

令和7年度 第4学年 電気電子工学実験実習Ⅲ報告書

ここに実験タイトルを入力

実験日

令和7年

4月

15日

班	学生番号	氏名
99	4399	鮫洲 太郎

共同実験者名

43AA 青物 横男, 43BB 品川 花子

プレレポートの提出			レポートの提出		
予定日	4/14		予定日	4/21	
提出日			提出日		
備考					評価

東京都立産業技術高等専門学校
電気電子工学コース

1 目的

本実験の目的は、時間信号と周波数スペクトルの相互関係を理解するとともに、アナログフィルタを用いた周波数選択によって時間信号が変化する様子を理解することである。

2 原理

2.1 フーリエ級数

周期 T の周期関数 $f(t)$ は、以下のような三角関数の級数で表される：

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{2\pi nt}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{2\pi nt}{T} \quad (1)$$

各係数は以下のように求められる：

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos \frac{2\pi nt}{T} dt \quad (3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin \frac{2\pi nt}{T} dt \quad (4)$$

2.2 伝達関数と RC フィルタ

線形システムの動作は伝達関数によって記述され、周波数 f_n に対して次のように定義される：

$$H(f_n) = |H(f_n)| e^{j\theta(f_n)} \quad (5)$$

RC 低域通過フィルタ (LPF) の伝達関数は、

$$H(f) = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_1}} \quad (6)$$

ただし、 $f_1 = \frac{1}{2\pi RC}$ は遮断周波数である。

RC 高域通過フィルタ (HPF) の伝達関数は、

$$H(f) = \frac{1}{1 + j \frac{f_2}{f}} \quad (7)$$

ただし、 $f_2 = \frac{1}{2\pi RC}$ である。

2.3 離散フーリエ変換 (DFT)

時間領域の離散信号 f_n に対して、離散フーリエ変換は以下の式で与えられる：

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-j \frac{2\pi k n}{N}} \quad (8)$$

3 実験方法

3.1 時間信号の測定

VirtualBench を用いて、以下の手順で時間信号を測定した：

1. 図 1 に示すとおりに結線した。
2. DUT として表 1 に示す LPF を接続した。
3. FGEN で正弦波を選択し、10 kHz から 1 MHz までの周波数、および遮断周波数における入力・出力波形を測定し、数値データとして保存した。
4. 各班員が用意した任意波形、および班で用意したガウシアンパルスを FGEN に設定し、それぞれ測定を行い、数値データとして保存した。
5. DUT を表 1 に示す HPF, BPF, BEF へ変更し、同様の手順で測定を繰り返した。
6. 測定結果から、各周波数における振幅比 (dB) および位相差を計算し、グラフを作成した。
7. 任意波形およびガウシアンパルスについては、入力信号と出力信号を同一グラフにプロットし、波形の変化を確認できるようにした。

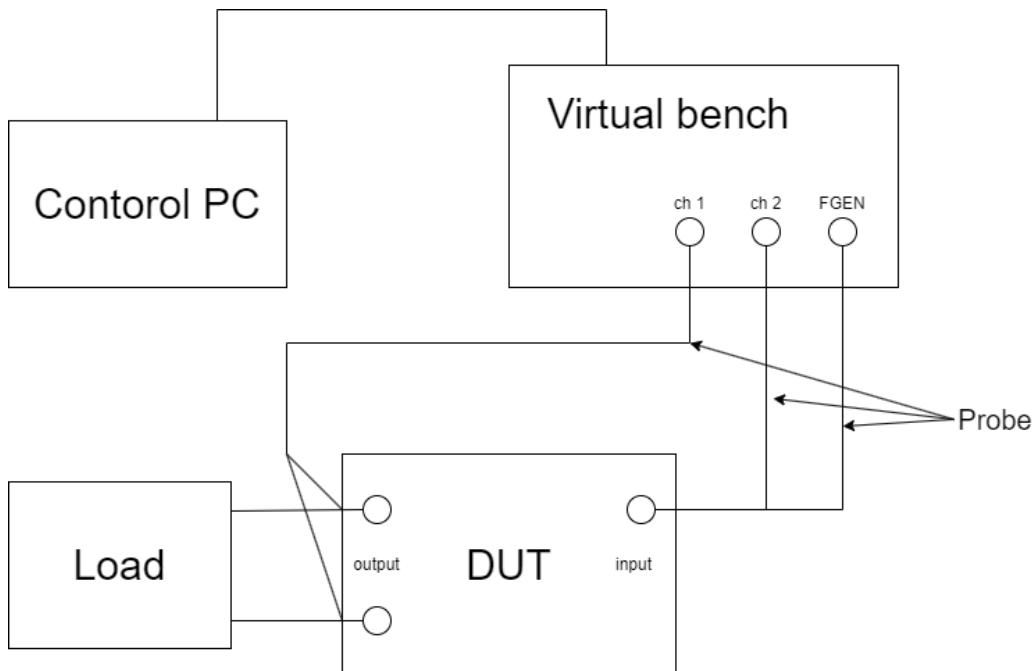
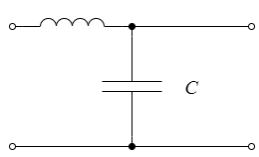
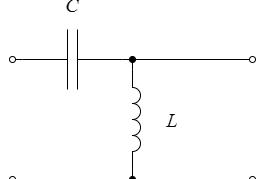
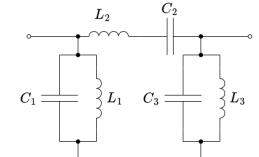
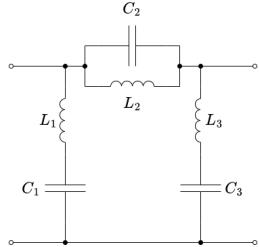


図 1: 時間信号測定用の実験回路

表 1: 各種 LC フィルタ

フィルタの種類	回路図	素子値の計算 f_c
LPF		$f_c = 150 \text{ kHz}$
HPF		$f_c = 140 \text{ kHz}$
BPF		$f_{c1} = 50 \text{ kHz}, f_{c2} = 200 \text{ kHz}$
BEF		$f_{c1} = 100 \text{ kHz}, f_{c2} = 140 \text{ kHz}$

3.2 周波数特性の測定

NanoVNA を用いてフィルタの周波数特性を測定した。以下の手順で実施した：

1. 図 2 に示すとおりに結線した。
2. ポートを COM3 に設定し、測定周波数範囲を 50 kHz から 1 MHz に設定した。
3. キャリブレーション (open, short, load, isolation, through) を行い、「save0」に記録した。
4. DUT として各フィルタ (LPF, HPF, BPF, BEF) を接続し、測定データを「s2p」形式で保存した。

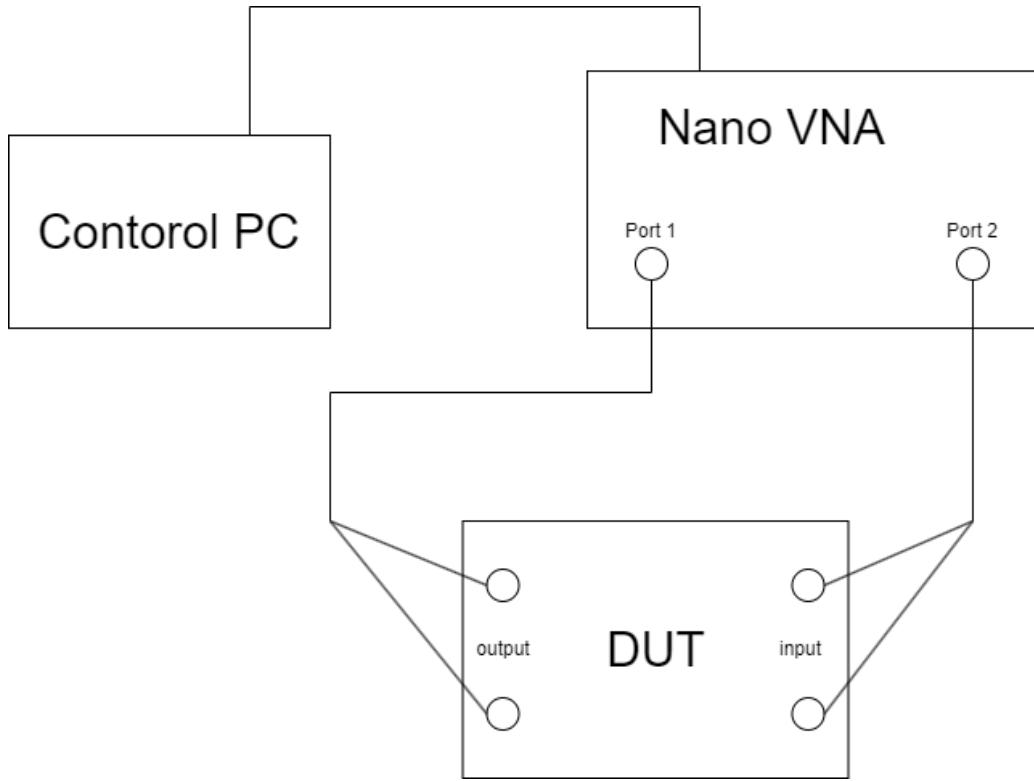


図 2: 周波数特性測定用の実験回路

4 実験結果

4.1 時間信号の特性

4.1.1 LPF

LPF の入力・出力波形を以下に示す。LPF では、入力信号と出力信号の波形がどのように変化するかを確認した。

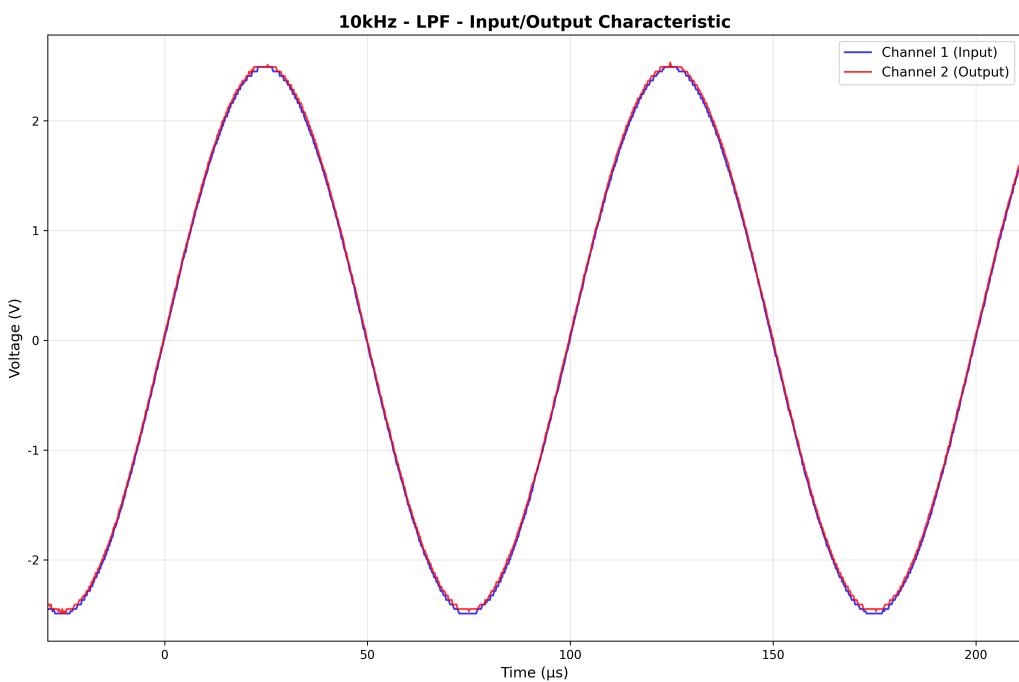


図 3: 10kHz LPF 波形

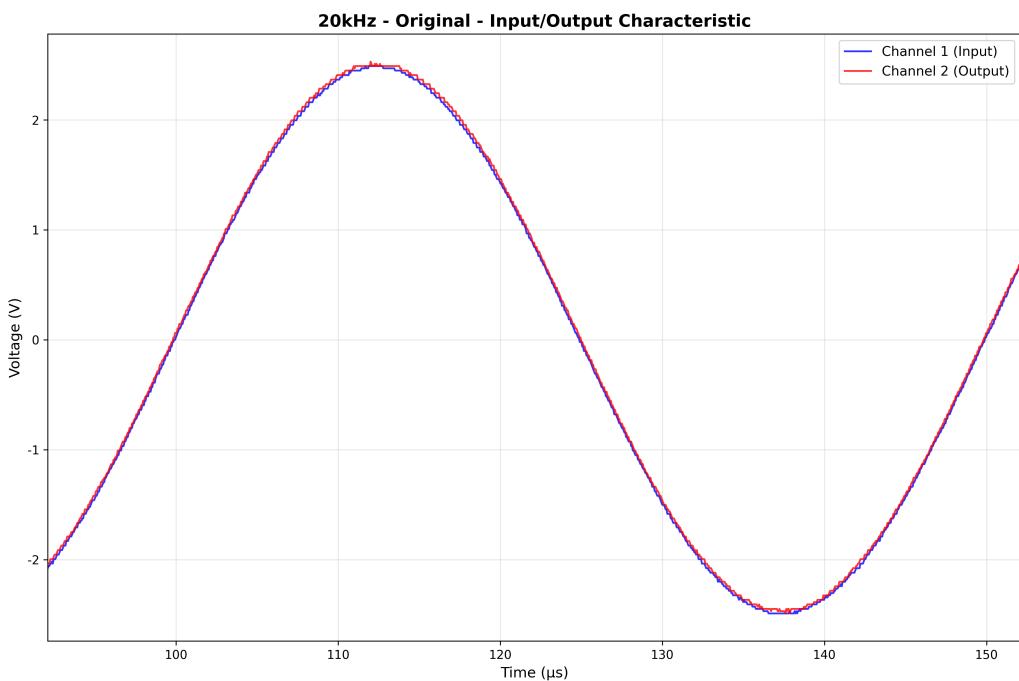


図 4: 20kHz LPF 波形



図 5: 40kHz LPF 波形



図 6: 50kHz LPF 波形

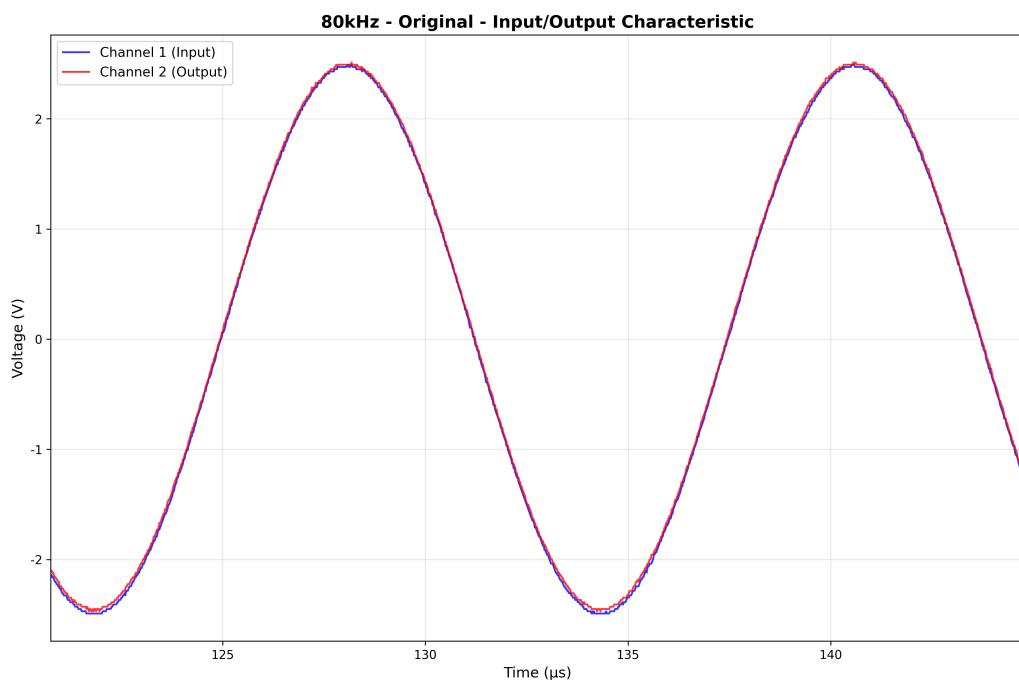


図 7: 80kHz LPF 波形

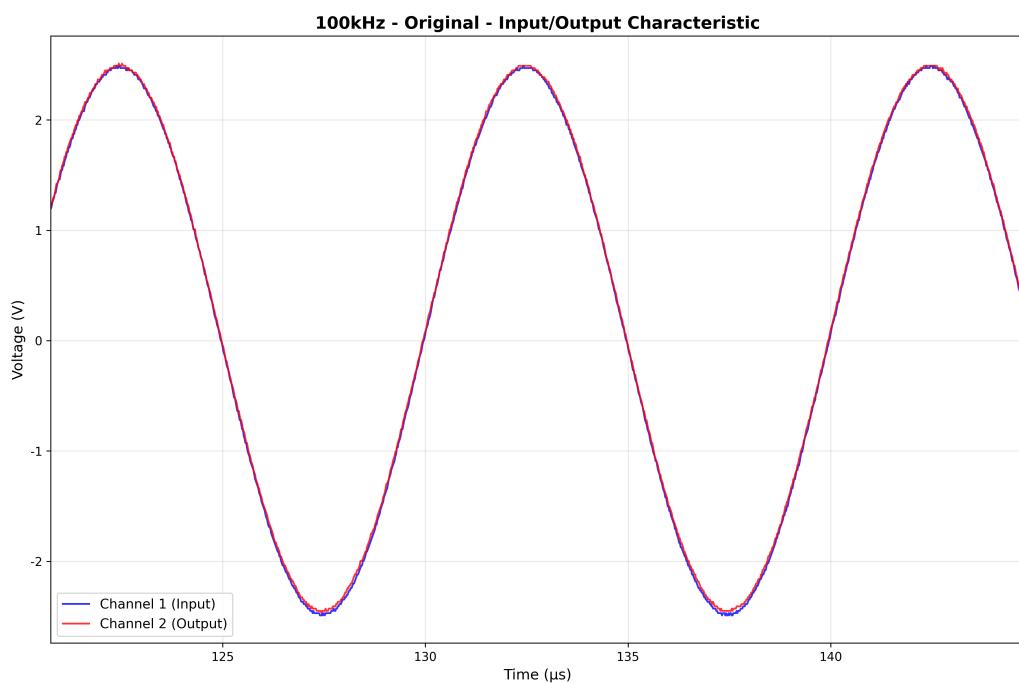


図 8: 100kHz LPF 波形

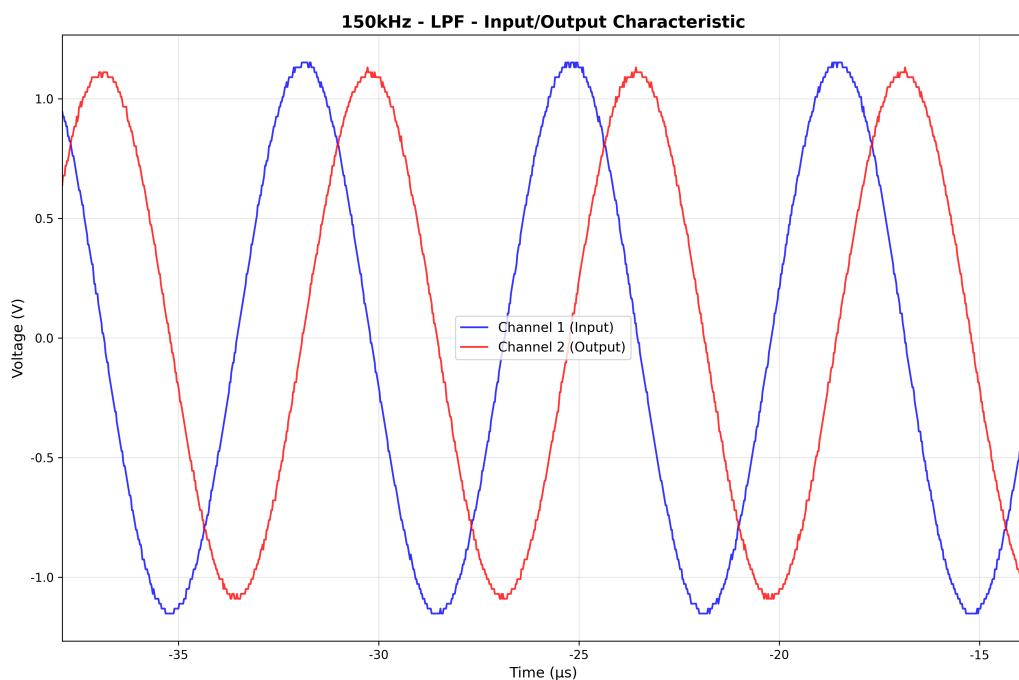


図 9: 150kHz LPF 波形

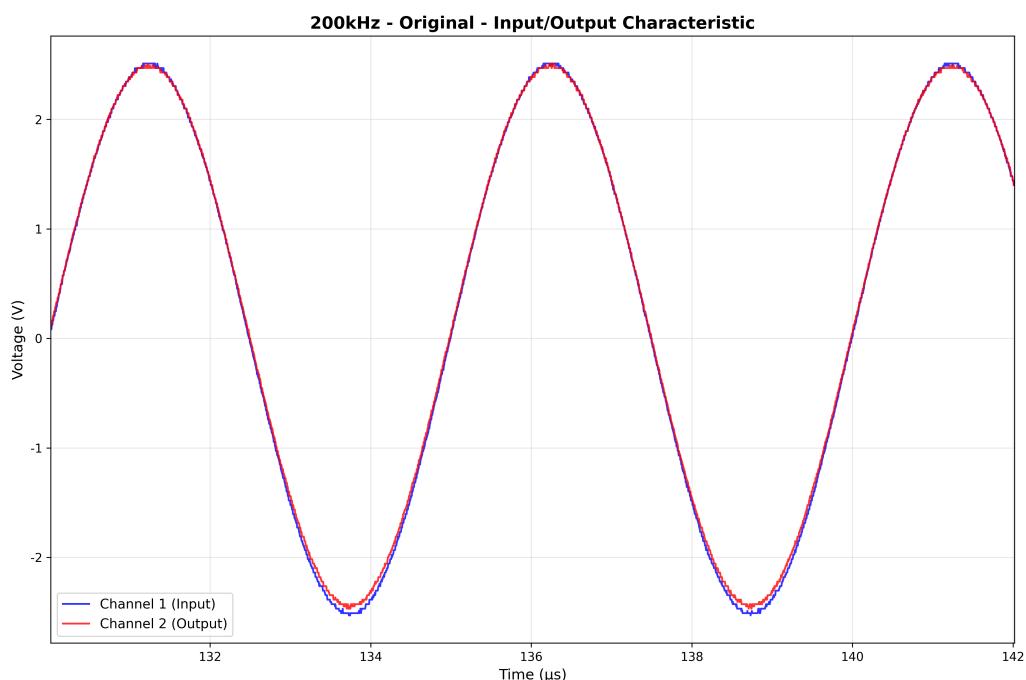


図 10: 200kHz LPF 波形

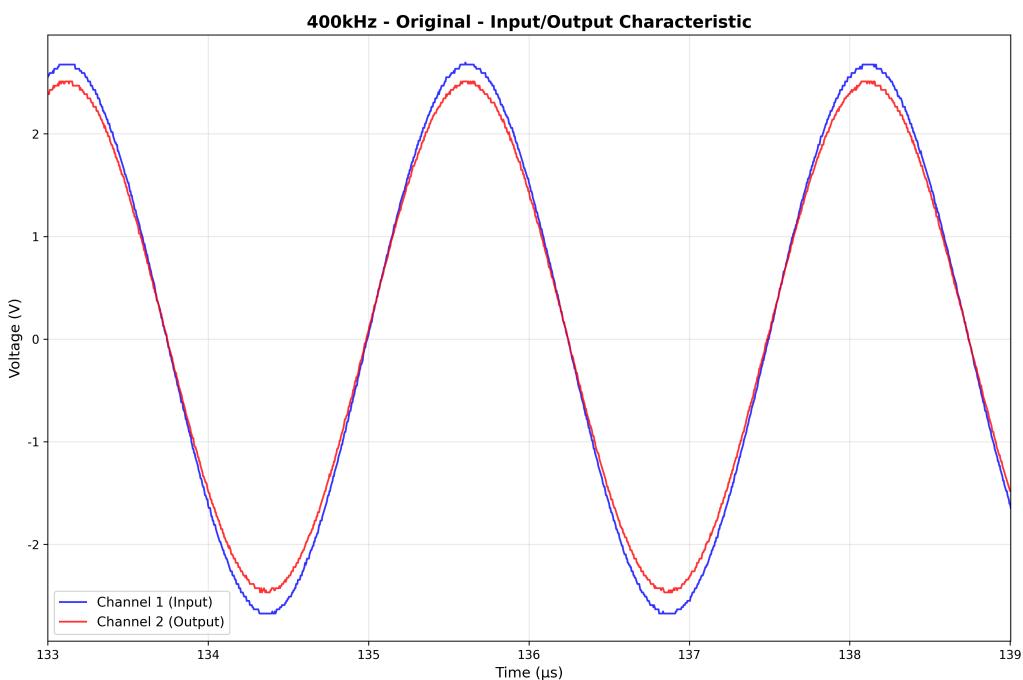


図 11: 400kHz LPF 波形

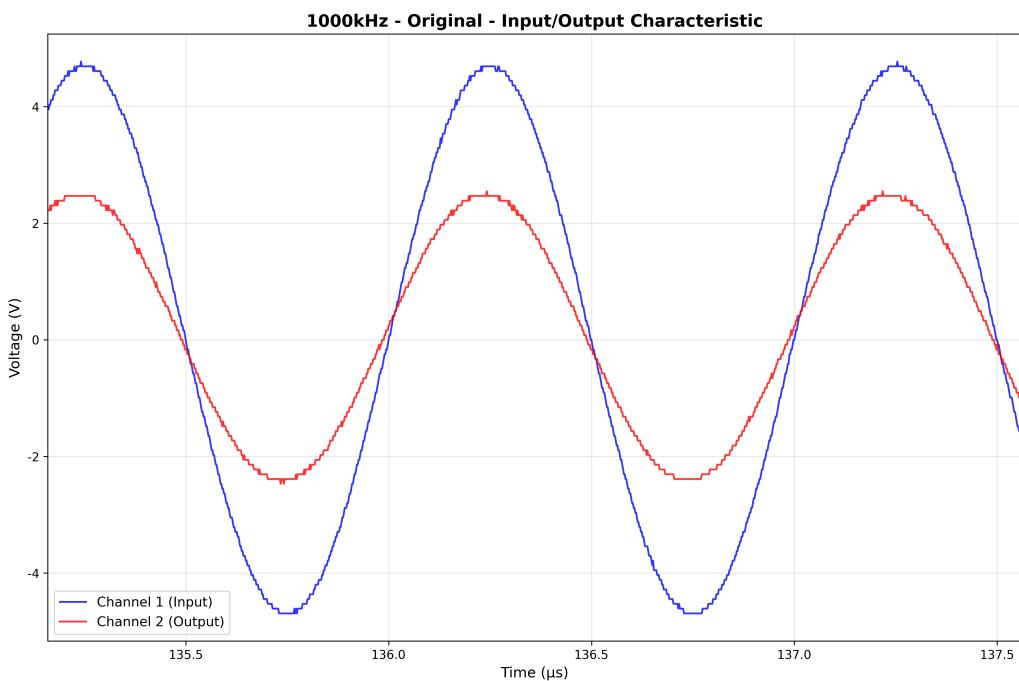


図 12: 1000kHz LPF 波形

図 3 から図 12 より、100kHz までは入力と出力の振幅の性殆どないが、150kHz を超えると出力側の振幅が減少しているのがわかる。

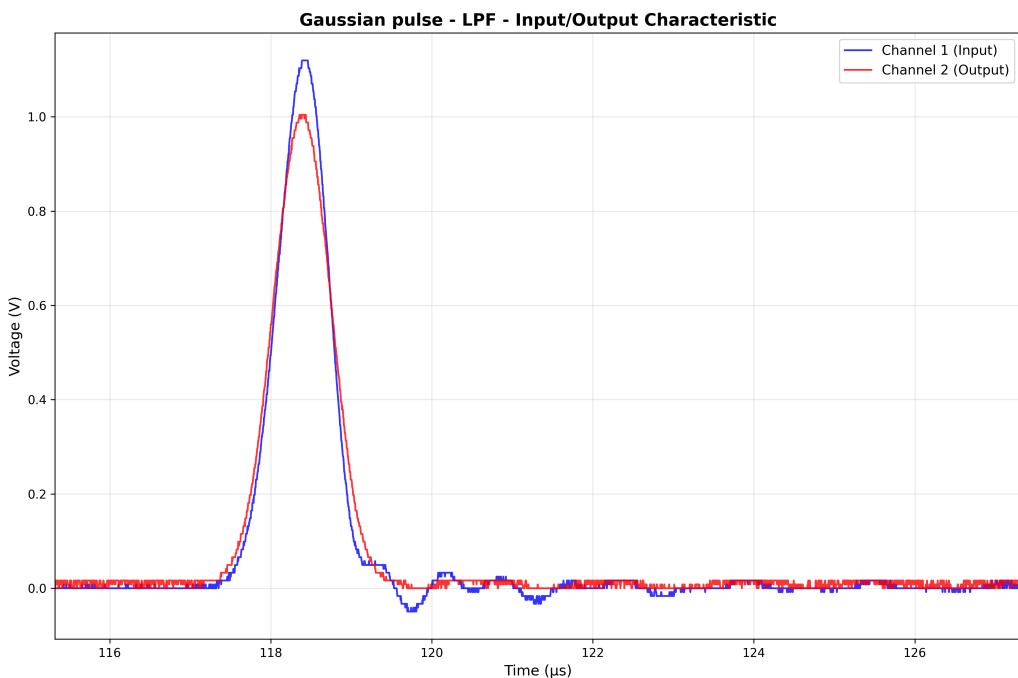


図 13: Gaussian pulse LPF 波形

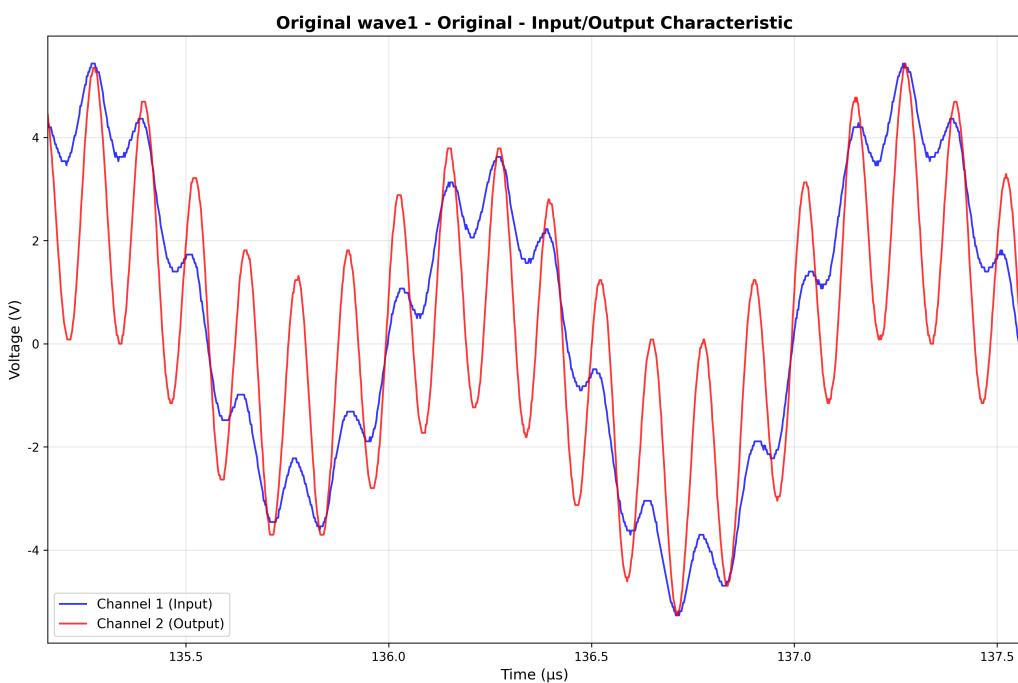


図 14: Original wave1 LPF 波形

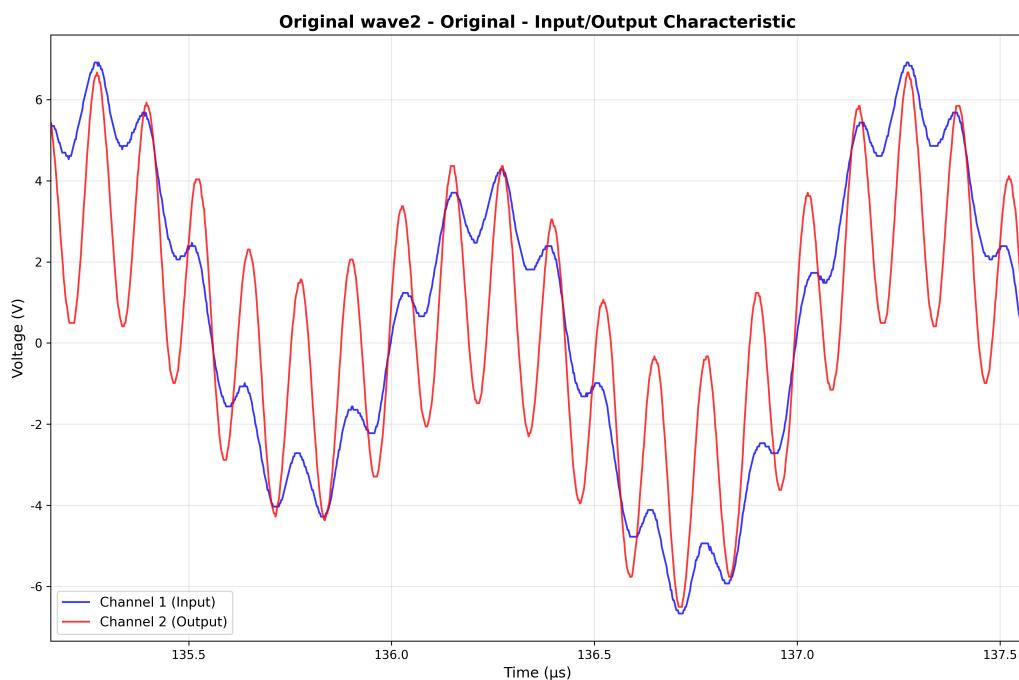


図 15: Original wave2 LPF 波形

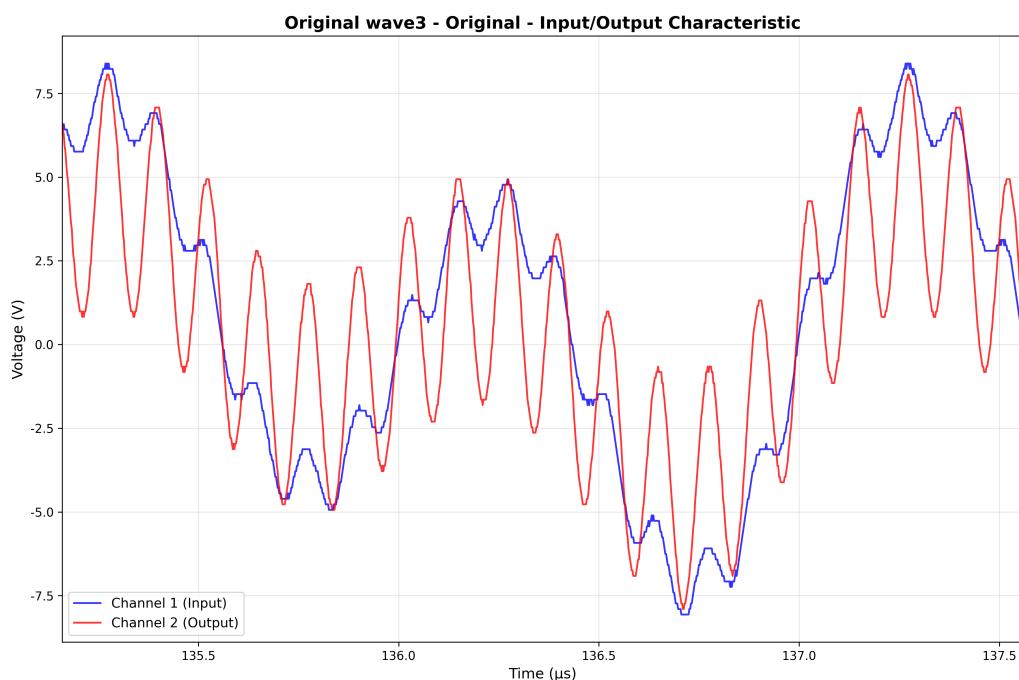


図 16: Original wave3 LPF 波形

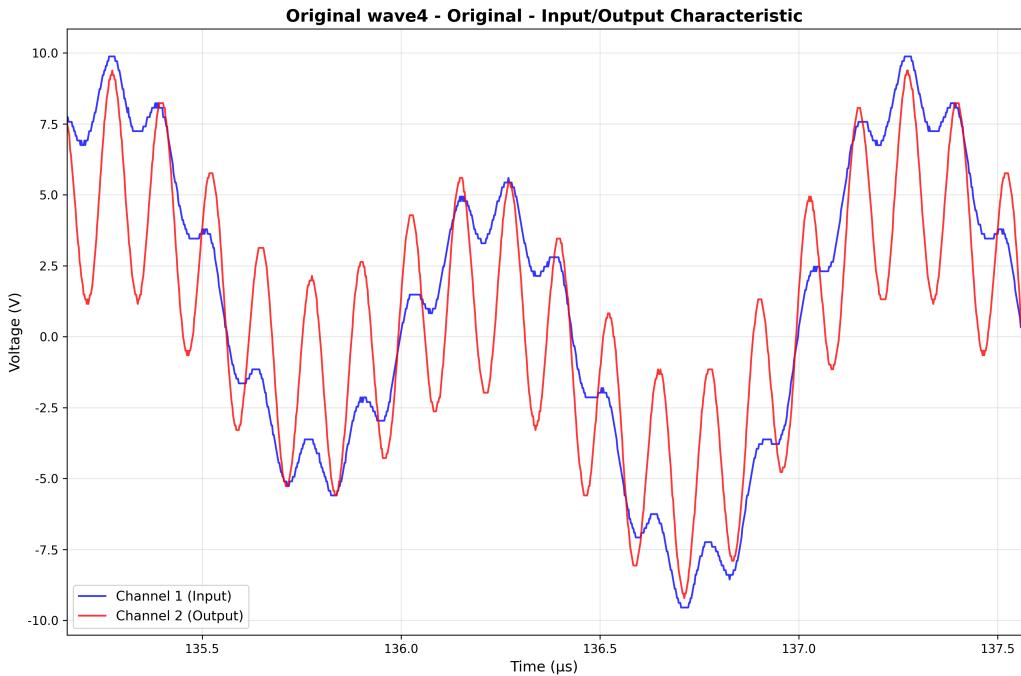


図 17: Original wave4 LPF 波形

図 13 から図 17 までの波形を比較すると、LPF によって高周波成分が除去され、波形が平滑化されていることがわかる。

4.1.2 HPF

HPF の入力・出力波形を以下に示す。HPF では、入力信号と出力信号の波形がどのように変化するかを確認した。

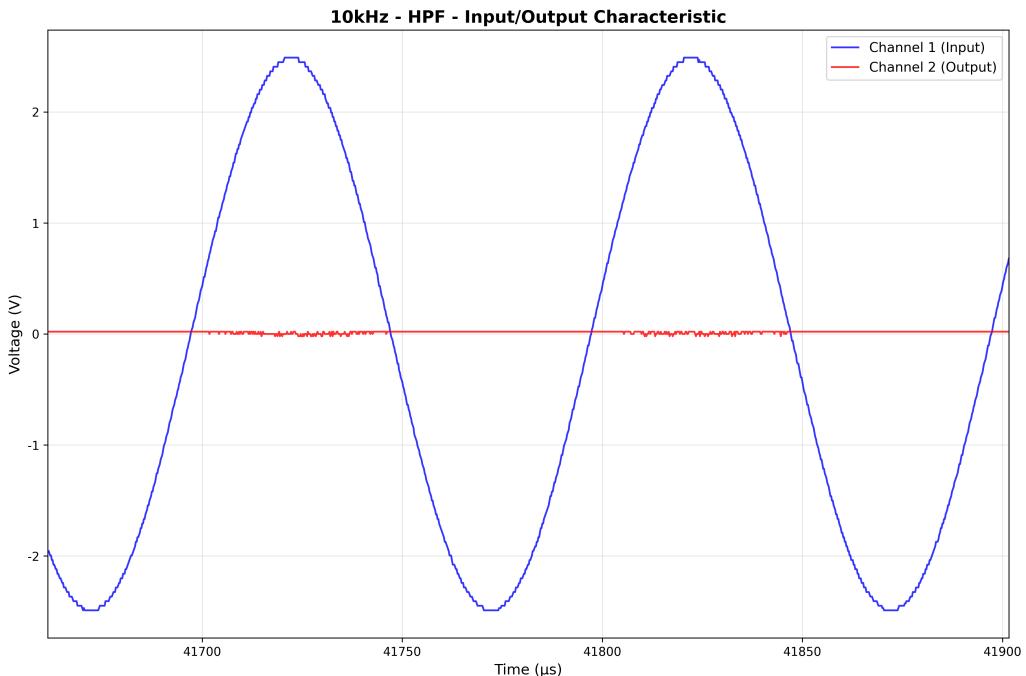


図 18: 10kHz HPF 波形

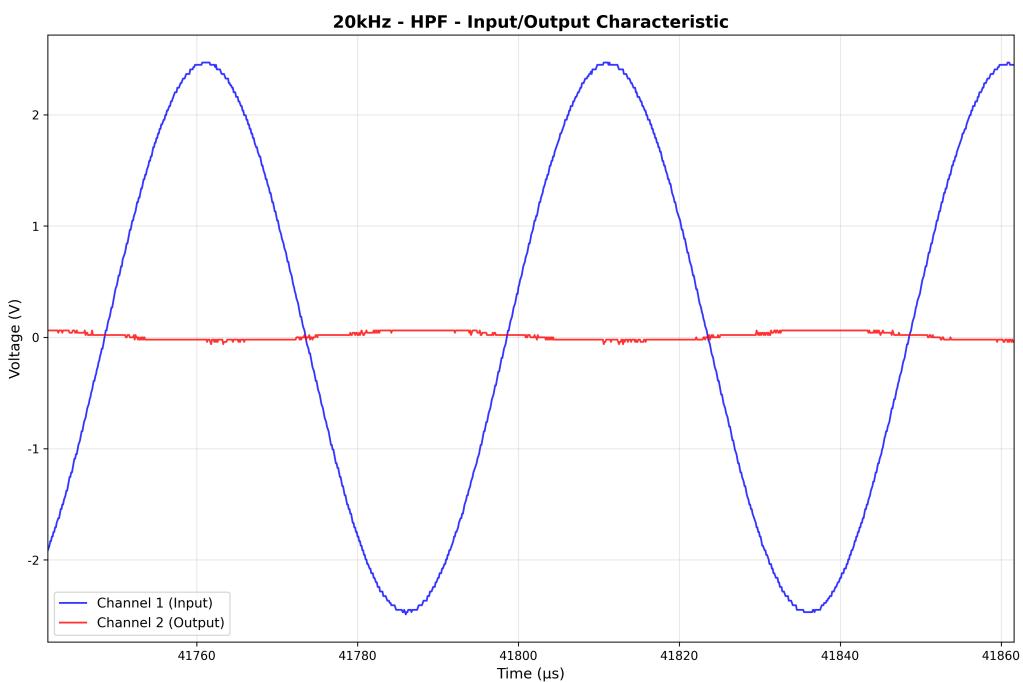


図 19: 20kHz HPF 波形

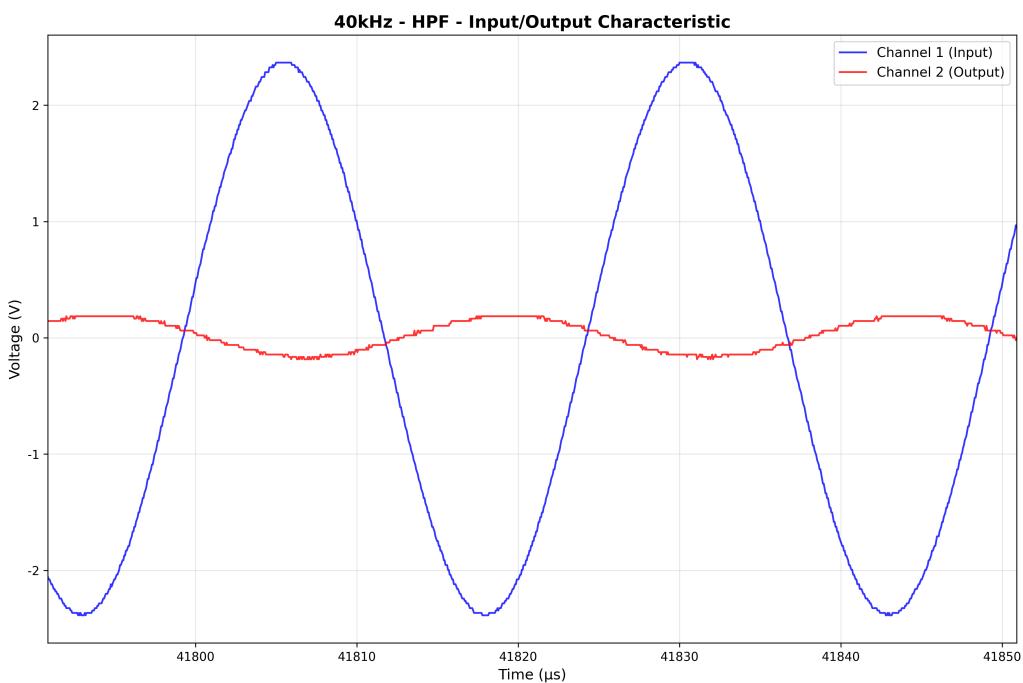


図 20: 40kHz HPF 波形

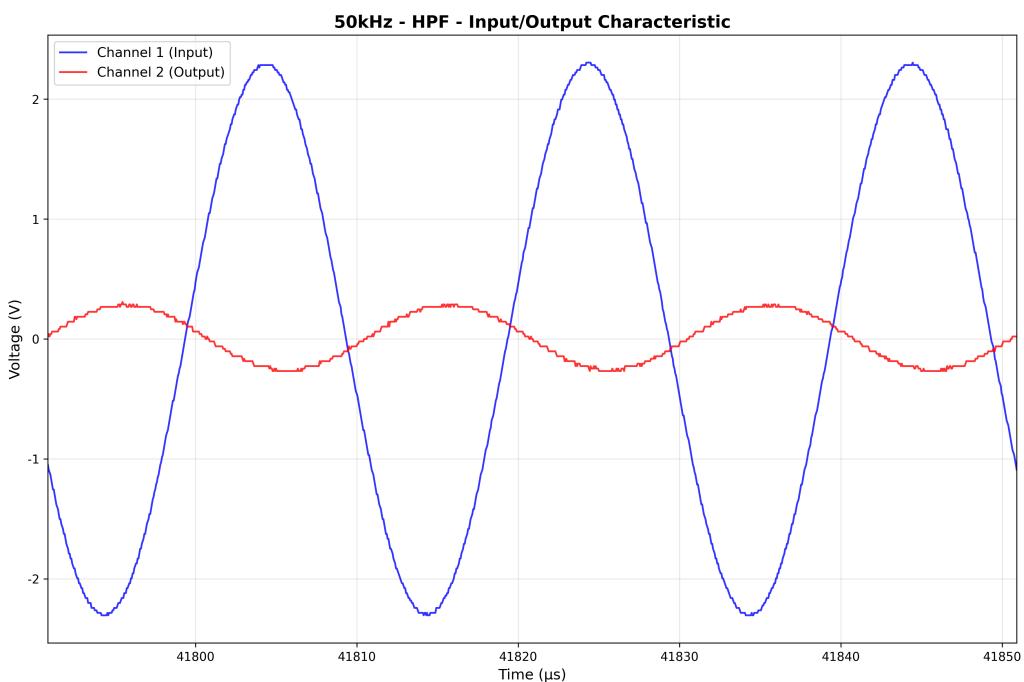


図 21: 50kHz HPF 波形

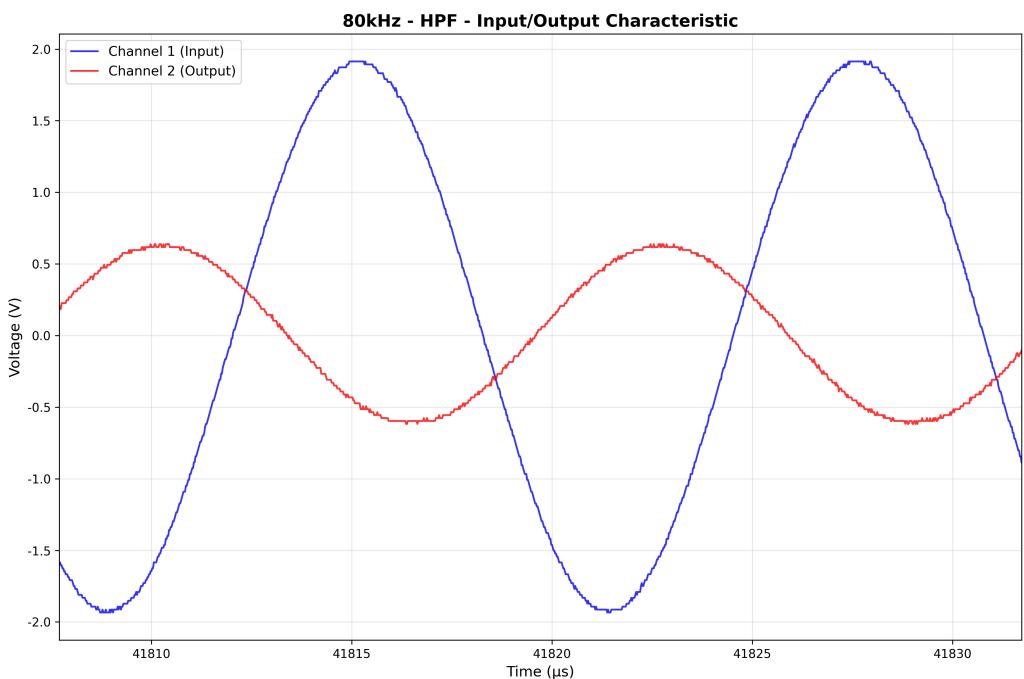


図 22: 80kHz HPF 波形

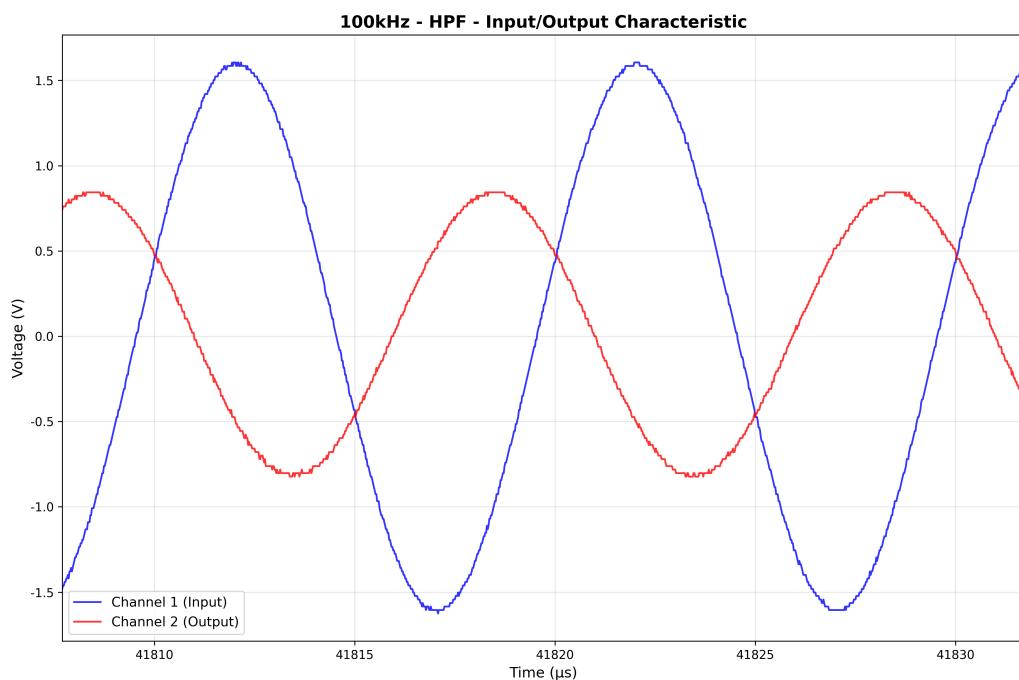


図 23: 100kHz HPF 波形

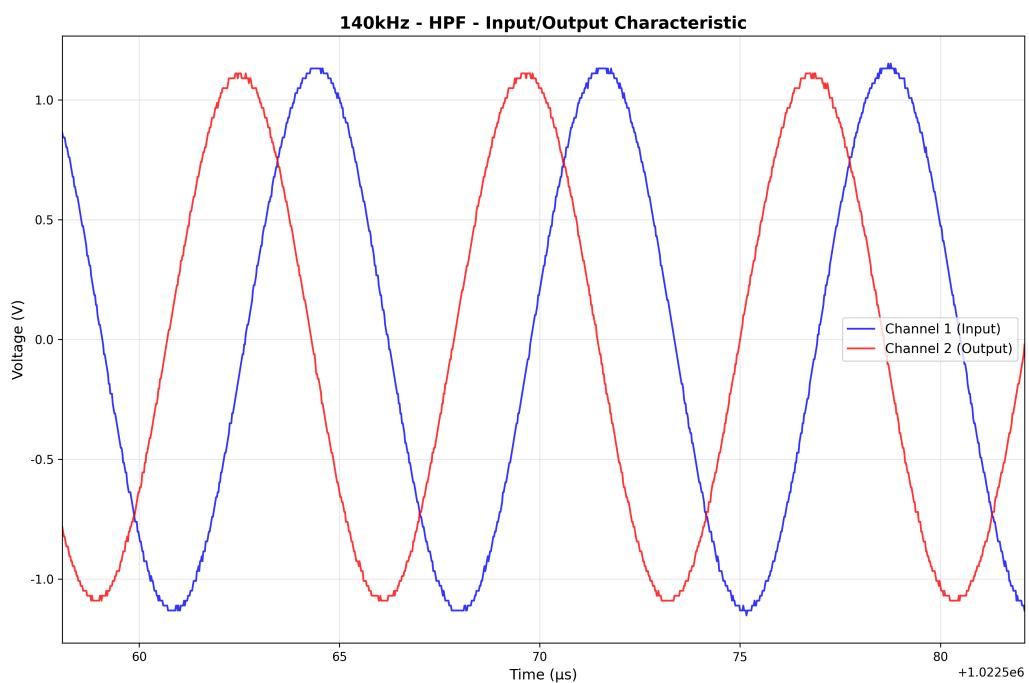


図 24: 140kHz HPF 波形

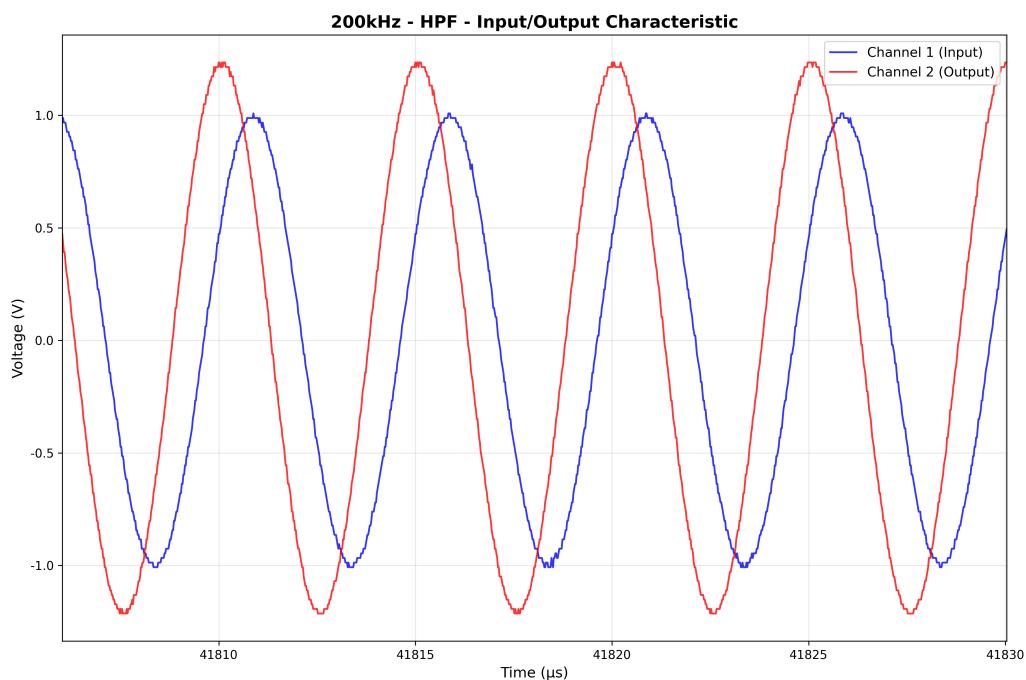


図 25: 200kHz HPF 波形

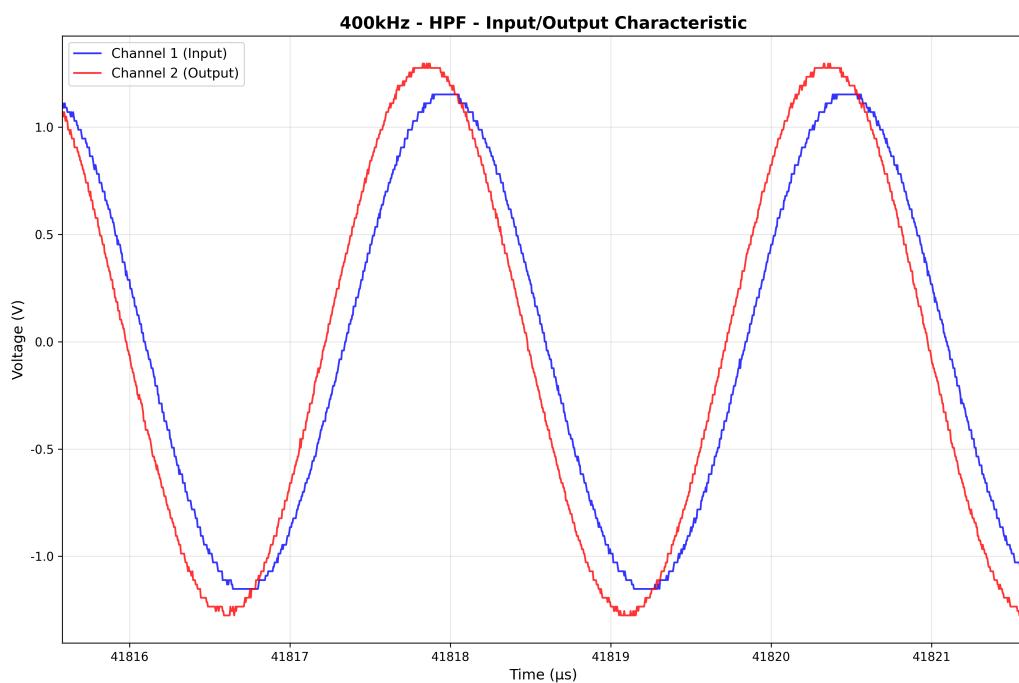


図 26: 400kHz HPF 波形

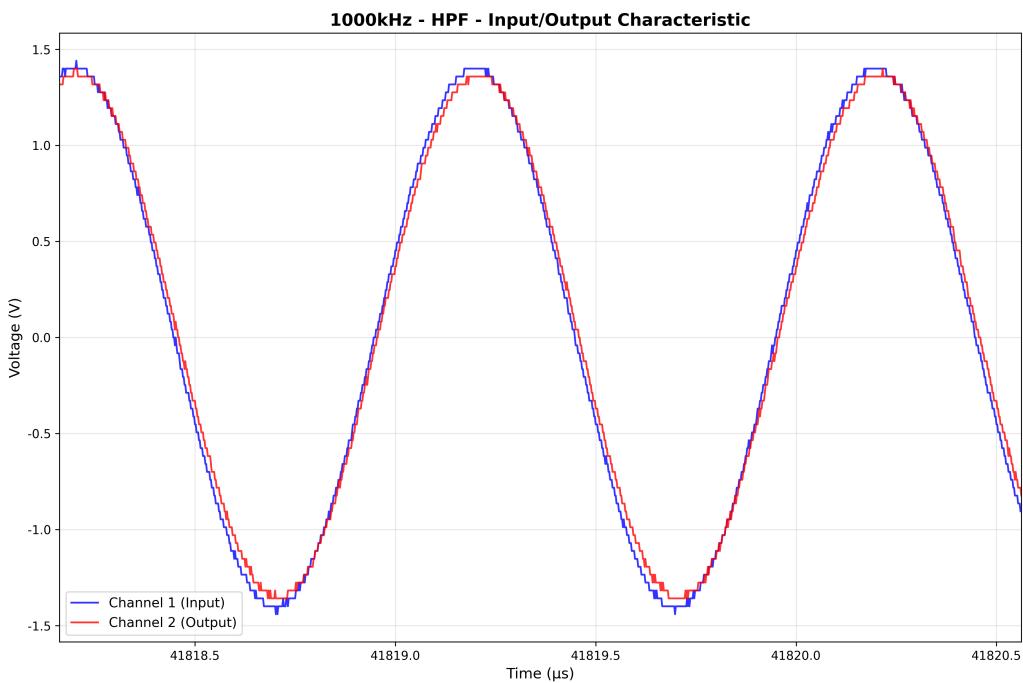


図 27: 1000kHz HPF 波形

図 18 から図 27 より、低周波成分が除去されていることがわかる。

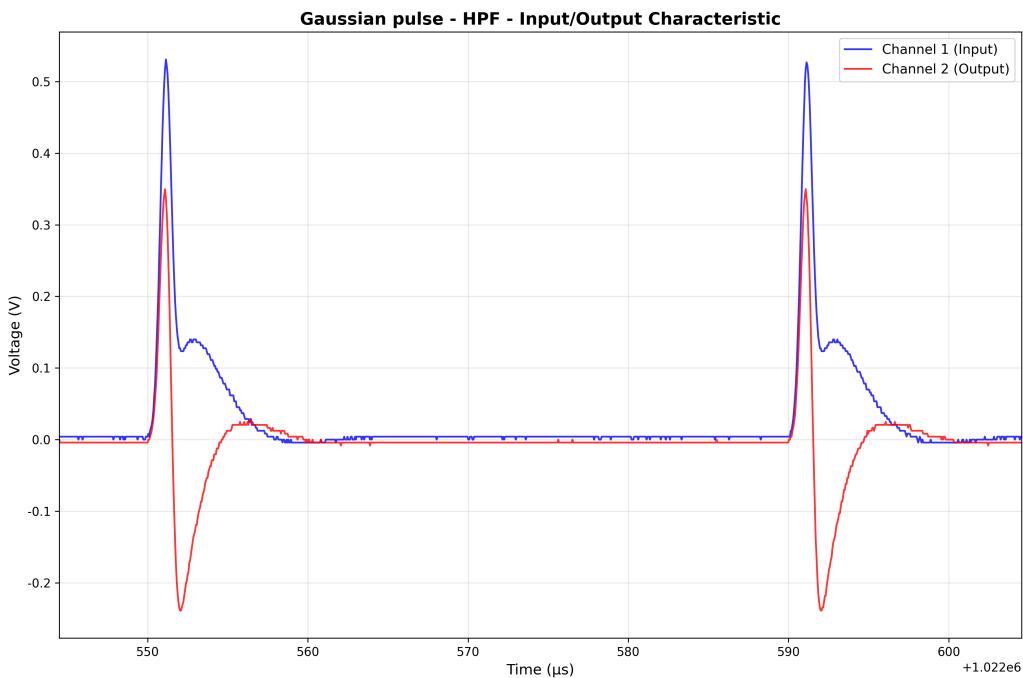


図 28: Gaussian pulse HPF 波形

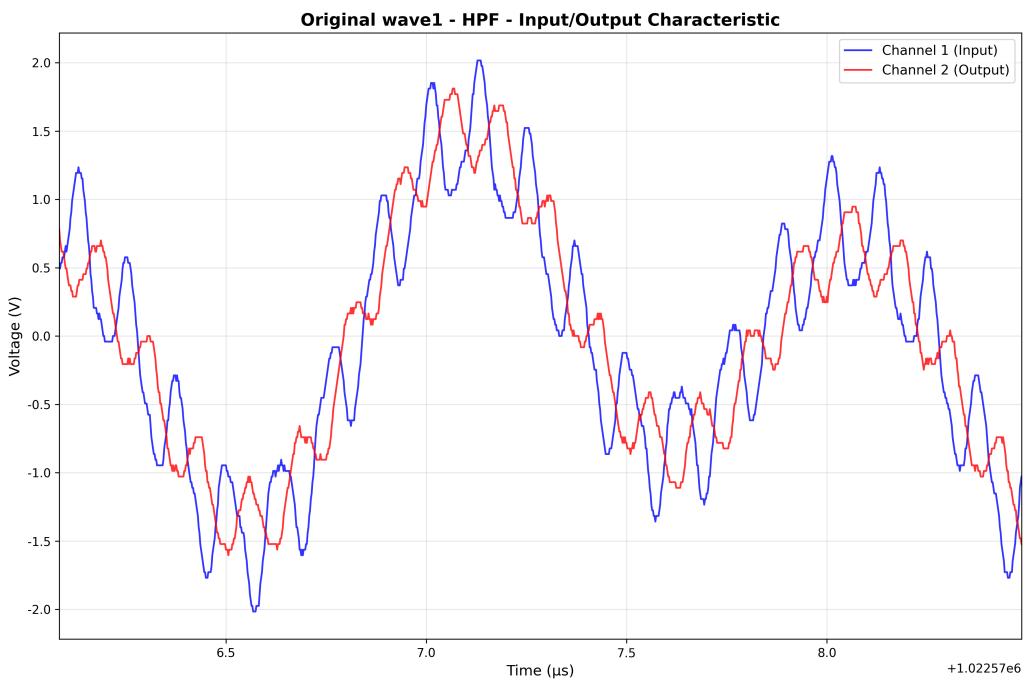


図 29: Original wave1 HPF 波形

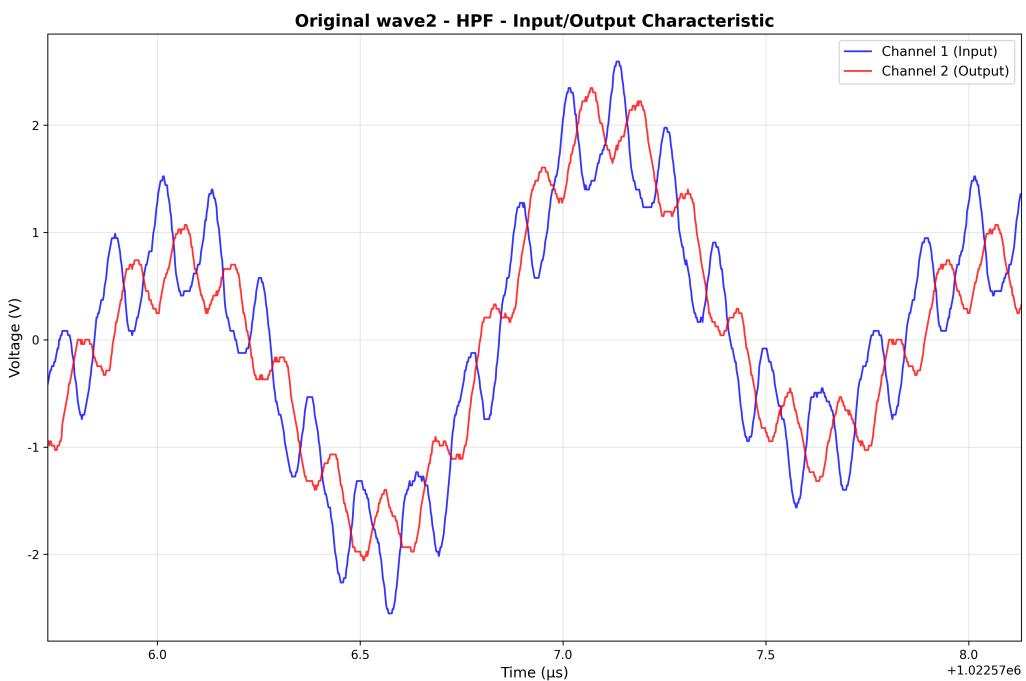


図 30: Original wave2 HPF 波形

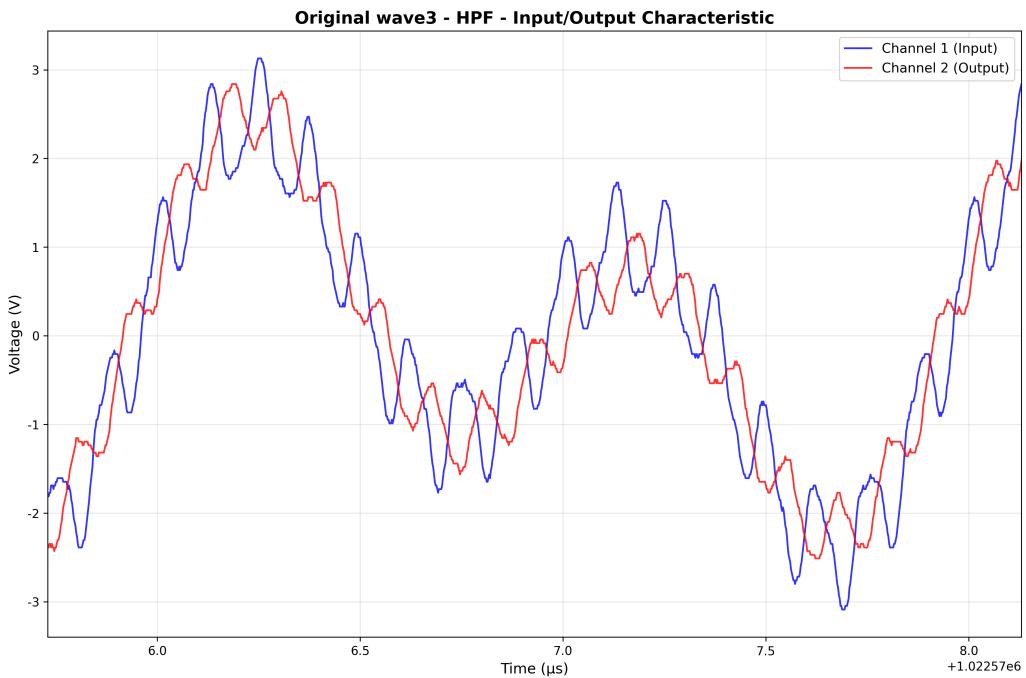


図 31: Original wave3 HPF 波形

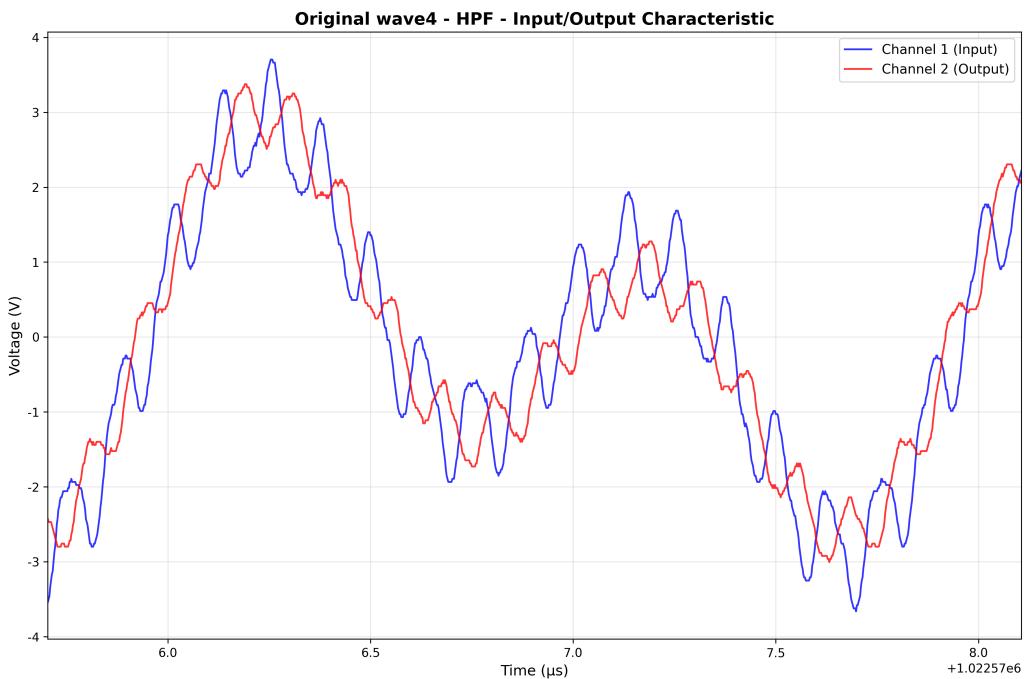


図 32: Original wave4 HPF 波形

図 28 から図 32 までの波形を比較すると、HPF によって低周波成分が除去され、波形が鋭くなっていることがわかる。

4.1.3 BPF

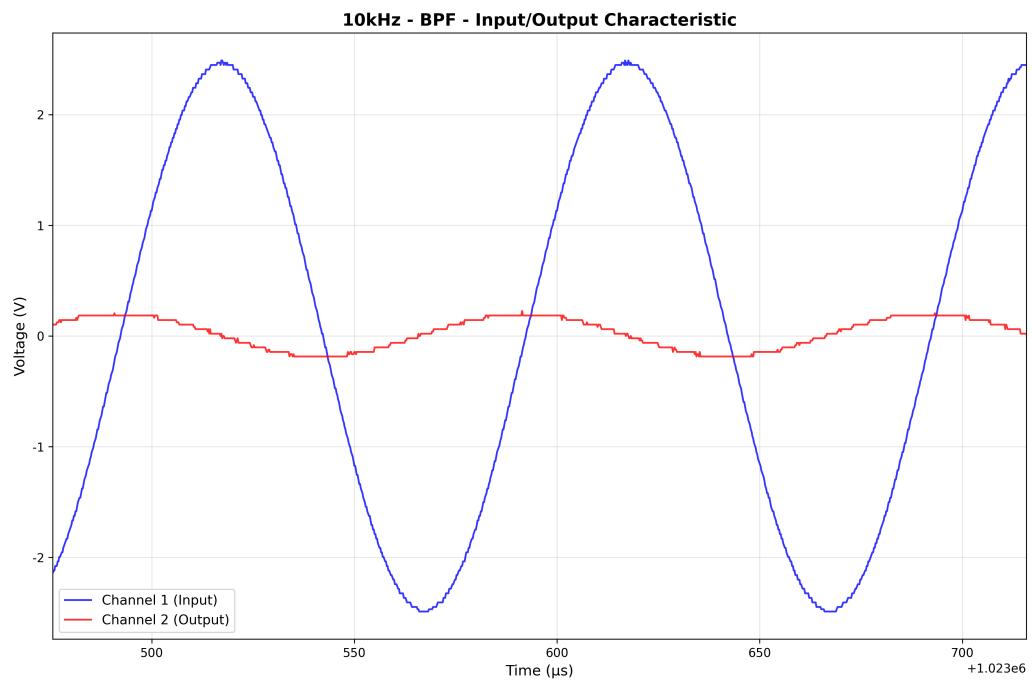


図 33: 10kHz BPF 波形

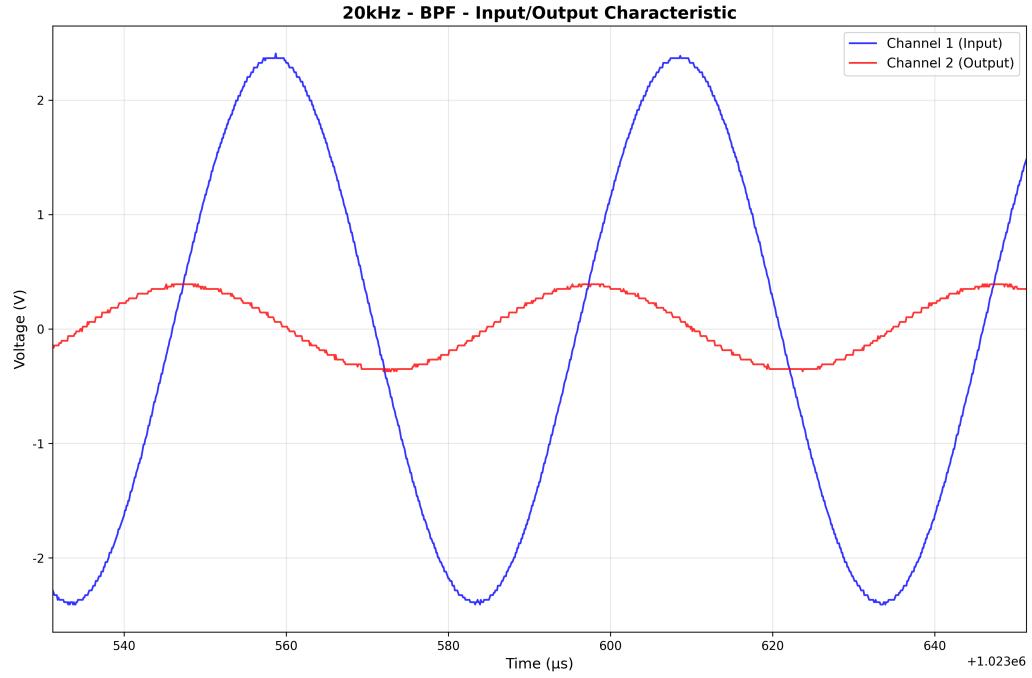


図 34: 20kHz BPF 波形

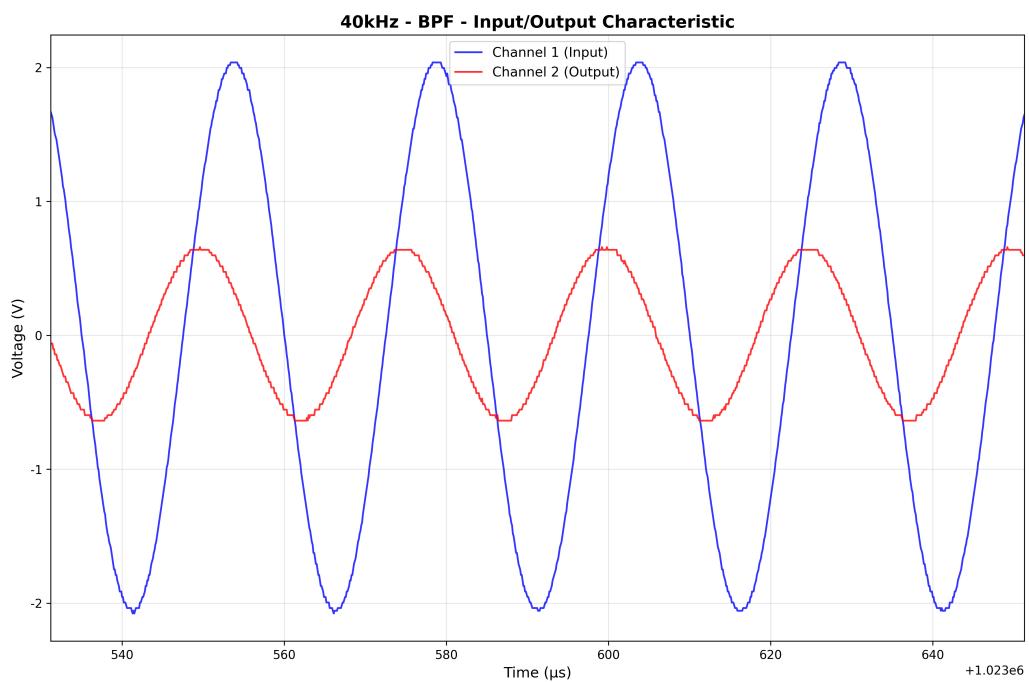


図 35: 40kHz BPF 波形

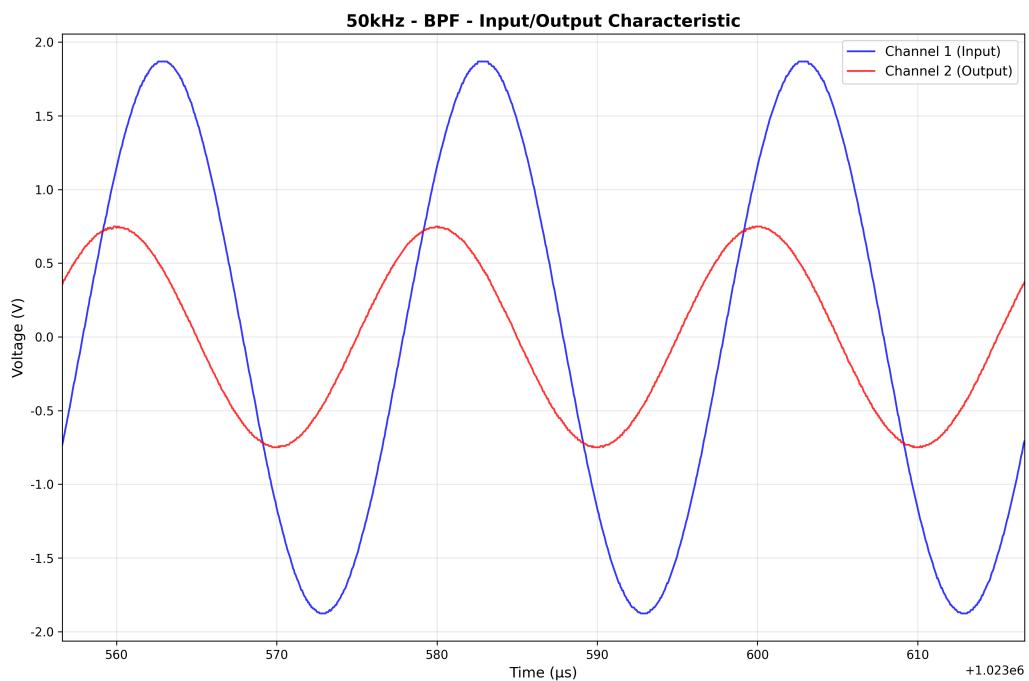


図 36: 50kHz BPF 波形

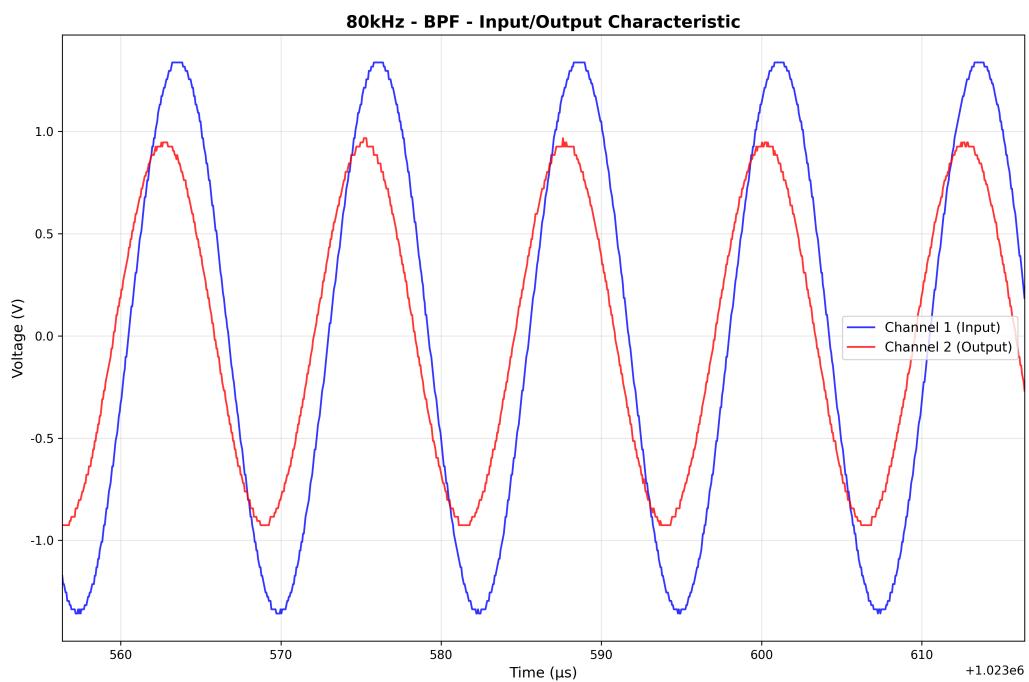


図 37: 80kHz BPF 波形

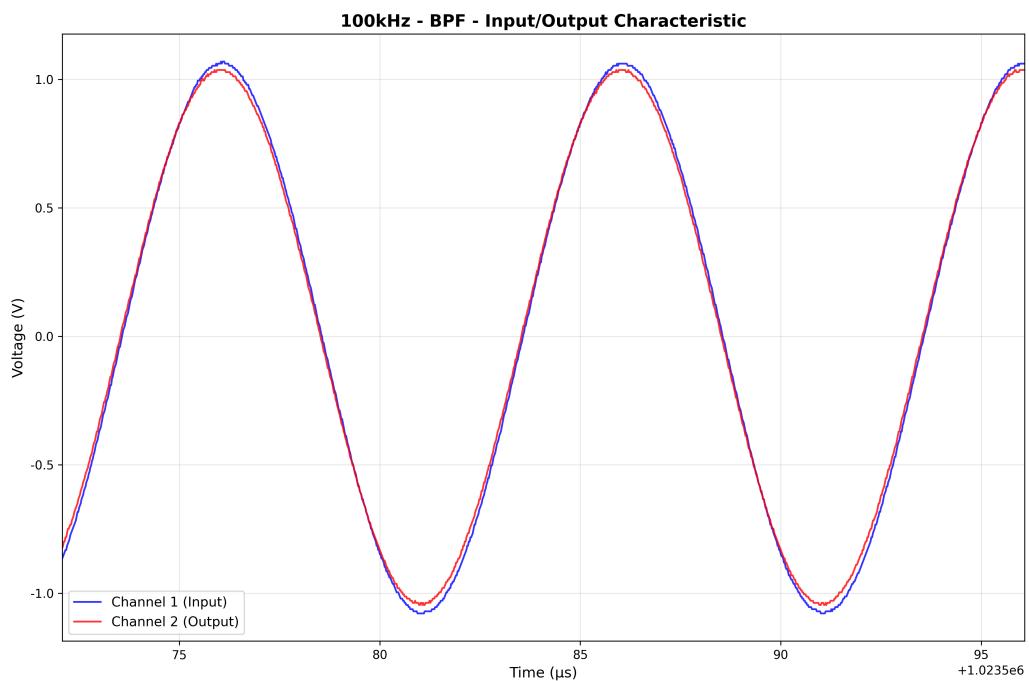


図 38: 100kHz BPF 波形

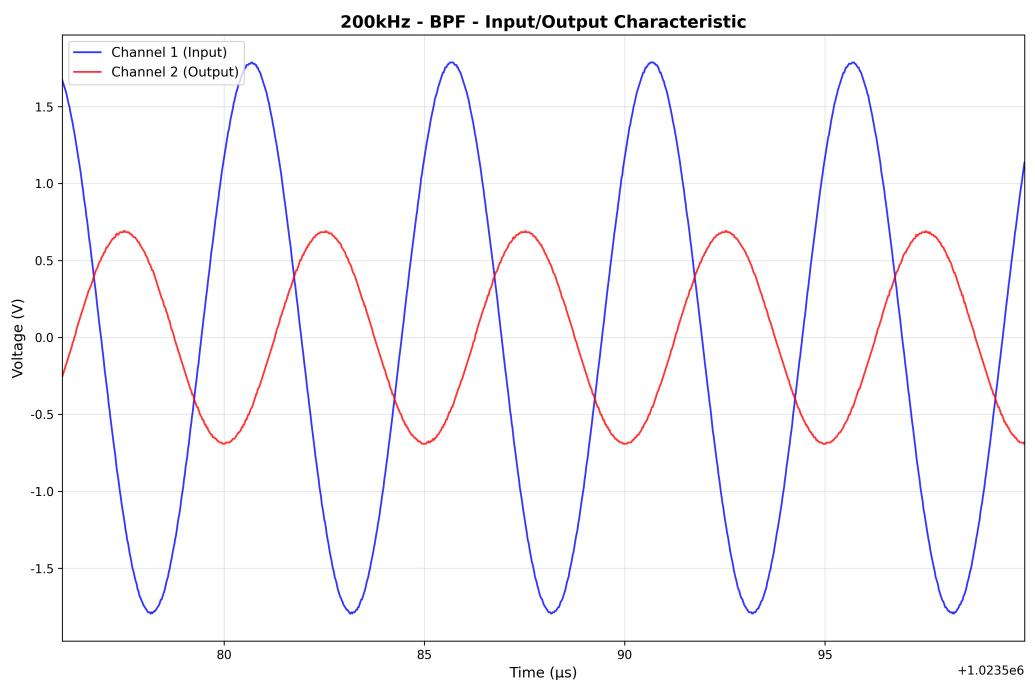


図 39: 200kHz BPF 波形

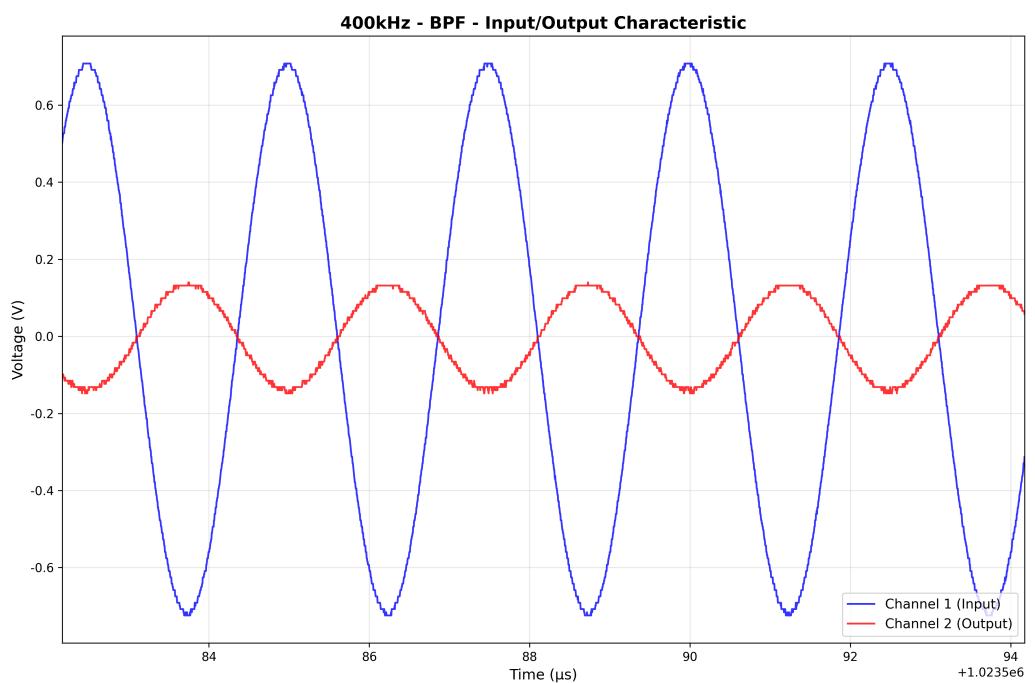


図 40: 400kHz BPF 波形

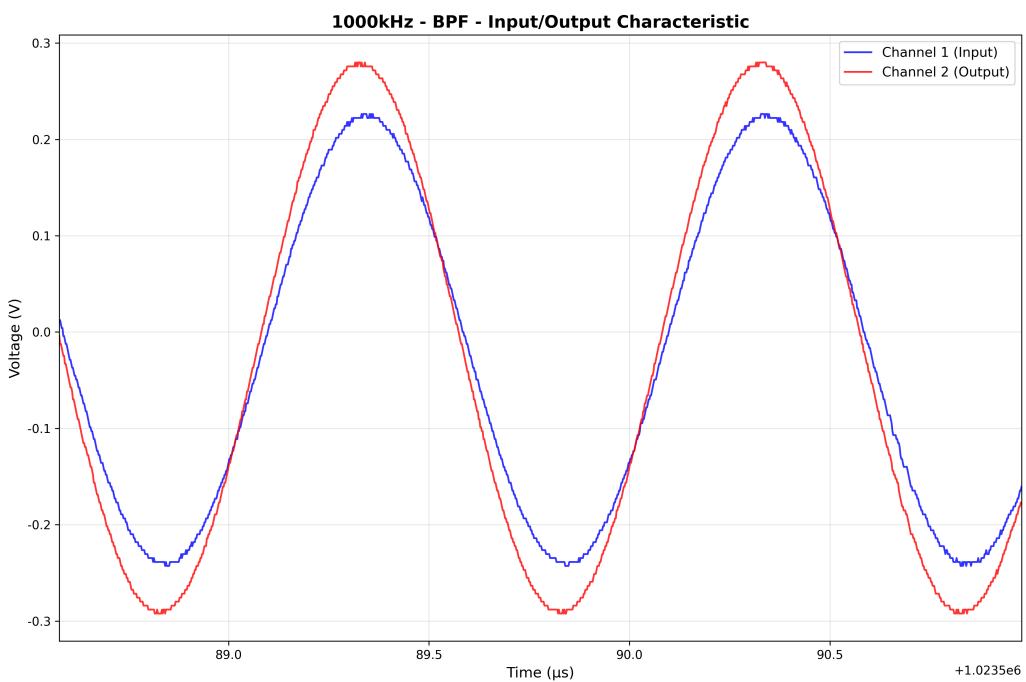


図 41: 1000kHz BPF 波形

図 33 から図 41 より、通過帯域以外の成分が除去されていることがわかる。

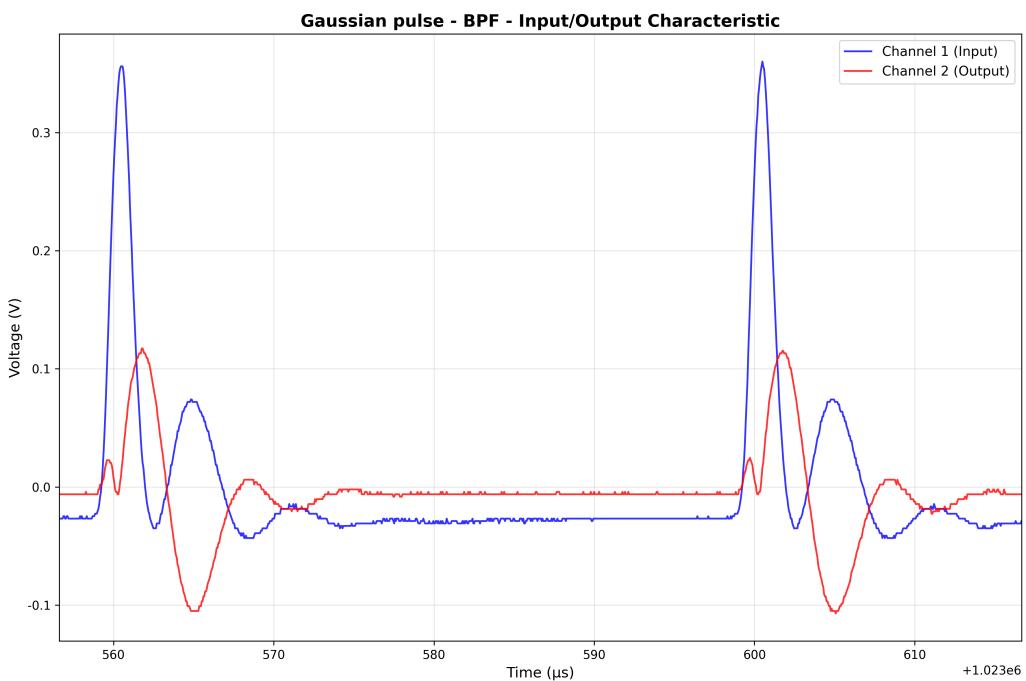


図 42: Gaussian pulse BPF 波形

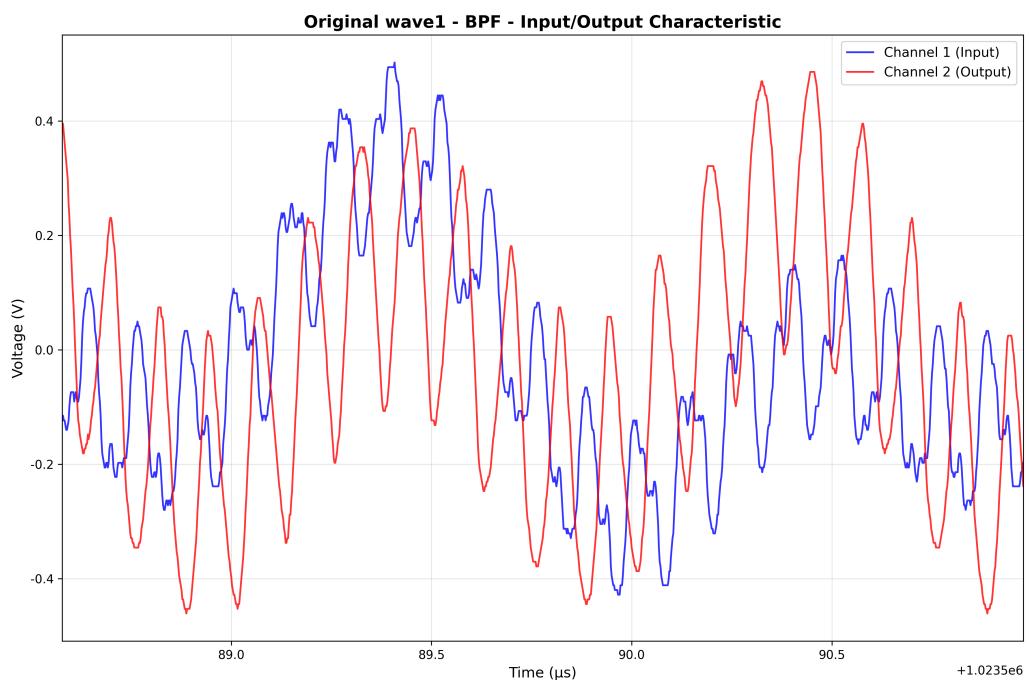


図 43: Original wave1 BPF 波形

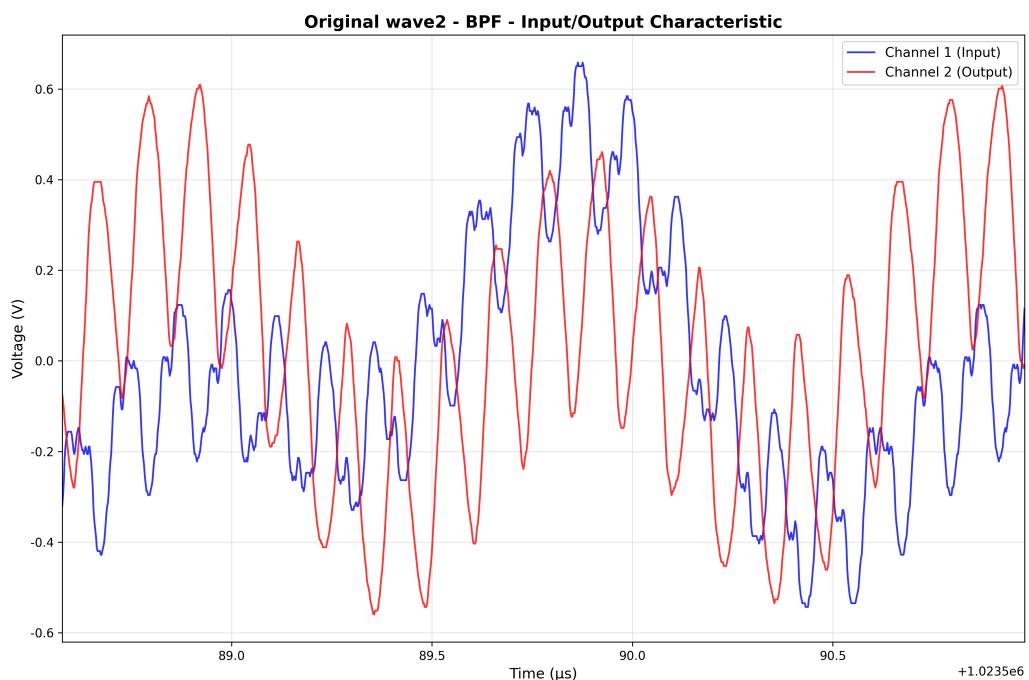


図 44: Original wave2 BPF 波形

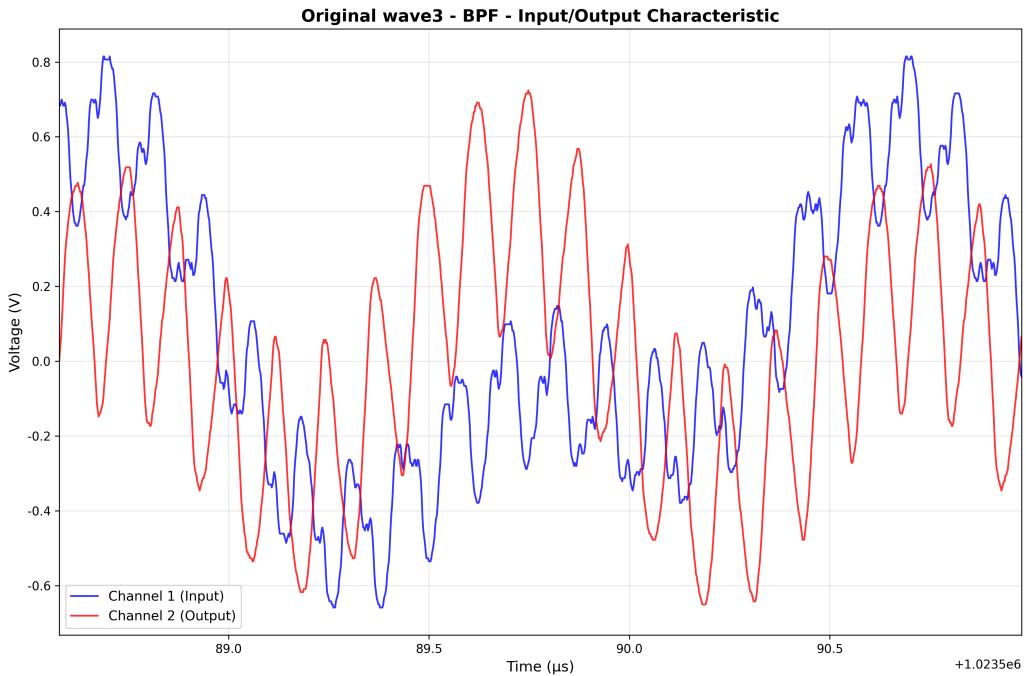


図 45: Original wave3 BPF 波形

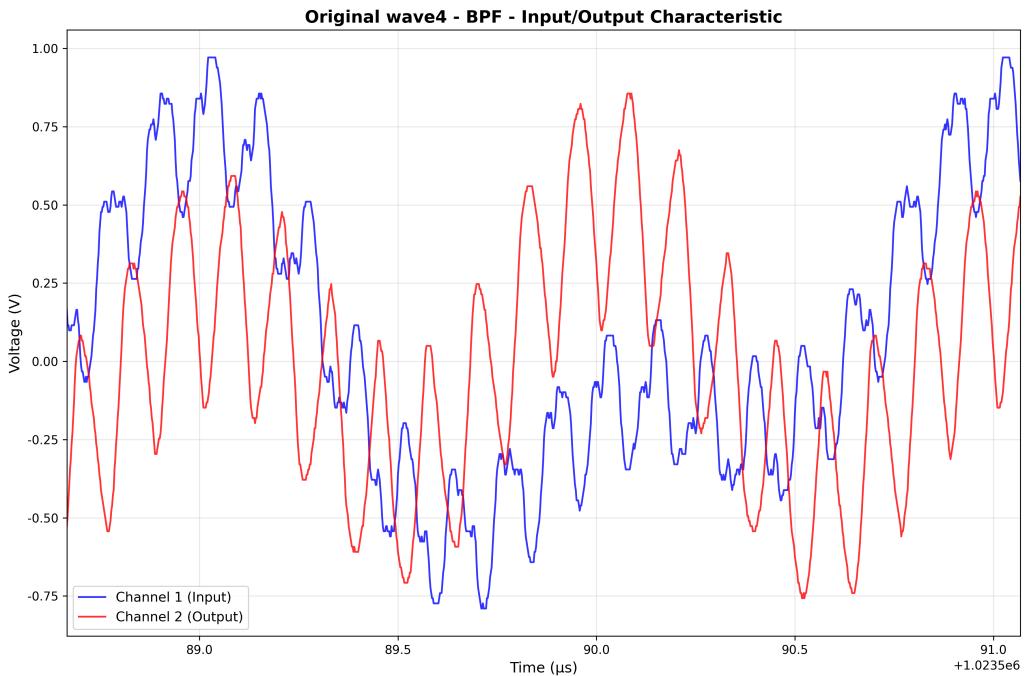


図 46: Original wave4 BPF 波形

図 42 から図 46 までの波形を比較すると、BPF によって特定帯域以外の成分が除去されていることがわかる。

4.1.4 BEF

BEF の入力・出力波形を以下に示す。BEF では、入力信号と出力信号の波形がどのように変化するかを確認した。

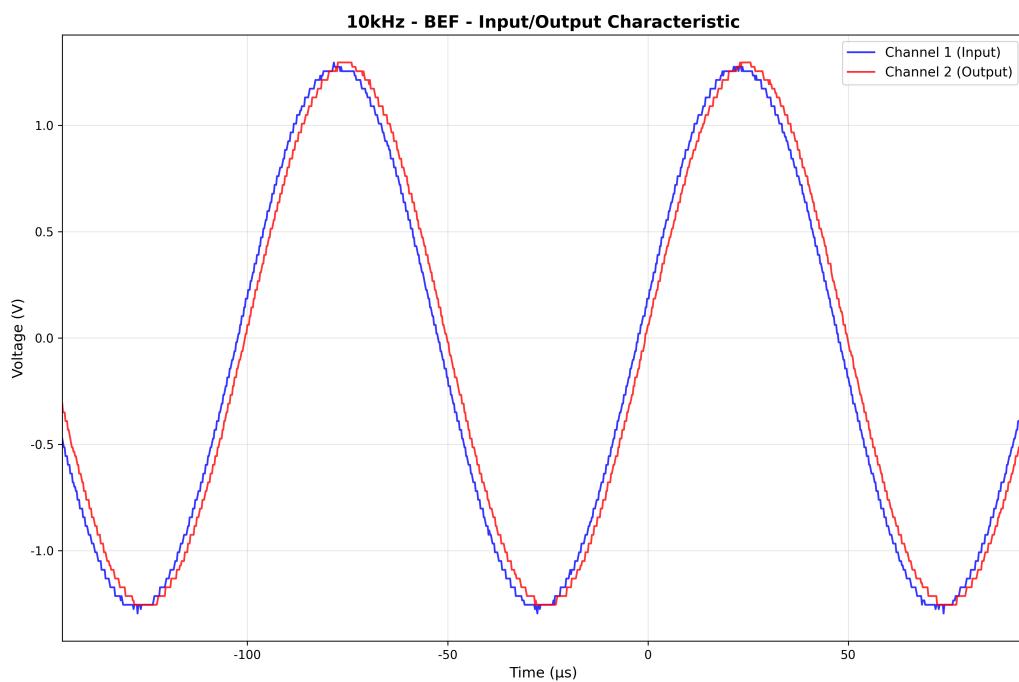


図 47: 10kHz BEF 波形

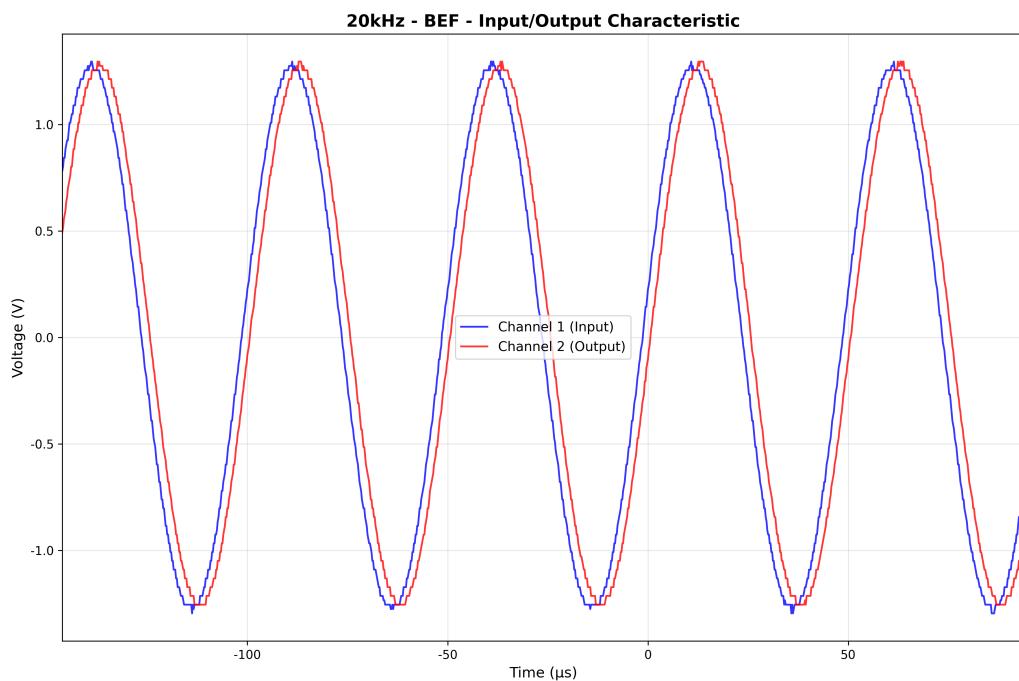


図 48: 20kHz BEF 波形

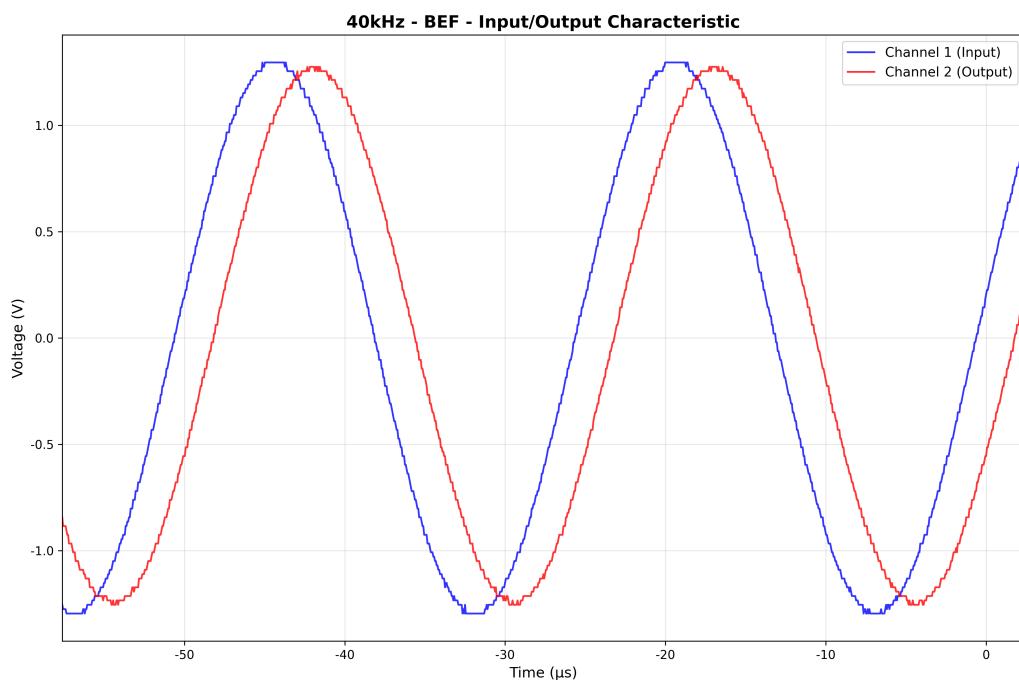


図 49: 40kHz BEF 波形

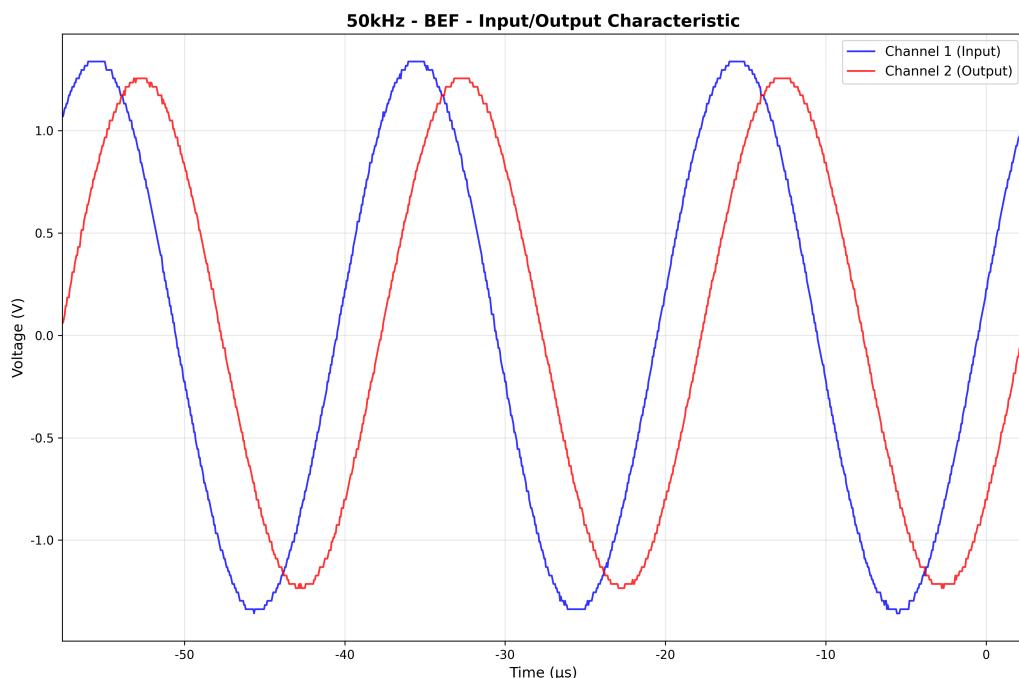


図 50: 50kHz BEF 波形

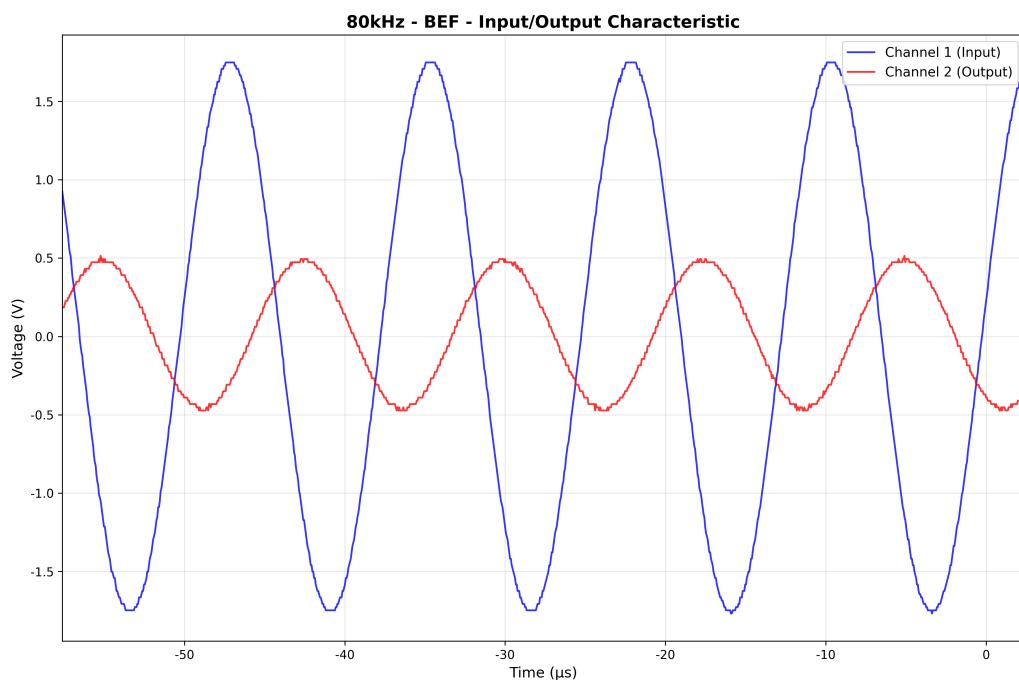


図 51: 80kHz BEF 波形

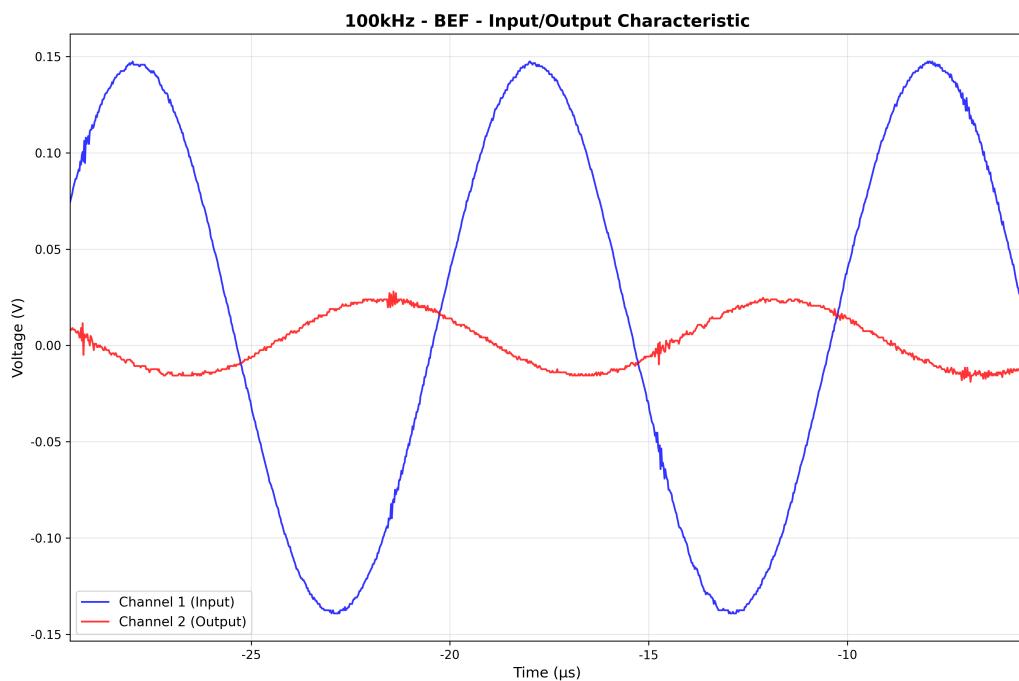


図 52: 100kHz BEF 波形

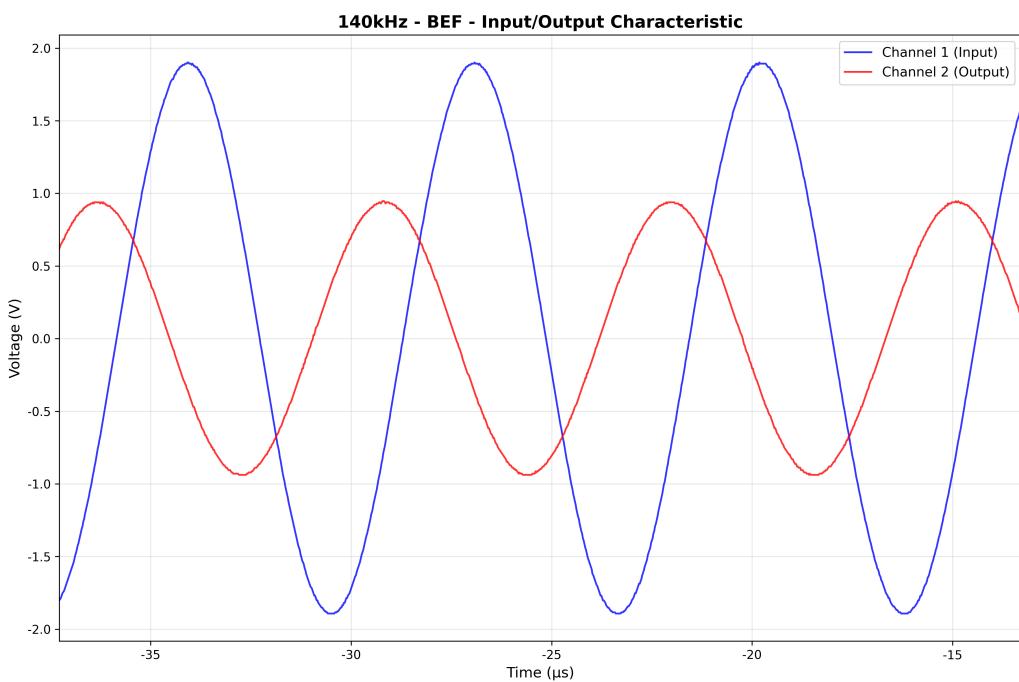


図 53: 140kHz BEF 波形

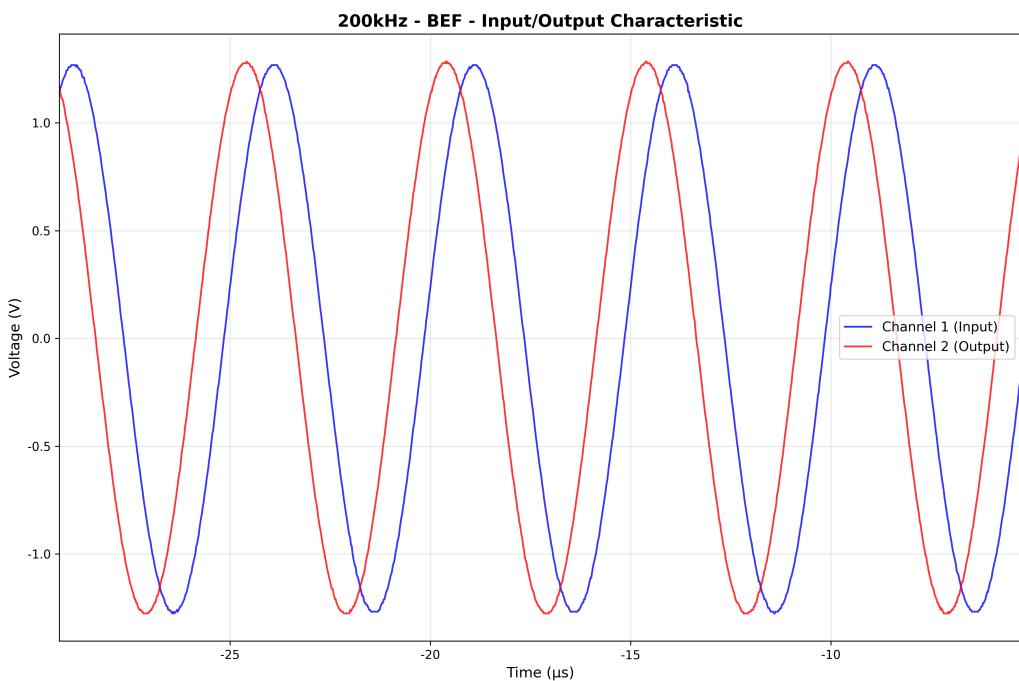


図 54: 200kHz BEF 波形

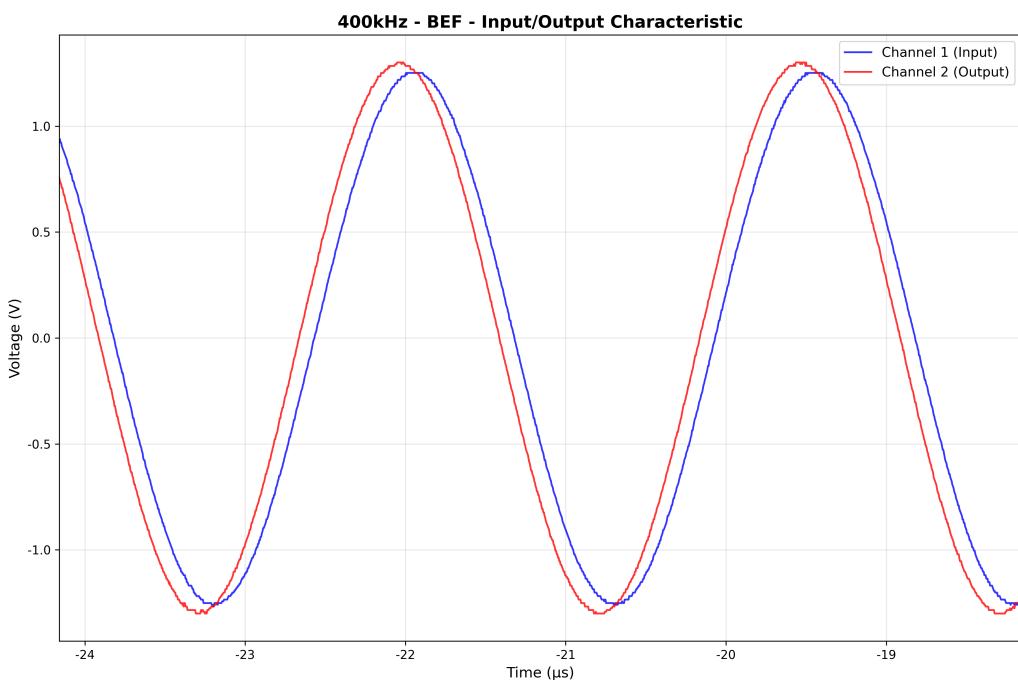


図 55: 400kHz BEF 波形

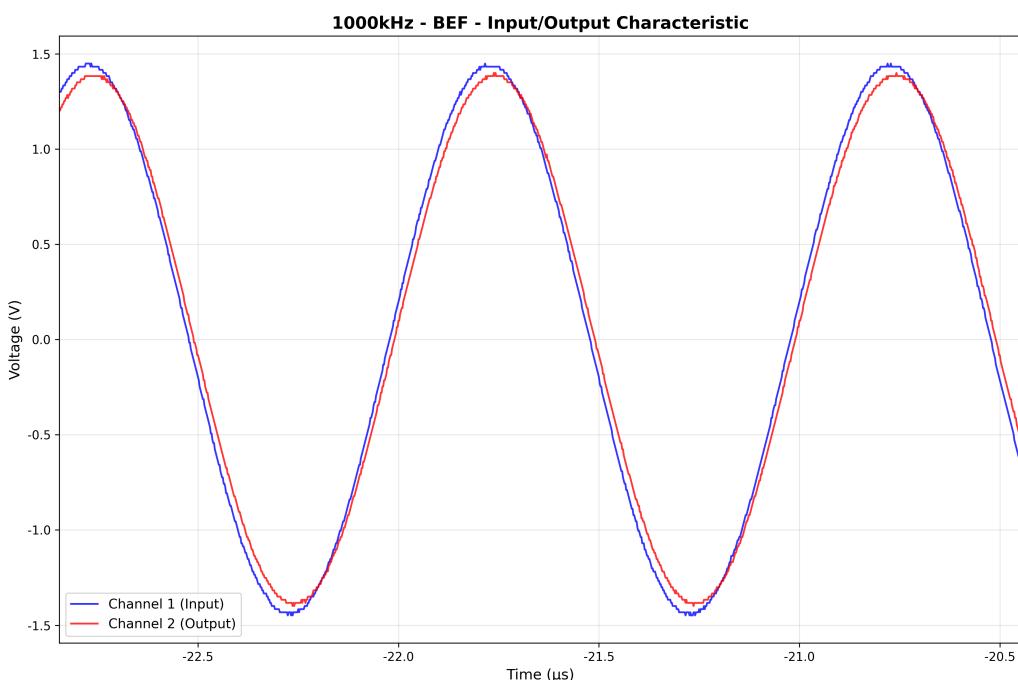


図 56: 1000kHz BEF 波形

図 47 から図 56 より、特定帯域が除去されていることがわかる。

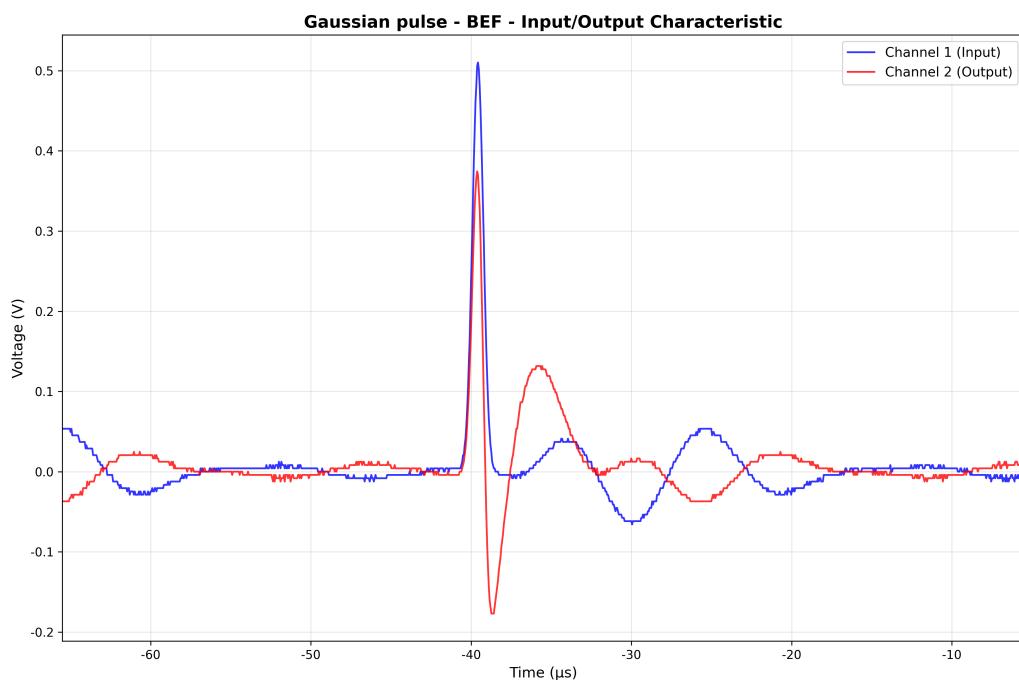


図 57: Gaussian pulse BEF 波形

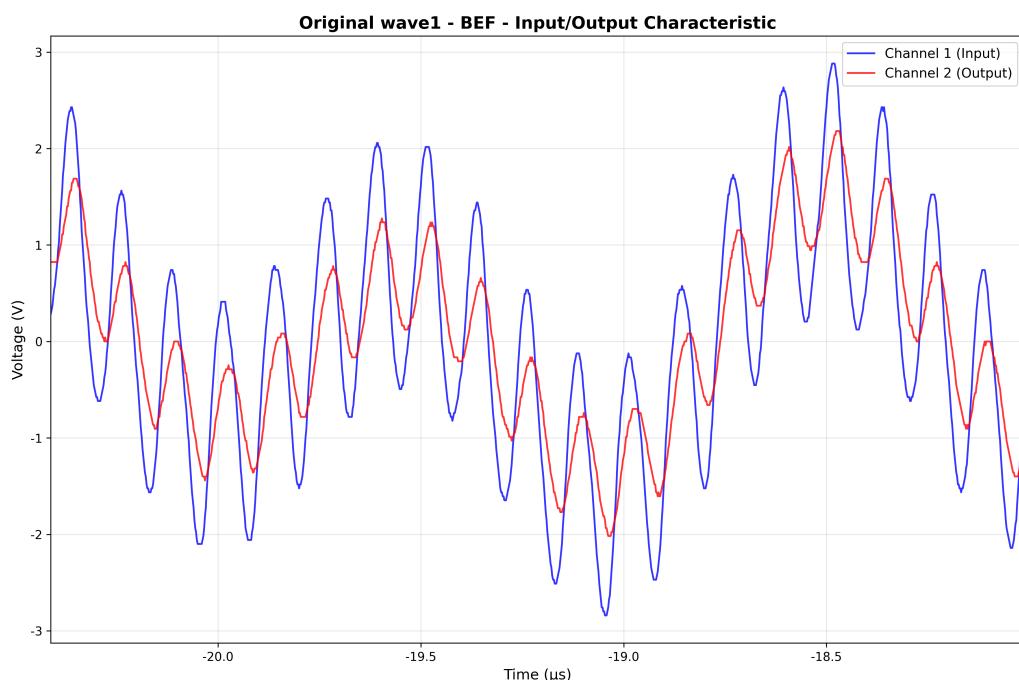


図 58: Original wave1 BEF 波形

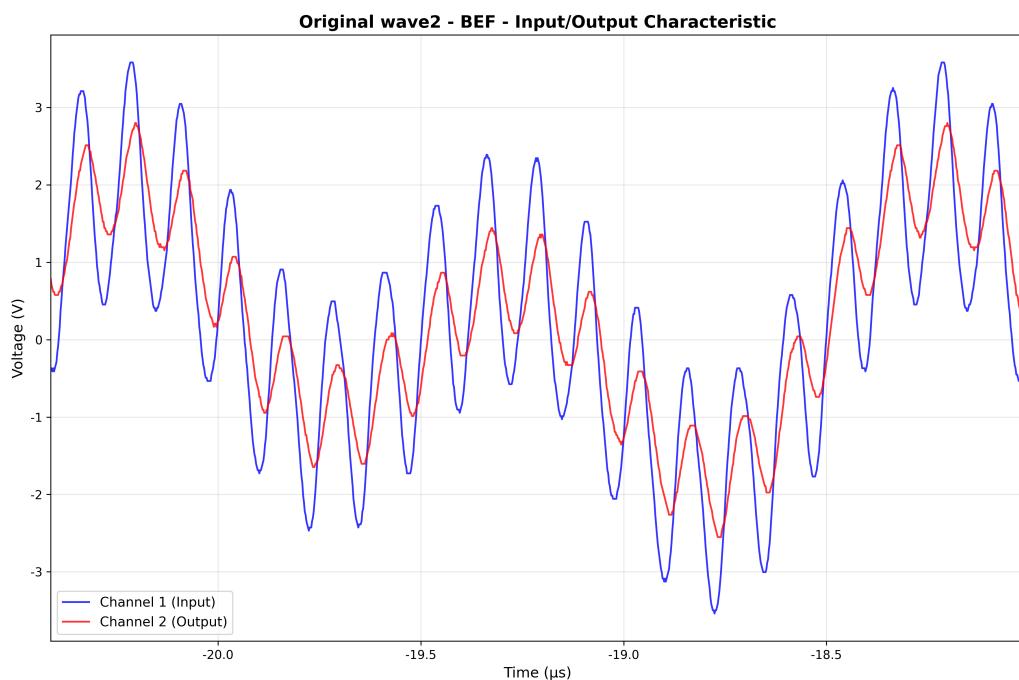


図 59: Original wave2 BEF 波形

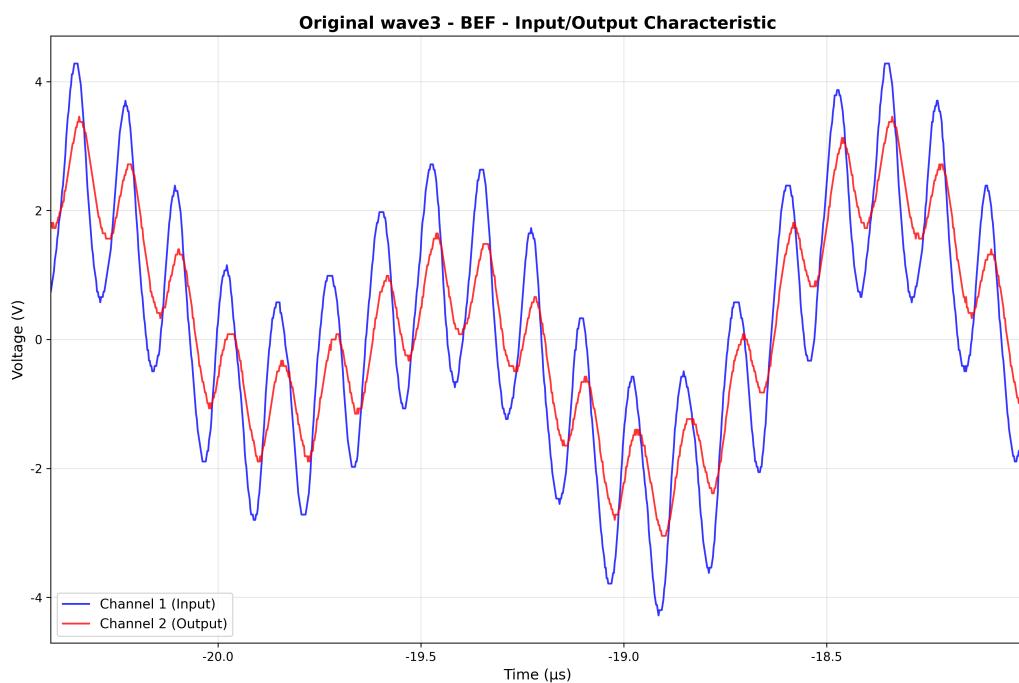


図 60: Original wave3 BEF 波形

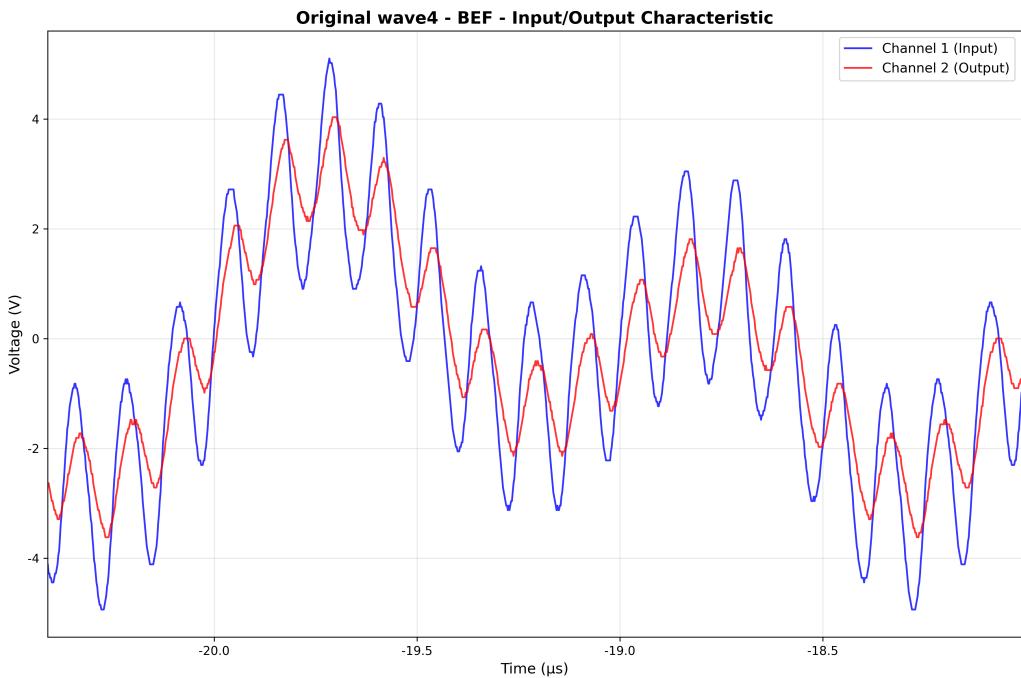


図 61: Original wave4 BEF 波形

図 57 から図 61 までの波形を比較すると、BEF によって特定帯域の成分が除去されていることがわかる。

4.2 周波数特性の測定

NanoVNA を用いて測定した各フィルタの周波数特性を以下に示す。

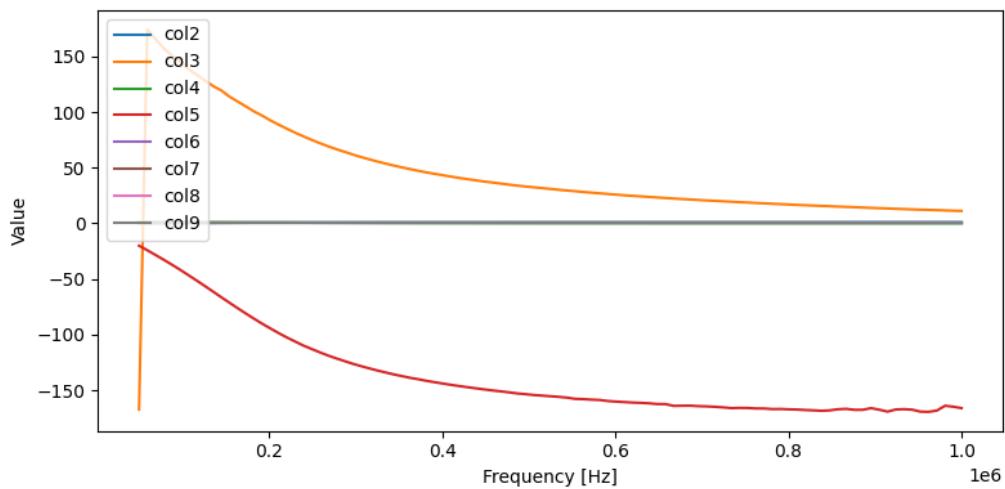


図 62: LPF の周波数特性 (NanoVNA 測定)

図 62 より、LPF の遮断周波数が約 150kHz であること、LPF として機能していることが確認できる。

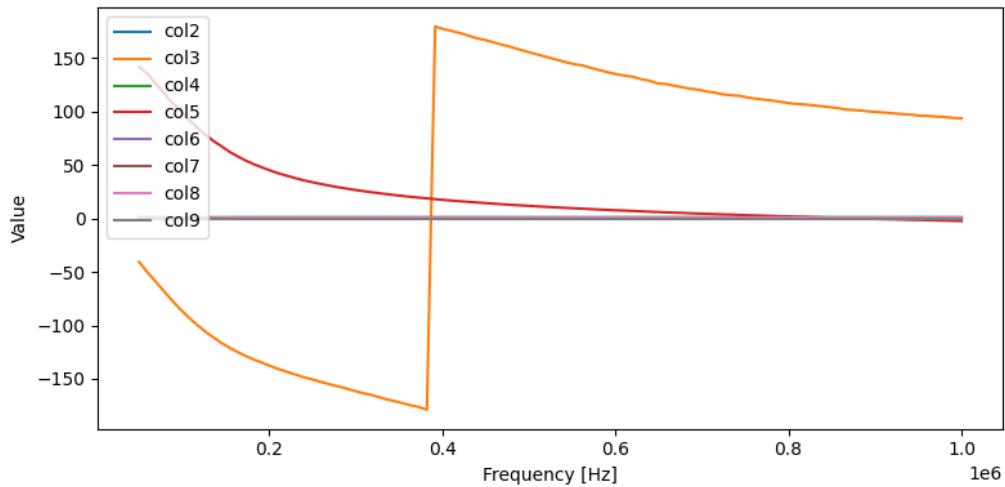


図 63: HPF の周波数特性 (NanoVNA 測定)

図 63 より、HPF の遮断周波数が約 140kHz であること、HPF として機能していることが確認できる。

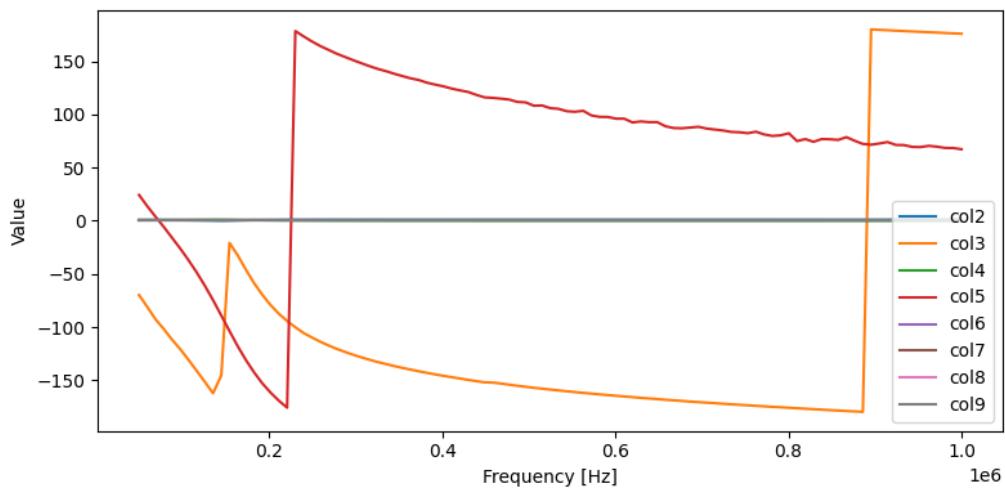


図 64: BPF の周波数特性 (NanoVNA 測定)

図 64 より、BPF の通過帯域が約 50kHz から 200kHz であること、BPF として機能していることが確認できる。

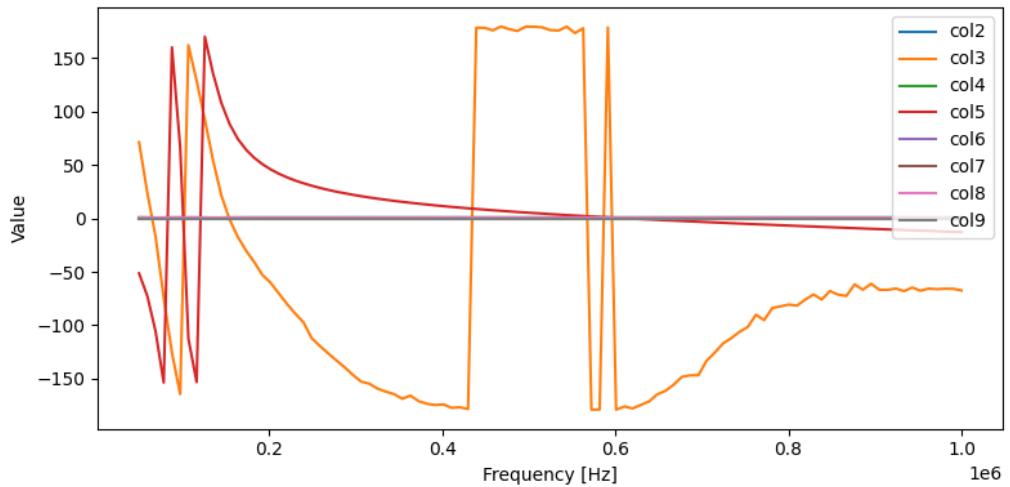


図 65: BEF の周波数特性 (NanoVNA 測定)

図 65 より、BEF の通過帯域が約 100kHz から 140kHz であること、BEF として機能していることが確認できる。

5 考察

5.1 フィルタ (ノイズ除去) の実例を示せ

5.1.1 horlabs 社の製品の BNC 型ローパスフィルターと BNC 型ハイパスフィルター

この 2 つの製品は BNC コネクタを持つパッシブフィルターであり、主にオシロスコープに接続して使用される。

5.1.2 MJCET の研究である BEF フィルタを用いた 60 Hz の電源ノイズ除去

この研究では、BEF フィルタを用いて 60 Hz の電源ノイズを除去する方法が提案されている。特に医療現場での心電図 (ECG) 信号のノイズ除去に焦点を当てており、高品質、低サイズ、低消費電力での設計がされている。

5.2 時間信号の考察

5.2.1 LPF

図 3 から図 12 より、周波数が 150 kHz より高くなると遮断されている。このことから、遮断周波数より高い周波数成分を持つ信号を遮断することが出来ると考えられる。

5.2.2 HPF

図 18 から図 27 より、周波数が 140 kHz より低くなると遮断されている。このことから、遮断周波数より低い周波数成分を持つ信号を遮断することが出来ると考えられる。

5.2.3 BPF

図 33 から図 41 より、周波数が 50 kHz より低くなると遮断されている。また、周波数が 200 kHz より高くなると遮断されている。このことから、BPF は特定の周波数帯域を通過させることができると考えられる。

5.2.4 BEF

図 47 から図 56 より、周波数が 100 kHz より低くなると遮断されている。また、周波数が 140 kHz より高くなると遮断されている。このことから、BEF は特定の周波数帯域を除去することができると考えられる。

5.3 周波数特性の考察

5.4 時間信号と周波数特性の比較

5.5 任意波形の考察

5.6 ガウシアンパルスを用いる理由

本実験でガウシアンパルスを用いる理由として、その生成の容易さ、数学的な扱いやすさ、そして理想的な形状であることが挙げられる。ガウシアンパルスは比較的シンプルな回路や機器で生成可能であり、実験系の構築を容易にする。また、その形状はガウス関数で表され、微分や積分が容易であるため、データ解析や理論モデルとの比較をシンプルに行える。さらに、パルスがなめらかでオーバーシュートやリングングが発生しないため、信号の歪みを最小限に抑えたい精密な実験に適している。以上の理由から、本実験ではガウシアンパルスを用いて時間信号の測定を行ったと考えられる

5.7 S パラメータの調査

5.8 動画とフーリエ級数展開の関係

動画¹とフーリエ級数展開の関係を説明するにあたって、まず離散フーリエ変換と図の描画について説明する。描画したい図を点の集合とし、それぞれの点を複素平面的に考え $x+jy$ の形にする。それらの点は連続しているため x 座標に関する式と y 座標に関する式の 2 つが立式できる。これらの式をフーリエ係数に変換するのが離散フーリエ変換である。また、図の再構成はこうして得られたフーリエ係数を逆離散フーリエ変換することで可能である。そうすることでフーリエ係数で定義された正弦波と余弦波を合成した一つの式を導ける。これらの

5.9 独自考察

6 結論

か

¹<https://www.nicovideo.jp/watch/sm32671229>

7 謝辞

き

参考文献

- [1] Maliha Naaz, Mohammed Arifuddin Sohel, Kaleem Fatima, M.A. Raheem：低消費電力ノックフィルタの生体医療応用への設計, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, Vol.4, No.12, pp.75–79 (2016). DOI: 10.17148/IJIREEICE.2016.41215