

TI 高精度设计： 经验证的设计

模拟脉宽调制



TI 高精度设计

TI 高精度设计是 TI 的模拟产品专家创建的模拟解决方案。 经验证的设计提供理论、组件选择、仿真、完整的印刷电路板 (PCB) 电路原理图 & 布局布线、物料清单和有用电路的经测试性能。 还讨论了有助于符合替代设计目标要求的电路修改。

设计资源

[设计存档](#) 全部设计文件
[TINA-TI™](#) SPICE 模拟器
[OPA2365](#) 产品文件夹
[TLV3502](#) 产品文件夹
[REF3325](#) 产品文件夹

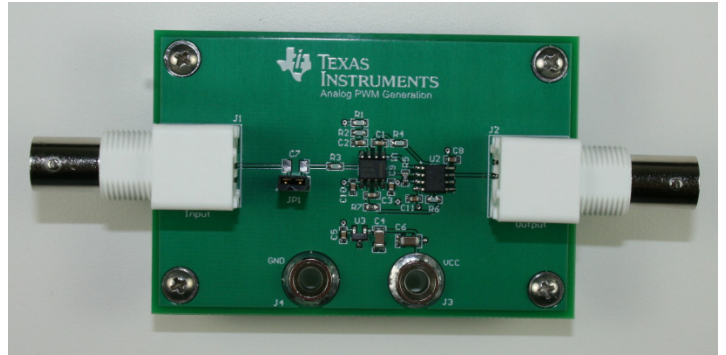
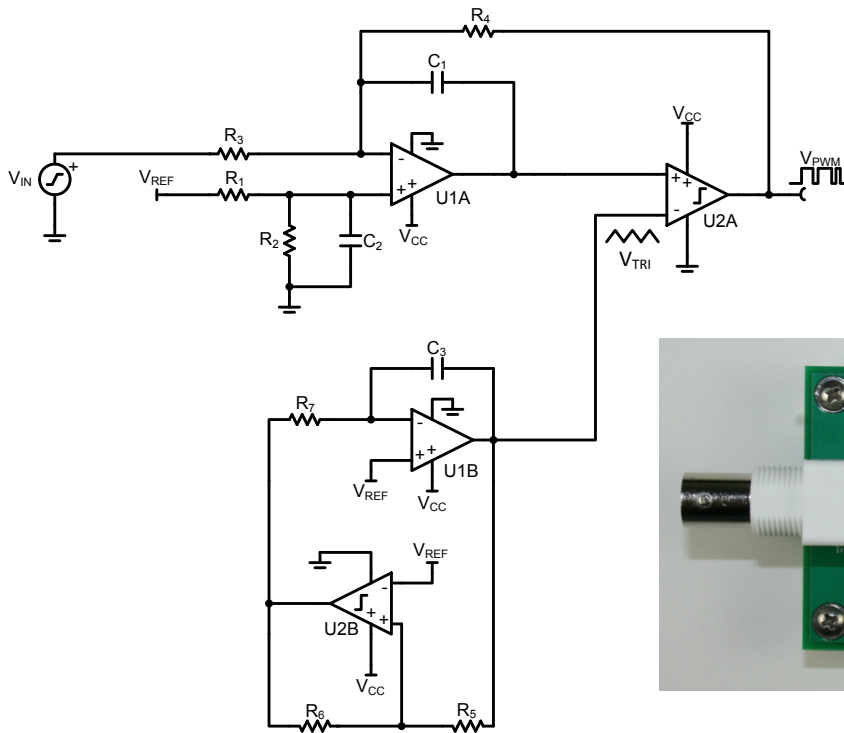
电路描述

这个电路采用一个三角波形发生器和比较器来生成一个脉宽调制 (PWM) 波形，此时占空比与输入电压成反比。一个运算放大器和比较器生成一个三角波形，此波形穿过第二比较器的反相输入。 通过将输入电压通过非反相比较器输入，产生一个 PWM 波形。 采用了一个对误差放大器的 PWM 波形的负反馈，以确保输出的高精度和线性。



这个 TI 参考设计末尾的一个重要声明解决了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

TINA-TI 是德州仪器 (TI) 的商标
WEBENCH 是德州仪器 (TI) 的注册商标



1 设计总结

设计要求如下：

- 电源电压： 5V 直流
- 输入电压： -2V 至 +2V，直流耦合
- 输出： 5V，500kHz PWM
- 理想的转换功能： $V_O = (-1 * V_{IN}) + 2.5 \text{ V}$

Table 1 中总结了设计目标和性能。

表 1： 设计目标和性能总结。

	目标值	模拟值	测量值
总谐波失真 (THD) (1Vrms, 1kHz)	0.1%	不可用	0.009%
偏移误差 (%)	5%	2.324%	0.108%
增益误差 (%)	5%	4.5%	0.22%

Figure 1 图示了此电路的运行。一个输入波形被转换为 5 Vp, 500kHz PWM 波形。此波形的占空比被从输入信号反相。



这个 TI 参考设计末尾的一个重要声明解决了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

TINA-TI 是德州仪器 (TI) 的商标
WEBENCH 是德州仪器 (TI) 的注册商标

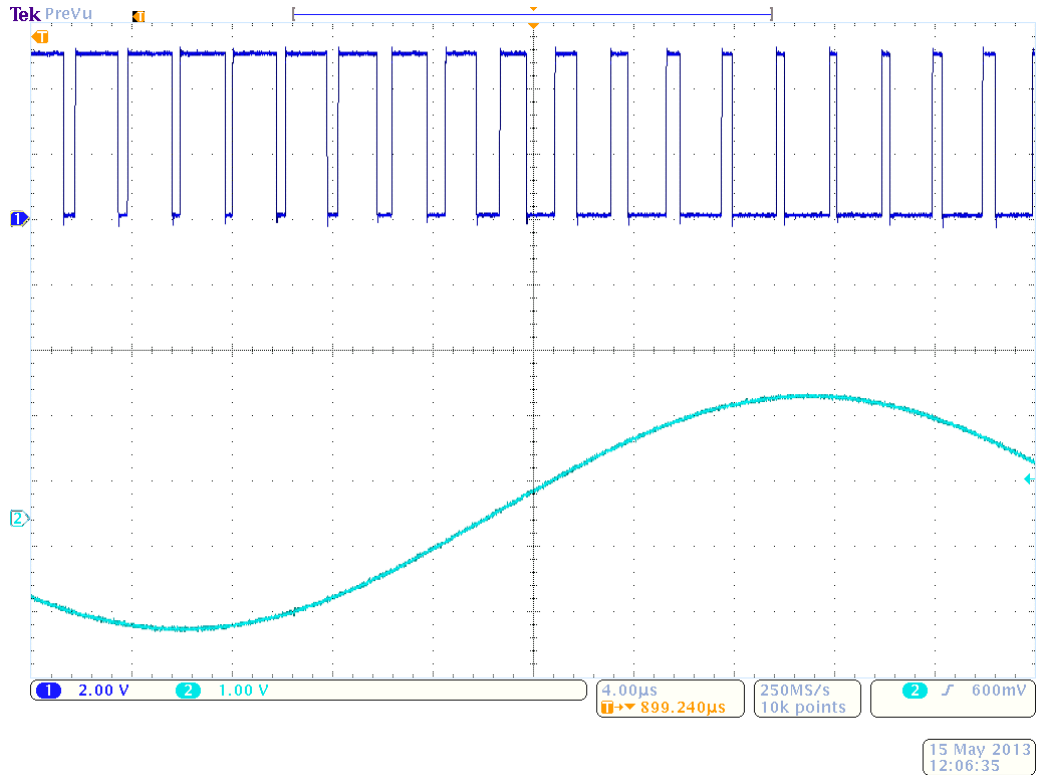


图 1: 针对 20kHz, 1.5 V_p 输入正弦波 (底部) 的实际 PWM 输出 (底部)。

2 操作原理

PWM 经过低通滤波器将产生一个遵循以下函数的输出电压：

$$V_0 = \delta * V_{P_{PWM}} \quad (1)$$

其中， V_0 是已平均输出电压， δ 是 PWM 波形的占空比，而 $V_{P_{PWM}}$ 是其振幅。例如，一个占空比为 75% 的 5V PWM 波形将在低通滤波时产生一个 3.75V 的输出电压。这个概念在诸如 D 类音频放大器、开关电源、光传输和通过数字隔离来传送模拟信息的诸多应用中非常有用。通过把这个电路的运行分为三个部分来更好地理解这个其运行：一个比较器、一个误差放大器和一个三角波形发生器。

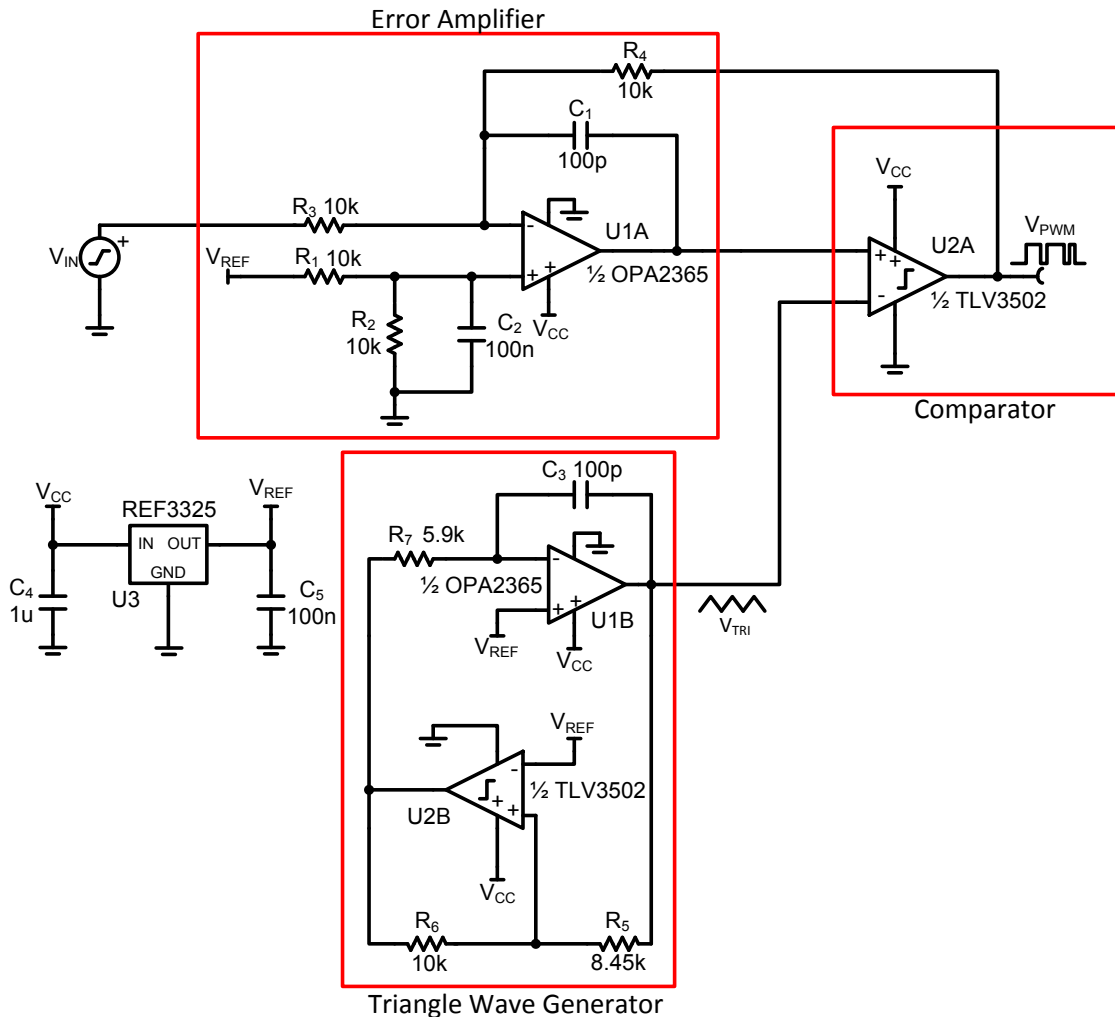


图 2: 功能部分被突出显示的完整电路原理图

2.1 输出比较器功能

最好用图形的方式来理解输出比较器的运行（双路比较器 U2 的一半）。Figure 3 图示了到比较器的两个输入（顶部、三角和正弦波）以及输出（底部）。被施加到比较器负输入上的三角波。正弦曲线代表一个施加到比较器正输入上的信号。请注意，当三角波的值大于输入信号的值的时候，比较器的输出为低电平。相反的，当输入信号的值大于三角波的值的时候，比较器的输出为高电平。这个简单的放大产生一个输出方波，此方波的占空比的变化取决于输入电压。

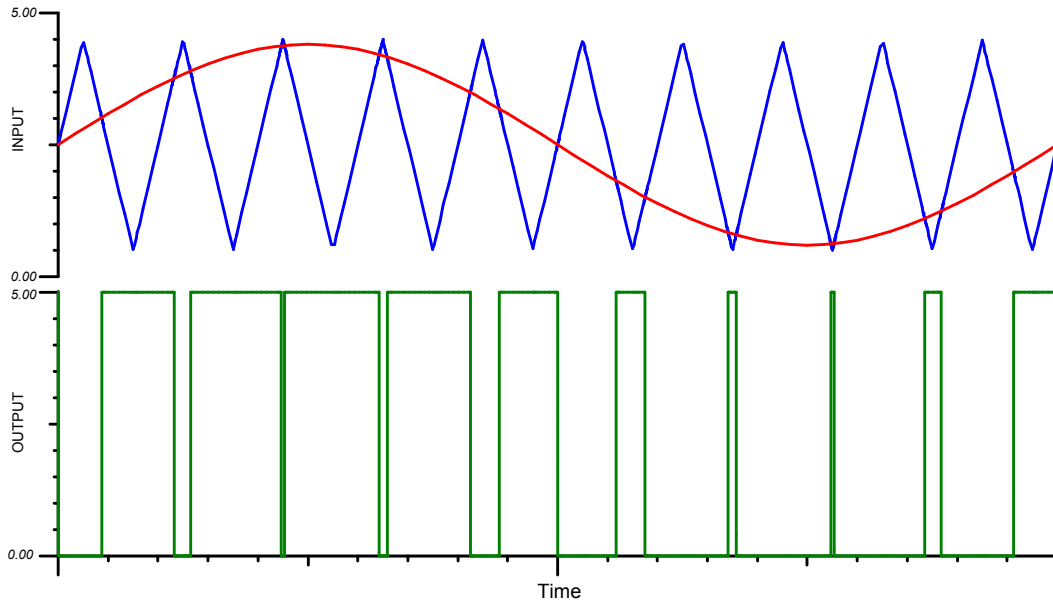


图 3：三角波被施加到其负输入（蓝色）和一个正弦波被施加到其正输入（红色）的比较器的输出（绿色）。

A.1 误差放大器设计

误差放大器，包含双路运算放大器 U1 的一半，有两个用途。首先，为了纠正比较器所引入的输出电压误差，误差放大器调节输出 PWM 波形的反馈。其次，它添加一个直流偏移到输入电压，这样的话，可由电路调节负输入电压。

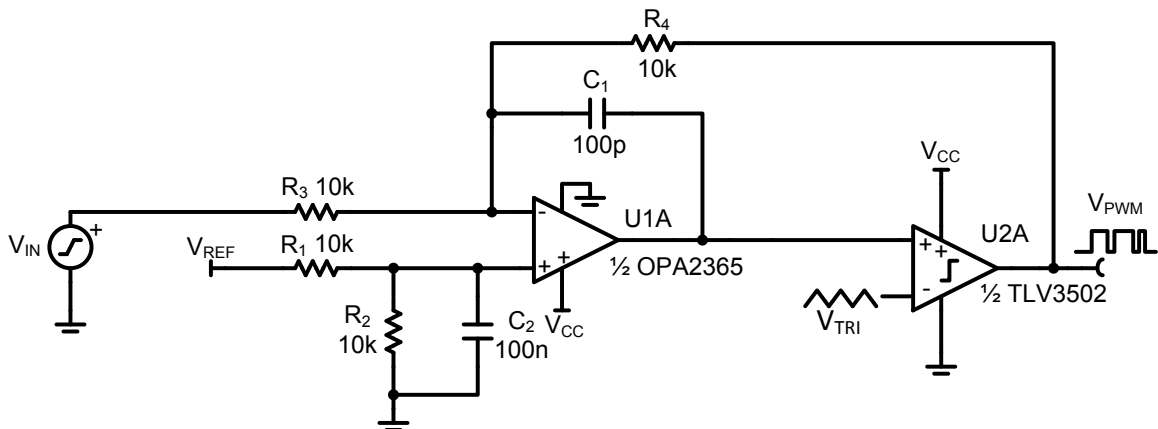


图 4：具有经计算得出的元器件值的误差放大器和输出比较器

很多的 PWM 电路的运行未将比较器包括在一个放大器的反馈环路中。对于这些电路，输出占空比是三角波的振幅 (V_{TRI}) 和输入信号振幅 ($V_{输入}$) 的函数。平均输出电压 (V_0) 取决于 PWM 波形的振幅 (V_{PWM})，它通常由比较器的电源电压确定。

$$V_0 = \delta * V_{PWM} = \frac{V_{TRI} + V_{IN}}{2 * V_{TRI}} * V_{PWM} \quad (2)$$

由于比较器的电源电压直接影响输出电压，无反馈的 PWM 电路无电源抑制。在这个 TI 设计中，误差放大器运行为一个输入信号的反相放大器，显示为一个直流耦合源 $V_{输入}$ 。通过将比较器包括在误差放大器的反馈环路中，并且添加集成电容器 C1，现在误差放大器直接控制平均输出电压。

$$V_O = \left(-\frac{R_4}{R_3} * V_{IN} \right) + V_{REF} \quad (3)$$

比较器的电源电压不再影响平均输出电压，从而显示出负反馈对电源抑制的优势。使用电阻值为 10k 欧姆的 R4 和 R3 将产生 -1 的所需信号增益。必须选择电容器 C1 的值来将误差放大器的带宽限制在开关频率以下，以确保系统的稳定性。这也将限制信号带宽，所以必须选择一个不会干扰所需信号带宽的值。C1 在以下位置上的频率响应中产生一个极：

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_4 C_1} \quad (4)$$

一个值为 100pF 的 C1 在 159Hz 的频率响应中产生一个极，并且在音频范围内（20Hz 至 20kHz）内导致信号的可忽略衰减。一个偏移被添加到信号（VREF）中，这样的话，可调节向接地以下延伸的输入信号。由于输入电压，由 2.5V 基准 U3 提供，被施加到放大器 U1A 的非反相输入上，它根据等式放大：

$$V_O = \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) V_{(IN+)} \quad (5)$$

需要电阻器 R1 和 R2 将基准电压除以 2，以补偿误差放大器施加的两个非反相增益。因此，U1A 输出的直流偏移为：

$$\begin{aligned} V_O &= \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{REF} \\ &= \left(1 + \frac{10 \text{ kOhms}}{10 \text{ kOhms}} \right) \left(\frac{10 \text{ kOhms}}{10 \text{ kOhms} + 10 \text{ kOhms}} \right) 2.5 \text{ V} = 2.5 \text{ V} \end{aligned} \quad (6)$$

通过一个电容器的交流耦合输入信号将把非反相增益减少到 1。在这个情况下，可以从电路中移除电阻器 R2。电容器 C2 被包含在非反相输入中以滤除任一由非反相输入引入的干扰。

2.2 三角波发生器

双路运算放大器和比较器的另外一半组成三角波发生器的基础。在参考 1 中很好地描述了这个电路的运行，并且这份文档利用了那份刊物的几个设计等式。

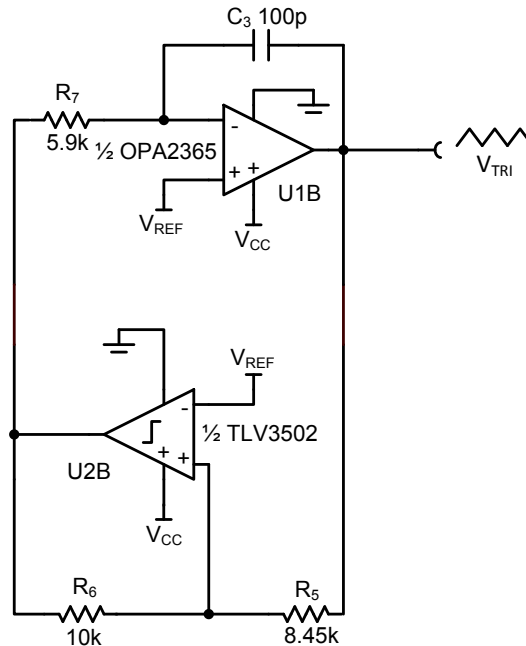


图 5： 具有经计算组件值的三角波发生器电路。

运算放大器被配置为一个积分器，并且它的输出在比较器输出为低电平时线性增加。相反地，当比较器输出为高电平时，输出线性减少。当非反相输入上的电压通过基准电压时，比较器输出切换，在这个电路中，基准电压为 2.5V。由于这个电路被设计成由单个 5V 电源供电，一个 2.5V 偏移被添加至三角波，这样，它以针对电路中全部比较器的中电源点为中心。三角波的振幅由此等式定义：

$$V_{TRI} = \frac{R_5}{R_6} V_1 \quad (7)$$

在这个等式中， V_1 是高于或低于基准电压的比较器输出电压。例如，在我们的系统中，比较器输出将为 5V 或者 0V。由于这个电路采用一个 2.5V 基准， V_1 等于 2.5V。大多数 PWM 系统不允许 0% 或 100% 调制，这是因为输出将为直流，并且有可能损坏信号路径中的其它组件。因此，必须选择三角波的幅值，这样，它大于最大预期输入电压。选择 2.1V 的幅值将实现 -2V 至 +2V 的所要求的输入范围。通过为 R6 选择一个 10k 欧姆的值，R5 的值可计算为：

$$R_5 = \frac{V_{TRI} * R_6}{V_1} = \frac{2.1 \text{ V} * 10 \text{ kOhms}}{2.5 \text{ V}} = 8421.05 \text{ Ohms} \rightarrow 8.45 \text{ kOhms} \quad (8)$$

8.45k 欧姆值是最接近计算得出的值的 1% 的值。三角波发生器电路中的电阻器值会导致从运算放大器输出汲取过多电流。这也许会使三角波形失真。虽然针对较大输入电压允许较高的三角波振幅，我们受到运算放大器的输出电压范围的限制。三角波发生器的振荡频率由以下等式计算：

$$f_T = \frac{R_6}{4R_7R_5C_3} \quad (9)$$

为 C3 选择一个 100pF 的值使我们为一个 500kHz 三角波计算 R7 的值：

$$R_7 = \frac{R_6}{4f_T R_5 C_3} = \frac{10 \text{ kOhms}}{4(500 \text{ kHz})(8.45 \text{ kOhms})(100 \text{ pF})} = 5917.16 \text{ Ohms} \quad (10)$$

→ 5.90 kOhms

3 元器件选择

3.1 放大器选择

为了使用一个针对这个电路的双路运算放大器，用户必须考虑误差放大器和电路的三角波发生器部分的需要。在检查三角波发生器部分时，必须考虑运算放大器的转换率和带宽。三角波线性部分的转换率为：

$$R_S = 4 * V_{TRI} * f_{TRI} = 4 * 2.1 \text{ V} * 500 \text{ kHz} = 4.2\text{V}/\mu\text{s} \quad (11)$$

为了防止三角波的失真，必须在电路中使用转换率大于 $4.2\text{V}/\mu\text{s}$ 的运算放大器。一个三角波是正弦曲线的一个无穷和，是基频的奇序整数倍。使用一个经验法则，10 谐波是产生一个三角波的最低要求，我们能够确定运算放大器的带宽必须大于三角波频率的 19 倍的值。这是因为三角波的 10th 谐波有一个基本频率 19 倍的频率。

$$\text{GBW} = 19 * f_{TRI} = 19 * 500\text{kHz} = 9.5\text{MHz} \quad (12)$$

在三角波电路中，运算放大器被配置为一个积分器。在这个配置中，运算放大器的输入偏置电流可以通过从集成电容器 C3 释放或移除额外电荷来将误差引入三角波波形。由于这个原因，推荐使用一个场效应晶体管 (FET) 类型运算放大器，这是因为这些放大器的极低偏置电流将不会将可测量的误差添加到三角波波形中。最后，运算放大器的输出必须能够产生电源电压附件的电压。这个电路的三角波具有一个 2.1V 的振幅和 2.5V 的偏移，这分别为它提供了 4.6V 和 0.4V 的最大和最小电压。如果有一个单个 5V 电源供电，运算放大器必须能够从两个电源轨中的一个输出少于 400mV 的电压。

放置在双路运算放大器上的额外需求来自电路的误差放大器部分。对于直流应用，运算放大器的输入偏置电压和偏移电压漂移也许会将误差引入输出波形。然而，更加常见的情况是，直流误差由电阻器 R2, R3, R4 和 R5 的误差值控制。为这个电路选择的 OPA2365 是一个 FET 输入双路运算放大器，此运算放大器具有一个 50MHz 的增益带宽积，以及一个典型值为 $25\text{V}/\mu\text{s}$ 的转换率。OPA2365 在最大偏移漂移为 $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 时的最大偏移为 $200\mu\text{V}$ 。这些技术规格使得 OPA2365 成为误差放大器和电路的三角波部分的首选选择。

3.2 比较器选择

使用的比较器必须有一个推挽输出拓扑结构。很多比较器有一个开集或开漏输出拓扑结构。虽然一个开漏输出允许输出电压快速下拉为低电平，输出电压只能通过一个外部电阻器被上拉为高电平。低值电阻器可实现输出上的快速上升时间，但是会在输出下拉为低电平时导致过多功率耗散。在三角波电路中，具有一个开漏输出的比较器将在其输出上有不同的上升和下降时间，从而使三角波失真。

为了实现三角波发生器的正确运行以及控制环路的稳定性，比较器的传播延迟必须远远少于 PWM 波形的周期。

$$t_{pd} \ll T_{\text{PWM}} \quad (13)$$

将比较器传播延迟保持在少于 PWM 波形周期的 $1/10^{\text{th}}$ 是一个好的设计目标。可使用以下等式计算由比较器引入的相位延迟：

$$\Phi = t_{pd} * f * 360 \quad (14)$$

由于比较器的传播延迟必须大大少于 PWM 波形的周期，比较器在频率远高于开关频率前将不会将明显的相位延迟引入反馈环路。这就是为什么为误差放大器选择一个少于开关频率的极点频率来实现稳定运行。这里使用的 TLV3502 有一个推挽输出和一个典型值为 4.5ns 的传播延迟，这使得它成为具有高 PWM 频率系统的理想选择。

3.3 无源器件选择

电阻器

电阻器 R1, R2, R3 和 R4 的误差值直接影响输出偏移误差和增益误差。针对这份文档的用途, 使用了 1% 电阻器, 这是因为它们很容易买到, 然而可以通过使用具有更加严格耐受值的电阻器来实现直流性能和电路增益精度的改进。

电容器

C1 和 C3 所使用的电容器类型会对这个电路的性能产生直接的影响。由于这两个电容器上会产生相当大的电压, 高 k 陶瓷电容器的电压系数会在误差放大器和三角波发生器中引入非线性。具有一个 NP0/COG 电介质的陶瓷电容器被用于这两个电容器。所有其它电容器的类型为 X7R。

4 模拟

由于这个电路的运行取决于输出电压以及振荡器电流的快速变化，最好在单独的部件中模拟此设计，以确认功能性并避免 SPICE 模拟其中的收敛问题。出于这个原因，误差放大器和比较器与三角波发生器分开模拟。

4.1 三角波发生器

Figure 6 中显示了被用来模拟电路的三角波发生器部分的 Tina-TI™ 电路原理图。它包括在这份文档的“操作理论”部分中计算的组件值。

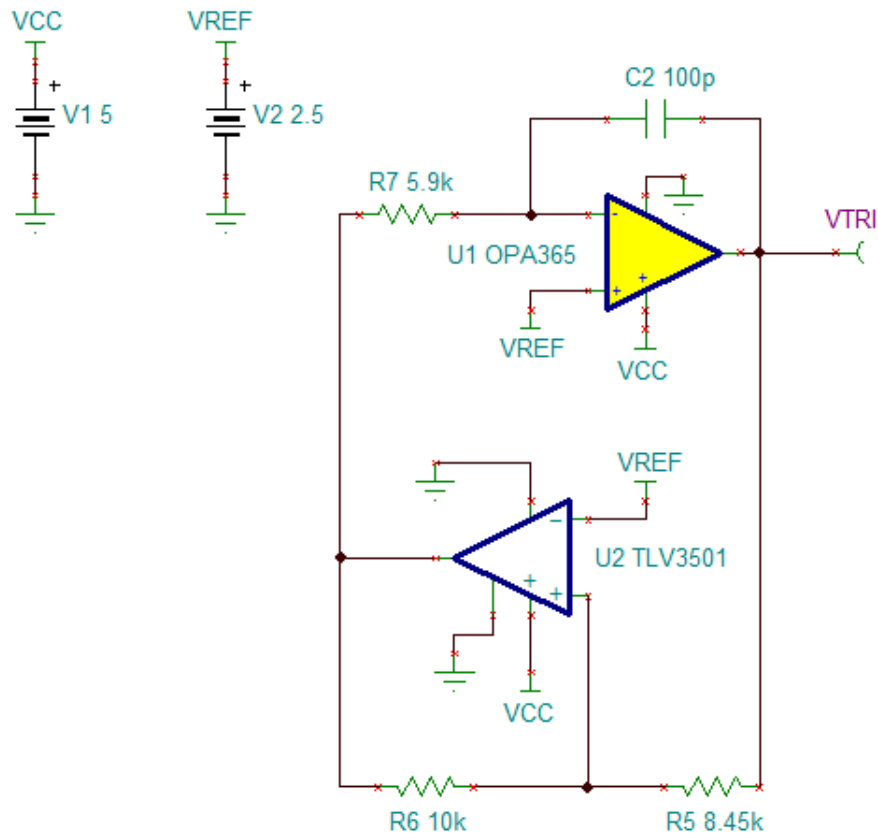


图 6：三角波发生器的 Tina-TI™ 模拟电路原理图。

瞬态分析

一个瞬态分析可被用来确认接近预期值的三角波形的振幅和频率。

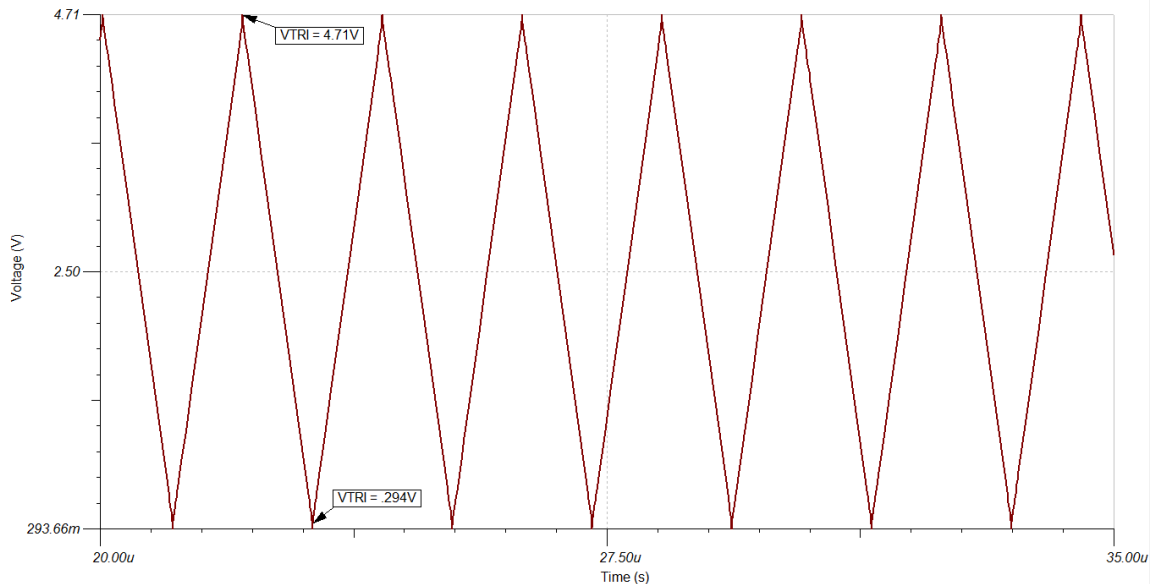


图 7：显示了三角波发生器输出电压的瞬态分析结果

表 2：针对三角波发生器的设计目标和模拟结果的比较

	设计目标	模拟
频率	500kHz	483.6kHz
振幅	2.1V	2.21V

4.2 误差放大器和比较器

为了模拟误差放大器和比较器的功能性，电路的三角波发生器部分被一个压控振荡器（VCO）块所取代，此振荡器块输出一个具有 2.5V 偏移和 2.1V 振幅的 500kHz 三角波。这实现了更快的模拟时间并且也缓解了收敛问题。

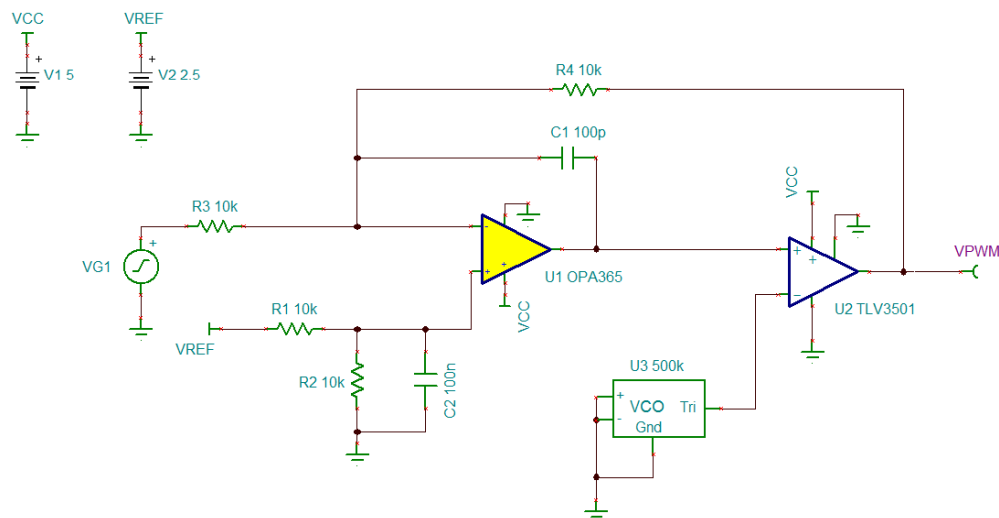


图 8：误差放大器和输出比较器的 Tina-TI™ 模拟电路原理图。

瞬态分析

一个瞬态分析被用来确保电路的正确功能。如 Figure 9 中所示，输出是振幅为 5V 的 500kHz PWM 波形。此外，由于误差放大器采用一个反相配置，输出信号的极性被反相。

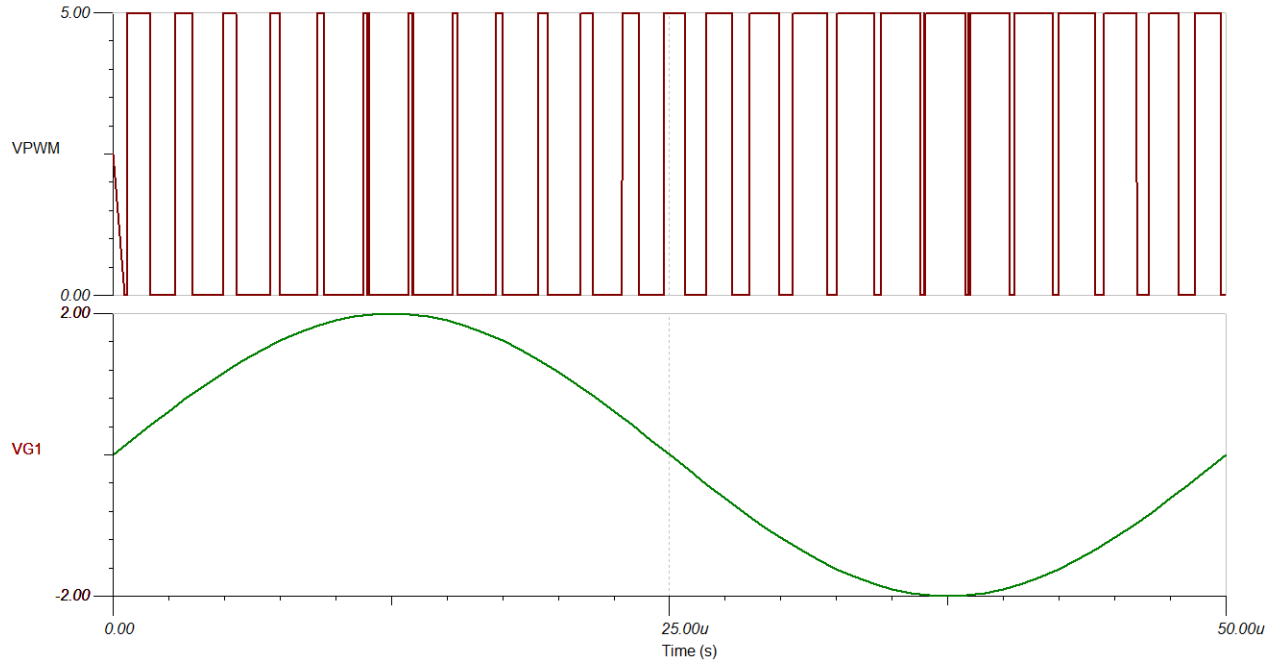


图 9：显示了比较器输出（顶部，红色）和输入波形（底部，绿色）的误差放大器和比较器的瞬态分析。
直流转换特性

执行一个直流转换特性扫描显示出，如果电路中的 R1~R4 为理想器件，那么平均输出电压遵循预期的转换函数。Figure 10 中标示的电压在 Figure 8 中电路原理图内的 VPWM 上测得。由于这个模拟是直流转换特性，标示的电压是 PWM 波形的平均值。

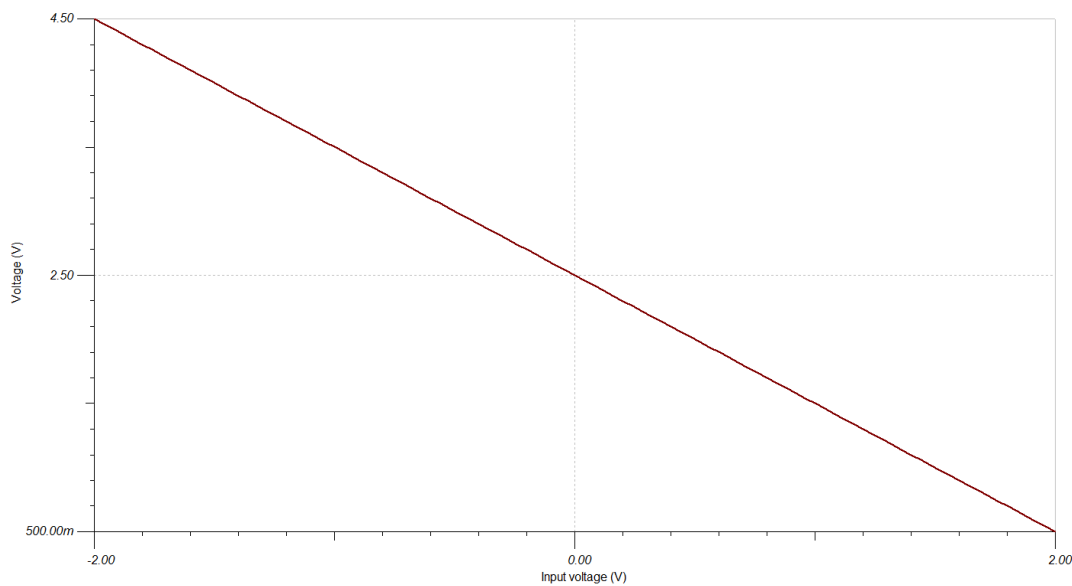


图 10：一个直流转换特性扫描显示出由理想组件构建的电路的平均输出电压。

执行一个 100 扫描蒙特卡洛电路分析，使用具有高斯分布，1% 误差的电阻器，显示出不同输入电压时，更加真实的输出电压值。

表 3： 针对不同输入电压的蒙特卡洛分析结果。

输入	设计的输出	模拟输出 (最小值)	模拟输出 (最大值)	平均	标准差
0V	2.5V	2.4419V	2.549304V	2.501631V	0.0235407V
-2V	4.5V	4.367954V	4.618445V	4.500606V	0.0468972V
+2V	0.5V	0.436538V	0.549543V	0.502656V	0.02322183V

这些数字揭示了一个 +/- 4.5% 的可能增益误差，以及一个 58.1mV 的可能偏移或 2.32% 误差。使用具有更加严格耐受值的电阻器能够大大增加电路的直流精度。

4.3 模拟结果汇总

将模拟结果与设计目标相比较，显示出，即使将组件耐受值计算在内，也将满足设计需要，正如蒙特卡洛分析中显示的那样。

表 4： 设计目标和模拟目标的比较

	目标值	模拟值
总谐波失真 (THD) (1Vrms, 1kHz)	0.1%	不可用
偏移误差 (%)	5%	2.324%
增益误差 (%)	5%	4.5%

5 PCB 设计

可在附录中找到 PCB 电路原理图和物料清单。

5.1 PCB 布局布线

输出 PWM 信号的边缘率可被电容耦合返回进入信号路径或基准电压。这个 TI 设计的 PCB 布局布线的目的是为了大大减少迹线长度和环路面积，并且将电路的误差放大器部分与三角波发生器和 PWM 输出分离开来。跳线 JP1 可被移除以适应输入信号的交流耦合。如果需要这样做的话，为了在输出上保持适当的直流偏移，必须移除电阻器 R2。电阻器 R4 关闭比较器周围的误差放大器反馈环路。然而，可将 R4 拆下，而电阻器 R8（PCB 的底部）可被安装在靠近误差放大器反馈环路（不包括比较器）的位置上。

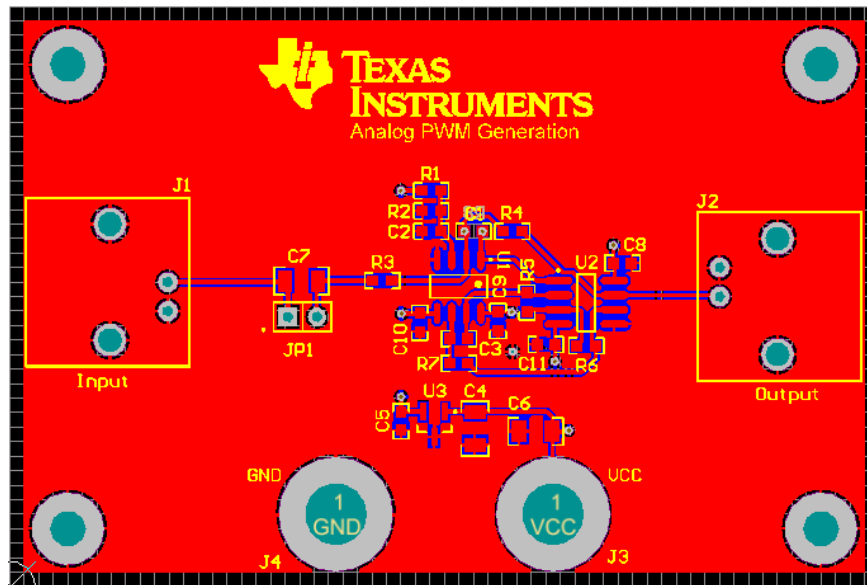


图 11： PCB 布局布线的顶视图

6 验证 & 测得的性能

检查三角波发生器电路的输出以确认它是否符合设计的技术规格。 Figure 12 中显示了这个电路的输出，三角波的振幅为 2.087V，而频率为 477kHz。 这些值适当地接近设计值，以使总的系统性能符合设计技术规格。

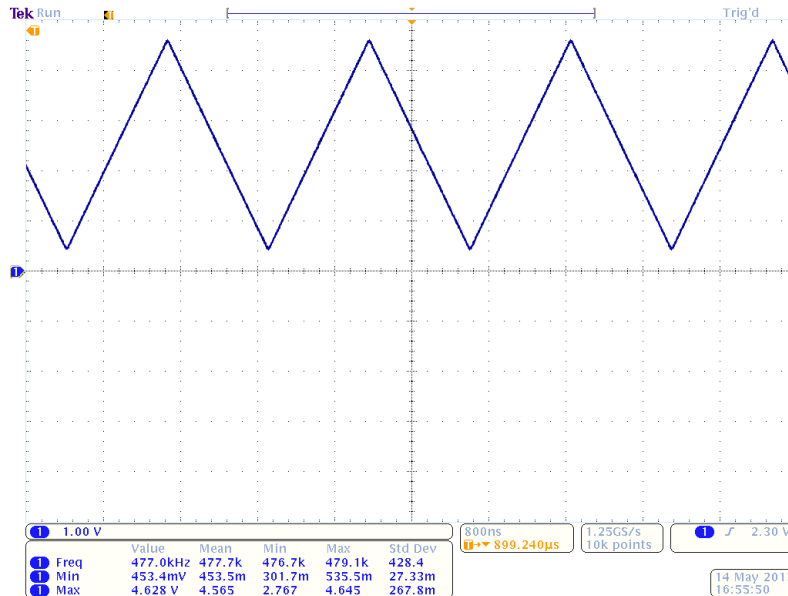


图 12: 三角波发生器电路的输出

通过观察示波器上的输出 PWM 波形来确认电路的基本功能性，并且在输入信号被施加时观测占空比的变化来确认其功能。

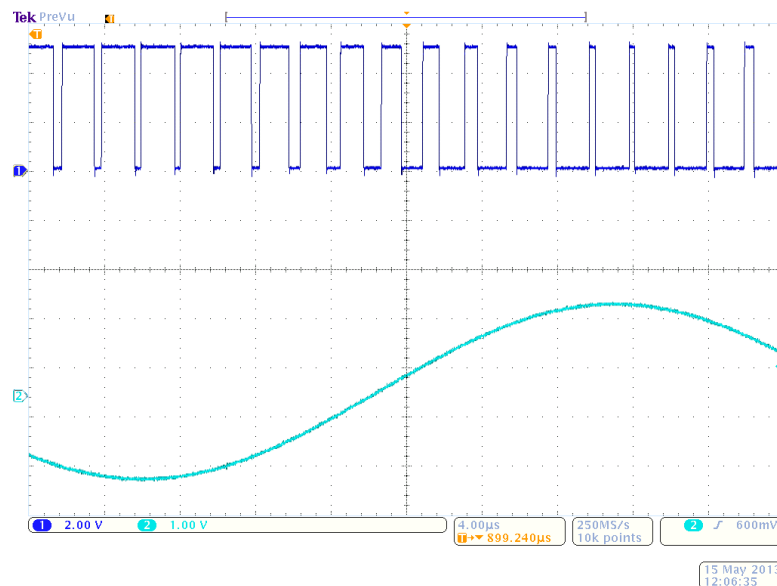


图 13: 由一个 20kHz 输入, 1.5 V_p 输入正弦波 (底部) 产生的脉宽调制波形 (顶部)

为了从 PWM 波形中恢复平均输出电压 V_0 ，必须将一个低通滤波器放置在电路的输出上。 Figure 14 显示了被用来恢复平均输出电压并且简化直流转换功能和电路失真性能的测量的无源 4th 阶 Butterworth 低通滤波器。

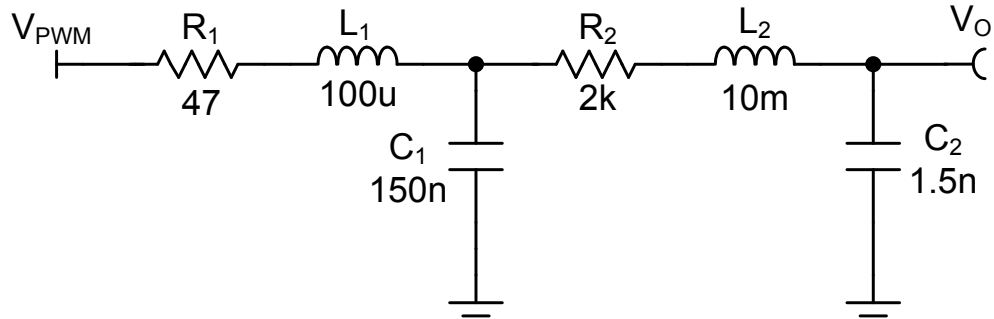


图 14: 被用来测量 PWM 波形的平均输出电压的一个 4th 阶 Butterworth 低通滤波器

将这个滤波器放置在电路的输出上，我们可以看到平均输出电压的确是一个输出信号的反相表示。

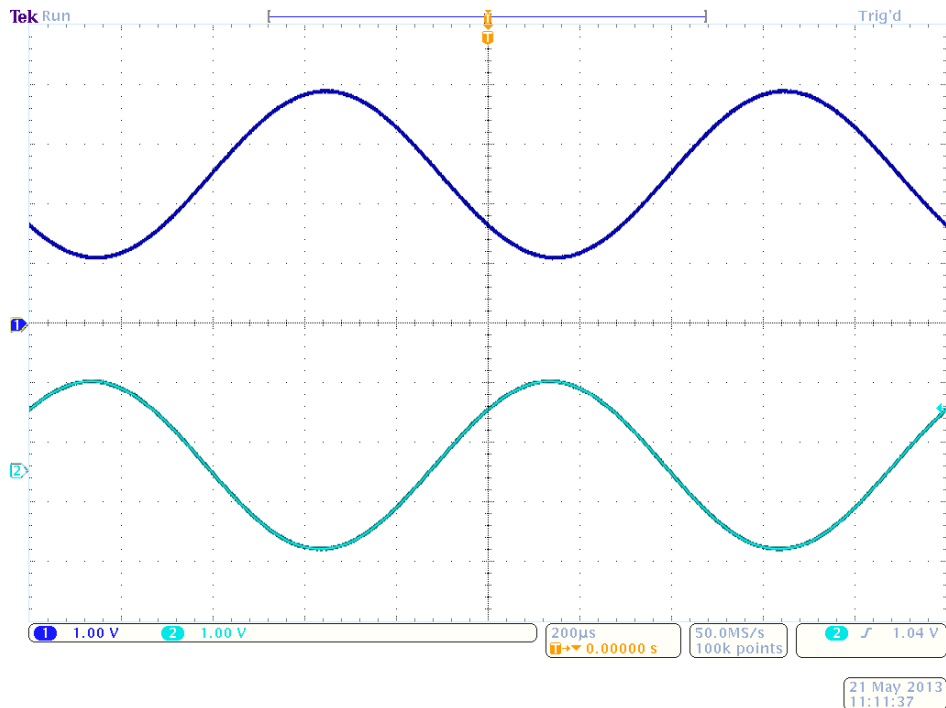


图 15: 低通已过滤输出（顶部）显示了相位反相的输入信号的正确重建。

6.1 转换功能

通过改变输入电压并在具有一个 6.5 位电压计的滤波器之后测量电压来测量这个电路的转换功能。电路的增益为 -0.9978V/V ，它是一个 0.22% 的增益误差。电路的偏移在 2.4973V 时测量，从而产生一个 0.108% 的偏移误差。由于测得的转换功能十分接近电路的理想转换功能，测得的值和理想值之间的偏离被分别绘出。Figure 17 显示了包括偏移和增益误差的总转换功能误差。到理想值的最差情况偏离发生在 2V 输入时，此时产生并输出 0.32% 的误差。

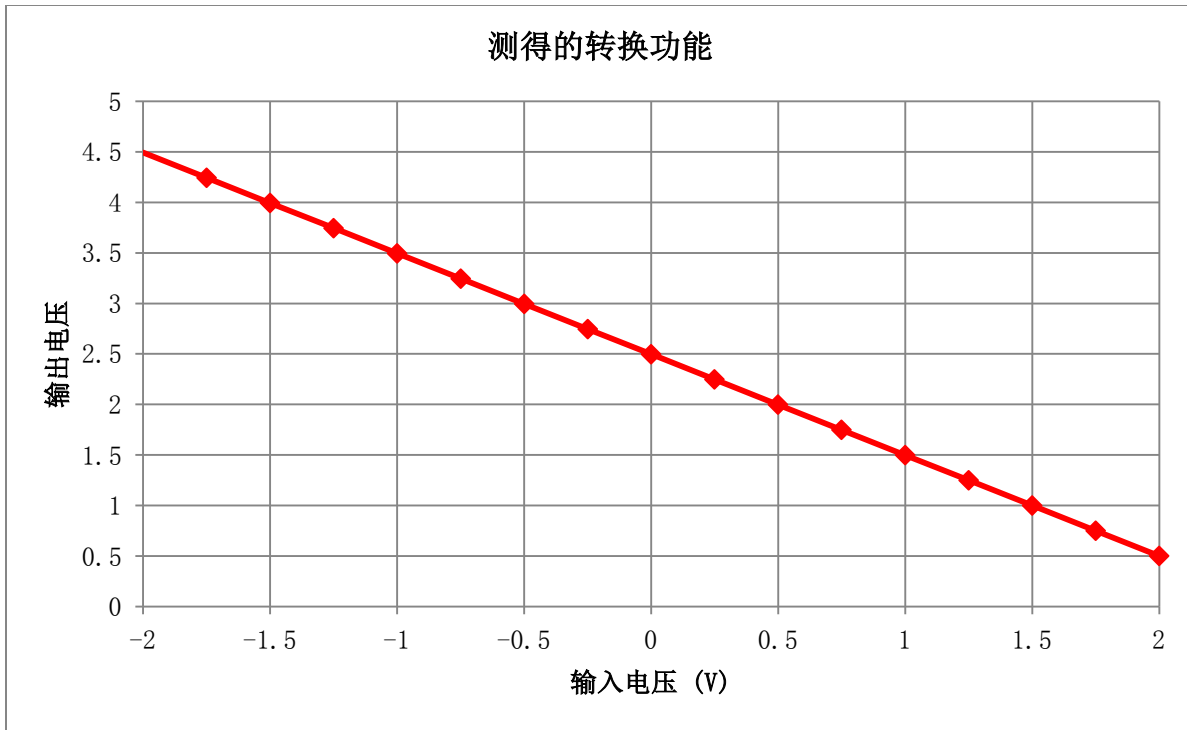


图 16: 电路的转换功能由低通滤波输出波形测得。

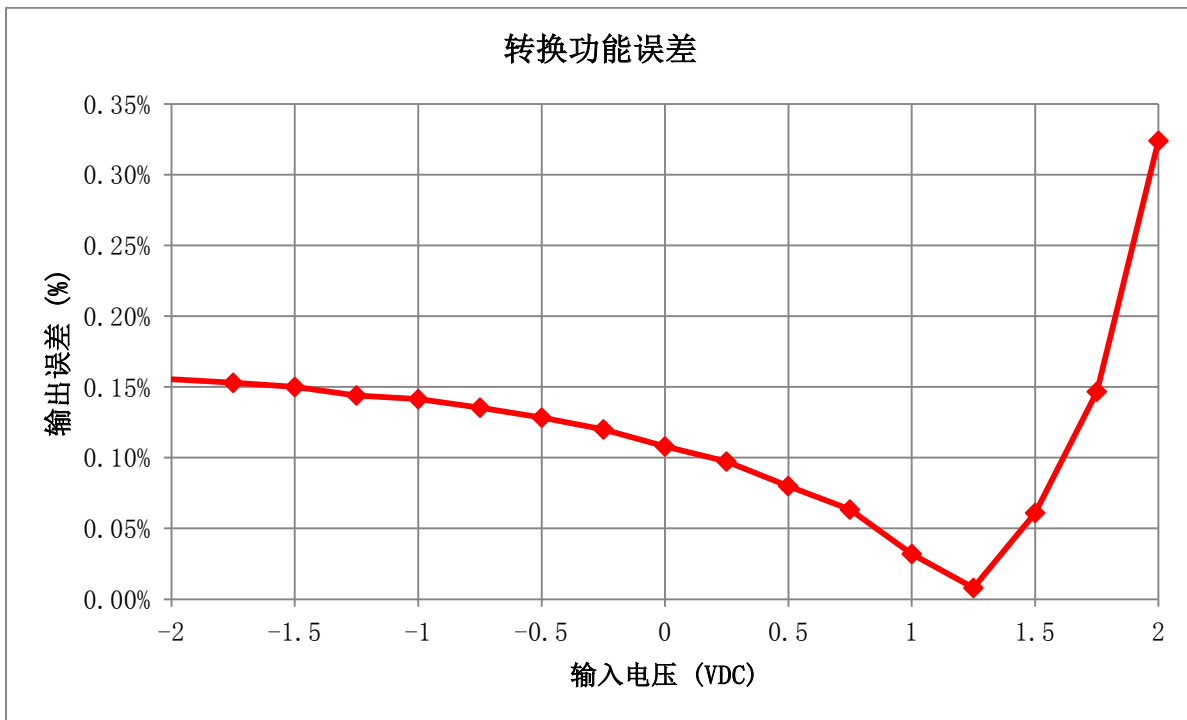


图 17: 总体测量转换功能误差。

6.2 总谐波失真和噪声

由于 PWM 电路通常用在音频应用中，电路针对 1Vrms 输入信号的总谐波失真和噪声 (THD+N) 在 20Hz 至 20kHz 的频率范围内测得。一个具有 40kHz 角频率的 4th 阶无源 Butterworth 低通滤波器被添加到电路的输出端以恢复输入信号。配置有一个 AES17 40kHz 输入滤波器的音频分析仪被用来执行测量。此曲线图显示了以两种方法配置的电路的 THD+N。红色的痕迹为反馈环路包含输出比较器时（闭环）的输出 THD+N。蓝色的痕迹为反馈环路只包括误差放大器时（开环）时的输出 THD+N。

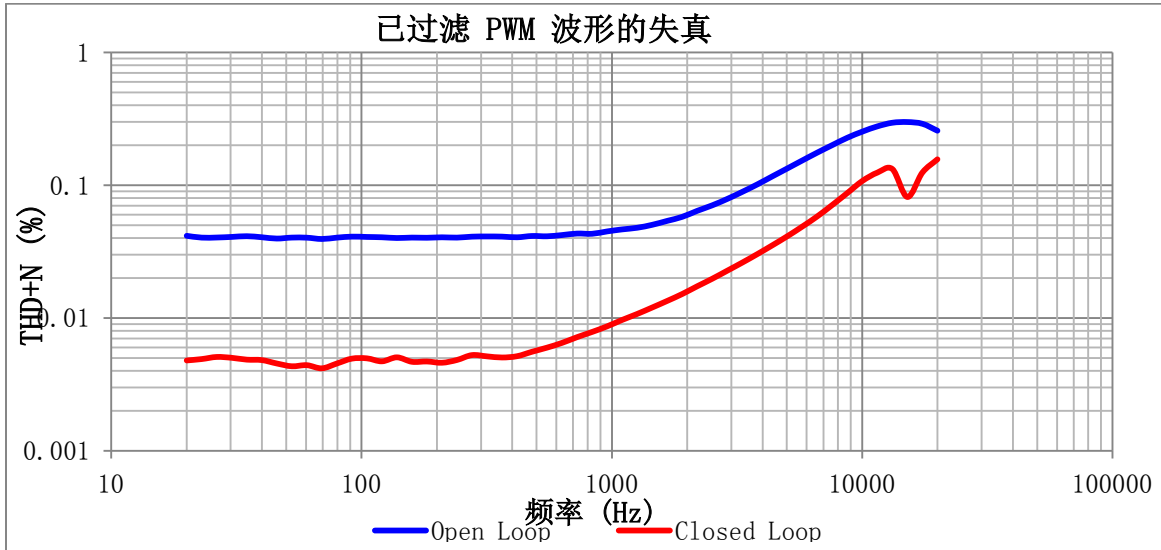


图 18: 低通滤波 PWM 波形的测得的 THD+N。通过关闭比较器（红色）附近的误差放大器反馈环路可大大减少 THD+N。

6.3 测得的结果汇总

在每个类别中，电路的测得的结果大大超过了设计，目标值。然而，这些结果针对单个单元。如果建立了大量的单元，有可能某些单元将会表现出蒙特卡洛模拟中显示的偏移和增益误差振幅。

表 5: 测得的结果与设计目标的比较

	目标值	测得的值
THD (1Vrms, 1kHz)	0.1%	0.009%
偏移误差 (%)	5%	0.108%
增益误差 (%)	5%	0.22%

7 修改

几个双路运算放大器符合宽带宽、高转换率、低输入偏移电压和低偏移电压漂移的要求。根据项目的主要性能目标来选择一个替代的放大器。例如，选择一个 OPA2376 将有可能改进电路的直流性能，这是因为它改进了偏移和漂移技术规格。然而，由于这个放大器具有比 OPA2365 更低的带宽和转换率，将需要减少 PWM 频率。有可能改进这个系统性能的一个修改是为误差放大器和三角波发生器使用单独的单通道放大器。这将在减少功耗的同时，实现高直流精度和快速的 PWM 频率。

表 6: 几个与 OPA2365 相类似的替代放大器

放大器	最大偏移电压 (uV)	最大偏移漂移 (uV/° C)	增益带宽 (MHz)	转换率 (V/us)	电源电流 (每通道 mA)
OPA2365	200	1	50	25	4.6

OPA2320	150	5	20	10	1.5
OPA2350	500	4	38	22	5.2
OPA2376	25	1	5.5	2	0.76

由于双路比较器必须具有一个推挽输出拓扑结构和一个极慢的传播延迟，替代比较器的数量很有限。TLV3202 是其中一个替代产品，它用稍慢的传播延迟提供减少的电源消耗。需要注意的是，TLV3202 不具有与 TLV3502 兼容的引脚分配，并且将不能在这里介绍的 PCB 布局上运转。

表 7: TLV3202 和 TLV3502 比较器的比较

比较器	电源电流 (每通道 mA)	传播延迟 (nS)
TLV3502	3.2	4.5
TLV3202	0.04	40

8 关于作者

John Caldwell 是德州仪器 (TI) 精密模拟产品部的一名应用工程师，为运算放大器和工业用线性器件提供技术支持。他专门负责传感器、低噪声设计和测量以及电磁干扰问题的精密电路设计。他在弗吉尼亚理工大学被授予电子工程硕士和学士学位，他的研究方向是生物医学电子学和仪器仪表。在 2010 年加入 TI 之前，John 在 Danaher Motion 和 Ball Aerospace 公司工作。

9 致谢 & 参考文献

1. *W. M. Leach, 电声学和音频放大器设计介绍: D 类放大器, 爱荷华: Kendall/Hunt Publishing Co., 2001 年*

Appendix A.

A.1 电气原理图

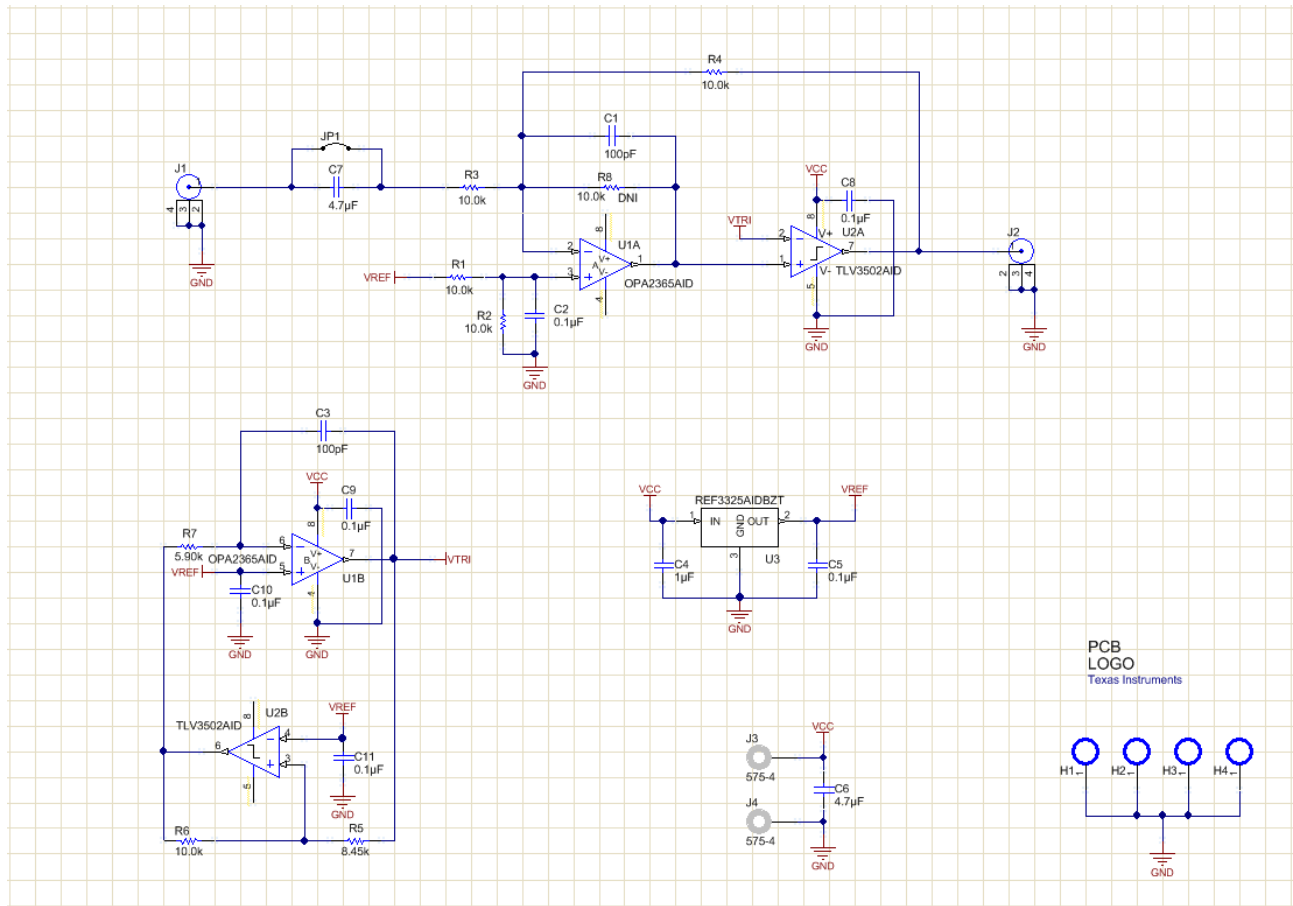


图 A-1: 电气原理图

A.2 物料清单

数量	值	指示符	描述	制造商	制造商产品型号 #	供应商产品型号 #
2	100pF	C1, C3	CAP, CERM, 100pF, 50V, +/-5%, COG/NPO, 0603	AVX	06035A101JAT2A	478-1175-1-ND
6	0.1uF	C2, C5, C8, C9, C10, C11	CAP, CERM, 0.1uF, 16V, +/-5%, X7R, 0603	AVX	0603YC104JAT2A	478-3726-1-ND
1	1uF	C4	CAP, CERM, 1uF, 25V, +/-10%, X7R, 1206	基美	C1206C105K3RACTU	399-1255-1-ND
2	4.7uF	C6, C7	CAP, CERM, 4.7uF, 16V, +/-10%, X5R, 1206	基美	C1206C475K4PAC TU	4520506
2		J1, J2	Right Angle BNC 连接头	TE 互联	1-1634612-0	571-1-1634612-0
2		J3, J4	标准香蕉插头, 非绝缘, 5.5mm	梯形失真矫正	575-4	575-4K-ND
1		JP1	用于跳线的两引脚排阵	申泰	87224-2	A26543-ND
6	10.0k	R1, R2, R3, R4, R6, R8 (DNI)	电阻器, 10.0k 欧姆, 1%, 0.1W, 0603	威世达勒	CRCW060310K0FKEA	541-10.0KHCT-ND
1	8.45k	R5	电阻器, 8.45k 欧姆, 1%, 0.1W, 0603	威世达勒	CRCW06038K45FKEA	541-8.45KHCT-ND
1	5.90k	R7	电阻器, 5.90k 欧姆, 1%, 0.1W, 0603	威世达勒	CRCW06035K90FKEA	541-5.90KHCT-ND
1		U1	OPA2365 双路运算放大器	德州仪器 (TI)	OPA2365AID	595-OPA2365AID
1		U2	TLV3502 双路比较器	德州仪器 (TI)	TLV3502AID	296-18301-5-ND
1		U3	REF3325, 2.5V 低功耗电压基准	德州仪器 (TI)	REF3325AIDCKT	296-22642-2-ND

针对 TI 参考设计的重要声明

德州仪器公司 ("TI") 参考设计只用于帮助设计人员 ("客户") 开发包含 TI 半导体产品的系统 (在这里也指"组件")。客户理解并同意他们对设计客户系统和产品中的独立分析、评估和判断负责。

TI 参考设计已经使用标准实验室条件和工程实践创建。TI 未采取任何测试, 除非那些在已发布文档中针对一个特定参考设计所专门描述的测试。TI 也许会对它的参考设计进行修正、提高、改进和其它改变。

客户被授权使用具有每个特定参考设计中确认的 TI 组件的 TI 参考设计, 并且在他们的终端产品开发中修改参考设计。然而, 在这里不授予任何其它 TI 知识产权的直接或隐含, 默许或其它方式的许可, 和任何第三方技术或知识产权的许可, 其中包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权、或者与采用了 TI 产品或服务的任何集成、机器或工艺相关的知识产权。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成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。

TI 参考设计"按原样"提供。对于参考设计或者包括精度和完整性在内的直接、隐含或者法律规定的参考设计的使用, TI 不作出任何保证或声明。TI 不对任何隐含的适销性、针对特定用途的适用性、平静受益权、无干扰享有权, 以及与 TI 参考设计或其使用相关的任何第三方知识产权的非侵权作出任何保证。TI 不对任何与 TI 参考设计中提供的产品组合相关的或基于这些产品组合的第三方侵权声明负责, 并且不应为客户提供辩护或赔偿。不论是何原因造成任何实际的、特殊的、意外的、相应发生的或间接的损坏, 并且不论 TI 是否已经告知了 TI 参考设计的任何使用或 TI 参考设计的客户使用所造成的此类损坏的可能性, TI 都不应对此负责。

TI 保留根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行更正、增强、改进或其它更改的权限, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 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。

对于 TI 数据手册、数据表或参考设计中的 TI 信息, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。第三方信息可能受到其它限制条件的制约。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在客户的安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。借助于这样的组件, TI 的目标是帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或"增强型塑料"的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的组件。客户认可并同意, 对还未指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 将不承担任何责任。

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

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.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/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应用处理器	www.ti.com.cn/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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司