

ADE7912/ADE7913前端DSP规格

作者: Gabriel Antonesei

简介

本应用笔记从多个方面解释与ADE7912/ADE7913所用 Σ - Δ 型调制器相关的数字滤波。滤波器的作用是抽取调制器输出以实现不同的采样速率,同时消除高频噪声。这些速率从最高8 kHz到最低1 kHz不等,允许用户根据微控制器处理带宽更新速率。

数字抽取滤波

功能描述

图1是ADE7912/ADE7913中实现的抽取滤波的框图。当芯片时钟设置为CLKIN = 4.096 MHz时, Σ - Δ 调制器以1 MHz的频率提供一个位流。SINC4滤波器使用四个抽取比——32、64、128和256,以提供32 kHz、16 kHz、8 kHz和4 kHz输出。为了将带宽限制在有意义的频率,同时保持尽可能低的数据速率,使用一个衰减60 dB的额外低通滤波器(LPF)。这使

得随后的有效值和功率计算更精确,从而减少微控制器必须保留用于计量计算的带宽。

LPF再执行1/4抽取,并且有内部选项,可产生两个不同带宽。LPF实现为两个独立的六阶滤波器:一个滤波器提供较窄的带宽,一个滤波器提供较宽的带宽。

ADE7912/ADE7913提供多种输出数据速率(ODR): 8 kHz、4 kHz、2 kHz和1 kHz,各种速率还有两个带宽可选(参见表1)。可选ODR有助于用户应对各种不同的情况,在微控制器实现的数据路径中做出自己的权衡。

ODR和带宽通过CONFIG寄存器中的位7 (BW)和位[5:4] (ADC_FREQ)选择。表1显示了ADE7912/ADE7913时钟设置为CLKIN = 4.096 MHz时需要的不同BW和ADC_FREQ设置。带宽由增益衰减3 dB时的点表示。

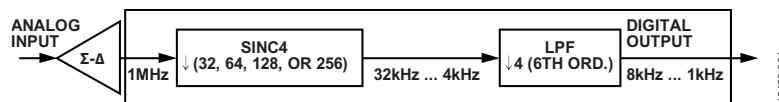


图1. ADE7912/ADE7913中实现的抽取滤波的框图

表1. 用于获得不同ODR和带宽的CONFIG寄存器设置

CONFIG寄存器		ODR (kHz)	SINC4 + LPF带宽(kHz)
Bits[5:4] (ADC_FREQ) Setting	Bit 7 (BW) Setting		
00	0	8	3.338
00	1	8	2.137
01	0	4	1.670
01	1	4	1.069
10	0	2	0.836
10	1	2	0.535
11	0	1	0.418
11	1	1	0.268

目录

简介.....	1	SINC + LPF滤波器的频率响应和时间延迟特性.....	3
数字抽取滤波.....	1	不同滤波器的幅度频率响应和时间延迟.....	4
修订历史.....	2		

修订历史

2015年8月—修订版0：初始版

SINC4 + LPF滤波器的频率响应和时间延迟特性

针对不同抽取速率(DR)，SINC4的等效Z域公式如下所示：

$$SINC4(z) = \left[\frac{1 - z^{-DR}}{1 - z^{-1}} \right]^4$$

与较窄带宽(CONFIG寄存器的位7 BW设置为1)对应的LPF Z域公式如下所示：

$$LPF_BW1(z) = \frac{(1 + 1.15478515625 \times z^{-1})}{(1 - 0.7138671875 \times z^{-1})} \times \frac{(1 - 0.6630859375 \times z^{-1} + z^{-2})}{(1 - 1.5068359375 \times z^{-1} + 0.6162109375 \times z^{-2})} \times \frac{(1 - 1.333984375 \times z^{-1} + z^{-2})}{(1 - 0.6962890625 \times z^{-1} + 0.8544921875 \times z^{-2})}$$

其中，*LPF_BW1*为对应较窄带宽的LPF。

与较宽带宽(CONFIG寄存器的位7 BW设置为0)对应的LPF Z域公式如下所示：

$$LPF_BW2(z) = \frac{(1 + 1.15478515625 \times z^{-1} + z^{-2})}{(1 - 1.205322265625 \times z^{-1} + 0.385498046875 \times z^{-2})} \times \frac{(1 - 0.603759765625 \times z^{-1} + z^{-2})}{(1 - 1.31005859375 \times z^{-1} + 0.589111328125 \times z^{-2})} \times \frac{(1 - 1.0595703125 \times z^{-1} + z^{-2})}{(1 - 1.470947265625 \times z^{-1} + 0.856201171875 \times z^{-2})}$$

其中，*LPF_BW2*为对应较宽带宽的LPF。

不同滤波器的幅度频率响应和时间延迟

图2至图25和表2至表32提供了关于不同滤波器的幅度频率响应和在信号路径中引入的时间延迟的详细信息。输出数据速率(ODR)是指ADE7912/ADE7913模数转换器(ADC)的输出频率。滤波器的带宽(BW)为增益衰减3 dB时的频率。所有ODR和BW情况都显示了全频率响应或截止-3 dB点的响应, 以及通带响应(从0 dB至-0.8 dB衰减)。

相位延迟定义通过滤波器的正弦信号相位响应延迟。表中给出了所有ODR和BW情况在不同频率时的相位延迟。

就功率计算而言, 这些时间延迟不影响最终结果, 因为电压和电流信号经历的传播时间延迟相同。然而, 对于瞬变事件或与过零同时发生的事件, 知道时间延迟可能很有用。

频率点的选择考虑到了以下要求: 通过分段线性插值, 可以精确获得中间值。在需要幅度校正等情况下, 这些频率点可能很有用。

ODR = 8 kHz且BW = 3.338 kHz

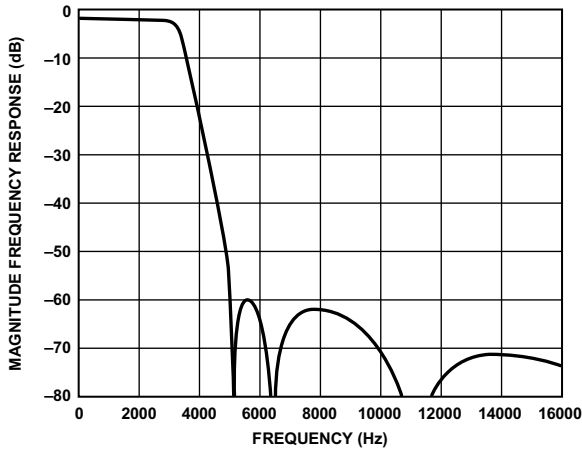


图2. ODR = 8 kHz且BW = 3.338 kHz时的全频率响应

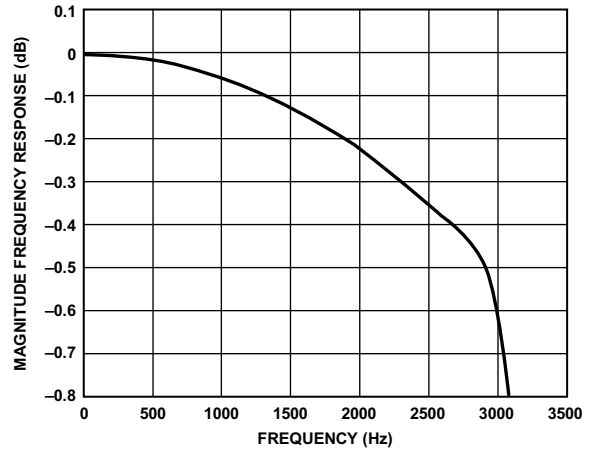


图4. ODR = 8 kHz且BW = 3.338 kHz时的平带响应

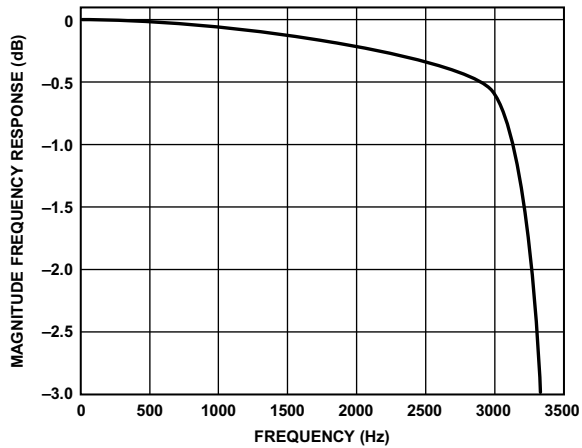


图3. ODR = 8 kHz且BW = 3.338 kHz时的3 dB点响应

表2. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz, 频率范围 = 50 Hz至450 Hz

	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
幅度(milli_dB)	0	-0.32	-0.87	-1.66	-2.67	-3.93	-5.44	-7.21	-9.26

表3. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz, 频率范围 = 500 Hz至900 Hz

	频率(Hz)								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
幅度(milli_dB)	-11.6	-14.22	-17.15	-20.40	-23.97	-27.87	-32.11	-36.69	-41.61

表4. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz, 频率范围 = 950 Hz至1350 Hz

	频率(Hz)								
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
幅度(milli_dB)	-46.86	-52.45	-58.37	-64.6	-71.13	-77.95	-85.05	-92.41	-100

表5. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz, 频率范围 = 1400 Hz至2200 Hz

	频率(Hz)								
	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
幅度(dB)	-0.108	-0.124	-0.141	-0.159	-0.177	-0.197	-0.218	-0.241	-0.265

AN-1374

表6. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz, 频率范围 = 2300 Hz至3100 Hz

	频率(Hz)								
	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100
幅度(dB)	-0.291	-0.318	-0.346	-0.374	-0.402	-0.434	-0.486	-0.6	-0.859

表7. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz, 频率范围 = 3200 Hz至3500 Hz

	频率(Hz)				
	3200	3300	3338	3400	3500
幅度(dB)	-1.414	-2.452	-3.0	-4.09	-6.27

表8. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 8 kHz, BW = 3.338 kHz

	频率(Hz)								
	50	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3300
相位延迟(μ s)	225	226	227	229	234	241	254	277	321

ODR = 8 kHz且BW = 2.137 kHz

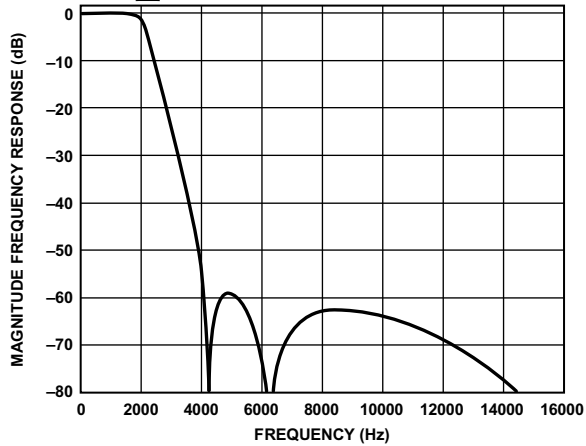


图5. ODR = 8 kHz且BW = 2.137 kHz时的全频率响应

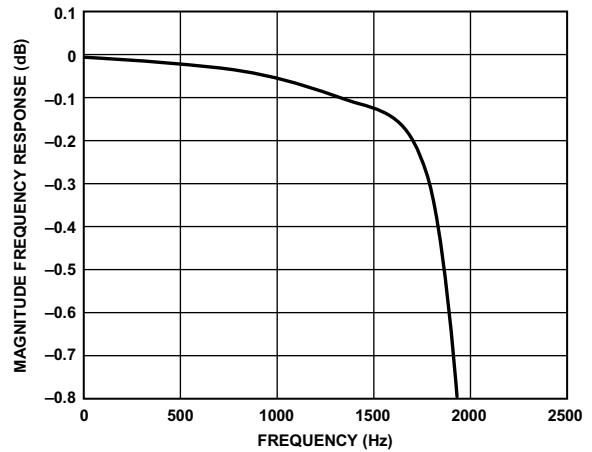


图7. ODR = 8 kHz且BW = 2.137 kHz时的平带响应

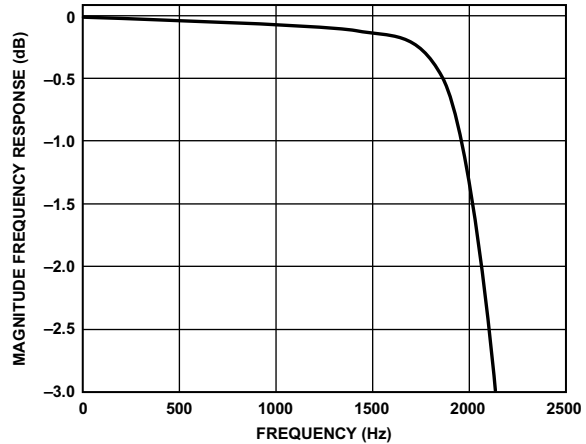


图6. ODR = 8 kHz且BW = 2.137 kHz时的3 dB点响应

表9. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 2.137 kHz, 频率范围 = 50 Hz至450 Hz

	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
幅度(milli_dB)	0	-0.56	-1.5	-2.77	-4.34	-6.19	-8.25	-10.51	-12.91

表10. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 2.137 kHz, 频率范围 = 500 Hz至900 Hz

	频率(Hz)								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
幅度(milli_dB)	-15.44	-18.08	-20.82	-23.68	-26.70	-29.90	-33.36	-37.13	-41.29

表11. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 2.137 kHz, 频率范围 = 950 Hz至1400 Hz

	频率(Hz)								
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1400
幅度(milli_dB)	-45.90	-51.01	-56.64	-62.8	-69.41	-76.40	-83.64	-90.96	-105

AN-1374

表12. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 8 kHz, BW = 2.137 kHz, 频率范围 = 1500 Hz至2200 Hz

	频率(Hz)								
	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2137	2200
幅度(dB)	-0.119	-0.140	-0.188	-0.314	-0.621	-1.274	-2.243	-3.01	-4.167

表13. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 8 kHz, BW = 2.137 kHz

	频率(Hz)							
	50	500	750	1000	1500	1750	2000	2100
相位延迟(μ s)	294	296	299	304	322	338	365	377

ODR = 4 kHz且BW = 1.67 kHz

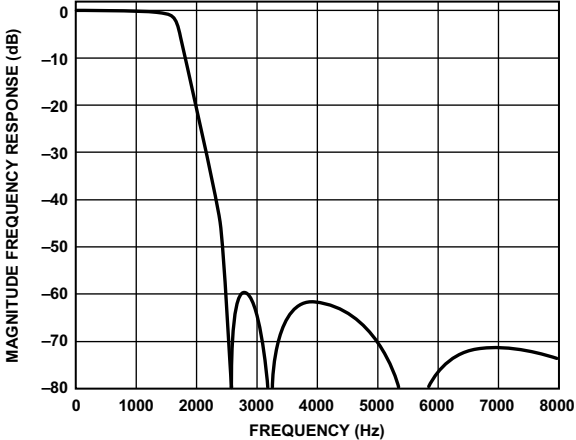


图8. ODR = 4 kHz且BW = 1.67 kHz时的全频率响应

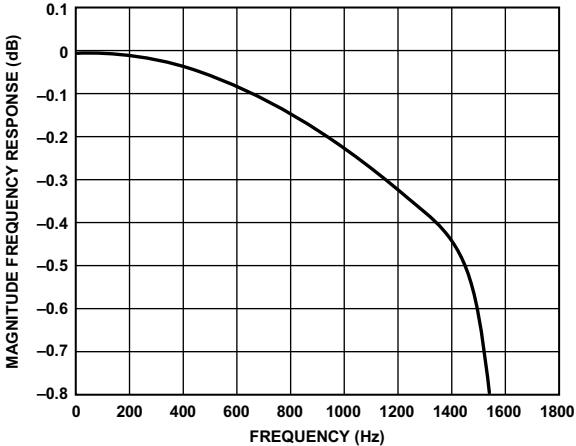


图10. ODR = 4 kHz且BW = 1.67 kHz时的平带响应

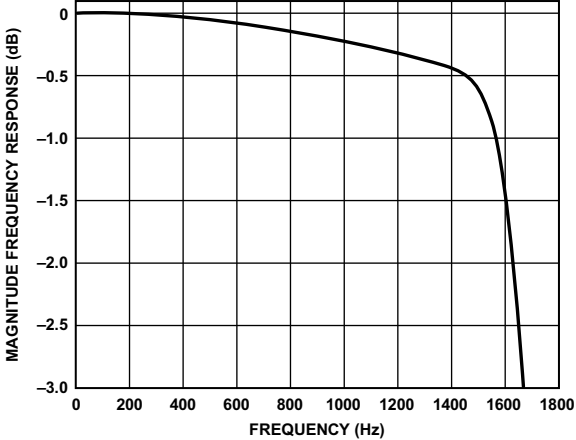


图9. ODR = 4 kHz且BW = 1.67 kHz时的3 dB点响应

表14. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.67 kHz, 频率范围 = 50 Hz至450 Hz

	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
幅度(milli_dB)	0	-1.323	-3.589	-6.865	-11.234	-16.784	-23.596	-31.732	-41.222

表15. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.67 kHz, 频率范围 = 500 Hz至900 Hz

	频率(Hz)								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
幅度(milli_dB)	-52.06	-64.199	-77.554	-92.011	-107.44	-123.73	-140.81	-158.66	-177.37

表16. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.67 kHz, 频率范围 = 950 Hz至1350 Hz

	频率(Hz)								
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
幅度(dB)	-0.197	-0.218	-0.240	-0.265	-0.291	-0.318	-0.346	-0.373	-0.401

AN-1374

表17. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.67 kHz, 频率范围 = 1400 Hz至1900 Hz

	频率(Hz)								
	1400	1450	1500	1550	1600	1670	1700	1800	1900
幅度(dB)	-0.433	-0.486	-0.598	-0.856	-1.407	-3.01	-4.071	-8.807	-14.39

表18. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.67 kHz

	频率(Hz)							
	50	250	500	750	1000	1250	1500	1650
相位延迟(μ s)	450	452	458	467	483	508	555	608

ODR = 4 kHz且BW = 1.069 kHz

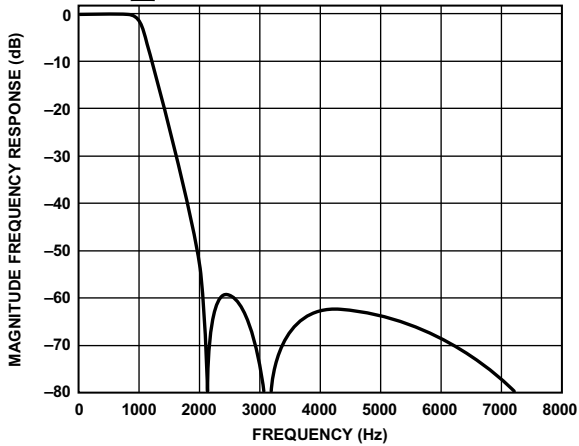


图11. ODR = 4 kHz且BW = 1.069 kHz时的全频率响应

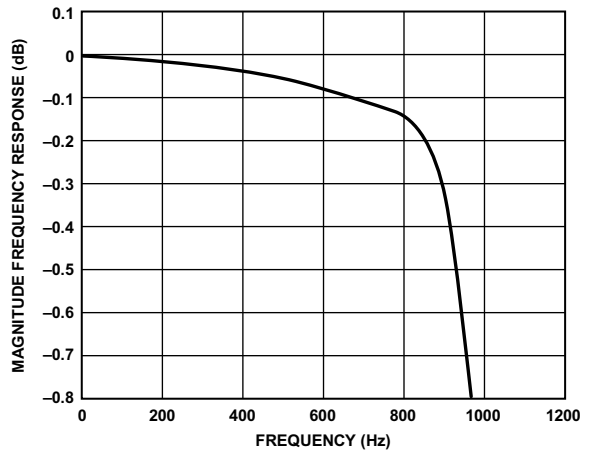


图13. ODR = 4 kHz且BW = 1.069 kHz时的平带响应

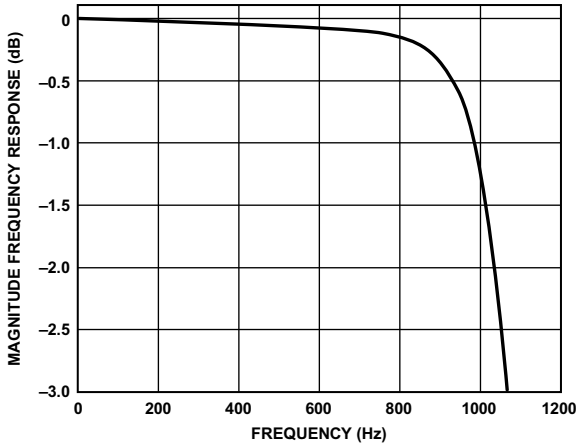


图12. ODR = 4 kHz且BW = 1.069 kHz时的3 dB点响应

表19. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.069 kHz, 频率范围 = 50 Hz至450 Hz

	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
幅度(milli_dB)	0	-2.19	-5.60	-9.92	-14.85	-20.23	-26.10	-32.76	-40.68

表20. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.069 kHz, 频率范围 = 500 Hz至900 Hz

	频率(Hz)								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
幅度(milli_dB)	-50.39	-62.16	-75.77	-90.33	-104.7	-119.2	-139.8	-186.9	-311.5

表21. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.069 kHz, 频率范围 = 950 Hz至1300 Hz

	频率(Hz)								
	950	1000	1050	1069	1100	1150	1200	1250	1300
幅度(dB)	-0.617	-1.265	-2.423	-3.015	-4.147	-6.326	-8.776	-11.343	-13.936

表22. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 4 kHz, BW = 1.069 kHz

	频率(Hz)					
	50	250	500	750	1000	1250
相位延迟(μs)	588	593	609	643	730	795

AN-1374

ODR = 2 kHz且BW = 0.836 kHz

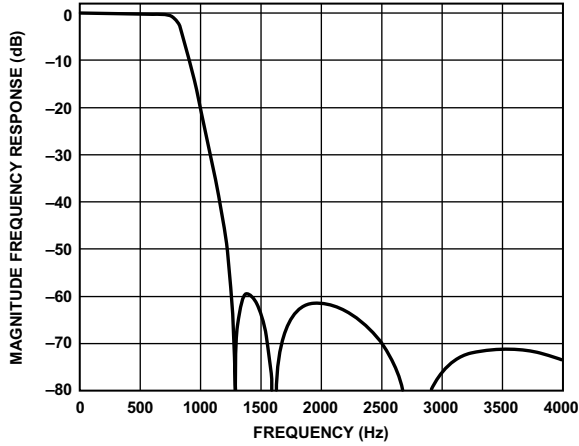


图14. ODR = 2 kHz且BW = 0.836 kHz时的全频率响应

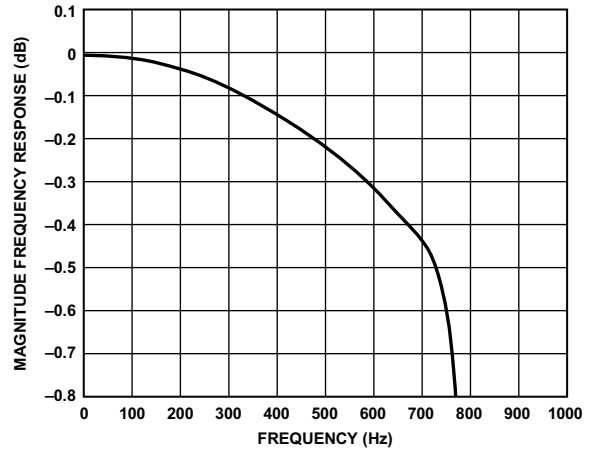


图16. ODR = 2 kHz且BW = 0.836 kHz时的平带响应

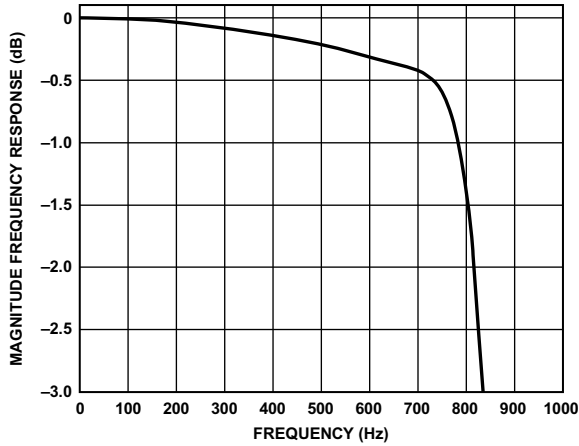


图15. ODR = 2 kHz且BW = 0.836 kHz时的3 dB点响应

表23. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 2 kHz, BW = 0.836 kHz, 频率范围 = 50 Hz至450 Hz

	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
幅度(milli_dB)	0	-5.5	-15.37	-30.27	-50.55	-76	-106	-139	-176

表24. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 2 kHz, BW = 0.836 kHz, 频率范围 = 500 Hz至1000 Hz

	频率(Hz)											
	500	550	600	650	700	750	800	836	850	900	950	1000
幅度(dB)	-0.216	-0.263	-0.316	-0.372	-0.431	-0.594	-1.39	-3.05	-4.03	-8.75	-14.33	-20.0

表25. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 2 kHz, BW = 0.836 kHz

	频率(Hz)							
	50	125	250	350	400	500	750	830
相位延迟(μs)	901	904	915	930	939	965	1109	1223

ODR = 2 kHz且BW = 0.535 kHz

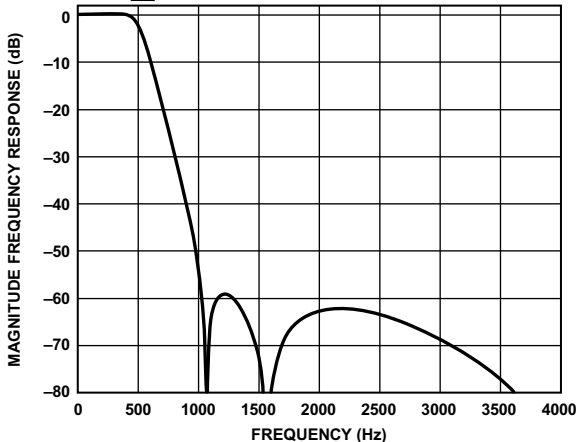


图17. ODR = 2 kHz且BW = 0.535 kHz时的全频率响应

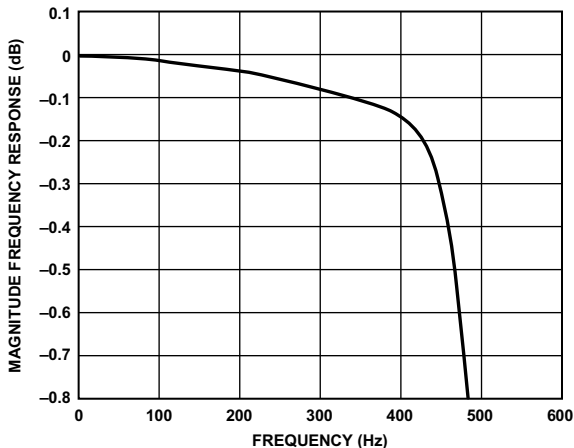


图19. ODR = 2 kHz且BW = 0.535 kHz时的平带响应

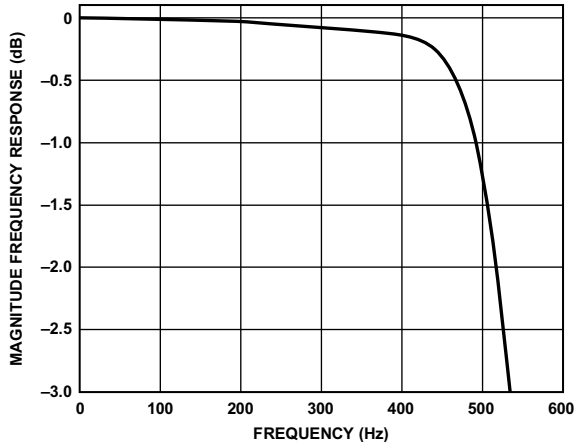


图18. ODR = 2 kHz且BW = 0.535 kHz时的3 dB点响应

表26. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 2 kHz, BW = 0.535 kHz, 频率范围 = 50 Hz至450 Hz

	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
幅度(milli_dB)	0	-7.69	-17.99	-30.48	-48.05	-73.36	-102.34	-137.17	-305.62

表27. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 2 kHz, BW = 0.535 kHz, 频率范围 = 500 Hz至750 Hz

	频率(Hz)						
	500	535	550	600	650	700	750
幅度(dB)	-1.24	-3.01	-4.10	-8.72	-13.88	-19.01	-24.03

表28. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 2 kHz, BW = 0.535 kHz

	频率(Hz)						
	50	125	250	350	400	500	535
相位延迟(μs)	1177	1185	1217	1268	1309	1459	1525

AN-1374

ODR = 1 kHz且BW = 0.418 kHz

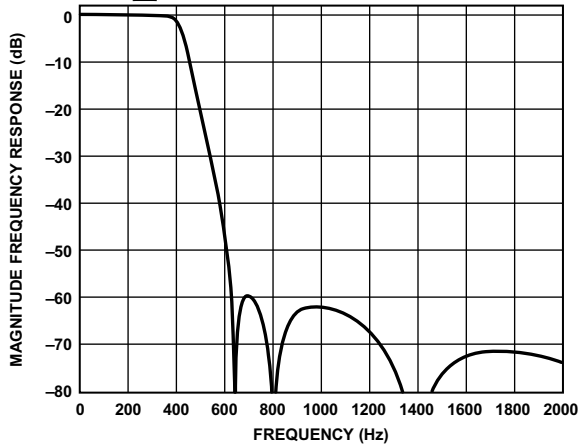


图20. ODR = 1 kHz且BW = 0.418 kHz时的全频率响应

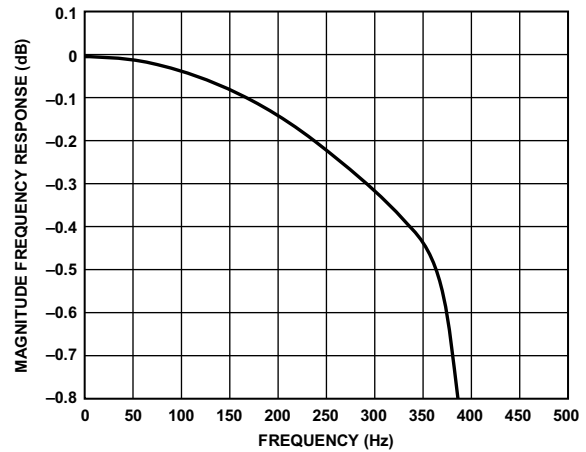


图22. ODR = 1 kHz且BW = 0.418 kHz时的平带响应

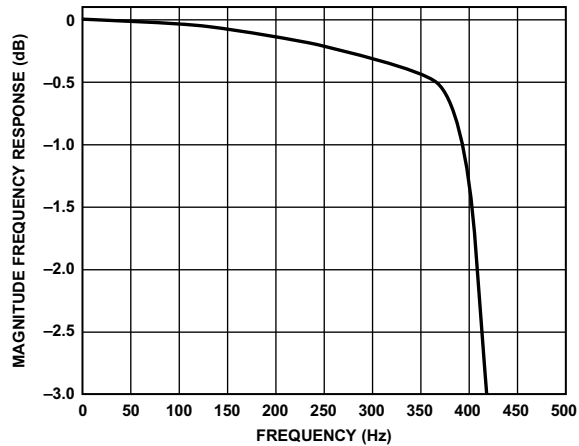


图21. ODR = 1 kHz且BW = 0.418 kHz时的3 dB点响应

表29. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 1 kHz, BW = 0.418 kHz, 频率范围 = 50 Hz至600 Hz

	频率(Hz)												
	50	100	150	200	250	300	350	400	418	450	500	550	600
幅度(dB)	0	-0.024	-0.070	-0.133	-0.210	-0.310	-0.424	-1.355	-2.98	-8.64	-19.95	-31.74	-45.78

表30. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 1 kHz, BW = 0.418 kHz

	频率(Hz)							
	50	100	150	200	250	300	350	400
相位延迟(μs)	1806	1820	1843	1879	1930	2005	2122	2349

ODR = 1 kHz且BW = 0.268 kHz

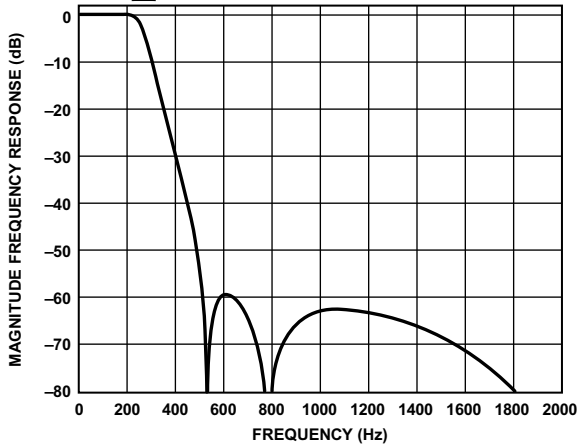


图23. ODR = 1 kHz且BW = 0.268 kHz时的全频率响应

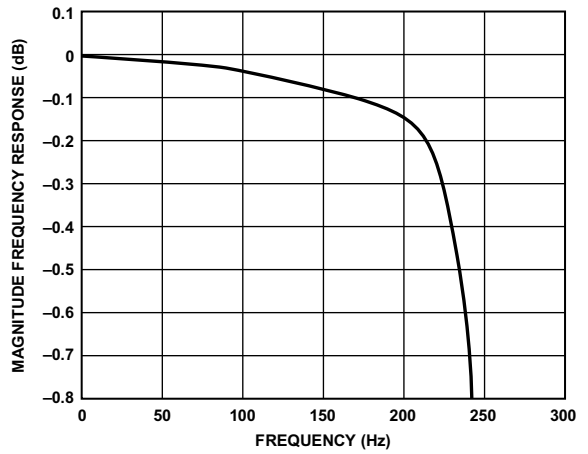


图25. ODR = 1 kHz且BW = 0.268 kHz时的平带响应

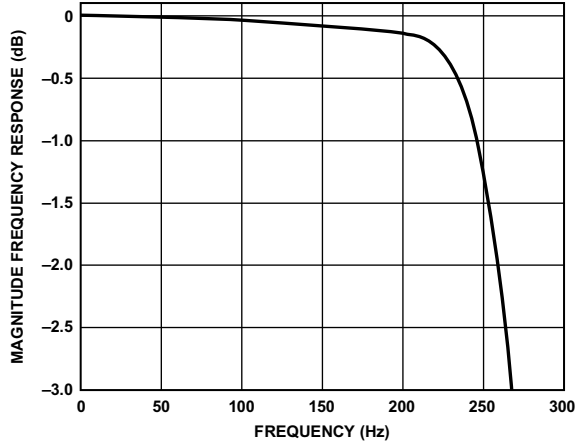


图24. ODR = 1 kHz且BW = 0.268 kHz时的3 dB点响应

表31. 不同频率时的SINC4 + LPF增益响应, ODR = 1 kHz, BW = 0.268 kHz, 频率范围 = 50 Hz至400 Hz

幅度(dB)	频率(Hz)								
	50	100	150	200	250	268	300	350	400
	0	-0.022	-0.065	-0.128	-1.20	-3.0	-8.615	-18.9	-28.91

表32. 不同频率时的SINC4 + LPF相位延迟响应, ODR = 1 kHz, BW = 0.268 kHz

相位延迟(μs)	频率(Hz)				
	50	100	150	200	250
	2363	2402	2477	2615	2913