可用性是另一种表示结果的方式。只需使用（1 □ 可用性）即可计算出不可用性。

# 使用静态转换开关的单路负载 (单变压器) 的可用性 [第2种情况]

图 4 中的配电方法使用 STS，为其所有输入设备增加冗余（处于输出的变压器除外）。此方案的可用性根据 7 个 RBD 进行计算，是为了讲解清楚而将其断开的。图 13 显示 RBD 的最高层。“UPS 系统”方块是 2 个方块中的 1 个，表示该方块中的所有组件都是冗余的。图 14 显示“UPS 系统”方块的内容。

图 13  
使用 STS 的单路负载

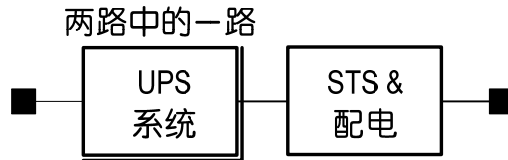
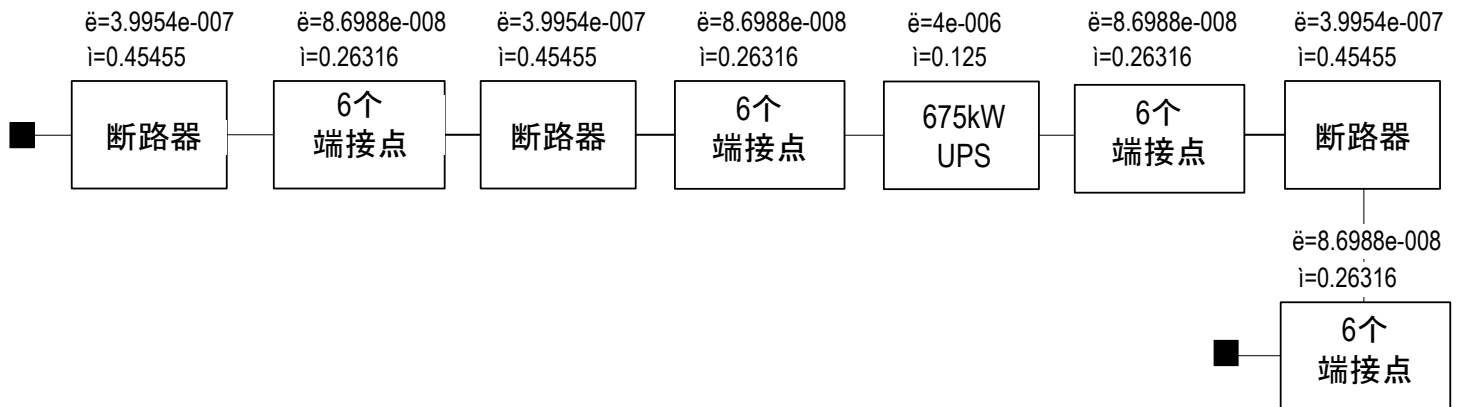


图 14  
UPS 系统



STS 的所有输入设备都是冗余的，不过“STS 和配电”方块中的每个组件（如图 13 中所示）都是单故障点。“STS 和配电”方块包含 STS 系统、变压器部件和分配电盘部件，如图 15 中所示。STS 系统允许使用输入冗余组件。此系统包括断路器、端接点，最重要的是还包括静态转换开关。STS 系统的 RBD 如图 16 中所示。

图 15  
STS 和配电

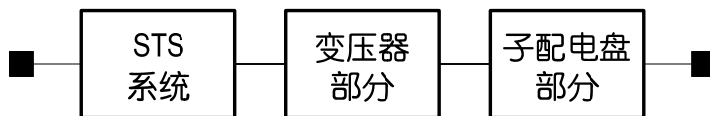


图 16  
STS 系统



图 15 中的“变压器部件”方块和“分配电盘部件”方块的内容在图 17 和 18 中进一步细分

图 17  
变压器部件

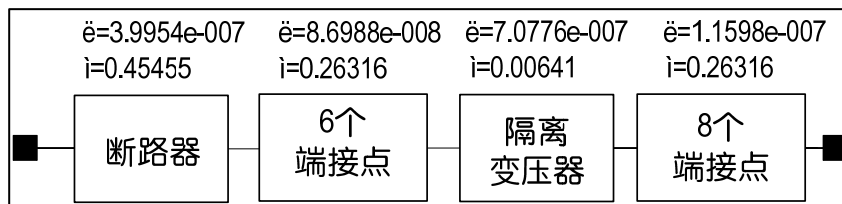


图 18  
分配电盘部件



根据上面提供的 RBD 图表，使用 STS 和单变压器的单路系统的可用性如下所示。

表 A3  
使用 STS 的单路负载（单变压器）的可用性 [第 2 种情况]

| 模型名称                 | 可用性          | 不可用性       | MTTR (小时) | MTTF (小时)     | 年停机时间 (小时) |
|----------------------|--------------|------------|-----------|---------------|------------|
| 使用 STS 的单路负载 (1个变压器) | 99.98596%    | 1.4041E-04 | 20.4      | 145,513       | 1.23002    |
| UPS 系统               | 99.99999987% | 1.2930E-09 | 6.5       | 5,025,125,628 | 0.00001    |
| 单 UPS                | 99.99640%    | 3.5958E-05 | 6.5       | 180,291       | 0.31499    |
| STS 和配电              | 99.98596%    | 1.4041E-04 | 20.4      | 145,518       | 1.23001    |
| STS 系统               | 99.99738%    | 2.6164E-05 | 5.6       | 215,214       | 0.22920    |
| 变压器部件                | 99.98879%    | 1.1205E-04 | 85.53     | 763,201       | 0.98158    |
| 分配电盘部件               | 99.99978%    | 2.1987E-06 | 2.4       | 1,092,825     | 0.01926    |

使用静态转换开关的单路负载 (冗余变压器) 的可用性 [第3种情况]

图 5 中的配电方法使用 STS，为其所有输入设备增加冗余（包括变压器）。此方案的可用性根据与上一个分析类似的 7 个 RBD 进行计算。图 19 显示 RBD 的最高层。“UPS 系统和变压器”块是 2 个方块中的 1 个，表示该方块中的所有组件都是冗余的。图 20 显示“UPS 系统和变压器”方块的内容。组成“变压器部件”方块的部件与图 17 相同。到目前为止，每个组件都是冗余的，不过，“STS 和配电”方块中的所有组件（如图 19 中所示）都是单故障点。

图 19 使用 STS 的单路负载

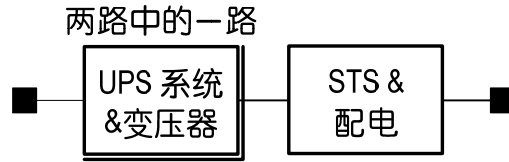
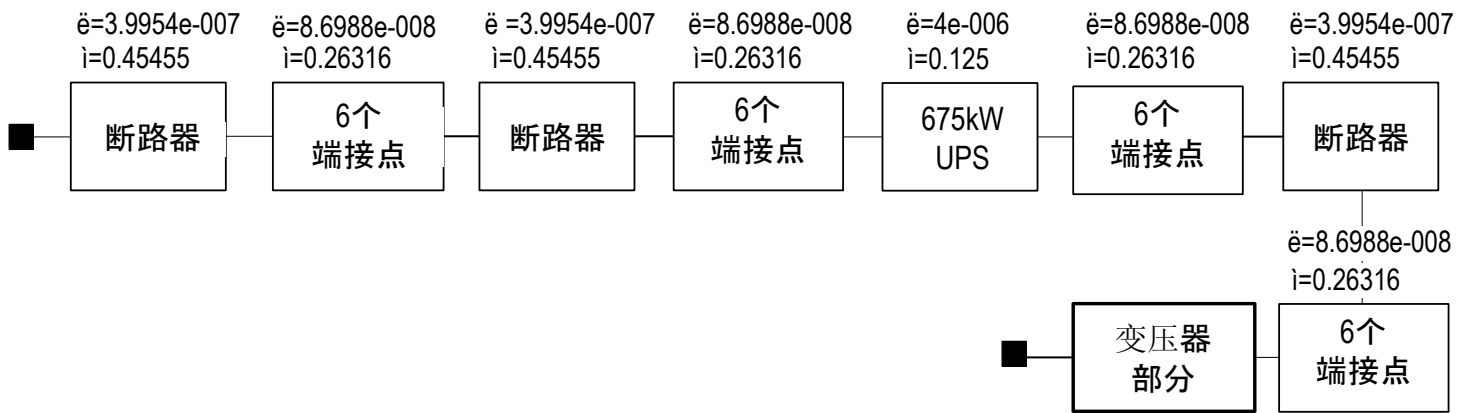


图 20 UPS 系统和变压器



在这种情况下，“STS 和配电”方块的内容（图 21）仅包含 STS 系统和分配电盘部件，因为变压器作为冗余组件接近输入部分。此方案中的“STS 系统”与图 17 完全相同，只是有 8 个端接点，而不是图 22 中所示的 6 个。“分配电盘部件”方块的组件与图 18 完全相同。

图 21 STS 和配电

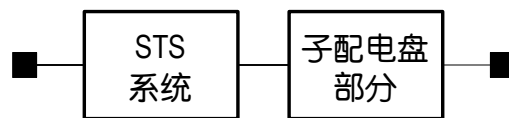


图 22 STS 系统





根据上面提供的 RBD 图表，使用 STS 和冗余变压器的单路系统的可用性如下所示。

表 A4

使用 STS 的单路负载 (单变压器) 的可用性 [第 3 种情况]

| 模型名称                  | 可用性         | 不可用性        | MTTR (小时) | MTTF (小时)   | 年停机时间 (小时) |
|-----------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|------------|
| 使用 STS 的单路负载 (2 个变压器) | 99.99715%   | 2.8495E-05  | 5.1       | 178,839     | 0.24961    |
| UPS 系统和变压器            | 99.9999978% | 2.1906E-08  | 21.6      | 985,221,675 | 0.00019    |
| UPS 系统                | 99.99640%   | 3.5958E-05  | 6.5       | 180,291     | 0.31499    |
| 变压器部件                 | 99.98879%   | 1.1205E-04  | 85.5      | 763,201     | 0.98158    |
| STS 和配电               | 99.99715%   | 2.8473E-05  | 5.1       | 178,872     | 0.24942    |
| STS 系统                | 99.99737%   | 2.6274E-05  | 5.6       | 213,880     | 0.23016    |
| 分配电盘部件                | 99.99978%   | 2.19867E-06 | 2.4       | 1,092,825   | 0.01926    |

### 使用机架 ATS 的单路负载的可用性 [第 4 种情况]

图 6 中对使用机架式 ATS 的单路负载的分析根据图 23 中的 RBD 计算，该 RBD 代表 RBD 的最高层。现在，此模型为机架提供冗余，不过，机架 ATS 成为单故障点。图 24 显示“UPS 系统和变压器”方块的组件。“变压器部件”和“分配电盘部件”方块的内容分别与图 17 和 18 完全相同。

图 23  
使用机架式 ATS 的单路负载

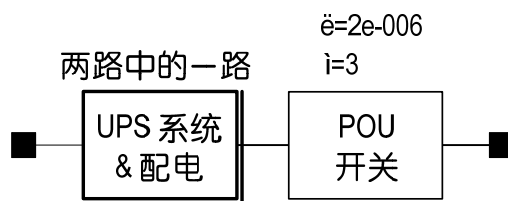
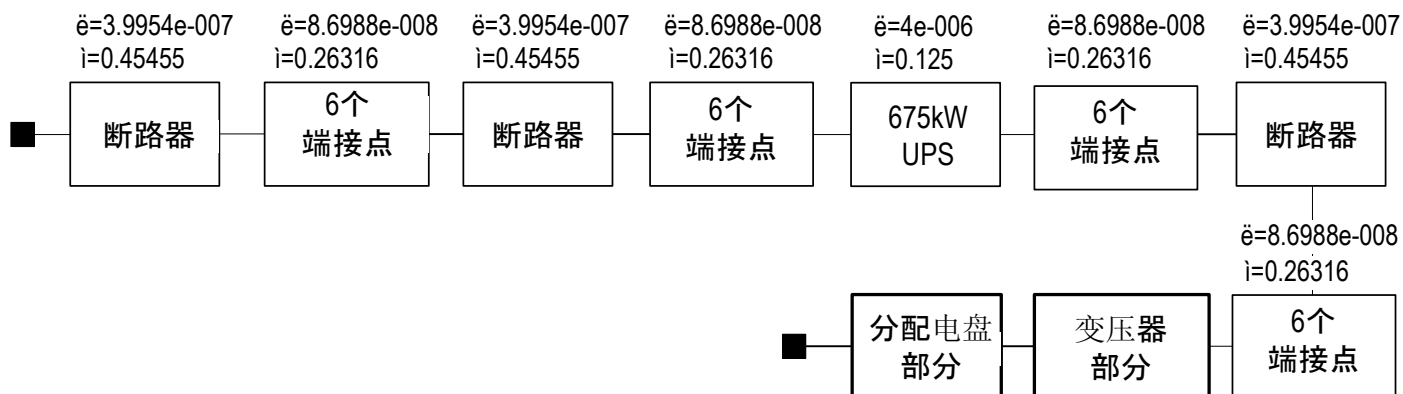


图 24  
UPS 系统和配电



根据这些 RBD，使用机架式 ATS 的单路系统的可用性如下所示。

**表 A5**

使用机架式 ATS 的单路负载的可用性[第4种情况]

| 模型名称           | 可用性         | 不可用性         | MTTR (小时) | MTTF (小时)   | 年停机时间 (小时) |
|----------------|-------------|--------------|-----------|-------------|------------|
| 使用机架 ATS 的单路负载 | 99.999931 % | 3.558950E-07 | 0.4       | 499,705     | 0.00604    |
| UPS 系统和配电      | 99.999998 % | 2.2562E-08   | 19.3      | 856,898,029 | 0.00018    |
| 变压器部件          | 99.98879 %  | 1.1205E-04   | 85.5      | 763,201     | 0.98158    |
| 分配电盘部件         | 99.99978 %  | 2.1987E-06   | 2.4       | 1,092,825   | 0.01926    |
| 机架 ATS         | 99.999933%  | 3.3333E-07   | 0.3       | 500,000     | 0.00584    |

在此情况下，只需再添加一个 PDU，可用性即可大大提高。不过，机架 ATS 是此系统中的单故障点，整体可用性限于六个“9”。因此，机架式 ATS 一定要根据可靠性进行选择，并且一定要保留备件，使 MTTR 最少。

## 双路负载的可用性 [第5种情况]

图 7 中对双路负载的分析根据图 25 中的 RBD 进行计算，该 RBD 也代表最高层。与使用机架式 ATS 的系统类似，此 RBD 根据整体 UPS 和 PDU 的故障率和恢复率计算稳定状态的可用性，不过，不包括机架 ATS，因为负载是双路负载，可以充分利用冗余线路。要保证关键负载，只要 2 个线路中的 1 个正常工作即可。此系统中没有单故障点。事实上，甚至关键负载电源都是冗余的。

**图 25**

双路负载



组成“UPS 系统和配电”方块的更加细化的 RBD 与图 10 — 12 中完全相同。根据这些方块，双路系统的可用性如下所示。

表 A6

双路负载的可用性[第5种情况]

| 模型名称      | 可用性          | 不可用性       | MTTR (小时) | MTTF (小时)   | 年停机时间 (小时) |
|-----------|--------------|------------|-----------|-------------|------------|
| 双路负载      | 99.9999977 % | 2.2562E-08 | 19.3      | 856,898,029 | 0.0001976  |
| UPS 系统和配电 | 99.9999977 % | 2.2562E-08 | 19.3      | 856,898,029 | 0.0001976  |
| 变压器部件     | 99.98879 %   | 1.1205E-04 | 85.5      | 763,201     | 0.98158    |
| 分配电盘部件    | 99.99978 %   | 2.1987E-06 | 2.4       | 1,092,825   | 0.01926    |

在最后这种情况下，“UPS 系统和配电”的可用性与前一种情况完全相同，然而整体可用性已经提高到七个“9”。主要区别是在使用双路设备时，不再需要机架 ATS。如最后一个系统中所示，机架 ATS 是单故障点，可用性限于六个“9”。