

ADE7912/ADE7913 フロントエンド仕様

著者: Gabriel Antonesei

はじめに

このアプリケーション・ノートでは、ADE7912/ADE7913 に使用する Σ - Δ 変調器のデジタル・フィルタリングのいくつかの側面について説明します。これらのフィルタの役割は、高周波ノイズを除去し、同時に変調器出力をさまざまなレートにデシメートすることです。これらのレートは 8 kHz ~ 1 kHz の範囲でマイクロコントローラの処理帯域幅に変更することができます。

デジタル・デシメーション・フィルタリング

機能の説明

ADE7912/ADE7913 に実装されているデシメーション・フィルタリングのブロック図を図 1 に示します。デバイスが CLKIN = 4.096 MHz でクロックされている場合、 Σ - Δ 変調器は周波数 1 MHz のビットストリームを出力します。SINC4 フィルタは 4 種類のデシメーション・レシオ (32、64、128、および 256) を使用し、32 kHz、16 kHz、8 kHz、4 kHz の出力を提供します。帯域幅を有効な周波数に制限するとともに、データ・レートをできるだけ低い値に抑えるために、減衰率 60 dB の追加のローパスフィルタ (LPF) を使用しています。これにより、後に続く RMS 計算や電力計算がより正確になり、メトロロジー計算のた

めにマイクロコントローラが確保しなければならない帯域幅が狭くなります。

この LPF はさらに 1/4 のデシメーションを行うほか、それ自体柔軟性を備えており、2 種類の異なる帯域幅を実現します。LPF は 2 つの分離した 6 次フィルタとして実装されています。一方は狭い帯域用で、他方はより広い帯域用です。

ADE7912/ADE7913 では複数の出力データ・レート (ODRs) を使用できます。つまり、8 kHz、4 kHz、2 kHz、1 kHz を使用でき、さらにこれらの各レートに対して 2 つの帯域幅を選択できます (表 1 参照)。この選択可能な ODR により、ユーザーは幅広いシナリオに対応して、マイクロコントローラに実装されるデータバスの中で独自のトレードオフを行うことができます。

ODR と帯域幅の選択は、CONFIG レジスタのビット 7 (BW) とビット [5:4] (ADC_FREQ) によって行います。

ADE7912/ADE7913 を CLKIN = 4.096 MHz でクロックする際に必要な、BW と ADC_FREQ のさまざまな設定を表 1 に示します。帯域幅は、ゲインが 3 dB 減衰するポイントによって示されています。

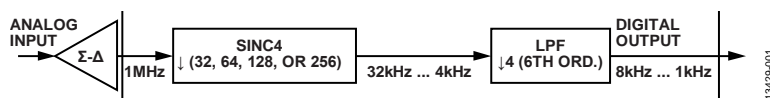


図 1. ADE7912/ADE7913 に実装されているデシメーション・フィルタリングのブロック図

表 1. さまざまな ODR と帯域幅を得るための CONFIG レジスタ設定

CONFIG Register		ODR (kHz)	SINC4 + LPF Bandwidth (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

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

目次

はじめに.....	1	SINC4 + LPF フィルタの周波数応答と時間遅延特性.....	3
デジタル・デシメーション・フィルタリング.....	1	さまざまなフィルタの振幅周波数応答と時間遅延.....	4
改訂履歴.....	2		

改訂履歴

8/15—Revision 0: Initial Version

SINC4 + LPF フィルタの周波数応答と時間遅延特性

さまざまなデシメーション・レシオ (DR) における SINC4 の Z 領域の式を下に示します。

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

狭い方の帯域幅 (BW、CONFIG レジスタのビット 7 を 1 にセット) に対応する LPF の Z 領域の式を下に示します。

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

ここで、*LPF_BW1* は狭い方の帯域幅に対応する LPF です。

広い方の帯域幅 (BW、CONFIG レジスタのビット 7 を 0 にクリア) に対応する LPF の Z 領域の式を下に示します。

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

ここで、*LPF_BW2* は広い方の帯域幅に対応する LPF です。

さまざまなフィルタの振幅周波数応答と時間遅延

さまざまなフィルタによって信号パスに生じる振幅周波数応答と時間遅延に関する詳細な情報を、図 2～図 25 と表 2～表 32 に示します。出力データ・レート (ODR) は ADE7912/ADE7913 によって A/D コンバータ (ADC) のサンプルが与えられる出力周波数で、フィルタの帯域幅 (BW) はゲインが 3 dB に減衰するポイントです。すべての ODR と BW のケースについて、全周波数応答、つまり -3 dB ポイントまでの応答とフラットバンド応答 (0 dB から -0.8 dB 減衰まで) が示されています。

位相遅延は、正弦波がフィルタを通過する際の位相伝搬遅延を決定します。また、すべての ODR と BW のケースのさまざまな周波数における位相遅延が表に示されています。

電圧信号も電流信号も同じ時間遅延で伝搬するため、電力計算の観点からは、これらの時間遅延は最終的な結果に影響しません。しかし、トランジェント・イベントやゼロ交差に同期したイベントの場合、時間遅延を知ると役立つことがあります。

周波数ポイントは、区間ごとに線形補間を行うことによって正確な中間値を得ることができるように選択されます。これらの周波数ポイントは、たとえば振幅補正が必要な場合に役立つことがあります。

ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz

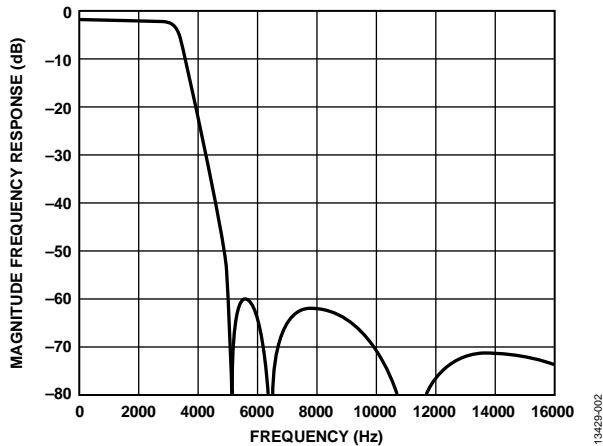


図 2. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における全周波数応答

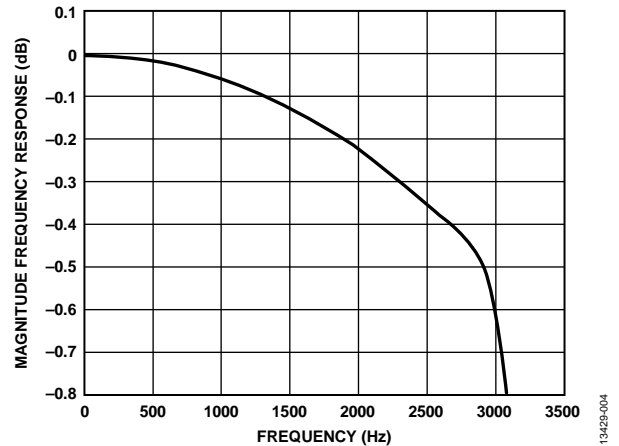


図 4. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz におけるフラットバンド応答

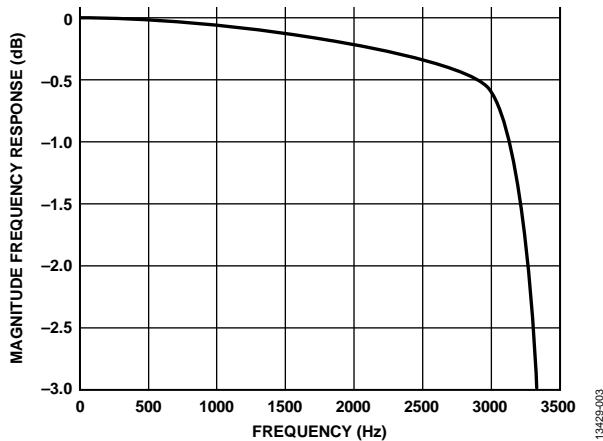


図 3. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における 3 dB ポイント応答

表 2. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 450 Hz)

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

表 3. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 500 Hz ~ 900 Hz)

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

表 4. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 950 Hz ~ 1350 Hz)

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

表 5. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 1400 Hz ~ 2200 Hz)

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

表 6. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 2300 Hz ~ 3100 Hz)

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

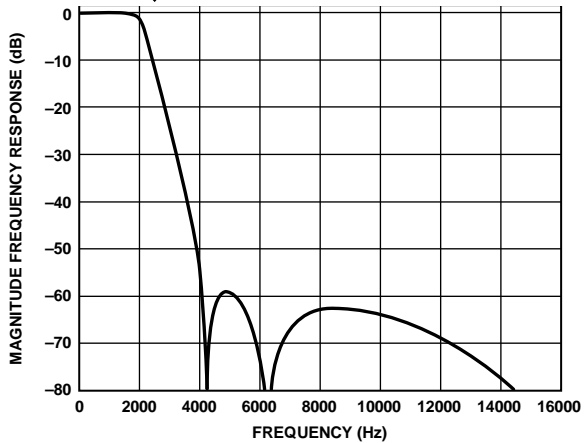
表 7. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 3200 Hz ~ 3500 Hz)

	Frequency (Hz)				
	3200	3300	3338	3400	3500
Magnitude (dB)	-1.414	-2.452	-3.0	-4.09	-6.27

表 8. ODR = 8 kHz、BW = 3.338 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

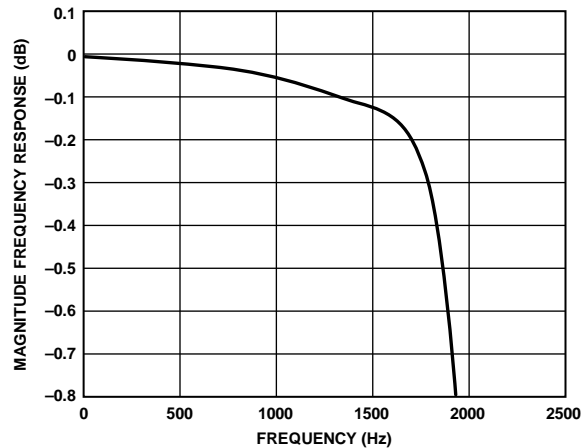
	Frequency (Hz)								
	50	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3300
Phase Delay (μs)	225	226	227	229	234	241	254	277	321

ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz



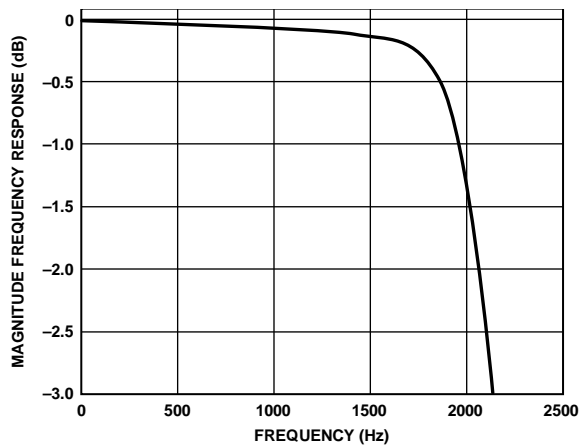
13429-005

図 5. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における全周波数応答



13429-007

図 7. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz におけるフラットバンド応答



13429-008

図 6. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における 3 dB ポイント応答

表 9. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 450 Hz)

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

表 10. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 500 Hz ~ 900 Hz)

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

表 11. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 950 Hz ~ 1400 Hz)

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

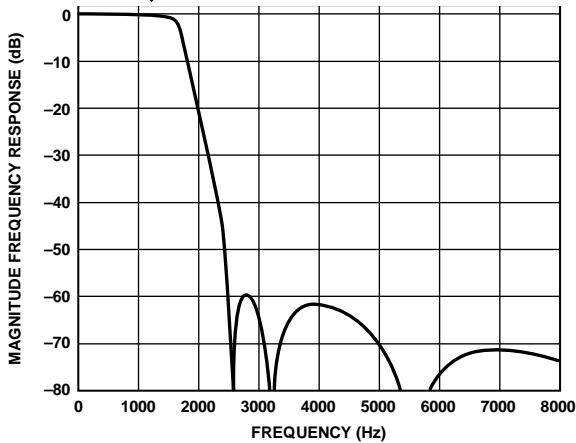
表 12. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 1500 Hz ~ 2200 Hz)

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

表 13. ODR = 8 kHz、BW = 2.137 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

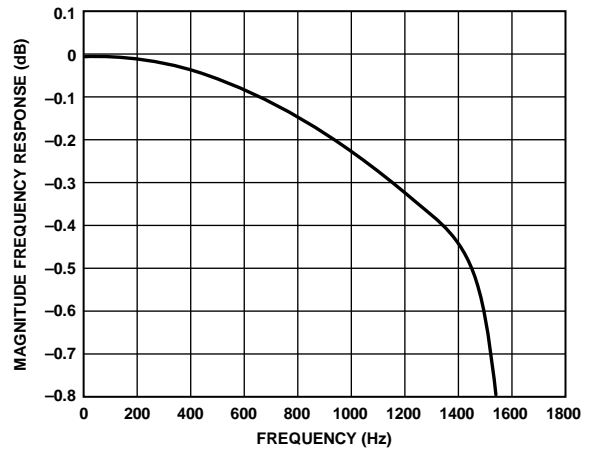
	Frequency (Hz)							
	50	500	750	1000	1500	1750	2000	2100
Phase Delay (μs)	294	296	299	304	322	338	365	377

ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz



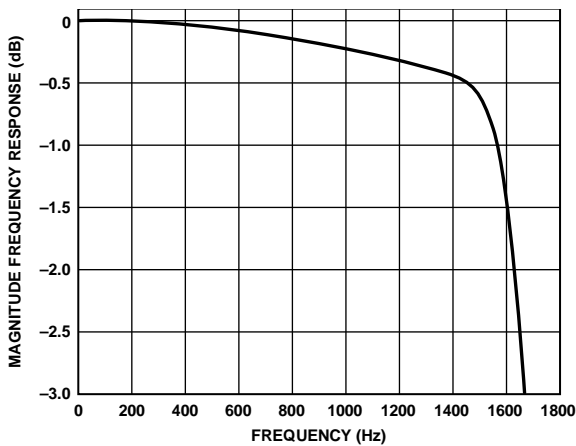
13429-008

図 8. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における全周波数応答



13429-010

図 10. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz におけるフラットバンド応答



13429-009

図 9. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における 3 dB ポイント応答

表 14. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 450 Hz)

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

表 15. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 500 Hz ~ 900 Hz)

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

表 16. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 950 Hz ~ 1350 Hz)

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

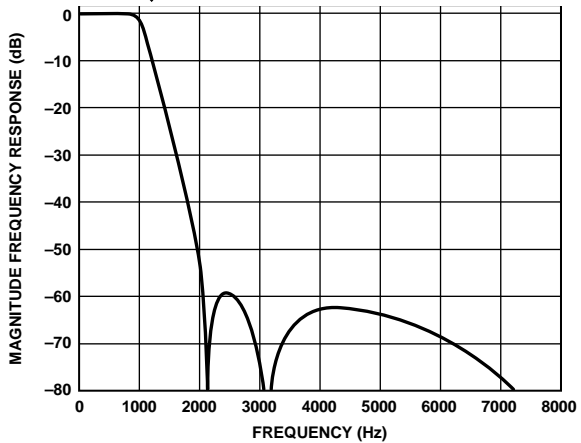
表 17. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 1400 Hz ~ 1900 Hz)

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

表 18. ODR = 4 kHz、BW = 1.67 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

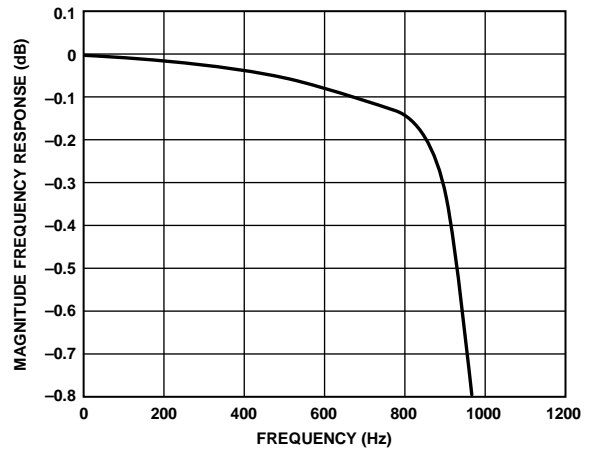
	Frequency (Hz)							
	50	250	500	750	1000	1250	1500	1650
Phase Delay (μs)	450	452	458	467	483	508	555	608

ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz



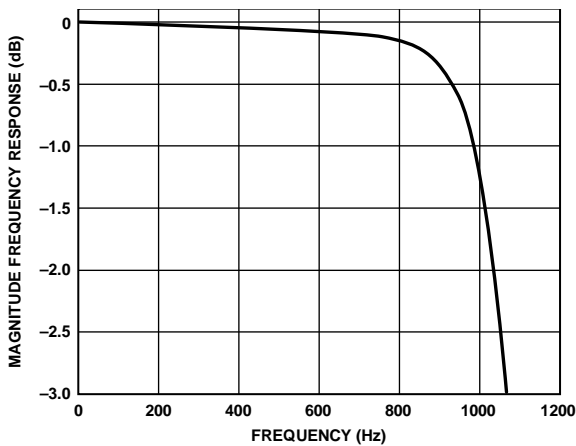
13429-011

図 11. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz における全周波数応答



13429-013

図 13. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz におけるフラットバンド応答



13429-012

図 12. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz における 3 dB ポイント応答

表 19. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 450 Hz)

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

表 20. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 500 Hz ~ 900 Hz)

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

表 21. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 950 Hz ~ 1300 Hz)

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

表 22. ODR = 4 kHz、BW = 1.069 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

	Frequency (Hz)					
	50	250	500	750	1000	1250
Phase Delay (μs)	588	593	609	643	730	795

ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz

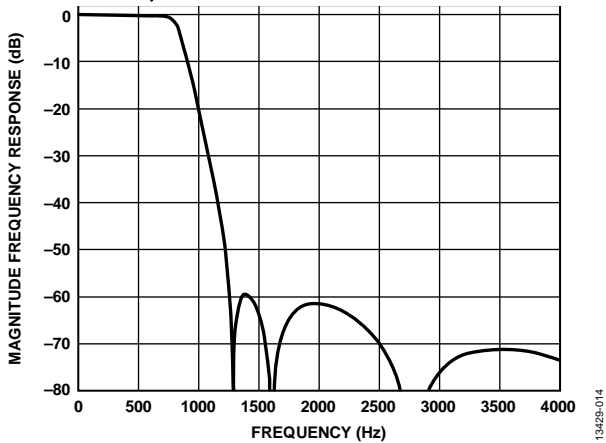


図 14. ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz における全周波数応答

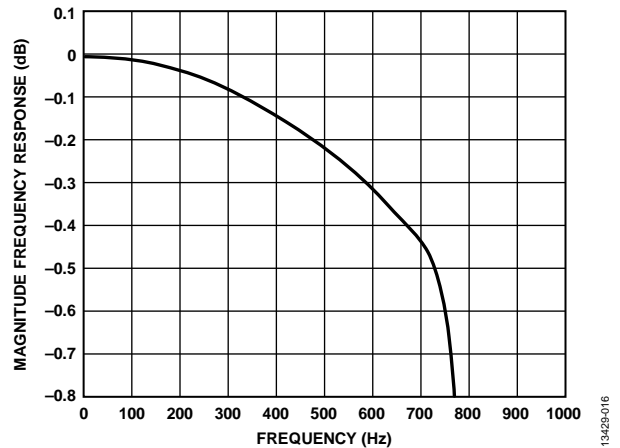


図 16. ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz におけるフラットバンド応答

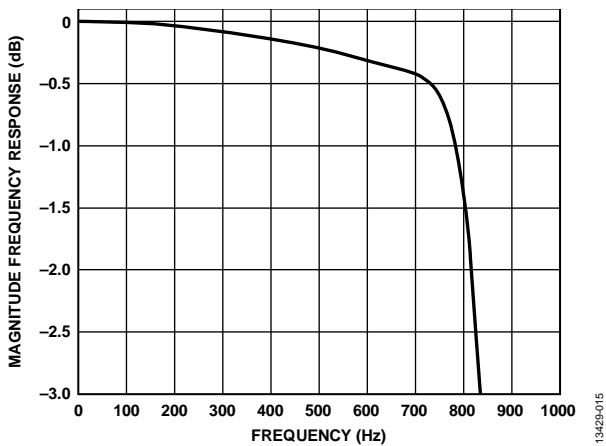


図 15. ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz における 3 dB ポイント応答

表 23. ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 450 Hz)

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

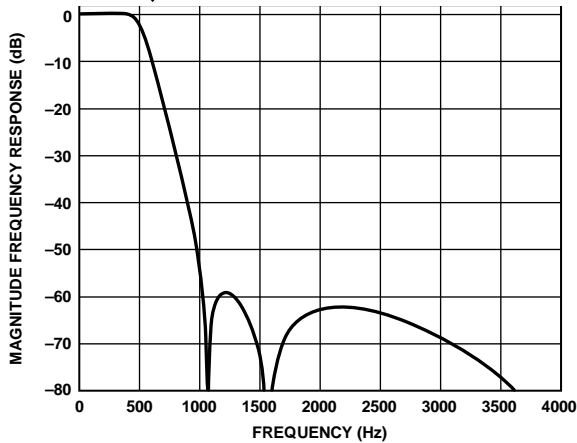
表 24. ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz における各周波数の SINC 4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 500 Hz ~ 1000 Hz)

	Frequency (Hz)											
	500	550	600	650	700	750	800	836	850	900	950	1000
Magnitude (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. ODR = 2 kHz、BW = 0.836 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

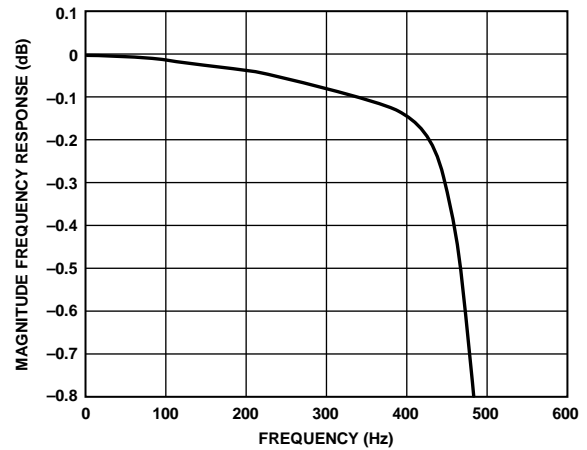
	Frequency (Hz)							
	50	125	250	350	400	500	750	830
Phase Delay (μs)	901	904	915	930	939	965	1109	1223

ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz



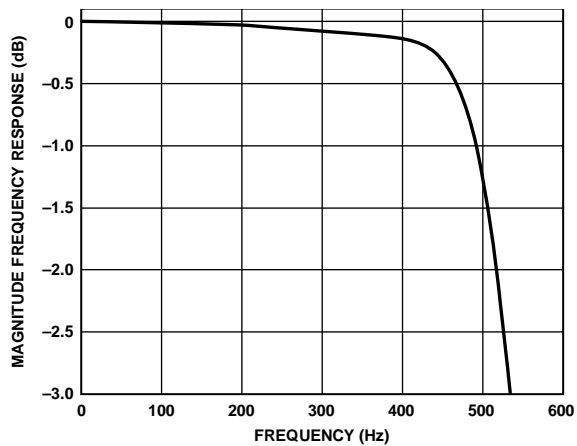
13429-017

図 17. ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz における全周波数応答



13429-019

図 19. ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz におけるフラットバンド応答



13429-018

図 18. ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz における 3 dB ポイント応答

表 26. ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 450 Hz)

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

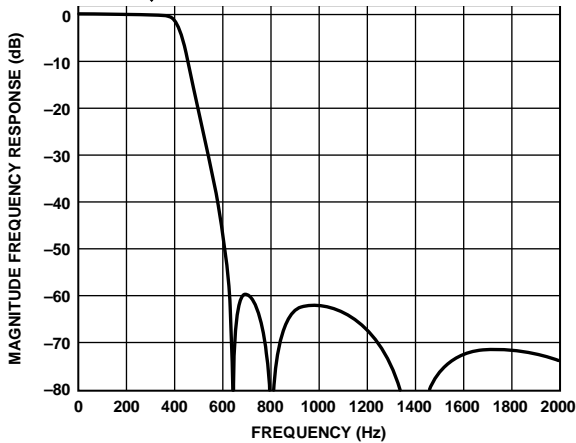
表 27. ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン応答 (周波数範囲 = 500 Hz ~ 750 Hz)

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

表 28. ODR = 2 kHz、BW = 0.535 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

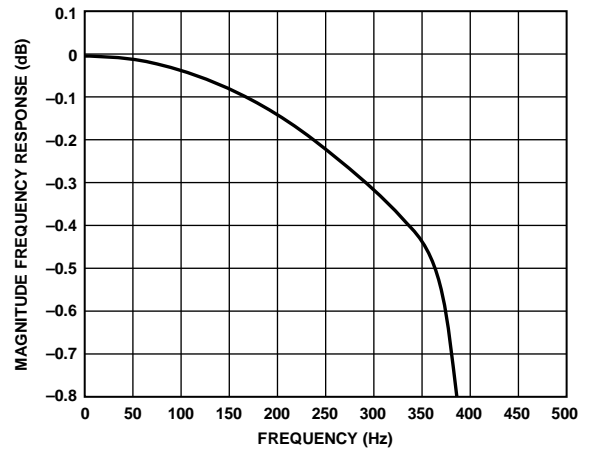
	Frequency (Hz)						
	50	125	250	350	400	500	535
Phase Delay (μs)	1177	1185	1217	1268	1309	1459	1525

ODR = 1 kHz、BW = 0.418 kHz



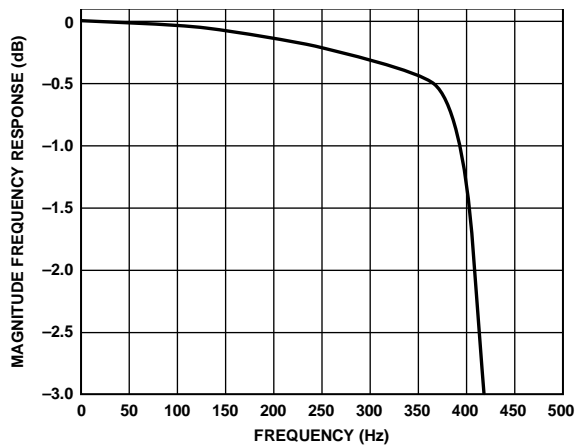
13429-020

図 20. ODR = 1 kHz、BW = 0.418 kHz における全周波数応答



13429-022

図 22. ODR = 1 kHz、BW = 0.418 kHz におけるフラットバンド応答



13429-021

図 21. ODR = 1 kHz、BW = 0.418 kHz における 3 dB ポイント応答

表 29. ODR = 1 kHz、BW = 0.418 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン 応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 600 Hz)

Magnitude (dB)	Frequency (Hz)												
	50	100	150	200	250	300	350	400	418	450	500	550	600
	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. ODR = 1 kHz、BW = 0.418 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延 応答

Phase Delay (μs)	Frequency (Hz)							
	50	100	150	200	250	300	350	400
	1806	1820	1843	1879	1930	2005	2122	2349

ODR = 1 kHz、BW = 0.268 kHz

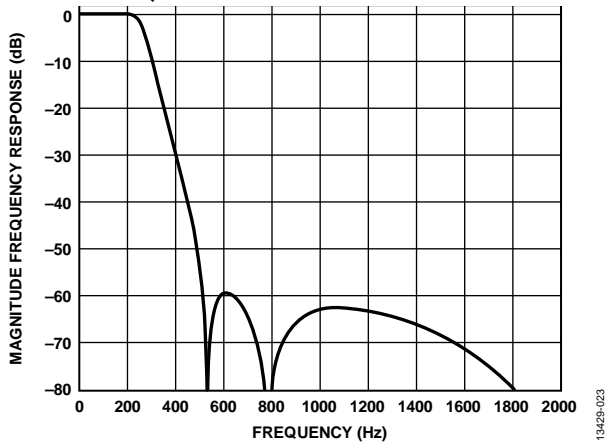


図 23. ODR = 1 kHz、BW = 0.268 kHz における全周波数応答

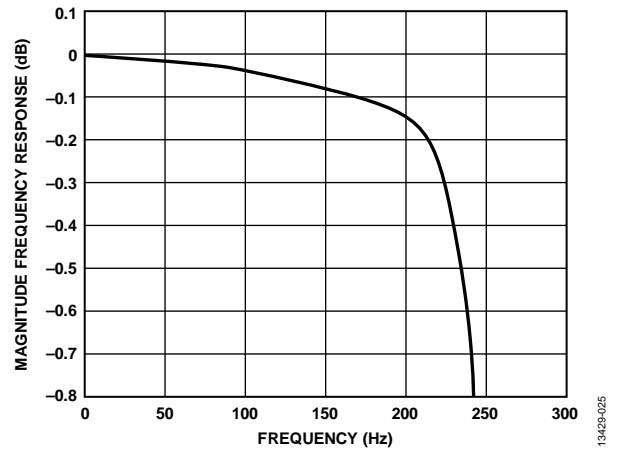


図 25. ODR = 1 kHz、BW = 0.268 kHz におけるフラットバンド応答

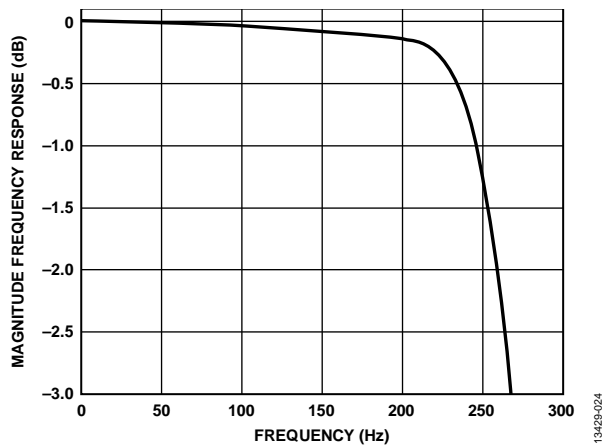


図 24. ODR = 1 kHz、BW = 0.268 kHz における 3 dB ポイント応答

表 31. ODR = 1 kHz、BW = 0.268 kHz における各周波数の SINC4 + LPF ゲイン 応答 (周波数範囲 = 50 Hz ~ 400 Hz)

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

表 32. ODR = 1 kHz、BW = 0.268 kHz における各周波数の SINC4 +LPF 位相遅延応答

	Frequency (Hz)				
	50	100	150	200	250
Phase Delay (μs)	2363	2402	2477	2615	2913