

基于线性LED驱动器NSL21912的 热共享功能解析

AN-14-0001

作者：Lanxin Nie, Jiexiu He, Jian Deng, Sidong Wang



基于线性LED驱动器NSL21912的 热共享功能解析

摘 要

LED通常采用恒流驱动。线性LED驱动芯片的供电电压需根据LED灯串的最大正向电压来决定，以保证通道恒流。较高的供电电压以及较大的通道输出电流会导致功率损耗和发热问题，需通过热分析确保器件的工作结温得到较好控制。

NSL21912是一款集成了热共享功能的20V/12通道高边LED驱动芯片。该功能通过外部分流电阻调节芯片功耗，从而有效缓解芯片发热问题。

本应用笔记首先阐述热共享功能的基本工作原理。然后，介绍NSL21912热共享功能的测试方法与结果，并验证该功能的有效性。最后，给出一个设计示例，以帮助用户更好地进行基于NSL21912的热共享设计。

目 录

1. 热共享功能描述	2
2. 热性能	5
3. 设计流程和设计示例	7
4. 修订历史	11

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

1. 热共享功能描述

使用线性LED驱动芯片（如NSL21912）时，热性能是最关键的考量因素之一，它直接限制了芯片的最大输出电流。芯片功耗可通过公式(1)来计算，其中由静态电流导致的功耗相对较低，此处予以忽略。

$$P_D = V_{VS} \times \sum_{x=0}^{11} I_{OUTx} - \sum_{x=0}^{11} V_{OUTx} I_{OUTx} \quad (1)$$

LED的正向电压主要取决于特定LED型号的正向电流、工作温度、老化程度及bin次。流入LED的电流越大，PN结两端的正向电压越高。LED工作温度越低，PN结两端的正向电压越高。基于从LED LR G6SP数据手册中获取的数据得到的特性曲线如图1-1所示。

$I_F = f(V_F); T_S = 25^\circ\text{C}$

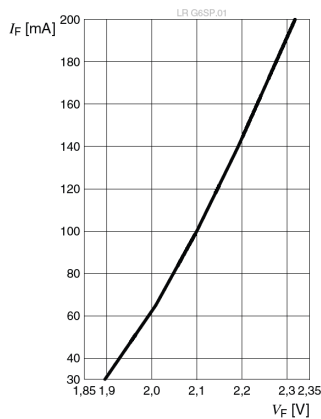


图1-1(a) 正向电流 vs 正向电压

$\Delta V_F = V_F - V_F(25^\circ\text{C}) = f(T_J); I_F = 140\text{ mA}$

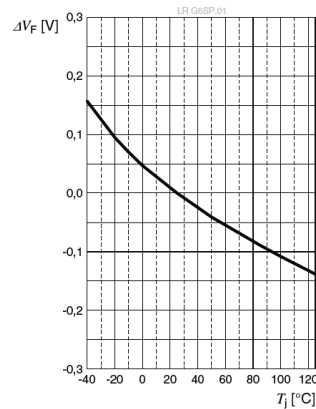


图1-1(b) 相对正向电压 vs 结温

在线性LED驱动芯片的应用中，芯片的供电电压需高于LED灯串的正向电压与芯片dropout电压之和，以确保通道恒流输出。因此，NSL21912的供电电压应按照公式(2)确定。

$$V_{VS_min} > V_{OUT_max} + V_{OUT_dropout_max} \quad (2)$$

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

其中， V_{VS_min} 为最小供电电压， V_{OUT_max} 为不同输出通道的LED灯串最大电压， $V_{OUT_dropout_max}$ 为最大输出电流下的单通道最大压差。

根据公式(2)，必须确保输入和输出之间有足够压差。然而，如公式(1)所示，高压降会导致高功耗。输入/输出电压之间的压差导致NSL21912面临的发热问题更加严峻。热共享功能可有效解决因高供电电压与低LED灯串正向电压之间的大压差所导致的芯片发热问题，其功能框图如图1-2所示。

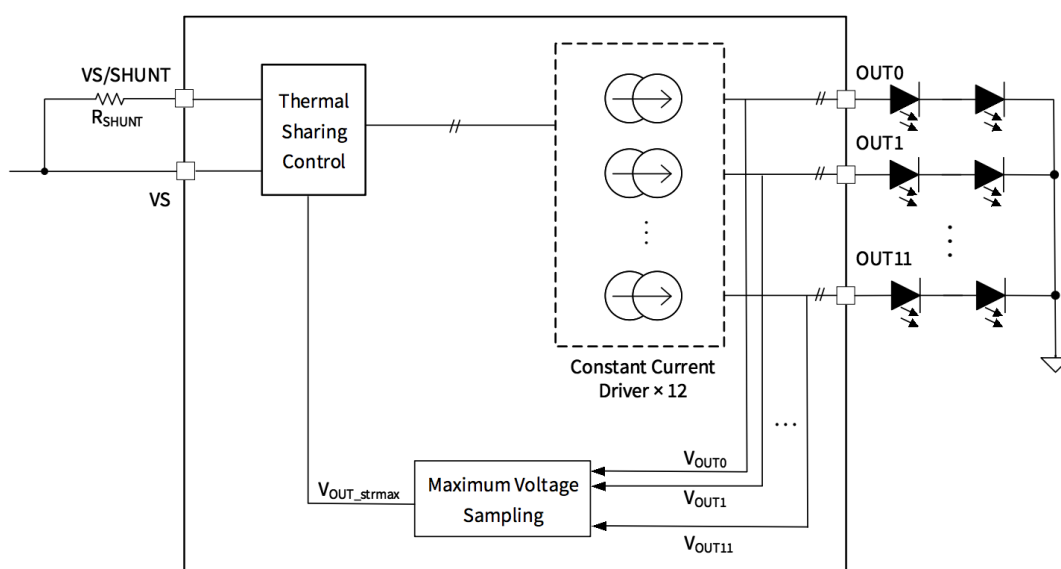


图 1-2 热共享功能框图

NSL21912的热共享功能通过外部分流电阻 R_{SHUNT} 协同内部MOSFET来实现。该芯片将 $V_{S/SHUNT}$ 引脚电压与12个通道的最大输出电压之间的压差调节至 V_{SHUNT_ctl} （典型值：0.94V）。电源侧输出电流分成两条路径：一路流入 V_S 引脚，另一路流经分流电阻。当器件压降较低时，电流主要流经 V_S 引脚；当器件压降较高时，流经分流电阻的电流更多。芯片功耗一部分转移到分流电阻上，从而使得NSL21912的结温降低。另外，在 V_S 与 $V_{S/SHUNT}$ 引脚之间设有钳位电压 V_{SHUNT_clamp} （典型值：6.5V），使得流经 $V_{S/SHUNT}$ 路径的最大电流被限制在 $V_{SHUNT_clamp}/R_{SHUNT}$ 。图1-3(a)给出了电流和功耗分配与压差($V_{VS}-V_{OUT_strmax}$)之间的典型关系曲线，图1-3(b)则给出了 V_S 与 $V_{S/SHUNT}$ 引脚之间的电压钳位 V_{SHUNT_clamp} 被触发时的示例。

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

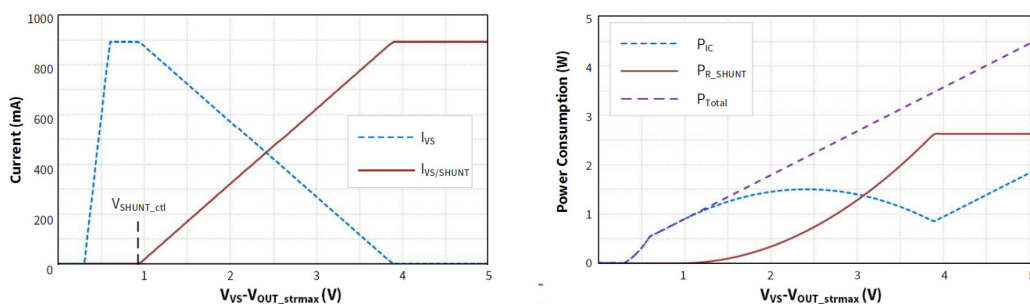


图 1-3(a) 电流和功耗分配 – 示例1

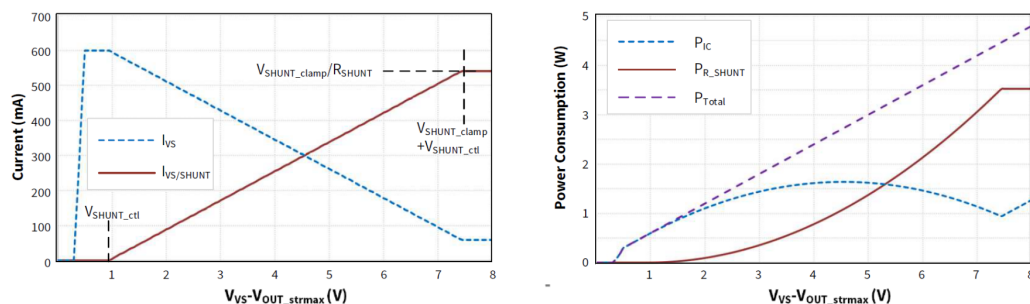
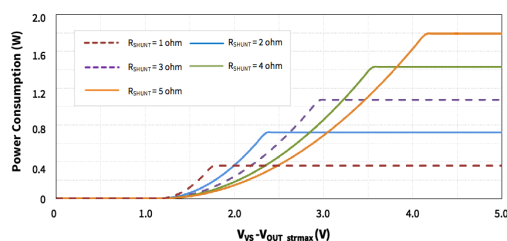
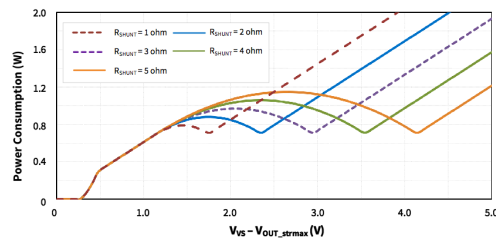


图 1-3(b) 电流和功耗分配 – 示例2

分流电阻的选型对于实现有效的热共享至关重要。图1-4(a)和(b)分别给出了不同分流电阻值下的分流电阻功耗/芯片功耗与压差($V_{VS}-V_{OUT_strmax}$)之间的典型关系曲线。分流电阻的阻值不同，功耗分配也不同。用户可通过选择合适的分流电阻值来将芯片和分流电阻的功耗都处于可接受水平。

图 1-4(a) 分流电阻功耗 vs ($V_{VS}-V_{OUT_strmax}$)图 1-4(b) 器件功耗 vs ($V_{VS}-V_{OUT_strmax}$)

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

2. 热性能

以下示例基于NSL21912评估板，该评估板采用铜箔厚度为1盎司的双层PCB设计。基于芯片热特性参数和实测壳温，可近似计算NSL21912的结温。计算公式如下。虽然PCB参数未严格遵循JEDEC标准，但估算出的结果仍具参考价值：

$$T_J = T_c + \Psi_{JC} \times P_D \quad (3)$$

其中， T_J 为芯片结温， T_c 为壳温， Ψ_{JC} 为junction to case热特征参数， P_D 为芯片总功耗。

在常温下，向芯片施加一定的电压和负载时，器件功耗可从0W上升至接近热关断阈值。在不同输出电流值下稳定工作一定时间后，利用热像仪测量芯片壳温。根据公式(3)估算评估板上的芯片结温。表2-1列示了在一种典型条件下的结温估算结果。从表中可以看出，在该条件下，启用热共享功能可使结温较之未启用时降低17.9%。这充分证明了热共享功能的有效性。

表2-1 NSL21912的热特性信息

$V_{VS}-V_{OUT}$ (V)	$I_{out}/channel$ (mA)	P_D (W)	T_a (°C)	Ψ_{JC} (°C/W)	R_{shunt} (ohm)	T_c (°C)	T_J (°C)
2.5	100	3.0	24.5	0.8	/	124.6	127.0
2.5	100	1.86			2	102.7	104.2

另一组对比实验结果如图2-1所示。热成像仪展示芯片壳温。测试条件为： $I_{outx} = 50\text{mA}/\text{通道}$ ， $R_{shunt} = 6.8\ \Omega$ ，每个输出通道均连接一个红色LED。结果显示，尤其是在高 V_{VS} 电压下，启用热共享功能可使芯片壳温大幅降低。

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

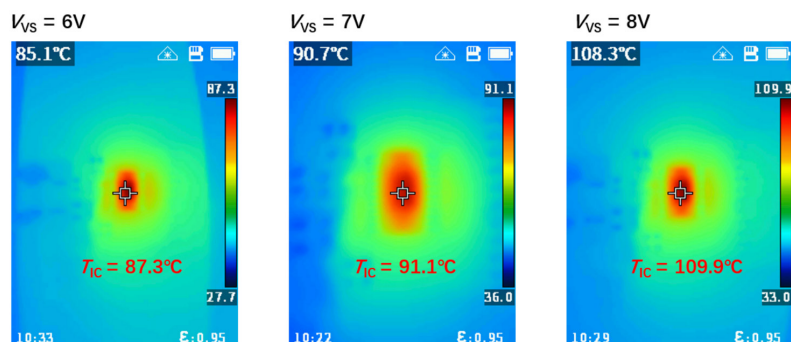


图 2-1(a) 未启用热共享功能时的壳温测量结果

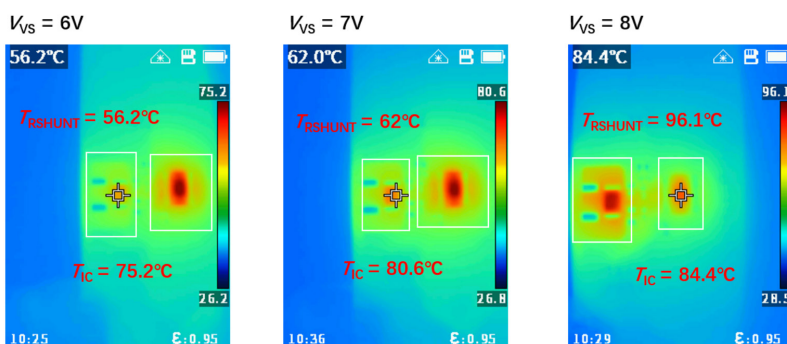


图 2-1(b) 启用热共享功能时的壳温测量结果

纳芯微评估了在特定条件下芯片支持的每通道最大输出电流。在85°C环境温度下进行该项实验。将NSL21912_EVM评估板置于设置为85°C的温箱中，通过内置ADC读取芯片结温。所有通道均打开，每个输出通道的电流配置及输出电压基本相同。逐步增加芯片每通道的输出电流，直至芯片结温达到150°C。需要说明的是，芯片最大功耗与PCB布局密切相关。因此，本实验结果仅作参考。不同($V_{VS}-V_{OUT}$)压差下每通道的最大输出电流分别如表2-2和表2-3所示。

表2-2 未启用热共享功能时每通道的最大输出电流 vs ($V_{VS}-V_{OUT}$)

$V_{VS}-V_{OUT}$ (V)	1.53	2.01	2.57	3.06
R_{shunt} (Ω)	0	0	0	0
$I_{out}/channel_{max}$ (mA)	87.5	65.6	48.4	39.1

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

表2-3 启用热共享功能时每通道的最大输出电流 vs ($V_{VS}-V_{OUT}$)

$V_{VS}-V_{OUT}$ (V)	1.54	2.05	2.57	3.02
R_{shunt} (Ω)	1.13	2.7	5.38	8.81
$I_{out}/channel_{max}$ (mA)	93.8	76.6	64.1	57.8

从表中可以看出，在相同工作条件下，启用热共享功能可显著提升芯片每通道的最大输出电流。当 $V_{VS}-V_{OUT} = 3V$ 时，芯片总输出电流相较于未启用热共享功能时（即 $R_{shunt} = 0$ ）可提升47.8%。

综上所述，热共享功能可有效避免因供电电压与LED正向电压之间的压差过大导致的芯片功耗过高。因此，纳芯微建议在高功耗应用中引入热共享功能来降低芯片结温。

3.设计流程和设计示例

电流和功耗分配由分流电阻的阻值决定。针对分流电阻的选型，建议初始阻值配置应使最恶劣工况下分流电阻和器件各自承担总功耗的50%。该初始阻值可通过以下公式初步确定。

$$R_{SHUNT_init} = \frac{(V_{VS_max} - V_{OUT_strmax_min} - V_{SHUNT_ctl})^2}{P_{Total_max}/2} \quad (4)$$

其中， V_{VS_max} 为器件最大输入电压， $V_{OUT_strmax_min}$ 为总电压最高的LED灯串最小输出电压， V_{SHUNT_ctl} 在这里简单取典型热共享控制电压值， P_{Total_max} 为未启用热共享功能时的芯片最大功耗。

分流电阻的初始阻值确定之后，需对芯片的最大功耗进行计算和评估。若芯片功耗超出可接受水平，则需调整分流电阻阻值并重新计算芯片功耗，直至其降至可接受水平。

图 3-1给出了详细的热共享设计流程。

基于线性LED驱动器NSL21912的 热共享功能解析

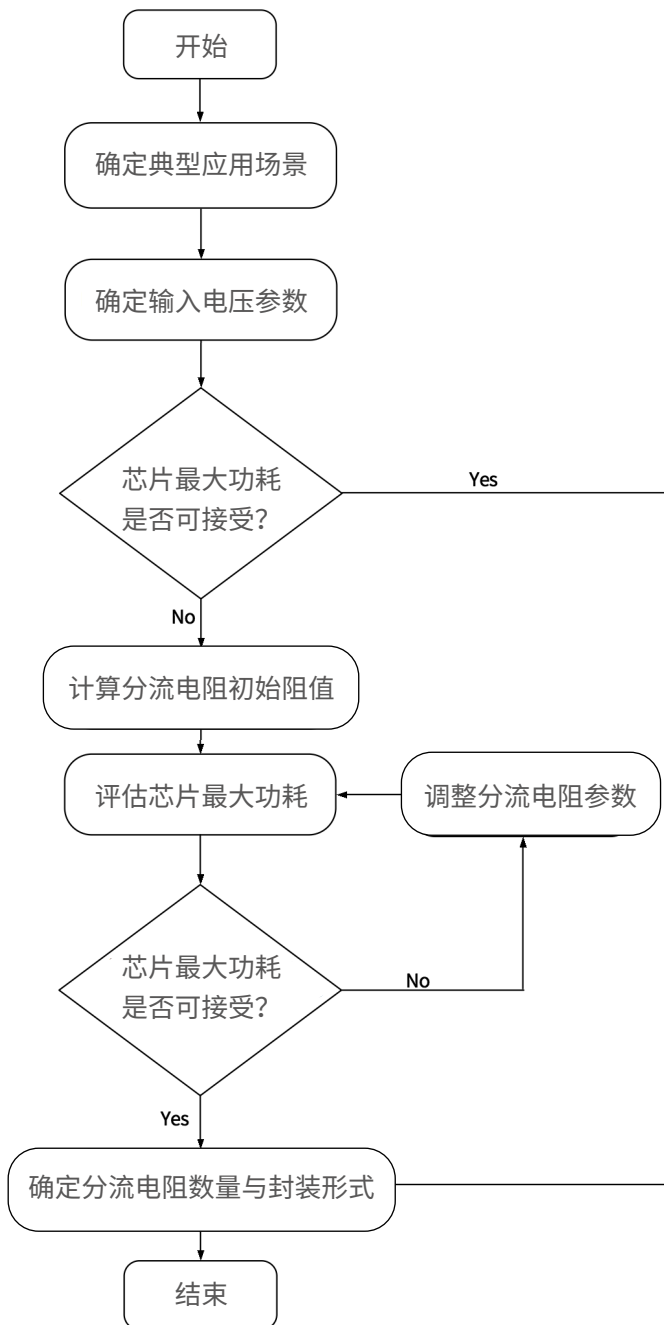


图 3-1 热共享设计流程

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

下文给出了一个按照该设计流程进行的设计示例。

步骤1：确定典型应用场景

芯片每个输出通道连接三颗LED。单颗LED的最大正向电压 $V_{F_MAX} = 2.15V$ ，最小正向电压 $V_{F_MIN} = 1.75V$ ，每个灯串电流 $I_{LED} = 50mA$ 。不考虑输出电流误差。为简便起见，假定所有通道在同一时间的输出电压相同，因此可认为 V_{OUT_strmax} 与 V_{OUTx} ($x=0\sim11$) 相等。

步骤2：确定NSL21912的输入电压

在线性LED驱动器应用中，输入电压的设计对于确保器件正常工作至关重要。可通过以下公式来计算输入电压。输入电压需预留一定裕量。因此，典型输入电压设定为7.6V。考虑到 $\pm 5\%$ 的波动，实际输入电压可位于7.22~7.98V范围内。

$$\begin{aligned} V_{VS_min} &> V_{OUT_max} + V_{OUT_dropout_max} \\ &= 2.15 \times 3 + 0.7 \\ &= 7.15V \end{aligned} \quad (5)$$

步骤3：最恶劣工况下的热分析

需通过热分析确保NSL21912的工作结温得到较好控制。最高允许结温应限制在150°C以下。用户可基于热特性参数评估芯片在最恶劣工况下的最大允许功耗。若最大功耗处于可接受水平，则无需使用分流电阻；否则需执行步骤4。

$$\begin{aligned} P_{Total_max} &= (V_{VS_max} - V_{OUT_min}) \times I_{OUT_total} \\ &= (7.98 - 1.75 \times 3) \times 0.05 \times 12 \\ &= 1.638W \end{aligned} \quad (6)$$

步骤4：计算分流电阻的初始阻值

合理设计分流电阻有助于降低NSL21912功耗。在本设计中，根据公式(4)计算得出的分流电阻初始阻值为3.91Ω。

$$\begin{aligned} R_{SHUNT_init} &= \frac{(V_{VS_max} - V_{OUT_min} - V_{SHUNT_ct})^2 \times 2}{P_{Total_max}} \\ &= \frac{(7.98 - 1.75 \times 3 - 0.94)^2 \times 2}{1.638} \\ &= 3.91\Omega \end{aligned} \quad (7)$$

步骤5：评估器件的最大功耗

可按照公式(8)计算NSL21912芯片功耗。

$$P_{Device} = P_{Total} - P_{SHUNT} = (V_{VS} - V_{OUT}) \times I_{OUT_total} - \frac{(V_{VS} - V_{OUT} - V_{SHUNT_ct})^2}{R_{SHUNT}} \quad (8)$$

基于线性LED驱动器NSL21912的热共享功能解析

当 R_{SHUNT} 初始阻值为 3.91Ω 时，电流和功耗分配与 $V_{VS}-V_{OUT}$ 压差之间的关系如图3-2所示。

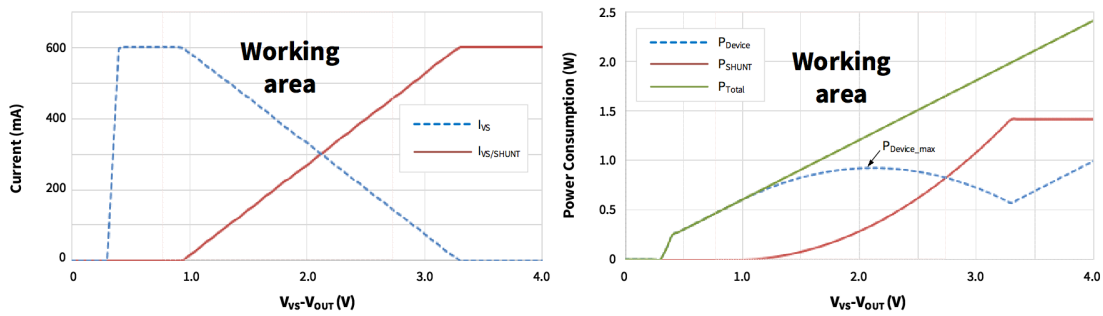


图 3-2 电流和功耗分配 vs $V_{VS}-V_{OUT}$

从公式(8)和图3-2中可以看出，芯片功耗 P_{Device} 与 $V_{VS}-V_{OUT}$ 压差之间呈抛物线关系。芯片功耗在 $V_{VS}-V_{OUT}$ 压差为下列值时达到最高：

$$V_{VS} - V_{OUT} = R_{SHUNT} * I_{OUT_total} / 2 + V_{SHUNT_ctl} = 2.11V \quad (9)$$

然后可按照以下公式计算芯片的最大功耗：

$$P_{Device_max} = 2.11 \times 0.6 - \frac{(2.11 - 0.94)^2}{3.91} = 0.92W \quad (10)$$

对于拥有足够铜箔面积的典型双层PCB设计，单颗NSL21912功耗为0.92W通常是可接受水平。但最终仍需用户根据实际PCB设计进行评估。若功耗为可接受水平，则可将分流电阻的初始阻值作为最终阻值；否则需按图3-1所示流程，降低分流电阻阻值并重新计算芯片功耗。

步骤6：确定分流电阻数量和封装

分流电阻的最大功耗 $P_{Total_max}/2 = 0.819W$ 。根据最大功耗要求确定分流电阻数量和封装。

纳芯微可为用户提供帮助进行热共享设计的计算工具“NSL21912 External Components Calculation Tool.xlsx”。用户可在该计算工具中输入通过公式(4)计算得出的分流电阻初始阻值。然后即可生成功耗分配曲线。可通过调整 R_{SHUNT} 阻值来调整功耗分配。

基于线性LED驱动器NSL21912的 热共享功能解析

4.修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	首次发布	Lanxin Nie, Jiexiu He, Jian Deng, Sidong Wang	2025/02/13

销售联系方式: sales@novosns.com; 获取更多信息: www.novosns.com

重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权,包括但不限于对信息准确性、完整性,产品适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责,并确保应用的安全性。客户认可并同意: 尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供,但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的所有法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用,不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源,或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等,纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息,请与纳芯微电子联系(www.novosns.com)。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有