

# 通信电源应用的直流/直流变换器拓扑结构选择

作者:Haachitaba Mweene 和 Donald Ashley, 美国国家半导体公司

现代通信电源模块(砖型)中使用的直流/直流变换器,中低功率应用(15W~100W)通常是使用低成本单端正激或反激拓扑结构设计的,而推挽式、半桥和全桥拓扑结构在较高功率的应用(100W~1000W+)中比较流行。

新出现的混合拓扑结构,例如降压馈电推挽变换器(与推挽隔离级相联的高电压降压级),具备可在各种功率变换应用中使用的优点。一种称为中间总线结构(IBA)的最新通信分布式总线标准,使用低成本的未调整(开环)中间总线变换器(IBC)将48V的通信总线转换为+12V中间总线,从而允许使用低成本的负载点(POL)模块简化主板对电源的要求。这些小型POL模块是最新开发的,由大多数模块电源制造商推出,采用单列直插式封装(SIP)和表面贴装器件封装(SMD),为需要多个低电压电源的系统负载供电提供了一种经济有效的方式。

另一方面,半导体供应商正在使OEM电源系统设计人员能够将低成本的紧凑隔离式电源作为POL模块的替代品,直接嵌入主板和线卡中。新型高度集成的高电压(100V)电源ASIC(例如,LM5030推挽PWM,和LM5041串联PWM控制器),可以使外部组件的数量最少化,以及使这些电源所需的印刷电路板面积最小化。

## 单输出 VoIP 电源变换器

Voice-Over-IP (VoIP) 直流-直流通信电源,通常在分布总线的前端使用单输出高功率变换器(典型值为250W~500W),以便将分布式电压范围从典型的36~72V减小到43V~57V。这为其后加载的所有下行变换器提供了单级安全隔离和故障保护,并且减少了滤波所需的成本高昂的大容量电容器,还保持了较窄的分布式总线的电压范围。

许多拓扑结构都可以直接应用于单输出VoIP变换器:反激、SEPIC、正激、半桥、全桥、推挽等。可以用于此的最简单的拓扑结构是反激变换器,但它有许多缺点。其中一点就是反激变换器中的输入和输出电流是不连续的,这导致较高的输入和输出纹波电流,使滤波成为问题。此时可以使用具有较大纹波电流额定值的陶瓷电容器,但它们较昂贵,特别是50V耐压的。铝电解电容器非常便宜,但需要很多这样的电容器才能达到合理的纹波电流额定值。用于这种场合的反激拓扑结构的另一个缺点是变压器比较大,因为它的铁心要流过直流量,并且MOSFET上的电压应力非常高。其他单端拓扑结构(例如,SEPIC和Cuk)也同样有这些缺点。

表 1. VoIP 变换器拓扑结构比较

	反激	正激	半桥	全桥	推挽
输入纹波电流	高	高	中度	中度偏高	中度
输出纹波电流	高	低	低	低	低
EMI 应力	$>V_{in}$	$>V_{in}$	$=V_{in}$	$=V_{in}$	$=2V_{in}$
高频驱动器	无	无	有	有	无

考虑到正激拓扑结构,除了具有连续输出电流的优点之外,它有与反激拓扑结构相类似的缺点,例如,较高的输入纹波电流、较高的MOSFET电压应力、在变压器铁心中具有直流量,另外,它需要额外的结构来使铁心复位。半桥、全桥和推挽拓扑结构都是交错式正激变换器的变体,可以在稍为增加复杂性和成本的情况下,减轻正激变换器带来的许多问题。

表 2. DSL 变换器拓扑结构比较

	多输出反激, 无续性滤波	多输出反激, 含续性滤波	推挽与同步降压滤波
输出电压定位	差	非常好	非常好
负载调整	差	非常好	非常好
交叉调整	差	非常好	非常好
效率	好	差	好
成本	低	中度	中度

与全桥拓扑结构相比，半桥拓扑结构具有一定的成本优势，只需驱动两个功率 MOSFET，而不是四个，但这优势被需要额外的总线分压电容器抵消了。半桥和全桥拓扑结构可以有效利用变压器铁流通量，但代价是需要下位和上位功率 MOSFET 驱动器。推挽变换器无需上位驱动器，但需要具有初级侧中心抽头的隔离变压器，这会增加成本，并使变压器设计和印刷电路板布局复杂化。全桥拓扑结构具备的优点是：FET 的最大电压应力仅仅等于输入电压 ( $V_{in}$ )，而推挽和正激拓扑结构的最大电压应力则是  $V_{in}$  的几倍。推挽变换器中 FET 的电压额定值是桥式变换器的两倍。FET 导通电阻 ( $R_{DSon}$ ) 比半桥变换器中的使用相同晶片尺寸的 FET 大四倍。但是半桥变换器将具有两倍的电流，因此，导通损耗保持相同，所以桥式或推挽变换器要产生等量的导通损耗所需的功率 MOSFET 的硅片面积（或成本）相同。

比较有效占空比的桥式变换器，半桥变换器的初级电流将是全桥变换器的两倍。但是全桥变换器需在每个初级电流路径中使用两倍的功率 FET。如果在全桥和半桥拓扑结构中使用相同的 FET，并且半桥拓扑结构每个桥臂上并联两个 FET，则两个桥式拓扑结构的 FET 导通损耗相同。请注意，对于桥式拓扑结构或推挽拓扑结构，当变换器中的初级侧 FET 占空比相等时，二次侧波形完全相同。

由于推挽变换器具有众多单端拓扑结构（例如，反激和 SEPIC）不具备的优点，并且由于与桥式拓扑结构不同的是，它无需对功率 MOSFET 进行电压位移高端驱动，所以它是 VoIP 应用的首选拓扑结构。

例如，LM5030 是一种 PWM 控制器，它提供了完整的电流模式 PWM 控制器，采用小型 10 管脚封装，通过集成大多数通常分散实施的电路功能，大幅简化了推挽变换器的设计。特点包括高电压启动调整器（14V~100V 输入），高速（总传播延迟 <100ns），双模式限流，双驱动器，热关机、软启动和斜率补偿。

图 1 给出了基于典型 LM5030 的 VoIP 变换器的示意图。输出电压是 50V (5A)，可以实现 90% 的效率，开关频率为 200 kHz。

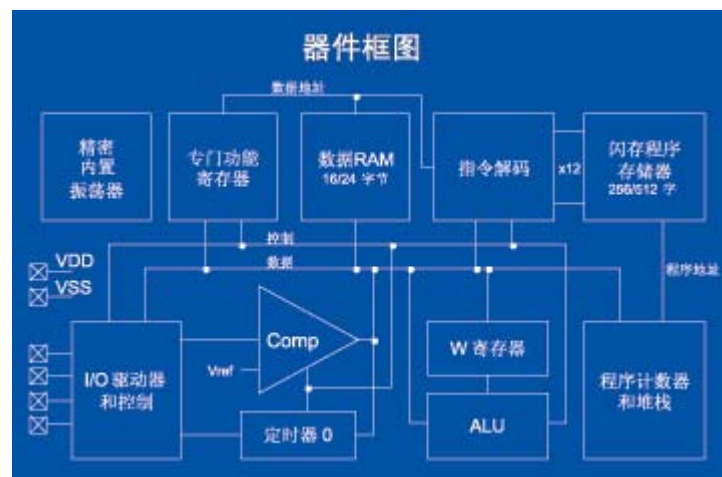


图 1，VoIP 应用中的推挽变换器

### 多输出 DSL 电源

在数字用户线路 (DSL) 应用中，将使用具有多输出变压器的更复杂的低功率（范围是 50W ~ 100W）电源。此电源可以将范围是 36 ~ 72V 的输入电压转换到 +/- 12V（对于模拟放大器和线路驱动器电源），以及 CPU、I/O、逻辑和高速数字 ASIC 电源（典型值为 +5V、+3.3V、+1.8V、+1.5V 等）。这些低电压输出需要严格的调整率，并且要求变换器的尺寸小，效率高。

多输出变换器的设计可以考虑采用多种拓扑结构，最简单的就是反激变换器，具有较低的实施成本的优点，但很难调整多个输出。通常，调整单个最关键的主输出，其他输出按照隔离变压器相应的匝数比进行交叉调整。此方法存在多种问题。尤其是，除了在调整回路中的输出以外，它非常难以在每一路输出端获得精确的电压，因为在设计多输出电源变压器时使用的匝数比只是近似值。此外，任何一路输出上的瞬态负载影响将反映在所有其他负载上。并且，由于各变压器绕组间存在漏电感，因此交叉调整的输出的负载调整率将比较差。这些问题可以通过将交叉调整的输出电压设置得稍稍大于所需值，并在这些输出上使用线性稳压器以设置精确的所需值来完全解决。但是此方法会以牺牲较大的效率为代价。另一个设计方法心（无直将是使用单独的直流/直流变换器来生成各种输出，但这比较复杂，且价格非常昂贵。

一种更好的设计方法是推挽级用作中间总线变换器 (IBC) 产生 12V 输出, 对输出多个精密低电压的一系列高效同步降压稳压器进行供电。

图 2 中显示了此类型的 50W 六输出 DSL 电源的示例。使用 LM5030 推挽变换器隔离并将 48V 输入转换至 +/-12V (每个 1A), +12V 输出经一对 LM5642 双同步控制器, 产生四个电压; +3.3V @ 2.6A、5V @ 1.2A、1.8V @ 1A 和 1.5V @ 7.7A。此结构可确保对所有输出进行有效稳压, 并且获得良好的总体效率。

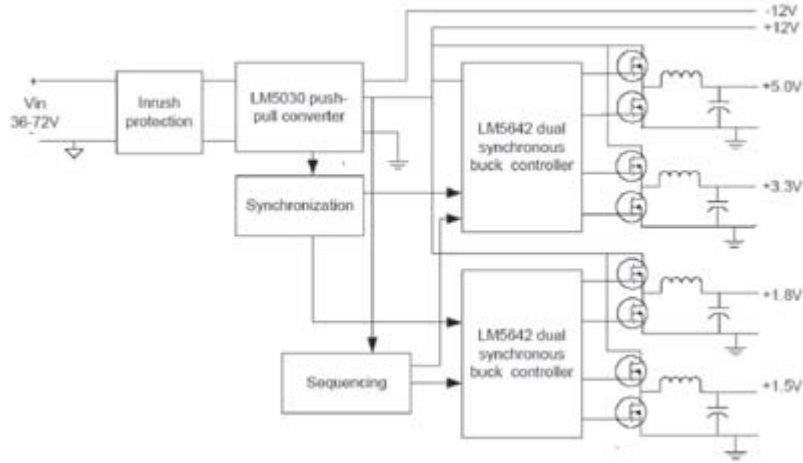


图 2, DSL 变换器：推挽 + 降压稳压器

### 多输出拓扑结构考虑因素 (电流馈电推挽变换器)

板安装多输出电源 (BMP) 可以与使用 IBC 和 POL 模块的全新通信分布式总线体系结构相媲美。单端反激和正激拓扑结构用于低成本的多输出电源模块中, 具有适度的效率和调整率规格。若以稍稍高一点的成本在多路输出上实现更高的效率和更好的交叉调整率, 可以使用串级变换器 (图 3)。通过取消使用输出滤波电感器和电流检测电阻器, 可以提高调整率和降低复杂度。

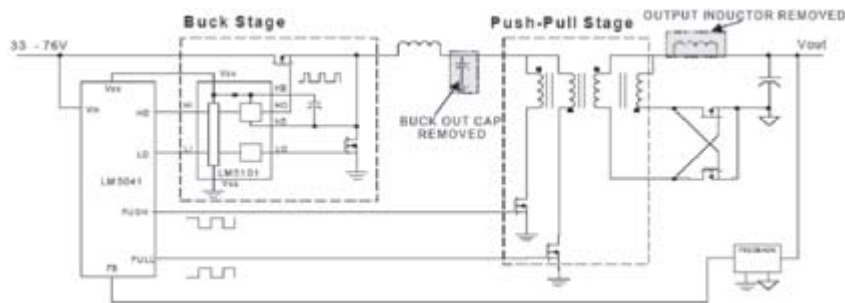


图 3, 电流馈电推挽变换器

串接的“电压馈电”降压和推挽是一种切实可行的设计方法, 但是, 可以移除几个大型元件, 同时仍然保持串级方法的所有性能优点。请注意, 在图 3 中, 我们使用了两个完整的 L-C 滤波器。其中可以去除降压级电容器和推挽级电感器, 并且真正实现多个优点。这里显示的是电流馈电串级降压级和推挽级。推挽级称为“电流馈电”, 因为只有降压电感器充当电流源, 馈送给推挽。在此情况下, 推挽开关需要在转换时具有非常小的重叠, 以维持电感器的电流路径。在电压馈电中, 需要一段很小的死区时间。

串级电流馈电推挽变换器输出电路与低成本的反激拓扑结构具有相同的优点, 因为无需输出滤波电感器。去除多路输出电感器不仅可以减少成本和设计的复杂程度, 而且通过消除电感器连接电阻引起的电压误差 (低电压、高电流输出的主要问题) 改善了交叉调整率。随着以 50% 的占空比持续驱动推挽变压器, 功率持续流向输出, 从而优化了变压器铁心利用率, 减少了元件应力 and 噪声。交叉调整率比正激拓扑结构中更好一些, 因为多路输出串级变换器上的滤波器电容器并联响应, 以提供瞬态负载功率要求。

作为串级拓扑结构的示例, LM5041 的四个控制输出包括: 降压级控制 (HD 和 LD) 以及推挽级控制输出 (PUSH 和 PULL)。推挽输出以 50% 的占空比驱动, 并且可以设置重叠时间 (对于电流馈电应用) 或死

区时间（对于电压馈电应用）。LM5041 包含 15V 到 100V 输入范围操作的高电压启用调整器。它设计用于高速功能，包括范围高达 1 MHz 的振荡器频率以及低于 100ns 的总传播延迟。

从 2002 年到 2008 年，由于电信需求不断扩展，推动电源装置出货量以每年 11.2% 的平均速度快速增长。我们面临的挑战是如何迅速地以较低的成本提供尺寸较小、功率密度更高、电流容量更高以及可靠性更高的器件。此外，电信和其他行业的新型电源控制技术间的沟壑不是很大。汽车行业转向采用 42V 标准，只比电信标准低几伏。军事/宇航和航空用电子设备一直采用 36V 总线，在其周围形成一系列电压尖脉冲，因此它们需要能够在 40V ~ 70V 范围内操作的电源组件。这使它自己适用于同一类型的电源变换控制器。我们可以预测，可以处理 30V ~ 100V 范围的电源控制器也将满足其他市场的需要。如果我们能采用最严格的可靠性标准服务于电信行业，则我们当然可以满足工业、汽车和其他高电压、高可靠性电源市场的要求。