BCR431U low voltage drop linear LED driver IC application note

Operation, design guide and performance

关于本文档

范围和目的

BCR431U 是一款采用小型 PG-SOT23-6 封装的可调节恒流调节器 (CCR) IC。其配备内部晶体管，外部元件很少，易于使用且经济高效。

此外，与现有 BCR 产品相比，最新低压降 BCR43X 系列可提供更高能效和最大长度的 LED 灯条，有助于降低安装成本和工作量。本文档阐述低压降线性 LED 驱动器 IC 的优势，回答有关在 LED 灯条应用中使用 BCR431U 的常见问题。

目标受众

本文档适用于设计工程师、应用工程师和学生，例如：需要设计用于以下产品的低成本且高度可靠的线性 LED 驱动器：

- LED 灯条
- LED 显示屏和字型灯
- 建筑和景观照明
- 零售照明

目录

BCR431U low voltage drop linear LED driver IC application note 1
关于本文档 1
1 BCR431U 概览和系统设计注意事项 2
1.1 BCR431U 特点 2
2 BCR431U 应用 4
2.1 LED 电流设置 4
2.2 一个灯串中的最大 LED 数目 4
2.3 热保护和功耗 6
3 高级 BCR431U 设计主题 8
3.1 最大灯条长度 8
3.2 极性反接保护 8
3.3 调光 9
3.4 系统 ESD 11
4 附录：最大灯条长度计算 12
5 修订历史 14

1 BCR431U 概览和系统设计注意事项

1.1 BCR431U 特点

- 电源电压为 6 V 到 42 V
- 控制高达 36.5 mA LED 电流
- 36.5 mA 时饱和电压 VLED,sat 最大为 200 mV
- LED 电流精度 ±10%
- 智能过热保护功能

器件应用电路如 **Figure 1** 所示。此控制器为 LED 灯串提供恒定电流，具体电流大小由 RSET 值决定。电容器 C 可在连接线较长的情况下抑制高频振荡。虽然通常只有在 BCR431 和 LED 之间接线超过几厘米时才有必要使用此电容器，但建议安放一个 10 nF 电容器以便提高抗噪性。

该器件最值得注意的特点是低压降 VLED,sat，能够以给定电源电压在灯串中驱动更多 LED，实现更长的 LED 灯条。有关如何确定灯串中 LED 的最大数量及最大灯条长度的详细信息，请参阅章节 一个灯串中的最大 LED 数目。

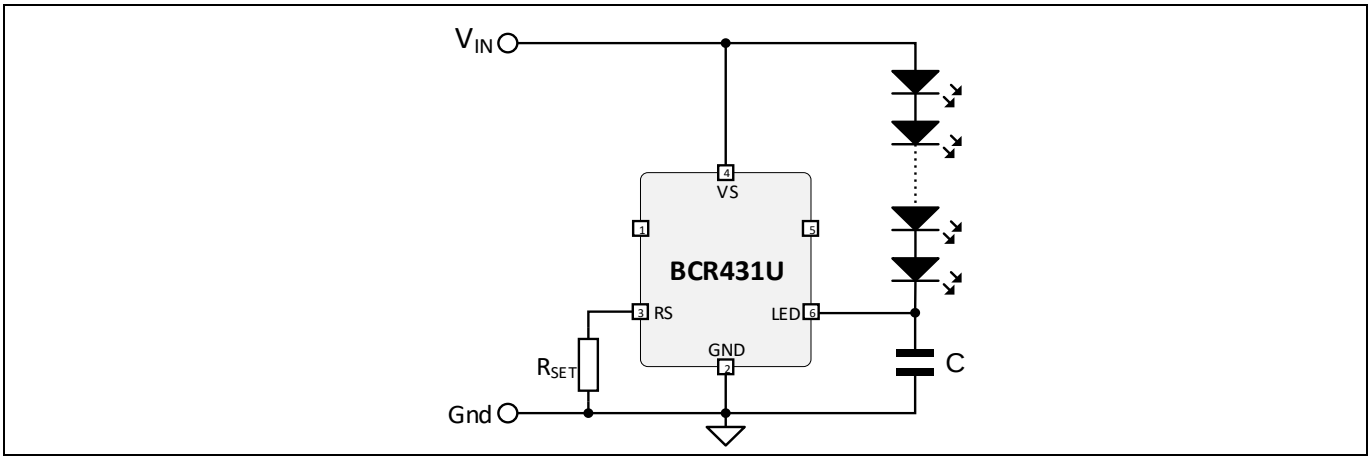


Figure 1 应用电路

BCR431U 概览和系统设计注意事项

虽然基本应用电路结构简单，但设计师必须考虑此基本电路可能应用于的系统的边界条件。

- AC-DC 转换器向 BCR431U 提供输入电压，精度通常为 ±3% 至 ±5%。
- 对于照明应用，AC-DC 转换器需要遵守 IEC 61000-3-2 线路谐波标准。因此，输出很可能包含明显的交流纹波和双倍线路频率。这甚至可能会进一步降低最小输出电压。
- 在驱动器可调光的情况下，这通常通过电源输出电压的脉冲宽度调制 (PWM) 来完成。

关于如何处理上述边界条件，另请参阅章节 3。

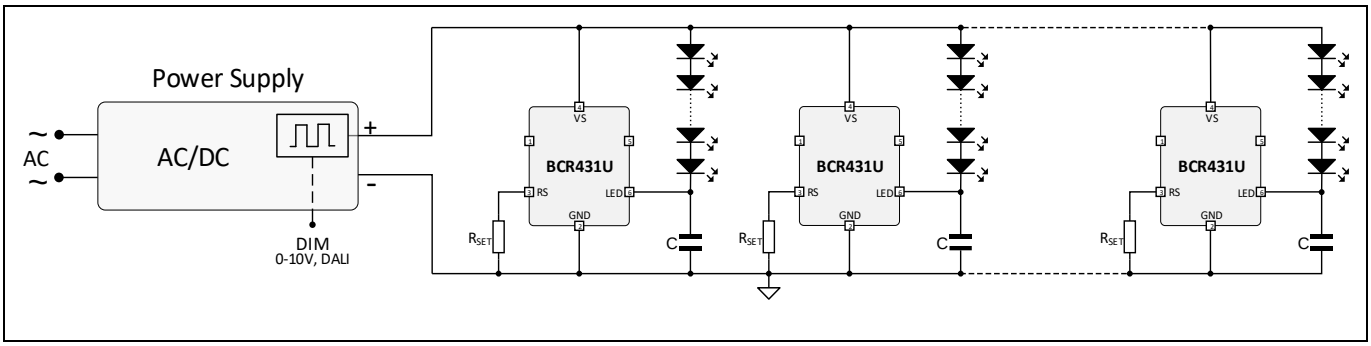


Figure 2　系统框图

2 BCR431U 应用

2.1 LED 电流设置

LED 电流是流经 RSET 的电流的 760 倍。考虑到 RS 引脚电压为恒定值 V_{RS} = 1.197 V，ILED 最终由以下等式确定：

$$I_{LED} = \frac{760 \cdot 1.197V}{R_{SET}}，或者纯数方程\ I_{LED} \cong \frac{909}{R_{SET}}$$

如果 RSET 值单位为 kΩ，则 ILED 单位将为 mA.

RSET 不用接地，而是可以选择连接至另一电压 VDIM（小于 VRS），以降低 ILED。然后，可以得出 ILED：

$$I_{LED} = \frac{760 \cdot (1.197V - V_{DIM})}{R_{SET}}$$

当 V_{RS} 被拉至高于 1.22 V 时，IC 会关闭，输出电流会降至 $I_{VLED,leak}$。这可用于对 LED 电流进行 PWM 控制。激活内部过热保护后，RS 引脚电压降低，输出电流也相应降低。

典型 LED 电流和 R_{SET} 如 I_{LED} 和 R_{SET} 所示。

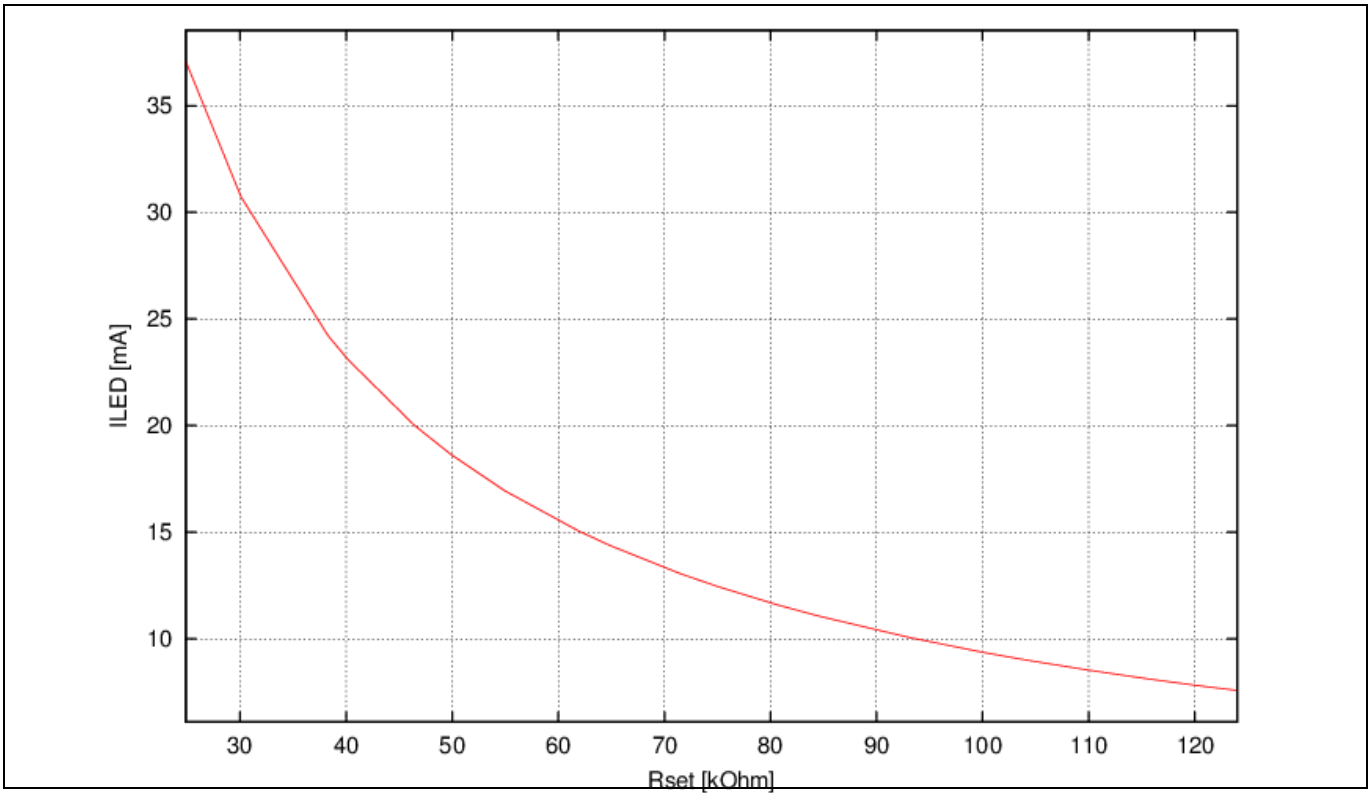


Figure 3 I_{LED} 和 R_{SET}

2.2 一个灯串中的最大 LED 数目

为提供稳定 LED 电流，LED 引脚电压 VDrop 至少需要处于最低压降 VLED,sat。

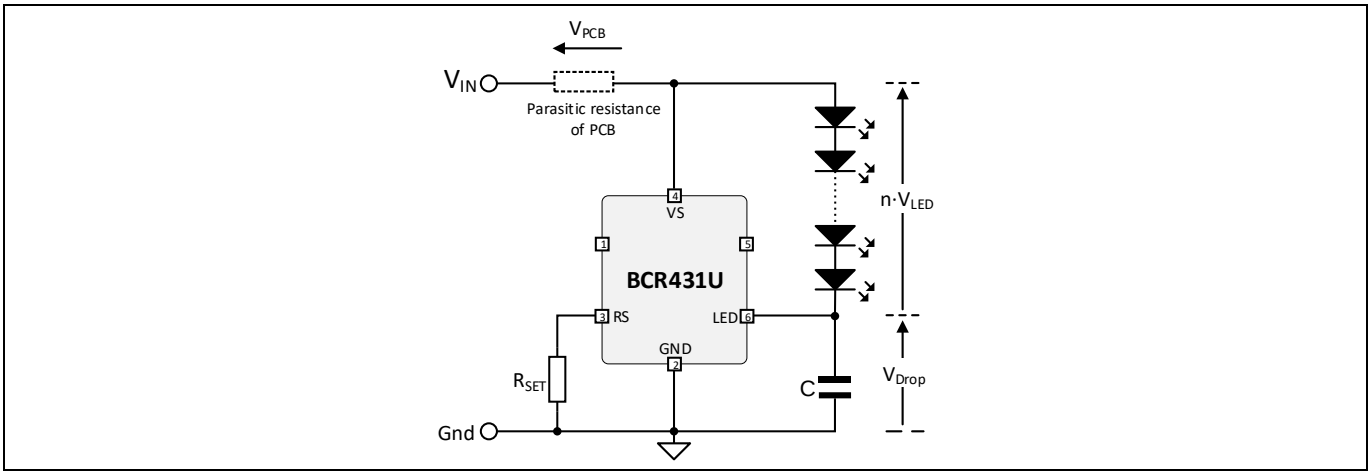


Figure 4　电压定义

其值由以下等式确定：

$$V_{LED,sat} \leq V_{Drop,min} = V_{IN,min} - n \cdot V_{LED,max} - V_{PCB}$$

在此等式中，考虑到 AC-DC 转换器的公差和输出纹波振幅，VIN,min 是最小电源电压。VLED,max 是一个 LED 在应用的最低环境温度下的最大压降，n 是一个灯串中的 LED 数量。最后，VPCB 是由于 PCB 导线电阻造成的压降。

虽然 VDrop,min 需要高于 VLED,sat，但应尽可能小，以便限制 BCR431U 的功耗。

通过上面等式换算，可以得出一个灯串中可能配备的最大 LED 数量：

$$n \leq \frac{V_{IN,min} - V_{PCB} - V_{LED,sat}}{V_{LED,max}}$$

很明显，对于给定 VIN,min、VPCB 和 VLED,max，一个灯串中的 LED 数量随着 VLED,sat 的降低而增加。

示例：

1. 假设以下设计参数：
   VIN,min = 23 V
   VLED,max = 3.2 V
   VPCB = 0 V
   VLED,sat = 1.5 V

$$n \leq \frac{23\ V - 1.5\ V}{3.2\ V} = 6.72$$

   结果是，在这些条件下灯串中最大 LED 数量为 6 个。

2. 所有参数与上述参数一致，但 VLED,sat = 0.2 V

$$n \leq \frac{23\ V - 0.2\ V}{3.2V} = 7.12$$

   通过减小 VDrop，一个灯串中可装配 7 个 LED，并且仍有一些额外的铜损裕度。

3. 同样，参数如 1 中所列，但 VLED,max = 2.8 V

$$n \leq \frac{23\ V - 1.5\ V}{2.8\ V} = 7.68$$

如果 LED 正向电压降低，那么能够以给定电压运行更多 LED（在此案例中为 7 个）也就不足为奇。

4. 参数与 1 中所列相同，但 VLED,max = 2.8 V，VDrop = 0.2 V

$$n \leq \frac{23\ V - 0.2\ V}{2.8V} = 8.14$$

由于低压降和低正向电压，一个灯串中可装配 8 个 LED。

2.3 热保护和功耗

BCR43x 系列采用高级热保护功能。在结温 TJ 达到 100° C 前，调节电流会保持其设定值，超过此温度即会逐渐减小。TJ = 120° C 时，电流降至设定值的 80%，最终在 TJ = 150° C 时达到标称值的 30%。

与以前产品的特性相比，热保护的定性行为如 **Figure 5** 所示。新保护方案的优势是即使在高达 100° C 的温度下也可以保持恒定的光输出，然后当温度升至更高时电流急剧下降，从而更好地保护应用。

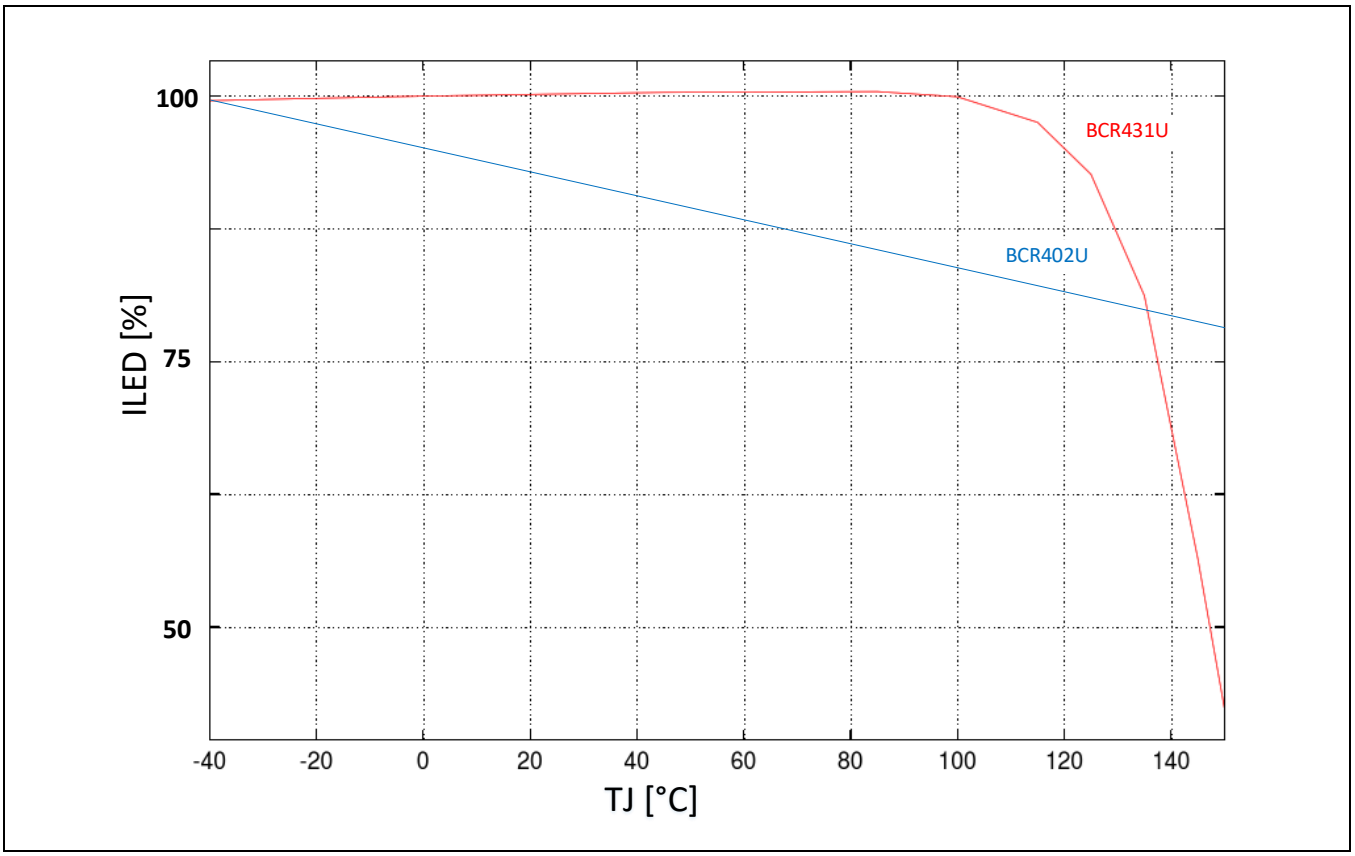


Figure 5 BCR431U 相较于 BCR402U 的过热保护特性

控制器的功耗取决于：

$$P_{diss} = (V_{IN,max} - n \cdot V_{LED,min}) \cdot I_{LED}$$

在此等式中，VIN,max 是最大电源电压，取决于电源的最大正公差，包括低频纹波，VLED,min 是给定温度下的最小 LED 正向电压。所有其他值已在上文中定义。然后，根据等式
$\Delta T = P_{diss,max} \cdot R_{thJA}$ 得出 IC 的温升

其中，R_{thJA} 是结到环境的热阻。后者取决于器件连接至的 PCB 导线面积。数据表中给出了不同 PCB 面积相应的值。给定应用的最大允许温升 ΔTmax 可通过最高环境温度 Tamb,max.
下最大结温应低于 100° C 这一事实来确定。这最终会导致以下状况：

BCR431U 应用

$$R_{thJA} \leq \frac{100\,°C - T_{amb,max}}{P_{diss,max}}$$

示例：

$V_{IN,max}$ = 25 V，$V_{LED,min}$ = 2.9 V，n = 7，I_{LED} = 35 mA 和 $T_{amb,max}$ = 70° C。那么

$$R_{thJA} \leq \frac{30\,°C}{0.035 \cdot (25\,V - 7 \cdot 2.9\,V)} = \frac{30\,K}{0.164W} \approx 180\frac{K}{W}$$

根据数据表，这是 300 mm² PCB 面积与接地引脚连接的热组。

3 高级 BCR431U 设计主题

3.1 最大灯条长度

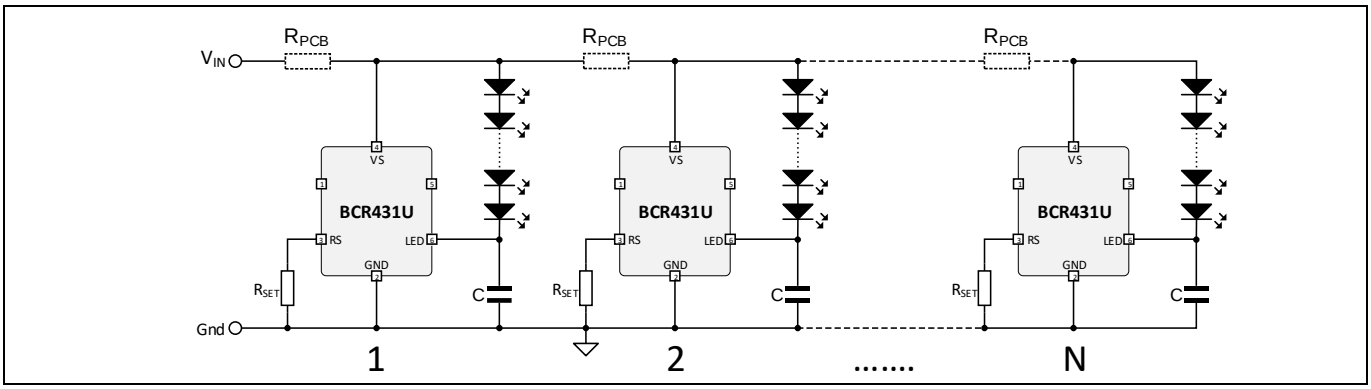


Figure 6 在 LED 灯条中，N 串 LED 通过电阻为 RPCB 的 PCB 导线并联连接

由于沿着铜导线存在压降，LED 灯条长度有限。为增加灯条长度，可以减少每个灯串中的 LED 数量以保留足够的电压裕度，或者在特定灯条长度下，需要增加供电点。第一种方法会增加调节器的损失，第二种方法会增加工作量和成本。对于灯串中 LED 数量给定的情况下，低压降调节器有助于增加灯条长度。

如 **Figure 6** 和 **Figure 12** 所示（章节 4），第一根铜导线传导所有后续灯串的电流之和，第二根铜导线传导的电流会减少一个 ILED，依此类推。从供电点至第 N 个灯串测得的总压降为：

$$V_{PCB} = R_{PCB} \cdot I_{LED} \cdot (1 + 2 + .. N) = R_{PCB} \cdot I_{LED} \cdot N \cdot (N + 1)$$

灯条最大长度的最终公式请参阅 4。

LED 灯条长度计算工具可轻松地计算最大段数和最大长度。

3.2 极性反接保护

在某些应用中，需要极性反接保护。不过，最明显的解决方案（将一个方向正确的二极管与正极电源轨串联）可能会导致高压降，即使是使用肖特基二极管。

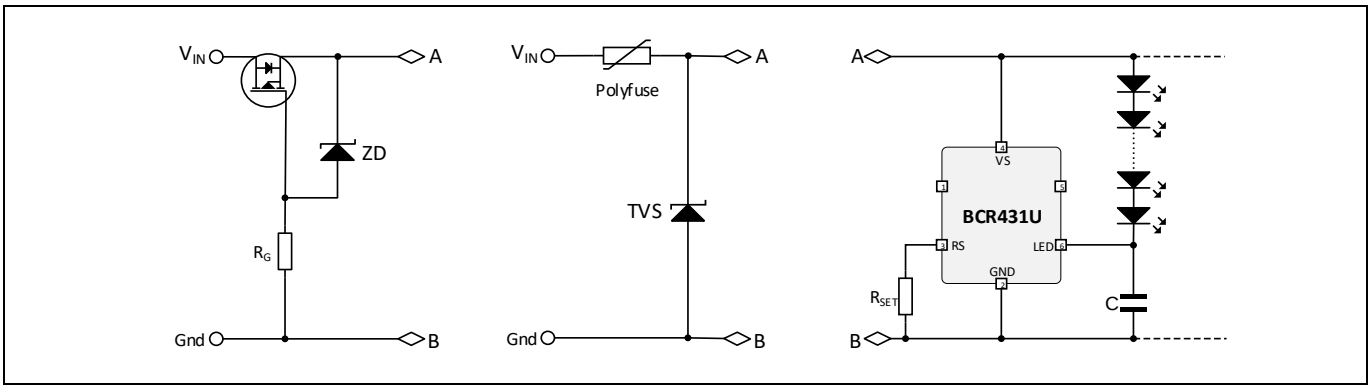


Figure 7 适用于极性反接保护的低压降解决方案

两个可能的解决方案如 **Figure 7** 所示。第一个使用 PMOS 和栅极保护电路（由一个电阻器和一个稳压二极管组成）。在此电路中，电压降取决于 MOSFET 的 RDS,on，并且可能大大小于二极管的相应值。MOS 的击穿电压需要高于预期的最高反向电压，稳压二极管的击穿电压需要小于 MOSFET 的最大栅极电压，但需要高于其 VGS,th。RG 可能大约为 10 kΩ。例如，MOSFET 可以选择 IRF5803TRPBF，其 VDS,max 为 -40 V，RDS,on 为 190 mΩ（VGS = -4.5 V 时）和 112 mΩ（VGS = -10 V 时）。稳压二极管的击穿电压应为 10 V，电阻为 10 kΩ。

第二个电路结合使用了聚合保险丝和 TVS。如果极性应用错误，则 TVS 会发生正向偏置并有效地使电源短路。由于电流增加，聚合保险丝将进入高欧姆状态，从而将电流限制为较小的值。此解决方案的优势是，选择适当的 TVS（即击穿电压仅稍高于预期的最大电源电压）也使系统在抵御过电压和浪涌事件方面具有很强的稳健性。

少数情况下，需要极性反接保护，且灯条可以在段之间切割成相应的长度，每段需要使用肖特基二极管进行保护，如 **Figure 8** 所示。例如，D1 至 DN 选择 BAS40LP 比较不错，其最大击穿电压为 40 V，最大电流为 120 mA。

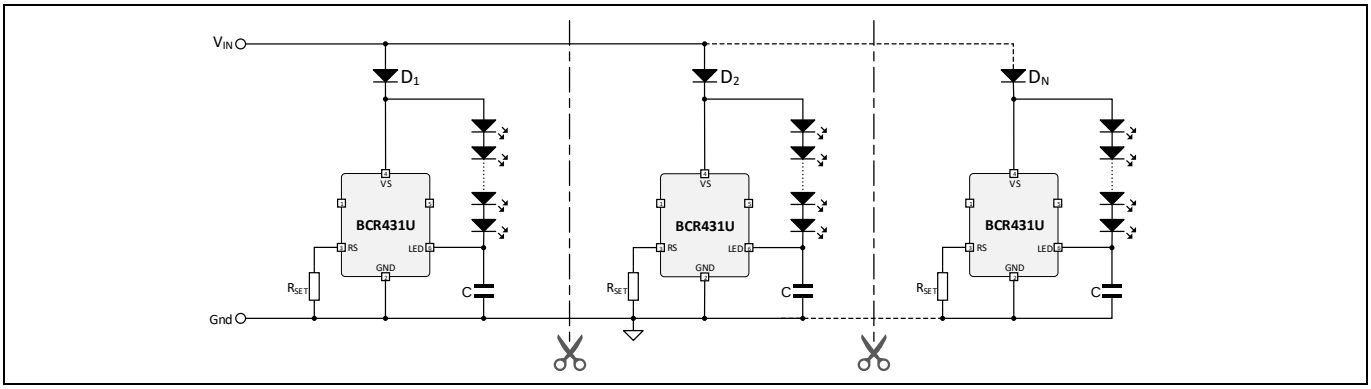


Figure 8　灯条在段之间切割情况下的极性反接保护

3.3　调光

几乎所有设计用于驱动 LED 灯条的可调光 LED 驱动器（即使用 CV 输出）都采用输出电压的 PWM 进行调光。此方法能够在 400 Hz 时实现 1% 的调光。由于成本原因，通常由一个串联到输出的开关来产生 PWM，而无需主动拉低。这意味着输出电压会在系统规定的时间常数内降至零，因此，如果占空比很高，那么在下一次接通前甚至可能达不到零。

要确保 BCR431U 在 PWM 下正常运行，则在下一次接通 VIN 之前，VS 必须降至 6 V 以下。这由 **Figure 9** 中的电路提供支持。在此电路中，VS 约为 9V，即使在高占空比下也会迅速降至 6 V 以下。

也可以通过 PWM 信号或直流电压来通过 RS 引脚进行调光。PWM 信号可由微控制器生成。其振幅不得超过 VRS,max 水平，以免损坏。此方法能够在 1 kHz 时实现 1% 的调光。

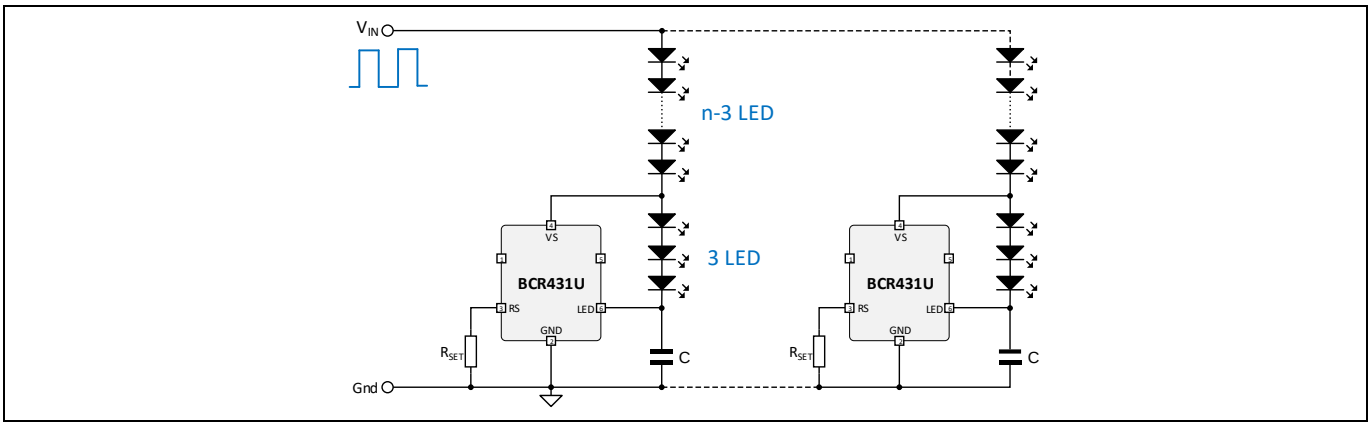


Figure 9 通过电源电压 PWM 调光

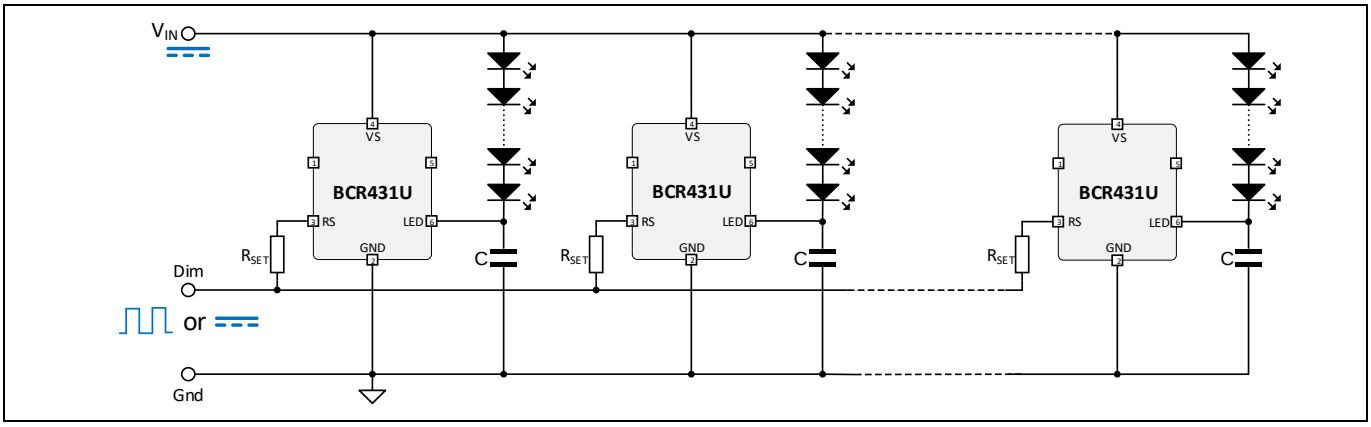


Figure 10 通过 RS 引脚进行 PWM 或模拟调光

3.4 系统 ESD

内部 ESD 经久耐用，可以为高达 4 kV 的系统上的 VS 引脚提供保护。要获得更高的 ESD 稳健性，建议使用外部组件（如 100 nF 陶瓷电容器）来限制 ESD 浪涌，如 **Figure 11** 所示。

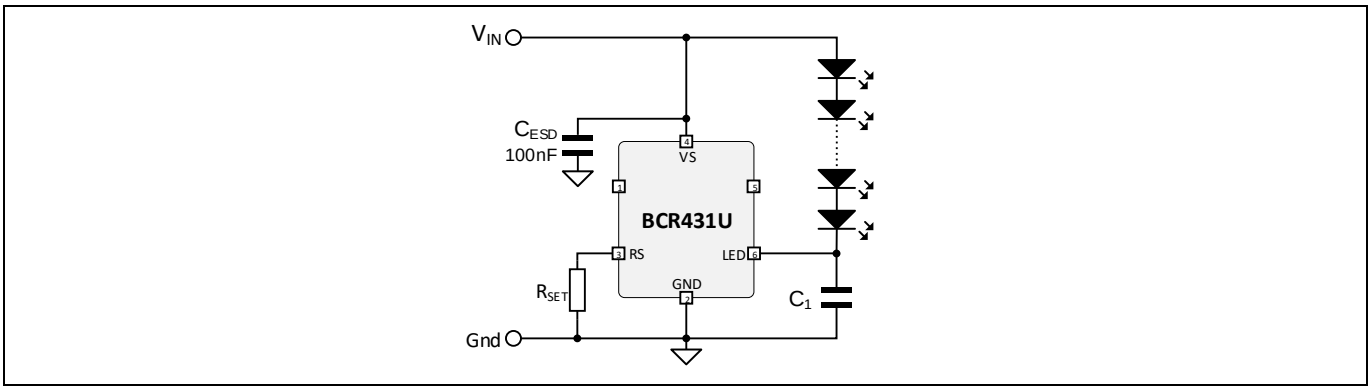


Figure 11　适用于恶劣浪涌环境的 ESD 防护和外部组件

4 附录：最大灯条长度计算

如章节 3 所述，灯条长度还受到沿着灯条 PCB 导线发生的压降的限制。最后一个灯串的电源电压 VSTR 需要足够高，以至少提供调节器的最低压降 VLED,sat。

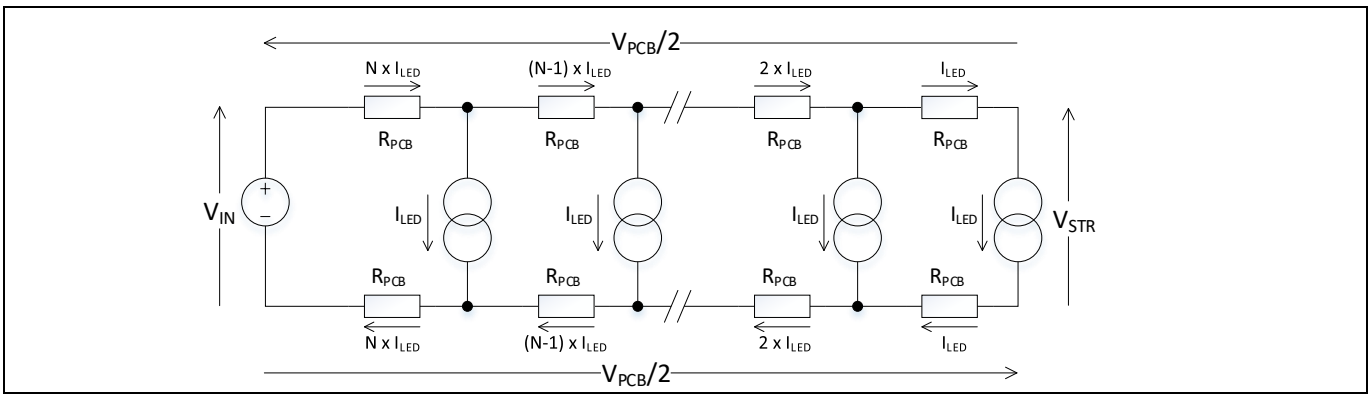


Figure 12 LED 灯串压降定义

$$V_{LED,sat} + n \cdot V_{LED,max} + V_{PCB} \leq V_{IN,min} \quad \text{with} \quad V_{PCB} = 2 \cdot R_{PCB} \cdot I_{LED} \cdot \mathrm{N} \cdot (\mathrm{N}+1)$$

因数 2 是鉴于正极和负极 PCB 导线会影响总电阻这一事实而取的。单段铜电阻：

$$R_{PCB} = \frac{\varrho \cdot l}{t \cdot h}$$

（l 段长 [m]、t 铜宽度 [mm]、h 铜厚度 [mm] 和ρ铜的特定电阻 $(0.0175 \frac{\Omega m}{mm^2})$。）
由此，可得出 N 的二次方程，其解为：

$$N \leq \sqrt{\frac{V_{IN,min} - n \cdot V_{LED,max} - V_{LED,sat}}{2 \cdot R_{PCB} \cdot I_{LED}} + \frac{1}{4}} + \frac{1}{2}$$

多段 LED 灯条的最大长度：$L_{max} = N \cdot l$

示例：

50 mm 段长、3 mm 导线宽度且铜厚度为 35 µm 的 LED 灯条其导线电阻为：

$$R_{PCB} = \frac{0.0175 \frac{\Omega m}{mm^2} \cdot 0.05m}{3mm \cdot 0.035mm} \cong \mathbf{8.25m\Omega}$$

VIN,min = 23 V，VLED,max = 3.2 V，n = 6，VLED,sat = 0.2 V 且 ILED = 35 mA 时，最大段数将为：

$$N \leq \sqrt{\frac{23V - 6 \cdot 3.2V - 0.2V}{0.0165\Omega \cdot 0.035\mathrm{A}} + \frac{1}{4}} + \frac{1}{2} = \mathbf{79.45}$$

这样可以得出最大段数为 79 段。灯条总长度为 79 0.05 m = 3.95 m

上述所有参数保持不变，但 VLED,sat = 1.5 V，则最大段数更改为：

附录：最大灯条长度计算

$$N \le \sqrt{\frac{23V - 6 \cdot 3.2V - 1.5V}{0.0165\Omega \cdot 0.035\mathrm{A}} + \frac{1}{4}} + \frac{1}{2} = \mathbf{63.61}$$

即 N = 63。灯条长度为 63 0.05 m = 3.15 m；共 16 段，相当于 0.8 m，比以前短。

5 修订历史

文件版本	发布日期	变更说明
V 1.0	2020-03-31	第一版

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

2020-03-31 版本
Published by
Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2020 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?
Email: erratum@infineon.com

Document reference
AN_1909_PL39_1911_081848

IMPORTANT NOTICE
The information contained in this application note is given as a hint for the implementation of the product only and shall in no event be regarded as a description or warranty of a certain functionality, condition or quality of the product. Before implementation of the product, the recipient of this application note must verify any function and other technical information given herein in the real application. Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind (including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party) with respect to any and all information given in this application note.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer ' s technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

For further information on the product, technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies office (**www.infineon.com**).

WARNINGS
Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies ' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.