用于可调光应用的 BCR602 线性 LED 控制器 IC

次级侧电流调节式 60V LED 光引擎的设计指南

BCR602

关于本文档

范围和目的

本文档介绍了 60V 线性 LED 线性电流调节器的分步设计指南。BCR602 包含交流电压纹波抑制、过热保护和热插拔保护等功能。BCR602 采用 SOT23-6 封装。

目标受众

本文档适用于需要设计具有交流线路纹波抑制保护的低成本高可靠性的线性 LED 调光解决方案的设计工程师、应用工程师和学生。

内容

关于本文档 1

内容 1

1 简介 3

1.1 产品亮点 3

1.2 引脚配置 3

1.3 BCR602 工作原理 3

1.4 内部框图 5

2 BCR602 详细说明 6

2.1 LED 电流调节 7

2.1.1 设置 LED 目标电流 7

2.1.2 BCR602 系统电源电压要求 8

2.1.3 BCR602 系统设计方面 9

2.1.4 BCR602 调光 11

2.1.4.1 BCR602 模拟调光 11

2.1.4.2 电阻调光 12

2.1.4.3 BCR602 PWM 调光 13

2.2 BCR602 调整元件选择 15

2.2.1 MOSFET 15

2.2.2 BJT 19

2.3 BCR602 热功率优化 19

2.4 过热、热插拔和短路保护 20

2.5 故障诊断 21

2.5.1 不稳定的电流调节 21

内容

2.5.2 BCR602 以及 Darlington BJT 22
3 **实施和设计步骤** 23
4 **参考文献** 24
Disclaimer 25

1 简介

本节概述了 BCR602 LED 系统的主要元件。

1.1 产品亮点

本节列出了 BCR602

- BCR602 工作电压范围 8 V 到 60 V 的电源的最重要功能。
- 支持使用 NPN 双极晶体管和 NMOSFET
- 高效电流控制回路可抑制 100 Hz/120 Hz 电源电压纹波
- 过热保护
- 通过电阻 R_{set} 或 *MFIO* 引脚处的直流电压实现 LED 电流的 3% 模拟调光
- 1% PWM 调光 LED 电流精度
- 6-引脚 PG-SOT23-6 封装
- 支持外部 PWM 调光，占空比低至 1%
- 热插拔能力

1.2 引脚配置

本节定义了 IC 每个引脚的用途。

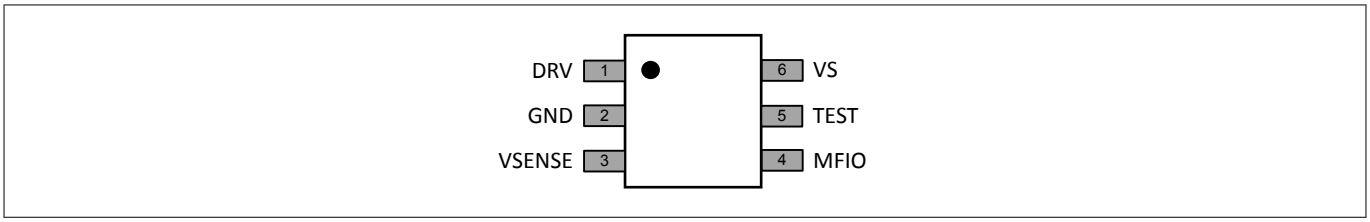


图 1 PG-SOT23-6 引脚输出

表 1 引脚配置

引脚编号	引脚名称	引脚类型	功能
1	*DRV*	输出端	用于控制外部晶体管的基极和栅极的驱动器输出端
2	*GND*	GND	IC 接地
3	*VSENSE*	输入端	测量 V_{sense} 电压
4	*MFIO*	输入端	电阻式调光（通过外部 R_{set}）、直流电压调光和 PWM 电压调光的多功能 IO
5	*TEST*	输出端	对于测试，不得将其直接接地。建议使 *测试* 引脚保持断开状态或在接地极连接一个 > 1 MΩ 的电阻。
6	*VS*	输入端	电源电压

1.3 BCR602 工作原理

本节介绍使用具有主动余量控制 (AHC) 的 BCR602 线性电流 控制器。

BCR602 是一款线性 LED 控制器 IC，通常位于具有电压输出端的 AC-DC 电源的次级侧。BCR602 可以控制与 LED 阵列串联的 MOSFET 或 BJT 晶体管等线性调整元件。BCR602 适用于光引擎。

1 简介

典型目标应用：

- LED 光引擎/模块，
- LED 替换灯。

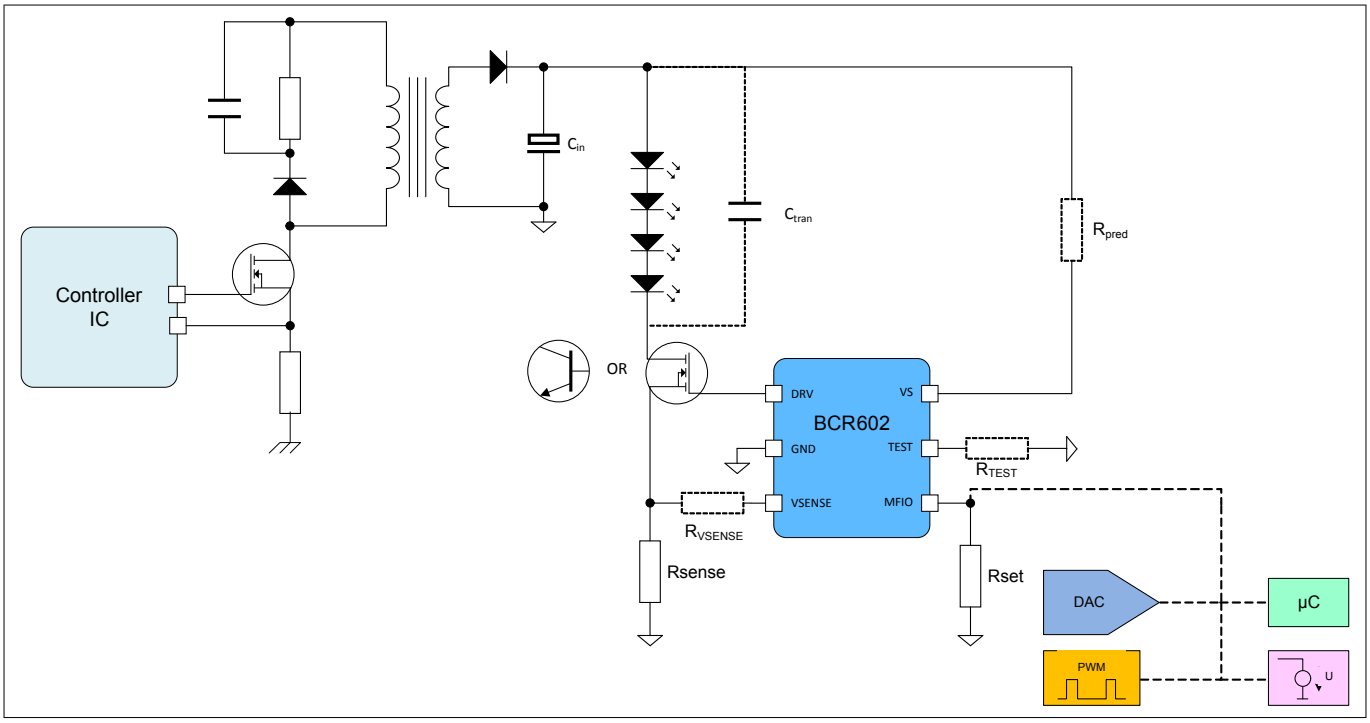


图 2 具有 AC-DC 转换器的 BCR602 典型应用

1.4 内部框图

本节介绍 BCR602 的简化内部框图。

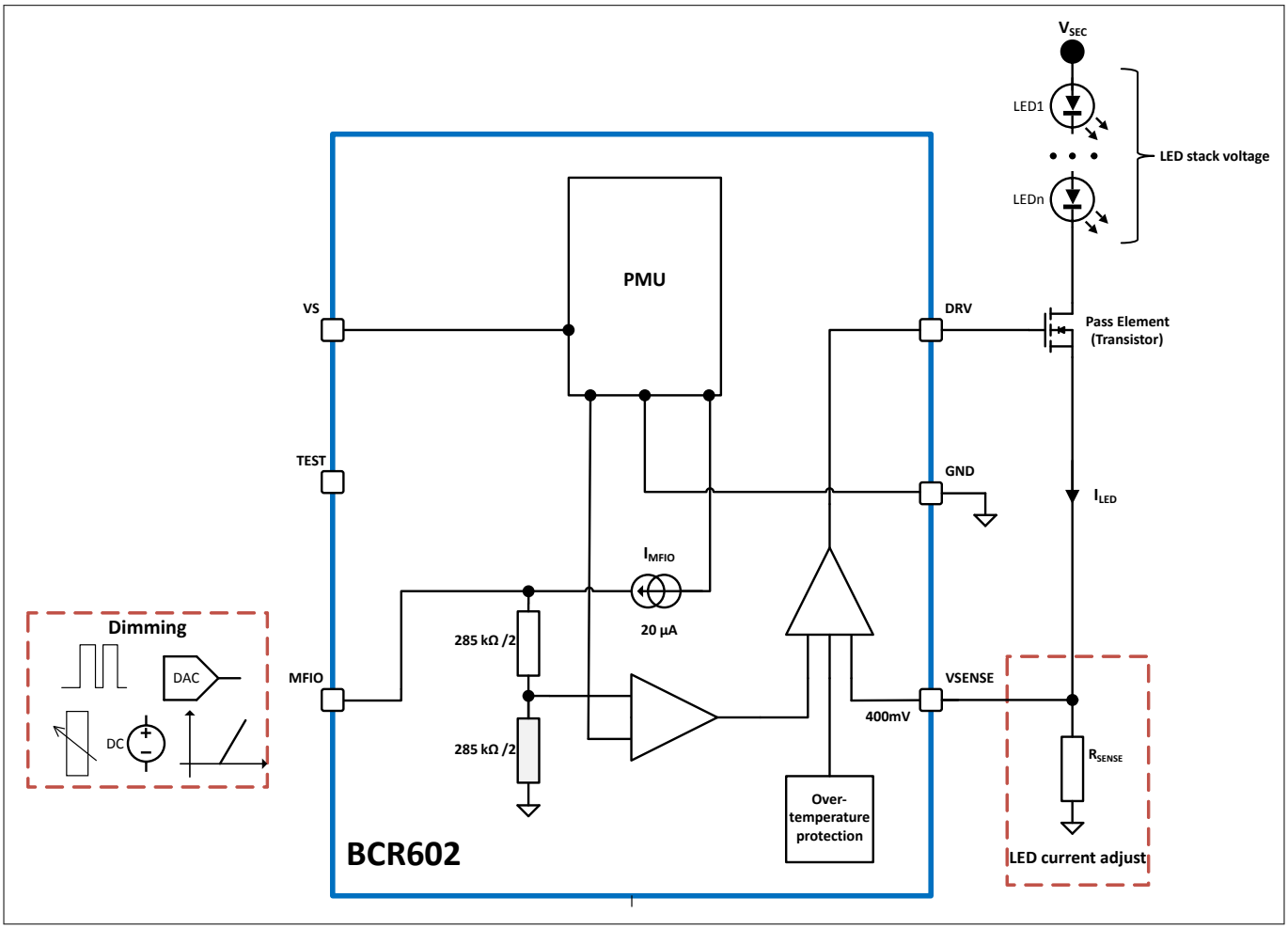


图 3 BCR602 框图

2 BCR602 详细说明

本节对 BCR602 的全功能和功率优化系统的特点和要求进行说明。

BCR602 用于需要大输入电压（高达 60 V）和效率优化的 LED 照明系统和光引擎中。LED 的正向电压会因电流密度（正向电流）和 LED 温度发生显著变化。这两个特点再加上因所用 LED 类型而导致的 LED 正向电压降变化，迫使设计人员要确保 LED 阵列和调整元件上的电压足够大，从而满足所有设计要求。LED 阵列电压和线性调整元件的输入电压之间的差值越大，系统的功耗和温度就越大。

图3 图示为 BCR602 IC 的简化内部框图。

BCR602 详细说明 章节（ BCR602 设计文件）可以指导设计人员如何使用和优化 BCR602 IC；主题包括：

电流回路

- 通过计算出的系统目标电流的电流感应电阻值来控制和调节 LED 阵列电流
- 如果使用大放大 Darlington-BJT，可选择调整电流回路

BCR602 和系统的功耗优化和保护。

- 最小化 IC 功耗

值得注意的功率晶体管的电气规格（调整元件）：

- 输入电容值
- 阈值电压
- 如果放大 BJT 电流

2.1 LED 电流调节

本节介绍电流反馈回路的配置和优化。

电流调节考虑事项：

- 消除 V_{IN+} 输入信号中的交流纹波；常规的交流纹波是非理想的直流信号，在双线频率上具有交流偏移，
- 保护 LED：
  - 使其免受过热应力，从而显著延长 LED 的使用寿命
  - 使其免受施加在 LED 阵列上的过电压
  - 使 LED 阵列得到短路保护

2.1.1 设置 LED 目标电流

本节介绍如何配置应用的目标电流。

LED 的最大电流通过引脚 *VSENSE* 与接地极之间连接的电流感应旁路电阻配置。

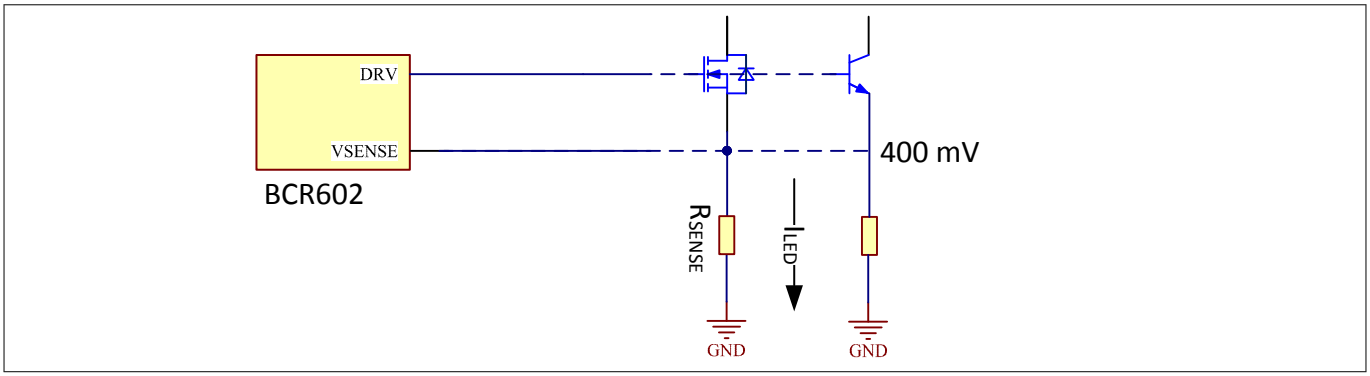


图 4 100% LED 电流设定点

图4 图示为使用 BCR602 的电流感应测量。在 100% LED 电流输出（无调光）时，BCR602 可以通过 LED 阵列调节电流，使旁路电阻两端的电压降为 400 mV。调光期间，采用了 400 mV 调节点的一小部分，最终值取决于调光百分比。

串联电流感应电阻的数值 (R_{SENSE}) 通过以下公式确定：

$$R_{SENSE} = \frac{400\ mV}{I_{LED}}$$

Equation Number **R_{SENSE} 配置**

2.1.2 BCR602 系统电源电压要求

本节介绍了输入电源要求和 BCR602 控制器的 LED 阵列限制。

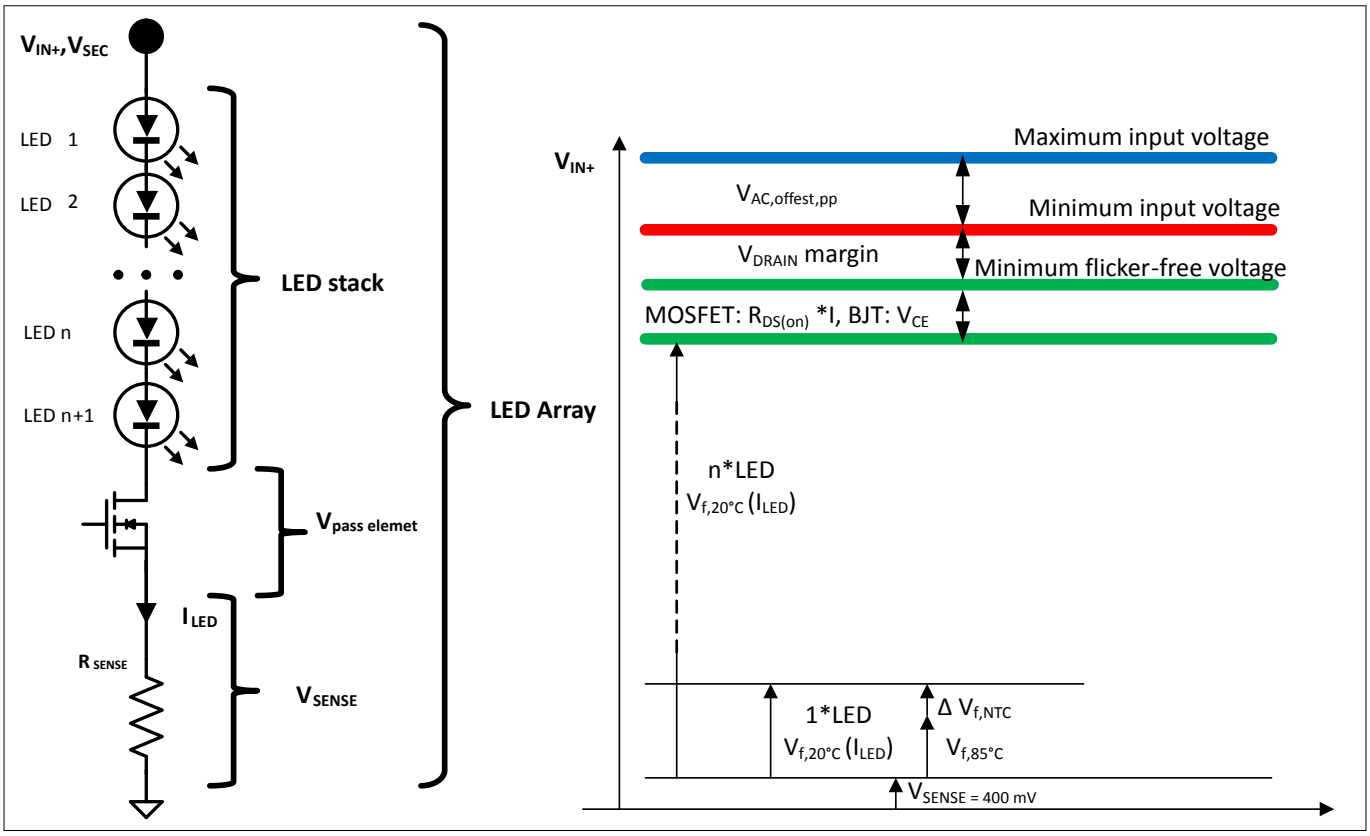


图 5 系统输入电压分量

图5 显示有助于系统输入电压的分量。

系统输入电压取决于

- VSENSE *电阻* 两端的电压降 V_{SENSE}
- 配置的最大 LED 电流
  - 每个 LED 的正向电压 $V_{f,LED}(I, T)$ 取决于
    - 给定电流 I，
    - 因为 LED 在工作温度时的负温度系数在最低温度时最高，
  - 调整元件两端的电压降，
    - 如果是 MOSFET V_{DS}，该电压降取决于 $R_{DS(on)}$，
    - 如果是 BJT V_{CE}，
- 在 BCR602 中，V_{OV} 是所有系统元件给定样品的最小输入电压与最坏情况之间的电压偏移。
- 输入电压的交流纹波。

1.MOSFET

$$V_{\text{IN+, target}}\left(n,\ I_{\text{target}},\ T,\ V_{\text{ACoffset, pp}},\ V_{\text{sense}}\right)$$
$$= n * V_{\text{LED}}\left(I_{\text{target}},\ T\right) + \frac{V_{\text{ACoffset, pp}}}{2} + V_{\text{sense}} + R_{\text{DS(on)}}\left(T\right) * I_{\text{target}} + V_{\text{var}}$$
$$= n * V_{\text{LED}}\left(I_{\text{target}},\ T\right) + \frac{V_{\text{ACoffset, pp}}}{2} + 400\ \text{mV} + R_{\text{DS(on)}}\left(T\right) * I_{\text{target}} + V_{\text{var}}$$

2.BJT

$$V_{\text{IN+, target}}\left(n,\ I_{\text{target}},\ T,\ V_{\text{ACoffset, pp}},\ V_{\text{sense}}\right)$$
$$= n * V_{\text{LED}}\left(I_{\text{target}},\ T\right) + \frac{V_{\text{ACoffset, pp}}}{2} + V_{\text{sense}} + V_{\text{CE}}\left(T\right) + V_{\text{var}}$$
$$= n * V_{\text{LED}}\left(I_{\text{target}},\ T\right) + \frac{V_{\text{ACoffset, pp}}}{2} + 400\ \text{mV} + V_{\text{CE}}\left(T\right) + V_{\text{var}}$$

Equation Number **系统输入电压 V_{IN+}**

对于所有参数，需要考虑最坏情况下的工作点。

- 在以下情况下，LED 阵列电压（次级侧电压）将达到最大值：
  - 通过 LED 灯串的电流将达到 100%（I_{LED} = 100%）
  - 并且，LED 组件的结温最低。
- 最大输出电压达到最大值的可能常见情况有，系统在最低工作温度下以 100% 负荷初次通电，
- MOSFET V_{DS} ($R_{DS(on)}$ * I_{LED}) 在全负荷和最高工作温度期间处于最大值。

2.1.3 BCR602 系统设计方面

本节对 BCR602 系统的功能和要求进行说明。系统的一个方面是受热限制的最大电流。设计 BCR602 系统时需要采用分步的方法。

BCR602 系统的设计步骤：

系统的亮度取决于

- 系统中的 LED 数量 *n*
- 系统的最大 LED 电流 I_{LED}

要达到该亮度，需要在整个工作范围内进行适当电流调节的系统输入电压，其中包括：

- LED 阵列电压确定
  - 系统中的 LED 数量 *n*
  - 系统的最大 LED 电流 I_{LED}
  - 在工作点使用的 LED 的总正向电压
  - VSENSE *电阻* 上的电压降

该输入电压随与变化相关的电压余量增大：

2 BCR602 详细说明

- 调整元件上的电压降，
  - 如果使用的是 MOSFET：$R_{DS(on)}*I_{LED}$
  - 如果使用的是 BJT：V_{CE}
- 叠加到从直流电源（初级侧）接收的输入信号上的交流纹波
- 考虑所用元件变化的余量
- LED 堆栈在工作温度下的最大正向电压与最大正向电压之间的差值

关于余量，该系统设计用于在一系列直流电源中提供最小的直流电压。超过此最小电压的直流电源会导致过电压。

$$V_{IN+,target,max} = V_{IN+,target}\left(1 + \frac{variation}{100}\right)$$
$$V_{IN+,target,min} = V_{IN+,target}\left(1 - \frac{variation}{100}\right)$$
$$\Delta V_{IN+,target} = V_{IN+,target,max} - V_{IN+,target,min} = 2 * V_{IN+,target,min} * \frac{variation}{100}$$

Equation Number **最大/最小输入电压**

因为 LED 的负温度系数，所以最大正向电压由环境温度确定。系统启动时，LED 的温度为环境温度。

$$\Delta_f = V_{f,\,T_{max}} - V_{f,\,T_{ambient}}$$

Equation Number **LED 正向电压增量**

$$V_{var} = n * \left(V_{f,\,LED,\,max} - V_{f,\,LED,\,min}\right) + V_{component\ variation} + 2 * V_{IN+,\,target,\,min} * \frac{variation}{100} = n * \Delta_f + V_{component\ variation} + 2 * V_{IN+,\,target,\,min} * \frac{variation}{100}$$

Equation Number **电压变化总和**

$$V_{DS|CE,\ power\ dissipipation} = \frac{V_{ACoffset,\,pp}}{2} + \left[R_{DS(on)} * I_{LED} \middle| V_{CE,\,min,\,Iled}\right] + n * \left(V_{f,\,LED,\,max} - V_{f,\,LED,\,min}\right) + V_{component\ variation} + 2 * V_{IN+,\,target,\,min} * \frac{variation}{100} = \frac{V_{ACoffset,\,pp}}{2} + \left[R_{DS(on)} * I_{LED} \middle| V_{CE,\,min,\,Iled}\right] + n * \Delta_f + V_{component\ variation} + 2 * V_{IN+,\,target,\,min} * \frac{variation}{100}$$

Equation Number **调整元件上的总电压**

$V_{component\ variation}$ 包含因 *VSENSE 的变化*和 LED 正向电压的元件变化引起的一些额外余量。通常，该值总计会在几百 mV 范围内。

$V_{DS|CE,\ power\ dissipation}$ 转化成了调整元件中的热量。所有热量将通过 LED 引擎的封装外壳散发，因此会导致调整元件和封装外壳的温度升高。该温升受封装外壳最大允许温度的限制。减小 LED 电流可以降低温升。因此，LED 最大电流 I_{max} 受以下因素限制：

- 最大封装外壳表面温度
- 调整元件的热阻 $R_{th(JA)}$

最大封装外壳表面温度是在系统机械外壳测量点测得的温度。

热阻

通过功率晶体管的热阻 R_{thJA} 确定晶体管上的最大功耗。

示例

OptiMOS™ BSP716N：R_{thJA} = 70 K/W,

最大封装外壳表面温度：90°C，

环境温度：20°C，

最大功耗： $P_{dissipation,\ max} = \frac{T_{J,\ max} - T_{ambient}}{R_{thJA}} = \frac{90°C - 20°C}{70K/W} = 1\ W$ 。

(1)

$I_{LED} < I_{max}$

(2)

$P_{diss,\ pass,\ max} = \frac{T_{max,\ case}}{R_{th(JA)}} = [V_{DS} | V_{CE}] * I_{max}$

(3)

$I_{max} = \frac{T_{max,\ case}}{R_{th(JA)} * V_{DS|CE,\ power\ dissipation}}$

Equation Number **最大系统电流**

因为输入电压变化与输入电压成正比，所以最大目标电流随 LED 数量的增多而下降。

对于总输入电压，请参阅章节 ***BCR602 系统电源电压要求***。

2.1.4 BCR602 调光

本节介绍 BCR602 系统中的调光方法和影响因素。

BCR602 LED 系统可通过以下方式调光：

- 通过引脚 *MFIO* *调光*
  - 施加 0 V 到 4 V 的直流信号（模拟调光）
  - 500 Hz 到 3.5 kHz 的 PWM 信号
  - 组合信号包括直流信号和 PWM 信号
  - 在引脚 *MFIO* 和接地极之间连接串联电阻 R_{SET}

2.1.4.1 BCR602 模拟调光

本节介绍通过在引脚 *MFIO* 处上施加直流电压进行调光的方法。

直流调光从最小调光电平 V_{MFIO} = 0.18 V 连续增大，直至无调光电平 V_{MFIO} = 3.3 V。

有关更多信息，请参阅数据表。

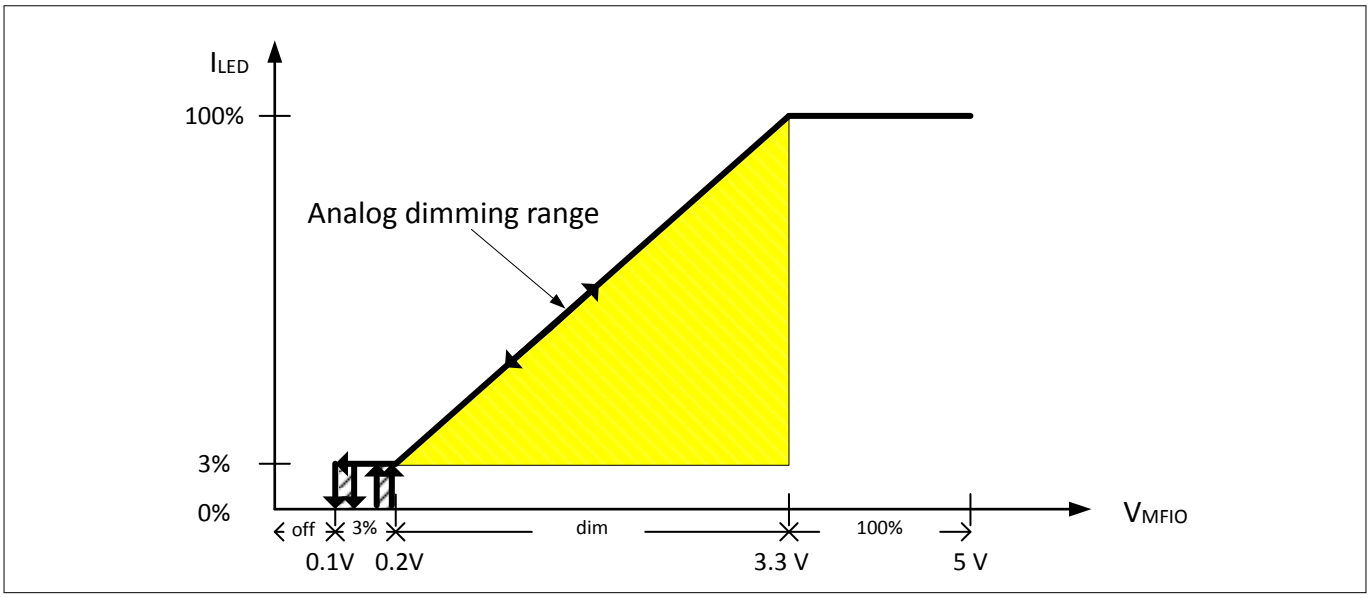
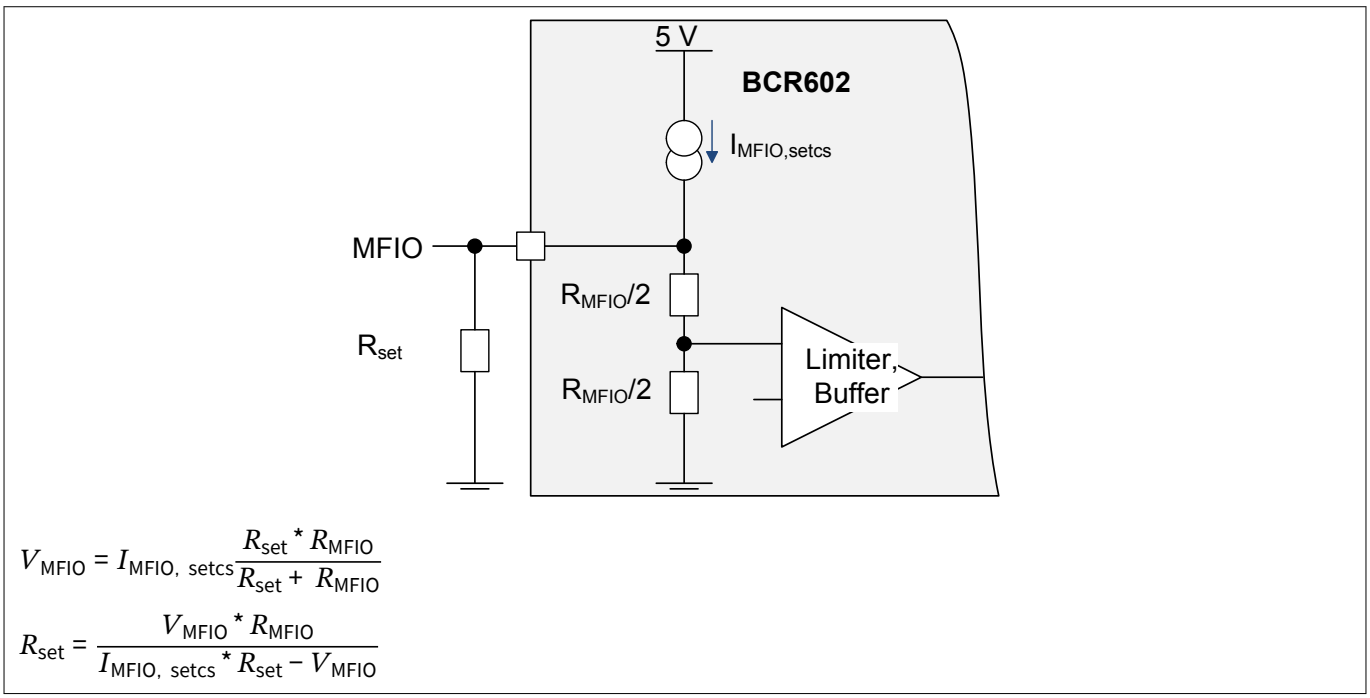


图 6 直流调光曲线

2.1.4.2 电阻调光

本节对使用外部电阻 R_{set} 调光到固定调光值进行说明。



$$V_{MFIO} = I_{MFIO,\ setcs} \frac{R_{set} * R_{MFIO}}{R_{set} + R_{MFIO}}$$

$$R_{set} = \frac{V_{MFIO} * R_{MFIO}}{I_{MFIO,\ setcs} * R_{set} - V_{MFIO}}$$

图 7 R_{set} 电阻调光的尺寸确定

图 8 介绍 R_{set} 和 V_{MFIO} 的有效值之间的关系。公式中使用的典型值有：

- $R_{MFIO,typical}$ = 285 kΩ，
- $I_{MFIO,setcs,typical}$ = 20 µA。

图 8 说明了 R_{set} 和在 V_{MFIO} 处看到的电压电平之间的关系。

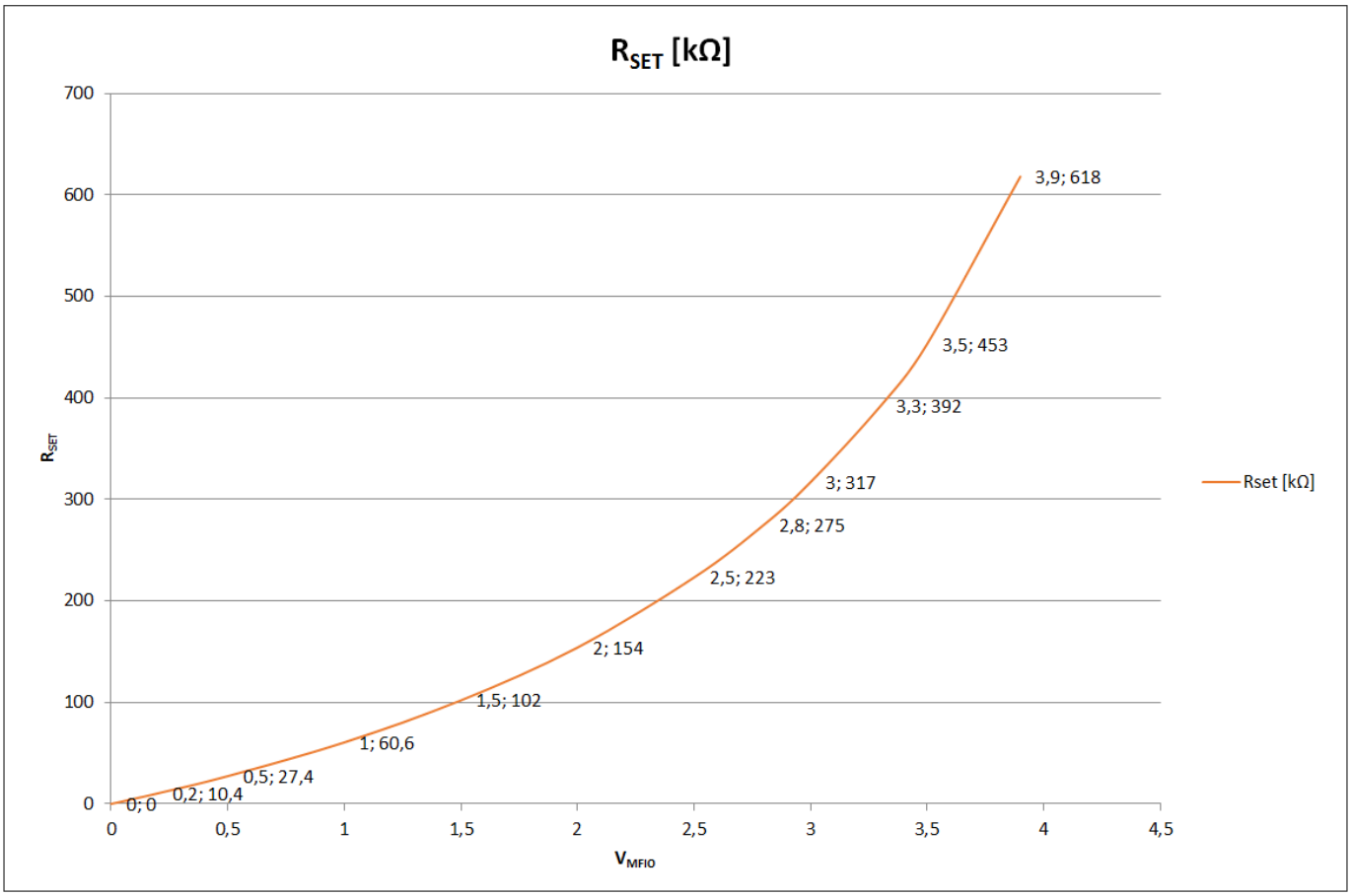


图 8　　R_{set} 与 V_{MFIO}

注:　　*图 8 显示了 R_{set} 值与有效的 V_{MFIO} 值的关系。根据图 6 中的公式确定曲线。($R_{set} \rightarrow V_{MFIO} \rightarrow I_{LED}$)*

2.1.4.3　BCR602 PWM 调光

本节介绍 BCR602 PWM 调光的影响因素。

对于调光，可以将 500 Hz 和 3.5 kHz 之间的任意频率施加到引脚 *MFIO* 上。占空比可以在 1% 到 100% 之间连续修改。要达到通过电阻 *VSENSE* 配置的全电流，有源相位的电压在工作条件下不得小于 3.3 V。

可以进行 PWM 和模拟（直流电压）组合调光。组合调光是在有源信号电平小于 3.3 V 时施加 PWM 信号。在这种情况下，*图 6* 中显示的直流调光曲线会与有效占空比的百分比合并。这可以在非常低的调光值下扩大调光范围。有关直流调光的要求，请参阅 *BCR602 模拟调光*。

$$I_{LED,\ combined\ dim} = I_{LED,\ dimDC} * \text{Duty cycle}$$

Equation Number　　**PWM 和直流组合调光**

2 BCR602 详细说明

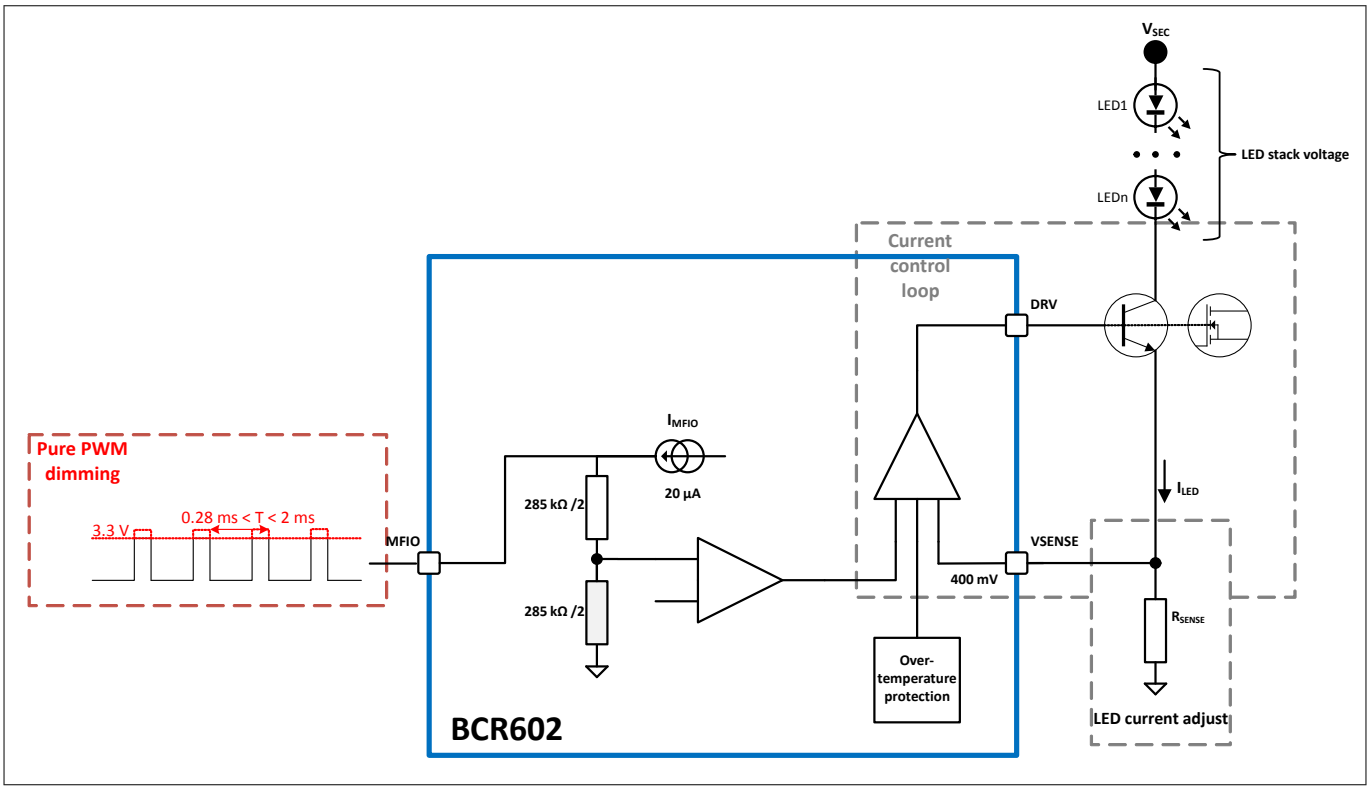


图 9 纯 PWM 调光

2.2 BCR602 调整元件选择

本节介绍电力 MOSFET 和 BJT 的要求。

注: 这是一个选择指南。本文从 BCR602 的角度概述了必需的元件参数。

在线性调节系统中，晶体管功耗 (P_{loss}) 传导损耗决定：

- MOSFET 的 V_{DS}*I_{DS}
- BJT 的 V_{CE}*I_C

选择 MOSFET 时应牢记这一点，低 $R_{DS(on)}$ 值是关键规格。

仅在低功率、低 LED 电流 (< 200 mA) 应用中推荐使用 BJT，并且此时成本是关键指标。

2.2.1 MOSFET

本节说明了使用 MOSFET 时的要求。

选择 MOSFET 时需要考虑的主要参数有（根据重要程度排序）

- 安全工作区 (SOA)
- 阈值电压 ($V_{GS(th)}$)
- 最大耗散功率 (P_D)
- $R_{DS(on)}$,
- 连续漏极电流 (I_D)
- 工作结温 (T_J)
- 信号响应特性
- 漏源击穿电压 ($V_{(BR)DSS}$)
- 栅极总电荷 Q_g
- 逻辑电平

注: 在表2 典型值中，请参阅参考设计。参考设计中配备了英飞凌 OptiMOS™ BSP716N。

表 2 MOSFET 参数选择

参数	选择标准	范围	BCR602 演示记录
SOA	V_{DS} 和 I_D 的关系必须符合 DC 曲线	请参阅该表格下方的说明	电压 2.8 V（此时电流 500 mA），请参阅 图11
$V_{GS(th)}$	MOSFET 的阈值电压最高为 4 V。理想的 PWM 信号在 PWM-开启和 PWM-关闭之间的相位过渡处具有矩形阶跃。直到达到阈值的时间都会导致响应延迟。因此，对于 PWM 应用程序，建议使用低阈值的 MOSFET，缺省设置为 2 V。	请参阅该表格下方的说明	2 V

表 2 MOSFET 参数选择 (continued)

参数	选择标准	范围	BCR602 演示记录
P_D	此电压的最大值与目标电流一起设定了所需的 MOSFET 的耗散功率。	> V_{DRAIN}* I_{LED}	1.8 W
$R_{DS(on)}$	$R_{DS(on)}$ 越高，MOSFET 的耗散功率就越大。通常，与输入信号上交流纹波引起的耗散功率相比，$R_{DS(on)}$ 引起的耗散功率可以忽略不计。	< 0.3 Ω	0.18 Ω
I_D	通过应用的目标电流加上余量设置	> I_{LED}+ 10%	2.3 A
T_J	应用程序系统条件加上一定的余量。为了更好地利用过热保护 (OTP) 功能，其应高于 $T_{OTP,on}$	> 140 °C	150 °C
信号响应特性 C_{iss}	通过 $\tau = R_{Gate}$* C_{iss} 设置。输入电容在电流控制回路中用作集成元件	< 3000 pF	237 pF
$V_{(BR)DSS}$	击穿电压受输入电压限制	> V_{IN+}+10%	75 V
Q_g	调光时，栅极电荷对电流的快速过渡来说很重要	< 60 nC	8.7 nC

$V_{GS(th)}$ 选择

为了安全选择具有适当阈值的 MOSFET：

- $V_{GS(th),max}$ < 4.5 V，
- 必须评估 $V_{GS(th)}$ 的最大值和典型值之间的余量，例如当 $V_{GS(th),max}$ = 1.8 V 而 $V_{GS(th),typical}$ 时，此时的系数为 $\gamma = \frac{V_{GS(th),\ max}}{V_{GS(th),\ typical}}$
- 在 MOSFET 的数据表中，检查典型的转移特性曲线，评估电压值 V_{GS}（对应于您的目标电流 $V_{GS,target,evaluated}$）；请参阅 ***图 10***，注意该图显示的典型值，
- 将确定的电压 $V_{GS,I\text{-}target}$ 乘以系数 y，
- 得出的电压值必须满足公式 $V_{GS,\ target,\ max} = \gamma * V_{GS,\ target,\ evaluated} < 4.5\ V$ 。

注: 通常，使用的 MOSFET 的数据表中的最小值和最大值之间的偏差 $V_{GS(th)}$ 非常大。而且，它是在极低的漏极电流（例如 100 µA 或 250 µA）下测量的。

2 BCR602 详细说明

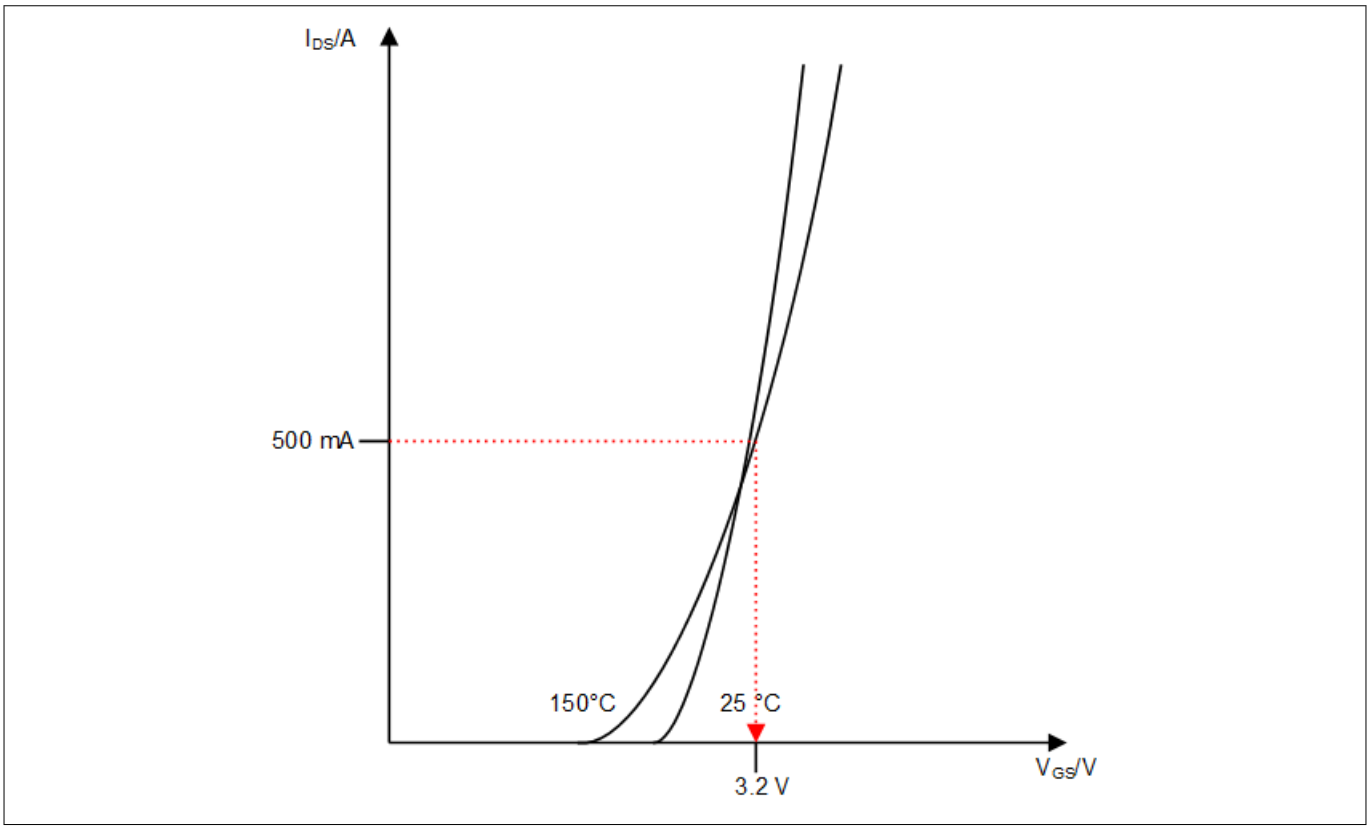


图 10　　典型的转移特性曲线示例

安全工作区 (SOA)

用于线性调节系统的 MOSFET 的 SOA 曲线是确保 MOSFET 满足系统设计要求的重要图表。选择系统中 MOSFET 的工作条件时，请使用最坏情况下的电压 (V_{DS}) 和电流 (I_{LED}, I_{DS}) 工作点。这些可以在 DC 图中找到。要进行优化，请参阅 ***LED 电流调节*** 和 ***功耗优化***。

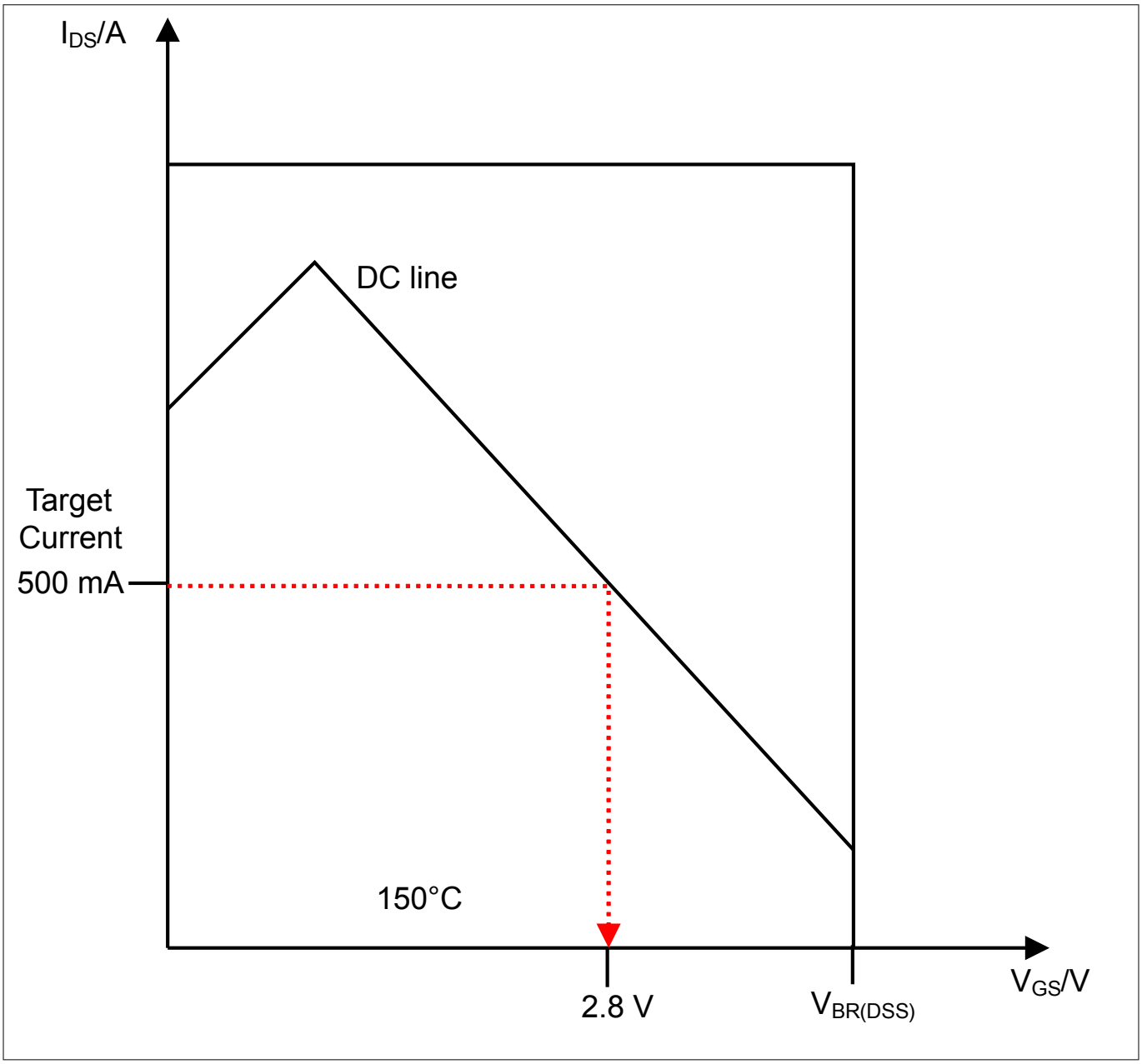


图 11　　MOSFET SOA 的示例

逻辑电平

使用的 MOSFET 应为“逻辑电平”类型。非逻辑电平类型的 MOSFET 需要更高的电平 V_{GS}。使用“逻辑电平”类型的 MOSFET，电流控制更稳定，因为控制器输出具有更大的控制范围。

推荐选用的 MOSFET

该列表给出了推荐选用的 MOSFET。

表 3 推荐选用的 MOSFET

类型	封装	$V_{gs,typ}$	$V_{gs,max}$	V_{gs}（对应的指定 $R_{DS(on),max}$ 值）	V_{DRAIN} = 2 V DC 时，SOA 的最大电流	V_{DRAIN}= 5 V DC 时，SOA 的最大电流
BSP761N	SOT-223	1.4 V	1.8 V	180 mV/4.5V	0.9 A	0.2 A
BSP372N	SOT-223	1.4 V	1.8 V	270 mV/4.5V	0.9 A	0.1 A

2.2.2 BJT

本节对所使用的 BJT 的要求进行说明。

选择时要考虑的主要 BJT 参数有（根据重要程度订购）：

- 直流电流增益
- I_B = 0 时的集电极-发射机击穿电压 ($V_{(BR)CEO}$)
- 集电极-基极的击穿电压 ($V_{(BR)CBO}$)
- 连续集电极电流 (I_C)
- 总功耗 (P_D)
- 工作结温 (T_J)

表 4 BJT 选择参数

参数	选择标准	范围
直流电流增益	必须达到系统的目标电流	$h_{FE} > \frac{I_{target}}{I_{DRV,\ source}}$
$V_{(BR)CEO}$	通过系统配置设置，大于 BCR602 系统的输入电压	> V_{IN+}+10%
$V_{(BR)CBO}$	通过系统配置设置，大于 BCR602 系统的输入电压	> V_{IN+}+10%
I_C	通过应用的目标电流加上余量设置	> I_{target}+ 10%
P_D	正确的电流调节需要剩余的 $V_{Collector}$ 偏移电压。此电压的最大值与目标电流一起设定了所需的 BJT 的功耗。	> $V_{collector}$* I_{LED}
T_J	应用程序系统条件加上一定的余量。为了更好地利用 OVP 保护功能，它应大于 $T_{OTP,on}$	140°C

2.3 BCR602 热功率优化

本节对如何优化 BCR602 的功耗进行说明。

总电流消耗包括 IC 自供电源电流消耗加上 DRV 电源电流消耗。

BCR602 的自供电源电流消耗高达 2.2 mA。

必须 *将*-10 mA 的引脚 DRV 上可能的最大电源电流加到此电流上。引脚 *DRV 上较高的电源电流* 通常在 BJT 的 h_{FE} 较低的情况下，BJT 被用作调整元件时出现。

在持续调光并使用 MOSFET 的静态工作条件下， *DRV* 电流分量可以忽略不计。

PWM 模式

对于 MOSFET 和 BJT，PWM 可以增大引脚 DRV 上的峰电流。

IC 功耗计算

BCR602 功耗： $P_{BCR} = V_S * I_{BCR,\ total}$

BCR602 的功耗可以通过减小施加在 *VS* 引脚上的电压降低减小 *VS* 上的电压，可以在输入电压 V_{IN+} 和 *VS* 之间增加串联电阻实现上述目的。

VS 串联电阻功耗： $P_{Rpred} = R_{pred} * I^2_{BCR,\ \blacksquare\blacksquare}$

BCR602 当次级侧输出电压较大（高电压 LED 阵列）时，建议增加电阻降低功耗。为确保正确启动 IC，*VS* 上 IC 的电源电压不得降到最小工作电压 8 V 以下。

如果为 PWM，引脚 *VS* 上的电压在 PWM-开启边沿时下降到 8 V 以下可能导致目标 *DRV* 电压延迟，进而引起调光幅度比预期大，并且调光曲线呈非线性。

$$V_{VS} > 8\ V$$

Equation Number **IC 电源电压要求**

$$I_{BCR,\ VS,\ max} = 12.2\ mA$$

Equation Number **最大 IC 电流消耗（依据数据表）**

在电阻的保护下，IC 的最大功耗可降低到：

$$P_{BCR,\ 8\ V,\ wc} = 8\ V * 12.2\ mA = 97.6\ mW$$

Equation Number **V_{VS} = 8 V 时的最大 IC 功耗**

为避免下降到最小 IC 电源电源以下，必须满足 ***Equation Number***。

$$R_{pred} < \frac{V_{in+} - 8\ V}{I_{BCR,\ 8V,\ wc}} \Leftrightarrow R_{pred} < \frac{V_{in+}}{12.2\ mA} - 656\ \Omega \Leftrightarrow R_{pred} < \frac{V_{in+}}{12.2\ mA} - 656\ \Omega$$

Equation Number **最大 R_{pred}**

2.4 过热、热插拔和短路保护

此外，OVP 保护 BCR602 还提供过热保护、热插拔保护以及 LED 短路保护。

为进行过热保护，使用了内部 IC 传感器。此保护无需进行其他配置步骤。过热保护在结温 140°C 时激活。激活后，I_{LED} 降低到三分之一。请参阅数据表。

热插拔保护可以避免 LED 阵列在开启和连接阶段发生尖脉冲和浪涌。此保护无需进行其他配置步骤。只要 V_{SENSE} 低于 8 mV，就会激活热插拔保护。在此期间，I_{LED} 将被限制为 $I_{LED,max}$ 的 4%，方法是将 *VSENSE* 的参考电压从 400 mV 减小到 16 mV。重新连接时，这会保护 LED 灯串免受浪涌电流的影响。

如果一个或多个 LED 发生短路，给定的 LED 电流就不会偏离其设定点。。

2.5 故障诊断

不稳定电流调节的原因可能是：

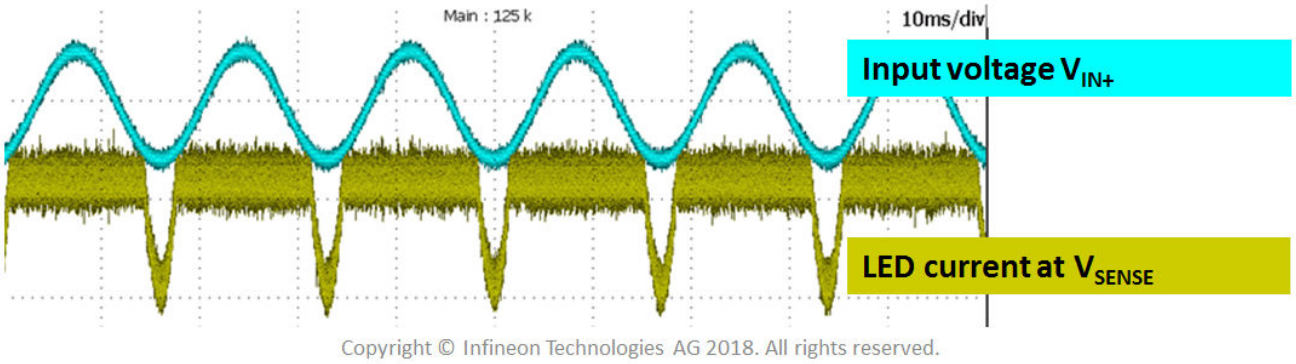
- 输入电压 (V_{IN+}) 不足，即功率晶体管上的电压降太低
- 在 BJT 情况下，通过过高的电流放大 h_{FE}。这种效应通常只影响 Darlington 晶体管。

2.5.1 不稳定的电流调节

本节介绍了由于次级侧输出电压 (V_{IN+}) 的电压余量不足而导致的电流调节回路不稳定的影响。

通常，LED 电流调节损失是系统输入电压电平 (V_{IN+}) 不足的结果。当系统输入端的交流电压纹波处于最低点时，可以观察到系统电压不足的最初指示。此时，调整元件上的余量不足以维持电流调节。（请参见 ***图 12***。）

因此，交流偏移的大小还可以定义晶体管两端的最小电压降。交流偏移的峰-峰值越高，晶体管两端所需的平均电压降也越高。



Copyright © Infineon Technologies AG 2018. All rights reserved.

图示

- 蓝色：V_{IN+} - 输入电压，
- 黄色：V_{SENSE} - LED 电流感应。

图 12 V_{IN+} 值过低引起的部分电流控制损失

如果 U_{DS} 处的电压降过高，导致 V_{IN+} 的最小相位中的电阻的感应电压下降至 V_{SENSE} 并且小于 8 mV，则随后的升高也表明了热插拔机构的影响。（请参见 ***过热、热插拔和短路保护***。）

如果平均电压 V_{IN+} 太低而无法在正弦信号整个相位 0 期间达到 V_{MFIO} 给定的设定点，则仅当 V_{IN+} 足够高允许显著的 V_{DS} 电压降（对于 MOSFET） V_{CE} 电压降（对于 BJT）时，才会在相位上产生电流。因为在这些相位中为线性模式，所以会产生同相且与 V_{IN+} 成正比的电流。

注: V_{IN+} 电平不足的情况可以通过调光检测，这表示可以减小 V_{MFIO}。在适当的调光电平下，要求的电流电平较低，因此无调光情况下的 LED 闪烁会变为稳定状态。在这些情况下，必须增大 V_{IN+}。

2.5.2 BCR602 以及 Darlington BJT

本节对使用 BJT 时要考虑的因素进行说明。

可以使用具有大电流放大倍数 (h_{FE}) 的 Darlington 晶体管和 BJT，但是电流调节反馈回路可能需要放缓，以补偿其增大的放大倍数。

注: 本节所有内容还适用于具有大 h_{FE} 的标准 BJT。

可以通过减小电流反馈响应来保持电流反馈稳定性，这可以通过在环路的基极、BCR602 的 DRV 引脚以及晶体管的集电极之间连接一个额外的电容来实现。

补救

表 5 列出了一些具有高电流放大倍数的 BJT 和最小电容尺寸，以消除高增益引起的震荡。

图 13 显示了如何放置密勒电容。

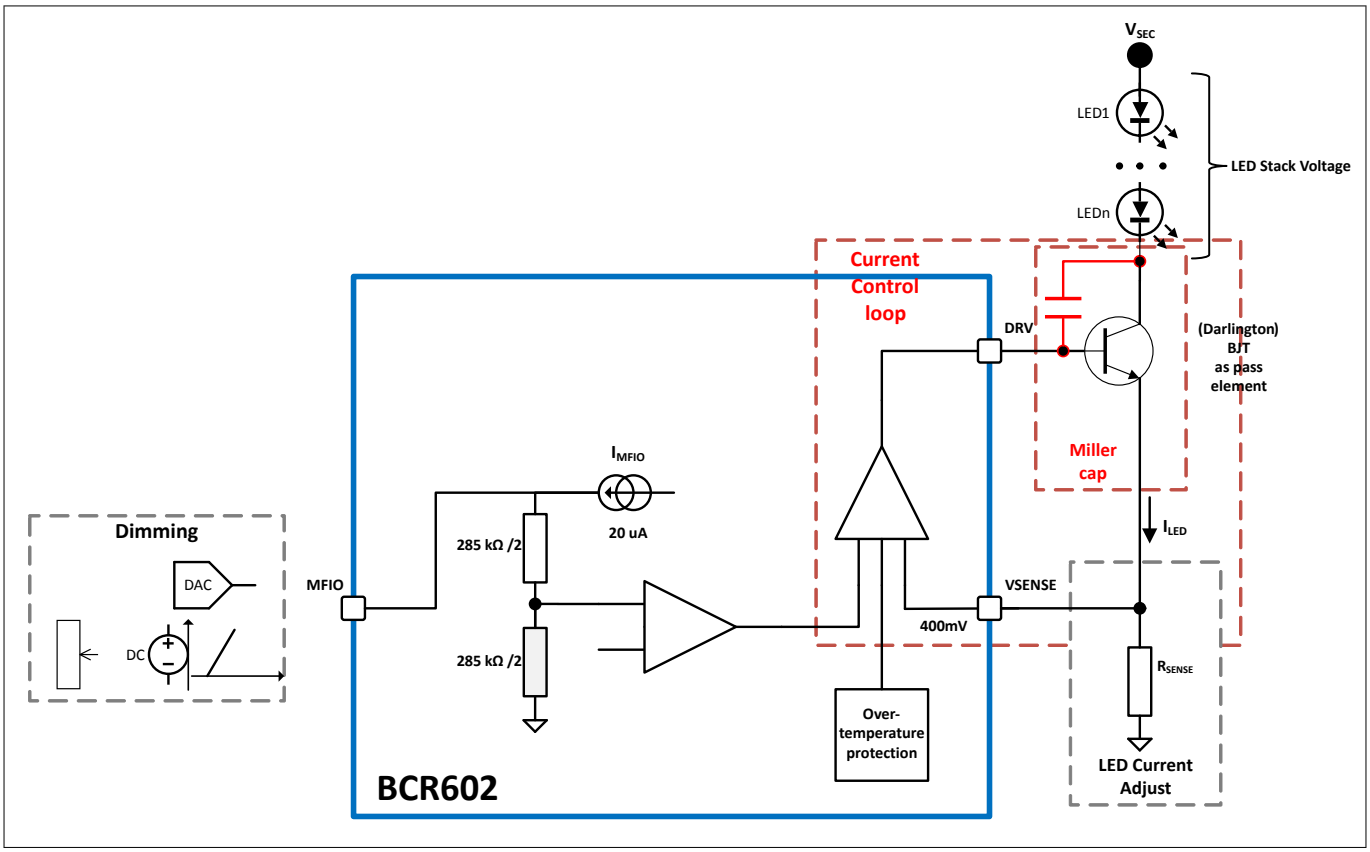


图 13 用于稳定电流控制回路的密勒电容

表 5 200 mA 的系统中不同直流电流增益下的最小密勒电容

BJT	类型	h_{FE}	C [nF]
TIP-122	Darlington	1000	68
NZT7053	Darlington	1000	56
MJF6039	Darlington	2500	100
NZT602	标准	5000	100

注: 直流电流增益 h_{FE}（依据设备的数据表）。

3 实施和设计步骤

本节对设计步骤进行说明并给出两个应用示例。

设计步骤：

1. 选择：
   a. LED 类型和数量，
   b. 目标输出电流和系统中 LED 的数量
   c. 电源输入电压和功率
   d. 用于线性控制的功率晶体管
2. 选择用于电流控制回路的 *VSENSE* 晶体管。电阻必须满足目标电流要求的功率下降的功率等级。
3. 检查 IC 供电电平 $8\ V < V_S < 60\ V$
   a. 计算最高的直流输入电压。最高输入电压假定为元件（特别是 LED）在工作期间可达到的最高正向电压。
   b. 计算系统的最大输出功率，包括初级侧和次级侧。初级侧必须满足次级侧的功率限制。
   c. 检查功率晶体管的发热状况；功率晶体管的加热不得违反系统的峰值发热状况。

。

有关目标电流与功率晶体管上最大功耗的兼容性，请参阅章节 ***BCR602 系统设计方面***。

有关功率晶体管的功率选择，请参阅 ***BCR602 调整元件选择***。

通常，输入级为 ACDC 级。ACDC 级通常通过 PCF/Flyback 实现，如英飞凌 XDPL8218。通常，输入电压会被交流纹波抵消。该交流纹波可以通过增大输入电容降低，并且必须考虑散热方面的因素。请参阅 ***发热极限***。

4 参考文献

本章包含对本设计指南有用的文档参考文献。

1. Jürgen Helmschmidt，BCR602 工程技术报告，英飞凌科技，2018 年慕尼黑
2. Jürgen Helmschmidt，BCR602 数据表，英飞凌科技，2018 年慕尼黑
3. BCR602 应用电路板示意图与印刷电路板，英飞凌科技，2018 年慕尼黑。

Trademarks

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

Edition 2019-12-09

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2019 Infineon Technologies AG

All Rights Reserved.

Do you have a question about any aspect of this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
IFX-ydf1525435906824

IMPORTANT NOTICE

The information given in this document shall in no event be regarded as a guarantee of conditions or characteristics (“Beschaffenheitsgarantie”).

With respect to any examples, hints or any typical values stated herein and/or any information regarding the application of the product, 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.

In addition, any information given in this document is subject to customer’s compliance with its obligations stated in this document and any applicable legal requirements, norms and standards concerning customer’s products and any use of the product of Infineon Technologies in customer’s applications.

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.

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