

## 使用AD7768/AD7768-4实现模块化数据采集 (DAQ) 封装

作者: Niall McGinley和Stuart Servis

### 简介

模拟输入/输出模块设计的共同趋势是以更小的尺寸因数实现更大的通道数。该趋势由通过增加仪器仪表 (PXI) 卡槽的单个模块或PCI扩展可实现的测量值数以减少成本和测试时间的需求所驱动。通道密度的增加导致更多的热消耗, 这是模块化应用中设计师面临的共同问题。要使设计满足高密度数据采集模块的热预算要求, 客户必须考虑速度、带宽和性能的权衡。

AD7768/AD7768-4为8通道和4通道24位同步采样模数转换器(ADC)。通过可选的功耗模式和数字滤波器选项可重新配置AD7768/AD7768-4以适应多种应用, 如工业输入/输出模块、仪器仪表、音频测试、控制回路和状态监控。

必须使用外部驱动放大器驱动到AD7768/AD7768-4的输入。模拟前端的驱动要求随着前端采样速率的不同而变化。

AD7768/AD7768-4上的可选预充电缓冲区可减少前端驱动放大器上的负担, 使低功耗放大器驱动具有高采样速率的模拟输入。

本应用笔记概述了如何在子系统功率水平低至每通道19.5 mW的情况下实现-126.6 dB的总谐波失真 (THD)。该应用笔记还比较了在有无预充电缓冲区帮助时的高性能驱动放大器和低功耗放大器的组合。为了公平有效地进行比较, 基于在特定功耗模式下驱动AD7768/AD7768-4的适用性来选择这些放大器。例如, 选择用于在快速功耗模式下驱动AD7768/AD7768-4的高带宽放大器在中速或低速功耗模式下可以同样良好地工作, 但可能比正常情况消耗更多的功率, 具体取决于使用的系统。本应用笔记中评估的驱动放大器和功耗模式的适当组合可使设计师设计出在特定的热或功率约束带内实现最高性能的单个DAQ平台。此外, 本文还论述了系统设计师遇到的一些权衡。

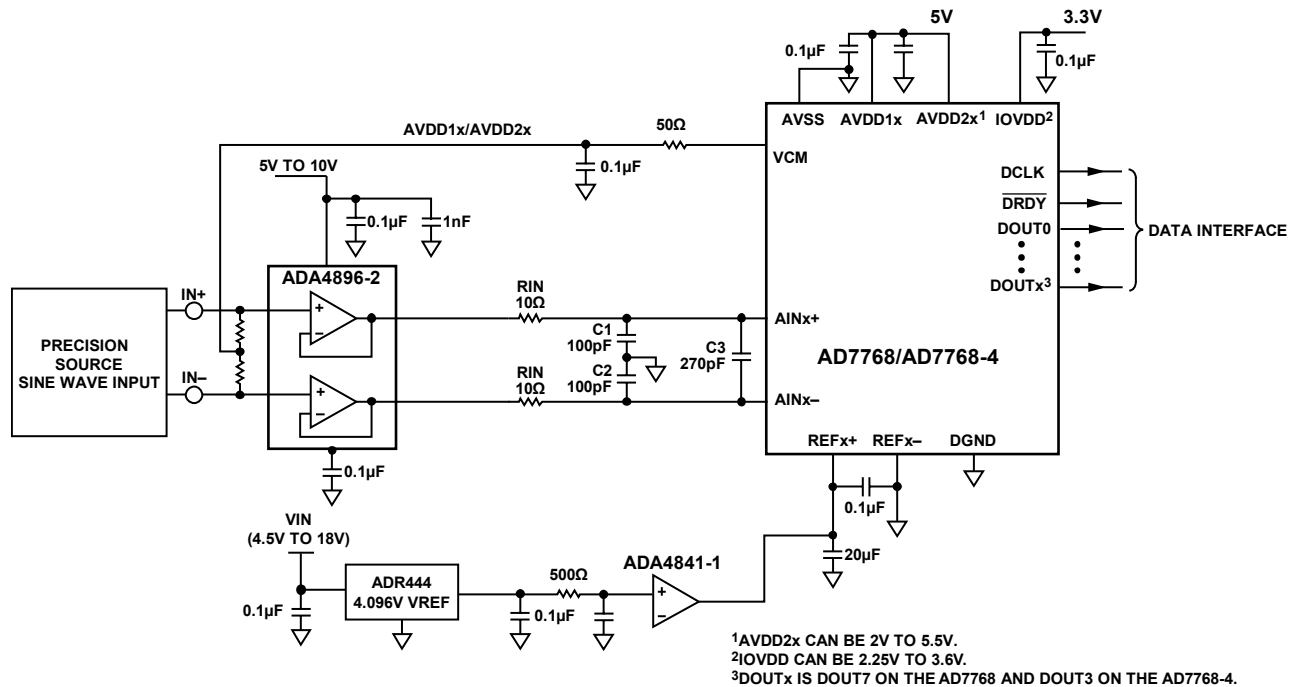


图1. 快速功耗模式下的AD7768/AD7768-4典型连接图, ADA4896-2作为驱动放大器

## 目录

简介.....	1	中速功耗模式.....	7
修订历史.....	2	快速功耗模式.....	7
电路描述.....	3	单个 DAQ 封装.....	8
选择功耗模式.....	4	放大器配置.....	9
模拟输入结构.....	4	AD7768/AD7768-4 的配置.....	9
测试方法.....	5	结论.....	10
结果.....	6		
低速功耗模式.....	6		

## 修订历史

2016年12月—修订版0：初始版

## 电路描述

AD7768/AD7768-4的放大器测试使用EVAL-AD7768FMCZ评估平台、EVAL-AD7768-4FMCZ评估平台和多个放大器夹层卡 (AMC) 执行。“放大器配置”部分列出了位于各AMC上的放大器。EVAL-AD7768FMCZ 和EVAL-AD7768-4FMCZ评估平台原理图（分别在[www.analog.com/eval-ad7768](http://www.analog.com/eval-ad7768)和[www.analog.com/eval-ad7768-4](http://www.analog.com/eval-ad7768-4)提供）可配置为使用AMC（仅在一个通道上）作为驱动放大器输入。多详细信息，请参见EVAL-AD7768FMCZ和EVAL-AD7768-4FMCZ。可用的AMC上装有多个放大器，专门设计与ADI公司的ADC一起使用。EVAL-SDP-H1连接至EVAL-AD7768FMCZ和EVAL-AD7768-4FMCZ评估平台以与评估软件（随评估硬件一起提供）连接。使用精密音频源进行交流分析。

确定使用以下选择用于测试的放大器来补充AD7768/AD7768-4上的各个不同功耗模式：

- 在低速功耗模式下：ADA4805-2、ADA4500-2、ADA4841-2和ADA4940-1。
- 在中速模式下：ADA4805-2、ADA4807-2、ADA4500-2和ADA4940-1。
- 在快速功耗模式下：ADA4807-2、ADA4896-2、ADA4899-1和ADA4940-1。

表1所示为所选放大器的性能和功率规格，其中一些放大器可采用不同的封装尺寸和选项。

表1. 放大器规格

放大器	特性	带宽 (BW) (MHz)	压摆 (V/μs)	电压噪声密度 (nV/√Hz)	电流噪声密度 (pA/√Hz)	失调电压 (μV最大值)	失调漂移 (μV/C)	电源电压 (V)	各放大器的功率 (mA)
ADA4899-1	单位增益，超低失真	600	310	1	2.6	230	5 (典型值)	5至12	16
ADA4896-2	低漂移，轨到轨输出 (RRO)	230	120	1	2.8	500	0.2 (典型值)	±3至±5	3
ADA4807-2	轨到轨输入/输出 (RRIO)，低漂移	180	225	3.1	0.7	125	0.7 (典型值)	±3至±5	1
ADA4805-2	RRO，低漂移	105	190	5.2	0.7	125	1.5 (最大值)	±3至±5	0.625
ADA4940-1	RRO，差分放大器	260	95	3.9	0.81	350	1.2 (典型值)	3至7	1.25 (总功率) <sup>1</sup>
ADA4841-2	RRIO低噪声和失真	80	13	2.1	1.4	300	1 (典型值)	2.7至12	1.2
ADA4500-2	RRIO，零输入交叉失真	10	8.7	14.5	<0.0005	700	5.5 (最大值)	2.7至5.5	1.8

<sup>1</sup> 单个通道的总功率。

## 选择功耗模式

AD7768/AD7768-4具有三种可选的功耗模式：低速、中速和快速。这些功耗模式可为AD7768/AD7768-4选择工作点，以便在维持相同动态范围的同时可以选择最优的带宽和功耗。

所选功耗模式可与主时钟分频器 (MCLK\_DIV) 一起使用以正确设置该工作点。MCLK\_DIV将决定调制器运行的频率，然后可抽取调制器输出以给出最终输出数据速率 (ODR)。推荐的调制器频率 ( $f_{MOD}$ ) 范围如表2所示。

表2. 推荐的 $f_{MOD}$ 范围

功耗模式	MCLK_DIV典型值	推荐的 $f_{MOD}$ (MHz)
低速	MCLK/32	0.036至1.024
中速	MCLK/8	1.024至4.096
快速	MCLK/4	4.096至8.192

表3所示为各功耗模式的功耗，施加了32.768 MHz的主时钟，模拟输入预充电缓冲开启，采用额定电源，使用宽带滤波器，抽取率为32。从表3可以看出，功耗随着速度和带宽的不同而变化。

表3. AD7768/AD7768-4功耗模式

功耗模式	最大速度 (kSPS)	宽带BW (kHz)	宽带功率 (mW/通道)	Sinc BW (kHz)	Sinc功率 (mW/通道)
快速	256	110.8	52	52.2	41
中速	128	55.4	28	26.1	22
低速	32	13.8	9.4	6.5	8.2

## 模拟输入结构

图2所示为AD7768/AD7768-4的模拟输入结构。可以基于各通道使能模拟输入预充电缓冲。使能后，模拟输入预充电缓冲将在初始采样周期为采样电容充电，其提供稳定采样电容所需的大部分电流。剩余的充电由外部放大器驱动，该充电将实现采样电容的最终精细稳定，从而实现精确的结果。

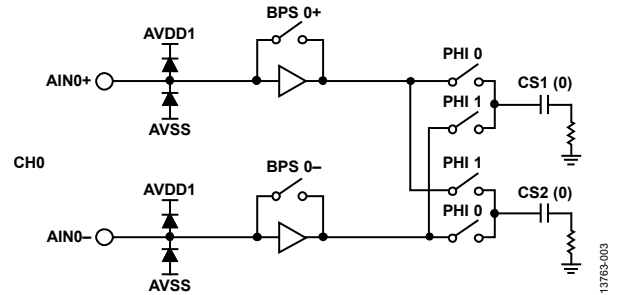


图2. 模拟输入结构

在最快的采样速率下，对于5 V输入，预充电缓冲可将来自放大器的输入电流从320  $\mu$ A减少至约25  $\mu$ A。有关AD7768/AD7768-4模拟输入结构的更多信息，请参见AD7768/AD7768-4数据手册。

图3所示为ADA4807-2 AMC连接至AD7768/AD7768-4评估板。

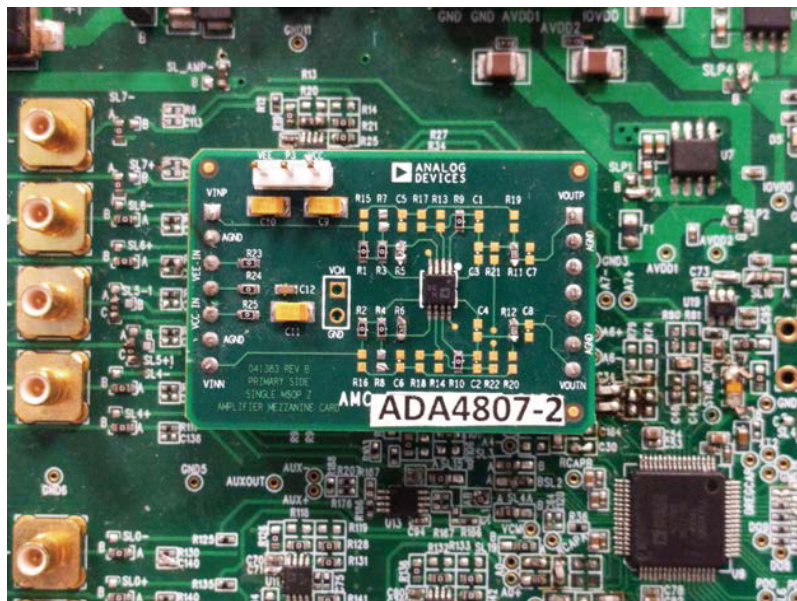


图3. EVAL-AD7768FMCZ上的ADA4807-2 AMC设置

## 测试方法

AD7768/AD7768-4具有用于该放大器测试的宽带数字滤波器。宽带滤波器具有截止频率为 $0.433 \times \text{ODR}$ 的砖墙式滤波器响应。 $\pm 0.005$  dB的出色通带波动可实现出色的频域测量，从而确定驱动放大器性能和输入频率的关系。Sinc5数字滤波器具有 $0.2 \times \text{ODR}$ 的带宽和3 dB的动态范围改善，但在这些比较测试中不进行考虑。

放大器输出和ADC输入之间具有电阻/电容 (RC) 网络。图4所示为用于AD7768/AD7768-4的大多数放大器配对的典型RC网络。RC网络可执行多种任务。C1和C2是ADC的电荷存储器，为ADC提供到采样电容的快速充电电流。

电容C3可消除AINx+和AINx-输入之间的共模误差。这些电容与RIN一起组成了低通滤波器，滤除与输入开关相关的毛刺。输入电阻还可在驱动大电容负载时稳定放大器，防止放大器振荡。

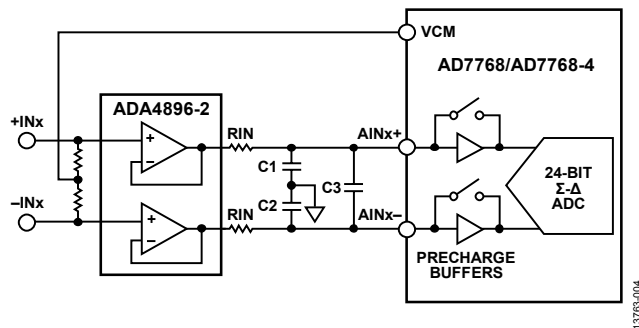


图4. RC网络典型输入结构

“放大器配置”部分介绍了各RC抗锯齿网络的详细信息。低速、中速和快速功耗模式的目标截止频率 ( $f_c$ ) 分别为6 MHz、12 MHz和24 MHz。选择标准电阻和电容以在各功率模式下给出近似相同的 $f_c$

表4所示为RIN、C1和C2以及C3的组合，选择它们以在快速功耗模式下收集收据。快速和高功耗放大器可快速稳定ADC输入上的毛刺。低功耗放大器需要较大的RIN值以防止输入变化引起的振荡。调制器的开关效应在快速功耗模式下较明显，尤其是对于低功耗放大器。这些放大器可能需要AD7768/AD7768-4的输入处具有较大的电容值以稳定调制器开关导致的快速瞬变。

ADA4807-2需要较大的电容，如表4所示。ADA4807-2需要输入处至少具有 $22 \Omega$ 的RIN电阻和较大的电容。因此，ADA4807-2在快速功耗模式下工作时具有11.6 MHz的RC截止频率。表4中的其他放大器以约24 MHz的RC截止频率工作。由于放大器至少需要 $22 \Omega$ 的RIN电阻，因此尽管使用的电容必须大于24 MHz  $f_c$ 允许的电容，但将限制ADA4807-2的输入RC。

表4. 快速功耗模式下的RC反锯齿滤波器网络示例

放大器	RIN ( $\Omega$ )	C1、C2 (pF)	C3 (pF)
ADA4899-1	5.1	270	680
ADA4940-1	82	68	未插入
ADA4896-2	10	100	270
ADA4807-2	22	82	270

## 结果

### 低速功耗模式

使用具有32.768 MHz时钟的宽带数字滤波器时，低速功耗模式可提供32 kSPS的ODR和12.8 kHz的带宽。表5所示为所选放大器的低速功耗模式的信噪比（SNR）、THD和信纳比（SINAD）。施加的输入为1 kHz的正弦波信号，满量程输入为-0.5 dB，预充电缓冲器使能或禁用。

表5所示为测试的各放大器的性能和功耗（按效率排序）。功率（mW）为驱动放大器单个差分通道上的功耗。预充电（mW）功耗为特定采样速率下差分通道上使能的两个预充电缓冲区的功率。总功率（mW）为驱动放大器和预充电缓冲器（如果使能）的功率。

预充电缓冲器禁用的ADA4805-2为最有效的功耗节省解决方案，

功率损耗为6.5 mW，实现了106.5 dB的SINAD。ADA4841-2具有最高性能，SINAD为106.9，每个通道需要13.5 mW在消耗的功率相同的情况下，与ADA4940-1相比，ADA4940-2展现出了近-9 dB的THD改善。通常，来自ADI公司的这些低功耗放大器可轻松驱动低速功耗模式下的AD7768/AD7768-4。之前描述的ADA4805-2和ADA4841-2的例子突出了权衡DAQ系统设计师面临着平衡功耗和系统性能的问题的情况。该权衡对所有功耗模式都很明显，如表5、表6和表7所示。

推荐的低速功耗模式的放大器配对为预充电缓冲器禁用的ADA4805-2。从其消耗的功率可知，放大器和ADC的这一组合可满足DAQ系统设计中的热限制。放大器和AD7768/AD7768-4消耗的总功率仅为每个通道15.875 mW。

表5. 低速功耗模式性能和功率

放大器	预充电缓冲器	功耗 (mW)	预充电 (mW)	总功率 (mW)	SNR (dB)	THD (dB)	SINAD (dB)
ADA4805-2	禁用	6.50	不适用	6.5	106.6	-126.6	106.5
ADA4841-2	禁用	13.45	不适用	13.5	107.0	-129.7	106.9
ADA4940-1	禁用	13.53	不适用	13.5	107.0	-121.0	106.8
ADA4841-2	使能	13.38	1.31	14.7	106.9	-131.1	106.8
ADA4940-1	使能	13.56	1.31	14.9	106.5	-122.3	106.3
ADA4500-2	禁用	15.61	不适用	15.6	106.7	-112.1	105.8
ADA4500-2	使能	15.534	1.31	16.8	106.6	-110.1	105.2

## 中速功耗模式

使用宽带滤波器时，中速功耗模式可通过32.768 MHz时钟提供128 kSPS的ODR和51.2 kHz的带宽。施加的输入为1 kHz的正弦波信号，满量程为-0.5 dB。表6按效率排序。

预充电禁用的ADA4940-1具有最高性能，SINAD为106.1 dB，每个通道需要13.9 mW。这些结果是在通过单个5 V电源为放大器供电的情况下获得的。因此，ADC和放大器的DAQ系统可通过相同的轨运行，从而最大程度地减小设计尺寸和成本。

预充电缓冲器的益处如表6中的THD结果所示。例如，ADA4500-2在预充电缓冲器使能时比禁用时具有-17.5 dB的THD改善。预充电缓冲器禁用的ADA4805-2为最有效的解决方案，损耗的功率为6.9 mW。但是，与低速功耗模式相比，中速功耗模式下的性能有所下降。提高性能的一种解决方案是将放大器的裕量从6 V增加到10 V。表6所示为ADA4805-2采用6 V电源时的结果。有关所有电源级别的结果，请参见表9。增加的裕量与使能的预充电缓冲器耦合后产生-119.4 dB的THD和105.2 dB的SINAD，但代价是功耗增大。

通常，将预充电缓冲器和具有足够功率和带宽的放大器一起使用时，预充电缓冲器仅会提供很小的性能改善。当低功耗、低带宽放大器在不适用的功耗模式下运行时，预充电缓冲器将显示出真正的益处，可实现放大器的轻松运行。

预充电缓冲器禁用的ADA4940-1为中速功耗模式的推荐放大

器。在这一例子中，ADA4940-1和AD7768/AD7768-4消耗的总功率均为每个通道仅41.4 mW。

## 快速功耗模式

使用宽带滤波器时，快速功耗模式可通过32.768 MHz时钟提供256 kSPS的ODR和102.4 kHz的带宽。表7按效率排序，显示了有无预充电帮助的情况下测试的各放大器的性能和功耗。

快速功耗模式下的AD7768/AD7768-4可最大程度地实现预充电缓冲器的益处。即使对于快速功耗模式下的高调制器速率，预充电缓冲器也可实现高性能。预充电缓冲器的益处是提高所有放大器中的THD性能。预充电缓冲器使能时，ADA4896-2将显示出最大的THD性能改善。仅使用45.7 mW的功率，ADA4896-2和AD7768/AD7768-4的组合即实现了-130 dB的THD（ADA4896-2采用单个6 V电源）。

预充电缓冲器禁用的ADA4940-1为最有效的解决方案，功耗为14.4 mW，但需稍微牺牲性能以实现该结果。出于节能目的，快速功耗模式下推荐的放大器为ADA4940-1。ADA4940-1和AD7768/AD7768-4消耗的总功率为每个通道65.9 mW。

总体来说，设计通用可配置DAQ系统时，ADA4896-2在所有三种功耗模式下均显示出最佳性能。但是，如果整个DAQ系统的功耗受限，则表5和表6中所示的一些低功耗放大器分别为低速功耗模式和中速功耗模式提供更有效的解决方案。

表6. 中速功耗模式性能和功率

放大器	预充电缓冲器	功耗 (mW)	预充电 (mW)	总功率 (mW)	SNR (dB)	THD (dB)	SINAD (dB)
ADA4805-2	禁用	6.91	不适用	6.9	105.3	-104.3	102.0
ADA4805-2	使能	6.87	4.75	11.6	104.6	-107.2	102.8
ADA4940-1	禁用	13.86	不适用	13.9	106.3	-120.7	106.1
ADA4500-2	禁用	15.76	不适用	15.8	105.3	-94.0	94.2
ADA4940-1	使能	13.37	4.75	18.2	106.0	-121.6	105.8
ADA4500-2	使能	15.48	4.75	20.2	106.6	-111.5	105.5
ADA4807-2	禁用	28.01	不适用	28.0	105.9	-117.9	105.5
ADA4807-2	使能	27.67	4.75	32.4	105.5	-117.9	105.2

表7. 快速功耗模式性能和功率

放大器	预充电缓冲器	功耗 (mW)	预充电 (mW)	总功率 (mW)	SNR (dB)	THD (dB)	SINAD (dB)
ADA4940-1	禁用	14.36	不适用	14.4	105.4	-114.5	105.0
ADA4940-1	使能	13.4	9.3	22.7	105.2	-120.4	105.1
ADA4896-2	禁用	36.94	不适用	36.9	106.7	-118.0	106.5
ADA4896-2	使能	36.35	9.3	45.7	106.5	-130	106.4
ADA4807-2	禁用	65.89	不适用	65.9	105.7	-98.2	97.9
ADA4807-2	使能	64.9	9.3	74.2	105.7	-112.7	105.0
ADA4899-1	禁用	378.12	不适用	378.1	106.8	-117.9	106.5
ADA4899-1	使能	377.16	9.3	386.5	106.8	-120.9	106.6

# AN-1384

## 单个DAQ封装

表5中的结果显示ADA4805-2与AD7768/AD7768-4一起测试时为最节能的前端组合。ADA4805-2有助于满足功率要求和数据手册规格。功率调节和预充电缓冲器的组合可使DAQ封装实现最小的功耗。图5所示为低功耗DAQ封装示例。

图8所示为AD7768/AD7768-4单个DAQ封装的总功耗。

表8中的ADC功率规格适用于5 V AVDD1x、2.5 V AVDD2x、IOVDD、32.768 MHz MCLK和宽带滤波器（抽取率为32）。

表8中的低速功耗和中速功耗模式的总驱动要求适用于采用6 V和10 V电源的8通道ADC。

参考和参考缓冲区功耗适用于工作在6 V电源轨上的ADR444和ADA4841-1。

图5所示为AD7768/AD7768-4的8个通道的最小形状因数。形状因数包括AD7768/AD7768-4、8×ADA4805-2、ADR444、ADA4841-1和3×ADP7118低压差（LDO）调节器。8通道采集系统可在49.4 mm×64.1 mm的印刷电路板（PCB）上实现，总功耗为148.6 mW。在需要更大带宽的高功耗DAQ模块中可使用相同尺寸的封装。

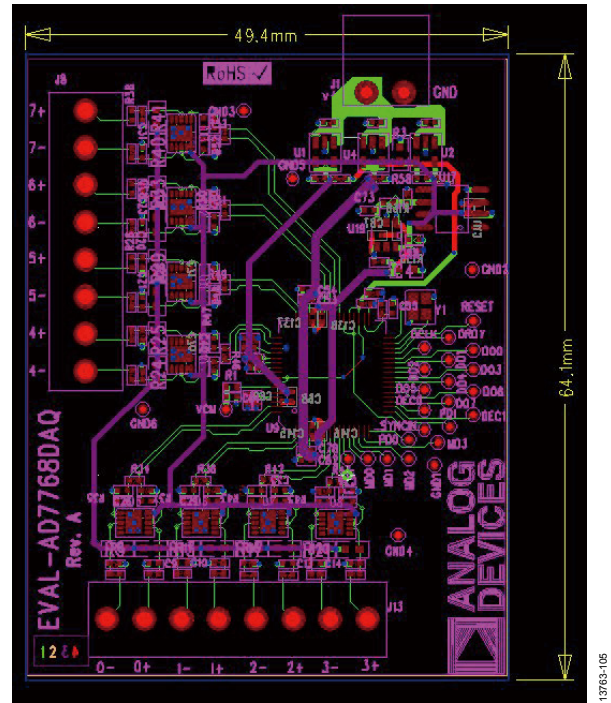


图5. AD7768/AD7768-4和ADA4805-2 DAQ封装示例

表8. 单个DAQ封装的总功耗

功耗模式	8通道ADC (mW)	总驱动要求 (mW)	参考缓冲区 (mW)	总功耗 (mW)	每个通道的功耗 (mW)
低功耗（6 V放大器电源，预充电缓冲器禁用）	75	52	29.1	156.1	19.5
低功耗（10 V放大器电源，预充电缓冲器禁用）	75	99.8	29.1	203.9	25.5
中功耗（10 V放大器电源，预充电缓冲器使能）	260	106.5	29.1	395.6	49.4



## 放大器配置

图6所示为为典型的放大器配置，ADA4940-1除外，其为全差分放大器。ADA4899-1的工作增益为1时（图6中未示出），出于稳定性目的，需要非反相输入上具有25 Ω的电阻。

### AD7768/AD7768-4的配置

AD7768/AD7768-4 设置如下：IOVDD = 3.3 V，AVDD1x和AVDD2x = 5 V，MCLK = 32.768 MHz，V<sub>REF</sub> = 4.096 V，宽带滤波器、预充电参考缓冲区禁用，模拟输入预充电缓冲器使能/禁用，所有通道使能，斩波频率 ( $f_{\text{CHOP}} = f_{\text{MOD}}$ )，抽取率为32。

使用的评估板为EVAL-AD7768FMCZ和EVAL-AD7768-4FMCZ。

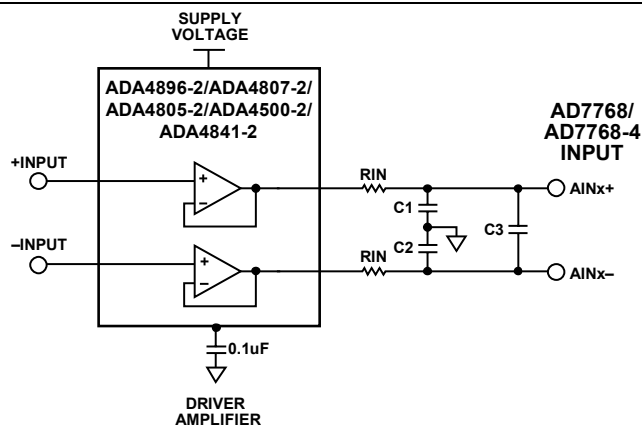


图6. 典型驱动放大器配置

表9. 各功耗模式的放大器配置

放大器	功耗模式	RIN (Ω)	C1、C2 (pF)	C3 (pF)	f <sub>c</sub> (MHz)	电源电压 (V)
ADA4899-1	快速	5.1	270	680	19.1	-4和+8
ADA4896-2	快速	10	100	270	24.9	0和8
ADA4807-2	快速	22	82	270	11.6	0和10
	中速	22	82	270	11.6	0和6
ADA4940-1	快速	82	68	勿插入	28.5	0和5
	中速	33	56	180	11.6	0和5
	低速	33	120	330	6.2	0和5
ADA4805-2	中速	33	56	180	11.6	0和6
	低速	33	120	330	6.2	0和6
ADA4500-2	中速	15	120	390	11.8	0和5
	低速	15	270	680	6.5	0和5
ADA4841-2	低速	33	120	330	6.2	0和6

## 结论

本应用笔记基于[AD7768/AD7768-4](#)简化了DAQ系统设计中的放大器选择过程，同时考虑了系统带宽、性能要求和功率限制。[AD7768/AD7768-4](#)同时适用于AC和DC信号，且具有高度自定义性，适用于DC到110 kHz的带宽。因此，[AD7768/AD7768-4](#)适用于多种应用。通过更改所选的功耗模式和抽取率，系统设计师可为功耗和噪声性能匹配所需的工作点。对于需要调整的系统，功耗模式和抽取率可通过软件进行配置。本应用笔记中给出的信息可作为着手优化可以实现这些关键设计挑战的DAQ设计的起点。

由于给出的所有噪声量均无频带限制，因此更复杂的前端滤波器可能会改善特定带宽的结果。[AD7768/AD7768-4](#)的开关输入结构需要高带宽放大器，尤其是在快速功耗模式下。这些驱动放大器需要在下一调制器采样发生前解决快速开关瞬

态的影响。在一些情况下，预充电输入缓冲区有助于实现低功耗放大器的使用。通常，使能预充电缓冲器可改善THD。

可选择论述的解决方案以实现系统功率要求、性能要求或单电源供电。

用于这些功率、性能和电源要求的最优驱动放大器如下：

- [ADA4805-2](#)适用于低功率，尤其是低速功耗模式。
- [ADA4940-1](#)适用于单电源供电，也是推荐用于驱动[AD7768/AD7768-4](#)的全差分放大器。
- 要在快速功耗模式下实现最优性能，[ADA4896-2](#)性能最佳，尽管其消耗的功率比[ADA4899-1](#)高。The [ADA4896-2](#)也适用于通用DAQ模块，其可配置为所有三种功耗模式。