

采用多串变压器 LLC 控制技术的新型离线式照明驱动解决方案

刘学超 马青峰

中国电源参考设计中心

摘要

设计采用 TI UCC25710 多串变压器 LLC 控制专利技术，实现了新型离线式 LED 照明驱动解决方案。相比传统的高功率 (>100W) 的 AC/DC 外加多个恒流 DC/DC 转换器的 LED 照明驱动，新的两级拓扑结构具有更高的效率以及更低的系统成本。基于该种多串变压器 LLC 控制技术，研发了一款 100W LED 照明驱动参考设计 PMP4302A，其负载可以直接连接 4 串 LED 负载（每串可接 10~15 颗 LED，每串输出电流为 500mA）。实验结果表明，新型的拓扑结构非常适合室外和商务领域中采用 PWM 或模拟电路调光的通用 LED 照明应用。同时，该电路系统架构也能用作高效率、超轻薄 LED 背光电视的电源。

目录

1	引言	2
2	高功率 LED 照明驱动拓扑结构	3
2.1	传统的高功率离线型 LED 照明驱动拓扑结构	3
2.2	新型的高功率离线型 LED 照明驱动拓扑结构	4
3	新型多串变压器 LLC 谐振控制器	5
4	LLC 多串变压器设计	6
5	100W 离线型 LED 照明驱动系统设计	10
5.1	设计说明	10
5.2	电路图 12	
5.3	输出电流匹配	14
5.4	效率 16	
5.5	调光波形	16
5.6	LLC 环节波形	18
5.7	EMI 性能	19
6	结论	20
	参考文献	20

图形

图 1.	传统的高功率离线 LED 照明驱动拓扑结构	3
图 2.	新型的高功率离线 LED 照明驱动拓扑	4
图 3.	多串 LLC 谐振控制器 UCC25710 结构简图	5
图 4.	多串变压器结构	6
图 5.	多串 LLC 与升压 PFC 拓扑结构简化结构	6

图 6.	LLC 拓扑结构等效网络简图.....	7
图 7.	LLC 拓扑结构直流增益曲线.....	9
图 8.	PMP4302A 参考设计演示.....	10
图 9.	PMP4302A PFC 环节电路图.....	12
图 10.	PMP4302A 多串 LLC 环节电路图.....	13
图 11.	PMP4302A 反激式辅助环节电路图.....	14
图 12.	调光效率曲线.....	16
图 13.	PWM 调光阶段工作波形.....	18
图 14.	满载时 LLC 环节波形.....	19
图 15.	EMI 传导测试结果.....	19

表格

表格 1.	电气设计规格.....	11
表格 2.	输出电流随输入电压的变化.....	14
表格 3.	输出电流随 PWM 调光和输入电压的变化.....	15

1 引言

当今，LED 技术作为一种更有潜力的照明技术，正逐步取代低效能白炽灯和汞基荧光灯。在日常 LED 照明应用中，高功率(>100W)离线型 LED 照明系统与高压钠灯和节能灯 (CFL) 这类传统灯具相比更加节能、环保且具有更长的使用寿命。对于专业型高功率 LED 照明系统而言，其目标市场定位于室外 LED 路灯和其他商用高功率 LED 灯。

为保证每个 LED 具有相同的亮度，应为驱动系统提供恒定电流。通常，对额定功率超过 65W 的系统，LED 矩阵中将会包含多串并联的 LED 负载。而且，每串负载都应由恒定电流源控制并且流经每串负载的电流应相同，以确保相同的系统亮度。此外，电源系统还应该保证输入电流具有相同相位和正弦 AC 输入波形。因此，需要功率因数校正电路降低电流谐波。

除了上述提到的，效率和可靠性对高功率 LED 照明系统也非常的重要。高效率不仅是为节能，还是系统本身的要求。在 LED 照明系统设计中散热设计是一个重要课题，因为热量会使得电源环境温度升高，所以高效率的 LED 驱动系统将有助于系统可靠性和散热性能。

本文提出了一种适合于高功率 LED 照明驱动解决方案的新型多串变压器 LLC 谐振转换器结构。通过使用这种的拓扑结构，采用磁平衡技术驱动多串 LED 负载能使系统具有高效和可靠特性。本文设计了一款 100W 四串 LED 并内置调光接口的参考设计 PMP4302A 验证整体性能。

2 高功率 LED 照明驱动拓扑结构

2.1 传统的高功率离线型 LED 照明驱动拓扑结构

图 1 是一种传统的高功率离线型 LED 照明驱动三级拓扑结构。该结构中，由 PFC 电路提供正弦波输入电流。BOOST 升压拓扑结构目前是 PFC 电路的最佳选择，以此种方式应用于 85V~264Vac 的宽输入电压，PFC 电路的输出将会高于输入电压的峰值。故通常选择 380VDC 到 400VDC 输出电压。由于 PFC 输出电压太高并且是非隔离式的，所以需要采用具有隔离式变压器的 PWM 变换电路。通常情况下，半桥式 LLC 谐振转换器因其具有高效率和良好的抗干扰性能而常被使用。隔离式 DC/DC 电路会产生直流电压来驱动 LED 模块，该电路环节的输出电压是由 LED 负载个数和下一级恒流控制电路所决定（一般低于标准安全电压 60Vdc）。每串 LED 负载将有一个独立的恒流非隔离 DC/DC 变换去调节流经 LED 的电流。对于最常见的高亮度 LED，电流的规格为从 350mA 到 750mA。由此，我们就可以得到一个传统的高功率离线型 LED 照明驱动电源拓扑，它由三部分组成：PFC，隔离 PWM 变换以及非隔离 DC/DC 变换。

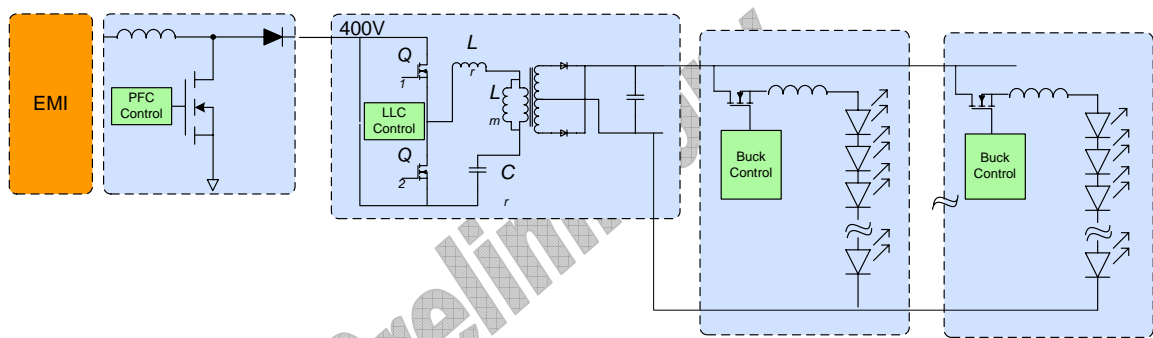


图 1. 传统的高功率离线 LED 照明驱动拓扑结构

尽管传统高功率离线型 LED 照明驱动系统能够获得良好的性能，但仍有以下不足：

1. 效率。传统结构为三级电路拓扑结构，其中包括 PFC 电路，隔离式 PWM 和非隔离式 DC/DC。各级电路的最优效率分别为：PFC 电路 97%，隔离式 PWM 电路 96%，非隔离式 DC/DC 电路 95%。所以系统的效率的最大值约为 88%。当然，有很多的方法能够进一步的提高效率，例如：利用同步整流器控制隔离式 LLC 电路和 DC/DC 电路，但是这些方法会使成本进一步增加。
2. 成本。由图 1 可见，每串 LED 负载中有多个 DC/DC 电路环节，那么该电路中会使用多个控制器、电感器和电容器，则将会使成本增加。
3. 可靠性。传统型 LED 照明拓扑结构有多个外部元件，这会严重的影响性能。
4. EMI。因为多重开关 LED 驱动器将在非隔离 DC/DC 电路环节中产生额外的高频开关噪声，因此会影响 LED 照明系统传导和辐射 EMI 的测试结果。为满足 EMI 标准要求就需要在 EMI 设计方面做更多的努力，例如：在开关点处设置 RC 缓冲网络，在输出电路级设置 EMI 共模滤波器或者同步多个 DC/DC 控制器。

2.2 新型的高功率离线型 LED 照明驱动拓扑结构

基于传统拓扑结构中的问题，本文采用德州仪器（TI）多串变压器 LLC 谐振控制器 UCC25710，实现了一款新型拓扑结构设计。图 2 是新拓扑结构的框图，它包含 PFC 和多串隔离变压器 LLC 转换器的两级电路结构，省掉了传统结构的 DC/DC 多串恒流部分。在 PFC 电路之后有一个半桥式隔离型多串 LLC 谐振转换器，这使得变压器初级绕组以串联方式连接。基于磁平衡理论，因为初级绕组电流和串联电流相同，所以各个隔离式变压器都将具有相同的输出电流用于驱动每串 LED 负载，并且每个变压器能够驱动两串独立的 LED 负载，同时具有电器隔离。

多串变压器 LLC 谐振控制器（该设计中使用的是 UCC25710）放置在次级侧，它能监测 LED 负载的总电流并使用电流反馈回路调整流经变压器原边绕组的正弦波交流电流，同时通过磁平衡理论保证每串 LED 负载具有恒定电流输出。

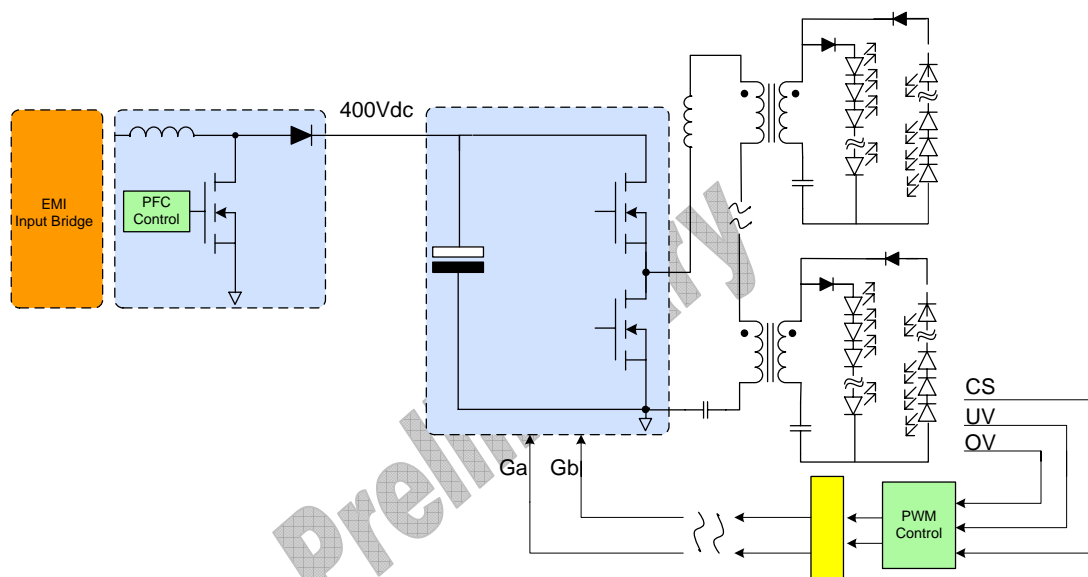


图 2. 新型的高功率离线 LED 照明驱动拓扑

与传统的 LED 照明驱动拓扑结构相比，新型拓扑结构具有以下重要特点：

1. 高效率。因为新型系统只具有 PFC 电路和多串变压器 LLC 两级电路，据估计总效率可高达 92%。
2. 低成本。对比传统的高功率 LED 照明系统拓扑结构，新型系统拓扑结构只包括两级电路及更少的控制器，这将有效地降低成本。
3. 系统可靠性高。众所周知，LED 照明系统的可靠性取决于 LED 散热管理和电源驱动，故障检测和保护系统，以及电器元件个数。因为新型系统具有电器元件数量少以及效率高的特点，所以系统可靠性将会有得到大大的提升。
4. 良好的 EMI 性能。因为在系统输出部分没有多组 DC/DC 电路环节，这将有利于 EMI 性能。同时，LLC 转换器工作在零电压 ZVS 条件下有助于减少开关阶段的噪声干扰。
5. 兼容调光。因为 LLC 控制器位于变压器次级侧，每串负载的总电流都将作为电流反馈回路，因此可用作整体 PWM 调光或模拟调光。

3 新型多串变压器 LLC 谐振控制器

UCC25710 是基于 LLC 谐振半桥式 拓扑结构开发的。控制器反馈回路利用总电流采样电阻来调整 LED 串负载的总电流。如图 3 所示，LED 串负载总电流会被 R3 到 CS 引脚检测到，电流环路误差放大器用来调节 LED 输出总电流实现恒流，编程控制最小和最大开关频率的方式将电流放大器 Icomp 的输出设置为 VCO(电压控制振荡器)的控制电压，这样为 LED 串的 LLC 拓扑结构配置一个闭环电流反馈回路。

LLC 控制系统中有三个因素可以控制 VCO。第一，在 LED 接通阶段，通过 Icomp（电流环路误差放大器输出）设置 VCO 的控制电压。第二，在启动阶段，软启动引脚 SS 将会控制 VCO 响应直到超过电流环路误差放大器输出 Icomp。第三，调光阶段，VCO 输入的升降速率由电容器 C2，DSR 引脚调光变化率的电压来控制。同时 VCO 控制电平底座将由 Icomp 持续控制。

在关闭调光或过渡阶段，DSR 电容器 C2 和 44uA 的内部电流控制 Vvco 的变化率。当关闭时，DSR 通过 44uA 电流源向地面放电，当开机时，DSR 通过 44uA 电流源向 Icomp 放电。这将使电机可能产生的有声噪声最小化。

LED 调光输入 ILED-ON 控制 LED 照明的调光启动和关闭。此外，调低，关闭或者调光循环的边界都可能出现延时，这样就能够让电流回路在低调光负载循环甚至在缓变率已经较慢的情况下仍能被持续控制。

总之，UCC25710 器件包括了实现总体 LED 驱动的所有必要功能，包括了电流环路误差放大器，VCO，参考调节器，软启动，调光负载循环补偿和为 LED 输出过压（OV）、LED 输出欠压（UV）、过温、及原边过流等保护措施。该器件还提供了额外的功能，那就是在调光期间最大限度的减少音频噪声，并提供可控快速 LED 电流上升和下降时间。

除了应用于多串变压器 LLC 拓扑结构之外，由于具有丰富的 LED 保护和调光控制功能，UCC25710 对于需要调光接口高电压单串 LED 负载输出应用也是一个很好的选择。

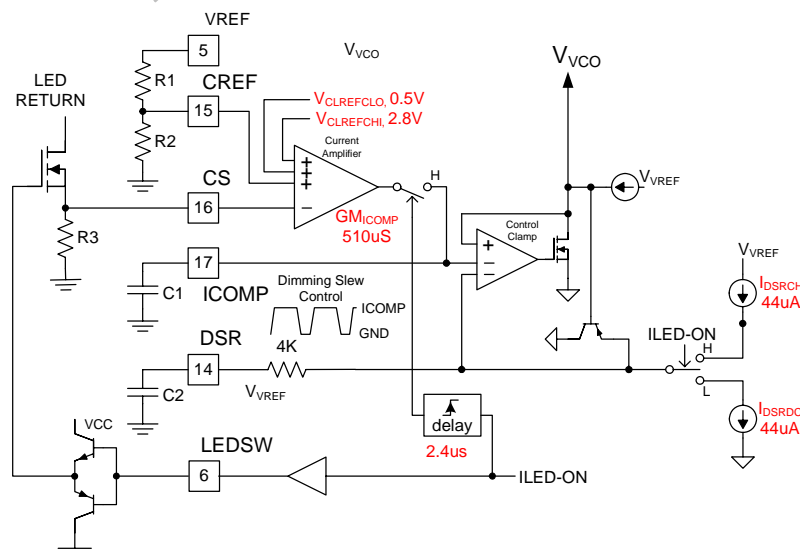


图 3. 多串 LLC 谐振控制器 UCC25710 结构简图

4 LLC 多串变压器设计

多串变压器的创新设计符合磁平衡理论。如图 4 所示，多串变压器的初级线圈串联连接，在理想情况下，假如变压器线圈匝数相同，那么相同的初级绕组电流将会产生相同的次级绕组电流。

$$\begin{cases} I_{p1} = I_{p2} \\ I_{s1} = I_{s2} = n \times I_{p1} \end{cases} \quad (1)$$

可是变压器并非理想的电气元件；因为它自带励磁电感，正是由于变压器中励磁电感的存在，导致 LED 串负载输出的次级绕组电流略有不同。幸运的是，励磁电流仅占初级绕组电流的一小部分，并且对于励磁电流的差异，电流匹配不敏感。为了获得完美的电流匹配，建议在多串变压器 LLC 设计中适当增加磁化电感 L_m 。

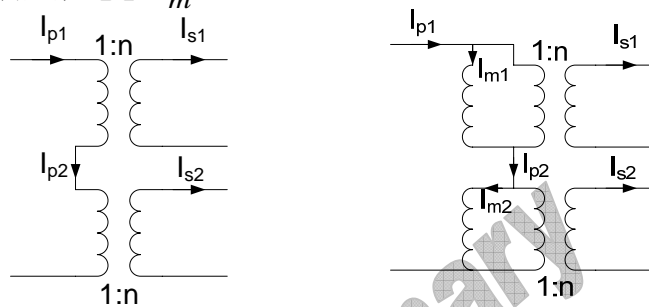


图 4. 多串变压器结构

为了简化解方案，拓扑结构使用一个变压器来驱动两串 LED 负载。同一个变压器中，当初级绕组的正弦交流电正向流动，次级绕组的电流沿相同的耦合方向流动。另一方面，当初级绕组的正弦交流电反向流动时，次级绕组一侧其他电流回路受到开关循环的控制，如图 5 所示。在输出端的直流阻塞电容保证正向电流和负向电流在每个开关循环均相同。

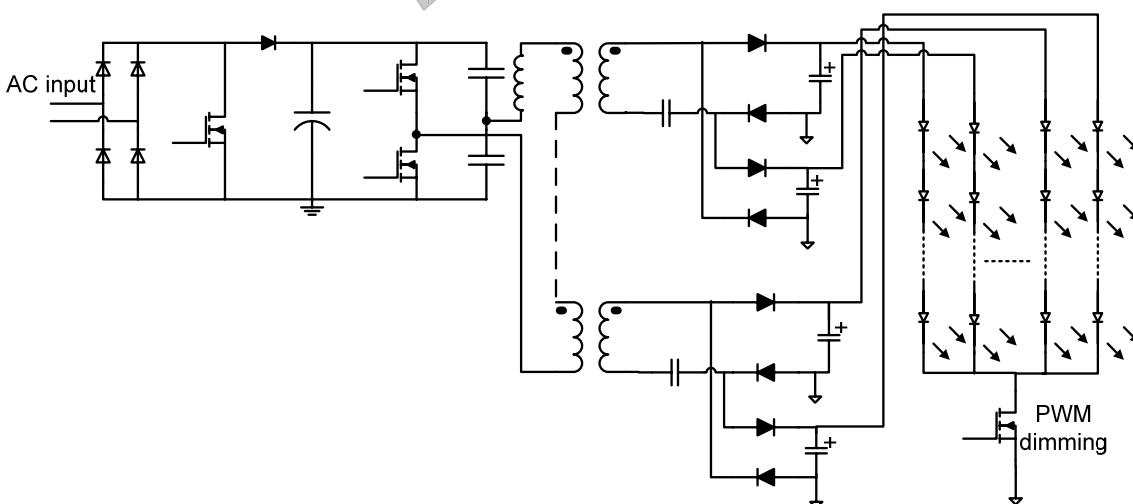


图 5. 多串 LLC 与升压 PFC 拓扑结构简化结构

多串变压器 LLC 变压器结构设计和传统的 LLC 转换器设计类似。为了使用传统的 LLC 转换器设计步骤，就要把多个变压器和反映负载合并为一个等价的变压器负载。那么，只要确定等价变压器的谐振电感 L_s 和励磁电感 L_m 就可以得到每个变压器的参数。当工作频率等于串联谐振频率时，这个多串 LLC 转换器的输入和输出电压可表示为：

$$V_{LED} = \frac{V_{DCBUS}}{2 \times n \times N_T} \quad (2)$$

式中， n 是初级绕组和次级绕组的匝数比； V_{DCBUS} 是 LLC 转换器的输入电压，通常这个值等于 PFC 升压转换器的输出值； V_{LED} 是 LED 串负载的电压， N_T 是变压器个数。在两串 100W 的 LLC 转换器的设计实例中，由标称电压 400V 的 PFC 提供的输入电压设置为 340V 到 410V，两个串联变压器的输出等于 50V/1A。因此，等价的匝数比为： $n' = n \times N_T = 4$ 。

同时，为达到良好的电流匹配，工作频率设置应略高于谐振频率，设置为 120 KHz。

MOSFET 关断电流能在死区时间(500ns)内释放节点 caps，要进行 ZVS 操作，需要满足下面的公式：

$$L_m \leq \frac{T \cdot t_{dead}}{16 \cdot C_{eq}} \quad (3)$$

在设计中，基于通常所说的 FHA（一次谐波近似）假设将简化方法应用于任意谐振拓扑结构。该 FHA 假设表述为输入输出功率的转移受到电流和电压的傅里叶级数基本项影响。

在下图 6 中，等效网络的输入是一个具有 50% 工作载荷的方波，输出也是一个具有 50% 工作载荷的方波，振幅分别为 $V_{in}/2$ 和 nV_o 。

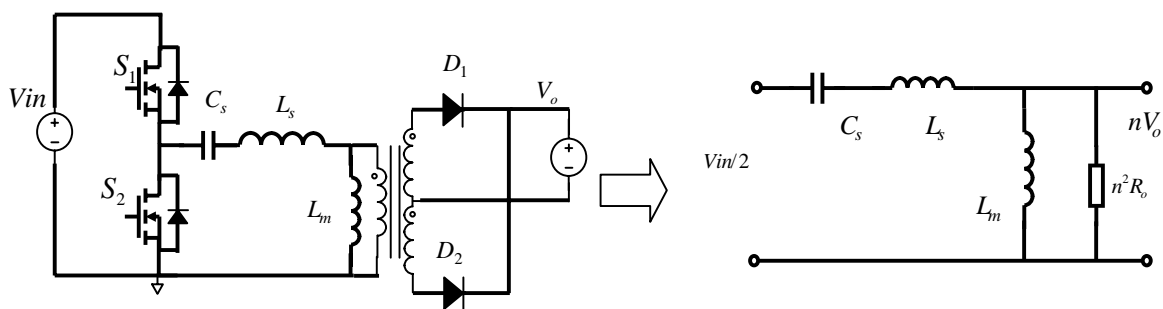


图 6. LLC 拓扑结构等效网络简图

考虑输入和输出这类基本元素间的协调关系，那么，用输入将输出直流（DC）增益表示为：

$$\frac{nV_o}{V_{in}/2} = \left| \frac{\frac{j\omega L_m n^2 R_o}{j\omega L_m + n^2 R_o}}{\frac{1}{j\omega C_s} + j\omega L_m + \frac{j\omega L_m n^2 R_o}{j\omega L_m + n^2 R_o}} \right|$$

$$\frac{nV_o}{V_{in}/2} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega^2 L_m C_s}\right)^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_m^2} - 1\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega C_s n^2 R_o}\right)^2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_s^2}\right)^2}} \quad (4)$$

式中， ω_s 是 L_s 和 C_s 串联的谐振角频，表示为：

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}} \quad (5)$$

如果 C_s , L_s 和 L_m 串联，谐振角频 ω_m 表示为：

$$\omega_m = \frac{1}{\sqrt{(L_m + L_s) C_s}} \quad (6)$$

式(4)中的变量可用三个归一化变量代替。

f_n 是 L_s 和 C_s 的串联谐振频率的归一化量，表示为：

$$f_n = \frac{\omega}{\omega_s} \quad (7)$$

Q 是归一化电阻负载，它由串联谐振频率时的谐振电感阻抗归一化得到，表示为：

$$Q = \frac{n^2 \cdot R_o}{\omega_s L_s} \quad (8)$$

h 是由谐振电感归一化的励磁电感因子，表示为：

$$h = \frac{L_m}{L_s} \quad (9)$$

使用等效电路，归一化直流增益表达式推导如下：

$$M(f_n, h, Q) = \frac{nV_o}{V_{in}/2} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{1}{h} - \frac{1}{f_n^2 \cdot h}\right)^2 + Q^2 \cdot \left(\frac{1}{f_n} - f_n\right)^2}} \quad (10)$$

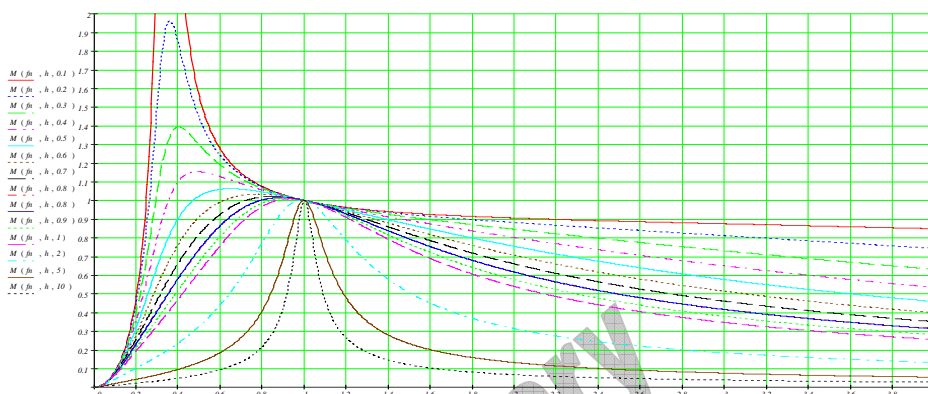


图 7. LLC 拓扑结构结构直流增益曲线

直流增益曲线随 Q 的变化而变化， M 表示归一化直流增益量，是 h ， f_n 和 Q 的函数。 h ， f_n 和 Q 也是归一化变量，和 L_s ， L_m 和 C_s 以及变压器匝数比这类实参相关。

在实际设计中， Q 值是传导损耗，开关损耗和启动电流之间的平衡值。根据曲线以及就实际器件讨论， Q 和 h 的选择变得可能。对本设计先假设 $Q=0.2$ 和 $h=8$ 。于是 L_s ， L_m 和 C_s 可通过下面的表达式计算：

$$L_s = \frac{4 \cdot n'^2 \cdot R_o \cdot Q}{\pi^3 \cdot f_s} \quad (6)$$

式中， R_o 是输出的等效电阻，表示为 $R_o = \frac{V_{o1} \cdot V_{o2}}{I_{o1} + I_{o2}} = 25$ 。

选择的谐振频率为： $L_s=100\mu H$

$$C_s = \frac{\pi}{16 \cdot f_s \cdot n' \cdot R_o \cdot Q} \quad (7)$$

选择的等效谐振电容为： $C_s = 24nF$ 。

$$L_m = \frac{4 \cdot n^2 \cdot R_o \cdot h \cdot Q}{\pi^3 \cdot f_s} \quad (8)$$

选择的等效变压器励磁电感 $L_m = 820\mu H$ 。因为多串变压器使用两个变压器串联，每个变压器的感应系数是 $410\mu H$ 。基于磁分量的 AP 方法，选择 PQ2625 或者具有相同 A_e 的等效元件，那么，初级绕组和次级绕组的线圈匝数能相应的计算出来。本文中选取 $N_p = 30$ 和 $N_s = 17$ 。

5 100W 离线型 LED 照明驱动系统设计

利用 UCC28810(TM PFC)，UCC27510(多串变压器 LLC 谐振控制器)和 UCC28610(绿色模式反激式控制器)，本设计开发了一款 100W 的参考设计 PMP4302A，该设计具有 4 串 LED 输出，每串可接 10~20 LED 负载。用来演示的电路板尺寸是 245mm(L)x18mm(W)x11mm(H)，该外形尺寸非常适合日常高功率 LED 照明。图 8 展示的是 PMP4302A 参考设计电路板，包括了 EMI 输入滤波器，TM PFC 电路，辅助电源电路以及多串 LLC 电路。表格 1 给出了这个参考设计的规格。

5.1 设计说明

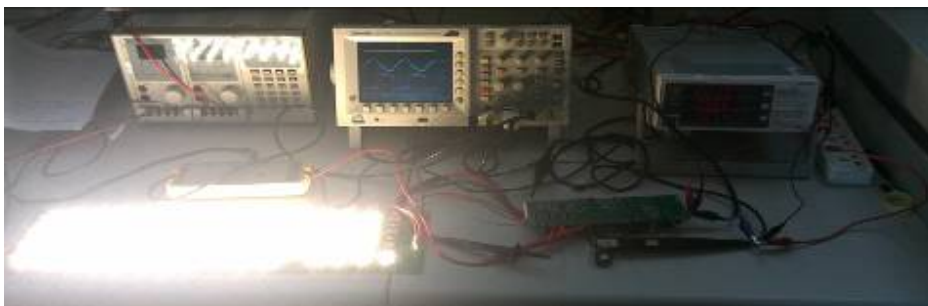
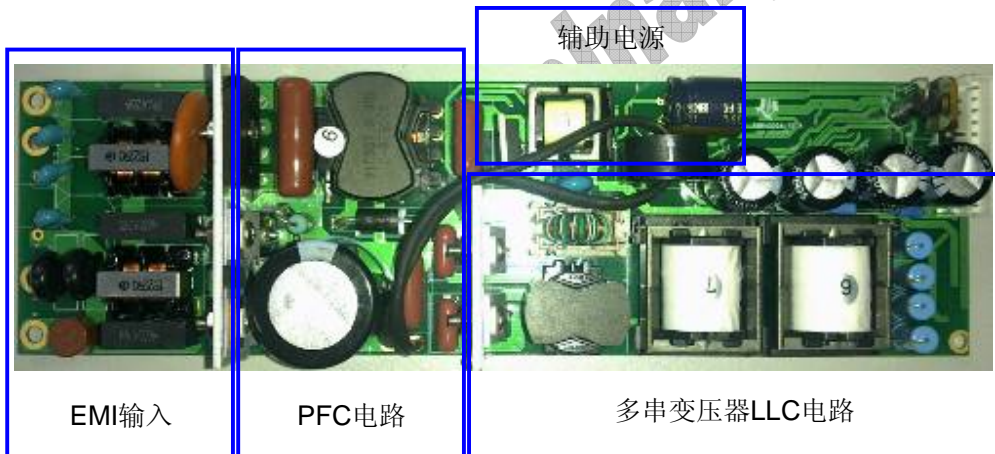


图 8. PMP4302A 参考设计演示

表格 1. 电气设计规格

设计项目	最小值	典型值	最大值
AC 输入电压	90Vac	220Vac	264Vac
输出电压容差		54Vdc	60Vdc
LED 串个数		4	
每串输出电流	485mA	500mA	515mA
每串输出电流匹配误差			+3%
PWM 调光范围	1%		100%
功率因数 (90Vac~264Vac)	0.95	0.98	0.99
100% 调光效率	88%	91.5%	
开启延迟			200ms
开环 输出串		Yes	
过电压输出串	60Vdc w/ latched off		
欠电压输出串			40Vdc w/ latched off
短输出串		Yes	
90Vac 100%调光灯最大输入电流		1.3A	
一级绕组过电流			2A

5.2 电路图

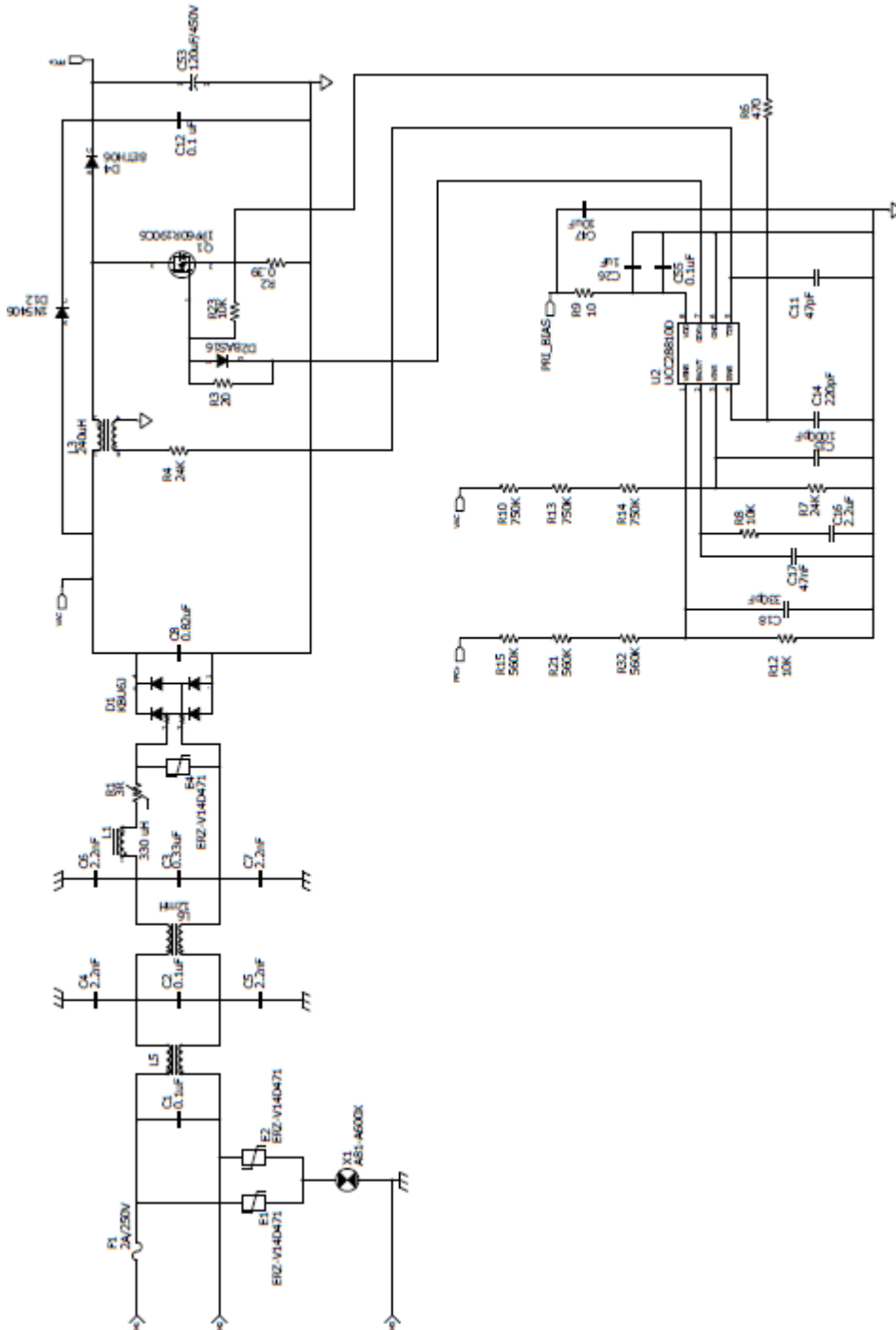


图 9. PMP4302A PFC 环节电路图

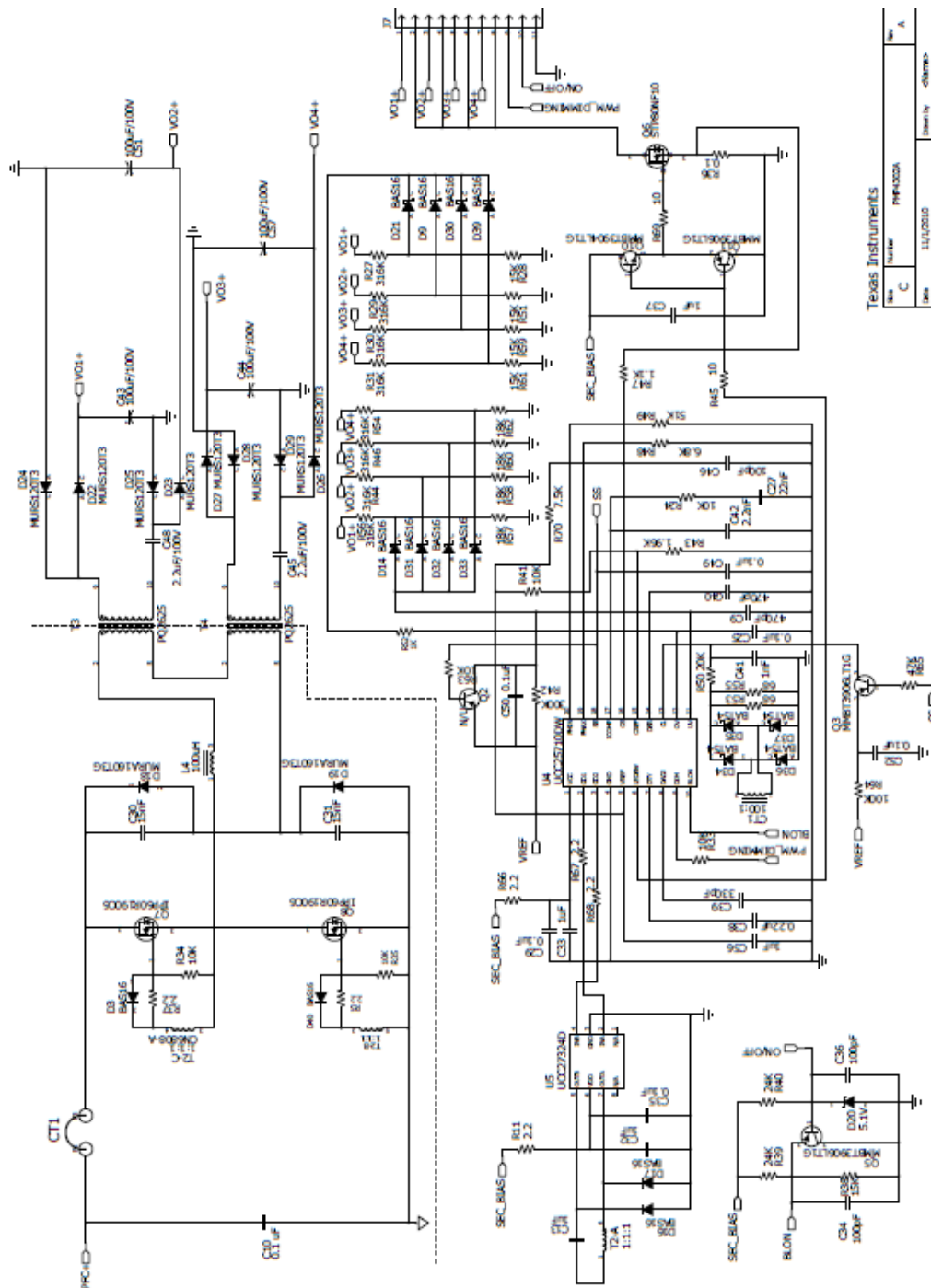


图 10. PMP4302A 多串 LLC 环节电路图

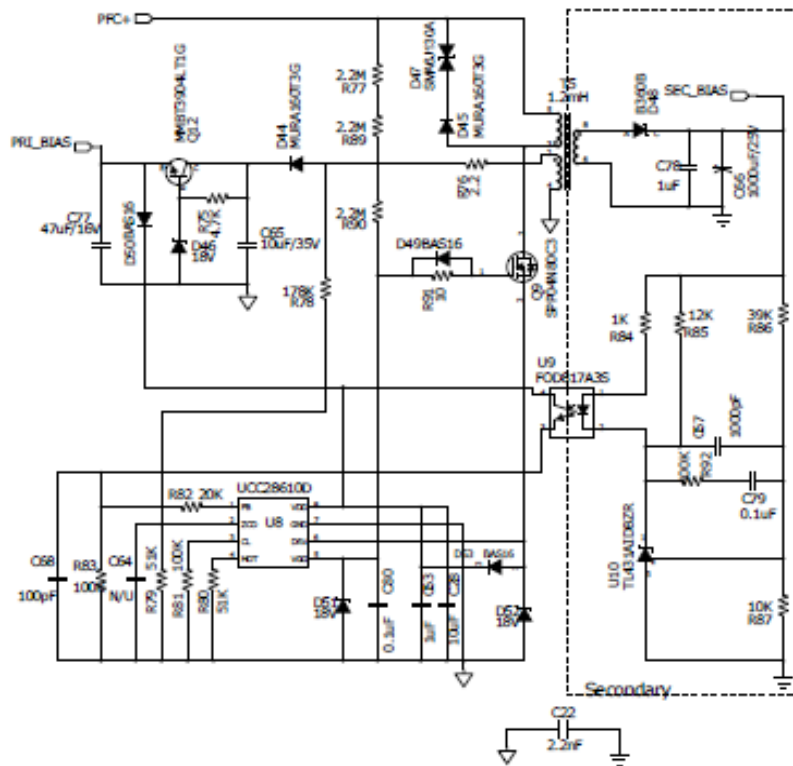


图 11. PMP4302A 反激式辅助环节电路图

5.3 输出电流匹配

由于变压器初级绕组串联的磁平衡，所以多串变压器 LLC 转换器具有良好的电流匹配性能。要进一步改善负载串间的电流匹配性能，需要考虑以下两点

1. 建议将工作频率设置为高于 LLC 转换器输入电压标称区间的谐振频率，以改善 LED 电流匹配能力和调光阶段的瞬态响应。这将让输出电流与 CCM 共同作用，并在每个负载串中获得较小的电流误差。
2. 实际的变压器中，变压器的励磁电流会影响输出电流匹配。励磁电流越小，电流匹配性能会更好。非常重要的一点是，尽可能设置高励磁电感以将励磁电流最小化。

表格 2 给出了输入电压在 90Vac 到 264Vac 范围内变化时，每串 LED 负载采用 100%调光的输出电流。表格 3 同样给出了在输入电压为 90Vac, 230Vac 和 264Vac 时，采用 5%到 100% PWM 调光工作载荷的输出电流。通过下面的数据可见各串输出电流匹配误差在+3%之内。

表格 2. 输出电流随输入电压的变化

V _{in}	I _{o1} (A)	I _{o2} (A)	I _{o3} (A)	I _{o4} (A)
90	0.5086	0.5065	0.5064	0.5023
100	0.5083	0.5063	0.5068	0.5025

110	0.5081	0.5062	0.5067	0.5028
130	0.5081	0.5061	0.5077	0.5029
160	0.5079	0.5057	0.5073	0.503
180	0.5077	0.5056	0.5073	0.503
200	0.5076	0.5055	0.5075	0.5032
220	0.5076	0.5054	0.5074	0.5032
230	0.5077	0.5055	0.5076	0.5033
264	0.5078	0.5056	0.5075	0.5031

表格 3. 输出电流随 PWM 调光和输入电压的变化

90Vin								
调光	Io1(mA)	Io2(mA)	Io3(mA)	Io4(mA)	Max(mA)	Min(mA)	Ave(mA)	%
5%	25.1	24.6	25.8	25.7	25.8	24.6	25.3	2.371542
10%	50.4	49.7	51.4	51.4	51.4	49.7	50.725	1.675702
20%	100.9	100.1	102.8	102.5	102.8	100.1	101.575	1.329067
30%	151.4	150.4	154.1	153.8	154.1	150.4	152.425	1.213712
40%	201.9	200.7	205.4	204.9	205.4	200.7	203.225	1.156354
50%	252.5	251	256.3	255.6	256.3	251	253.85	1.043924
60%	302.8	301.5	307.7	307.4	307.7	301.5	304.85	1.016894
70%	353.5	351.8	358.6	357.8	358.6	351.8	355.425	0.956601
80%	403.9	402.2	409.7	408.8	409.7	402.2	406.15	0.923304
90%	454.3	452.2	461.1	460.1	461.1	452.2	456.925	0.973902
99%	499.3	496.7	507.2	506.2	507.2	496.7	502.35	1.045088
100%	503.9	501.4	512.4	511.7	512.4	501.4	507.35	1.084064
230Vin								
调光	Io1(mA)	Io2(mA)	Io3(mA)	Io4(mA)	Max(mA)	Min(mA)	Ave(mA)	%
5%	25.2	24.5	25.9	25.7	25.9	24.5	25.325	2.764067
10%	50.4	49.7	51.5	51.3	51.5	49.7	50.725	1.774273
20%	100.9	100.1	102.7	102.5	102.7	100.1	101.55	1.280158
30%	151.4	150.4	154.1	153.6	154.1	150.4	152.375	1.21411
40%	201.9	200.9	205.1	204.9	205.1	200.9	203.2	1.033465
50%	252.4	251.1	256.4	255.8	256.4	251.1	253.925	1.043615
60%	302.9	301.4	307.7	307	307.7	301.4	304.75	1.033634
70%	353.5	351.8	358.6	357.8	358.6	351.8	355.425	0.956601
80%	403.9	402.2	409.7	408.8	409.7	402.2	406.15	0.923304
90%	454.3	452.2	461.1	460.1	461.1	452.2	456.925	0.973902
99%	499.3	496.7	507.2	506.2	507.2	496.7	502.35	1.045088
100%	503.9	501.4	512.4	511.7	512.4	501.4	507.35	1.084064
264Vin								
调光	Io1(mA)	Io2(mA)	Io3(mA)	Io4(mA)	Max(mA)	Min(mA)	Ave(mA)	%
5%	25.1	24.6	25.8	25.7	25.8	24.6	25.3	2.371542
10%	50.4	49.7	51.4	51.4	51.4	49.7	50.725	1.675702
20%	100.9	100.1	102.8	102.5	102.8	100.1	101.575	1.329067
30%	151.4	150.4	154.1	153.8	154.1	150.4	152.425	1.213712

Overwrite this text with the Lit. Number

40%	201.9	200.7	205.4	204.9	205.4	200.7	203.225	1.156354
50%	252.5	251	256.3	255.6	256.3	251	253.85	1.043924
60%	302.8	301.5	307.7	307.4	307.7	301.5	304.85	1.016894
70%	353.5	351.8	358.6	357.8	358.6	351.8	355.425	0.956601
80%	403.9	402.2	409.8	408.6	409.8	402.2	406.125	0.935673
90%	454.3	452.4	461.1	460.3	461.1	452.4	457.025	0.951808
99%	499.4	496.7	507.2	506.2	507.2	496.7	502.375	1.045036
100%	503.9	501.4	512.4	511.7	512.4	501.4	507.35	1.084064

5.4 效率

该解决方案的主要好处表现为效率高，同时，效率还与元件的选择和变压器的设计有关。下图是 PWM 调光的效率曲线，该曲线表明最高的效率超过 91%。对于无调光式结构方案，在每串负载中仅使用一个肖特基二极管，无需在输出端为 PWM 调光设置 MOSFET，这能使整体效率得到 1~2% 的改善。

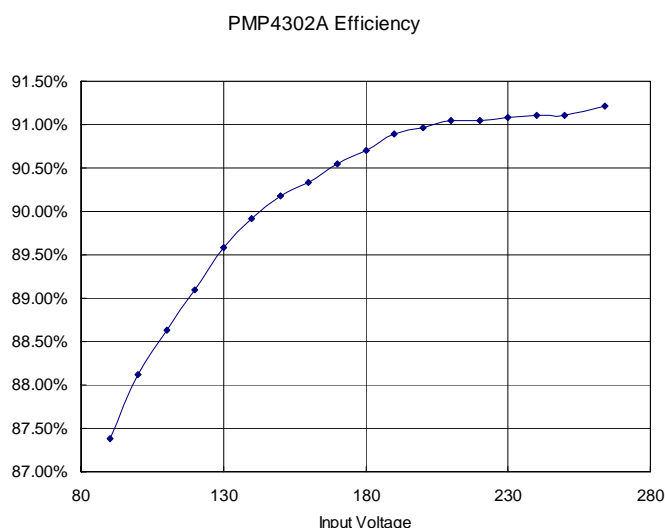
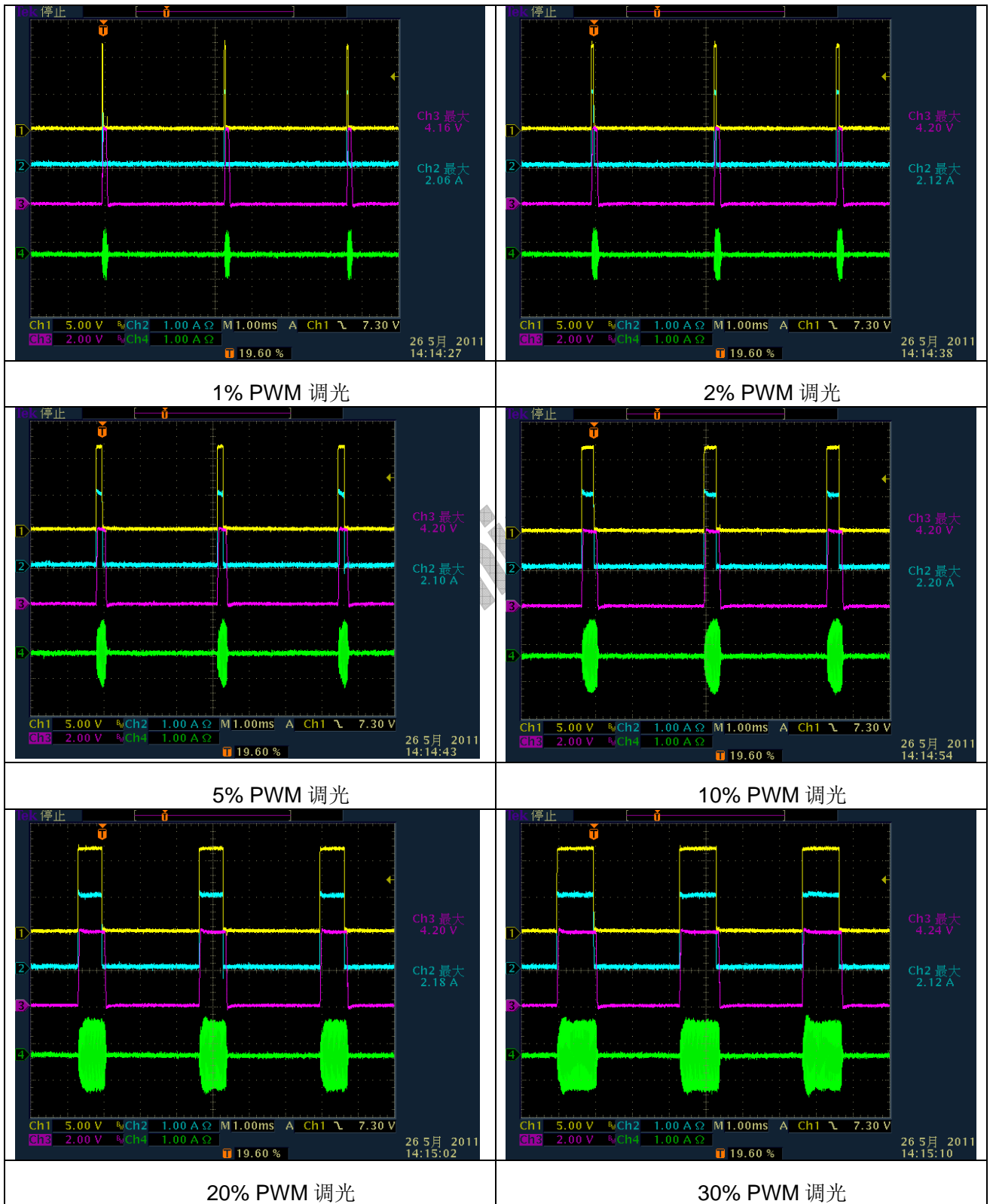


图 12. 调光效率曲线

5.5 调光波形

该解决方案可支持 PWM 组在 1% 到 100% 范围内调光。为了实现线性的调光性能，具有短时滞特性的 UCC25710 在低 PWM 调光工作循环时仍能控制。同时，DSR（调光转换率）功能是被用来控制 VCO（电压控制振荡器）控制电压的升高和降低的时间，能使有声电机可能产生的感应噪声最小化。图 13 给出的是 PWM 调光阶段工作波形（1%~90% 调光范围）（通道 1：黄色线表示 LEDSW MOSFET Vgs 5V/Div；通道 2：蓝色线表示 LED 输出电流 1A/Div；通道 3：红色线表示 DSR 2V/Div；通道 4：绿色线表示初级绕组电流 1A/Div）



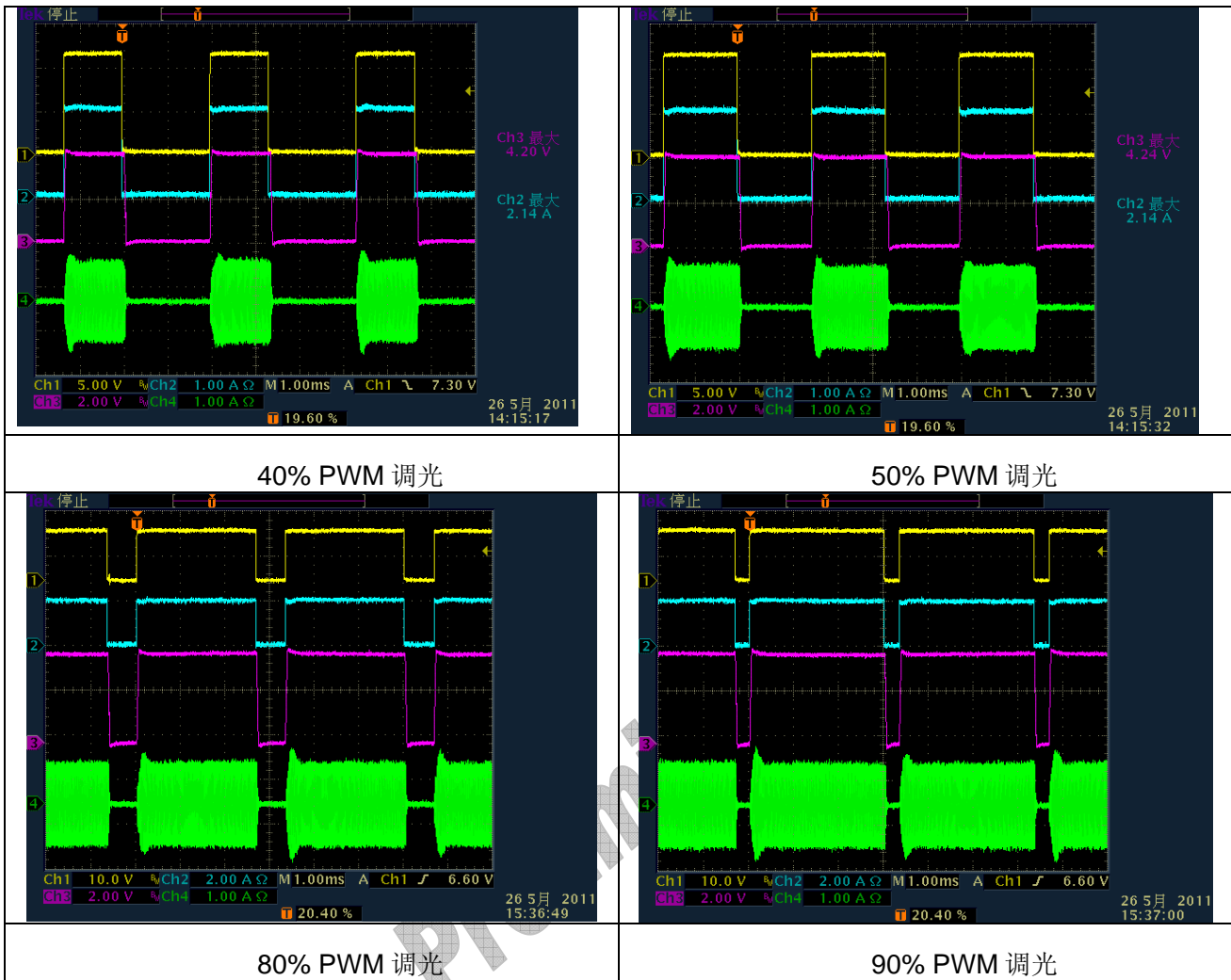


图 13. PWM 调光阶段工作波形

5.6 LLC 环节波形

图 14 是满负荷运转时 LLC 环节的波形，为得到准确的电流匹配性能图中所示为 CCM 运转过程中的输出电流。该图中，通道 1（黄线）是 100V/Div 时初级绕组 MOSFET Vds 波形；通道 2（蓝线）是 200mA/Div 时的 LED 输出电流；通道 4（绿线）是 1A/Div 时初级绕组电流。

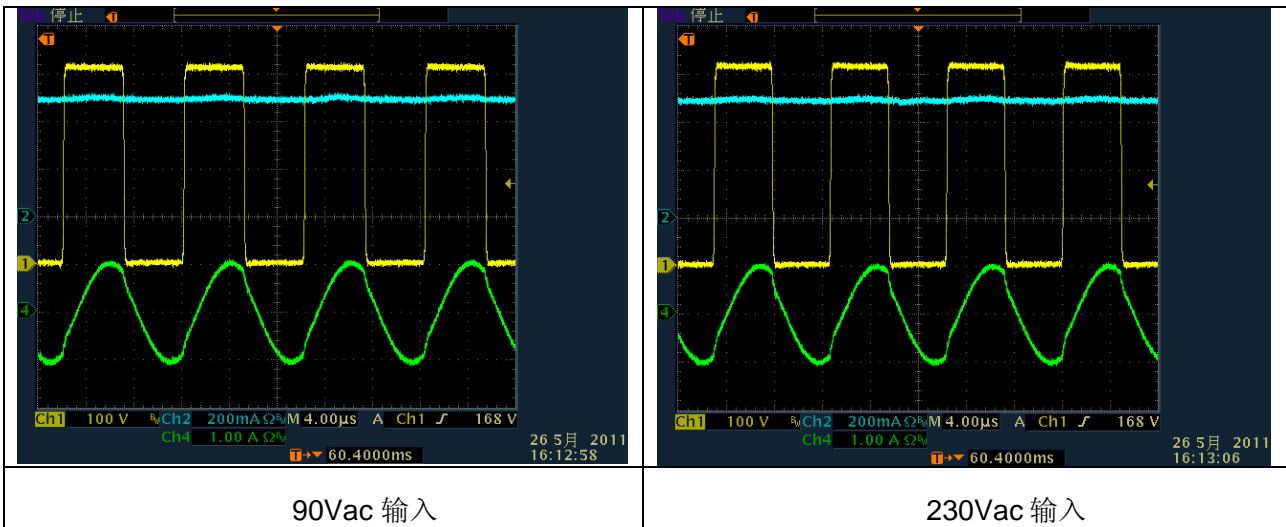


图 14. 满载时 LLC 环节波形

5.7 EMI 性能

多串 LLC 拓扑结构结构的另一个优势表现在 EMI 性能。图 15 表明 PMP4302A 参考设计噪声传导的测试结果。

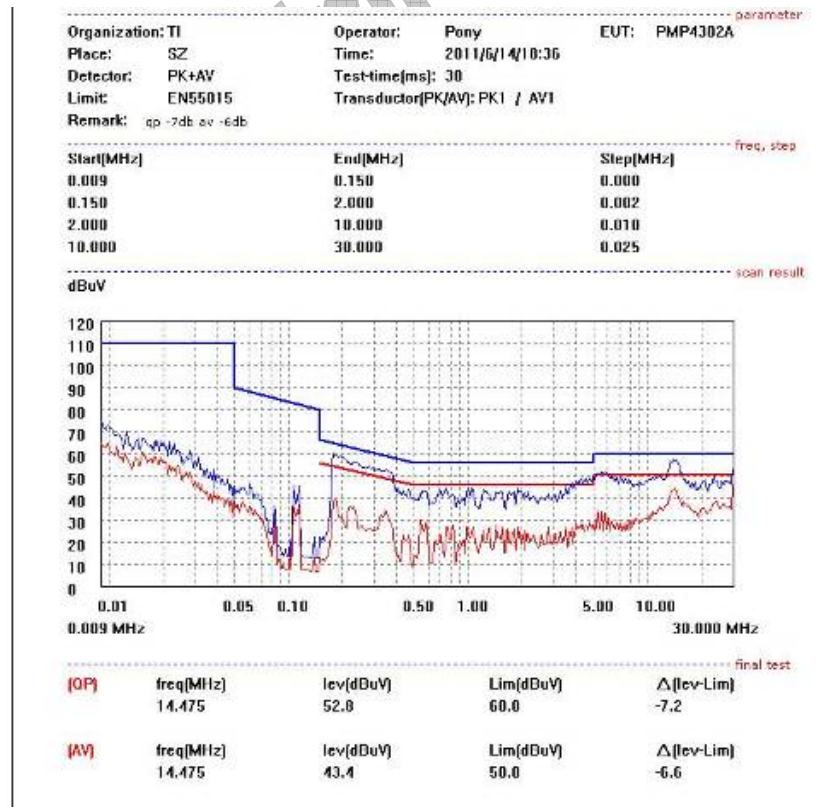


图 15. EMI 传导测试结果

6 结论

本文提出了一种适用于一般 LED 照明技术的新型多串变压器 LLC 拓扑结构，该结构具有高效率和 PWM 调光功能。一个带有 4 串 LED 负载的 100W LED 照明驱动系统验证了该新型拓扑结构的性能。

参考文献

1. UCC25710 数据表, Texas Instruments ([SLUSAD7A](#))
2. UCC28810 数据表, Texas Instruments ([SLUS865](#))
3. UCC28610 数据表, Texas Instruments ([SLUS888D](#))

Preliminary

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时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, 并有权随时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 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。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。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品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 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限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, 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。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 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在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	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	http://www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	http://www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	http://www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	http://www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	http://www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	http://www.ti.com.cn/microcontrollers	无线通信	www.ti.com.cn/wireless
RFID 系统	http://www.ti.com.cn/rfidsys		
RF/IF 和 ZigBee® 解决方案	www.ti.com.cn/radiofre		
	TI E2E 工程师社区		http://e2e.ti.com/cn/

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 © 2011 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司