

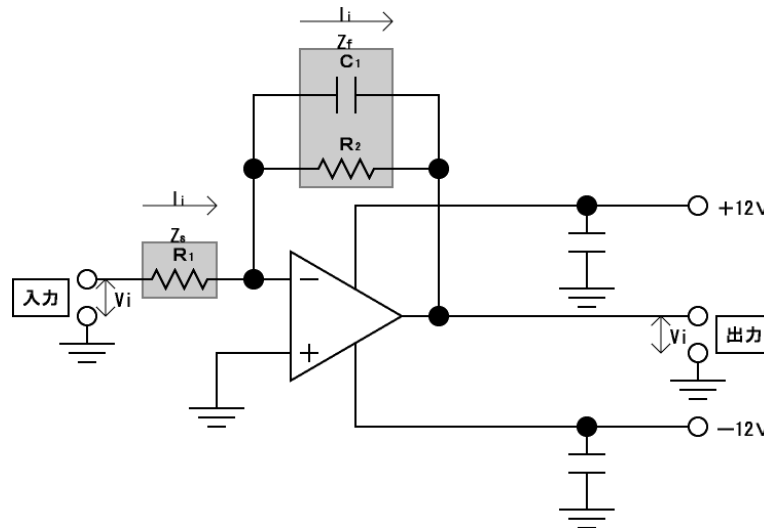
システム基礎科学実験Ⅰ  
第1課題レポート  
「電子回路1－a オペアンプ」

実験日：2004年4月15日(木)・20日(火)

広域科学科広域システム3年  
250244H 諸町 大地

**実験**

1. 「下記の回路(図1)をオール・サーキット・エヴァリエーター上に作成せよ。」



(図1)

2. 「FG とオシロスコープを用いて試作回路の増幅率及び位相の周波数特性を測定せよ。」  
3. 「(2.2) 式より増幅率及び位相の周波数特性の理論値を求めよ。これを2の測定結果と比較し、考察せよ。(C1はいかなる役割を果たしているか?)」

※ (2.2) 式…  $V_o = -Z_f I_i = -\frac{Z_f}{Z_s} V_i$

4. 「入力抵抗を  $10k\Omega$  から  $10k\Omega$  とし、増幅率及び位相の周波数特性を測定せよ。」  
5. 「4 の場合について、増幅率と位相の周波数特性の理論値を求めよ。これを実際の測定結果と比較し考察せよ。」

**結果**

1. 作成した。

2.実験1で作成した回路に、入力としてFGで振動数が $100 \times 2^n [\text{Hz}] (n = 0, 1, 2, \dots, 11)$ になるよう設定した交流電圧をかけた。このときの実際の振動数( $f[\text{Hz}]$ )、及び入力電圧( $V_i [\text{V}]$ )・出力電圧( $V_o [\text{V}]$ )をオシロスコープで測った。さらに2現象のオシロスコープを用い、リサーチを表示し、以下の図2で示されるような $A[\text{V}] \cdot B[\text{V}]$ を測定した。

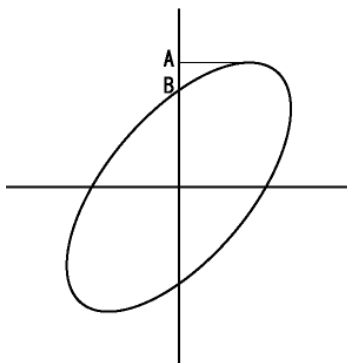


図 2

実測した  $f[\text{Hz}] \cdot V_i [\text{V}] \cdot V_o [\text{V}] \cdot A[\text{V}] \cdot B[\text{V}]$  及び、それから導き出される増幅率

( $= 20 \log \frac{V_o}{V_i} [\text{dB}]$ )・位相差( $= \sin^{-1} \frac{B}{A}$ )を以下の表 1 に示す。

f[Hz]	1.01E+02	2.00E+02	4.00E+02	8.01E+02	1.60E+03	3.21E+03	6.41E+03	1.28E+04	2.56E+04	5.12E+04	1.02E+05	2.05E+05
$V_i[\text{V}]$	1.45E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.46E-01	1.46E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.46E-01	1.46E-01	1.55E-01
$V_o[\text{V}]$	1.46E+00	1.45E+00	1.47E+00	1.44E+00	1.45E+00	1.46E+00	1.43E+00	1.29E+00	1.01E+00	6.30E-01	3.37E-01	1.73E-01
増幅率	4.61E+01	4.59E+01	4.61E+01	4.58E+01	4.60E+01	4.59E+01	4.56E+01	4.35E+01	3.85E+01	2.92E+01	1.68E+01	2.20E+00
A[V]	1.46E+00	1.45E+00	1.47E+00	1.44E+00	1.45E+00	1.46E+00	1.43E+00	1.29E+00	1.01E+00	6.30E-01	3.37E-01	1.73E-01
B[V]	5.20E-03	1.09E-02	2.07E-02	3.98E-02	8.05E-02	1.55E-01	3.21E-01	5.64E-01	7.00E-01	5.47E-01	3.15E-01	1.62E-01
位相差(絶対値)[°]	2.05E-01	4.30E-01	8.10E-01	1.58E+00	3.18E+00	6.10E+00	1.30E+01	2.60E+01	4.41E+01	6.03E+01	6.92E+01	6.90E+01

(表 1)

3.まず、(2.2) 式より、

$$V_o = -\frac{Z_f}{Z_s} V_i$$

である。

ここで、

$$\begin{cases} Z_s = R_1 \\ Z_f = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{1/i\omega C_1}} = \frac{R_2}{1 + i\omega C_1 R_2} \end{cases}$$

であり、簡単のため、

$$\begin{cases} Z_s = r_s (\cos \theta_s + i \sin \theta_s) \\ Z_f = r_f (\cos \theta_f + i \sin \theta_f) \end{cases}$$

と、置き換えると、

$$-\frac{Z_f}{Z_s} = -\frac{r_f}{r_s} \{ \cos(\theta_f - \theta_s) + i \sin(\theta_f - \theta_s) \}$$

となり、  
このとき増幅率は

$$20\log\frac{r_f}{r_s}[dB]$$

位相差は

$$\theta_f - \theta_s [\text{rad}]$$

となる。

この結果を用いて実験 2 で測定した値の理論値を求めると以下の表 2 のようになる。

f[Hz]	1.01E+02	2.00E+02	4.00E+02	8.01E+02	1.60E+03	3.21E+03	6.41E+03	1.28E+04	2.56E+04	5.12E+04	1.02E+05	2.05E+05
$\omega$ [rad]	6.33E+02	1.26E+03	2.51E+03	5.03E+03	1.01E+04	2.01E+04	4.03E+04	8.04E+04	1.61E+05	3.22E+05	6.43E+05	1.29E+06
Zs	rs	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04
	$\theta_s(^{\circ})$	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Zf	rf	1.00E+05	1.00E+05	1.00E+05	1.00E+05	9.99E+04	9.95E+04	9.80E+04	9.28E+04	7.79E+04	5.28E+04	2.97E+04
	$\theta_f(^{\circ})$	-1.81E-01	-3.61E-01	-7.20E-01	-1.44E+00	-2.88E+00	-5.75E+00	-1.14E+01	-2.19E+01	-3.88E+01	-5.81E+01	-7.27E+01
増幅率		4.61E+01	4.61E+01	4.61E+01	4.60E+01	4.60E+01	4.57E+01	4.46E+01	4.11E+01	3.33E+01	2.18E+01	8.58E+00
位相差( $^{\circ}$ )		-1.81E-01	-3.61E-01	-7.20E-01	-1.44E+00	-2.88E+00	-5.75E+00	-1.14E+01	-2.19E+01	-3.88E+01	-5.81E+01	-7.27E+01

(表 2)

さらに、実験 2 との誤差を計算すると次の表 3 のようになる。

誤差	増幅率	8.27E-02	-1.78E-01	1.58E-03	-2.01E-01	-4.36E-02	-3.61E-02	-8.65E-02	-1.08E+00	-2.53E+00	-4.04E+00	-4.99E+00	-6.38E+00
	位相差( $^{\circ}$ )	2.34E-02	6.95E-02	8.95E-02	1.43E-01	3.03E-01	3.45E-01	1.59E+00	4.06E+00	5.29E+00	2.13E+00	-3.56E+00	-1.22E+01

(表 3)

4.回路を指示通りに組み替え、実験 2 と同様の測定を行った。その結果を表 4 に示す。

f[Hz]	1.01E+02	2.01E+02	4.00E+02	8.00E+02	1.61E+03	3.20E+03	6.41E+03	1.28E+04	2.56E+04	5.12E+04	1.02E+05	2.05E+05
Vi[V]	1.50E-01	1.49E-01	1.48E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.47E-01	1.46E-01	1.46E-01
Vo[V]	8.80E-01	1.20E+00	1.36E+00	1.42E+00	1.44E+00	1.46E+00	1.43E+00	1.36E+00	1.01E+00	6.32E-01	3.40E-01	1.73E-01
増幅率	3.54E+01	4.18E+01	4.43E+01	4.53E+01	4.56E+01	4.59E+01	4.55E+01	4.46E+01	3.87E+01	2.92E+01	1.70E+01	3.46E+00
A[V]	8.80E-01	1.20E+00	1.36E+00	1.42E+00	1.44E+00	1.46E+00	1.43E+00	1.36E+00	1.01E+00	6.32E-01	3.40E-01	1.73E-01
B[V]	7.10E-01	6.56E-01	4.28E-01	2.06E-01	4.30E-02	1.02E-01	2.95E-01	5.52E-01	7.00E-01	5.50E-01	3.16E-01	1.61E-01
位相差(絶対値)[ $^{\circ}$ ]	5.38E+01	3.30E+01	1.84E+01	8.37E+00	1.71E+00	4.02E+00	1.19E+01	2.39E+01	4.37E+01	6.05E+01	6.83E+01	6.85E+01

(表 4)

5.実験 3 の計算式を

$$Z_s = R_1 + \frac{1}{i\omega C_2} = \frac{\omega C_2 R_1 - i}{\omega C_2}$$

として解けばよいので、理論値は以下の表 5 のようになる。

f[Hz]	1.01E+02	2.01E+02	4.00E+02	8.00E+02	1.61E+03	3.20E+03	6.41E+03	1.28E+04	2.56E+04	5.12E+04	1.02E+05	2.05E+05
$\omega$ [rad]	6.32E+02	1.26E+03	2.52E+03	5.03E+03	1.01E+04	2.01E+04	4.03E+04	8.05E+04	1.61E+05	3.22E+05	6.43E+05	1.29E+06
Zs	rs	1.65E+04	1.20E+04	1.05E+04	1.01E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04	1.00E+04
	$\theta_s(^{\circ})$	-5.28E+01	-3.35E+01	-1.83E+01	-9.41E+00	-4.72E+00	-2.37E+00	-1.19E+00	-5.93E-01	-2.97E-01	-1.48E-01	-7.42E-02
Zf	rf	1.00E+05	1.00E+05	1.00E+05	1.00E+05	9.99E+04	9.95E+04	9.80E+04	9.28E+04	7.79E+04	5.28E+04	2.97E+04
	$\theta_f(^{\circ})$	-1.81E-01	-3.61E-01	-7.21E-01	-1.44E+00	-2.89E+00	-5.75E+00	-1.14E+01	-2.19E+01	-3.88E+01	-5.81E+01	-7.27E+01
増幅率		3.60E+01	4.24E+01	4.50E+01	4.58E+01	4.60E+01	4.59E+01	4.57E+01	4.46E+01	4.11E+01	3.33E+01	2.18E+01
位相差( $^{\circ}$ )		5.26E+01	3.31E+01	1.76E+01	7.97E+00	1.83E+00	-3.38E+00	-1.02E+01	-2.13E+01	-3.85E+01	-5.80E+01	-7.27E+01

(表 5)

ただし、与えられた数値では実測値との誤差が実験 2・3 に比べ大きかったので、 $C_2$  のコンデンサー容量を測定してみたところ、表示より約 20%大きかった。このため、理論値は  $C_2=0.12\mu F$  として計算してある。

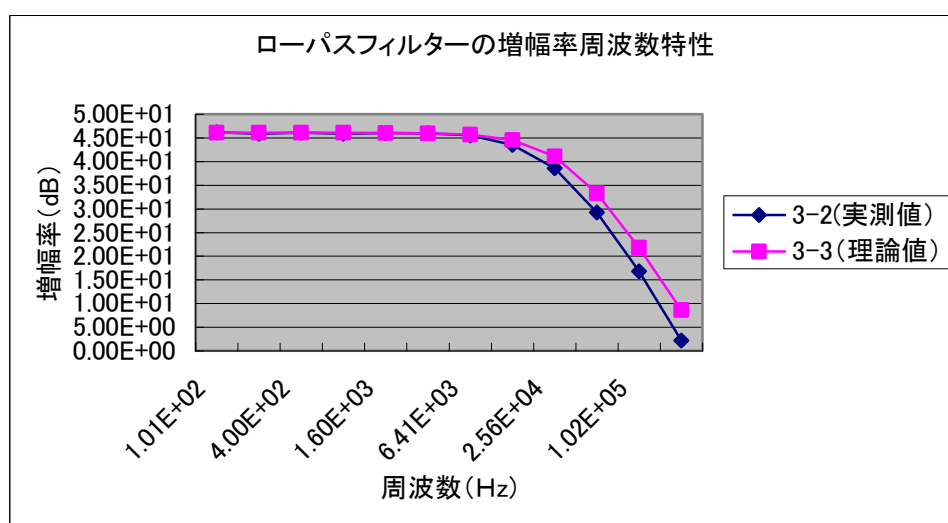
さらに実測値との差は表 6 のようになる。

誤差	増幅率	-5.93E-01	-6.11E-01	-7.07E-01	-4.71E-01	-3.47E-01	-1.86E-02	-1.50E-01	1.38E-02	-2.37E+00	-4.04E+00	-4.79E+00	-5.12E+00
	位相差(°)	1.15E+00	-8.50E-02	7.94E-01	3.94E-01	-1.16E-01	6.46E-01	1.71E+00	2.62E+00	5.13E+00	2.50E+00	-4.31E+00	-1.26E+01

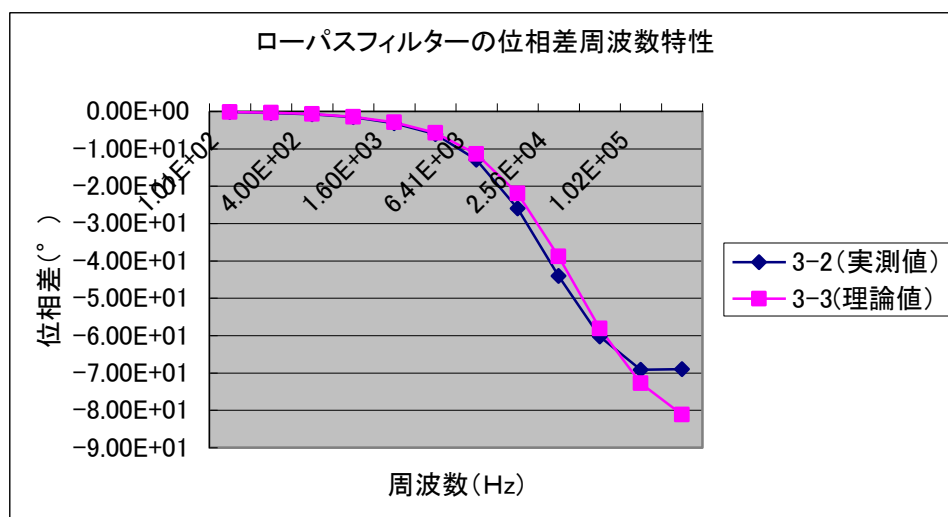
(表 6)

## 考察

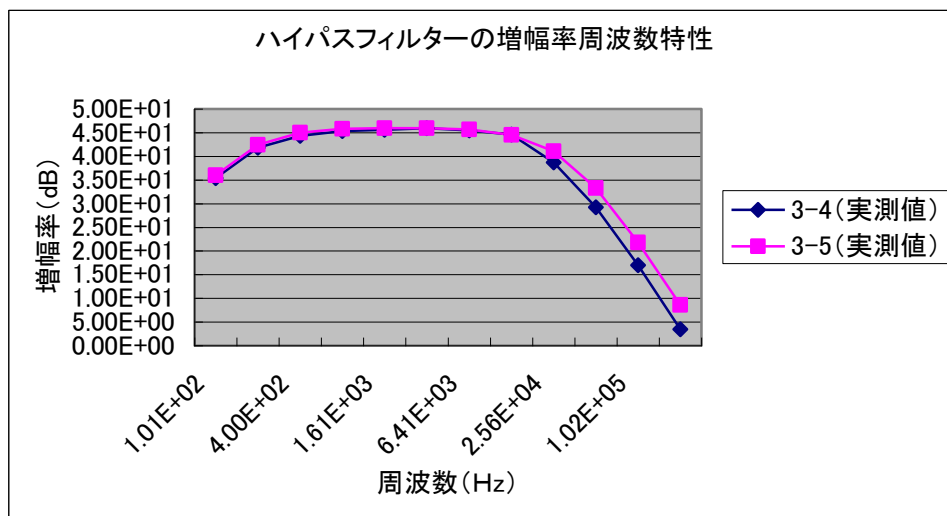
実験で得られたデータをグラフにすると以下のグラフ 1～4 のようになる。



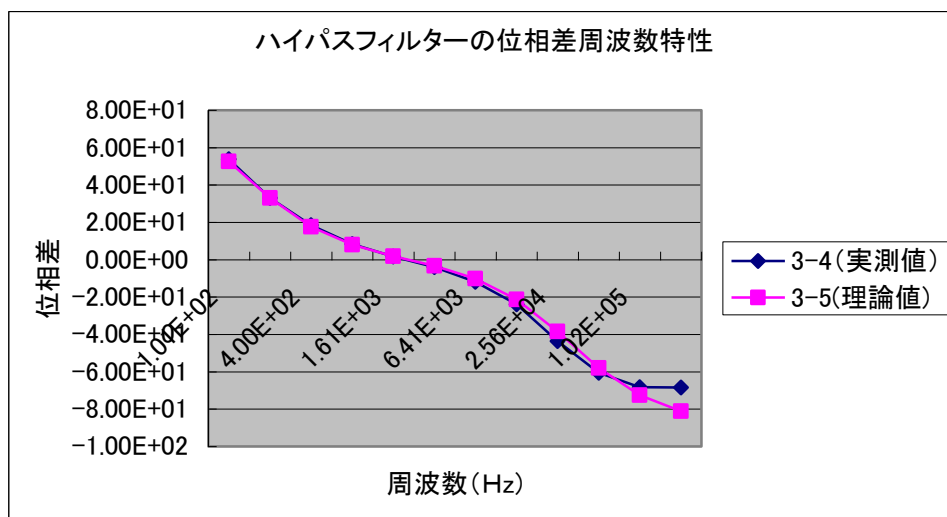
(グラフ 1)



(グラフ 2)



(グラフ 3)



(グラフ 4)

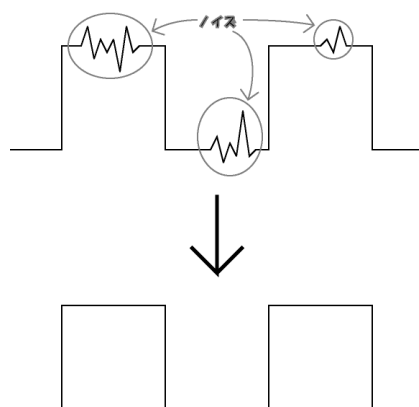
グラフ 1・2 は実験 2・3 で用いたローパスフィルターの、グラフ 3・4 は実験 4・5 で用いたハイパスフィルターの増幅率と位相差の周波数特性(実測値・理論値)をあらわすものである。

ローパスフィルターは低周波域の増幅率が非常に良く、ほぼ一定で安定している。また位相差もほとんどなく増幅器としての機能を満たしている。ただし、高周波域にいくほど増幅率は 0 に、位相差は 90 度に近づき、増幅器としての役目を果たさなくなる。

ハイパスフィルターは特定周波数前後での増幅率が良く、位相差も少ない。それに対し、そこから離れるにつれ、増幅率は 0 に近づき、位相差も大きくなる。

これらのことを考えると、ローパスフィルターは低周波数域の電圧変化を増幅し、ハイパスフィルターは特定周波数域の電圧変化増幅し、それ以外をカットする。これがそれぞれの名

前の由来であろう。コンデンサー容量や抵抗を変えたり、これらを組み合わせたりすることで、周波数特性を設定することにより、必要とする電気信号の中から図3のようにノイズを取り去ったり、オーディオ機器で例えば人の声（の周波数帯）のみを取り出すことも可能となる。



(図3)

最後に理論値と実測値の誤差についてであるが、今回の実験では、特に低周波数域で、誤差は非常に小さかったと思われる。周波数が高いところでは配線が一部コイル化してしまっているのかもしれない。