

TPS92560 高变压器兼容性的 MR16/AR111 LED 射灯驱动电源专用方案

Jason Xu

Power Management/Field Applications

摘要：LED 的 MR16/AR111 射灯作为替换型灯具，其驱动电源设计除了要满足高效、可靠、经济的要求外，还要兼容原有 MR16/AR111 卤素灯供电架构中的电子变压器。本文首先从电子变压器的工作机理出发，阐述了电子变压器兼容性问题的由来，并结合 TI 公司的新一代 MR16/AR111 LED 射灯专用驱动芯片 TPS92560，给出了驱动电源的设计注意事项，最后给出样机的实验数据。

关键词：TPS92560；LED 驱动电源；MR16/AR111；电子变压器兼容性；

1. 引言

MR16/AR111 射灯由于可自由变换照射角度且体积小，既可作为整体照明起主导作用，又可作为局部照明用来制造效果和点缀气氛。故在商业照明和家居照明中得到了广泛的使用。LED 的 MR16/AR111 射灯与原先的卤素灯相比，具有节能、寿命长、颜色丰富、发热量低等优点，近年来成为 LED 灯泡替换工程的热点。作为一种替换性灯泡，必须要兼容原有卤素灯供电架构中的电子变压器。而市面上的电子变压器品牌型号又极其繁多，这就要求一个出色的 MR16/AR111 LED 射灯驱动电源方案必须能够完美兼容足够多品牌型号的电子变压器。

2. 电子变压器原理与 LED 驱动电源拓扑架构分析

电子变压器是一种小型的变频器，可以把市电的 110V 或 220V 交流电压变换成 12V 交流电压。具有体积小、重量轻、价格低等优点。图 1 是某型电子变压器的电路图。二极管 D1~D4 构成了整流桥，把市电变成直流电，三极管 Q1、Q2 与电容 C2、C3 组成了半桥式变换器，耦合绕组 T1、T2、T3 为自激驱动变压器。电阻 R1、电容 C1 和双向触发二极管 DIAC 构成了启动触发电路。AC 正半波时，经过 R1、C1 的延时，Q2 导通。电流由 C2、C3 的中点经过绕组 T4、T3、Q2 形成回路。此时 T3 绕组上感应左负右正电压，T1 绕组感应上正下负电压，T2 绕组感应上负下正电压。这给 Q1 的开通与 Q2 的关断创造条件。当 Q1 开通后，电流由 Q1 经过 T3、T4 流到 C2 与 C3 的中点。Q1、Q2 的开关频率即为电子变压器的工作频率。AC 负半波期间线路的工作原理类似。当电子变压器负载是卤素灯时，卤素灯是一种纯阻性负载，自激驱动变压器绕组有足够的励磁电流流过，可以保证 Q1、Q2 能够正常地开关动作。

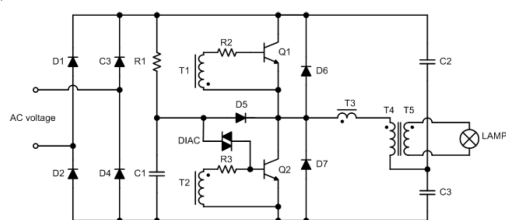


图 1

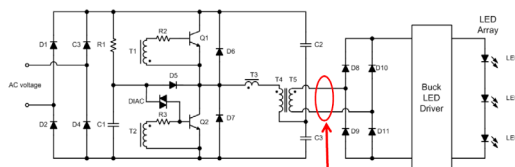


图 2

目前市面上常见 MR16/AR111 LED 驱动电源是降压 Buck 架构的（图 2）。由于电子变压器的输出是一个工频交流脉动电压，为了保证输出端 LED 电流连续，Buck 驱动电路的整流桥后通常会放一颗大容量的储能电解电容。这就使得作为负载的 LED 灯泡只在工频周期内极短的时间内从变压器取电流，而大部分时间是不从电子变压器取电流的。这样对前级的电子变压器而言，保证其内部自激振荡线路正常工作所需的最小电流在变压器工频周期的大部分时间是不能满足的。我们称电子变压器的这种工作状态为不稳定状态，输出 LED 灯的闪烁现象与变压器此工作状态有很大关系。

既然降压拓扑架构的电感性输入特性会引起电子变压器的不稳定工作，我们希望一个好的 MR16 LED 灯泡应该像卤素灯一样，表现出一个纯阻性的负载特性，让电子变压器可以稳定连续工作。图 3 分别是 Buck、Boost、Buck-Boost 的输入电流波形。不难发现，只有 Boost 的输入电流为连续的，容易实现接近纯阻性的高 PF 值。而 Buck 与 Buck-Boost 的输入电流在开关管 T_{OFF} 期间都会断续，前面分析我们知道，这段时间内电子变压器是停止工作的。

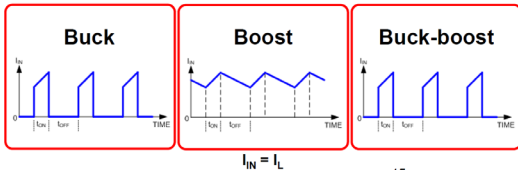


图 3

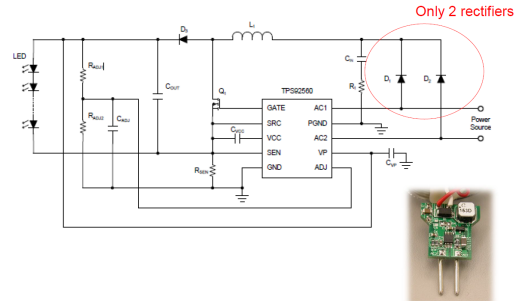


图 4

3. TPS92560 方案特点及驱动电路设计注意事项

TPS92560 芯片内部集成了两颗整流用的 MOSFET，这样外部的整流桥仅需要两颗肖特基二极管，进一步缩小 PCB 板的空间，且提高了电源的变换效率。同时这两颗集成的 MOSFET 还有助于优化 LED 灯的电子变压器兼容性。因为这两颗集成的 MOSFET 初始状态被设置成导通 ON，当 MR16 灯接上变压器瞬间，这两颗 MOSFET 好比给电子变压器接上了负载，在 MR16 灯没有被点亮之前，让电子变压器更好地起振，于是优化了系统的启动过程，提高变压器的兼容性。图 4 为 TPS92560 Boost 架构典型应用线路。

TPS92560 通过调制流过 Boost 主 MOSFET 上的电流来实现对输入电流的控制。这样带来了两个好处。

- 第一，输入 inrush 电流被限制的很低，优化了电子变压器的工作指标，提高了系统的可靠性；
- 第二，通过对输入电流的限制，使得系统可以持续从电子变压器端取电流，更好地满足电子变压器自激振荡的振荡电流需求，保证在大部分时间内，电子变压器都在正常稳定工作。图 5 为 TPS92560 Boost 线路与传统 Buck 降压线路输入电流的对比波形。

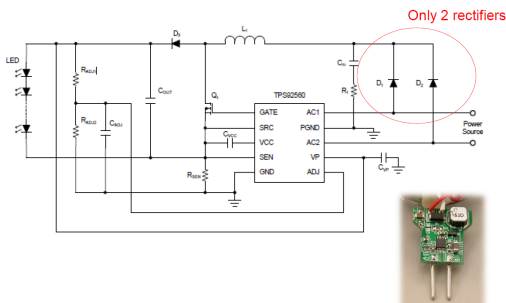


图 4

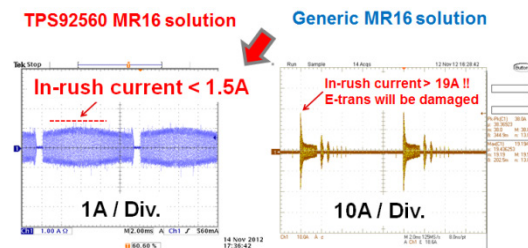


图 5

如果用户对流过 LED 电流的输入调整率及精度有更高的需求，TPS92560 只需要增加两颗 TL431 便实现了对 LED 流过电流的精确调节，见图 6。电阻 R7 作为流过 LED 电流的采样电阻，采样的电压叠加 U2、R3、R4 产生的直流分量后，跟踪 U3 的基准 2.5V。这里的 U3 功能类似于常见的控制环积分调节器。当 LED 灯流过的电流变化时，会引起 U3 阴极电流的变化，进而调节 TPS92560 的 ADJ 脚电压。实现真正意义上的对 LED 电流的闭环调节。

对于功率较大的 AR111 灯具，为了优化热设计需要提高电源的效率，可以旁路内部集成的整流 MOSFET，通过外接肖特基二极管或者 MOSFET 来对电子变压器输出的交流电压进行整流。需要注意的是，当选用的拓扑主电路是 SEPIC 时，TPS92560 两只 AC 脚不能被悬空。因为这样芯片内部 Vcc 电压将无法建立，导致系统无法启动。

TPS92560 的 AC 脚还可以串联一颗 100~1K 欧姆的电阻连接到电子变压器的输出端（图 7 所示），使得电流的大部分流过外接整流桥。

需要注意的是，考虑 MR16 应用苛刻的 PCB 尺寸要求，TPS92560 的开关频率建议设置在 1M~1.5MHz 之间。这样 MOSFET 的驱动损耗会成为影响变换器效率的重要分量。对于输出电压较高的应用架构，假如芯片的 VP 按照典型应用线路连接到输出 LED 灯的正端，那么芯片内部产生 Vcc 的 LDO 损耗（Vcc 由 VP 通过 LDO 降压得到）会较大，芯片本体会变烫，线路变换效率降低。改善效率的方法有：选取较小输入等效电容的 MOSFET，降低开关频率，或从低电压处取电供给 VP 脚等。

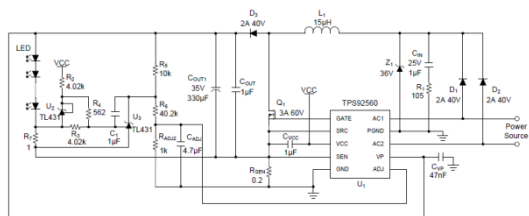


图 6

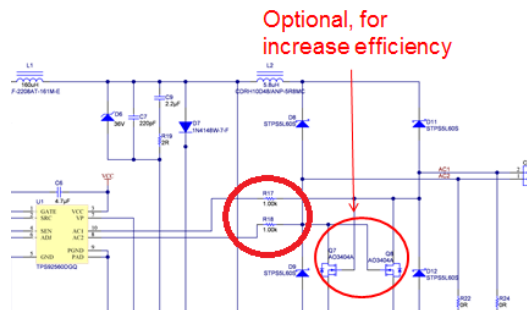


图 7

4. 样机实验数据

用图 6 线路图制作了一台 7W 的基于 TPS92560 控制芯片的 MR16 LED 驱动电源。电气规格见（表 1）。图 8 是 AC 输入的效率曲线，12V 交流输入下，变换效率为 81%。图 9 分别为输出 LED 灯电流、电子变压器输出电流、电子变压器输出电压波形，可以看到在工频周期的大部分时间内，电子变压器都在稳定持续工作。表 2 是样机所做的电子变压器兼容性测试报告，可以完全兼容所列的 50 余款各种型号的电子变压器。且输出的 LED 灯电流精度控制在 $\pm 3\%$ 以内。

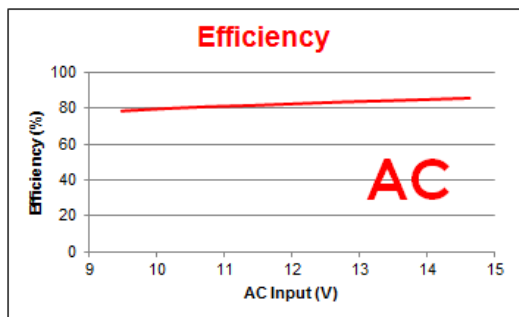


图 8

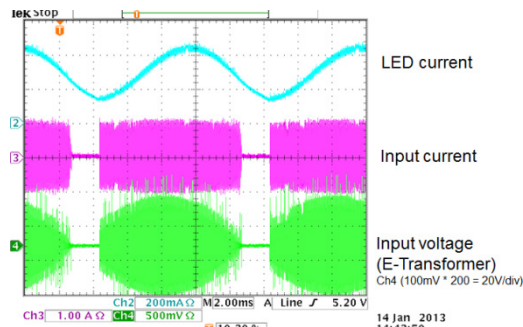


图 9

DC Input Voltage	7-18V
AC Input Voltage	9.6-14.4V
LED Voltage	19-22V
LED Current	305±3%
Power Factor (AC)	>0.9

表 1

220V 50Hz Electronic Transformer Compatibilities									
Brand	Model	Power	I _{LED} (mA)	1 LED lamp (7 LEDs in series)	Brand	Model	Power	I _{LED} (mA)	1 LED lamp (7 LEDs in series)
1 Philips	ETX 50	50	287		26 AURORA	AU-60TA	20-60	299	
2 Philips	ET-E 60	20-60	300		27 OSRAM	ECO-ET 60	20-60	302	
3 Rio	RTS0M	20-50	301		28 Haloline	HA-S60TA	20-50	300	
4 Kengo	DET-60T	10-60	299		29 Eaglecise	SET60LV	20-60	300	
5 NVC	ET60E	60	301		30 OSRAM	ET-A 60	20-60	300	
6 OSRAM	ET-PARROT 105	35-105	297		31 Philips	ET-E 50	20-60	300	
7 OSRAM	ET-P60		297		32 OSRAM	ET-Z 60	20-60	301	
8 OSRAM	HTM 105	35-105	299		33 ABB	AB001	20-50	302	
9 Tridonic ATCO	VIPER	60	299		34 NVC	ETS05	50max	303	
10 Wipo	ET 105	35-105	301		35 Yi Yi 奕奕	SOW		302	
11 OSRAM	HTM 70	20-70	300		36 GE	SET60LS	60max	298	
12 Philips	ET 50	20-50	300		37 TCL	ET60H	20-60	302	
13 AURORA	Stealth 60		299		38 LONON	LNDET-SOW	20-50	302	
14 AHJ 鴻金王	MR-168A	50max	302		39 Yang Gang 陽光	ET-60E	20-60	300	
15 CON 西特	CS60	35-60	301		40 San Sung 三雄	PAK-SE50	20-60	302	
16 ENLITE	EN-SC60	20-60	299		41 San Sung 三雄	PAK-SE35	20-35	301	
17 OPPL	D835	20-35	300		42 OSRAM	ECO-ET 105	35-105	295	
18 Mi Lan 米蘭	JTETB-50E	50	296		43 dais	DA-I60	20-60	300	
19 Forever	SOVH	50	296		44 TOP-LUX	SW-250HA	50	301	
20 Donna	ET-50A	20-50	298		45 <Korean>	AL-2250HA	50	302	
21 <Nil>	JRET8-WX		298		46 OPPL	D8502-220/12	20-60	300	
22 TCL	ETS05	10-50	301		47 OSRAM	ET-A 60	20-60	300	
23 Shly	SOW	50	302		48 Kengo	DET-60S	10-60	301	
24 Sunlsh	BTSOWS	20-50	300		49 Guan Qiu Lighting	GQ-1881	20-60	297	
25 Low Energy Devices	KT-60AD	20-60	300		50 PLC	PLC-TFD2050MT	20-50	302	

表 2

参考资料:

1. TPS92560 datasheet, Revised Jan 2013, www.ti.com;
2. User's Guide for TPS92560 MR16 BST EVM, TI Hong Kong Design Center, www.ti.com;

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 的直接或隐含权限制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在应用中使用的 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 and 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/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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司