

# 低周波増幅回路

## 1 実習の目的

エミッタ接地 CR 結合低周波一段増幅回路の諸特性を測定することを通して、トランジスタを用いた増幅回路の特性及び動作原理を理解する。

## 2 使用する機器

- 回路計
- トランジスタ (2SC1815-O、2SC1815Y、2SC1815-GR、2SC1815-BL)\*<sup>1</sup>
- 低周波発振器
- オシロスコープ
- 直流安定化電源装置 ( $V_{CC}$  用)
- 電子電圧計 2 台

## 3 実習

実習する項目

- (1) 回路定数の設計について学習する\*<sup>2</sup>
- (2) 実習装置について調べる
- (3) 入出力特性を測定し、グラフを作成して特性を理解する
- (4) 周波数特性を測定し、グラフを作成して特性を理解する

---

\*<sup>1</sup>  $I_C = 1\text{mA}$  となる様に  $R_B$  を調整すれば、どれでも Ok !

\*<sup>2</sup> 実教出版株式会社「電子回路」新訂版、第 2 章第 5 節「トランジスタによる小信号増幅回路の設計」

### 3.1 回路定数の設計

#### 1. まず $R_E$ を決める

設計条件

- (1) コレクタ電流  $I_C$  には、1mA を流すことにする。
- (2)  $V_{CC}$  は、直流電源装置からの DC12V とする。
- (3) エミッタ抵抗  $R_E$  における電圧降下  $V_E = V_{RE}$  は、 $V_{CC}$  の 10% になる様にする。

- (1) 設計条件の (2) と (3) より、 $V_{RE} = V_{CC} \times 0.1 = ( \quad ) V$
- (2)  $R_E$  に流れる電流は、 $I_E = I_B + I_C$  になるが、実際には  $I_B \ll I_C$  であるから、 $I_E \doteq I_C$  と概算する。従って  $R_E$  の電流  $I_E$  も、 $I_C$  と同じ  $( \quad ) mA$  だと考えられる。その時の  $R_E$  における電圧降下は  $V_{RE} = ( \quad ) V$  だったから、 $R_E = \frac{V_{RE}}{I_E} = ( \quad ) k\Omega$

#### 2. 次に、 $R_C$ を決める

設計条件

- (4)  $V_{CE} \doteq V_{RC}$  となる様に設計する。これにより最大値の大きな交流信号が得られる。

- (1)  $V_{CC} = V_{RC} + V_{CE} + V_{RE}$  で、 $V_{CE} = V_{RC}$  とおけば、 $V_{RC} = \frac{V_{CC} - V_{RE}}{2} = ( \quad ) V$
- (2) 抵抗  $R_C$  の端子間電圧が上記の通りであり、これに流れる電流  $I_C$  は設計条件 (1) で決められているので、 $R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = ( \quad ) k\Omega$  だが、E 系列\*3 の数値から  $R_C = 5.6k\Omega$  を選ぶ

#### 3. ブリーダ抵抗 $R_A$ を決める

設計条件

- (5) 使用するトランジスタの直流電流増幅率を  $h_{FE} \doteq 180$  とする。
- (6) このトランジスタのベース-エミッタ間の電圧は  $V_{BE} \doteq 0.6V$  とする。
- (7)  $R_A$  にはベース電流  $I_B$  の 20 倍の電流 (ブリーダ電流  $I_A$ ) を流すことにする。

- (1) コレクタ電流  $I_C$  に 1mA を流す時のベース電流  $I_B$  は、 $I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = ( \quad ) \mu A$
- (2) 設計条件 (7) よりブリーダ電流は、 $I_A = 20 \times I_B = ( \quad ) \mu A$
- (3) ベース電位は  $V_B = V_{BE} + V_{RE}$  であるから、 $V_B = ( \quad ) + ( \quad ) = ( \quad ) V$
- (4) この値  $V_B$  は、 $R_A$  にブリーダ電流  $I_A$  が流れることによる電圧降下  $V_{RA}$  に等しいから、 $R_A = \frac{V_{RA}}{I_A} = \frac{V_B}{I_A} = ( \quad ) k\Omega$

#### 4. 最後に、 $R_B$ を決める

- (1) ブリーダ抵抗  $R_A$  と  $R_B$  は  $V_{CC}$  を分圧しているので、 $V_{RB} = V_{CC} - V_{RA} = ( \quad ) V$
- (2)  $R_B$  にはブリーダ電流  $I_A$  とベース電流  $I_B$  の両方  $I_A + I_B = ( \quad ) \mu A$  が流れるので、 $V_{RB} = R_B \cdot (I_A + I_B)$  より、 $R_B = \frac{V_{RB}}{I_A + I_B} \doteq ( \quad ) k\Omega$

\*3 抵抗値と静電容量値には、いくつかの標準数値が規定され、推奨されている。標準数値の E24 系列の数値は次の通り。

1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1

(3) E 系列の数値から、 $R_B = 91k\Omega$  を選ぶことにする

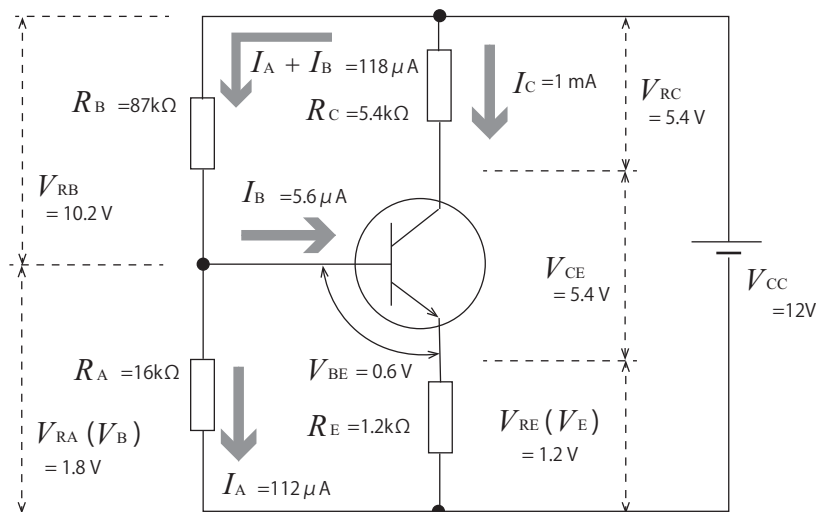


図 2.1 回路定数を算出した時の値

### 3.2 実習装置について調べる

回路計を使って以下の手順で測定し、図 2.2 と表 2.1 に測定した値を記録する

- (1) 表 2.1 の項番の 1～6 を測定し記録する。(実習装置から Tr は取り外し、電源装置も繋がらない)
- (2) Tr の名前を読み取って記録し、そのトランジスタについて調査したことをレポートに報告する
- (3) 抵抗器のカラーコードなどを読み取り、その抵抗器の公称値を調べ、実測値と比較する
- (4) この後 Tr を実習装置にセットし、また直流電源装置を 12V に設定して実習装置に給電する
- (5) Tr の 3 つの端子を使って、表 2.1 の項番 7～12 の電圧を回路計で直接測定する
- (6) 設計時の条件や目標値と、実際に測定した値とを比較する

実習装置で使っているトランジスタの外観、及び名盤の表記をスケッチし、トランジスタの図記号、端子の名称、各端子を流れる電流の呼称と表記、端子間電圧の呼称と表記について調べて記録する

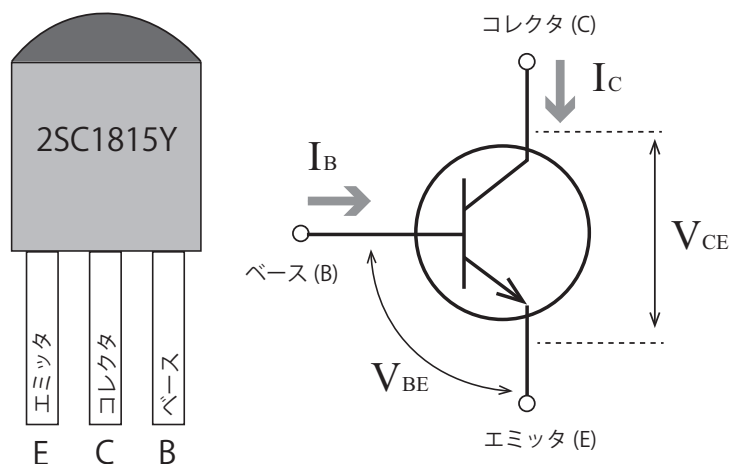
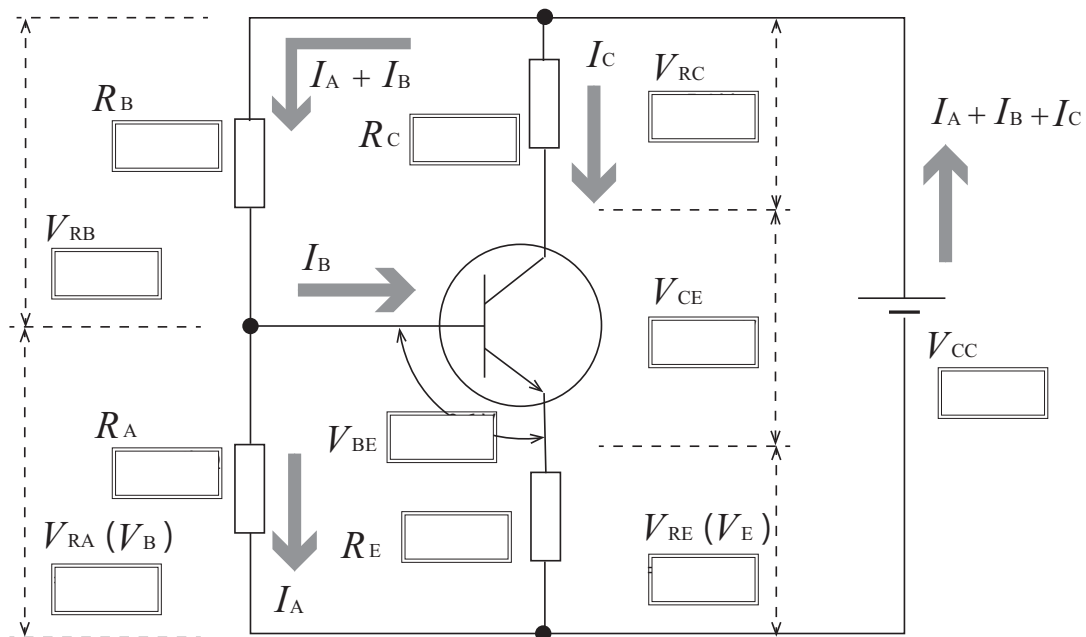


表 2.1 回路計による実測値

項番	項目	実測値	備考（公称値など）
1	$R_E$	$k\Omega$	エミッタ端子と GND 端子の間で測定 <sup>*4</sup>
2	$R_C$	$k\Omega$	コレクタ端子と $V_{CC}$ の+端子の間で測定
3	$R_A$	$k\Omega$	ベース端子と GND 端子の間で測定
4	$R_B$	$k\Omega$	ベース端子と $V_{CC}$ の+端子の間で測定
5	$V_{CC}$	V	直流安定化電源装置（DC12V）
6	$h_{FE}$		Tr の名称は（                      ）
7	$V_{RC}$	V	設計時の目標は $V_{RC} \doteq V_{CE} = (V_{CC} - V_{RE})/2$ だけど？
8	$V_{CE}$	V	$V_{RC} \doteq V_{CE}$ で最大値の大きな交流信号出力が得られる
9	$V_{BE}$	V	シリコン Tr の値になっているかな？
10	$V_{RE}$	V	設計時の条件、 $V_{CC}$ の 10% = (        ) V になってる？
11	$V_{RA}$	V	$V_{BE} + V_{RE} = (                      )$ V と比べてどうかな？
12	$V_{RE} + V_{CE}$	V	$V_{CC} - V_{RC} = (                      )$ V と比べてどうかな？



$$V_B = V_{RA} = V_{BE} + V_{RE} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_C = V_{CE} + V_{RE} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{CC} = V_{RC} + V_C = V_{RC} + V_{CE} + V_{RE} = V_{RB} + V_{RA}$$

図 2.2 実際の回路で測定した時の値

<sup>\*4</sup> 抵抗値の測定ではトランジスタを実習装置から取り外すこと

### 3.3 入出力特性を測定する

入出力特性の測定と並行して、オシロスコープで入力波形および出力波形を観察、記録する

- (1) 電源電圧を  $E_C(V_{CC}) = 12V$  とし、発振器の周波数を  $1kHz$  一定の正弦波とする
- (2) 入力電圧  $V_i$  を増加させ、その時の出力電圧  $V_o$  の値を記録する

測定を終えたら、次の作業を行う

- (1) 電圧増幅度 ( $A_V = V_o/V_i$ ) を計算する
- (2) 入出力特性 (入力電圧ー出力電圧) をグラフに表す
- (3) グラフの直線部分を直線のまま延伸し、実測値と離れる時の入力電圧を読み取る
- (4) その時の入力電圧の前後で、出力波形に歪みを生じ始めていることを確認する

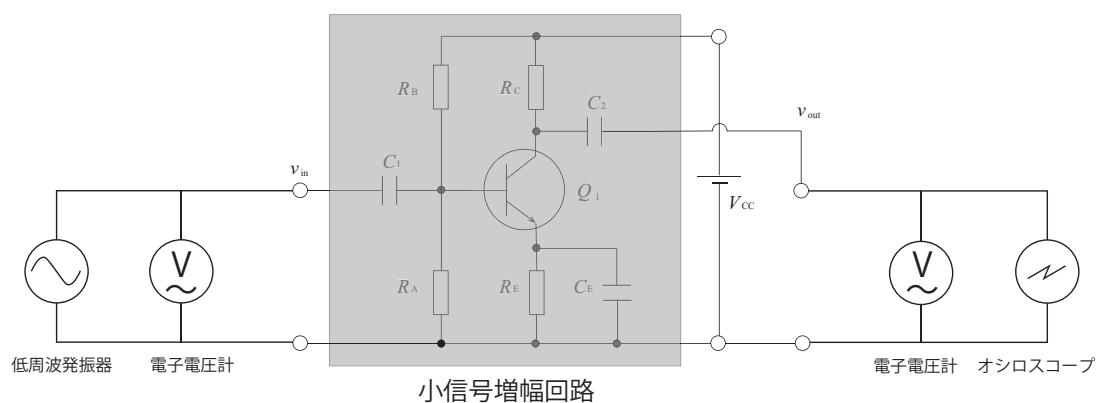


図 2.3 実習装置

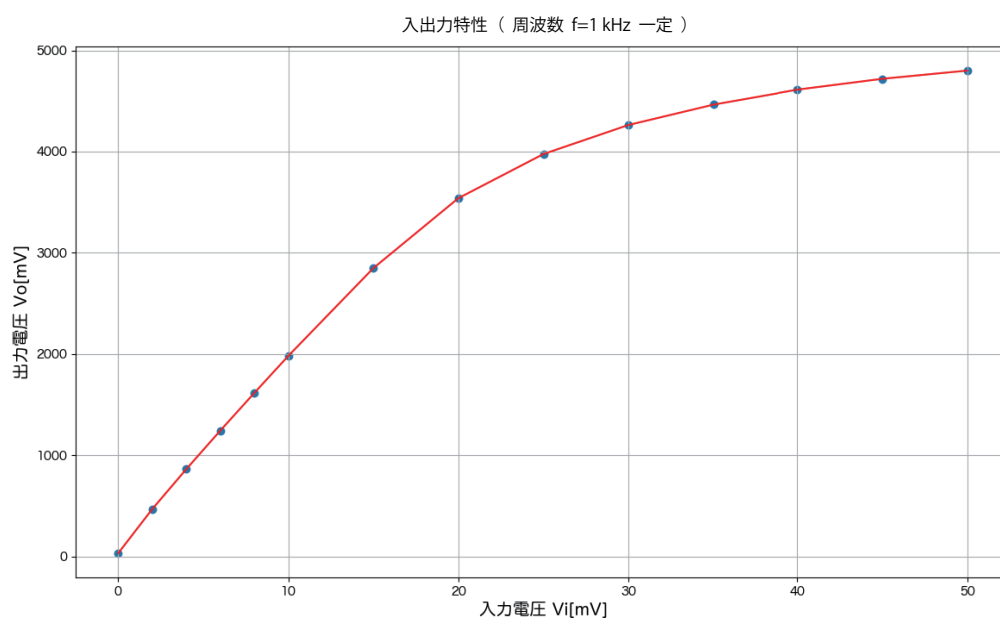


図 2.4 入出力特性のグラフ作成例

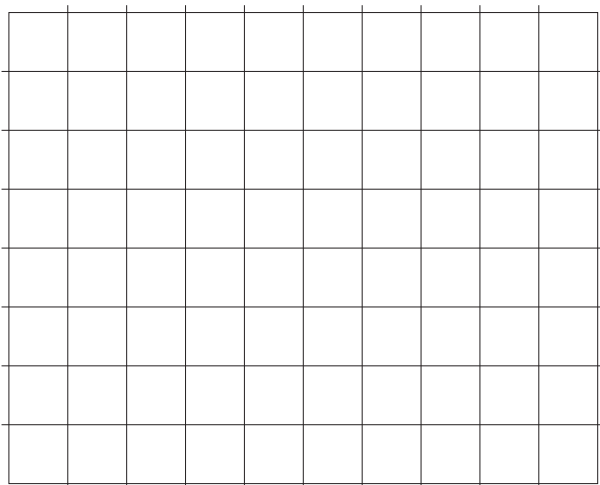
表5 入出力特性 (周波数  $f = 1\text{kHz}$  一定)

入力電圧 $V_i$ [mV]	0	2	4	6	8	10	15	20
出力電圧 $V_o$ [mV]								
電圧増幅度 $A_v$								

25	30	35	40	45	50

図 2.5 入出力特性の記録用紙

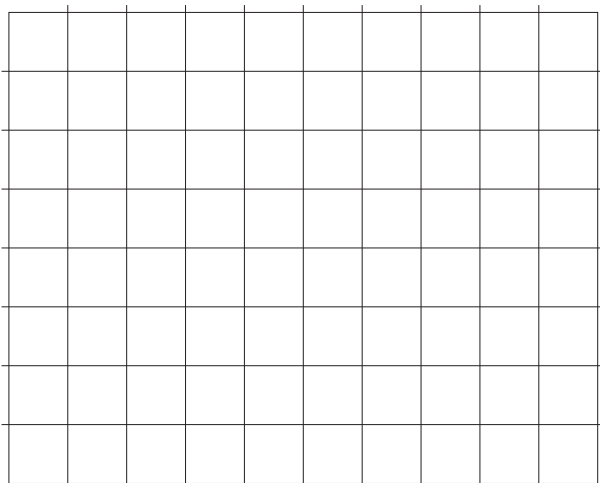
【入出力特性：オシロスコープ画面の情報をスケッチせよ】

CH 1：入力信号 ( $f = 1\text{kHz}$  一定)  $V_i = 6\text{mV}$ 

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2：その時の出力信号

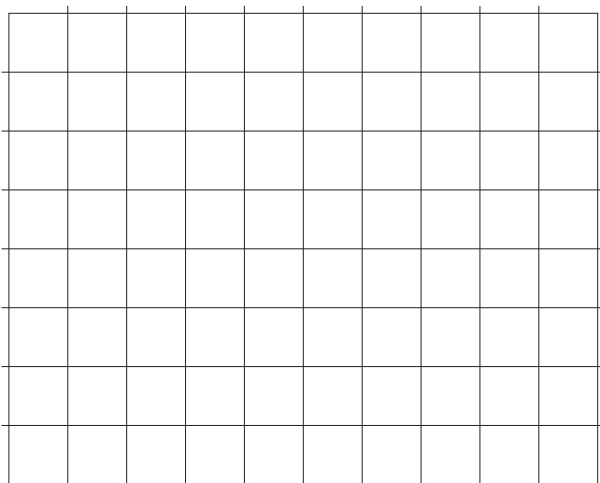
振幅 pp			
波長			

CH 1：入力信号 ( $f = 1\text{kHz}$  一定)  $V_i = 10\text{mV}$ 

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2：その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

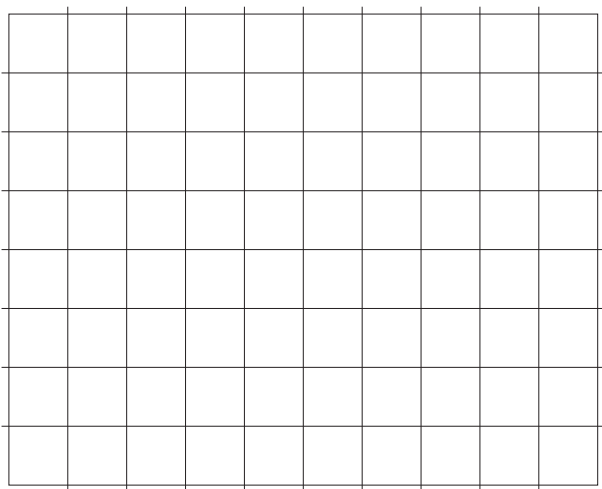
CH 1：入力信号 ( $f = 1\text{kHz}$  一定)  $V_i = 20\text{mV}$ 

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2：その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

## 低周波増幅回路

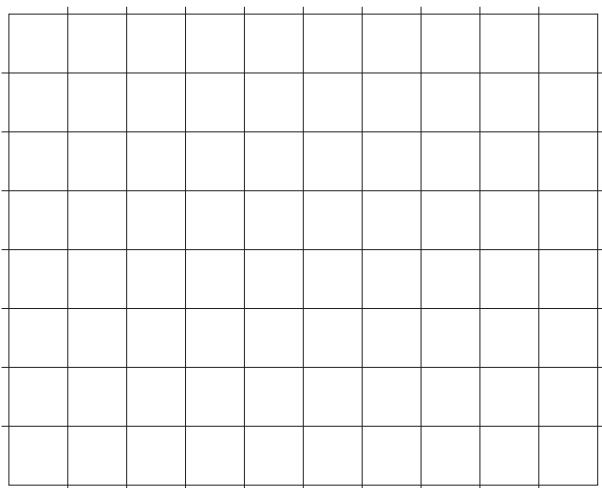


CH 1 : 入力信号 ( $f = 1\text{kHz}$  一定)  $V_i = 30\text{mV}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

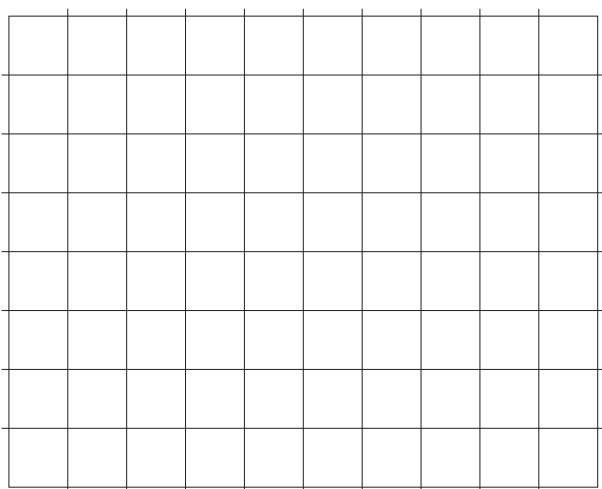


CH 1 : 入力信号 ( $f = 1\text{kHz}$  一定)  $V_i = 40\text{mV}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			



CH 1 : 入力信号 ( $f = 1\text{kHz}$  一定)  $V_i = 50\text{mV}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			



### 3.4 周波数特性を測定する

周波数特性の測定と並行して、オシロスコープで出力波形を観察、記録すること

- (1) 電源電圧を  $E_C(V_{CC}) = 12V$  とし、入力電圧を  $V_i = 5mV$  一定の正弦波とする
- (2) 入力の周波数を変えて、その都度出力電圧  $V_o$  を記録する ( $V_i = 5mV$  を一定を保つ)

測定を終えたら次の作業を行う

- (1) 電圧増幅度  $A_v = V_o/V_i$ 、および電圧利得  $G_v[dB] = 20 \log A_v$  を計算する
- (2) 周波数特性（周波数 - 電圧利得）を、周波数を横軸とする片対数グラフに表す
- (3) 中域周波数での電圧利得  $G_{vA}$  を読み取り、そこから 3[dB] 低下した増幅度  $G_{vA} - 3$  を求める
- (4) 低域遮断周波数  $f_L[Hz]$ 、高域遮断周波数  $f_H[Hz]$ 、帯域幅  $B[dB] = f_H - f_L$  をグラフから読み取る

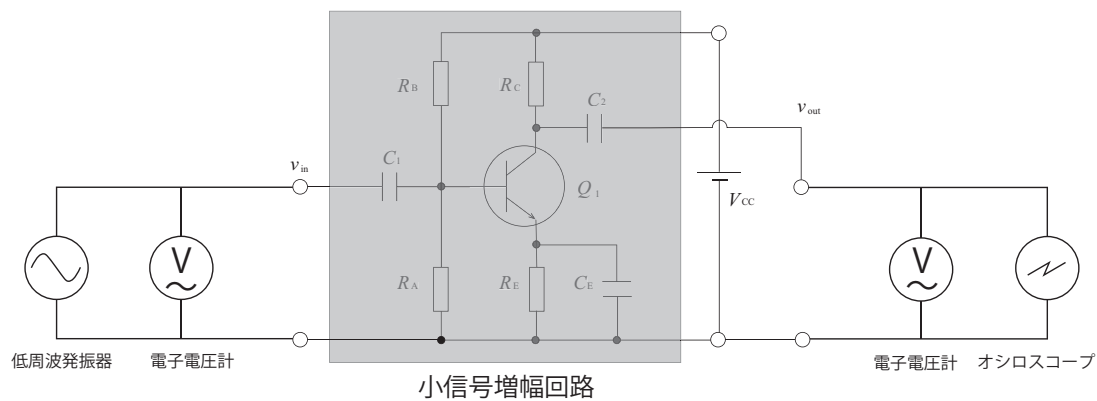


図 2.6 実習装置

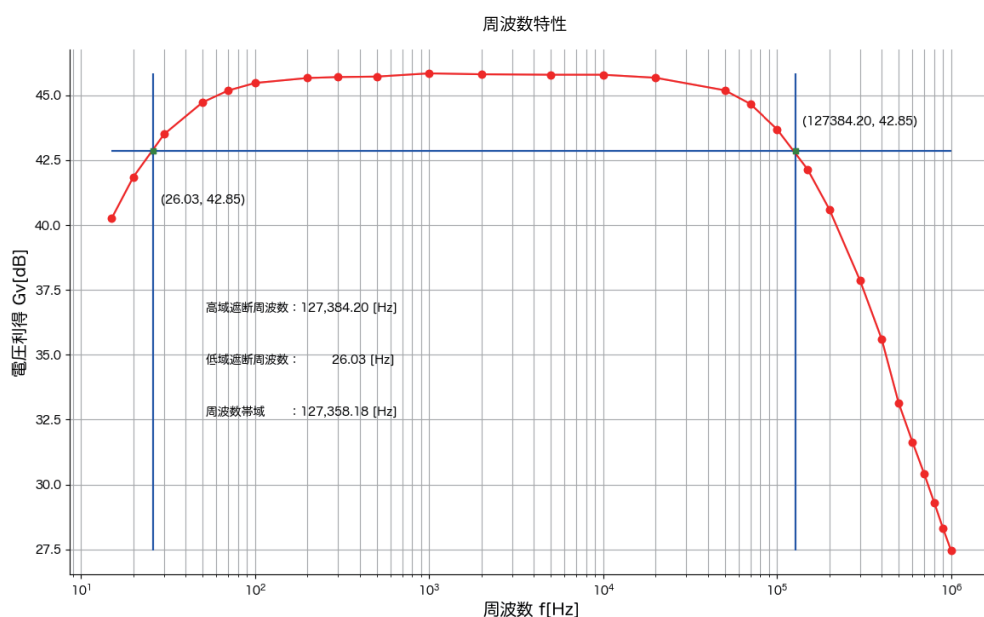


図 2.7 周波数特性のグラフ作成例

表6 周波数特性 (入力電圧  $V_i = 5 \text{ mV}$ )

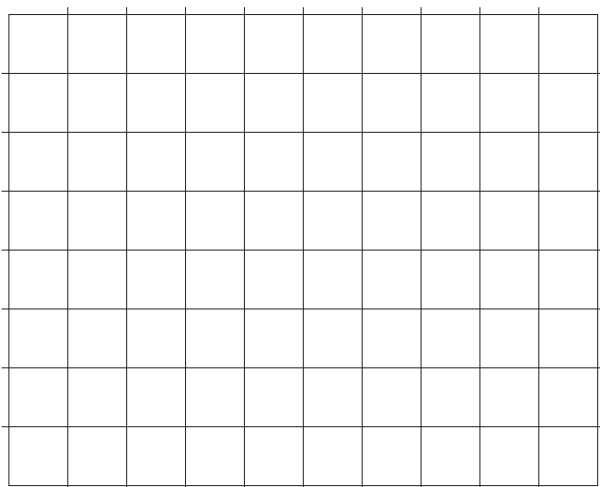
周波数 $f$ [Hz]	15	20	30	50	70	100	200	300	500	1k
出力電圧 $V_o$ [mV]										
電圧増幅度 $A_v$										
電圧利得 $G_v$ [dB]										

	2k	5k	10k	20k	50k	70k	100k	150k	200k	300k

	400k	500k	600k	700k	800k	900k	1M			

図 2.8 周波数特性の記録用紙

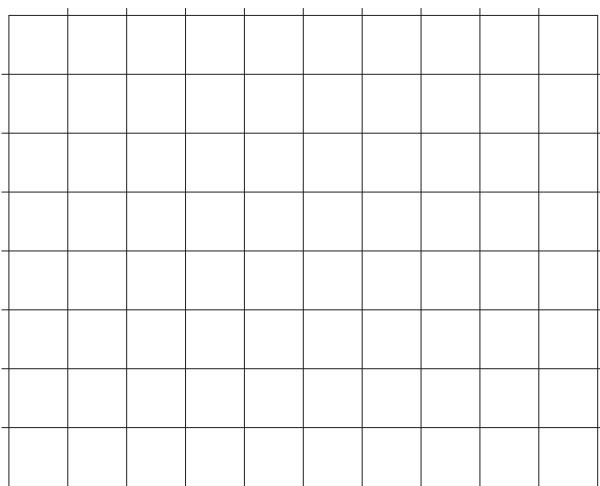
【周波数特性：オシロスコープ画面の情報をスケッチせよ】

CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 20\text{Hz}$ 

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

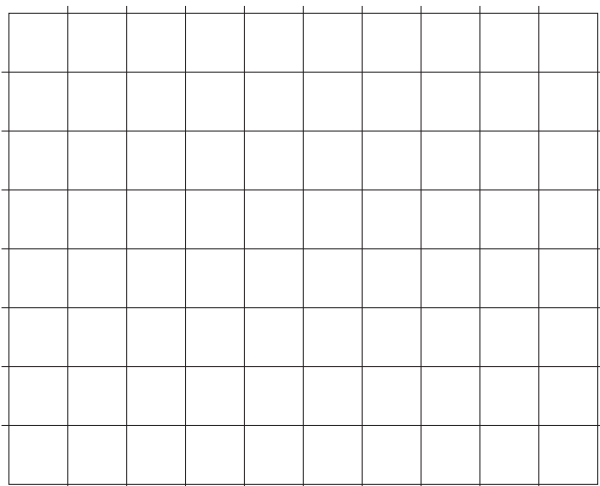
振幅 pp			
波長			

CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 30\text{Hz}$ 

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

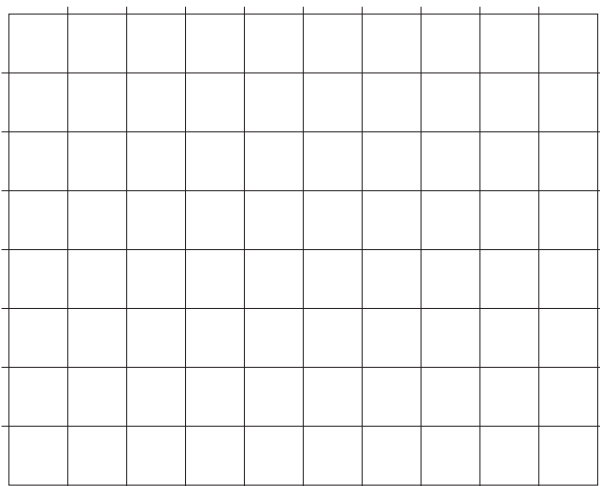
CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 50\text{Hz}$ 

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

## 低周波増幅回路

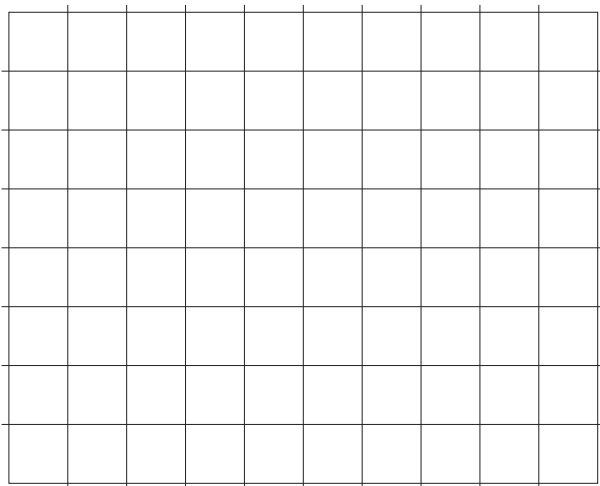


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 100\text{Hz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

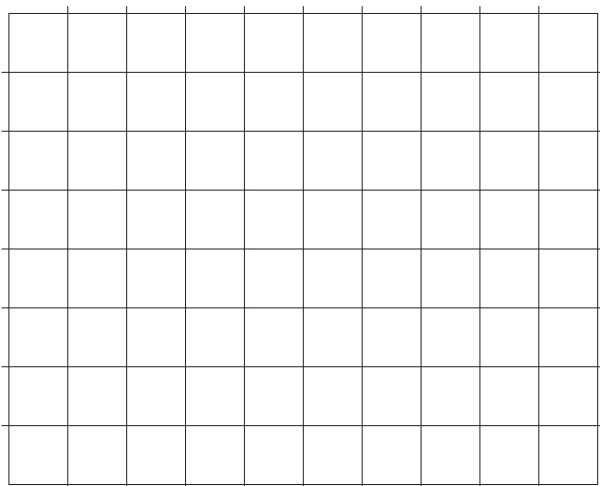


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 1\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			



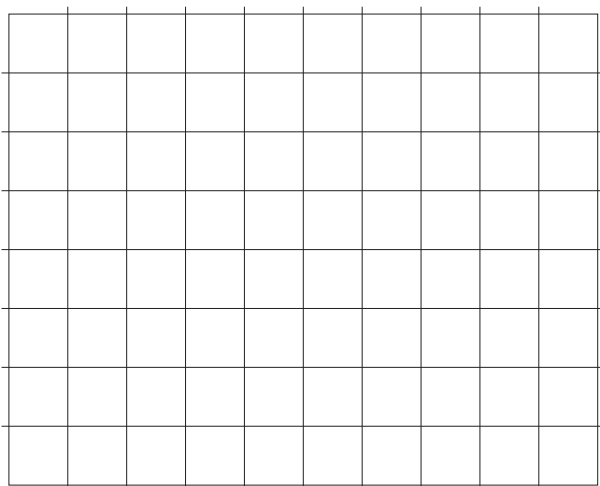
CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 10\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

## 低周波増幅回路

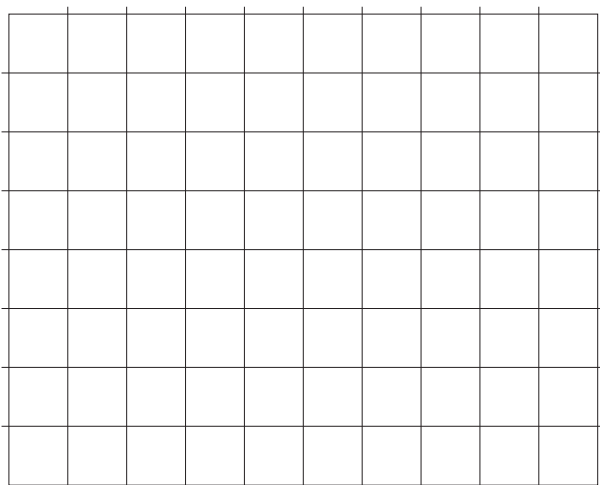


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 50\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

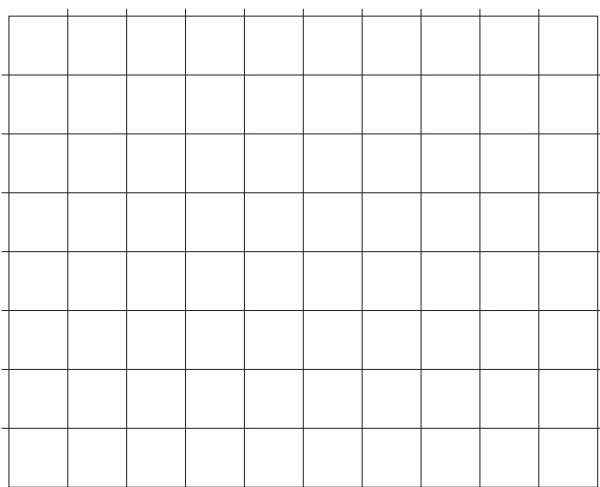


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 70\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			



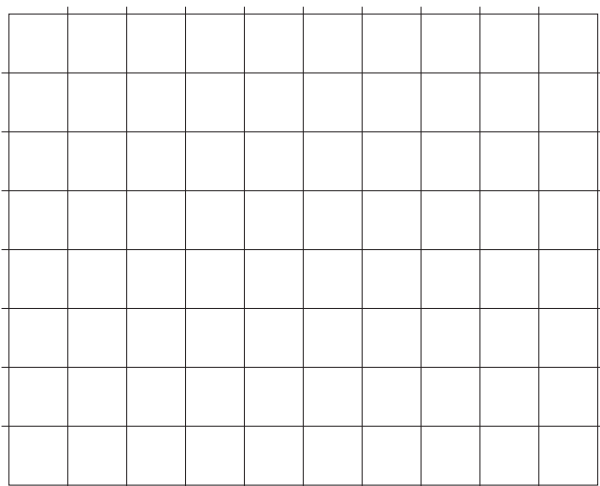
CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 100\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

## 低周波増幅回路

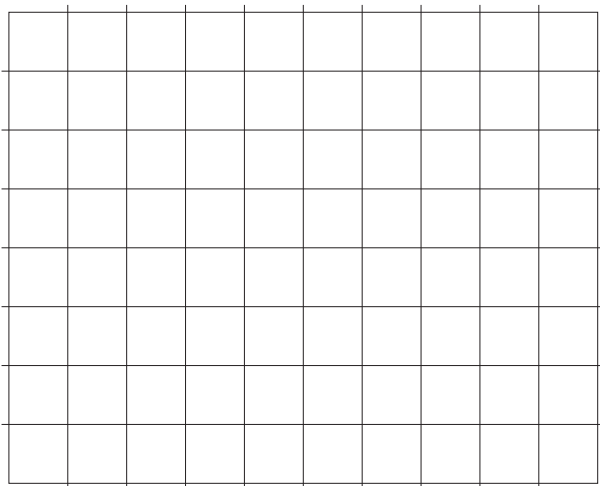


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 200\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

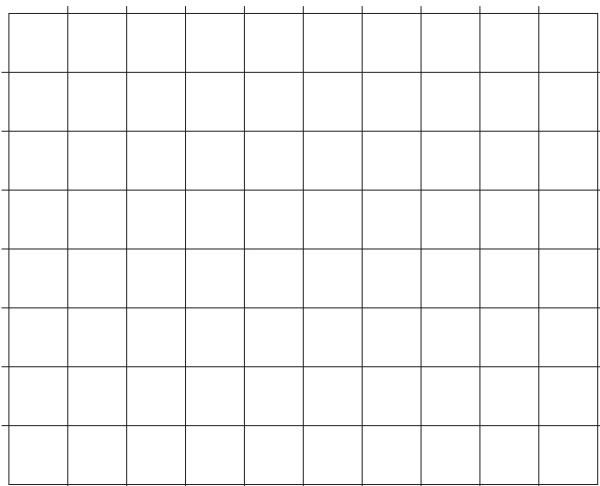


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 300\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

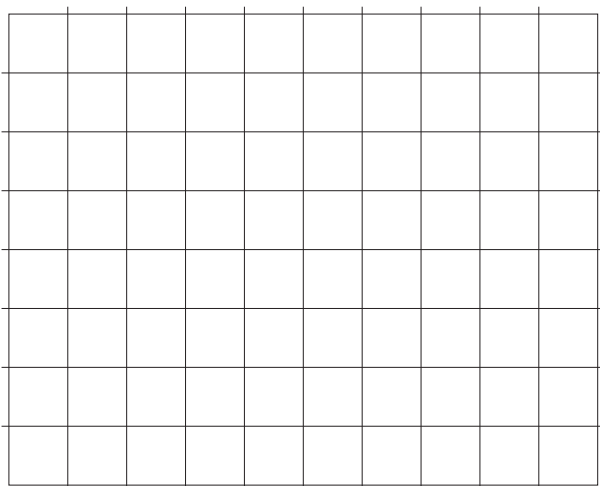


CH 1 : 入力信号 ( $V_i = 5\text{mV}$  一定)  $f = 400\text{kHz}$

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 : その時の出力信号

振幅 pp			
波長			

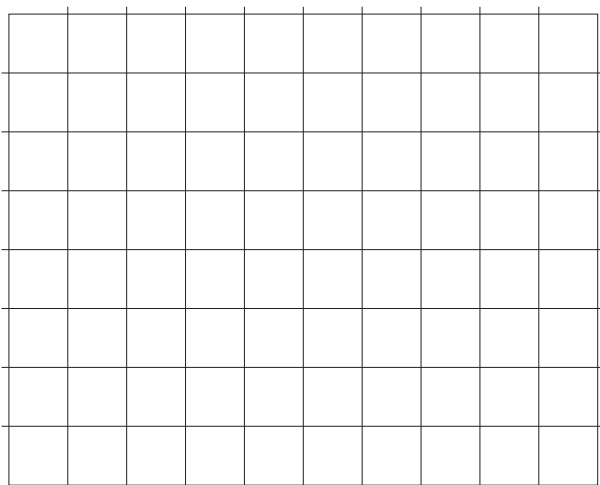


CH 1 :

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 :

振幅 pp			
波長			

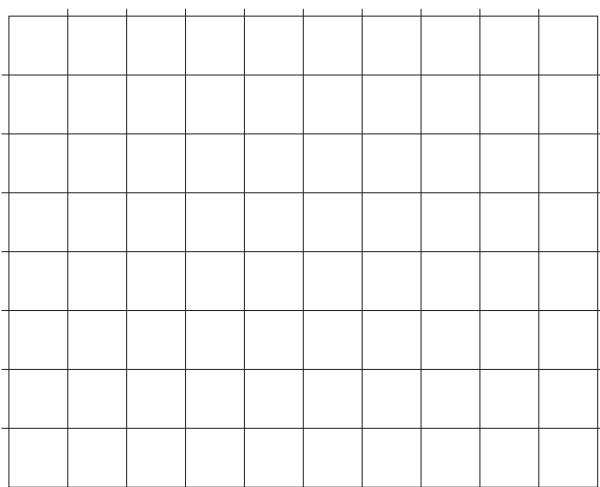


CH 1 :

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 :

振幅 pp			
波長			



CH 1 :

項目	DIV 数	値/DIV	値
振幅 pp			
波長			

CH2 :

振幅 pp			
波長			

A full-page sheet of graph paper. It features a uniform grid of small squares formed by thin, light gray lines. The grid covers the entire area of the page, leaving no margins or additional markings.