

## 为节能式电源选择正确的拓扑

作者：飞兆半导体欧洲分公司功率转换和工业系统部门市场开发经理 Jon Harper

### 引言/摘要

世界各地有关降低电子系统能耗的各种倡议，正促使单相交流输入电源设计人员采用更先进的电源技术。为了获得更高的功率级，这些倡议要求效率达到 87% 及以上。由于标准反激式 (flyback) 和双开关正激式等传统电源拓扑都不支持这些高效率级，所以正逐渐被软开关谐振和准谐振拓扑所取代。

### 工作原理

图 1 所示为采用三种不同拓扑 (准谐振反激式拓扑、LLC 谐振拓扑和使用软开关技术的非对称半桥拓扑) 的开关的电压和电流波形。

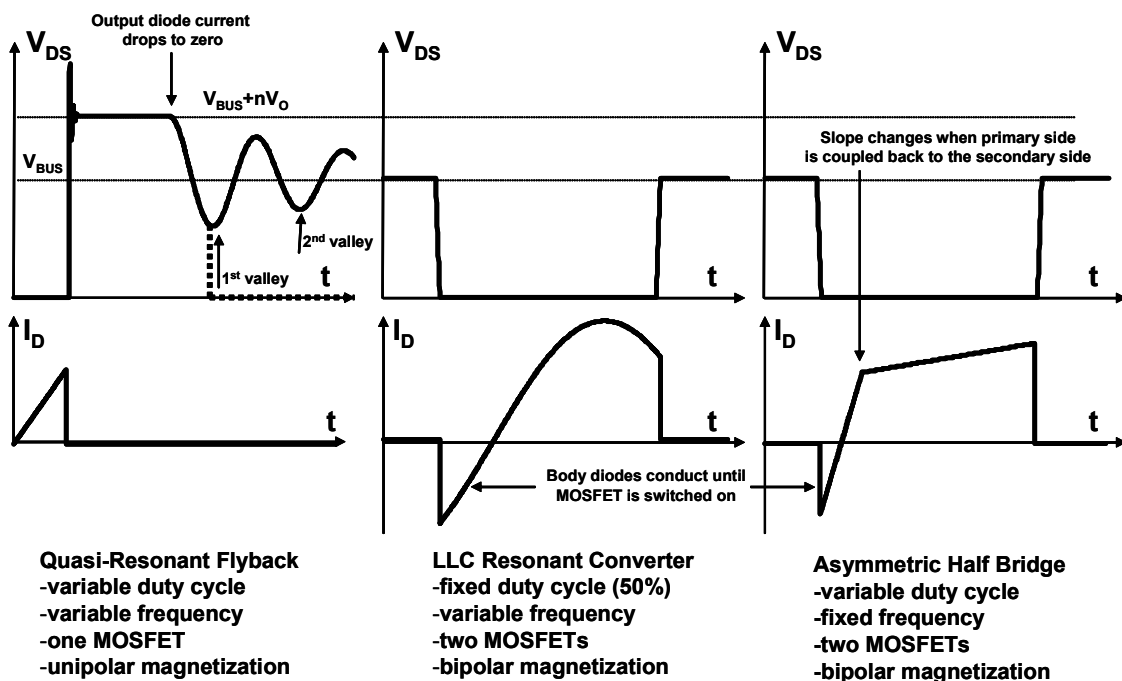


图 1: 准谐振、LLC 和非对称半桥拓扑的比较

这三种拓扑采用了不同的技术来降低 MOSFET 的开通损耗，导通损耗的计算公式如下：

$$P_{TurnOnLoss} = \frac{1}{2} V_{DS} I_D \cdot t_{ON} \cdot f_{SW} + \frac{1}{2} C_{OSSeff} V_{DS}^2 \cdot f_{SW}$$

在这一公式中， $I_D$  为刚导通后的漏电流， $V_{DS}$  为开关上的电压， $C_{OSSeff}$  为等效输出电容值(包括杂散电容效应)， $t_{ON}$  为导通时间， $f_{SW}$  为开关频率。

如图 1 所示，准谐振拓扑中的 MOSFET 在刚导通时漏极电流为零，因为这种转换器工作在不连续传导模式下，故开关损耗由导通时的电压和开关频率决定。准谐振转换器在漏电压最小时导通，从而降低开关损耗。这意味着开关频率不恒定：在负载较轻时，第一个最小漏电压来得比较早。以往的设计总是在第一个最小值时导通，轻负载下的效率随开关频率的增加而降低，抵消了导通电压较低的优点。在飞兆半导体的 e-Series™ 准谐振电源开关中，控制器只需等待最短时间(从而设置频率上限)，然后在下一个最小值时导通 MOSFET。

其它拓扑都采用零电压开关技术。在这种情况下，上面公式里的电压  $V_{DS}$  将从一般约 400V 的总线电压降至 1V 左右，这有效地消除了导通开关损耗。通过让电流反向经体二极管流过 MOSFET，再导通 MOSFET，可实现零电压开关。二极管的压降一般约为 1V。

谐振转换器通过产生滞后于电压波形相位的正弦电流波形来实现零电压开关，而这需要在谐振网络上加载方波电压，该电压的基频分量促使正弦电流流动(更高阶分量一般可忽略)。通过谐振，电流滞后于电压，从而实现零电压开关。谐振网络的输出通过整流提供 DC 输出电压，最常见的谐振网络由一个带特殊磁化电感的变压器、一个额外的电感和一个电容构成，故名曰 LLC。

非对称半桥转换器则是通过软开关技术来实现零电压开关。这里，桥产生的电压为矩形波，占空比远低于 50%。在把这个电压加载到变压器上之前，需要一个耦合电容来消除其中的 DC 分量，而该电容还作为额外的能量存储单元。当两个 MOSFET 都被关断时，变压器的漏电感中的能量促使半桥的电压极性反转。这种电压摆幅最终被突然出现初级电流的相关 MOSFET 体二极管钳制。

## 选择标准

这些能源优化方面的成果带来了出色的效率。对于 75W/24V 的电源，准谐振转换器设计可以获得超过 88% 的效率。利用同步整流(加上额外的模拟控制器和一个 PFC 前端)，更有可能在 90W/19V 电源下把效率提高到 90% 以上。在该功率级，虽然 LLC 谐振和非对称半桥转换器可获得更高的效率，但由于这两种方案的实现成本较高，所以这个功率范围普遍采用准谐振转换器。对于从 1W 辅助电源到 30W 机顶盒电源乃至 50W 的工业电源的应用范围，e-Series 集成式电源开关系列都十分有效。在此功率级之上，建议使用带外部 MOSFET 的 FAN6300 准谐振控制器，它可以提供处理超高系统输入电压的额外灵活性，此外，由于外部 MOSFET 的选择范围广泛而有助于优化性价比。

准谐振反激式拓扑使用一个低端 MOSFET；而另外两种拓扑在一个半桥结构中需要两个 MOSFET。因此，在功率级较低时，准谐振反激式是最具成本优势的拓扑。在功率级较高时，变压器的尺寸增加，效率和功率密度下降，这时往往考虑采用两种零电压开关拓扑。

系统设计会受到四个因素所影响：分别是输入电压范围、输出电压、是否易于实现同步整流，以及漏电感的实现。

图 2 比较了两种拓扑的增益曲线。为便于说明，我们假设需要支持的输入电压为 110V 和 220V。对于非对称半桥拓扑，这不是问题。在我们设定的工作条件下，220V 和 110V 时其增益分别为 0.2 和 0.4。在 220V 时，效率较低，因为磁化 DC 电流随占空比减小而增大。对于 LLC 谐振转换器来说，最大增益为 1.2，要注意的是满负载曲线非常接近谐振。0.6 的增益将导致频率极高，系统性能很差。总言之，LLC 转换器不适合于较宽的工作范围。通过对漏电感进行外部调节，LLC 转换器可以用于欧洲的输入范围，但代价是磁化电流较大；若采用了 PFC 前端，它的工作最佳。而非对称半桥结构在输入端带有 PFC 级，因此电路可工作在很宽的输入电压范围上。

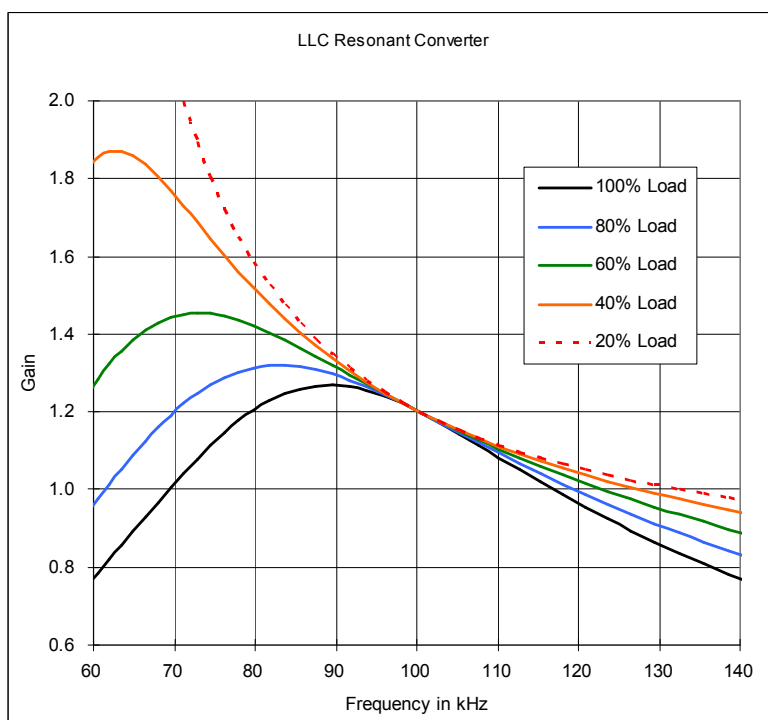
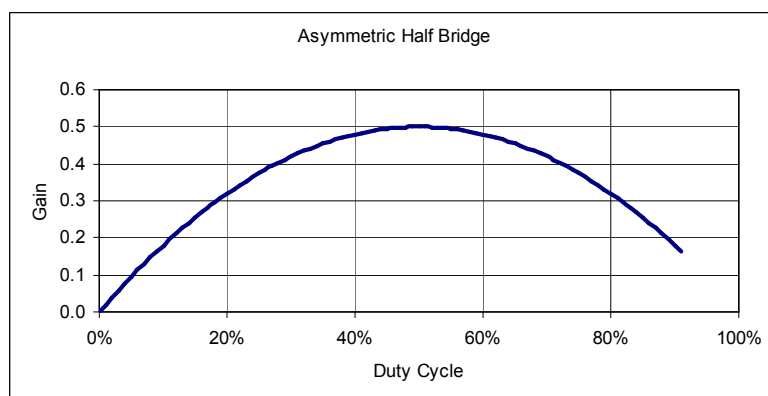


图 2：非对称半桥和 LLC 转换器的增益曲线

对于 24V 以上的输出电压，我们建议采用 LLC 谐振转换器。高的输出二极管电压会致使非对称半桥转换器效率降低，因为额定电压较高的二极管，其正向压降也较高。在 24V 以下，非对称半桥转换器则是很好的选择。因为这时 LLC 转换器的输出电容纹波电流要大得多，其随输出电压降低而变大，从而增加解决方案的成本和尺寸。

上述两种拓扑都可以采用同步整流。对非对称半桥拓扑，这实现起来非常简单 (参见飞兆半导体应用说明 AN-4153)。对 LLC 控制器，需要一个特殊的模拟电路来检测流入 MOSFET 的电流，如果开关频率被限制为第二个谐振频率 (图 2 中的 100kHz)，该技术是比较简单的。

最后，两种设计都依赖变压器的漏电感：在 LLC 转换器中用来控制增益曲线 (图 2)；而在非对称半桥转换器则用以确保轻载下的软开关。对于大多数应用，我们都建议采用两个单独的电感来达到此

目的。漏电感是变压器中不容易控制的一个参数。此外，要实现一个不同寻常的漏电感，需要一个非标准的线圈管，这增加了成本。对于非对称半桥结构，如果采用标准变压器，谐振开关速度至少是开关频率的 10 倍，从而产生更大的损耗。总之，对 LLC 转换器而言，建议再采用一个普通铁氧体电感；而对非对称半桥转换器，建议只使用一个高频铁氧体电感。

图 3 显示了非对称半桥转换器的电路示意图。该图非常类似于 LLC 谐振转换器，只有一点不同：LLC 谐振转换器不需要输出电感，以及非对称半桥控制器需要设置频率而非 PWM 控制。

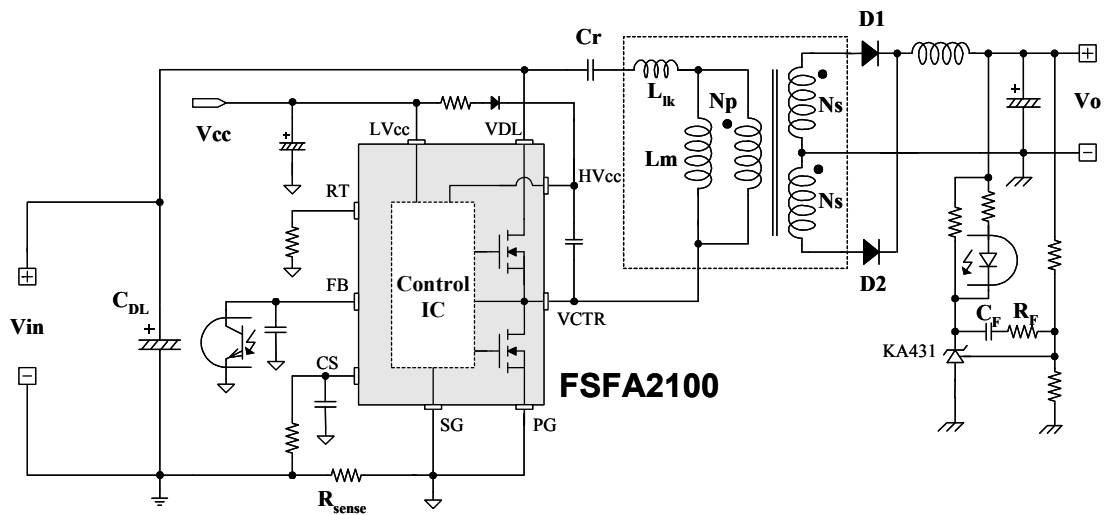


图 3：基于 FSFA2100 的非对称半桥转换器

192W/24V 非对称半桥转换器的效率在 93% 左右。AN-4153 360W/12V 倍流版在额定负载为 20%-100% 时也有超过 93% 的满载效率。

在包含 PFC 前端的 200W/48V 电源条件下，LLC 谐振转换器的效率在 93% 左右。通过同步整流，在该功率级下可以把效率提升至 95%-96%。

[http://www.fairchildsemi.com/apnotes/an\\_byfam\\_d6.html](http://www.fairchildsemi.com/apnotes/an_byfam_d6.html)