

## 1. 目的

オペアンプは、アナログ IC の一種で、以下のように理想化された増幅器に近い特徴を有する。

1. 高利得
2. 高周波数帯域
3. 高入力インピーダンス
4. 低出力インピーダンス

一般にトランジスタを使ったアナログ回路では、電流や電圧のバイアス回路が必要であるが、オペアンプを利用することにより、電流や電圧のバイアス回路が不要となるために、回路構成が容易となる。また、信号の通倍・加減算・微分・積分なども容易に実現できるため、オペアンプはアナログ信号増幅器・アナログ信号処理回路などで非常に多く利用されている。

本実験では、オペアンプを利用するための基礎知識として必要なオペアンプの基本的性質と活用例について実験を通して理解する。

## 2. 概要

1. OP アンプは、反転増幅回路、非反転増幅回路として用いられる。それぞれの増幅動作原理と特徴について調べよ。

反転増幅回路

増幅動作原理

$$v_1 = 0 = Z_{i1}(\because v_s = 0) \dots (1)$$

$$v_0 = Z_{of} \dots (2)$$

$$i_1 = i_f(\because Z_i = \infty) \dots (3)$$

式 (1), (2), (3) から

$$\frac{v_1}{Z_1} = -\frac{v_0}{Z_f}$$

$$\therefore \frac{v_0}{v_1} = -\frac{Z_f}{Z_1} \text{ となる。}$$

特徴

入力と反対の極性の出力が得られる。

入力インピーダンスを低く、あるいは一定にできる

電流入力型としても使える

イマジナル・ショートの特が一定電位に生じる

非反転入力端子が空くのでこれをいろいろ使える

スルー・レートを大きく使える

信号源インピーダンスが低ければ、良い S/N が得やすい

非反転増幅回路

増幅動作原理

式 (1), (2), (3) から

$$v_s = \frac{v_0 Z_1}{Z_1 + Z_f}$$

$v_s = v_1$  から

$$\therefore \frac{v_0}{v_1} = \frac{Z_1 + Z_f}{Z_1} = 1 + \frac{Z_f}{Z_1}$$

特徴

入力と同じ極性の出力が得られる

入力インピーダンスを高くできる  
非反転の出力がブートストラップに使える  
反転側の入力端子がほかの目的に使える

2. スルーレート・増幅率・差動入力について調べよ。  
スルーレート

オペアンプなどにおいて、最大応答速度を表す指標の一つである。

増幅率

増幅器での入力と出力の比のこと。

差動入力

反転－非反転入力端子間の差のこと。

3. 実験1～実験4において考察を行うためには、それぞれの実験でどのようなグラフや表を作成すればよいか？また、そのようなグラフや表を作成するためには、どのような条件でどのような測定をすればよいか？

実験1

グラフ：入力と反対の極性の出力が得られる。

表：入力電流  $I_1$ ，入力電圧  $V_1$ ，出力電流  $I_0$ ，出力電圧  $V_0$ ，抵抗  $R$

測定：周波数依存性，抵抗値依存性

実験2

グラフ：入力と同じ極性の出力が得られる。

表：入力電流  $I_1$ ，入力電圧  $V_1$ ，出力電流  $I_0$ ，出力電圧  $V_0$ ，抵抗  $R$

測定：周波数依存性，抵抗値依存性

実験3

グラフ：入力と反対の極性の出力が得られる。or 入力と同じ極性の出力が得られる。

表： $V_+$ ， $V_-$ ，出力電圧  $V_0$

測定： $V_0$ ， $V_+$ ， $V_-$ の関係

実験4

グラフ：入力と反対の極性の出力が得られる。

表：入力電流  $I_1$ ，入力電圧  $V_1$ ，出力電流  $I_0$ ，出力電圧  $V_0$

測定： $V_0$ と $V_1$ の関係

### 3. 使用機器

実験に使用した使用機器を以下に表す。

表1 オペアンプの実験の使用機器

名称	メーカー名	型番	製造番号	仕様
オペアンプ	———	C258C	1126K01	———
デジタルテスタ	HIOKI	3256	No.0243903	1.5V×2, 10mVA
			No.0702987	
		3256-50	No.060115177	1.5V×2, 20mVA
可変抵抗	———	CCW CW S 7274	0346	R100K L.25
			1043	
			1138	
抵抗	———	———	———	5kΩ, 20kΩ 10kΩ×2 100kΩ, 270kΩ×4
Supplier HD	Fire Stone Audio Co.,Ltd.	———	———	出力電圧: +/−12.5V 出力電流: 0.6A(MAX) 対応 AC 電源: 100V~240V
コンデンサ	———	———	———	10nF, 1H103K
オシロスコープ	Tektronix	TDS2002	———	60MHz, 1GS/s 100-120V, 45-440Hz 120-240V, 45-66Hz 30WATTS
ファンクションジェネレータ	TEXIO	FG-274	No.13010257	AC100V~, 50/60Hz 17W, 21VA
プローブ	IWATSU	SS-0110	———	60MHz, 600V 10:1/1:1, DC+AC pk
	Tektronix	P2200	———	200MHz/6MHz, 10×/1× 10MΩ/1MΩ, 16pF/95pF 10×:300V CAT II 1×:150V CAT II
CF カード	———	———	———	32GB

### 4. 結線図

今回の実験で測定した回路図を以下の図1～図5に表す。

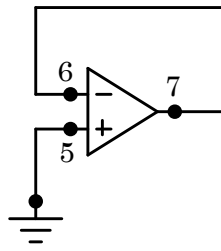


図1 未使用素子の配線図

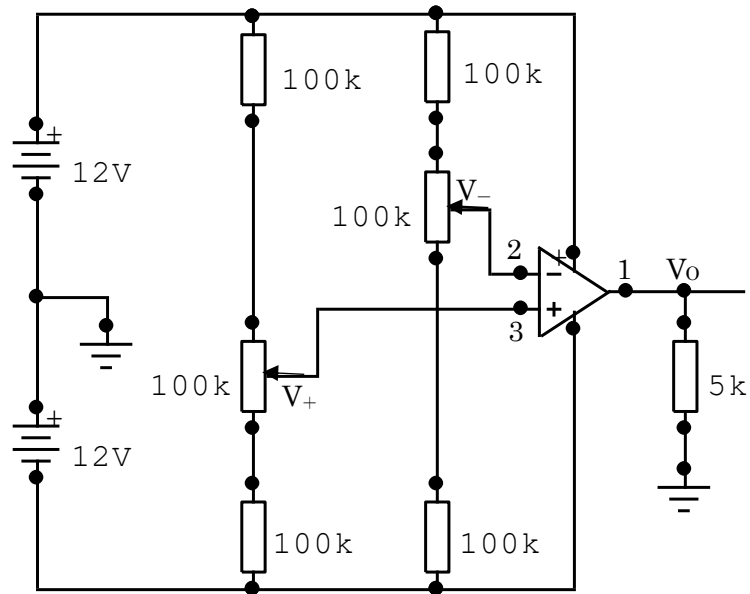


図2 基本特性測定回路1

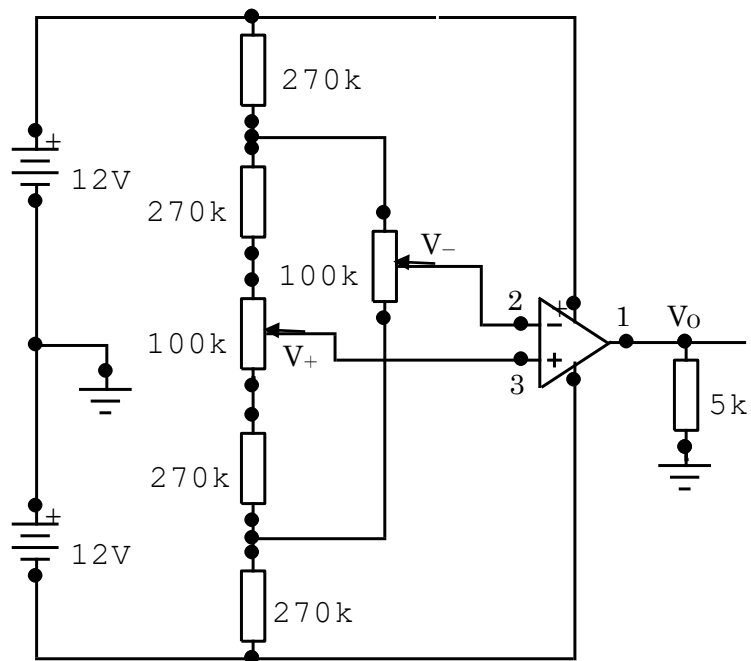


図3 非反転増幅回路

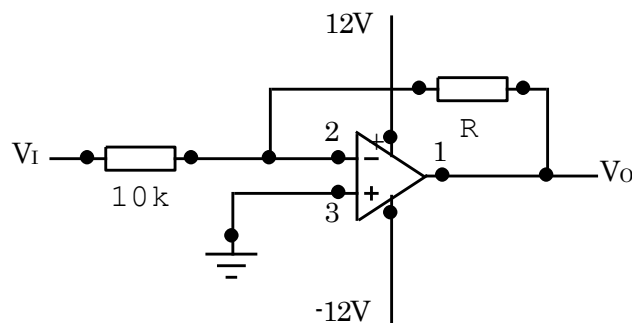


図4 反転増幅回路

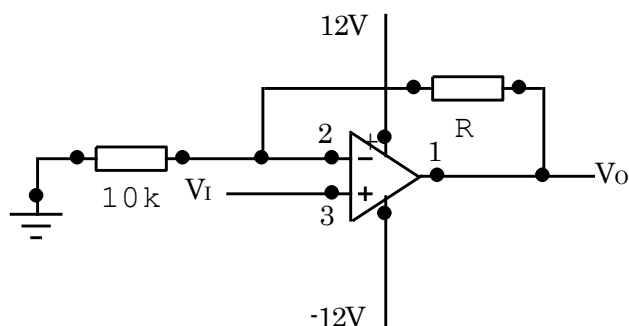


図5 基本特性測定回路2

## 5. 実験方法

### 実験1

OP アンプは、増幅率が極めて大きく、多くの場合無限大と見なしても差し支えない。極めて大きい増幅率について実験的に検証することを目的としている。

- ① 図2において、 $V_+$ を $\pm 1V$ でそれぞれ一定にして、 $-2V \sim 2V$ の範囲で変化させる。 $V_-$ を横軸、 $V_o$ を縦軸として、 $V_+$ をパラメータとしたグラフを作成し、 $V_o$ がどのような変化をするか明らかにする。
- ② ①で明らかになった電圧  $V_o$  の変化を詳細に調べるために、図3に示される回路を作成する。 $V_+$ と  $V_-$ の間の電圧を $\pm 30mV$ の範囲で変化させて、 $V_o$ と  $V_+ - V_-$ の関係を明らかにする。

### 実験2

OP アンプの反転増幅回路としての動作を実験的に検証することを目的としている。

- ① 図4に示される回路を作成する。抵抗  $R$  を  $20k\Omega$  として、 $V_I$ に  $0.2V$  の直流成分と P.P.  $0.5V$ 、周波数  $1kHz \sim 2MHz$  の正弦波からなる信号を入力する。 $V_o$ と  $V_I$ の関係の周波数依存性を調べる。
- ② ①で、抵抗  $R$  を  $5k\Omega$ 、 $10k\Omega$  と変える。 $V_o$ と  $V_I$ の関係の抵抗値依存性を調べる。
- ③  $V_I$ に周波数成分  $0.2V$ 、P.P.  $0.5V$ 、周波数  $5kHz$  の方形波を入力する。抵抗  $R$  を  $5k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 、 $20k\Omega$  と変えたとき、 $V_o$  は抵抗に対してどのような関係があるか。(スルーレートについて調査する。)

### 実験3

OP アンプの非反転増幅回路としての動作を実験的に検証することを目的としている。

- ① 図5に示される回路を作成する。抵抗  $R$  を  $20k\Omega$  として,  $V_I$  に  $0.2V$  の直流成分と  $PP0.5V$ , 周波数  $1kHz \sim 2MHz$  の正弦波からなる信号入力する。 $V_O$  と  $V_I$  の関係の周波数依存性を調べる。
- ② ①で, 抵抗  $R$  を  $5k\Omega$ ,  $10k\Omega$  と変える。 $V_O$  と  $V_I$  の関係の抵抗依存性を調べる。

#### 実験4

OP アンプの活用例について実験的に検証することを目的としている。

- ① 図4に示される回路において抵抗  $R$  を  $10nF$  のコンデンサに置き換える。 $V_I$  に直流分  $0V$ , 振幅  $2V$ , 周波数  $1kHz \sim 10kHz$  の方形波を入力する。 $V_O$  と  $V_I$  はどのような関係にあるか調べる。
- ② 図4に示される回路において  $10k\Omega$  の入力抵抗を  $10nF$  のコンデンサに置き換える。抵抗  $R$  を  $5k\Omega$  として,  $V_I$  に直流分  $0V$ , 振幅  $2V$ , 周波数  $1kHz \sim 10kHz$  の方形波を入力する。 $V_O$  と  $V_I$  はどのような関係にあるか調べる。

## 6. 実験結果

### 実験1

#### ①

$V_+ : 1.000V$  のとき

このときの  $V_-$  に対する  $V_O$  の結果を表2, 図6に表す。

表2  $V_+ : 1.000V$  のとき

$V_-(V)$	$V_O(V)$
-2.000	11.93
-1.000	11.93
0	11.93
0.750	11.98
0.997	11.92
0.998	11.92
0.999	11.20
1.000	7.77
1.001	-8.77
1.002	-10.83
1.003	-11.10
1.004	-11.12
1.005	-11.13
1.010	-11.15
1.020	-11.17
1.030	-11.18
1.050	-11.21
1.250	-11.20
1.100	-11.22
1.500	-11.20
2.000	-11.20

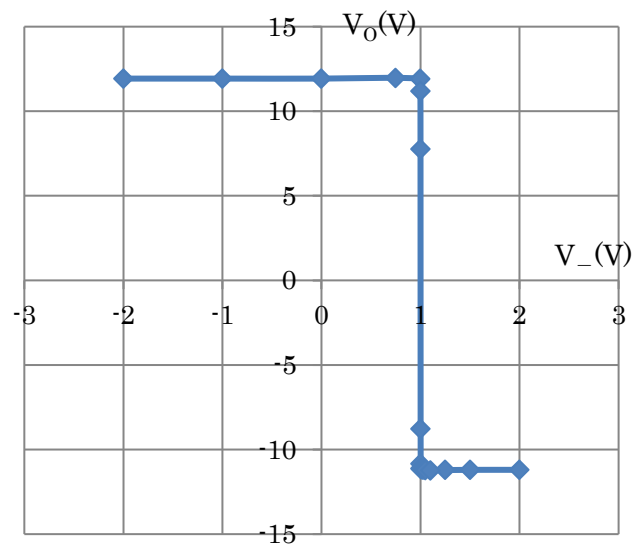


図6  $V_+ : 1.000V$  のとき

$V_+ : -1.000V$  のとき

このときの  $V_-$  に対する  $V_O$  の結果を表3, 図7に表す。

表3  $V_+ : -1.000V$  のとき

$V_-(V)$	$V_O(V)$
-2.000	11.87
-1.025	11.87
-1.004	11.87
-1.003	11.87
-1.002	11.87
-1.001	9.40
-1.000	6.40
-0.999	-8.70
-0.998	-10.78
-0.997	-11.04
-0.996	-11.06
-0.995	-11.07
-0.994	-11.07
-0.993	-11.08
-0.992	-11.08
-0.991	-11.08
-0.990	-11.09
-0.989	-11.09
-0.988	-11.09
0	-11.15
1.000	-11.15
2.000	-11.14

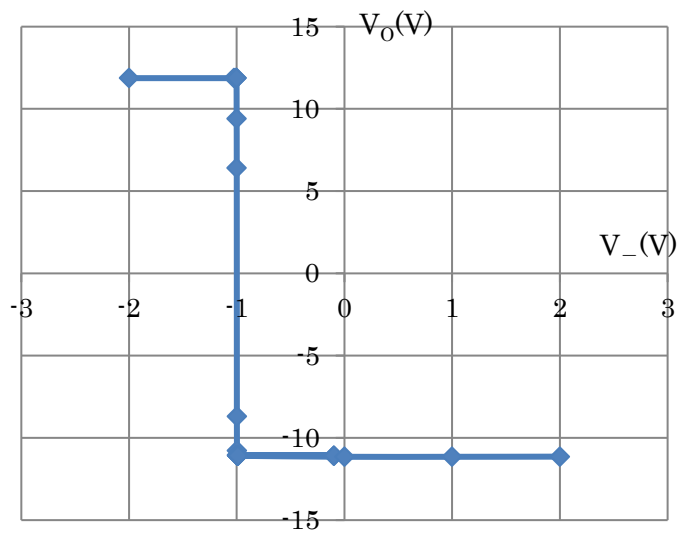


図7  $V_+ : -1.000V$  のとき

②

$V_+ - V_-$  に対する  $V_O$  の結果を表4, 図8に表す。

表4  $V_+ - V_-$  に対する  $V_O$  の結果

$V_+ - V_- (mV)$	$V_O (V)$
-30.0	-11.13
-25.0	-11.12
-20.0	-10.75
-15.0	-9.18
-10.0	-5.36
-5.0	-1.211
0	2.409
5.0	4.713
10.0	8.60
15.0	10.88
20.0	11.88
25.0	11.88
30.0	11.88



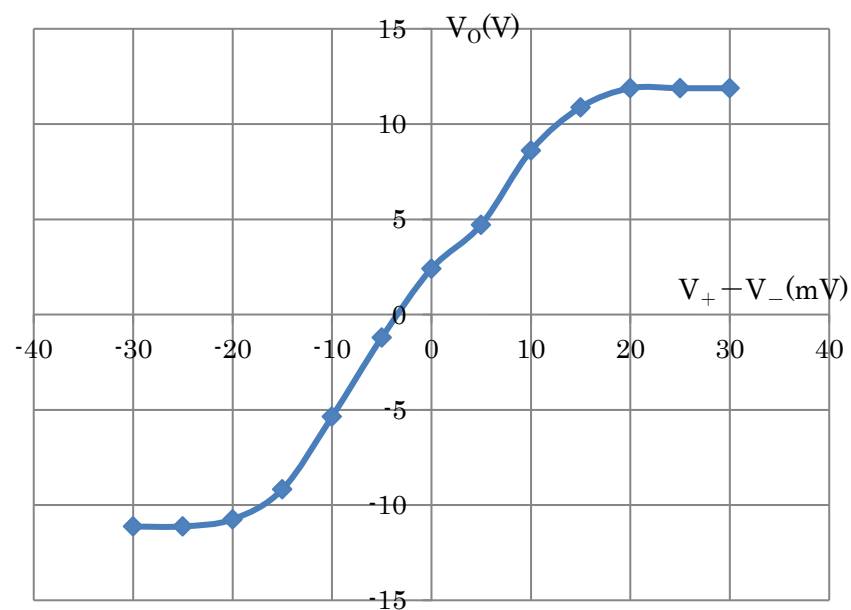


図8  $V_+ - V_-$ に対する  $V_O$  のグラフ

## 実験 2

### ①

$R : 20k\Omega$  のとき

このときの写真 1~11,  $f_i$  に対する  $V_i$ ,  $V_O$  の結果を表 5,  $f_i$  に対する  $V_O$  のグラフを図 9 に表す。

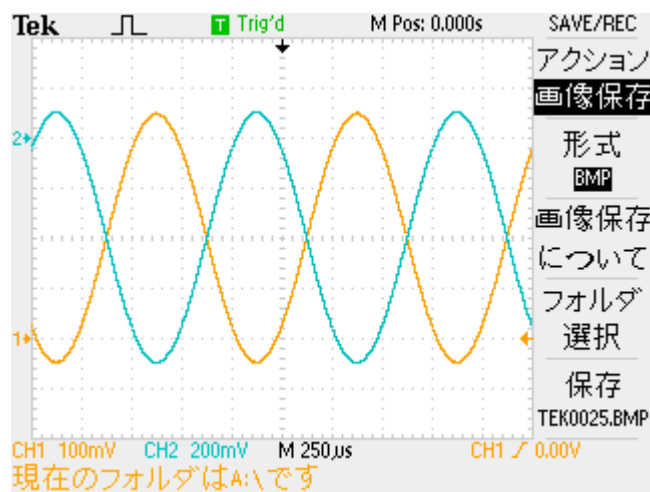


写真 1  $R : 20k\Omega$ ,  $f_i : 1kHz$

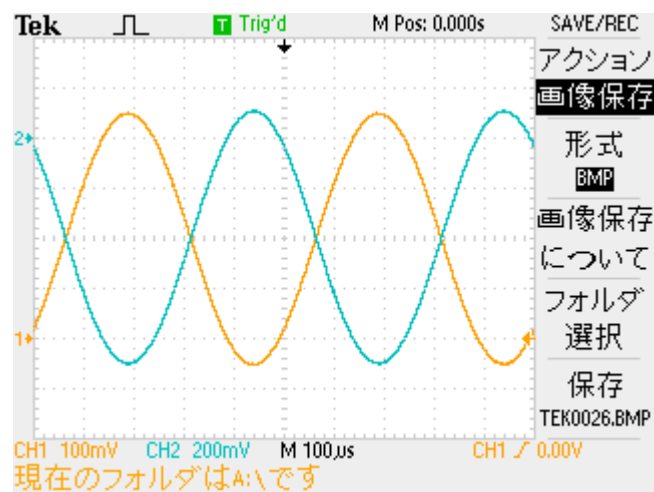
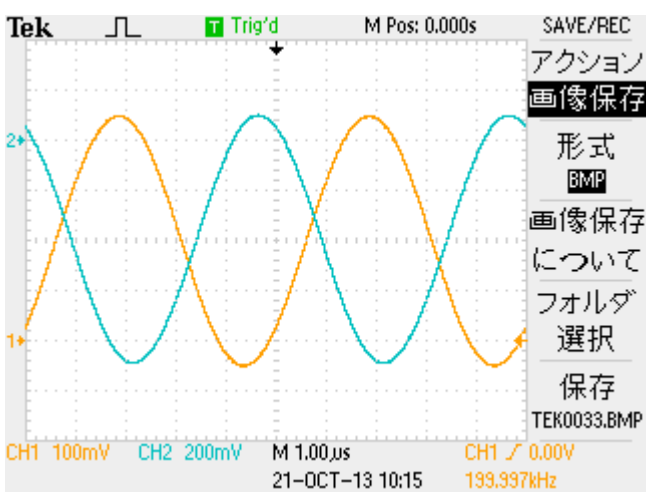
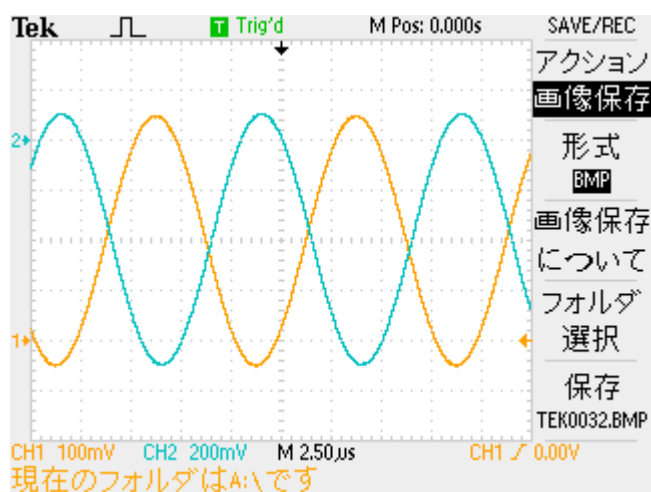
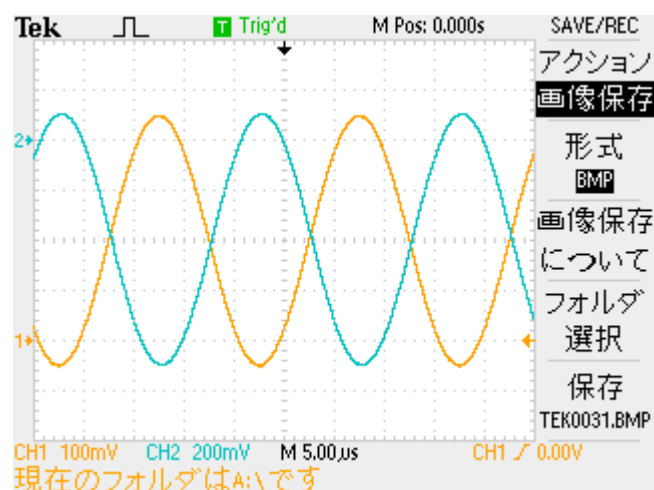
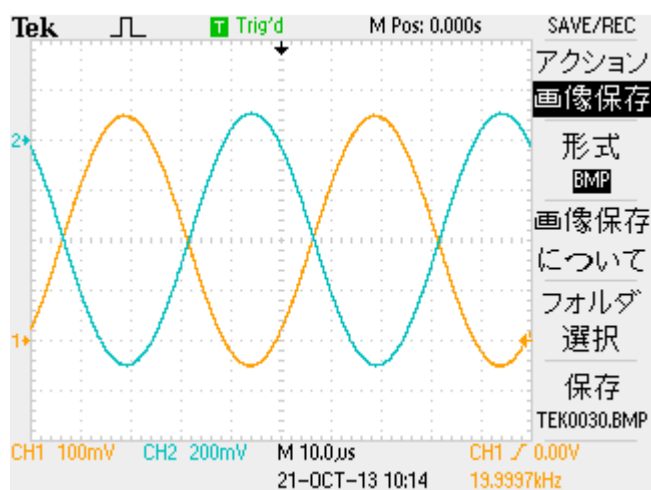
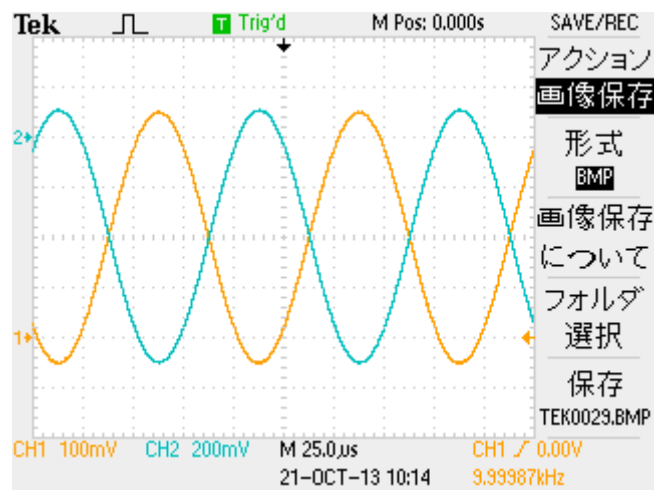
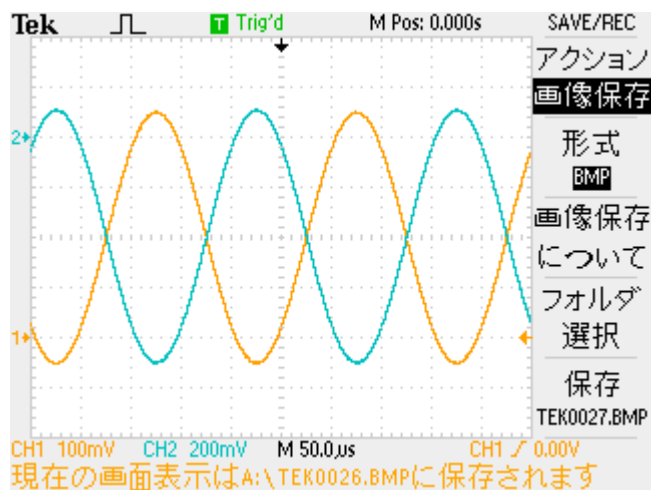


写真 2  $R : 20k\Omega$ ,  $f_i : 2kHz$



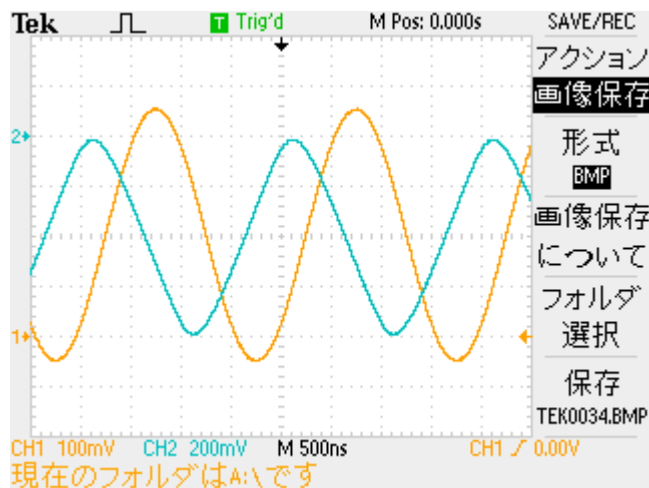


写真9 R:20k $\Omega$ ,  $f_i$ :500kHz

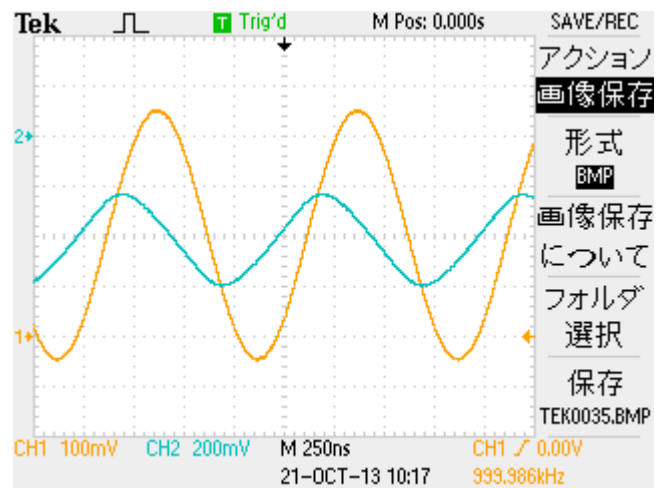


写真10 R:20k $\Omega$ ,  $f_i$ :1MHz

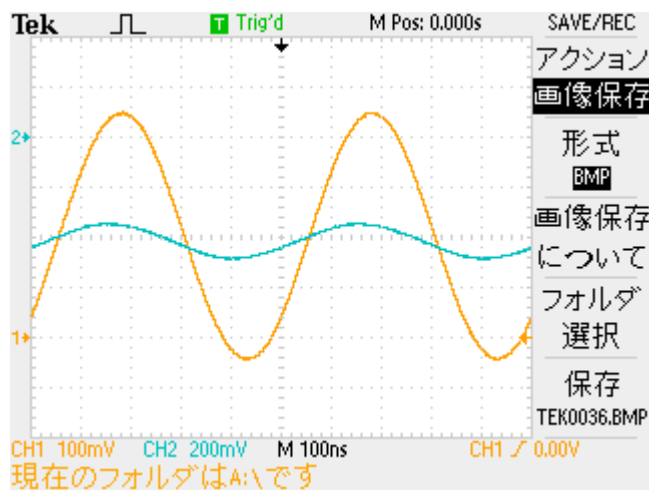


写真11 R:20k $\Omega$ ,  $f_i$ :2MHz

表5 R:20k $\Omega$ のとき

$f_i$ (Hz)	$V_i$ (mV)	$V_o$ (mV)
1k	500	1000
2k	504	1020
5k	504	1020
10k	504	1020
20k	504	1020
50k	500	1000
100k	500	1000
200k	500	992
500k	504	784
1M	500	368
2M	492	144

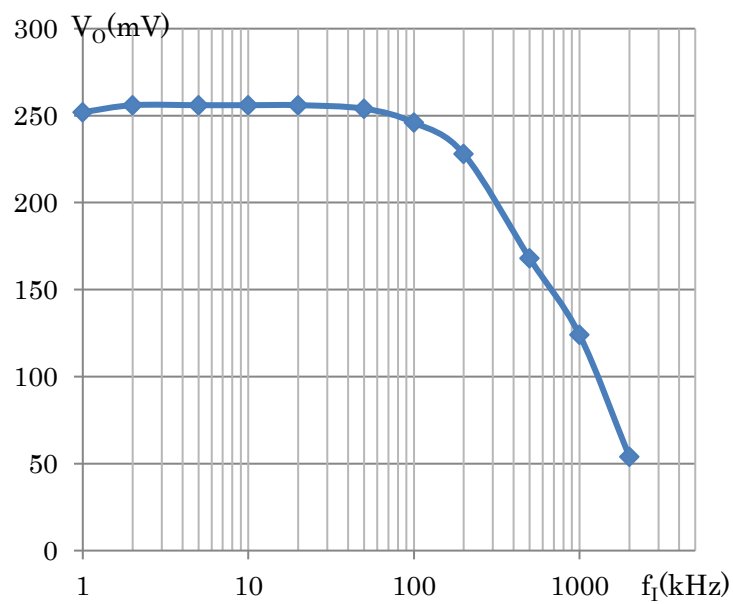


図9  $f_i$ に対する $V_O$ のグラフ

②

$R : 5k\Omega$ のとき

このときの写真12~22,  $f_i$ に対する $V_i$ ,  $V_O$ の結果を表6に表す。

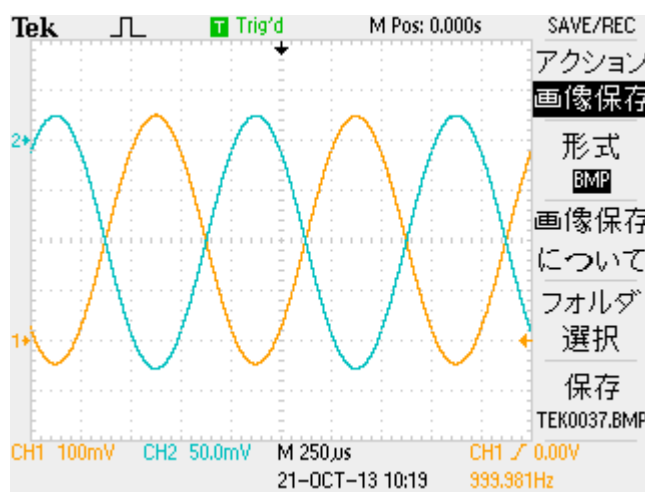


写真12  $R : 5k\Omega$ ,  $f_i : 1kHz$

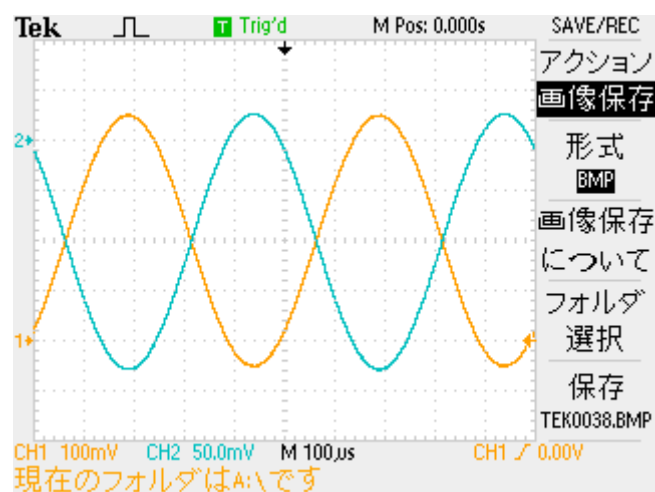
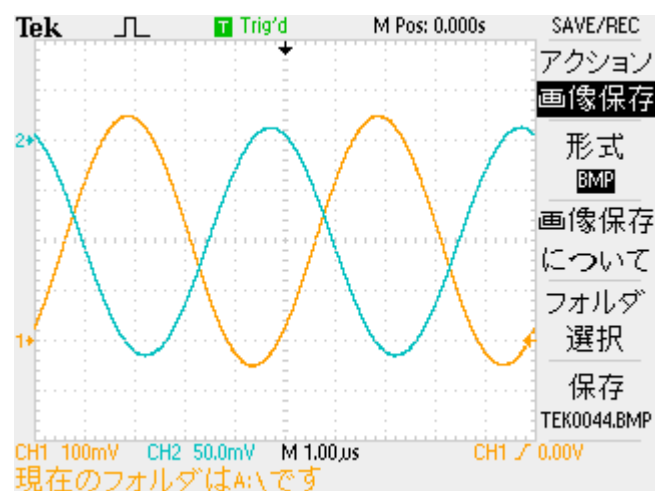
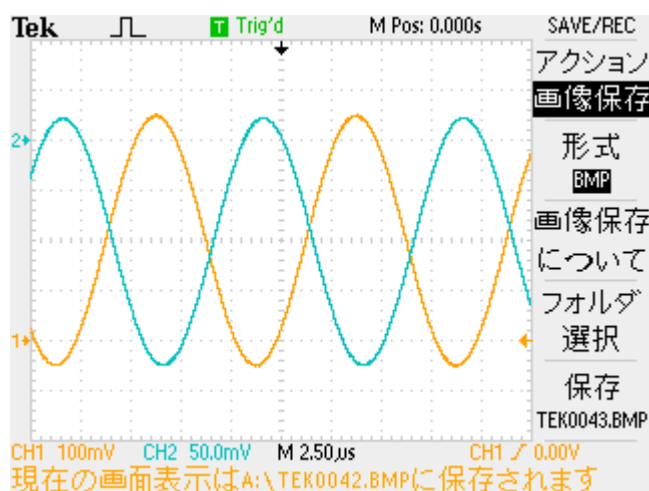
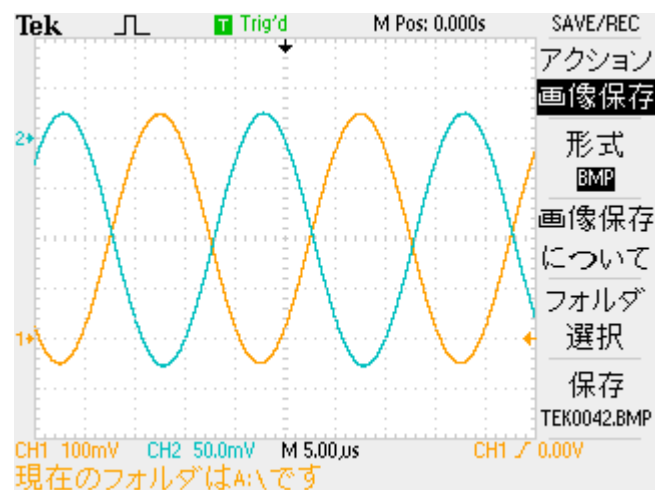
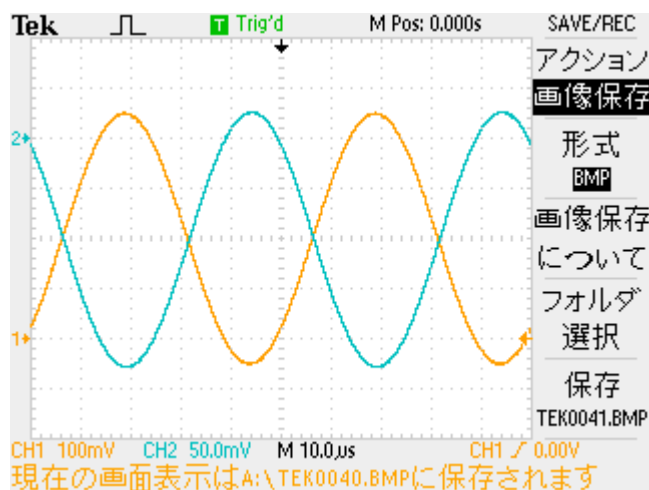
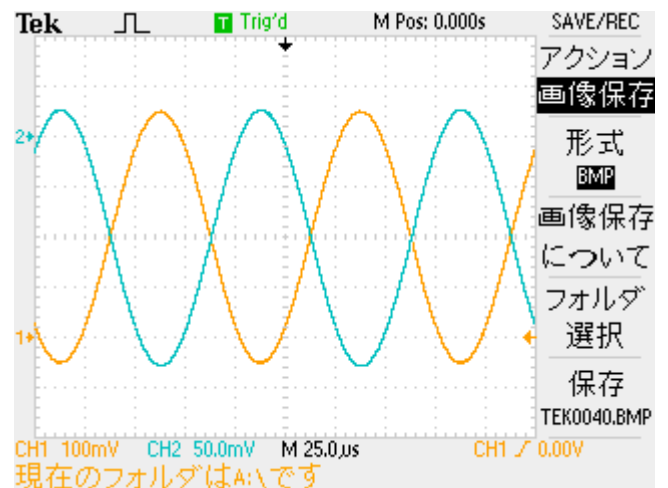
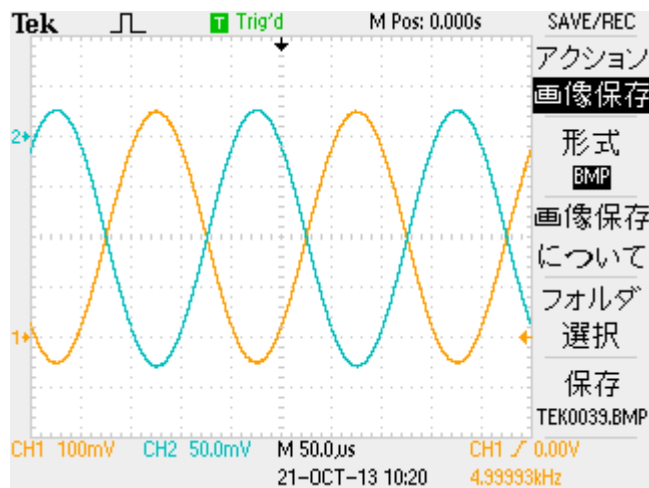


写真13  $R : 5k\Omega$ ,  $f_i : 2kHz$



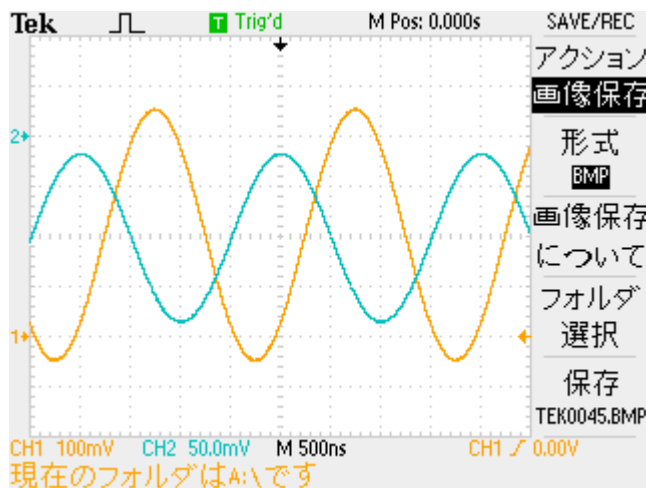


写真 20  $R : 5k\Omega$ ,  $f_i : 500kHz$

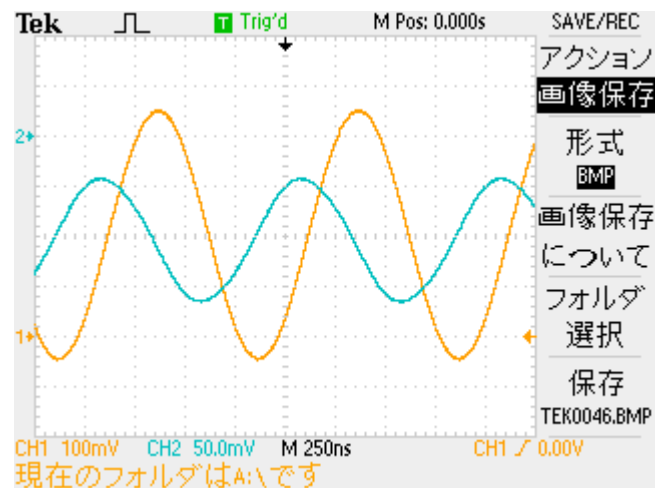


写真 21  $R : 5k\Omega$ ,  $f_i : 1MHz$

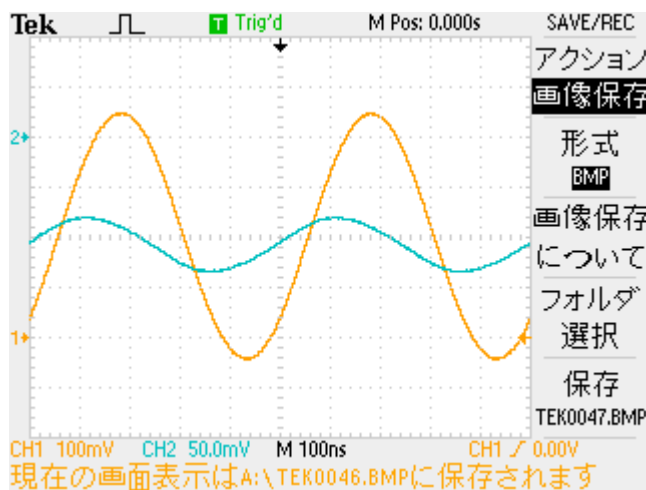


写真 22  $R : 5k\Omega$ ,  $f_i : 2MHz$

表 6  $R : 5k\Omega$  のとき

$f_i(\text{Hz})$	$V_i(\text{mV})$	$V_o(\text{mV})$
1k	500	252
2k	504	256
5k	504	256
10k	504	256
20k	504	256
50k	504	254
100k	500	246
200k	500	228
500k	504	168
1M	500	124
2M	492	54.0

$R : 10k\Omega$  のとき

このときの写真 23~33,  $f_i$  に対する  $V_i$ ,  $V_o$  の結果を表 7 に表す。

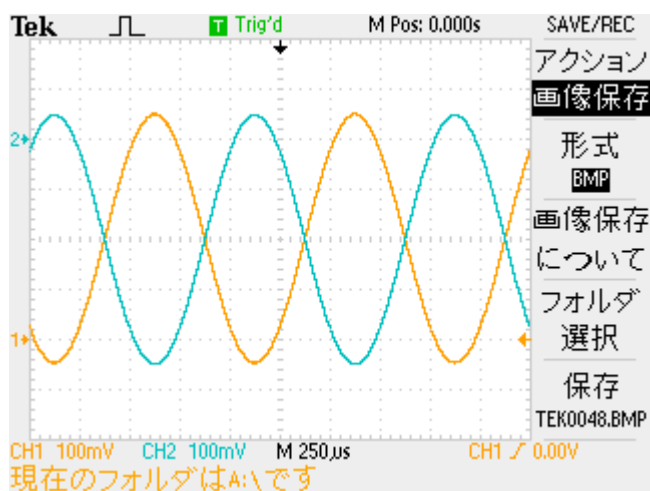


写真23 R : 10kΩ,  $f_i$  : 1kHz

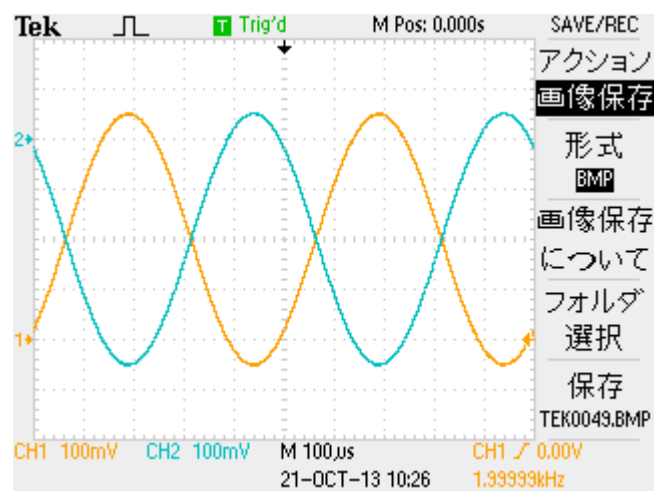


写真24 R : 10kΩ,  $f_i$  : 2kHz

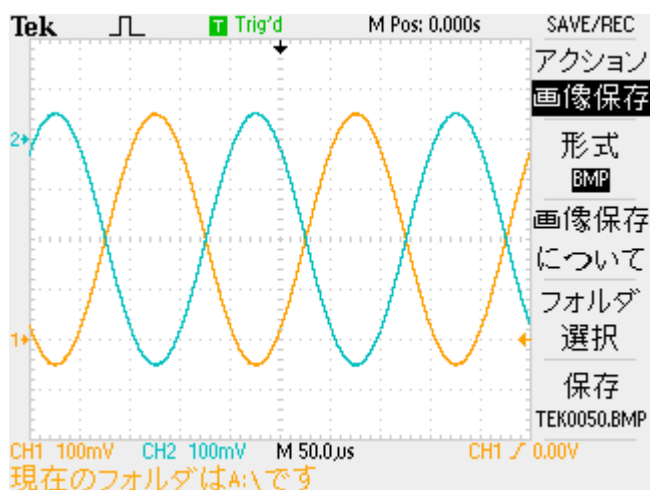


写真25 R : 10kΩ,  $f_i$  : 5kHz

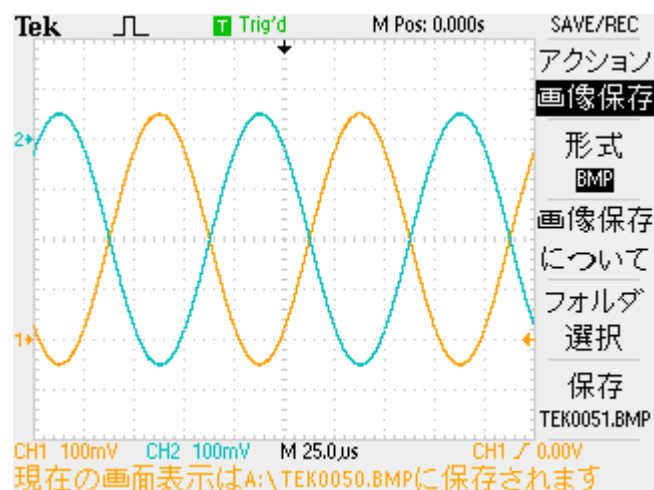


写真26 R : 10kΩ,  $f_i$  : 10kHz

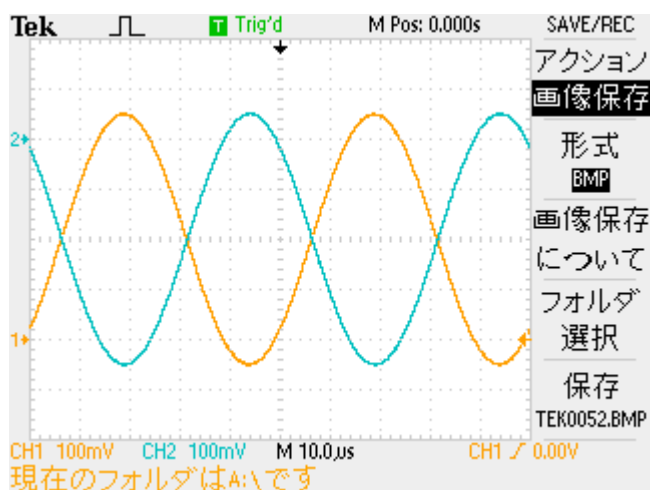


写真27 R : 10kΩ,  $f_i$  : 20kHz

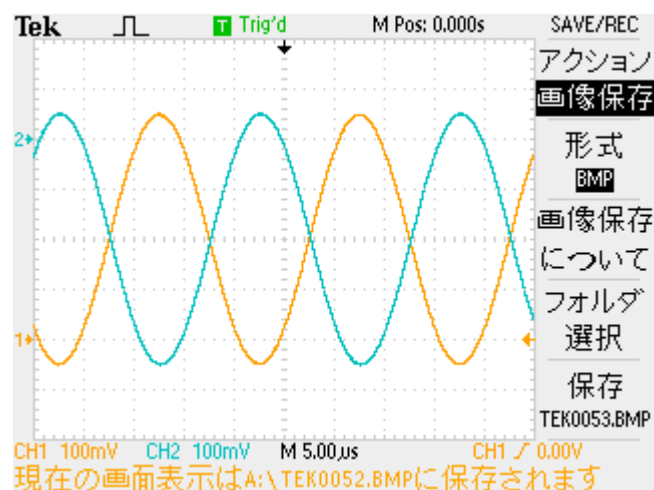


写真28 R : 10kΩ,  $f_i$  : 50kHz

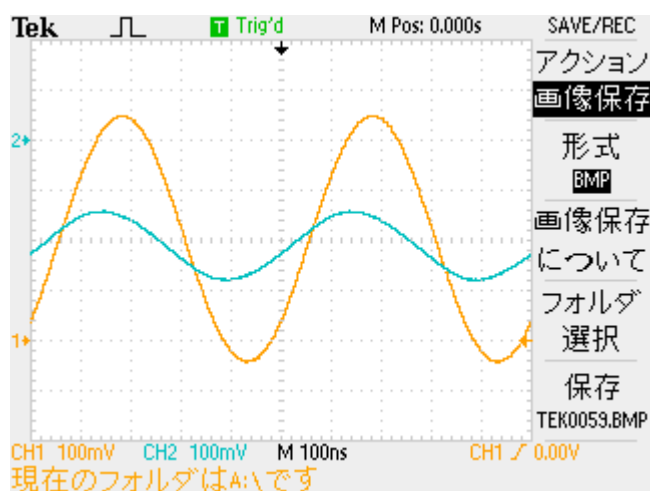
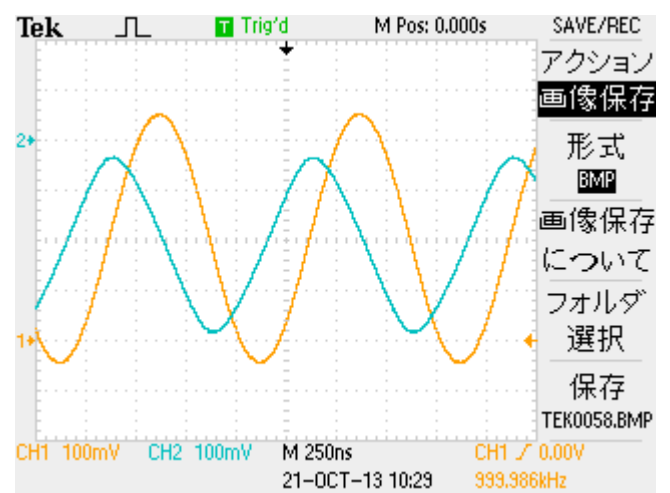
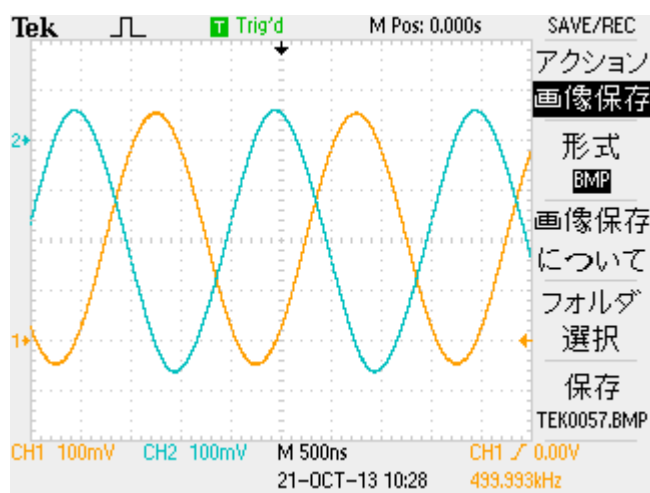
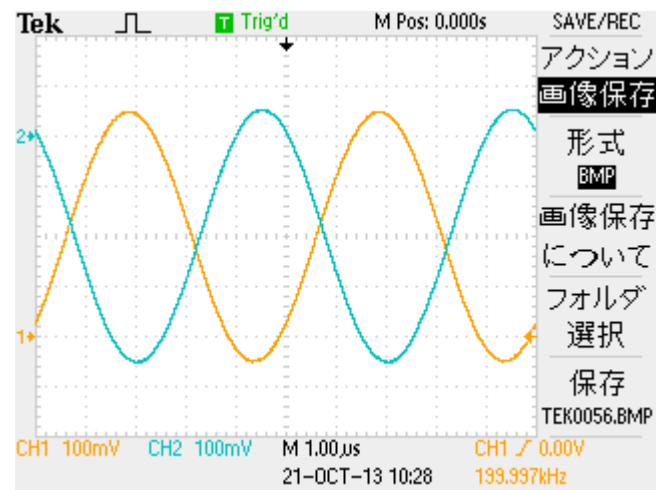
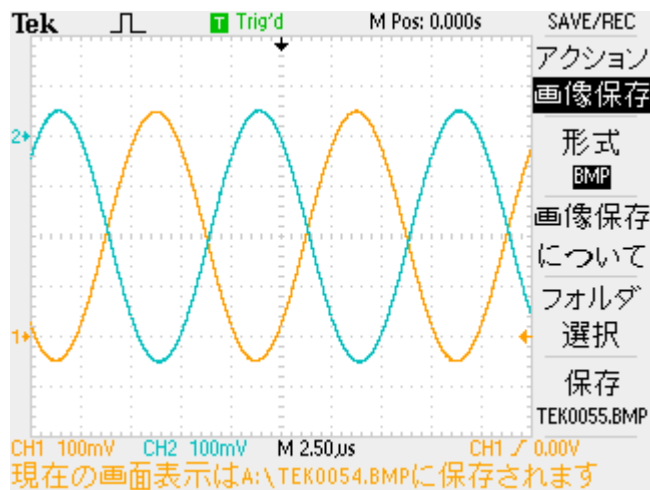




表7 R : 10k $\Omega$ のとき

$f_i(\text{Hz})$	$V_i(\text{mV})$	$V_o(\text{mV})$
1k	500	496
2k	504	504
5k	504	504
10k	504	504
20k	504	504
50k	504	504
100k	496	504
200k	500	504
500k	504	524
1M	496	352
2M	496	140

R : 5k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 20k $\Omega$ に対する  $V_o$  のグラフを図10に表す。

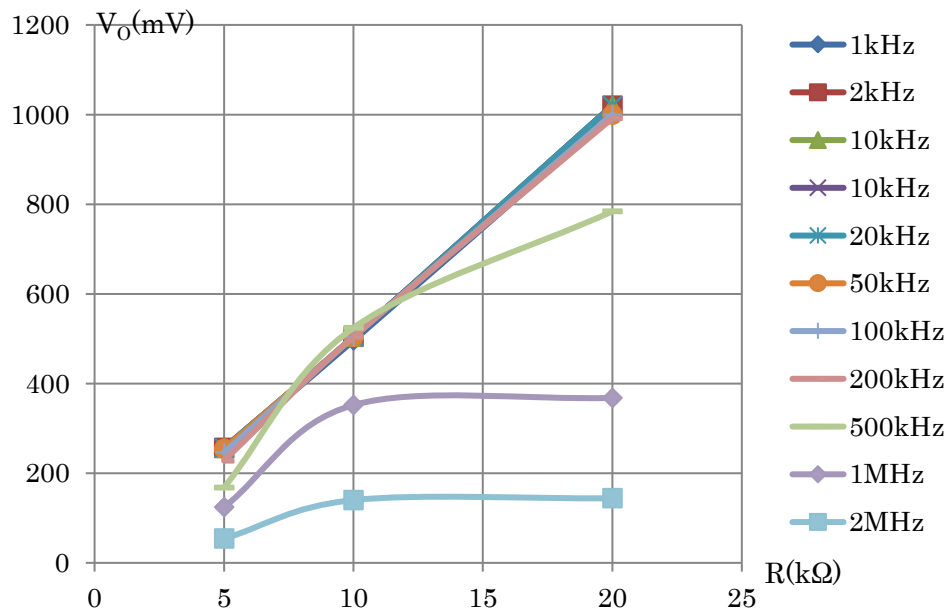


図10 R に対する  $V_o$  のグラフ

③

写真34~36, R に対する  $V_i$ ,  $V_o$  の結果を表8に表す。

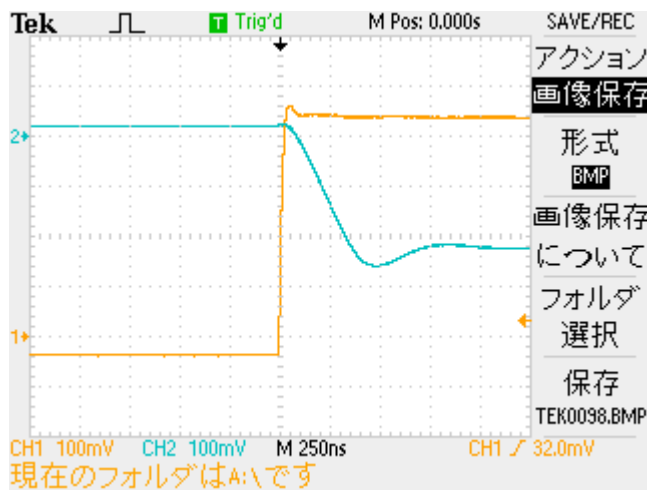


写真34 R : 5k $\Omega$ ,  $f_i$  : 5kHz

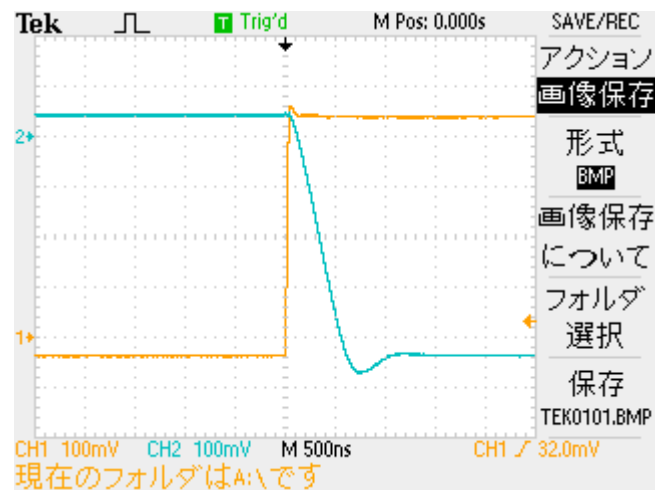


写真35 R : 10k $\Omega$ ,  $f_i$  : 5kHz

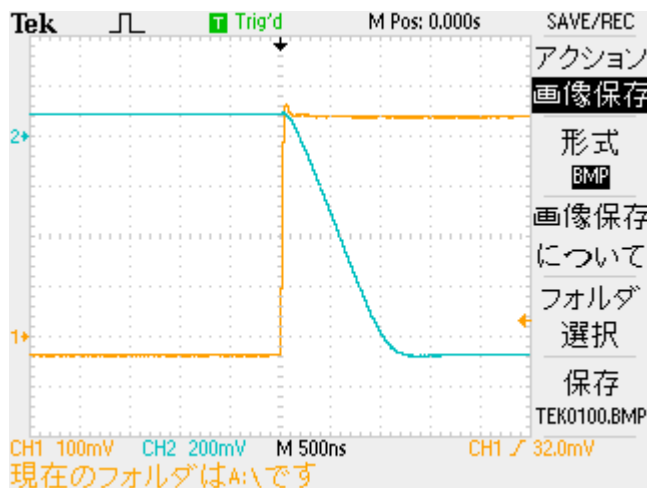


写真36 R : 20k $\Omega$ ,  $f_i$  : 5kHz

表8 R に対する  $V_I$ ,  $V_O$  の結果

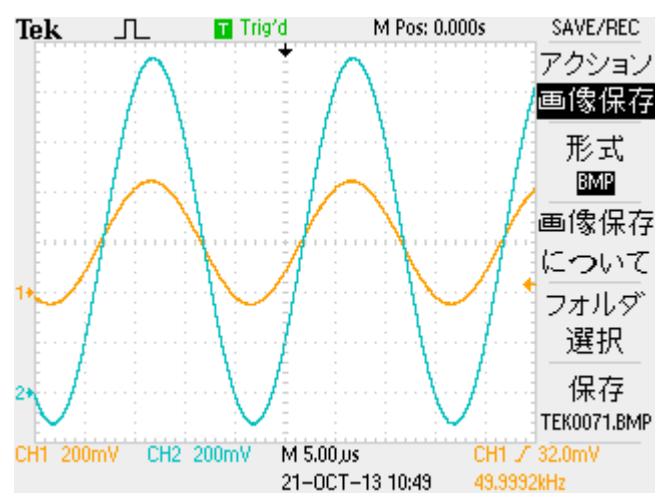
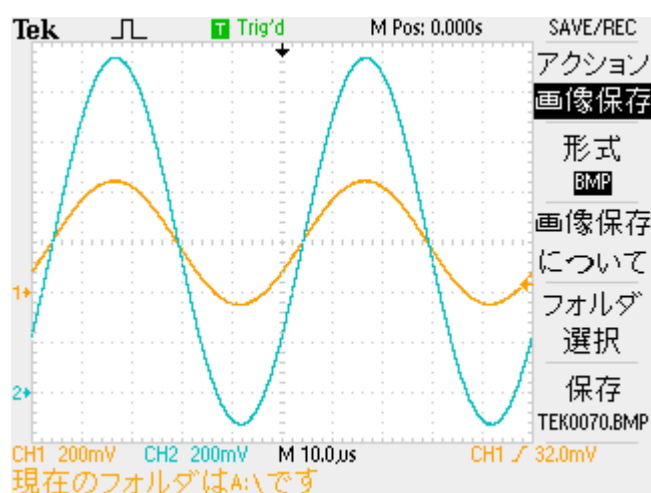
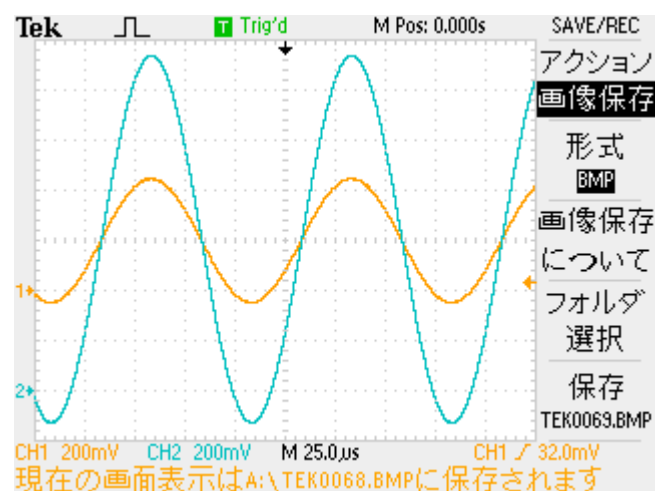
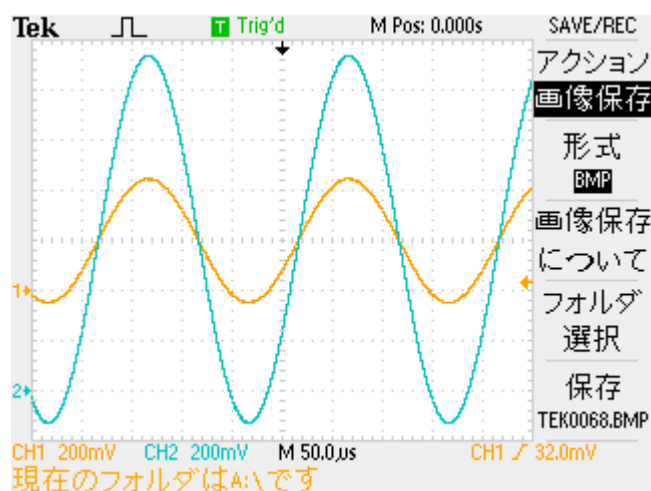
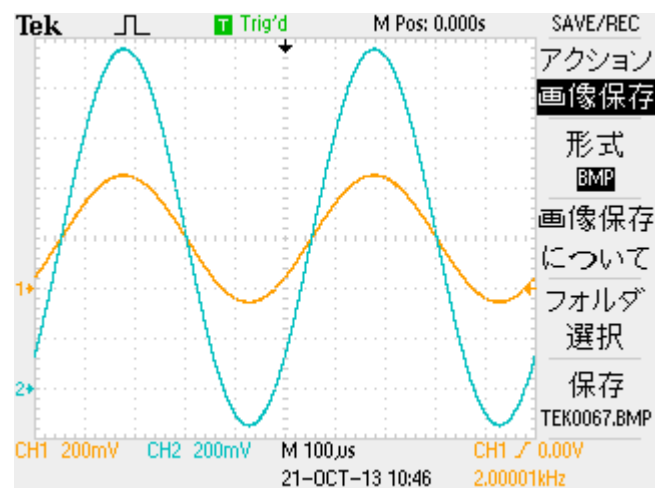
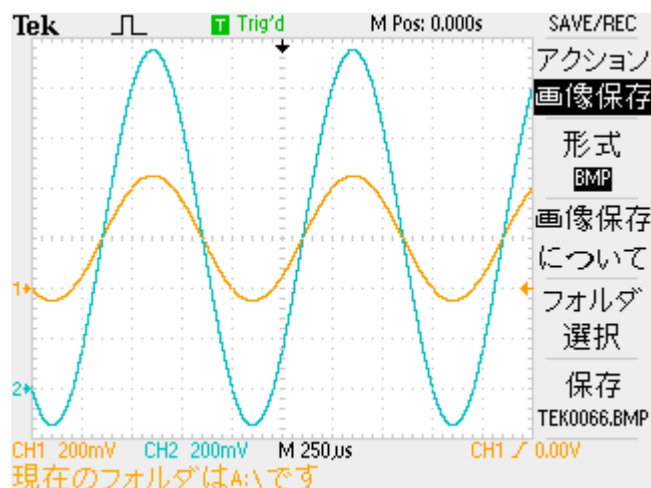
R(k $\Omega$ )	$V_I$ (mV)	$V_O$ (mV)
5	496	284
10	500	320
20	500	976

### 実験3

#### ①

R : 20k $\Omega$  のとき

このときの写真37~47,  $f_i$  に対する  $V_I$ ,  $V_O$  の結果を表9,  $f_i$  に対する  $V_O$  のグラフを図11に表す。



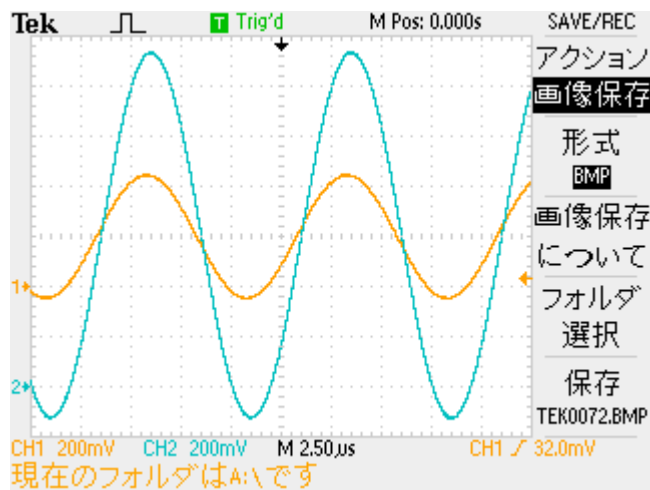


写真 43 R:20kΩ,  $f_i$ :100kHz

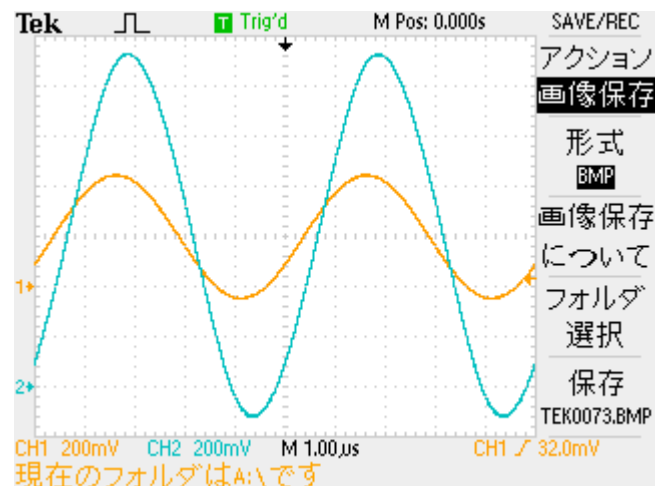


写真 44 R:20kΩ,  $f_i$ :200kHz

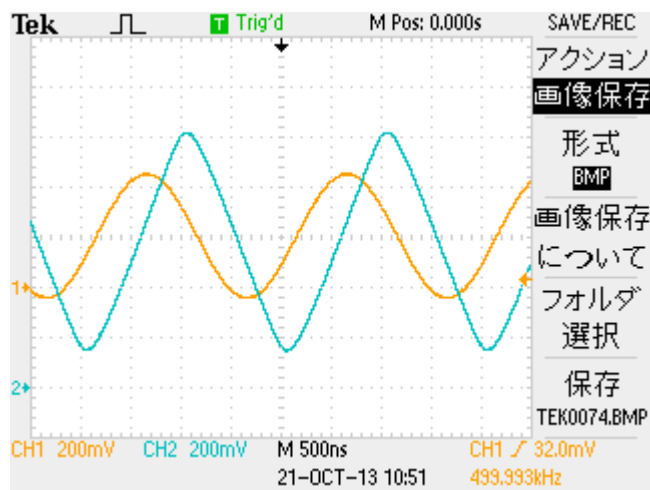


写真 45 R:20kΩ,  $f_i$ :500kHz

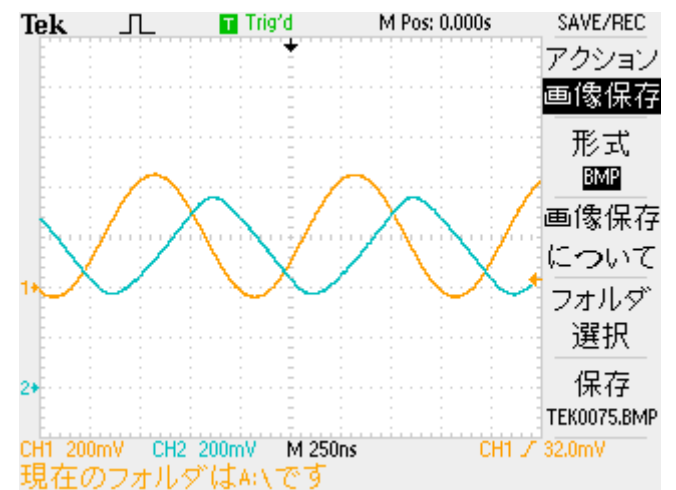


写真 46 R:20kΩ,  $f_i$ :1MHz

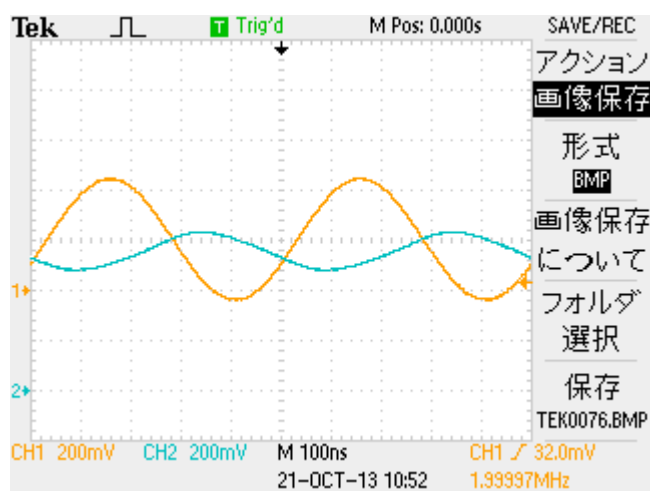


写真 47 R:20kΩ,  $f_i$ :2MHz

表9 R : 20k $\Omega$ のとき

$f_i(\text{Hz})$	$V_i(\text{mV})$	$V_o(\text{mV})$
1k	496	1500
2k	496	1460
5k	496	1470
10k	496	1460
20k	496	1460
50k	496	1460
100k	496	1460
200k	496	1450
500k	496	872
1M	496	392
2M	488	152

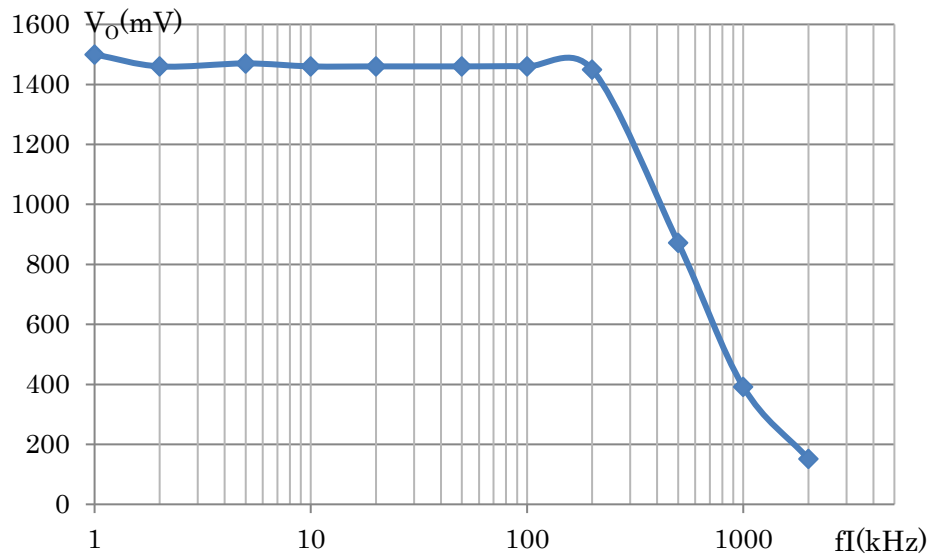


図1.1  $f_i$ に対する  $V_o$  のグラフ

②

R : 5k $\Omega$ のとき

このときの写真 48~58,  $f_i$  に対する  $V_i$ ,  $V_o$  の結果を表 1.0 に表す。

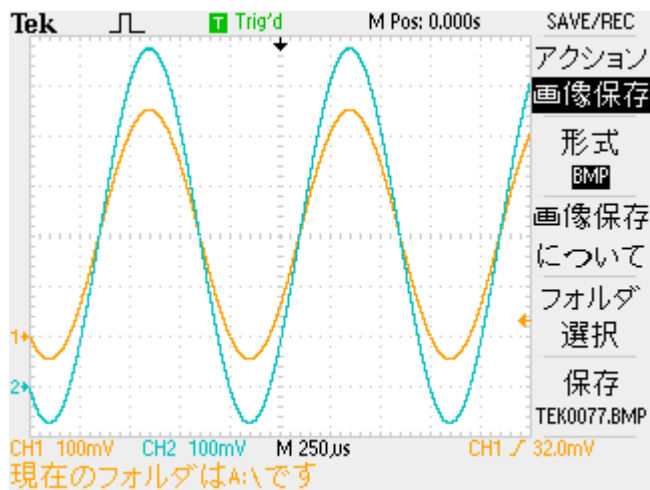


写真 48 R : 5kΩ,  $f_i$  : 1kHz

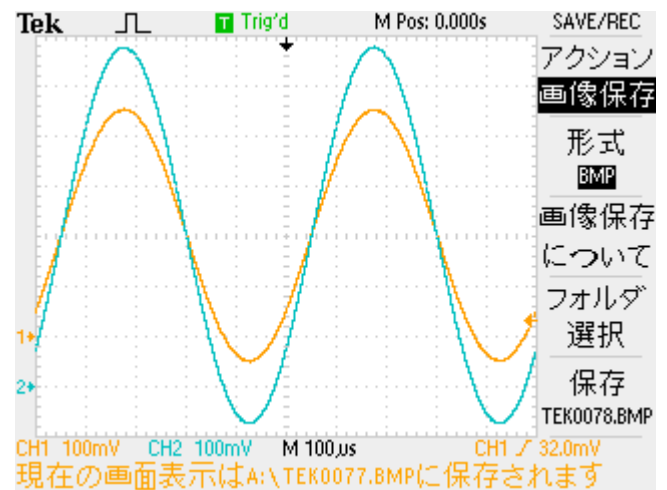


写真 49 R : 5kΩ,  $f_i$  : 2kHz

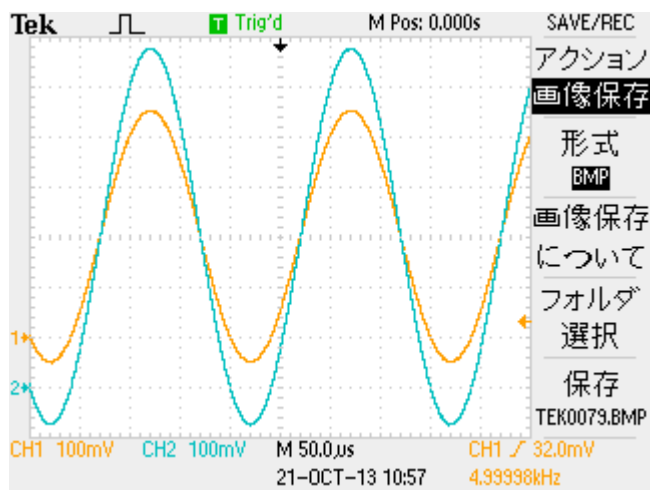


写真 50 R : 5kΩ,  $f_i$  : 5kHz

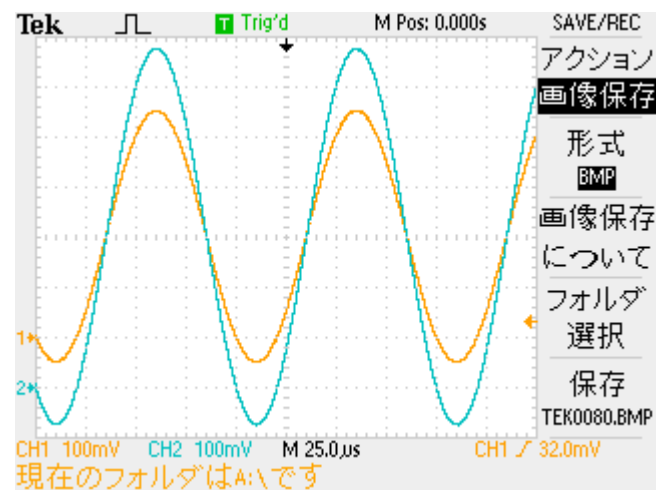


写真 51 R : 5kΩ,  $f_i$  : 10kHz

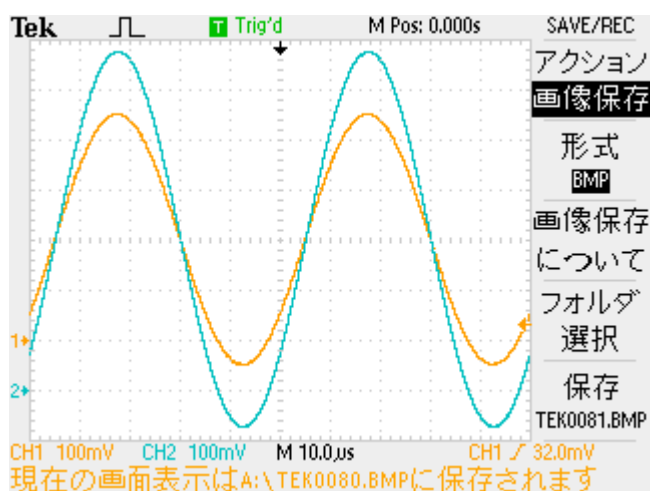


写真 52 R : 5kΩ,  $f_i$  : 20kHz

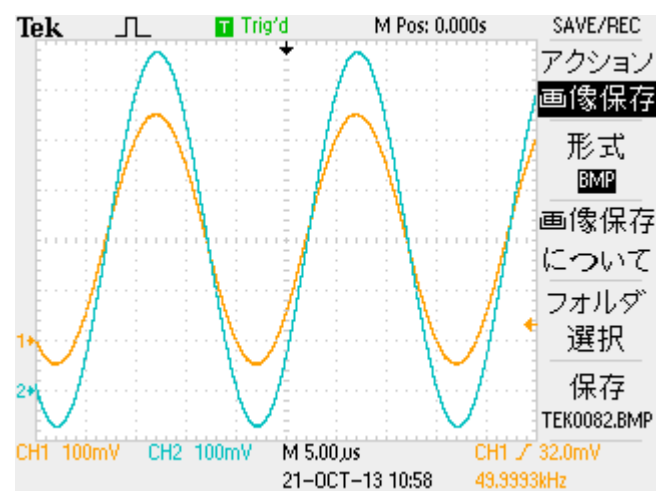


写真 53 R : 5kΩ,  $f_i$  : 50kHz

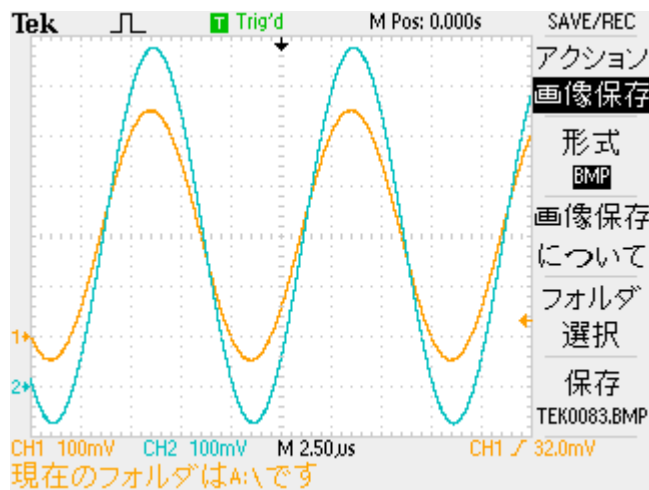


写真 54 R : 5kΩ,  $f_i$  : 100kHz

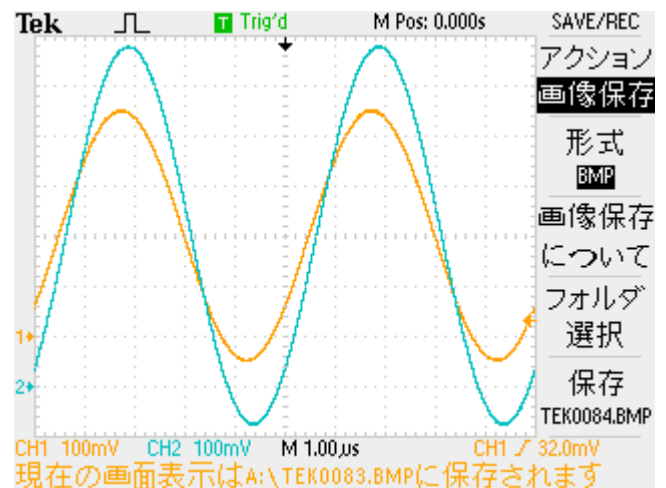


写真 55 R : 5kΩ,  $f_i$  : 200kHz

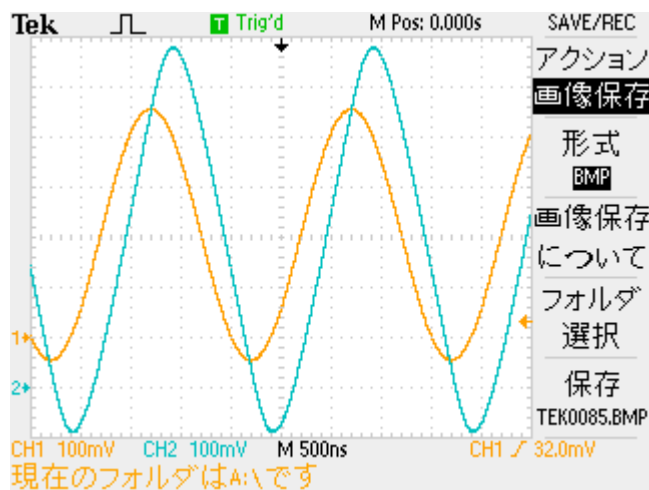


写真 56 R : 5kΩ,  $f_i$  : 500kHz

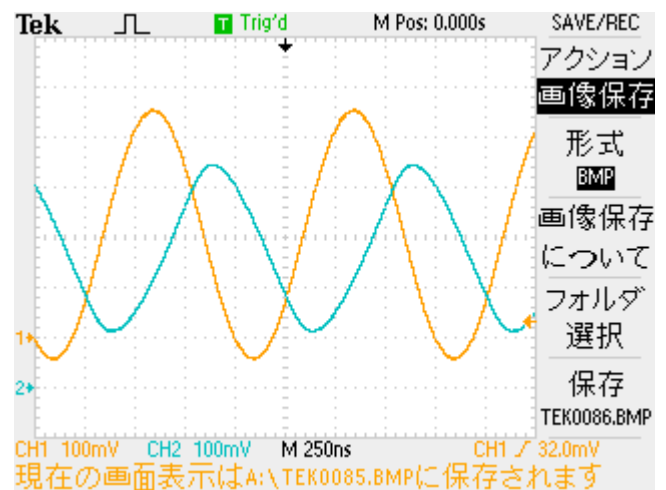


写真 57 R : 5kΩ,  $f_i$  : 1MHz

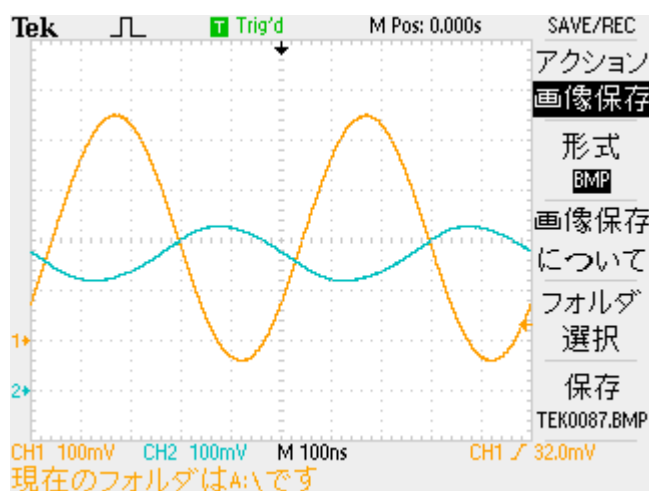


写真 58 R : 5kΩ,  $f_i$  : 2MHz

表10 R : 5k $\Omega$ のとき

f <sub>i</sub> (Hz)	V <sub>I</sub> (mV)	V <sub>O</sub> (mV)
1k	496	748
2k	500	752
5k	500	756
10k	500	752
20k	500	748
50k	500	748
100k	500	748
200k	500	756
500k	504	768
1M	500	340
2M	492	108

R : 10k $\Omega$ のとき

このときの写真 59~69, f<sub>i</sub>に対する V<sub>I</sub>, V<sub>O</sub>の結果を表11に表す。

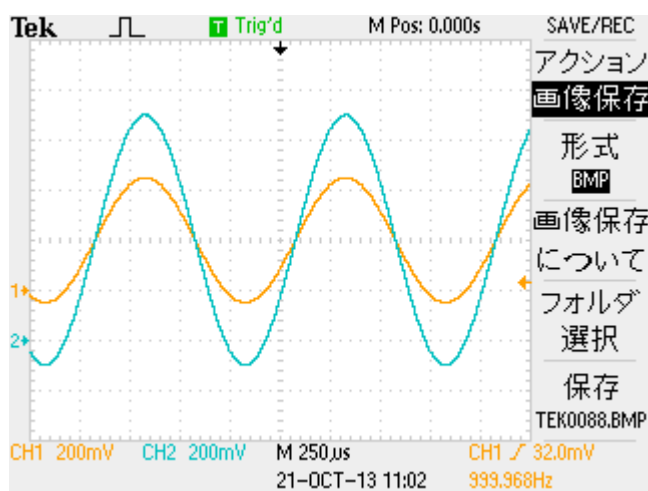


写真 59 R : 10k $\Omega$ , f<sub>i</sub> : 1kHz

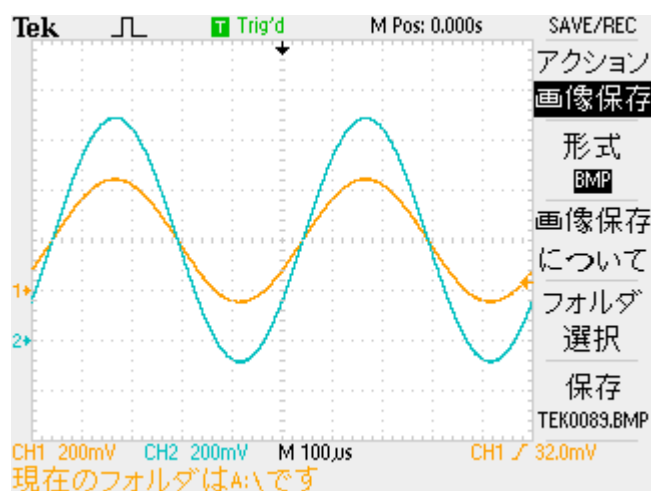


写真 60 R : 10k $\Omega$ , f<sub>i</sub> : 2kHz

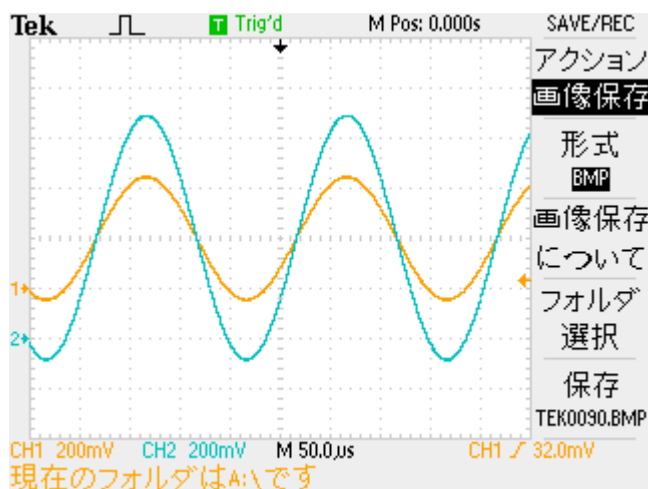


写真 61 R : 10k $\Omega$ , f<sub>i</sub> : 5kHz

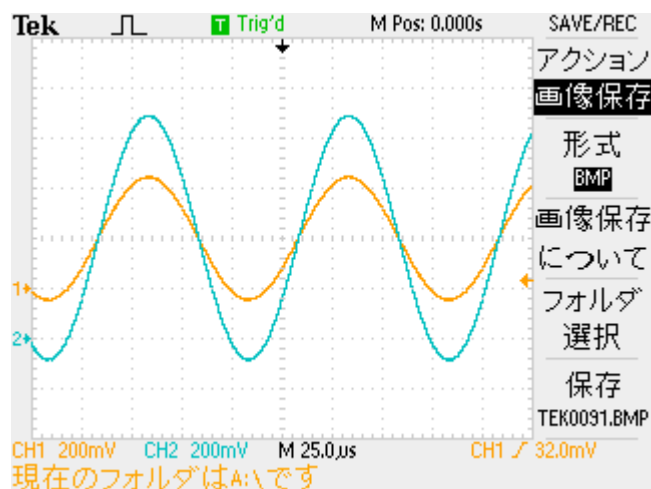
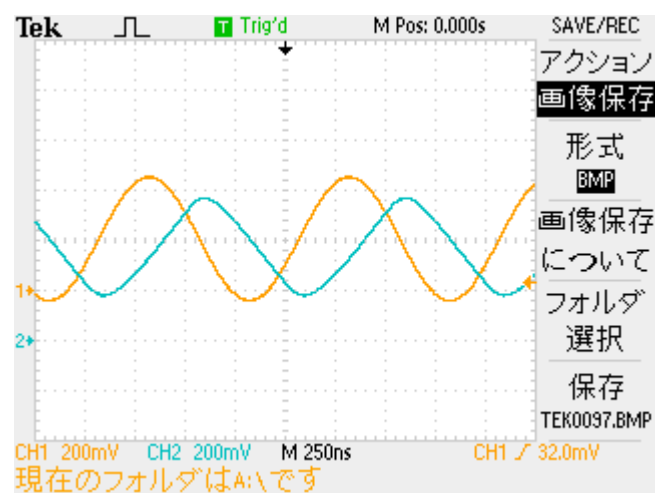
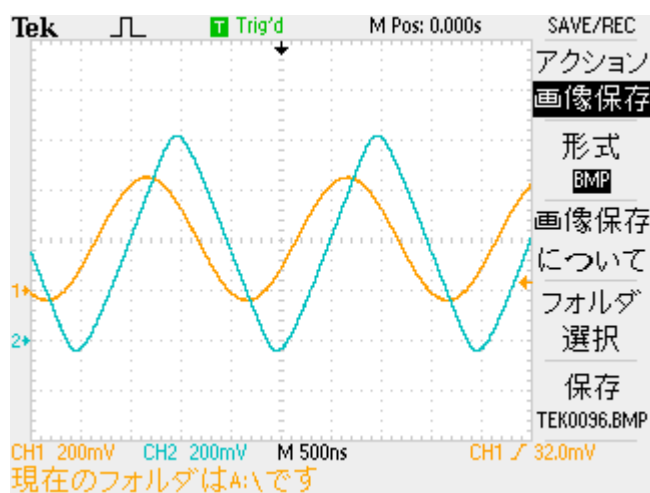
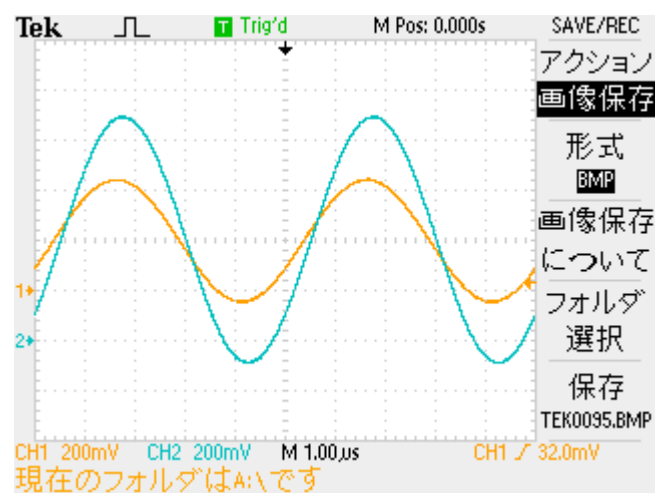
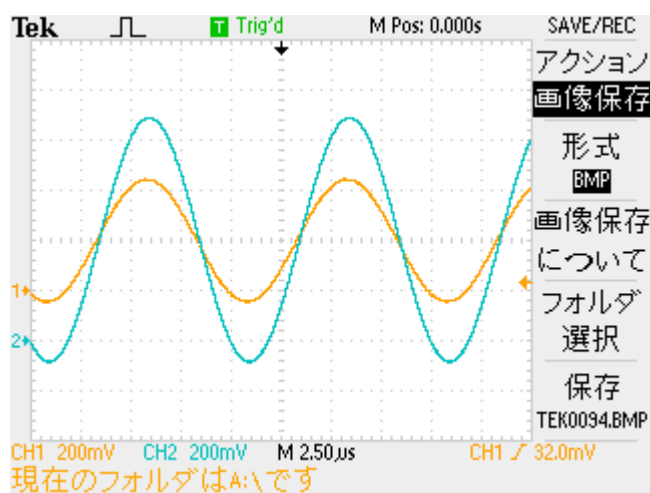
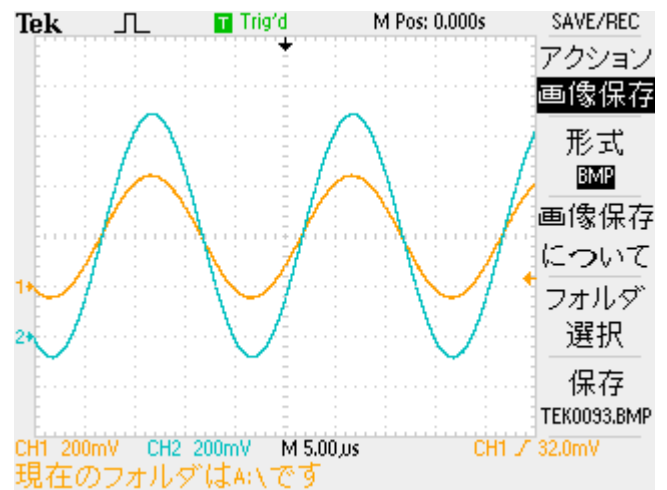
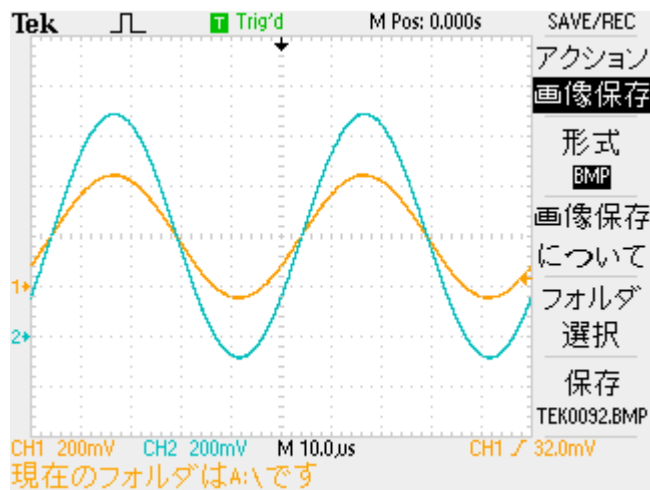


写真 62 R : 10k $\Omega$ , f<sub>i</sub> : 10kHz





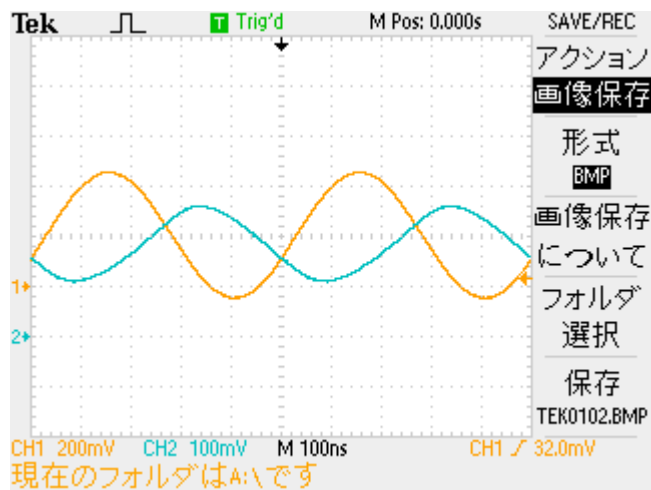


写真 69  $R : 10k\Omega$ ,  $f_i : 2MHz$

表 1 1  $R : 10k\Omega$  のとき

$f_i(\text{Hz})$	$V_I(\text{mV})$	$V_O(\text{mV})$
1k	496	1000
2k	496	976
5k	496	976
10k	496	976
20k	496	976
50k	496	976
100k	496	976
200k	496	984
500k	496	864
1M	496	392
2M	504	148

$R : 5k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $20k\Omega$  に対する  $V_O$  のグラフを図 1 2 に表す。

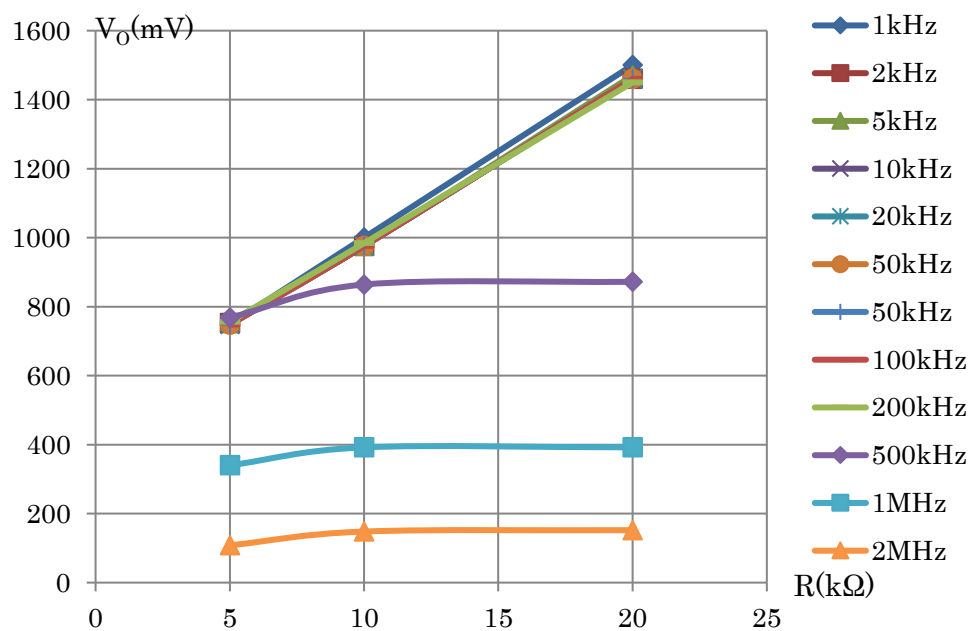


図1.2 Rに対する $V_o$ のグラフ

#### 実験4

①

抵抗Rを10nFのコンデンサに置き換えるとき

このときの写真70~73,  $f_i$ に対する $V_i$ ,  $V_o$ の結果を表1.2に表す。

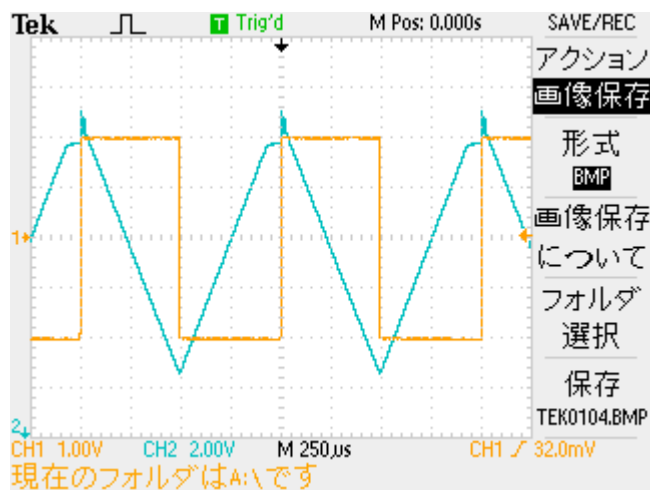


写真70 R: 10 kΩ,  $f_i$ : 1kHz

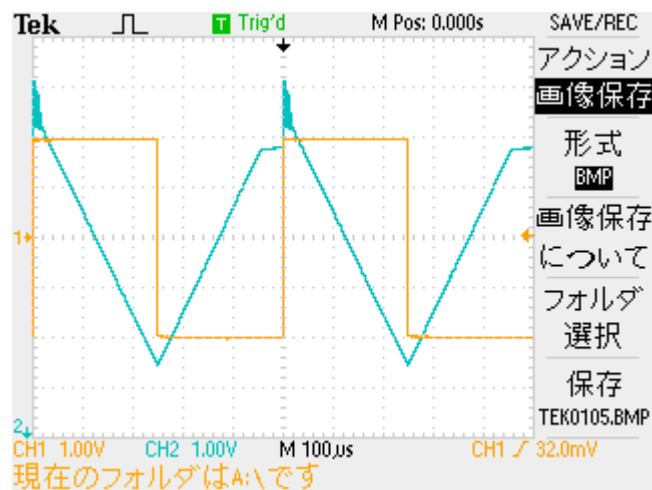


写真71 C: 10 nF,  $f_i$ : 2kHz

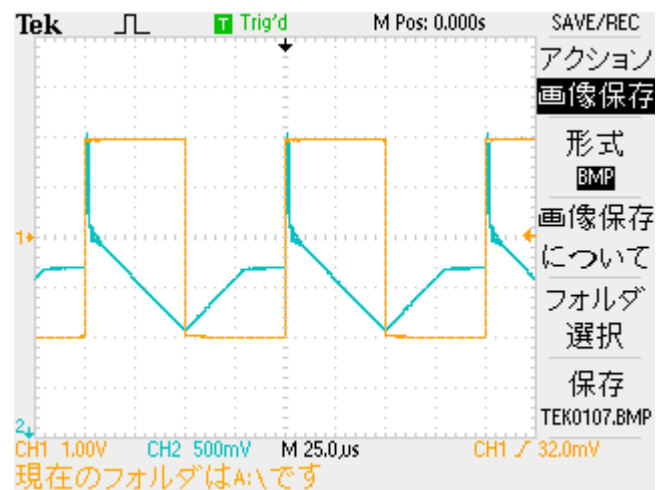
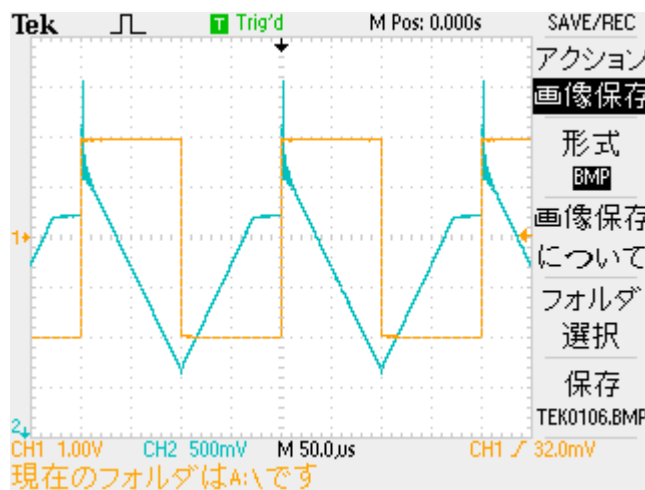


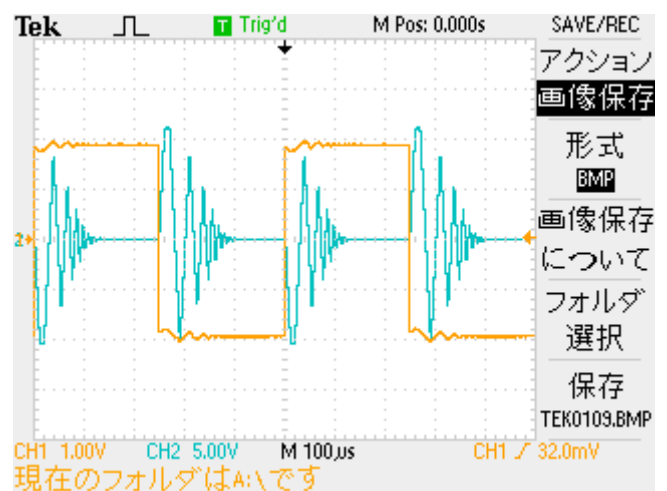
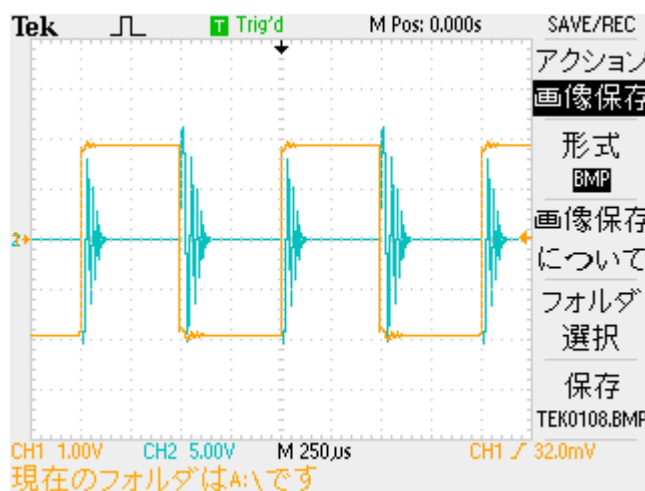
表 1 2  $f_i$  に対する  $V_i$ ,  $V_o$  の結果

$f_i(\text{Hz})$	$V_i(\text{V})$	$V_o(\text{V})$
1k	4.04	10.5
2k	4.00	5.72
5k	4.00	2.92
10k	4.00	2.02

②

10kΩの入力抵抗を 10nF のコンデンサに置き換えるとき

このときの写真 74~77,  $f_i$  に対する  $V_i$ ,  $V_o$  の結果を表 1 3 に表す。



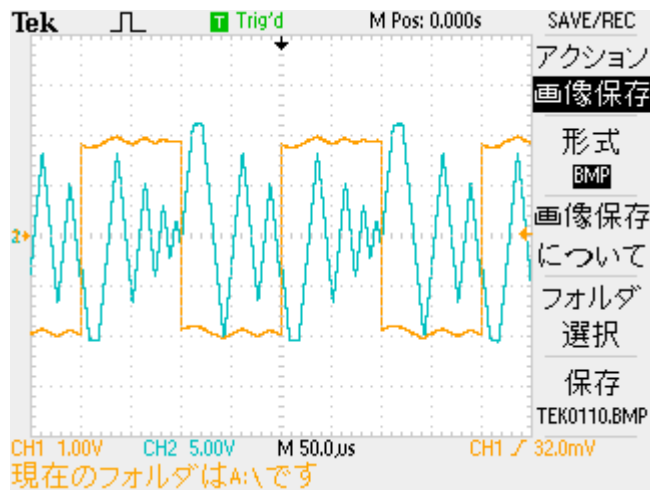


写真 76 C : 10nF,  $f_i$  : 5kHz

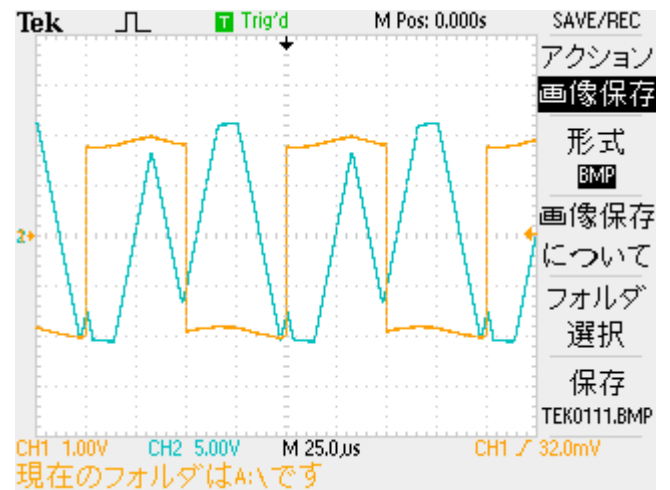


写真 77 C : 10nF,  $f_i$  : 10kHz

表 1 3  $f_i$  に対する  $V_i$ ,  $V_o$  の結果

$f_i(\text{Hz})$	$V_i(\text{V})$	$V_o(\text{V})$
1k	3.96	21.6
2k	4.00	21.8
5k	4.04	21.8
10k	4.04	21.8

## 7. 考察と課題

- 実験 1 の結果から,  $V_+ \geq V_-$ ,  $V_+ \doteq V_-$ ,  $V_+ < V_-$  のそれぞれの場合について,  $V_o$  はどのように応答する性質があるか?

実験 1 の結果をもう一度, 以下の表 1 4, 1 5 に表す。

表1 4  $V_+ : 1.000V$  のとき

$V_-(V)$	$V_o(V)$
-2.000	11.93
-1.000	11.93
0	11.93
0.750	11.98
0.997	11.92
0.998	11.92
0.999	11.20
1.000	7.77
1.001	-8.77
1.002	-10.83
1.003	-11.10
1.004	-11.12
1.005	-11.13
1.010	-11.15
1.020	-11.17
1.030	-11.18
1.050	-11.21
1.250	-11.20
1.100	-11.22
1.500	-11.20
2.000	-11.20

表1 5  $V_+ : -1.000V$  のとき

$V_-(V)$	$V_o(V)$
-2.000	11.87
-1.025	11.87
-1.004	11.87
-1.003	11.87
-1.002	11.87
-1.001	9.40
-1.000	6.40
-0.999	-8.70
-0.998	-10.78
-0.997	-11.04
-0.996	-11.06
-0.995	-11.07
-0.994	-11.07
-0.993	-11.08
-0.992	-11.08
-0.991	-11.08
-0.990	-11.09
-0.989	-11.09
-0.988	-11.09
0	-11.15
1.000	-11.15
2.000	-11.14

これらの表から  $V_+$  が  $1.000V$  のとき,  $V_-$  が  $-2.000V \sim 0.999V$  の間, 即ち  $V_+ > V_-$  では出力  $V_o$  は正の値を示している。 $V_-$  が  $1.000V$  のとき, 即ち  $V_+ \doteq V_-$  では出力  $V_o$  は正の値を示している。 $V_-$  が  $1.001V \sim 2.000V$  の間, 即ち  $V_+ < V_-$  では出力  $V_o$  は負の値を示している。 $V_+$  が  $-1.000V$  のとき,  $V_-$  が  $-2.000V \sim -1.001V$  の間, 即ち  $V_+ > V_-$  では出力  $V_o$  は正の値を示している。 $V_-$  が  $-1.000V$  のとき, 即ち  $V_+ \doteq V_-$  では出力  $V_o$  は正の値を示している。 $V_-$  が  $-0.999V \sim -2.000V$  の間, 即ち  $V_+ < V_-$  では出力  $V_o$  は負の値を示している。

この結果から,  $V_+$  の値が  $V_-$  の値より大きい場合では出力  $V_o$  は正の値の応答をし,  $V_+$  の値と  $V_-$  の値がほぼ同じとき場合では出力  $V_o$  は正の値の応答をし,  $V_+$  の値が  $V_-$  の値より小さいとき場合では出力  $V_o$  は負の値の応答をする。

## 2. オペアンプが「差動増幅器」といわれるのは, なぜか?

実験 1②の図 8 から, 出力  $V_o$  は  $V_+ - V_-$  の値が正に大きくなるにつれて, 正に大きくなり, 負に大きくなるにつれて, 負に大きくなる。このことから,  $V_+$  と  $V_-$  との差が大きくなればなるほど, 出力  $V_o$  が動作するため。

## 3. 実験 1 の結果を参考にして, オペアンプの増幅率を求めよ。

オペアンプの増幅率の式は

$$\text{増幅率 } A = \frac{\text{出力 } V_o}{\text{入力 } V_i} = - \frac{\text{抵抗 } R}{\text{入力抵抗}}$$

で求めることができる。従って、以下ようになる。

表 1 4  $V_+ : 1.000V$  のとき

$V_i(V)$	$V_o(V)$	A
12	11.93	0.994
	11.93	0.994
	11.93	0.994
	11.98	0.998
	11.92	0.998
	11.92	0.993
	11.20	0.993
	7.77	0.648
	-8.77	-0.731
	-10.83	-0.903
	-11.10	-0.925
	-11.12	-0.927
	-11.13	-0.928
	-11.15	-0.929
	-11.17	-0.931
	-11.18	-0.932
	-11.21	-0.934
	-11.20	-0.933
	-11.22	-0.935
	-11.20	-0.933
	-11.20	-0.933

表 1 5  $V_+ : -1.000V$  のとき

$V_i(V)$	$V_o(V)$	A
-12	11.87	-0.989
	11.87	-0.989
	11.87	-0.989
	11.87	-0.989
	11.87	-0.989
	9.40	-0.783
	6.40	-0.533
	-8.70	0.725
	-10.78	0.898
	-11.04	0.920
	-11.06	0.922
	-11.07	0.923
	-11.07	0.923
	-11.08	0.923
	-11.08	0.923
	-11.08	0.923
	-11.09	0.924
	-11.09	0.924
	-11.09	0.924
	-11.15	0.929
	-11.15	0.929
	-11.14	0.928

4. 実験 2 の結果から，“スルーレート”は何を表すと考えられるか？  
 ステップ状入力信号電圧を加えると，出力電圧が入力電圧に忠実に応答しないで，一定時間あたりの出力電圧の変化が入力電圧に無関係に一定になる。即ち，時間あたりの電源変化率をスルーレートと呼び， $V/\mu s$ で表す。標準の OP アンプでは  $0.3 \sim 10V/\mu s$ である。  
 スルーレートの原因は，主に入力段増幅回路の飽和電流と位相補償用のコンデンサによる。例えば，位相補償用のコンデンサの充電電圧が入力の大きさに対応して変化しなければならぬが，充電回路の時定数が大きい場合は，急激に変化できないため生じるのである。
5. 図 4 が反転増幅回路となることを説明せよ。増幅率はどのように与えられるか？  
 反転増幅回路とは入力  $V_i$  に対して，位相が  $180^\circ$  生じ，出力  $V_o$  の正弦波の波形が反転しているように見える増幅回路である。写真 1～写真 33 の測定波形から，入力と出力の波形は位相が  $180^\circ$  ずれていることが見て取れる。  
 増幅率は表 5，6，7 や写真 1～写真 33 から， $5kHz$  のときは，0.5 倍， $10kHz$  のときは 1 倍， $20kHz$  のときは，2 倍，増幅していることがわかる。  
 しかし， $200kHz$  のあたりから，位相がずれ，増幅率も減少していることから，OP アンプが無限の周波数帯域を持っていないと言える。
6. 図 5 が非反転増幅回路となることを説明せよ。増幅率はどのように与えられるか？  
 非反転増幅器は入力  $V_i$  に対して，出力  $V_o$  の波形で位相のズレが生じない増幅回路である。写真 37～写真 69 の測定波形から，入力と出力の波形は位相のズレが生じていないことが見



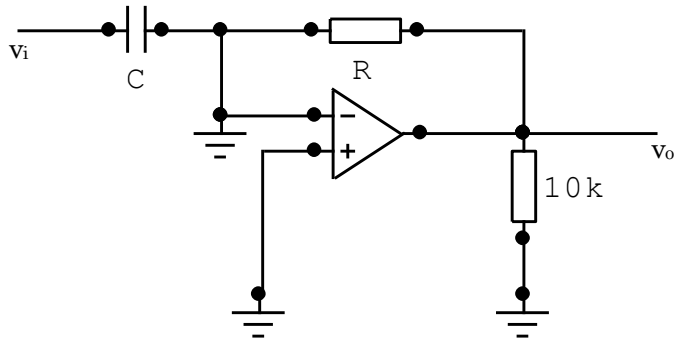
て取れる。

増幅率は表 9, 10, 11 や写真 37~写真 69 から, 5kHz のときは, 1.5 倍, 10kHz のときは 2 倍, 20kHz のときは, 2.5 倍, 増幅していることがわかる。

しかし, 200kHz のあたりから, 位相がずれ, 増幅率も減少していることから, OP アンプが無限の周波数帯域を持っていないと言える。

7. 積分回路, あるいは微分回路として活用するにはどうすればよいか?

微分回路は以下のような回路構成をする。



入力信号  $v_i$  をあたえると, コンデンサ  $C$  に充放電電流

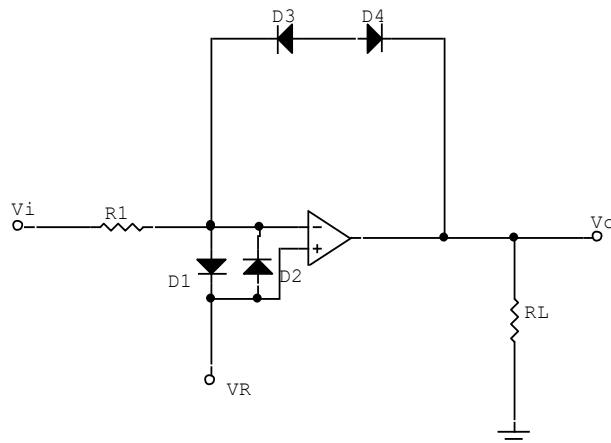
$$i_i = \frac{dq}{dt} = \frac{dCv_i}{dt}$$

が流れる。

$$v_o = -Ri = -Ri_i = -R \frac{dCv_i}{dt} = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

となる。すなわち, 出力信号  $v_o$  は入力信号  $v_i$  を微分した  $dv_i/dt$  に  $-RC$  を掛けたものになる。

8. 比較器として活用するにはどうすればよいか?



$V_R$  に正か負の電圧を加えると, その OP アンプが比較器として動作する。 $V_R$  が正の場合, 入力  $V_i$  が  $V_R$  の値より高いと出力  $V_o$  は反転し,  $-V_o$  となり, 入力  $V_i$  が  $V_R$  の値より低いと出力は  $V_o$  となる。

9. OP アンプのその他の活用事例について調べよ。

OP アンプには方形波を発信する方形波発信回路がある。

10. その他、実験を通してどのようなことが明らかになったか？

考察を進める中で OP アンプの微分回路や積分回路、比較器としての利用などいろいろな利用法がわかることができた。

## 8. 参考文献

リニア IC によるオペアンプの基本と応用

(昭和 52 年 1 月 15 日, 角田秀夫著) (P5, P6, P20, P46)

OP アンプの回路の設計 (昭和 51 年 12 月 10 日, 岡村勉夫) (P77, P97)

入門オペアンプー内部回路から理解する電子回路設計ー

(平成 21 年 5 月 20 日, 家村道雄, 村田勝昭著) (P178)