

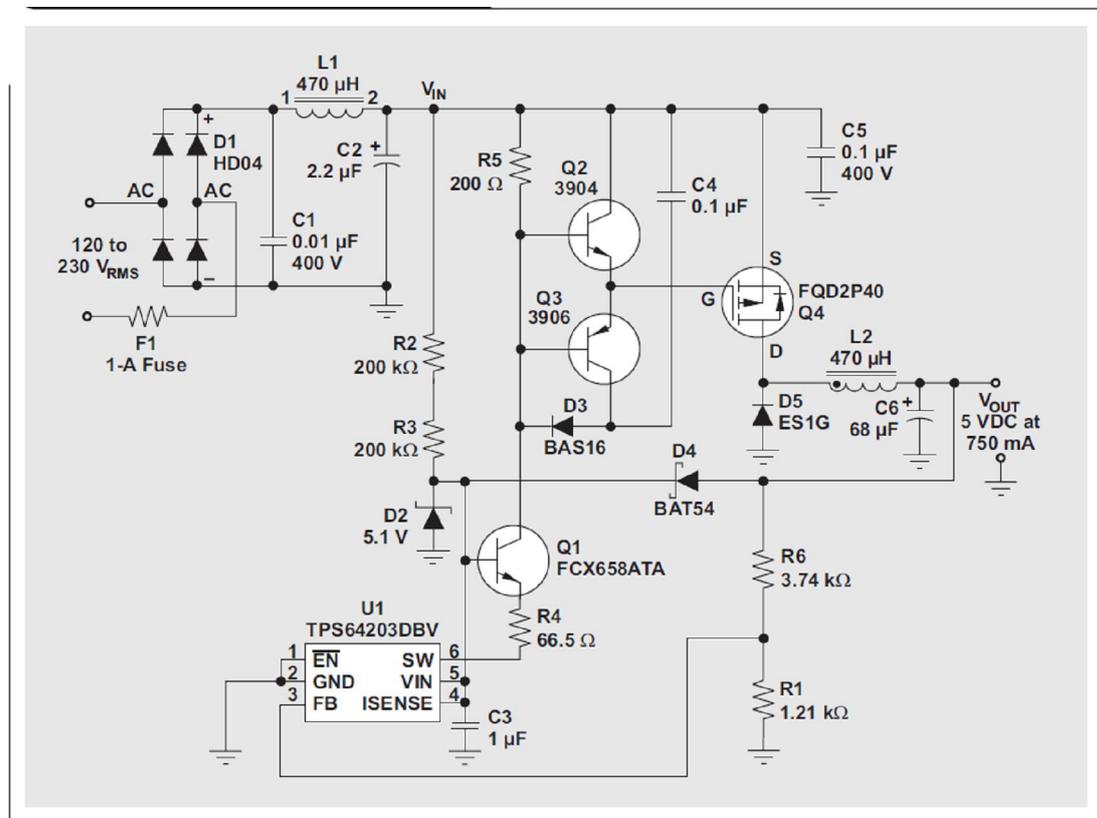
一款不带变压器的低成本、非隔离式 AC/DC 降压转换器

作者: **Jeff Falin** 德州仪器 (TI) 高级应用工程师和 **Dave Parks** TI 资深实验室研究员

基本降压转换器

TPS64203 是一款磁滞降压转换器, 专为驱动高端 pFET 而设计, 拥有最小导通和断开开关时间要求。传统的磁滞转换器有随负载电流变化的开关频率, 与不同的是, 最小导通和断开时间在转换器以高输出功耗电平在连续导通模式下运行时, 从根本上控制开关频率。TPS6420x 系列中的其他一些转换器可主动避免在声频范围内进行开关操作, 从而有效地获得最大导通和断开时间。TPS6420x 系列起初是为电池供电型应用而设计, 拥有 1.8V 到 6.5V 的输入电压范围, 以及非常低的静态电流 (最大为 35 μ A)。在启动期间, TPS64203 被齐纳二极管 D2 以及高压电阻 R2 和 R3 偏置。5-V 电压轨上升以后, 肖特基二极管 D4 允许 5-V 输出轨驱动控制器。

图 1 AC/DC 降压转换器电路



功率 FET Q4 必须具有足够高的 V_{DS} 电压额定值, 以使其不会被输入电压损坏, 同时还要有足够高的电流额定值, 以处理 $I_{PMOS(RMS)} = I_{OUT(max)} \times \sqrt{D_{max}}$ 。它的封装还必须能够驱散 $P_{Cond} = (I_{OUT(max)} \times \sqrt{D_{max}})^2 \times R_{DS(on)}$ 。一般来说, 高压 P 通道 FET 有一个过大的栅极电容或者导通/断开时间, 过高的漏-源电阻

($R_{DS(on)}$), 过大的阈值电压 (V_{TH}), 以和/或制造图 1 所示实际电路时的过高成本 (即足够的成本效益)。由于 $230 V_{RMS} + 10\%$ 容差的高压线来自 $350-V_{PK}$ AC 线, 因此 FET、滤波器和输入电容需要根据 $400V$ 设定额定值。

FQD2P40 相对较新, 即 $400-V$ P 通道 MOSFET。利用 $10-V$ 栅极驱动的 5.0Ω $R_{DS(on)}$ 以及小于 $13nC$ 的总选通电极充电, 借助于由 Q2、Q3、C4 和 D3 组成的创新驱动电路, 该 FET 可轻松地通过控制器开关拥有比老式 FET 相对更少的导电和开关损耗。我们选择转换器的整流肖特基二极管 D5, 因为它拥有可阻止输入电压的电压额定值、稍高于输出电压的峰值电流额定值, 以及 $I_{Diode(Avg)} = (1 - D) \times I_{OUT(max)}$ 的平均电流额定值。利用 D_{max} of $5 V/120 V = 0.04$ 以及如此低的输出功率, 峰值电流额定值和功耗在两种开关中都不成问题。

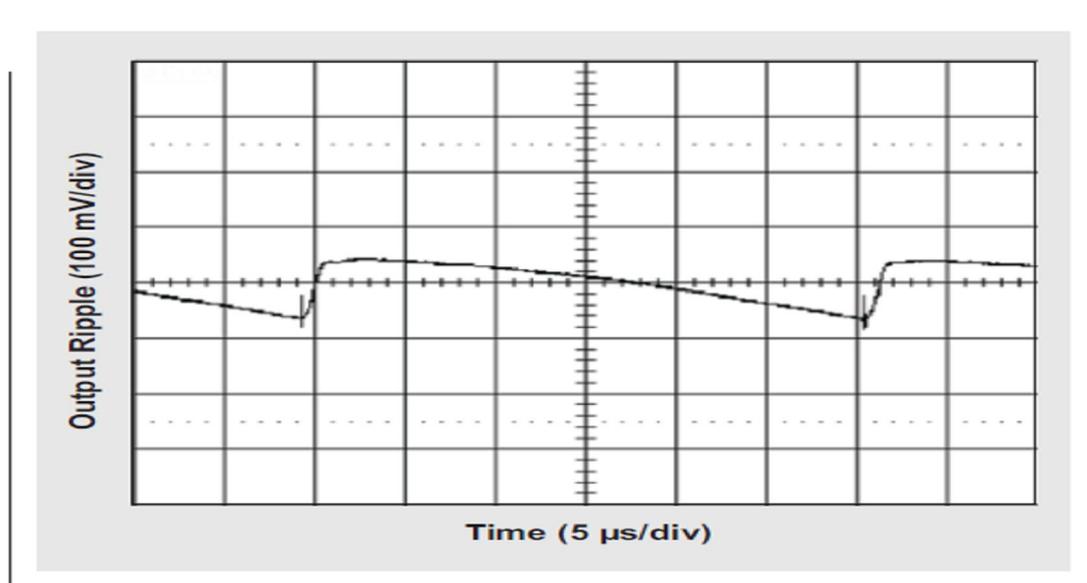
降压功率级的 LC 滤波器如 TPS6420x 系列产品说明书中介绍那样设计。利用高于输出电压的输入电压, 所有 TPS6420x 控制器将运行在最小导通时间模式下。方程式 1 计算高线压下的建议降压转换器电感, 其假设电感纹波电流系数的 $K=0.4$ 。

$$L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times t_{on(min)}}{\Delta I_L} = \frac{(230 V - 5 V) \times 0.65 \mu s}{0.4 \times 0.750 A} \quad (1)$$

$$= 488 \mu H \rightarrow 470 \mu H$$

相对较高的 K 值最小化了电感值, 并且经证明是可以接受的, 因为这种特殊应用的稳态输出纹波要求小于 $0.02 \times V_{OUT}$, 即高负载时的 $100mV_{PP}$ 。磁滞回, TPS6420x 控制器一般在输出电压有一些纹波时工作效果最佳。我们建议使用至少 $50-m\Omega$ ESR 的输出电容可产生 $\Delta V_{PP(ESR)} = \Delta I_L \times R_{ESR}$ 的纹波电压, 其一般远超出电压纹波的电容分量。图 2 显示了该应用的测得纹波。

图 2 $V_{IN}=250 VDC$ 和 $I_{OUT}=500mA$ 的输出纹波



由于 TPS64203 为磁滞型，因此在其运行在脉冲频率模式下时，其输出电压在更低输出功率下将会有更高的纹波。测得转换器的工作频率约为 32 kHz，其与下列预计值一致：

$$f_{\text{SW}} = \frac{D_{\text{min}}}{t_{\text{on}(\text{min})}} = \frac{5 \text{ V}/250 \text{ V}}{0.65 \mu\text{s}} = 31 \text{ kHz.}$$

驱动电路如何工作

双极型晶体管 Q1 和电阻 R4 及 R5 构成一个恒流驱动的电平位移器，其允许低压 TPS64203 控制器操作由 Q2 和 Q3 构成的离散式栅极驱动电路。同控制器一样，电平位移器在启动时由齐纳二极管 D2 驱动，而在启动以后经调节的 5-V 轨则通过肖特基二极管 D4 驱动。功率 FET Q4 的栅极必须刚好过驱动，以为要求输出电流提供可接受的 $R_{\text{DS(on)}}$ 。驱动过多会增加开关损耗，而驱动过少又会增加传导损耗。查看 FQD2P40 产品说明书，并检查一些实验和误差后，我们选择了 $V_{\text{GS}} \approx 12 \text{ V}$ 。

电容 C4 和二极管 D3 对驱动电路的功能至关重要。我们选择电阻 R5 来将 12V 栅极驱动电平设置在整流器输出电压以下。二极管 D3 将电容 C4 限定在这一电平。特别是，当 U1 的开关引脚输出一个低信号来开启功率 FET 时，信号被电平移到 Q3 的基极。晶体管 Q3 开启，并快速地将 Q4 的栅-源电容 C_{GS} 充电至 12V。如果没有 C4 和 D3 的话，关闭 Q4 会让 Q3 成为一种漏极接地的昂贵的高压双极型晶体管。当 U1 的开关引脚输出一个高信号来关闭功率 FET 时，该信号被电平位移至 Q2 的基极。Q2 开启，有效地将 Q4 的栅极与输入电压连接。在没有起到本地电源作用的电容 C4 的情况下，晶体管 Q2 和 Q3 无法提供快速（且因此而高效地）上拉或下拉 Q4 栅极电容所必需的快速电流峰值，注意到这一点很重要。另外，由 R4 设定的电平位移器电流 I_{LS} 必须足够高，以在 $t_{\text{on}(\text{min})}$ 期间移动 Q4 的栅极电荷 Q_{Gate} 。也就是说：

$$\frac{I_{\text{LS}} = V_{\text{Z}(\text{D4})} - V_{\text{BE}}}{R4} \gg \frac{Q_{\text{Gate}}}{t_{\text{on}(\text{min})}}.$$

电容 C4 值设定大于 Q4 的栅极电容，但其必须足够的小，以便在更短控制器最小导通与断开时间期间能够得到再充电。图 3 显示了 300V 和 500-mA 负载输入电压下，一个开关周期的栅极和漏极导通/断开时间。表 1 显示了测得的转换效率。

图 3 一个开关周期的 Q4 栅极和漏极电压

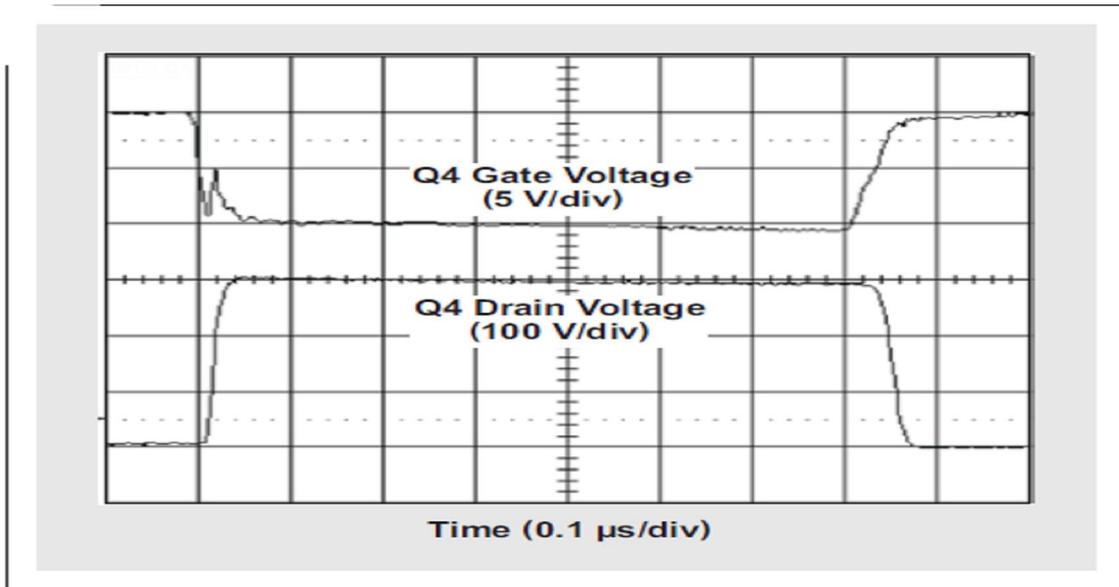


表 1 测得的转换效率

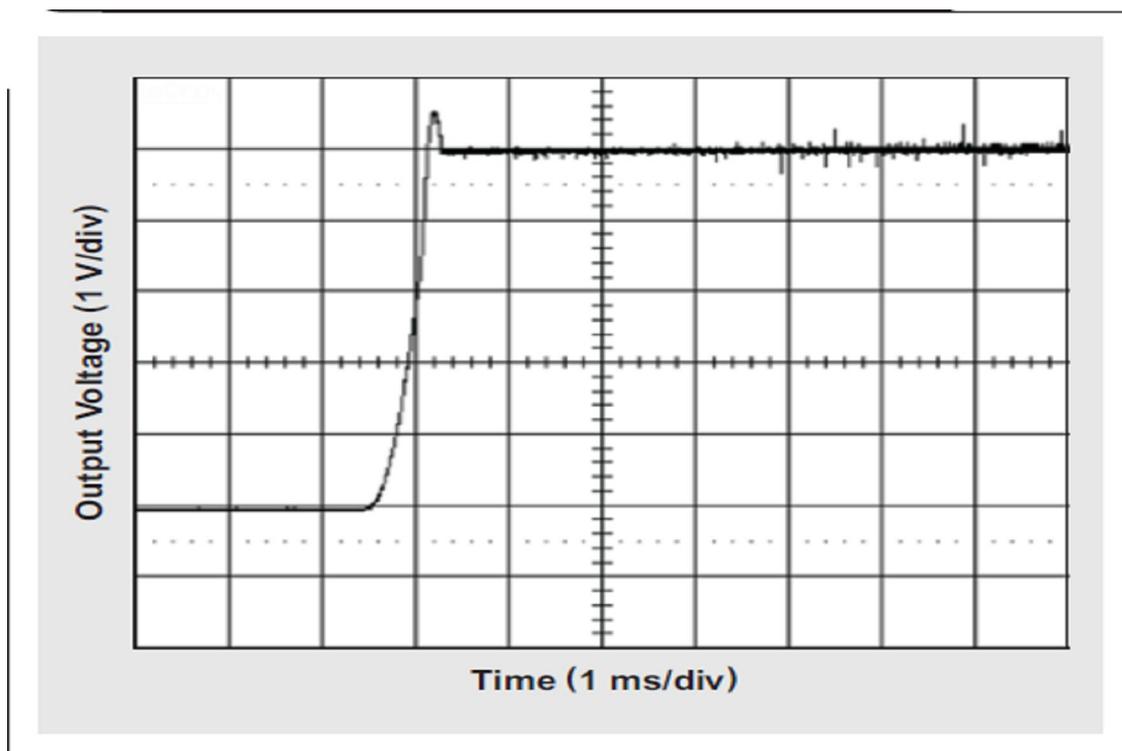
V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	P_{IN} (W)	I_{OUT} (A)	V_{OUT} (V)	P_{OUT} (W)	EFFICIENCY (%)
100	0.043	4.3	0.5	5.023	2.5115	58.40698
200	0.021	4.2	0.5	5.023	2.5115	59.79762
300	0.015	4.5	0.5	5.023	2.5115	55.81111
100	0.066	6.6	0.75	5.023	3.76725	57.07955
200	0.031	6.2	0.75	5.023	3.76725	60.7621
300	0.022	6.6	0.75	5.023	3.76725	57.07955

电流限制与软启动

在许多低压应用中，TPS6420x 使用一个高端限流电路，旨在将安装在 V_{IN} 和 I_{SENSE} 引脚之间的电流检测电阻的压降同基准参考电压进行对比。如果检测电阻的电压超出该电压，则电路关闭开关，从而实现逐脉冲电流限制。高压应用中， I_{SENSE} 引脚上没有过电压时无法使用限流电路，因此 I_{SENSE} 引脚高位连接 (tied high) 至 V_{IN} 。所以，图 1 所示电路没有电流限制。我们推荐使用高端保险丝来提供短路保护。

在一些典型的启动应用中，TPS64203 限流值慢慢上升，以提供限流的受控软启动。在这种应用中，限流电路和软启动均无效；因此，启动浪涌电流会很大，而输出电压会稍稍过冲，如图 4 所示。

图 4 $V_{IN}=300V$ 时 $10-\Omega$ 负载启动



重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息:

产品

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/optical network
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated