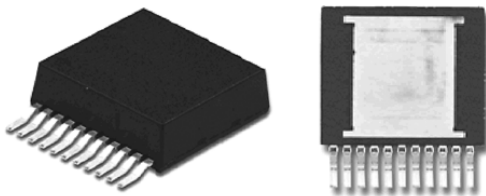


具备20V最高输入电压的8A SIMPLE SWITCHER®易电源 电源模块以及均流

易于使用11引脚封装



顶视图

底视图

30153901

TO-PMOD 11引脚封装

15 x 17.79 x 5.9mm (0.59 x 0.7 x 0.232英寸)

$\theta_{JA} = 9.9^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 1.0^{\circ}\text{C/W}$ (注释1)

符合RoHS(有害物质限用指令)标准

电气性能规格

- 40W最大总输出功率
- 输出电流高达8A
- 输入电压范围为6V至20V
- 输出电压范围为0.8V至6V
- 效率高达92%

主要特征

- 集成屏蔽电感器
- 单PCB(印刷电路板)布线
- 频率同步输入(350 kHz到600 kHz)
- 均流性能
- 使用外部的软启动、跟踪和精确使能，可以实现灵活的上电时序控制
- 针对浪涌电流以及输入欠压锁定和输出短路等故障提供保护
- 工作结温范围-40°C至125°C
- 采用单裸露焊盘和标准引脚，更易于装配和制造
- 可得到WEBENCH®电源设计软件的全面支持
- 引脚兼容LMZ22010/06, LMZ12010/08/06, LMZ23610/08/06, 和 LMZ13610/08/06

应用领域

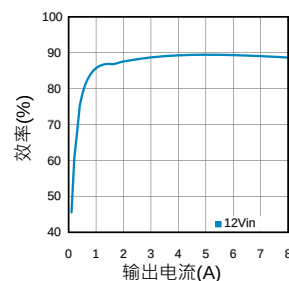
- 从12V输入电压轨负载点转换
- 应用于时间受限的项目
- 应用于空间受限的高温场合
- 应用于负输出电压，请参阅AN-2027

性能优势

- 高效减少系统产生的热量
- 低电磁辐射(EMI)·符合EN55022 B级标准要求(注释2)
- 只有7个外部元件
- 低输出电压纹波
- 无需外部散热器
- 高电流应用中均流简单

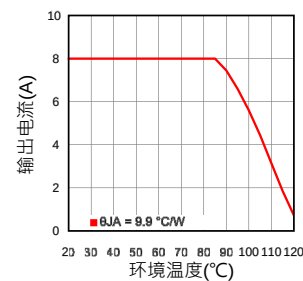
系统性能

$V_{IN} = 12\text{V}$ $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ 时效率



30153903

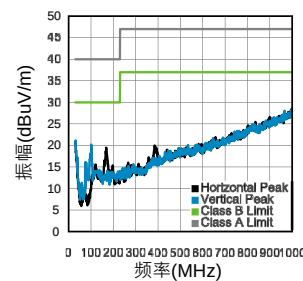
$V_{IN} = 12\text{V}$ $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ 时热降额曲线



30153909

辐射电磁干扰(EN 55022)

$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 5\text{V}$, $I_{OUT} = 8\text{A}$

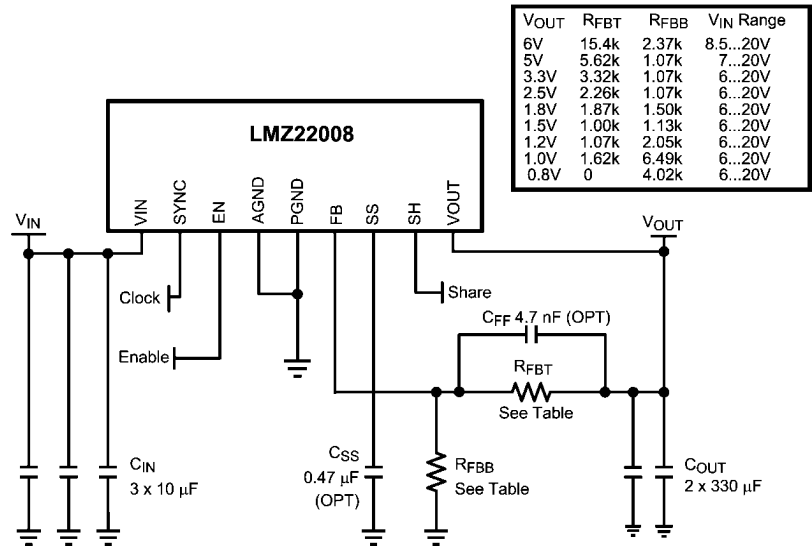


30153914

注释1: θ_{JA} 在一个75mm x 90 mm四层印刷电路板上测得。

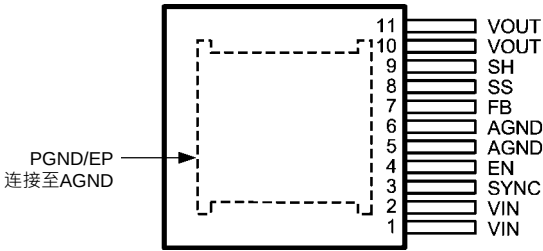
注释2: 在有电磁干扰配置的评估板上进行测试，符合EN 55022:2006, +A1:2007, FCC 第15部分子条件B的要求。

应用原理简图



30153924

连线图



30153933

顶视图

11引脚TO-PMOD封装

订购信息

订购号	封装类型	NSC封装图纸	封装图纸
LMZ22008TZ	TO-PMOD-11	TZA011A	每排32件
LMZ22008TZE	TO-PMOD-11	TZA011A	250件，卷带封装

引脚描述

引脚号	名称	说明
1, 2	VIN	电源输入—标称工作范围6V到20V。内部集成封装少量电容。必须在该引脚与裸露焊盘之间增加外部输入电容。
3	SYNC	同步—不使用同步连接接地时，用一个频率在314 kHz到600 kHz之间的互补金属氧化物半导体(CMOS)逻辑电平矩形波来使脉宽调制(PWM)工作频率与外部频率源同步。不使用同步时，该引脚必须接地。该模块不同步PWM频率是359 kHz (典型值)。
4	EN	使能端—高精度使能比较器的输入端，典型的上升阈值为1.274V。一旦模块使能，一个13 uA的源电流从内部激发有利于可编程迟滞。
5, 6	AGND	模拟接地—所有规定电压的参照点。必须从外部连接到接地线(EP)。

引脚号	名称	说明
7	FB	反馈—在内部连接至调节放大器和过电压比较器。在这个输入引脚，调节参考点是0.795V。在VOUT和AGND之间连接反馈电阻分压器以设定输出电压。
8	SS	软启动/跟踪—连接一个外部软启动电容，将内部软启动时间延长1.6毫秒。对于跟踪，要连接一个与具有更高优先级电源轨连接的外部电阻分压器，请参阅相关应用章节。
9	SH	均流 — 将该引脚与另一个LMZ22008模块的均流引脚连接以均分在两个器件之间负载。应将一个器件，通过与FB正常连接，配置为主导器件。所有其他器件，通过其相关FB引脚浮接，均应配置为从属器件。如若不使用均流功能，保持SH引脚浮接。不得接地。参阅应用部分说明。
10, 11	VOUT	输出电压—从内部电感器输出。在该引脚与反裸露焊盘之间连接输出电容。
EP	PGND	裸露焊盘/电源接地 - 模块内电路电源通道。保护接地(PGND)在内部不与AGND连接(引脚5,6)。必须在封装外部与引脚5和引脚6有电气连接。裸露焊盘在运行过程中用于封装体的散热。从顶部到底部覆铜层使用100百个12密耳的散热孔进行散热已达到最佳热性能。

绝对最大额定值

(注释3)

如果是用于军事航空专用设备，请向美国国家半导体销售办事处/经销商咨询具体可用性和规格。

静电放电(ESD)敏感性(注释4)

±2kV

焊接规格：要了解相关产品资料，请登录www.national.com和
www.national.com/ms/MS/MS-SOLDERING.pdf

VIN至PGND	-0.3V至24V
EN, SYNC至AGND	-0.3V至5.5V
SS, FB, SH至AGND	-0.3V至2.5V
AGND至PGND	-0.3V至0.3V
结点温度	150°C
存储温度范围	-65°C至150°C

额定工作定值

(注释3)

VIN	6V至20V
EN, SYNC	0V至5.0V
工作结点温度	-40°C至125°C

电气特性

用标准字体表示的数值仅用于在 $T_J=25^\circ\text{C}$ 时；使用粗体字体表示的极限值适用于结点温度(T_J)范围在 -40°C 至 125°C 之间；最小和最大极限值通过测试、设计或统计数据得以保证。典型值是 $T_J=25^\circ\text{C}$ 时标准的参数值，这里仅供参考。 $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ ，除非在工作条件一栏中另有规定。

标识	参数	工作条件	最小值 (注释3)	典型值 (注释4)	最大值 (注释3)	单位
系统参数						
启用控制						
V_{EN}	使能阈值	V_{EN} 上升	1.096	1.274	1.452	V
I_{EN-HYS}	使能迟滞电流源	$V_{EN} > 1.274\text{V}$		13		μA
软启动						
I_{SS}	软启动源电流	$V_{SS} = 0\text{V}$	40	50	60	μA
t_{SS}	内部软启动间隔			1.6		msec
电流限制						
I_{CL}	电流限制阈值	直流平均值	10.5			A
内部开关振荡器						
f_{osc}	不同步振荡器频率	连接到接地线的同步输入	314	359	404	kHz
f_{sync}	同步范围	$V_{sync} = 3.3\text{Vp-p}$	314		600	kHz
$V_{IL-sync}$	同步范围	相对于AGND			0.4	V
$V_{IH-sync}$	同步逻辑一振幅	相对于AGND	1.8			V
$\text{Sync}_{d.c.}$	同步占空比范围		15	50	85	%
调节和过电压比较器						
V_{FB}	内部调节反馈电压	$V_{SS} > +0.8\text{V}$ $I_O = 8\text{A}$	0.775	0.795	0.815	V
V_{FB-OV}	反馈过电压保护阈值			0.86		V
I_{FB}	反馈输入偏流			5		nA
I_Q	无切换静态电流	$\text{SYNC} = 3.0\text{V}$		3		mA
I_{SD}	关断静态电流	$V_{EN} = 0\text{V}$		32		μA
D_{max}	最大占空比系数			85		%
热特性						
T_{SD}	热关断	上升		165		$^\circ\text{C}$
$T_{SD-HYST}$	热关断迟滞	下降		15		$^\circ\text{C}$
θ_{JA}	至环境结点(注释7)	自然对流		9.9		$^\circ\text{C/W}$
		225 LFPM		6.8		
		500 LFPM		5.2		
θ_{JC}	至外壳结点			1.0		$^\circ\text{C/W}$

标识	参数	工作条件	最小值 (注释3)	典型值 (注释4)	最大值 (注释3)	单位
性能参数(注释8)						
ΔV_O	输出电压纹波	BW@ 20 MHz		24		mV _{pp}
$\Delta V_O/\Delta V_{IN}$	线路调节	$V_{IN} = 12V$ 至 $20V$, $I_{OUT} = 8A$		± 0.2		%
$\Delta V_O/\Delta I_{OUT}$	负载调节	$V_{IN} = 12V$, $I_{OUT} = 0.001A$ 至 $8A$		1		mV/A
η	峰值效率	$V_{IN} = 12V$ $V_{OUT} = 3.3V$ $I_{OUT} = 5A$		89.5		%
η	满负载效率	$V_{IN} = 12V$ $V_{OUT} = 3.3V$ $I_{OUT} = 8A$		88.5		%

注释3：对最大额定值为极限值。超过极限值会导致设备损坏。额定工作值是保证设备正常工作的工作条件。关于规范保证和测试环境，请参阅电气特性。

注释4：人体模型是通过一个1.5 k Ω 电阻向每个引脚放电的100pF电容器。测试方法依据JESD-22-114。

注释5：在25°C的环境温度下对百分之百的产品进行了最大和最小极限值试验。在工作温度范围内的极限值是通过使用统计质量控制(SQC)方法得到的关系确定的。这些极限值可用来计算美国国家半导体产品的平均出厂质量水平(AOQL)。

注释6：典型值是在25°C时测得的，代表最可能的参数指标。

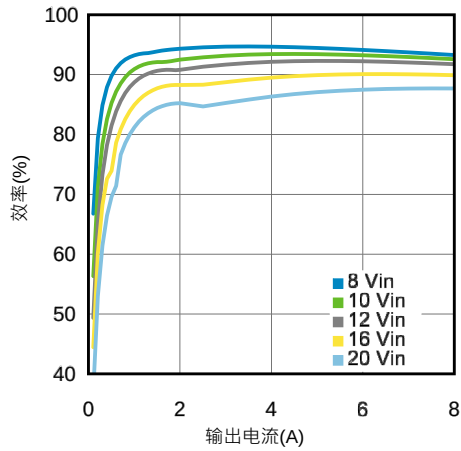
注释7： θ_{JA} 在一个3.0" x 3.5"四层评估板上测得，该评估板外层覆铜2盎司，内层覆铜一盎司，有210个12密耳散热孔，功耗为2W。请参阅评估板应用说明布局图。

注释8：请参阅 [典型应用物料清单 — 表1](#)。

典型性能特性

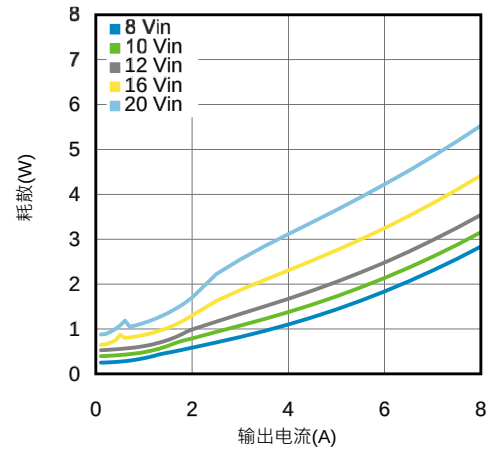
除非另有规定，否则以下条件适用于： $V_{IN} = 12V$ ； $C_{IN} = 3 \times 10\mu F + 47nF$ X7R 陶瓷； $C_{OUT} = 2 \times 330\mu F$ 聚合物 + $47\mu F$ 陶瓷 + $47nF$ 陶瓷； $C_{FF} = 4.7nF$ ；波形环境温度 $T_{ambient} = 25^\circ C$ 。所有所示温度均为环境温度。

在25°C时5.0V输出效率



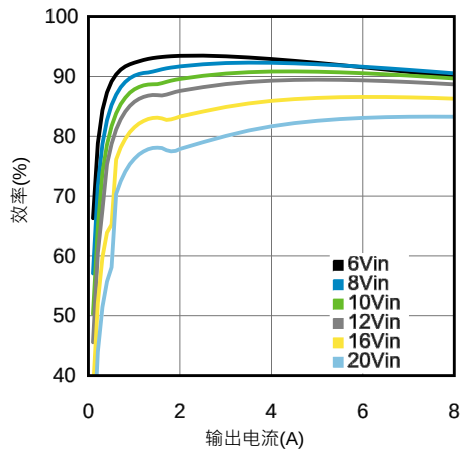
30153934

在25°C时5.0V输出耗散



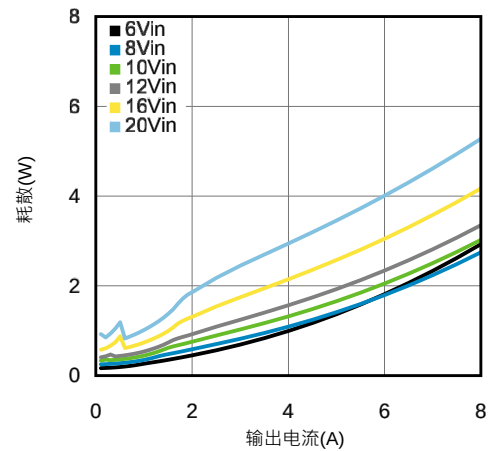
30153935

在25°C时3.3V输出效率



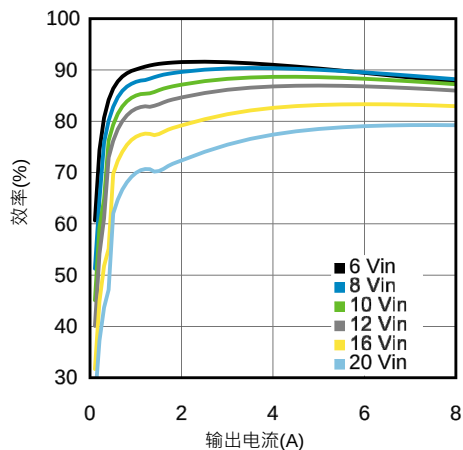
30153936

在25°C时3.3V输出耗散



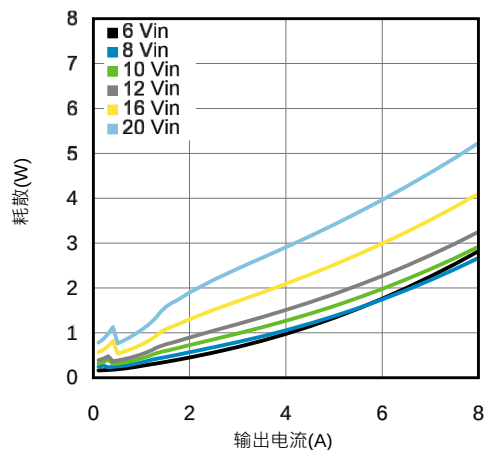
30153937

在25°C时2.5V输出效率



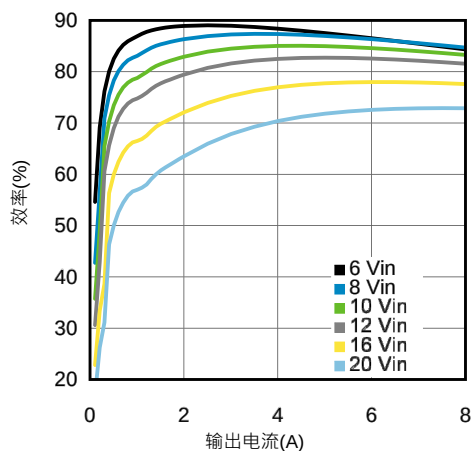
30153938

在25°C时2.5V输出耗散



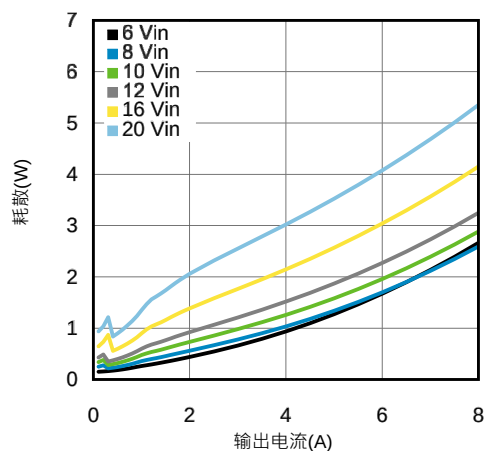
30153939

在25°C时1.8V输出效率



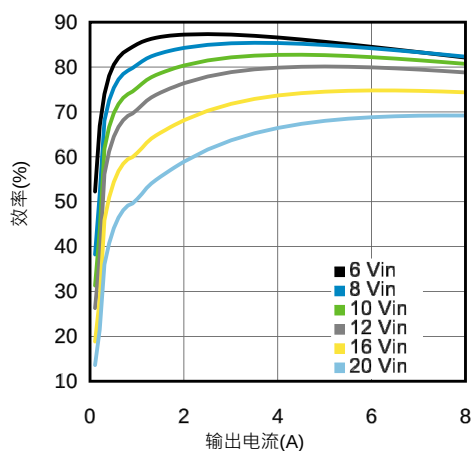
30153940

在25°C时1.8V输出耗散



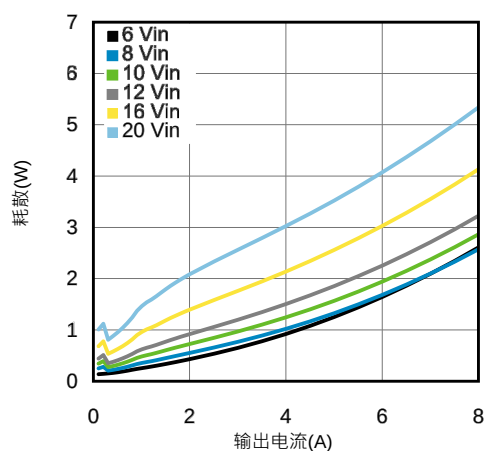
30153941

在25°C时1.5V输出效率



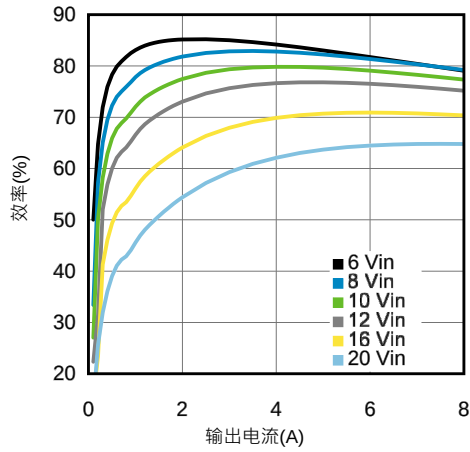
30153942

在25°C时1.5V输出耗散



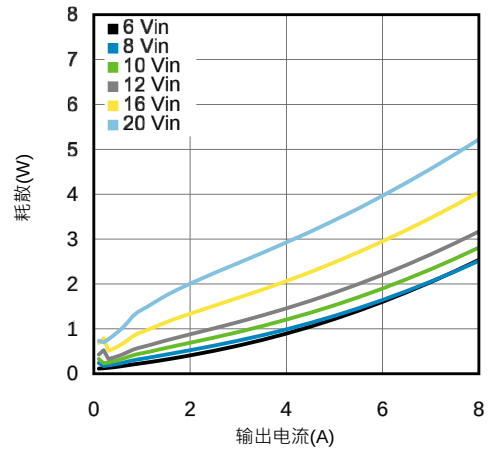
30153943

在25°C时1.2V输出效率



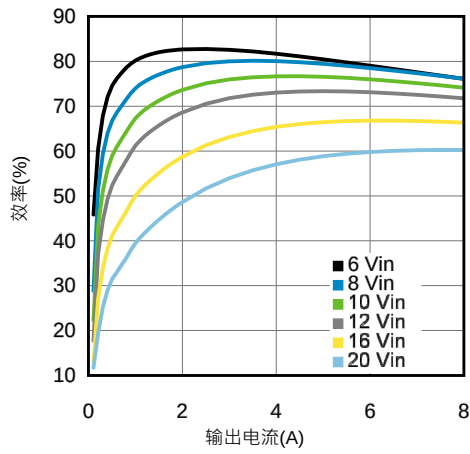
30153944

在25°C时1.2V输出耗散



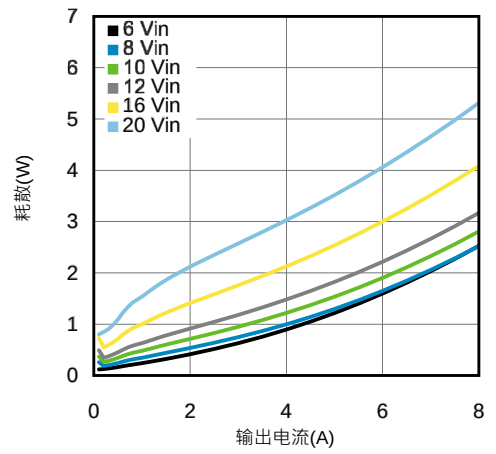
30153945

在25°C时1.0V输出效率



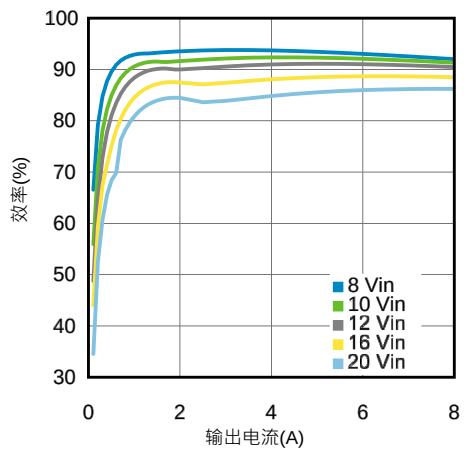
30153946

在25°C时1.0V输出耗散



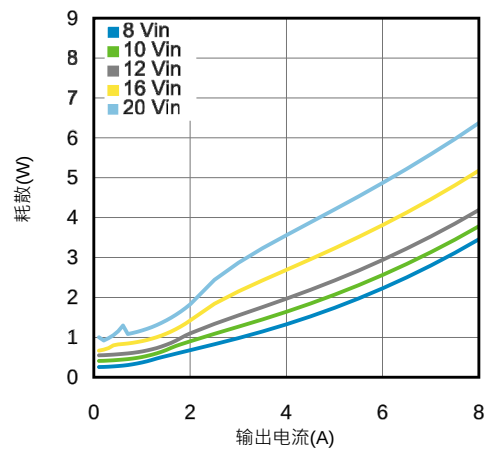
30153947

在85°C时5.0V输出效率



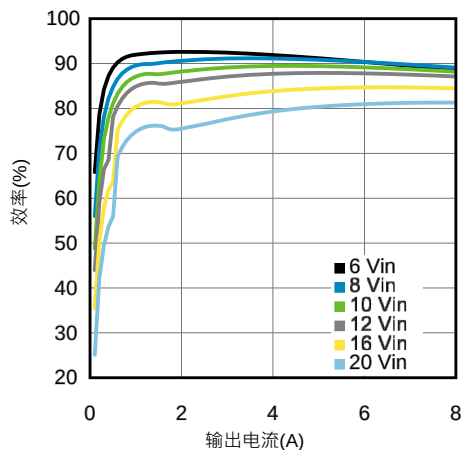
30153948

在85°C时5.0V输出耗散



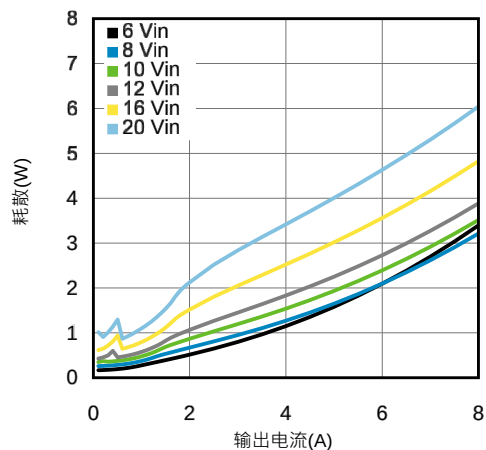
30153949

在85°C时3.3V输出效率



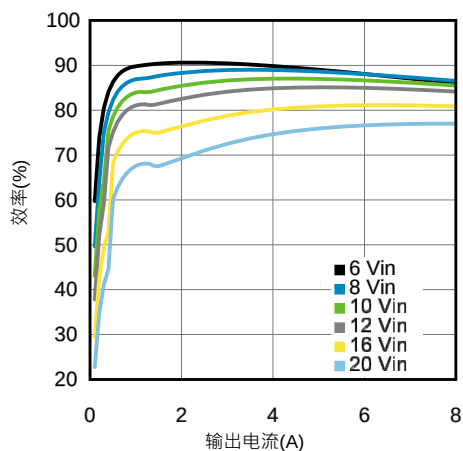
30153950

在85°C时3.3V输出耗散



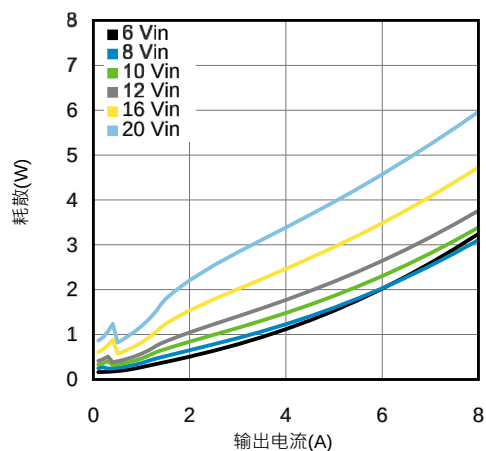
30153951

在85°C时2.5V输出效率



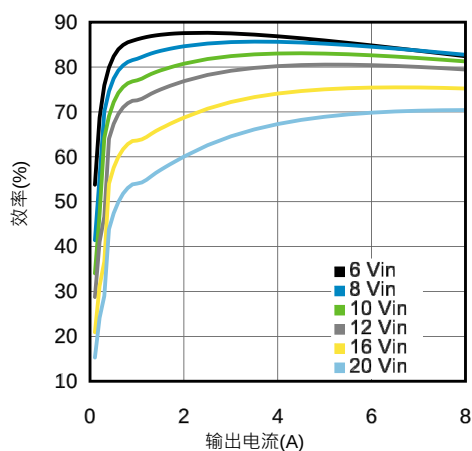
30153952

在85°C时2.5V输出耗散



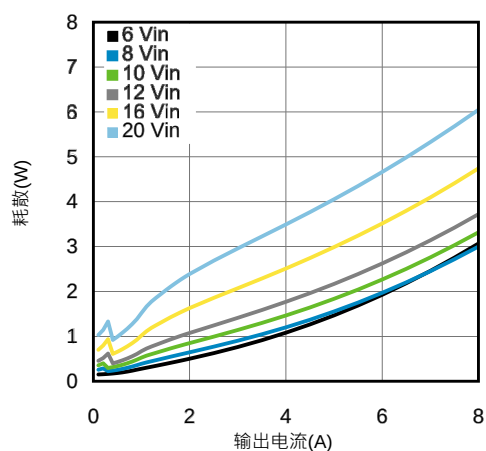
30153953

在85°C时1.8V输出效率



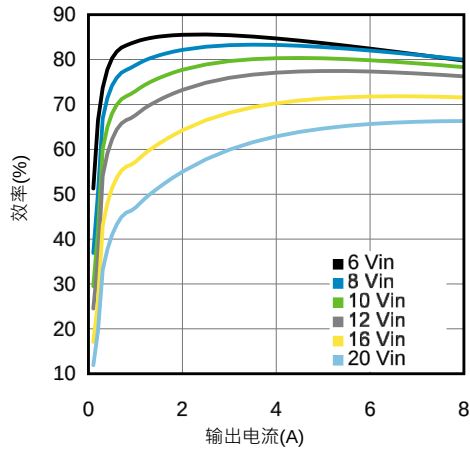
30153954

在85°C时1.8V输出耗散



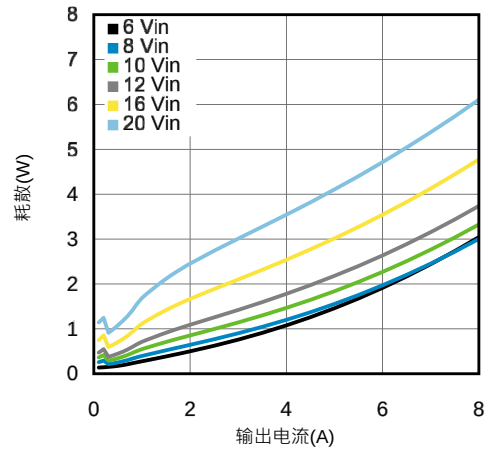
30153955

在85°C时1.5V输出效率



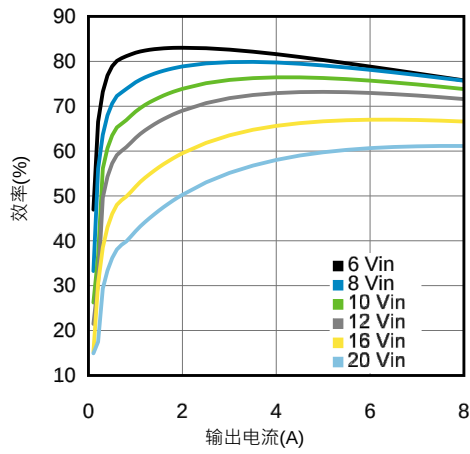
30153956

在85°C时1.5V输出耗散



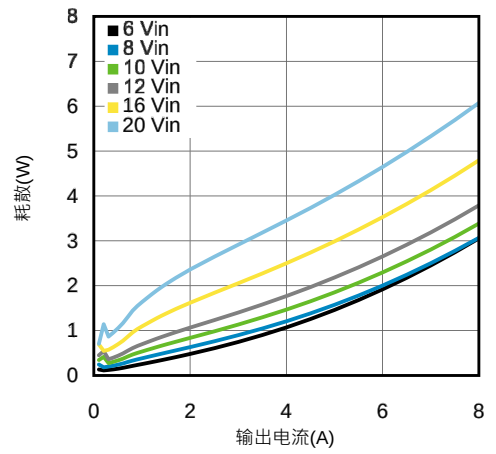
30153957

在85°C时1.2V输出效率



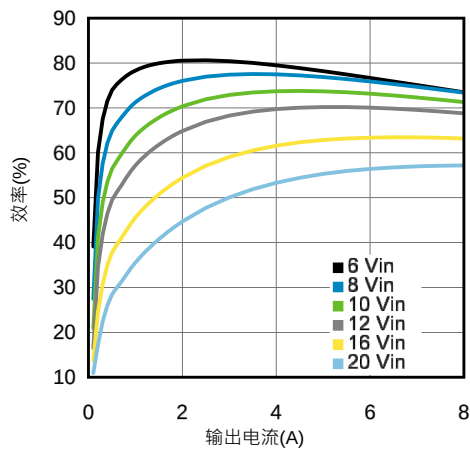
30153958

在85°C时1.2V输出耗散



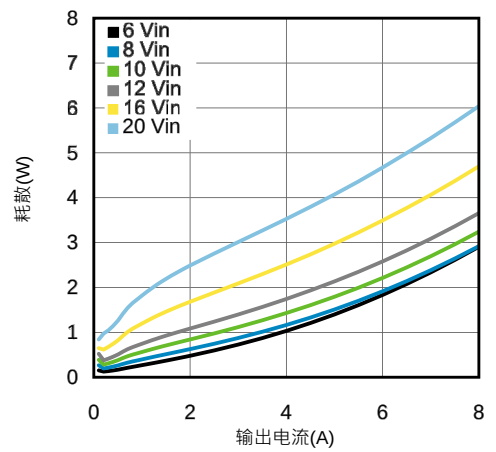
30153959

在85°C时1.0V输出效率

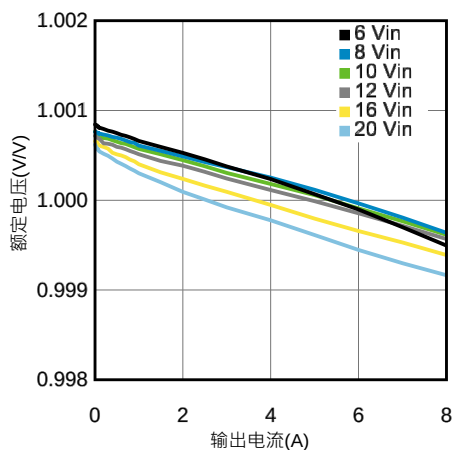


30153960

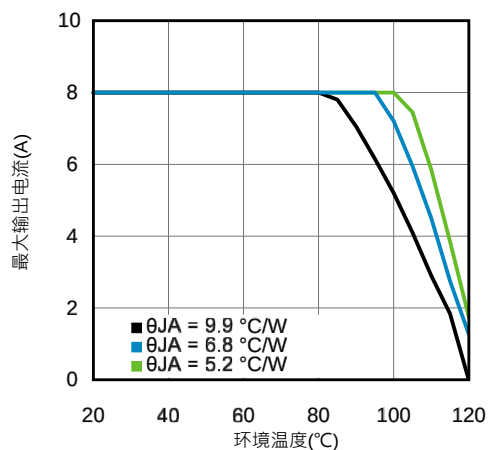
在85°C时1.0V输出耗散



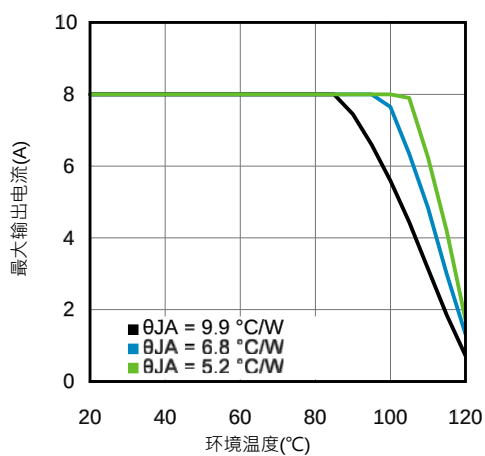
30153961

额定线路及负载调节 $V_{OUT} = 3.3V$ 

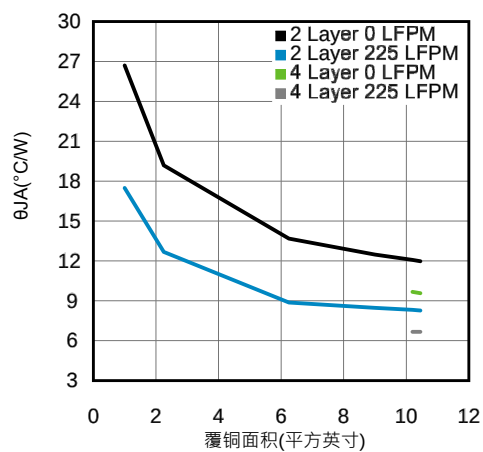
30153962

热降额 $V_{IN} = 12V, V_{OUT} = 5.0V$ 

30153963

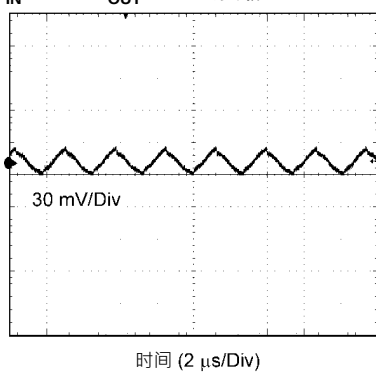
热降额 $V_{IN} = 12V, V_{OUT} = 3.3V$ 

30153964

 θ_{JA} 与覆铜散热面积

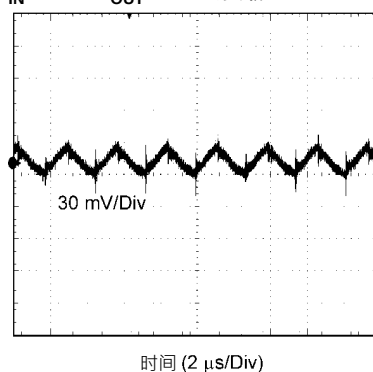
30153965

输出纹波

 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=5.0V$ 满负载下带宽=20 MHz

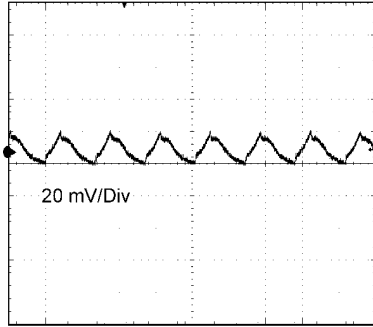
30153966

输出纹波

 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=5.0V$ 满负载下带宽=250 MHz

30153969

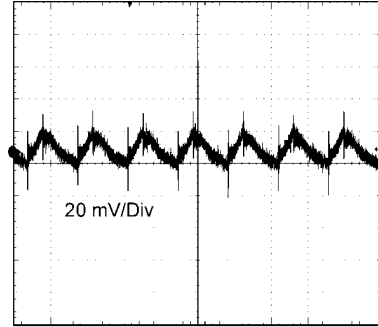
输出纹波
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=3.3V$ 满负载下带宽=20 MHz



时间 (2 μ s/Div)

30153967

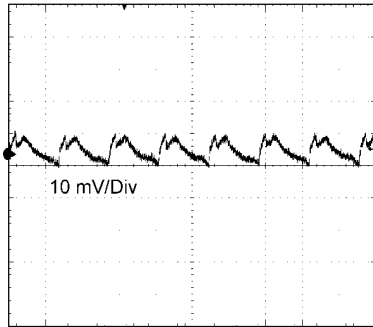
输出纹波
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=3.3V$ 满负载下带宽=250 MHz



时间 (2 μ s/Div)

30153970

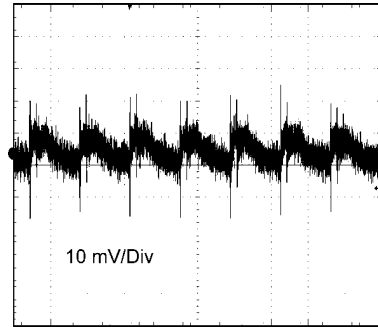
输出纹波
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=1.2V$ 满负载下带宽=20 MHz



时间 (2 μ s/Div)

30153968

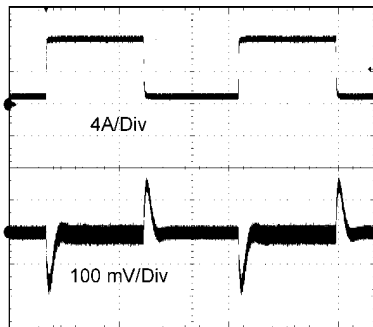
输出纹波
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=1.2V$ 满负载下带宽= 250 MHz



时间 (2 μ s/Div)

30153971

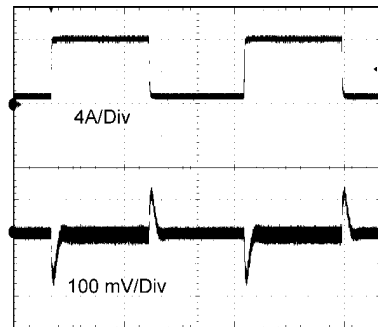
瞬态响应
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=5.0V$ 1至8A阶跃



时间 (500 μ s/Div)

30153972

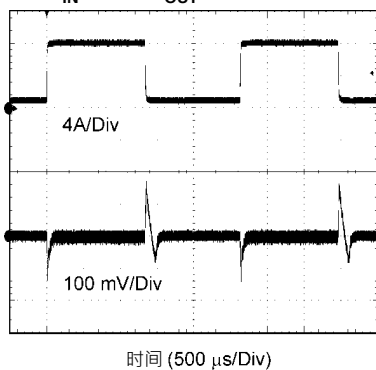
瞬态响应
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=3.3V$ 1至8A阶跃



时间 (500 μ s/Div)

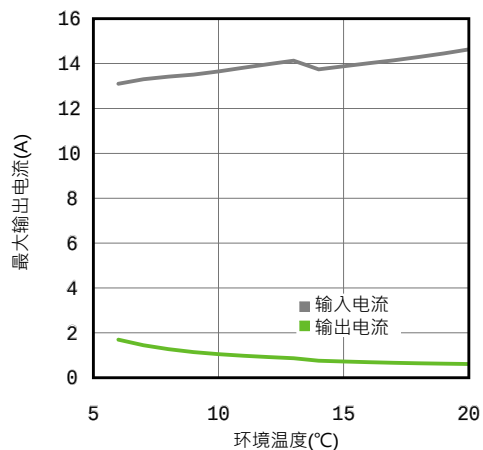
30153973

瞬态响应
 $V_{IN}=12V \cdot V_{OUT}=1.2V$ 1至8A阶



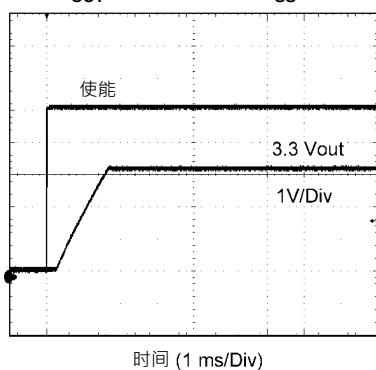
30153974

短路电流与输入电压



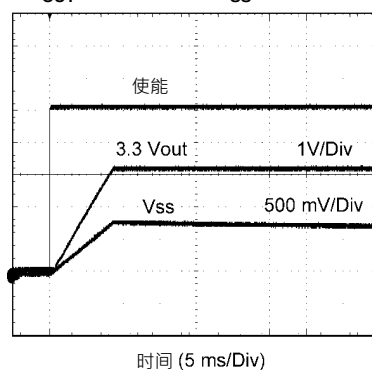
30153975

$V_{OUT}=3.3$ · 软启动,无 C_{SS}



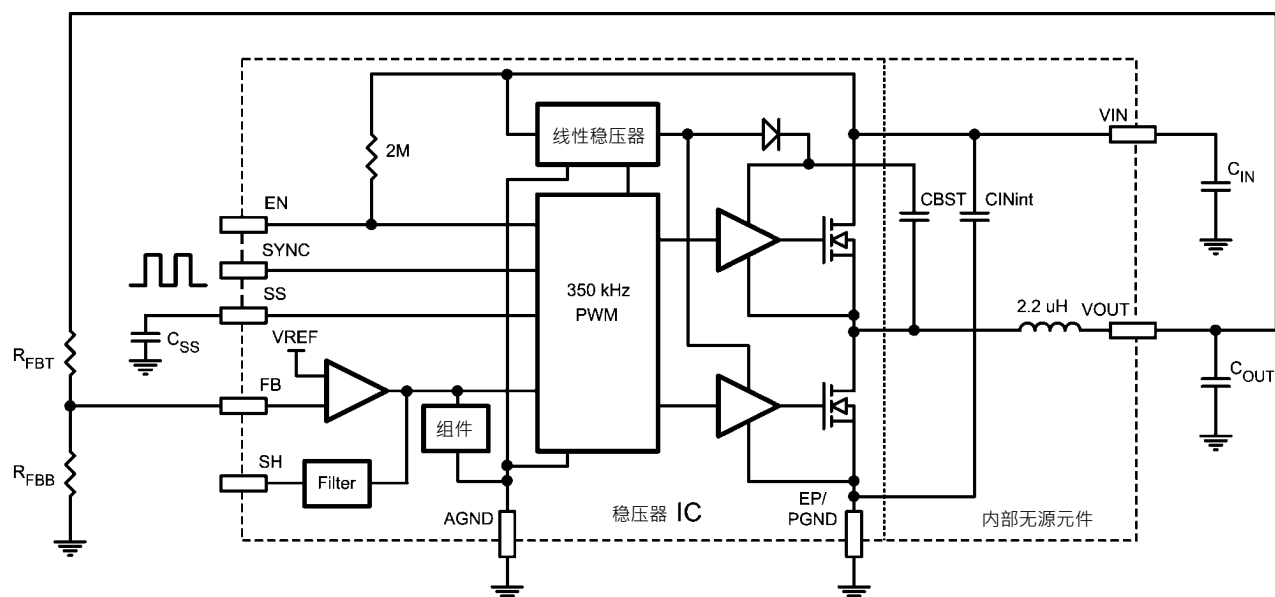
30153976

$V_{OUT}=3.3$ · 软启动, $C_{SS} = 0.47\mu F$



301539a4

框图



30153977

一般说明

LMZ22008 SIMPLE SWITCHER®易电源模块是一种易于使用的降压式直流/直流解决方案，可驱动高达8A的负载。LMZ22008采用创新封装模式，提高了散热性能并可手工或机器焊接。

LMZ22008可工作于6V和20V之间的输入电压轨，并提供低至0.8V的可调高精度输出电压。LMZ22008仅需2个外部电阻和外部电容即可实现电源解决方案。LMZ22008是一种可靠、稳健的设计方案，具有以下保护功能：热关断、输入欠压锁定、输出过电压保护、短路保护、输出电流限制并允许预偏置电压输出启动。该同步输入允许在314至600kHz的整个开关频率范围实现同步，同时在较高的负载电流情况下，可以将4个模块并联。

LMZ22008应用的设计步骤

LMZ22008可得到WEBENCH®的全方位技术支持，它提供：元件的选择，电气和热模拟。另外，还有可供设计开始时使用的评估板和演示板。以下所列步骤可用于LMZ22008应用的手动设计。

所有值的引用参阅典型应用原理图图5。

- 选择具有使能分压电阻的最小工作输入电压 V_{IN}
- 选择带电阻分压器的编程 V_O
- 选择 C_{OUT}
- 选择 C_{IN}
- 确定模块功耗
- 根据所需热特性布置印刷电路板(PCB)

使能分压器， R_{ENT} ， R_{ENB} 和 R_{ENH} 选择

在模块内部，一个2 mega ohm的上拉电阻器从 V_{IN} 连接到使能端。因为该应用不需要要精确的欠压锁定，使能输入可能处于开路状态，内部电阻将一直对模块使能。这种情况下，通常在电压为4.3V(V_{IN} 上升)时发生内部欠压锁定。

在单独监控电路应用中，使能可以与一个逻辑源直接连接。在电源定序的情况下，分压器与一个在上电周期中比LMZ22008输出电压轨更早激活的电压轨连接。

使能提供了一个精确的1.274V阈值，这使得可以直接逻辑驱动或者从一个更高的使能电压比如 V_{IN} 连接到一个电压分压器。此外还有一个允许可编程迟滞的13 μ A(典型)的开关偏置电流。请参阅图1。使能分压器的作用是帮助设计师选择一个输入电压，低于这个输入电压电路就会停停止运行。这体现了可编程欠压锁定的特性。这两个电阻器的选择应该要符合如下比率：

$$R_{ENT} / R_{ENB} = (V_{IN\ UVLO} / 1.274V) - 1 \quad (1)$$

LMZ22008典型应用所示，当 R_{ENB} 为12.7 k Ω ， R_{ENB} 为42.2 k Ω 时，导致5.51V的欠压锁定(UVLO)上升。请注意，当 V_{IN} 提高到20V时，分压器将对使能输入提供4.62V的电压。应始终对该高压进行检查，确保它不会超过使能5.5V的绝对最大极限值。在高电压超越使能输入的运行范围时，可使用5.1V齐纳钳位。如果目标应用禁止超越最大使能输入电压，就无需齐纳钳位。额外的使能电压迟滞也可以通过 R_{ENH} 增加。可以对 R_{ENT} 和 R_{ENB} 的值进行选择，以使 R_{ENH} 的值为0，在设计时可忽略不计。

上升阈值可按如下方程计算：

$$V_{EN(上升)} = 1.274 (1 + (R_{ENT} \parallel 2 \text{兆欧}) / R_{ENB}) \quad (2)$$

下降阈值电平可使用下列方程式计算：

$$V_{EN(下降)} = V_{EN(上升)} - 13 \mu A (R_{ENT} \parallel 2 \text{兆欧} \parallel R_{ENTB} + R_{ENH}) \quad (3)$$

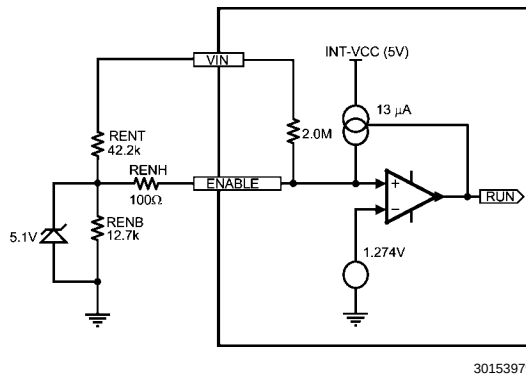


图1. 使能输入详图

输出电压选择

输出电压可以用连接在 V_{OUT} 和接地之间的两个电阻的分压器来确定。分压器的中点连接到FB输入。

调节输入电压由外部分压电阻 R_{FBT} 和 R_{FBB} 确定：

$$V_{OUT} = 0.795V * (1 + R_{FBT} / R_{FBB}) \quad (4)$$

变换上式，为了获得期望输出电压，反馈电阻的比率是：

$$R_{FBT} / R_{FBB} = (V_{OUT} / 0.795V) - 1 \quad (5)$$

一般地，这些电阻的阻值的选择应在1.0 k Ω 到10.0 k Ω 范围内。因为 $V_{OUT}=0.8V$ ，FB引脚可以直接连接到输出， R_{FBB} 可以设定为8.06 k Ω 以提供最小输出负载。

R_{FBT} 和 R_{FBB} 的数值表见第二页应用原理简图。

软启动电容选择

可编程软启动允许稳压器在上电后缓慢斜升至稳定工作状态点，从而降低输入电源电流浪涌和减慢输出电压的上升时间。

接通后，在通过了所有的欠压锁定条件后，一个1.6毫秒电路使SS/TRK输入缓慢斜升，实现内部软启动。如果1.6毫秒是一个足够的接通时间，那么 C_{SS} 电容就可不用。通过在该输入端增加一个外部电容就可以获得更长的软启动时间。

软启动持续时间按照如下方程计算

$$t_{SS} = V_{REF} * C_{SS} / I_{SS} = 0.795V * C_{SS} / 50\mu A \quad (6)$$

该方程可变换为：

$$C_{SS} = t_{SS} * 50\mu A / 0.795V \quad (7)$$

用一个0.22 μF 的电容就可以获得一个3.5毫秒的典型软启动持续时间；0.47 μF 可获得的典型软启动持续时间是7.5毫秒。0.47 μF 是推荐初始值。

当软启动输入电压超过0.795V，功率级输出将进行调节，并使50 μA 的电流失活。注意下列条件下使用内部电流吸收器通过SS输入对地放电将使软启动电容器复位：

- 使能输入下拉
- 热关断条件
- V_{IN} 下降至4.3V以下(典型)并触发 V_{CC} 欠电压锁定跳闸

跟踪电源分压器选择

跟踪功能允许模块作为从属电源连接到一次电压轨(通常是3.3V系统电压轨)，在其中从属模块输出电压比主电压更小。正确的配置允许从属电压轨与主电压轨同时上电，从而减小电压斜升期间两个电压轨之间的电压差(即<0.15V)。跟踪电阻分压器的值的选择要能使内部50 μA 电流源的影响最小化。在大多数情况下，电阻分压电阻器的比率是跟输出电压设定分压器的比值是一样的。跟踪模块的正常工作要求从属电压轨的软启动时间要比主电压轨的更短；由于用 R_{TKB} 取代了聚合物电容 C_{SS} ，这是一个容易满足的条件。跟踪功能只在主电源的上电间隔有效；一旦SS/TRK上升超过0.795V就不再被使能，50 μA 内部电流源也会被关断。

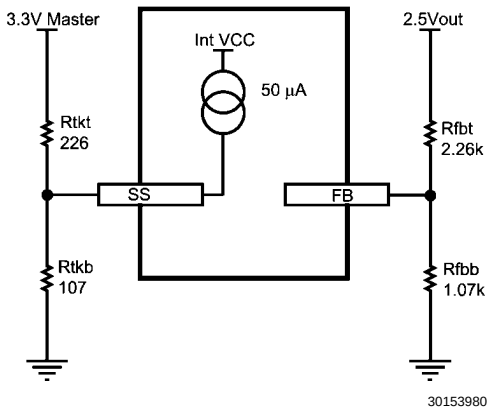


图2跟踪选择输入详图

C_{OUT} (输出电容)的选择

所需 C_{OUT} 输出电容均不包含在该模块内。基于误差信号放大器内部补偿值，对于 $6V_{OUT}$ 和 $1.2V_{OUT}$ 输出，要求最小额定电容值范围为330 μF 至660 μF 。

阻值(15兆欧姆)的钽，有机半导体或聚合物或电容器与一个高频降噪47nFX7R陶瓷电容器并联。输出电容器 C_{OUT} 可以由几个在靠近相邻模块并联布置的多个电容器组成。

该输出电容器必须满足通过(18)方程式计算的最差外壳额定纹波电流 ΔI_L 的要求。

除此之外，只要等效串联电阻阻值(ESR)足够低并且在允许范围内，额外的电容会减小输出纹波。环路响应验证将有助于闭环状态的确认。对于动态负载阶跃，下面的方程式针对负载瞬时响应要求较为准确地估算了初步 C_{OUT} 值：

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{step}}{(\Delta V_{OUT} - I_{STEP} \times ESR) \times \left(\frac{f_{SW}}{V_{OUT}} \right)} \quad (8)$$

对于 V_{IN} 等于12V， V_{OUT} 等于3.3V，5%的 V_{OUT} 瞬态电压为0.165V，负载阶跃7A(I_{STEP})，输出电容器的有效等效串联电阻阻值为3兆欧，开关频率为350kHz(f_{SW}):

$$C_{OUT} \geq \frac{7A}{(0.165V - 7A \times 0.003) \times \left(\frac{350e3}{3.3V} \right)} \geq 458 \mu F \quad (9)$$

请注意，最小输出电容稳定性的要求必须始终得以满足。

所推荐的输出电容器组合是两个330 μF ，等效串联电阻阻值(ESR)为15兆欧的钽聚合物电容器与一个47 μF 6.3VX5R陶瓷电容器并联。这种组合可提供极佳的性能，可能超过某些应用的要求。此外，可使用一些小的47nF陶瓷电容器，以抑制可用于高频电磁干扰。

C_{IN} 选择

该LMZ22008模块包含两个内部输入陶瓷电容。实际应用中，模块外部需要增加输入电容以减小输入纹波电流。输入电容器可以是多个电容器并联。该输入电容位置应非常接近模块。输入电容的选择通常是为了满足输入电流纹波的要求，而不是取决于电容值得大小。额定输入纹波电流通过下列方程式计算：

$$I_{CIN-RMS} = I_{OUT} \times \sqrt{D(1-D)} \quad (10)$$

方程中 $D \approx V_{OUT}/V_{IN}$

(作为一个参考点，当模块处于满负载电流情况下且 $V_{IN} = 2 * V_{OUT}$ 时，将会产生最糟外壳波纹电流。)

推荐的最小输入电容是30 μF X 7R (或者X5R)陶瓷电容，其电压额定值至少要高于该应用中最大输入电压的25%。另外需要注意的是所选电容的电压和温度的降额。还应该注意到陶瓷电容器的波纹电流额定值在电容数据表中可能没有列出，你需要直接与电容生产商联系。

如果系统设计要求保持某个小的峰-峰输入纹波电压值(ΔV_{IN})，可用下列方程计算：

$$C_{IN} \geq \frac{I_{OUT} \times D \times (1 - D)}{f_{SW} \times \Delta V_{IN}} \quad (11)$$

若 ΔV_{IN} 为200 mV，或在12V输入、3.3V输出的应用中，为 V_{IN} 的1.66%，且 $f_{SW}=350$ kHz，那么：

$$C_{IN} \geq \frac{8A \times \left(\frac{3.3V}{12V}\right) \times \left(1 - \frac{3.3V}{12V}\right)}{350 \text{ kHz} \times 200 \text{ mV}} \geq 22.4 \mu\text{F} \quad (12)$$

为抑制输入电源线的寄生电感和输入电容的共振效应需要增加ESR值较高的大容量电容。为实现这个功能，LMZ22008典型应用原理图和评估板包含一个150 μF 50V的铝电容。在很多情况下这个电容并非是必需的。

功率耗散和电路板散热要求

计算模块功耗时，要使用该应用的最大输入电压和平均输出电流。在特性曲线中提供了很多一般工作条件，这样通过插值就可以推导出不常见的应用。在所有的设计中，结点温度必须保持低于125°C的额定最大值。

对于 $V_{IN} = 12\text{V}$ ， $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ ， $I_{OUT} = 8\text{A}$ ，和 $T_{A-MAX} = 50^\circ\text{C}$ 的设计实例，模块从外壳到环境中的热阻(θ_{CA})必须小于：

$$\theta_{CA} < \frac{T_{J-MAX} - T_{A-MAX}}{P_{IC-LOSS}} - \theta_{JC} \quad (13)$$

假设从结点到外壳的典型热阻(θ_{JC})为1.0°C/W。使用在典型性能特性章节所述的85°C时功率耗散来估算该应用设计的 $P_{IC-LOSS}$ 。在该应用中它是3.9W。

$$\theta_{CA} < \frac{125^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{3.9 \text{ W}} - 1.0 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} < 18.23 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (14)$$

为使 $\theta_{CA}=18.23$ ，要求印刷电路板(PCB)能有效散热。在没有空气流动，无外部散热器的情况下，按照以下方程近似估算用2盎司铜皮在顶层和底层覆盖的所需印刷电路板面积：

$$\text{电路板面积}_{\text{cm}^2} \geq \frac{500}{\theta_{CA}} \cdot \frac{^\circ\text{C} \times \text{cm}^2}{\text{W}} \quad (15)$$

结果显示，印刷电路板设计需要大概27.42平方厘米的2盎司铜皮以覆盖顶层和底层板。这是5.23 x 5.23厘米(2.06 x 2.06英寸)的正方形。印刷电路板铜散热器必须连接到裸露焊盘上。为获得最佳性能，使用约100个12密耳(305 μm)的间距为59密耳的散热通孔(1.5毫米)连接铜顶部至底部铜覆层。

另一种来估计设计升温的方法是使用 θ_{JA} 。对于不同的散热覆铜面积和气流， θ_{JA} 的估测值可从典型的应用曲线图获得。如果我们的设计要求相同的工作条件，但气流为225LFPM，我们得到了所需的 θ_{JA} 为

$$\theta_{JA} < \frac{T_{J-MAX} - T_{A-MAX}}{P_{IC-LOSS}}$$

$$\theta_{JA} < \frac{(125 - 50)^\circ\text{C}}{3.9 \text{ W}} < 19.23 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (16)$$

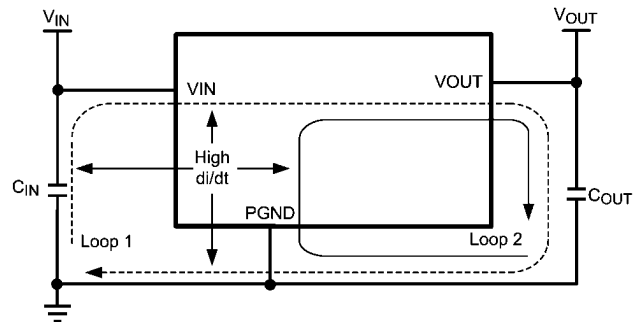
在 θ_{JA} 与铜散热曲线图上所示，该应用所要求的覆铜面积本现在仅有1平方英寸。气流减少了4倍的所需散热面积。

为了进一步减少散热覆铜面积，该封装兼容了D3-PAK表面贴装散热片。

对于SIMPLE SWITCHER®易电源电源模块的高导热性能的印刷电路板布局举例，参阅AN-2093，AN-2084，AN-2125，AN-2020和AN-2026。

印刷电路板布局指南

印刷电路板布线是直流-直流转换器设计的一个重要部分。不理想的布线方案会增加电磁干扰、接地反弹和走线上的电阻压降，这些都将影响直流-直流转换器和周围电路的性能。这些将向直流-直流转换器发送错误的信号，导致调节不利或不稳定。好的布线方案需要遵循以下几点简单的设计规则。图6所示就是一个很好的布局范例。



30153981

图3高电流回路

1. 使开关电流回路尽可能小。

从抑制电磁干扰的角度来看，如上图所示，PC板布局过程中必须尽量降低高的di/dt电流通路。不重叠的大电流回路有高di/dt区域，如果输入电容(C_{IN})安装位置远离LMZ22008，在输出引脚上就会引起显著的高频噪声。因此要尽可能使输入电容 C_{IN} 接近LMZ22008的VIN引脚和GND裸露焊盘，以避免输出引脚上产生的明显的高频噪声。这也将使高di/dt区面积最小化，从而降低辐射的电磁干扰。另外，输入和输出电容接地都需要包括一个局部的顶部平面，用来连接GND裸露焊盘(EP)。

2. 采用单点接地。

反馈电路、软启动和使能端元件的接地线只能连接到器件的AGND引脚。这样可避免开关电流或负载电流流入模拟地线中。如果布置不当，接地不良可能导致负载调节性能降低或出现输出电压纹波漂移现象。连接引脚4到EP，形成单点接地连接。

3. 使FB引脚的走线长度尽可能短。

反馈电阻 R_{FBT} 和 R_{FBB} 应尽可能靠近FB引脚。由于FB引脚具有高阻抗，因此应使覆铜面积尽可能小。从 R_{FBT} 、 R_{FBB} 走线应与LMZ22008模块保持一定的距离，将可能的噪声拾取最小化。

4. 输入输出总线连线尽可能宽。

这样可以减少转换器输入或输出上的压降，从而使效率最大化。为了优化负载上的电压精度，要确保负载上有单独的电压反馈走线。这样将纠正压降，提供最优输出精度。

5. 确保器件散热充分。

使用一组散热孔将裸露焊盘和印刷电路板底层的接地平面连接起来。如果印刷电路板有多个覆铜层，散热通孔同样可以用来连接内层散热接地平面。为了达到最佳效果，可使用一个最小半径为12密耳(305 μm)、间隔为46.8密耳(1.5 mm)的10 x 10散热通孔组。确保有足够大的覆铜面积用来散热，保持结点温度低于125°C。

均流模块可以配置为均分同组大容量输入和输出电容器的负载电流，同时它们每一个又有其自己局部的输入和输出旁路电容器。对于在均流配置中连接的每个模块，仍然推荐 $C_{IN_BYP} \geq 30\mu\text{F}$ 。建议 C_{OUT_BYP} 由47nF X7R 陶瓷电容器与一个22 μF 的陶瓷电容器并联组成，以在局部绕开每个模块的输出电压。这些电容器可提供高频切换电流的局部旁路电流。当均流引脚与第二个模块连接时，主模块的环路增益增加两倍。这增加了稳定性所需要的大容量输出电容值。例如，配置用以提供1.2V的输出电压和16安培电流的两个模块，所需总输出电容值 $C_{OUT_BULK} = 2 \times 450\mu\text{F}$ (等效串联电阻阻值为25兆欧)。在一个独立的模块中，所需输出电容值增加了百分之三十六。对于高达32安培的负载，可将4个模块并联连接。有关均流的更多资料，请参阅AN-2093(均流评估板)。

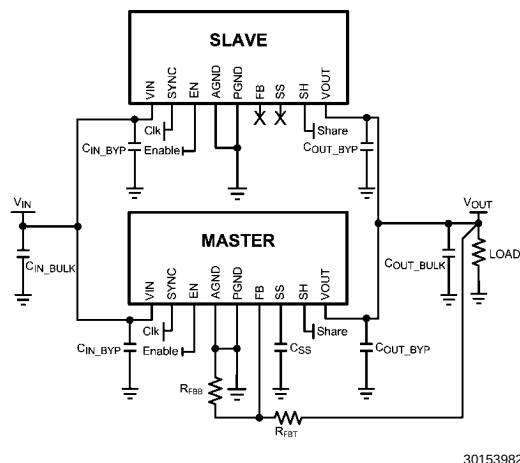
附加特性

同步输入

脉冲宽度调制(PWM)开关频率可以与一个外部频率源同步。脉冲宽度调制(PWM)开关频率将与该外部频率源同相。如若不使用该功能，将该输入直接接地，或者通过一个小于或等于1.5千欧姆的电阻器接地。所允许的同步频率范围为314 kHz至600 kHz。典型输入阈值为1.4V。理想状态下，输入时钟应超越该阈值2倍，所以推荐通过1.5千欧或较小的戴文宁(Thevenin)源电阻从3.3V逻辑电平直接驱动。注意，施加一个持续的“逻辑1”类似于零赫兹脉冲宽度调制频率，将导致模块停止转换。

均流

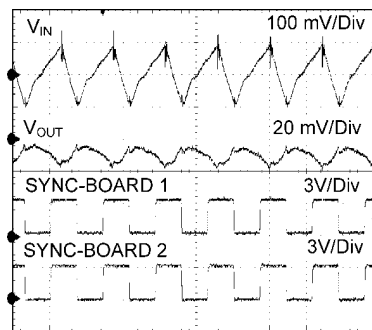
当应用所要求的负载电流高于8安培时，可对LMZ22008进行配置以均分多器件之间的负载。为了达到均分器件之间负载电流的目的，要连接所有均流LMZ22008模块的SH引脚。应将一个器件，通过与FB正常连接，配置为主导器件。所有其他器件，通过其相关FB引脚浮接，均应配置为从属器件。这些模块应通过一个时钟信号同步，以避免由内部359kHz时钟微小差异引起的在输出电压中的拍频。如若这些模块不同步，纹波电压的大小将取决于内部时钟的相位关系。所有模块的外部时钟可以同相，或不同相以降低输入和输出电容器的电流应力。例如，两个模块可以180度不同相，三个模块可以120度不同相。 V_{IN} 、 V_{OUT} 、 $PGND$ 、和 $AGND$ 引脚也应与低阻抗回路连接。由于其它器件将出现如均流不匹配的噪音拾取和接地偏差，并可能产生噪音的问题，所以要特别注意 $AGND$ 和 SH 布局，这一点至关重要。



30153982

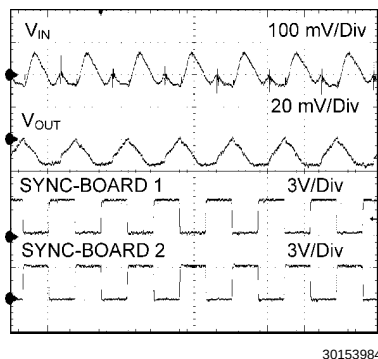
图4. 均流示例图

同步时钟同相的两个模块的输出电压纹波



30153983

同步时钟180度不同相的两个模块的输出电压纹波



30153984

输出过电压保护

如果在FB的电压大于0.86V的内部基准电压，误差信号放大器输出会下拉至接地，导致V_{OUT}下降。

电流限制

通过低边(LS)和高边(HS)两边的电流限制电路来保护LMZ22008模块。在关断时间，通过监控通过低边同步金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)的电流，就可以对低边电流限制值进行检测。请参阅功能框图，当顶部MOSFET断开，电感电流流过负载，PGND引脚和内部同步MOSFET。如果该电流超过13A(典型值)，电流限制比较器就会终止下一个开关周期的开始，这个过程会一直持续到电流低于限制值为止。还应该注意的是直流电流限制取决于在典型性能章节的图中所示的占空比。高边电流限制监控顶部金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)的电流。一旦检测出高边电流限制值(典型值为16A)，高边金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)立即会被关断，直到下一个周期。超过高边电流限制值会导致V_{OUT}下降。超过低边电流限制值的典型运行状态是f_{SW}降低到运行频率的1/2。

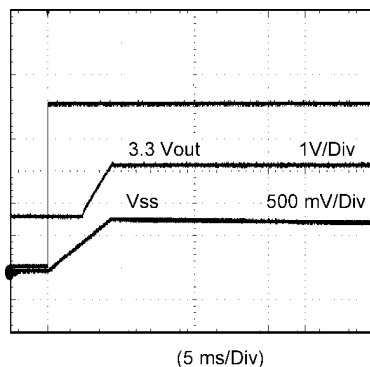
热保护

LMZ22008模块的结点温度不得超过其最大额定值。热保护通过一个内部热关断电路实现。在165°C(典型)的情况下该电路就会启动，进入一个低功率备用状态。在这种状态下，主要MOSFET保持关断而使V_{OUT}下降，同时CSS电容器对地放电。热保护功能有助于防止器件意外过热造成严重事故。。当结点温度降低到150°C(典型迟滞=15°C)以下时，SS引脚释放，V_{OUT}平稳上升，恢复正常运行。在要求有最大输出电流的应用中，尤其是在高输入电压应用中，可能会要求有额外的高温降额。

预偏置启动

LMZ22008将正常启动进入预偏置输出。在多轨逻辑应用中，这种启动情况是很普通的。在启动程序执行期间，在不同的电源轨之间会存在有多个电源通道。下面捕获到的波形图展示了在这种模式下正确的运行状态。波形轨迹1为使能走高。波形轨迹2为1.8V预偏置上升到3.3V。波形轨迹3所示为由C_{SS}确定的上升时间。

预偏置启动



(5 ms/Div)

30153985

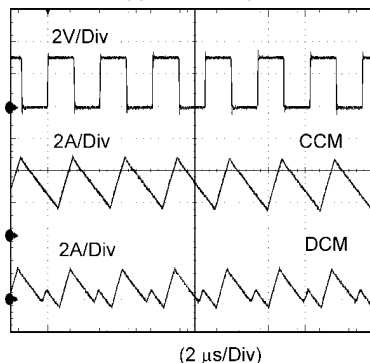
非连续传导和连续传导模式

小负载情况下，稳压器将以非连续传导模式(DCM)运行。随着负载电流大于临界传导点，稳压器将以连续传导模式运行。当在非连续传导模式下运行时，电感器电流保持一个等于输出电流的平均值。在非连续传导模式下，电感器电流下降到零时，低边开关将关闭，这将导致电感器电流产生谐振。虽然在非连续传导模式下运行，但允许有轻微的负电流对自举电容进行充电。

在连续传导模式(CCM)下，在整个开关周期内电流流过电感且在关断时间内绝不会降至零。

下面所示为连续传导模式(上部)和非连续模式(DCM)的一组波形比较图。

连续运行模式和非连续运行模式
V_{IN} = 12V, V_{OUT} = 3.3V, I_O = 3A/0.3A



(2 μs/Div)

30153986

确定DCM/CCM界限的近似方程如下：

$$I_{DCB} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times D}{2 \times L \times f_{SW}} \quad (17)$$

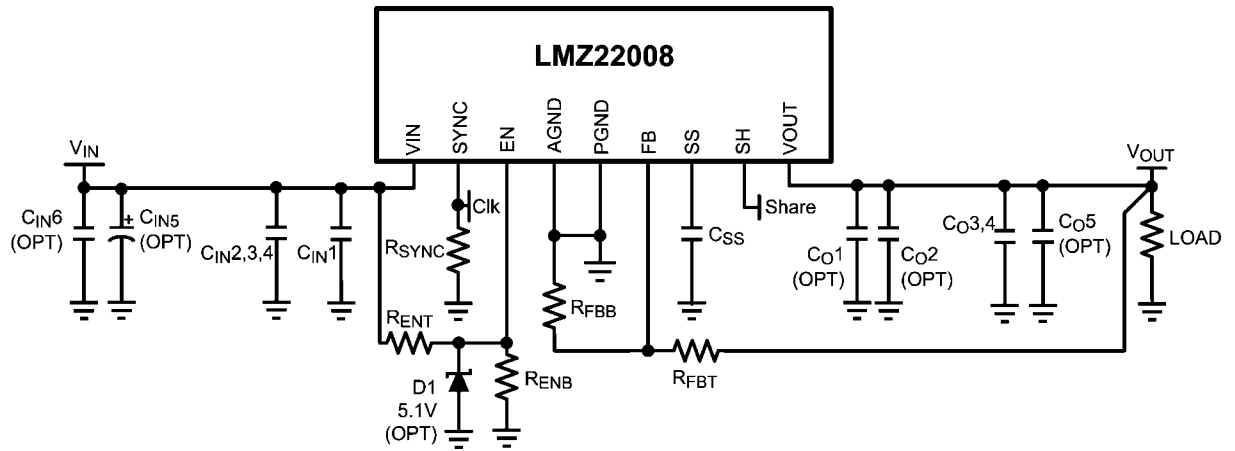
模块内部的电感器是2.2 μH。这个值的选择是在低输入电压和高输入电压应用间是一个很好的平衡值。被电感器影响的主要参数是电感纹波电流的幅值(Δi_L)。Δi_L可以用下面的方程计算：

$$\Delta i_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times D}{L \times f_{SW}} \quad (18)$$

方程中，V_{IN}是最大输入电压，f_{SW}是359 kHz(典型值)。

通过假设I_{OUT}=I_L，如果确定了输出电流I_{OUT}，那么即可确定更高和更低的Δi_L峰值。

典型应用原理图及物料清单

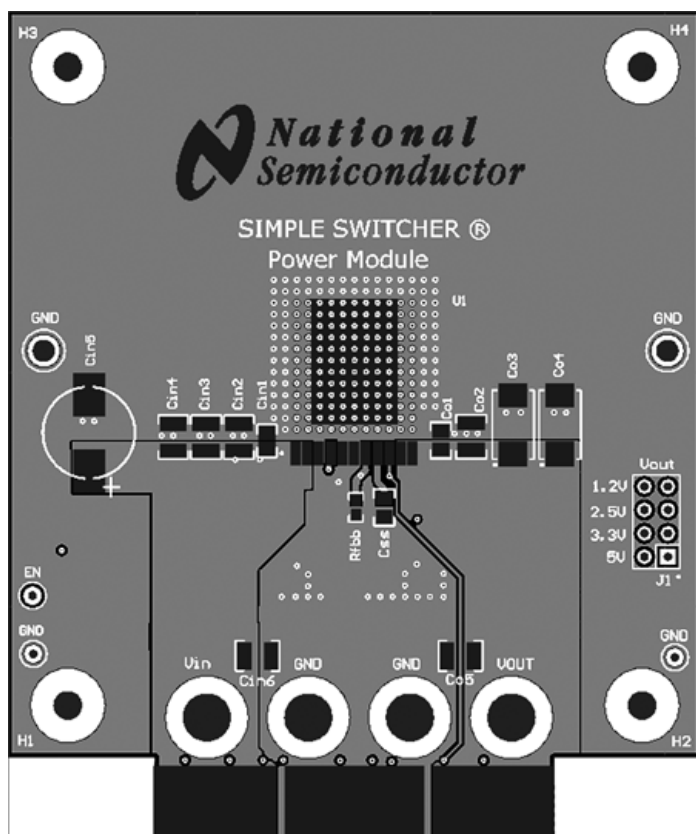


30153987

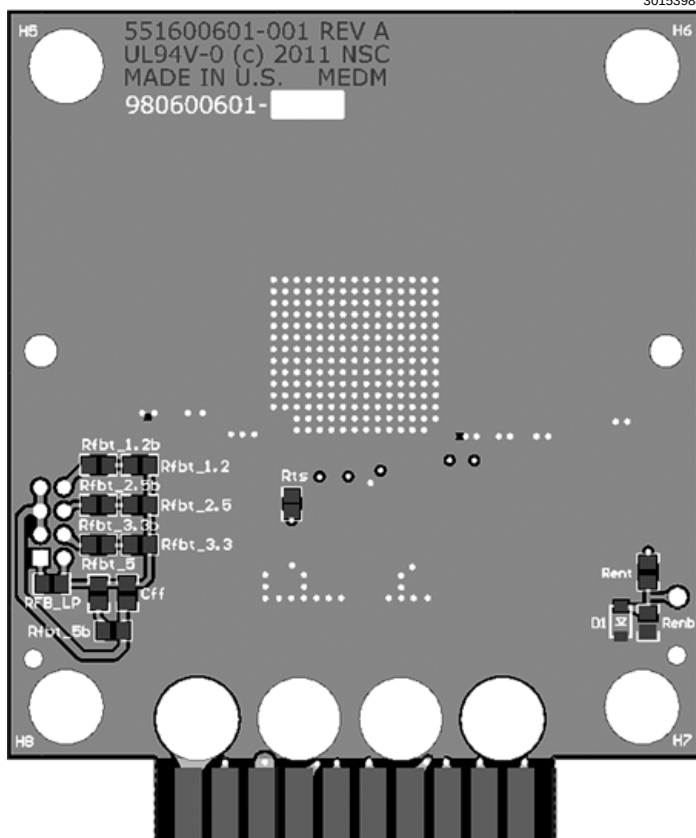
图5.

典型应用物料清单—表1

参考编号	说明	外壳尺寸	制造商	P/N/制造商
U1	SIMPLE SWITCHER® 易电源	TO-PMOD-11	美国国家半导体公司	LMZ22008TZ
CIN1,6 (OPT)	0.047 μ F, 50V, X7R	1206	国巨美国公司	CC1206KRX7R9BB473
CIN2,3,4	10 μ F, 50V, X7R	1210	日本太阳诱电	UMK325BJ106MM-T
CIN5 (OPT)	CAP, AL, 150 μ F, 50V	Radial G	松下电器	EEE-FK1H151P
CO1,5 (OPT)	0.047 μ F, 50V, X7R	1206	国巨美国公司	CC1206KRX7R9BB473
CO2 (OPT)	47 μ F, 10V, X7R	1210	村田	GRM32ER61A476KE20L
CO3,4	330 μ F, 6.3V, 0.015 ohm	CAPSMT_6_UE	Kemet	T520D337M006ATE015
RFBT	3.32 k Ω	0805	松下电器	ERJ-6ENF3321V
RFBB	1.07 k Ω	0805	松下电器	ERJ-6ENF1071V
RSYNC	1.50 k Ω	0805	威世达勒	CRCW08051K50FKEA
RENT	42.2 k Ω	0805	松下电器	ERJ-6ENF4222V
RENB	12.7 k Ω	0805	松下电器	ERJ-6ENF1272V
CSS	0.47 μ F, $\pm$ 10%, X7R, 16V	0805	AVX	0805YC474KAT2A
D1 (OPT)	5.1V, 0.5W	SOD-123	Diodes Inc.	MMSZ5231BS-7-F



30153988



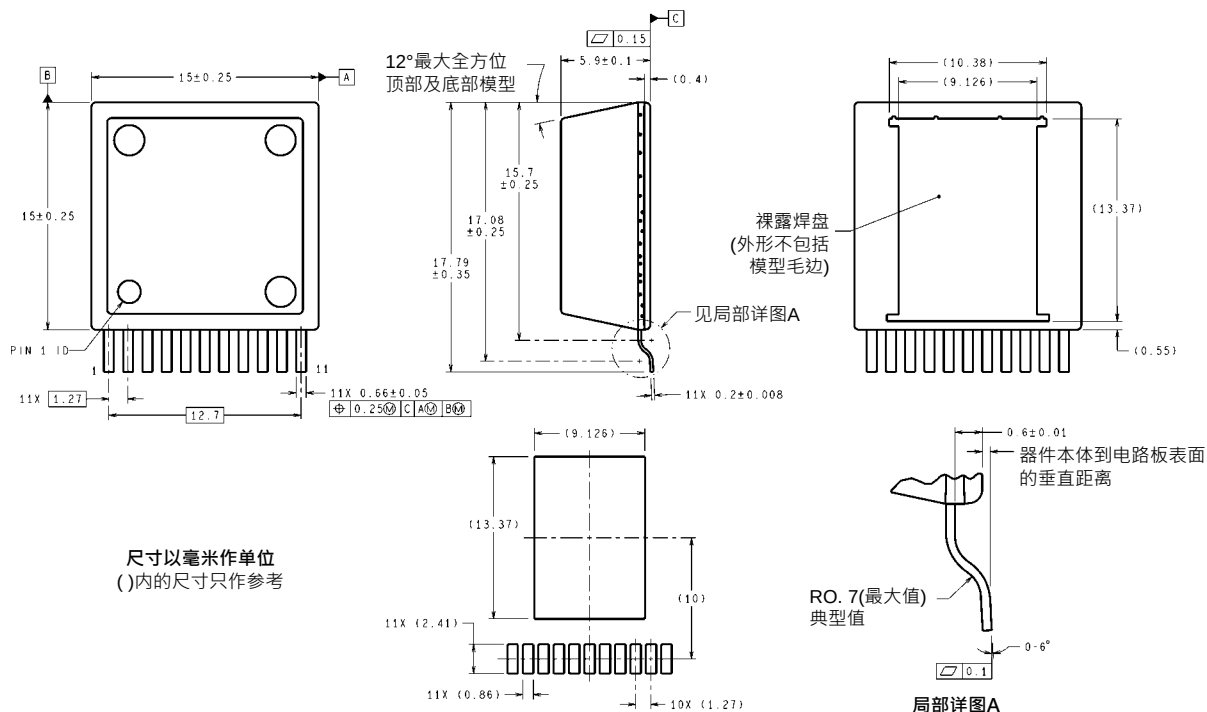
30153989

图6. 布局范例

物理尺寸

英寸(毫米)(除非另作说明)

LMZ22008



TZA11A (Rev D)

注释

欲了解有关美国国家半导体的产品和验证设计工具的更多信息，请访问以下站点：

www.national.com

产品		设计支持工具	
放大器	www.national.com/amplifiers	WEBENCH® 设计工具	www.national.com/webench
音频	www.national.com/audio	应用注解	www.national.com/appnotes
时钟及定时	www.national.com/timing	参考设计	www.national.com/refdesigns
数据转换器	www.national.com/adac	索取样片	www.national.com/samples
接口	www.national.com/interface	评估板	www.national.com/evalboards
LVDS	www.national.com/lvds	封装	www.national.com/packaging
电源管理	www.national.com/power	绿色公约	www.national.com/quality/green
开关稳压器	www.national.com/switchers	分销商	www.national.com/contacts
LDOs	www.national.com/ldo	质量可靠性	www.national.com/quality
LED 照明	www.national.com/led	反馈及支持	www.national.com/feedback
电压参考	www.national.com/vref	简易设计步骤	www.national.com/easy
PowerWise® 解决方案	www.national.com/powerwise	解决方案	www.national.com/solutions
串行数字接口 (SDI)	www.national.com/sdi	军事 / 宇航	www.national.com/milaero
温度传感器	www.national.com/tempsensors	SolarMagic™	www.national.com/solarmagic
无线通信解决方案(PLL/VCO)	www.national.com/wireless	PowerWise® 设计大学	www.national.com/training

本文内容涉及美国国家半导体公司(NATIONAL)产品。美国国家半导体公司对本文内容的准确性与完整性不作任何表示且不承担任何法律责任。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，恕不另行公司通知。本文没有明示或暗示地以禁止反言或其他任何方式，授予过任何知识产权许可。

美国国家半导体公司按照其认为必要的程度执行产品测试及其它质量控制以支持产品质量保证。没有必要对每个产品执行政府规定范围外的所有参数测试。美国国家半导体公司没有责任提供应用帮助或者购买者产品设计。购买者对其使用美国国家半导体公司的部件的产品和应用承担责任。在使用和分销包含美国国家半导体公司的部件的任何产品之前，购买者应提供充分的设计、测试及操作安全保障。

除非有有关该产品的销售条款规定，否则美国国家半导体公司不承担任何由此引出的任何责任，也不承认任何有关该产品销售权与/或者产品使用权的明示或暗示的授权，其中包括以特殊目的、以营利为目的的授权，或者对专利权、版权、或其他知识产权的侵害。

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：

生命支持设备或系统指：(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)支持或维持生命的设备或系统，其在依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。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或系统失效，或影响生命支持设备或系统的安全性或效力的任何部件。

National Semiconductor和National Semiconductor标志均为美国国家半导体公司的注册商标。其他品牌或产品名称均为有关公司所拥有的商标或注册商标。

美国国家半导体公司2011版权所有。

欲了解最新产品信息，请访问公司网站：www.national.com



美国国家半导体美洲区技术支持中心

电子邮件: support@nsc.com
电话: 1-800-272-9959

美国国家半导体欧洲技术支持中心

电子邮件: europe.support@nsc.com

美国国家半导体亚太区技术支持中心

电子邮件: ap.support@nsc.com

美国国家半导体日本技术支持中心

电子邮件: jpn.feedback@nsc.com

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
LMZ22008TZ/NOPB	Active	Production	PFM (NDY) 11	32 TUBE	Yes	SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 85	LMZ22008
LMZ22008TZ/NOPB.A	Active	Production	PFM (NDY) 11	32 TUBE	Yes	SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 85	LMZ22008
LMZ22008TZE/NOPB	Active	Production	PFM (NDY) 11	250 SMALL T&R	Yes	SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 85	LMZ22008
LMZ22008TZE/NOPB.A	Active	Production	PFM (NDY) 11	250 SMALL T&R	Yes	SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 85	LMZ22008

⁽¹⁾ **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

⁽²⁾ **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

⁽³⁾ **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

⁽⁴⁾ **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

⁽⁵⁾ **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

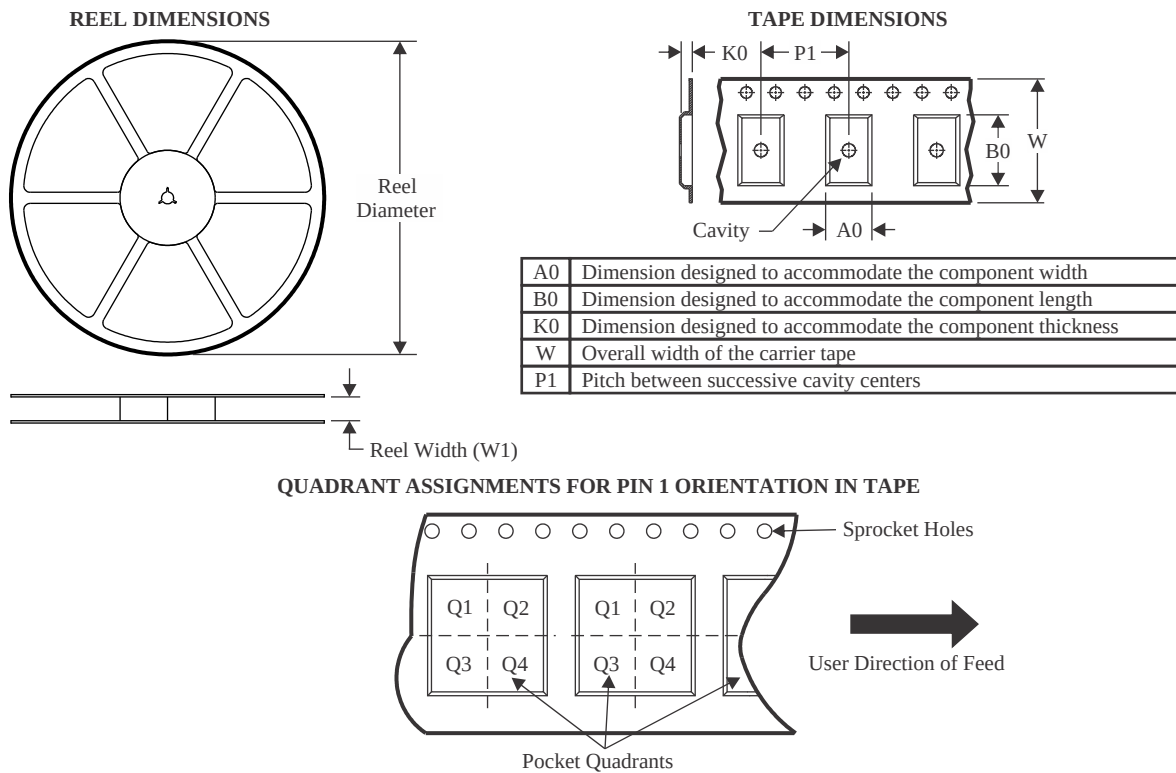
⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

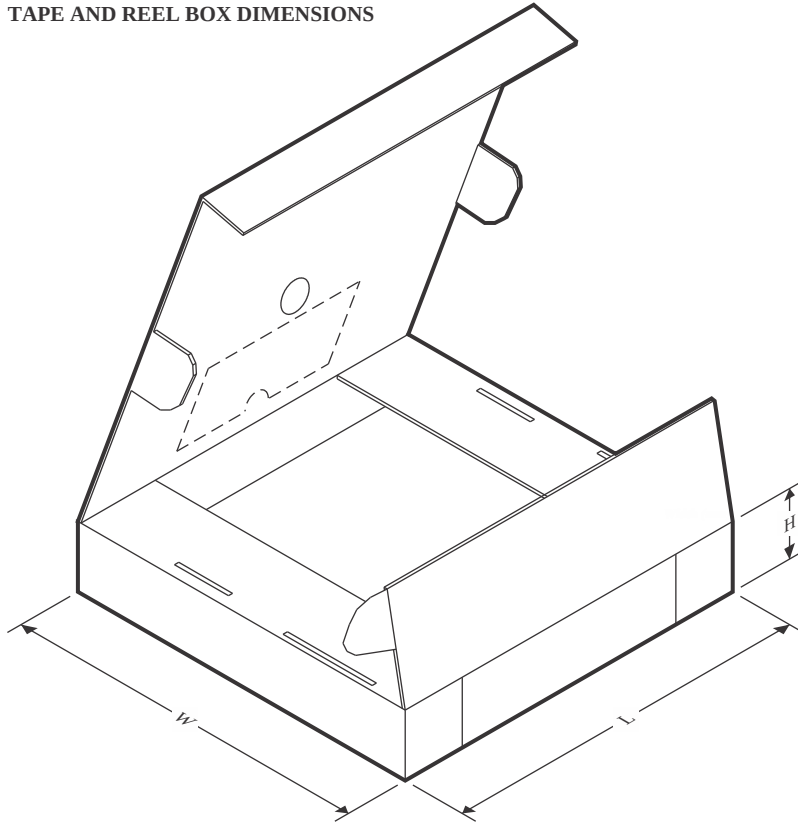
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LMZ22008TZE/NOPB	PFM	NDY	11	250	330.0	32.4	15.45	18.34	6.2	20.0	32.0	Q2

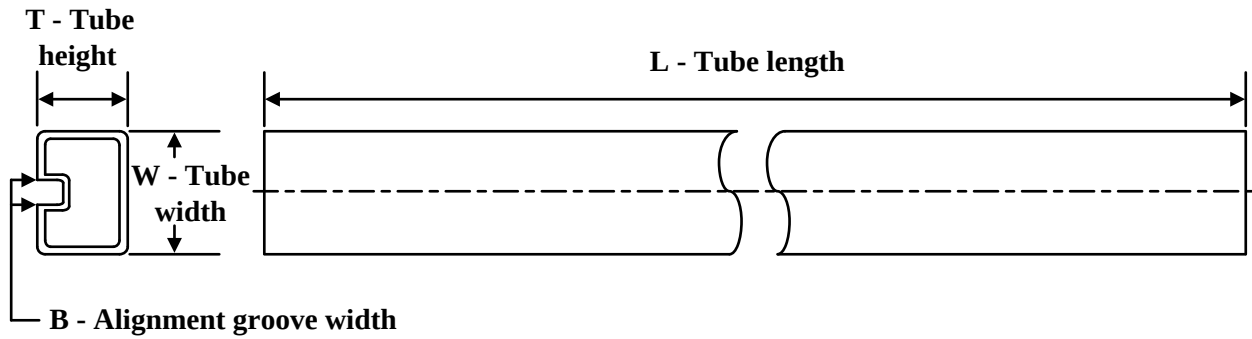
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LMZ22008TZE/NOPB	PFM	NDY	11	250	367.0	367.0	55.0

TUBE



*All dimensions are nominal

Device	Package Name	Package Type	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (μm)	B (mm)
LMZ22008TZ/NOPB	NDY	TO-PMOD	11	32	502	22	7500	13.1
LMZ22008TZ/NOPB.A	NDY	TO-PMOD	11	32	502	22	7500	13.1

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月