

50% 以上占空比降压转换器 下坡 (Downslope) 补偿

作者: John Bottrill,
德州仪器 (TI) 高级应用工程师

50% 以上占空比脉宽调制 (PWM) 降压转换器的电流模式控制 (CMC) 可能会进入次谐波振荡。Lloyd H Dixon 在《参考文献 1》中对此做了详细的论述。Dixon 表示, 这种解决方案给电流检测信号增加一个斜率, 其等于输出电感电流的下斜率。需将该额外电压加入要求计算过程中, 以便选择正确的电流检测电阻器。

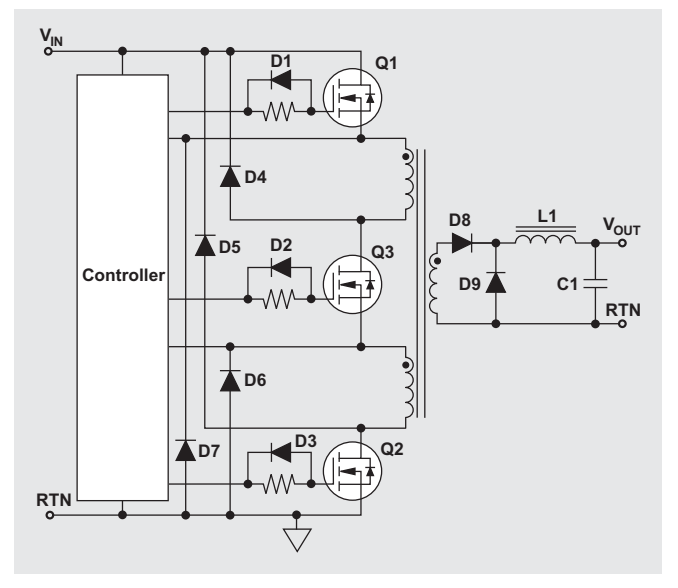
输出电感占空比大于 50% 的推挽式转换器、相移全桥转换器或者任何正向转换器, 都是一些需要这种补偿的拓扑结构。但是, 为了方便演示, 本文选择的拓扑是一种人们相对不熟悉的拓扑结构: 三开关正向转换器。请参见图 1 所示电源部分基本原理图。尽管这种拓扑的专利权归 TI 所有, 但电路中使用 TI 控制 IC 时都可以使用。

这种拓扑拥有许多优点, 特别是输入电压范围为手机电池的 36 到 72 V 时。拓扑的最大占空比为 67%, 从而将设计限定在 67% 最小输入电压时的最大占空比。与此同时, 关闭时主开关的电压被限定为电源轨输入电压。这就意味着, 低压 FET 会与其相应低 $R_{DS(on)}$ 电阻一起使用。这种拓扑还提供了一种恢复电源变压器和主侧漏电感中磁能的方法, 从而不再需要高损耗的缓冲器。

这种转换器设计在许多其他方面都与降压拓扑结构一样, 但是占空比必须限定在 67%, 以避免出现变压器饱和。通过选择一个具有编程最大占空比的控制 IC (例如: UCC2807-1 等), 可以实现这种限制 (见《参考文献 2》)。由于这种控制器具有要求的占空比限制功能, 因此它是这种应用的首选。所以, 本文使用了这种控制器, 利用其各种特性进行分析。

下面的分析均假设有一个 100W、3.3V 输出的理论开关电源。该电源流过输出电感的最大峰值到峰值纹波电流等于 30A 最大输出 DC 负载电流的 10%, 而输入电压范围为 36V 到 78V 之间。另外, 我们还假设 0.5V 正向压降 V_{fd} 的同步整流器用于输出。第一步是确定变压器的匝数比。最小输入电压时, 占空比处在最大极限 (67%)。利用下列方程式可计算出变压器输出端需要的电压。

图 1 三开关正向拓扑



$$\frac{V_{OUT} + V_{fd}}{D_{max}} = \frac{3.3 \text{ V} + 0.5 \text{ V}}{0.67} = 5.672 \text{ V} \quad (1)$$

如果假设变压器一次绕组电压为 36V, 则匝数比 (N_p) 为 6.147, 因此会使用 6 匝的一次绕组。一次绕组被分成两部分, 每部分 3 匝 (参见图 1)。标准方法是, 把二次绕组夹在两个分拆开的一次绕组之间, Q3 也放置在它们两个之间。输入为 78V 时, 变压器输出电压为 12.3V, 从而得到约 31% 的最小占空比 D_{min} 。因此, 最大“关闭”时间等于

$$\frac{1 - D_{min}}{f_{sw}}$$

其中, f_{sw} 为 200kHz 的计划开关频率。达到 10% 理想峰值到峰值纹波电流的最小输出电感 (图 1 所示 L1) 为:

$$L_{OUT} = \frac{(V_{OUT} + V_{fd}) \times (1 - D_{min}) / f_{sw}}{I_{OUT} \times 0.1} \quad (2)$$

通过计算得到，方程式 2 中输出电感为 $4.33 \mu\text{H}$ 。为了设计方便，我们使用 $4.5 \mu\text{H}$ 。使用该值以后，可以计算得到输出电感的下降电流 I_{ds} 为：

$$I_{ds} = \frac{V_{OUT} + V_{fd}}{L_{OUT}} \quad (3)$$

通过计算得到，电感的下降电流 (I_{ds}) 为 $0.844 \text{ A}/\mu\text{s}$ 。

同时还得到，最大输入电压时输出电感的峰值电流为：

$$I_{OUT} + 0.5 \times (I_{OUT} \times 0.1),$$

由于最大峰值到峰值纹波电流被定义为 10% 输出电流，该电流经过平衡后得到额定 DC 输出。所得峰值电流为 31.884 A 。

最小输入电压时，确定 L_{OUT} 的差动电压是可能的。由此，我们可以知道输出电感的变化速率为 $0.489 \text{ A}/\mu\text{s}$ 。

知道占空比和频率后，便可以计算出输出电感中电流增加的时间，从而能够确定这些状态下的纹波电流大小。最后，我们可以知道最小输入电压下的峰值电流为 31.122 A 。具体波形显示在图 2 中。这些值几乎都相等，但如果增加下降电流，它们便会变化—以一种令人吃惊的方式。为了获得最大输入电压必须给峰值电流增加的下降电流为：

$$\frac{I_{ds} \times D_{min}}{f_{sw}} = 1.306 \text{ A},$$

为了获得最小输入电压而必须给峰值电流增加的下降电流为：

$$\frac{I_{ds} \times D_{max}}{f_{sw}} = 2.829 \text{ A}.$$

请参见图 3，其有效下降电流被添加至图 2 所示电流。结果，即使实际峰值相反，但最小输入电压的有效峰

图 2 $V_{IN(min)}$ 和 $V_{IN(max)}$ 的最大负载输出电感纹波

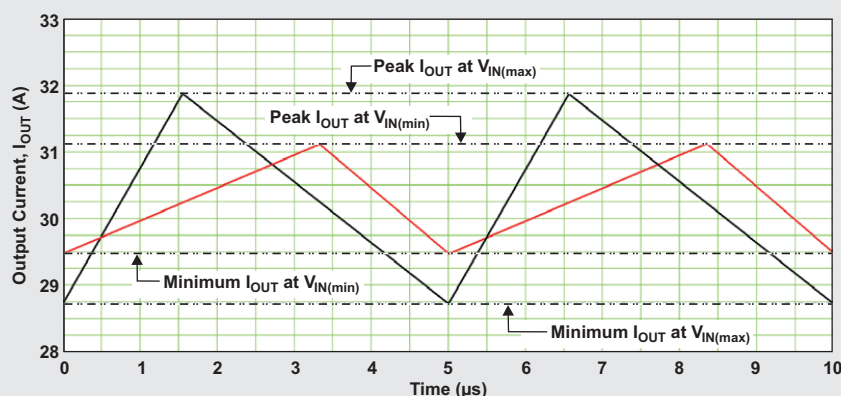


图 3 二次电流加有效下降电流

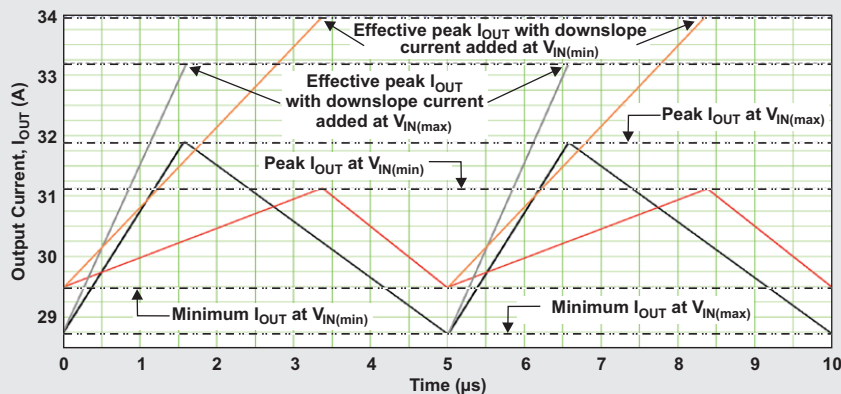
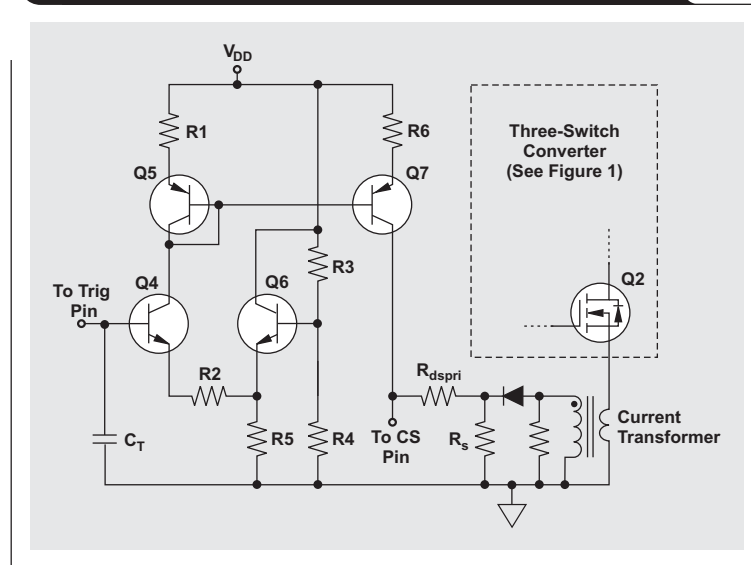


图 4 用于生成预期 R_{dspr} 电流的电路

值电流还是高于最大输入电压的有效峰值电流。有效最大电流（包括最小输入电压的下降电流）的峰值为 33.9A，其为设置电流检测电阻器 R_s 必须使用的值。该电流（包括转变为一次电流的下降电流）为 5.658A。

选作控制器的 IC 拥有 1.0V 的典型电流自动切断电平，但容差值在 0.9 到 1.1V 之间。要确保所有单元都能提供要求的功率，需使用下限，并设定 R_s 值，以便让 5.658A 时它的电压为 0.9V 最小值的 95%。这样便可实现 5% 的瞬态安全余量，并将 R_s 设定在 0.15Ω 。当然，会有 5W 左右的功率损耗，其最有可能由一个电流变压器产生。使用一个 100:1 的变压器时， R_s 可能会增加至 15Ω 。后面内容，我们假设使用这样一个变压器。

实际上，下降电流 (I_{ds}) 既没有流过电流变压器，也没有流过电源变压器，但却需要考虑其影响，它会影响电阻器 R_s 的电压。因此，需在电阻器 R_s 和 IC 的电流检测引脚之间增加一个电阻器 R_{dspr} 。在 IC 的电流检测引脚处，电流斜波被注入到电路中。这种电流斜波的存在，让 IC 电流检测引脚和电阻器 R_s 之间电阻器 R_{dspr} 中形成的等变电压 (r_{amp} voltage)，等于 I_{ds} 转变为一次电流在电阻器 R_s 中形成的电压。我们假设，一个等效下降电流正流经电阻器 R_s ，从而同时考虑到电源变压器和电流变压器绕组比。这种情况下，为了计算简单，我们将电阻器 R_{dspr} 设定为 $1k\Omega$ ，其远大于电阻器 R_s 。

接下来，计算 R_{dspr} 要求的 dv/dt ：

$$V_{dspr} = \frac{I_{ds} \times R_s}{N_p \times 100} = 21 \text{ V/ms} \quad (4)$$

由该结果，我们可以计算得到 $1k\Omega$ 电阻器需要的电流斜波：

$$I_{dspr} = \frac{V_{dspr}}{R_{dspr}} = 21.1 \mu\text{A}/\mu\text{s} \quad (5)$$

由该结果，我们可以计算得到 $1k\Omega$ 电阻器需要的电流斜波：

最大“开”时间的这种电流带来 $70.7 \mu\text{A}$ 的峰值电流。

使用一个可编程、最大占空比 PWM 控制器（例如： U_{CC2807} ）时，通过将两个计时电阻器设定为相同值来将最大占空比设定为 67% 相对更加简单，如产品说明书所示。另外，这种组件的规格额定，计时电容器的谷值电压和峰值电压分别等于 $1/3V_{CC}$ 和 $2/3V_{CC}$ 。这样便得到一个 $1/3V_{CC}$ 的电压斜波幅值。知道这一点以后，我们现在便可以对电路进行设计，让它产生一个可注入到电流检测电路中的斜波电流，以向电流信号提供下降电流。

图 4 显示了用于产生期望电流的一个电路。该电路基于 $U_{CC2807-1}$ 控制 IC， V_{DD} 设定为 11V。“三角”斜波的谷值电压和峰值电压为 3.667V 最小值和

7.33V 最大值，并且最小值到最大值的时间等于最大“开”时间。在该电路中，R3 等于 2 倍 R4。这样便让 Q6 基极的电压等于 $1/3V_{CC}$ ，其为“三角”电压的谷值。由于“三角”引脚的电压在谷值到峰值 ($2/3V_{CC}$) 之间摆动，R2 的电压便在 0 到 $1/3V_{CC}$ 之间线性变化。给 R2 选择一个值，让其获得 70.7 μA 的电流和 3.667 V 的 (51.8 k Ω) 电压，然后使用 Q5/R1 和 Q7/R6 构建起统一电流反射镜。这样，设计人员便可以生成电流检测信号，将所需电流加至电流检测信号，并拥有正确的形态和 1K ω 电阻计时。

结论

三开关正向转换器在能量回收方面拥有许多独到之处，它可以将磁能和一次侧漏能量返回至源，无需使用缓冲器，降低了普通正向转换器中常见的电磁干扰。相比占空比大于50%的双开关正向拓扑结构，它同样具有许多优势。本文为您介绍了一个计算举例。在确定电流检测电阻器值，以及了解降压转换器50%以上占空比稳定工作所需下降电流的影响时，这种计算都是必需的。文章还介绍了增加转换器下降电流的一种方法。

参考文献

如欲了解本文更多详情，敬请访问 www.ti.com/lit/litnumber (用TI文档编号替换“litnumber”) 下载 Acrobat® Reader®文件，获取下列相关资料。

文档名称

TI文档编号

1、《开关式电源的电流模式控制》，作者：Lloyd H Dixon，发表于1985年《TI电源设计研讨 (SEM400)》

SLUP075

2、《可编程最大占空比PWM控制器》，《UCC1807-x/2807-x/3807-x产品说明书》

SLUS163

相关网站

Power.ti.com

www.ti.com/product/UCC2807-1

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 保证的范围内, 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 的产品手册或数据表, 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。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品 & TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

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		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP 机动性处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity		
	德州仪器在线技术支持社区		www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司