

実験項目	実験 B8 演算増幅器(OP アンプ)
校名 科名 学年 番号	熊本高等専門学校 人間情報システム工学科 3 年 42 号
氏名	山口惺司
班名 回数	4 班 1 回目
実験年月日 建物 部屋名	2023 年 11 月 9 日 木曜 天候 晴 3 号棟 1 階 HI 演習室
共同実験者名	山内玲奈

1. 実験目的

演算増幅器 (Operational Amplifier) をもちいた回路の特性を測定し、その取り扱いおよび動作原理を理解する。

2. 実験原理

OP アンプは2つの入力端子と1つの出力端子をもつ差動増幅器で、2入力端子の差電圧に応じて出力が変化する直流増幅器である。その内部回路は非常に複雑で多くの部品を必要としたが、IC技術の発展により安価で大量に生産することが可能になり、現在では各方面で広く利用されている。

2.1 差動増幅器

OP アンプの特性は、初段にある差動増幅器の特性で決定される。図1において、入力電圧 V_i , V_n が加えられたときの出力電圧は、

$$V_o = -A_v (V_i - V_n) \quad (1)$$

(A_v : 電圧増幅率) で表される。

よって、差動出力電圧 V_o は差動入力電圧 $V_i - V_n$ に比例する。

次に、入力電圧 $V_i = V_n$ のとき出力電圧は $V_o = 0$ となるはずであるが、実際には完全なバランス状態は非常に得難く、入力トランジスタの V_{be} には微小の差があり、これを入力オフセット電圧 : $V_{io} = V_{b1} - V_{b2}$ 。また、入力電流 I_{b1} , I_{b2} のことを入力バイアス電流、その差を入力オフセット電流 : I_{io} と呼び、OP アンプの良さを規定する代表的な特性となっている。

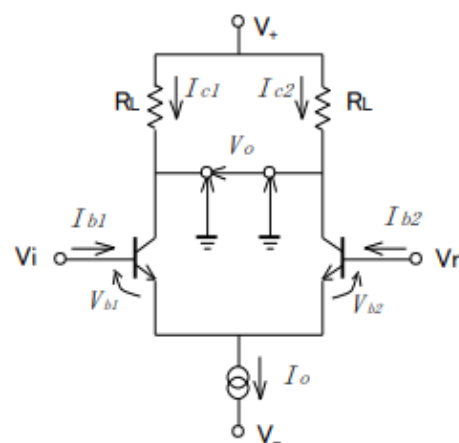


図1 差動増幅器

2.2 OP アンプ

OP アンプの表示を図2に示す。 V_i は反転入力端子で、印加信号と極性が逆の出力信号が得られることを意味する。 V_n は非反転入力端子で、印加信号と出力信号の極性が等しいことを意味している。

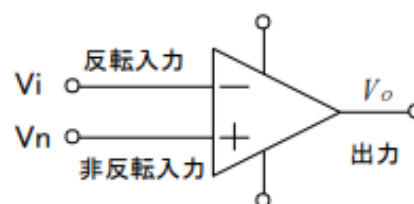


図2 OPアンプの表示

OP アンプの入出力特性は、(1)式より図3 で示した ようになる。 A_v が非常に大きくなると、入出力の傾斜 は大きくなり、 $A_v \rightarrow \infty$ で $V_- < V_o < V_+$ はダイナミックレンジ内では $(V_i - V_n) \rightarrow 0$ (V) となることが予想される。

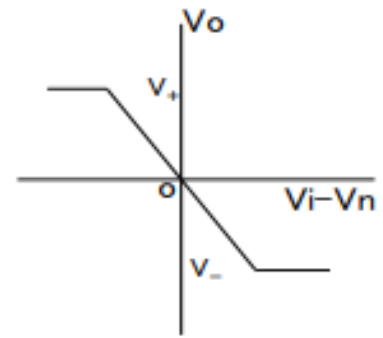


図3 OP アンプの出力特性

2.3 反転増幅器

図4 は OP アンプの最も基本的な応用である 反転増幅器の一例である。入力抵抗を無限大、電圧増幅度も無限大となる理想 OP アンプを使用したとすると、まず OP アンプの入力端子に 電流が流れないので

$$I_i = I_f \quad (2)$$

$A_v = \infty$ より

$$V_n = V_i = 0 \quad (3) \quad (\text{イマジナルショート})$$

また,

$$I_i = e_i / R_i, \quad I_f = -e_o / R_f \quad (4)$$

以上のことより

$$e_o = -R_f / R_i \cdot e_i \quad (5)$$

となる。

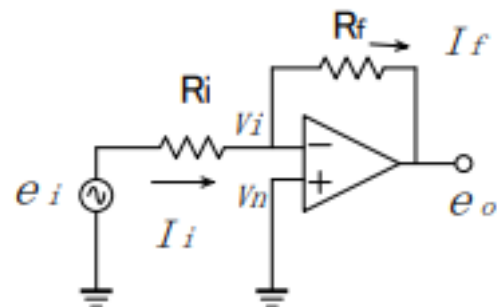


図4 反転増幅器

2.4 加算回路

図5 に示す回路で

$$I_a + I_b = I_f \quad (6)$$

また,

$$I_a = V_a / R, \quad I_b = V_b / R, \quad I_f = -V_o / R \quad (7)$$

より,

$$V_o = -(V_a + V_b) \quad (8)$$

となり加算回路として動作する。

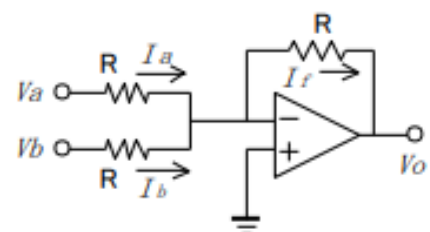


図5 加算回路

2.5 減算回路

図 6 に示す回路で

$$I_f = I_a = (V_a - V_i)/R \quad (9)$$

$$V_i = V_n = V_b/2 \quad (10)$$

$$V_o = V_i - I_f \cdot R \quad (11)$$

このとき、

$$V_o = -(V_a - V_b) \quad (12)$$

となり減算回路として動作する。

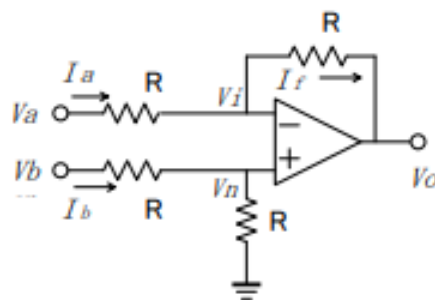


図 6 減算回路

3. 実験回路

以下の図 7, 図 8, 図 9 について、ブレッドボード上に OP アンプ IC と抵抗 を用いて回路を組み実験を行う。

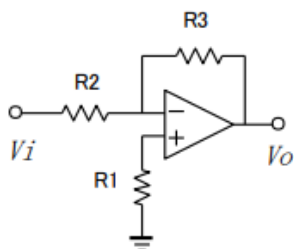


図 7 反転増幅回路

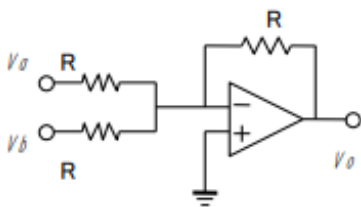


図 8 加算回路

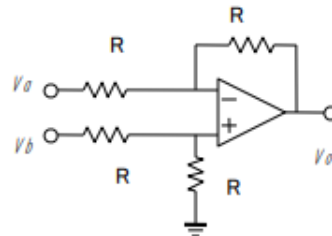


図 9 減算回路

4. 実験内容

4.1 反転増幅器の入出力特性

図 7 の回路をブレッドボード上に組み $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ とし, R_3 を $10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, $1\text{M}\Omega$ としたときの電圧利得 ($A_v = V_o/V_i$) を測定する. 結果を表 1 のように まとめる. 測定範囲は出力が飽和するまでとし, 測定ポイントは 10 以上とする. 変化が急峻なところ(飽和する前後)を多く測定する. また, この結果をもとに入出力特性のグラフを描く.

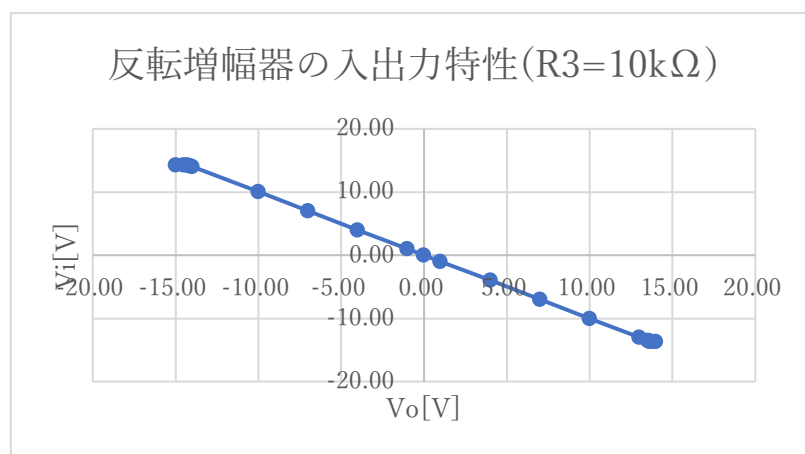
※入出力特性のグラフは 3 種類作成する. 横軸の目盛り範囲を調整し, 倍率の異なる同じ傾向の 3 つのグラフが確認できるようにする.

V_i : 標準直流電源

V_o : デジタルマルチメータ

表 1 反転増幅器の入出力特性

R3 = 10k Ω			R3 = 100k Ω			R3 = 1M Ω		
Vi	Vo	Av	Vi	Vo	Av	Vi	Vo	Av
-15.00	14.30	-0.95	-1.50	14.39	-9.59	-0.15	14.45	-96.33
-14.50	14.30	-0.99	-1.45	14.39	-9.92	-0.15	14.45	-98.30
-14.30	14.30	-1.00	-1.43	14.31	-10.01	-0.15	14.45	-99.66
-14.20	14.23	-1.00	-1.42	14.21	-10.01	-0.14	14.38	-100.56
-14.10	14.13	-1.00	-1.41	14.11	-10.01	-0.14	14.07	-100.50
-14.00	14.03	-1.00	-1.40	14.01	-10.01	-0.10	10.08	-100.80
-10.00	10.02	-1.00	-1.00	10.01	-10.01	-0.07	7.08	-101.14
-7.00	7.01	-1.00	-0.70	7.00	-10.00	-0.04	4.07	-101.75
-4.00	4.00	-1.00	-0.40	4.00	-10.00	-0.01	1.07	-106.70
-1.00	1.00	-1.00	-0.10	1.01	-10.10	0.00	0.00	#DIV/0!
0.00	0.00	#DIV/0!	0.00	0.00	#DIV/0!	0.01	-0.90	-90.20
1.00	-1.00	-1.00	0.10	-0.99	-9.94	0.04	-3.90	-97.50
4.00	-4.00	-1.00	0.40	-3.99	-9.98	0.07	-6.91	-98.71
7.00	-7.01	-1.00	0.70	-6.99	-9.99	0.10	-9.91	-99.10
10.00	-10.02	-1.00	1.00	-9.99	-9.99	0.13	-12.87	-99.00
13.00	-13.03	-1.00	1.30	-12.99	-9.99	0.14	-13.74	-98.14
13.50	-13.52	-1.00	1.35	-13.49	-9.99	0.15	-13.78	-95.03
13.60	-13.62	-1.00	1.36	-13.59	-9.99	0.15	-13.79	-91.93
13.65	-13.66	-1.00	1.37	-13.65	-10.00			
13.67	-13.68	-1.00	1.37	-13.69	-9.99			
13.70	-13.69	-1.00	1.38	-13.72	-9.98			
14.00	-13.69	-0.98	1.38	-13.75	-9.96			
			1.39	-13.78	-9.91			
			1.40	-13.79	-9.85			
			1.50	-13.79	-9.19			

図 10 反転増幅器の入出力特性のグラフ (R3 = 10k Ω)

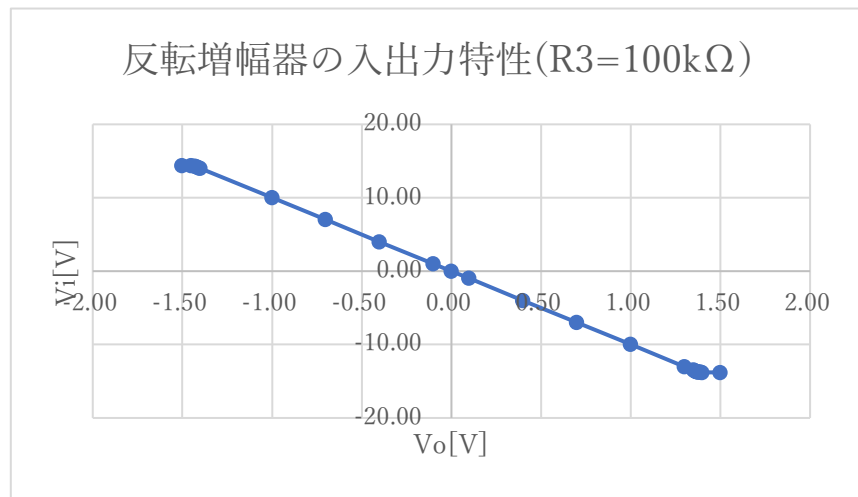


図 11 反転増幅器の入出力特性のグラフ ($R_3 = 100\text{k}\Omega$)

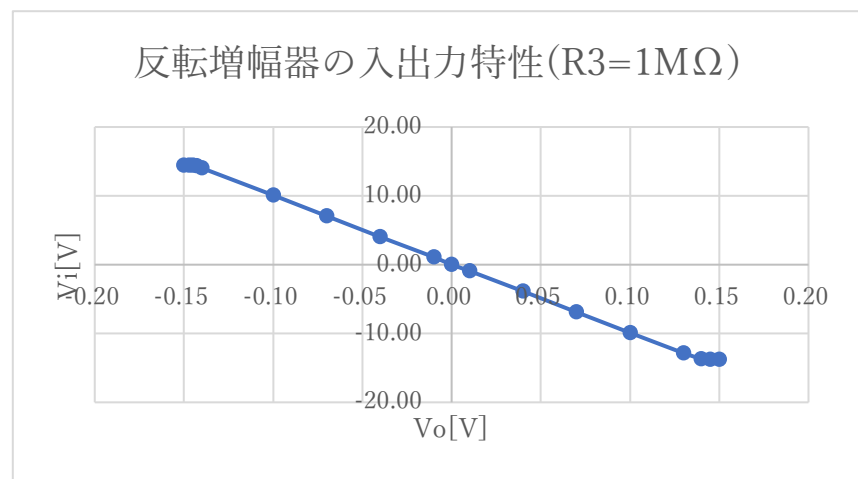


図 12 反転増幅器の入出力特性のグラフ ($R_3 = 1\text{M}\Omega$)

4.2 反転増幅器の周波数特性

図 7 で $R_1=R_2=10\text{k}\Omega$, $R_3=100\text{k}\Omega$ とし, V_i に発振器を接続し $20\text{Hz}\sim 200\text{kHz}$ の正弦波 (振幅 1Vp-p 一定) を入力したときの出力を測定する. 測定点は, トランジスタ増幅器の制作時に測定した間隔で取る. 結果を表 2 のようにまとめる. また, この結果をもとに周波数特性のグラフを描く.

V_i : 低周波発振器

V_o : オシロスコープ

表 2 反転増幅器の周波数特性

周波数	出力電圧	電圧利得	
f (Hz)	V _o (V)	A _v (倍)	G _v (dB)
40.00	10.20	10.20	20.17
70.00	10.20	10.20	20.17
100.00	10.20	10.20	20.17
200.00	10.20	10.20	20.17
400.00	10.20	10.20	20.17
700.00	10.20	10.20	20.17
1000.00	10.20	10.20	20.17
2000.00	10.20	10.20	20.17
4000.00	10.00	10.00	20.00
7000.00	10.00	10.00	20.00
10000.00	10.20	10.20	20.17
20000.00	10.00	10.00	20.00
40000.00	7.28	7.28	17.24
70000.00	5.00	5.00	13.98
100000.00	3.80	3.80	11.60

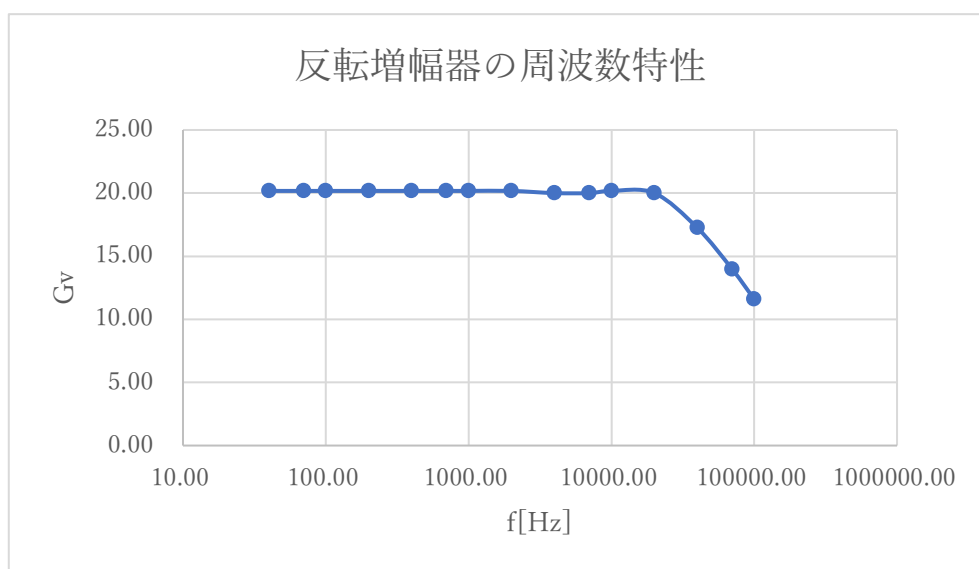


図 13 反転増幅器の周波数特性

4.3 加算回路および減算回路

$R = 10 \text{ k}\Omega$ として図 8 の加算回路および図 9 の減算回路をつくり, $0 \leq V_a \leq 3(\text{V})$, $0 \leq V_b \leq 3(\text{V})$ のときの V_o を測定する. $V_a \leq V_b$, $V_a = V_b$, $V_a \geq V_b$ の 3 種類を測定し, 結果を表 3, 表 4 のようにまとめる.

V_a, V_b : 直流定電圧電源

V_o : デジタルマルチメータ

表 3 加算回路

Va	Vb	加算
1.001	3	-4
2	2	-4
2.995	1	-3.99

表 4 減算回路

Va	Vb	減算
1.001	3	2.011
2.007	2	0
2.998	1	-1.998

5. 研究課題

1. 反転増幅器の動作について調べ、今回の実験を検証せよ.

反転増幅器は

$$-V_{out} = V_{in}(R_3/R_2)$$

という式で計算ができる。

この式を今回調べたデータに当てはめると、式が成り立つため、今回の実験結果は正しいと言える。

2. 加算、減算回路の動作について調べ、今回の実験を検証せよ。

加算回路は入力電圧 Va と Vb の和が出力される。

また、式は

$$V_{out} = -(V_a + V_b)$$

となる。

減算回路は入力電圧 Va と Vb の差が出力される。

また、式は

$$V_{out} = -(V_a - V_b)$$

となる。

以上より、今回の実験は正しいと言える。