

2018/12/17 演算増幅器とアクティブフィルタ

目的

演算増幅器(Operational Amplifier, 以下オペアンプという)の動作原理を、基本回路の特性を測定することで理解するとともに、アクティブフィルタへの応用例を学ぶ。

実験

- オペアンプの基本回路(反転増幅回路, 非反転増幅回路, 積分回路)
- アクティブフィルタ

使用機器/準備するもの

- オペアンプ実験装置
- 2現象オシロスコープ
- デジタル電圧計
- 直流電源装置
- アクティブフィルタ学習装置
- 2チャンネルエレクトリック電圧計
- 発振器(ファンクションジェネレーター)
- 片対数グラフ用紙

実験方法

オペアンプの基本回路

反転増幅回路

1. 実験書の図3の反転増幅回路を、 $R_S = R_F = 10k\Omega$ (抵抗の値は4桁程度に詳しく測定し、報告書にて報告すること。以下同じ)として構成せよ。
2. V_1 を $-10V + 10V$ (電源電圧の範囲内)で $2V$ 毎に変化させ、 V_2 と v_S を測定せよ。
3. 次に、 R_F を変化させて、 V_2 の変化を測定せよ。ただし、 V_1 は $1V$ 一定にする。

抵抗は $9.88k\Omega$ と $9.86k\Omega$ であった

反転増幅回路の入出力結果を表1に整理し、示す。

表1 反転増幅器の入出力測定結果

入力電圧 V_1 [V]	出力電圧 V_2 [V]	v_s [mV]	倍率 $\frac{V_2}{V_1}$
-10	10.16	2.1	-1.016
-8	8.15	2	-1.019
-6	6.01	2	-1.00167
-4	-4.01	2.1	1.025
-2	-2	2.1	1
0	-1.1	2	0
2	-2.1	2.1	-1.05
4	-4.02	2.1	-1.005
6	-6.02	2.2	-1.003333
8	-8.98	2.2	-1.1225
10	-10	2.2	-1

グラフを図1に示す。

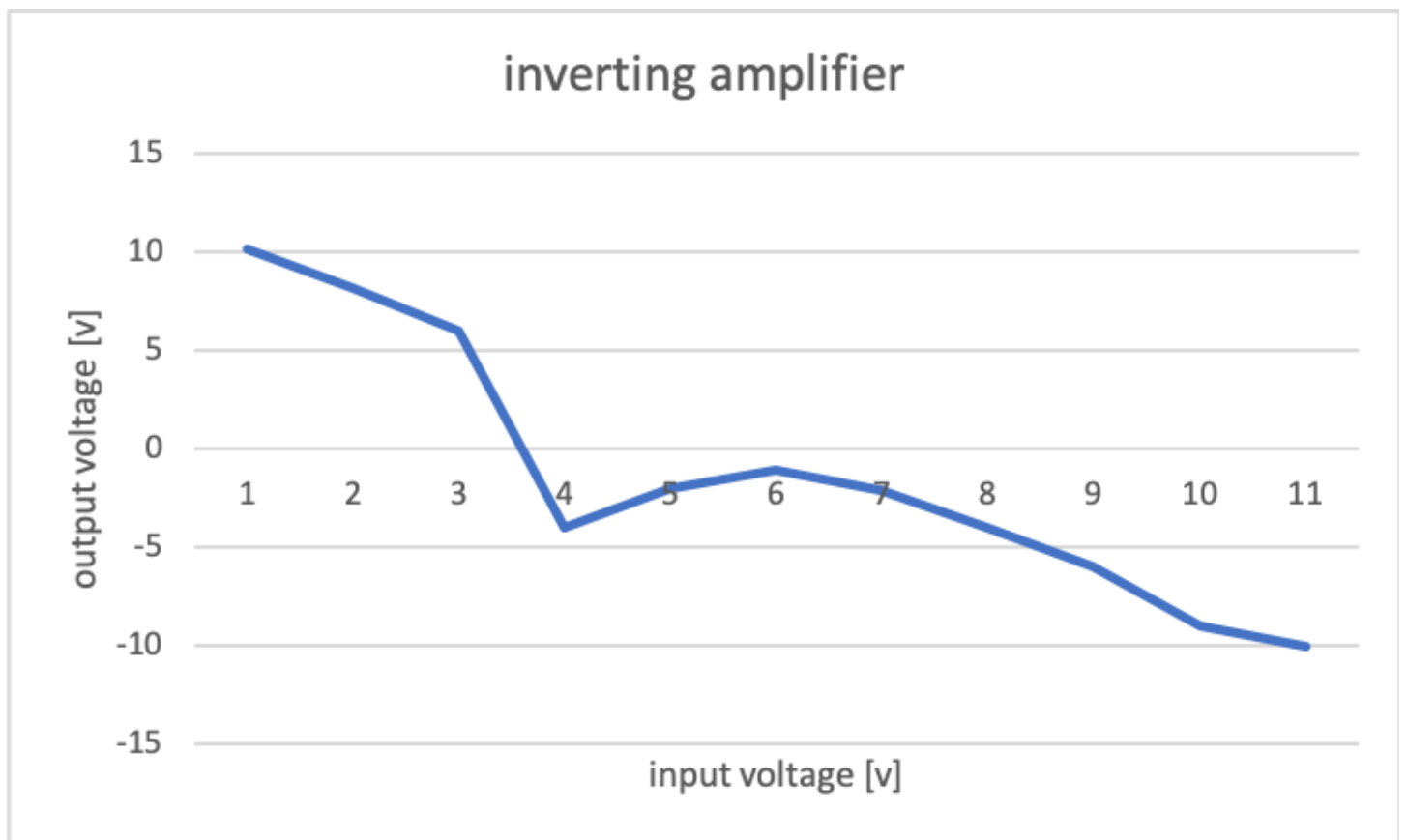


図1 反転増幅器の入出力特性

また、(3)の結果を表2に示す。

表2 (3)の結果

抵抗 $R_F[\Omega]$	出力電圧[V]	倍率 $\frac{V_2}{V_1}$
5k	-0.503	-0.503
10k	-1.018	-1.018
30k	-3.06	-3.06

非反転増幅器

- 実験書の図4の非反転増幅器を、 $R_S = R_F = 10k\Omega$ として構成せよ。
- V_1 を $-10V + 10V$ (電源電圧の範囲内)で $2V$ 毎に変化させ、 V_2 と v_s を測定せよ。
- 次に、 R_F を変化させて、 V_2 の変化を測定せよ。ただし、 V_1 は $1V$ 一定にする。

非反転増幅回路の入出力結果を表3に整理し示す。

表3 非反転増幅器の入出力測定結果

入力電圧 $V_1[V]$	出力電圧 $V_2[V]$	$v_s[mV]$	倍率 $\frac{V_2}{V_1}$
-10	-13.48	-3500	1.348
-8	-13.49	-1355	1.69
-6	-12.01	0.13	2.001
-4	-8.1	1.2	2
-2	-4.07	1.1	2.035
0	0.029	1.1	0
2	4.13	1	2.065
4	8.11	1.8	2.0275
6	12.72	1.5	2.12
8	14.96	65.5	1.87
10	15.95	2206	1.595

グラフを図2に示す。

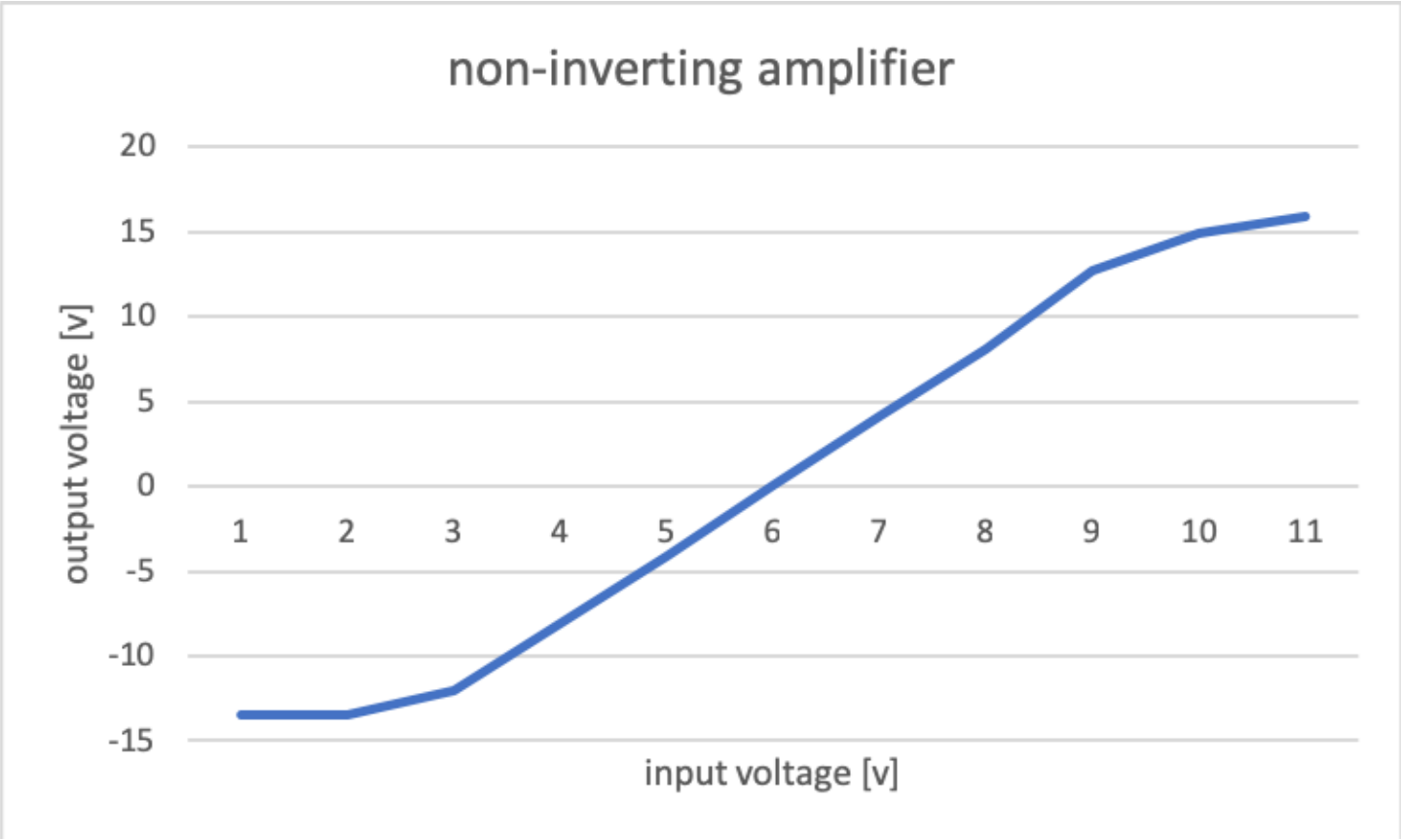


図1 非反転増幅回路の入出力特性

(3)の結果を表4に示す。

表4 (3)の結果

抵抗 R_F [Ω]	出力電圧[V]	倍率 $\frac{V_2}{V_1}$
5k	1.583	1.583
10k	2.128	2.128
30k	4.23	4.23

積分器

- 1. 実験書の図6の積分器を構成する。

使用する値は $R_S = 10k\Omega, C_F = 0.022\mu F$ である。
テスターで測ると、 $R_S = 9.86k\Omega, C_F = 21.7\mu F$ であった。

オシロスコープのグラフを図3に示す。

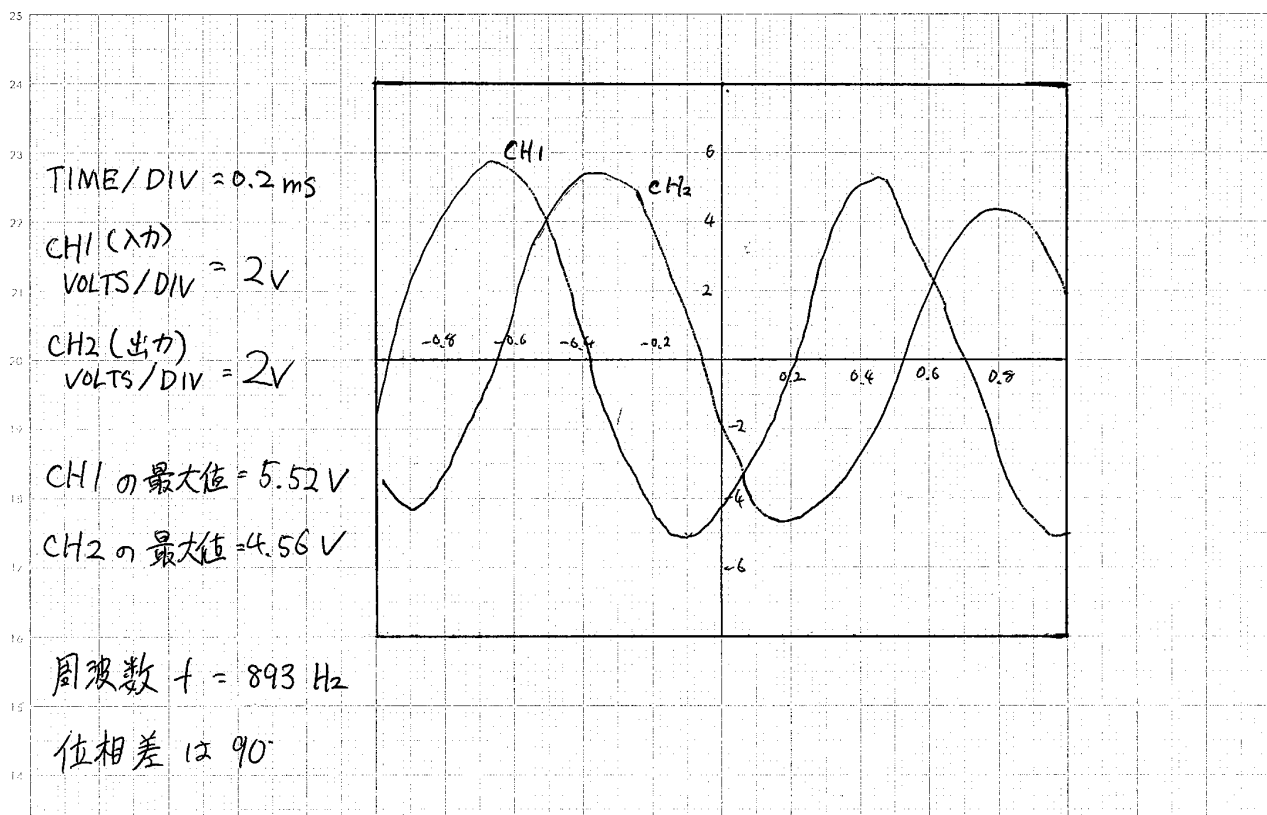


図3 オシロスコープのグラフ

アクティブフィルタ

1. 実験書図8のローパスフィルタを次の値で構成せよ。抵抗値、容量値はテスターで実際に測定し、報告書にて報告すること。

$$C_1 = 1000 \text{ pF}, R_1 = 16 \text{ k}\Omega$$

今回使用したコンデンサは 1560 pF 、抵抗器は $15.70 \text{ k}\Omega$ であった。

増幅率は

$$G_V = 20 \log \frac{\text{出力電圧}}{\text{入力電圧}}$$

で求める。

増幅率測定結果を表4に示す。

表4 増幅率測定結果

入力周波数Hz	入力電圧mv	出力電圧mv	増幅率dB
100Hz	1000mv	1000mv	0dB

入力周波数Hz	入力電圧mv	出力電圧mv	増幅率dB
500Hz	1000mV	1000mV	0dB
700Hz	1000mV	1000mV	0dB
1000Hz	1000mV	1000mV	0dB
2000Hz	1000mV	980mV	-0.1755dB
3000Hz	1000mV	955mV	-0.3993dB
4000Hz	1000mV	920mV	-0.7242dB
5000Hz	1000mV	880mV	-1.1103dB
6000Hz	1000mV	840mV	-1.5144dB
7000Hz	1000mV	800mV	-1.9382dB
8000Hz	1000mV	758mV	-2,4066dB
9000Hz	1000mV	718mV	-2.878dB
10000Hz	1000mV	680mV	-3.350dB
14000Hz	1000mV	558mV	-5.0673dB
18000Hz	1000mV	461mV	-6.726dB
20000Hz	1000mV	428mV	-7.372dB
40000Hz	1000mV	235mV	-12.58dB
50000Hz	1000mV	190mV	-14.42dB
100000Hz	1000mV	105mV	-19.57dB

グラフを図4に示す。

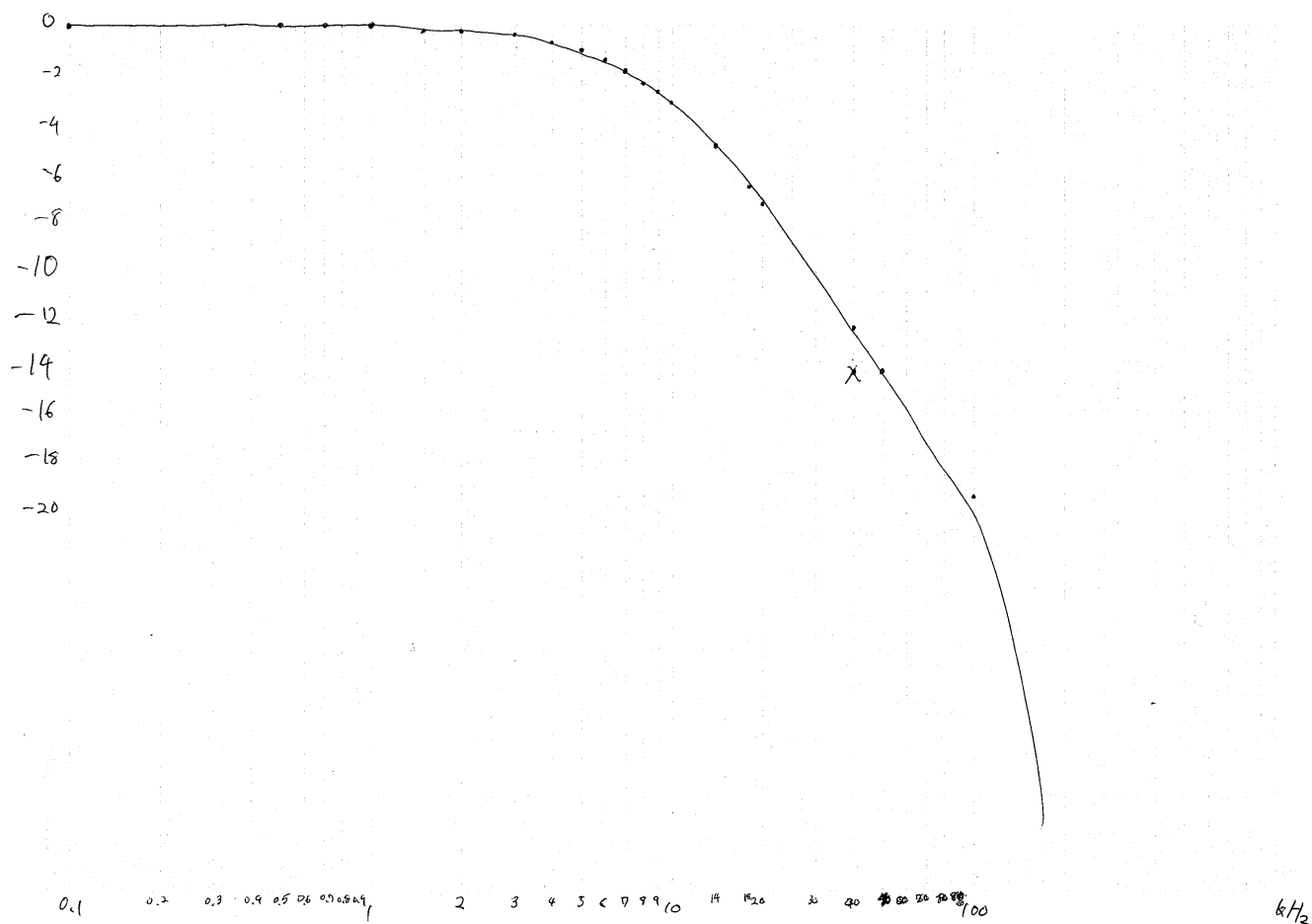


図4 アクティブフィルタの測定結果

考察

考察1

反転増幅回路における入力 V_1 と出力 V_2 の関係式は、次のように表される。

$$V_2 = -\frac{R_f}{R_s} V_1$$

この式を導出せよ。

オペアンプの入力インピーダンスが高いので電流が流れないと考えると R_s に流れる電流と R_F に流れる電流が等しいと考えることができる。

R_s に流れる電流はオイラーの公式より $\frac{V_1}{R_s}$ で表される。

R_F に流れる電流はオイラーの公式より $\frac{V_2}{R_F}$ で表される。

$\therefore \frac{V_1}{R_s} = \frac{V_2}{R_F}$ となる。

V_2 について解くと、 $V_2 = -\frac{R_f}{R_s} V_1$ となる。

考察2

非反転増幅器における入力 V_1 と出力 V_2 の関係式は、次のように表される。

$$V_2 = \left\{ 1 + \frac{R_f}{R_s} \right\} V_1$$

この式を導出せよ。

オペアンプの入力インピーダンスが大きいので電流は流れないを考える。

すると R_s に流れる電流と R_f に流れる電流が等しいと考えられる。

キルヒホッフの法則より $V_1 = 0 - R_s \times I$ 、 $V_2 = V_1 - R_f \times I$ と表される。

$\therefore V_2 = \left\{ 1 + \frac{R_f}{R_s} \right\} V_1$ となる。^[1]

考察3

積分器における入力 V_1 と出力 V_2 の関係式を C_F, R_S, ω を使って示せ。

また実験4.1.2の結果より積分器の積分計算について原理上の計算値と測定値を比較せよ。

オペアンプの入力インピーダンスが高いので電流が流れないを考える。

すると R_S に流れる電流と C_F に流れる電流が等しいと考えられる。

R_S に流れる電流はオイラーの公式より $\frac{V_1}{R_S}$ と表される。

C_F に流れる電流は $\frac{1}{\omega C_F}$ で表される。

$\therefore \frac{V_1}{R_S} = \frac{1}{\omega C_F}$ となる。これを V_1 について解くと $V_1 = \frac{R_S}{\omega C_F}$ となる。

考察4

実験4.2のローパスフィルタにおいて、「カットオフ周波数」、「阻止域」、「通過域」の意味を調べ説明せよ。

カットオフ周波数

カットオフ周波数とは、フィルタ回路における通過域と阻止域の境目の周波数のこと。^[2]

阻止域

フィルタ回路における通過させない帯域のこと。無限大の衰退(通過率0%)の帯域のこと。^[3]

通過域

フィルタ回路における通過させる帯域のこと。衰退0(通過率100%)の帯域のこと。^[3:1]

考察5

実験4.2のローパスフィルタにおいて、増幅率が3dB低下する周波数(カットオフ周波数)と、阻止域に入ったときの傾きを[dB/oct]単位で求めよ。

ここでoctは周波数が2倍になる点を意味し、カットオフ周波数から周波数が2倍に変化した場合の増幅率の変化量を求めればよい。

$G_v = 20 \log \frac{\text{出力電圧}}{\text{入力電圧}}$ の式から増幅率が3dB低下する周波数は $\pm 10^{\frac{3}{20}} \times 1000 [\text{Hz}]$ である。

そのときの傾きは $\left| 3 - \left\{ 20 \log \frac{2 \left(\pm 10^{\frac{3}{20}} \times 1000 \right)}{1000} \right\} \right|$ で表される。

考察6

実験4.2のローパスフィルタにおいてカットオフ周波数の計算値と上記(5)で求めた測定値と比較せよ。

カットオフ周波数 f_c は以下の式で求められる。[4]

$$f_c = \frac{1}{2\pi CR}$$
$$\therefore f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times 1000 \times 10^{-12} \times 16 \times 10^3} = 9947.18 [\text{Hz}]$$

考察7

今回の実験から自分が理解できたことを報告せよ

オペアンプの入力インピーダンスが高いので電流が流れ込まないという考え方を知った。そしてその理由としてイマジナリーショートという現象があることを理解した。[1:1]

またフィルタ回路に関してはDJをしている関係で以前から親しみがあつた。[5] 今回の実験でしくみを実験を通して見る事ができたので今後のパフォーマンスに活かしたいと思うが、具体的な方法はまだ思いつけていないので今後の課題としたい。

参考

1. 参考：<https://algorithm.joho.info/denki-denshi/operational-not-inverting-amplifier-circuit/> ↩ ↩
2. 参考：<https://synapse.kyoto/glossary/glossary.php?word=カットオフ周波数> ↩
3. 参考：http://bricolage.tuzikaze.com/doc/filter/filter_euc/filter_euc.html ↩ ↩
4. 参考：<https://synapse.kyoto/glossary/glossary.php?word=カットオフ周波数> ↩
5. DJをする際のエフェクターの一つにハイパスフィルタとローパスフィルタがある。それぞれ音にフィルタをかけ、変化を与えることができ違和感のないmixを助けてくれる。 ↩