

基于 TPS92512 的反相 Buck-Boost 电路在照明中的应用

Lin Zhao

Sales and Marketing / East China

摘要

本应用报告介绍了一种基于 TPS92512 的 buck LED 驱动实现反相 Buck-boost 功能的方案，并给出了外围电路中例如 PWM 调光，UVLO 以及过压保护电路的设计方法，最后使用 TPS92512 的 EVM 为例给出了该电路的设计过程和结果。该 Buck-boost 方案集成高边 MOS 开关，使用方便并且成本低廉，适用于中小电流的工业照明驱动方案中。

目录

1. 背景介绍.....	3
2. 设计过程.....	3
2.1 PWM Dimming 电路设计.....	4
2.2 UVLO 电路设计.....	5
2.3 OVP 电路设计.....	6
3. 完整电路的测试报告.....	8
3.1 输出电流纹波.....	8
3.2 电路启动波形.....	9
3.3 负载动态响应波形.....	10
3.4 效率曲线.....	10
3.5 PWM 调光.....	11
3.6 电路参数.....	11
4. 小结.....	11
5. 参考资料.....	11

图表

Figure 1. TI TPS92691 with external H-MOS.....	3
Figure 2. Buck 到 Buck-Boost 拓扑转换.....	4
Figure 3. PWM Dimming 的 Level-shift 电路.....	4
Figure 4. PWM Dimming 测试波形.....	5
Figure 5. 具有迟滞功能的 UVLO 电路设计.....	6
Figure 6. UVLO 电路的实测波形.....	6
Figure 7. OVP 电路设计.....	7
Figure 8. 加入 OVP 电路的 Buck-Boost 拓扑图.....	7
Figure 9. 发生断路时 OVP 的实测波形图.....	8
Figure 10. 基于 TPS92512 的 Buck-Boost 完整电路.....	8
Figure 11. Vin=12V 时的输出电流纹波.....	9
Figure 12. Vin=16V Vout=-12V.....	9

Figure 13. $V_{in}=9V$ $V_{out}=-12V$	9
Figure 14. 4 LEDs $\rightarrow$ 3 LEDs	10
Figure 15. 3 LEDs $\rightarrow$ 4 LEDs	10
Figure 16. 输出电流为 0.8A 时效率随 V_{in} 的变化曲线	10
Figure 17. PWM 频率分别为 100Hz 和 1KHz 时的调光曲线	11

1. 背景介绍

在工业照明应用中，有些场景是需要灵活配置驱动的 LED 灯珠数，比如目前流行的城市景观照明，这就要求输出电压可以在输入电压上下，使用 buck-boost 拓扑完成设计。而常用的 Buck-boost 控制器需要外加 MOS 开关，如 Fig.1 所示 TPS92691 方案，增加了设计复杂度，整体方案的面积以及成本。

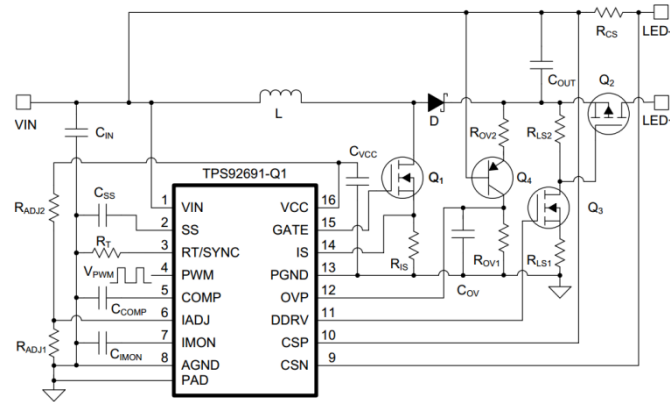


Figure 1. TI TPS92691 with external H-MOS

本文介绍了一种使用集成高边 MOS 开关的 buck 芯片 TPS92512，通过重新设计，实现 buck-boost 功能的新方案，降低了原方案的成本和面积。具体的参数如下表所示。

Input voltage	9~16V
LEDs	4
Topology	Buck-boost
Output current	0.8A
Output voltage	-12V
External dimming	PWM dimming
lout ripple	20mA

2. 设计过程

反向 Buck-Boost 电路中的电感电流和输出电流，输出电压和输入电压的设计应遵循下列公式。

$$-V_{out} = \frac{D}{1-D} \times V_{in} \quad (1)$$

$$I_L = \frac{I_{out}}{1-D} \quad (2)$$

如图 2 所示，将原 Buck 拓扑中输出端连接到输入端的负极，并且接地，即可实现 Buck-Boost 拓扑。原 Buck 电路中的 GND 在 Buck-Boost 中成为 -Vout 输出，但要注意，此时系统的 GND 为 IN_GND 点，而 TPS92512 的芯片参考地图中的为 IC_GND。

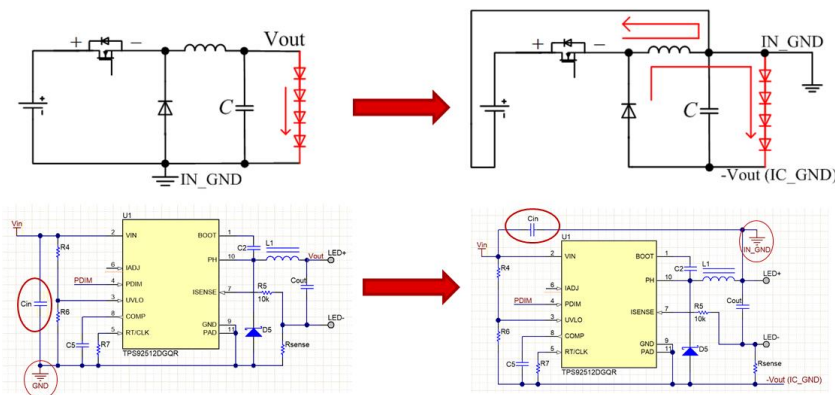


Figure 2. Buck 到 Buck-Boost 拓扑转换

由于在 Buck-Boost 中芯片的参考地(IC_GND)与系统的地(IN_GND)并不在同一个电平, 因此外部的控制信号如 UVLO, PWM Dimming 等, 由于其参考地为系统地, 输入到芯片时需要加 Level shift 电路进行处理。

接下来将对 PWM Dimming, UVLO, OVP 三部分电路设计进行分别介绍。

2.1 PWM Dimming 电路设计

在这里使用 PNP 三极管来实现 Level-shift, 如图 3 所示, 输入 PWM 信号的参考地接到三极管 Q1 的基极, R2 和 R4 作为限流电阻。由于 TPS92512 的 PDIM 脚的高电平阈值为 1.45V, 其 maximum rating 为 5V, 因此在这里加上 3.3V 的稳压管 D1 作为保护。

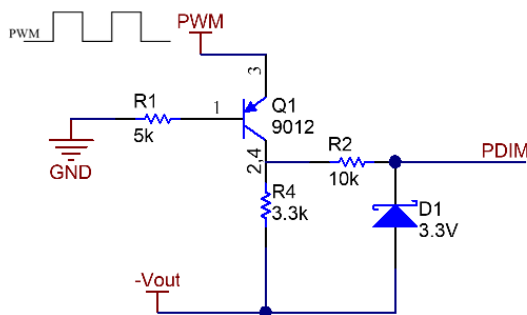


Figure 3. PWM Dimming 的 Level-shift 电路

图 4 所示为 PWM Dimming 的测试波形, 在测试过程中, 示波器探头的地线以芯片地(IC_GND)作为参考地, 可以看到通过加入基于 PNP 三极管的 level-shift 电路, 成功实现了由外部信号输入的 PWM Dimming 功能。

测试条件: 外界 PWM 信号为 5V/1kHz, 占空比为 40% 的方波

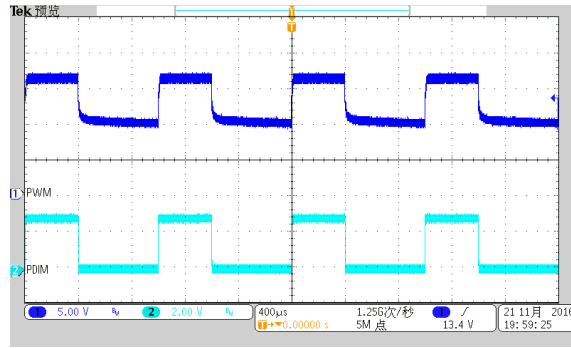


Figure 4. PWM Dimming 测试波形

2.2 UVLO 电路设计

与 PWM Dimming 电路设计类似，UVLO 电路同样需要加入 level-shift 电路，实现系统地与芯片地的连接。而且为了避免在阈值电平点出现震荡，需要实现迟滞功能。

如图 5 所示，这里使用 PNP 三级管和电阻网络来实现 UVLO 电路，R7 和 R9 作为分压电阻，将 Q2 基极的电平固定在 $V_{in}/2$ ，这样 R1 上的压降以及电流也随之确定，实现电流源功能，这样基于芯片地电平的 UVLO 点电平也随之确定。

在这里我们 UVLO 的设计目标，开启电压 V_{on} 为 7.4V，关断电压 V_{off} 为 6.4V，迟滞电压 V_{HYS} 为 1V，在图 5 中 R11 上的压降为

$$V_{R11} = \frac{V_{in} - 2V_{eb}}{2R1} \times R11 \quad (3)$$

注意 R7 和 R9 过大时需要考虑基极电流的影响，过小会增加系统功耗，在这里取 100K，其中 V_{eb} 为 Q2 发射级到基极的压降。

TPS92512 的 UVLO 管脚内部具有 $1\mu A$ 的内部上拉电流源，另外当 UVLO 管脚电压超过 $1.22V$ (V_{EN}) 时，会开启 $2.9\mu A$ 的迟滞电流，来提供外部输入电压的迟滞功能。因此，结合公式 1，可得

$$V_{on} = (V_{EN} - 1\mu A \cdot R11) \cdot \frac{2R1}{R11} + 2V_{eb} \quad (4)$$

$$V_{off} = (V_{EN} - 3.9\mu A \cdot R11) \cdot \frac{2R1}{R11} + 2V_{eb} \quad (5)$$

其中 V_{EN} 为 1.22V， V_{eb} 为 0.7V，在这里取 R11 为 68K，由公式 2 和 3 可以计算出 R1，在这里取 R1 为 176K。

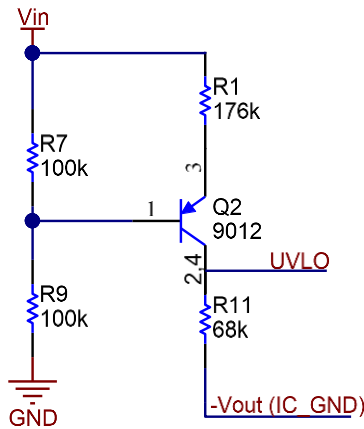


Figure 5. 具有迟滞功能的 UVLO 电路设计

实际测试如图 6 所示，其中示波器探头的地线以芯片地(IC_GND)作为参考地，右图中 12.3V 为对芯片地的输出电压，因此此时输入电压对系统地为 18.7V。可以看到，通过外加电路，实现了电平的转换，并且可以通过调节 R1 和 R11 的阻值，灵活配置 UVLO 的开启和关断电压，以及迟滞电压。

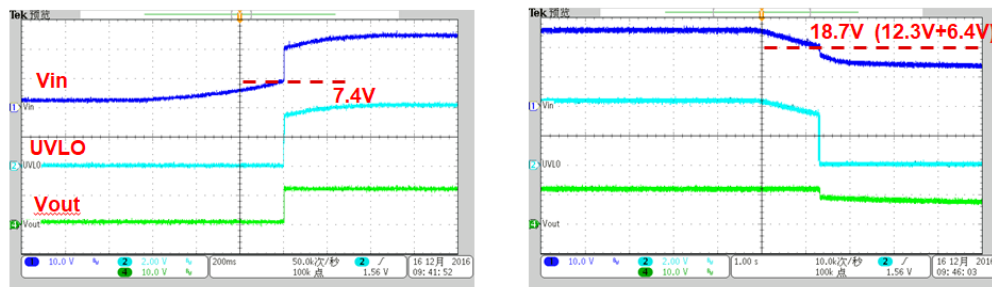


Figure 6. UVLO 电路的实测波形

2.3 OVP 电路设计

当电路的输出端处于开路状态时，输出电流检测管脚 I_{sense} 上检测不到电流信号，此时 TPS92512 会进入最大占空比运行状态，并且此时存储在电感上的能量同样会加载在输出电容上面，导致 V_{out} 上的电压瞬间变大，从而打坏芯片，因此，合适的 OVP 电路是需要的。

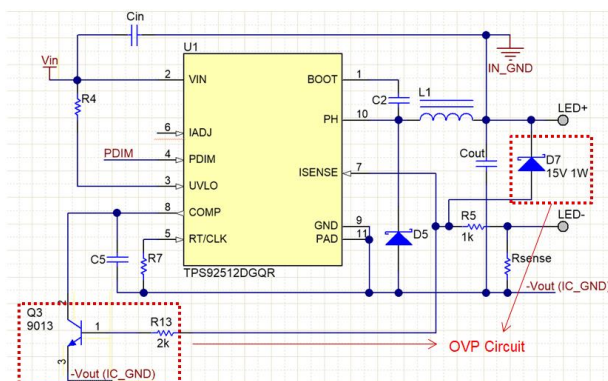


Figure 7. OVP 电路设计

如图 7 所示, 设计的 OVP 电路由两部分组成, 首先在输出端到 Isense 管脚间加 15V 稳压管把 Isense 上电压 Vsense 拉高来降低占空比, 从而降低输出电压; 另外, 由于断路发生之后, Vcomp 上电压降低速度有限, 为了避免占空比降低速度有限造成的 Vout 无法及时降低, 在 comp 管脚到 Isense 端加入由三极管 Q3 组成的开关电路, 一旦断路发生, Vsense 被拉高, Q3 开启瞬间将 Vcomp 降为低电平, 从而快速降低占空比, 从而降低输出电压来实现 OVP。

如何选择稳压管 D7 的额定功率呢？接下来我们进行分析。

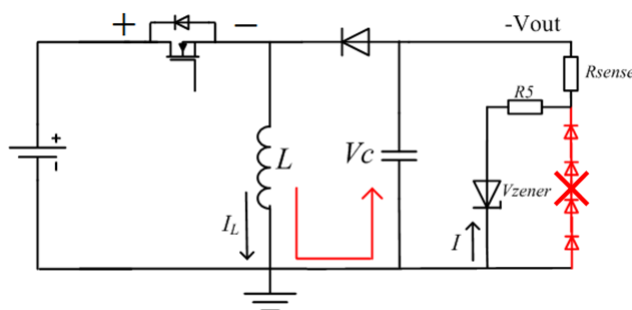


Figure 8. 加入 OVP 电路的 Buck-Boost 拓扑图

如图 8 所示, 发生断路时电感 L 上的能量转化到输出电容 C 中, 在这里我们认为在断路发生的瞬间 $V_c = V_{zener}$, 则可以推出公式

$$\frac{1}{2}L \cdot I_{Lmax}^2 = \frac{1}{2}C \cdot V_{max}^2 - \frac{1}{2}C \cdot V_C^2 = \frac{1}{2}C \cdot V_{max}^2 - \frac{1}{2}C \cdot V_{Zener}^2 \quad (6)$$

则可以推出断路时输出电容上的最大电压

$$V_{max} = \sqrt{\frac{LI_{max}^2 + CV_{zener}^2}{C}} \quad (7)$$

断路时流过稳压管的最大电流

$$I_{max} = \frac{V_{max} - V_{zener}}{R_5 + R_{sense}} \quad (8)$$

因此, 稳压管的额定功率

$$P_{zener} > V_{zener} \cdot I_{max} = V_{zener} \frac{V_{max} - V_{zener}}{R_5 + R_{sense}} \quad (9)$$

如图 9 所示，其中示波器探头的地线以芯片地(IC_GND)作为参考地，可以看到在断路发生的瞬间，Vsense 被及时拉高，Vcomp 被拉低，Vout 最高上升到 15V 左右即开始缓慢下降，成功实现了 OVP 保护功能。

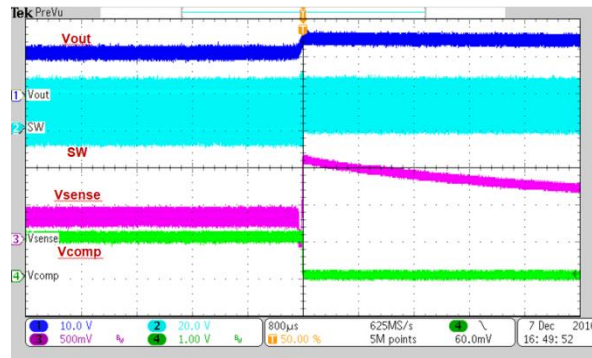


Figure 9. 发生断路时 OVP 的实测波形图

3. 完整电路的测试报告

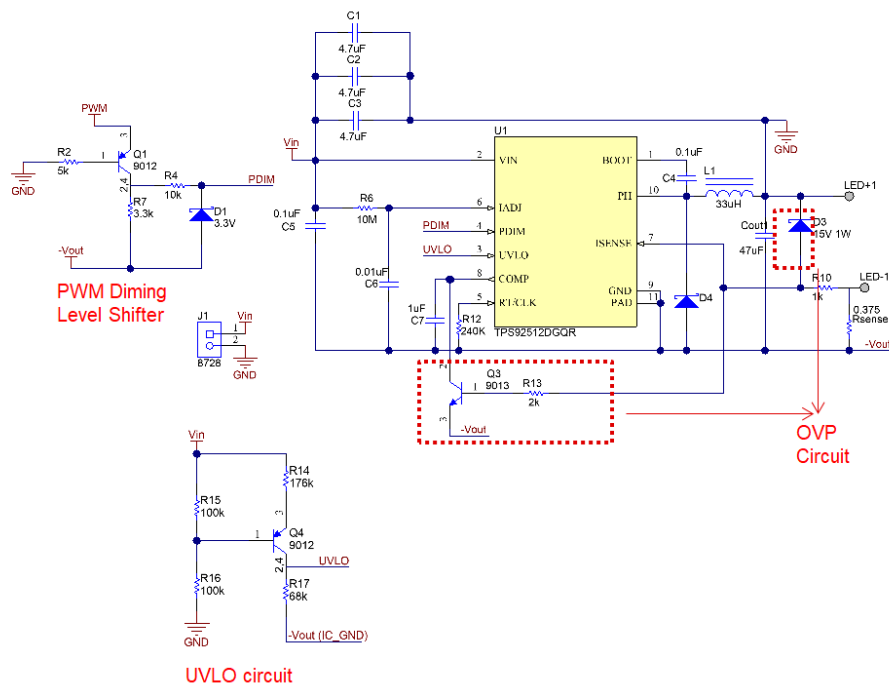


Figure 10. 基于 TPS92512 的 Buck-Boost 完整电路

3.1 输出电流纹波

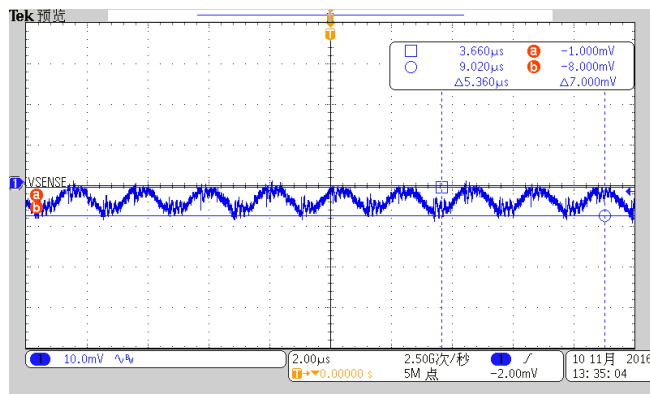


Figure 11. 12Vin, -12Vout, 0.8AIout 时的输出电流纹波

在这里通过测试 R_{sense} 上的电压，来计算出流过 R_{sense} 的输出电流的纹波， $R_{sense}=0.375$ 欧，因此当 $V_{in}=12V$ 时的输出电流纹波为 18.7mA。

3.2 电路启动波形

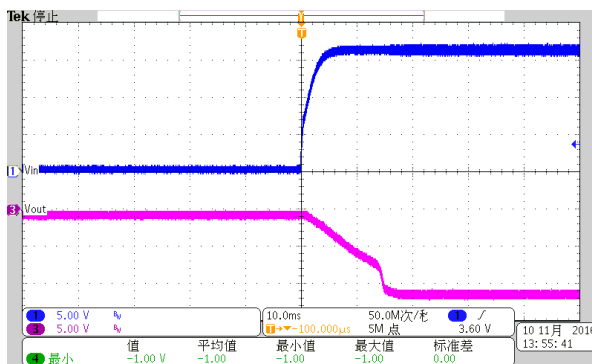


Figure 12. Vin=16V Vout=-12V Iout=0.8A

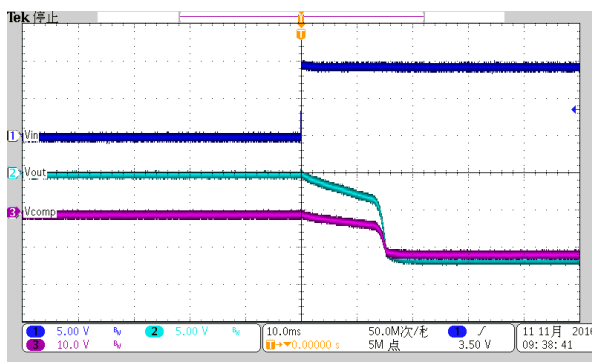


Figure 13. Vin=9V Vout=-12V Iout=0.8A

在图 12 和 13 中观测到的输出电压的延时，是由启动时 comp 管脚上的电容充电到 0.7V 的时间引起的。

3.3 负载动态响应波形

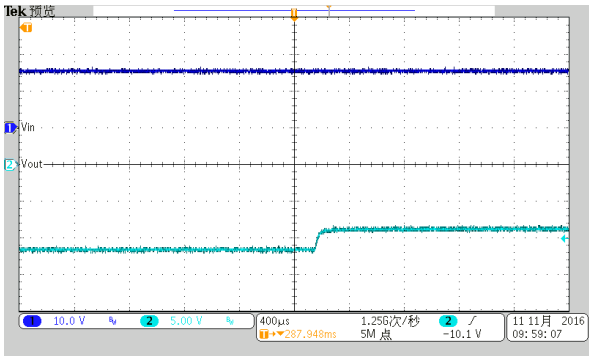


Figure 14. 4 LEDs → 3 LEDs

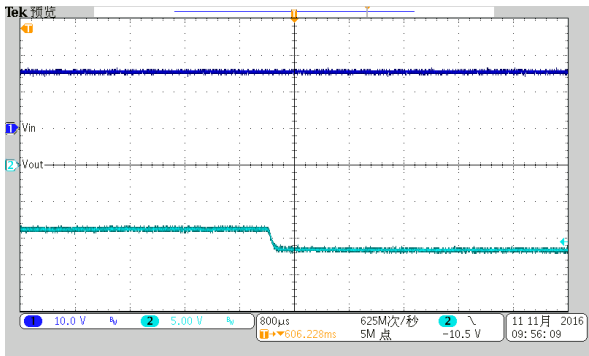


Figure 15. 3 LEDs → 4 LEDs

测试条件: $V_{in}=12V$ $V_{out}=-12V$ $I_{out}=0.8A$

3.4 效率曲线

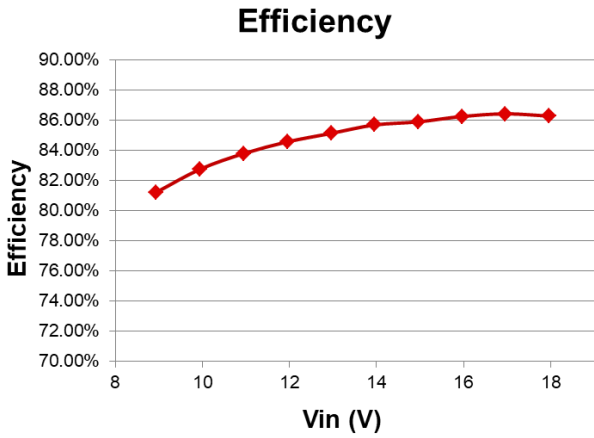


Figure 16. 输出电流为 0.8A 时效率随 V_{in} 的变化曲线

3.5 PWM 调光

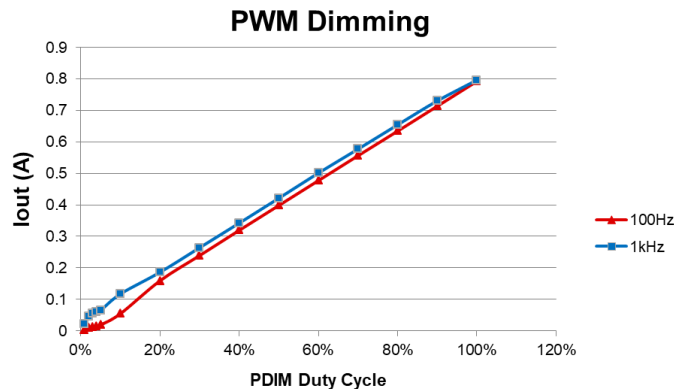


Figure 17. PWM 频率分别为 100Hz 和 1KHz 时的调光曲线

测试条件: $V_{in}=12V$ $V_{out}=-12V$ $I_{out}=0.8A$

3.6 电路参数

Input voltage	9~16V
LEDs	4
Topology	Buck-boost
Output current	0.8A
Output voltage	-12V
External dimming	PWM dimming (100Hz~1kHz)
Switching frequency	486kHz
Efficiency ($V_{in}=16V$ 4LEDs)	86.3%

4. 小结

本文通过实际电路的分析, 详细介绍了一种基于 TPS92512 的 buck LED 驱动实现反相 Buck-boost 功能的方案, 并给出了外围电路中例如 PWM 调光, UVLO 以及 OVP 过压保护电路的实际设计方法, 最后报告了该电路的实际测试结果。该 Buck-boost 方案集成高边 MOS 开关, 使用方便并且成本低廉, 适用于中小电流的工业照明驱动方案中。

5. 参考资料

1. David G. Daniels, Create an Inverting Power Supply From a Step-Down Regulator (SLVA317B)
2. John Tucker, Using a buck converter in an inverting buck-boost topology (SLYT286)
3. TPS92512EVM-001 High-Current Buck Regulator With Analog and PWM Dimming for High Brightness LEDs (SLVUAC9A)

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

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 © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司