

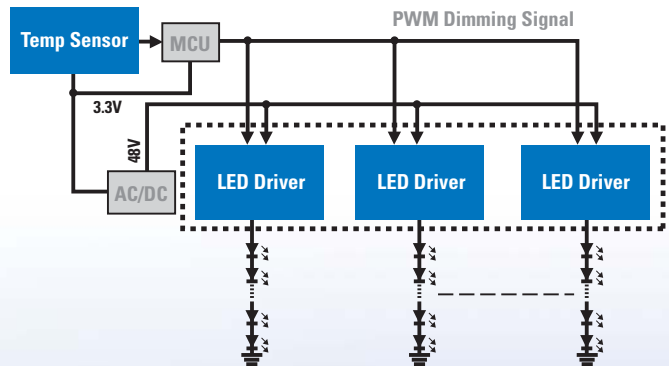
# 针对高亮度照明系统的 LED 驱动器

产品汇集

[national.com/LED](http://national.com/LED)

2010 第 1 册

技术概要  
产品亮点  
LED 应用  
设计实例  
技术文章



 **National**  
Semiconductor

# 高效 LED 驱动电路设计

[national.com/LED](http://national.com/LED)

**在**过去 50 年，美国国家半导体一直领先于开发稳定可靠和高能效的电源管理产品。我们将充分利用这方面的知识、经验及生产能力，继续为客户提供相关的技术支持，协助他们设计性能优越的照明系统。美国国家半导体的 LED 驱动器采用先进的智能技术，有助于客户开发高性能、稳定可靠而且耐用的 LED 照明产品。

美国国家半导体提供一系列的 PowerWise® 高效电源管理芯片，为低功耗及高亮度的 LED 提供恒定的驱动电流，并确保在宽温度范围内都能保持亮度均匀和颜色一致。这些 LED 驱动器可以提高照明系统设计的能源效率及灵活性。即使同时驱动多个串联的 LED，也可以提供 90% 以上的效率，而且输出驱动电流极为稳定，功耗低，产生的热能也少。



## 解决客户的设计挑战

为了让客户可以更快推出与众不同的产品，美国国家半导体特别提供多种容易使用的解决方案，帮助他们解决照明系统的设计问题。这些解决方案的特点包括：

- 动态电压调整 (DVC) 功能：有助于尽量提高系统效率
- 多输出：让每一个驱动器可以驱动多串串联的 LED，同时缩小方案体积，节省系统成本，简化电路设计
- 过热保护：确保 LED 在不同温度情况下都可以稳定操作，不需要复杂的外置温度检测电路也可保证系统操作稳定
- 正申请注册专利的系统架构：确保先进的 TRIAC/相位调光技术可以支持那些改用 LED 替换灯泡的旧式照明系统以及新安装的 LED 照明系统，让新旧照明系统都可以轻易采用 LED 照明技术
- 模拟及 PWM 调光功能：让设计更具灵活性
- 体积小巧的驱动器解决方案：适用于电路板空间有限的应用
- WEBENCH® LED Designer 等各种设计工具：令设计工作变得更容易

## 屡获奖项的设计工具

美国国家半导体的 WEBENCH LED Designer 是一套独特的在线设计工具，帮助工程师轻易挑选适用的 LED 及 LED 驱动器解决方案，并更快完成仿真测试工序。这套设计工具大大加强了照明系统设计工程师的竞争能力，帮助他们更快将产品推出市场。利用美国国家半导体在线设计工具，可以轻易比较及挑选产品，以及完成从设计到建模的整个设计过程。

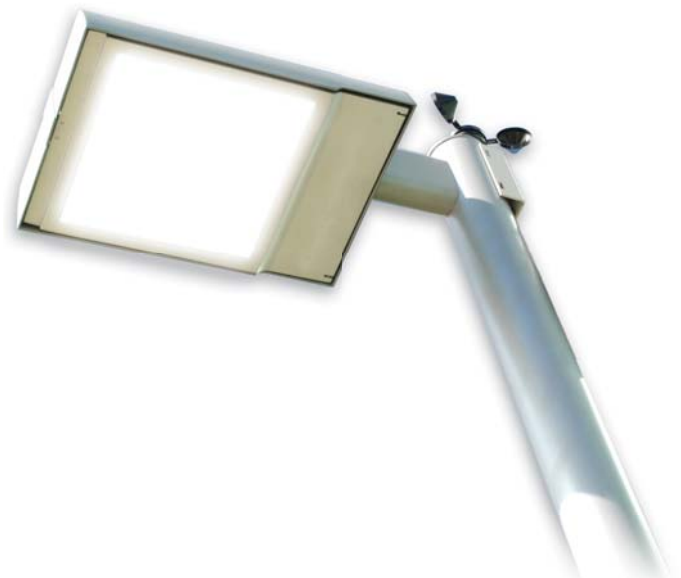


## 广阔的应用领域

美国国家半导体的产品适用于多种不同的应用，其中包括：

- 天花筒灯
- LED 替代灯
- 户外照明装置，如路灯及停车场照明系统
- 工商业专用的照明系统，例如货仓通道的高灯和低灯
- 便携式电子消费产品：闪光灯和体育设备照明
- 娱乐设备及投影机
- 建筑照明系统/装饰灯
- 显示屏 LED 背光灯
- 车头灯

...以及更多其他照明应用



---

技术概要 .....	4
LED 驱动器产品一览表 .....	6
主要产品简介 .....	8
应用 .....	11
双线调光 .....	12
LED 灯泡 .....	13
针对大照明范围的大功率户外照明系统 .....	18
便携式投影机 .....	22
汽车照明 .....	24
TRIAC 调光 .....	28
设计纵横 .....	29
设计资源 .....	33

# 高亮度 LED 照明系统

## 简介

无论在灯光颜色、尺寸大小或功率上有甚么不同，只要驱动电流恒定不变，所有 LED 都能充分发挥其性能。LED 生产商都会列明产品的规格，例如，数据表上会列出产品在指定正向电流 ( $I_F$ )，而非正向电压 ( $V_F$ ) 驱动下的流明、光束波形及颜色。

大部分电源管理集成电路基本上都属于输出电压恒定，但输出电流则非恒定的类型 (参看以下介绍)，因此单凭数据表上所列参数，我们很难判断某一系统设计最适宜采用哪一款芯片。

以驱动一组的 LED 为例，最大的挑战是如何确保每一个 LED 都由同一大小的电流驱动。解决这个问题的其中一个办法是将所有 LED 串联一起，这样便可确保驱动每一个 LED 的电流都大小一致。

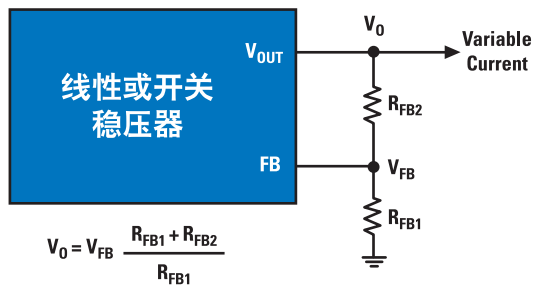
## 高亮度 LED：输入电压及正向电压

LED 的输入电压大多来自电池或有容限规定的电源供应系统。以汽车电池为例，其供电电压介于 8V 与 16V 之间，实际数值则取决于负载及电池的出厂年份。台式机处理器内置的“银盒”电源供应系统可以提供  $12V \pm 10\%$  的供电电压。

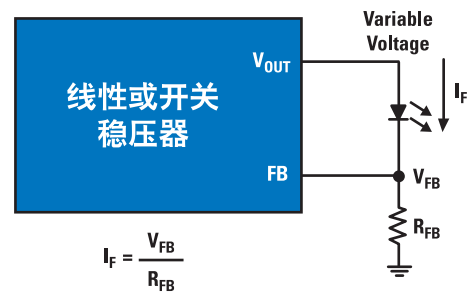
高亮度 LED 的正向电压也有范围规定。以正向电流为 350 mA 的典型高亮度 LED 为例，LED 的正向电压范围必须包括典型值以及过热停机的高/低阈值在内。为了确保输入一整串 LED 的驱动电流保持恒定，电源系统提供的输出电压必须相等于整串 LED 的最高正向电压总和。

生产商将不同颜色、亮度及正向电压的 LED 分级。但若这三方面都作分级，成本会较为昂贵，而且一般来说正向电压是可以容许作最大改动的参数。再加上正向电压会随 LED 管芯温度的变动而出现偏移，因此输出电压范围较广的恒流调节器便应运而生。

恒压稳压器



恒流调节器



## 若输入电压高于 LED 电压

若输入电压必定高于整串 LED 的最高正向电压总和，可供选择的方案便有两个：我们既可选用线性稳压器，也可选用降压稳压器。

线性稳压器虽然效率较低及产生较多热能，但设计最简单。若要确保输出电流恒定不变，便必须采用配备两个反馈电阻的可调线性稳压器。只要舍弃上方的反馈电阻，代之以串联一起的 LED，而原来在下方的电阻则改用电流检测电阻，那么先前的恒压电源便会“自动调节”，将输出电压不断调整，直至有足够的电流流入电流检测电阻，使输出电压相等于稳压器的反馈电压。

线性稳压器的优点是设计简单，而且只需极少外接元件，也不会产生电磁干扰。只要串联 LED 的正向电压 ( $V_F$ ) 不超过降压有限的输出电压，线性稳压器便可不断输出恒定电流。但缺点是效率不高，而且热能耗散较大。线性稳压器 LED 驱动器的损耗大约等于  $(V_{IN} - n \times V_F) \times I_F$ ，公式中的  $n$  是指串联一起的 LED 的数目。以 350 mA 或以上的输出电流为例，若采用线性稳压器，便可能要加设散热器，这样不但会增加系统成本，而方案的体积也较大。

若输入电压必定高于 LED 的电压，可以采用降压稳压器这个效率较高的方案，但必须采用可调整的一类稳压器。这一点与线性稳压器相同，而且也可利用同一方法将几乎任何降压稳压器变作为 LED 提供恒流的电源供应器。降压稳压器的优点是效率较高，而且无需加设散热器，但缺点是电路较复杂，而且会产生开关噪声。许多新推出的降压稳压器都采用 1 MHz 或以上的开关频率，因此系统可以采用体积较小的外接元件。以不超过 1A 的输出电流为例，降压稳压器可能比线性稳压器占用更少电路板的板面空间。

## 若输入电压低于 LED 的电压

若整串 LED 的最低正向电压总和必定高于最高输入电压，我们便需要采用升压稳压器。

电感升压转换器可以提供 350 mA 以上的输出电流及可变的输出电压，是兼具这两个特点而又设计最简单的稳压器。配备反馈分压电路的升压转换器只要稍加修改，便可成为输出恒流的电源供应器。这一点与线性及降压稳压器相同。但降压稳压器与升压稳压器也有不同之处，例如，稳压器电源开关若置于控制芯片之内，两者的分别便大相迥庭。这类单芯片系统都有固定的限流值。

以降压稳压器为例，流入内置开关的电流与流入 LED 的电流并无分别。但升压转换器则不同，流入内置开关的电流不但较高，而且会随著输入电压的波动而改变，此外，输入/输出电压差越大，流入内置开关的电流便越高。我们决定采用单芯片升压稳压器驱动 LED 之前，必须审慎评估有关参数，确保在输入电压范围内操作时，驱动器不会超出其固定的限流值。

## 若输入电压范围与 LED 电压范围互相重叠

高亮度 LED 的使用越趋普及，有部分应用的输入电压可能会在 LED 正向电压的上下波动不定。这类应用必须采用稳流器，确保电压可以因应输入及输出的变化而作出调整。适用的拓朴结构包括升压/降压、SEPIC、Cuk、反激和以输入电压作参考的升压 (亦称为浮动降压/升压) 等。

这些拓朴结构的特点是开关电流都高于 LED 电流，而且会随著输入电压的变动而改变。我们必须留意输入电压范围内的峰值开关电流的变化，尤其是当我们所采用的是内置电源开关及已设定固定限流的芯片。进一步查询有关美国国家半导体的 LED 产品、样品、设计仿真工具以及其他相关资料，请浏览 [www.national.com/LED](http://www.national.com/LED) 网页。



# LED 驱动器产品一览表

## 降压高亮度 LED 驱动器

产品编号	输入电压范围 (V)	输出电压 (V)	输出电流 (A)	LED 数目	内置开关	拓扑结构	主要特性	汽车级别
LM3401 <sup>E, W</sup>	4.5 至 35	高达 35	3	1 至 9	—	降压	双边迟滞、极低参考电压及短传播延迟时间、100% 占空比	
LM3402/HV <sup>E, W</sup>	6.0 至 42/ 6.0 至 75	高达 37/67	0.425	1 至 9/15	✓	降压	200 mV 反馈电压、快速 PWM 调光功能	
LM3404/HV <sup>E, W</sup>	6.0 至 42/ 6.0 至 75	高达 37/67	1	1 至 9/15	✓	降压	200 mV 反馈电压、快速 PWM 调光功能	
LM3405A <sup>E, W</sup>	3.0 至 22	高达 20	1	1 至 3	✓	降压	200 mV 反馈电压、快速 PWM 调光功能、封装小巧	
LM3406/HV <sup>E, W</sup>	6.0 至 42/ 6.0 至 75	高达 37/67	1.5	1 至 9/15	✓	降压	200 mV 反馈电压、快速 PWM 或双线调光功能、真正的均值电流控制功能	
LM3407 <sup>E, W</sup>	4.5 至 30	高达 27	0.35	1 至 7	✓	浮动降压	带真正均值电流控制功能的固定频率 PWM 控制	
LM3409/HV <sup>E, W</sup>	6.0 至 42/ 6.0 至 75	高达 42/75	3.0+	1 至 9/15	—	降压	带差分电流检测及模拟电流调整功能的外置高端 P-FET 电流源，100% 占空比	
LM3414/HV <sup>E, W</sup>	4.5 至 65	高达 60	1	1 至 15	✓	浮动降压	无需添加外置电流检测电阻以及无需提供外部补偿，并有 LED 电流调整和过热保护 (foldback) 功能	
LM3421 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 16	—	浮动降压	20 mV 至 1.235V 可调整差分电流控制电压、高达 50 kHz 的 PWM 调光频率	
LM3423 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 16	—	浮动降压	20 mV 至 1.235V 可调整差分电流检测电压、高达 50 kHz PWM 调光频率；故障计时器；LED 就绪标记；高端调光	
LM3424 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 18	—	浮动降压	过热保护功能、高达 50 kHz PWM 调光频率	
LM3429 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	浮动降压	50 mV 至 1.25V 可调整高端电流检测电压，实现模拟和 PWM 调光功能	
LM3433 <sup>E, W</sup>	-9.0 至 -14	高达 6	20+	1 至 2	—	负极同步降压	可以输出负电压，因此 LED 的阳极可直接连接机箱，提高散热器的散热能力	
LM3434 <sup>E, W</sup>	-9.0 至 -30	高达 27	20+	1 至 6	—	负极同步降压	输出电流达 20A 以上，PWM 频率超过 30 kHz，可以输出负电压，令 LED 阳极可以直接连接机架，大幅提高散热器的效率	

## 配备动态电压调整 (DHC) 功能的高亮度 LED 驱动器解决方案

产品编号	输入电压范围 (V)	输出电压 (V)	输出电流 (A)	LED 数目	多输出	内置开关	拓扑结构	主要特性
LM3464 <sup>E</sup>	12 至 80	可调至 79	3.0+	20 / 通道	4 条通道	—	独立的稳流器 + DHC	4 条通道都可各自输出稳定电流、DHC 输出可与外部电源供应连接一起，以便调整 LED 的供电电压，大幅提高效率，另外还有过热保护、模拟和 PWM 调光功能

PowerWise® 产品    <sup>E</sup> 评估板    <sup>W</sup> 获 WEBENCH 支持

## 升压高亮度 LED 驱动器

产品编号	输入电压范围 (V)	输出电压 (V)	输出电流 (A)	LED 数目	多输出	内置开关	拓扑结构	主要特性	汽车级别
LM3410 <sup>E, W</sup>	2.7 至 5.5	24	2.1 <sup>(1)</sup>	1 至 5	—	✓	升压	80 nA 超低待机电流、提供内部补偿	
LM3421 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	—	升压	20 mV 至 1.235V 可调整差分电流检测电压、高达 50 kHz PWM 调光频率	
LM3423 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	—	升压	20 mV 至 1.235V 可调整差分电流检测电压、高达 50 kHz PWM 调光频率；故障计时器；LED 就绪标记；高端调光	
LM3424 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 18	—	—	升压	过热保护功能、可同步高达 50 kHz 的 PWM 调光频率	
LM3429 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	—	升压	50 mV 至 1.25V 可调整高端电流检测电压，实现模拟和 PWM 调光功能	
LM3431 <sup>E, W</sup>	5.0 至 36	40	0.15	3 x 10	✓	—	升压	LED 防护设计：短路、开路及过热	

## 升/降压高亮度 LED 驱动器

产品编号	输入电压范围 (V)	输出电压 (V)	输出电流 (A)	LED 数目	多输出	内置开关	拓扑结构	主要特性	汽车级别
LM3410 <sup>E, W</sup>	2.7 至 5.5	24	2.1 <sup>(1)</sup>	1 至 5	—	✓	SEPIC	80 nA 超低待机电流、提供内部补偿	
LM3421 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	—	浮动降压/升压、SEPIC	20 mV 至 1.235V 可调整差分电流检测电压、高达 50 kHz PWM 调光频率	
LM3423 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	—	浮动降压/升压、SEPIC	20 mV 至 1.235V 可调整差分电流检测电压、高达 50 kHz PWM 调光频率；故障计时器；LED 就绪标记；高端调光	
LM3424 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 18	—	—	浮动降压/升压、SEPIC	过热保护功能、高达 50 kHz PWM 调光频率	
LM3429 <sup>E, W</sup>	4.5 至 75	可调整	3.0+	1 至 20	—	—	降压/升压、反激、SEPIC	50 mV 至 1.25V 可调整高端电流检测电压，实现模拟和 PWM 调光功能	

## 离线式高亮度 LED 解决方案

产品编号	输入电压范围 (V)	最高输出电压 (V)	输出电流 (A)	LED 数目	多输出	内置开关	拓扑结构	主要特性
LM3445 <sup>E, W</sup>	80 至 270	可调整	1+	1 至 14+	—	—	浮动降压	内置 TRIAC 调光信号解码器负责调控 LED 亮度。自适应可编程离线功能确保纹波电流恒定不变。不会产生 120/100 Hz 闪光

注 (1) 指定的开关电流

PowerWise® 产品

<sup>E</sup> 评估板

<sup>W</sup> 获 WEBENCH 支持

# 主要产品简介

## LM3464 — 配备动态电压调整功能的 PowerWise® LED 驱动器

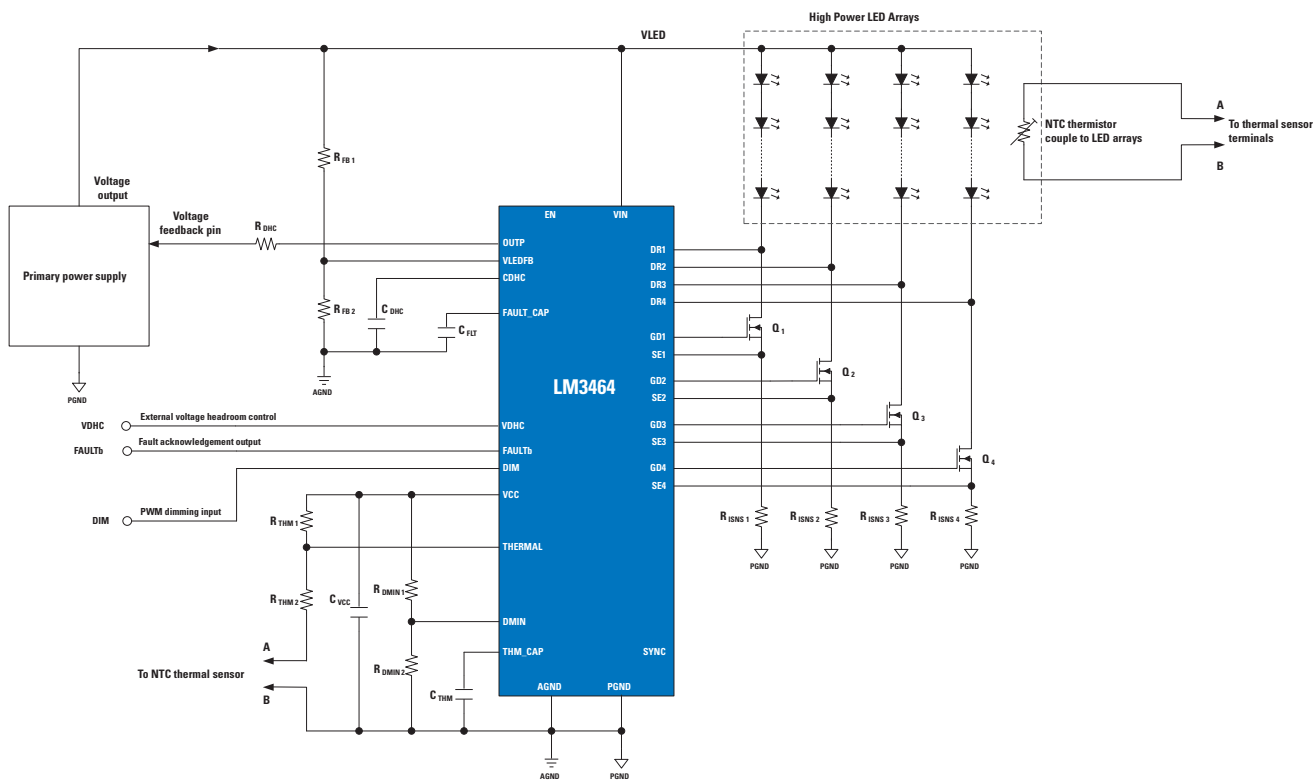
### 工作原理

- 稳流器有 4 条独立的输出通道，可以各自与外置 N 沟道 MOSFET 及检测电阻联系，为每一串 LED 提供恒定的驱动电流
- 动态电压调整 (DHC) 输出功能可与外置电源连接一起，以便灵活调整 LED 的供电，甚至将供电调低至刚刚足够为所有串联 LED 提供驱动电流的最低水平，不但可尽量提高效率，更可精简电路设计
- 数字 PWM/模拟调光控制接口提供过热保护，有助于提高系统的稳定性
- 其他的防护功能还有宽输入电压范围 (12V 至 80V)、欠压锁定、LED 开路/短路保护、以及为系统控制器提供过热故障信号的防护功能
- 采用 eTSSOP-28 封装

### 相关应用

适用于半导体照明系统或内含多串白光 LED 的照明系统，如路灯、通道高灯/货仓灯、车头灯及办公室反光灯槽

典型应用电路图





## LM3421/23/24/29 — 适用于恒流 LED 驱动器的 PowerWise® 系列 N 沟道控制器

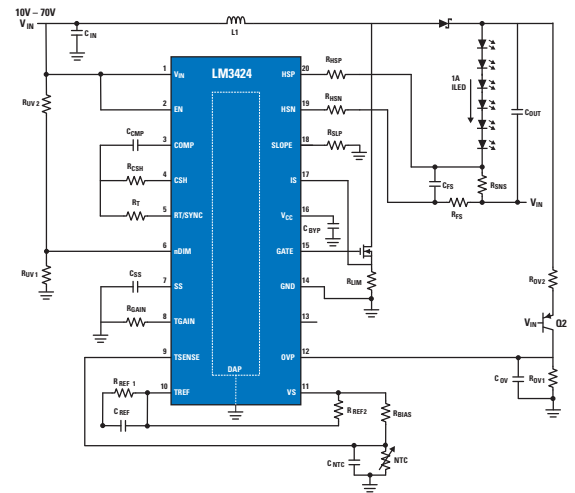
### 工作原理

- 多功能的高电压 LED 驱动器控制器，可以配置为降压、升压、降压/升压 (反激) 或 SEPIC 等拓扑结构
- 可调整开关频率，最高可达 2.0 MHz
- 快速 PWM 调光功能、逐周限流、过压保护以及输入欠压保护
- LM3424 采用过热保护设计，提供更可靠的过热保护，确保 LED 的寿命更长，系统操作更稳定可靠

### 相关应用

适用于各种采用 LED 作为光源的电子设备及照明系统

典型应用电路图



## LM3414/14HV — 支持共阳极设计的 PowerWise® 1A、60W 恒流降压 LED 驱动器

### 工作原理

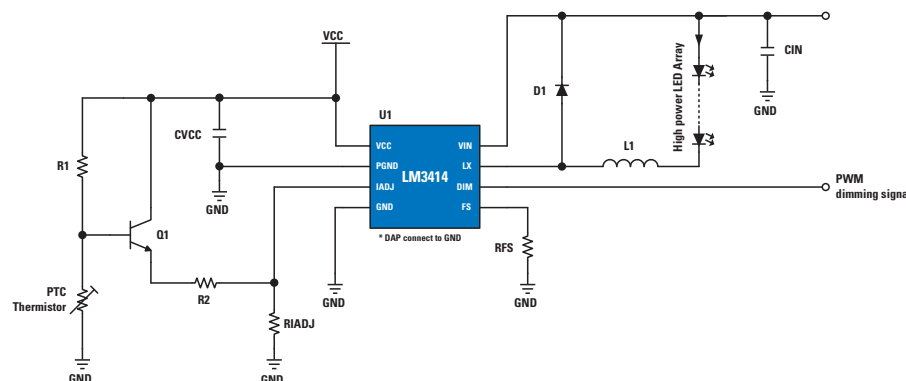
- 宽输入电压范围：4.5V 至 65V，HV 版
- 无需外置电流检测电阻与外部补偿，适用于小巧而简单的解决方案
- 支持共阳极设计，有助于减少导线数目
- LED 电流可在 350 mA 与 1000 mA 的范围内调整，确保 LED 电流的预设值更为准确
- 模拟调光及过热保护功能确保系统操作稳定可靠，功能更多样化
- 支持全部采用陶瓷电容器的设计
- PLM 控制功能可以降低功率损耗，不但有助于提高转换效率，还可为 LED 提供真正平均的恒定电流

- 100 kHz 至 1000 kHz 的可调整恒定开关频率，过热停机保护及  $V_{CC}$  欠压锁定
- 可选择更高能效的 PSOP-8 封装或大小仅有 3 x 3 mm 的 LLP-8 封装

### 相关应用

适用于各种采用 LED 作为光源的电子设备及照明系统，尤其是空间极受限制的应用如 MR16 灯泡

典型应用电路图



# 主要产品简介

## LM3409/09HV — 适用于大功率 LED 驱动器的 PowerWise® PFET 降压控制器

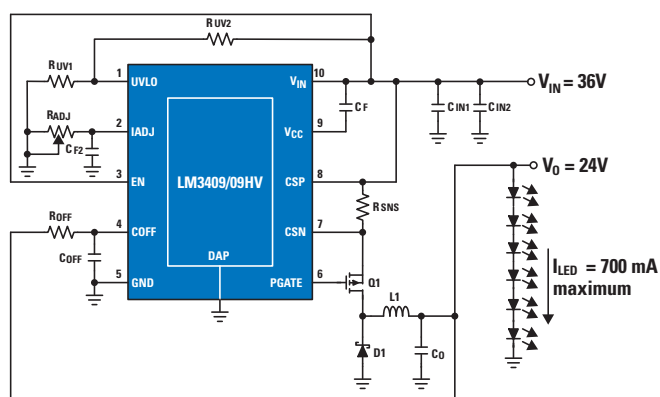
### 工作原理

- 适用于降压稳流器的 P 沟道 MOSFET (PFET) 控制器
- 宽输入电压范围、电压阈值较低但可予调整的高端差分电流检测、快速输出允许/失效等功能
- 恒定关断时间 (COFT) 控制功能可以准确控制电流大小，确保电流恒定，而且无需提供外部控制环路补偿
- 模拟及 PWM 调光功能可以轻易实现，调光范围宽，对比度高
- 欠压锁定、低功率停机及过热停机
- 可为 LED 提供 3A 以上的驱动电流
- 采用 eMSOP-10 封装

### 相关应用

适用于各种采用 LED 作为光源的电子设备及照明系统

典型应用电路图



## LM3445 — 支持 TRIAC 调光器的 PowerWise® 系列离线式 LED 驱动器

### 工作原理

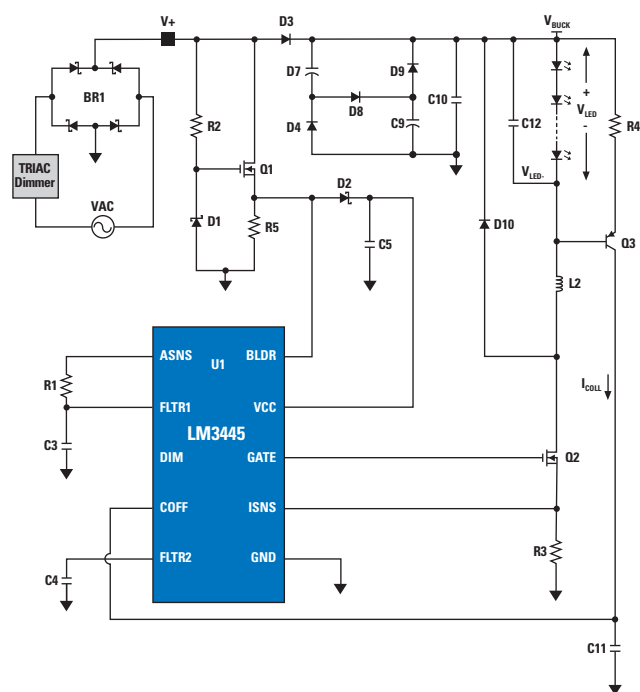
传统的 TRIAC 调光器受设计所限，只适用于阻性负载如卤素灯或白炽灯。目前许多支持标准入墙式调光器的 LED 驱动器都会产生频率为 120 Hz 的闪光，及/或无法支持 100:1 的调光范围。

- LM3445 LED 驱动器先将 TRIAC 调光器的斩波波形解码，然后利用解码信号调控 LED 亮度，以实现全范围调光，并确保不会产生闪光
- 调光效果优于同级竞争产品
- 效率极高
- 符合美国“能源之星”有关功率因数的规定

### 相关应用

适用于必须采用 LED 驱动器驱动入墙式标准 TRIAC 调光器的照明系统

典型应用电路图



# 高亮度 LED 应用

## 美国国家半导体提供一系列可驱动 LED 的恒流稳压器

### 应用

LED 驱动器	LED 灯泡	大照明范围的大功率户外照明系统	室内照明/天花筒灯	汽车照明	显示屏背光灯	医疗设备	娱乐设备	便携式电子消费产品	投影机
LM3401	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
LM3402/HV	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
LM3404/HV	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
LM3405/A	✓	✓	✓	✓		✓		✓	
LM3406/HV	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
LM3407	✓	✓	✓	✓		✓		✓	
LM3409/HV	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
LM3410	✓			✓	✓	✓		✓	
LM3414	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
LM3421/23	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
LM3424	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
LM3429	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
LM3430/32				✓	✓	✓			
LM3431				✓	✓	✓			
LM3433						✓	✓		✓
LM3434						✓	✓		✓
LM3445	✓								
LM3464		✓	✓	✓		✓			

# 高亮度 LED 应用

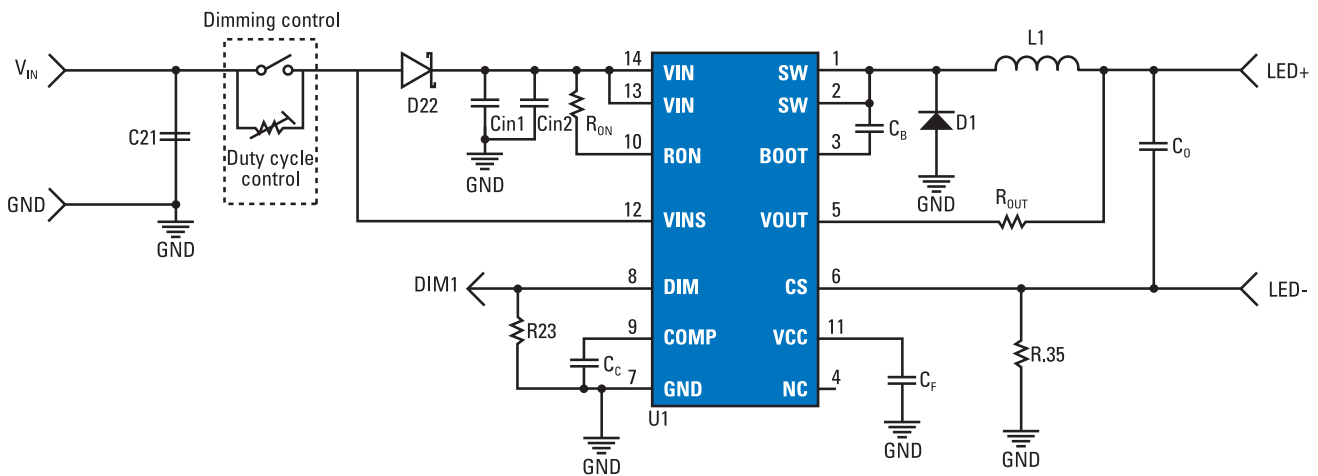
## 双线调光

### 双线调光

#### LM3406 双线调光

系统只要添加外置输入二极管和内置  $V_{INS}$  比较器，LM3406/06HV 可将输入电压的尖峰削平，以便执行检测功能以及利用 PWM 调光功能调控 LED 的亮度。这种方法也称为“双线调光”法，以下所示的是这种调光系统的典型应用电路图。

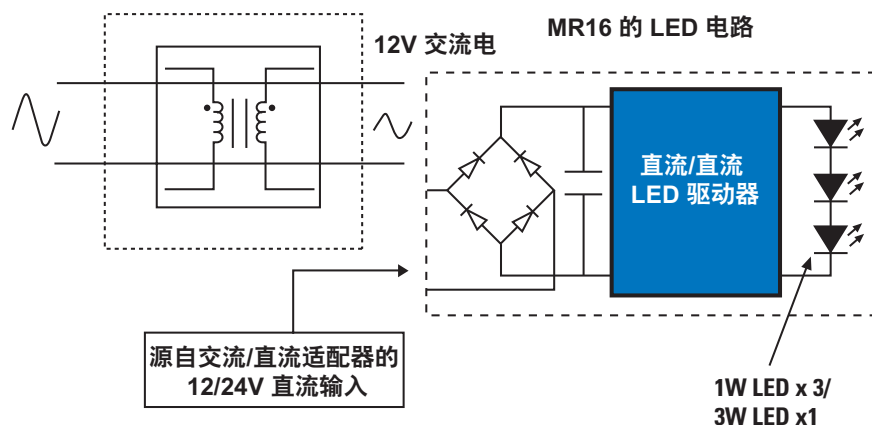
若  $V_{INS}$  引脚电压跌至比  $V_{IN}$  引脚电压低 70% 时，LM3406/06HV 便会先将内置功率 FET 失效，然后中断 LED 灯组的驱动电流。相关的支持电路 (驱动器、带隙、 $V_{CC}$ ) 仍会继续正常运作，使  $V_{INS}$  引脚电压一旦升越输入电压的 70% 时，便能在最短时间内重新启动 LED。这样可将重新启动 LED 灯组所需的响应时间缩至最短。



双线调光的优点：所需线路比传统的 PWM 调光方式少一条，可以进一步降低线路方面的物料成本。

### MR16

MR16 的基本结构



### MR16 照明系统驱动器解决方案

输入电压	LED 数目	LED 类型 (W)	输出电流 (mA)	建议采用的零件	主要特性
12 至 24 VAC-VDC	1 至 3	1 至 5	>1	LM3421/29	采用降压/升压结构
12 至 24 VAC-VDC	1 至 3	1 至 5	>1	LM3424	采用降压/升压结构、过热保护功能
12 至 48 VDC	1	5	350	LM3406	双线调光功能、高效率
12 至 24 VDC	3	1	350	LM3401	100% 占空比
12 至 48V	3	5	350	LM3409	100% 占空比、模拟调光功能
12 VAC	3	1	350	LM3414	100% 占空比、模拟调光功能
12 VDC/12 VAC	3	1	350	LM3405A XMK	体积小，采用小型的 SOT23-6 封装
12 至 24 VDC	3	1	350	LM3407	高效率、高准确度的 LED 电流
12 VDC/12 VAC	1	3	600	LM3405A XMK	体积小，采用小型的 SOT23-6 封装
12 VDC/12 VAC	1	3	750	LM3405A XMY	采用散热能力更强的 eMSOP-8 封装

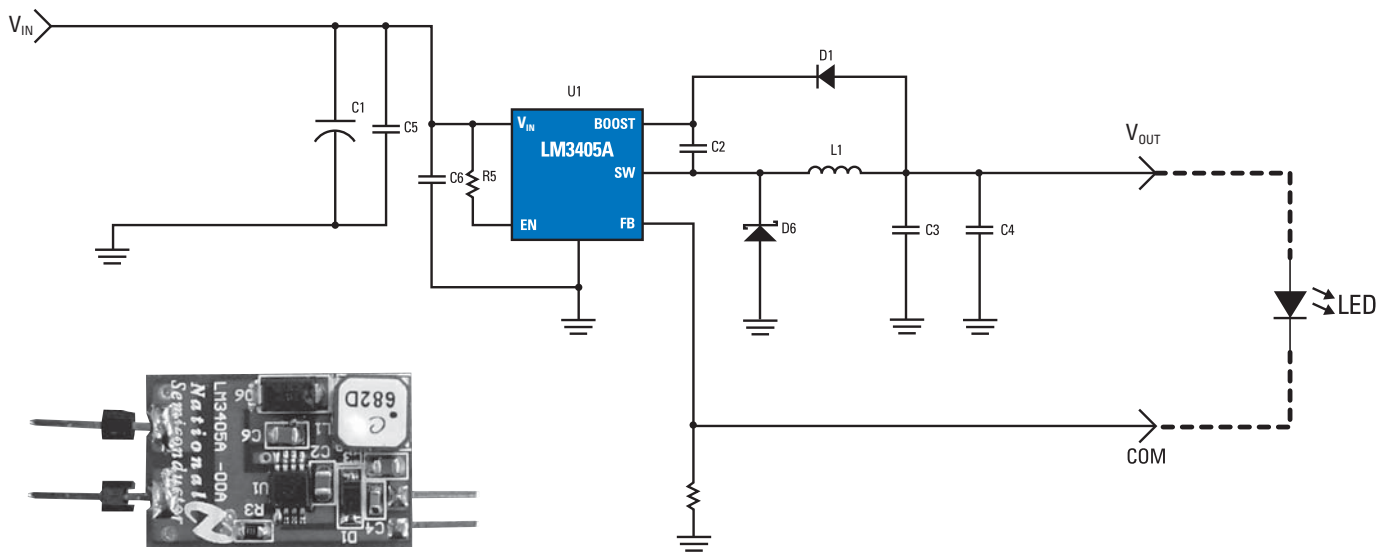
# 高亮度 LED 应用

## LED 灯泡

### 设计方案 1：采用 LM3405A 的 MR16 照明系统

#### 简介：

- 这款电路利用 12V 直流/12V 交流的供电驱动 3W 的高亮度 LED，适用于替换原有的 MR16 卤素灯系统。



#### 测试数据：

##### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
12 VDC	1 个 LED	3.8V	0.70A

##### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12V	12V	0.274A	3.80V	0.70A	80.9%

#### 物料清单 (主要元器件)

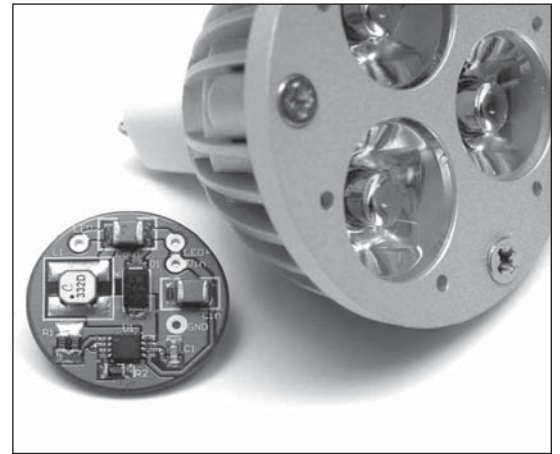
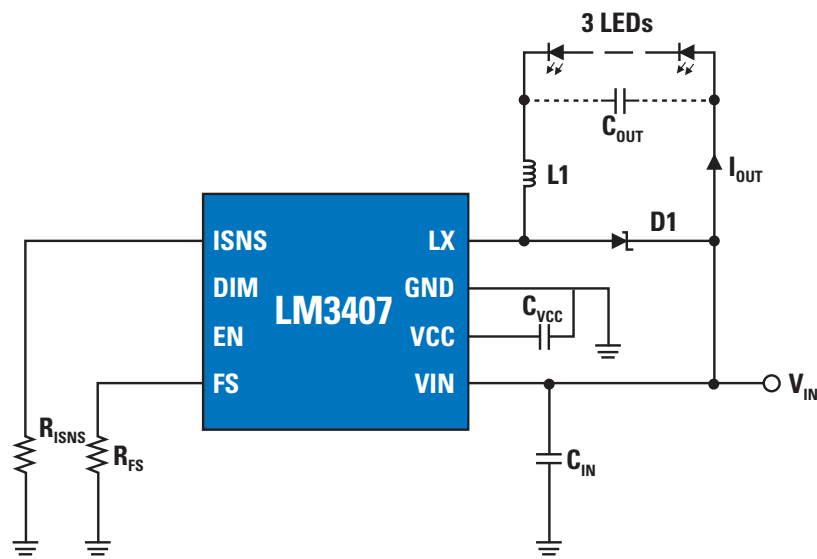
项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	LED 驱动器	LM3405A (eMSOP-8)	美国国家半导体
2	C1	16V, 220 $\mu$ F, 8 x 7 mm	SG 或 YK, 220 $\mu$ F, 16V	Lelon 或 Rubycon
3	L1	6.8 $\mu$ H 电感器、0.095 $\Omega$ 、2.6A	LPS6225-682MLB	Coilcraft
4	Co	CAP0805, 0.47 $\mu$ F	GRM188R71C474KA88	Murata



## 设计方案 2：采用 LM3407 的 MR16 照明系统

### 简介：

- 这款电路利用 12V 直流/12V 交流的供电驱动一组共 3 个串联的 1W LED，适用于替换原有的 MR16 卤素灯系统。



### 测试数据：

#### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
12 VDC	3 个 LED	9.71V	0.35A

#### 2：效率

读数					
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12.00V	12.01V	0.30A	9.71V	0.35A	94.06%

### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	LED 驱动器	LM3407 (eMSOP-8)	美国国家半导体
2	L1	33 $\mu$ H 电感器、0.58A	LPS-4018-333ML	Coilcraft
3	C <sub>IN</sub>	电容器 MLCC 50V、4.7 $\mu$ F、X7R	GRM32ER71H475K88L	Murata
4	C <sub>OUT</sub>	电容器 MLCC 25V、2.2 $\mu$ F、X7R	GRM31MR71E225MA93	Murata

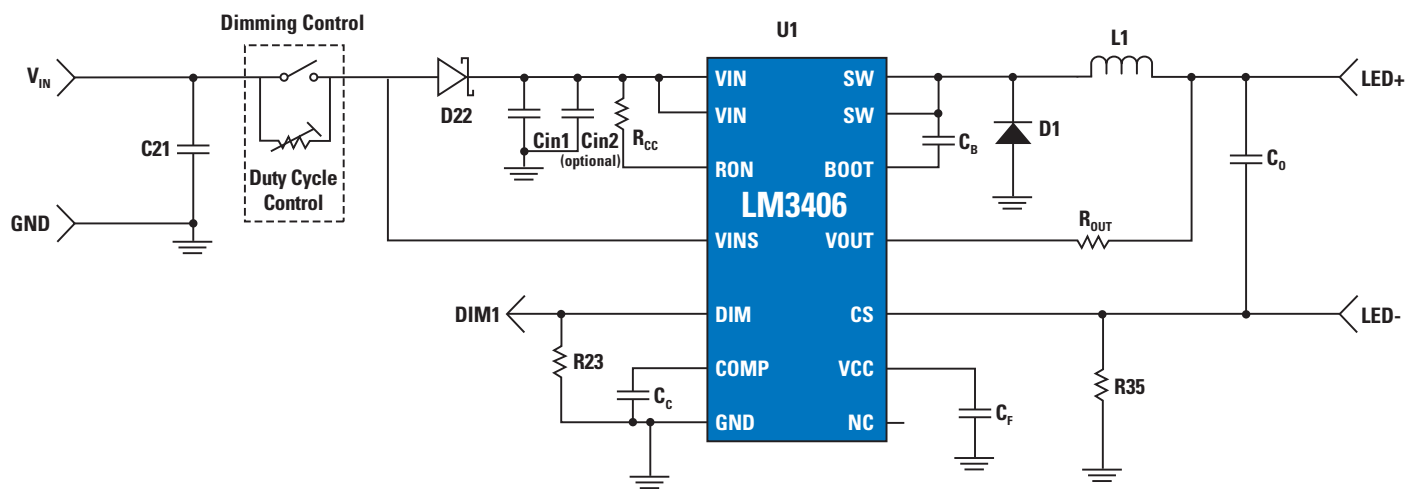
# 高亮度 LED 应用

## LED 灯泡

### 设计方案 3：具备双线调光功能并以 LM3406 作为驱动器的 MR16 照明系统

#### 简介：

- 这款电路利用 12V 直流的供电驱动一个 1.5A 的高亮度 LED，适用于替换原有的 MR16 卤素灯系统。
- LM3406 具备双线调光功能，可利用供电线路的供电执行 PWM 调光功能。



#### 测试数据：

##### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
12 VDC	2 个 LEDs	4.20V	1.50A

##### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12V	12V	0.62A	4.20V	1.50A	84.68%

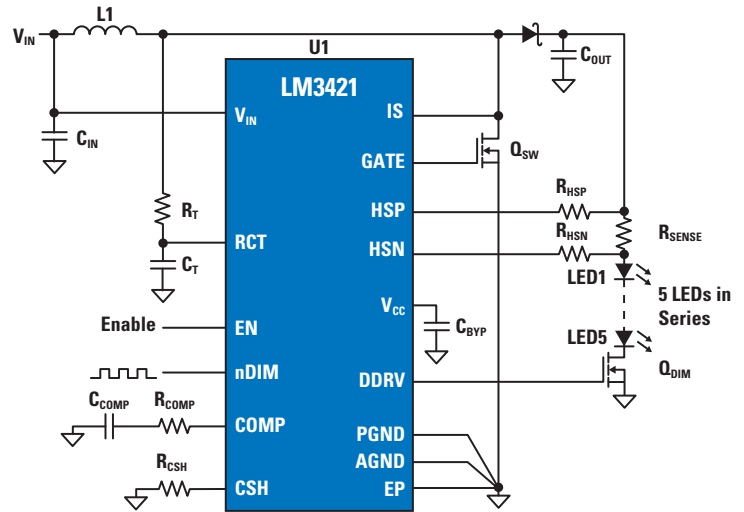
#### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	LED 驱动器	LM3406 (eTSSOP-14)	美国国家半导体
2	L1	15 $\mu$ H, 2.2A, 47 m $\Omega$	SLF10145T-150M2R2-P	TDK
3	Cin1	3.3 $\mu$ F, 50V	C3225X7R1H335M	TDK
4	Co	0.15 $\mu$ F, 50V	C3216X7R1H105M	TDK

## QR111，PAR30 和 PAR38

### 简介：

- 这款电路利用 12V 直流/12V 交流的供电驱动一组共 5 至 8 个串联的 3W LED，适用于现有 QR111、PAR30/38 照明系统装置的大小规格。
- 由于串联的 LED 的总正向电压高于输入电压，因此 LM3421 可以采用升压的拓扑结构。



### 测试数据：

#### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
12 VDC	5 个 LED	<b>19.98V</b>	<b>0.72A</b>

#### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12V	12V	1.27A	19.98V	0.72A	<b>94.50%</b>

### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	<b>U1</b>	适用于恒流 LED 驱动器的低端控制器	LM3421 (eTSSOP-16)	美国国家半导体
2	<b>L1</b>	15 $\mu$ H	7447709150	Coilcraft
3	<b>C<sub>IN</sub></b>	150 $\mu$ F/50V	铝电解质电容器 EEEFK1H151P	Panasonic
4	<b>C<sub>OUT</sub></b>	150 $\mu$ F/50V	铝电解质电容器 EEEFK1H151P	Murata

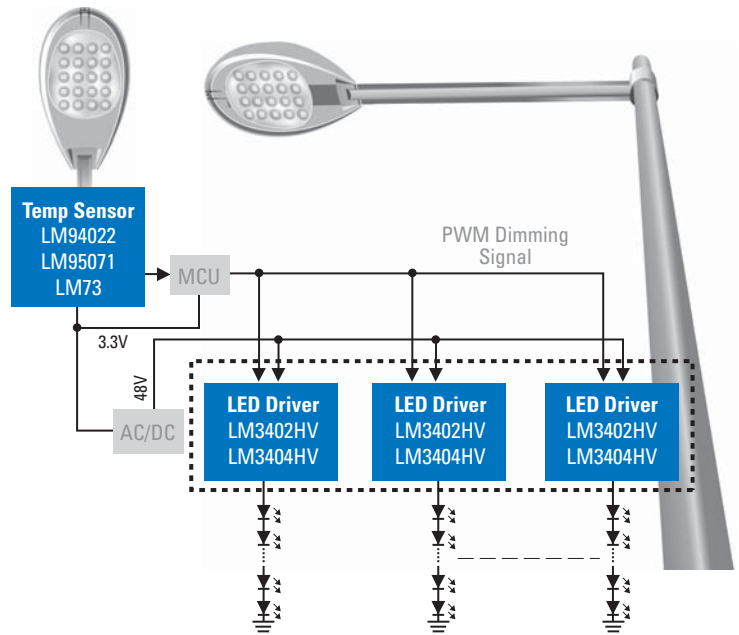
# 高亮度 LED 应用

## 大照明范围的大功率户外照明系统

### 48V 总线的路灯

#### 采用 LM3402/4/6HV 的 48V (或以上) 总线的 LED 路灯的主要好处

- 宽输入电压范围：6V 至 42V 或 6V 至 75V
  - 可提高每一串灯组的 LED 数目 (每一个 LED 驱动器可驱动约 10 至 12 个串行 LED)
  - 系统总成本较低
- 超高效率的 LED 驱动系统解决方案
  - 10 个串行 LED 的效率高达 96% 以上
  - 即使路灯的工作环境极为恶劣，亦能有效管理热能的耗散
- 无需提供补偿
  - 容易使用



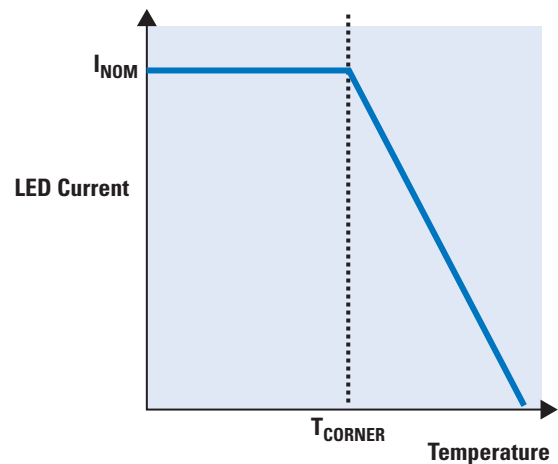
LED 路灯的系统架构

### LM3424 — 内置温度管理电路

- 过热保护
  - 无需采用外置热管理电路
  - 即使在高温环境下工作，也可延长 LED 的寿命，以及提高系统的稳定性
  - 工程师可以利用 WEBENCH® LED Designer 线上设计工具的热管理功能为系统添加过热保护功能 - 轻易完成系统设计

### 工作原理

当温度上升时，过热保护电路会调低输出电流，以免 LED 过热受损，有助于延长 LED 的寿命。控制过程当中有两个重要的参数：一个是转折温度点 ( $T_{corner}$ )，即温度一旦超过这个值，过热保护电路便会调低输出电流；另一个是电流下降斜率，即温度每上升一度的输出电流的下跌幅度。只要采用 LM3424，用户便可利用外置电阻来设置温度转折点及电流下降斜率。

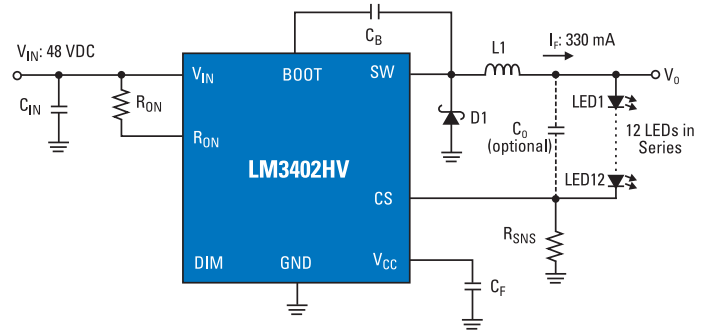


## 路灯

### 设计方案 1：利用 LM3402HV 驱动的 1W 串联 LED

#### 简介：

- 这款电路利用 48V 直流电源的供电来驱动一组共 10 至 12 个串联的 1W LED。
- LED 路灯系统可以采用多个 LM3402HV 驱动器芯片，但实际数目则取决于路灯的输出功率。
- 每一个 LM3402HV 驱动器芯片为灯组内每一个 LED 提供同一的恒定电流，确保路灯内每个 LED 的亮度都均匀一致。



#### 测试数据：

##### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
48 VDC	12 个 LED	<b>38.20V</b>	<b>0.33A</b>

##### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
48V	47.91V	0.27A	38.20V	0.33A	<b>98.04%</b>

#### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	75V、0.5A 的 LED 驱动器	LM3402HV (SOIC-8 或 PSOP-8)	美国国家半导体
2	L1	18.5 x 15.4 x 7.1 mm 330 $\mu$ H, 1.9A, 0.56 $\Omega$	DO5022P-334	Coilcraft
3	Cin	2.2 $\mu$ F/100V/1812	C4532X7R2A225M	TDK
4	Co	0.15 $\mu$ F, 100V, 1206	C3216X7R2A154M	TDK

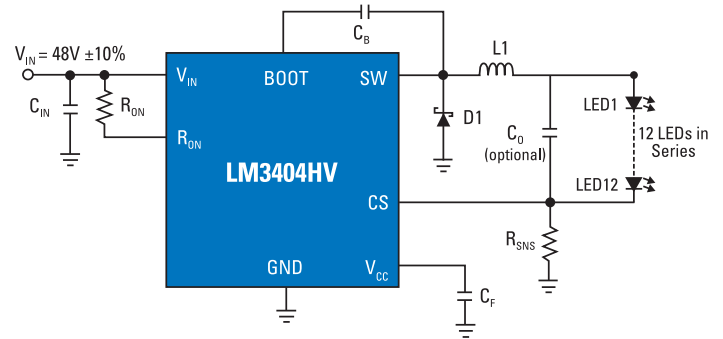
# 高亮度 LED 应用

## 大照明范围的大功率户外照明系统

### 设计方案 2：利用 LM3404HV 驱动的 3W 串联 LED

#### 简介：

- 这款电路利用48V直流电源的供电来驱动一组共 10 至 12 个串联的 3W LED。
- LED 路灯系统可以采用多个 LM3404HV 驱动器芯片，但实际数目则取决于路灯的输出功率。
- 每一 LM3404HV 驱动器芯片为灯组内每一个 LED 提供同一的恒定电流，确保路灯内每个 LED 的亮度都均匀一致。



#### 测试数据：

##### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
52 VDC	12 个 LED	<b>41.975V</b>	<b>1.071A</b>

##### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
52V	51.97V	0.847A	41.975V	1.017A	<b>96.97%</b>

#### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	<b>U1</b>	75V、1.2A 的 LED 驱动器	LM3404HV (SOIC-8 或 PSOP-8)	美国国家半导体
2	<b>L1</b>	220 $\mu$ H 电感器、0.229 $\Omega$ 、2.2A	MSS1278-184KL	Coilcraft
3	<b>Cin</b>	2.2 $\mu$ F/100V/1812	C4532X7R2A225M	TDK
4	<b>Co</b>	0.15 $\mu$ F、100V、1206	C3216X7R2A154M	TDK



## 针对 LED 路灯系统的抗电磁干扰设计

图 1 是适用于路灯应用的 LM3402HV 的电路图。这款电路采用 48V (直流电) 的输入电压, 可为 12 个串联的 1W LED 提供驱动电流。有关电路图及印制电路板的线路布局可以作出修改, 以便抑制电磁干扰。以下图 2 显示修改后的设计结果, 其特点是具有卓越的抗电磁干扰能力, 而且符合 EN55022 标准。

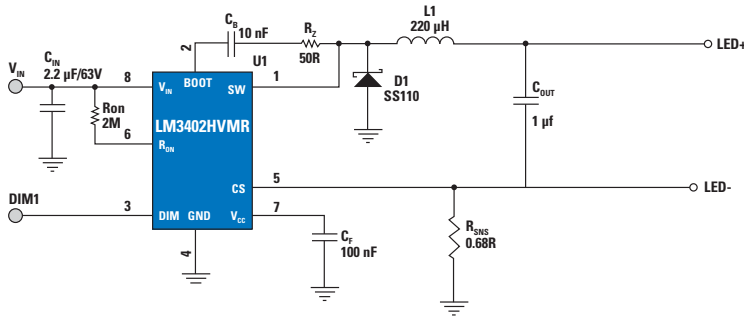


图 1

有关修改如下：

1. 在 SW 引脚与 Cb 引脚之间添加一个 50Ω 的电阻 (Rz)。这样便可将图 3 的 SW 节点波形改变为图 4 的波形。选择理想的 Rz 值时, 必须考虑 SW 的启动压摆率及其振铃振荡。振铃振荡幅度越小, 效果便越好。
2. 加设 1 µF 的输出电容器, 并将之连接 LED 的连接端口。
3. 输入环路面积应该尽量缩小, 参看图 5 显示的蓝色虚线内的部分。输入电容 (C<sub>IN</sub>) 应与捕捉二极管的阳极直接连接一起。
4. SW 节点应尽量缩短。

### Radiated Emission Measurement

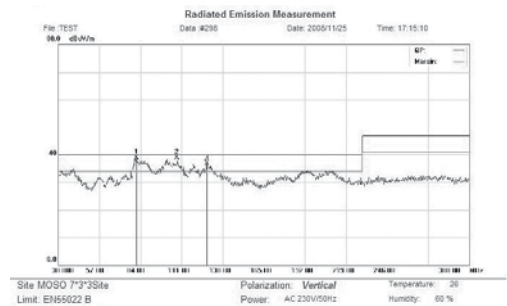


图 2

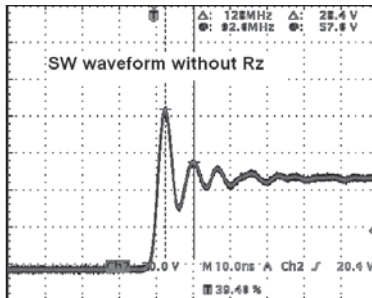


图 3

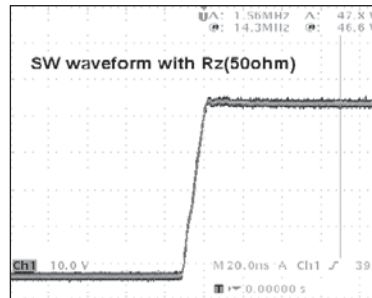


图 4

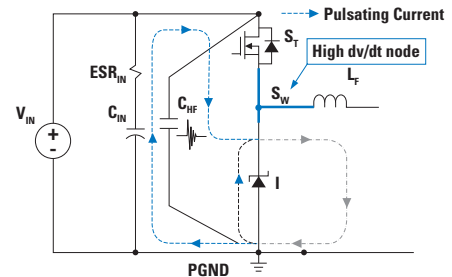


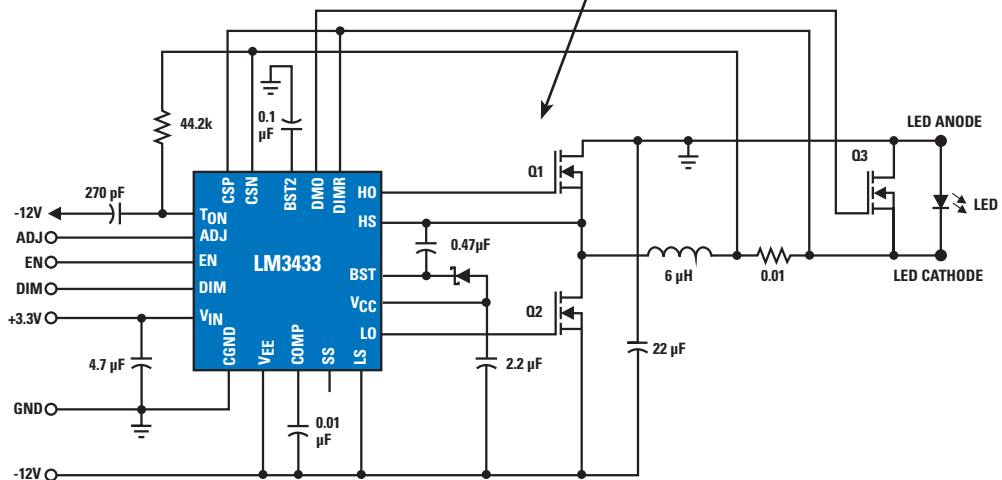
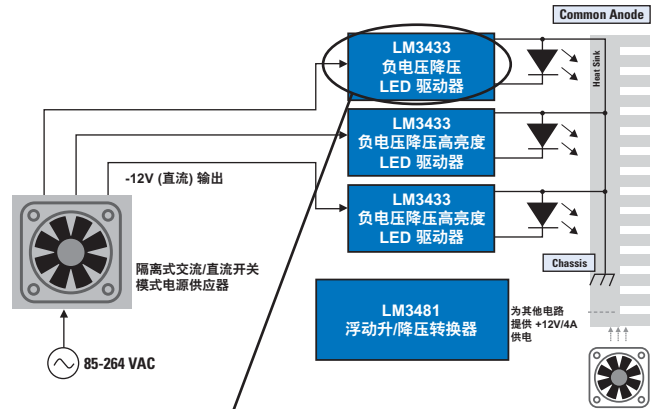
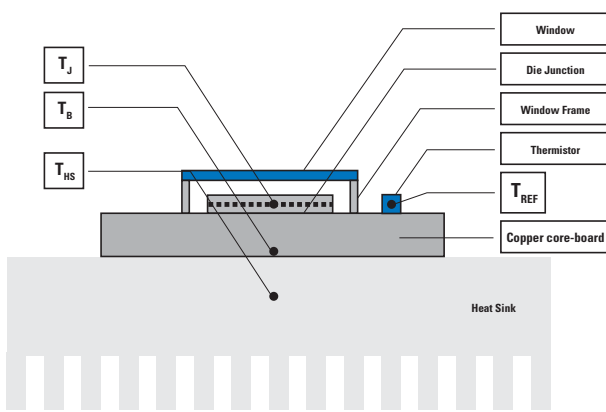
图 5

# 高亮度 LED 应用

## 便携式投影机

### 便携式投影机

- LM3433/34 是一款高功率的恒流 LED 驱动器控制器，由于采用负电压同步降压拓扑结构，适用于输出电流极高的共阳极 LED 照明系统。
- 下图显示采用 LM3433 的便携式投影机的电源系统架构。这款 LM3433 LED 驱动器利用 -12V (直流) 隔离式交流/直流开关模式电源供应器 (SMPS) 的供电，而浮动升/降压 LM3481 则负责为其他逻辑电路及接口提供正电压输出。

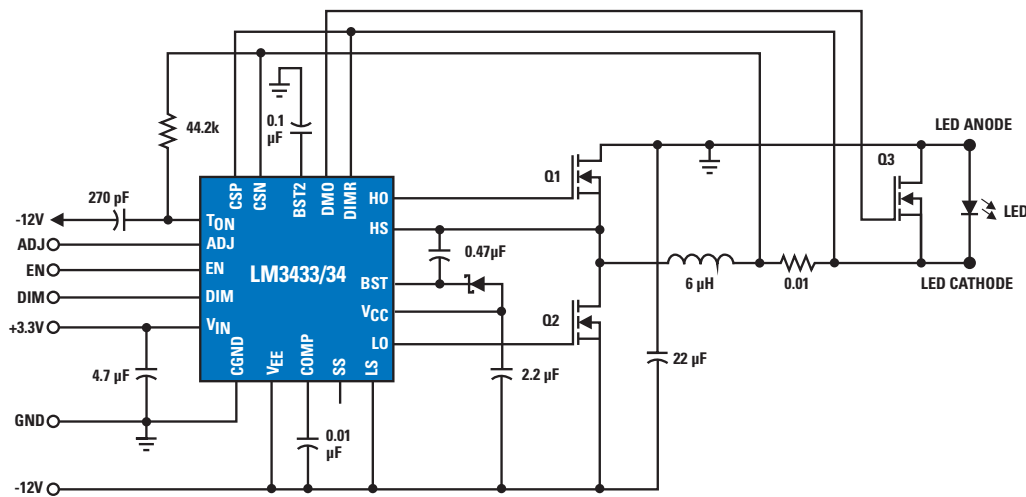


## 采用 LM3433/34 LED 驱动器的投影机

### 简介：

- 这款电路利用来自 LM3433 的 -12V 直流电源或 LM3434 的 -20V 直流电源的供电来驱动高亮度共阳极 LED 模块。
- 以 LED 作为光源的便携式投影机都采用共阳极的高亮度红、绿、蓝光 LED 作为光源。不同颜色的 LED 都必须各有自己的 LM3433/34 驱动器。

典型应用电路图



### 测试数据：

#### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
-12 VDC	1 个 LED	4.60V	6A

#### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
-12V	-12V	2.47A	-4.60V	6A	93%

### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	带高频调光功能的共阳极高亮度 LED 驱动器	LM3433 (LLP-24)	美国国家半导体
2	L2	12 μH, 14A	GA3252-AL	Coilcraft
3	C3	150 μF, 16V	16SA150M	MULTICAP
4	C4	1210 22 μF x 2, 16V	GRM32ER61C226KE20L	Murata
5	C6	1210 47 μF, 16V	GRM32ER61C476ME15L	Murata
6	MOSFET (Q1, Q2, Q3, Q4)	PowerPAK 30V, 9.5 mΩ	Si7386DP	Vishay
7	LED	6A	PT39	Luminus

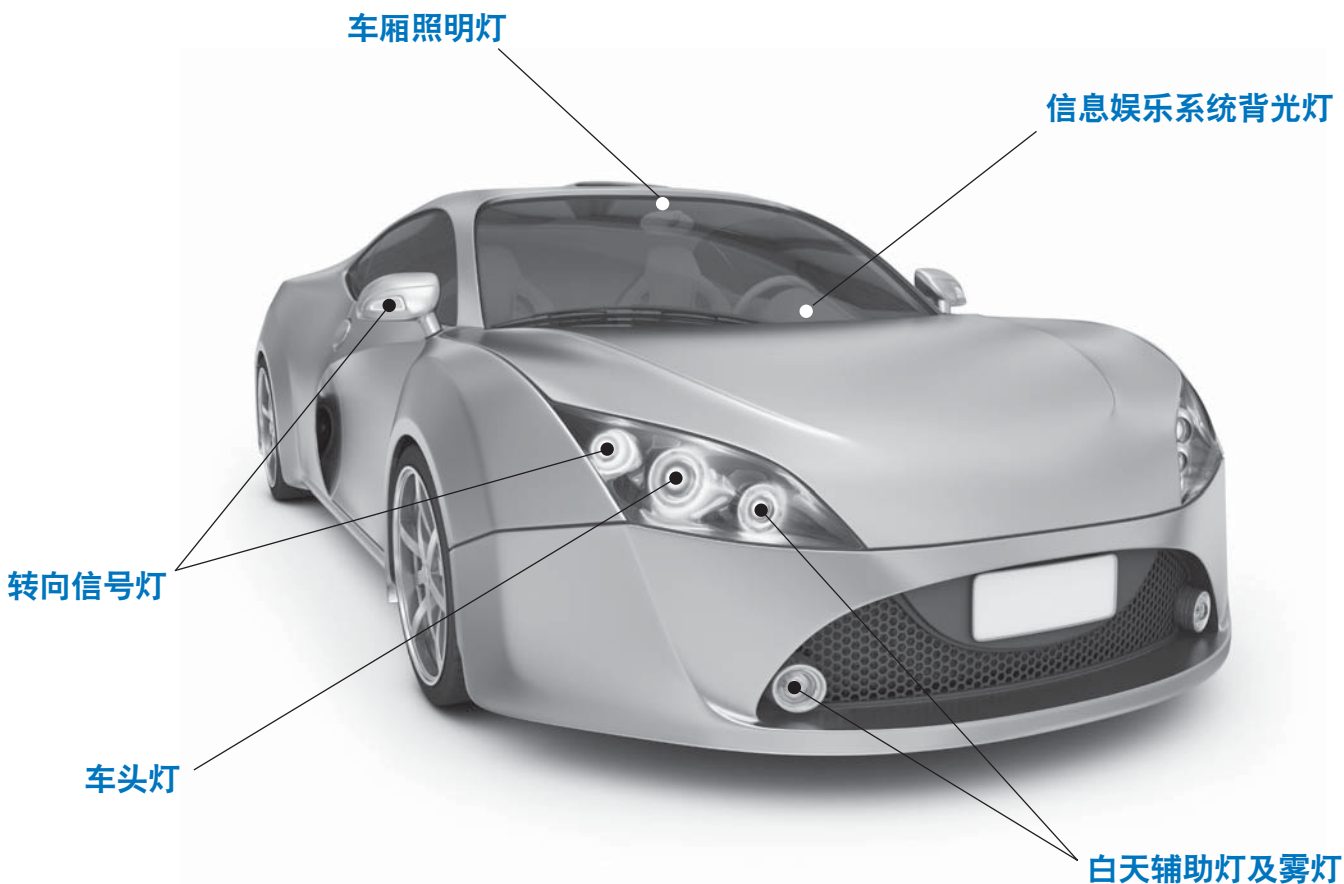
# 高亮度 LED 应用

## 汽车照明系统

汽车的车头灯以至信息娱乐系统的液晶显示器背光灯都离不开 LED 的采用。美国国家半导体特别为汽车照明提供一系列 LED 驱动器，为汽车照明系统添加 PWM 调光、准确的欠压锁定以及高端电流检测等重要功能。

由于 LED 的纹波电流较低，而且具备外置振荡器同步功能，因此可以减少电磁干扰。采用这些 LED 驱动器，可以大幅提高汽车照明系统的效率及照明效果。

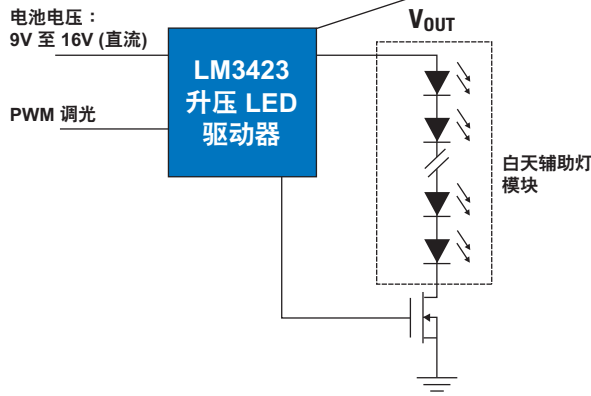
特性	优点
高效率	更高的热管理能力
高端电流检测	LED 接地连接机箱，以便增强散热能力
准确的电流控制	延长 LED 的使用寿命
PWM 及模拟调光	若电池储电量较少，可以轻易调低供电电流，以免电池无法应付过量耗电
宽电压范围	无论是立即启动、高或低的电池储电量、还是出现高电压瞬态，供电都能保持稳定
外置振荡器同步功能	外部扩展谱频，以便降低电磁干扰



## 设计方案 1：采用 LM3423 升压 LED 驱动器的白天辅助灯

### 简介：

- 这款电路利用电池的供来电驱动一组共 12 个串联的 1W LED，最适用于汽车的白天辅助灯 (DRL)。
- 由于 LED 灯组的总正向电压高于电池输入电压，因此必须采用升压 LED 驱动器。



### 测试数据：

#### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
12 VDC	12 个串联的 1W LED	46V	0.40A

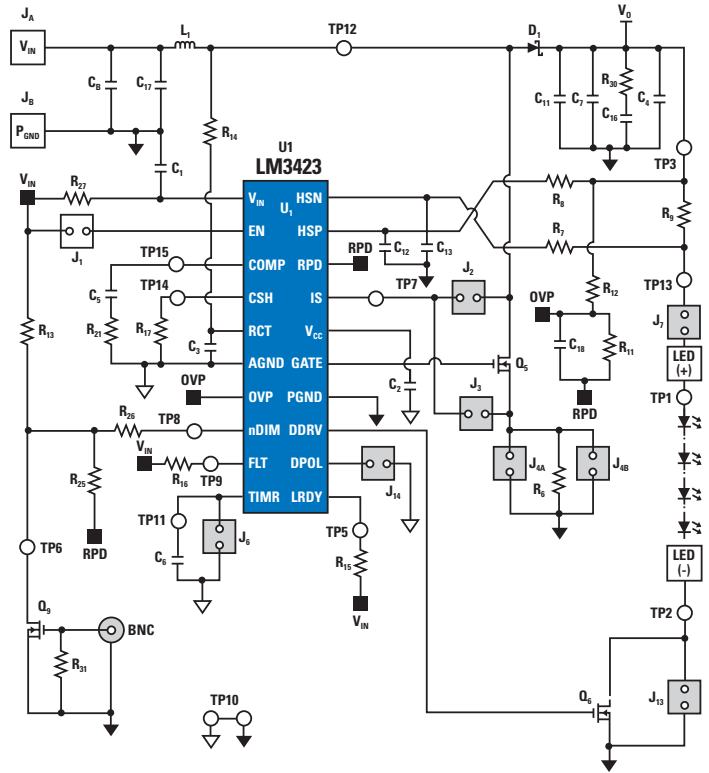
#### 2：效率

读数					
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12V	12V	1.65A	46V	0.40A	92.93%

### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	适用于恒流 LED 驱动器的低端控制器	LM3423 (eTSSOP-20)	美国国家半导体
2	L1	22 $\mu$ H	DO5040H	Coilcraft
3	C8 (Cin)	330 $\mu$ F, 35V 5 mm	ECA-1VM331	Panasonic
4	C7 (Cout1)	330 $\mu$ F, 35V 5 mm	ECA-1VM331	Panasonic
5	C11 (Cout2)	1210 10 $\mu$ F, 25V	ECJ-4YB1E106M	Panasonic

### 演示板



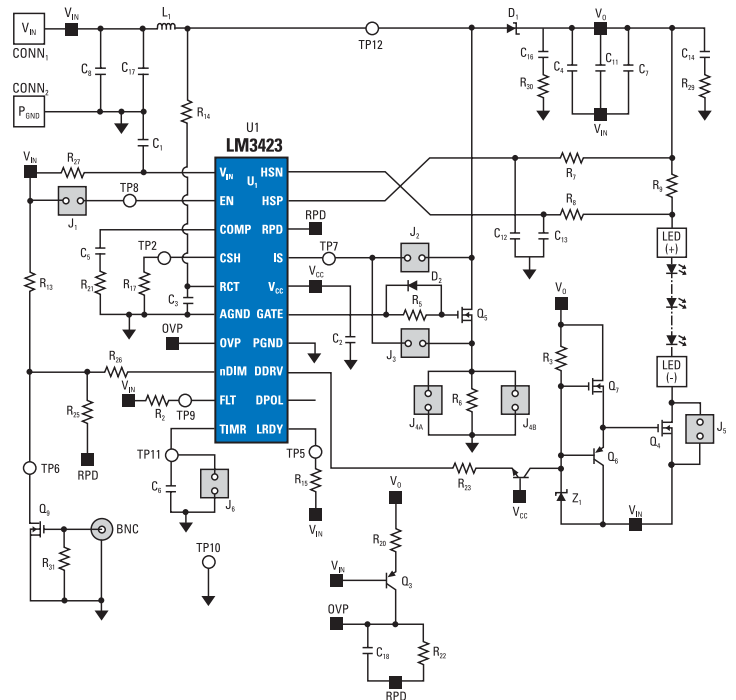
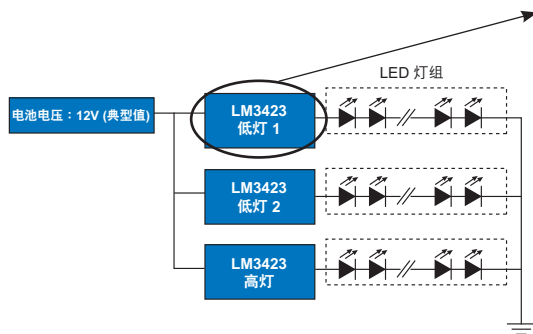
# 高亮度 LED 应用

## 汽车照明系统

### 设计方案 2：采用 LM3423 升/降压 LED 驱动器的车头灯

#### 简介：

- 这款电路利用 12V 及 24V 总线的电池供电来驱动一组共 6 个串联的 3W LED，适用于汽车的车头灯。
- 由于 LED 灯组的总正向电压可能高于或低于输入电压，因此必须采用升/降压 LED 驱动器。



#### 测试数据：

##### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
6 至 32 VDC	20V (1A 电流)	20V	1A

##### 2：效率

读数					
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12V	12V	1.87A	20V	1A	88.98%
24V	24V	0.93A	20V	1A	89.51%

#### 物料清单 (主要元器件)

序号	物料号	描述	物料号	制造商
1	U1	适用于恒流 LED 驱动器的升/降压控制器	LM3423 (eTSSOP-20)	美国国家半导体
2	L1	22 $\mu$ H	DO5040H	Coilcraft
3	C8 (Cin)	330 $\mu$ F/35V、5 mm 引脚	ECA-1VM331	Panasonic
4	C7 (Cout1)	330 $\mu$ F/35V、5 mm 引脚	ECA-1VM331	Panasonic
5	C11 (Cout2)	1210 10 $\mu$ F、25V	ECJ-4YB1E106M	Panasonic



## 设计方案 3：采用 LM3431 的 LED 背光系统

适用于信息娱乐系统显示屏的 LED 背光灯



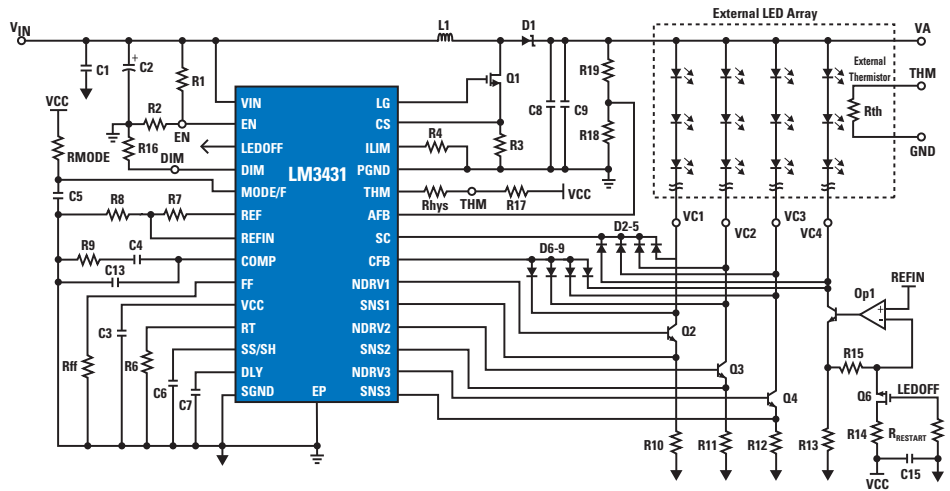
适用于仪表板的 LED 背光灯



### 简介：

- 这款电路利用 12V 总线的电池供电来驱动 4 组、每组共有 8 个串联的 140 mA LED，适用于汽车 TFT 显示器的 LED 背光灯。

输入电压：8V 至 18V，4 组 LED 灯组（每组共有 8 个 LED），  
每组 LED 的驱动电流为 140 mA



### 测试数据：

#### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
8 至 18 VDC	4 组 LED 灯组 (每组共有 8 个 LED)，正向电压：3.2V	<b>25.60V</b>	<b>0.14A</b>

#### 2：效率

读数					
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
12V	12V	0.34A	25.60V	0.14A	<b>88%</b>

### 物料清单 (主要元器件)

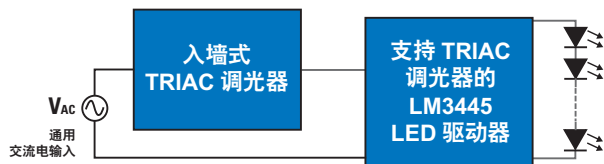
项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	适用于多通道恒流 LED 驱动器的升压控制器	LM3431 (eTSSOP-28)	美国国家半导体
2	L1	7 $\mu$ H、3.1A 电感器	MSS1038-702NL	Coilcraft
3	C2 (Cin_1)	10 $\mu$ F、50V 电解质电容器	UUD1H100MCL	Nichicon
4	C1 (Cin_2)	1 $\mu$ F、50V B 陶瓷电容器	GRM32RB11H105KA01	Murata
5	C3 及 C8 (Cout)	两个 4.7 $\mu$ F、50V X7R 陶瓷电容器	GRM32ER71H475KA88L	Murata
6	Q1	60V、200 mA N 沟道 MOSFET	2N7002K	Vishay

# 高亮度 LED 应用

## TRIAC 调光控制

### 采用 LM3445 并利用 TRIAC 调光器调控亮度的 LED 灯

- TRIAC 相位控制调光器是目前最受欢迎的调光器，但由于设计所限，这种调光器只适用于纯阻性负载，例如白炽灯或卤素灯。对于入墙式 TRIAC 调光器来说，LED 灯并不属于阻性负载，若利用传统的入墙式 TRIAC 调光器调控 LED 灯的亮度，效果并不理想。
- 支持 TRIAC 调光器的美国国家半导体 LM3445 离线式 LED 驱动器可以有效解决这个问题，确保目前利用入墙式 TRIAC 调光器调控灯光亮度的白炽灯或卤素灯，可以轻易以 LED 灯替换。LM3445 是一个离线式解决方案，支持全程 100:1 的调光范围的同时，不会产生频率为 100/120 Hz 的闪光，还可以支持主/从的操作方式。



### 测试数据：

#### 1：输出电压及电流

参数		读数	
输入电压	负载	输出电压	输出电流
110 VAC	12 个 LED	46 VDC	0.35A

#### 2：效率

		读数			
输入电压	输入电压	输入电流	输出电压	输出电流	效率
110 VAC	—	—	46.0V	0.35A	84.20%

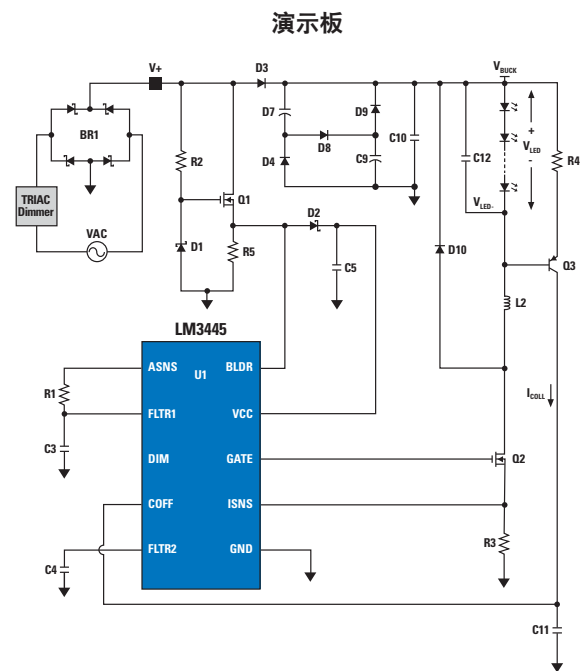
### 物料清单 (主要元器件)

项目	代号	产品简介	零件编号	供应商
1	U1	LED 驱动器控制器	LM3445MM (迷你型 SOIC-10)	美国国家半导体
2	BR1	桥式整流器、SMT、400V、800 mA	HD04-T	Diode
3	L2	电感器、SHLD、SMT、1A、470 $\mu$ H	MSS1260-474KLB	Coilcraft
4	C7, C9	电容器、AL、200V、105C、20%、33 $\mu$ F	EKXG201ELL330MK15L	UCC
5	D4, D9	二极管、FR、SOD123、200V、1A	RF071M2S	Rohm
6	D10	二极管、FR、SMB、400V、1A	MURS140T3G	On Semiconductor
7	Q1, Q2	XSTR、NFET、DPAK、300V、4A	FQD7N30TF	Fairchild

### 采用 LM3445 的 TRIAC 调光 LED 灯

#### 简介：

- 这款电路利用 90V 至 135V (交流电) 的输入电压来驱动 7 或 8 个串联的 LED，而驱动电流平均可达 350 mA，适用于以 TRIAC 调光器调控亮度的 LED 灯。



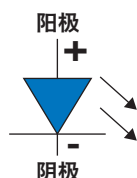
## 光的重要性：LED 的基本原理

登入 [national.com/LED](http://national.com/LED) 网页，轻按 Apps 栏目的按键，便可翻阅以下第一至第四部分的全文。

以照明为例，世界各地若改用效率更高的照明系统，例如，效率若再提高 10%，我们不难想像问题的改善程度。但效率若提升 1000%，我们就很难想像可以改善到一个怎么样的程度。新一代发光二极管 (LED) 的性能不但有很大的改善，而且效率有很大的提升空间，无论是整体性能还是稳定性，LED 都比目前许多光源优胜。

**第一部分：“LED 的基本原理”**这一部分简单介绍了 LED 的基本物理结构、光线颜色、效率、相关的应用及驱动器。[更多详细资料关于...](#)

- 物理结构
- 光线颜色
- 效率
- 应用
- 驱动器

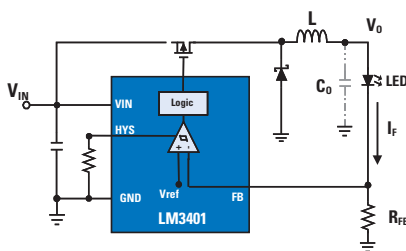


基于降压稳压器的多种特点，很多工程师都喜欢采用这种稳压器作为 LED 的驱动器。例如，降压稳压器较为简单，可以轻易配置为电流源，而且只需极少其他元器件，有助于简化设计流程，提高驱动器的稳定性，以及降低成本。降压 LED 驱动器适用于多种不同的配置，这方面的灵活性让它支持多种不同的控制电路。此外，采用这种驱动器无需加设输出电容，所以能够支持高速调光功能，而且调光范围宽，适用于多种不同的调光方法，包括并联调光。由于降压 LED 驱动器具有这些优点，因此只要符合个别应用的特殊要求，工程师都会乐意选用。

**第二部分：“尽量采用降压稳压器”**这一部分介绍恒流降压转换器的特性，并讨论为何工程师最喜欢采用这种转换器作为开关式 LED 驱动器。[更多详细资料关于...](#)

- 开关稳压器
- 恒流电源级
- 控制环电路

若有关的应用不适宜采用降压的配置，会不会有其他的解决方法？家居及商用照明系统往往要输出数以千计的流明，所以必须驱动很多串连的 LED。每串 LED 的正向电压总压降相等于是所有串连的 LED 的正向压降总和。部分

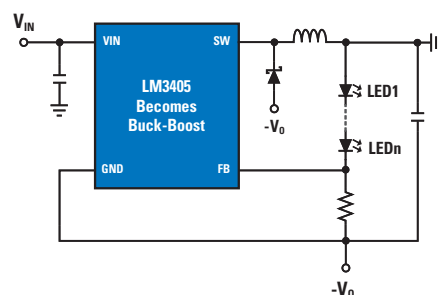


应用的输入电压范围可能会低于串连 LED 的正向压降总和，有时则可能会上下波动，也就是时而高于或低于这个正向压降总和。在这种情况下，必须采用升压或升/降压开关稳压器。

**第三部分：“甚么情况下应采用降压及升/降压稳压器”**这一部分探讨大屏幕 LED 显示器的问题，并介绍可采用其他转换器拓扑结构的应用。[更多详细资料关于...](#)

- 升压及升/降压稳压器面对的挑战
- 其他拓扑结构

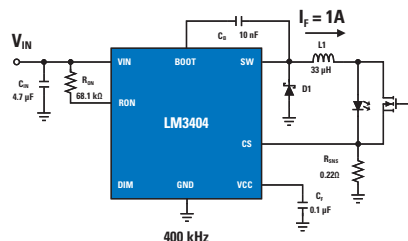
无论我们利用降压、升压、升/降压还是线性稳压器来驱动 LED，全部都面对同一个问题：驱动 LED 时如何控制光线输出量。部分应用只采用简单的开/关方式，但大部分应用要灵活调控亮度，务求光线



输出量可以在 0 与 100% 之间灵活控制，而且分辨率的要求往往极高。在这一方面来说，系统设计工程师主要有两个选择：一是按照线性比例调整 LED 电流 (即模拟调光)；另外是利用开关电路不断进行高频切换，令眼睛觉得光线的平均输出量已减少 (即数字调光)。最容易实现数字调光功能的方法也许是脉冲宽度调制 (PWM) 的控制方式，我们只需设置其开关时段及占空比便可。降压稳压器的拓扑结构便适用于这种控制方式，而且是个调光效果最理想的解决方案。

**第四部分：“PWM 调光功能”**这一部分讨论实现这种调光功能的理想解决方案。[更多详细资料关于...](#)

- PWM 调光与模拟调光的优劣比较
- 调光频率与对比度的比较
- 利用开关稳压器执行调光功能
- 利用升压及升/降压稳压器进行快速 PWM 控制



## 采用开关式 LED 驱动器的调光技术

随著 LED 照明技术的飞跃发展，市场上涌现许多可以控制 LED 驱动电流的集成电路。由于节约能源已成为世界潮流，因此耗电量大的线性电源供应已不受欢迎，早已被开关式 LED 驱动器淘汰。闪光灯以至运动场记分板等照明系统都必须严格控制供电，确保电流恒定。很多时，照明系统必须因应情况实时调整 LED 的光线输出量。这种功能通常称为调光功能。本文除了简单介绍一些 LED 的基本原理之外，也会讨论开关式 LED 驱动器常用的几种调控亮度方法。

### LED 的亮度及色温

#### LED 的亮度

LED 发出的可视光有一定的亮度，这一点不难明白。我们可以利用一组可以轻易测量的数值，作为比较 LED 光线输出量的指标，这组数字以光通量密度为单位，简称为 candela (cd)。这组流明量 (lm) 的测量数值可以用来标示 LED 的总输出功率。

我们也必须明白 LED 的亮度取决于流入 LED 的平均正向电流。

图 1 显示 LED 正向电流与其流明量输出之间的函数关系。在正向电流的可用范围内，两者之间明显呈线性关系。若正向电流升越这个范围，两者之间便开始呈非线性关系。一旦驱动电流超出线性范围，以每瓦流明量计的效率便会下跌。若在线性范围外驱动 LED，部分输出功率会转为热能，被 LED 耗散掉。这些耗散的热能会影响 LED 驱动器的操作稳定性，也令热管理系统的设计更为复杂。

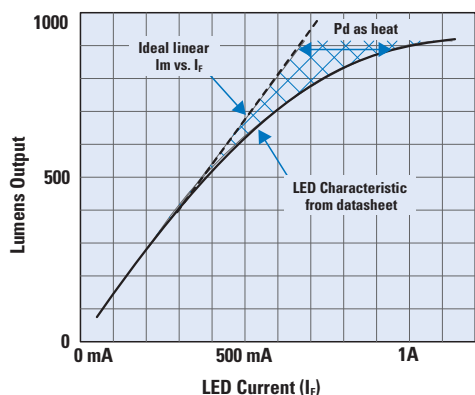


图 1：LED 输出与 LED 电流之间的函数关系

#### LED 的色温

色温是用来标示 LED 光线颜色的一个参数，LED 的数据表会列出有关数字，并注明适用于某一温度范围。LED 的色温会随著正向电流、结温及老化情况的变化而改变。较低的色温呈红中带黄的色调 (称为较暖色温)，而数值较高的色温则呈蓝中带绿的色调 (称为较冷色温)。很多彩色的 LED 只列出占支配地位的波长，不会提供有关色温的数据，但这些 LED 也会有波长漂移的问题。

### LED 的调光方法

开关式驱动电路通常利用两个方法调控 LED 的亮度：即脉冲宽度调制 (PWM) 方式与模拟方式。这两种方法都有一个共通点，就是控制流入 LED 或 LED 串的均值电流，当我们仔细比较这两种调光电路的优缺点，便会发觉两者的分别非常明显。

图 2 显示一款采用降压拓扑结构的开关式 LED 驱动器。这款电路的输入电压必须高于 LED 与  $R_{SNS}$  之间的电压。电感器电流就是 LED 电流。系统会监控电流检测 (CS) 引脚的电压，以便调整 LED 电流。若电流检测电压下跌至预设电压值之下，流经 L1 这一个 LED 及  $R_{SNS}$  的电流脉冲的占空比便会上升，令流经 LED 的均值电流也随著上升。

#### 模拟调光方式

模拟调光方式则调整每一周期的 LED 电流。简言之，这种方法所调整的是 LED 的恒定电流。只要调整电流检测电阻 ( $R_{SNS}$ ) 或向驱动器芯片的 DIM 引脚输入模拟电压，便可执行模拟调光功能。图 2 显示模拟调光方式的应用实例。

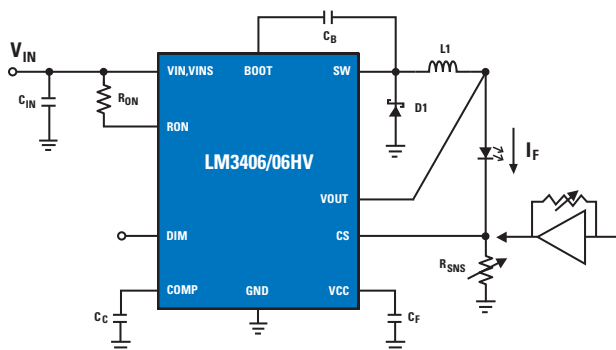


图 2：降压稳压器的拓扑结构



### 通过调整 $R_{SNS}$ 电阻值来实现的模拟调光功能

图 2 清楚显示若 CS 参考电压固定不变， $R_{SNS}$  电阻值的变动会令 LED 电流也随著改变。若有电位计可承受较高的 LED 电流而且本身的电阻不超过  $1\Omega$ ，调整电阻值不失为可行的 LED 亮度调控方法。

### 将直流电压输入 CS 引脚的模拟调光方法

另一个较为复杂的方法是将直流电压输入 CS 引脚，以便直接控制 LED 的每周期电流。一般来说，供电电压会输入反馈环路，并在这里进行 LED 电流采样，另外由放大器加以缓冲(参看图 2)。LED 电流可以通过调整放大器的增益倍数加以控制。这个反馈电路也可支持过流及过热保护等功能，以便为 LED 提供多一重保护。

模拟调光的缺点是 LED 光线的色温会随著 LED 电流的变动而改变。部分 LED 照明系统的灯光颜色非常重要，绝对不能改动。此外，部分照明系统的 LED 会随著 LED 电流的变动出现较大幅度的色温转变。对于这些应用来说，这种通过调整 LED 电流以便调控 LED 光线输出的调光方法并非理想的解决方案。

### PWM 调光方式

PWM 调光方式是在极短的时间内不断快速启动及关断 LED 电流，这个开关周期的频率必须极快，到一个人类眼睛也无法察觉的速度，避免视觉觉得灯光不停闪烁。一般来说，200 Hz 或以上的频率已足以产生这种视觉效果。

若采用这种方法调光，调光后的亮度与调光波形的占空比成正比，两者的关系可以利用以下公式显示出来：

$$I_{DIM-LED} = D_{DIM} \times I_{LED}$$

上述公式中的  $I_{DIM-LED}$  是指 LED 的均值电流， $D_{DIM}$  是指调光波形的占空比，而  $I_{LED}$  则指利用  $R_{SNS}$  设置的发光二极管额定电流(参看图 3)。

### 将 LED 驱动器加以调制

许多新一代的 LED 驱动器都配备专用的 PWM 调光 (DIM) 引脚，由于这一引脚可以支持多种不同的 PWM 频率及振幅，所以驱动电路可与外置逻辑电路轻易连接一起。调光功能只停止输出功率及中止驱动，但内部电路则仍然继续操作，以免延迟转换器芯片的重新启动。输出允许 (Output Enable) 引脚及其他逻辑电路关闭功能则仍然可以继续使用。

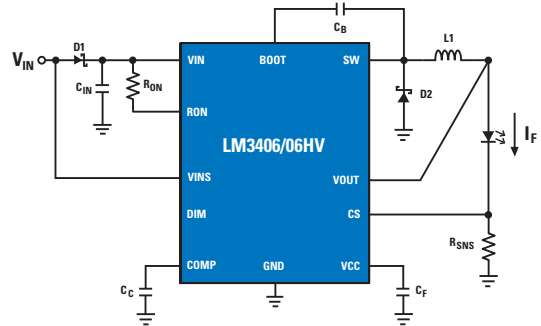


图 3：双线 PWM 调光电路图

### 双线 PWM 调光

双线 PWM 调光是车内照明系统最常用的调光方式。由于这种方法利用调制功能将输入电压调低至  $V_{IN-NOMINAL}$  的 70% 以下，因此 VINS 引脚(参看图 3)可以检测电压的变动，并将 PWM 波形转换为输出驱动电压的相关 PWM 波形。这种调光方式的缺点是转换器的电源必须内置可为其直流输出提供 PWM 波形的电路。

### 采用并联电路的快速 PWM 调光方式

由于转换器在一开一关之间会有输出延迟的现象出现，令 PWM 调光频率及占空比不能超出某一范围。若要解决这个延迟问题，可以加设一个外置并联电路，例如图 4 显示的 FET 晶体管，并将这一晶体管与 LED 或串联 LED 并行连接一起，以便转换器的输出电流可以迅速绕过 LED。

电感器电流在“LED 关闭时段”一直保持通电状态，以免电感器在提升及调低其电流时出现太长的时间延迟，令延迟时间相等于并联电路的上升及下降时间的高低限值。

图 4 显示加设了并联 FET 的 LM3406 芯片，并显示 LED 出现开关延迟时间的两种不同波形的比较，其中一种只利用 DIM 功能引脚进行调光，另一种则加设了并联 FET。进行测量时，上述两种情况都采用 10 nf 的输出电容器，而采用的并联电路则是一款型号为 Si3458 的 FET。

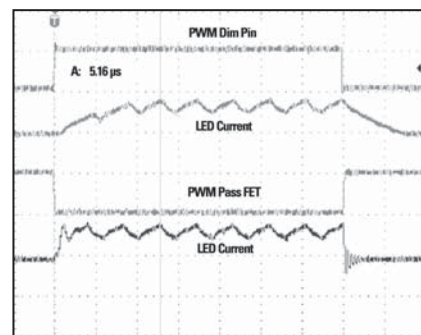


图 4：电路及 PWM 波形

# 设计纵横

若利用并联电路将电流模式转换器输出的驱动电流绕过 LED，必须小心提防 FET 启动时输出电流会出现过冲。LM340x 系列 LED 驱动器属于导通时间受控制的转换器，不会有这种过冲现象出现。此外，必须采用电容值较小的输出电容器连接 LED，以尽量提高开关周期的切换速度。

快速调光的效率低于完全关闭输出的方法，这是快速调光的缺点。并联电路启动时，部分功率会转化为热能被耗散，功耗量相等与并联电路的电压乘以 LED 电流 ( $V_{SHUNT DEVICE} \times I_{LED}$ )。若采用较低  $R_{DS-ON}$  的 FET，便可将效率的下跌幅度减至最少。

## 支持多种不同调光功能的 LM3409

美国国家半导体的 LM3409 是一款独特的 LED 驱动器，其特别之处是可以轻易实现模拟及 PWM 两种调光功能，例如，这款芯片可以支持 4 种 LED 调光方式：

1. 模拟调光：利用 0V 至 1.24V 的电源直接驱动  $I_{ADJ}$  引脚
2. 模拟调光：在  $I_{ADJ}$  引脚与接地之间加设一个电位计
3. PWM 调光：利用允许 (Enable) 引脚
4. PWM 调光：采用外置并联 FET 晶体管

图 5 显示 LM3409 搭配电位计的电路可以实现模拟调光功能。5  $\mu A$  的内部电流源令  $R_{ADJ}$  出现电位差，而这一电压又会进一步改变内部检测电流的阈值。 $I_{ADJ}$  引脚也可直接利用直流电源驱动，效果没有分别。

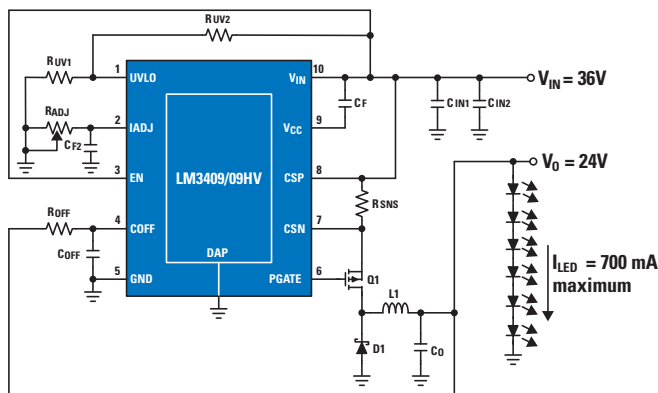


图 5：模拟调光电路图

本文的网上版刊登于以下网页：  
[national.com/powerdesigner](http://national.com/powerdesigner)

图 6 显示 LED 电流测量值与电位计电阻之间的函数关系 (电位计设于  $I_{ADJ}$  引脚与接地之间)。1 Amp 之后的电流出现平直的走势，这是最高的额定 LED 电流值，可以利用电流检测电阻 ( $R_{SNS}$ ) 设置其大小 (参看图 4)。

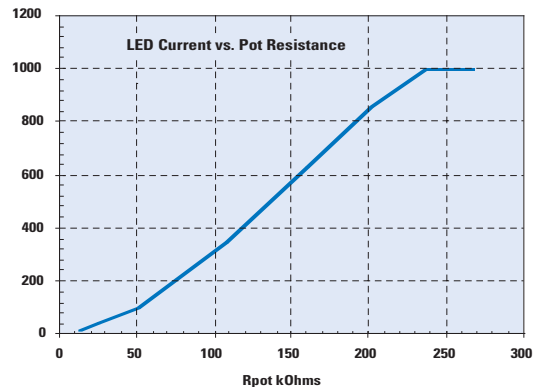


图 6：LED 电流与电位计电阻之间的函数关系

图 7 显示 LED 电流测量值与输入  $I_{ADJ}$  引脚的直流电压之间的函数关系。要注意的一点是 LED 的最高电流没有变，那是通过  $R_{SNS}$  预设的最高值。

这两种模拟调光方式都易于实现，并且可在几乎整个范围内进行调光，最低可至最高亮度的 10%。

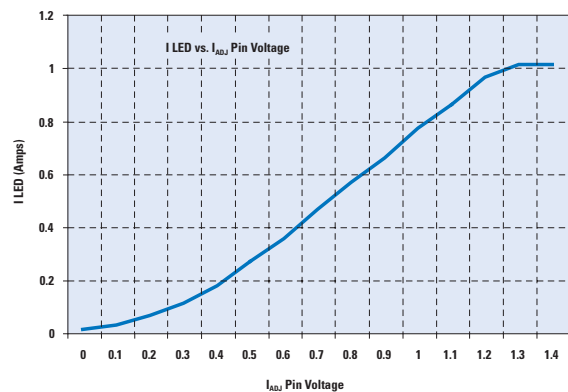


图 7：LED 电流与  $I_{ADJ}$  引脚电压之间的函数关系

## 重点撮要

利用开关式稳压器提供驱动电流的 LED 照明系统有多种不同的方法调控 LED 的亮度。PWM 及模拟是两种主要的调光方法，各有优缺点。PWM 调光方式的好处是即使亮度有变，光线颜色的改变极少，但缺点是要添加逻辑电路，以便产生 PWM 波形。模拟调光电路则较为简单，但不适用于必须确保色温不变的照明系统。



# WEBENCH® LED Designer 设计工具

## WEBENCH® LED 设计工具可以让您极速选出理想的 LED 以及完成整个电源供应系统设计

### 1. 登入 [national.com/LED](http://national.com/LED) 筛选合适的LED

键入要求的规格参数，系统会列出一张清单，  
详列各大 LED 厂商的主要产品

### 2. 进行电源供应系统设计

从产品一览表内挑选一款最适用的  
PowerWise® LED 驱动器

### 3. 完成系统设计

在效率与方案大小之间取得最适当的平衡

### 4. 核实系统设计

利用电子仿真测试程序以便核实电路的操作  
稳定性

### 5. 订购客制的原型套件

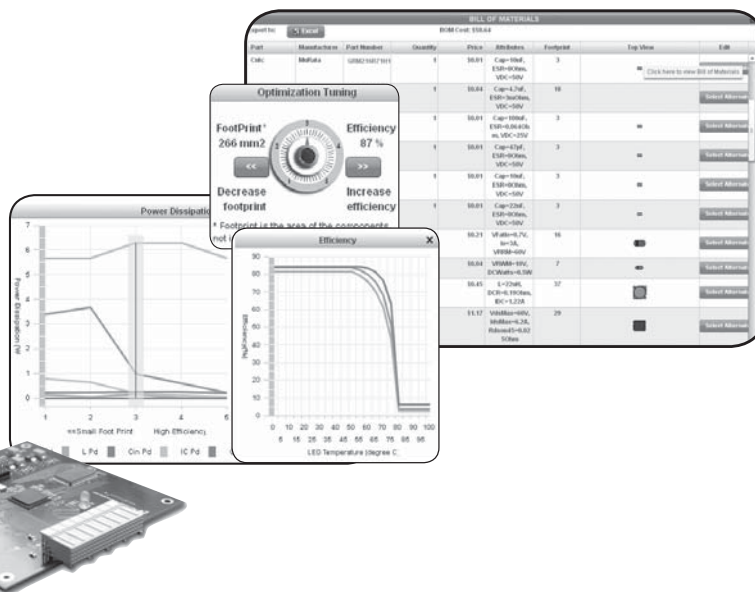
保证在最短时间内送到客户手中



观看介绍模拟系统设计的视频

“如何驱动大功率 LED 的同时不烧毁电路” 请登入  
[www.national.com/analog/nationalTV](http://www.national.com/analog/nationalTV)

登入以下网页便可以立即利用  
WEBENCH LED Designer 设计工具：  
[national.com/LED](http://national.com/LED)



# 设计工具

## 构思新设计不可或缺的资源



这是一套网上设计及建模工具，让工程师可以轻易设计、组装及测试模拟电路。

[national.com/webench](http://national.com/webench)



只要登记成为美国国家半导体快讯的订户，便可定期收到您很想知道的最新产品情报及技术资料，而且保证不会加插垃圾广告。

[national.com/newsletter](http://national.com/newsletter)



欢迎登入美国国家半导体的视频中心浏览，观看有关产品的视频。

[national.com/videos](http://national.com/videos)



这个网页提供各种免费的网上进修及培训课程，让工程师可以充实模拟技术方面的知识。

[national.com/training](http://national.com/training)



电源供应系统设计双月刊专门刊登技术性的文章，内容全部与电源供应系统设计有关，让系统设计工程师可以掌握其中的技术，了解其中的设计窍门。

[national.com/powerdesigner](http://national.com/powerdesigner)



信号路径设计双月刊专门刊登技术性的文章，内容全部与模拟信号路径有关，让系统设计工程师可以掌握其中的技术，了解其中的设计窍门。

[national.com/spdesigner](http://national.com/spdesigner)



这是一本有关模拟系统设计的月刊，主要刊登技术性的文章，由美国国家半导体出版。

[national.com/edge](http://national.com/edge)



这是一个容易使用的网上资料搜寻引擎，用户可以利用日常的语言搜寻有关产品及技术的资料。

[national.com/kbase](http://national.com/kbase)



这是一个介绍节能技术设计窍门的讲座，由美国国家半导体的 PowerWise® 技术专家 Richard Zarr 主持，每日 24 小时不停在网上播出。

[national.com/powerwisetv](http://national.com/powerwisetv)

### 有助提高系统能源效率的设计工具

这个设计工具网页提供有关 PowerWise® 产品及系统的专题论文、参考设计及应用技术参考资料。

[national.com/powerwise](http://national.com/powerwise)

### 技术参数分类目录及搜寻

这个网页按照题目及指定范围为您搜寻有关个别产品的资料介绍及相关数据。

[national.com/cat](http://national.com/cat)

### 应用方案

这个网页刊登 100 多幅构思独特的电路图，其中包括医疗设备、电子消费产品、通信系统及其他应用的设计方案。

[national.com/solutions](http://national.com/solutions)

### 应用技术参考资料

这是一个齐集了数百份应用技术参考资料的文件资料库，全部按照设计主题及重点分类，无论是个别产品还是终端应用的技术资料都可在这里找到。

[national.com/appnotes](http://national.com/appnotes)

### FPGA 设计指南

美国国家半导体特别为 Xilinx 及 Altera 等厂商生产的 FPGA 芯片提供各种相关的解决方案。这个 FPGA 设计指南按照美国国家半导体芯片的零件编号分类列出这些解决方案。

[national.com/guides](http://national.com/guides)

### 文件资料库

只要查阅美国国家半导体的相关解决方案概览，便可搜寻市场上各种解决方案及产品的资料。

[national.com/guides](http://national.com/guides)

# 业界领先高效率、 高性能调光控制

## 高效 TRIAC 调光 LED 驱动器

美国国家半导体针对那些直接利用 LED 驱动器与标准 TRIAC (三端可控硅) 调光器连接的各种应用，提供支持 TRIAC 调光的离线式 LED 驱动器解决方案。美国国家半导体最新推出的这款 LED 驱动器，提供无闪烁的稳定宽调光范围，而且具备卓越的调光性能和极高的效率，于一般典型应用中都能符合美国 ENERGY STAR® 标准。

✓ 在线设计工具

✓ 参考设计

✓ 应用注解



### 全范围调光功能

美国国家半导体最新的 TRIAC 调光 LED 驱动器能够提供 100:1 的调光比，从最亮调到最暗的全程都能保持亮度的稳定。同时，在标准市电电压下驱动多个串联 LED，都能保持电流的稳定性。

### 容易使用

美国国家半导体 TRIAC 调光 LED 驱动器可直接取代目前安装了 TRIAC 调光器的白炽灯或卤素灯照明系统，在无需对原有装置作出更改的同时，保持高性能调光控制。此外，LM3445 支持美国国家半导体的 WEBENCH® LED Designer 在线上设计工具，让工程师可以更快、更轻松完成照明系统设计。

### 无闪烁稳定调光

美国国家半导体 TRIAC 调光 LED 驱动器适用于具备主/从控制功能的多芯片解决方案，采用一个 TRIAC 调光器便能控制多串 LED，并确保调光时的亮度变化顺畅及稳定，免却闪烁的情况出现。

# 美国国家半导体 亚太区授权经销商

## AUSTRALIA

**Arrow Electronics Australia**  
www.arrowasia.com  
Adelaide  
T: 08-8333-2122 F: 08-8333-2322  
sales.australia@arrowasia.com

Brisbane  
T: 07-3623-9000 F: 07-3216-5750  
sales.australia@arrowasia.com

Melbourne (Head Office)  
T: 03-9737-4900 F: 03-9737-4999  
sales.australia@arrowasia.com

Perth  
T: 08-9472-3855 F: 08-9470-3273  
sales.australia@arrowasia.com

Sydney  
NSW Office and CMS Division  
T: 02-9666-9900 F: 02-9668-9901  
sales.australia@arrowasia.com

## Avnet Electronics Marketing

www.avnet.com  
Adelaide  
T: 08-8104-5400 F: 08-8104-5401  
australia@avnet.com

Brisbane  
T: 07-3269-3166 F: 07-3269-3177  
australia@avnet.com

Perth  
T: 08-9301-1500 F: 08-9301-1518  
australia@avnet.com

Sydney  
T: 02-9585-5511 F: 02-9585-5519  
australia@avnet.com

Melbourne  
T: 03-9760-4250 F: 03-9760-4255  
australia@avnet.com

## Future Electronics

www.future.ca  
Adelaide  
T: 08-8280-7440 F: 08-8280-7404  
matt.wild@futureelectronics.com

Brisbane  
T: 07-5438-2050 F: 07-5438-2050  
matt.wild@futureelectronics.com

Melbourne  
T: 03-9558-6312 F: 03-9558-6317  
matt.wild@futureelectronics.com

Sydney  
T: 61-2-8824-4722 F: 61-2-8883-2070  
matt.wild@futureelectronics.com

## INDIA

**Arrow Electronics India Private Limited**  
www.arrowasia.com

Bangalore  
T: 080-4135-3800 F: 080-4112-7784  
sales.india@arrowasia.com

Hyderabad  
T: 040-6677-4146 F: 040-6677-4138  
sales.india@arrowasia.com

Mumbai  
T: 022-4091-2400 F: 022-6692-1415  
sales.india@arrowasia.com

索取详细产品资料，  
欢迎查阅美国国家半导体的  
网页，网址为  
[www.national.com](http://www.national.com)  
技术支持网址为  
[national.com/support](http://national.com/support)

New Delhi  
T: 011-4504-5500 F: 011-2875-5751  
sales.india@arrowasia.com

**Avnet India Private Limited**  
www.avnet.com  
Bangalore  
T: 080-4060-4000 F: 080-4060-4060  
india@avnet.com

New Delhi  
T: 011-2684-1700 F: 011-2684-1709  
india@avnet.com

Pune  
T: 020-6640-4951 F: 020-6640-4950  
india@avnet.com

Secunderabad  
T: 040-2574-6970 F: 040-5548-0034  
india@avnet.com

## Future Electronics

www.future.ca  
Bangalore  
T: 080-2559-3105 F: 02-2558-7890  
ravish.suri@futureelectronics.com

Mumbai  
T: 022-2570-1758 F: 022-5693-4963  
ravish.suri@futureelectronics.com

New Delhi  
T: 011-2646-1414 F: 011-5173-0205  
amit.vohra@futureelectronics.com

## KOREA

**Arrow Electronics Korea Ltd.**  
www.arrowasia.com  
T: 02-2650-9700 F: 02-2653-2700  
sales.korea@arrowasia.com

## Avnet Korea

www.avnet.com  
T: 02-6277-6300 F: 02-761-4121  
korea@avnet.com

## Multiwave Co., Ltd.

www.multiwave.co.kr  
T: 82-2-3470-4700 F: 82-2-587-8172  
jjang@multiwave.co.kr

## Segyung Britestone Co. Ltd.

www.britestone.com  
T: 02-3449-0810 F: 02-3449-0801  
kpark@britestone.com

## MALAYSIA

**Arrow Components (M) Sdn. Bhd.**  
www.arrowasia.com  
Penang  
T: 04-229-8613 F: 04-229-8623  
sales.malaysia@arrowasia.com

Selangor  
T: 03-7804-6313 F: 03-7804-6213  
sales.malaysia@arrowasia.com

**Avnet Malaysia Sdn Bhd.**  
www.avnet.com  
Kuala Lumpur  
T: 03-2093-9721 F: 03-2093-9723  
asean@avnet.com

Penang  
T: 04-646-1837 F: 04-646-1950  
asean@avnet.com

## Future Electronics

www.future.ca  
Kuala Lumpur  
T: 03-7955-2833 F: 03-7956-5413  
yibien.tham@futureelectronics.com

Penang  
T: 04-227-7213 F: 04-227-7263  
tze-jin.ng@futureelectronics.com

## NEW ZEALAND

**Arrow Components (NZ) Limited**  
www.arrowasia.com

Auckland  
T: 09-622-0101 F: 09-272-2310  
sales.newzealand@arrowasia.com

Christchurch (Head Office)  
T: 03-366-2000 F: 03-366-2111  
sales.newzealand@arrowasia.com

Wellington  
T: 04-570-2260 F: 04-566-2111  
sales.newzealand@arrowasia.com

## Avnet Electronics Marketing

www.avnet.com  
Auckland  
T: 09-914-7900 F: 09-914-7929  
newzealand@avnet.com

Christchurch  
T: 03-962-0580 F: 03-962-0600  
newzealand@avnet.com

## Future Electronics

www.future.ca  
T: 03-982-3256 F: 03-982-3258  
peter.bee@futureelectronics.com

## PHILIPPINES

### Arrow Electronics Labuan Pte. Ltd.

www.arrowasia.com  
T: 02-772-3053 F: 02-772-3054  
sales.philippines@arrowasia.com

### Avnet Philippines Pty Ltd Inc.

www.avnet.com  
T: 02-7060-931 F: 02-7060-930  
asean@avnet.com

## Future Electronics

www.future.ca  
T: 02-771-1681 F: 02-771-2301  
ofelia.santos@futureelectronics.com

## PRC/HONG KONG

### Arrow Asia Pacific Ltd.

www.arrowasia.com  
Hong Kong  
T: 852-2484-2484 F: 852-2484-2122  
sales.hongkong@arrowasia.com

### Arrow Electronics China Ltd.

www.arrowasia.com  
Beijing  
T: 010-8528-2030 F: 010-8528-2698  
sales.china@arrowasia.com

Chengdu  
T: 028-8620-3226 F: 028-8620-3223  
sales.china@arrowasia.com

Fuzhou  
T: 0591-8784-5282 F: 0591-8784-5280  
sales.china@arrowasia.com

Guangzhou  
T: 020-3887-1735 F: 020-3887-1739  
sales.china@arrowasia.com

Hangzhou  
T: 0571-8763-1324 F: 0571-8763-2452  
sales.china@arrowasia.com

Nanjing  
T: 025-8454-7458 F: 025-8440-9035  
sales.china@arrowasia.com

## Ningbo

T: 0574-8764-1932 F: 0574-8764-1933  
sales.china@arrowasia.com

## Qingdao

T: 0532-8502-6916 F: 0532-8502-6646  
sales.china@arrowasia.com

## Shanghai

T: 021-2893-2000 F: 021-2893-2333  
sales.china@arrowasia.com

## Shenyang

T: 024-2334-1176 F: 024-2334-1073  
sales.china@arrowasia.com

## Shenzhen

T: 0755-8836-7918 F: 0755-8250-5200  
sales.china@arrowasia.com

## Suzhou

T: 0512-6761-1929 F: 0512-6761-7651  
sales.china@arrowasia.com

## Tianjin

T: 022-2320-1626 F: 022-2320-1625  
sales.china@arrowasia.com

## Wuhan

T: 027-5880-5281 F: 027-5880-5283  
sales.china@arrowasia.com

## Xiamen

T: 0592-239-4567 F: 0592-239-4000  
sales.china@arrowasia.com

## Xian

T: 029-8765-1125 F: 029-8834-4148  
sales.china@arrowasia.com

## Zhuhai

T: 0756-337-3352 F: 0756-337-3351  
sales.china@arrowasia.com

## Aeco Technology Co. Ltd.

www.aecotech.com.tw  
Beijing  
T: 010-6642-2960 F: 010-6642-2963  
mail.bj@aecotech.com.cn

## Chengdu

T: 028-8438-4582 F: 028-8438-4533  
mail.cd@aecotech.com.cn

## Hong Kong

T: 852-2304-4023 F: 852-2304-0065  
mail.hk@aecotech.com.hk

## Nanjing

T: 25-8369-7669 F: 25-8369-7669  
tiger\_jiang@aecotech.com.cn

## Qingdao

T: 0532-8066-5255 F: 0532-8066-5256  
mail.qd@aecotech.com.cn

## Shanghai

T: 021-6372-6699 F: 021-5375-6608  
mail.sh@aecotech.com.cn

## Shenzhen

T: 0755-2518-1525 F: 0755-2518-1517  
mail.sz@aecotech.com.cn

## Suzhou

T: 0512-6515-9771 F: 0512-6515-9488  
mail.su@aecotech.com.cn

## Xiamen

T: 0592-559-8901 F: 0592-559-8902  
mail.xm@aecotech.com.cn

## Xian

T: 029-8831-1214 F: 029-8831-1215  
mail.xa@aecotech.com.cn

## Avnet Sunrise Ltd.

www.avnet.com  
Beijing  
T: 010-8206-2488 F: 010-8206-2407  
china@avnet.com

## Chengdu

T: 028-8652-8003 F: 028-8652-8379  
china@avnet.com

## Chongqing

T: 023-6879-7512 F: 023-6879-1502  
china@avnet.com

## Shenyang

T: 024-8290-2598 F: 024-8290-2595  
china@avnet.com

## Guangzhou

T: 020-2283-8308 F: 020-2283-8309  
china@avnet.com

## Fuzhou

T: 0591-8773-7851 F: 0591-8773-7194  
china@avnet.com

## Hangzhou

T: 0571-8580-0916 F: 0571-8580-0919  
china@avnet.com

## Hong Kong

T: 025-2176-5388 F: 852-2302-0635  
china@avnet.com

## Nanjing

T: 025-8689-0220 F: 025-8470-8197  
china@avnet.com

## Ningbo

T: 0574-8771-4702 F: 0574-8771-4712  
china@avnet.com

## Qingdao

T: 0532-8097-0706 F: 0532-8097-0700  
china@avnet.com

## Shanghai

T: 021-3367-8988 F: 021-3367-8999  
china@avnet.com

## Shenzhen

T: 0755-8378-1886 F: 0755-8378-3656  
china@avnet.com

## Suzhou

T: 0512-8522-2535 F: 0512-8522-2536  
china@avnet.com

## Tianjin

T: 022-2361-2796 F: 022-2361-5217  
china@avnet.com

## Wuhan

T: 027-8732-2625 F: 027-8732-2643  
china@avnet.com

## Xiamen

T: 0592-518-6092 F: 0592-518-6093  
china@avnet.com

## Xian

T: 029-8831-1055 F: 029-8831-0390  
china@avnet.com

## Zhengzhou

T: 0371-8677-0029 F: 0371-8677-0106  
china@avnet.com

## Zhuhai

T: 0756-3365-236 F: 0756-3365-200  
china@avnet.com

## China Electronic Appliance

**Shenzhen Co., Ltd.**  
www.ceacs.com.cn  
Beijing  
T: 010-6266-7371 F: 010-6266-7376  
bjoffice@ceacs.com.cn

## Chengdu

T: 028-8665-7021 F: 028-8665-7260  
cdoffice@ceacs.com.cn

## Hong Kong

T: 852-2302-4018 F: 852-2375-8378  
hkoffice@ceacs.com.cn

## Shanghai

T: 021-5103-5668 F: 021-5507-5508  
shoffice@ceacs.com.cn

## Shenzhen

T: 0755-8253-1616 F: 0755-8253-1717  
szoffice@ceacs.com.cn

## Shenyang

T: 024-6269-4387 F: 024-6249-4387

## Wuhan

T: 027-8769-0004 F: 027-8769-0006  
whoffice@ceacs.com.cn

## Xiamen

T: 0592-816-7066 F: 0592-516-7065  
xmoffice@ceacs.com.cn

## Xian

T: 029-8827-6283 F: 029-8827-6152  
xaoffice@ceacs.com.cn

## Future Electronics

www.future.ca  
Beijing  
T: 010-6418-2290 F: 010-6418-2290  
jian.fang@futureelectronics.com

## Chengdu

T: 028-8485-0012 F: 028-8485-0012  
jack.wan@futureelectronics.com

## Guangzhou

T: 020-3887-8766 F: 020-3887-8799

## Hong Kong

T: 852-2420-6238 F: 852-2423-0767  
angus.l.cha@futureelectronics.com

## Nanjing

T: 025-8689-0006 F: 025-8471-7972  
kevin.xu@futureelectronics.com

## Qingdao

T: 0532-8502-6235 F: 0532-8502-6015  
jian.fang@futureelectronics.com

## Shanghai

T: 021-2412-2222 F: 021-5465-9699  
tom.chai@futureelectronics.com

## Shenzhen