

TRUEC² 全闭环电流专利技术 LED 恒流控制技术

中国半导体照明/LED 产业与联盟 Ramos Deng

摘要: 文章详细介绍了基于 TRUEC² 技术非隔离 BUCK 拓扑、源极驱动 MOSFET, 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。同时, 对比开环方案, 可靠性也有了显著提高。

关键词: TRUEC² LED 恒流控制 全闭环电流控制 DU8608

LED Constant Current Control IC based on TRUEC² Technology

China Solid State Lighting Alliance Li Mingfeng ZhangYi

Abstract: This paper presents the principle of a non-isolated BUCK topology based on TRUEC² constant current control, using PWM control IC: Dutycycle's DU8608. The experiment demonstrates that this control method can effectively increase the accuracy of the output current, who is not subject to the line voltage and external inductor. The Robustness is also increased compare with open loop control solution.

Keyword: TRUEC² /LED Constant Current Control / Close loop current control/ DU8608

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, 主流的方案是通过固定关断时间来固定峰值电流, 从而达到固定输出电流的控制策略。本文将讨论这种控制策略实现恒流的原理, 分析这种开环控制策略的优缺点, 和应用这种控制策略需要做的外围补偿, 同时基于占空比半导体公司新产品 DU8608 芯片, 介绍这种全新的闭环电流控制策略, 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。

2 原理与设计

2.1 目前 LED 非隔离恒流驱动电流领域主流的控制策略

如图 1 所示, 电路是 BUCK 降压结构, 芯片控制的是 MOSFET 的源极, 这是一种开环的恒流电流控制方式, 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。

$$V_i - V_o = L di/dt = L * I_r / DT \quad (1)$$

当 MOSFET 关断时, 电感电流从 D1 续流。得出以下公式:

$$V_o = L di/dt = L * I_r / (1-D)T \quad (2)$$

如图 2 , $I_o(\text{average}) = I_{pk} - 1/2 * I_r \quad (3)$

由 (2) 和 (3)

$$I_o = V_{ref}/R_s - V_o * (1-D)T / (2 * L) \quad (4)$$

V_{ref} 和 R_s 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。

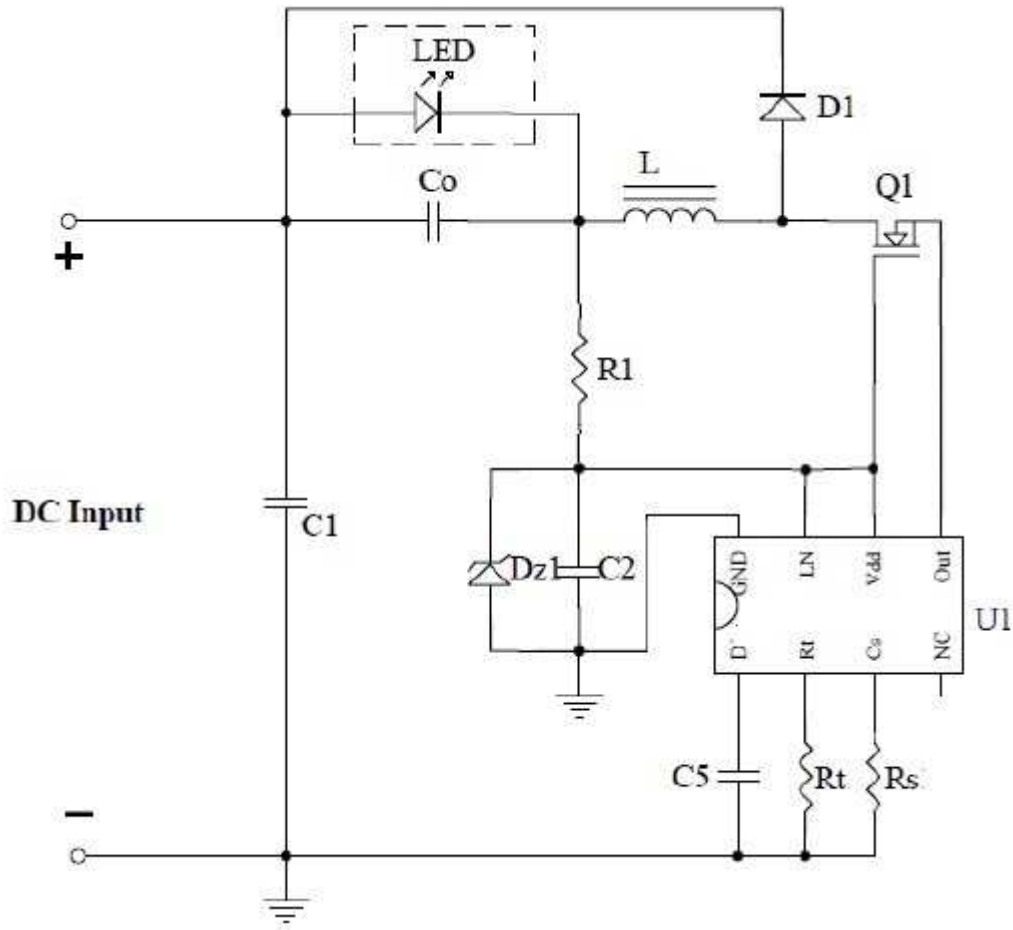


图 1 非隔离降压恒流 LED 驱动电源示意图

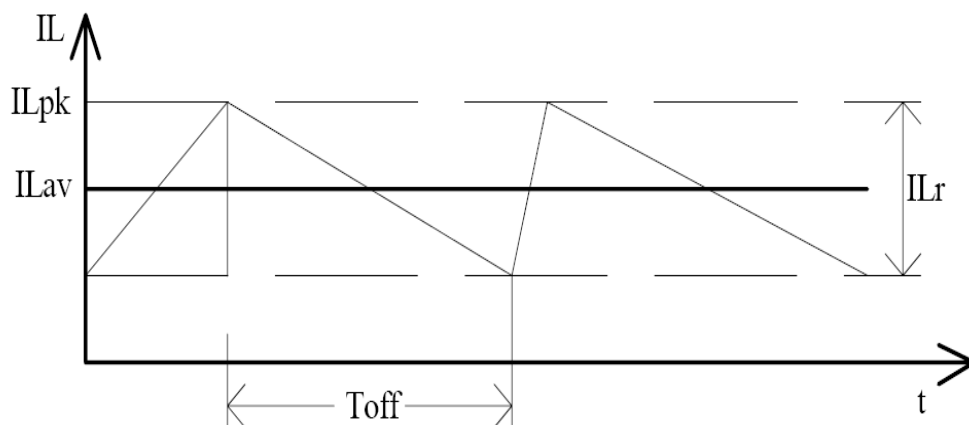


图 2 开环控制策略中的电感电流波形

所以，这种开环的控制策略是，连接在 R_t 的电阻设定 MOSFET 的关断时间。每个周期开

始, MOSFET 打开直到电感电流上升到峰值 V_{ref}/R_s , 这时 MOSFET 关断, 关断时间由 R_t 决定。过了设定的关断时间, MOSFET 又重新打开, 这样周而复始地工作。关断时间控制了纹波电流 LED 平均电流, 根据想要输出的电流值, 调节 CS 管脚的 R_s 值, 调节 R_t 值, 固定每个开关周期的关断时间为一个值, 从而实现了输出电流恒流。

这是一种简单有效的控制策略, 但是由于这是一种开环控制模式, 只能检测电感上的峰值电流, 无法检测输出电流, 输出电流精度在三种情况下容易出现偏差:

1. 输入电压波动。(开环控制, 无法反馈, 系统延时造成)
2. 批量生产电感感值偏差。(式 4 中, L 变化引起 I_o 变化)
3. LED 负载电压不相同 (V_o)

对于第1种偏差, 只能采取电压补偿的办法, 即检测输入电压, 根据输入电压调整内部 CS 参考电平值, 但是效果一般, 对于第2种和第3种偏差, 比较难解决。

一种全新的全闭环控制策略可以完全避免上述几种偏差, 从根本上实现真正的 LED 恒流。

2.2 DU8608 如何实现真正全闭环的恒流控制

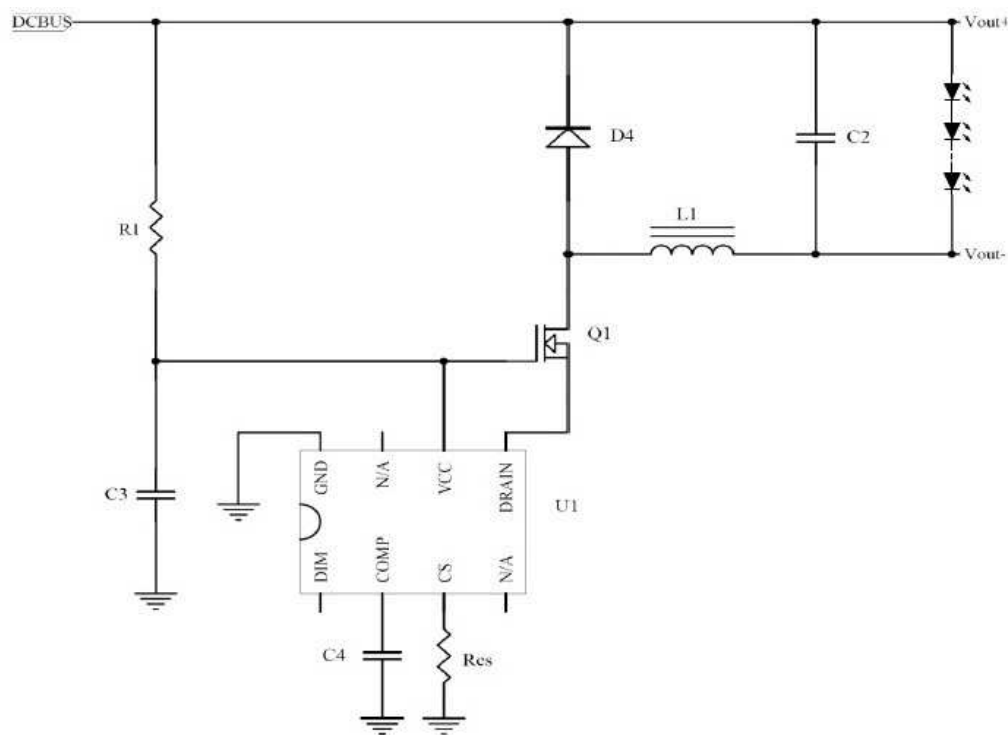


图 3 全闭环非隔离降压恒流 LED 驱动电源示意图

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 3 CS 脚电感电流信号, 做专利技术处理, 如图 4 *TRUEC²* 部分。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, 图 3 和图 1 相比, 省去了开环控制所需的输入电压补偿线路, 省却了控制固定关断时间所需的 R_t 电阻。值得一提

的是，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，同时具备 R_{cs} 采样电阻的开路、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。

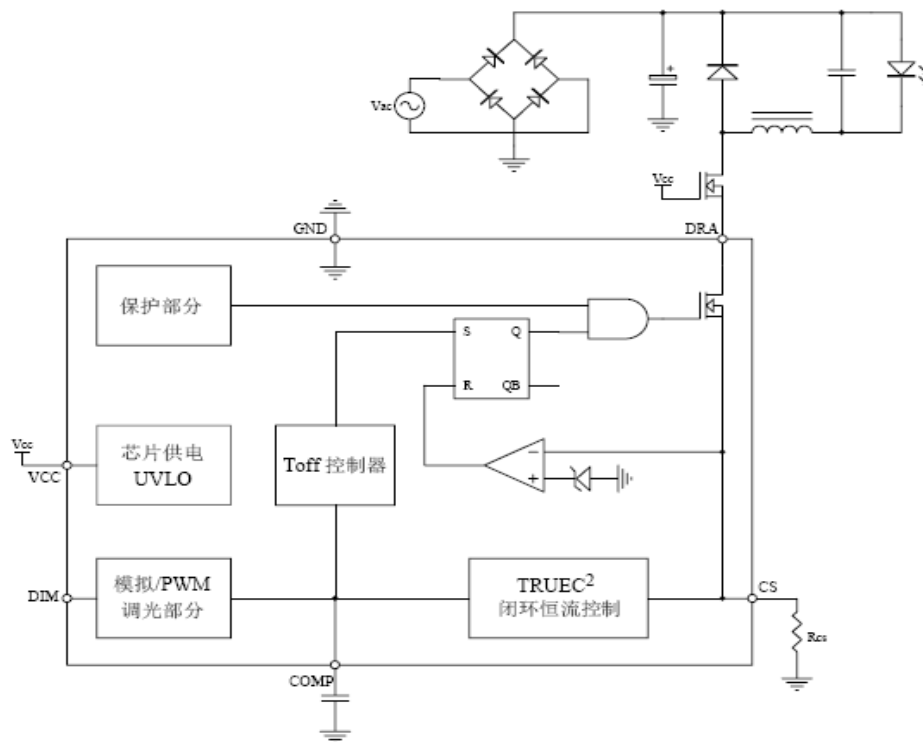


图 4 DU8608 内部功能图

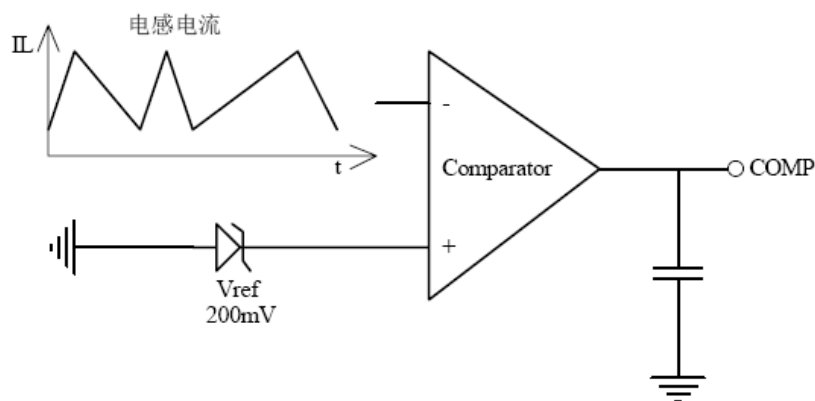


图 5 $TRUEC^2$ 部分工作示意

3 实验验证

我们选择了一个典型 LED 日光灯应用来做 IC 功能验证，基本电参数要求如下：

输入电压范围：180~305VAC/50Hz 功率因数：>0.9 效率：>90%
 输出电压范围：3~80VDC 输出电流：240mA

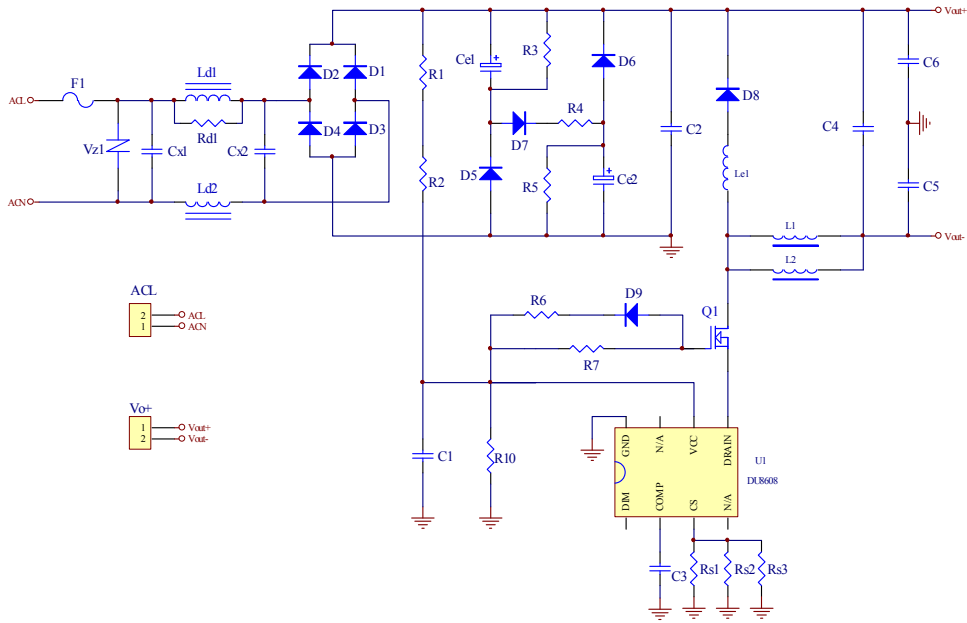


图 6 DU8608 日光灯应用原理图

对于输入电压、负载 LED 变化情况下，我们测试得到如下交叉调整率结果：

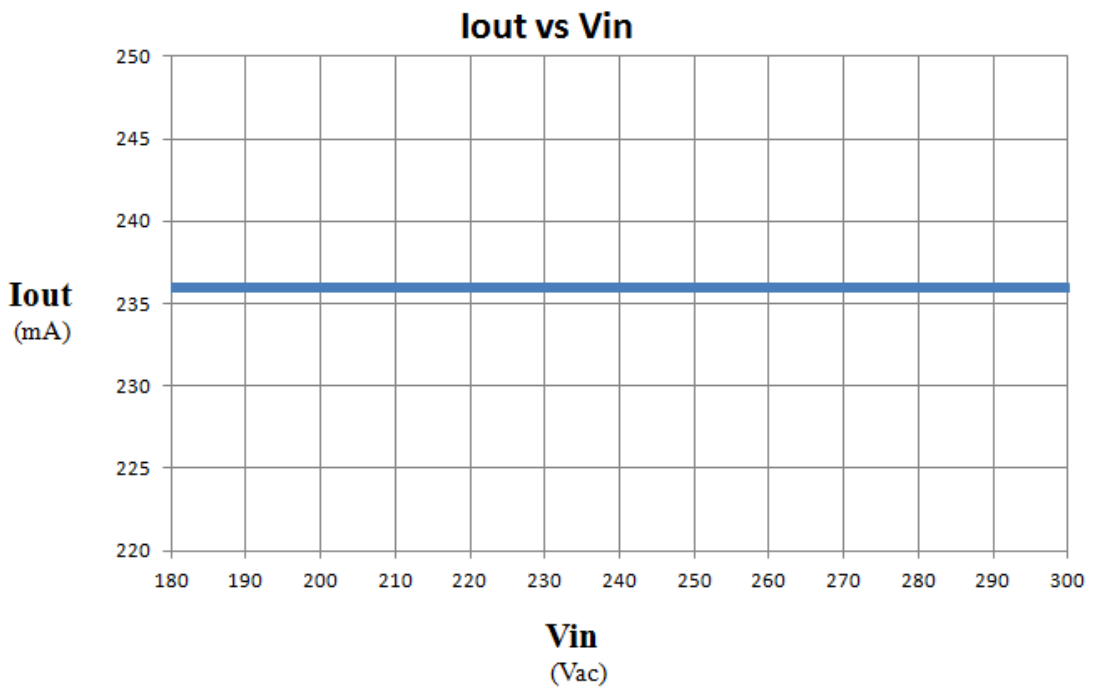


图 7 系统线性调整率（电流表误差范围内，视作恒定不变）

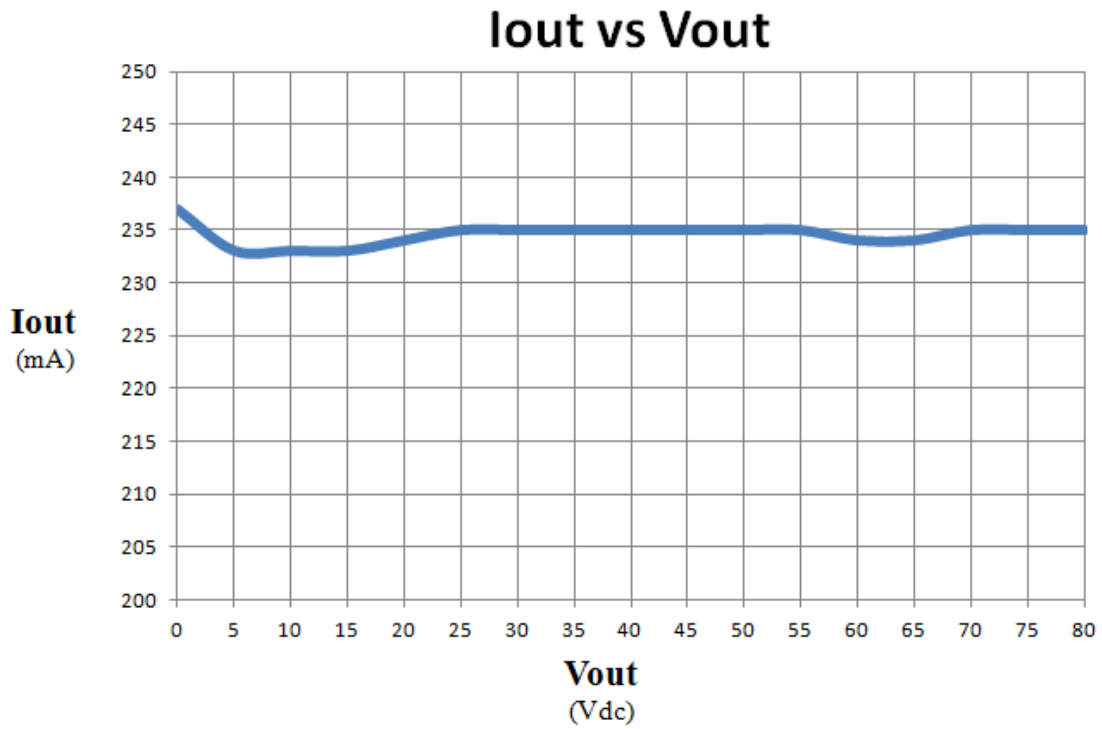


图 8 系统负载调整率

图 7、8 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，即线性理论值是 0，负载调整率为 $\pm 0.5\%$ 。量产时，由于参数一致性分布，大量数据表明，恒流精度小于 $\pm 0.9\%$ 。

对于输出电感变化，我们测试到如下结果

Vo=50V	Vin=180	Vin=220	Vin=264	Vin=300
0.75mH	235	235	236	236
0.95mH	235	235	234	234
1.2mH	236	236	236	236
1.5mH	235	235	235	235
1.8mH	236	236	236	236
2mH	235	235	236	236
2.5mH	234	234	234	235
3mH	233	233	234	234

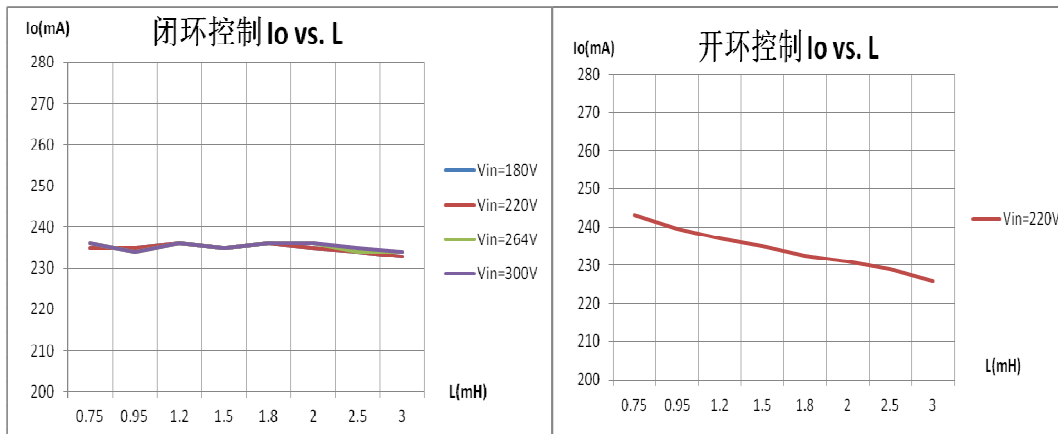


图 9 输出电流精度 vs.电感量变化（闭环控制与开环控制的区别）

图 9 反映的是电感大范围变化(设计标称值 1.5mH)时, 输出电流的变化, 如左图。如果这种测试用于目前市场上开环系统芯片, 按照前文推导结果公式(4), 电流会出现线性的大范围波动, 如右图。而 DU8608 闭环的方式, 使得输出电流依然保持 $\pm 0.9\%$ 以内的恒流精度。充分说明了闭环系统对于整个系统恒流精度提高的重要性。

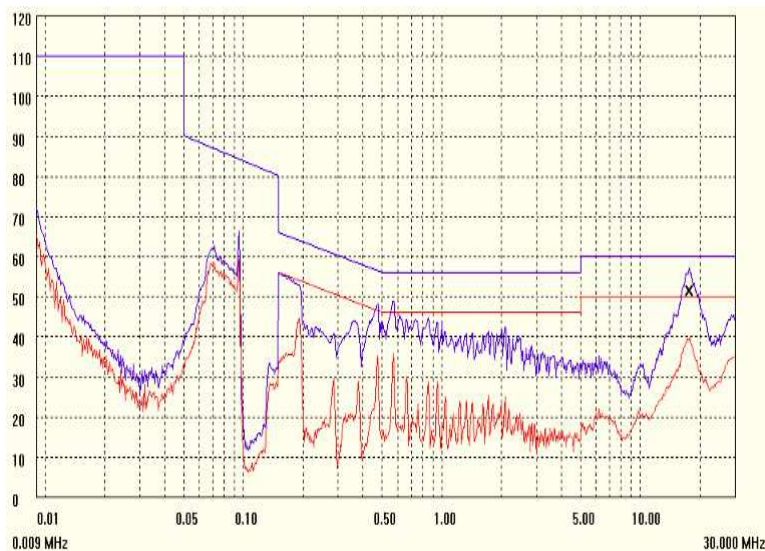


图 10 LISN 测试结果

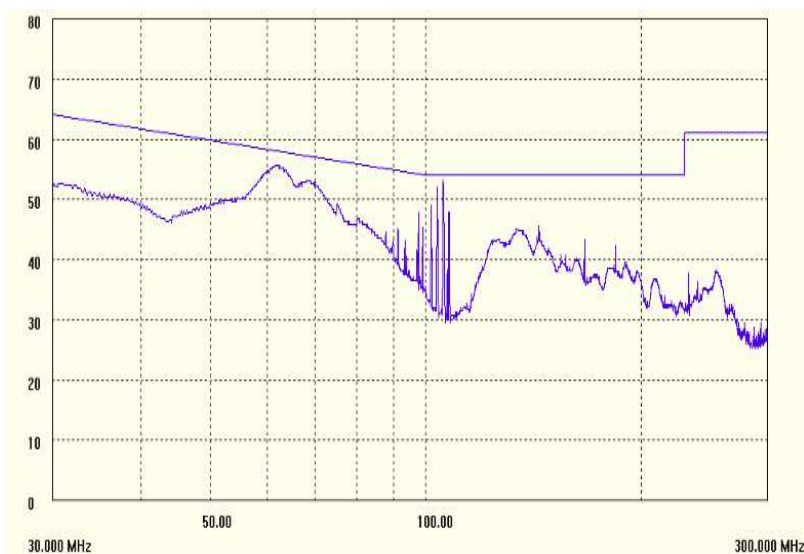


图 11CDN 测试结果

前文所提到的开环方式的三种引起电流变化的情况，都从原理上得到根本解决：

1. 输入电压波动。(逐周期闭环控制，立刻响应，不会引起输出电流变化)
2. 批量生产电感感值偏差。(电感值不敏感，甚至电感短路保护)
3. LED 负载电压不相同，输出不变。这一特点对电源厂生产有很大意义，因为这意味着串联不同数目的灯珠负载，可以用同一套电源设计，这就减少了备料，降低了成本。

4 结论

全闭环控制，检测输出电流，来发出 PWM 信号，是真正的恒流电源驱动控制技术。实验表明，相对于其他非闭环的方案，这种独有的闭环恒流控制技术使输出电流精度有了质的飞跃，使整机电源在全电压、全负载、电感变化范围内的电流精度达到行业内目前最高的±0.9%，同时，由于闭环控制，线路具备了电感短路、电流检测电阻短路/开路保护功能，相比与开环方案，电路可靠性有了很大提高，并且使多套灯负载可以用一套电源，在生产中有显著价值。