

LM3402,LM3402HV,LM3404,LM3404HV

*Application Note 1839 LM3402/LM3404 Fast Dimming and True Constant LED
Current Evaluation Board*



Literature Number: ZHCA355

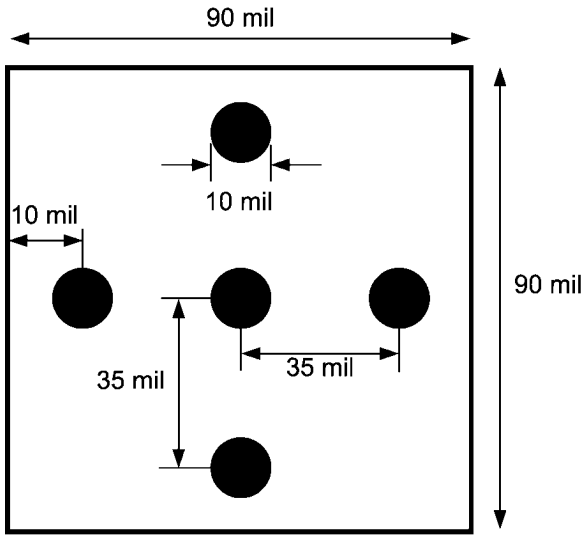


图2. LM3402/04 PSOP封装的散热焊盘和过孔的布局图

LED阵列的连接

LM3402/04评估板包含两个标准的94密尔的塔接柱，用来连接LED阵列的阴极和阳极。

低功率停机

将DIM引脚连到地线，可使LM3402/04进入低功率停机状态（ I_o 的典型值为90 μ A）。在正常操作期间，应保持该引脚开路。

恒定导通时间（COT）的概述

LM3402和LM3404是宽输入电压范围和低参考电压的降压转换器。受控恒定导通时间（COT）的结构组合了迟滞模式控制和与输入电压反向变化的单次开通定时器。附加一个PNP三极管，开通定时器的导通时间与输入电压和输出电压的差成反比。这是此评估板制作对诸多应用的改进之一，随后将予以讨论（改善的LED平均电流电路）。

LM3402/04的设计重点是控制流过负载的电流，而不是负载上的电压。稳流器与负载瞬态电流无关，并且不需要对负载提供输出电容和稳定输出电压。因此，为了演示快速瞬态能力，在这块评估板上省略了输出电容。对任何降压调节器，可用下式计算占空比（D）。

$$D = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = \frac{t_{ON}}{T_S} = t_{ON} \times f_{SW}$$

无论是否使用输出电容，平均电感电流等于LED平均电流。

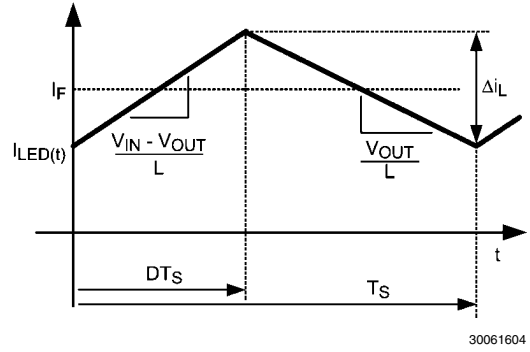


图3. 降压变换器的电感电流波形

随着LED电流经过电流检测电阻 R_{SNS} 流到地线，在电阻上会产生一个电压信号 V_{SNS} 。 V_{SNS} 被反馈到CS引脚上，在此与一个200 mV的参考电压（ V_{REF} ）作比较。当 V_{SNS} 比 V_{REF} 低时，比较器的输出将功率MOSFET管导通。由一个外接电阻 R_{ON} 设定功率MOSFET管的导通时间 t_{ON} 。

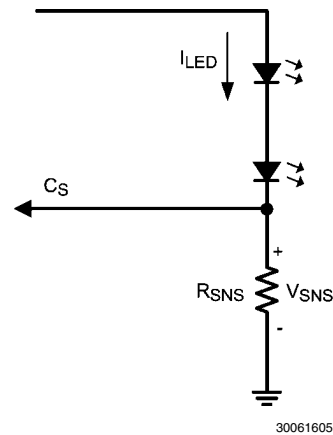
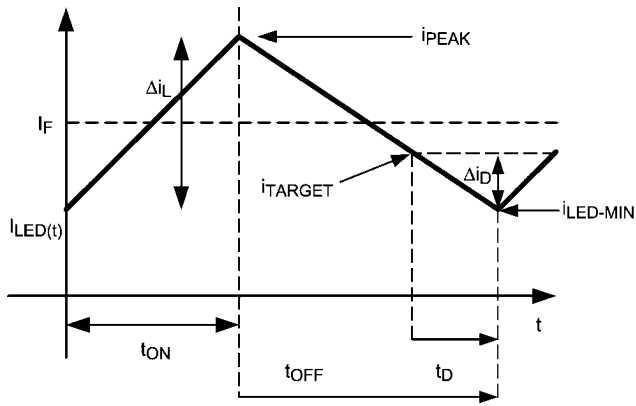


图4. V_{SNS} 电路

设置LED平均电流

已知期望的LED平均电流和输入及输出电压，可计算出电感电流的斜率。第一步计算电感电流（LED电流）的最低点。确定了这一最低点也就可确定LED的平均电流。



30061606

图5. I_{SENSE} 电流波形

使用图3和图5以及线性方程，可计算出 $I_{\text{LED-MIN}}$ 。

$$I_{\text{LED-MIN}} = I_F - \frac{\Delta i_L}{2}$$

其中

$$I_F = I_{\text{LED-Average}}$$

电感电流的增量可由下式给出：

$$\frac{\Delta i}{2} = \left(\frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{2L} \right) \times t_{\text{ON}}$$

从电流感测响应比较器输出的时刻到控制MOS管实际导通的时刻，有220 ns的延迟 (t_D)。已知这一延时，可解出 i_{TARGET} 。

$$I_{\text{TARGET}} = I_F - \frac{\Delta i_L}{2} + \Delta i_D$$

Δi_D 是超出目标电流的电流幅值，等于：

$$\Delta i_D = \left(\frac{V_{\text{OUT}}}{L} \right) t_D$$

因此：

$$i_{\text{TARGET}} = I_F - \left(\frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{2L} \right) \times t_{\text{ON}} + \left(\frac{V_{\text{OUT}}}{L} \right) \times t_D$$

在希望电流感测比较器给出信号去导通场效应管的电压点为：

$$i_{\text{TARGET}} \times R_{\text{SNS}} = 0.20\text{V}$$

因此：

$$0.20\text{V} = R_{\text{SNS}} \left(I_F - \left(\frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{2L} \right) \times t_{\text{ON}} + \left(\frac{V_{\text{OUT}}}{L} \right) \times t_D \right)$$

最后可计算出 R_{SNS} ：

$$R_{\text{SNS}} = \frac{0.20\text{V}}{\left(I_F - \left(\frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{2L} \right) \times t_{\text{ON}} + \left(\frac{V_{\text{OUT}}}{L} \right) \times t_D \right)}$$

标准导通时间设置的计算

控制MOS管的导通时间是可变的，能用一个外接电阻 R_{ON} (图1中的R2) 来设定。导通时间可由下式给出：

$$t_{\text{ON}} = k \times \left(\frac{R_{\text{ON}}}{V_{\text{IN}}} \right)$$

其中

$$k = 1.34 \times 10^{-10}$$

在 t_{ON} 结束时，控制MOS管将关闭300 ns的最少关断时间 ($t_{\text{OFF-MIN}}$)，一旦 $t_{\text{OFF-MIN}}$ 结束，电流感测比较器将再次比较 V_{SNS} 和 V_{REF} ，并等着开始下一个循环。

LM3402/04具有最小导通时间和最小关断时间的限制。最小导通时间为300 ns，允许的最小关断时间为300 ns。

设计可能的最高开关频率意味着必须知道何时观察到最小的导通和关断时间。

在输入电压达到允许的最低电压，且输出电压达到最高电压 (串联LED数目最大) 时，可看到最小关断时间。

当设计最小导通时间时，考虑的条件正好相反。最小导通时间发生在输入电压为其允许的最大电压，且输出电压为最低时。

应用电路计算

为了更好地解释恒定导通时间 (COT) LM3402/04评估板上所作的诸多改进, 在没有改动的LED平均电流输出电路和改进的电路做一个比较。设计实例1和实例2采用了两个原始的LM3402/04的电路。为了提供小尺寸的设计方案, 选择了最高的开关频率。设计实例3是一个改进的平均电流应用。将实例3与实例2进行比较, 以显示这些改进。

实例4采用了与实例3一样的条件和电路, 只是为了改善效率降低了开关频率。降低开关频率可在较宽的输入电压和串联LED数量范围内进一步减小LED平均电流的任何变化。

设计实例1

- $V_{IN} = 48V (\pm 20\%)$
- 驱动3个 $V_F=3.4V$ 的高亮LED
- $V_{OUT} = (3 \times 3.4V + 200 mV) = 10.4V$
- $I_F = 500 mA$ (典型应用)
- 预计效率 = 82%
- $f_{SW} =$ 尽可能高的频率
- 在 t_{ON} 和 t_{OFF} 的限制内, 设计典型应用

当驱动LED时, 可接受10%到60%的LED (电感器) 波纹电流。由于允许如此高的波纹电流, 可以看出不需要输出电容。省去输出电容是实践中所期望的。不用输出电容, 将一个LED连到电感器上, 创建了近乎完美的电流源, 这正是我们所要尝试创建的。在这个设计中, 选择50%的波纹电流。

$$\Delta i_L = 500 mA \times 0.50 = 250 mA$$

$$I_{PEAK} = 500 mA + 125 mA = 625 mA$$

T_{ON} , t_{OFF} , R_{ON} 的计算

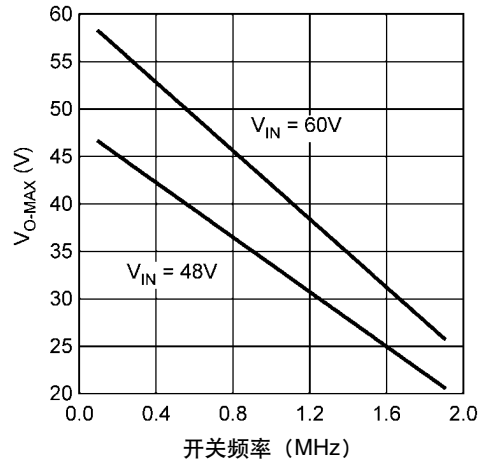
根据数据手册, 需要满足控制MOS管的最小导通和关断时间。

$$T_{OFF最小} = 300 ns$$

$$T_{ON最小} = 300 ns$$

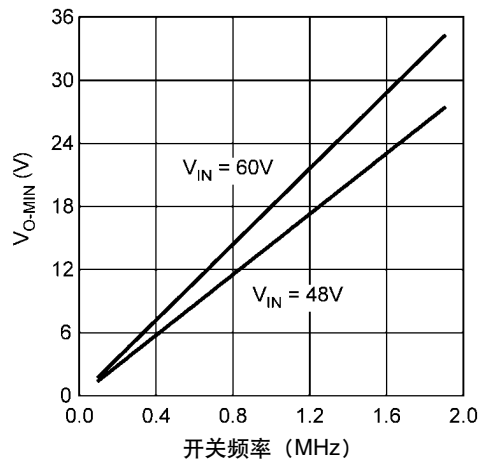
最小导通时间发生在 V_{IN} 为最大时。因此, 计算 $V_{IN} = 60V$ 时的 R_{ON} , 并设定 $t_{ON} = 300 ns$ 。

一个由输入和输出电压确定最大允许开关频率的快速指南如下两个图 (图6和图7) 所示。



30061615

图6. $V_{OUT-MAX}$ 与 f_{SW} 的关系.



30061616

图7. $V_{OUT-MIN}$ 与 f_{SW} 的关系

$$t_{ON} = k \times \left(\frac{R_{ON}}{V_{IN}} \right)$$

$$R_{ON} = 135 k\Omega \text{ (使用标称值 } 137 k\Omega \text{)}$$

$$t_{ON} = 306 ns$$

检查 t_{OFF} 是否满足 t_{OFF} 最小值。其发生在 V_{IN} 为最小时。

当 $V_{IN} = 36V$, 和 $R_{ON} = 137 k\Omega$ 时, 由上述公式计算 t_{ON} 。

$$t_{ON} = 510 ns$$

已知:

$$D = \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

重新排列以上等式，设 t_{ON} 为510 ns，求解 t_{OFF}

$$t_{OFF} = t_{ON} \left(\frac{V_{IN} \times \eta}{V_{OUT}} - 1 \right)$$

$t_{OFF} = 938$ ns (满足)

实例1导通和关断时间

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | t_{ON} | t_{OFF} |
|--------------|---------------|----------|-----------|
| 36 | 10.4 | 5.10E-07 | 9.38E-07 |
| 48 | 10.4 | 3.82E-07 | 1.06E-06 |
| 60 | 10.4 | 3.06E-07 | 1.14E-06 |

计算开关频率

$V_{IN} = 36V, 48V$ 和 $60V$ 。

替换等式：

$f_{SW} = 691kHz$ ($V_{IN} = 36V, 48V, 和60V$)

计算电感器数值

设 $V_{IN} = 48V$ ，50%纹波

$I_F = 500$ mA

- $\Delta i_L = 250$ mA (目标)
- $L = 57$ μH (取标称值68 μH)
- 对于 $V_{IN} = 36V, 48V, 和60V$ 以及 $L = 68$ μH 计算 Δi

实例1波纹电流

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | ΔI_L (A) |
|--------------|---------------|------------------|
| 36 | 10.4 | 0.192 |
| 48 | 10.4 | 0.211 |
| 60 | 10.4 | 0.223 |

计算 R_{SNS}

取典型值 V_{IN} (48V)，设LED平均电流 (I_F) 为500 mA，

计算 R_{SNS} 。

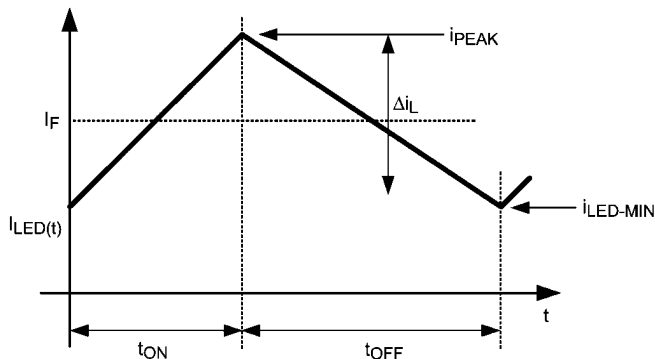


图8. 电感电流波形

30061623

- $I_F = 500$ mA
- $V_{IN} = 48V$
- $V_{OUT} = 10.4V$
- $L = 68$ μH
- $t_D = 220$ ns
- $t_{ON} = 382$ ns

采用恒定导通时间 (COT) 概述章节中的等式计算

R_{SNS} 。

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L} \right) \times t_{ON} + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)}$$

或：

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L} \right) \left(\frac{k \times R_{ON}}{V_{IN}} \right) + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)}$$

因此： $R_{SNS} = 467m\Omega$

计算LED平均电流 (I_F)

计算 $V_{IN} = 36V$ 和 $60V$ 时通过LED的平均电流。

$$I_F = \frac{0.20V}{R_{SNS}} + \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L} \right) (t_{ON}) - \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)$$

实例1的LED平均电流

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | I_F (A) |
|--------------|---------------|-----------|
| 36 | 10.4 | 0.490 |
| 48 | 10.4 | 0.500 |
| 60 | 10.4 | 0.506 |

设计实例2

设计实例2实现的设计是，将同一个元件清单用于多种不同的（串联LED的数量， V_{IN} ， V_{OUT} 等）应用。

- $V_{IN} = 48V$ ($\pm 20\%$)
- 驱动3, 4或5个 $V_F = 3.4V$ 的高亮度LED。
- $I_F = 500$ mA (典型应用)
- 预计效率= 82%
- $f_{SW} =$ 尽可能高的频率
- 在 t_{ON} 和 t_{OFF} 的限制内，设计典型应用

以典型值或均值设计来计算电感器， R_{ON} 电阻器，和电阻器 R_{SNS} 。

- $V_{OUT} = 3 \times 3.4V + 200$ mV = 10.4V
- $V_{OUT} = 4 \times 3.4V + 200$ mV = 13.8V
- $V_{OUT} = 5 \times 3.4V + 200$ mV = 17.2V

计算 t_{ON} ， t_{OFF} 和 R_{ON}

在这个设计中将采用最高的开关频率，如此可减少方案的外形尺寸。在随后的设计中，为得到最大的效率，采用一个较低的开关频率。若设计使用的是尽可能高的开关频率，则必须确保符合最小的导通和关断时间。

最小导通时间发生在 V_{IN} 为最大和 V_{OUT} 为最低时。

因此，设 $t_{ON} = 300$ ns，计算 $V_{IN} = 60V$ ， $V_{OUT} = 10.4V$ 时的 R_{ON} 。

$$t_{ON} = k \times \left(\frac{R_{ON}}{V_{IN}} \right)$$

$$R_{ON} = 137 \text{ k}\Omega, t_{ON} = 306 \text{ ns}$$

检查 t_{OFF} 是否满足 t_{OFF} 的最小值：

最小 t_{OFF} 发生在 V_{IN} 为最小和 V_{OUT} 为最大时。

当 $V_{IN} = 36V$ ， $V_{OUT} = 17.2V$ 和 $R_{ON} = 137 \text{ k}\Omega$ 时，由以上等式计算 t_{ON} 。

$$t_{ON} = 510 \text{ ns}$$

$$\frac{V_{IN} \times \eta}{V_{OUT}} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

重新整理以上等式，设 t_{ON} 为510 ns，求解 t_{OFF}

$$t_{OFF} = t_{ON} \left(\frac{V_{IN} \times \eta}{V_{OUT}} - 1 \right)$$

$$t_{OFF} = 365 \text{ ns (满足)}$$

实例2导通和关断时间

三个串联LED

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | R_{ON} | t_{ON} | t_{OFF} |
|--------------|---------------|----------------|----------|-----------|
| 36 | 10.4 | 137 k Ω | 5.10E-07 | 9.38E-07 |
| 48 | 10.4 | 137 k Ω | 3.82E-07 | 1.06E-06 |
| 60 | 10.4 | 137 k Ω | 3.06E-07 | 1.14E-06 |

四个串联LED

| | | | | |
|----|------|----------------|----------|----------|
| 36 | 13.8 | 137 k Ω | 5.10E-07 | 5.81E-07 |
| 48 | 13.8 | 137 k Ω | 3.82E-07 | 7.08E-07 |
| 60 | 13.8 | 137 k Ω | 3.06E-07 | 7.85E-07 |

五个串联LED

| | | | | |
|----|------|----------------|----------|----------|
| 36 | 17.2 | 137 k Ω | 5.10E-07 | 3.65E-07 |
| 48 | 17.2 | 137 k Ω | 3.82E-07 | 4.93E-07 |
| 60 | 17.2 | 137 k Ω | 3.06E-07 | 5.69E-07 |

计算开关频率

开关频率将仅随输出电压的变化而改变。

$$f_{SW} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times \eta \times t_{ON}}$$

替换等式：

$$f_{SW} = \frac{V_{OUT}}{\eta \times k \times R_{ON}}$$

或：

$$f_{SW} = \frac{1}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

- $f_{SW} = 691$ kHz ($V_{OUT} = 10.4V$)
- $f_{SW} = 916$ kHz ($V_{OUT} = 13.8V$)
- $f_{SW} = 1.14$ MHz ($V_{OUT} = 17.2V$)

计算电感器数值

$$L = \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{\Delta i} \right) \times t_{ON}$$

在 $V_{IN} = 48V$ 和 $V_{OUT} = 10.4V$ 时，取50%的纹波。

- $I_{AVG} = 500$ mA
- $\Delta i_L = 250$ mA (目标值)
- $L = 53$ μ H (取标称值68 μ H)

取 $V_{IN} = 36V$ ， $48V$ ，& $60V$ 以及 $L = 68$ μ H计算 Δi

实例2的波纹电流

| V _{IN} (V) | V _{out} (V) | ΔI _L (A) |
|---------------------|----------------------|---------------------|
| 三个串联LED | | |
| 36 | 10.4 | 0.192 |
| 48 | 10.4 | 0.211 |
| 60 | 10.4 | 0.223 |
| 四个串联LED | | |
| 36 | 13.8 | 0.166 |
| 48 | 13.8 | 0.192 |
| 60 | 13.8 | 0.208 |
| 五个串联LED | | |
| 36 | 17.2 | 0.141 |
| 48 | 17.2 | 0.173 |
| 60 | 17.2 | 0.193 |

计算R_{SNS}

在典型值V_{IN} (48V) 以及四个串联LED (13.8V = V_{OUT}) 情况下, 取LED平均电流 (I_F) 为500 mA, 计算R_{SNS}。

- I_F = 500 mA
- V_{IN} = 48V
- V_{OUT} = 13.8V
- L = 68 μH
- t_D = 220 ns
- t_{ON} = 382 ns

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L}\right) \times t_{ON} + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L}\right)}$$

$$R_{SNS} = 446 \text{ m}\Omega$$

计算通过LED的平均电流

对于R_{SNS} = 446 mΩ条件下的所有V_{IN}, V_{OUT}的组合

$$I_F = \frac{0.20V}{R_{SNS}} + \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L}\right)(t_{ON}) - \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L}\right)$$

实例2的LED平均电流

| V _{IN} (V) | V _{out} (V) | I _F (A) |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| 三个串联LED | | |
| 36 | 10.4 | 0.511 |
| 48 | 10.4 | 0.521 |
| 60 | 10.4 | 0.526 |
| 四个串联LED | | |
| 36 | 13.8 | 0.487 |
| 48 | 13.8 | 0.500 |
| 60 | 13.8 | 0.508 |
| 五个串联LED | | |
| 36 | 17.2 | 0.463 |
| 48 | 17.2 | 0.479 |
| 60 | 17.2 | 0.489 |

在这一应用中, 可看到LED平均电流的高低差别为63 mA。

改进的COT应用电路

加入一只PNP三极管 (Q1) 和一个电阻器 (R3), 在输入和输出电压变化范围内通过LED的平均电流会趋于更加恒定。参考第一页上的图1。用电阻R_{ON} (R2) 和Q1转换t_{ON}的等式为:

$$t_{ON} = k \times \left(\frac{R_{ON}}{V_{IN} - V_{OUT}}\right)$$

忽略了PNP晶体三极管的V_{BE}电压降。

按照上面的实例和同样的要求设计改进的应用并比较结果。

改进的应用电路

设计实例3

- $V_{IN} = 48V$ ($\pm 20\%$)
- 驱动3, 4或者5个 $V_F = 3.4V$ 的高亮度LED
- $I_F = 500\text{ mA}$ (典型应用)
- 预计效率= 82%
- f_{SW} = 尽可能高的频率
- 在 t_{ON} 和 t_{OFF} 的限制内, 设计典型应用

根据设计的典型值或均值来计算电感器, 电阻 R_{ON} , 和电阻 R_{SNS} 。

- $V_{OUT} = 3 \times 3.4V + 200\text{ mV} = 10.4V$
- $V_{OUT} = 4 \times 3.4V + 200\text{ mV} = 13.8V$
- $V_{OUT} = 5 \times 3.4V + 200\text{ mV} = 17.2V$

计算 t_{ON} , t_{OFF} , 和 R_{ON}

最小导通时间发生在 V_{IN} 为最大值和 V_{OUT} 为最低值。

设 $t_{ON} = 300\text{ ns}$, $V_{IN} = 60V$, $V_{OUT} = 10.4V$, 计算 R_{ON} 。

$$R_{ON} = t_{ON} \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{k} \right)$$

$R_{ON} = 111\text{ k}\Omega$ (113 k Ω), $t_{ON} = 306\text{ ns}$

检查 t_{OFF} 是否满足 t_{OFF} 的最小值:

设 $V_{IN} = 36V$, $V_{OUT} = 17.2V$ 和 $R_{ON} = 113\text{ k}\Omega$, 计算 t_{ON} :
 $t_{ON} = 806\text{ ns}$ 。

$$t_{OFF} = t_{ON} \left(\frac{V_{IN} \times \eta}{V_{OUT}} - 1 \right)$$

$t_{OFF} = 577\text{ ns}$ (满足)

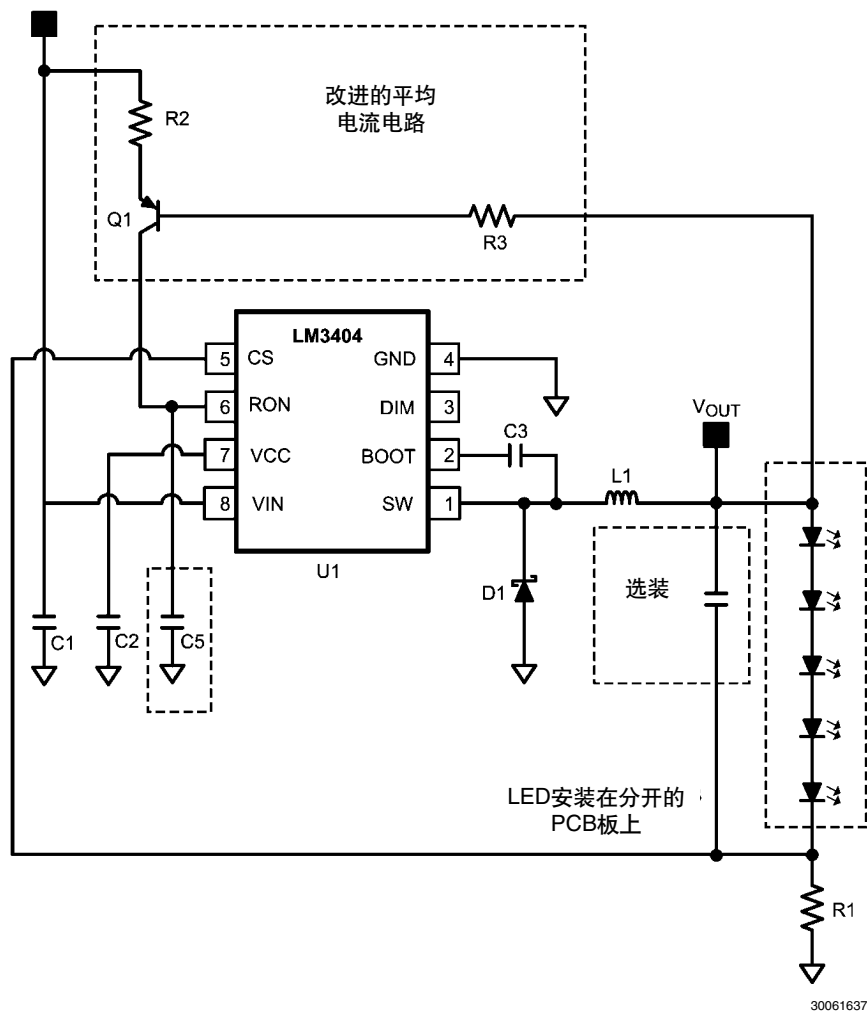


图9. 改进的LED平均电流应用电路

30061637

实例3导通和关断时间

| 三个串联LED | | | | |
|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| V _{IN} (V) | V _{out} (V) | R _{ON} | t _{ON} | t _{OFF} |
| 36 | 10.4 | 113 kΩ | 5.92E-07 | 1.09E-07 |
| 48 | 10.4 | 113 kΩ | 4.03E-07 | 1.12E-06 |
| 60 | 10.4 | 113 kΩ | 3.06E-07 | 1.14E-06 |
| 四个串联LED | | | | |
| 36 | 13.8 | 113 kΩ | 6.83E-07 | 7.78E-07 |
| 48 | 13.8 | 113 kΩ | 4.43E-07 | 8.21E-07 |
| 60 | 13.8 | 113 kΩ | 3.28E-07 | 8.41E-07 |
| 五个串联LED | | | | |
| 36 | 17.2 | 113 kΩ | 8.06E-07 | 5.77E-07 |
| 48 | 17.2 | 113 kΩ | 4.92E-07 | 6.34E-07 |
| 60 | 17.2 | 113 kΩ | 3.54E-07 | 6.59E-07 |

计算开关频率

$$f_{SW} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times \eta \times t_{ON}}$$

或:

$$f_{SW} = \frac{1}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

实例3开关频率

| V _{IN} (V) | V _{OUT} (V) | f _{sw} (kHz) |
|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 三个串联LED | | |
| 36 | 10.4 | 595 |
| 48 | 10.4 | 656 |
| 60 | 10.4 | 692 |
| 四个串联LED | | |
| 36 | 13.8 | 685 |
| 48 | 13.8 | 791 |
| 60 | 13.8 | 855 |
| 五个串联LED | | |
| 36 | 17.2 | 723 |
| 48 | 17.2 | 888 |
| 60 | 17.2 | 987 |

计算电感器数值

$$L = \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{\Delta i} \right) \times t_{ON}$$

$$t_{ON} = k \times \left(\frac{R_{ON}}{V_{IN} - V_{OUT}} \right)$$

因此:

$$L = \left(\frac{R_{ON}}{\Delta i} \right) \times k$$

可很快看到改进电路的一个益处。改进电路排除了输入和输出电压的变化所引起的电流方均根值的变化。

- I_F = 500 mA (典型应用)
- Δi_L = 250 mA (目标值)
- R_{ON} = 113 kΩ
- L = 59 μH (取标称值68 μH)
- Δi_L = 223 mA (对所有组合, 均取L = 68 μH)

计算R_{SNS}原始的R_{SNS}等式:

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L} \right) \times t_{ON} + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)}$$

用改进电路的t_{ON}替换后再计算:

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L} \right) \left(k \times \frac{R_{ON}}{V_{IN} - V_{OUT}} \right) + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)}$$

简化为:

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{k \times R_{ON}}{2L} \right) + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)}$$

典型应用:

- V_{OUT} = 13.8V
- I_F = 500 mA
- R_{ON} = 113 kΩ
- L = 68 μH
- t_D = 220 ns

$$R_{SNS} = 462 \text{ m}\Omega$$

等式显示出, 在整个应用范围只有V_{OUT}的变化会影响平均电流。即使对于很大的输出电压变化, 其引起的平均电流变化也应非常小。

计算通过LED的平均电流

改进的应用电路的平均正向电流方程。

$$I_F = \frac{0.20V}{R_{SNS}} + \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2L} \right) \left(\frac{k \times R_{ON}}{V_{IN} - V_{OUT}} \right) - \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)$$

简化为:

$$I_F = \frac{0.20V}{R_{SNS}} + \left(\frac{k \times R_{ON}}{2L} \right) - \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)$$

实例3的LED平均电流

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | I_F (A) |
|----------------|---------------|-----------|
| 三个串联LED | | |
| 36 | 10.4 | 0.511 |
| 48 | 10.4 | 0.511 |
| 60 | 10.4 | 0.511 |
| 四个串联LED | | |
| 36 | 13.8 | 0.500 |
| 48 | 13.8 | 0.500 |

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | I_F (A) |
|----------------|---------------|-----------|
| 四个串联LED | | |
| 60 | 13.8 | 0.500 |
| 五个串联LED | | |
| 36 | 17.2 | 0.489 |
| 48 | 17.2 | 0.489 |
| 60 | 17.2 | 0.489 |

在这一应用中，可看到LED平均电流的高低差别为
22 mA。

改进的应用电路

设计实例4

- $V_{IN} = 48V$ ($\pm 20\%$)
- 驱动3, 4或5个 $V_F = 3.4V$ 的高亮度LED。
- $I_F = 500$ mA (典型应用)
- 预计效率= 82%
- $f_{SW} = 500$ kHz (典型应用)

根据设计的典型值或均值来计算电感器, 电阻 R_{ON} , 和电阻 R_{SNS} 。

- $V_{OUT} = 3 \times 3.4V + 200$ mV = 10.4V
- $V_{OUT} = 4 \times 3.4V + 200$ mV = 13.8V
- $V_{OUT} = 5 \times 3.4V + 200$ mV = 17.2V

为提高效率, 相对典型电路, 将开关频率降到500 kHz。

计算 t_{ON} , t_{OFF} , 和 R_{ON}

$$t_{ON} = \left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} \right) \left(\frac{1}{f_{SW}} \right)$$

- $V_{OUT} = 13.8V$
- $V_{IN} = 48V$
- $I_F = 500$ mA
- $t_D = 220$ ns
- $\eta = 0.85$
- $f_{SW} = 500$ kHz

$t_{ON} \approx 705$ ns

$$R_{ON} = \left(\frac{t_{ON}}{k} \right) (V_{IN} - V_{OUT})$$

$R_{ON} \approx 179$ k Ω (使用标称值182 k Ω)

计算电感器数值

$$L = \left(\frac{R_{ON}}{\Delta I} \right) \times k$$

- $I_F = 500$ mA
- $\Delta I_L = 250$ mA (目标值)
- $R_{ON} = 182$ k
- $L = 100$ μ H

在 $L = 100$ μ H ($V_{IN} = 48V$, $V_{OUT} = 13.8V$) 时, 计算 ΔI_L 。

$\Delta I_L = 241$ mA (对所有组合)

计算开关频率

$$f_{SW} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times \eta \times t_{ON}}$$

或:

$$f_{SW} = \frac{1}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

实例4的开关频率

| V_{IN} (V) | V_{out} (V) | f_{SW} (kHz) |
|----------------|---------------|----------------|
| 三个串联LED | | |
| 36 | 10.4 | 374 |
| 48 | 10.4 | 412 |

| | | |
|----------------|------|-----|
| 60 | 10.4 | 435 |
| 四个串联LED | | |
| 36 | 13.8 | 430 |
| 48 | 13.8 | 497 |
| 60 | 13.8 | 537 |
| 五个串联LED | | |
| 36 | 17.2 | 454 |
| 48 | 17.2 | 558 |
| 60 | 17.2 | 620 |

计算 R_{SNS}

$$R_{SNS} = \frac{0.20V}{(I_F) - \left(\frac{k \times R_{ON}}{2L} \right) + \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)}$$

- $V_{OUT} = 13.8V$
- $V_{IN} = 48V$
- $I_F = 500$ mA
- $t_D = 220$ ns
- $\eta = 0.85$
- $L = 100$ μ H

$R_{SNS} = 488$ m Ω

计算通过LED的平均电流

$$I_F = \frac{0.20V}{R_{SNS}} + \left(\frac{k \times R_{ON}}{2L} \right) - \left(\frac{V_{OUT} \times t_D}{L} \right)$$

实例4的LED平均电流

| V_{in} (V) | V_{out} (V) | I_F (A) |
|----------------|---------------|-----------|
| 三个串联LED | | |
| 36 | 10.4 | 0.507 |
| 48 | 10.4 | 0.507 |
| 60 | 10.4 | 0.507 |
| 四个串联LED | | |
| 36 | 13.8 | 0.500 |
| 48 | 13.8 | 0.500 |
| 60 | 13.8 | 0.500 |
| 五个串联LED | | |
| 36 | 17.2 | 0.493 |
| 48 | 17.2 | 0.493 |
| 60 | 17.2 | 0.493 |

从这个降低频率的应用中, 可看到平均电流的高低差别为14 mA。

若使用原始的 t_{ON} 电路(无PNP晶体三极管), 并将开关频率设在500 kHz附近, 平均电流的高低差别为67 mA。

亮度调光

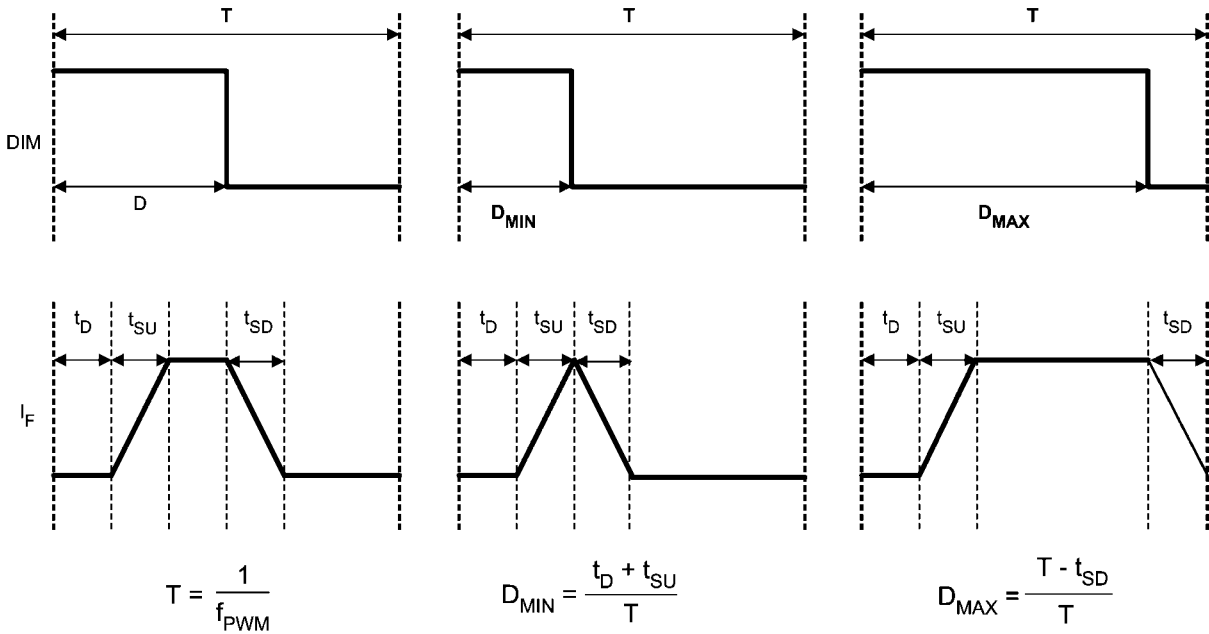
LM3402/04的DIM引脚是一个TTL兼容的输入端，用于LED电流的低频脉冲宽度调制信号（PWM）调光。取决于具体应用，可能需要大于LM3402/04内部DIM电路所能提供的对比度。这个评估板带有外部电路，允许调光对比度大于50,000 : 1。

LM3402/04 DIM引脚的操作

为了完全启动和禁止LM3402/04，PWM信号应有0.8V的最大逻辑低电平和2.2V的最低逻辑高电平。调光频率 f_{DIM} 和占空比 D_{DIM} 受限于LED电流的上升和下降时间，以及从DIM引脚的信号有效到内部功率MOS管响应的延时。一般情况下，为

了预防混叠，信号 f_{DIM} 应至少比稳态开关频率低一个数量级。进一步说明请参看图10。区间 t_D 表示从DIM引脚的逻辑高到电流开始输出的延时。 t_{SU} 和 t_{SD} 的大小分别表示LED电流上摆到稳态和下摆到零所需要的时间。

作为一个实例，假定DIM的占空比 D_{DIM} 等于100%（总是导通）和电路供给LED串的电流为500 mA。当 D_{DIM} 等于50%时，流经LED串的电流将恰好是500 mA的一半（250 mA）。这只有在DIM信号通/断和LED电流的通/断之间没有延时（ t_D ）才有可能。同时也要忽略LED电流的上升和下降时间（ t_{SU} 和 t_{SD} ）。如果能减少这些时间，则脉冲调宽信号和平均电流之间是线性关系。



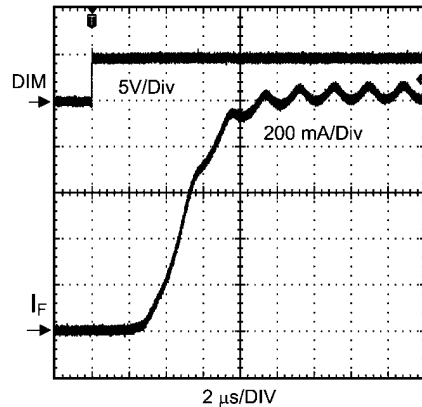
30061652

图10. 对比度的定义

对比度的定义

对比度 (CR) = $1 / D_{MIN}$

$D_{MIN} = (t_D + t_{SU}) \times f_{DIM}$



30061653

图11. 说明 t_D+t_{SU} 的图形 (DIM引脚)

外接MOS管的调光和对比度

参考图12。评估板上提供了MOS管Q2和其驱动电路。当MOS管Q2导通时，其短路了LED+和LED-，即把电感电流从LED串上分流到汲流MOS管。LM3402/04从不关断，因此

成为一个理想的电流源，通过电感器（L1）输出持续电流。为了提供尽可能高的对比度，具有外接分流MOS管的降压变换器是个理想的电路。对于典型的外部MOS管调光的延时和建立时间，请参看图13-15。

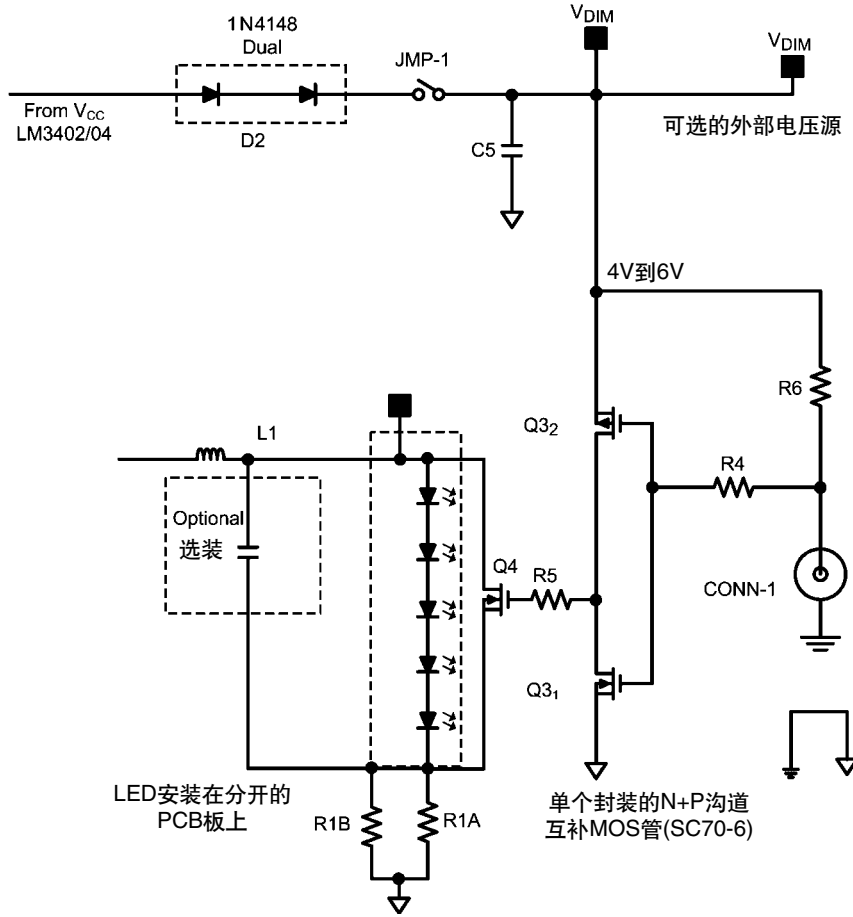
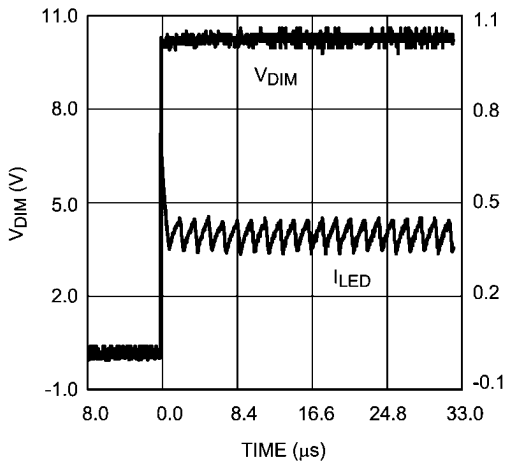


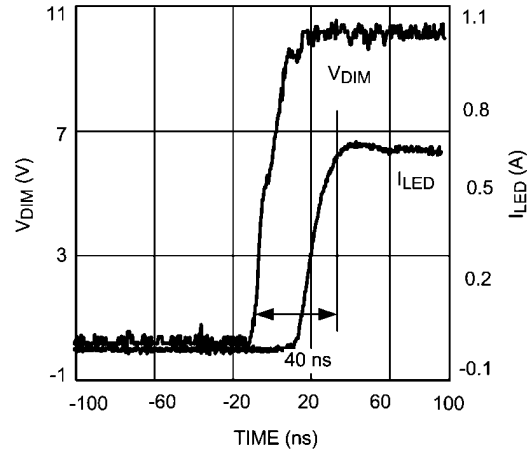
图12.

30061654



30061655

图13. $V_{IN} = 24V$, $I_{LED} = 400mA$, 3个串联的LED



30061656

图14. 说明 $t_D + t_{SU}$ 的图形

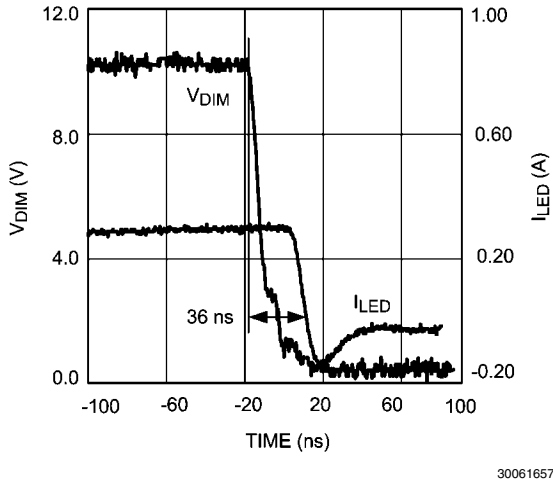


图15. 说明 $t_D + t_{SD}$ 的图形

快速调光和改进的平均电流电路

同时使用改进的LED平均电流电路和外接MOS管快速调光电路可获得额外的好处。若已确定 R_{ON} 和转换器的开关频率(f_{SW})，并按照改进的LED平均电流电路设置，在快速调光期间，一旦 V_{OUT} 被短路，则开关频率会降低。在MOS管Q2导通时， V_{OUT} 等于 V_{FB} (200 mV)。那么 t_{ON} 等式就几乎变为原始的、未经修改的电路方程式。

设 t_{ON} 和 R_{ON} 为：

$$t_{ON} = k \times \left(\frac{R_{ON}}{V_{IN} - V_{OUT}} \right)$$

T_{ON} 等式变成：

$$t_{ON} = k \times \left(\frac{R_{ON}}{V_{IN} - 0.2V} \right)$$

这里分流MOS管Q4在快速调光期间导通。在正常操作时， t_{OFF} 等式是：

$$t_{OFF} = t_{ON} \left(\frac{V_{IN} \times \eta}{V_{OUT}} - 1 \right)$$

那么 t_{OFF} 等式成为：

$$t_{OFF} = t_{ON} \left(\frac{V_{IN} \times \eta}{0.2V} - 1 \right)$$

这里分流MOS管Q2在快速调光期间截止。

由于实际上 t_{OFF} 显著增加，因此开关频率会降低，这将改善效率（见图16），这是一个额外的好处。电感器L1仍然保持充电，一旦Q2关断，电流就流过LED串。

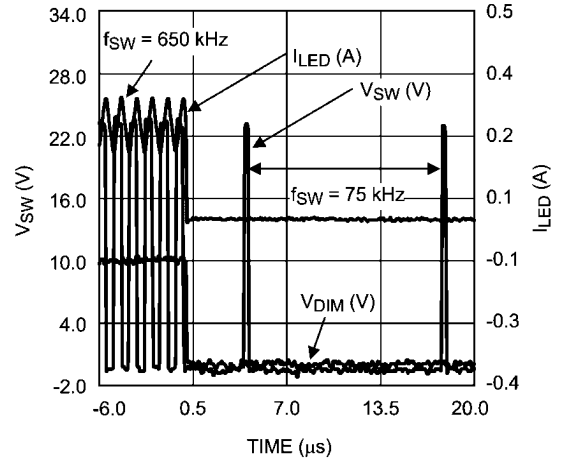


图16. 同时使用改进的ILED电路和快速调光

线性的快速调光

一旦大大减少延时和上升/下降时间，在很高的调光频率(f_{DIM})下，可获得平均电流和占空比(D_{DIM})的线性关系（见图17）。

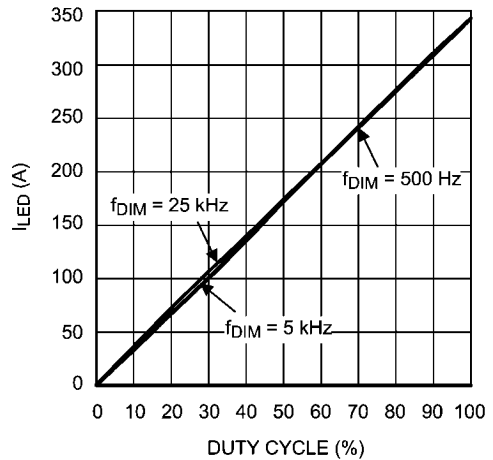
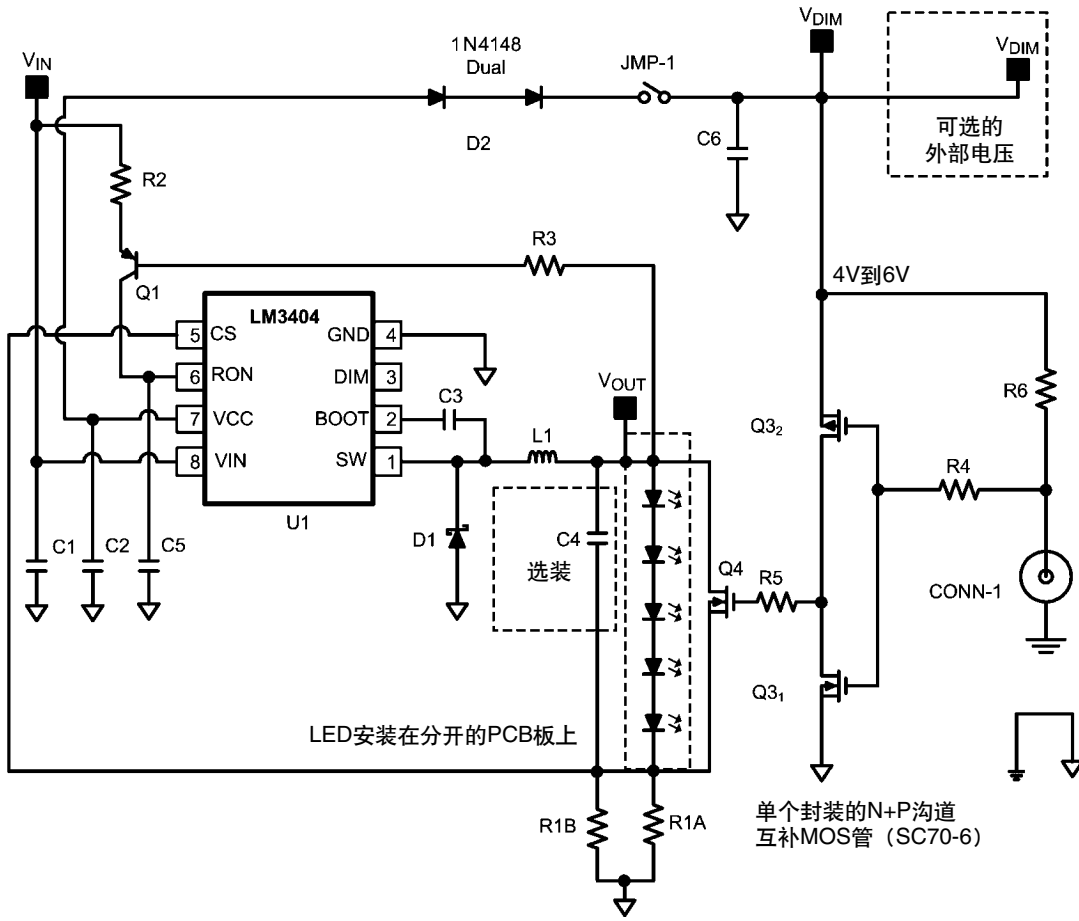


图17. 快速调光的线性关系

改进的平均 I_{LED} 和快速调光的LM3402演示电路板



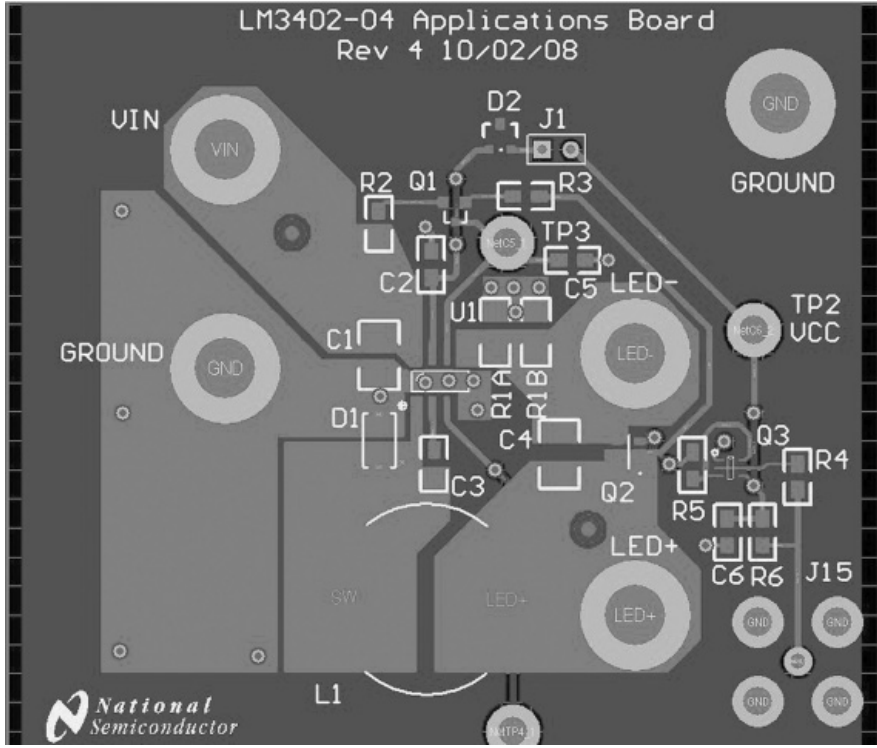
30061601

$V_{IN} = 9V$ 到 $18V$, $I_{LED} = 500\text{ mA}$, 3个 $3.4V$ 串联的白光LED ($f_{sw} \approx 750\text{ kHz}$)

元件清单

| 元件标识 | 元件参数 | 制造商 | 元件型号 |
|----------------------|---------------------------|------------|----------------|
| U1 | 0.5A降压型LED驱动器, PSOP封装 | NSC | LM3402 |
| C1, 输入电容 | 10 μ F, 25V, X5R | TDK | C3225X5R1E106M |
| C2, C6 电容 | 1 μ F, 16V, X5R | TDK | C1608X5R1C105M |
| C3, V_{BOOS} T 电容 | 0.1 μ F, X5R | TDK | C1608X5R1H104M |
| C4 输出电容 | 10 μ F, 25V, X5R (选装) | TDK | C3225X5R1E106M |
| C5, V_{RON} 电容 | 0.01 μ F, X5R | TDK | C1608X5R1H103M |
| D1, 续流二极管 | 0.5V, 肖特基 2A, 30VR | Diodes INC | B230 |
| D2 | 小信号, 双二极管, 表面贴 | Diodes INC | BAV199 |
| L1 | 33 μ H | CoilCraft | D01813H-333 |
| R1A, R1B | 1 Ω 1% 0.25W 1206 | Panasonic | ERJ-8RQF1R0V |
| R2 | 64.9 k Ω 1% | Vishay | CRCW08056492F |
| R3 | 1.0 k Ω , 1% | Vishay | CRCW08051001F |
| R4, R5 | 1 Ω , 1% | Vishay | CRCW08051R00F |
| R6 | 10 k Ω , 1% | Vishay | CRCW08051002F |
| Q1 | SOT23 PNP | Diodes INC | MMBT3906 |
| Q2 | SOT23-6 N-CH 2.4A, 20V | ZETEX | ZXM2A01E6CT |
| Q3 | SC70-6, P + N 沟道 | Vishay | SM539DL |
| 测试点 | 连接器 | Keystone | 1502-2 |
| VIN, GND, LED+, LED- | 连接器 | Keystone | 575-8 |
| JMP-1 | 跳线 | Molex | 22-28-4023 |
| J15 | 50 Ω BNC | Amphenol | 112538 |

印刷电路板布局图



30061665

注释

For more National Semiconductor product information and proven design tools, visit the following Web sites at:

| Products | | Design Support | |
|--------------------------------|--|-------------------------|--|
| Amplifiers | www.national.com/amplifiers | WEBENCH | www.national.com/webench |
| Audio | www.national.com/audio | Analog University | www.national.com/AU |
| Clock Conditioners | www.national.com/timing | App Notes | www.national.com/appnotes |
| Data Converters | www.national.com/adc | Distributors | www.national.com/contacts |
| Displays | www.national.com/displays | Green Compliance | www.national.com/quality/green |
| Ethernet | www.national.com/ethernet | Packaging | www.national.com/packaging |
| Interface | www.national.com/interface | Quality and Reliability | www.national.com/quality |
| LVDS | www.national.com/lvds | Reference Designs | www.national.com/refdesigns |
| Power Management | www.national.com/power | Feedback | www.national.com/feedback |
| Switching Regulators | www.national.com/switchers | | |
| LDOs | www.national.com/lldo | | |
| LED Lighting | www.national.com/led | | |
| PowerWise | www.national.com/powerwise | | |
| Serial Digital Interface (SDI) | www.national.com/sdi | | |
| Temperature Sensors | www.national.com/tempsensors | | |
| Wireless (PLL/VCO) | www.national.com/wireless | | |

THE CONTENTS OF THIS DOCUMENT ARE PROVIDED IN CONNECTION WITH NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION ("NATIONAL") PRODUCTS. NATIONAL MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES WITH RESPECT TO THE ACCURACY OR COMPLETENESS OF THE CONTENTS OF THIS PUBLICATION AND RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES TO SPECIFICATIONS AND PRODUCT DESCRIPTIONS AT ANY TIME WITHOUT NOTICE. NO LICENSE, WHETHER EXPRESS, IMPLIED, ARISING BY ESTOPPEL OR OTHERWISE, TO ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IS GRANTED BY THIS DOCUMENT.

TESTING AND OTHER QUALITY CONTROLS ARE USED TO THE EXTENT NATIONAL DEEMS NECESSARY TO SUPPORT NATIONAL'S PRODUCT WARRANTY. EXCEPT WHERE MANDATED BY GOVERNMENT REQUIREMENTS, TESTING OF ALL PARAMETERS OF EACH PRODUCT IS NOT NECESSARILY PERFORMED. NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY FOR APPLICATIONS ASSISTANCE OR BUYER PRODUCT DESIGN. BUYERS ARE RESPONSIBLE FOR THEIR PRODUCTS AND APPLICATIONS USING NATIONAL COMPONENTS. PRIOR TO USING OR DISTRIBUTING ANY PRODUCTS THAT INCLUDE NATIONAL COMPONENTS, BUYERS SHOULD PROVIDE ADEQUATE DESIGN, TESTING AND OPERATING SAFEGUARDS.

EXCEPT AS PROVIDED IN NATIONAL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR SUCH PRODUCTS, NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, AND NATIONAL DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY RELATING TO THE SALE AND/OR USE OF NATIONAL PRODUCTS INCLUDING LIABILITY OR WARRANTIES RELATING TO FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范 (CSP-9-111C2)》以及《相关禁用物质和材料规范 (CSP-9-111S2)》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。
无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

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 | 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/consumer-apps |
| DLP® 产品 | www.dlp.com | 能源 | www.ti.com/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 机动性处理器 | 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 © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司