

LED 驱动器应用中升压转换器的简单开路保护

作者: John Caldwell,

德州仪器 (TI) 模拟应用工程师和 Gregory Amidon 德州仪器 (TI) 模拟应用工程师

引言

驱动高亮度 LED 的一种方法是对标准升压转换器拓扑进行修改, 以驱动恒定电流通过负载。但是, 这种实施方法存在一个严重问题, 因为 LED 串中出现的开路故障会移除负载电流的通路。由于来自转换器 (此时在无反馈情况下工作) 的高输出电压, 这样可能会对电路造成潜在损坏。本文为您介绍一种简单的健壮开路故障保护方法, 其使用一个齐纳二极管和一个电阻器, 并且对总效率的影响可以忽略不计。通过将高压升压转换器配置为一个恒流驱动器, 用于驱动 3 支高亮度白光 LED, 并在输出端产生一个模拟故障状态, 我们可以验证这种拓扑结构的功能性。该电路将输出电压控制在某个安全水平, 并在受保护状态下减少输出电流。

典型高亮度 LED 升压转换器

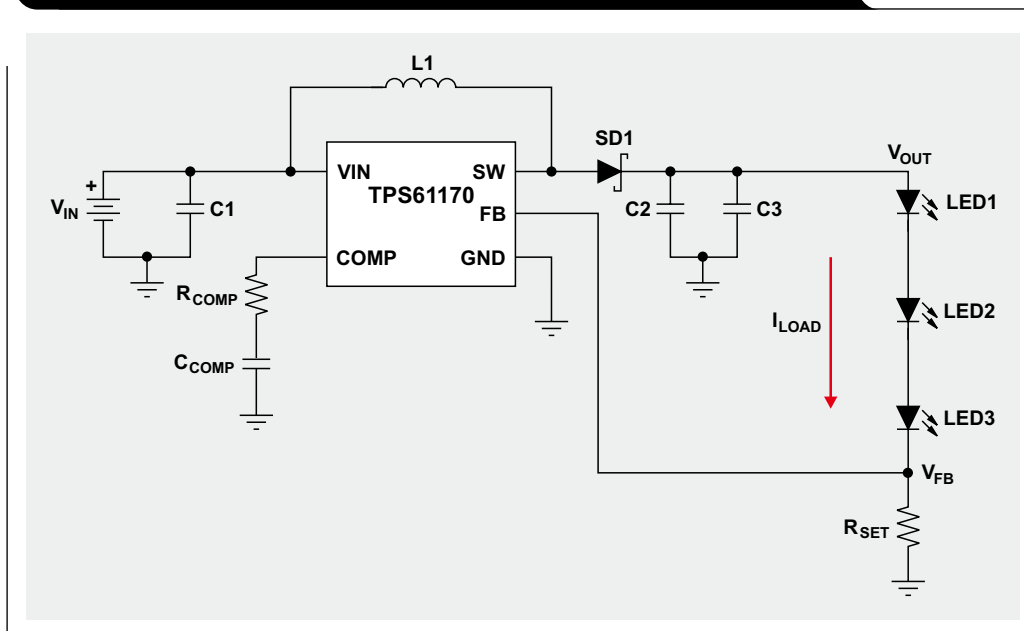
我们常常对转换器进行修改, 以在单节锂离子(Li-Ion)、碱性及其它应用中驱动高亮度 LED。在这些应用中, LED 串电压超出了电池或者电源轨电压。在标准升压

配置结构中, 利用一个分压器产生电路的反馈电压 V_{FB} , 从而对输出电压 V_{OUT} 进行监控。转换器对输出电压进行调节, 让 V_{FB} 始终都等于片上参考电压 V_{REF} 。这种拓扑为自适应型, 可用负载代替反馈分压器中的上层电阻器, 从而保持恒定电流而非恒定电压, 如图 1 中 LED 串所示。负载电流依赖于升压转换器的片上参考电压, 其计算方法如下:

$$I_{LOAD} = \frac{V_{REF}}{R_{SET}} \quad (1)$$

这种简单实施方法存在的一个严重问题是, LED 串中出现的开路故障会移除负载电流的通路。当没有电流流过反馈电阻器 R_{SET} 时, V_{FB} 被下拉至接地。作为响应, 升压转换器会尽可能地增加其工作占空比至最大值, 目的是在反馈 (FB) 引脚上维持正确的电压。利用理想化的升压转换器传输函数表明, 当转换器接近其最大占空比时, 可以产生高输出电压 (V_{OUT})。请思考一个 90% (常用值) 典型最大占空比且 5V 输入的升压转换器:

图 1 无开路保护 LED 驱动器高压升压转换器结构



$$V_{OUT} = \frac{1}{1-D} \times V_{IN} = \frac{1}{1-0.9} \times 5 = 50 \text{ V} \quad (2)$$

转换器输出端高压带来发生多次故障的可能性。这种电压可能会超出内部或者外部开关式器件或者无源组件的额定值。另外，如果在没有采取保护措施的情况下操作电路，它还会给用户带来潜在危险，并可能会在连接时损坏负载。

保护电路

在出现开路状态时，负载电流必须有一条备用通路。尽管将一个电阻器与 LED 串并联可以提供一条通路，但其并不理想，因为它会引起巨大的效率损失。替代配置（图 2）由一个齐纳二极管和一个电阻器组成，可提供足够的系统保护，并且效率损失微乎其微。

当负载电流通路被移除时，输出电压上升，直到齐纳二极管 ZD1 开启，同时电流流经 R_{PRO} 和 R_{SET} 接地。输出电流由 R_{PRO} 和 R_{SET} 的串联组合决定，因为 V_{FB} 受到驱动后等于内部带隙参考电压 V_{REF} 。因此，输出保护电流默认为：

$$I_{PRO} = \frac{V_{REF}}{R_{SET} + R_{PRO}} \quad (3)$$

我们为齐纳二极管选择一个电压，以使正常电路工作期间没有电流流经它。为了确保该二极管在正常运行期间

完全关闭，所选电压应至少高于最大负载电压 2V，但小于升压转换器的规定最大输出电压。这样，电路设计人员便不会经常被迫增加输出电容器 C2 和 C3 以及箝位二极管 SD1 的额定电压。输出电压被控制为齐纳二极管电压与参考电压的和：

$$V_{OUT} = V_{ZD1} + V_{REF} \quad (4)$$

通过平衡电路保护期间的 LED 电流感应误差和功耗来选择 R_{PRO} 值。实际上， R_{PRO} 的值应尽可能地大，以最小化齐纳二极管的功耗：

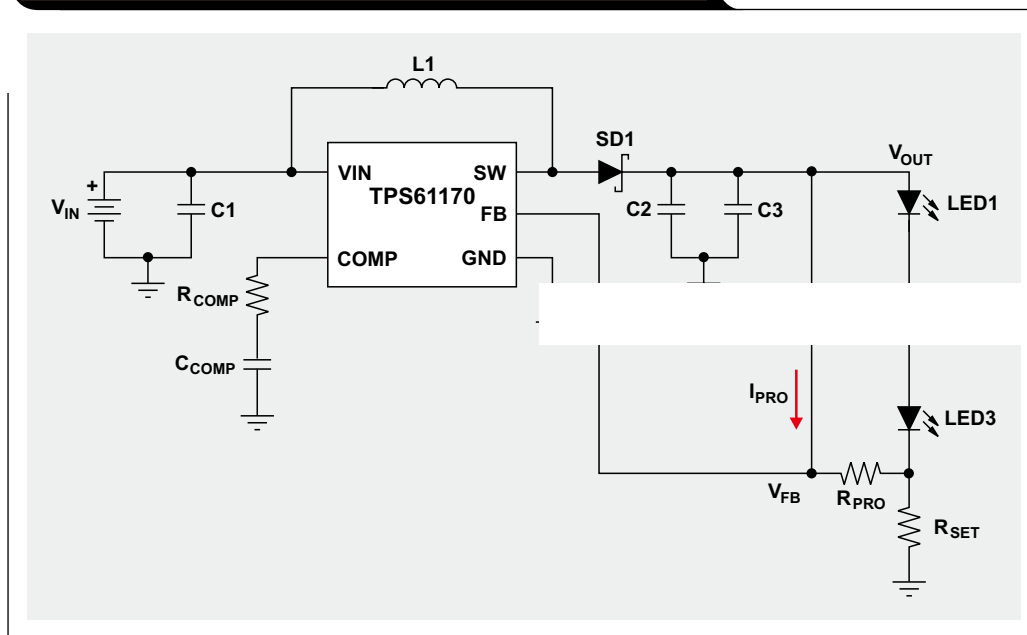
$$P_{ZD1} = I_{PRO} \times V_{ZD1} \quad (5)$$

进入电路的误差，由齐纳二极管的漏电流 I_{ZL} 以及升压转换器内部误差放大器的偏置电流 I_{FB} 所引起。方程式 6 是一个经过修改的传输函数，其包括了这些误差：

$$I_{LOAD} = \frac{V_{REF} - I_{ZL}(R_{PRO} + R_{SET}) - I_{FB}(R_{PRO} + R_{SET})}{R_{SET}} \quad (6)$$

由于这两种电流一般都小于 1 μA ，因此引起的误差非常小，在大多数实现中均可以忽略不计。

图 2 有开路保护 LED 驱动器电路



演示论证

作为一个应用举例，TI TPS61170 升压转换器 IC 被配置为一个恒定电流 LED 驱动器。在诸如背光照明或者手电筒等应用中，它是驱动高亮度LED串的理想升压转换器。3V-18V 输入范围允许使用较宽的电源范围，例如：2S 到 4S 锂离子或者 3S 到 12S 碱性电池组、USB 或者 12V 电源轨。

升压转换器经过配置，用于驱动 3 支高亮度白光 LED（260 mA）。典型参考电压为 1.229 V 时，将简化的负载电流用于方程式7中，计算得到 R_{SET} ：

$$R_{SET} = \frac{V_{REF}}{I_{LOAD}} = \frac{1.229 \text{ V}}{260 \text{ mA}} = 4.73 \Omega \quad (7)$$

我们选用1mA值作为保护电流（ I_{PRO} ），以计算 R_{PRO} 值：

$$R_{PRO} = \frac{V_{REF}}{I_{PRO}} - R_{SET} = \frac{1.229 \text{ V}}{1 \text{ mA}} - 4.7 \Omega = 1224.3 \Omega \rightarrow 1.2 \text{ k}\Omega \quad (8)$$

我们为 ZD1 选择一个 15V 齐纳二极管，以表现约 10V 预计负载电压时的最小漏电流，同时还将输出控制在远低于升压转换器最大允许输出电压 (40V) 的某个值。输出电压被控制在齐纳二极管电压 (V_{ZD1})，其与转换器参考电压的和为：

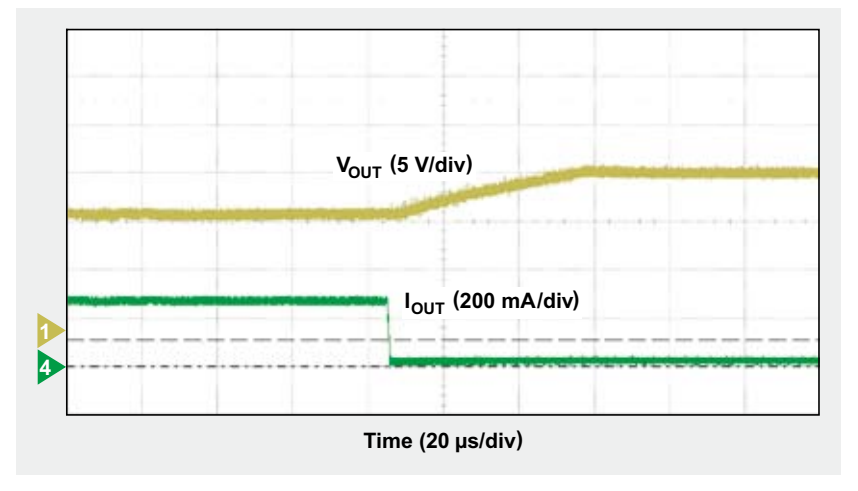
$$V_{OUT} = V_{ZD1} + V_{REF} = 15 \text{ V} + 1.229 \text{ V} = 16.229 \text{ V} \quad (9)$$

利用选择的负载电流和保护电阻器，计算与预期负载电流的偏差（参见下列方程式 10）。数据表值200 nA用于反馈偏置电流 (I_{FB})，1 μA 值则用于预计的齐纳二极管漏电流， V_{OUT} 约为 10V。

电路的目标负载电流为 260 mA。正如我们所看到的那样，一旦组件理论值被方程式 10 中的有效值代替，它们引起的误差将远多于保护电路本身带来的误差。

为了测试保护电路的运行情况，我们使用一个 38 Ω 的电阻器十进位箱代替 LED 串，目的是模拟设计负载电流下 LED 串的电电压。通过快速地将负载电阻从 38 Ω 改变

图 3 保护电路激活示波器截屏



为 1038 Ω ，可以模拟一次开路故障。如图3所示，这种输出电流变化（绿色线条）表明了负载阻抗的突然变化。为了进行补偿，TPS61170 输出电压（黄色线条）上升，以重新达到设计负载电流。但是，这种变化不会始终如此，直到达到其最大占空比，输出电压稳定在了约 16V 的箝位电压。

结论

我们为您介绍了一种给配置为恒定电流 LED 驱动器的升压转换器提供开路保护的简单方法。这种电路由一个齐纳二极管和一个附加电阻器组成，其将输出电压限制在一个安全水平，同时在负载出现开路故障时降低输出电流。另外，这种方法给负载电流计算过程带来了一些误差，并使正常电路运行期间的效率稍有降低，但这些影响都可以忽略不计。将一个升压转换器配置为一个 LED 驱动器，并添加一个 15V 齐纳二极管和一个 1.2k Ω 电阻器，用于输出保护。这样便演示论证了这种保护电路的功能性。该演示论证电路在模拟负载故障状态下的输出表现符合我们的预期。

相关网站

www.ti.com.cn/lstds/ti_zh/analog/powermanagement/power_portal.page

www.ti.com.cn/product/cn/TPS61170

$$I_{LOAD} = \frac{1.229 \text{ V} - 1 \mu\text{A}(1.2 \text{ k}\Omega + 4.7 \Omega) - 200 \text{ nA}(1.2 \text{ k}\Omega + 4.7 \Omega)}{4.7 \Omega} = 261 \text{ mA} \quad (10)$$

TI Worldwide Technical Support

Internet

TI Semiconductor Product Information Center Home Page

support.ti.com

TI E2E™ Community Home Page

e2e.ti.com

Product Information Centers

Americas	Phone	+1(972) 644-5580
Brazil	Phone	0800-891-2616
Mexico	Phone	0800-670-7544
	Fax	+1(972) 927-6377
	Internet/Email	support.ti.com/sc/pic/americas.htm

Europe, Middle East, and Africa

Phone	
European Free Call	00800-ASK-TEXAS (00800 275 83927)
International	+49 (0) 8161 80 2121
Russian Support	+7 (4) 95 98 10 701

Note: The European Free Call (Toll Free) number is not active in all countries. If you have technical difficulty calling the free call number, please use the international number above.

Fax	+ (49) (0) 8161 80 2045
Internet	www.ti.com/asktexas
Direct Email	asktexas@ti.com

Japan

Phone	Domestic	0120-92-3326
Fax	International	+81-3-3344-5317
	Domestic	0120-81-0036
Internet/Email	International	support.ti.com/sc/pic/japan.htm
	Domestic	www.tij.co.jp/pic

Asia

Phone	
International	+91-80-41381665
Domestic	<u>Toll-Free Number</u>
Note: Toll-free numbers do not support mobile and IP phones.	
Australia	1-800-999-084
China	800-820-8682
Hong Kong	800-96-5941
India	1-800-425-7888
Indonesia	001-803-8861-1006
Korea	080-551-2804
Malaysia	1-800-80-3973
New Zealand	0800-446-934
Philippines	1-800-765-7404
Singapore	800-886-1028
Taiwan	0800-006800
Thailand	001-800-886-0010
Fax	+8621-23073686
Email	tiasia@ti.com or ti-china@ti.com
Internet	support.ti.com/sc/pic/asia.htm

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

A011012

E2E is a trademark of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	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.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/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应用处理器	www.ti.com.cn/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