

# TI 高精度设计：参考设计 交流耦合单电源比较器



## 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。参考设计提供理论、器件选择和有用电路的仿真。还讨论了有助于符合更多的设计目标要求的电路修改方案。

## 设计资源

[设计存档](#) 全部设计文件

[TINA-TI™](#) SPICE 仿真器

[TLV3501](#) 产品文件夹

## 电路描述

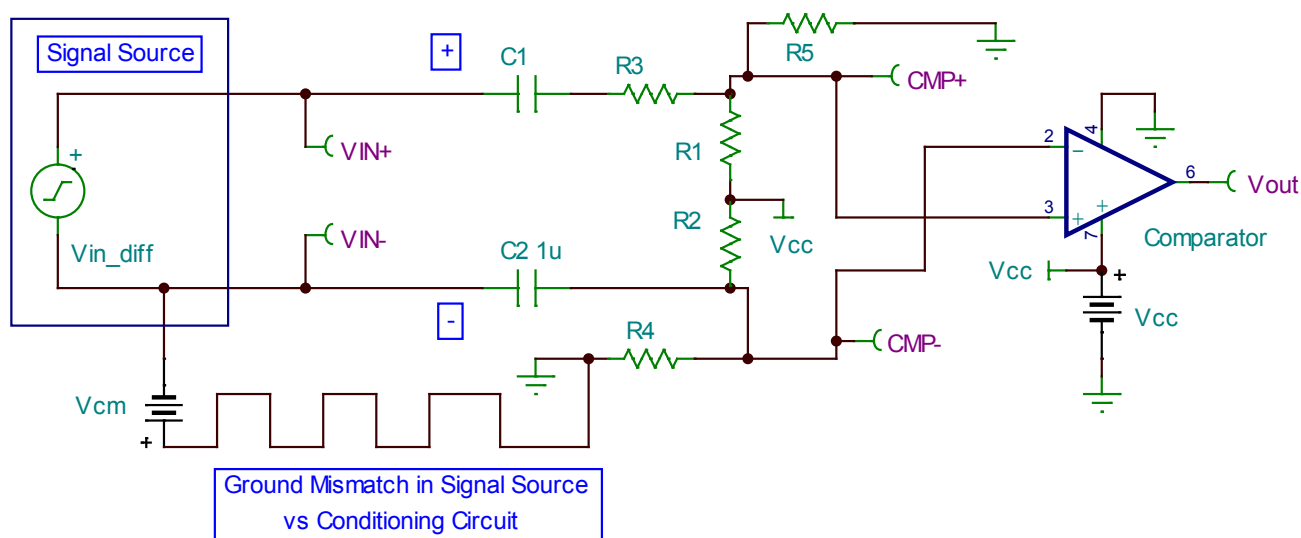
有时，需要一个单电源比较器使用交流耦合来检测正弦波或方波。由于两个模块间的接地电势差，常常需要此单电源比较器。只要交流耦合涉及到单电源电路中，就需要考虑负电压。比较器上过多的负电压会导致比较器错误触发，或者卡在不可预计的电平上。为了实现可靠工作点，需要合适的高导通滤波和直流偏移。这个设计将显示如何将宽范围输入信号电平和频率交流耦合进入一个高速比较器来生成一个稳健耐用且精确的时钟信号。



[询问 TI 模拟产品专家](#)

[WEBENCH® 设计中心](#)

[TI 高精度设计库](#)



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 设计汇总

此设计需求如下：

- 无输入信号 → 比较器输出 = 0V
- 启动时间小于 1ms
- 电源电压： 3.3V,  $\pm 5\%$  (3.135V 至 3.465V)
- 输入信号源提供：
  - $V_{CC} = 3.3V, \pm 5\%$  (3.135V 至 3.465V)
  - $V_{CC} = 5V, \pm 5\%$ , ( 4.75V 至 5.25V)
- 输入信号电平：
  - $V_{IL} = GND + 400mV @ I_{sink} = 2mA$
  - $V_{IH} = V_{CC} - 400mV @ I_{source} = 2mA$
  - 共模范围：  $\pm 100mV$
- 传输延迟：  $< 5ns$
- 占空比从输入到输出的变化  $< 10\%$
- 频率要求 - 请见表 1

表 1. 输入信号频率要求

Frequency	Min VIL	Max VIL	Min VIH	Max VIH	Vcm	Duty Cycle
2kHz	0V	400mV	+2.7V / +4.35V	+3.5V / +5.25V	+/-100mV	40% to 60%
32MHz	0V	400mV	+2.7V / +4.35V	+3.5V / +5.25V	+/-100mV	40% to 60%

Frequency	Period	Duty Cycle	$t_{ON}$
2kHz	500us	40%	200us
2kHz	500us	60%	300us
32MHz	31.25ns	40%	12.5ns
32MHz	31.25ns	60%	18.75ns

Table 2 中总结了设计目标和性能。 Figure 1 显示了此设计经仿真的典型瞬态响应。

表 2. 设计目标和仿真性能的比较

	Goal	Simulated
No Input Signal	Vout=0V	Vout=282pV
Start-up Time	<1ms	672us

Worst Case Test Case	Input Frequency	Input VIL	Input VIH	Input VCM	Input Duty Cycle	Comparator Vcc	Simulated Vout Duty Cycle	Simulated Delay
1	2kHz	0V	5.25V	+100mV	40%	3.135V	40%	0ns
2	2kHz	400mV	2.7V	+100mV	40%	3.135V	40%	0ns
3	2kHz	0V	5.25V	-100mV	40%	3.135V	40%	0ns
4	2kHz	400mV	2.7V	-100mV	40%	3.135V	40%	0ns
5	32MHz	0V	5.25V	+100mV	40%	3.135V	57%	3.6ns
6	32MHz	400mV	2.7V	+100mV	40%	3.135V	52%	3.6ns
7	32MHz	0V	5.25V	-100mV	40%	3.135V	57%	3.6ns
8	32MHz	400mV	2.7V	-100mV	40%	3.135V	51%	3.6ns

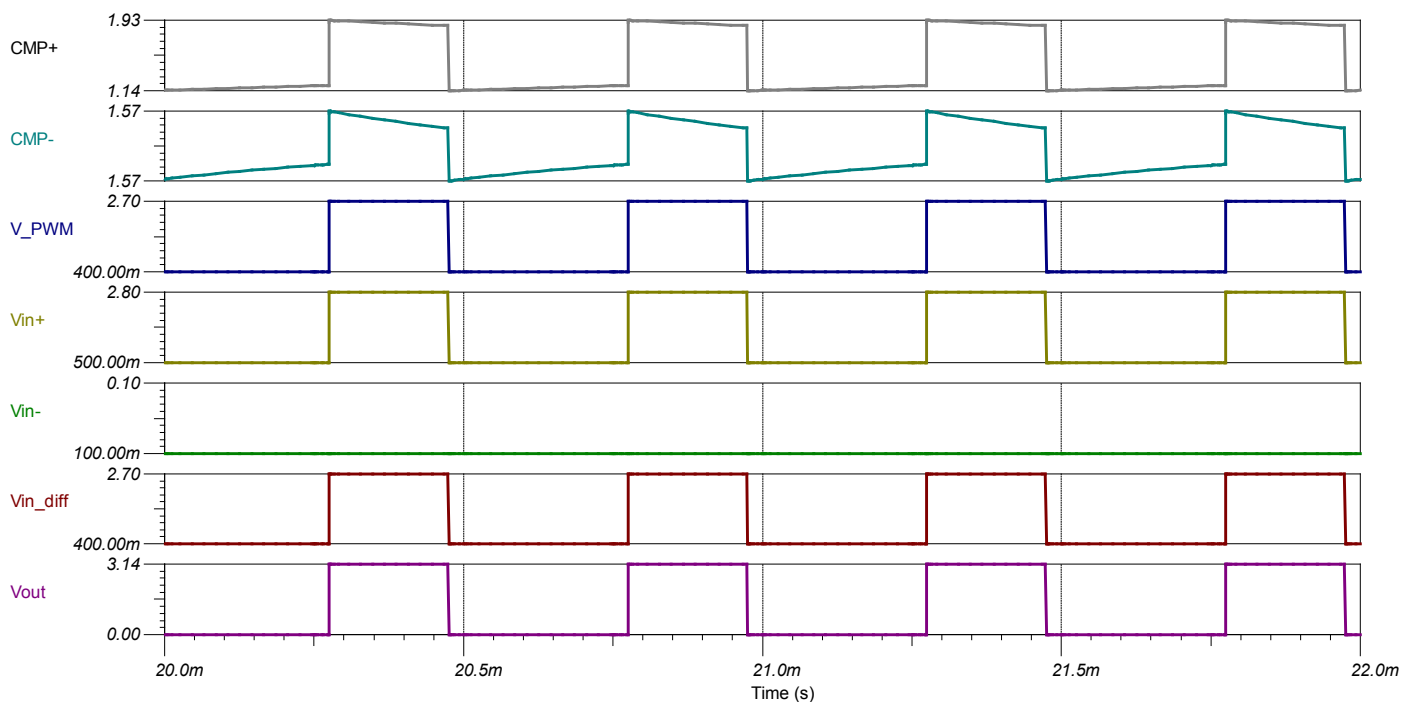
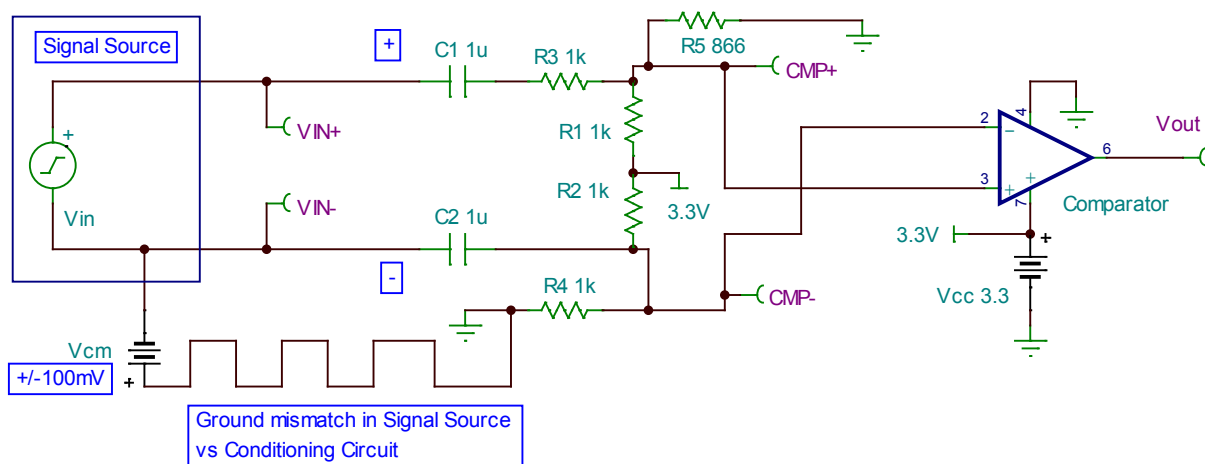


图 1: 仿真的典型瞬态响应

## 2 操作原理

“交流耦合单电源比较器”电路设计提供了一种可忽略模块间接地差的方法，并且提供宽范围的频率和振幅进入一个高速比较器，从而获得一个稳健耐用且精准的时钟信号。请参考图 2。C1 和 C2 提供输入信号  $V_{in}$  的交流耦合。R2 和 R4 提供一个针对  $CMP-$  中电源的直流偏移。R1 和 R5 提供  $CMP+$  一个大约电源电压的一半小 100mV 的直流偏移。对于没有输入信号的情况， $CMP-$  和  $CMP+$  之间的直流偏移差可确保  $V_{out}$  为比较器输出低电平（接近零伏）。每个输入上的直流偏移用来抵消出现在这些输入上的负电压，这些负电压的产生原因是  $V_{in}$  的交流耦合。R3 将交流耦合输入信号分压，其幅度少于所使用的比较器的共模电压的幅度。这些输入分压电阻与比较器输入电容组合在一起形成了一个输入低通滤波器，会衰减进入比较器的交流耦合信号。由于这个原因，实际应用中，需要将电阻的值保持在尽可能低的水平。输入信号调节的高导通截止频率可被视为一个  $C = C1 || C2$  并且  $R = 1.964k$  的简单 C-R 高通（通过量程电阻器，R1, R2, R3, R4, R5 连接至  $CMP+$  和  $CMP-$  的 C1 和 C2 的末端上可见的等效输入电阻）。



### Design Analysis:

- 1) Use lowest value resistors possible for 32MHz inputs.  
Resistors will interact with comparator parasitic input capacitance
- 2) Set  $V_{in-}$  to mid-supply bias point
- 3) Set  $V_{in+} < \text{mid-supply} + V_{os}$  to ensure at no signal  $V_{out}=0V$
- 4) In addition, the signal needs to be divided down with R3 to prevent negative voltages for 0-5V inputs.

### Design Analysis:

- 5) AC Couple, High pass frequency:  
Large capacitors require longer startup time from power-on.  
Use 1uF to get high pass of about 162Hz.  
For high pass equivalent  $C_{in} = 0.5\mu F$ ,  $R_{in} = 1.964k$ .

图 2：完整的电路原理图

## 3 器件选择

### 3.1 比较器选择

在表 1 中，我们可以看到 32MHz 下，40% 占空比时的  $t_{on}$  的最小值为 12. ns。如果我们的比较器有一个超过 12.5ns 的传播延迟，我们将不会检测到一个 40% 占空比的 32MHz 信号。

表 3 突出强调了 40% 占空比时，基于 32MHz 的最大输入频率的关键比较器技术规格，诸如单电源（2.5V 至 3.5V），轨到轨输入和少于或等于 12.5ns 的传播延迟。 TLV3501 符合全部这些标准。

表 3. 比较器技术规格

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>					
<b>Boldface limits apply over the specified temperature range, <math>T_A = -40^\circ\text{C}</math> to <math>+125^\circ\text{C}</math>.</b>					
At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_S = +2.7\text{V}$ to $+5.5\text{V}$ , unless otherwise noted.					
PARAMETER	CONDITION	TLV3501, TLV3502			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
<b>OFFSET VOLTAGE</b>					
Input Offset Voltage <sup>(1)</sup>	$V_{OS}$	$V_{CM} = 0\text{V}, I_O = 0\text{mA}$	$\pm 1$	$\pm 6.5$	mV
vs Temperature	$dV_{OS}/dT$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	$\pm 5$		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply	PSRR	$V_S = 2.7\text{V}$ to $5.5\text{V}$	100	400	$\mu\text{V}/\text{V}$
Input Hysteresis			6		mV
<b>INPUT BIAS CURRENT</b>					
Input Bias Current	$I_B$	$V_{CM} = V_{CC}/2$	$\pm 2$	$\pm 10$	pA
Input Offset Current <sup>(2)</sup>	$I_{OS}$	$V_{CM} = V_{CC}/2$	$\pm 2$	$\pm 10$	pA
<b>INPUT VOLTAGE RANGE</b>					
Common-Mode Voltage Range	$V_{CM}$		$(V-) - 0.2\text{V}$	$(V+) + 0.2\text{V}$	V
Common-Mode Rejection	CMRR	$V_{CM} = -0.2\text{V}$ to $(V+) + 0.2\text{V}$	57	70	dB
		$V_{CM} = -0.2\text{V}$ to $(V+) + 0.2\text{V}$	55		dB
<b>INPUT IMPEDANCE</b>					
Common-Mode			$10^{13} \parallel 2$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Differential			$10^{13} \parallel 4$		$\Omega \parallel \text{pF}$
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>					
Propagation Delay Time <sup>(3)</sup>	$T_{(pd)}$	$\Delta V_{IN} = 100\text{mV}$ , Overdrive = 20mV	4.5	6.4	ns
		$\Delta V_{IN} = 100\text{mV}$ , Overdrive = 20mV		7	ns
		$\Delta V_{IN} = 100\text{mV}$ , Overdrive = 5mV	7.5	10	ns
		$\Delta V_{IN} = 100\text{mV}$ , Overdrive = 5mV		12	ns
Propagation Delay Skew <sup>(4)</sup>	$\Delta t_{(SKEW)}$	$\Delta V_{IN} = 100\text{mV}$ , Overdrive = 20mV	0.5		ns
Maximum Toggle Frequency	$f_{MAX}$	Overdrive = 50mV, $V_S = 5\text{V}$	80		MHz
Rise Time <sup>(5)</sup>	$t_R$		1.5		ns
Fall Time <sup>(5)</sup>	$t_F$		1.5		ns
<b>OUTPUT</b>					
Voltage Output from Rail	$V_{OH}, V_{OL}$	$I_{OUT} = \pm 1\text{mA}$	30	50	mV

### 3.2 比较器输入电容和低通截止频率

图 3 是 TLV3501 比较器的等效输入阻抗。通过输入电容的串联和并联组合，我们可以达到 5pF 的总体等效差分输入电容， $C_{in\_eq}$ 。

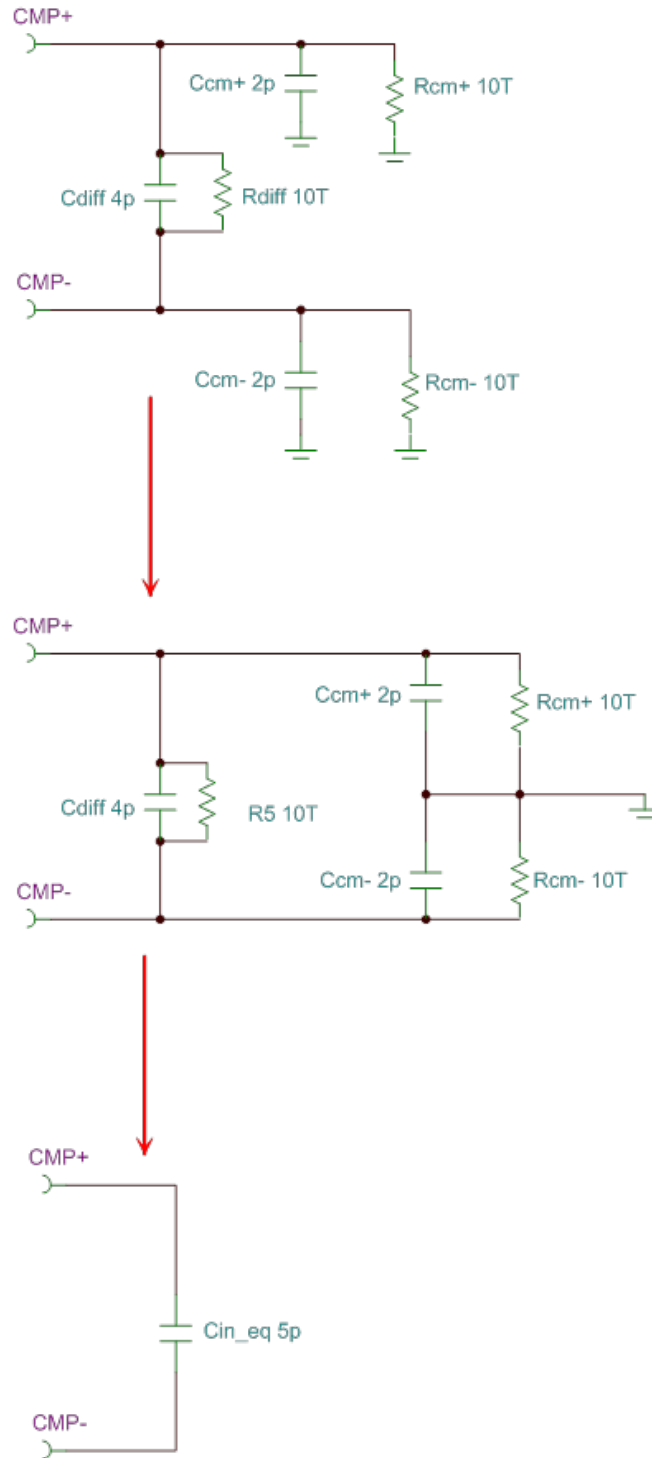
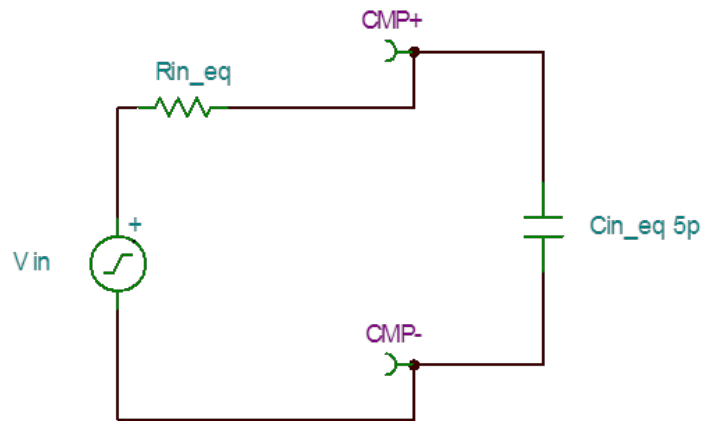


图 3： 比较器输入电容

总体等效输入电容， $C_{eq\_in}$ ，与总输入电阻， $R_{in\_eq}$ ，组合在一起，将形成一个单极点，会衰减输入信号的。由于我们的最大输入频率为 32MHz，我们将选择一个不低于此频率值的低通频率点。如图 4 显示，我们将需要限制  $R_{in\_eq}$  为少于或等于 995 欧姆。



$$f_{\max} = 32\text{MHz}$$

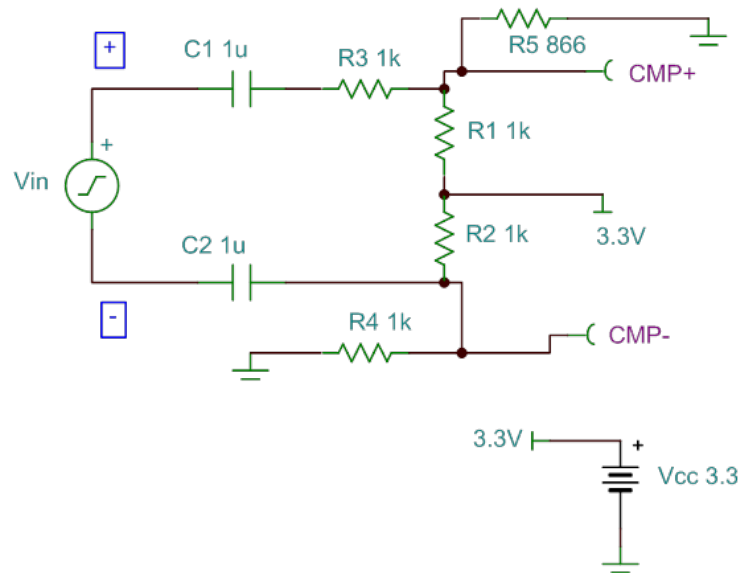
$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi(\text{Cin\_eq})(\text{Rin\_eq})}$$

$$32\text{MHz} = \frac{1}{2\pi(5\text{pF})(\text{Rin\_eq})} \rightarrow \text{Rin\_eq} = 995\text{ ohm}$$

图 4： 低通滤波器限制

### 3.3 输入缩放偏移

输入缩放偏移电路由 R1, R2, R4, R5 和电源电压 Vcc 组成, 如图 5 显示。此偏移的计算针对无动态输入信号时的直流电压。R2 和 R4 将 Vcc 分压来为 CMP- 提供一个 1.65V 偏移。R1 和 R5 将 Vcc 分压来在 CMP+ 上产生一个 1.35V 偏移。通过使用标准值, CMP+ 大约比 CMP- 低 100mV。这样确保了 +/-6.5mV 的 TLV3501 输入偏移电压噪声容限, 我们将在无信号出现时, 按照我们设计技术规格的要求, 将 TLV3501 输出强制为零。



- 1) Offset both inputs to mid-supply so Vin negative voltages will be offset to a positive value to meet TLV3501 common mode voltage range.
- 2) Set CMP- > (CMP+) + 100mV to ensure with Vin=0V TLV3501 Output = 0V.
- 3) From Figure 4 we know Rin\_eq = 995 ohms to allow Vin to pass due to TLV3501 input capacitance.
- 4) Start by using 1k range values to yield Rin\_eq = 995 ohms.
- 5) On CMP- use standard values and set R2=R4=1k for Vcm=Vcc/2
- 6) On CMP+ use standard values and set CMP+ < (CMP-) - 100mV.  
Set R1=1k to keep near matched resistance from Vcc to GND. Select R5 for offset from CMP-.

图 5: 输入缩放偏移



## 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。

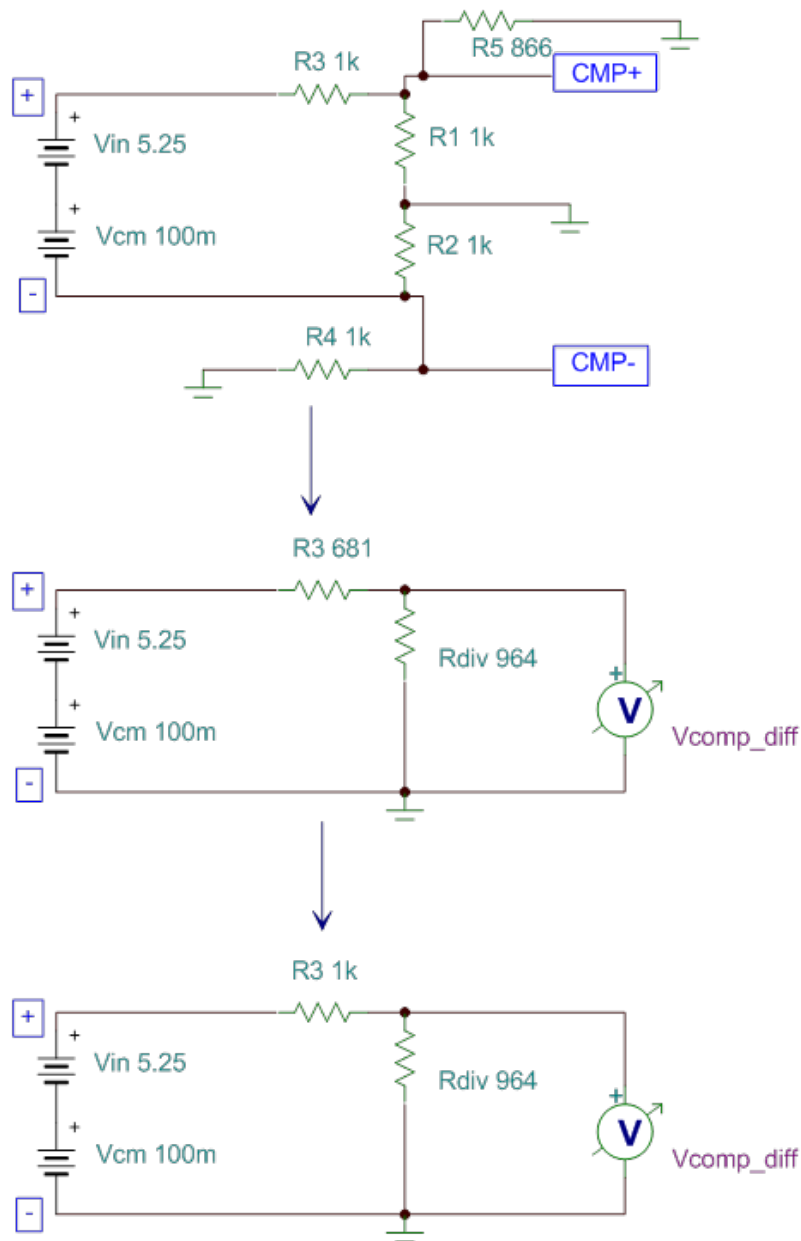
只有那些 TI 特别注明属于军用等级或"增强型塑料"的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的组件。客户认可并同意, 对还未指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

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。

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

### 3.4 输入分压器

一旦  $V_{in}$  信号被交流耦合进入我们的比较器电路，我们需要确保它的幅度不大于 TLV3501 的最小输入共模电压范围。图 6 详述了我们选择最后一个缩放电阻， $R_3$ ，的分析，以便将最大  $V_{in}$  幅度拆分至 TLV3501 的最小共模输入范围内。

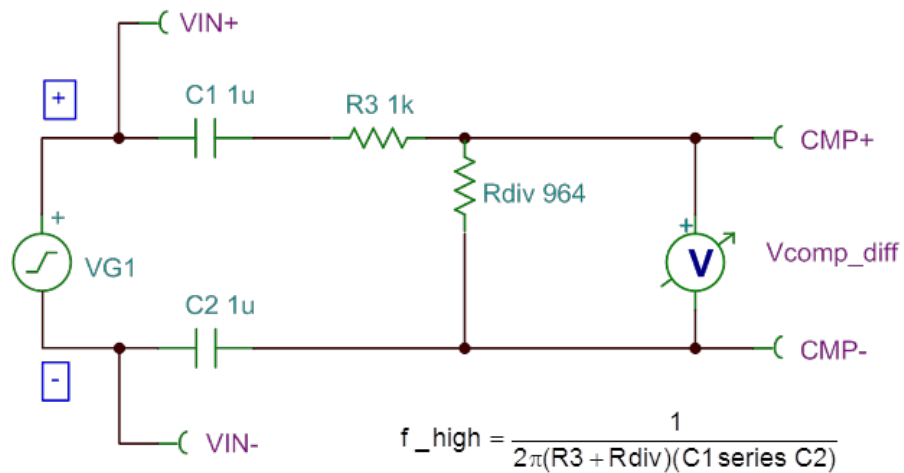


- 1)  $V_{in\_max} = 5.25V + 100mV$ .
- 2) Equivalent resistor network in series with  $R_3$  is 964 ohms.
- 3) Minimum  $V_{cc} = 3.135V$
- 4) Keep  $V_{comp\_diff} < 3.135V$  to meet  $V_{cm}$  specification of TLV3901.
- 5)  $R_{3\_min} = 681$  ohms. Choose  $R_3=1k$  for better margin and standard value already used.

图 6: 输入分压网络

### 3.5 输入高通滤波器

如图 7 中详述的那样，交流耦合进入我们比较器的  $V_{in}$  频率范围由  $R3$ ， $R_{div}$ ， $C1$  和  $C2$  设定。



- 1)  $f_{in\_min} = 2\text{kHz}$
- 2) Set  $f\_high < 200\text{Hz}$ . At least one decade under desired pass frequency for high pass cut frequency.
- 3) For standard capacitor value set  $C1=C2 = 1\mu\text{F}$ .
- 4)  $f\_high$  calculates as  $162\text{Hz}$ .

图 7: 输入高通滤波器

### 3.6 建议的器件特性

表 4 给出了针对交流耦合比较器电路中使用的部件的建议组件属性。

表 4. 建议的组件特性

Ref Designator	Value	Recommended Properties
C1, C2	1uF	10%, Ceramic Capacitor, X5R or X7R tempco
R1, R2, R3, R4	1k ohm	1/8W, 1% Film Resistor, 100ppm tempco
R5	866 ohm	1/8W, 1% Film Resistor, 100ppm tempco
U1	TLV3501	Single Supply, +2.7V to +5.5V, $C_{in} < 5\text{pF}$ , Propagation Delay $< 12\text{ns}$

## 4 仿真

### 4.1 输入分压网络的频率测试

图 8 中的电路使我们能够检查输入分压网络的频率响应。我们已经为图 8 中的 TLV3501 添加了一个额外的 4pF 差分输入电容, Cdiff, 以便适当地模拟比较器的全部输入电容。与此修改有关的细节请见附录 A。

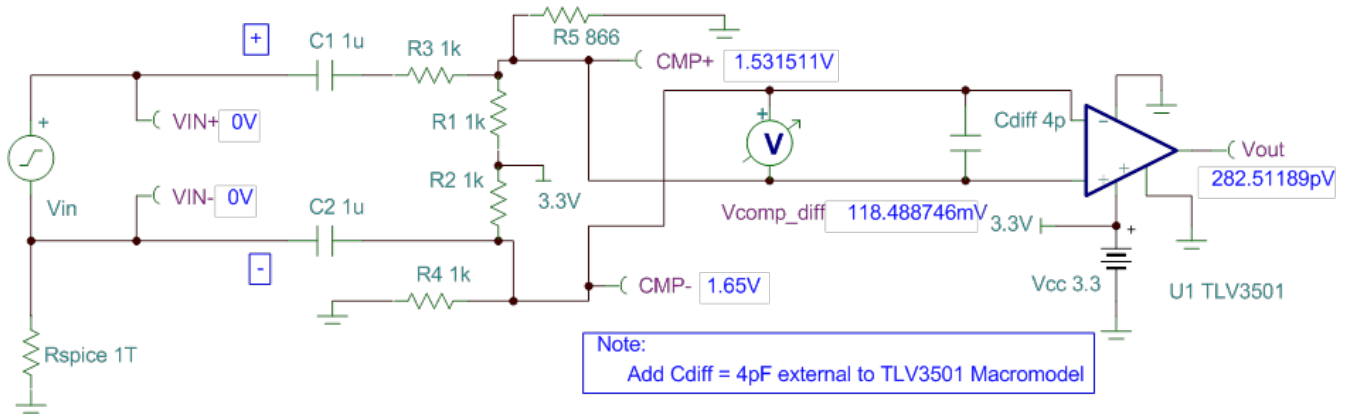


图 8: 输入分压网络的频率特性测试电路

在图 9 中, 我们看到输入分压网络将在 162Hz 的 -3dB 高通点到 64MHz 的低通截止频率间传递信号。162Hz 远远低于我们的 2kHz 额定低频信号范围。64MHz 低通频率大约为我们的上限额定运行频率 32MHz 的两倍。

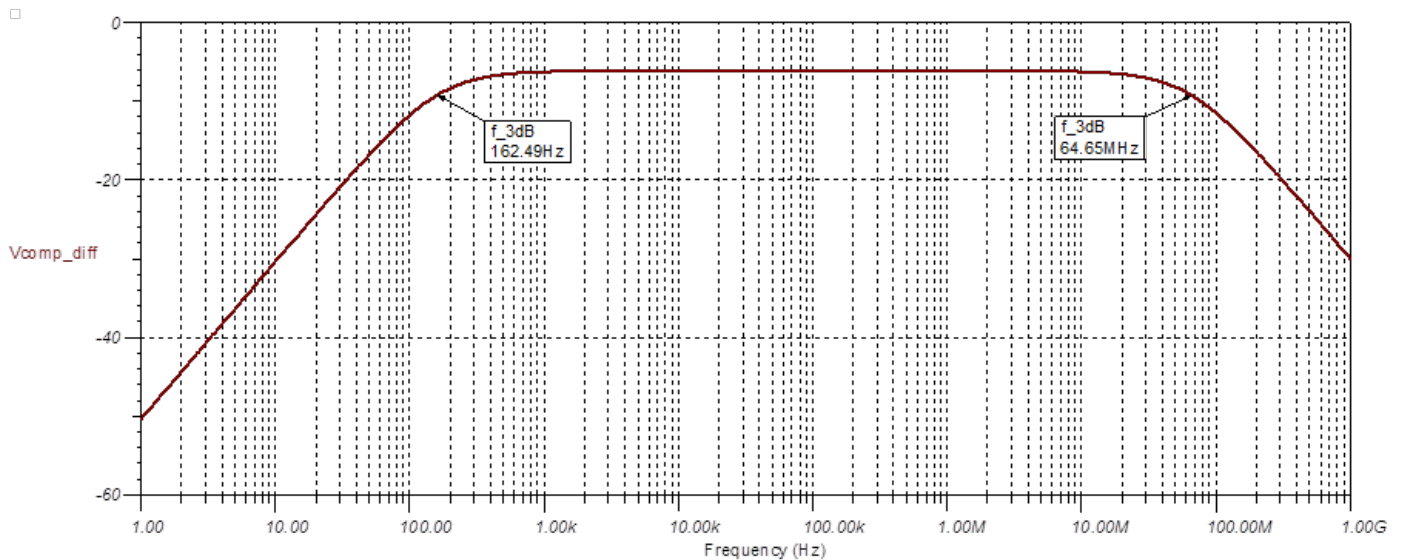


图 9: 输入分压网络频率响应

## 4.2 交流耦合信号产生负电压

如果我们如图 10 的测试电路中显示的那样移除  $V_{CC} = 3.3V$  的直流偏移电压，我们可以看到交流耦合的效果，以及出现在 TLV3501 输入，CMP+ 和 CMP- 上的负电压的大小。通过叠加，不论出现的负电压的值为多少，都将由 CMP- 上 1.65V 正直流偏移和 CMP- 上的 1.53V 正直流偏移直接抵消。图 11 和图 12 显示我们的确需要 CMP+ 和 CMP- 上的直流偏移。

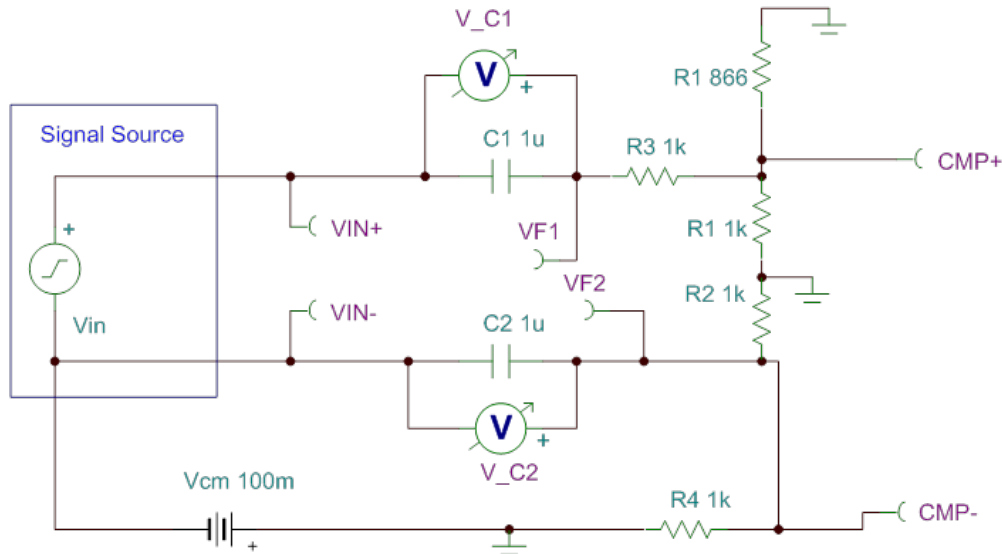


图 10: 交流耦合信号 - 负电压测试

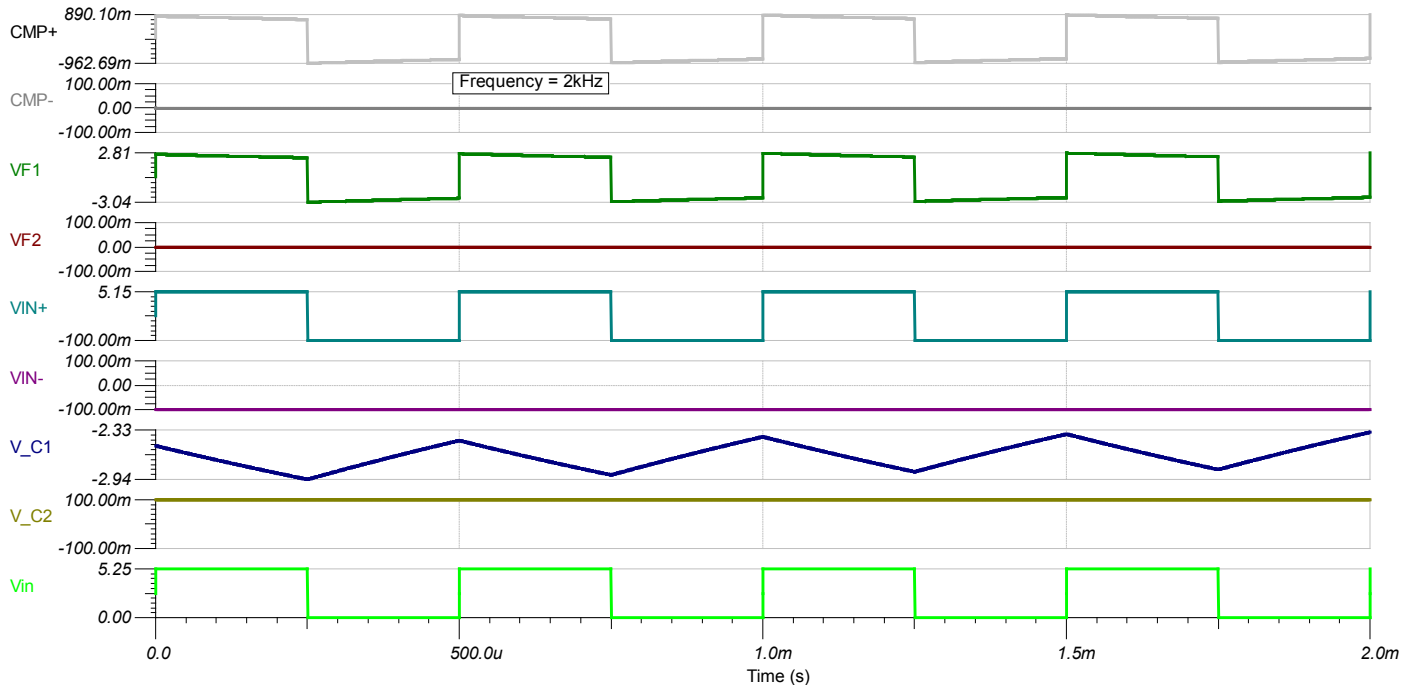


图 11: 交流耦合信号 - 负电压 2kHz

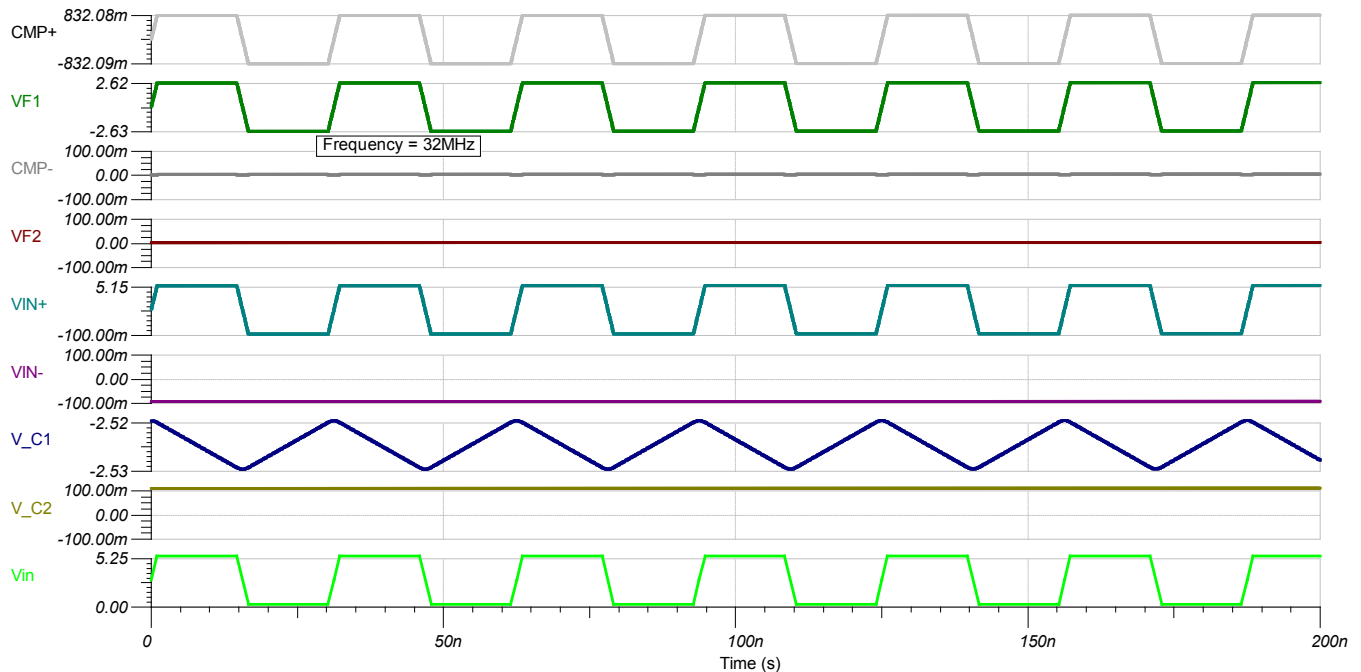


图 12: 交流耦合信号 - 负电压 32MHz

### 4.3 测试情况

针对表 5 中详述的最差设计情况的测试。为了确保此电路在极端环境中的稳定可靠的运行，检查最小和最大输入幅度，连同最小和最大频率以及最小和最大共模输入电压一起检查。图 13 是检查我们最终设计的测试电路。图 14 显示初始启动时间，直到 TLV3501 输出可靠信号。通过在 Transient Analysis（瞬态分析）控制窗口中选择“零初始值”，我们可以看到，在 672 毫秒后，输入交流耦合电容器充电到获得可靠脉冲输出所需的时间。对于图 15 到图 22，我们在 Transient Analysis 控制窗口中设定“Calculate Operating Point”（计算运行点），所以，我们将忽略启动时间，并且看到 C1 和 C2 结束初始启动后，我们电路的运行方式。我们需要观察的关键一点是 CMP+ 与 CMP- 之间的摆幅是多少。针对 TLV3501 比较器的输入偏移电压为  $\pm 6.5\text{mV}$ 。我们希望在高和低交流耦合输入电平内避免此情况，以实现可靠运行。在所有测试案例中，CMP+ 至少比 CMP- 高或低 120mV，高低电平均交流耦合进输入 TLV3501 比较器输入端。

**表 5. 最差情况测试案例**

<b>Worst Case Test Cases for AC Coupled Comparator</b>						
<b>Test Case</b>	<b>Frequency</b>	<b>VIL</b>	<b>VIH</b>	<b>VCM</b>	<b>Duty Cycle</b>	<b>Vcc</b>
1	2kHz	0V	5.25V	+100mV	40%	3.135V
2	2kHz	400mV	2.7V	+100mV	40%	3.135V
3	2kHz	0V	5.25V	-100mV	40%	3.135V
4	2kHz	400mV	2.7V	-100mV	40%	3.135V
5	32MHz	0V	5.25V	+100mV	40%	3.135V
6	32MHz	400mV	2.7V	+100mV	40%	3.135V
7	32MHz	0V	5.25V	-100mV	40%	3.135V
8	32MHz	400mV	2.7V	-100mV	40%	3.135V

为了测试我们的最终设计，我们将使用一个图 1.3 中显示的简单方法来调整脉宽调制 (PWM) 信号发生器。这个发生器具有可调频率，占空比，Voh (输出高电压电平) 和 Vol (输出低电压电平)。这使得我们能够轻松测试针对我们最终电路执行依从性的技术规格的全部隅角条件。请参考针对 PWM 信号源设计细节的附录 B。此外，我们将添加两个共模电压，Vcm1 (+100mV) 或 Vcm2 (-100mV)，以根据我们的 Vin 共模技术规格来偏移 VCVS1 (压控-电压源) 输出上的 PWM 信号发生器。一个开关，SWB，将选择我们的共模输入施加电压。请注意，为了避免 SPICE 收敛问题，两个共模电压都有一个与之并联的 1T 欧姆电阻器。当我们连接至交流耦合比较器输入时，针对 SPICE 收敛，每个 VCVS1 的输出与 1T 欧姆电阻器端接在一起。

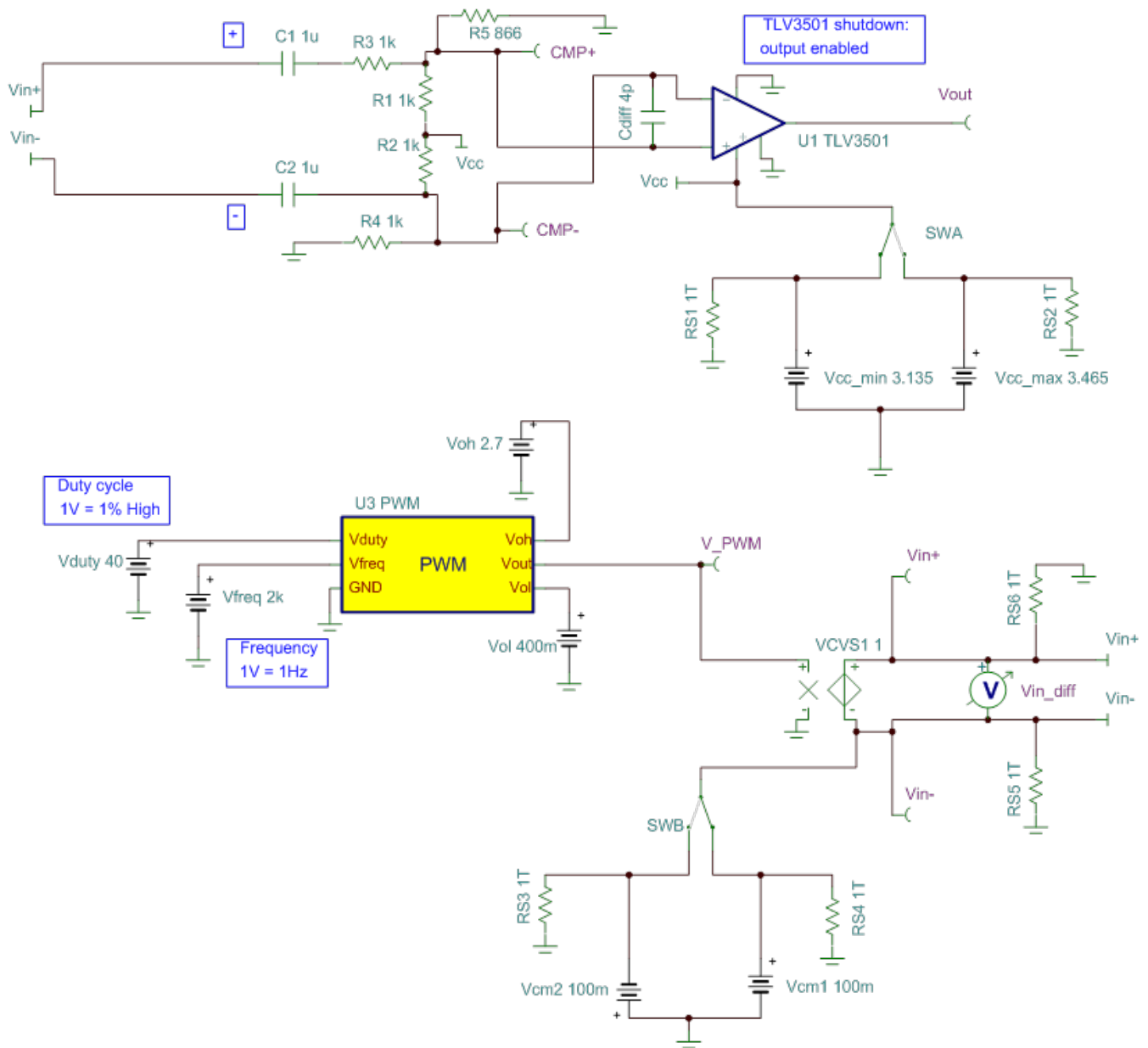


图 13: SPICE 测试情况电路



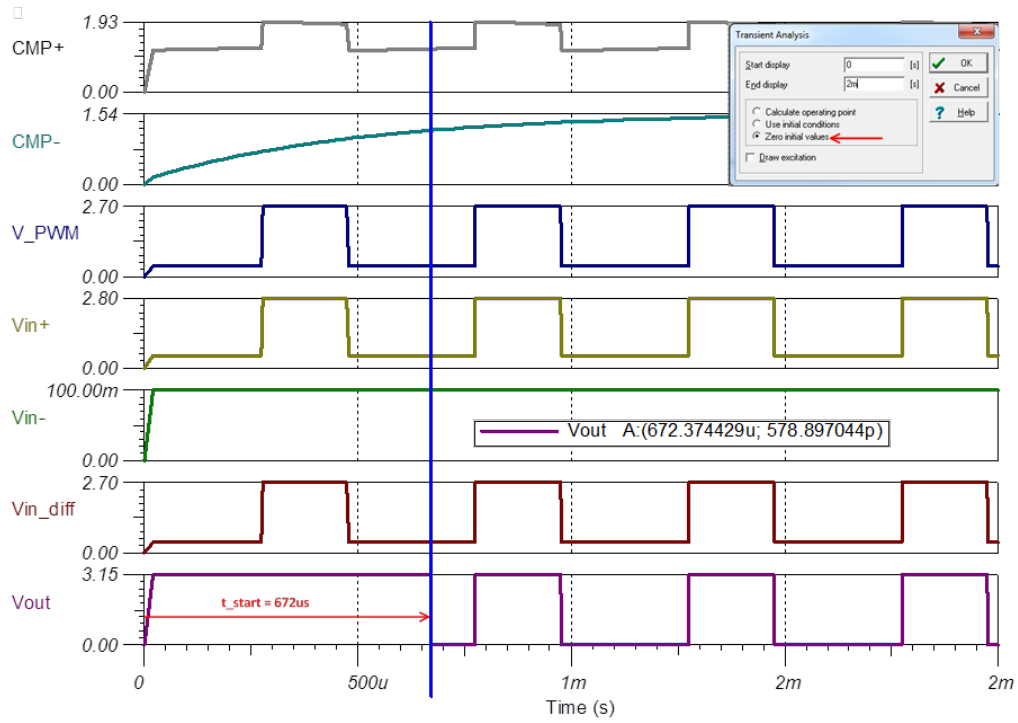


图 14: 针对 CMP- 的初始启动充电时间

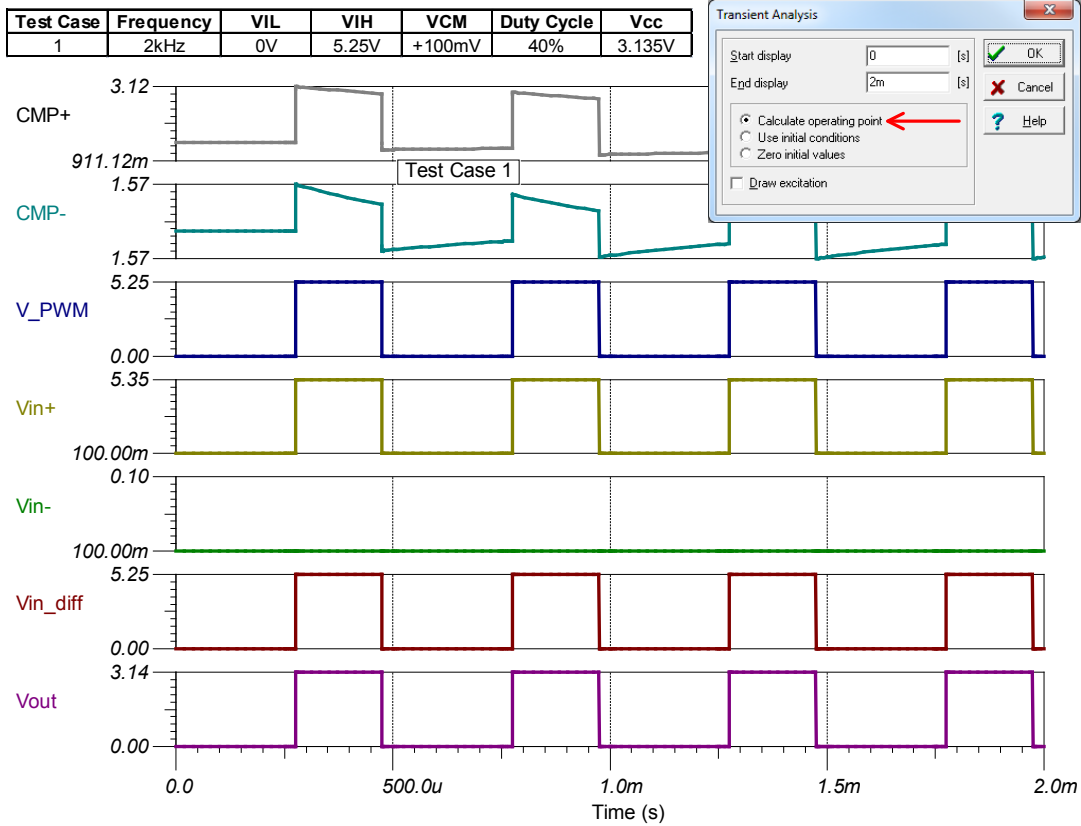


图 15: 测试情况 1

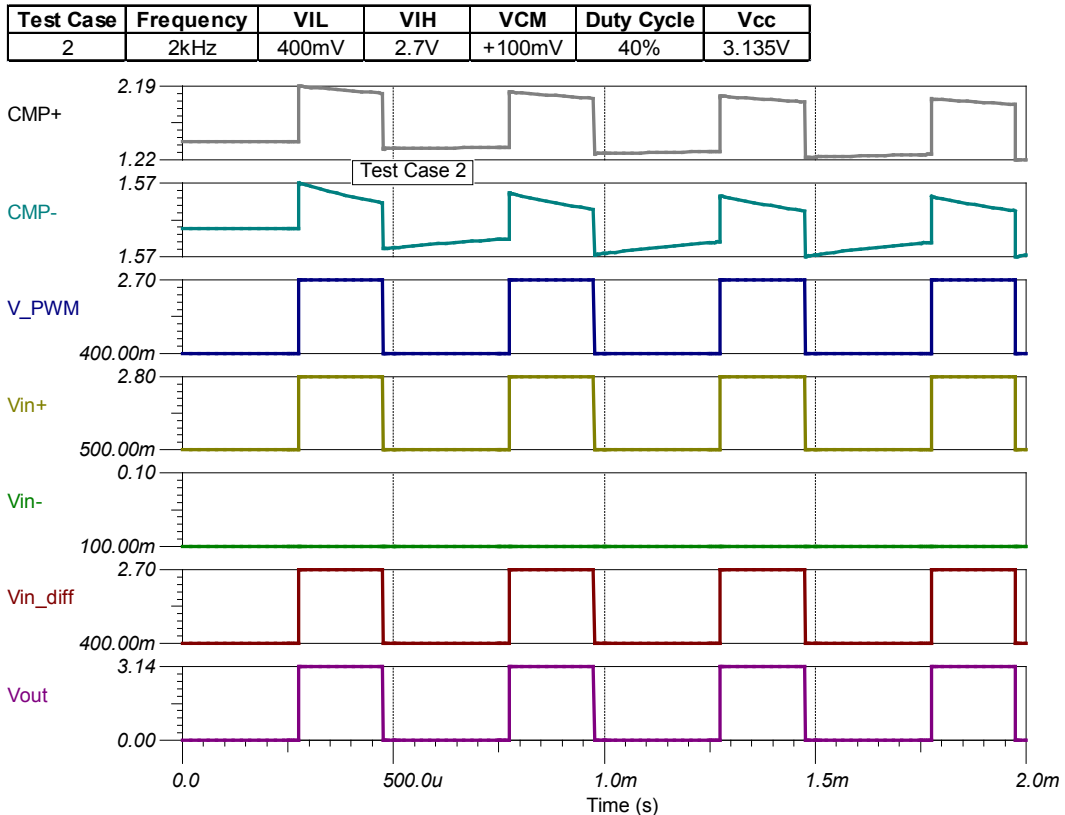


图 16: 测试情况 2

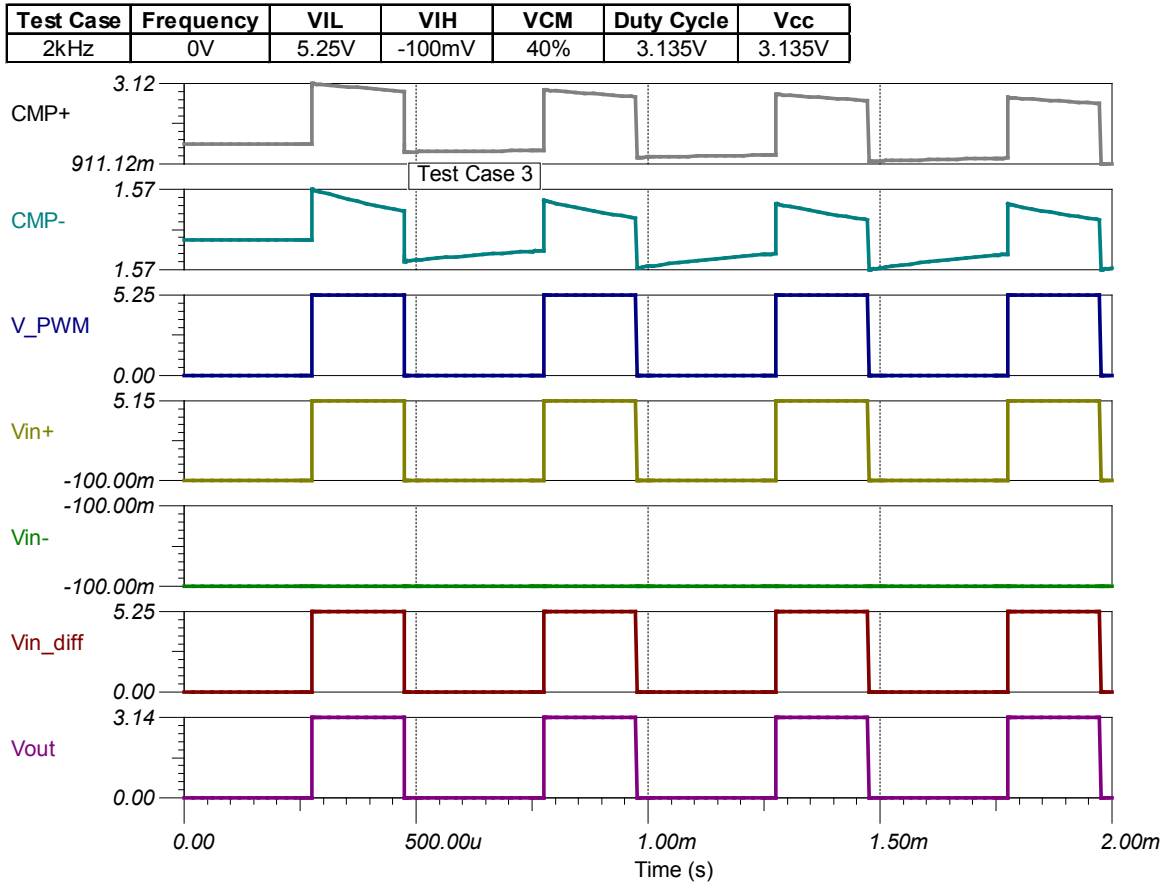


图 17: 测试情况 3

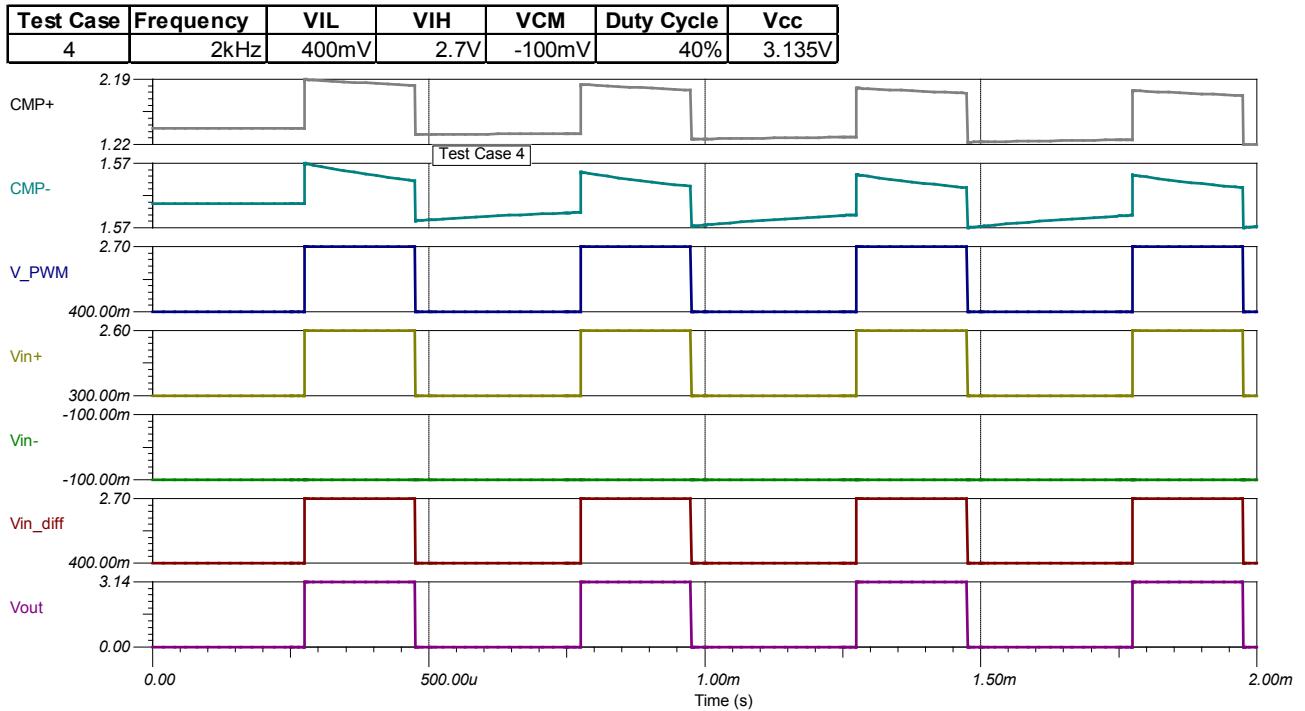


图 18: 测试情况 4

Test Case	Frequency	VIL	VIH	VCM	Duty Cycle	Vcc
5	32MHz	0V	5.25V	+100mV	40%	3.135V

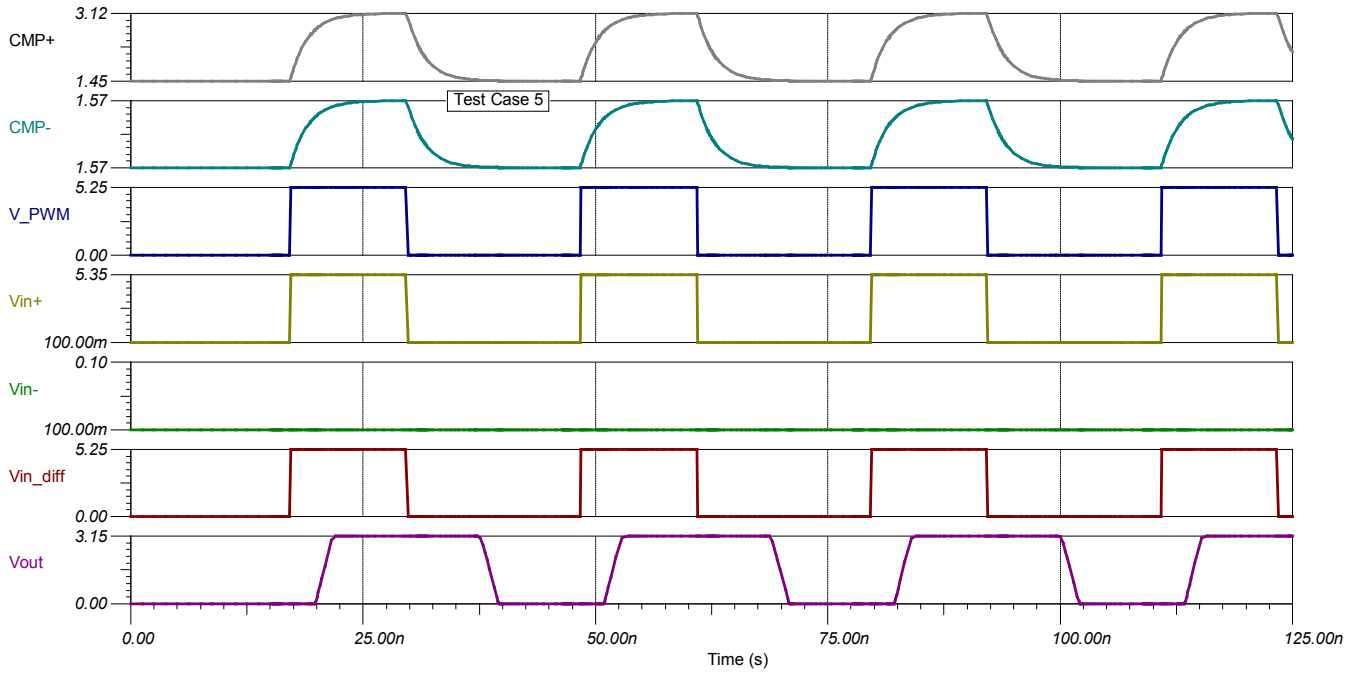


图 19: 测试情况 5

Test Case	Frequency	VIL	VIH	VCM	Duty Cycle	Vcc
6	32MHz	400mV	2.7V	+100mV	40%	3.135V

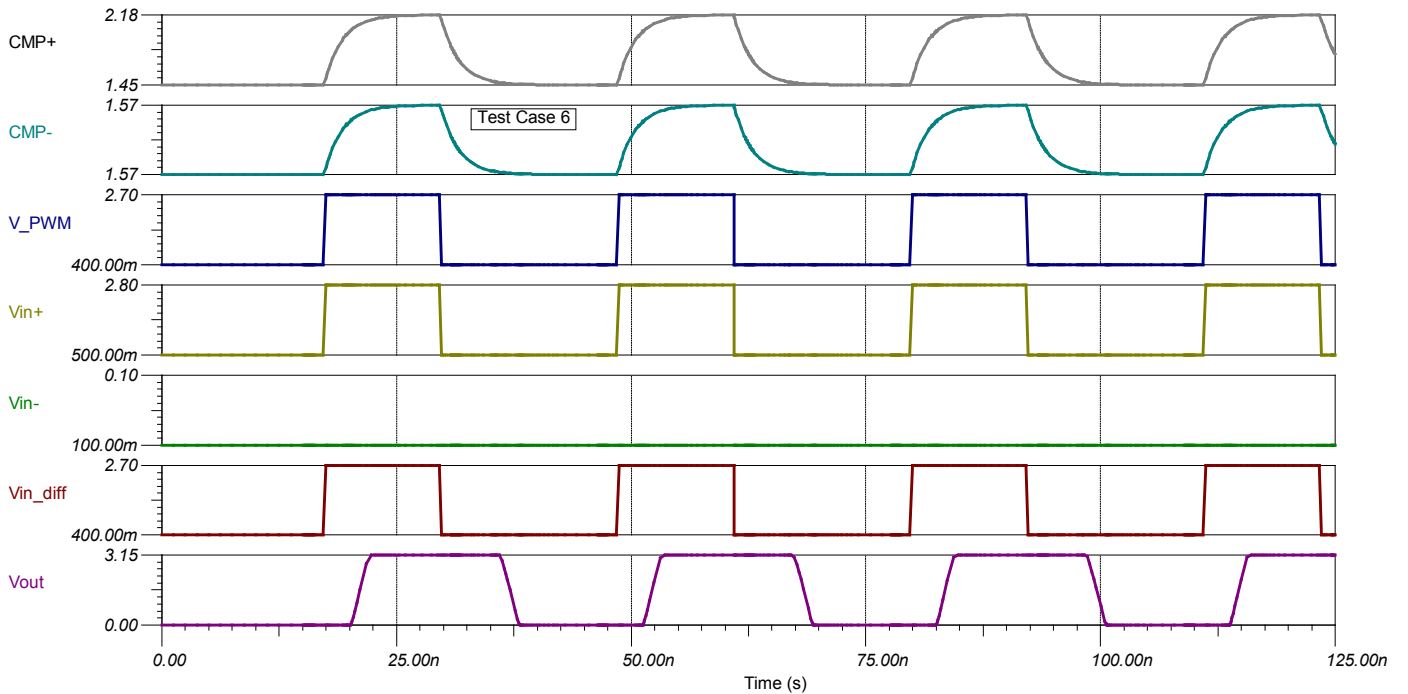


图 20: 测试情况 6

Test Case	Frequency	VIL	VIH	VCM	Duty Cycle	Vcc
7	32MHz	0V	5.25V	-100mV	40%	3.135V

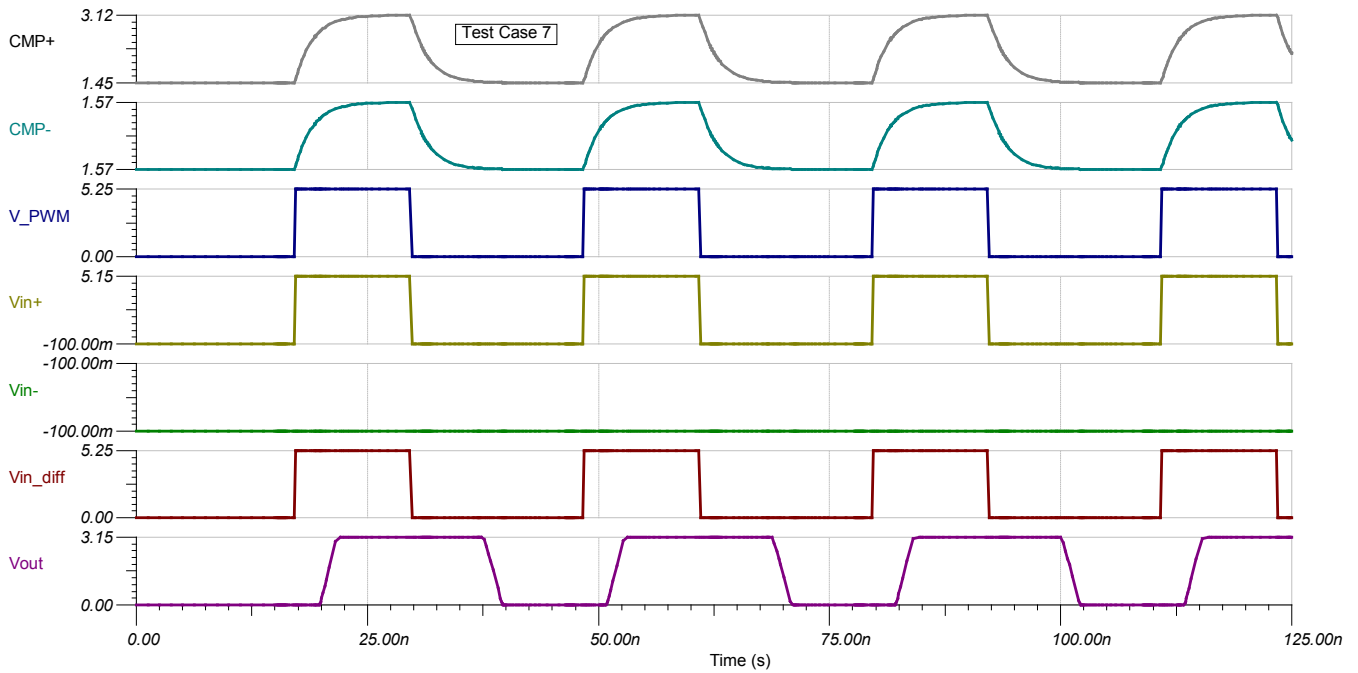


图 21: 测试情况 7

Test Case	Frequency	VIL	VIH	VCM	Duty Cycle	Vcc
8	32MHz	400mV	2.7V	-100mV	40%	3.135V

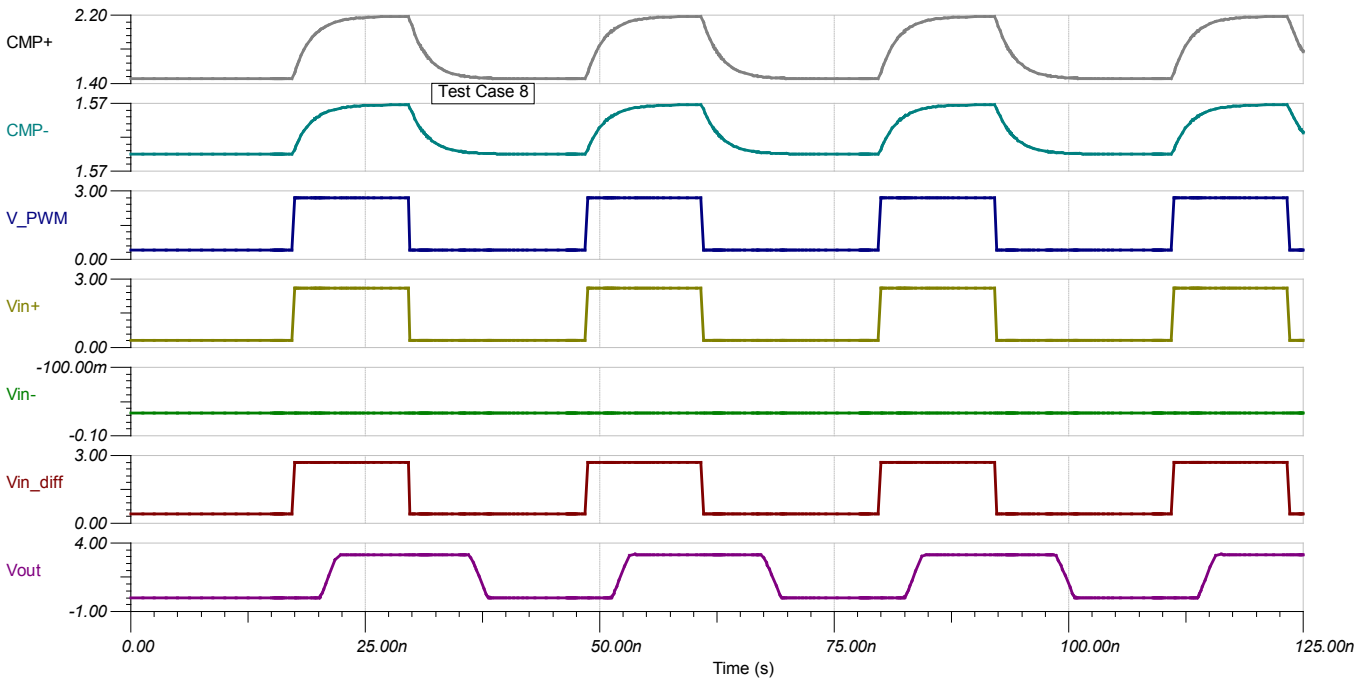


图 22: 测试情况 8

## 5 修改

为这个设计选择的器件是基于设计过程开始部分中概述的设计目标。在实现 32MHz 的上限运行频率中，选择诸如 TLV3501 的短传输延迟的比较器十分关键。针对它们对耦合进入比较器输入的电压的影响，应该分析 C1 和 C2 的初始公差和温度系数，确保所有电压保持在所选比较器的共模电压范围内。通过使用远低于所需导通频带的截止频率，可大大降低组件灵敏度。根据 40% 的最小占空比和  $2.7V < V_{CC} < 5.5V$  的单电源工作，表 6 基于传输延迟，列出了针对最适合这个设计类型的轨到轨输入比较器的可能的最大频率。

表 6. 针对交流耦合比较器的单电源比较器和最大频率

Part	RRI	Channels	Vcc Min (V)	Vcc Max (V)	Output Type	Iq/Channel (mA)	Prop Delay (us)	fmax (Hz)
TLV3404	Yes	4	2.5	16	open drain	0.00095	300	1,333
TLV3402	Yes	2	2.5	16	open drain	0.00095	300	1,333
TLV3401	Yes	1	2.5	16	open drain	0.00095	300	1,333
TLV3704	Yes	4	2.7	16	push/pull	0.001	240	1,667
TLV3702	Yes	2	2.7	16	push/pull	0.001	240	1,667
TLV3701	Yes	1	2.7	16	push/pull	0.001	240	1,667
LMC7225	Yes	1	2	8	open drain	1.2	29	13,793
LMC7215	Yes	1	2	8	push/pull	1.2	29	13,793
TLV3494	Yes	4	1.8	5.5	push/pull	0.0012	13.5	29,630
TLV3492	Yes	2	1.8	5.5	push/pull	0.0012	13.5	29,630
TLV3491	Yes	1	1.8	5.5	push/pull	0.0012	13.5	29,630
LPV7215	Yes	1	1.8	5.5	push/pull	0.013	12	33,333
TLV7211	Yes	1	2.7	15	push/pull	0.014	10	40,000
LMC7221	Yes	1	2.7	15	open drain	0.018	10	40,000
LMC7211	Yes	1	2.7	15	push/pull	0.014	10	40,000
LMC6762	Yes	2	2.7	15	push/pull	12.5	10	40,000
LMV7291	Yes	1	1.8	5.5	push/pull	0.016	1.3	307,692
LMV762	Yes	2	2.7	5.25	push/pull	0.7	0.27	1,481,481
LMV761	Yes	1	2.7	5.25	push/pull	0.7	0.27	1,481,481
LMV7239	Yes	1	2.7	5.5	push/pull	0.1	0.096	4,166,667
LMV7235	Yes	1	2.7	5.5	open drain	0.1	0.096	4,166,667
TLV3502	Yes	2	2.7	5.5	push/pull	5	0.012	33,333,333
TLV3501	Yes	1	2.7	5.5	push/pull	5	0.012	33,333,333

\*fmax based on 40% duty cycle

## 6 关于作者

在 1981 年从亚利桑那大学获得电气工程学士学位后，Tim Green 从事模拟和混合信号电路板/系统设计工程师、策略营销工程师和线性应用工程师已经有 31 年的时间了。他关注的产品领域有无刷电机控制、航空喷气引擎控制、导弹系统、功率运算放大器、数据采集系统、电荷耦合元件 (CCD) 相机和模拟/混合信号半导体。Tim 最近专注于用于汽车市场的音频功率器件。他目前是德州仪器 (TI) 公司，Tucson 设计中心高精度模拟线性应用的高级模拟应用工程师。

## Appendix A.

### A.1 TLV3501 输入电容测试

由于我们设计技术规格的关键部件是高频工作，我们将检查 TLV3501 SPICE 宏模型匹配针对  $C_{cm}$  和  $C_{diff}$  的数据表技术规范。图 A-1 显示了一个简单测试电路，在这个电路中，我们扫描一个流经已知电阻， $R_{test}$ ，的交流源，并且关注由这个已知电阻引起的 3dB 频率，以及 SPICE 宏模型的输入电容。在图 A-2 中，如果只有  $C_{cm}$  建模或者如果  $C_{cm}$  和  $C_{diff}$  建模，我们计算我们的测试希望获得的结果。从图 A-3，我们 SPICE 仿真的结果，我们看到只有  $C_{cm}$  看起来好像在 TLV3501 SPICE 宏模型中建模。为了确保我们的设计在实际环境中稳定可靠，我们将如图 A-4 中显示的那样在 TLV3501 SPICE 宏模型的外部添加 4pF 的  $C_{diff}$ 。

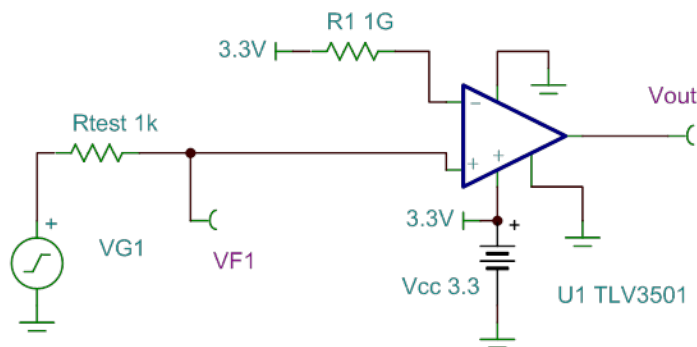


图 A-1: TLV3501 输入电容测试电路

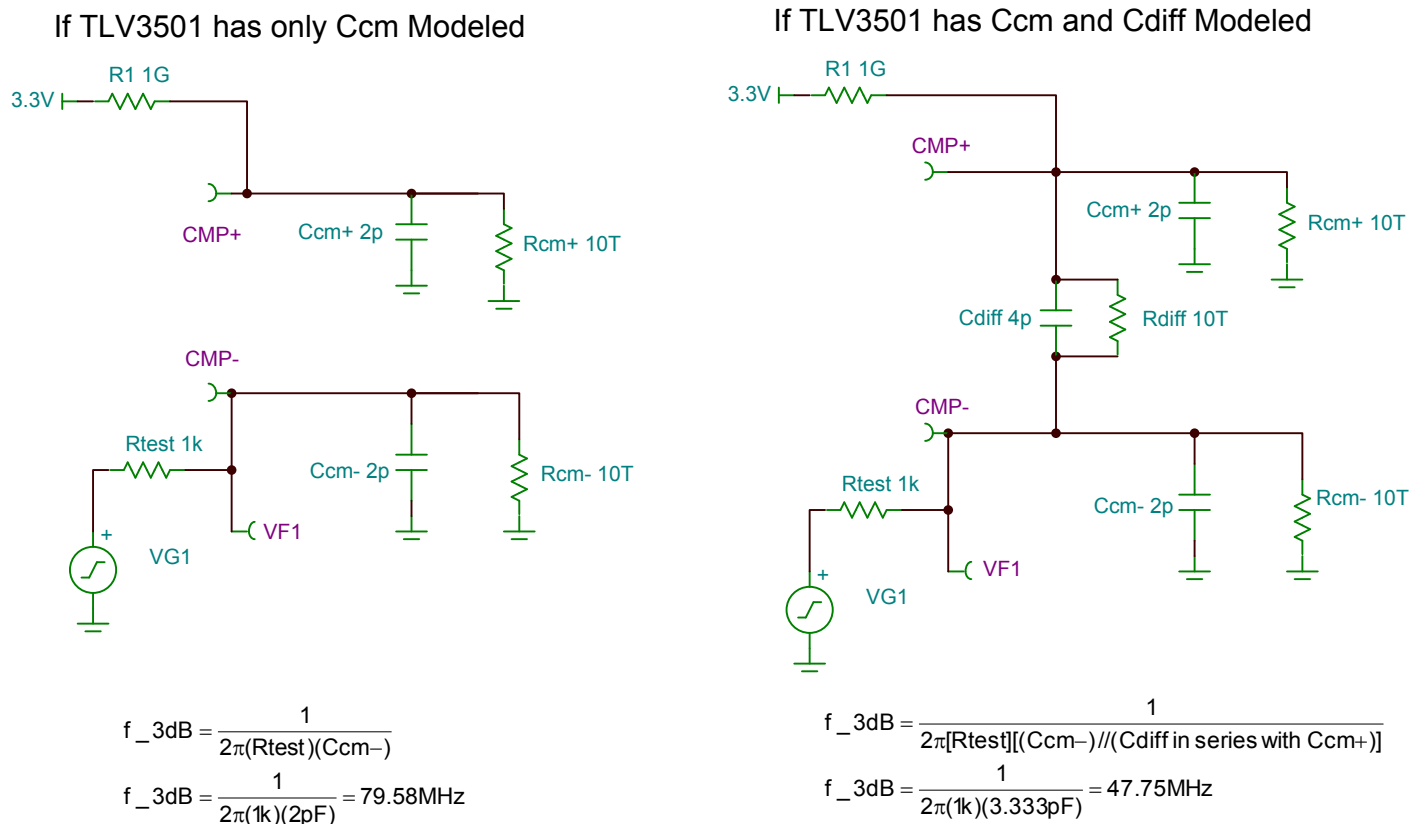


图 A-2: TLV3501 输入电容检查



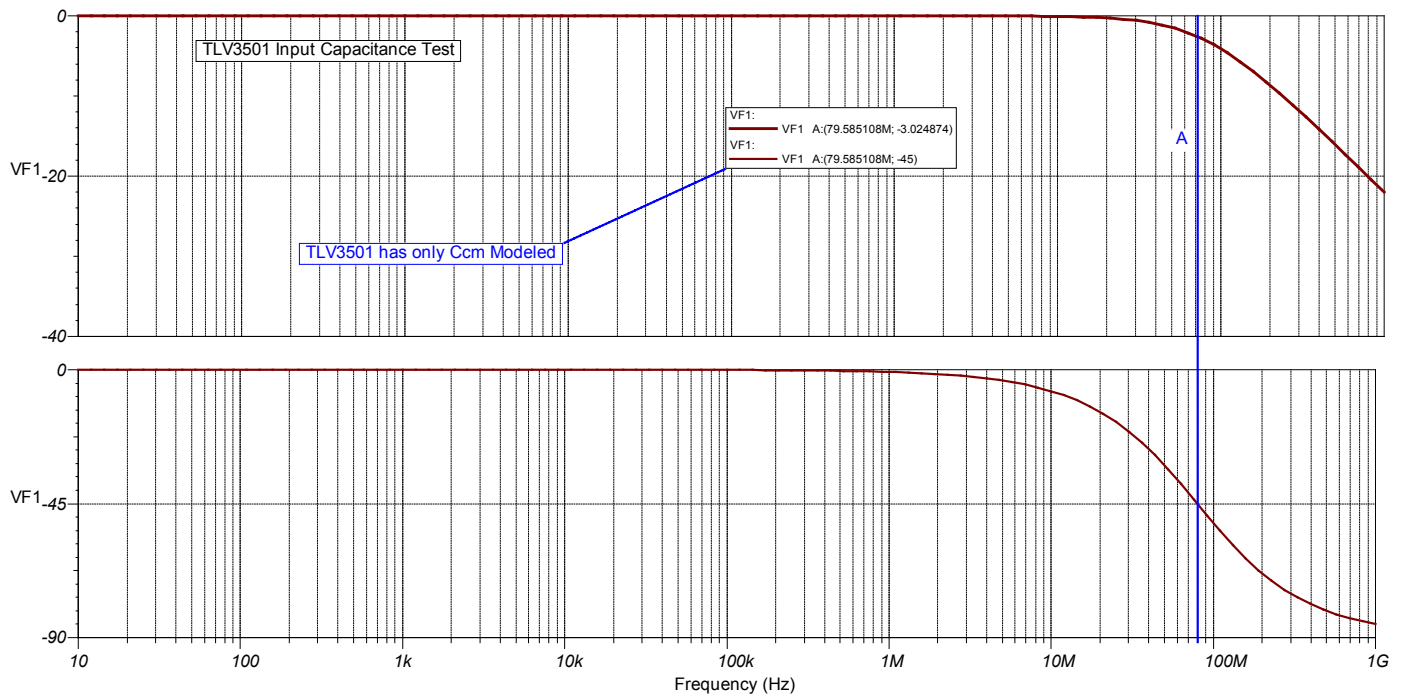


图 A-3: TLV3501 输入电容仿真结果

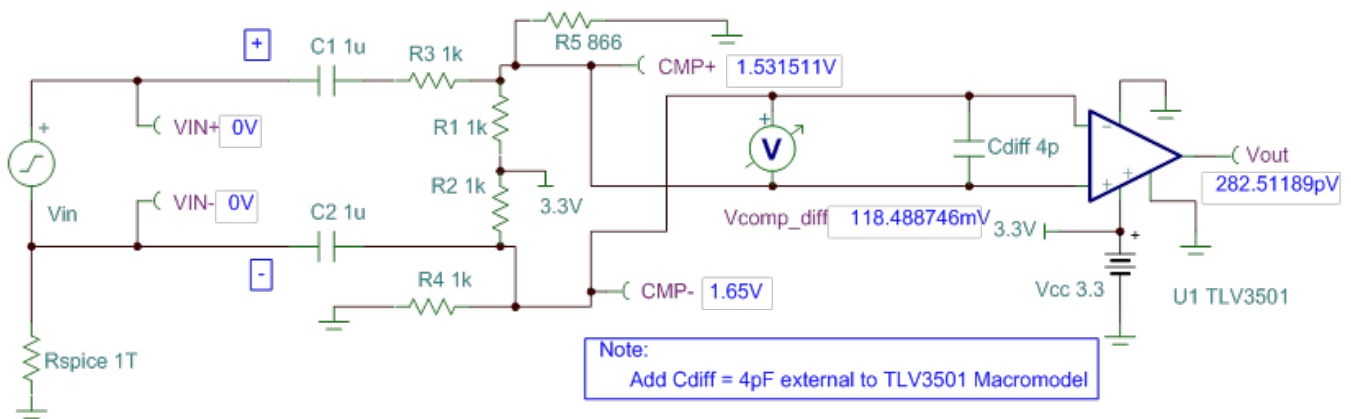


图 A-4: 针对适当的输入电容修改 TLV3501 比较器

## Appendix B.

### B.1 可调 PWM 信号源

为了测试我们最终设计，我们将创建一个如图 8-1 中显示的简单方法来调节和使用 PWM 信号发生器。这个发生器可以调节频率，占空比，Voh（输出高电压电平），和 Vol（输出低电压电平）。这将使我们能够针对最终电路执行兼容性来轻松测试我们技术规格的全部隅角条件。图 B-2 显示了除 PWM 宏模型之外，所使用的子电路。VCO 是 SPICE 标准压控振荡器，我们将使用此振荡器输出的在 0V 至 1V 之间缩放的三角波输出。频率针对 1V=1Hz 缩放。在宏模型外部，分别针对 0% 至 100% 对占空比在 0V 至 100V 的范围内进行缩放。我们在内部由 VCVS2 在 0V 至 1V 之间对其进行缩放。一个理想的比较器，VCVS1，将三角波形（0V 至 1V）与占空比设置进行比较（0V 至 1V）。输出高和低限值，Voh 和 Vol，从外部设定，并且成为 U2 的限值，U2 是具有钳位限制的压控电压源。

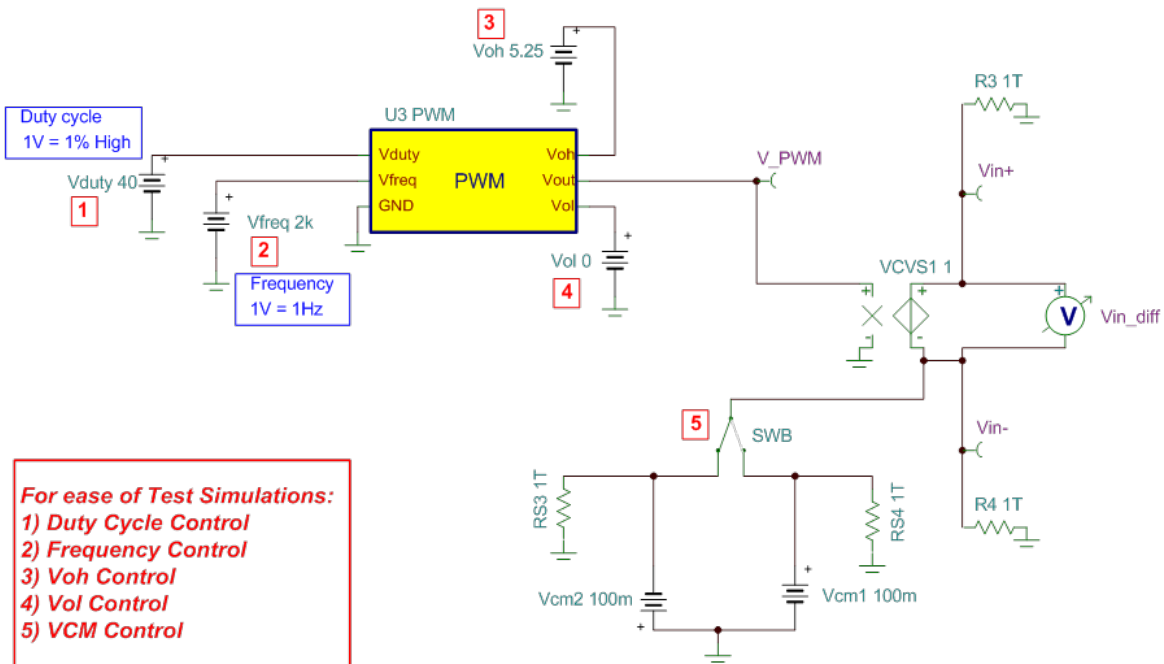


图 B-1: 瞬态分析 PWM 源

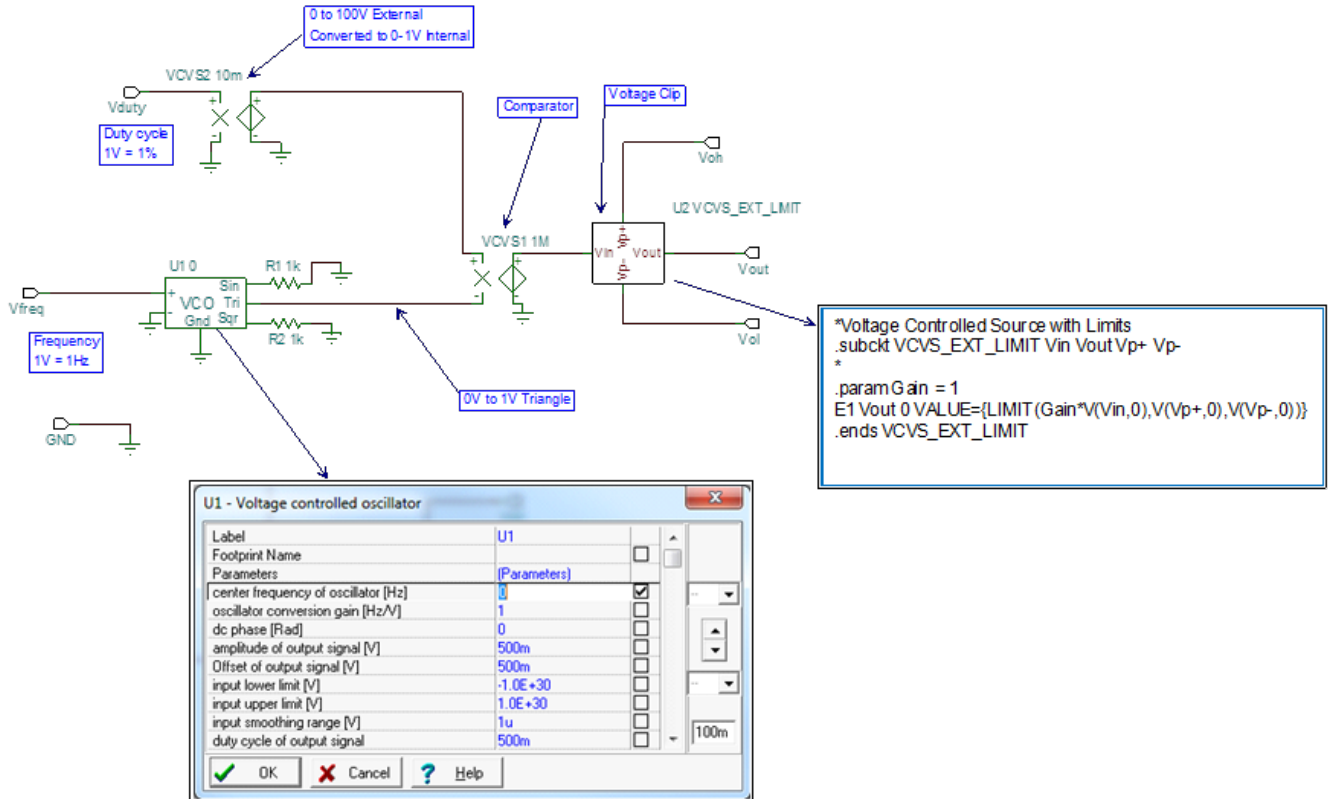


图 B-2: PWM 宏模型细节

## 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, 但他们将独立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, 并且由客户独立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。

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

## 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	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

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