

第三代非隔离 LED 恒流驱动技术

中国 LED 标准委员会 李明峰 张义 程增奇 张占松

摘要：文章详细介绍了基于 *TRUEC²* 技术非隔离 BUCK 拓扑，来实现极高精度 LED 恒流控制。试验证明，全闭环 *TRUEC²* 技术实时检测真实输出电流，免受输入电压、外部电感影响，突破性地提高了 LED 输出电流的精度。集成 MOSFET，简化外围线路；控制方式免受电感影响，可选择更低价的工字型电感，提高可靠性的同时降低了成本，受到市场广泛欢迎。

关键词：*TRUEC²* LED 恒流控制 全闭环电流控制 DU8623 DU8633

LED Constant Current Control Solution based on *TRUEC²* Technology

Abstract: This paper presents the principle of a non-isolated BUCK topology based on *TRUEC²* constant current control, using integrated MOSFET PWM control IC: Duty Cycle Company's DU8623 and DU8633. The experiment demonstrates that this control method can effectively increase the accuracy of the output current, which is not subject to the line voltage and external inductor. The Robustness is also increased compare with open loop control solution. The integration of MOFET results in the decreasing of external components, which in turn decreases total cost.

Keyword: *TRUEC²* /LED Constant Current Control / Close loop current control/ DU8623 DU8633

1 引言

针对 LED 照明负载特点，目前非隔离式的恒流驱动电源的拓扑结构基本上是 BUCK 降压结构。本文将把非隔离 LED 恒流控制技术的发展分为三代，讨论控制策略实现恒流的原理的发展，分析每一代的优缺点，每一代有哪些突破性进步。基于占空比半导体公司的 DU8623/DU8633 芯片，介绍最新一代集成式闭环电流控制技术，详细介绍这种控制策略如何突破性提高 LED 输出电流精度，从开环到闭环是其本质的突破。介绍了一种极简线路极小尺寸的 7W 球泡灯驱动方案，由于闭环控制对于电感变化不敏感，选用更低价的工字型电感，这就在提高可靠性和精度的同时，降低了整体方案成本。

2.1 三代非隔离 LED 恒流控制技术发展

第一代 LED 恒流芯片：

此类芯片主要的技术特点是基于固定频率的 PWM 芯片（如 UC384X 等），通过降低电感纹波电流，固定电感峰值电流来实现恒流。但由于开关频率固定，为避免次谐波振荡，它的最大占空比只能用到 50%，其应用范围就很受限了；再者由于电感纹波很小，那就需要比

较大的电感量，同时还有 EMI 较难解，效率也不高等缺点。这类芯片主要包括：

HV9910(美国超科)、PT4107(华润矽微)、SMD802(台湾芯瑞)、FT870(辉芒微)、LNK506(PI)等；

第二代 LED 恒流芯片：

此类芯片相对与第一代创新是：固定 Toff 技术。固定开关管的关断时间，就可以允许较大的电感纹波电流，占空比也可以做到接近 100%。其应用范围也比较宽。但这代产品有几个缺点，就是当输出电压变化或电感量发生变化时，无法恒流。这类芯片主要有：

HB9910B(超科)、SN3910(矽恩)、LM3445(国半)等。

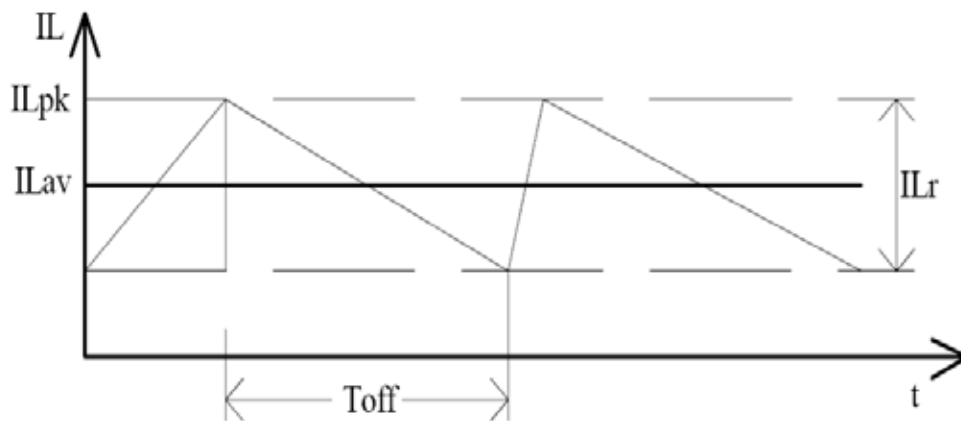


图 1 开环控制策略(固定 Toff)的电感电流波形

如图 1 所示，电路是 BUCK 降压结构，芯片控制的是 MOSFET 的源极，这种控制方式控制原理如下：

当 MOSFET 开通时，电流从 DCBUS 通过 LED 负载，流过电感，流入地。

$$V_i - V_o = L \frac{di}{dt} = L \frac{I_r}{DT} \quad (1)$$

当 MOSFET 关断时，电感电流从 D1 续流。得出以下公式：

$$V_o = L \frac{di}{dt} = L \quad (2)$$

$$\text{如图 1, } I_o(\text{average}) = I_{pk} \quad (3)$$

由(2)和(3)

$$I_o = \frac{V_{ref}}{R_s} - V_o * \quad (4)$$

V_{ref} 和 R_{cs} 都是设定的定值，由于电流流过 LED 负载，如果电流固定，可以认为 LED 的电压 V_o 是固定的，所以从式 (4) 看出，只要电感值 L 固定，再固定关断时间 $(1-D)T$ ， I_o 即固定。

第三代 LED 恒流芯片：

这类产品可以称为真正的恒流源，因为实时逐周期检测、控制了真实输出电流，最终无论是输出电压、电感还是输入电压发生变化时都能实现恒流。这类芯片包括：

DU8608、 DU8623、 DU8633、 DU2701

2.2 DU8623/DU8633 集成开关简化线路实现真正全闭环的恒流控制

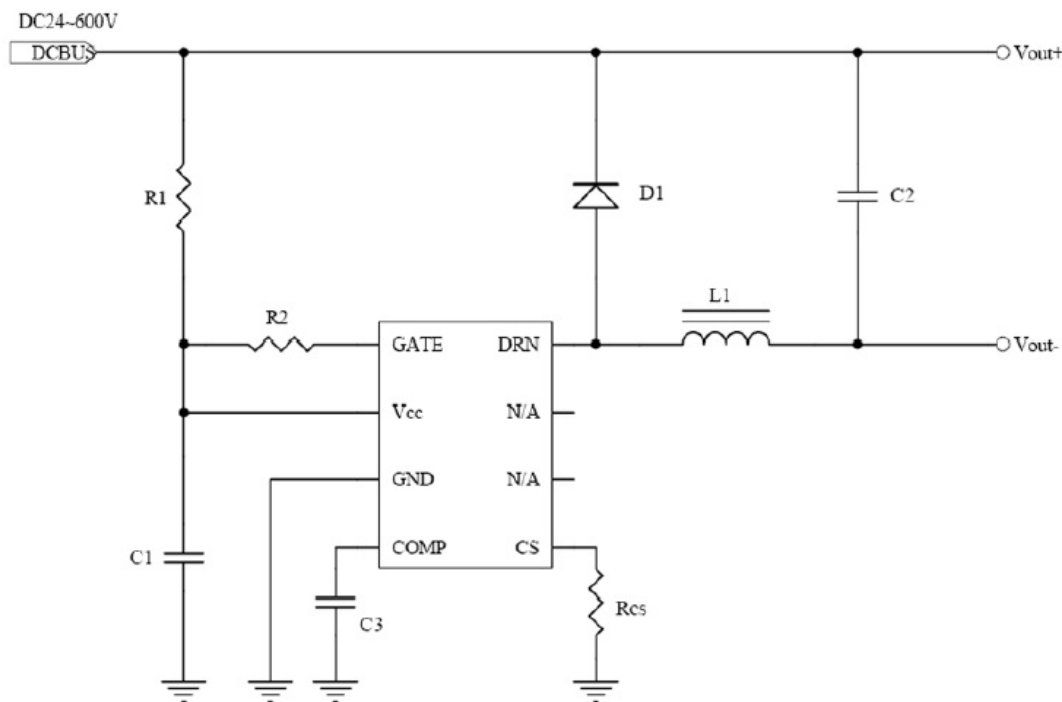


图 2 全闭环非隔离降压恒流 LED 驱动电源示意图

所谓的闭环，即真正检测输出电流值，以此为标准来发出PWM信号。所谓开环，不以检测到的输出电流值来做发出PWM信号的参考。从电路拓扑上，二者没有区别。但是在芯片内部对检测到的如图2 CS脚电感电流信号，做专利技术处理，如图3 **TRUEC²**部分做积分处理，并同时检测峰值电流。这样，就检测到了电感电流的平均值，也就是输出电流的平均值。芯片针对检测到的值，控制输出占空比，实现了闭环控制。这种控制结构，同时使得线路极为简单，由于闭环控制电流，相比于开环方式，此线路具有电感短路保护功能。这在生产应用中是非常重要的，这相当于大大降低了系统发生故障的风险。使得这种方案不仅在性能上有了质的飞跃，在可靠性上也大大提高。DU8623 和DU8633 分别集成了 1A和 2A的高压MOSFET，又将简化线路做到了极致，可以实现所有 20W以内的非隔离LED驱动需求。

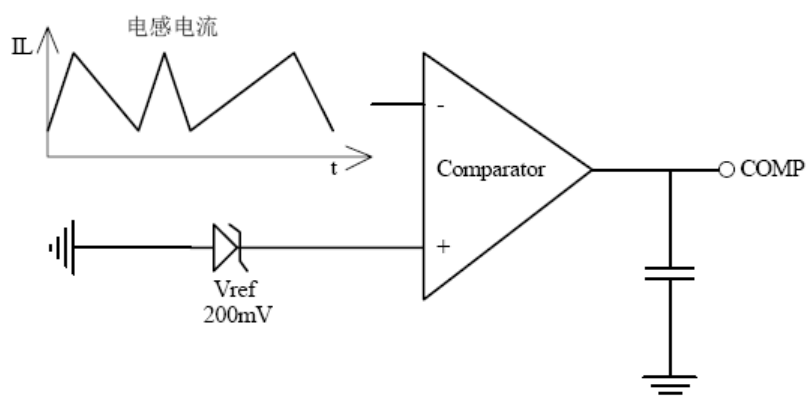


图3 芯片内部**TRUEC²**部分模块工作示意

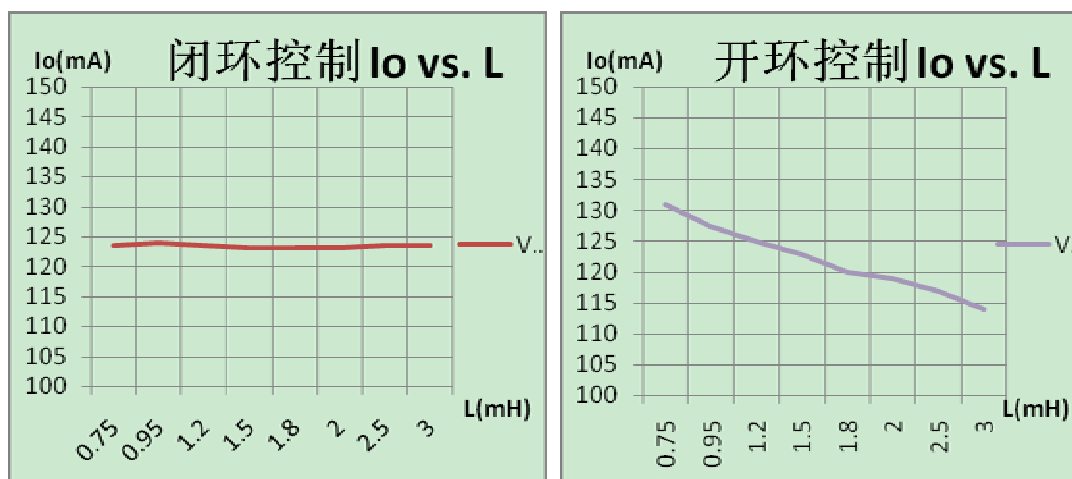


图4 输出电流精度 vs.电感量变化 (闭环控制与开环控制的区别)

图4 是两个实测结果对比，反映的是电感大范围变化(设计标称值 1.5mH)时，闭环与开环控制方式输出电流的变化对比。如果使用 DU8623、DU8633 闭环的方式，如左图，输出电流保持 $\pm 0.9\%$ 以内的恒流精度。如果这种用目前市场上第二代开环系统芯片，电流会随电感量变化线性的大范围波动，如右图。从上文式(4)可以看出，第二代控制方式输出电流与电感量 L 有关，而第三代控制方式输出电流与 L 无关。实验证明了此结论。

这样的鲜明测试对比结果让我们思考一个问题，针对对于价格非常敏感的 LED 驱动市场，如何在提高性能的同时降低成本？

答案就在图 5 中，我们使用闭环控制策略，在提高系统恒流精度的同时，可以选用更低价的“工字”型电感，来实现提高性能、降低成本的目标。



图 5 “工字”型电感（左）和 EE 型电感（右）

同样功率 LED 球泡灯应用，工字型电感比 EE 型电感便宜 ¥0.3~0.4 左右，对于价格及其敏感的 LED 电源行业，这种差别相当可观。市面常见的芯片（前文提到的第一代和第二代），很难使用价廉的工字型电感，根本原因是工字型电感磁回路经过了空气部分，在装入金属外壳时，电感量会有比较大的偏移，这就影响了输出恒流精度。而使用闭环控制方式的 DU8623 和 DU8633，根据以上分析，由于全闭环控制，输出恒流精度和电感量变化无关，所以可以使用更低价的工字型电感，在提高性能的同时，降低了整体方案成本。

3 实验验证

我们选择了一个典型非隔离 LED 球泡灯应用来做 IC 功能验证，基本电参数要求如下：

输入电压范围：90~305VAC/50Hz	效率：>82.5%
输出电压范围：0~60VDC	输出电流：123mA
标称输出功率：7.2W	

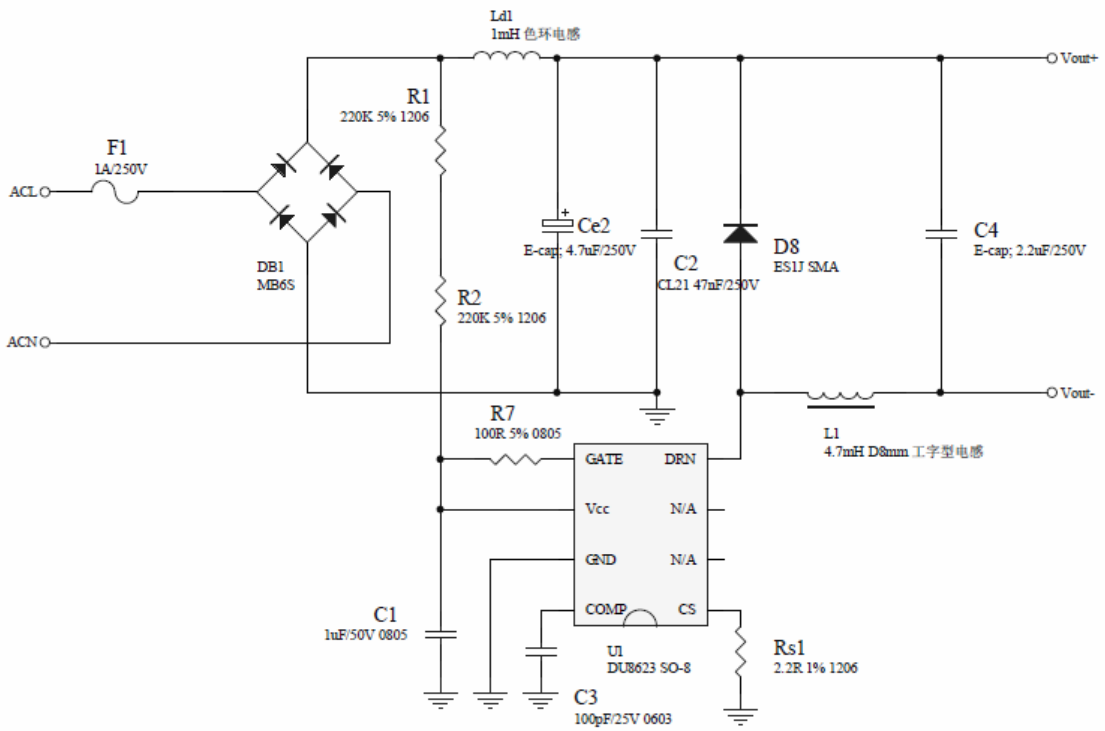


图 6 7W DU8623 球泡灯应用原理图

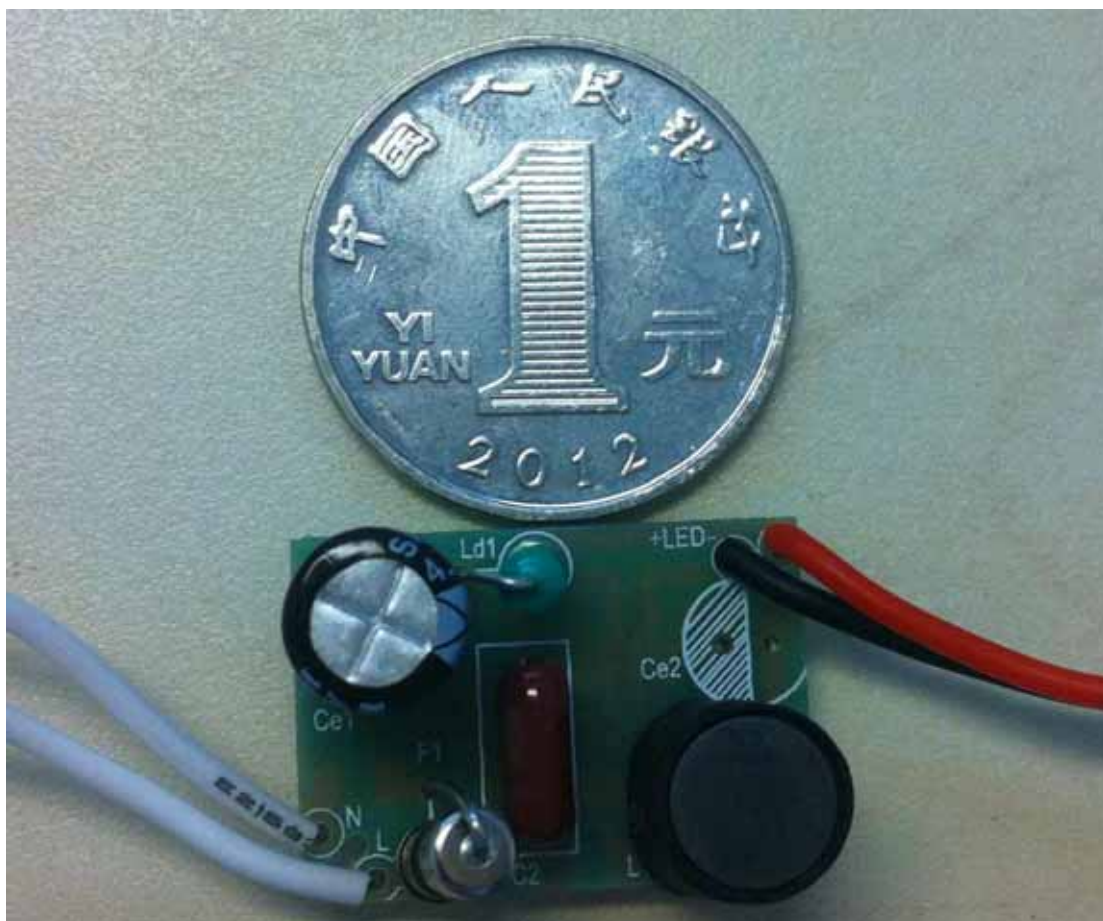


图7 输出 7W 非隔离 LED 球泡灯驱动电源尺寸示意

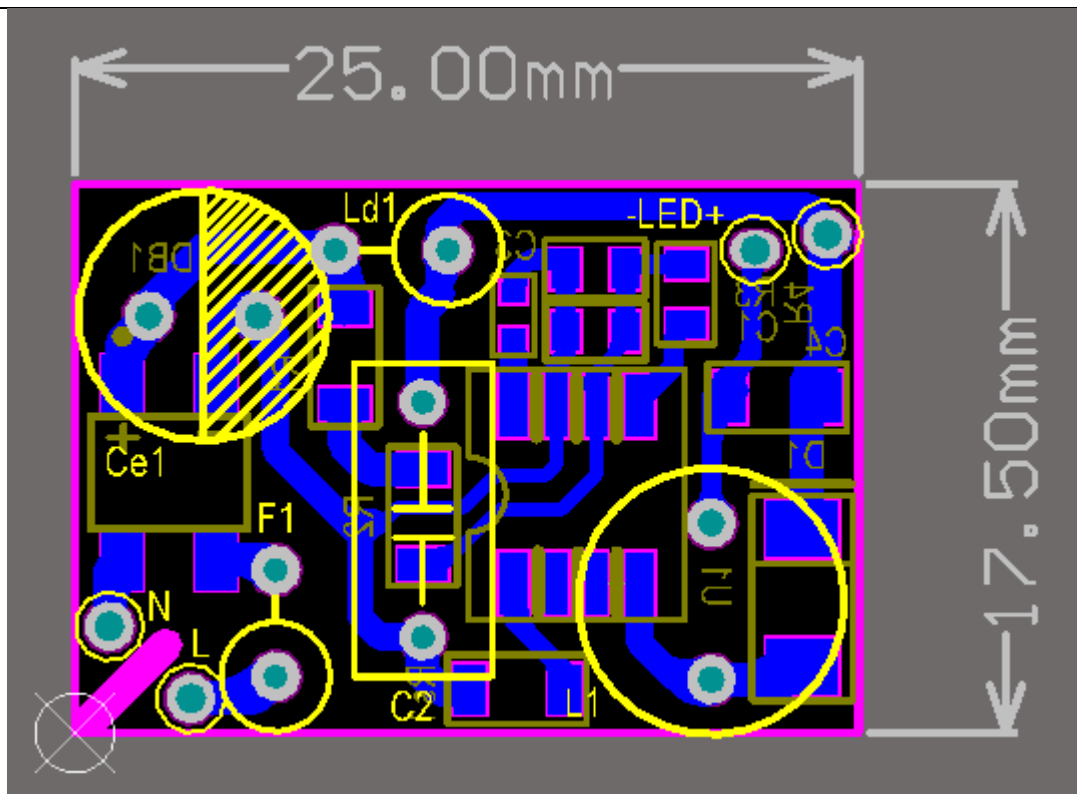


图8 PCB 布板图

基于图6的极简线路，如图7、图8显示，此方案可以在非常小的尺寸下实现7W的输出功率。这样的小尺寸，对于空间狭小，要求很高的球泡灯，有实际的意义。高功率密度是LED灯具对LED驱动电源提出的要求，更优的控制方式是实现更高的功率密度的根本途径。

对于输入电压、负载LED变化情况下，我们测试得到如下线性、负载调整率结果：

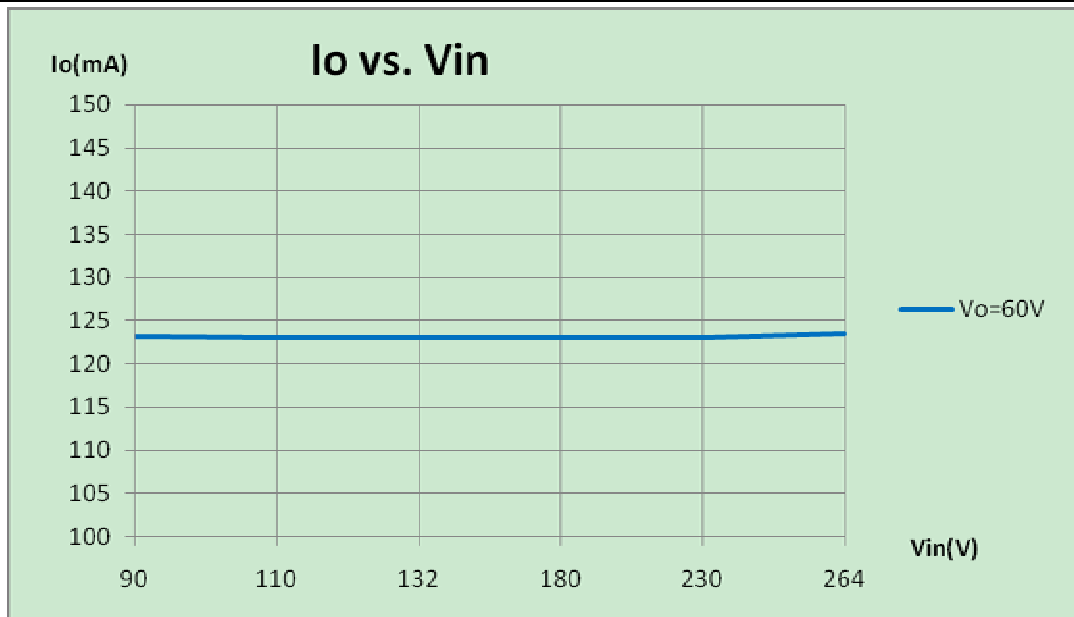


图 9 系统线性调整率 (电流表误差范围内, 视作恒定不变)

线性调整率的实际意义是: 1. 电网波动时的恒流。 2. 应用于世界范围内不同电网的恒流。图 9 的线性调整率接近 0, 这是因为芯片逐周期闭环控制, 立刻响应, 不会引起输出电流变化。在实现如此理想的线性调整率的同时, 还省却了第二代控制芯片因为线性补偿的许多外围元器件, 同时提升的是电路的可靠性。

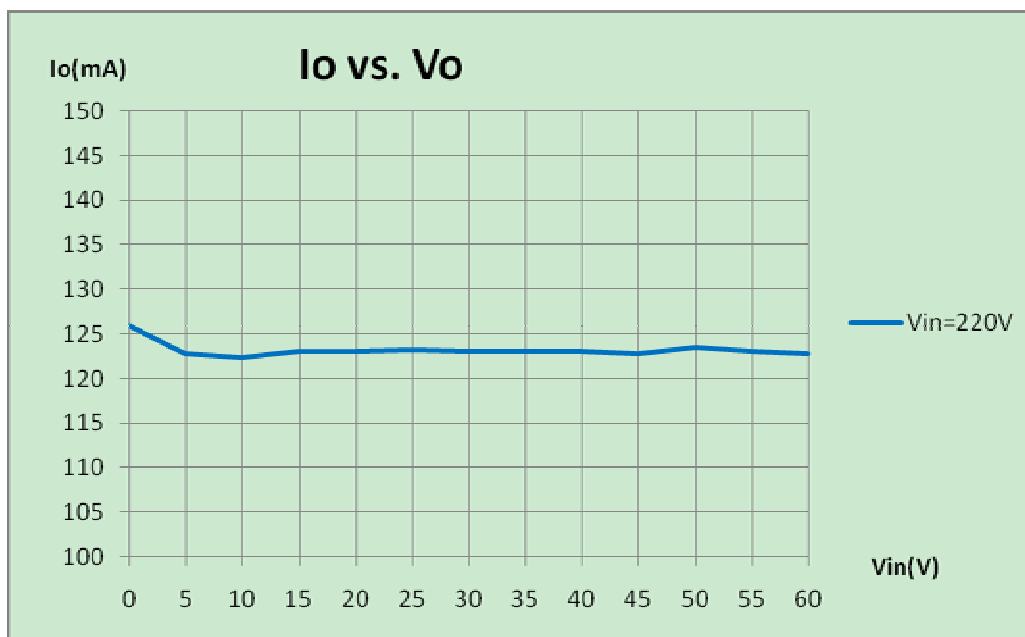


图 10 系统负载调整率

高负载调整率的实际意义是多套灯负载可以用一套电源。例如 12 串输出是 36V 左右, 24 串输出是 72V 左右, 如果设计电流值相同, 可以使用同一套电源, 对于电源厂, 在生产中对于备料、库存管理有显著价值。值得一提的是, 如图 10, 此系统在短路的时候依然实

现了恒流，这就意味着：1. 短路保护通过最安全的方式实现。2. 这是真正意义的全负载恒流。

图 9、10 可以看到，由于闭环控制，在设计的正常工作范围内，输出电流维持定值，单颗系统可以认为是恒定的输出电流，即线性调整率接近 0，负载调整率为 $\pm 0.5\%$ 。量产时，由于参数一致性分布，大量试产数据表明，恒流精度小于 $\pm 2\%$ 。

4 结论

非隔离 LED 恒流驱动发展至今，已经经历了三代。如何针对 LED 负载的需求，从控制的核心出发，提供更高性能、更可靠、更低成本的方案，这是笔者及其业内所有专注 LED 照明事业人士所思考的问题。简言之，有以下 3 个问题需要我们去解：

1. 如何实现更高的恒流精度
2. 如何用更低的成本实现更高恒流精度
3. 如何用更低的成本实现更高的恒流精度时使生产可靠性更高

看似绕口令的三个问题，终极的问题是第三个。目前全球 LED 产业的重心在中国，中国 LED 驱动电源标准尚未敲定，市场百花齐放，产品却良莠不齐，市场以逐利行为导向导致许多质量不过硬的产品流向了消费者。盲目的降成本牺牲性能其实只是短视的商业行为，标准的建立将会有助于整个行业的产业提升。占空比公司，作为中国 LED 标准委员会半导体照明技术标准组的成员单位，作为专业从事 LED 照明驱动的核心公司，肩负中国 LED 标准的撰写任务。可喜的是，第三代非隔离 LED 恒流驱动技术，基于对市场深入骨髓了解所诞生的产品，对于应对以上 3 个问题时有了解决性的解答。革命性的全闭环控制专利，为 LED 市场而生，实现了以下突破：

1. 极高系统恒流精度
2. 对外围元件不敏感致使成本大幅降低
3. 从控制方式上实现了极高功率密度
4. 生产高可靠性

定稿日期：2012-09-26

作者简介：

李明峰，浙江大学电力电子专业工学硕士。曾就职于艾默生网络能源、美国 IR 公司全球技术支持中心。近年来专注于 LED 照明市场趋势研究和资本运作。

张义，曾就职于环球迈特和美国 GE 中国研究中心。目前在中国 LED 标准委员会半导体照明技术标准工作组从事标准撰写工作。

程增奇，就职于美国 BCD 半导体期间曾独立研发 GE、Philips 大量 LED 驱动项目，对 LED 驱动技术发展趋势有独到见解。目前就职于占空比半导体公司从事市场推广工作。