

每当电源或转换器以并联配置操作时（无论为了增加功率输出、容错，或两者兼有），均流是重要考虑因素。功率转换器使用的均流方案大多数为两种；包括人工增加转换模块的输出阻抗，或经实际感应各输出电流，通过反馈控制迫使所有电流相等。但是，如果采用同步均流方案，便无需在每个模块上配置电流感应或电流测量装置，也无需人工增加输出阻抗，因为这会影响负载调整。

均流为什么重要

大多数用于并联阵列的功率组件（三极管、整流器、功率转换模块和离线电源）均不会自动均分负载。就功率转换器而言，除非在系统中加入强制均流控制的设计，否则，一个或多个转换器会承受不成比例或过大的负载。其中一个转换器（通常是输出电压最高的转换器）会输出高达其限流设置值的电流，这超出了其额定最大值；然后、电压会下降到某一点，由阵列中另一个转换器（具有次高输出电压的转换器）开始提供电流到负载点。阵列中所有的转换器均可输出部分电流，但不会均分负载。内置限流可能使所有或大多数转换器输出电流，但负载仍不会被均分，并有可能损坏转换器。

考虑一下；一个由两个模块组成的阵列，其中一个模块输出所有电流。如果该模块发生故障，第二个模块上的负载必须从空载升到满载，在此期间输出电压可能临时下降。这可能会妨碍系统操作，包括停机或重启。但如果两个模块能够均分负载，当一个模块发生故障时，仍能正常操作的模块所经历的瞬变就会轻微得多（半载至满载），输出电压可能只会短暂略微下降。所有正向转换器不论是谐振或脉宽调制，从空载跃升至满载的动态响应是最差的，因为这样的负载跃升是输出电感电流变成非连续性。

在上述的双模块阵列示例中，承载所有负载的模块也会同时产生所有热能，使得该模块的平均故障间隔时间 (MTBF) 大为缩短。一条常被引用的经验法则则认为，操作温度每升高 10°C，组件的平均操作寿命就会减半。相比起系统内没有做均流的模块，在均流系统中的所有转换

器或电源都可在较低温度下操作。于是，所有模块的操作寿命应会相同。

由于可以改善系统的性能，均流因此非常重要。它减轻了瞬变/动态响应和散热的问题，并提高了系统的可靠性。在大多数使用多个电源或转换器来增加功率或容错的系统中，均流是一个必要的部分。

为在扩大功率的阵列内实现均流

当并联电源或转换器时，大多是为了增加功率，有多种方法可实现均流。其中一种方案是简单地串联电阻至负载。另一种更实用的变通方案是“降压调衡”方法。这是一个随着负载的增加而自主地使输出电压下降。两种最常用于转换器并联来增强功率的方法；是驱动器/倍增器或主/从阵列，以及模拟均流控制。这两种方法看起来很相似，但是各自的实施方式却有很大区别。驱动器/倍增器阵列通常包括一个智能模块或驱动器，以及一个或多个只用作功率传输的模块或倍增器。模拟均流控制是并联两个或更多的相同模块，而各模块均具智能。

降压调衡 如图 5-1 所示的降压调衡方法，是增大输出阻抗以迫使电流相等。这可通过将误差信号注入转换器的控制环路，使输出电压成为负载电流的函数来实现。随着负载电流增加，而输出电压减低。因为它们均汇入一个交点，所有模块具有大致等量的电流。如果一个电源提供的电流比另一个电源大，其输出电压会强制下降小许，以使在汇流交点达到等量电压输出而提供等量电流。图 5-1 所示为本方案的简单实施方法，利用或门二极管的电压降（与电流成正比例），迫使转换器各自调整其输出电压。

降压调衡既有优点又有缺点。优点之一是可适用到任何拓扑的转换器。实施起来既颇为简单而成本也低廉。但是，主要缺点在于需要感应电流来运作。每个转换器或电源内需要电流感应装置。此外，负载调整会受到微小影响，尽管这在大多数应用中不成问题。

一般来说，不建议混合配对转换器，尤其是各转换器使用不兼容均流方案。但是，降压调衡方法在这方面比任何其它方法较为宽松。可用不同转换模块或甚至是不同厂商的电源，在并联阵列外加电路也可实现均流。

驱动器/倍增器阵列 大多数 Vicor 的转换器可使用驱动器/倍增器造成阵列提高功率。（图 5-2）驱动器/倍增器阵列通常包括一个智能模块或驱动器，以及一个或多个只用作功率传输的模块或倍增器。驱动器用于设置和控制输出电压，而倍增器模块用于提高输出功率来满足系统要求。

准谐振转换器组成的驱动器/倍增器阵列，模块使用相同的功率传输方法，由于每个模块内，每单一脉冲所传输的能量相等，所以能固有地自动均流。如果把各模块的输入端和输出端连接起来，以及各模块都有相同的操作频率，则所有模块都会提供相同的电流（在组件容差范围内）。阵列中的只有单个智能模块会决定瞬变响应，而该响应在添加模块时不会发生变化。而阵列中的各倍增器模块之间，当输出端均连接一起，就只需一条联机，并不需要微调输出、其它调整或外加元件便可达至均流。而且均流也是动态的，甚至可以保证在百分之五的容差范围内。

务必记住，在使用倍增器时，倍增器的输入电压、输出电压和输出功率必须与驱动器相同。

驱动器/倍增器阵列的优点在于它们只有单一个控制环路，因此不存在环中带环的稳定性问题，并具有良好的瞬变响应。但是，这种排列不带容错。如果驱动模块发生故障，阵列将无法维持其输出电压。

模拟均流控制 模拟均流控制（常见于脉宽调制式转换器）是将两个或更多的相同模块并联，各模块均具智能。电路动态地调整各电源的输出电压，以便多个电源提供等量电流。但是，这种方法有许多缺点。阵列中的每个转换器均有自己的电压调整环路，且需要电流感应装置和电流控制环路。

模拟均流控制支持一定程度的冗余，但在均流母线内较易出现单点故障，在最轻微情况下可能会破坏均流，而在最坏情况下可能会毁坏阵列中的各模块。出现这种情况的主要原因在于模块之间带单线伏打电流连接所引起的。

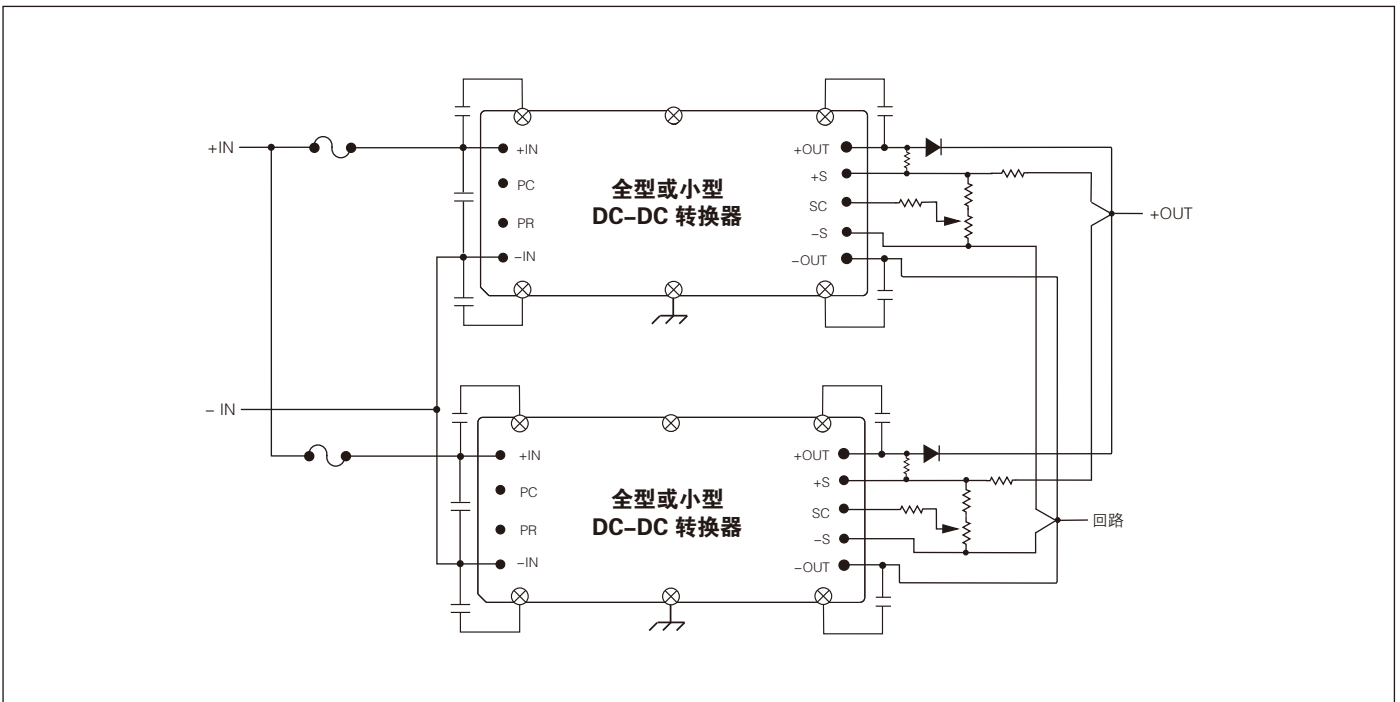


图 5-1 一 降压调衡方法以人工增加输出阻抗至使电流相等。

实现均流并带容错的阵列

均流是带容错阵列的基本要素。无论采用什么方法，都会因增加至少一个冗余转换器或电源而增加固有成本。

目前，要求容错或冗余的大多数应用也需要热插拔功能，以确保系统连续地操作。设计可热插拔的电源卡，必须避免操作员有机会接触到高压、强电流或高温等潜在的危险。同时需要对模块进行故障监测；和确认模块故障而发出的警示或通知。一个热插拔系统必须确保在拔出过程中对电源母线做到最小的干扰。明确一点而言，是受影响的电压母线不论是输入或输出母线，也不可下降太多，以致系统发生误差。

N+1 冗余 电源故障可能会损坏整个系统，因此可增加一个冗余转换器或电源，以确保发生故障时系统继续操作。将一个附加模块添加到一组并联模块 (N+1)，只需增加少量成本，但可显着提高系统可靠性。

如何利用转换器实施冗余，其中的因素是取决于可用的空间和成本要求。例如，可用两个 500 W 的全型模块提供 1 kW 输出，加上一个附加的 500 W 模块，在大约 16.5 立方英寸 (270 cm³) 的体积内构成总输出为 1.5 kW 的 2+1 冗余阵列。也可以将四个 200 W 的半砖模块与第五个的 200 W 模块在 14 立方英寸 (229 cm³) 的体积内构成总输出为 1 kW 的 4+1 冗余阵列。尽管第二种方案使用的空间更少，但是由于使用的转换器、或门二极管、监控电路和组件更多，就增加了累计故障率。

可将或门二极管串入 N+1 阵列中各模块的正输出端，以提供输出容错 (图 5-1)。这对于在冗余电源系统中维持故障隔离非常重要。如果没有这些或门二极管，一个转换器输出的短路故障可能会拖垮整个阵列。同样，每个转换器的输入端也需使用保险丝，以防止转换器输入短路危及整个阵列。

但是，或门二极管也增加了电源系统的功耗，降低整体效率 (并可能降低可靠性)。为缓和效率的这种不利影响，或门二极管在应用时应该保持在较高温的管芯，以减少正向电压下降和提高系统效率。但是如果转换器的输出短路和二极管反向偏压时，反向漏电流就会成为问题。这是有关操作温度的一个重要考虑因素。

可以采用多种方法实现确保系统可靠性所需的均流。如早前图 5-1 所示的降压调衡法例子，亦同时是使用或门二极管的 N+1 冗余阵列的一个示例。

同步均流 全型、小型和微型模块都是零电流和零电压开关拓扑转换器，利用它们，可以实现同步均流

(图 5-2)。每个模块均具有控制阵列的能力，也就是说它们构成了一个民主阵列。主导模块在并联母线上传输脉冲，而母线上的所有其它模块则与之同步。

转换器将该脉冲用作均流信号，以便用于增强功率和容错应用。并联母线上的脉冲信号通过将各转换器的高频开关同步，简化了均流控制。模块上的并联引脚是可以传输和接收信息的双向端口。如果主导模块让出主控权，则阵列中的另一个模块会在很少或不扰乱输出母线的情况下自动成为主导。脉冲信号也为设计师提供选择性，可在并联引脚之间添加电容 (图 5-3) 或变压器，以提供直流隔离的耦合。这种耦合可以防止单个模块内部的故障影响阵列中的其它模块，以此提高容错水平。

当全型、小型和微型转换器阵列中的模块分布得太远；或由分开的电源操作时，可使用均流母线变压器 (图 5-4) 实现均流。由于均流信号是脉冲信号，可以透过变压器来耦合。变压器耦合这种脉冲信号可提供高水平的共模噪声抗扰性，并保持安全特低电压 (SELV) 与初级电源隔离。这在需要板至板负载均分的冗余应用中尤其有用。

同步均流可以免除每个模块内的电流传感或电流测量装置，且不影响负载调整。同步均流架构还有其它优点，包括良好的瞬变响应、免除多重环路控制，以及很高的系统噪声抗扰度。同步均流用于民主控制阵列中，为功率架构设计者提供了实现简单，无耗散均流控制的新机会。同时提供了简化均流和减少折衷妥协的机会，例如需要从各独立模块感应电流，并调整各控制电压正如其它均流方法一样。

同步均流法适用于具有所需智能的准谐振，调频转换器，例如高密度，是固定单脉冲能量的 Vicor 全型、小型和微型系列 DC-DC 转换器。

最后，无论采用什么方法，均流都可减低散热问题，改善瞬变响应，并有助于延长阵列中所有模块的工作寿命。但是，所有均流方案都需小心关注电子和机械设计，以便更有效的操作。

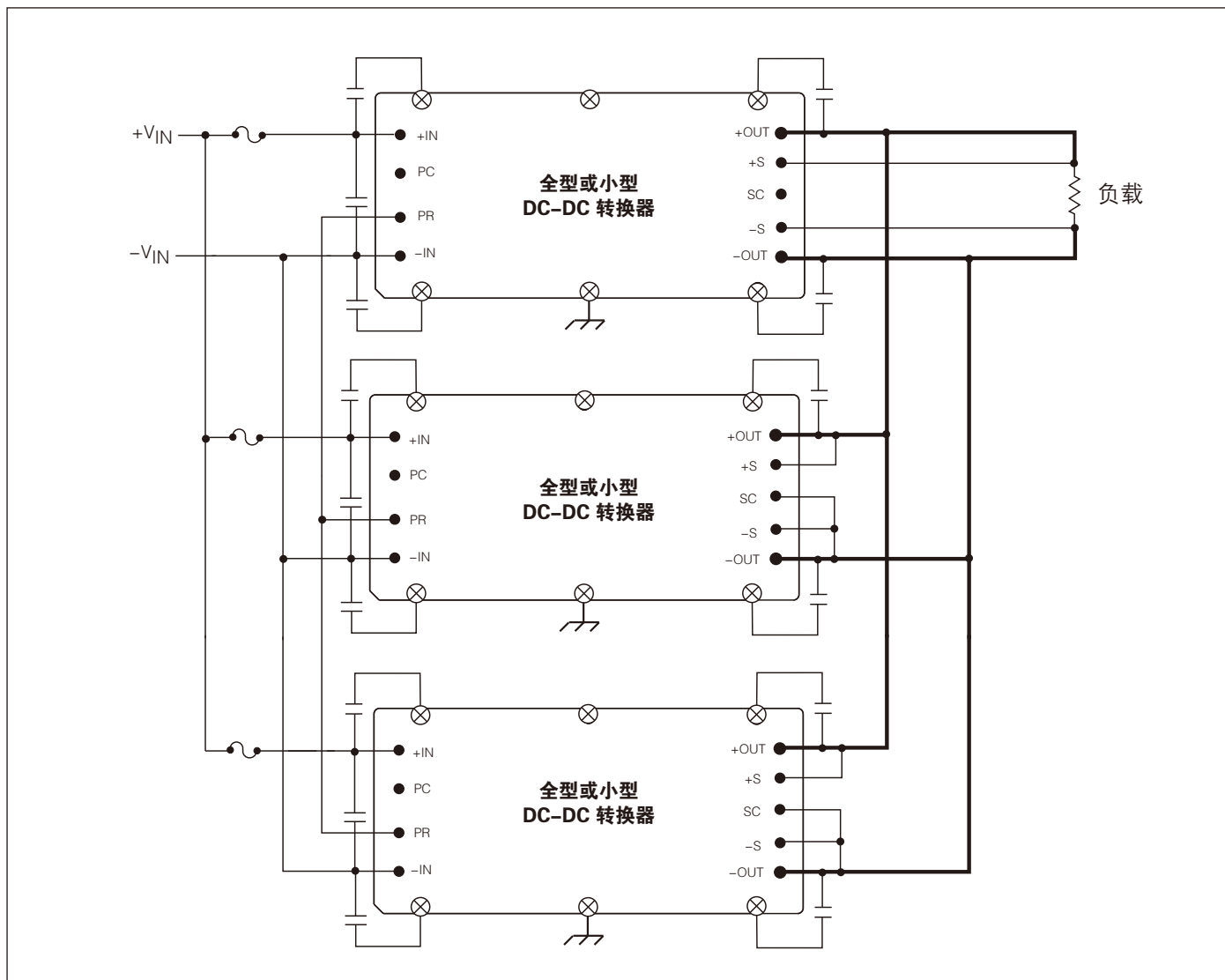


图 5-2 — 可安装在电路板的 DC-DC 阵列；配备特定配置倍增器来增大输出功率。将 SC 与 -S 短路连接使转换器设置成为倍增器。

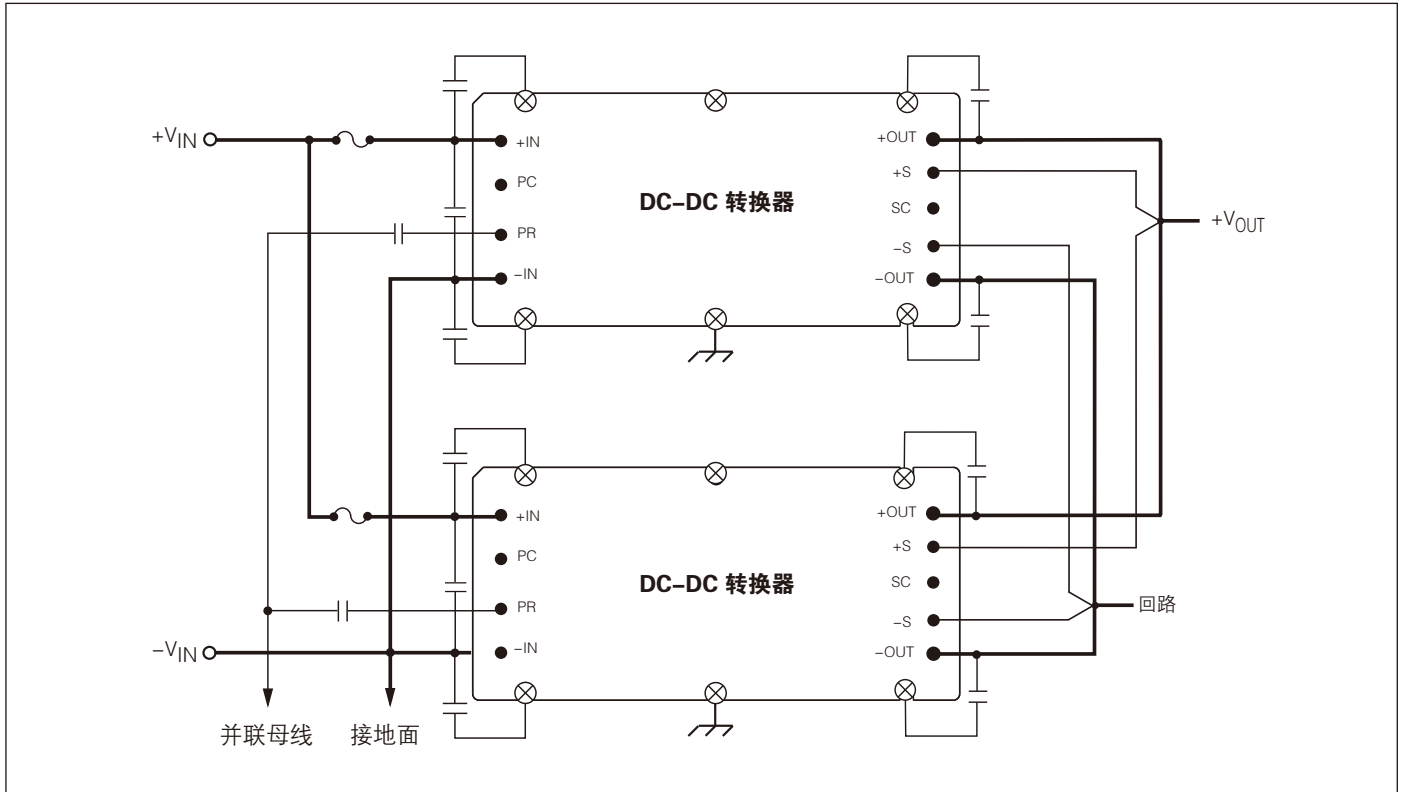


图 5-3 — 同步功率架构简化了均流控制，并提高了容错能力。

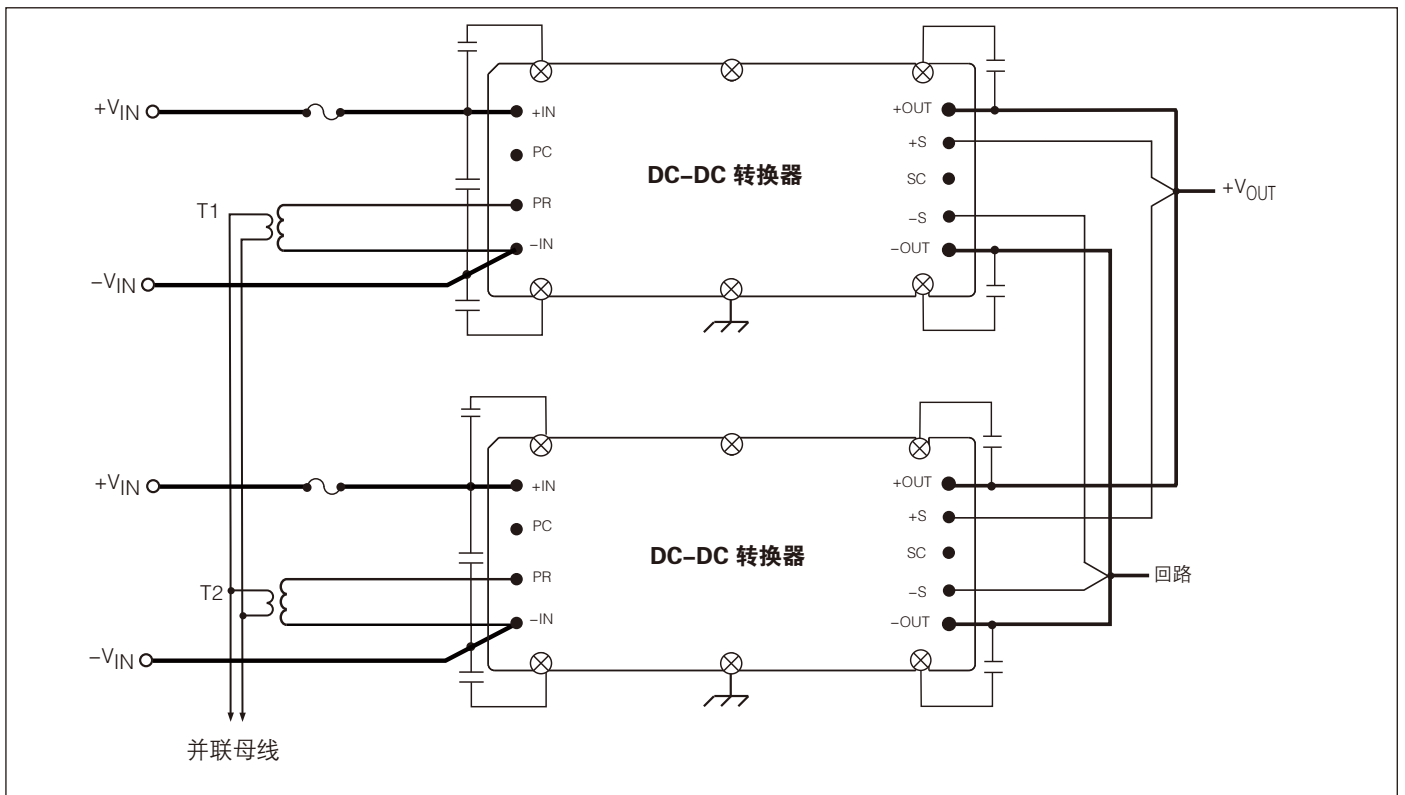


图 5-4 — 变压器耦合的接口提供负载均分并获得 SELV 与初级源隔离。