

アナログ回路

1610581 堀田 大地

2019/2/7

1 目的

オペアンプを用いてアナログ回路である増幅回路、フィルタ回路、微分・積分回路を設計し、オペアンプの原理と基本的な特性、機能を理解しながらアナログ回路設計の基礎を学ぶ。アナログ回路の作成には、オペアンプに抵抗やコンデンサを組み合わせることで、種々のアナログ回路を自由に設計することが可能なオペアンプ実習装置を使用する。

2 原理

2.1 オペアンプ

オペアンプとは、一般には反転入力、非反転入力、増幅器および出力で構成されている。オペアンプを動作させるためには、電源電圧を入力とは別に印加する必要がある。オペアンプの理想的な特性を表1に示す。オペアンプの増幅度を A 倍とし、反転入力端子に電圧 V_1 を加えると、反転して A 倍された出力 $-AV_2$ が得られる。また、非反転端子に電圧 V_2 を加えると、同じ極性で A 倍された出力 AV_2 が得られる。

表1 オペアンプの理想的な特性

入力インピーダンス Z_i	無限大
出力インピーダンス Z_o	0
電圧増幅度 A	無限大
入力オフセット電圧	0
入力オフセット電流	0
周波数帯域	無限大

2.2 反転増幅回路

反転増幅回路において、オペアンプの入力インピーダンスは無限大なので、 R_1 を流れる電流 I_1 は反転入力には流れず、すべて R_f に流れる。よって、 $I_1=I_f$ となり、式(1) が成立する。

$$\frac{V_i - V_s}{R_1} = \frac{V_s - V_o}{R_f}. \quad (1)$$

また、オペアンプの電圧増幅度を A_{op} とすると $V_o = -A_{op}V_s$ より、式(2) となる。

$$V_s = -\frac{V_o}{A_{op}}. \quad (2)$$

理想的には A_{op} は無限大なので、 $V_s = 0$ となり、非反転入力の電圧と等しくなる。 $V_s = 0$ として電圧増幅度 A を考える。電圧増幅度は $A = \frac{V_o}{V_i}$ となるので、オームの法則より、 $A = -\frac{R_f}{R_1}$ となる。よって、反転増幅回路の電圧増幅度 A は R_f と R_1 によって決定され、入力に対して出力は極性が逆になる。

2.3 非反転増幅回路

非反転回路において、オペアンプの入力インピーダンスは無限大なので、 R_f を流れる電流 I_f は反転入力には流れず、すべて R_1 に流れる。よって、 $I_f = I_1$ となり式(3) が成り立つ。

$$\frac{V_o - (V_i - V_s)}{R_f} = \frac{V_i + V_s}{R_1}. \quad (3)$$

オペアンプの電圧増幅度を A_{op} とすると、 $V_o = A_{op}V_s$ より、式(4) となる。

$$V_s = \frac{V_o}{A_{op}}. \quad (4)$$

理想的には A_{op} は無限大なので、 $V_s = 0$ となり、非反転入力の電圧と等しくなる。 $V_s = 0$ とすると、式(5), (6) が得られる。

$$\frac{V_o - V_i}{R_f} = \frac{V_i}{R_1}. \quad (5)$$

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_1}. \quad (6)$$

よって、非反転増幅回路の電圧増幅度 A は R_f と R_1 によって決定され、入力に対しては極性が等しくなる。

2.4 アクティブフィルタ

ローパスフィルタの入力電圧を V_i 、出力電圧を V_o としたとき、入出力電圧の関係は、

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{S^2 + \frac{S}{C_1}(\frac{1}{R_1 R_2}) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}, \quad (7)$$

ここで, $S = j\omega$, $\omega = 2\pi f$, j は虚数, f は回路への入力周波数である. 次のように変数を定義し,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{R_1 + R_2 \sqrt{\frac{C_1 R_1 R_2}{C_2}}}, \quad (9)$$

式 (8) を以下のように表す.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\omega_0^2}{S^2 + \frac{\omega}{Q} S + \omega_0^2}. \quad (10)$$

ここで, f_0 は共振周波数, Q はクオリティフィルタである. 回路の入出力電圧の変化を示す電圧増幅度 G は式 (11) で定義される.

$$G = 20 \log 10 \left| \frac{V_o}{V_i} \right|. \quad (11)$$

また, 式 (10)において, $\omega = \omega_0$ のとき,

$$\frac{V_i}{V_o} = -jQ \quad (12)$$

式 (11) より, 電圧増幅度 G が-3dB となる Q は以下の通りである.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \quad (13)$$

したがって, クオリティファクタ Q を約 0.707 と設定すると, 共振周波数 f_0 の周波数において電圧増幅度 G が-3dB となる, すなわちカットオフ周波数となる. 比較的簡易な式 (8) によってカットオフ周波数を計算することができるため, $Q = 0.707$ の値は一般的によく用いられる. このような特性をバタワース特性と呼ぶ.

また, R_1 , C_1 , R_2 , C_2 をそれぞれ置き換えると, 入出力関係が下式で表されるハイパスフィルタとなる.

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{V_i} &= \frac{S^2}{S^2 + \frac{S}{R_2} \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \\ &= \frac{S^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, \quad Q = \frac{1}{C_1 + C_2} \sqrt{\frac{C_1 C_2 R_1^2}{R_1}} \quad (15)$$

2.5 微分回路

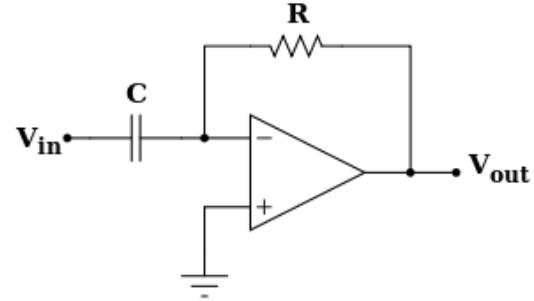


図 1 微分回路図. 画像は [1] より引用した.

C に流れる電流を I_i とすると, 仮想短絡をしているので, 次式となる.

$$I_i = \frac{dQ}{dt} = C_i \frac{dV_i}{dt}. \quad (16)$$

出力電圧 V_o は R_f での電圧降下に等しいので, V_o は次式のようになる.

$$V_o = -I_i R_f = -C_i R_f \frac{dV_i}{dt}. \quad (17)$$

このように, V_o は, 入力電圧 V_i を微分した値に比例する出力となる. また, このままでは動作が不安定であるので, 実際には C に直列に R_i を, R に並列に C_f を入れた回路にする. 微分器として安定な上限の周波数 f_s は次式で求まる.

$$f_s = \frac{1}{2\pi R_i C_i}. \quad (18)$$

2.6 積分回路

R_i を流れる電流を I_i とすると, 仮想短絡をしているので, 次式となる

$$V_i = I_i R_i. \quad (19)$$

また, コンデンサ C_f の電荷を Q_f とすると, Q_f の時間的な増加の割合は流れ込む電流 I_i に等しくなるので, 次式が成立する.

$$\frac{dQ_f}{dt} = I_i. \quad (20)$$

積分すると,

$$Q_f = \int I_i dt = \frac{1}{R_i} \int V_i dt, \quad (21)$$

となる。 V_o はコンデンサ C_f による電圧降下量 $-\frac{Q_f}{C_f}$ に等しいので、

$$V_o = -\frac{1}{R_f C_f} \int V_i dt, \quad (22)$$

となり、入力電圧 V_i を積分した値に比例する出力が得られることがわかる。

3 方法

3.1 実験装置

オペアンプ実習装置に、外付けの抵抗、コンデンサなどを接続し、各種アナログ回路を設計し、オシロスコープ、任意信号発生器により、その動作を確認する。

3.2 方法

1. 反転増幅回路を作成し、入出力特性、周波数特性を調べる。また、増幅度が異なる回路を設計し、その回路の特性を設定する。
2. ローパスおよびはいパスフィルタを作成し、各周波数 f における電圧増幅度 G を計測し、 $f - G$ 特性を求める。
3. 微分および積分回路を作成し、入出力特性をオシロスコープで観察し、回路動作を確認する。

3.3 反転増幅回路の入出力特性

1. 入力電圧の測定端子は次の通りである。
入力電圧: TB11(V_{in})、TB14(GND)
出力電圧: TV15(V_{out})、TB16(GND)
2. 試験用 DC 電圧発生部と増幅回路を図 2 のように接続した。
3. 増幅回路を次のように設定した。
 $R_{11}: 10k\Omega$, R_{12} : 開放, R_{13} : 開放,
 $R_{14}: 10k\Omega$, $R_{15}: 5.1k\Omega$, $R_{16}: 10k\Omega$
4. 出力電圧 V_{out} が 0V であることをオシロスコープで確認する。
5. 試験用 DC 電圧発生部の-3V - +3V まで変えて、入出力電圧をオシロスコープで観測する。
6. 電圧増幅度 A が-10 となるような回路を設計

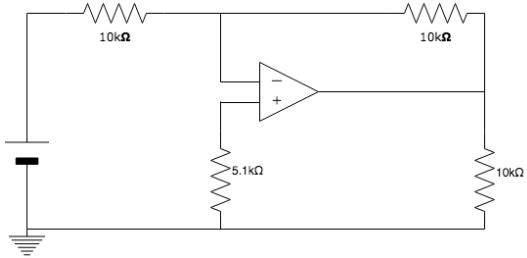


図 2 非反転増幅回路の結線法。

し、同様に実習する。

3.4 反転増幅回路の周波数特性および位相

1. 3.3 節の (6) が完了した状態にする。
2. 試験用 DC の電圧発生部の接続を外し、信号発生器を TB11, TB14 に接続する。
3. オシロスコープを V_{in} および V_{out} に接続する。
4. オシロスコープを見ながら、信号発生器の出力を $1.2V_{p-p}$, $100Hz$ に設定する。
5. 周波数を $100Hz$ から $1MHz$ まで変える
 - (a) 出力電圧 V_{out} の振幅と位相がどのように変わらるかをオシロスコープで観測する。
 - (b) 低周波では入出力波形の位相差が 180 度であることをオシロスコープで確認する。
6. 5. のデータから周波数 f 電圧増幅度 G の関係を片対数グラフにする。

3.5 ローパスフィルタ回路

1. アクティブフィルタ回路において、図 3 に示すローパスフィルタ回路を作成する。
2. 作成した回路の Q および ω_0 , f_0 を計算する。
3. 信号発生器の出力を $1.2V_{p-p}$ に設定し、波形と周波数を以下のようにする。

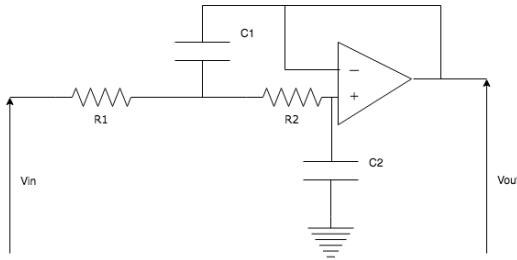


図 3 ローパスフィルタの回路図.

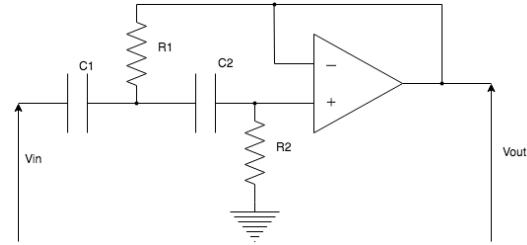


図 4 ハイフィルタの回路図.

- (a) 5kHz の方形波を入力とした際の出力波形をオシロスコープで観測する.
- (b) f_0 を含む 20 パターン程度の周波数の正弦波を入力し、入力電圧および出力電圧を計測する.
- 4. 電圧増幅度 G に換算して $f - G$ 特性をグラフに表す.

3.6 ハイパスフィルタ回路

1. アクティブフィルタ回路において、図 4 に示す示すハイパスフィルタ回路を作成する.
2. 作成した回路の Q および、 ω_0 、 f_0 を計算により求める.
3. 信号発生器の出力を $1.2V_{p-p}$ に設定し、波形と周波数を以下のように変える.
 - (a) 5kHz の方形波を入力した際の出力波形をオシロスコープで観測する.
 - (b) f_0 を含む 20 パターン程度の周波数の正弦波を入力し、入力電圧および出力電圧を計測する.
4. 電圧増幅度 G に換算して $f - G$ 特性をグラフに表す.

3.7 微分回路

1. 図 5 に示す微分回路を作成する.

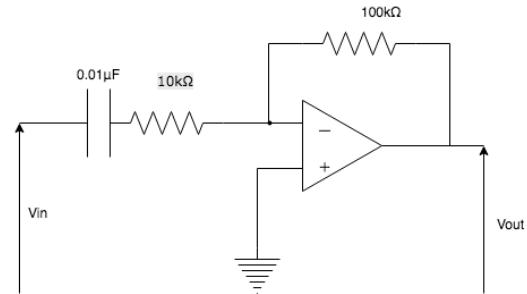


図 5 微分回路の回路図.

2. 微分器として安定な上限の周波数 f_s を計算により求める.
3. 信号発生器の出力を $1V_{p-p}$ の方形波に設定し、3通りの周波数 ($f = f_s$, $f > f_s$, $f < f_s$) とした際の出力波形をオシロスコープで観測する.

3.8 積分回路

1. 図 6 に示す積分回路を作成する.
2. 積分器として安定な下限の周波数 f_p を計算により求める.
3. 信号発生器の出力を $1V_{p-p}$ の方形波に設定し、3通りの周波数 ($f = f_s$, $f > f_s$, $f < f_s$) とした際の出力波形をオシロスコープで観測する.

4 結果

4.1 反転增幅回路 ($A = -1$) の入出力特性 測定結果を表 2, 図 7 に示した.

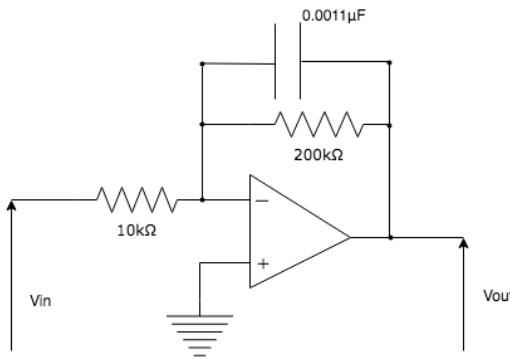


図 6 積分回路の回路図.

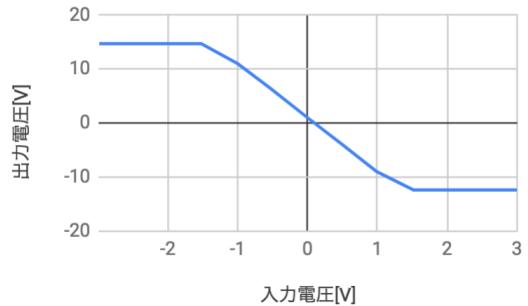


図 8 反転増幅回路の測定結果.

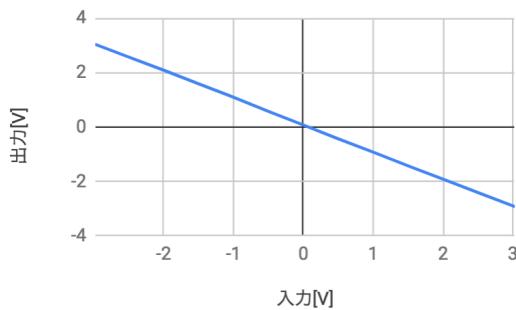


図 7 反転増幅回路の測定結果.

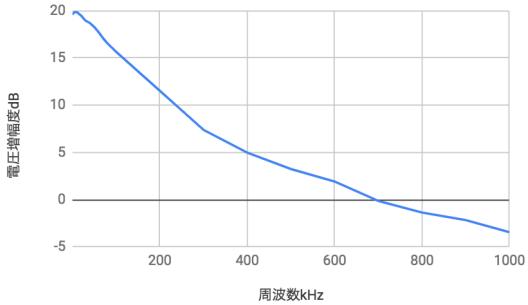


図 9 周波数 Hz と電圧増幅度 dB の関係.

表 2 反転増幅回路の測定結果.

入力 [V]	出力 [V]	電圧増幅度 A
-2.98	3.04	1.020134228
-2.53	2.6	1.027667984
-1.98	2.07	1.045454545
-1.51	1.6	1.059602649
-1.05	1.15	1.095238095
-0.49	0.57	1.163265306
0.000002	0.08	40000
0.49	-0.42	0.8571428571
1	-0.92	0.92
1.53	-1.45	0.9477124183
2.02	-1.93	0.9554455446
2.52	-2.42	0.9603174603
3.03	-2.92	0.9636963696

表 3 反転増幅回路の測定結果.

入力 [V]	出力 [V]	電圧増幅度 A
-2.98	14.7	4.932885906
-2.98	14.7	4.932885906
-2.98	14.7	4.932885906
-1.52	14.7	9.671052632
-1	11	11
-0.53	6.43	12.13207547
0	1	-
0.51	-4.1	8.039215686
0.99	-9	9.090909091
1.52	-12.4	8.157894737
2.03	-12.4	6.108374384
2.46	-12.4	5.040650407
3	-12.4	4.133333333

4.2 反転増幅回路の増幅度を変化 ($A = -10$) させた時の入出力特性

測定結果を表 3, 図 8 に示した.

4.3 反転増幅回路の周波数特性

測定結果を表 4, 図 9, 10 に示した. 位相差は $2\pi * (\text{周波数 } Hz * \text{位相差 } s)$ で求めた.

4.4 ローパスフィルタの周波数特性と波形

測定結果を表 5, 6, 図 11, 12 に示した.

表 4 反転増幅回路の測定結果.

周波数 f kHz	入力 V_{p-p}	出力電圧 V_{p-p}	位相差 μ s	位相差度	電圧増幅度 dB
0.1	1.22	11.6	0.005	3.141592654	19.56196317
0.5	1.2	11.6	0.001	3.141592654	19.70553486
1	1.2	11.6	0.0005	3.141592654	19.70553486
5	1.22	12	0.0001	3.141592654	19.85642831
10	1.22	12	0.00005	3.141592654	19.85642831
20	1.22	11.5	0.000026	3.26725636	19.48676019
30	1.24	11	0.0000188	3.543716513	18.95942
40	1.23	10.6	0.0000148	3.719645702	18.70801508
50	1.22	10	0.000012	3.769911184	18.27280339
60	1.22	9.4	0.0000102	3.845309408	17.73536046
70	1.23	8.8	0.000009	3.958406744	17.09155121
80	1.22	8.2	0.000008	4.021238597	16.54908043
90	1.22	7.8	0.0000074	4.184601415	16.11469544
100	1.22	7.4	0.0000068	4.272566009	15.65743778
200	1.22	4.6	0.0000036	4.523893421	11.52796002
300	1.24	2.9	0.00000248	4.674689869	7.379526255
400	1.24	2.2	0.00000196	4.926017281	4.980019913
500	1.24	1.8	0.0000016	5.026548246	3.237016399
600	1.22	1.52	0.00000132	4.976282763	1.909675145
700	1.22	1.2	0.00000116	5.101946469	-0.1435716925
800	1.24	1.06	0.00000104	5.227610176	-1.362316398
900	1.22	0.95	0.00000094	5.31557477	-2.172724508
1000	1.22	0.82	0.00000088	5.52920307	-3.450919566

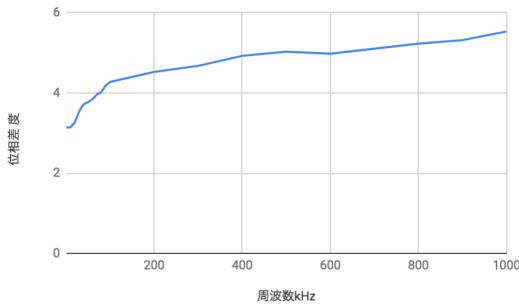


図 10 周波数 Hz と位相差 度の関係.

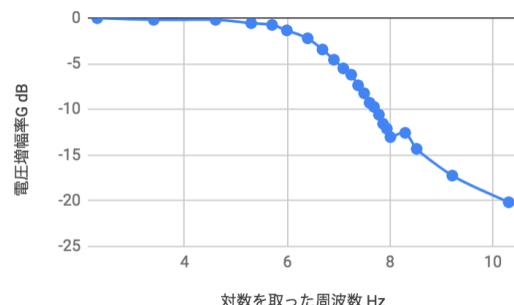


図 11 ローパスフィルタ回路の周波数と電圧増幅率の関係.

表 5 ローパスフィルタの抵抗と静電容量の値.

$R_1 k\Omega$	$R_2 k\Omega$	$C_1 \mu F$	$C_2 \mu F$	$f_0 Hz$	Q
10	220	0.0022	0.0011	2181.228	0.288

4.5 ハイパスフィルタの周波数特性と波形

結果を表 7, 8, 図 13, 14 に示した.

表 7 ハイパスの抵抗と静電容量の値.

$R_1 k\Omega$	$R_2 k\Omega$	$C_1 \mu F$	$C_2 \mu F$	$f_0 Hz$	Q
220	10	0.0022	0.0011	2181.228	0.101

4.6 微分回路

結果を表 8, 図 15, 16, 17 に示した.

表 9 微分回路の抵抗, 静電容量, f_s の値.

$C_1 \mu F$	$R_1 k\Omega$	$R_2 k\Omega$	$f_0 Hz$
0.01	10	100	1591.549431

4.7 積分回路

測定結果を, 表 9, 図 18, 19, 20 に示した.

表 6 ローパスフィルタの測定結果.

fHz	入力電圧 V_i mV	出力電圧 V_o mV	$\log(A)$	20logA dB
10	960	960	2.302585093	0
30	980	960	3.401197382	-0.1790968531
100	980	960	4.605170186	-0.1790968531
200	980	920	5.298317367	-0.5487649669
300	980	900	5.703782475	-0.7396713251
400	980	840	5.991464547	-1.338935793
600	980	760	6.396929655	-2.208249668
800	980	660	6.684611728	-3.433642803
1000	980	580	6.907755279	-4.555961643
1200	980	520	7.090076836	-5.504454641
1400	980	480	7.244227516	-6.199696766
1600	980	420	7.377758908	-7.359535706
1800	980	380	7.495541944	-8.228849582
2000	1000	344	7.60090246	-9.268831149
2181	980	320	7.687538766	-9.721521947
2400	1000	296	7.783224016	-10.57416578
2600	1000	264	7.863266724	-11.56792146
2800	1000	248	7.937374696	-12.11096638
3000	1040	232	8.006367568	-13.03090709
4000	1020	240	8.29404964	-12.5677786
5000	1040	200	8.517193191	-14.32006687
10000	1020	140	9.210340372	-17.24944272
30000	1020	100	10.30895266	-20.17200344

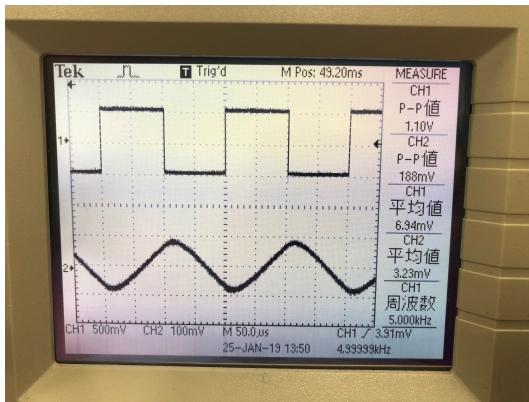


図 12 ローパスフィルタのオシロスコープによる可視化結果.

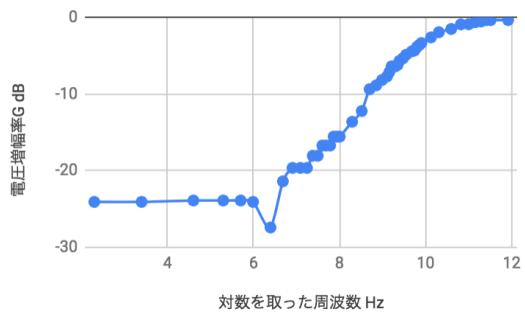


図 13 ハイパスフィルタ回路の周波数と電圧増幅率の関係.

5 考察

5.1 反転増幅回路の理論増幅度と実際との比較

理論電圧増幅度 $A = -1$ のとき, $V_i = 0.000002V$ のとき以外は電圧増幅度 A が 1.16 から 0.85 の範囲に収まっており, 実験結果と理論値の誤差はあるものの想定される結果が得られた.

また, 理論電圧増幅度 $A = -10$ のとき, $V_i = 0V$ のとき以外は, A が 12 から 4.13 と理論値からは大

表 10 積分回路の抵抗, 静電容量, f_s の値.

$R_1 k\Omega$	$R_2 k\Omega$	$C_1 \mu F$	$f_0 Hz$
10	200	0.0011	723.431

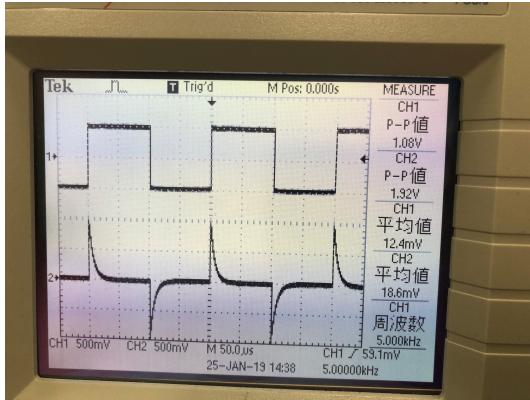


図 14 ハイパスフィルタのオシロスコープによる可視化結果。

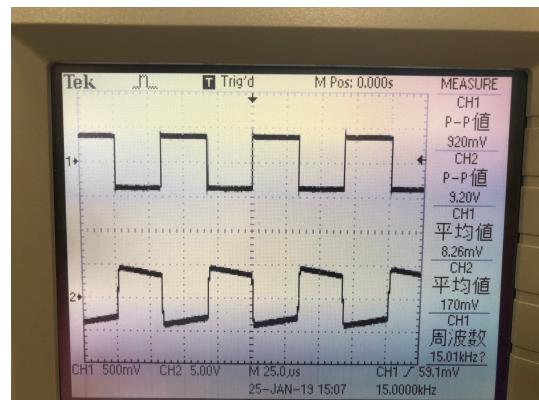


図 17 150000Hz における微分回路の可視化結果。

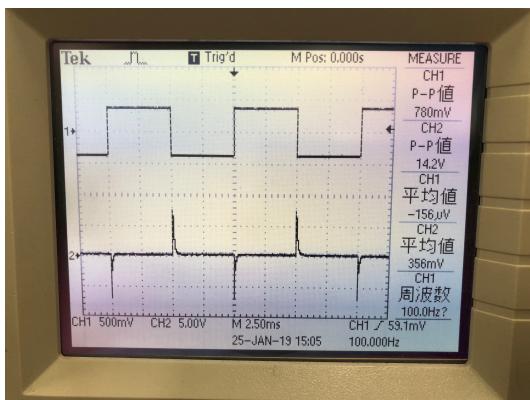


図 15 100Hz における微分回路の可視化結果。

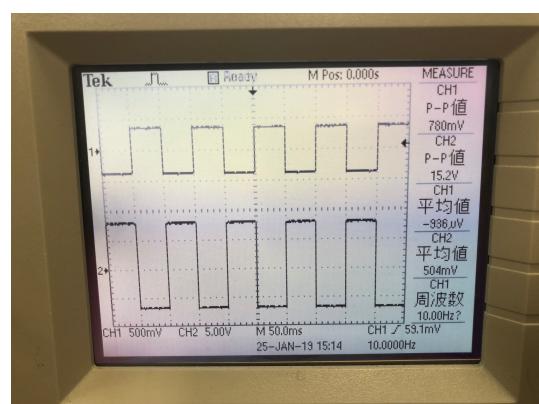


図 18 10Hz における積分回路の可視化結果。

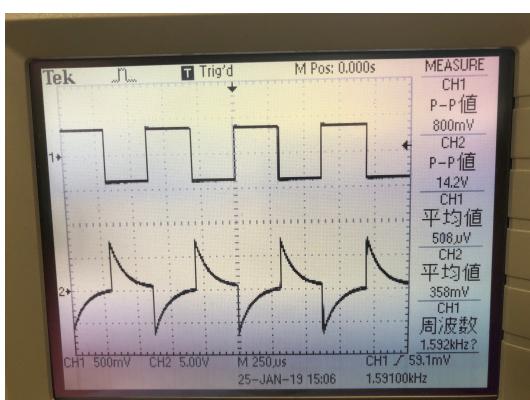


図 16 1500Hz における微分回路の可視化結果。

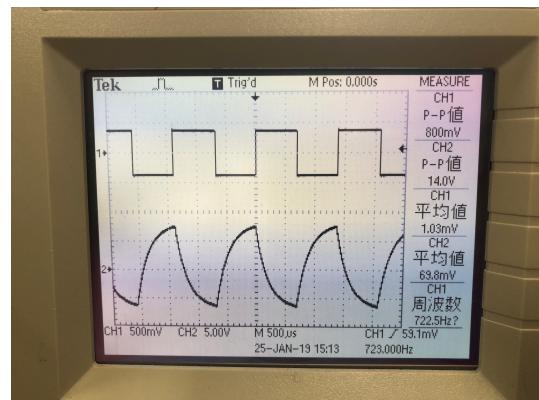


図 19 700Hz における積分回路の可視化結果。

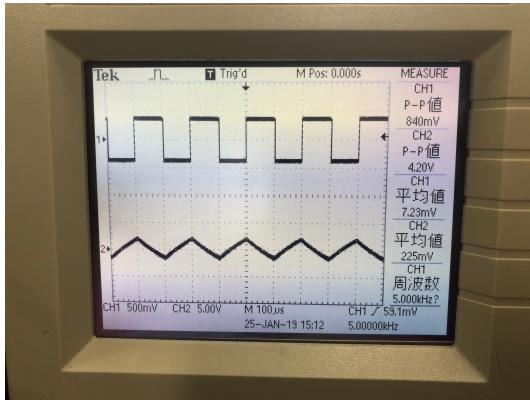


図 20 5000Hz における積分回路の可視化結果.

きくずれた部分も見られた。これは、オペアン m ぶの出力電圧は電源電圧に依存するため、出力電圧が電源電圧と入力電圧の和以上になることができないためである。図 8 より上限や下限が実際に見られた。

5.2 反転増幅回路の動作周波数

周波数が 20KHz 程度までは、理論電圧増幅度 $G = 20\text{dB}$ に近い電圧増幅度であり、この値を越えると、少しずつ減少し、100Hz を超えたあたりから急激に減少していった。

これは、周波数が大きくなっていくにつれ、オペアンプのスルーレートの関係 [2] を満たさなくなつたからだと考えられる。

5.3 反転・非反転増幅回路の特徴と相違点

反転増幅回路では、出力電圧と入力電圧の極性が逆になるが、非反転増幅回路では等しくなる。また、回路中で用いる抵抗値が同じならば、電圧増幅度の絶対値は非反転増幅回路の方が大きくなる。

相違点としては、反転増幅回路では、正相入力端子をグラウンドに接地させるが、非反転増幅回路では、逆正相入力端子をグラウンドに接地させる [3]。

5.4 各フィルタの理論周波数特性と実測周波数特性の比較およびカットオフ周波数について

ローパスフィルタ回路のカットオフ周波数は、実測値は約 60Hz であり、理論値は約 60Hz であった。ハイパスフィルタ回路は、実測値は約 900Hz であり、理論値は約 1000Hz であった。誤差が生じた理由は、実際に回路を用いて実験をすると流している

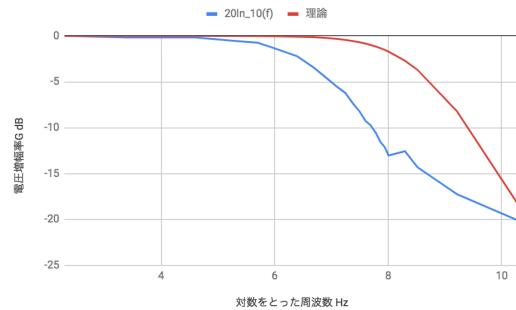


図 21 ローパスフィルタの理論値と実測値の比較.

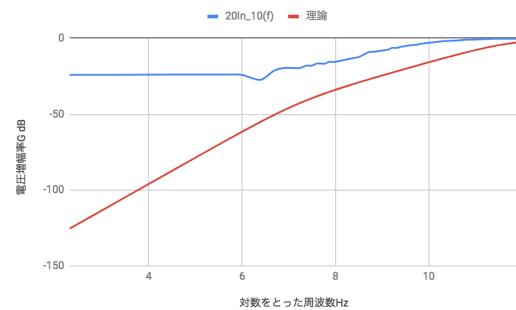


図 22 ハイパスフィルタの理論値と実測値の比較.

電圧の損失があつたりしたためだと考えられる。理論値と実測値を比較した図を 21, 22 に示す。

5.5 微分・積分回路

出力される波形は、微分回路では図 15-16 より微分された値の反転、積分回路では図 17-20 より積分された値が反転したものが得られている。しかし、微分回路においては図 16, 17、積分回路においては図 18 で正しく結果が得られなかった。つまり、微分回路では $f < f_s$ 、積分回路では $f > f_s$ において正しい波形が観測できることがわかった。

参考文献

- [1] Wikipedia 微 分 回 路
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%BE%AE%E5%88%86%E5%9B%9E%E8%B7%AF>
- [2] ローム株式会社 スルーレート
https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/opamps/op_what5
- [3] 北海道大学 電子工学実験 I (2000 年 ~)

2006 年) 演算増幅器を用いた基本回路
https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/opamps/op_what5
<https://ime.ist.hokudai.ac.jp/aoki/laboratory02.html>

[4] 電気通信大学 共通教育部自然科学部会 (物理)
:基礎科学実験 A p73-79

表 8 ローパスフィルタの測定結果.

<i>f</i> Hz	入力電圧 V_i mV	出力電圧 V_o mV	log(A)	20logA dB
10	960	60	2.302585093	-24.08239965
30	960	60	3.401197382	-24.08239965
100	940	60	4.605170186	-23.89953206
200	940	60	5.298317367	-23.89953206
300	940	60	5.703782475	-23.89953206
400	960	60	5.991464547	-24.08239965
600	940	40	6.396929655	-27.42135725
800	940	80	6.684611728	-21.40075733
1000	960	100	6.907755279	-19.64542466
1200	960	100	7.090076836	-19.64542466
1400	960	100	7.244227516	-19.64542466
1600	960	120	7.377758908	-18.06179974
1800	960	120	7.495541944	-18.06179974
2000	960	140	7.60090246	-16.72286395
2181	960	140	7.687538766	-16.72286395
2400	960	140	7.783224016	-16.72286395
2600	960	160	7.863266724	-15.56302501
2800	960	160	7.937374696	-15.56302501
3000	960	160	8.006367568	-15.56302501
4000	960	200	8.29404964	-13.62482475
5000	980	240	8.517193191	-12.22029668
6000	1000	340	8.699514748	-9.370421659
7000	1000	360	8.853665428	-8.873949985
8000	1000	390	8.987196821	-8.178707859
9000	1020	420	9.104979856	-7.707017627
9500	1000	440	9.159047078	-7.13094647
10000	960	460	9.210340372	-6.390268027
11000	1000	480	9.305650552	-6.375175252
11500	1000	490	9.350102314	-6.196078399
12000	1000	520	9.392661929	-5.679933127
13000	1000	540	9.472704636	-5.352124804
14000	1000	570	9.546812609	-4.882502887
16000	1000	600	9.680344001	-4.436974992
17000	1020	620	9.740968623	-4.324169645
18000	1000	640	9.798127037	-3.87640052
19000	1000	660	9.852194258	-3.609121289
20000	1000	680	9.903487553	-3.349821746
25000	1000	740	10.1266311	-2.615365605
30000	1000	800	10.30895266	-1.93820026
40000	1000	840	10.59663473	-1.514414279
50000	1000	900	10.81977828	-0.9151498112
60000	1020	920	11.00209984	-0.8962468883
70000	1000	930	11.15625052	-0.6303410289
80000	1000	940	11.28978191	-0.537442928
90000	1000	960	11.40756495	-0.3545753392
100000	1000	960	11.51292546	-0.3545753392
150000	1000	960	11.91839057	-0.3545753392