|  |  |
| --- | --- |
| 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 |

# 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．

# 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 Vi，Vn が加えられたときの出力電圧は，

### 𝑉𝑖 = −𝐴𝑉 (𝑉𝑖 − 𝑉𝑛 ) (1)

### (Av ：電圧増幅率） で表される．

### ダイアグラム, 概略図 自動的に生成された説明よって，差動出力電圧 Vo は差動入力電圧 Vi-Vn に比例する．

### 次に，入力電圧 Vi=Vn のとき出力電圧は Vo=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 Vbe には微小の差があり，これを入力 オフセット電圧：Vio＝Vb1-Vb2．また，入力 電流 Ib1，Ib2 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：Iio 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

### ダイアグラム 自動的に生成された説明 OP アンプの表示を図2 に示す．Vi 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． Vn 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

### グラフ 自動的に生成された説明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．Av が非常に大きくなると，入出力の傾斜 は大きくなり，Av→∞で V₋＜Vo＜V₊はダイナミックレ ンジ内では（Vi-Vn)→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

### ダイアグラム, 概略図 自動的に生成された説明𝐼𝑖 = 𝐼𝑓 (2)

### Av＝∞より

### 𝑉𝑛 = 𝑉𝑖 = 0 (3) (イマジナルショート)

### また，

### 𝐼𝑖 = 𝑒𝑖/𝑅𝑖 ，𝐼𝑓 = − 𝑒𝑜/𝑅𝑓 (4)

### 以上のことより

### 𝑒𝑜 = − 𝑅𝑓/𝑅𝑖 ∙ 𝑒𝑖 (5)

### となる． 　　　図4 反転増幅器

## 2.4 加算回路

### ダイアグラム, 概略図 自動的に生成された説明 図5 に示す回路で

### 𝐼𝑎 + 𝐼𝑏 = 𝐼𝑓 (6)

### また，

### 𝐼𝑎 = 𝑉𝑎/𝑅 ，𝐼𝑏 = 𝑉𝑏/𝑅 ，𝐼𝑓 = − 𝑉𝑜/𝑅 (7)

### より，

### 𝑉𝑜 = −(𝑉𝑎 + 𝑉𝑏 ) (8)

### となり加算回路として動作する． 図5 加算回路

## 時計 が含まれている画像 自動的に生成された説明2.5 減算回路

図6 に示す回路で

𝐼𝑓 = 𝐼𝑎 = (𝑉𝑎 − 𝑉𝑖)/𝑅 (9)

𝑉𝑖 = 𝑉𝑛 = 𝑉𝑏/2 (10)

𝑉𝑜 = 𝑉𝑖 − 𝐼𝑓 ∙ 𝑅 (11)

このとき，

𝑉𝑜 = −(𝑉𝑎 − 𝑉𝑏) (12)

となり減算回路として動作する． 図６ 減算回路

# 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．

ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明パソコンの画面

中程度の精度で自動的に生成された説明

図７ 反転増幅回路 図８ 加算回路 図９ 減算回路

# 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 R1＝R2＝10kΩとし，R3 を 10kΩ，100k Ω，１MΩとしたときの電圧利得（Av=Vo/Vi）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．

Vi : 標準直流電源

Vo : デジタルマルチメータ

表1 反転増幅器の入出力特性

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R3 = 10kΩ | | | R3 = 100kΩ | | | R3 = 1MΩ | | |
| 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 = 10kΩ)

図11 反転増幅器の入出力特性のグラフ(R3 = 100kΩ)

図12 反転増幅器の入出力特性のグラフ(R3 = 1MΩ)

## 4.2 反転増幅器の周波数特性

図7 で R1＝R2＝10kΩ，R3＝100kΩとし，Vi に発振器を接続し 20Hz～200kHz 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．

Vi : 低周波発振器

Vo : 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) | Vo(V) | Av(倍) | Gv(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 kΩ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 ≦ Va ≦3(V), 0 ≦ Vb ≦3(V) のときの Vo を測定する．Va ≦ Vb，Va ＝ Vb，Va ≧ Vb の 3 種類を測定し，結果を表3 ,表4のようにまとめる．

Va,Vb: 直流定電圧電源

Vo: デジタルマルチメータ

　　　表3　加算回路 表4　減算回路

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

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

# 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

-Vout = Vin(R3/R2)

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。

1. 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

Vout = -(Va + Vb)

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

Vout = -(Va – Vb)

となる。

以上より、今回の実験は正しいと言える。