

Paul Goedeke and Daniel Miller

摘要

本文讨论了 TLV90xx 器件系列中具有关断功能的型号。具有关断功能的放大器让设计人员能够选择何时启用放大器，从而发挥功耗节省的优势。这在电池供电应用中尤其实用。本文涵盖的主题包括关断参数、瞬态行为、启用时间和关断时间因子、关断期间的器件性能以及与关断器件的信号多路复用。

内容

1 引言.....	3
2 关断规格.....	4
3 SHDN 引脚限制和连接.....	6
4 启用和关断期间的输出行为.....	6
5 启用时间和关断时间因子.....	8
5.1 静态电流.....	8
5.2 温度.....	8
5.3 负载.....	8
5.4 反馈路径.....	10
6 对常用电路配置的影响.....	11
6.1 反相放大器电路.....	12
6.2 同相放大器电路.....	13
6.3 缓冲器电路.....	14
7 利用具有关断功能的放大器实现高级电路功能.....	15
8 结论.....	16
9 参考文献.....	16
10 修订历史记录.....	16

插图清单

图 1-1. TLV9062S DGS 封装.....	3
图 1-2. TLV9064S RTE 封装.....	3
图 2-1. TLV906xS 电气特性表中的关断规格.....	4
图 2-2. 关断时的输出阻抗.....	5
图 2-3. 关断阈值图.....	6
图 4-1. TLV9052S 从完全关断启用与从部分关断启用.....	7
图 4-2. TLV9052S 关断.....	7
图 5-1. 缓冲器电路.....	9
图 5-2. 负载与关断时间 TLV9062S.....	10
图 5-3. 同相放大器电路.....	11
图 5-4. 闭环配置与关断 TLV9062S.....	11
图 6-1. 反相放大器电路.....	12
图 6-2. 反相放大器交流响应.....	13
图 6-3. 同相放大器电路.....	13
图 6-4. 同相放大器交流响应.....	14
图 6-5. 缓冲器电路.....	14
图 6-6. 缓冲器交流响应.....	15

表格清单

表 2-1. 关断参数定义.....	4
表 5-1. 数据表静态电流与启用和关断时间的关系.....	8
表 5-2. TLV9002S 在不同温度条件下的启用和关断时间.....	8
表 5-3. TLV9062S 的负载与实验性启用及关断时间.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

现代运算放大器中有一项功能变得越来越常见，即启用和禁用器件。德州仪器 (TI) 目前提供了 60 多种具有关断功能的运算放大器，未来还会推出更多此类器件。本应用手册将说明 TLV90xxS 系列器件 (包括 TLV900xS、TLV905xS 和 TLV906xS) 的各种关断参数以及设计注意事项。

具有关断功能的放大器非常适合于采用电池供电并需要关闭系统部分电路来节省功耗的应用。此类系统的示例包括烟雾探测器、PIR 传感器、现场变送器和遥感器。不具备关断功能的“低功耗”放大器通常采用一些折衷方案，例如以低静态电流换来很低的带宽。另一方面，具有关断功能的放大器在关闭时可以实现低电流消耗，而在使用时可以提供更大的带宽。尽管需要多一些控制，但这类器件可以减轻这种以功耗换性能的代价。

具有关断功能的放大器让用户甚至可以在电源轨保持通电状态时“启用”和“禁用”或“关断”该器件。启用时，放大器会正常工作来放大反相和同相输入之间的差异，放大倍数等于开环增益 (A_{OL}) 并且会消耗全部静态电流 (I_Q)。关断时，放大器消耗的静态电流会少很多，而输出会变为高阻抗。

采用单通道或双通道封装的器件通常为每个放大器提供一个 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚。采用四通道封装的器件通常提供两个 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚：一个用于控制通道 1 和 2，而另一个用于控制通道 3 和 4。图 1-1 和图 1-2 展示了双通道关断器件 (TLV9062S) 和四通道关断器件 (TLV9064S) 的示例引脚排列。

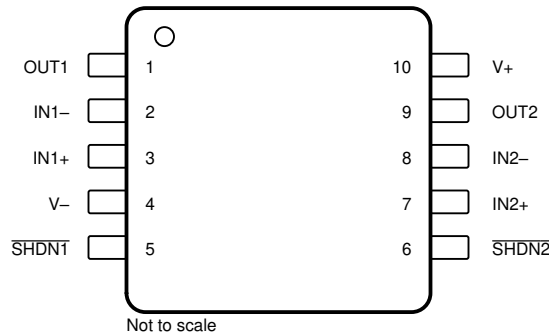


图 1-1. TLV9062S DGS 封装

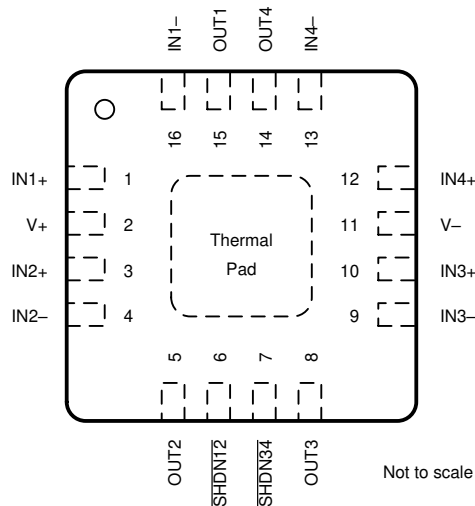


图 1-2. TLV9064S RTE 封装

2 关断规格

对于 TLV90xxS 系列产品，器件数据表的“电气特性”表格中提供了关断规格，如下方图 2-1 中所示的 TLV906xS 规格。并非所有具有关断功能的 TI 运算放大器都在各自数据表中包含了相同的信息。不过，大多数都会指定禁用时的静态电流、关断状态的阈值电压，以及启用/禁用时间。各关断参数的定义与表 2-1 中一致。



TLV9061, TLV9062, TLV9064

SBOS839J – MARCH 2017 – REVISED SEPTEMBER 2019

www.ti.com

Electrical Characteristics (continued)

For V_S (Total Supply Voltage) = $(V+) - (V-) = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ connected to $V_S / 2$, $V_{CM} = V_S / 2$, and $V_{OUT} = V_S / 2$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
POWER SUPPLY					
I_Q Quiescent current per amplifier	$V_S = 5.5\text{ V}$, $I_O = 0\text{ mA}$		538	750	μA
	$V_S = 5.5\text{ V}$, $I_O = 0\text{ mA}$, $T_A = -40^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			800	
SHUTDOWN					
I_{QSD} Quiescent current per amplifier	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$, all amplifiers disabled, $\overline{\text{SHDN}} = \text{Low}$		0.5	1.5	μA
Z_{SHDN} Output impedance during shutdown	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$, amplifier disabled		10 8		$\text{G}\Omega \parallel \text{pF}$
$V_{\text{SHDN_THR_HI}}$ High level voltage shutdown threshold (amplifier enabled)	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$		$(V-) + 0.9\text{ V}$	$(V-) + 1.1\text{ V}$	V
$V_{\text{SDHN_THR_LO}}$ Low level voltage shutdown threshold (amplifier disabled)	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$	$(V-) + 0.2\text{ V}$	$(V-) + 0.7\text{ V}$		V
t_{ON} Amplifier enable time (shutdown) ⁽²⁾	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$, full shutdown; $G = 1$, $V_{\text{OUT}} = 0.9 \times V_S / 2$, R_L connected to $V-$		10		μs
t_{OFF} Amplifier disable time ⁽²⁾	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$, $G = 1$, $V_{\text{OUT}} = 0.1 \times V_S / 2$, R_L connected to $V-$		0.6		μs
SHDN pin input bias current (per pin)	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$, $V+ \geq \overline{\text{SHDN}} \geq (V+) - 0.8\text{ V}$		130		pA
	$V_S = 1.8\text{ V to }5.5\text{ V}$, $V- \leq \overline{\text{SHDN}} \leq V- + 0.8\text{ V}$		40		

(2) Disable time (t_{OFF}) and enable time (t_{ON}) are defined as the time interval between the 50% point of the signal applied to the $\overline{\text{SHDN}}$ pin and the point at which the output voltage reaches the 10% (disable) or 90% (enable) level.

图 2-1. TLV906xS 电气特性表中的关断规格

表 2-1. 关断参数定义

符号	参数	定义
I_{QSD}	静态电流 (每个放大器)	禁用期间单个通道消耗的电流
Z_{SHDN}	关断时的输出阻抗	放大器供电轨通电但处于禁用或关断状态期间放大器输出引脚上的阻抗
$V_{\text{SHDN_THR_HI}}$	高电平电压关断阈值 (放大器为启用状态)	施加于 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚来启用放大器的电压电平
$V_{\text{SHDN_THR_LO}}$	低电平电压关断阈值 (放大器为禁用状态)	施加于 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚来禁用放大器的电压电平
t_{ON}	放大器启用时间 (关断)	从施加给 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚的信号为 50% 时到输出电压达到最终输出电压 90% 时之间的时间间隔
t_{OFF}	放大器禁用时间	从施加给 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚的信号为 50% 时到输出电压达到最终输出电压 10% 时之间的时间间隔
	$\overline{\text{SHDN}}$ 引脚输入偏置电流 (每个引脚)	通常会流入 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚的电流流量

一些关断规格与放大器正常工作时的规格相似但会有所不同。例如，上文定义的关断期间静态电流 I_{QSD} 与静态电流 I_Q 相似。不过，TLV906xS 的测试条件规定了 I_{QSD} 测试是在所有器件通道均禁用的条件下完成的。如上方图 2-1 所示，在所有通道均关闭的完全关断状态下，TLV906xS 器件的典型静态电流为 $0.5\mu A$ 。这个值不到启用时每个通道 $538\mu A$ 典型 I_Q 的 0.1%。

类似地， Z_{SHDN} 会让人想起放大器启用期间放大器的开环输出阻抗 (Z_O)。在图 2-1 中， Z_{SHDN} 指定为电阻 (R_{SHDN}) 和电容 (C_{SHDN}) 的并联组合。绘制与频率的关系图时，所得曲线如图 2-2 所示。在直流情况下，此阻抗等于规格表中给出的电阻，本例中为 $10G\Omega$ 。随着频率升高，电容开始在响应中占主导地位，而总体输出阻抗会降低。对于 TLV906xS 器件，在 $100kHz$ 条件下，此阻抗会降至 $200k\Omega$ 。

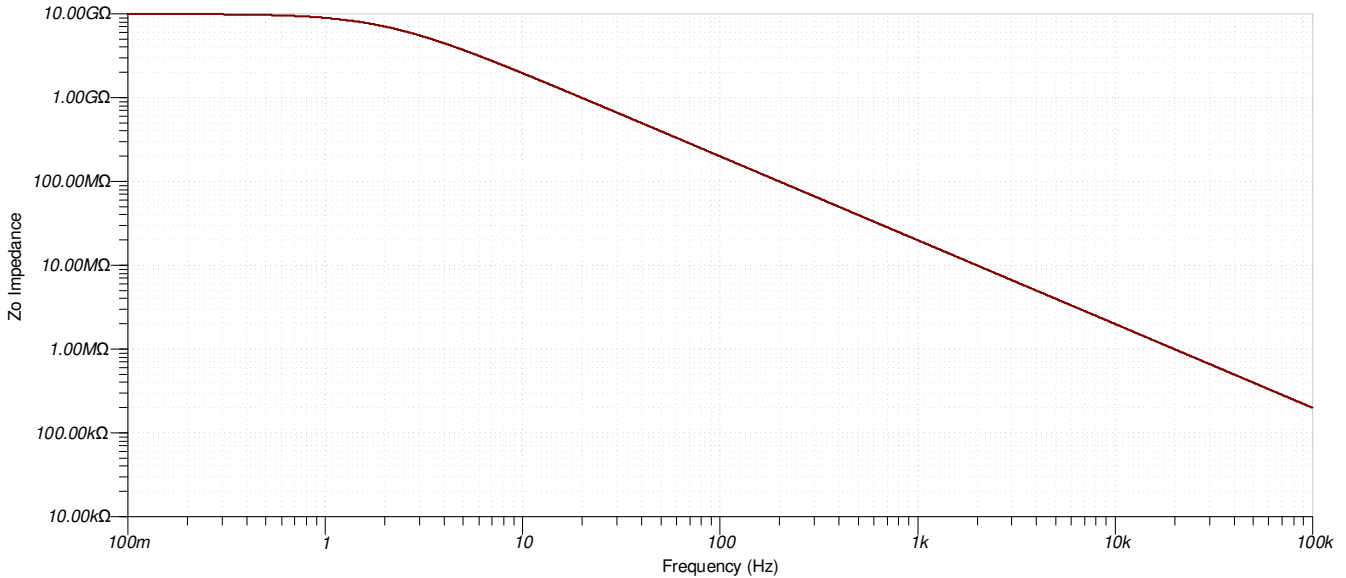
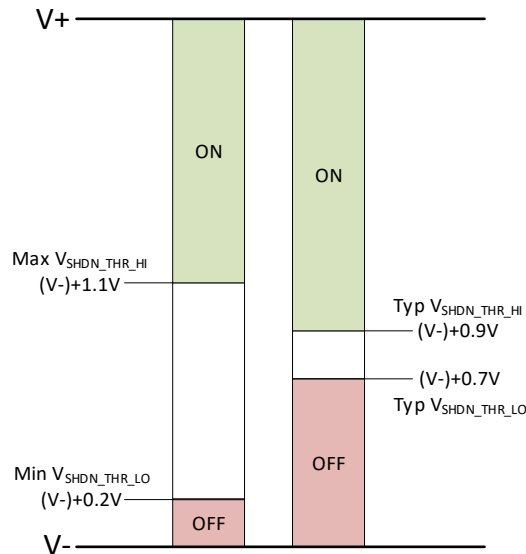


图 2-2. 关断时的输出阻抗

最后，具有关断功能的器件存在阈值电压，该电压由 $V_{SHDN_THR_HI}$ 和 $V_{SHDN_THR_LO}$ 指定，用于定义通过 \overline{SHDN} 引脚的启用和禁用区域。这两个电压之间是未定义的状态，这时放大器可能处于开启状态、关闭状态或这两种状态的某种组合。TLV90xxS 器件的阈值电压是相对电源电压来定义的。不过，其他器件可能会提供特定电源的绝对电压。图 2-3 利用 TLV906xS 数据表中的阈值展示了 \overline{SHDN} 引脚区域，其中灰色条纹区域表示未定义的状态。左侧条形图展示了数据表中的最小和最大阈值，而右侧条形图展示了典型阈值。为确保正常工作，设计时必须满足最小和最大阈值。


图 2-3. 关断阈值图

3 **SHDN** 引脚限制和连接

SHDN 引脚上可安全施加的最大输入电压可以在数据表中“绝对最大额定值”部分的“信号输入引脚”一行下找到。必须注意不要超过此限值，否则会损坏器件。对于 TLV90xxS 器件，关断引脚的绝对最大电压额定值为 $V+$ 加上 500mV，最小电压为 $V-$ 减去 500mV。如果未使用，**SHDN** 引脚应连接至 $V+$ 。一些具有关断功能的 TI 放大器在 **SHDN** 引脚与 VCC 之间存在一个内部上拉电阻器，因此 **SHDN** 引脚可以保持不连接。不过，只有数据表中提到这是有效的设置时，才应这样做。

4 启用和关断期间的输出行为

如上所述，从向 **SHDN** 引脚施加信号到放大器进入所需状态之间存在延时。此延时之前被定义为 t_{ON} 或 t_{OFF} 。图 4-1 展示了 TLV9052S 器件典型的启用瞬态响应，其中该器件按照数据表的“关断”部分所述进行配置。这里展示了两个启用图：一个是从部分关断启用，另一个是从完全关断启用。部分关断状态表示该器件中一半的通道处于启用状态，而另一半通道处于关断状态。在完全关断状态下，所有通道都处于禁用状态。请注意，当该器件从部分关断状态退出时，其启用时间明显更短。这是因为一些内部偏置电路会保持开启，以便为已启用的通道供电。

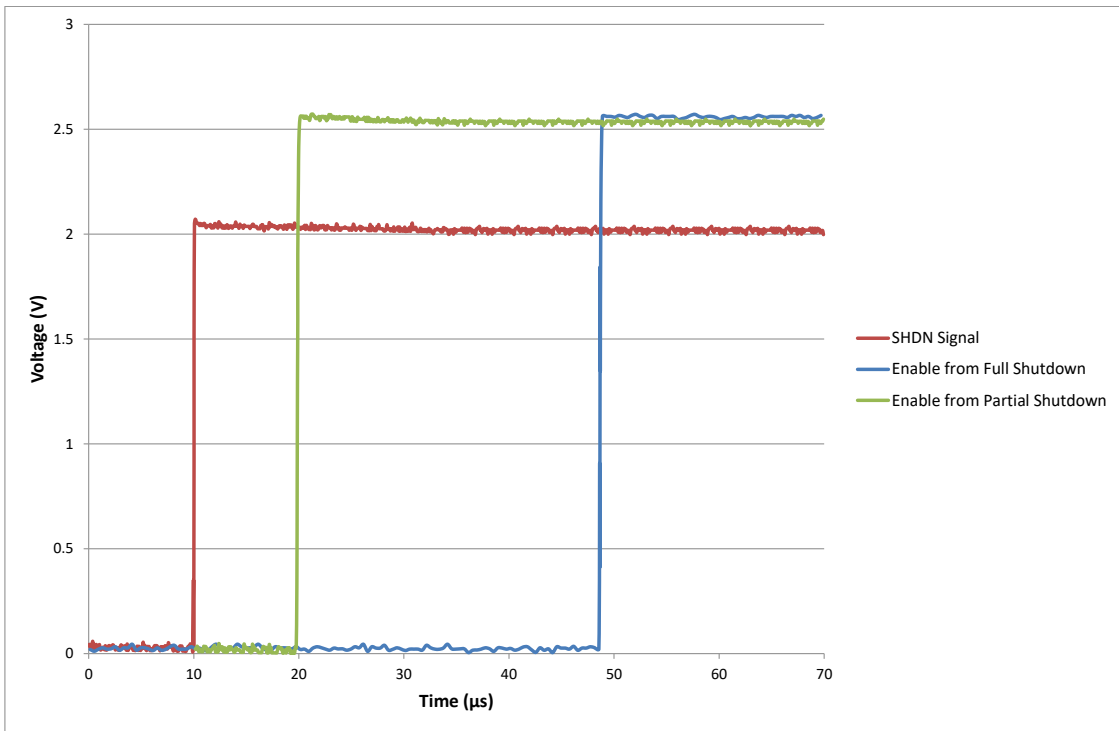


图 4-1. TLV9052S 从完全关断启用与从部分关断启用

类似地，图 4-2 展示了按照数据表中所述配置时该器件的通道 1 被禁用的情况。请注意，将该器件置于完全关断状态所需的禁用时间与置于部分关断状态时并没有任何差别。这是因为每个通道会分别关断。因此，只需一个关断时间规格。

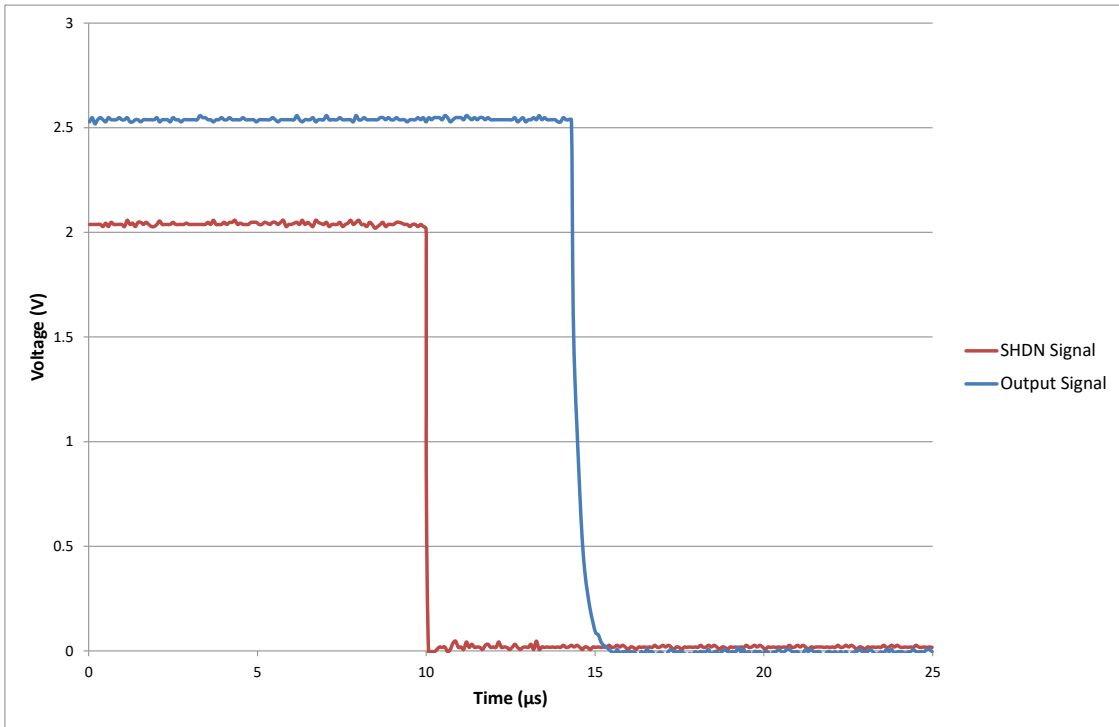


图 4-2. TLV9052S 关断

并非所有放大器都会以相同的方式启用。一些放大器具有内部电路，支持受控上电响应。此类电路被称为上电复位 (POR) 电路，用于在器件启用期间将输出保持为已知状态。POR 功能有助于防止意外触发下游逻辑。

对于 TLV90xxS 系列器件，当器件断电后，POR 电路不工作。首次施加电源电压后达到启动电流电平时，便会激活 POR。通过 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚将放大器保持为关断状态时，POR 电路会保持开启。一旦启用信号发送到 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚，POR 电路将保持输出不变，直到内部偏置电流达到阈值水平。然后，POR 会关闭，而放大器会进入启用状态。

通过这种方式，TLV900xS、TLV905xS 和 TLV906xS 器件可以在 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚变为高电平来启用器件时，防止其输出出现异常行为。没有 POR 电路的运算放大器在退出关断状态时，输出端可能会出现少量毛刺干扰。在旧款器件中，这种情况更为常见。

5 启用时间和关断时间因子

5.1 静态电流

通常情况下，TLV90xxS 系列中的放大器如果静态电流规格越大，启用和关断时间便越短。请注意，并不是所有放大器都是如此。确定这些时间的因素有很多。但是，对于这些结构相似的器件，选择启用和关断时间较短的器件通常意味着器件会消耗更多的功率。

表 5-1. 数据表静态电流与启用和关断时间的关系

器件	静态电流 (I _Q)	增益带宽积 (GBW)	启用时间 (完全关断, t _{on})	启用时间 (部分关断, t _{on})	禁用时间 (t _{off})
TLV900xS	60μA	1MHz	70μs	50μs	4μs
TLV905xS	330μA	5MHz	35μs	10μs	6μs
TLV906xS	538μA	10MHz	10μs	—	0.6μs

5.2 温度

放大器的启用和禁用时间和行为还取决于其他几项因素。例如，温度不同会导致这些时间出现很小但却显而易见的变化。通常，温度越高意味着启用时间和关断时间越短，因为器件晶体管的电压阈值水平会越低。阈值电压与温度成反比。请注意，由于高阶效应，这种关系并不是一定成立。

下表通过显示 TLV9002S 器件在几个关键温度条件下的启用和禁用时间，展示了这一效应。此数据在以下条件中获得：器件的通道 1 采用单位增益缓冲器配置，输入为 2.5V，负载为 10kΩ，并且 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚在 0V 和 2V 之间切换；器件的通道 2 采用单位增益配置并始终保持启用，同时输入为 2.5V 且没有外部负载。请注意，从 -40°C 到 125°C 的启用和关断时间存在约 15% 的差异。

表 5-2. TLV9002S 在不同温度条件下的启用和关断时间

—	-40°C	0°C	25°C	85°C	125°C
启用时间	40.8μs	39.4μs	38.6μs	36.8μs	35.4μs
关断时间	3.38μs	3.22μs	3.22μs	3.04μs	2.88μs

5.3 负载

在确定放大器的关断时间时，另一项重要因素是输出负载。通过 $\overline{\text{SHDN}}$ 引脚禁用放大器时，输出引脚上存在一定的电荷。此输出电荷相当于输出电压，并且取决于输出端的负载。当放大器处于关断状态时，该负载实际上由放大器输入端和输出端的负载元件、反馈元件和寄生元件组成。若要完成关断过程，输出电荷必须消耗掉，使得输出电压可以从之前的输出电压转换到关断输出电压。此电荷通过负载消耗，因此关断时间取决于负载元件。

因此，当放大器采用单位增益缓冲器配置时，需要考虑以下三种场景：纯阻性负载、无负载和纯容性负载。图 5-1 展示了此场景的一个图形示例。左侧是正常工作期间的放大器。右侧是模拟关断期间放大器行为的有效电路。

C_{CM} 和 C_{ID} 模拟放大器的共模输入电容和差分输入电容。 $C_{\overline{\text{SHDN}}}$ 和 $R_{\overline{\text{SHDN}}}$ 表示该器件在关断状态下的输出阻抗。

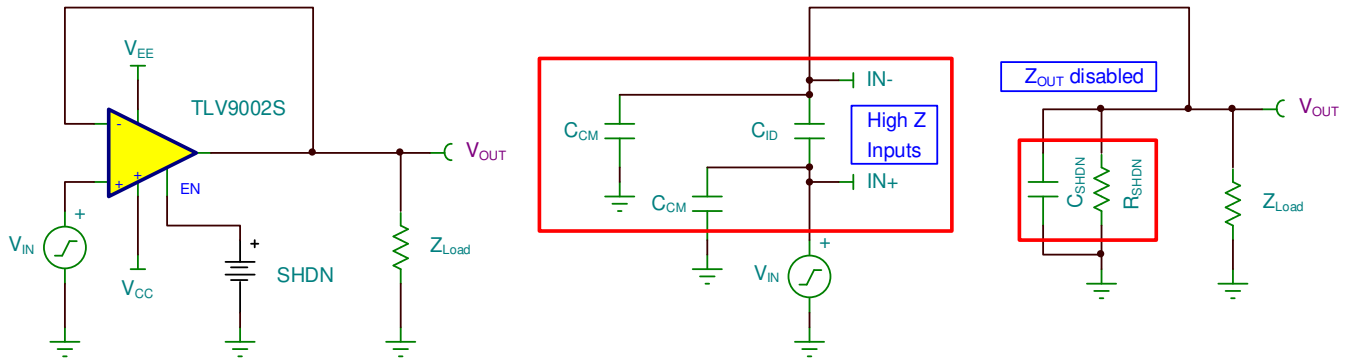


图 5-1. 缓冲器电路

当负载元件 Z_{LOAD} 为纯阻性负载并且远远小于 R_{SHDN} (例如 $10k\Omega$) 时, 放大器将具有三种类型输出负载条件下最短的关断时间。这是因为输出电荷仅由该器件相对较小的寄生电容 (例如 C_{SHDN}) 建立, 并且此电荷具有通过输出负载的纯阻性下拉接地路径。关断期间的预期输出信号就像是从起始输出电压到地的快速 RC 响应。

当没有输出负载时, 寄生电容上储存的输出电荷仍然相对较小。不过, 该电荷需要通过很大的 R_{SHDN} 位移到地, 后者与寄生电容构成了一个很大的 RC 组合, 或者通过放大器中的寄生和泄露路径位移到地。因此, 在这种负载场景中, 预期的关断时间会长很多。请注意, 此寄生输出电容可包括电路板寄生电容。

不过, 在这三种场景中, 最差的情况是纯容性负载。在这种情况下, 即使具有 $10pF$ 的典型负载, 也会导致器件完全关断所需的时间显著延长。在这种条件下, 寄生和负载电容现在都会储存输出电荷, 因此输出电荷会明显大于之前的。此外, 负载电容器会进一步增大由 R_{SHDN} 和 C_{SHDN} 构成的 RC 组合的尺寸, 而不能提供较低的阻性接地路径。因此, 放大器需要较长的时间才能消耗掉输出端储存的电荷。

图 5-2 展示了上述几种配置的关断时间。所有数据均采用 TLV9062S 在 $5V$ 单电源、单位缓冲器增益配置和 $2.5V$ 输入条件下获得。通道 1 的 \overline{SHDN} 引脚进行开关切换, 而通道 2 保持开启。请注意, $10k\Omega$ 负载条件下的关断时间远远长于其他负载条件下的关断时间, 并且对应曲线几乎与此时间刻度上的 \overline{SHDN} 引脚信号曲线相重叠。

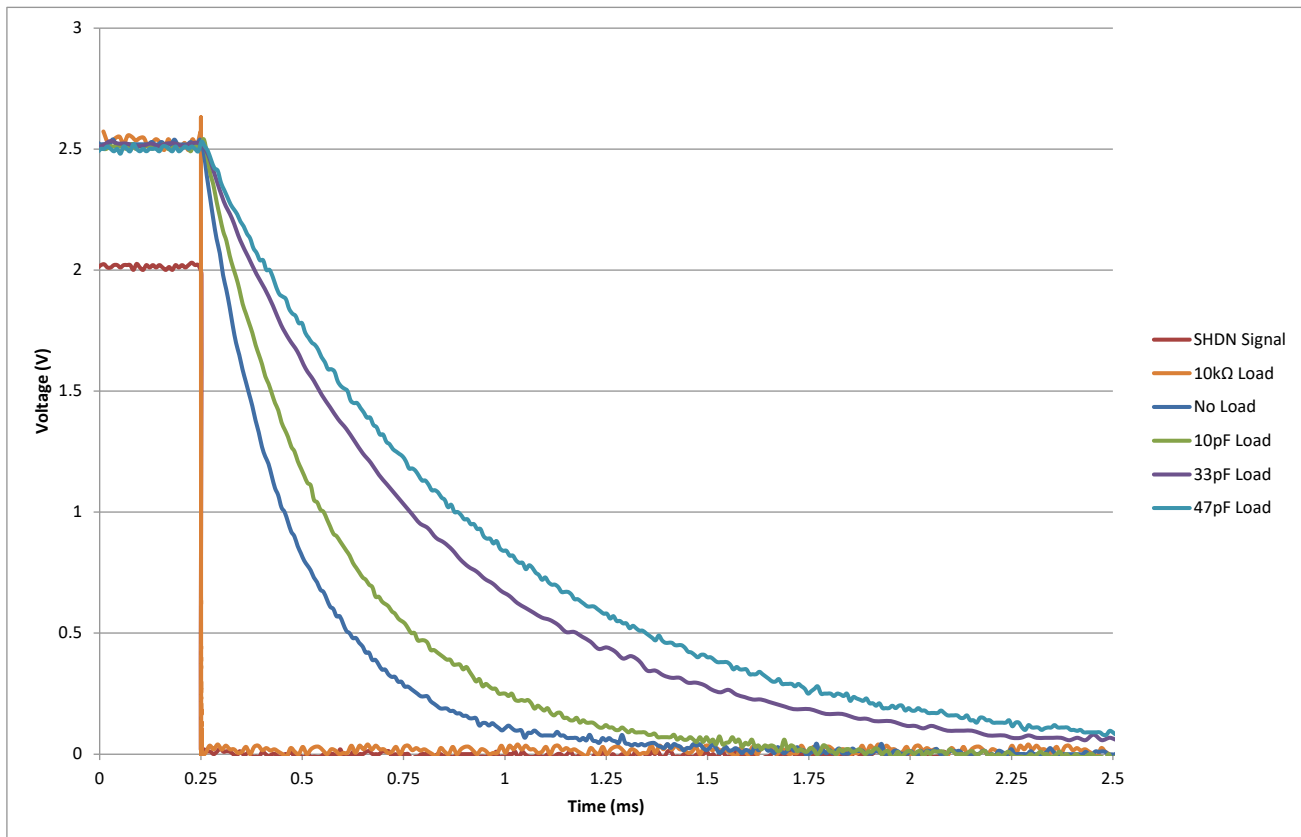


图 5-2. 负载与关断时间 TLV9062S

表 5-3. TLV9062S 的负载与实验性启用及关断时间

输出负载	启用时间	关断时间
10k Ω	5.20μs	604ns
空载	5.20μs	536μs
10pF	5.20μs	752μs
33 pF	5.20μs	1.35ms
47pF	5.20μs	1.61ms

5.4 反馈路径

可以执行类似的分析来确定关断期间闭环阻抗和增益带来的影响。需要考虑以下三种不同类型的闭环配置：

- 单位增益缓冲器
- 增益为 11 并具有 18k Ω (R_f) 和 1.8k Ω (R_i) 反馈电阻器的同相放大器
- 增益为 11 增益并具有 180k Ω (R_f) 和 18k Ω (R_i) 反馈电阻器的同相放大器

图 5-3 展示了同相配置的一个示例电路。同样，图片左侧部分展示了启用时的操作配置，而右侧部分展示了放大器处于关断模式时的有效电路。

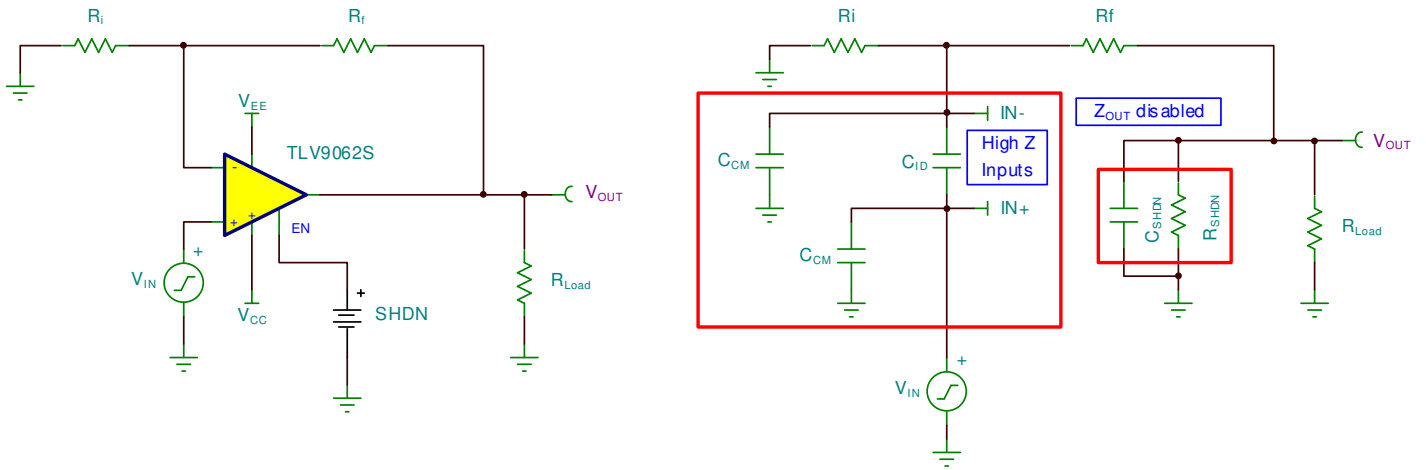


图 5-3. 同相放大器电路

请注意，当放大器关闭时，反馈电阻器 R_f 和 R_i 会为输出提供一个接地的电阻下拉路径。与纯阻性负载情况类似，该备选接地路径可以缩短关断时间。不过，这里的关键是关断时间主要受反馈网络的总电阻影响，而不是由电阻比设定的增益。换句话说，闭环增益并不是主要因素。与以输出负载为例的情况相同，其原因是过大的反馈电阻器将会与寄生电容构成很大的 RC 组合，进而导致关断时间延长。

图 5-4 展示了使用单位增益缓冲器以及使用两个不同反馈电阻提供 11V/V 增益时的 TLV906xS 关断行为。测量是在通道 1 上进行的，而通道 2 始终保持开启。

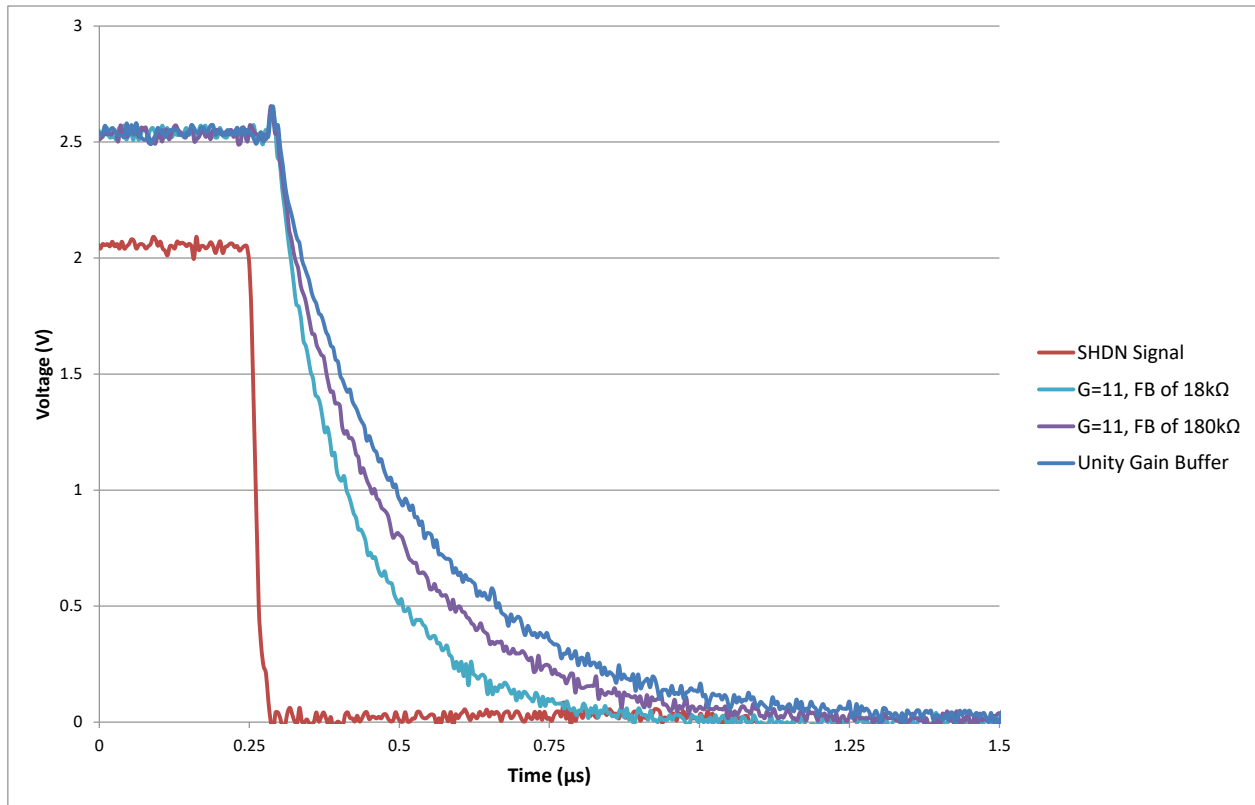


图 5-4. 闭环配置与关断 TLV9062S

6 对常用电路配置的影响

设计人员必须考虑已禁用 TLV90xxS 器件对其电路的影响，例如放大器的寄生输入电容导致输入信号意外出现在输出节点上。本节将介绍如何对具有已禁用放大器的电路进行建模。另外还将展示几种常见配置中已禁用放大器对性能的影响。

若要对电路中已禁用的放大器进行建模，应进行以下操作：

1. 将运算放大器的输入端替换为高阻抗节点。
2. 使用寄生电容器对放大器的共模和差分输入电容进行建模。使用这些组件数据表中提供的电容 C_{CM} 和 C_{ID} 。
3. 将运算放大器的输出引脚建模为一个电阻器与一个电容器并联。使它们的值与数据表中提供的 Z_{SHDN} 规格匹配。

6.1 反相放大器电路

图 6-1 展示了反相放大器电路配置，及其在放大器置于关断模式时的等效模型。请注意，如果具有关断功能的运算放大器采用反相放大器配置，如被禁用，放大器不会阻止输入信号到达电路的输出端。这是因为在运算放大器被禁用时，输入和输出之间存在通过反馈网络的路径。

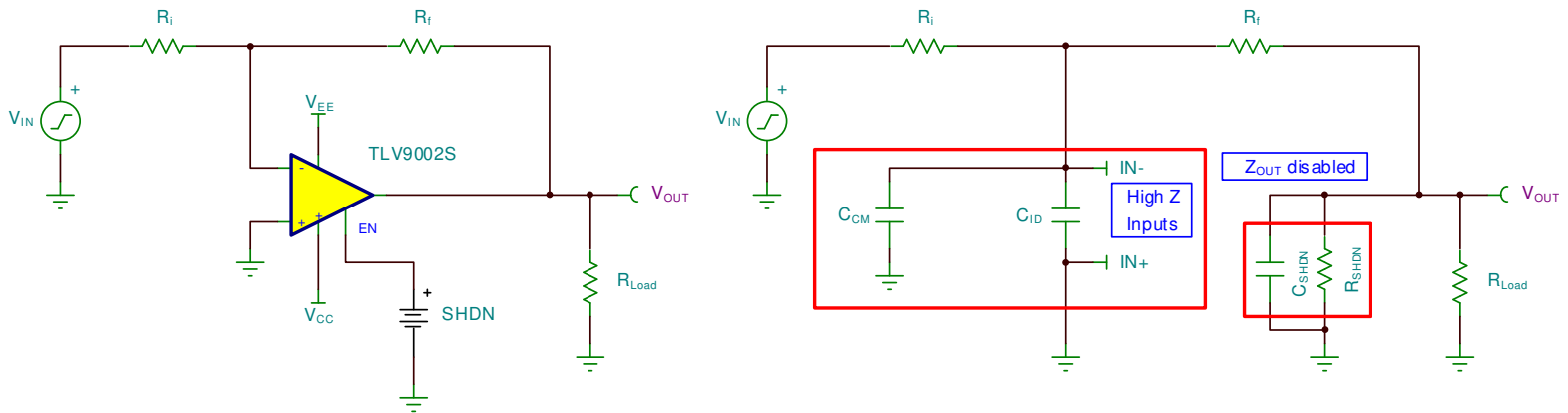


图 6-1. 反相放大器电路

出现在输出端的信号部分取决于输入信号频率、反馈网络中的电阻值、输出负载、寄生输入电容以及放大器在禁用时的输出阻抗。这里以具有阻性负载的反相放大器为例。在此电路中， $R_i + R_f$ 与 R_{Load} 与 R_{SHDN} 并联构成了一个分压器，该分压器将设置来自 V_{IN} 的信号会出现在 V_{OUT} 处的最大量。请注意， R_{SHDN} 通常很大，因而此计算中可以将其忽略。在高频条件下，运算放大器本身的输出阻抗将开始出现滚降，导致输出端表现出低通滤波器行为。

若要查看对这些影响进行的仿真，可以考虑以增益为 $-1V/V$ 并在关断模式下使用 TLV9002S 的反相放大器电路为例。该电路可以使用图 6-1 中的设置进行建模。将 R_i 和 R_f 设置为 $1k\Omega$ 并将 R_{Load} 设置为 $10k\Omega$ 。根据 TLV9002S 数据表规格， C_{ID} 为 $1.5pF$ ， C_{CM} 为 $5pF$ ， C_{SHDN} 为 $2pF$ ，而 R_{SHDN} 为 $10G\Omega$ 。现在可以运行交流仿真来测量该电路的响应。该结果如图 6-2 所示。

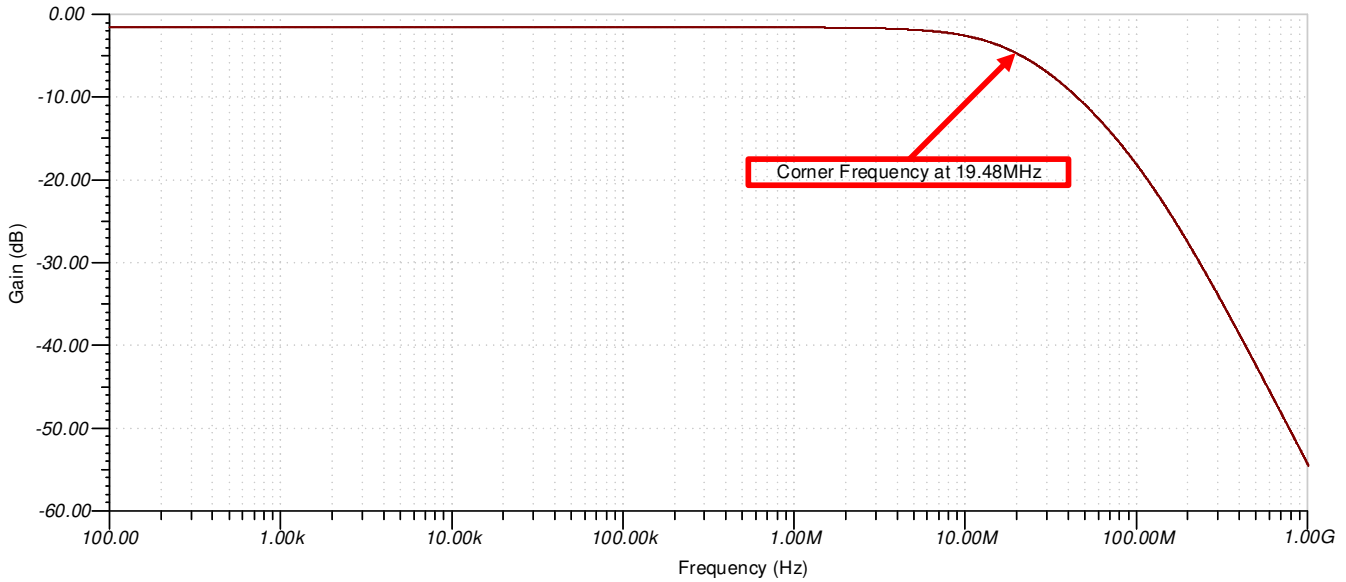


图 6-2. 反相放大器交流响应

仿真结果显示转折频率为 19.48MHz，并且由于存在双极点，高频条件下存在 -40dB/十倍频程的斜率。请注意，在低频条件下，输入信号的衰减率由反馈电阻与负载电阻之和设置。这两个电阻器构成了从输入端到输出端的直流通路。执行分压计算便可得出预期的低频增益为 833mV/V 或 -1.58dB。这代表着一项重要的设计注意事项。在放大器禁用期间，此配置可能无法有效阻止或显著衰减输入信号，防止其到达输出端。因此，务必要确保运算放大器关断期间的输出信号电平适用于具体的应用。

6.2 同相放大器电路

图 6-3 展示了同相放大器电路配置，以及其在放大器置于关断模式时的等效模型。与反相配置相比，通过禁用同相配置的放大器，可以确保输出信号没有阻性路径可以到达输出节点。因此，当放大器处于禁用状态时，只有很少一部分的输入信号会出现在输出端。请务必记住，放大器确实具有差分输入电容 (C_{ID})，该电容会连接输入引脚并为一些信号提供到达输出端的路径，尤其是在较高频率条件下。

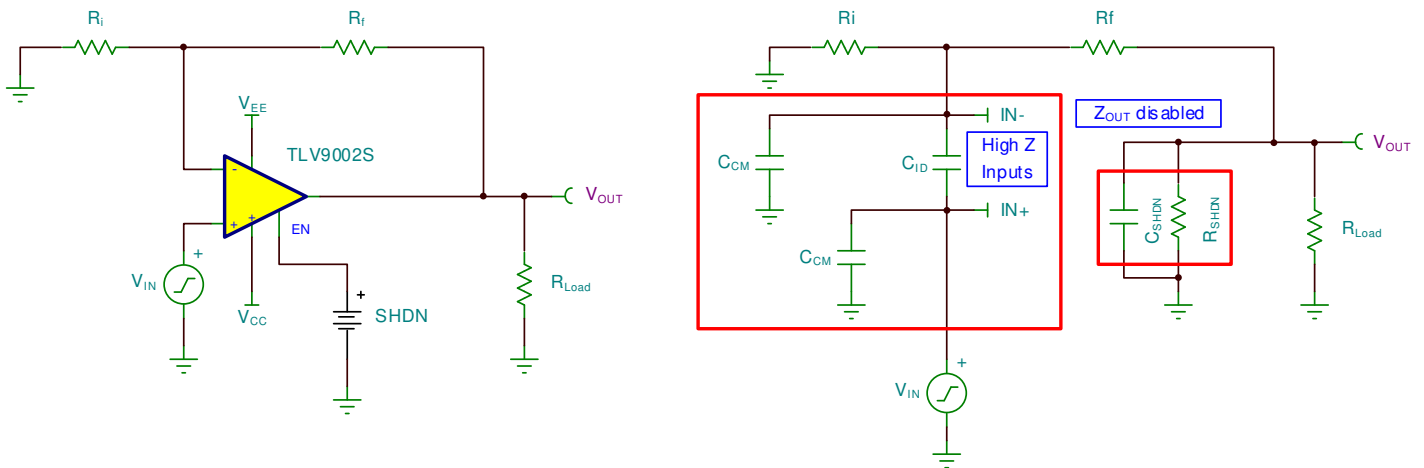


图 6-3. 同相放大器电路

图 6-4 展示了放大器关断期间输出电压的交流响应。放大器采用同相配置并且增益为 +2V/V。同样，还将 R_i 和 R_f 设置为 $1k\Omega$ 并将 R_{Load} 设置为 $10k\Omega$ 。根据 TLV9002S 数据表规格， C_{ID} 为 $1.5pF$ ， C_{CM} 为 $5pF$ ， C_{SHDN} 为 $2pF$ ，而 R_{SHDN} 为 $10G\Omega$ 。

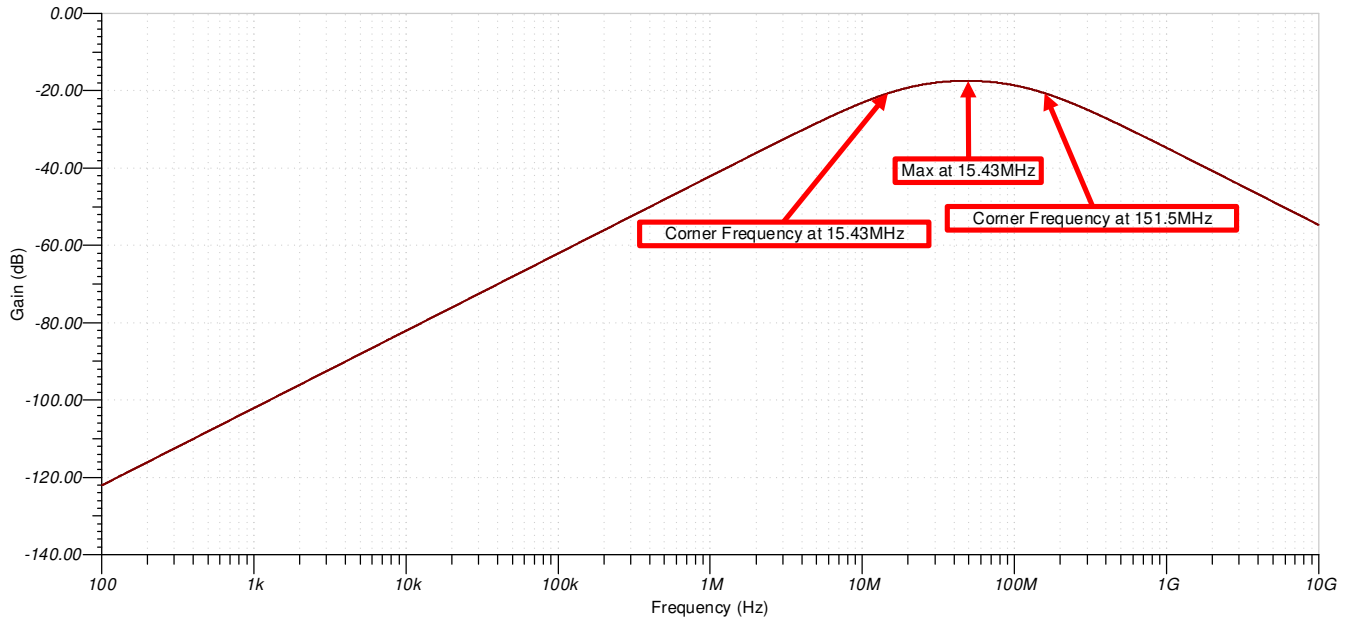


图 6-4. 同相放大器交流响应

第一个转折频率为 15.42MHz，远超 TLV9002S 的带宽。通过将此图与反相放大器对应的图形比较，明显可以看出此配置的最大增益要小约 15dB。此外，对于 TLV9002S 的带宽，同相电路的增益至少比反相电路的增益小 40dB。此仿真确认了这样的理论，即与反相配置相比，采用同相配置时，处于关断模式的放大器能够更有效地限制输入信号到达输出端。大多数时候，可以放心地使用同相电路，而不必太担心信号会耦合到输出端。不过，验证电路在任何目标频率下的频率响应并确保不会出现下游问题仍是一个不错的选择。

6.3 缓冲器电路

图 6-5 展示了缓冲器配置下的放大器电路，及其在放大器置于关断模式时的等效模型。与同相配置相似，输入信号可以通过运算放大器的输入端子之间的差分输入电容传输。

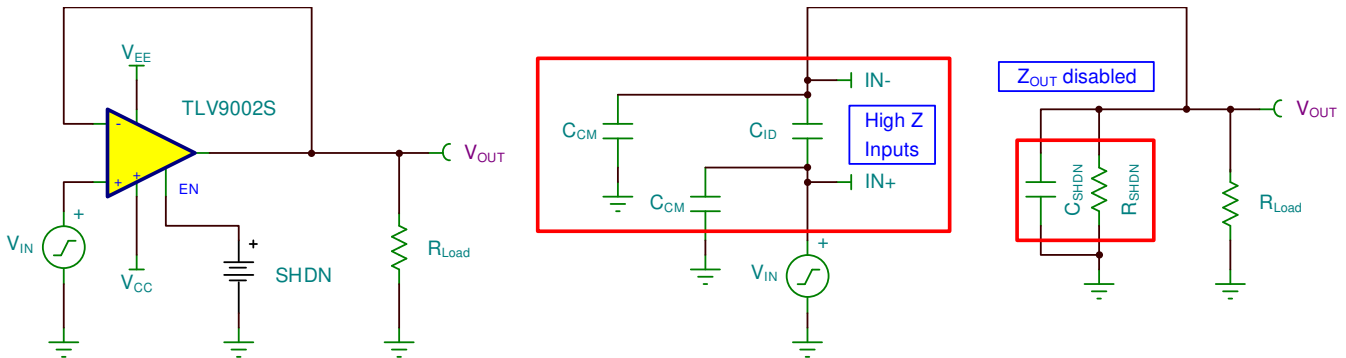


图 6-5. 缓冲器电路

此电路就像是单级高通滤波器，其中最大电平由 C_{ID} 、 C_{CM} 寄生电容和 C_{SHDN} 构成的电容分压器设置。极点频率由 C_{CM} 、 C_{ID} 和 C_{SHDN} 三个并联电容与 R_{Load} 构成的 RC 组合设置。假定 R_{SHDN} 远远大于 R_{Load} ， R_{SHDN} 的影响可以忽略不计，就像此案例中的情况。

C_{ID} 、 C_{CM} 、 C_{SHDN} 和 R_{SHDN} 无法更改，因为它们是器件的固有值。因此，必须修改输出负载，才能更改极点频率。这可以通过 TINA-TI SPICE 仿真进行验证。同样，根据 TLV9002S 数据表得到 C_{ID} 、 C_{CM} 、 C_{SHDN} 和 R_{SHDN} 的值并使用 10kΩ 负载。

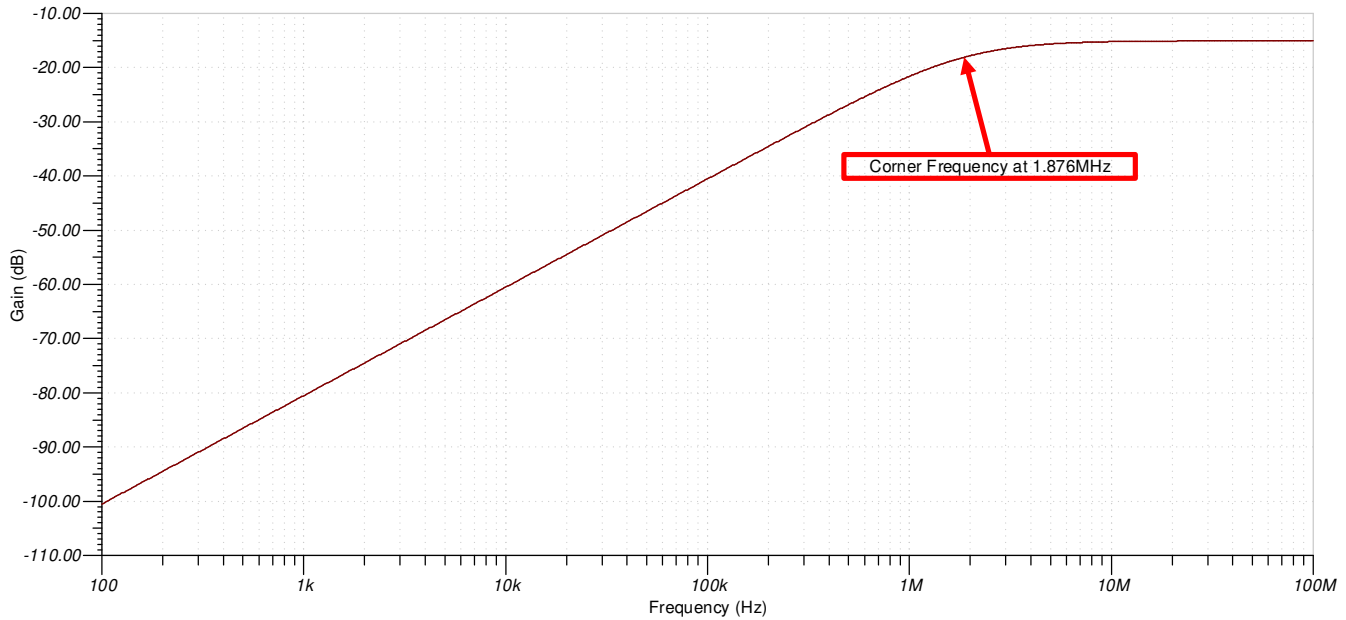


图 6-6. 缓冲器交流响应

图 6-6 展示了此电路的频率响应。在此示例场景中，对于超出 TLV9002 带宽的频率，输入信号将会衰减约 -15dB。不过，对于具有更高带宽的器件，可能并不是这种情况。对于此类器件，高频噪声会耦合到输出端，并且根据具体的应用，可能会影响下游电路。

7 利用具有关断功能的放大器实现高级电路功能

模拟信号链通常具有多种不同的模拟输入信号，这些信号会传递至模数控制器 (ADC)。通常，输入信号数量会多于可用的 ADC 输入通道数量，因此需要输入信号多路复用器。利用专用多路复用器来发挥此类作用具有多项优势。例如，使用多路复用器会更简单，所需的控制信号更少，并且让用户可以选择电压和电流多路复用。

不过，多路复用器可能在输入端和输出端都需要放大器。多路复用器输入端的运算放大器有助于保护任何传感器或信号链的早期段，防止因多路复用器开关和/或电荷注入而受到损坏。多路复用器输出端的运算放大器用于为 ADC 的输入提供低阻抗电压驱动。因此，使用一个或多个多路复用器可能导致模拟信号链中需要的运算放大器数量显著增加。

具有关断功能的运算放大器可以在此类情况下用于替代多路复用器。多通道关断运算放大器能够选择性地启用和禁用通道，因此它们在输入端和输出端无需额外的放大器，即可有效地对信号进行多路复用。因而，电路设计人员可以减少总体元件数量。不过，如果这样做，则必须考虑击穿电流和输入二极管钳位导致的潜在问题。有关这些主题以及该方面其他主题的更多信息，请参阅 TI 关于 [在成本优化型设计中使用运算放大器作为多路复用器](#) 的技术手册。

8 结论

在工作期间以及关断省电期间，具有关断功能的运算放大器都能提供出色的综合性能。不过，在设计中使用这些器件之前，应先掌握这些器件更具体的细节。本应用手册探讨了这些器件的常见术语定义、现实因果关系以及建模技术。借助本文档，设计人员应该能够自信地将 TLV90xxS 系列器件整合到设计中。

9 参考文献

1. 如需详细了解这些放大器的设计以及其它放大器配置，请参阅《[模拟工程师电路设计指导手册：放大器](#)》。
2. 如需查看大量的放大器电路，请参阅我们的 [AN-31 放大器电路集合](#) 应用手册。
3. 或者，可以在标题为 [AN-20 运算放大器应用指南](#) 的应用手册中查找关于这些电路中某几个电路的更多信息。
4. 如需详细了解放大器特性、放大器电路设计常用的技术以及各种其它放大器相关内容，请参阅 [德州仪器 \(TI\) 高精度实验室有关放大器的视频系列](#)。
5. 有关设计的具体问题，[请通过我们的在线论坛 e2e 联系我们的工程师](#)。
6. 有关模拟设计的便捷参考指南，请参阅 pdf 格式的免费版《[模拟工程师口袋参考书](#)》。
7. 借助 [模拟工程师计算器](#) 计算设计公式。
8. 查看 [放大器产品页面](#)，快速对我们的产品进行分类，找到最适合您需求的放大器。

10 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (March 2022) to Revision B (June 2022)	Page
• 更新了表 5-1 产品规格.....	8
Changes from Revision * (December 2019) to Revision A (March 2022)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	3

重要声明和免责声明

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、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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司