

# EU2101：处理所有 LED 串的必备工具

作者：美国国家半导体南欧公司现场应用工程师 Christopher Richardson

## 简介

作为电源管理部门一名致力于产品线应用的工程师，积累了关于多路输出产品的丰富经验。该领域的单电源已经获得了成功，为什么不开发双路或三路电源输出的产品呢？在 LED 照明领域，多通道恒流源有很多用途。RGB 系统中流行使用三路或者多个三路输出，从应用于标牌和视频画面的每路每色输出 10-20 mA 电流到用于视频投影和娱乐照明的每个 LED 每色 40 A 输出均存在。为了实现 RGB 加黄色或 RGB 加白色的应用，也需要讨论四路输出器件。在高功率领域，大面积照明（HPWA 照明）需要来自两个源的多路输出的 LED 驱动器。首先，典型 HPWA 应用（如公共街道照明、停车场和隧道照明）所需的流明数可能为 10,000 或更高，即使使用当今最好的器件，甚至使用每个 LED 可以发出 200-300 流明的较大电流的器件，也需要使用大量 LED。其次，根据不同的安全等级，欧洲的 EN61347 和美国的 UL8750 等安全法规限制了单串 LED 可能达到的最大电压。60VDC 是一个常见的极限值，串联的 LED 个数取决于每个 LED 的正向电压，一般串联的器件不可超过 15 至 20 个。如果需要更多的 LED，必须增加更多的 LED 串。

要处理多个并联的 LED 串，并获得所需的总光通量，LED 驱动器制造商和控制 IC 制造商提供了多路输出的系统，使每串 LED 都有一个独立的专用恒流源。这远远优于多串 LED 并联后用一个大电流源驱动和每个 LED 串串联限流电阻的方法。虽然以上两个方法价格便宜，但可能不会提供客户期望的从 LED 灯获得的可靠性、性能或寿命。本文探讨了这类多输出方法，并提出了一个新的模块化或“N+1”的方法，可以用现成的恒流 AC-DC 电源或用户定制的恒流源快速而轻松地实现增加或减少的 LED 串数量的控制。

## 灵活性为王

从产品线应用工程师获得的经验来看，许多产品关于多路输出的定义符合 LED 的多路电源输出基本结论。同样的规律可以适用于几乎所有的多通道器件，无论是运算放大器、模数转换器（ADC）、传感器前端，还是电源：一旦设置了通道数，客户还会要求不同的东西。这就出现了单、双、四和八通道，以及背光和通用照明的多输出情况下 LED 驱动器的其他通道数，如三、六、七或十通道器件，仅举几例。图 1 显示了一个四路输出线性电流源，它可以采用菊花链接方式驱动更多通道，当灯设计人员确定需要多少串并联时，还可以最多禁用四个输出中的三个输出，以实现最大的灵活性。当 LED 制造商频繁的发布新产品以刷新单位功率流明或单位货币（美元、欧元、日元等）流明时，会导致方案中 LED 总使用数量因采用新一代 LED 产品而变化，但该设计仍能很好的适应。

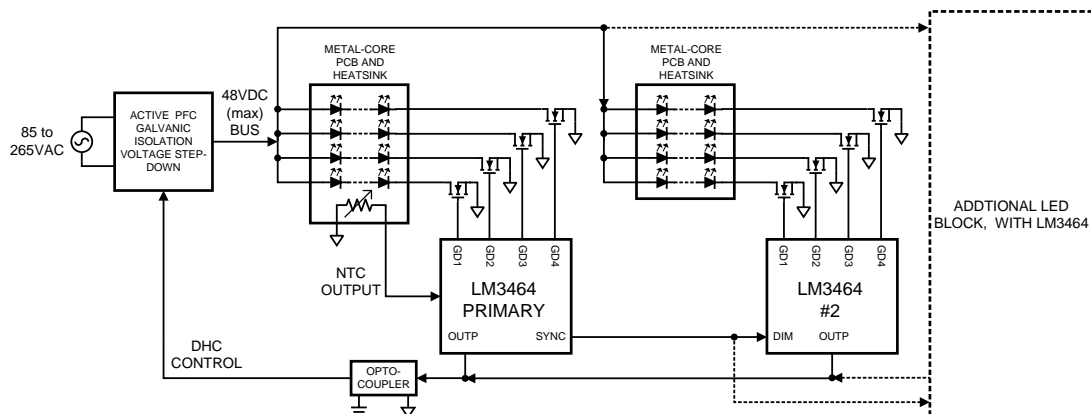


图 1a: 并联的 LM3464 可总共驱动多达 16 个 LED 串

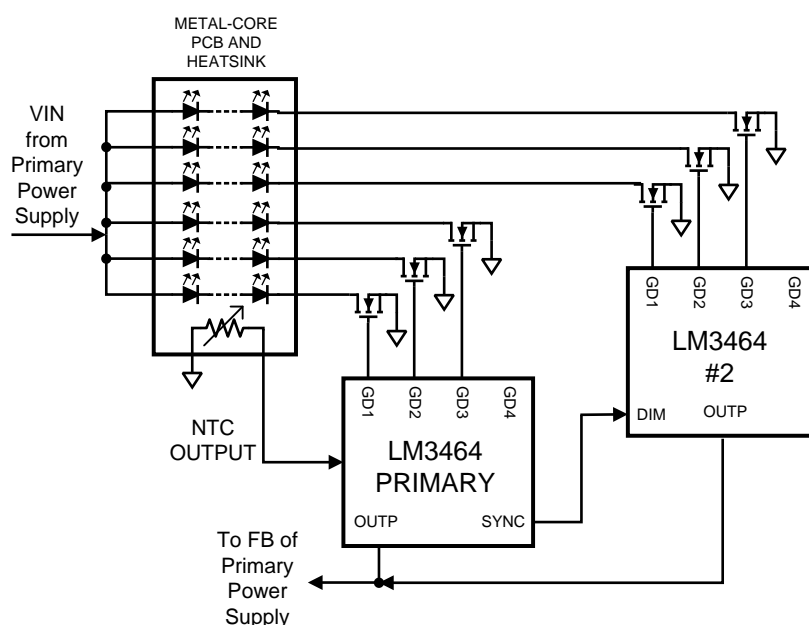


图 1b: 禁用通道数不必整除以四

图 1 的系统有几个明显的优势，这一经典方法使用了 AC-DC “一次电源” 来降低中间总线电压（而且，由于安全标准通常在 60VDC 以下），那么可以为每个 LED 串设计一个基于开关稳压器的恒流源。利用这些多通道，可以更容易地集成线性电流源故障报告，由于线性稳压器产生的电气噪声在最低限度，满足电磁兼容性（EMC）要求也容易得多；利用控制 IC 检测 LED 串电压并调节来自 AC-DC 电源的电源轨，可以使电源效率与开关稳压器的最佳效率相等。（这个概念被称为动态余量控制，DHC）。

采用 DHC 的多输出线性系统仍存在一些弊端。例如，当所需的通道数从 4 个增加至 5 个时该怎么办。这时，可以使用两个 LM3464，禁用一个器件中的两个通道和另一个所使用器件的三个通道，而留下八个未使用通道中的三个通道。LM3464 还需要一个定制设计的一次电源来配合 DHC 反馈信号的工作。快速上市的时间压力对于设计定制 AC-DC 电源，并获得安全和 EMC 认证可能不太可行。出于这个原因，开发了一种使用多个 LED 串的 HPWA LED 灯的新方法，它具有快速原型化和灵活性的特点。这种设计基于“N+1”的理念：可使用可扩展的单通道

器件轻松增加和减少电流源。

## 所有数目均除以一

LM3466 采用了“N+1”的概念，不管器件数量多少，单通道线性电流源均使用简单的模拟通信，为 LED 灯提供灵活数目的电流源，以解决可能会遇到的最后时刻需要改变 LED 串数，以及可能要在系统运行时处理意外断开和重新连接一个或多个 LED 串的问题。

LM3464、LM3466 就是一种完全线性电源稳压器，不会将任何额外的开关噪声引入系统。虽然 EMC 测试和认证往往是事后处理的，但 PCB 布局、EMC 滤波和测试工程所花费的时间可能等于或超过电源本身的设计时间。初级电源必须是一个开关稳压器，而且所有滤波可能往往集中在这一级所产生的 EMI。像 LM3464 和其他基于 DHC 的稳压器一样，LM3466 适用于两级系统的第二级。与 LM3464 不同，LM3466 的设计适用于现成的 AC-DC 初级电源。DHC 很容易获得从初级电源输出到 LED 的高达 90% 的电源效率，而且往往超过 95%。这是通过调节输出电压并保持线性稳压器两端刚好足够的余量来实现的；LM3466 通过使用恒流源作为其初级电源达到了同样的效果。根据定义，恒流电源可调节其所需的输出电压，以保持流过电流的设定电平。LED 技术越来越受欢迎，现在许多知名品牌的 AC-DC 电源都为各种电流和功率提供了系列的完整隔离式、Class II 或 Class III 安全额定值的电源。图 2 显示了一个典型 LM3466 系统，其中恒流 AC-DC 电源满足了应用中的电流、电压和功率需求。

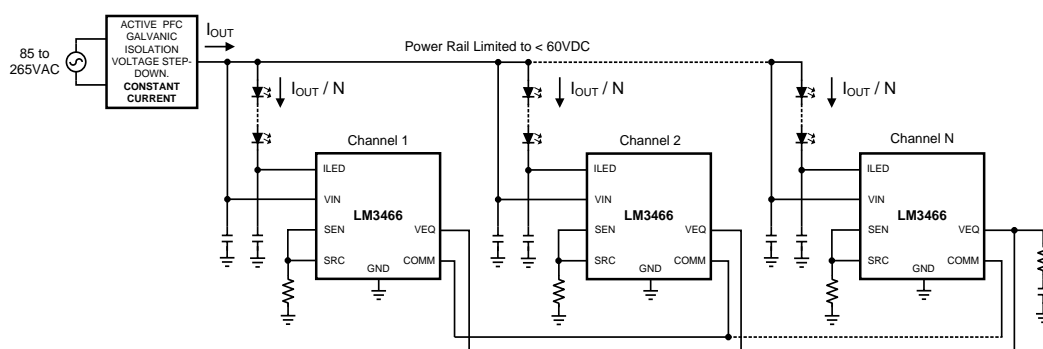


图 2：采用 LM3466 的有“N”个 LED 串的系统

为了快速原型化和加快上市时间，使用商用电源的优势是显而易见的，因为这些电源已经通过了安全性、EMC 和 THD（功率因数）等法规的认证。让本作者惊讶的是，欧盟连接照明的 AC 电源的线路谐波限制要比计算和电信设备的限制更加严格（见照明 EN61000-3-2 Class C 与电信设备 Class A 的对比）。需要记住的重点是：使用经认证的 AC-DC 电源并不意味着最终的灯具可以符合这些法规，整个系统还必须进行测试。不过，使用 LM3464 或者 LM3466 时，采用完全的线性电流源来驱动 LED 就可以简化系统的认证，尤其是在 EMC 方面。

## 控制和检测

与串联匹配阻抗工作原理类似，多个 LM3466 的主要目的是等分进入 N 个 LED 串的总输出电流  $I_{OUT}$ ，每份携带一个  $I_{OUT} / N$  的电流，如图 2 所示。这远远优于使用大电流源  $I_{OUT}$  的方法，它可以为多个并联的 LED 串提供相等电流。否则，即使每串 LED 数目相同，并使用了具有相同生产工艺的 LED，LED 简单并联使用时的均流效果也会非常差。一般情况下，每个

LED 的电流越大，动态阻抗  $r_D$  越低，因此  $r_D$  的小自然变异（small natural variations）也越严重，可引起 LED 串到串之间电流的不平衡。此外，在 25°C 条件下，一旦这些 LED 开始升温，与正向电压  $V_F$  匹配的 LED 就会表现出不均衡、不可预测的  $V_F$  和  $r_D$  下降。如果一个 LED 失效开路，或由于机械问题全部电流被推入其他 LED 串导致任何一个 LED 串断开，就再没有任何方法来均衡分配电流。当一个 LED 出现故障短路时，该 LED 串电压明显低于其他 LED 串，既降低了阻抗，也会导致更多的电流流过该 LED 串。该情况下，电路所需的检测，如发现电流不匹配和失效可能比在每个 LED 串底部都有一个 LM3466 方案变得更加复杂和更加昂贵。

## 开路故障

LED 制造商在防止功率 LED 开路失效方面做出了许多努力，但是，安装人员错误的连接，以及腐蚀和振动导致的断开仍是 LED 串和驱动电路之间开路的最主要原因。HPWA 应用更可以与采用 FR4 材料制造的具有成本效益的 PCB 上驱动电路的体积较小、功耗较低的 LED 灯媲美，其 LED 安装在各种特殊类型 PCB 或高导热基板上。这意味着必须使用线束，线束会存在令人讨厌的断开可能性。

如果确实发生了开路，受影响 LED 串中的 LM3466 不能停止或改变电流的流动。它将需要与主电源通信。再来看看图 2，连续电流  $I_{OUT}$  继续流动。其余几个 LM3466 调节其阻抗将电流均匀分配给剩下的 LED 串。在一个有  $N$  个 LED 串的系统，有  $X$  串没有失效开路，流经剩下的每个 LED 串的电将是：

$$I_N = \frac{I_{OUT}}{N - X}$$

较高的电流意味着较高的局部功耗，剩下的 LED 的发热也较多，这可能可以接受，也可能无法接受。LM3466 还有一个错误标记 COMM 引脚，而 LED 串断开后，与之链接的 LM3466 会将 COMM 引脚的状态变为逻辑低电平。图 3 显示了一个  $I_{OUT}$  为 1.75A 的系统响应情况，电流被分配给了五串 LED（每串 14 个串联的 LED）。图 3a 中的串 1 突然断开。系统暂停约 650 毫秒，以确保开路故障不会出现机械抖动（bounce）或一些其他类型的瞬态事件。然后可以看到，LED 串 2 中的电流增加至  $1.75 / 4 = 440$  mA。图 3b 中的串 1 重新连接，电流将以控制环路允许的最快速度达到均衡。

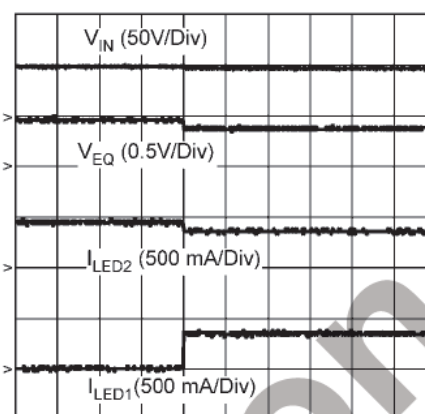
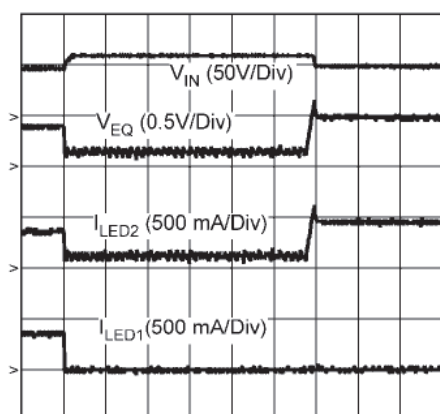


图 3a: LED 串 1 断开

图 3b: LED 串 1 重新连接

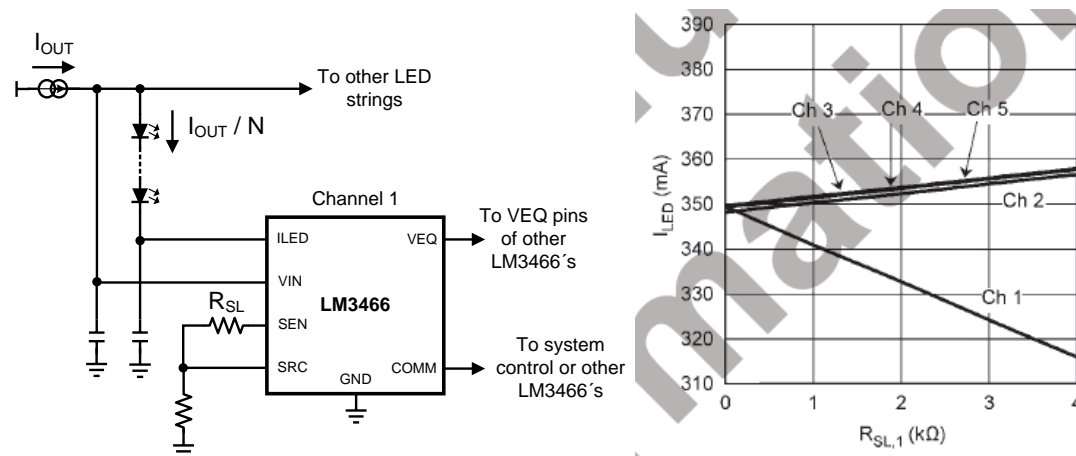
## 短路故障

在一般情况下，由于串中 LED 数量的增加，要检测到一次 LED 短路故障也越来越困难。这是因为，由于一个 LED 的管芯温度上升可能等于或大于 3.0V 至 3.5V， $V_F$  会出现自然变异和  $V_F$  下降。旨在检测总串电压下降的电路设计可能让人错觉，由于总串电压的自然变化可引发错误标记或关闭处在错误条件下的 LED 串。

在使用 LM3466 的串中出现一个 LED 失效短路时，线性稳压器两端的电压增加以弥补差额，而流经该 LED 串的电​​流保持不变。通信和电压的匹配是采用并联 LED 的系统的主要优势。LM3466 的响应与失效开路的 LED 相同，而且有反并联保护元件（如齐纳二极管或 SCR）。其主要缺点是额外的功耗和 LM3466 必须承受产生的热量。为了解决这个问题，可以利用热关断电路监测 LM3466 的管芯温度，如果管芯温度达到 165°C（典型值）将关断 LED 电流，同时将 COMM 引脚的错误标记状态从高变为低。

## 微调和控制

与许多 LED 驱动器不同，LM3466 没有包括 PWM 调光输入功能。由于初级电源是恒流型，断开所有 LED 串将迫使输入电压上升至其最大值。任何稳定的恒流 AC-DC 电源都会限制电压，但许多不同 LED 驱动电路的经验表明，当电压轨高于正向偏置 LED 所需的电平时，重新连接的 LED 串总是会导致电流瞬变。即使电压轨大容量电容被最小化，寄生电容和滤波电容仍可能存储足够的能量，出现造成 LED 损坏的电流尖峰。不过，LM3466 提供了一个用偏置（offsetting）电阻来控制 LED 平均电流的方法，如图 4 所示。

图 4: 采用  $R_{SL}$  的电流调节

## 结论

匹配阻抗的系统为 LED 灯设计人员提供了一种简单、可扩展的替代方案。设计人员可以在不使用复杂调光控制的条件下，利用现成的 AC-DC 电源。不过，多个 LM3466 也可以与其他恒流源一起使用。例如，太阳能电池和电池系统或汽车电气系统都可以用 DC-DC 电流源和一系列 LM3466 供电，同时获得电源效率和灵活性的好处。

该系统还简化了线束，因为所有返回电流均流过了系统接地。位于每个 LED 串底部的 LM3466 允许与有共同阳极和需要通过独立阴极灌入适当电流的 LED 阵列一起使用。总体来说，LM3466 为致力于 LED 照明设计的电气和电子工程师提供了又一个有用的工具。