

Technical Article

如何借助电力系统优化下一代卫星的 SWaP



Kurt Eckles



卫星行业中本地数据处理需求的急剧增长、对更高吞吐量通信链路的支持以及对电力推进系统的快速采用不断要求电力系统 (EPS) 显著提高性能。EPS 是卫星总线部分的一部分，可提供结构支撑并容纳电源、热管理、通信和推进等子系统。EPS 可生成、存储和调节电力，并将其分配给卫星上的所有其他子系统和有效载荷。

太空任务存在各种独特的挑战和限制，要求优化尺寸、重量和功率 (SWaP)。SWaP 在卫星设计中如此重要的原因如下：

- **任务要求：**数据传输速率、分辨率和灵敏度等方面不断提高的要求会影响卫星的 SWaP 要求。
- **发射限制：**卫星有尺寸限制、重量限制和发射成本限制（每公斤 1,000 至 10,000 美元，具体取决于预期轨道）。
- **发电：**卫星通常依赖于太阳能电池板，电池板的尺寸和重量限制了发电量。发电容量还会影响电池等元件的重量和尺寸，以及配电和热管理等功能。
- **运营效率：**SWaP 优化使卫星能够在太空中更高效地运行，从而实现更高的性能和更长的任务寿命。

由于电源是卫星上最有价值的资源之一，尽可能提高 EPS 效率有助于延长任务寿命，减少质量和体积，并更大幅度地减少热管理开销。

除了效率之外，由于电源拓扑结构的数量较多，EPS 还必须处理各种电压和电流。图 1 展示了部分最为常见的拓扑结构。

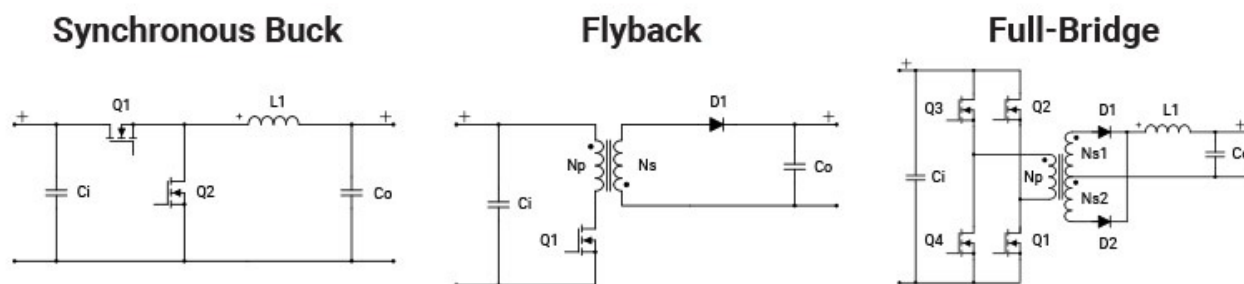


图 1. 卫星电源架构中的常见电源拓扑

典型卫星 EPS 的元件和功能如 图 2 所示：

- **太阳能电池板 (或能源发电)：**太阳能电池板是大多数卫星的主要电源。
- **电池 (或电量存储)：**电池可存储太阳能电池板在白天产生的多余电量，并在日食期间或太阳能电池板没有产生足够电量的情况下为卫星供电。
- **电源调节单元 (PCU)：**PCU 可调节太阳能电池板和电池的电气输出，为卫星的其余部分提供稳定且一致的电压和电流。
- **配电单元 (PDU)：**PDU 可将太阳能电池板和电池产生的电力分配到卫星上的各种子系统和有效载荷处。
- **备用电源：**如果主 EPS 出现故障，备用电源将有助于维持最基本的功能，直到主系统恢复。

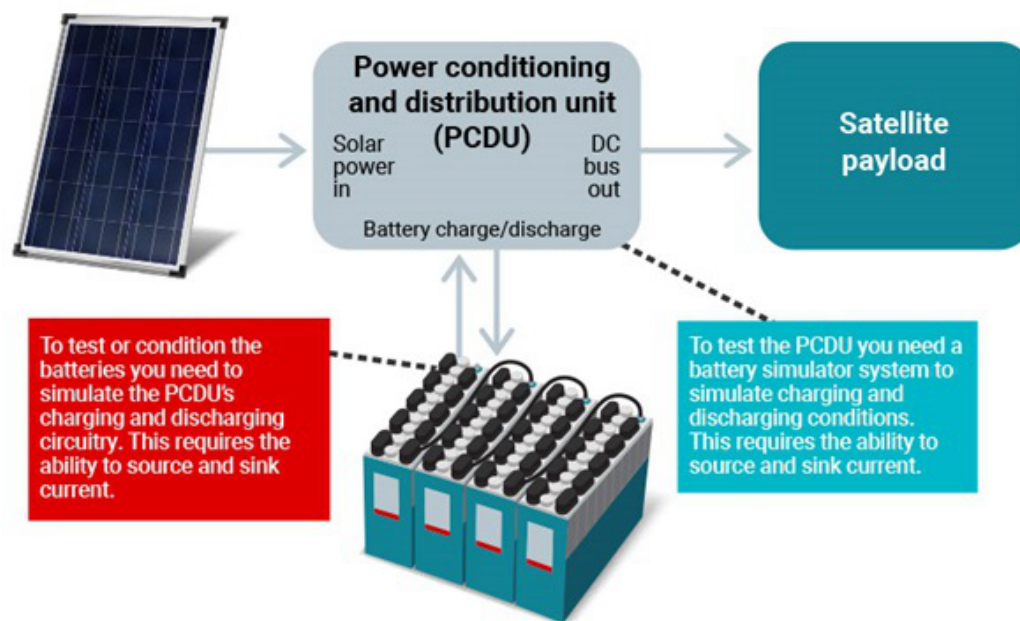


图 2. 典型卫星 EPS

设计人员可以将脉宽调制 (PWM) 控制器与栅极驱动器和硅制 MOSFET 或 GaN FET 相结合，解决卫星系统中的 SWaP 设计难题。此方法支持为 EPS 系统的不同部分开发优化的电源。

开发 EPS 时，设计人员可以从各种电压和电流电平耐辐射半桥 GaN FET 栅极驱动器中进行选择，这些驱动器可扩展到卫星的整个 EPS 电源树中。可用的器件包括 [TPS7H6003-SP](#) (200V)、[TPS7H6013-SP](#) (60V)、[TPS7H6023-SP](#) (22V) (100krad TID、75MeV·cm²/mg SEL 抗扰度) 和抗辐射 [TPS7H6005-SEP](#) (200V)、[TPS7H6015-SEP](#) (60V)、[TPS7H6025-SEP](#) (22V) (50krad TID、43 MeV·cm²/mg SEL 抗扰度)。这些栅极驱动器支持多种不同的电源拓扑结构和输入格式，可提高设计灵活性。

此外，设计人员还可以使用 PWM 控制器，例如耐辐射 [TPS7H5001-SP](#) 和抗辐射 [TPS7H5005-SEP](#) PWM 控制器，这些控制器旨在支持多种不同的电源实现。

TI 开发了以下参考设计，以帮助工程师处理各种电源电路中的航天级 PWM 控制器和 GaN FET 栅极驱动器，不仅包括 EPS，还包括部分有效载荷应用：

- **非隔离式高压降压设计**
 - 采用 300W 非隔离式同步降压拓扑结构，使用上述 PWM 控制器和栅极驱动器，支持 50V 至 150V 输入和 28V 输出。
 - 此设计经过优化，可在卫星将电力传输到 EPS 子系统的电池存储部分之前，调节 100V 太阳能电池板的高度可变输出。
 - TI 参考套件示例：[PMP23552](#)
- **隔离式全桥设计**
 - 采用 100W 隔离式同步硬开关全桥拓扑结构，支持 22V 至 36V 输入和 5V 输出，并在功率级中使用 GaN FET。
 - 此设计旨在作为电源调节和分配单元 (PCDU) 的示例。这种器件架构可支持许多实现方式和输出电压，例如“[电源设计小贴士 #134：以简便方式实现转变；通过 PWM 全桥实现 ZVS](#)”文章中所述的零电压开关 (ZVS) 全桥拓扑结构。
 - TI 参考套件示例：[PMP23200](#)
 - 其他资源：用户指南：“[采用 TPS7H5001-SP 的 28V 至 5V、10A 反激式转换器设计](#)”。
- **非隔离式高电流多相降压设计**
 - 此设计在多相同步降压拓扑结构中使用 PWM 控制器和栅极驱动器，以支持 11V 至 14V 的输入和 0.8V 的输出，也同样在功率级中使用了 GaN FET。该设计为双相实现，能够支持 80A 电流，同时保持可接受的直流和交流容差。
 - 设计人员可以将设计扩展到更多相位，以便满足特定设计要求，例如为一些高级现场可编程门阵列、ASIC 或多核处理器的内核轨供电所需的高电流（100A 以上）和低输入电压（低于 0.8V）。
 - TI 参考套件示例：[TIDA-010958](#)
 - 其他资源：“[采用 TPS7H5001-SP 控制器的 12V VIN 至 1V VOUT 单相降压转换器](#)”应用说明

结语

由于电源是卫星上最有价值的资源之一，EPS 架构会对整体设计产生重大影响。TI 久经考验的抗辐射 PWM 控制器系列可提供高效率，并支持各种拓扑结构以及可部署在各种任务和轨道中的架构。

其他资源

- 请查看 [TI 航天产品指南](#)、[电子器件辐射手册](#) 和 [航天器电路设计手册](#)。
- 欢迎观看我们的点播式在线研讨会“[卫星应用的 SIMPLIS 中的反激式电源转换器建模基础知识](#)”。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司