



Is Now Part of



ON Semiconductor®

**To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
www.onsemi.com**

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

AN-9744

具有 PFC 功能的智能 LED 灯驱动器 IC

引言

FL7701 为 PWM 峰值电流控制器，可用于连续传导模式 (CCM) 的降压转换器拓扑，具有智能 PFC 功能，采用数字控制算法。FL7701 具有内部自偏压电路，偏压电路为一个采用高压开关器件的电流源。若 HV 引脚上施加的输入电压大于 25 V 至 500 V 这一范围，则 FL7701 在 VCC 引脚处保持 15.5 V_{DC}。FL7701 还具有一个用于稳定工作的 UVLO 电路。若 V_{CC} 电压高于 V_{CCST+}，则 UVLO 模块开始操作。若 V_{CC} 降至低于 V_{CCST-}，则 IC 操作停止。请注意，本应用指南也适用于 FLS0116。这款智能 LED 灯驱动器 IC，具有与 FL7701 相同的特性和功能，但包含内置的 1 A，500 V MOSFET。

由 ZCD 得出的内部数字参考

当输入电压处于嘈杂环境或不稳定条件下时，提供滞后以实现 IC 的稳定操作。FL7701 具有适用于交流输入条件的“智能”内部模块。若采用 50 Hz 或 60 Hz 的交流电源，IC 会自动更改内部参考以适应具有内部固定瞬变时间的输入条件。

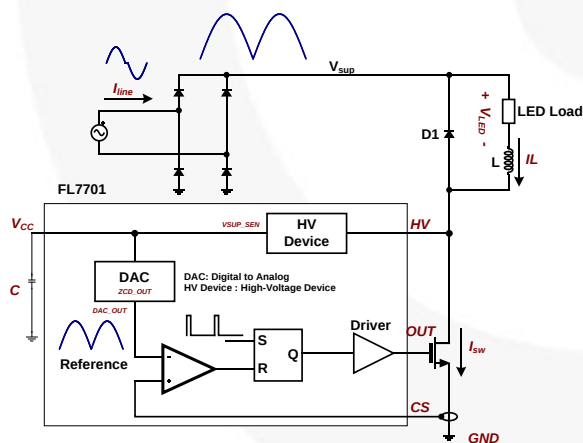


图 1. FL7701 的基本模块

直流电源连接至 IC 时，内部参考会立即变为直流波形。内部 DAC_OUT 参考信号取决于 V_{CC} 电压。采用 DAC_OUT 信号和内部时钟 CLK_GEN，FL7701 自动形成一个数字参考信号 DAC_OUT。若连接至 V_{CC} 的电容值过高，则 V_{CC} 压降在交流输入电压波谷区域可能不够。ZCD_OUT 信号不准确触发且 IC 会具有异常内部参考信号，具体请参见图 2 以了解正常的触发顺序。该异常内部参考信号会使 LED 灯闪烁。

软启动功能

FL7701 具有内部软启动功能，可减少 IC 启动时的浪涌电流。当 IC 启动工作时，在大约 7 个周期内，内部参考电压缓慢上升到达一个固定值。在该瞬变周期后，内部参考固定在某个直流电平，具体请参见图 3。在该瞬变时间内，IC 会不断尝试从 VCC 引脚获得输入相位信息。若 IC 成功从 VCC 输入检测到相位信息，则 IC 会在相似形状后自动达到交流输入电压，具体请参见图 4。否则，IC 具有直流参考电平。

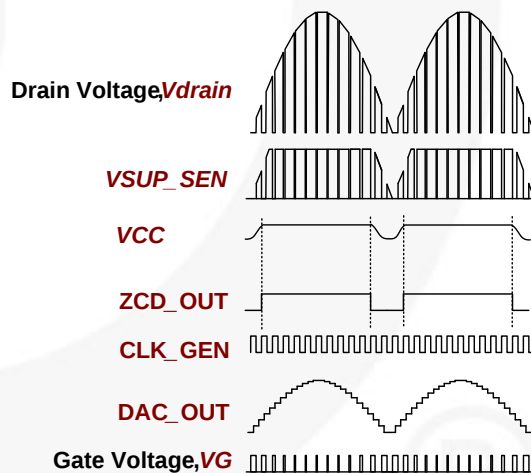


图 2. FL7701 操作

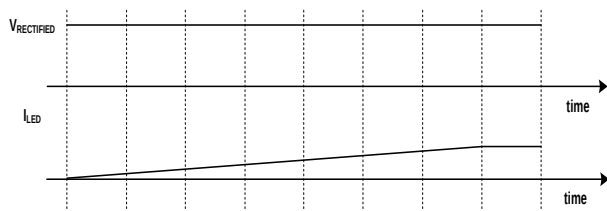


图 3. 直流输入条件

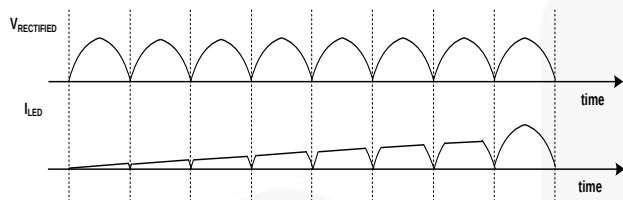


图 4. 交流输入条件

内部功率因数 (PF) 功能

在 FL7701 的应用电路中，桥式二极管后的电路不采用电解电容，因为该系统设计会产生高脉冲波形输入电流。该脉冲波形电流包含多种谐波成分，因此整个系统不会获得较高的功率因数。为了获得高功率因数，FL7701 采用了一种不同的方法。

FL7701 具有智能的内部功率因数校正功能，无需额外检测引脚或其它器件。IC 的 VCC 引脚无需采用大电容来稳定电源电压。

FL7701 检测 V_{CC} 更改点以生成过零检测 (ZCD) 信号，该信号是用于生成 DAC_OUT 的内部定时信号。一般情况下，VCC 引脚上连接一个电容，除了稳定电压，还用做低通滤波器，或用做抑噪滤波器。这样在 VCC 引脚就增强了获得稳定计时信号的能力，不论其他引脚是否出现噪声。

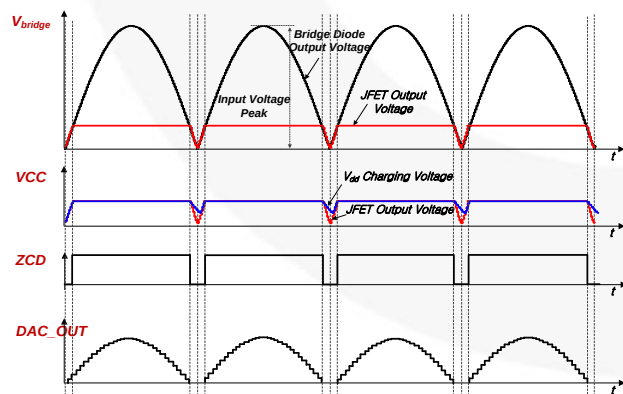


图 5. 内部功率因数校正功能

为了精确和可靠地计算 VCC 引脚上的输入电压相位，FL7701 采用了数字技术（西格玛/增量调制/解调制）。为了完成该数字技术，FL7701 采用一种新的、与输入电压相位相同的参考电压，如图 6 所示。

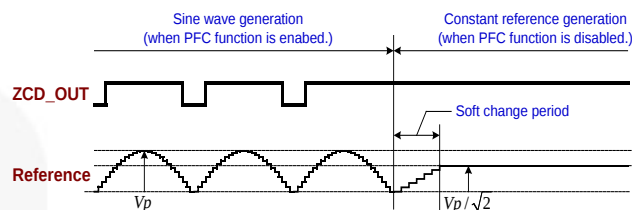


图 6. 内部参考

该信号输入到最终比较器，与引脚 1 处来自检测电阻的电流信息进行比较。结果是，在直流输入条件下，FL7701 作为常规峰值电流控制器，产生高功率因数，如图 6 所示。交流输入模式与直流输入模式之间的关系为 $\sqrt{2}$ 。

输出频率编程

通过采用 RT 电阻或在 RT 引脚开路条件下，FL7701 可对输出频率编程。FL7701RT 在引脚处于开路状态时可能会具有 45 kHz 左右的固定输出频率。为提高系统可靠性，建议在 RT 开路条件下使用低于 100 nF 的小值电容。输出频率与 RT 电阻之间的关系为：

$$f_{osc} = \frac{2.02 \times 10^9}{RT} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

输出开路保护

推荐的接线方式如图 7 所示。FL7701 具有一个高压电源电路，采用高压工艺器件，能够自偏压。如果 LED 未连接到该芯片，该芯片不能启动。

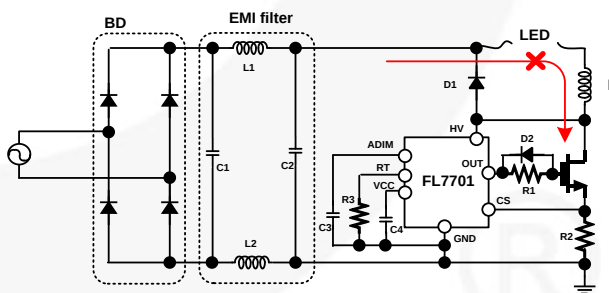


图 7. LED 开路条件

电感短路保护

FL7701 具有异常过流保护 (AOCP) 功能。若 LED 电流感测电阻的电压高于 2.5 V, 即使仅在 350 ns 的前沿消隐 (LEB) 时间内, 也会导致 IC 停止操作。

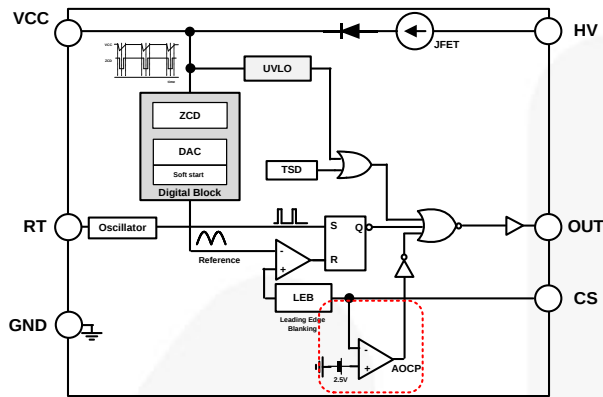


图 8. AOCP 功能

模拟调光功能

通过改变 ADIM 引脚的电压值, 模拟调光 (ADIM) 功能可以调节输出 LED 电流。

应用信息

FL7701 为创新型降压转换器控制 IC, 专为 LED 应用而设计。可无限限制地从直流到交流输入电压操作, 且输入电压电平可高达 308 V_{AC}。

表 1 给出了一个采用 FL7701 器件的设计目标实例。

表 1. 目标设计指标

项目	技术规格	备注
频率	45 kHz	
输出电压	35	V _F =3.5 V, n=10
输出 LED 电流 RMS	0.3	I _{LED (rms)}
输出 LED 电流峰值	0.5	I _{LED (峰值)}
输入电压 (最大值)	220	V _{AC (rms)}

第 1 步: 最小占空比

FL7701 具有一个固定的内部占空比范围, 即 2% 至 50% 之间。该范围取决于输入电压和 LED 灯串中的灯数。

$$D_{\min} = \frac{nV_F}{\eta \times V_{in(\max)}} \quad (2)$$

其中, η 是系统效率; $V_{in(\max)}$ 是最大输入电压; V_F 是 LED 的正向压降; n 是串联的 LED 数。

例如, 若 $V_{in(\max)} = 220 \text{ V}$ 、 $\eta=85\%$ 且 10 个 LEDs 串联, 则最小占空比为:

$$D_{\min} = \frac{10 \times 3.5}{0.85 \times \sqrt{2} \times 220} = 0.132$$

第 2 步: 最大占空比

与步骤 1 类似, 计算最大占空比为:

$$D_{\max} = \frac{nV_F}{\eta \times V_{in(\min)}} \quad (3)$$

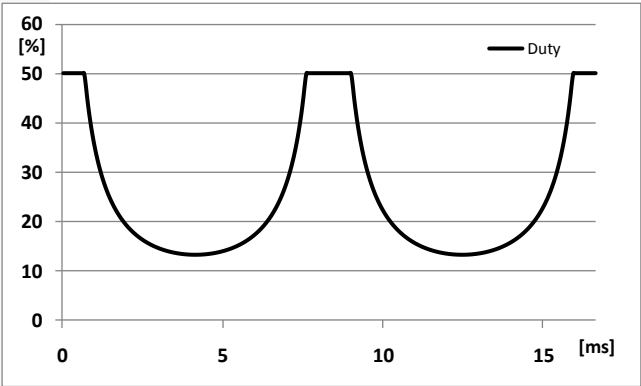


图 9. 占空比与时间的关系

FL7701 的最大占空比为 50%, 可以防止出现次谐波不稳定性。假定最小输入电压时占空比为 50%。采用方程式 (2), 重新计算可得 CCM 模式下的最小输入电压为:

$$V_{in(\min)} = \frac{nV_F}{\eta \times D_{\max}} = \frac{35}{0.85 \times 0.5} = 82.35[V] \quad (4)$$

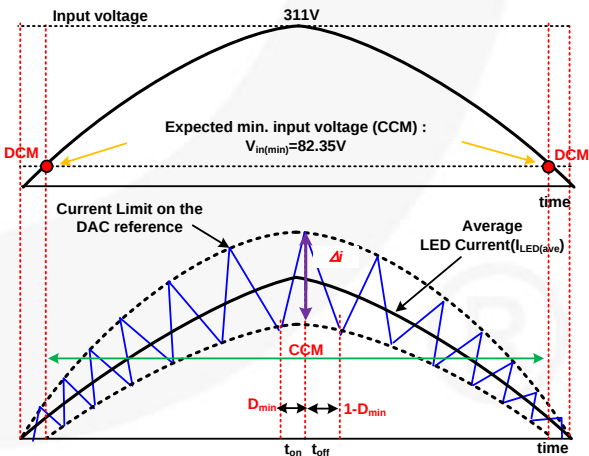


图 10. 估计波形

步骤 3: 最大通/断时间

FL7701 具有内部固定的最大占空比, 大约为 50%, 可以防止次谐波不稳定性。假定最大通/断时间。例如, 在 45 kHz 操作条件时的最大通/断时间是:

$$t_{on} = t_{off} = \frac{1}{2f_s} = \frac{1}{90000} = 11.11 \text{ } [\mu\text{s}]$$

步骤 4: 计算 LED 电流纹波, Δi

图 11 显示 FL7701 应用中典型的 LED 电流波形。为了获得更稳定的或线性 LED 电流, 应在 CCM 模式中操作。

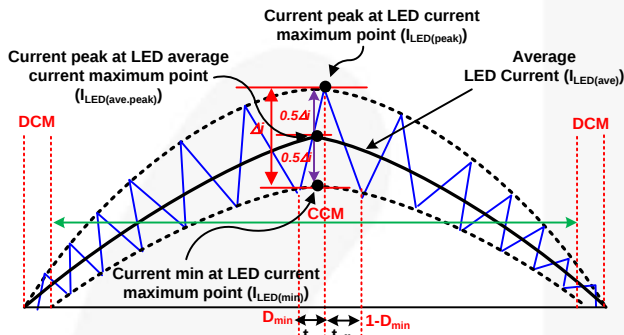


图 11. LED 电流的目标波形

采用图 11 中所示的典型 LED 电流波形, 可推导如下公式:

$$I_{LED(peak)} = I_{LED(ave, peak)} + \frac{\Delta i}{2} \text{ 或者}$$

$$I_{LED(min)} = I_{LED(ave, peak)} - \frac{\Delta i}{2} \quad (5)$$

在表 1 中, 希望达到的 LED 平均电流始终介于 LED 峰值电流值 ($I_{LED(峰值)} = 500 \text{ mA}$, 受到 IC 本身的限制) 和 LED 最小电流之间。采用该特性, 可得到目标输出电流纹波范围 (Δi) 时的电感值为:

$$\Delta i = 2(I_{LED(peak)} - I_{LED(ave, peak)}) \text{ 或者}$$

$$\Delta i = 2(I_{LED(ave, peak)} - I_{LED(min)}) \quad (6)$$

$$\text{其中, } I_{LED(rms)} = \frac{I_{LED(ave, peak)}}{\sqrt{2}}$$

根据表 1, 目标 LED 电流定义为 0.3A, LED 电流峰值设为 0.5 A。

$$\Delta i = 2(I_{LED(peak)} - \sqrt{2} \cdot I_{LED(rms)})$$

$$= 2(0.5 - \sqrt{2} \cdot 0.3) = 0.1516 \text{ [A]}$$

步骤 5: 电感量

采用第 4 步结果, 推导电感的最小电感值的另一个公式为:

$$L = \frac{(V_F \times n)(1 - D_{min})}{f_s \times \Delta i} = \frac{3.5 \times 10 \times (1 - 0.132)}{45000 \times 0.1516} = 4.5 \text{ [mH]} \quad (7)$$

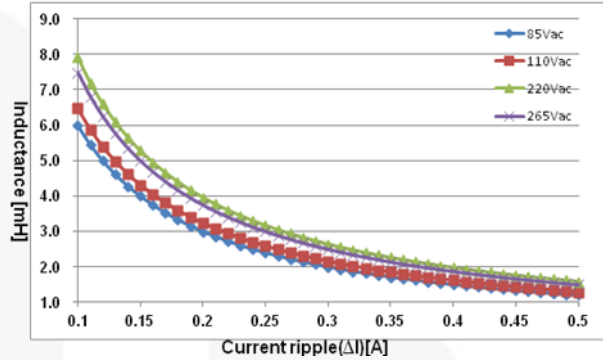


图 12. 电流纹波 (Δi) 与电感量的关系

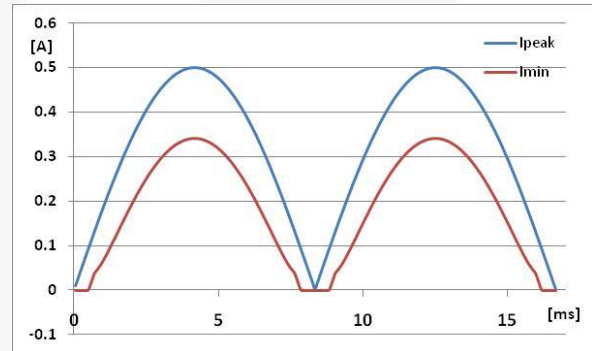


图 13. 期望波形

步骤 6: 感测电阻

电流感测电阻值可通过下列因素确定:

$$R = \frac{V_{CS}}{I_{LED(peak)}} = \frac{0.5}{0.5} = 1 \text{ } [\Omega] \quad (8)$$

即使考虑到了峰值电流条件下的功耗, 功率额定值也低于 0.25 W。

步骤 7: 频率设置电阻

$$R_f = \frac{1}{f_{sw}} \cdot 2.0213 \cdot 10^9 = 44.919 \text{ [k}\Omega\text{]} \quad (9)$$

若不连接频率设置电阻 R_f , 则系统在 IC 的默认开关频率 (即 45 kHz) 下操作。

系统校验

图 14 给出了 FL7701 系统的推荐电路, 仅包含少量器件。

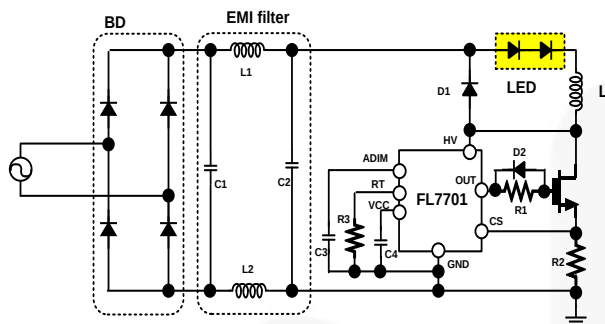


图 14. 测试电路

图 15 和图 16 显示处于 220 V 的直流和交流输入条件且连接 10 个 LED 的 FL7701 应用的启动波形。

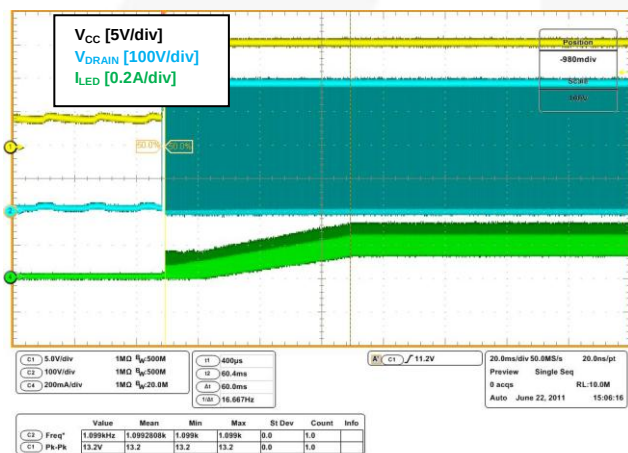


图 15. 直流输入条件下的软启动性能

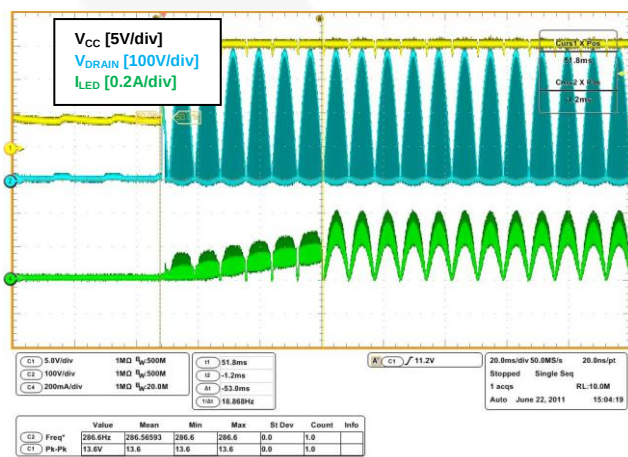


图 16. 交流输入条件下的软启动性能

图 17 和图 18 显示在输入源从高压线路频率变为较低频率, 然后再变为较高频率后 FL7701 的性能。

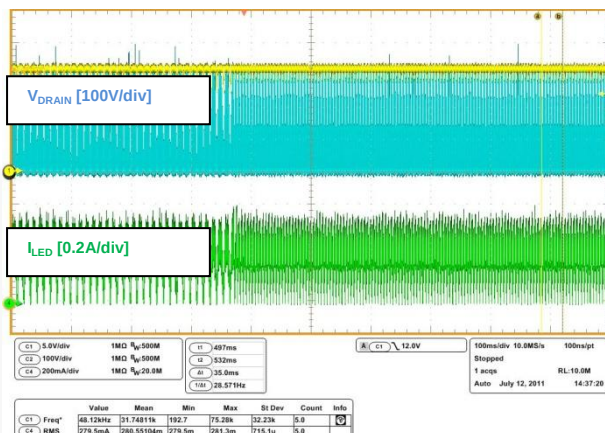


图 17. 输入电源变化: 45 Hz 至 100 Hz

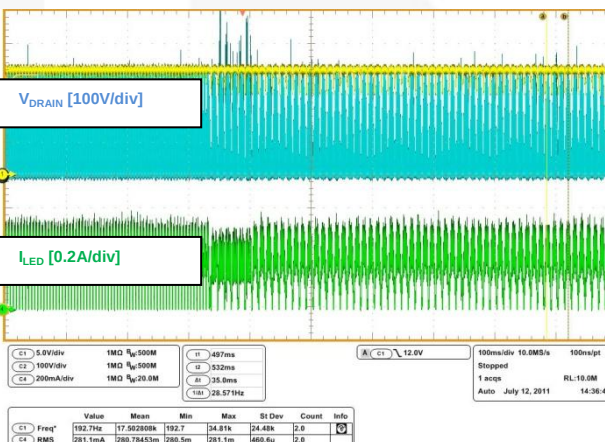


图 18. 输入电源变化: 100 Hz 至 45 Hz

图 19 显示 V_{ADIM} 变化时的模拟调光性能。随着控制电压的改变, 输出 LED 电流相应变化。

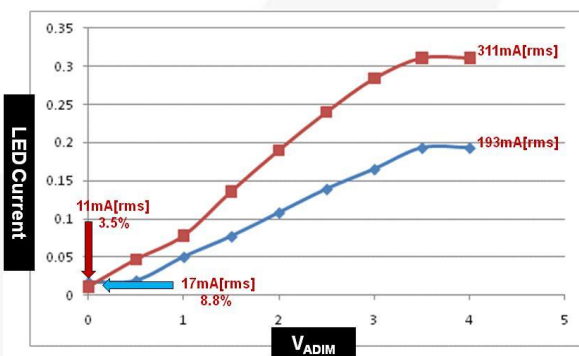


图 19. V_{ADIM} 与 LED 电流的关系

图 20 给出了 AOCPP 性能的典型功能。FL7701 能够逐脉冲地限制输出 LED 电流，采用前沿消隐 (LEB) 技术，排除电流噪声影响。虽然该集成电路能够逐脉冲地限制输出 LED 电流，也不能够防止由电感短路引起的突波电流。为了杜绝这类异常工况，该集成电路设计了 AOCPP 功能，实现了系统保护。

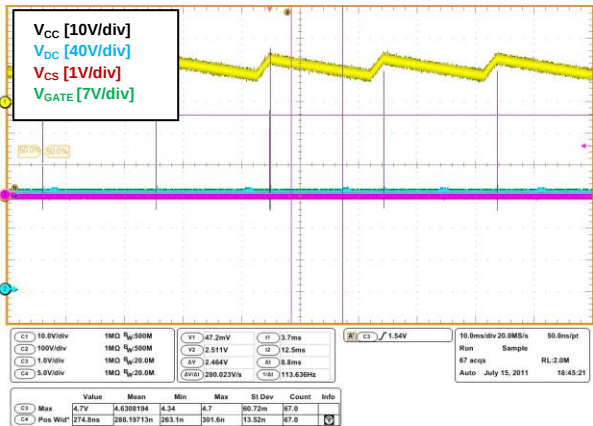


图 20. AOCPP 功能

图 21 给出了 FL7701 系统的典型波形。LED 电流的相位与输入电压源、整流后正弦波形相同。

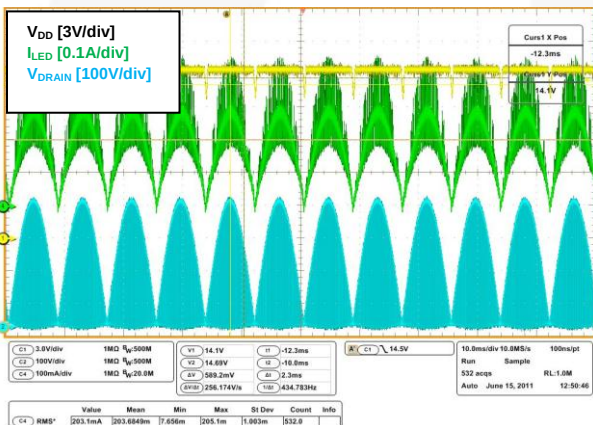


图 21. 典型的工作波形

设计提示

LED 电流变化

图 22 给出了推荐的、可获得高功率因数的电路波形。在这种条件下，每隔半个周期，LED 电流将变为零。

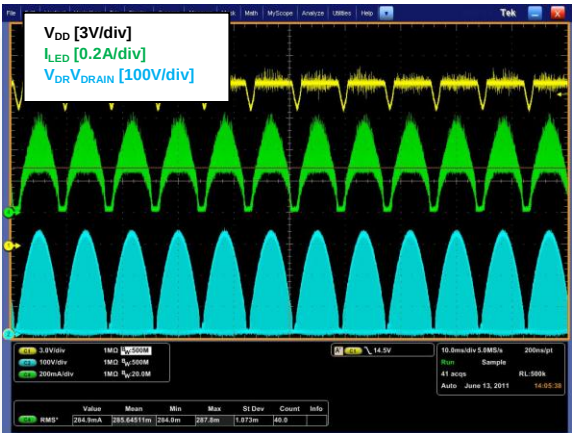


图 22. 典型波形

为解决该问题，增加一只电解电容且与 LED 负载并联，如图 23 所示。该电容提供了真实的直流 LED 电流。

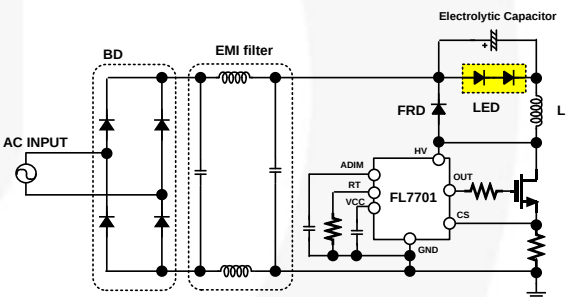


图 23. 采用电解电容的电路

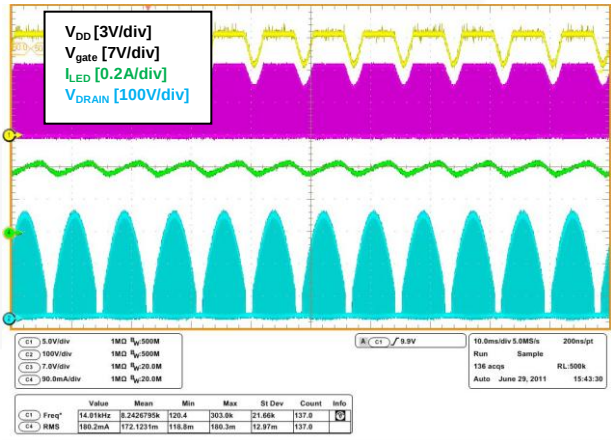


图 24. 带有大电容时的典型波形

在模拟调光期间防止 LED 因 ZCD 错误而闪烁

FL7701 的 HV 引脚通常在 EMI 滤波器组件之后连接。HV 引脚波形因 EMI 滤波器的 L-C 谐振和 EMI 电容的放电而造成失真。这可能导致 VCC 波形失真以及 ZCD 检测错误,如图 25 所示。异常波形可能会使 LED 灯闪烁。

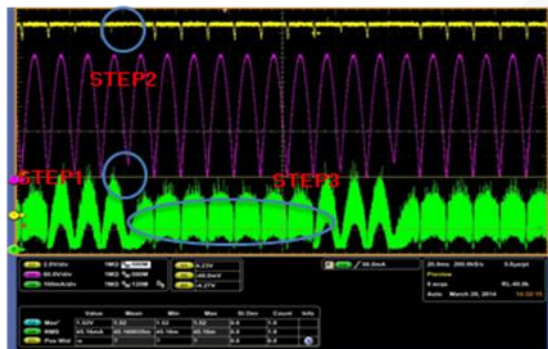


图 25. LED 在模拟调光时闪烁

LED 闪烁的原因如下:

1. EMI 滤波器针对额定输出功率而优化。采用模拟调光时,输出功率降低。随着输出功率降低,EMI 滤波器电容无法完全放电。
2. 当 EMI 滤波器电容完全放电时,VCC 电压没有压降点,从而造成 ZCD 错误。
3. 当 ZCD 错误发生时,FL7701 在接下来的 6 个整流线路周期中改为直流模式操作,LED 灯串因电流偏差而闪烁。

为了预防 FL7701 用于模拟调光时的 ZCD 错误,HV 连接点必须通过串联的二极管,从漏极端改为输入端,如图 26 所示。

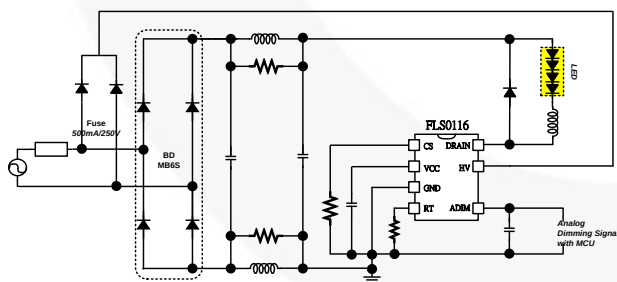


图 26. 采用模拟调光的 FLS0126 应用

最小调光范围

模拟调光引脚的工作范围为 0.5 V ~ 3.5 V。若直流信号未注入 ADIM 引脚,则该引脚在内部拉高至 3.5 V 且系统以全亮状态操作。

若 ADIM 引脚电压低于 0.5 V,则 FL7701 以最小导通时间操作,该时间决定最小调光电流,如图 27 所示。

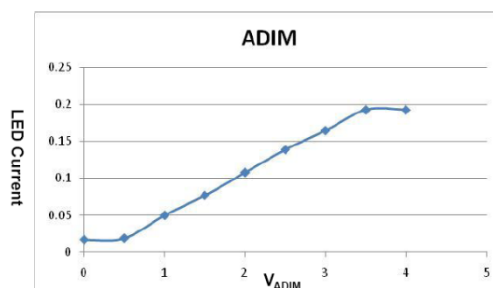


图 27. 模拟调光曲线示例

增强系统可靠性

为了在嘈杂条件下提高系统可靠性,请将低于 100 pF 的小电容添加到 RT 和 ADIM 引脚上。在正常条件下,没有必要采用这些器件。

PCB 布局指南

PCB 布局相当重要,这是因为该集成电路一般用于改装灯具应用,需要非常小的产品尺寸。该集成电路可能受到噪声影响,因此必须谨慎地遵循 PCB 布局指南:

- 将集成电路放置于外部供电路径上。
- 分离功率 GND 与信号 GND。
- V_{CC} 电容尽可能靠近 VCC 引脚布置。

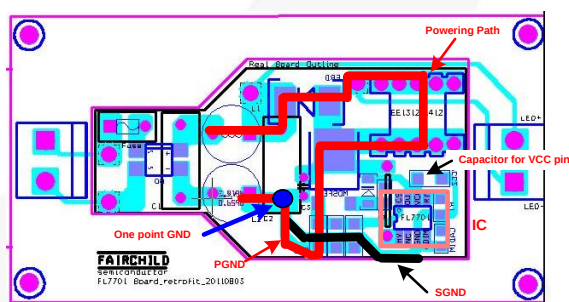


图 28. LED 布局范例

相关数据手册

[FL7701 - 具有 PFC 功能的智能 LED 灯驱动器 IC](#)

[FLS0116 - 具有 PFC 功能的 MOSFET 集成智能 LED 灯驱动器 IC](#)

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which,
(a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative