

# 无人机电源系统设计 Vicor 模组化电源解决方案

在设计无人机 (UAV) 用的电源系统时，设计人员所关心的参数是尺寸(S)、重量(W)、功率密度(P)、功率重量比、效率、热管理、灵活性和复杂性。体积小、重量轻、功率密度高(S WaP) 可以让无人机携带更多的有效负载，飞行和续航时间更长，并完成更多的任务。

更高的效率可以尽可能利用能源效率，最大限度地延迟续航时间和飞行时间，也可使热管理尽可能容易，因为即使是较少的功率损耗也会导致热传递。高灵活性和低复杂性不仅可以使电源系统设计更加容易，而且还可让无人机设计人员专注于无人机设计之其他部分，而不是在电源系统设计上花大量的时间；它不仅可节省设计完成时间，还可降低设计复杂性。

为了充分利用上述优势，Vicor 模组电源解决方案可通过最全面产品组合的高效率、高密度、配电架构，为效能关键性无人机应用提供完整的电源解决方案。

## 无人机的种类：

无人机可以从远端位置进行控制，或基于预编程组态自动运行。无人机有许多应用，从具结到消防，都可以由不同类别的无人机来实现。

## 无人机的电源：

根据子系统之负载要求，无人机有几个电源选项。

锂离子电池是一种常用的电源，体积较小、成本较低，因此是 100 瓦和运行数天的无人机的理想选择。

为了有更高的能量密度和功率密度，还可以选择其他的备选电源，包括太阳能电池系统、燃气轮机以及柴油发电机等。

## 无人机的典型电源链：

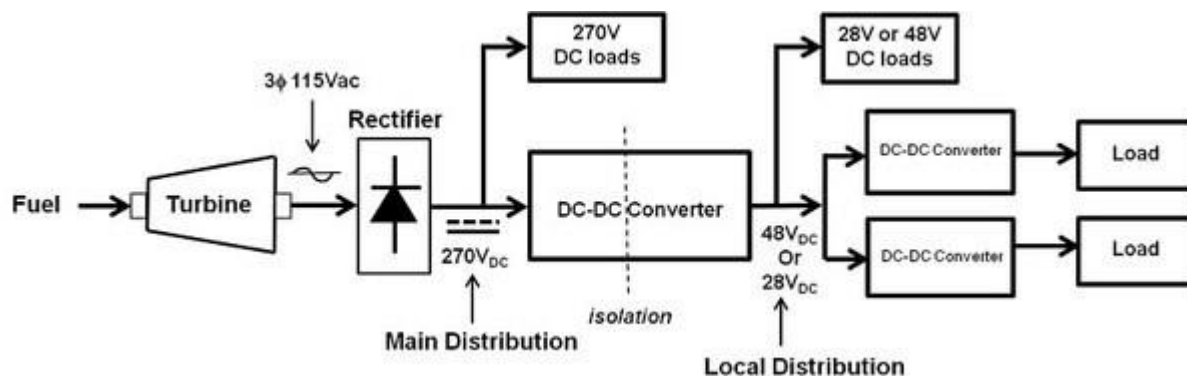


图 1：无人机电源链

在典型的无人机电源链中，有一个基于涡轮的发电机提供 3 相 AC 电源，其可通过整流器转换为 270VDC 电源，然后通过隔离式 DC-DC 转换器转换为 48VDC 电源或 28VDC 电源。

无人机上有许多有效负载，包括雷达、影像、航空电子、导航、制导、飞控系统和数据传输链路，其中每一个都需要一个 3.3V、5V 及 12V 等的电压范围。因此，下游 DC-DC 转换器或非隔离式负载点 (niPoL) 都需要为所需的负载电压提供 28V 或 48V DC 母线。

为了实现高效率，高电压 DC 母线 (270V、48V 或 28V) 沿着无人机的电源链进行优先配电。配电引起的功率损耗系以  $I^2R$  ( $R$  线阻) 为主，由于提高电压可以最大限度地降低配电损耗，因而可减少电流；对于大型无人机更是如此，因为有很长的配电长度。

在安全方面，在高电压 DC 母线 (270V) 和低电压 DC 母线之间需要进行隔离，当低于 60V 的电压与高电压隔离开时，就符合安全超低电压 (SELV) 要求。

根据图 1 所显示的电源链，有两级 DC-DC 转换，由于稳压在下一级完成，其中第一级需要隔离之非稳压 DC-DC 转换器，而由于隔离在上游完成，第二级则需要稳压之非隔离 DC-DC 转换器。为了实现更高的效率和更低的解决方案成本，隔离和稳压没有在 DC-DC 转换器的每一级重复。

#### 270V 至 28V DC-DC 转换：

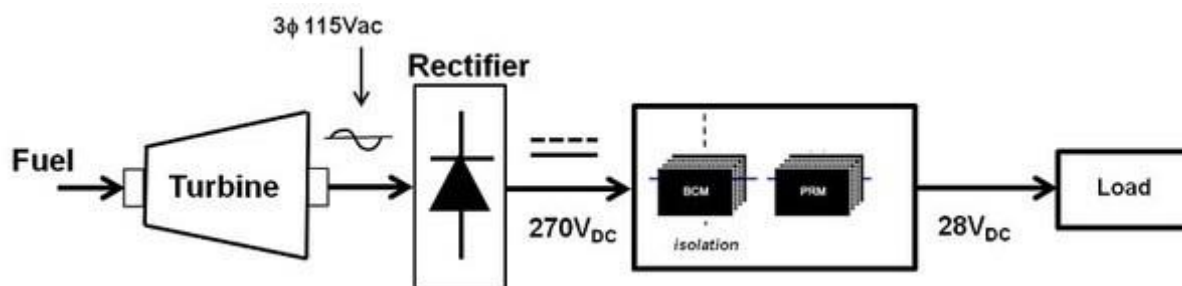


图 2

除了整流器，还有非隔离之非稳压 270VDC 电压，藉由 MIL-COTS BCM(母线转换器模组)和 MIL-COTS PRM(前置稳压器模组)转换到负载用的一个隔离、稳压的电压，如 28V。

#### GaAs 发射器：

270V 至 28V 电源链的应用之一是 GaAs 发射器，其方框图如图 3 所示。

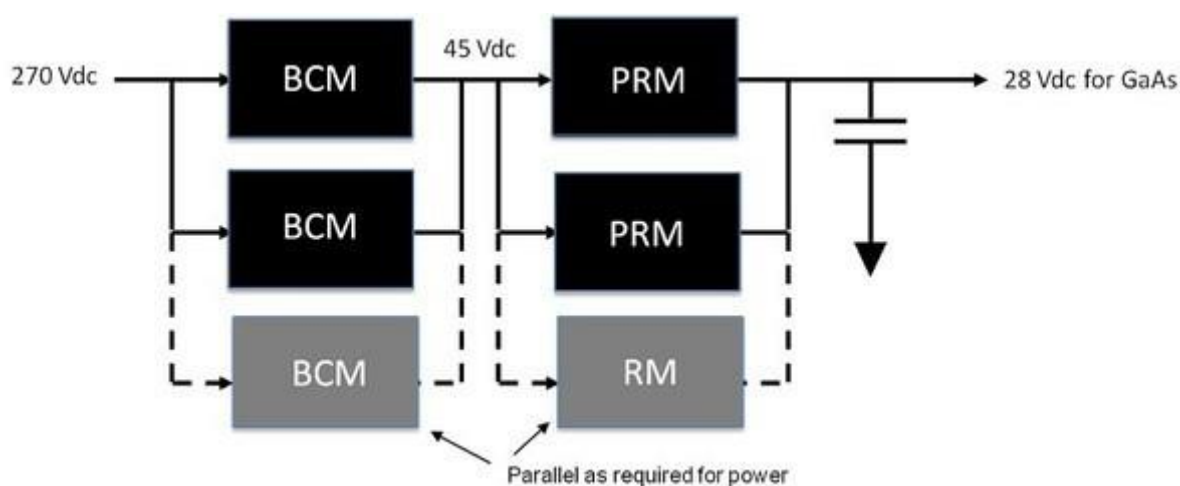


图 3： GaAs 发射器电源链

有效负载、GaAs 发射器都需要超过 200 瓦的功率。为了满足电力需求，需要将 BCM 模组和 PRM 模组并联至电源阵列，以提高输出功率。下面一段谈谈如何并联具有均流能力的 BCM 和 PRM。

BCM 和 PRM 模组可以组态超过 1 千瓦的电源阵列。

BCM 模组是一款隔离的非稳压 DC-DC 转换器模组，可藉由一个固定比 K 系数为 SELV 输出提供高电压输入。就这个特定零部件 (MBCM270x450M270A00) 而言，K 系数为 1/6，因此输出电压始终为输入电压的 1/6，270V 输入有 45V 输出。

PRM 模组是一款稳压的非隔离 DC-DC 转换器模组，可为负载提供稳压的电压。由于 PRM 输出电压可以微调，因此它可针对 GaAs 发射器调低至 28V。

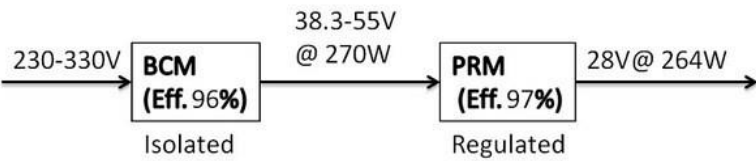


图 4： GaAs 发射器解决方案的效率

BCM 是一款隔离的非稳压 DC-DC 转换器。

PRM 是一款稳压的非隔离 DC-DC 转换器。

上一段已经提到，隔离和稳压并没有由 DC-DC 转换的每一级、或电源链中的单个 DC-DC 转换器重复，为的是获得更高的效率。

因此，藉由使用 BCM 和 PRM 模组，270V 至 28V DC-DC 转换的整体效率可达到 93.12%。

并联 BCM 和 PRM 的技术：

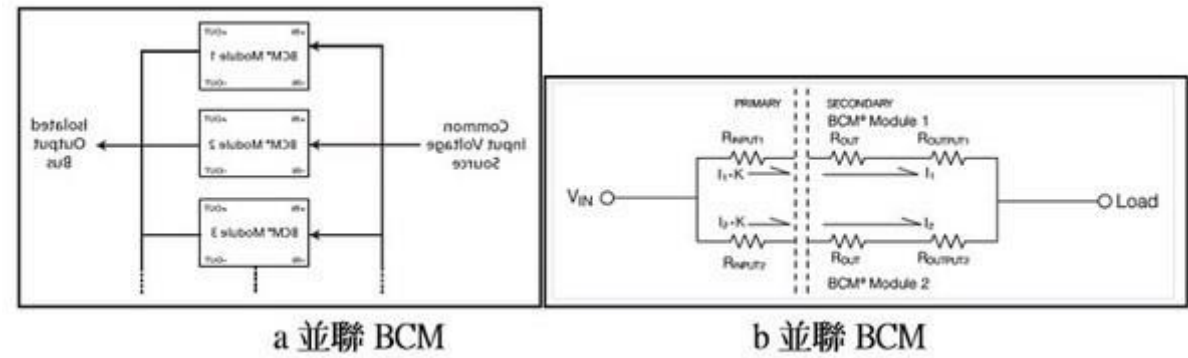


图 5

在并联 BCM 模组的同时，很容易连接每个 BCM 模组的输入和输出，从而可藉由阻抗匹配 (而不是并联信号) 来实现均流，如图 5a 和 5b 所示。并联 BCM 应考虑以下几点。

1. 藉由对称布局完成输入输出互连阻抗匹配，如图 5b 所示。
2. 均匀冷却使单个 BCM 模组温度彼此接近。
3. 每个 BCM 模组的启用/禁用信号 (PC 引脚) 都需要连接起来，在同一时间启动每个模组。

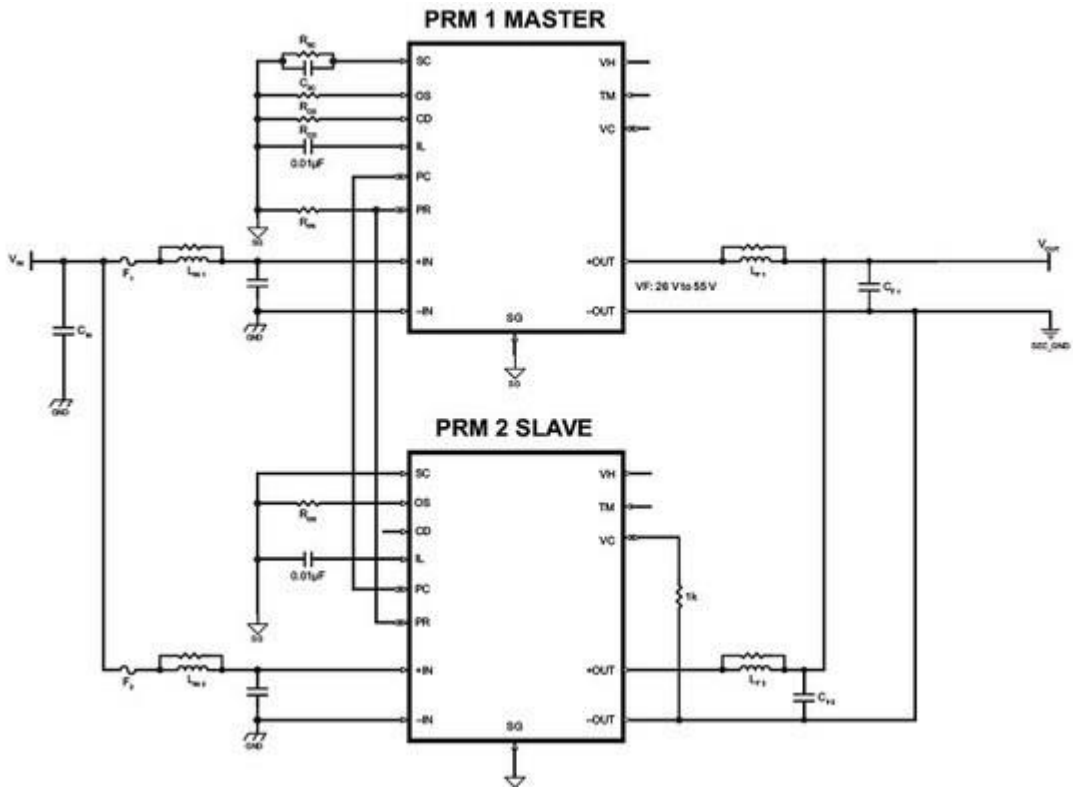


图 6： 并联 PRM

要并联 PRM 模组 (图 6)，需要使用并联信号 (PR 引脚) 来实现各个模组的均流，同时，具体模组的启用/禁用信号 (PC 引脚) 需要连接起来，以便同时启动所有模组。如图 6 所示，一个 PRM 模组可设置为一个电源阵列中的「主」，以驱动其它负责回馈和稳压的「从」PRM 模组。

正弦振幅转换器 (Sine Amplitude Converter, SAC) 拓扑结构：

母线转换器模组 (BCM) 采用 SAC 拓扑结构，从而可实现优异的效率和功率密度。

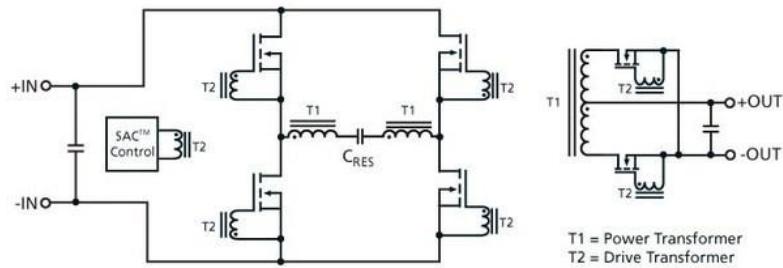


图 7：SAC 转换器

SAC 拓扑结构是一个处于 BCM 模组核心位置的动态、高效能引擎。

SAC 是基于变压器的串联谐振拓扑结构，在等于初级侧储能电路谐振频率的固定频率下工作。初级侧的开关 FET 锁定为初级的自然谐振频率，在零交叉点开关，从而可消除开关中的功耗，提高效率，显著减少高阶杂讯谐波的产生。初级谐振回路是纯正弦曲线 (图 7 所示)，从而可减少谐波内容，提供更干净的输出杂讯频谱。由于 SAC 的高工作频率，可使用较小的变压器来提高功率密度和效率。

**ZVS 降压-升压拓扑结构：**

PRM (前置稳压器模组) 采用一个专利降压-升压稳压器控制架构来提供高效率升压/降压之稳压。

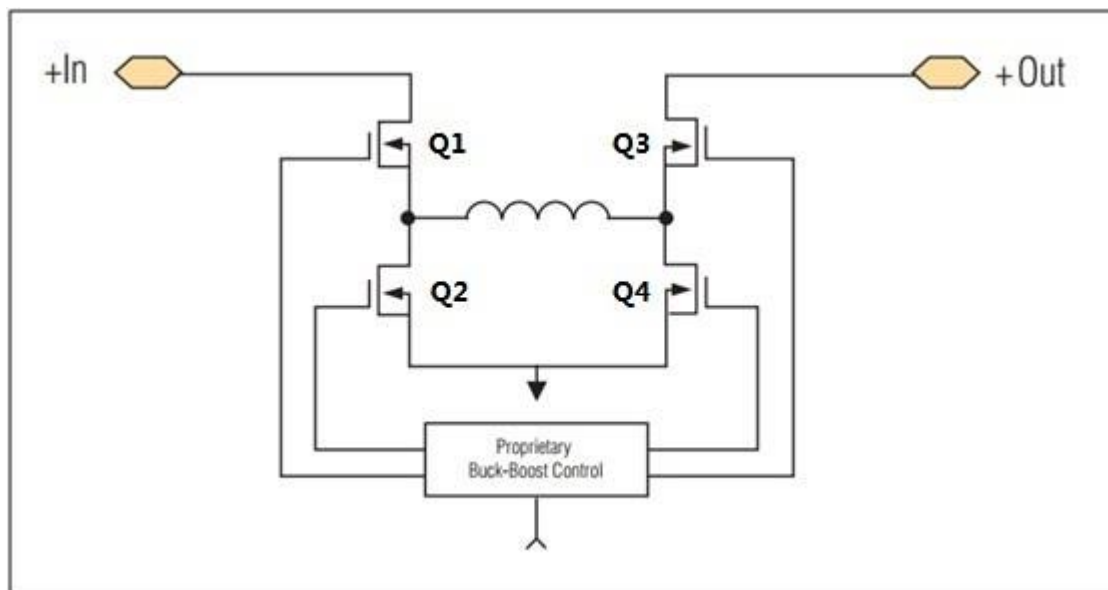


图 8 : ZVS 降压-升压

PRM 在固定开关频率下工作，通常为 1 MHz (最大值为 1.5 MHz)，它还具有提高输出功率的并联能力。ZVS 降压-升压开关顺序是相同的，无论它是降压还是升压。

ZVS 降压-升压拓扑结构有四级。

- Q1 和 Q4 导通可在变压器内储存能量，然后藉由 Q3 进行 ZVS 转变
- Q1 和 Q3 导通可提供从输入到输出的路径，然后藉由 Q2 进行 ZVS 转变
- Q2 和 Q3 导通可进入自由轮转级，然后藉由 Q4 进行 ZVS 转变
- 在钳制阶段 Q2 和 Q4 导通，可藉由 Q1 进行 ZVS 转变
- 完成 4 级之后，就是一个循环。

#### 28V / 270V 输入源到多路输出 DC-DC 转换:

航空、资料链、雷达以及飞控系统等有效负载都需要包括 15V、12V、5V、3.3V 在内的广泛电压，因此需要下游 DC-DC 转换器或 niPoL 提供所需的电压作为有效负载的多路输出。

除了整流器，还有非稳压、非隔离 270VDC 电源，其可藉由 MIL-COTS DCM DC-DC 转换器和 Picor ZVS 降压稳压器提供给隔离、稳压的多路输出。

在第一级，MDCM DC-DC 将一个非稳压输入 (28V 或 270V) 转换为一个隔离、稳压的 28V 电压，然后藉由下游非隔离式 ZVS 稳压器转换为多路输出。

在后一级，Coop Power ZVS 降压稳压器将 28V 转换为负载所需的电压。

DCM 是一款隔离、稳压的 DC-DC 转换器。

ZVS 降压稳压器是一款稳压、非隔离的 DC-DC 转换器。

在上一段已经提到，为了有更高的效率，隔离和稳压不会重复。

虽然稳压是由 DCM 和 ZVS 降压稳压器重复进行的，但由于 ZVS 降压稳压器的高效率，从高压到所需电压的整体效率可以达到 90%以上。

### **ChiP—转换器级封装：**

DCM DC-DC 转换器藉由突破性封装技术—转换器级封装 (ChiP) 技术进行封装。

为了实现更高的功率效率、功率密度和设计灵活性，功率组件封装技术必须持续改良，因此，ChiP 的推出可优化电气和热效能。

ChiP 产品的设计在 PCB 两面都有功率组件，可减少寄生导致的损耗，从而不仅可对整个封装均匀彻底地散热，而且还可利用顶部和底部表面进行散热。

ChiP 产品封装在热增强型模压化合物中，不仅可降低温差，而且还可为便捷使用热管理配件 (散热器、冷板和热管等) 提供平整的模组顶部和底部表面。

### **ZVS 降压拓扑结构：**

除了一个连接在输出电感器两端的新增钳制开关外，ZVS 降压拓扑结构与常规降压转换器完全相同。新增的钳制开关允许将存储在输出电感器中的能量用于实现零电压开关。



ZVS 降压拓扑结构的时序，它主要由以下三个状态组成。

– Q1 导通阶段

o 假设 Q1 在共振跃迁后在近乎零电压下接通。当 DS 电压几乎为零时，Q1 在零电流下接通。MOSFET 和输出电感器中的电流逐渐升高，准时达到由 Q1 决定的峰值电流。在 Q1 导通阶段，能量储存在输出中，可为输出电容器充电。在 Q1 导通阶段，Q1 中的功耗是由 MOSFET 导通电阻决定的；开关损耗可以忽略不计。

– Q2 导通阶段

o Q1 迅速关断，接着是一个很短时间的本体二极管导通，这增加了可以忽略不计的功耗。接下来，Q2 接通，储存在输出电感器中的能量提供给负载和输出电容器。当电感器电流达到零时，同步 MOSFET 保持很长时间，其时长足以在输出电感器中储存一些来自输出电容器的能量。电感器电流稍微变为负值。

– 钳制阶段

o 一旦控制器确定有足够的能量储存在电感器中，同步 MOSFET 就会关断，而且钳制开关就会接通，将 Vs 节点钳制至输出电压。钳制开关可将输出电感器电流与输出隔离开来，同时还能够以几乎无损耗的方式按照电流形式循环储存的能量。在钳制阶段，由输出电容器提供的输出在该阶段持续很短时间。

o 当钳制阶段结束时，钳制开关就会打开。输出电感器中储存的能量会与 Q1 和 Q2 输出电容产生谐振，导致 Vs 节点向输入电压发出响铃。

o 该响铃可对 Q1 的输出电容进行放电，减少 Q1 的米勒电荷，并可为 Q2 的输出电容充电。当 Vs 节点几乎等于输入电压并采用无损方式时，就允许 Q1 接通。

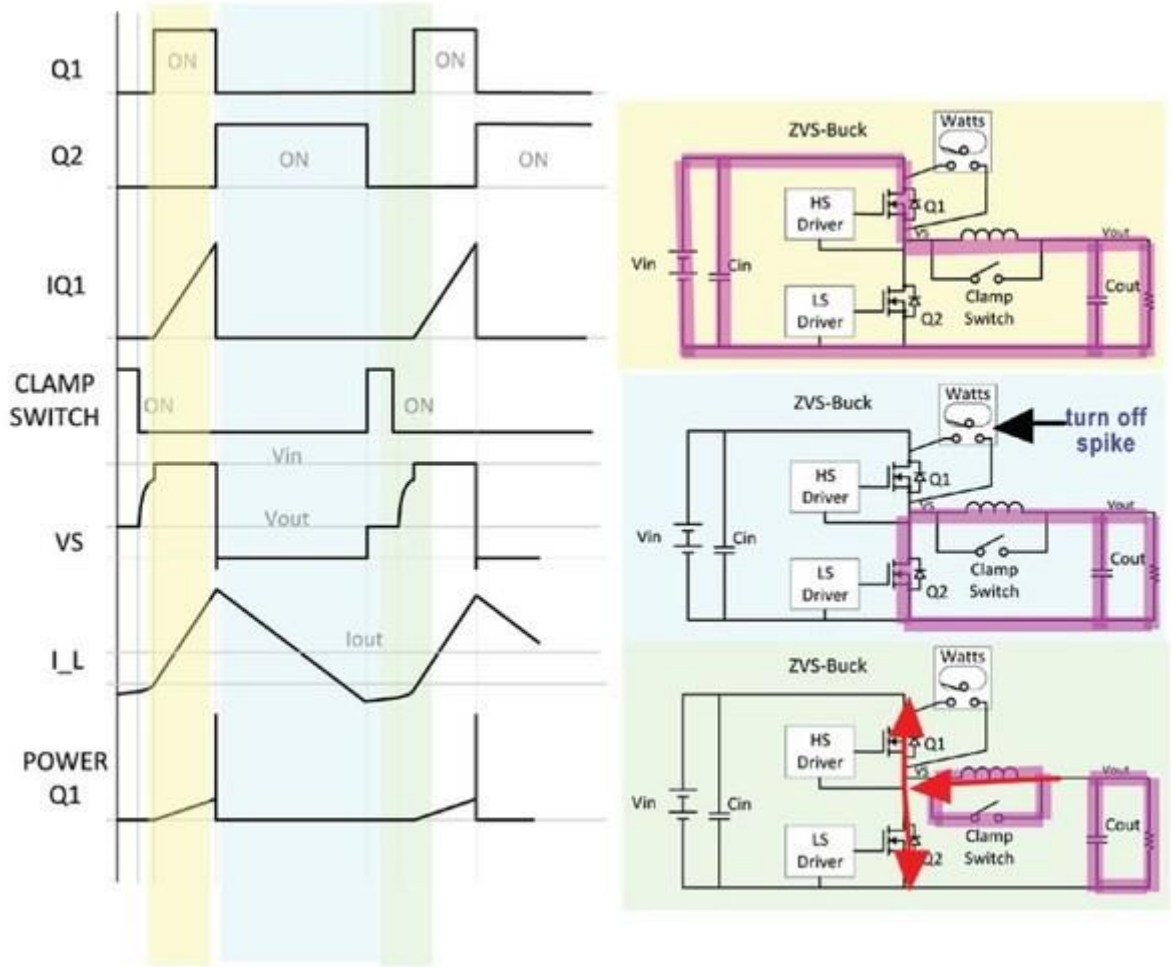


图 9： ZVS 降压时序图

## 无人机的军用标准

在一些无人机应用中，需要满足 MIL-STD-461 MIL-STD-704/1275 等军用标准，其分别代表 EMI 和瞬态。

此外，Vicor 还提供滤波器模组和兼容型 Vicor DC-DC 转换器来实现各种合规性。

Vicor 滤波器模组不仅可充分满足特定军用标准要求，同时还能与兼容型 Vicor DC-DC 模组搭配使用。

## 无人机资料链的电源解决方案：

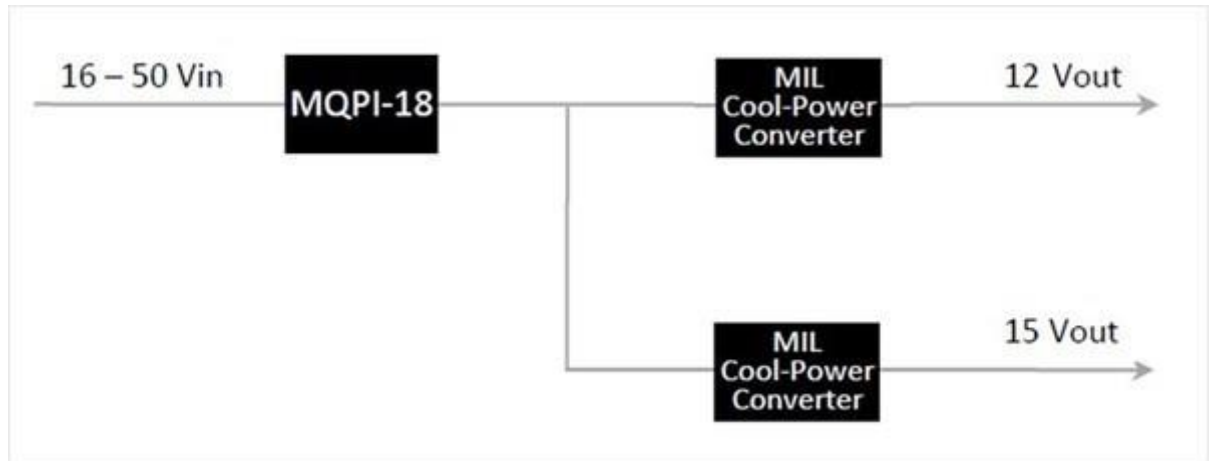


图 10 ： 无人机资料链解决方案

对于无人机资料链解决方案，Picor 滤波器模组 (MPQI-18) 和 DC-DC 模组 (Cool-Power P I31xx) 可用来为 12V 和 15V 电压提供 50W (总共 100W) 功率，符合 MIL-STD- 461E EMI 标准。

MQPI-18 是一款采用 LGA 封装 (25×25×4.5 毫米，2.4G) 的滤波器模组，用来满足 MIL-STD-461E 的 EMI 要求。

军用级 Cool-Power DC-DC 转换器采用 PSiP (22×16.5×6.7mm，7.8g) 封装，用来为所需的电压提供宽泛的输入 (16-50V)。

采用 Picor 滤波器模组和 DC-DC 转换器模组的解决方案符合 MIL-STD461E 标准，不是大尺寸的被动组件，可为无人机资料链及其它设备提供高密度电源解决方案。

## 结论

采用 Vicor 模组化电源解决方案，可以使无人机电源系统的设计具有体积小、重量轻和高密度的特点，从而可携带更多有效负载，执行更多任务。

此外，Vicor 还将提供创新、高效能和良好品质的电源组件/解决方案，为客户提供极大的竞争优势。