



发光二极管(LED)的相关应用及 驱动技术

发光二极管(LED)的相关应用及 驱动技术

程文涛

产品应用工程师
亚太区电源管理





内容

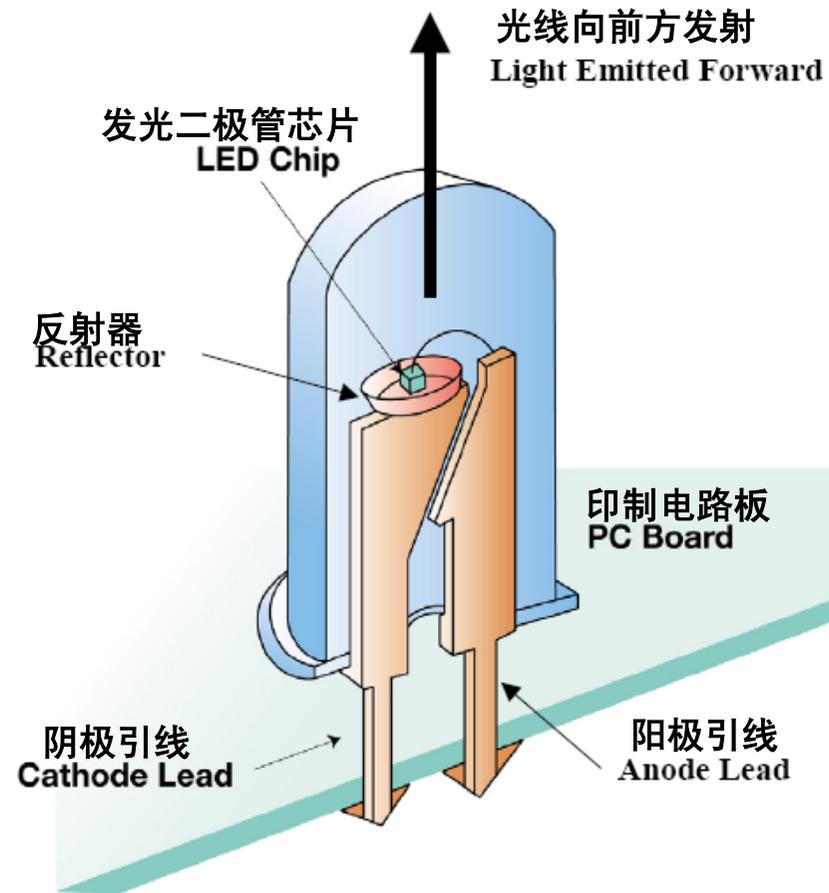
- **LED的基本原理**
- **LED的相关应用**
- **LED的驱动技术**
- **LED的调光控制及对比度**
- **照明系统设计资源及工具**



LED的基本原理

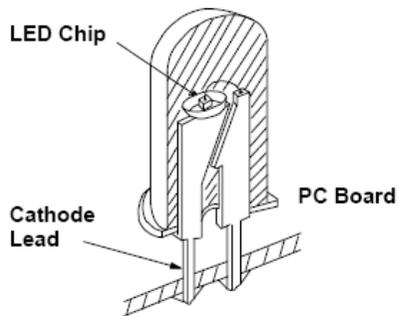


何谓 LED?



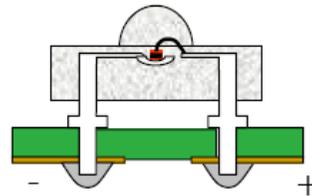


LED的发展



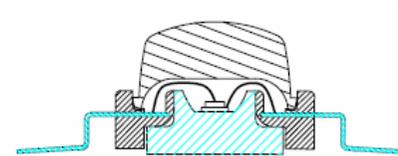
5mm 灯
2-3 流明
 $I_f = 30\text{mA}$

1970 年



SuperFlux
4-8 流明
 $I_f = 70\text{mA}$

1992 年

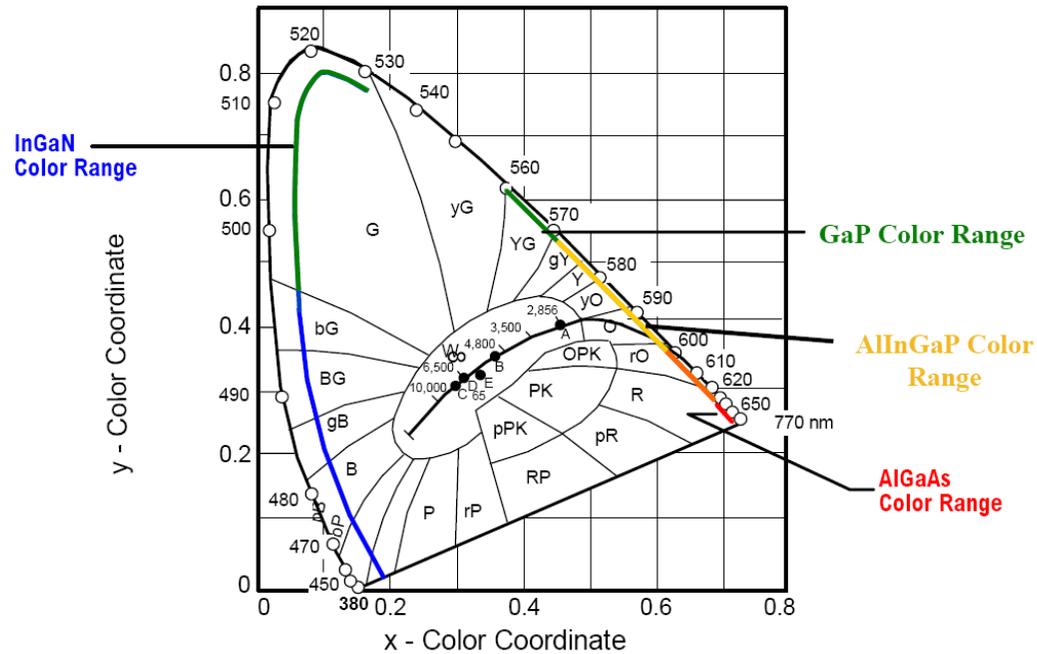


Luxeon
20-40 流明
 $I_f = 350\text{mA}$

1997 年



彩色LED采用的物料



白光LED：
蓝光LED的光束先投射在磷光层上，光线经过反射便成为白光。

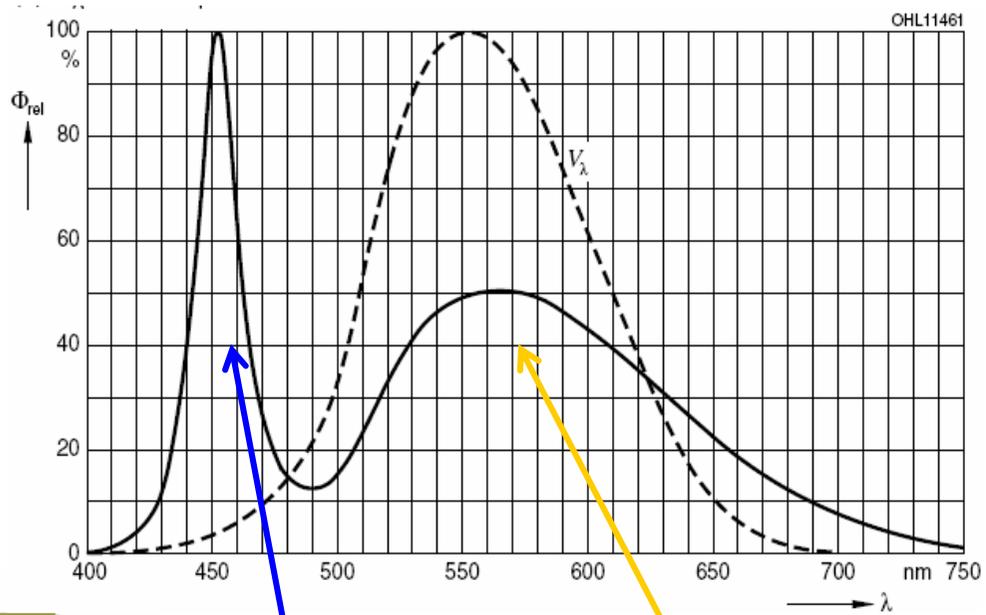


白光 LED 的结构

大面积磷光层



基底



源自LED

源自磷光层



LED的优点

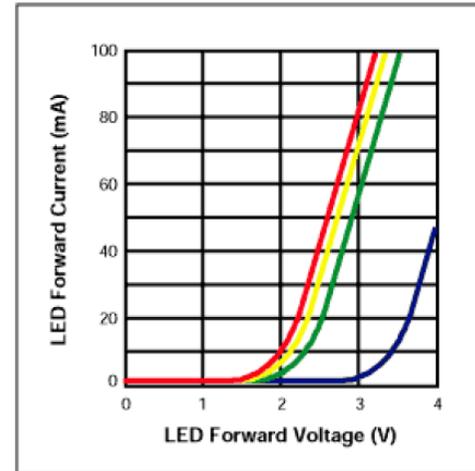
Luminous Efficiency (lm/W)				
Candle 1400's	Incandescent 1800's	Floursecent 1920's	HID 1950's	LED 2000's
				
1	10-15	70-100	80-120	80-100

- 低功耗
- 寿命极长
- 极低的早期故障率
- 体积最小
- 防震
- 不会产生紫外光辐射或中频干扰
- 低功率
- 光线可通过光学镜片透射出去
- 高颜色效率
- 低工作电压



LED的物理特性

- ❑ LED的正向电压降 (VF)
与二极管相似
- ❑ 波长变化
 - 晶体及结面生长的缺陷
- ❑ 亮度变化
 - 晶体的缺陷导致声子的形成及非辐射能的耗散
- ❑ 温度
 - 芯片的结温度会影响以上各参数

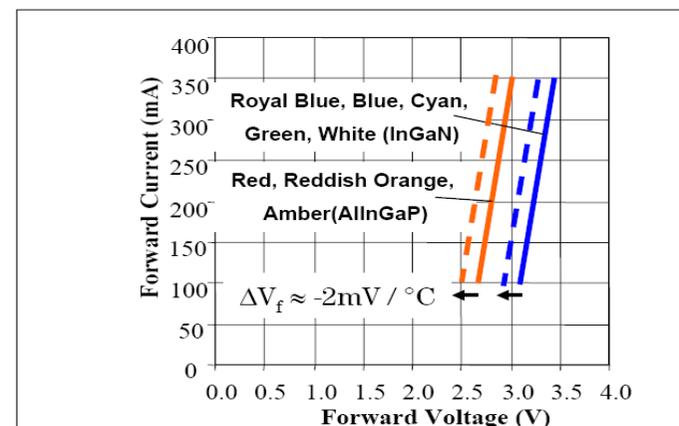
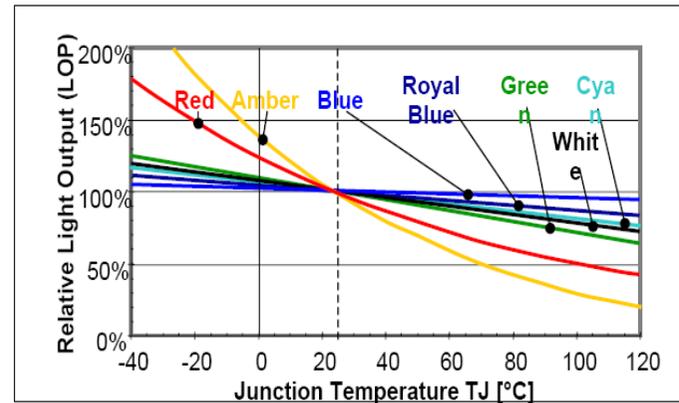
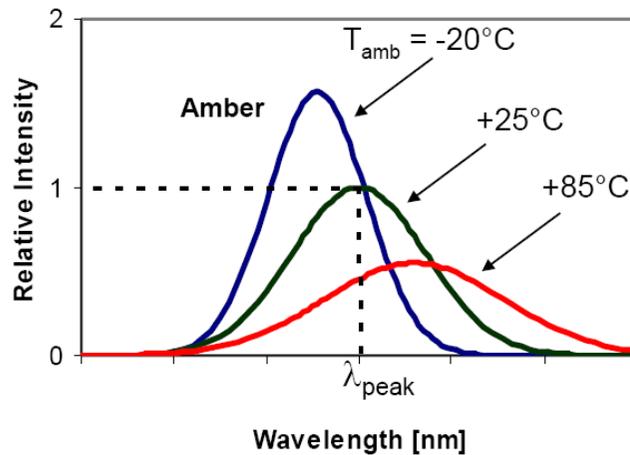




温度对LED参数的影响

随著温度上升：

- 发射的光线会减弱
- 波长会变得更长
- 正向电压会下跌





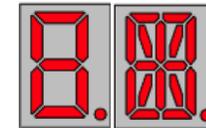
LED的相关应用



LED的相关应用

- 以前

- 信号灯
- 数字及字母显示



- 目前

- 汽车内外灯光
- 显示器背光
- 便携式系统闪光灯
- 普通照明
- 投影仪光源
- 广告灯箱
- 电筒
- 交通灯



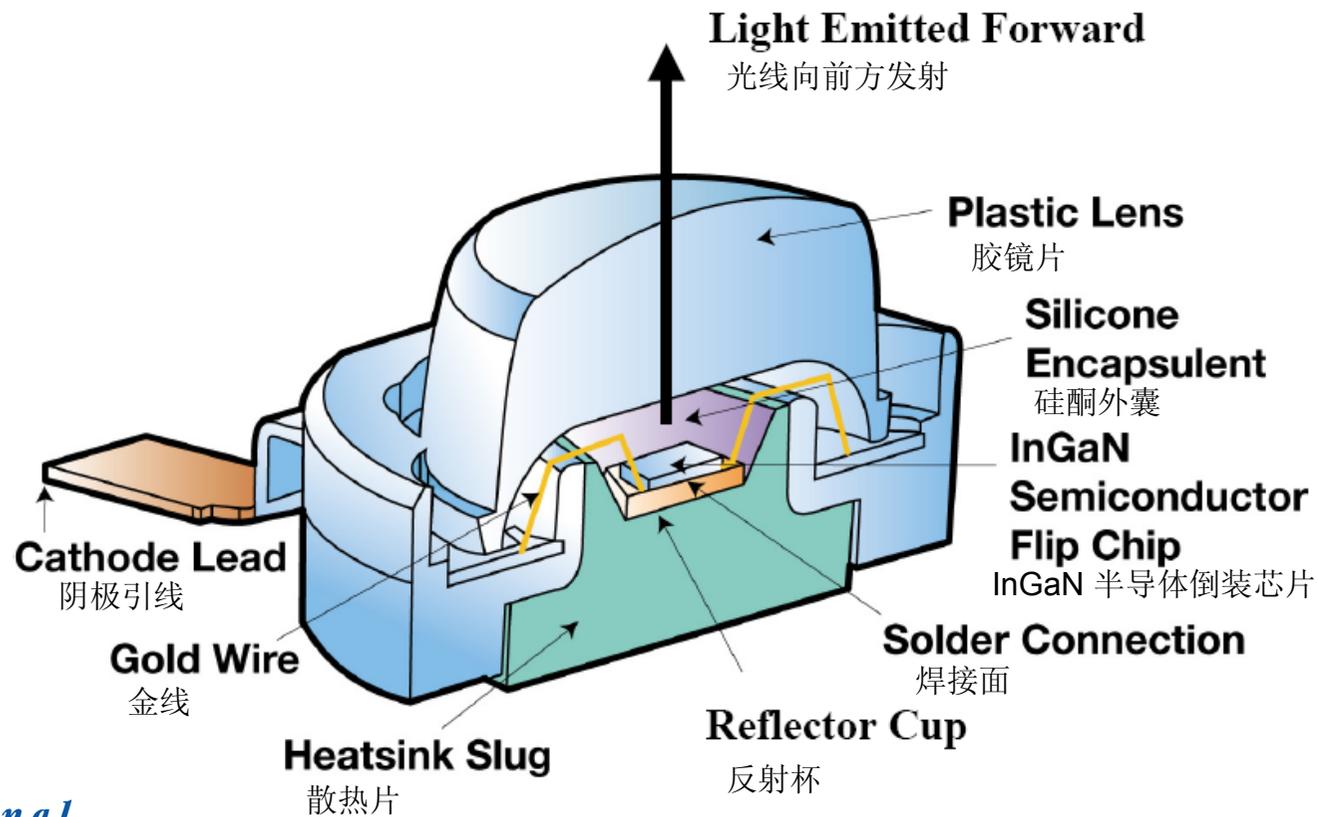


许多新的应用不断涌现，因为...

- 高亮度LED创造许多新的商机。
- 高亮度LED的典型规格
 - 1W LED
 - 350mA 的最高亮度，500mA 的最高电流
 - 以 350mA 电流操作时，会产生 2.8V 的压降
 - 3W LED
 - 700mA 的最高亮度，1A 的最高电流
 - 以 700mA 电流操作时，会产生 4.3V 的压降
 - 5W LED
 - 700mA 的最高亮度，1A 的最高电流
 - 以 700mA 电流操作时，会产生 7.1V 的压降



高亮度LED的结构

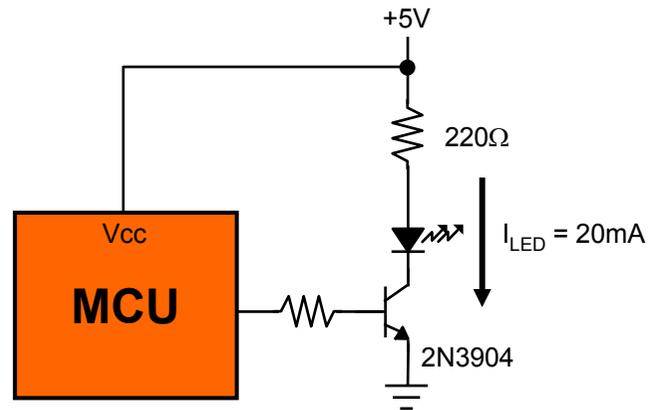




LED的驱动方法



信号问题 → 供电问题



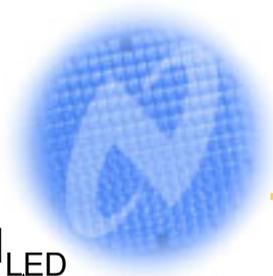
- 有什么改变?
 - $I_{LED} = 20\text{mA} \rightarrow 350\text{mA}+$
 - $V_F = 2\text{V} \rightarrow 3\text{V}+$



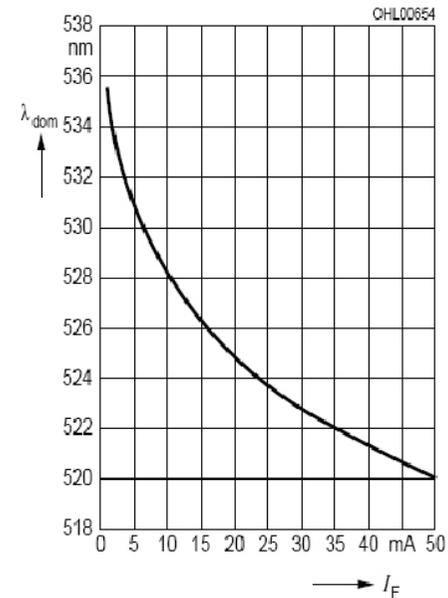
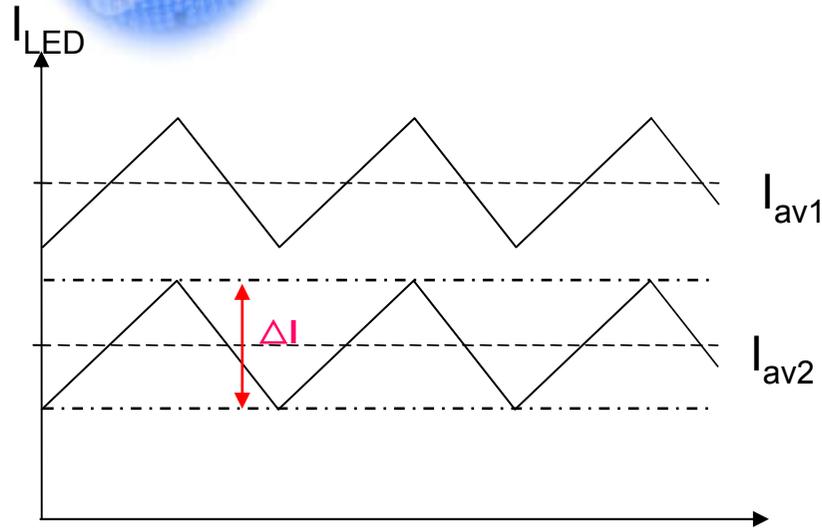
LED驱动电路 ...

- 无论在任何情况下，例如输入电压、温度或正向电压有任何变动，都要输出恒定而平均的电流。
- 无论在任何情况下，纹波电流都可控制在可接受的范围内。

LED驱动电路是一种电源转换电路，但输出的是恒定电流而非恒定电压



平均电流及纹波电流



- $I_{av1} > I_{av2}$, 因此 I_{av1} 比 I_{av2} 更明亮, 但色调也会改变。
- 纹波波幅限制在平均电流的 20% 之内, 肉眼就无法察觉 ΔI 。



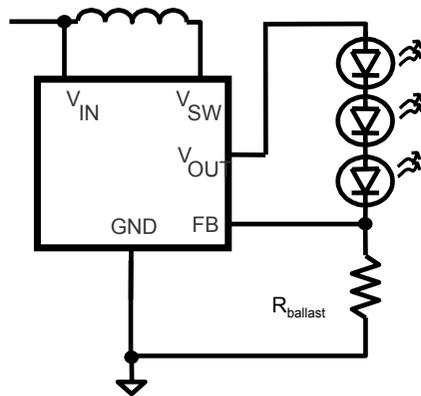
驱动方法 -- 电路配置

驱动方法	优点	缺点
电阻限流	成本较低, 较简单	<ul style="list-style-type: none">• 电流会随正向电压(VF)的变动而转变• 效率较低• 电阻会耗散热能
线性稳压方法	较简单	<ul style="list-style-type: none">• 效率较差• 驱动电路会耗散热能
开关稳压方法	效率较高	<ul style="list-style-type: none">• 成本较高• 电路较为复杂

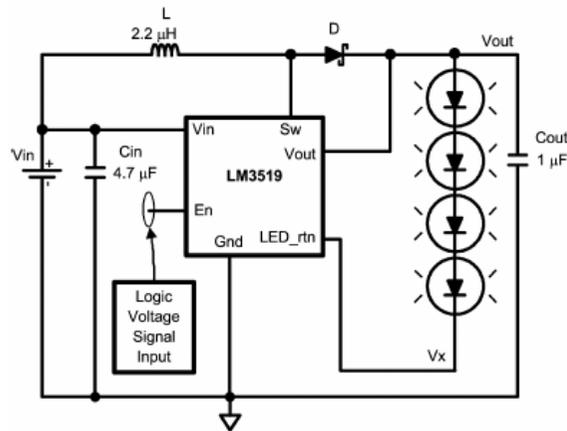


驱动方法 -- 串行LED的连接方法

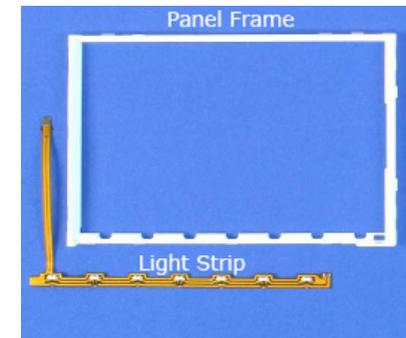
- 优点:
 - 保证亮度均匀
 - 效率最高的驱动方法
 - 布线较易 (驱动器与LED之间只需 1 或 2 条连线连接)
- 缺点:
 - 输出电压必须够高
 - 由于要求的电压较高, 因此输出电容器一般都较大



采用外置镇流器



采用内置电流吸收器



采用串行LED的
典型背光系统柔性印制电路板



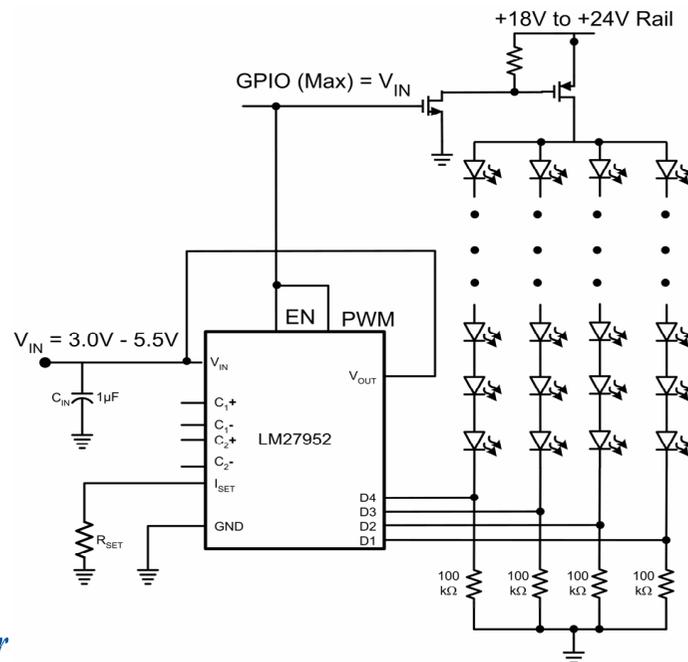
驱动方法 -- 并行LED的连接方式

- 优点

- 适用于低电压的半导体工艺
- 可支持共阳极或共阴极的模块

- 缺点

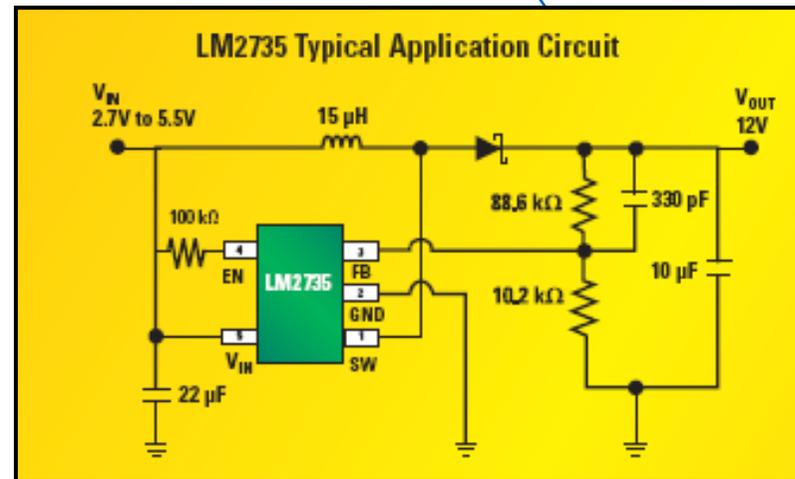
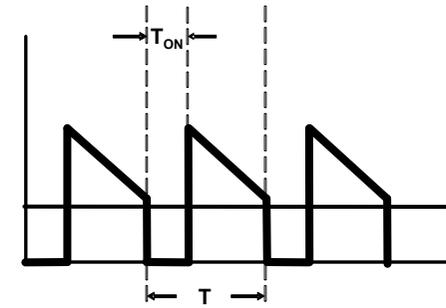
- 电流源必须稳定，才可确保亮度均匀
- 每一LED都需要各自连接驱动电路，换言之，驱动芯片需要添加更多引脚





升压LED的驱动方法

- 输出电压必须高于输入电压。
- 必须加设输出电容器。
- 典型应用: 便携式系统液晶显示器的背光系统。

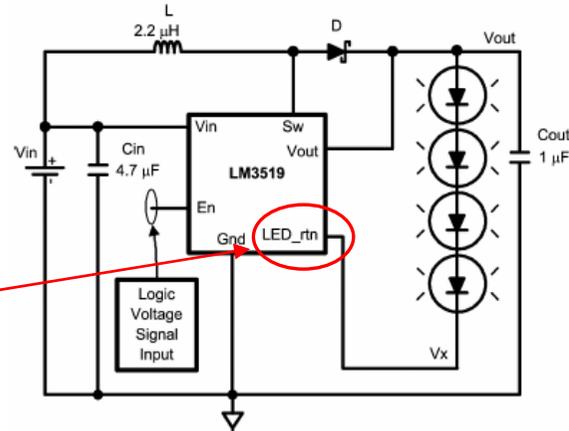




真正的停机隔离

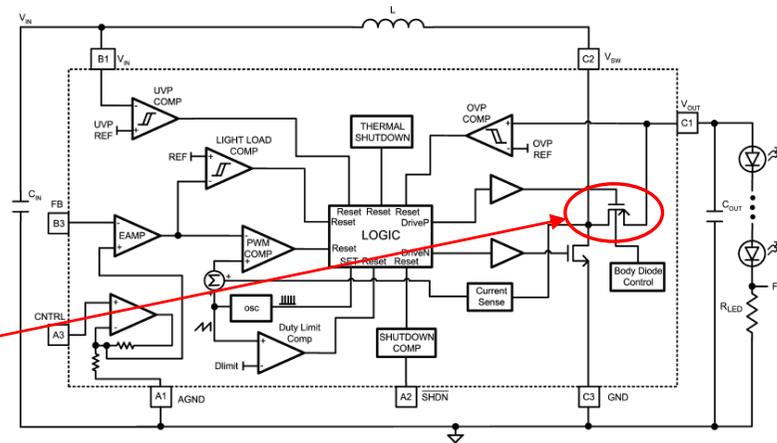
- 方法 1
— 在返回路径上加设开关

加设开关，以便停机时
可以截断漏电路径



- 方法 2
— 同步整流

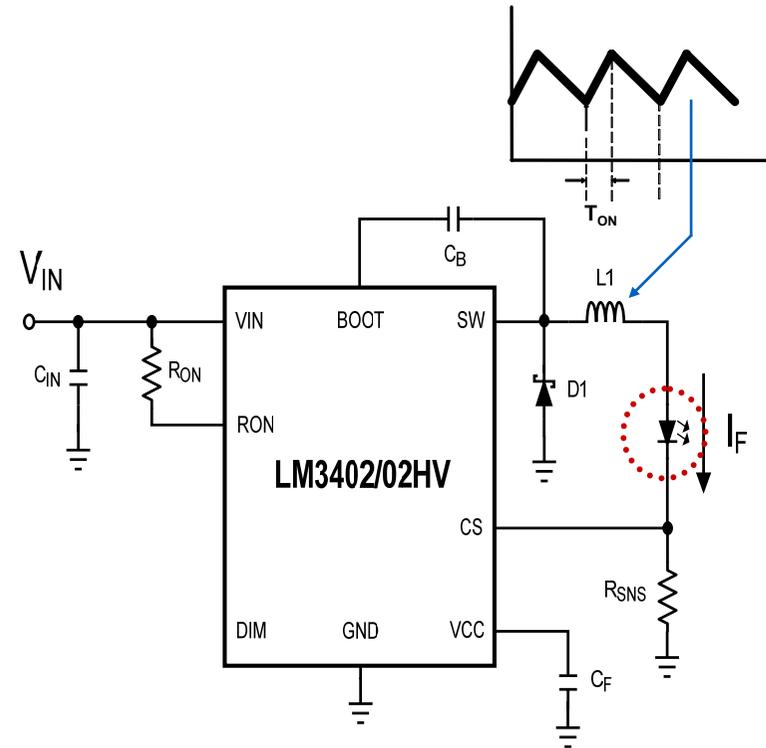
以 MOSFET 取代二极管，而
且停机时一并将 MOSFET 关
闭





降压LED的驱动方法

- 输出电压必须低于输入电压。
- 并非一定要加设输出电容器。
- 典型应用：普通照明。





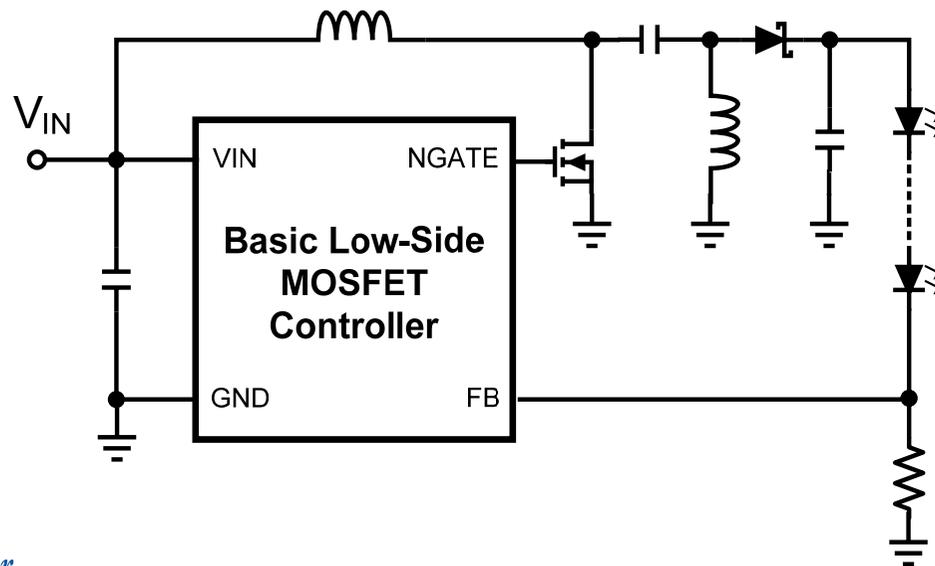
升降压

- 高功率LED已广泛用于各种便携式电灯之中，其中包括自行车照明灯，矿工头盔射灯及闪光灯，不同应用所需的电池数目及其发光原理都各不相同
- 低电压交流电照明系统 (花园路灯) 的亮度会因为 I^2R 损耗的增加而改变
- 输入电压不断波动，加上正向电压也会随著工艺技术及温度的不同而改变
- 因此必须采用真正的可升可降稳压器



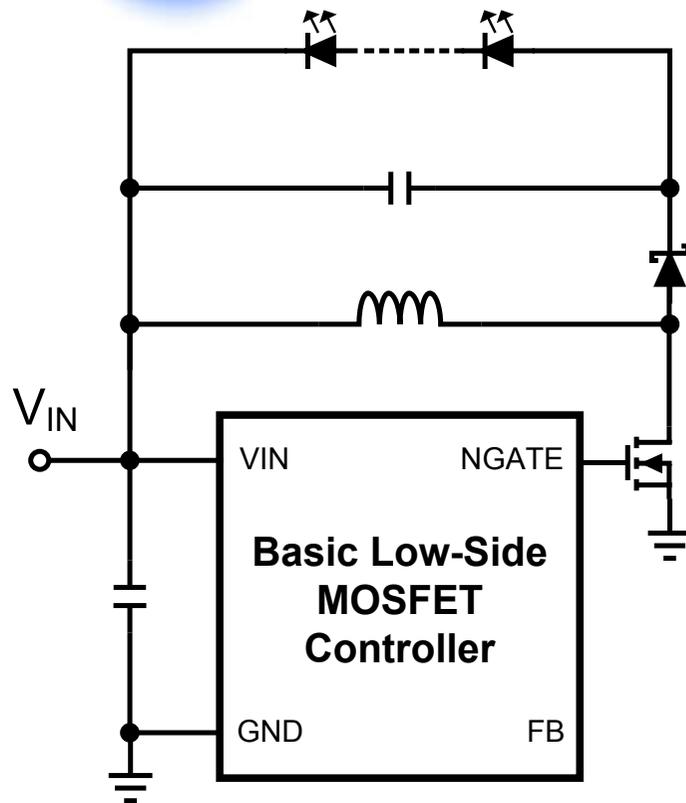
采用可升可降稳压器的驱动方法： SEPIC 稳压器

- 采用标准的低端稳压器/控制器
- 需要两个电感器或耦合电感器
- 低端或高端的电流感测
- 需要一个输出电容器





‘浮动’可升可降稳压器



$$V_O = V_{IN} + V_F$$

- 只需一个电感器
- 输出电压(V_O)受 WRT V_{IN} 控制
- 必须设有高端感测功能，以便准确控制正向电流



LED的调光控制及 对比度



LED的亮度控制方法

控制亮度的方法有两种，我们可以改变LED的电流直接控制亮度；也可不断快速开启及关闭LED，令人类眼睛产生光线减弱的错觉，这是间接控制亮度的方法。

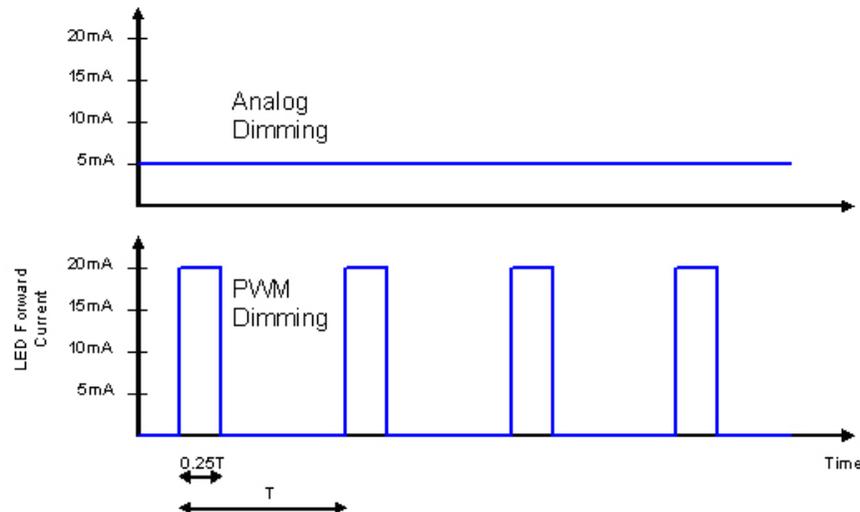
- 模拟方式的亮度控制 -- 电流交替开关。
 - 不主张采用这个方法，因为色调会改变。
- 数字方式的亮度控制 -- PWM 开/关。
 - 建议采用这个方法。



PWM 的调光控制方法

- PWM 信号 (允许/停机引脚、FET 或特别的 PWM 引脚)
 - “频闪灯选通” LED 以 100Hz 以上的频率发出闪光，让肉眼产生错觉，以为灯光亮度已减弱。其实眼睛所感觉到的是平均亮度。
 - “平均”亮度与占空比 (D) 成正比：

$$D = t_{ON} \div T$$



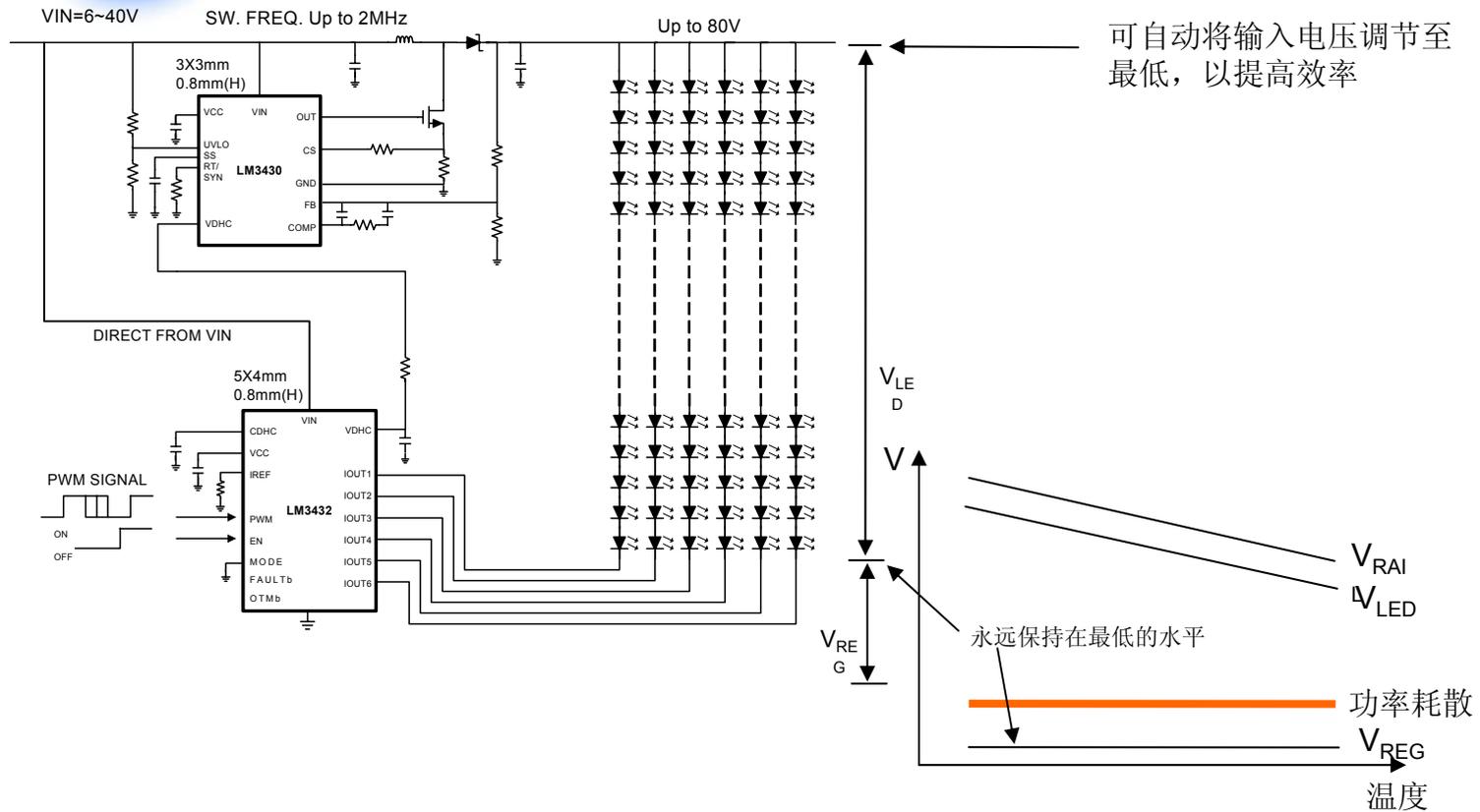


低功率LED的光暗控制方法

- 内置开关的线性稳压器是个理想方案
- 上升及下降时间预计不超过 100 ns
- 专门驱动LED的线性稳压器设有多个通道
- 必须可以发出反馈信号，以便调节输入电压，确保正向电压不会超出其容限，而且每当LED管芯温度上升时，也可调低输入电压



LM3430+LM3432芯片的解决方案





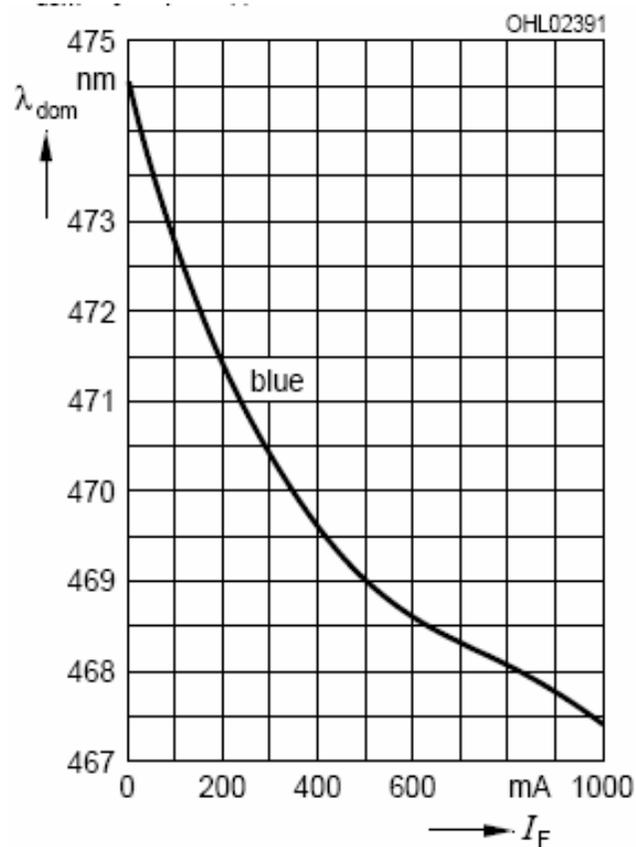
高功率LED的调光控制方法

- 尽可能采用降压稳压器
- 只要采用降压稳压器，便无需加设输出电容器*
- 由于没有右半平面零点，因此是最快的控制环路 (若采用 PWM 稳压器)
- 很容易便能实现迟滞及固定导通时间 (COT) 控制功能
— 控制环路可以更快！



颜色控制

- 彩色LED的峰值波长会随著正向电流(I_F)的变动而出现偏移
- 必须控制 I_F 及 Δi_F
- I_F 的准确度要求取决于不同的应用





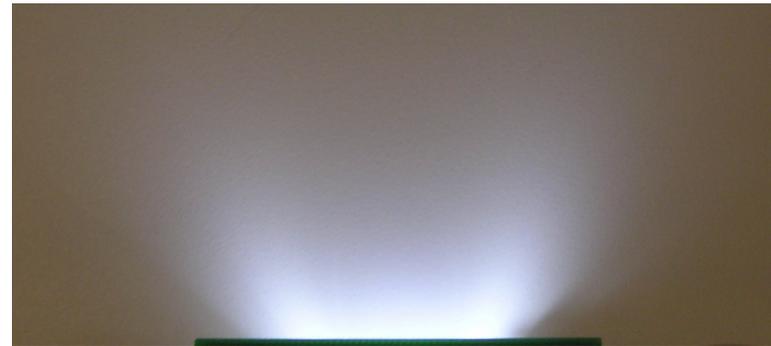
相关色温 (CCT) 偏移

偏黄



1W LED被 50mA 的连续电流不停驱动

偏蓝



同样的 1W LED被 300mA 的电流驱动，但占空比只有 1/6 (500Hz)

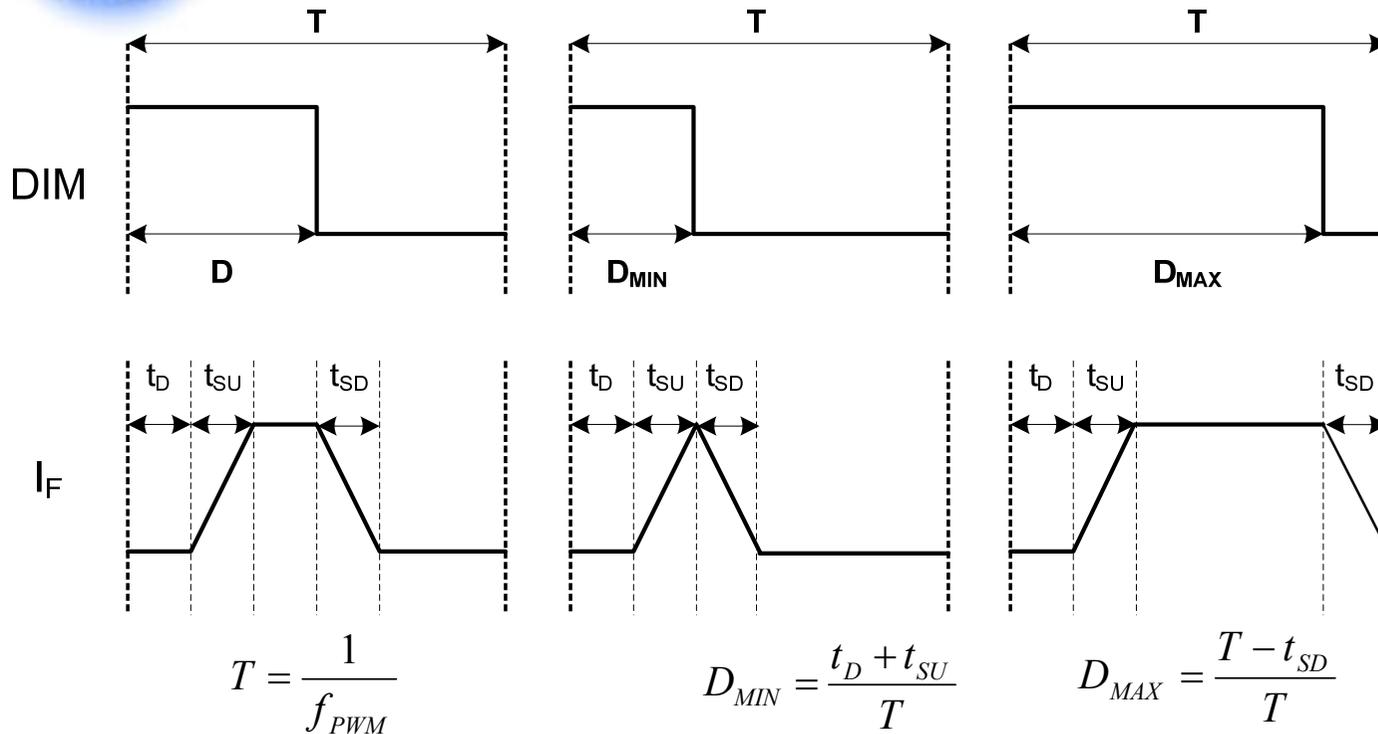


对比度

- 取得理想的对比度是个不切实际的想法
- 对比度可定义为 $1/DDIM(MIN)$.
- 对比度是衡量系统对光暗控制信号作出什么响应的标准。对比度越高，便可更准确控制灯光输出量。这个专门术语已成为显示器行业的流行用语。
- 光对比度取决于所采用的外置元件。



频率及占空比的限制



每当 IF 介于 0 与 100% 之间时，上升及下降时间都会出现更多误差



简介两款电路

LM3489 芯片是基于 LM3485 的派生产品

添加了逻辑使能引脚

并非专为LED而设计，但：

快速，纯粹的迟滞控制

设计简单

需要加设输出电容器

VIN = 7.2V

LM3404 芯片是基于 LM5007 的派生产品

调光控制引脚是真正快速的使能引脚

专为LED而设计

固定导通时间(COT) 几乎与迟滞时间同样快捷

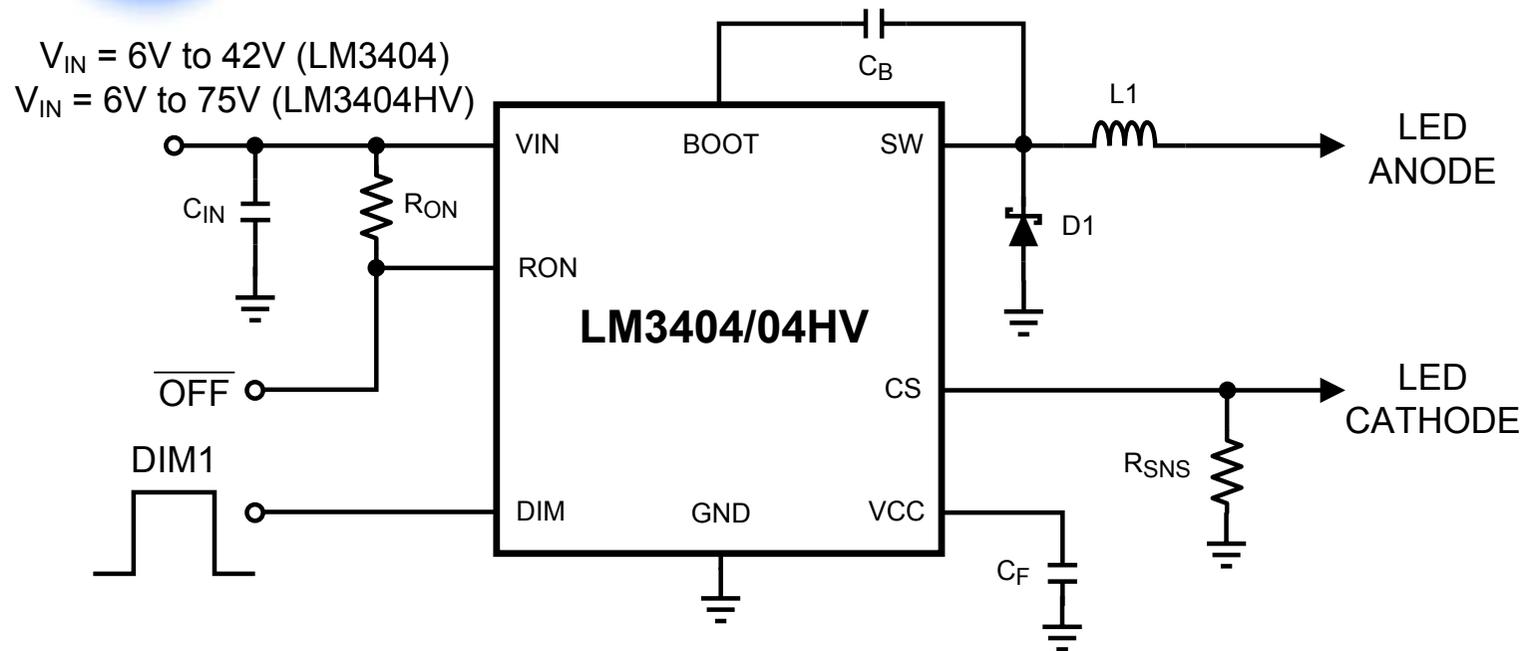
由于导通时间固定，因此更易选择电感器

无需加设输出电容器

VIN = 24V



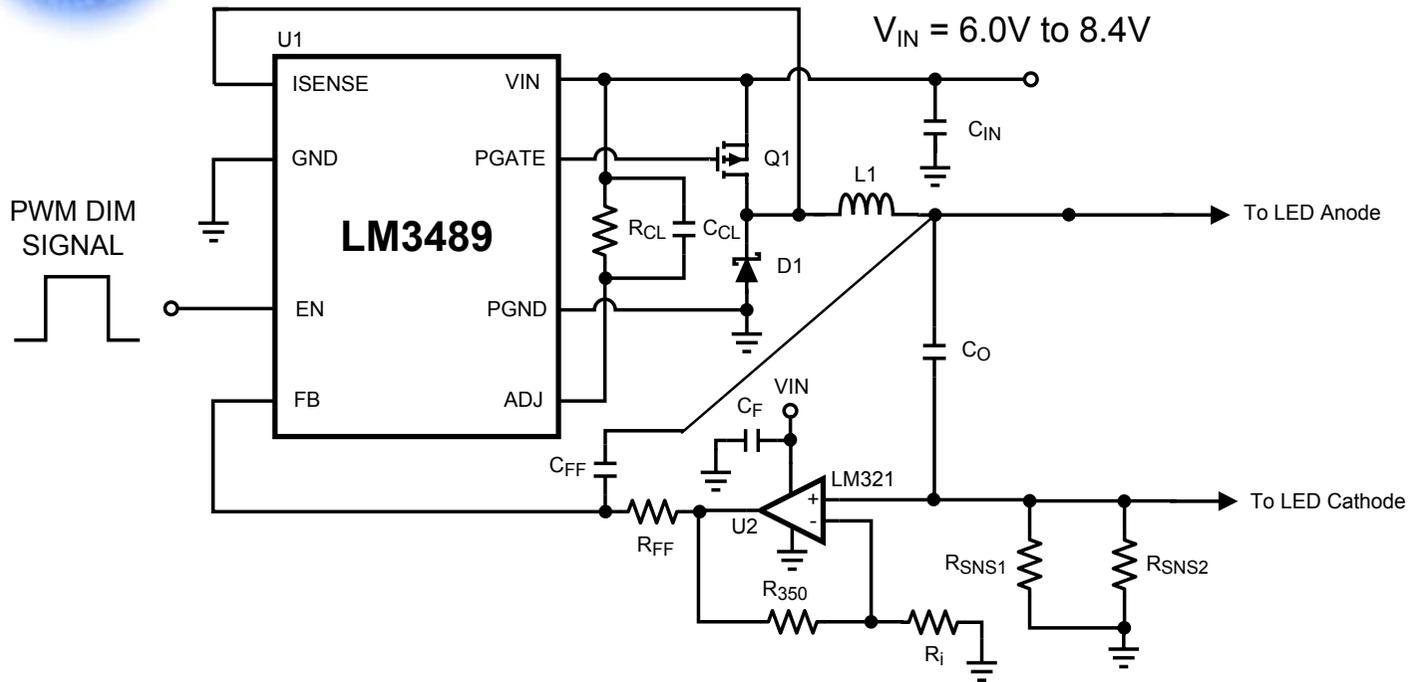
LM3404 评估电路板



可以利用 **24V** 的供电电压以 **1A** 的电流驱动 **1W** 的白光 (InGaN) LED



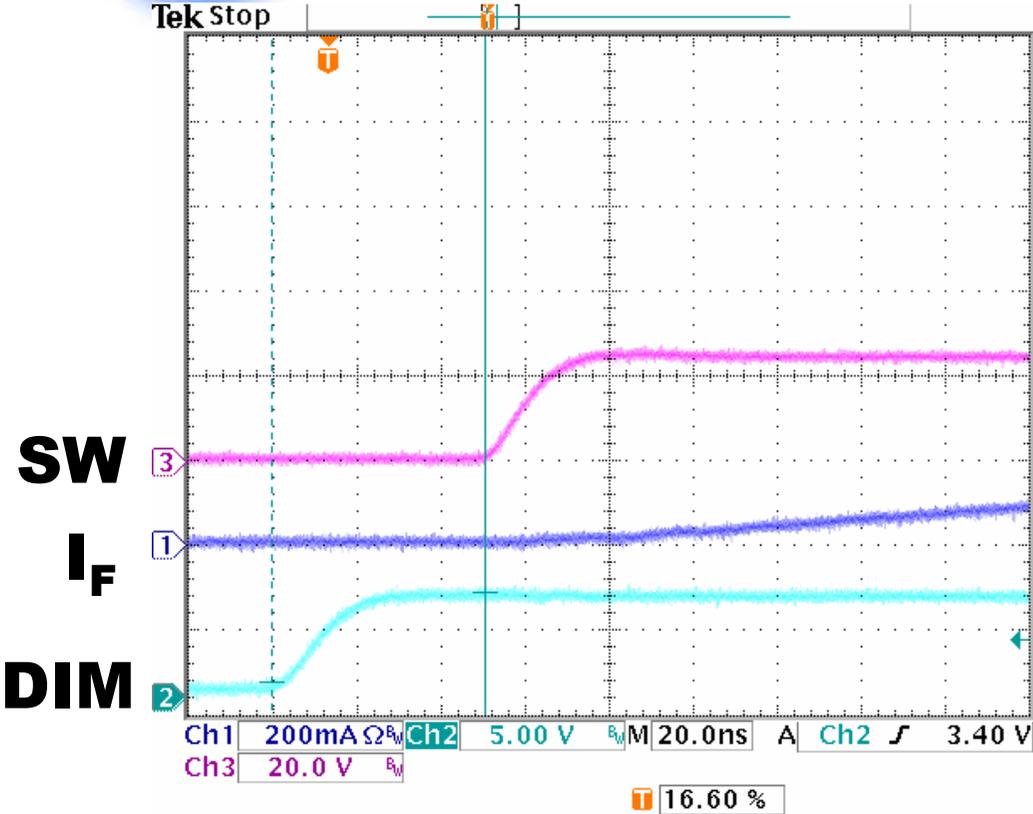
LM3489 LED驱动转换



可以利用 7.2V 的供电电压以 350mA 的电流驱动一个白光LED



LM3404 芯片的时延 (t_D)

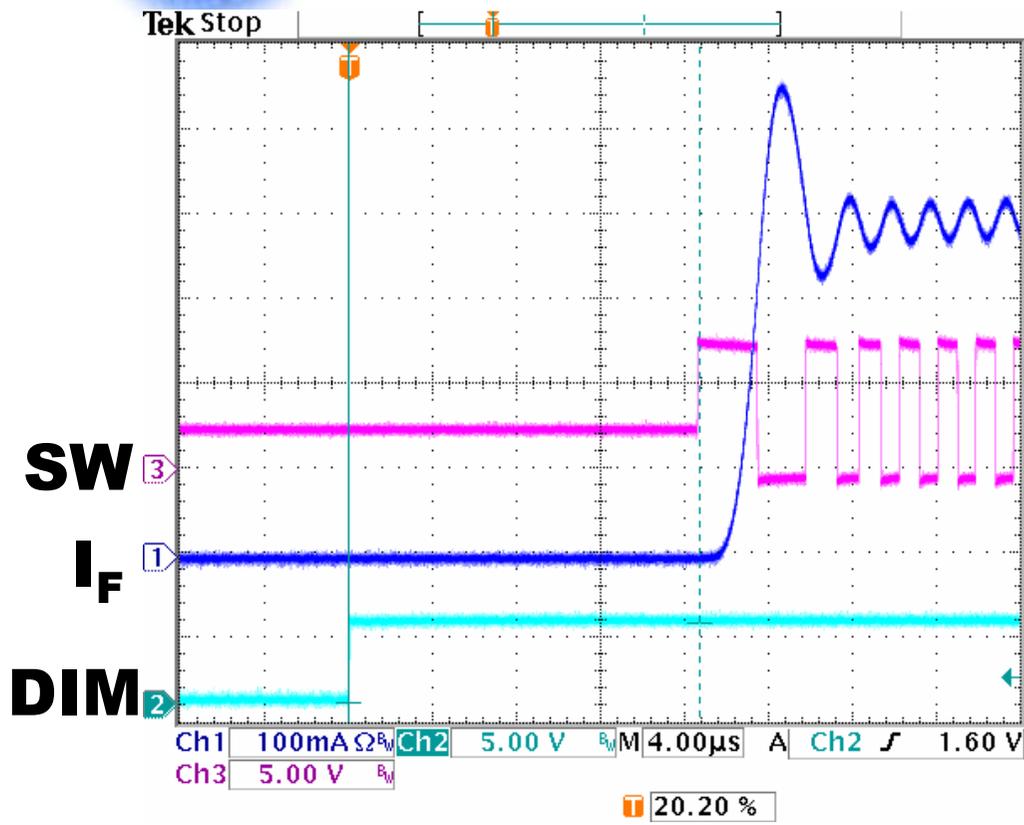


Δ : 5.30 V
 $@$: 6.20 V
 Δ : 50.8ns
 $@$: 37.2ns
 $t_D = 51 \text{ ns}$

基准及模拟功能电路已获得供电



LM3489 芯片的时延 (t_D)



Δ : 4.70 V
 $@$: 100mV
 Δ : 16.7 μ s
 $@$: -80.0ns

$t_D = 16$
 μ s

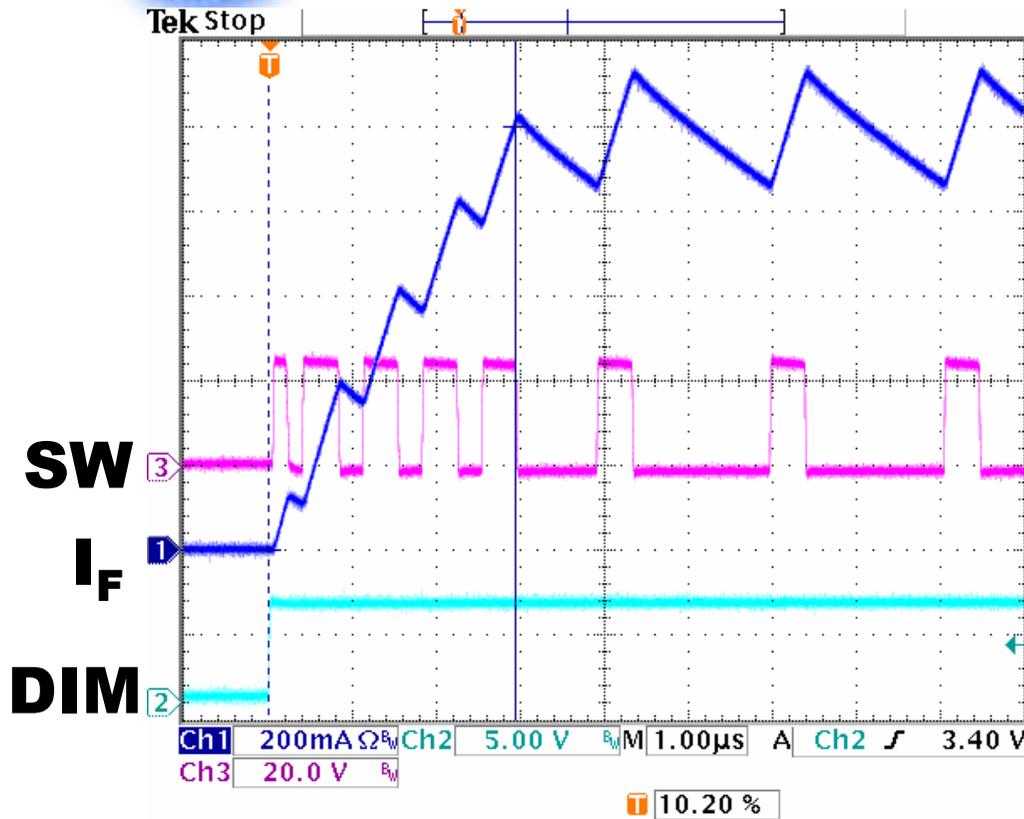
低功率停机功能：需要“唤醒”许多电路

由于 LM321 的带宽极为有限 (而 LM321 负责加大 LM3489 的 V_{sns} 电平), 因此要留意过冲现象的出现, 这一电路若没有内置放大器或输出电容器, 便完全不会有过冲现象。

15 Nov 2006
13:13:27



LM3404 芯片的更高上升时间 (t_{SU})



Δ : 1.00 A
@: 1.00 A
 Δ : 2.94 μ s
@: 2.92 μ s

$$t_{SU} = 3 \mu s$$

$$\Delta i_L = \Delta i_F \text{ (no } C_O)$$

$$\Delta i_L = (V_{IN} - V_O) / L$$

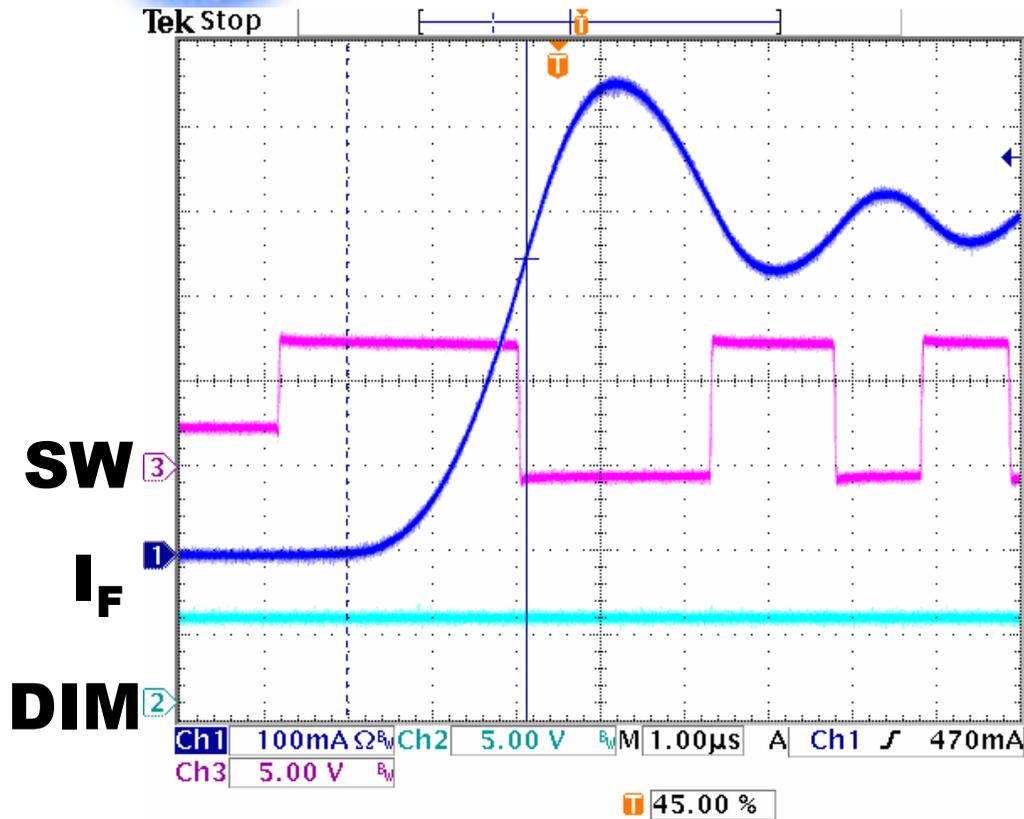
受限于 $t_{OFF-MIN}$

$$t_{OFF-MIN} = 300 \text{ ns}$$

15 Nov 2006
11:56:12



LM3489芯片的更高转换时间 (t_{SU})



Δ : 348mA
 @: 350mA
 Δ : 2.14 μ s
 @: -380ns

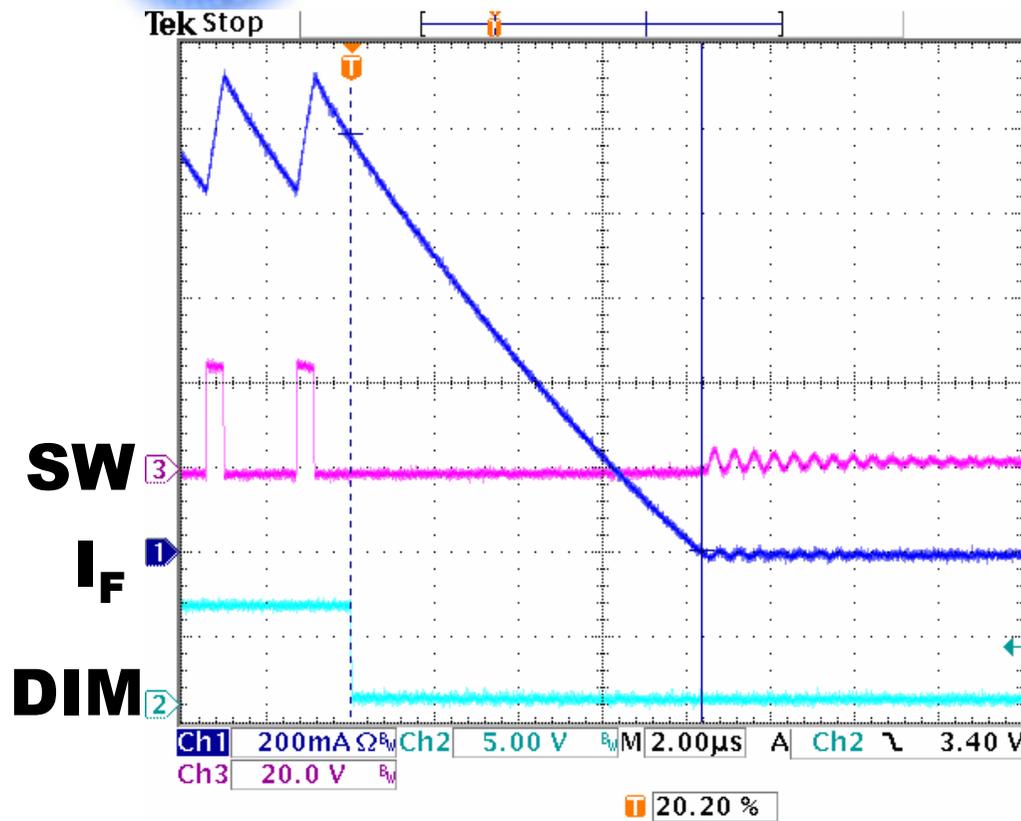
$$t_{SU} = 2 \mu s$$

波形由 C_o 的充电电流
 决定，并受其限制

$$\Delta i_L = (V_{IN} - V_O) / L$$

15 Nov 2006
 13:17:01

LM3404芯片的更低下降时间 (t_{SD})



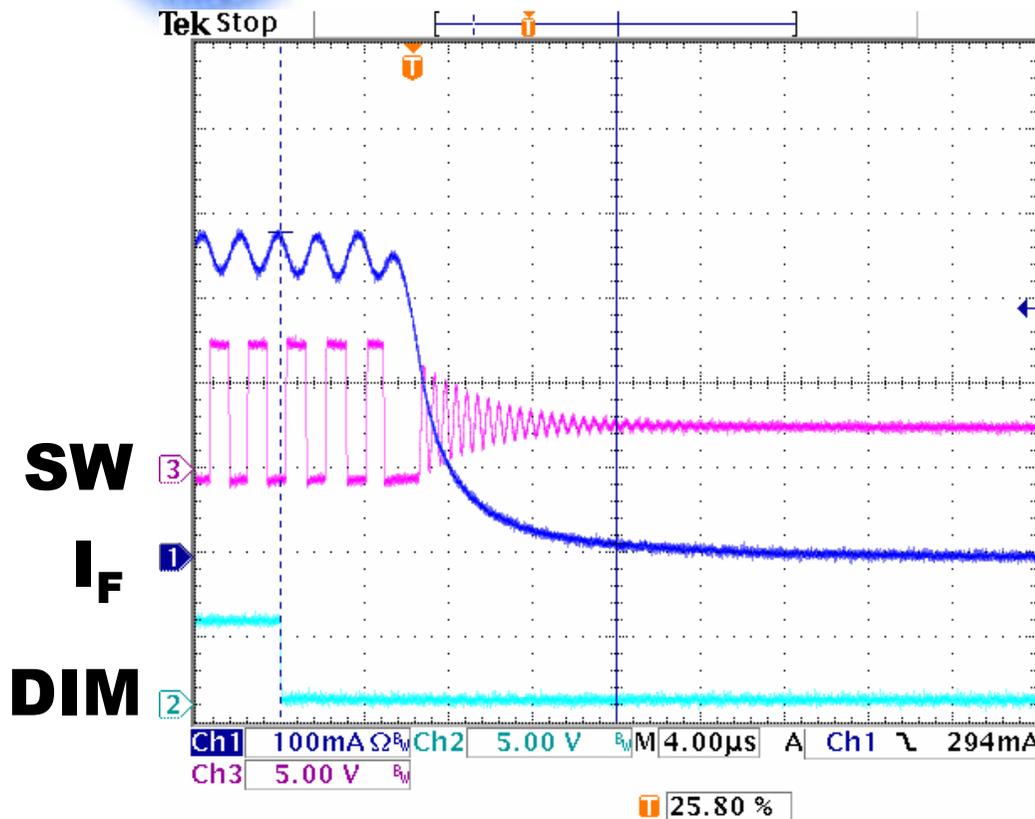
Δ : 984mA
 @: 4.00mA
 Δ : 8.36 μ s
 @: 8.32 μ s

$$\Delta i_L = -V_O / L$$

$$t_{SD} = 8.4 \mu S$$

15 Nov 2006
 11:57:32

LM3489芯片的更低下降时间 (t_{SD})



Δ: 368mA
@: 16.0mA
Δ: 16.0μs
@: 9.68μs

$$t_{SD} \approx 8 \mu s$$

波形由 CO 的放电电流决定，并受其限制

$$\Delta i_L = -V_O / L$$

15 Nov 2006
13:18:35



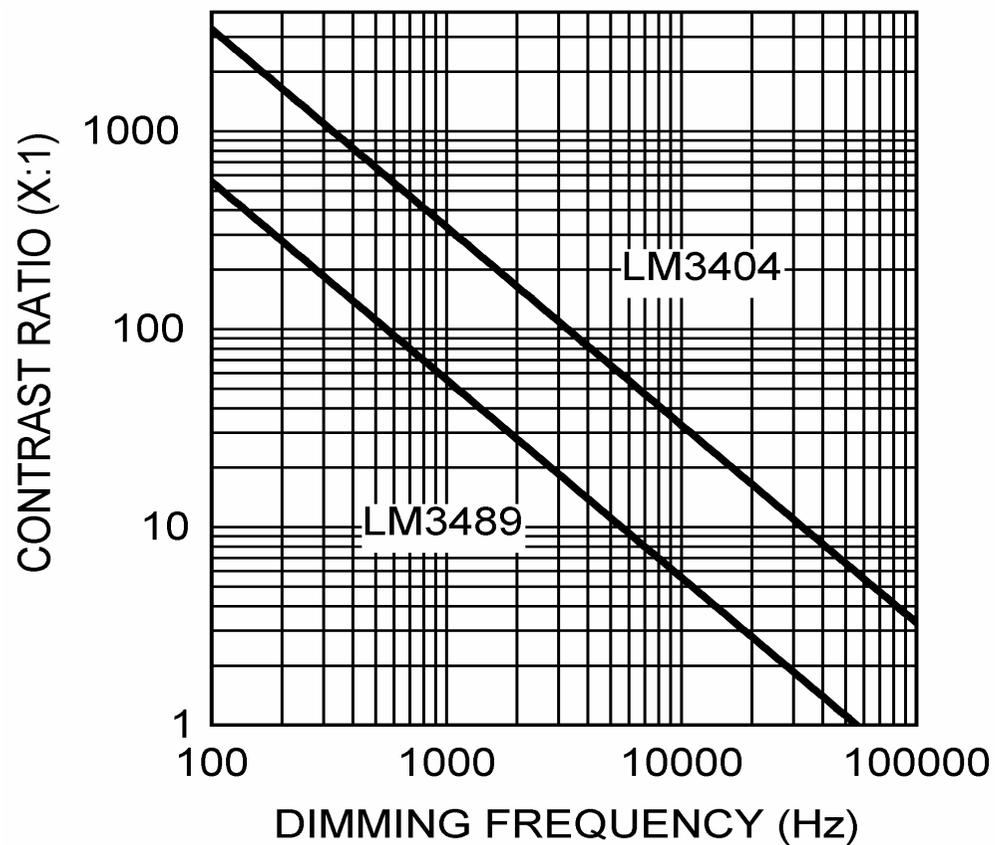
不同光对比度的比较

$$f_{\text{DIM}} = 500 \text{ Hz}, T_{\text{DIM}} = 2 \text{ ms}$$

- LM3489
 - $t_{\text{D}} + t_{\text{SU}} = 18 \mu\text{s}$
 - $D_{\text{MIN}} = 18 / 2000 = 0.009$
 - $\text{CR} = 1 / D_{\text{MIN}} = 111 : 1$
- LM3404
 - $t_{\text{D}} + t_{\text{SU}} = 3.05 \mu\text{s}$
 - $D_{\text{MIN}} = 3.05 / 2000 = 0.001525$
 - $\text{CR} = 1 / D_{\text{MIN}} = 655 : 1$



频率与对比度的反比关系





低频 ($< 1 \text{ kHz}$)

- 普通照明及汽车内外灯光
- 效率更高：较少转换
- 占空比的要求并不十分严格：一般介于 10% 与 90% 之间
- 一般都可通过调光控制或使能引脚执行调光控制功能



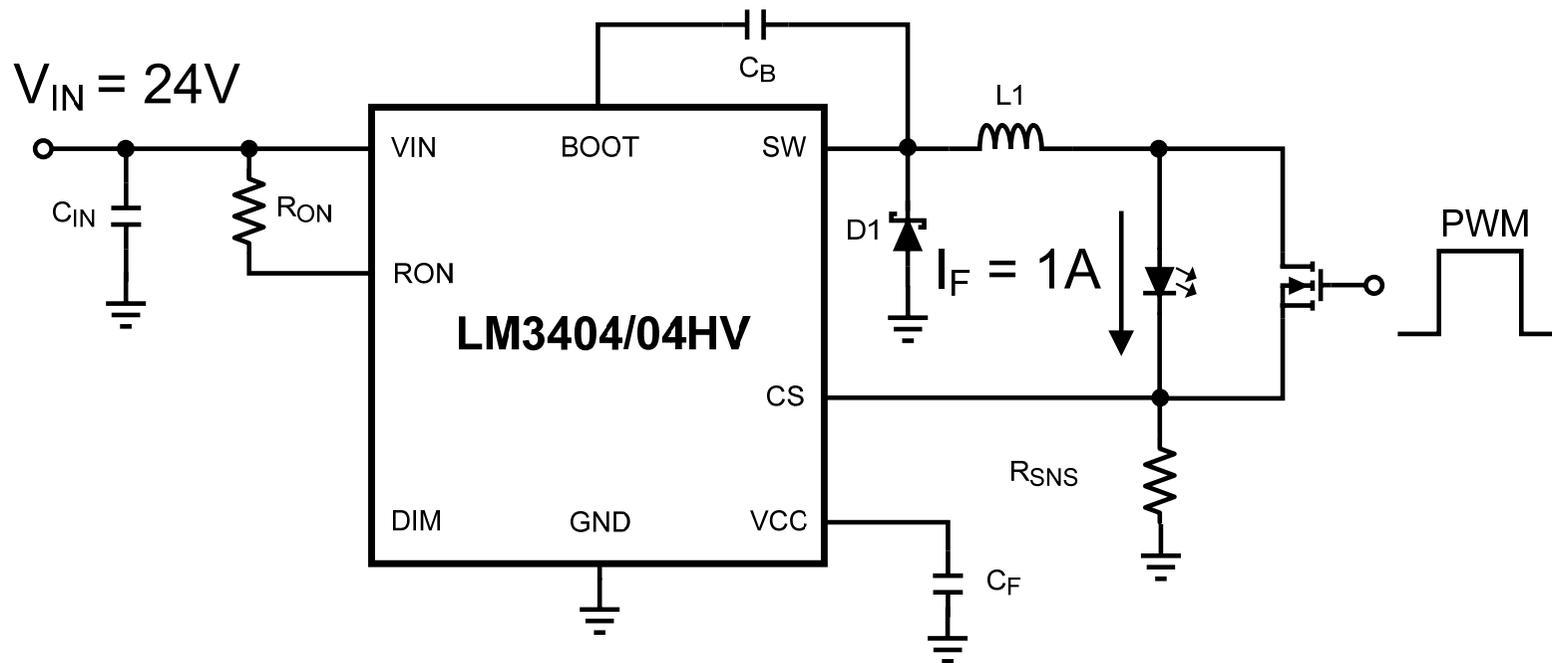
高频 (> 10 kHz)

- 基于某些技术上的问题，用户不得不采用高频
- 可以利用 **RGB LED**产生白光，以便为背光系统及投影机提供光源
- 由于频率较高，因此转换效率较低
- 一般都需要加设并行的调光控制**FET**

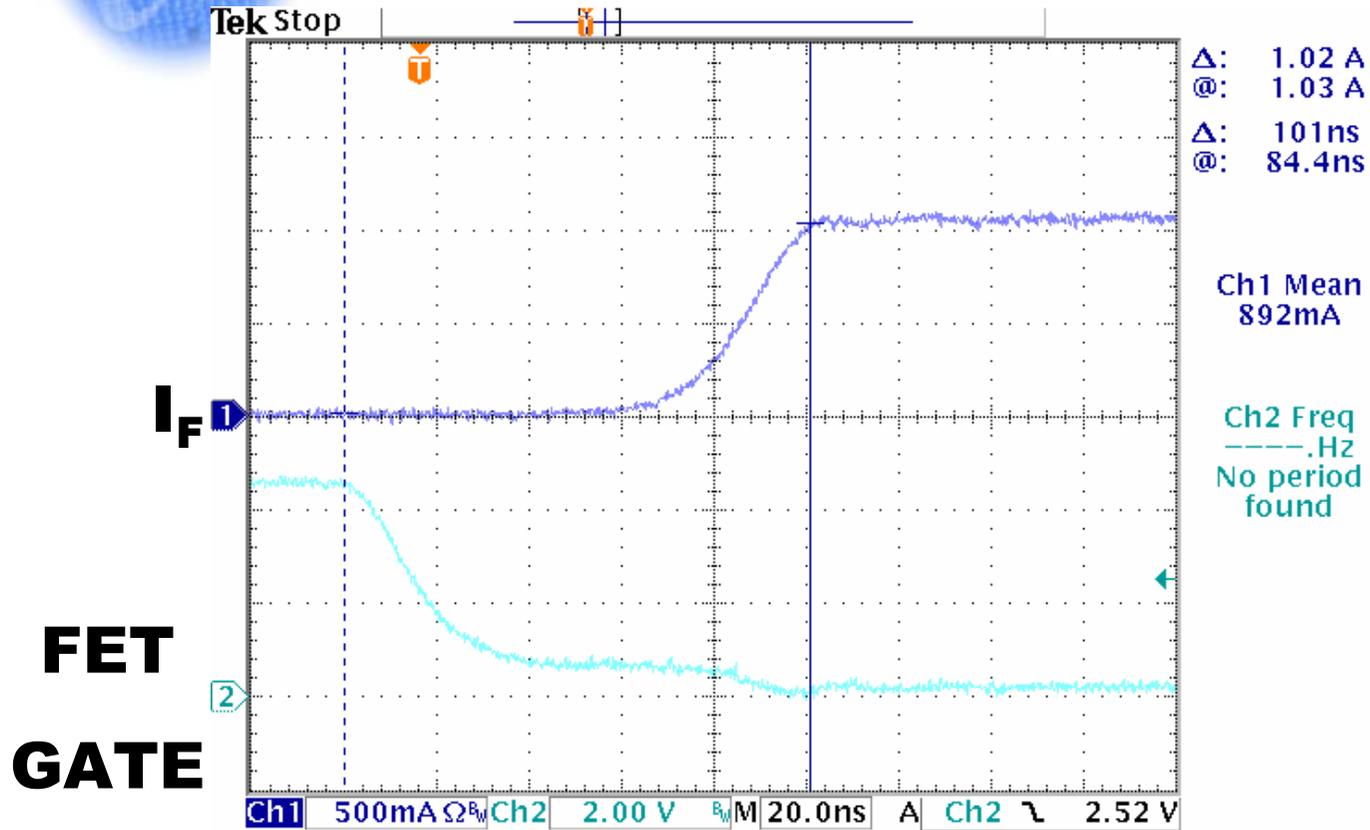


并行 FET 调光控制

连续的电感器电流



并行 FET 的调光效果

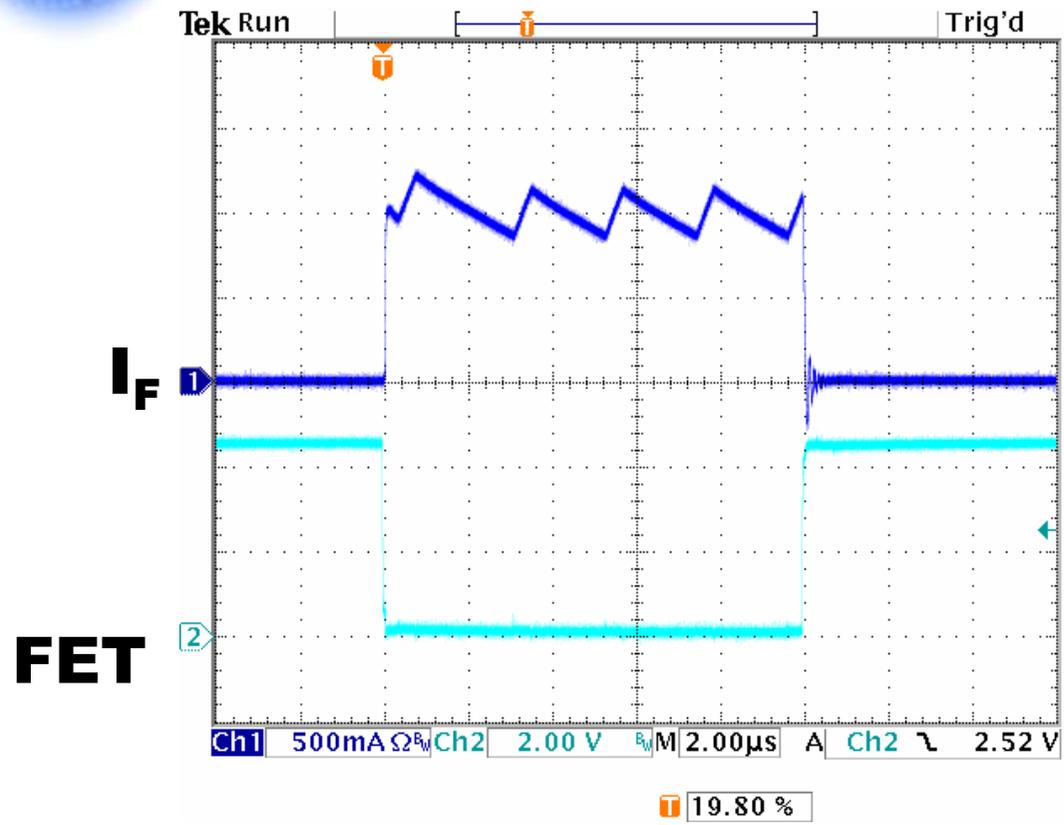


△: 1.02 A
@: 1.03 A
△: 101ns
@: 84.4ns

17 Nov 2006
15:24:13



并行 FET 的调光效果



17 Nov 2006
15:26:41



驱动LED的全新设计工具

适用于LED驱动器的WEBENCH® 网上设计工具

LED Reference Design Library

For proven designs of various lighting applications, including automotive, general illumination, flashlights, and architectural lighting, please visit the

LED Reference Design Library section at **LED.national.com**

LED WEBENCH

Find power solutions for High-Brightness LEDs, please visit the

LED WEBENCH section at **LED.national.com**

For the complete power portfolio and technical assistance, please visit **power.national.com** or email: **ap.support@nsc.com**



The screenshot shows the LED WEBENCH interface with several sections highlighted by red arrows:

- New Products:** Points to the 'New Products' section on the left sidebar.
- LED WEBENCH:** Points to the main design tool area, which includes a table of LED components and a 'Configure and Optimize' section.
- LED Reference Design Library:** Points to a section titled 'LED Reference Design Library Proven designs for various lighting'.
- Online Education:** Points to the 'Online Education' section on the left sidebar.
- Articles and Application Briefs:** Points to the 'Articles and Application Briefs' section on the left sidebar.
- Application Notes:** Points to the 'Application Notes' section on the left sidebar.

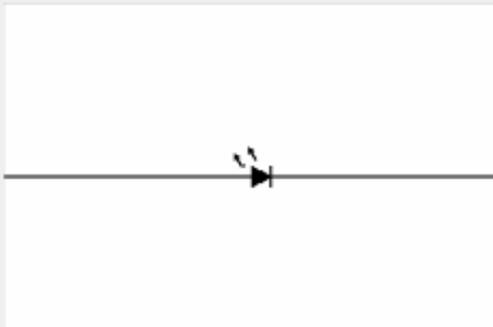
The main design tool area includes a table of LED components with columns for Part Number, Color, V_f, I_f, and θ_{1/2}. Below the table are input fields for V_{in} Min, V_{in} Max, V_{out}, and I_{out}.



适用于LED驱动器的WEBENCH 网上设计工具

Step 2: Configuration and Options

V_{in} Min	<input type="text" value="15"/>	V
V_{in} Max	<input type="text" value="30"/>	V



Number of LEDs:		
- Series	<input type="text" value="1"/>	
- Parallel (coming soon...)		
V_{LED}	<input type="text" value="4"/>	V
I_{out}	<input type="text" value="0.7"/>	Amps

Show Recommended Power LED ICs

[Back to power supply design page](#)

OR

LED Reference Designs Library

[Browse LED reference design library](#)

