

高校課題研究 2018 年度

# 交流を体験的に学ぶ

担当 森下 武志

番号	
氏名	

出席確認印	修了印
(課題研究時押印)	(レポート提出時に押印)

# 1. RLC回路の実験

## 1. 学習目的

交流回路におけるRLC（抵抗、コイル、コンデンサ）のふるまいや性質を実験によって体験し、原理や理論の理解を深め今後の学習に生かしましょう。

## 2. 正弦波交流とその表し方（原理）

時間とともに周期的な変化をする電圧や電流を交流といいます。正弦波の交流は、次のような正弦波関数で表すことができます。

$$v(t) = E_m \sin(\theta) = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \phi) \quad [V]$$

$$\theta = \omega t + \phi$$

$$\omega: \text{角周波数 } \omega = 2\pi f \quad [\text{rad/s}]$$

$$f: \text{周波数 } f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}]$$

$$E_m: \text{最大値 } E_m = \sqrt{2}E$$

$$E: \text{実効値 } E_{rms} \text{と書くこともある。}$$

$$\phi: \text{位相角 } [\text{rad}]$$

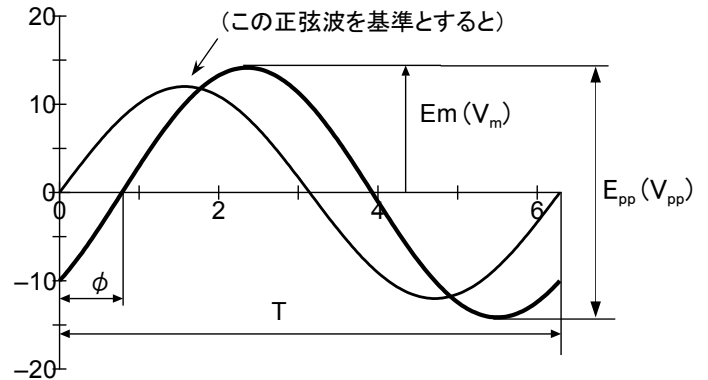


図 2 - 1

- ※ 交流の場合、時々刻々変化するので、 $V(t)$  のように瞬時値で表現されます。
- ※ rad はラジアンとって、弧度法と呼ばれる角度で表し方した場合の単位です。

交流の瞬時値(ある瞬間の時間  $t$ )を数式で表現 (式) すると、

(練習) 空欄に適当な記号を記入してみましょう。

$$v(t) = E_m \sin(\omega t + 0) = \sqrt{2} \times \boxed{\phantom{000}} \sin(2\pi \boxed{\phantom{000}} t)$$

$\uparrow$  (ヒント:  $E_m / \sqrt{2} = E$ )      (ヒント:  $\omega = 2\pi f$ )

**【課題 1】** (作図した 3P の方眼紙はレポートの評価になります)

$y = \sin x$  の正弦波を 1 周期分 (角度は 0 度から 30 度毎で結構) と、下図のように正弦波と点 a を始点とした矢印の円運動の際の高さの関係を (P3 の) 方眼紙にグラフを描いてください。ただし、正弦波の曲線はできるだけしっかりと丁寧な線で描き、円中の  $H_m$  は太い矢印で書くとわかりやすくなります。

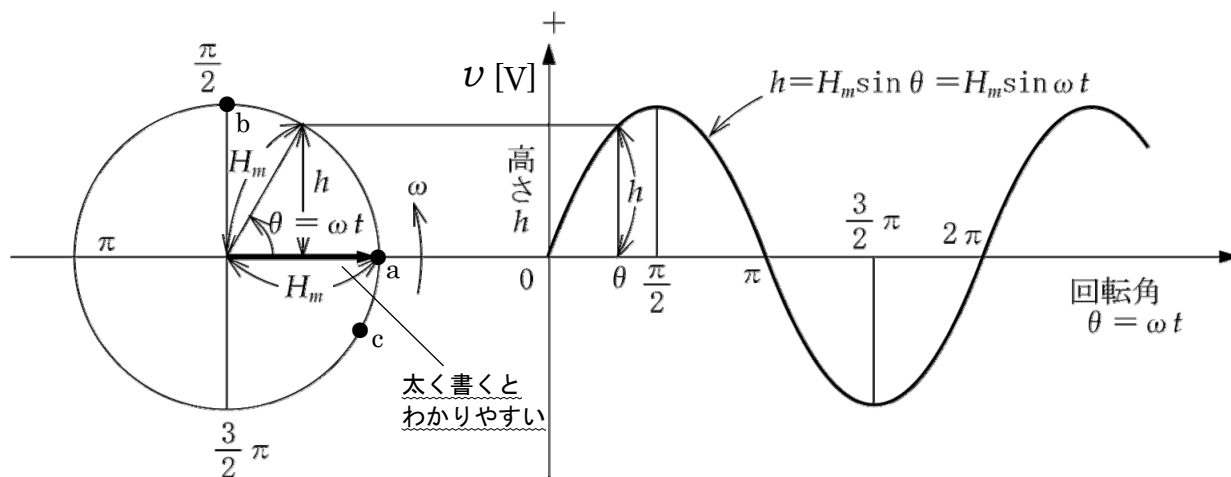


図2-2

**【課題 2】**

次に、点 b ( $\frac{\pi}{2}$ ) を始点とした場合と、点 c ( $-\frac{\pi}{6}$ ) を始点とした場合の回転角と高さの関係を表すグラフを、上記のグラフに書き加えて波形を描きましょう。

**【課題 1 の考察 1】** : 波形と回転ベクトルの関係を考察してください。(P4 へ記入)

波形から得られた回転ベクトルの角速度  $\omega$  [rad/s] (1 秒間に回転する角度) は、基準ベクトル  $H_m$  を始点する  $t$  [s] 後までに回転した回転角となります。したがって、時間  $t$  とベクトル  $H_m$  の先端の位置が示す高さとの関係は、図 2-2 の図中の直角三角形の高さ  $h$  が、

$$h = H_m \sin \theta = H_m \sin \omega t$$

となっていることがわかります。

つまり、時間  $t$  に依存して、ベクトルの角度  $\theta$  [rad] と高さ  $h$  (電圧  $v$  [V]) が求められます。言葉を変えれば、波形は波の形をしています、実はその瞬間  $t$  によって、波形が表している“角度”と“電圧”の大きさがわかる、こととなります。改めて、このことをグラフから確認しましょう。

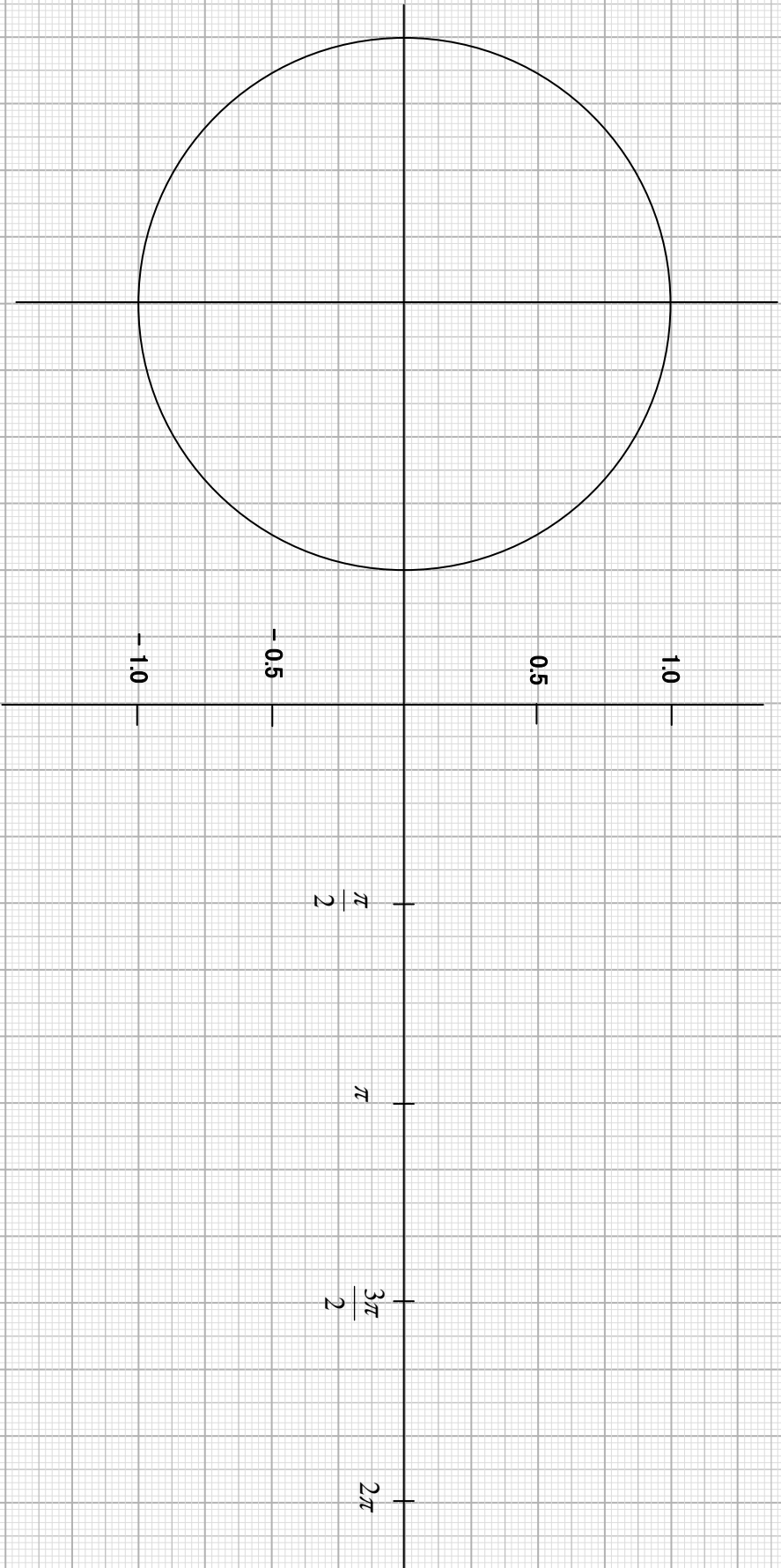
**【考察 2】** :  $0$ 、 $\frac{\pi}{2}$ 、 $-\frac{\pi}{6}$  [rad] を始点とする各々の波形の関係を考察してください。

$0$ 、 $\frac{\pi}{2}$ 、 $-\frac{\pi}{6}$  [rad] を始点とする波形に対する、左回転を正とする回転ベクトル  $H_m$  の矢印がどこから始まっているのか、また、波形の位置関係はどうなっているか、わかったことをまとめてみましょう。

No

学番

氏名



【課題 1 の考察 1】 (P2 より)

【課題 1 の考察 2】 (P2 より)

## 【実験 1】 交流波形の観測と計測実験

### 2-1 実験手順 (下記の測定値はP15の実験記録表に記録します)

- 1) 基本接続図(図 2-3)を参考にしながら、電子電圧計とオシロスコープを交流電源に接続します。
- 2) 低周波発振器の周波数を  $50\text{Hz}$  に設定します。
- 3) この発振器の出力電圧を電子電圧計の読み(=E)で  $1\text{V}$  なるように調節します。
- 4) 発振器 (交流電源) の出力波形をオシロスコープで観察し、最大値  $E_m$ 、周期  $T$  (時間) を読み取る。また、この波形を USB メモリ等に保存してください。
- 5) 原理と比較し一致 (又は同等) したことを確認し、レポートとして下記にまとめてください。

### 【実験 1 の考察】

## 2-2 実験1の接続図 (電源の出力を直接観察します)

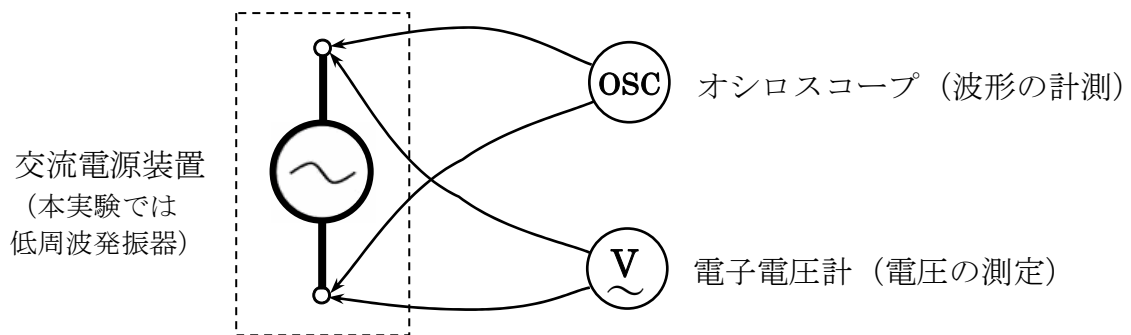


図2-3 接続図

この電源を計測するために、電源に直接計測器を接続しているイメージで、計測器どうしをつないで回路を作っている意識は持たないこと。

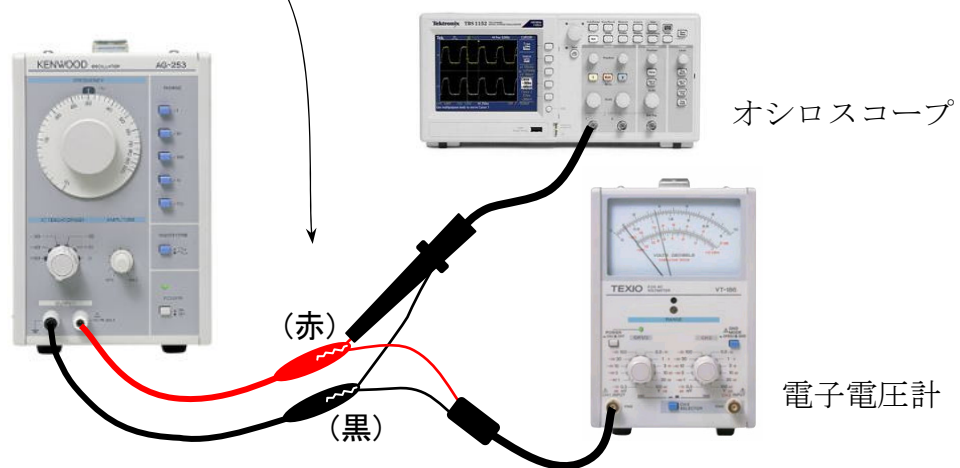


図2-4 接続イメージ

注意: ツマミは大きいレンジ(100V)から徐々にレンジを下げること

### 3. RLC回路の原理と実験による検証

#### 3-1 抵抗器 R (resistor) の原理

図3-1に示すように、抵抗に交流の電流が流れる際、電源電圧と電流は以下のように表され、“電圧と電流の波形は常に同相（位相差無し）”であり、“周波数によってインピーダンス Z（交流の場合の抵抗成分の呼び名）は変化しません”。

瞬時値表現では

$$v(t) = Ri(t) = R\sqrt{2}I \sin \omega t = \sqrt{2}E \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

複素数表現では

$$V = RI = E\angle 0 = E + j0, \quad Z = \frac{V}{I} = R \text{ } [\Omega]$$

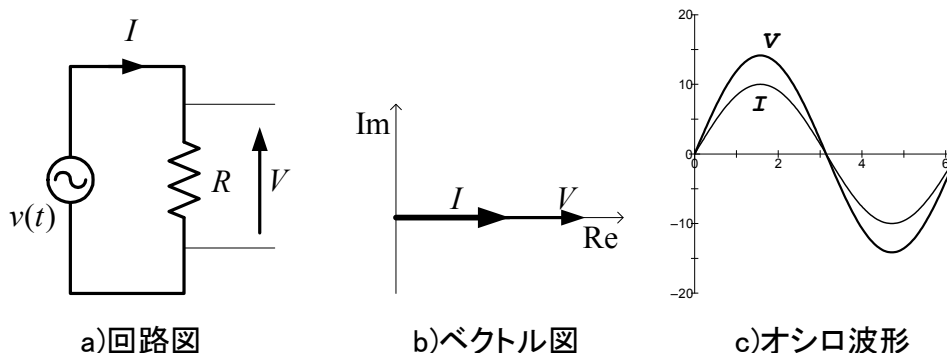


図3-1 抵抗回路と特性

#### 【実験2】“抵抗”に流れる電流と電圧の関係を調べる実験

##### 3-1-1 実験手順 (測定値はP15の実験記録表に記録してください)

- 1) 接続図(図3-2)を参考に回路を組み立て、計測器を接続します。
- 2) 抵抗の値は2kΩをセットします。
- 3) 低周波発振器の周波数を3kHzに設定します。
- 4) 発振器の出力電圧は電子電圧計Vi(1ch)を読みながら1Vに調節します。
- 5) 発振器の出力電圧と抵抗に流れた電流の波形、各々の振幅(最大値)、周期、位相をオシロスコープで読み取り、この波形をUSBメモリに保存します。
- 6) 次頁の課題3、4、5を行いながら、原理と実際の対応を確認し、(レポートとして)まとめて理解を深めましょう。

2つのチャンネル(1ch,2ch)を使って、一台の計測器で電圧と電流を同時に計測する技能を学ぶ

### 3-1-2 実験回路の接続方法

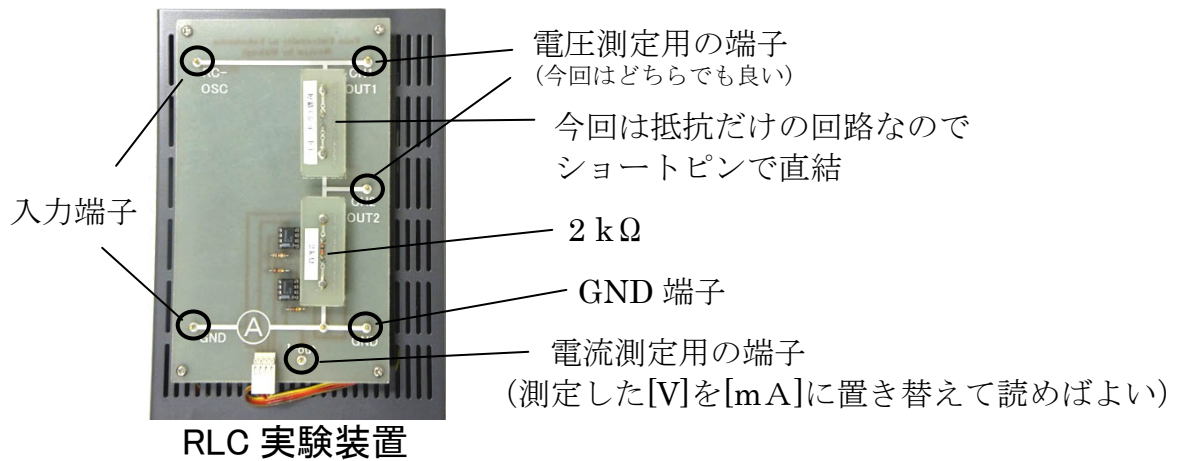
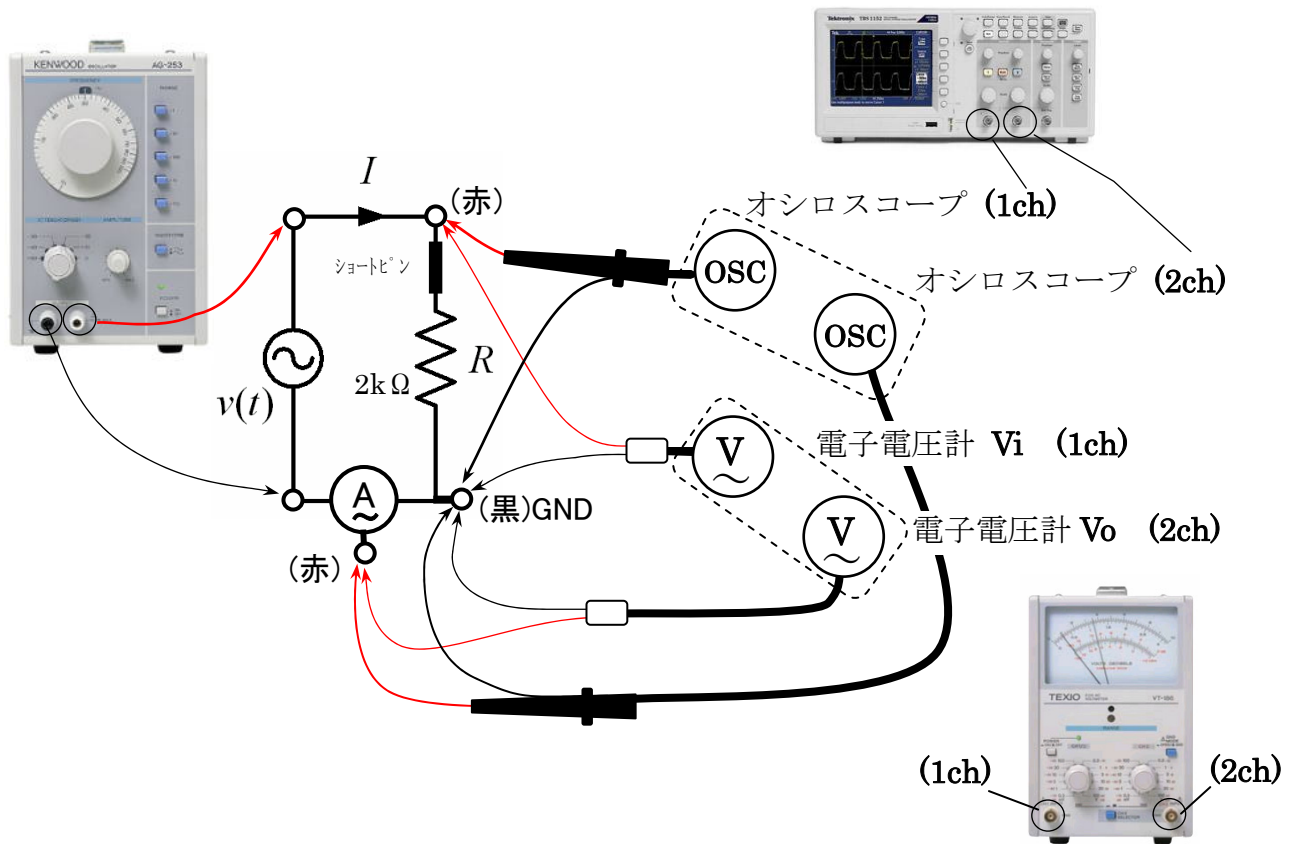


図 3-2 抵抗回路の接続図と計測機器



**[実験2 課題1] 計算による回路の事前シミュレーション (P15に従い記録する)**

1)  $2\text{k}\Omega$ の抵抗のみの回路のインピーダンス(抵抗成分) $Z$ はいくらですか?(単純に)

答 \_\_\_\_\_  $\Omega$

2) 電源電圧  $V_i$  を  $1\text{V}$ (実効値)とした場合、電流  $I$  [mA]をオームの法則で求めると何mA になりますか?

答 \_\_\_\_\_ mA

**[実験2 課題2] 計測実験のデータ処理 (測定値はP15の記録表へ記録)**

1) オシロスコープで計測した  $V_{pp}$  値より最大値  $V_m$ を求め、この  $V_m$ から実効値  $V$ を求めてみましょう。

答 \_\_\_\_\_ V  $\left[ V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \right]$

2) 周期  $T$ [s]から周波数  $f$  [Hz]を求めましょう。

答 \_\_\_\_\_ Hz

3) 電子電圧計  $V_0(2ch)$ の読み[V]から、電流  $I$  [mA] を読んでください。  
(電子電圧計の値[V]の単位を[mA]に換えるだけでよい)

答 \_\_\_\_\_ mA

4) 電子電圧計  $V_i$ と抵抗値  $R$ からオームの法則によって  $I$  を求め、3) の計測値と比較してみましょう。(ほぼ同じになっていれば実験で原理が確認できた)

**[実験2 考察]**

計測した波形が下図のようであるか確認してください。同様ならば、この波形において、電圧  $V$  の回転角が  $\pi/2$ の瞬間の電圧と電流の2つのベクトル(矢印)を下図の円の中に示してみましょう。また、この波形やベクトルからは何がわかりますか、考えてみましょう。(解答はすでに記載されています)

**【まとめ3-1】**

[ \_\_\_\_\_ ]

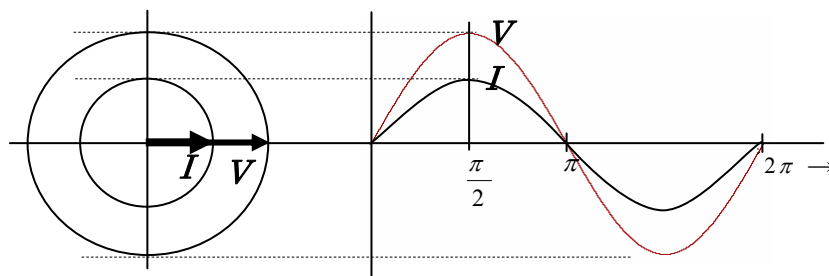


図3-3 抵抗回路における、電圧、電流波形と電圧、電流回転ベクトルの関係

### 3-2 インダクタ L (inductor)、コイル

図3-4に示すようにコイルに交流の電流が流れるとき、電源電圧は以下のように表されます。このように、電圧の波形は電流の波形に対して90度位相が進み（電流は電圧に対して90度遅れ）となり、インピーダンス  $Z$  は周波数に比例する関係があります（つまり、周波数が大きくなると抵抗値も大きくなります）。

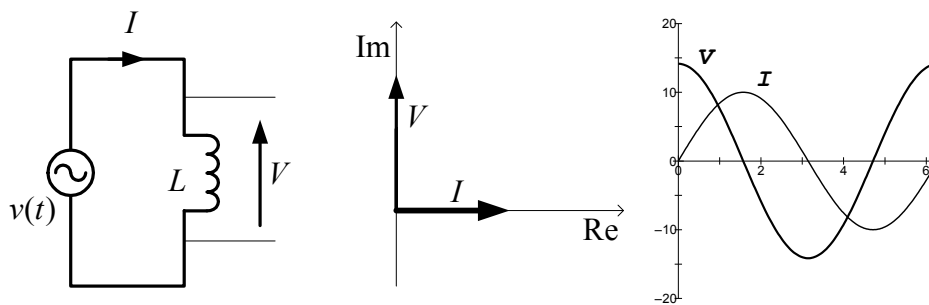
瞬時値表現では

$$v(t) = L \frac{d}{dt} i(t) = \omega L \sqrt{2} I \cos \omega t = \sqrt{2} E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

複素数表現では、電流を基準ベクトルとすると

$$V = j\omega LI = E \angle \frac{\pi}{2} = 0 + jE \quad , \quad Z = \frac{V}{I} = j\omega L = jX_L \quad , \quad X_L = \omega L [\Omega]$$

$\omega = 2\pi f$  より周波数に比例



(実際のコイルは内部抵抗  $r$  が含まれるため)  
 $Z = X_L = r + X_L$  となっています

図3-4 インダクタンス回路と特性

## 【実験3】“コイル”に流れる電流と電圧の関係を調べる実験

### 3-2-1 実験手順（下記の測定値はP15の実験記録表に記録してください）

- 1) 前項と同様（図3-5）にインダクタンス回路を組み立てます。
- 2) インダクタは10mH（20Ω）を装置へセットします。  
 （ショートピンで回路中の空白部(要素1の部分)を接続する）
- 3) 発振器の周波数は3kHzに設定します。
- 4) 交流の電源電圧を電子電圧計  $V$  を見ながら、1Vに調整します。
- 5) 予め（次頁課題6）、周波数に対するインピーダンスから電流を求めます。

$$\left[ X_L = \omega L = 2\pi f L \text{ より、 } I = \frac{V}{\omega L} = \frac{V}{2\pi f L} \right]$$

- 6) オシロスコープにより振幅、周期、位相を読み取り、USBメモリへ保存
- 7) 予め求めた計算値と実験値が一致（又は同等）することを確認してください。

3-2-2 実験回路の接続方法 (回路は抵抗をコイルに差換えたのみ)

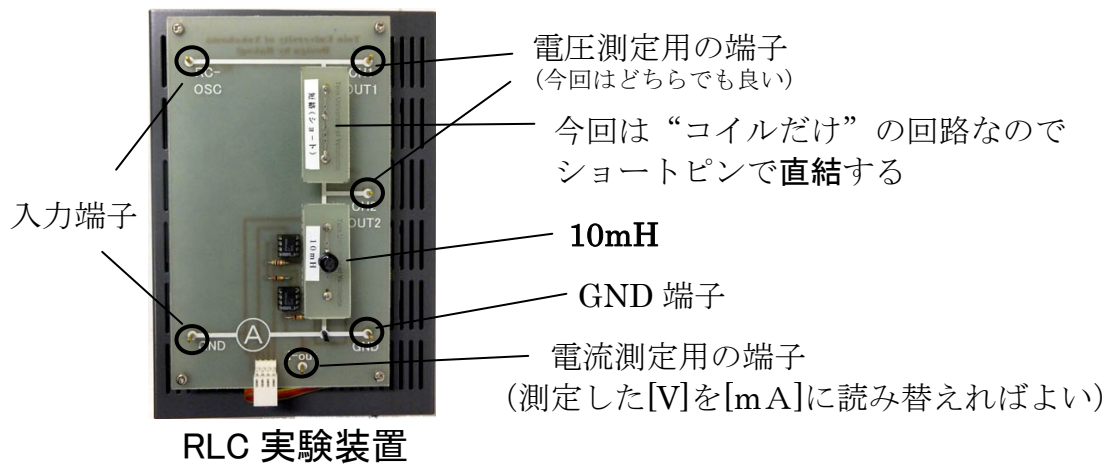
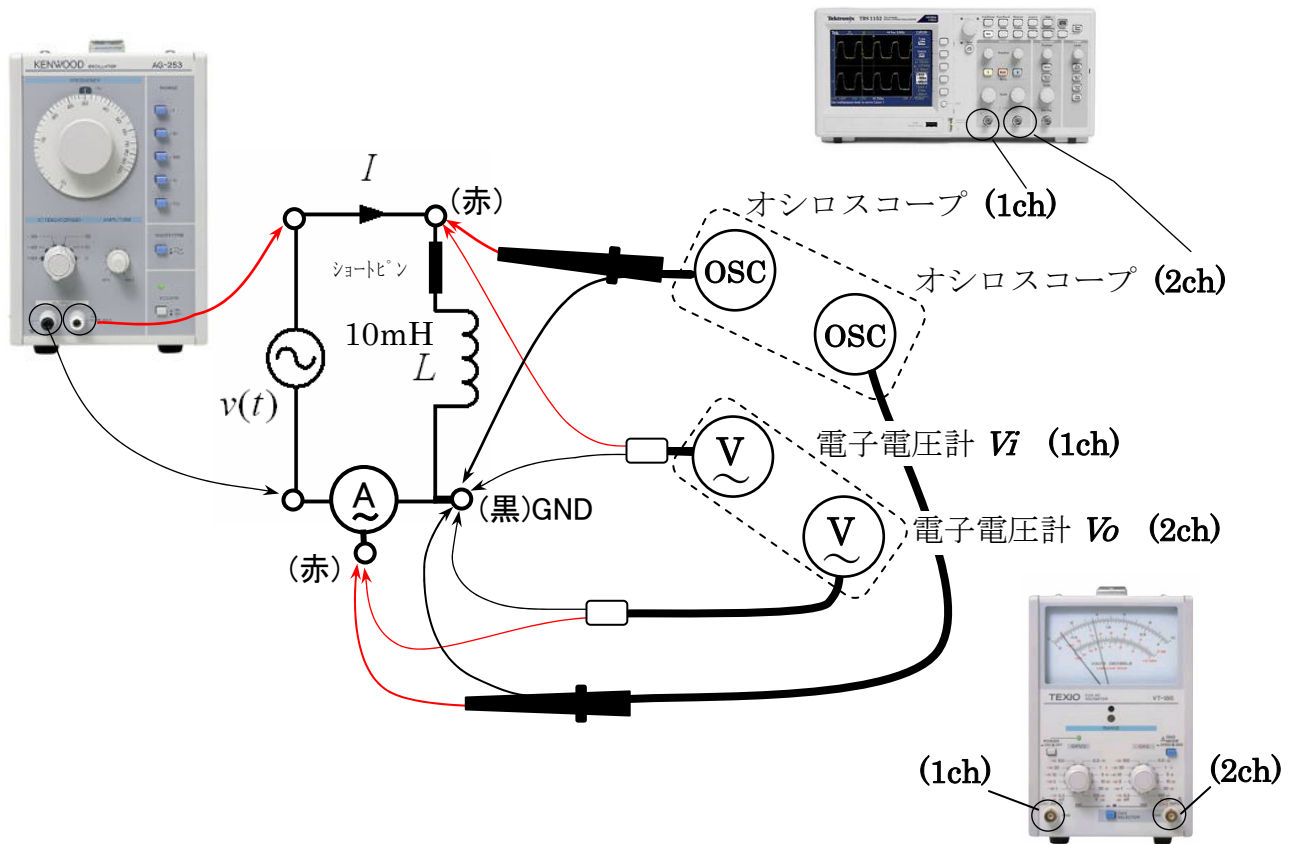


図 3-5 インダクタ実験回路の接続図と計測機器

本実験装置のインダクタに含まれる内部抵抗値  
10mH(20Ω)、 22mH(52Ω)、 47mH(42Ω)

**[実験3 課題1] 計算による回路の事前シミュレーション (P15 記録表に記入する)**

インピーダンス :  $Z = j\omega L = jX_L$  ,  $|Z| = X_L = \omega L = 2\pi fL$  [ $\Omega$ ]

$X_L$  : 誘導リアクタンス ( $f$ でのコイルの抵抗成分として考えてください)

電源電圧  $V = ZI = j\omega LI$ より、電流に対して、位相が90度進む。

~~~~ 計算例 ~~~~

周波数  $f = 1.2$  kHz

インダクタ  $L = 70$  mH とした場合、

リアクタンス  $X_L = 2\pi \times 1.2 \times 10^3 \times 70 \times 10^{-3} \cong 528$  [ $\Omega$ ] と求められる。

- 1) 電源電圧  $V_i$  を 1 V(実効値)とした際、コイル実験でのインダクタンス (コイルの抵抗) から電流  $I$  [mA] をオームの法則で求めてみよう。(P15 の(3)10,11,12)

**[実験3 課題2] 計測実験を計測データ処理 (測定値は P15 の記録表へ記入する)**

- 1) オシロスコープ(1ch)で計測した  $V_{pp}$  値より最大値  $V_m$  を求め、この  $V_m$  から実効値  $V$  を求めてみよう。  $\left[ V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \right]$
- 2) オシロスコープで計測した周期  $T$  [s] から周波数  $f$  [Hz] を求めよう。
- 3) 電子電圧計  $V_o(2ch)$  の読み [V] から、電流  $I$  [mA] を読み替えてください。  
(電子電圧計の値 [V] の単位を [mA] に換えるだけでよい)
- 4) オシロスコープ(2ch)で計測した  $V_{pp}$  値より最大値  $V_m$  を求め、この  $V_m$  から実効値  $V$  を求めて、この  $V$  から電流  $I$  [mA] にを求めよう。
- 5) 電子電圧計  $V_i$  の読み  $V$  とインピーダンス  $Z$  (P9(5)の計算値) から、計算による  $I$  を求め、3) 計測値  $I$  と比較してみよう。(ほぼ同じなら OK)  
(オームの法則の感覚で  $I = V/Z$  で求めればよい)

**[実験3 考察] 波形と電圧—電流ベクトルの関係 (考察欄に記入してください)**

観察した波形が下図のようであるか確認してください。次に、この波形において電流  $I$  を基準とした場合、電圧のベクトル(電圧の始点の方向)を下図の円の中に矢印で示してみましよう。また、この波形から何がわかりますか。さらに、誘導リアクタンス  $X_L$  は何を表していますか。下記に記してください。

考察

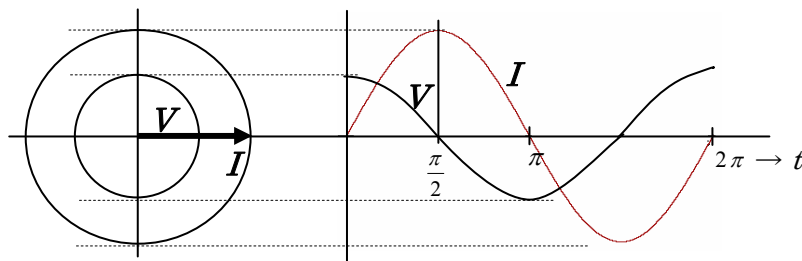


図3-6 インダクタ回路における、電圧-電流波形と電圧-電流回転ベクトルの関係

### 3-3 キャパシタ C (capacitor)、コンデンサ

図3-7に示すようにコンデンサに交流の電流が流れるとき、電源電圧は以下のように表されます。このように、電圧の波形は電流の波形に対して90度遅れ位相（電流は電圧に対して90度進み）となり、インピーダンス  $Z$  は周波数に反比例する関係があります。（つまり、コイル時と逆で、周波数が大きくなると抵抗値が小さくなる）

瞬時値表現では

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt = -\frac{1}{\omega C} \sqrt{2} I \cos \omega t = \sqrt{2} E \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = E_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

複素数表現では、電流を基準ベクトルとすると

$$V = \frac{1}{j\omega C} I = E \angle -\frac{\pi}{2} = 0 - jE, \quad Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = -j X_c, \quad X_c = \frac{1}{\omega C} [\Omega]$$

$\omega = 2\pi f$  が分母 → 反比例

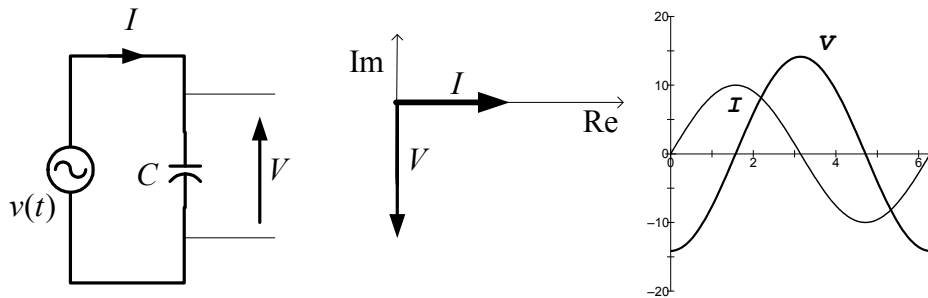


図3-7 キャパシタ回路と特性

## 【実験4】コンデンサ両端電圧と回路を流れた電流の関係を調べる実験

### 3-3-1 実験手順（下記の測定値はP14の実験記録表に記録すること）

- 1) 前項と同様（図3-8）にキャパシタ回路を組み立てます。
- 2) キャパシタは  $0.1 \mu F$  を接続します。
- 3) 周波数は  $3 \text{ kHz}$  に設定します。
- 4) 交流の電源電圧は、電子電圧計  $V_i$  を見ながら  $1 \text{ V}$  に調整します。
- 5) 予め（次頁課題9）、周波数に対するインピーダンスから電流を計算します。

$$\left[ |Z| = X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} [\Omega], \quad I = V/Z \right]$$

- 6) オシロスコープから振幅、周期、位相を読み取り、USBメモリに保存します。
- 7) 予め求めた計算と一致（又は同等）することを確認し、それぞれを比較しながら実験を進めてください。

3-3-2 実験回路の接続方法（前回のコイルをコンデンサに差換えたのみ）

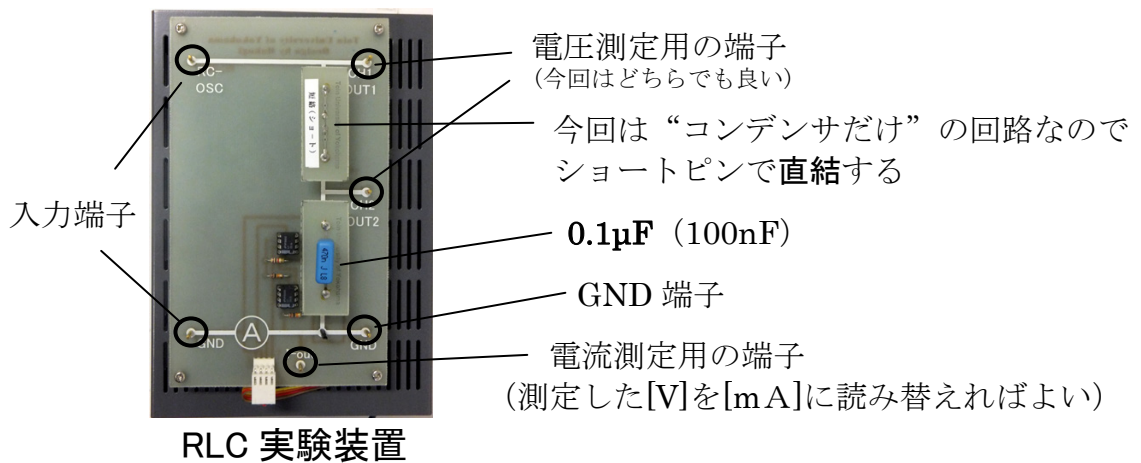
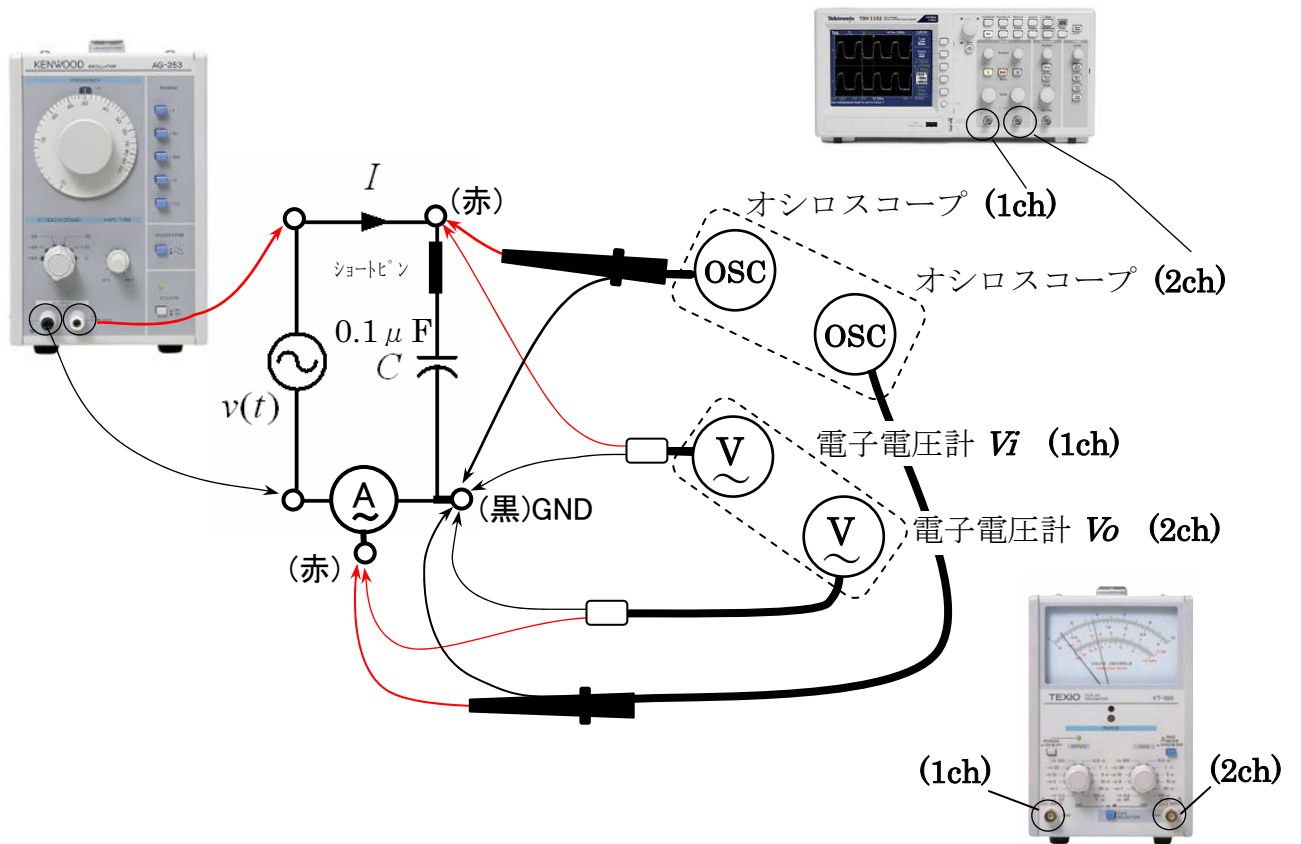


図 3-8 キャパシタ回路の接続図と計測機器

**[実験4 課題1] 計算による回路の事前シミュレーション (P15 に従い記入する)**

$$\text{インピーダンス} : Z = -jX_C = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{2\pi fC} \quad |Z| = X_C = \frac{1}{2\pi fC} [\Omega]$$

$$X_C : \text{容量リアクタンス} \quad \text{また、} I = \frac{V}{Z} \quad \text{より}$$

$$\text{電源電圧} V = ZI = -j\frac{1}{\omega C} I \text{より、電流に対して、位相が} 90 \text{度遅れる。}$$

~~~~ 計算例 ~~~~

周波数  $f = 0.8 \text{ kHz}$

キャパシタンス  $C = 50 \text{ nF}$  とした場合、

$$\text{容量リアクタンス} X_C = \frac{1}{2\pi \times 0.8 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-9}} \cong 3980 = 3.98 \text{ k}\Omega$$

と求めます。

**[実験4 課題2] 計測実験を計測データ処理 (測定値は P14 の記録表へ記入する)**

1) オシロスコープ(1ch)で計測した  $V_{pp}$  値より最大値  $V_m$  を求め、この  $V_m$  から実効値  $V$  を求めましょう。

$$\left[ V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \right]$$

2) オシロスコープで計測した周期  $T[\text{s}]$  から周波数  $f [\text{Hz}]$  を求めよう。

3) 電子電圧計  $V_0(2\text{ch})$  の読み  $[V]$  から、電流  $I [\text{mA}]$  を求めよう。

(電子電圧計の値  $[V]$  の単位を  $[\text{mA}]$  に換えるだけでよい)

4) オシロスコープ(2ch)で計測した  $V_{pp}$  値より最大値  $V_m$  を求め、この  $V_m$  から実効値  $V$  を求めて記入表に記載し、この  $V$  から電流  $I[\text{mA}]$  に換算する。

5) 電子電圧計  $V_i$  の読み  $V$  とインピーダンス  $Z$  (P12(5)の計算値)から、計算による  $I$  を求め、3) の計測値と比較してください。(ほぼ同じならば OK)

( $I = V/Z$  で求めればよい)

**[実験4 考察] 波形と電圧—電流ベクトルの関係**

観察した波形が下図のようであるか確認してください。同様ならば、この波形の電流  $I$  を基準とした場合、電圧のベクトル(電圧の始点の方向)を下図の円の中に矢印で示してください。また、この波形から何が読み取れますか答えなさい。さらに、誘導リアクタンス  $X_C$  は何を表していますか。下記に記してください。

〔 考察 〕

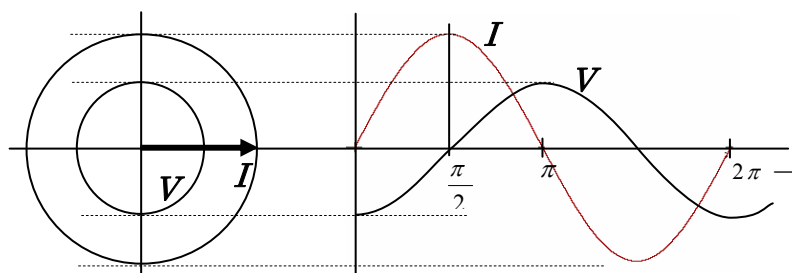


図3-9 キャパシタ回路における、電圧-電流波形と電圧-電流回転ベクトルの関係

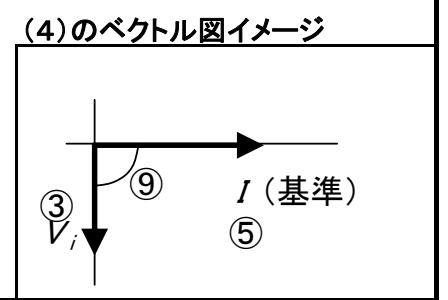
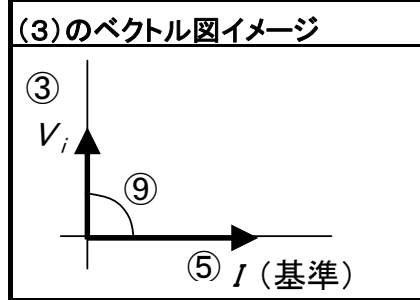
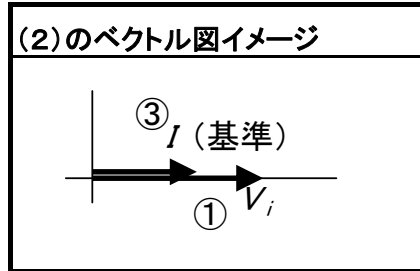
# R/L/C回路の実験(1)

学籍番号 \_\_\_\_\_

氏名 \_\_\_\_\_

- 1) 本実験(2)(3)(4)は、電流を基準として位相角を測定することと、公式を考慮しながら電流Iやその関係を導く。
- 2) また、○印項目が計測項目で、それ以外の項目は計算項目を表す。
- 3) 下記の回路(2)(3)(4)の3つ回路のベクトル図は、1枚の方眼紙内に3つのグラフをまとめること。

| (1) 交流波形                                     |  |
|--|--|
| 1  | 発振器の周波数 $f$ <span style="float:right">50Hz</span>              |
| 2  | 電子電圧計の値 $V_i$ (ch1) <span style="float:right">1.0 V</span>     |
| 測定結果記入欄                                      |  |
| ③  | オシロ(振幅最大値) (ch1) <span style="float:right">V</span>            |
| ④  | オシロ(周期) (ch1) <span style="float:right">ms</span>              |
| 計算結果記入欄                                      |  |
| 5  | 周波数 $f$ (4よりの計算値) <span style="float:right">Hz</span>          |
| 6  | 角周波数 $\omega$ (5よりの計算値) <span style="float:right">rad/s</span> |
| 7  | 実効値 (3よりの計算値) <span style="float:right">V</span>               |
| 計算に用いる要素                                     |  |
| $f = 1/T, \omega = 2\pi f$                   |  |
| $E_m = \sqrt{2} \times E$ (位相 $\theta$ は0とす) |  |



| (2) 抵抗回路  |   |
|---|---|
| 1   | 抵抗 $R$ の値 <span style="float:right">2 K<math>\Omega</math></span>                 |
|   | 発振器の周波数 $f$ <span style="float:right">3 KHz</span>                                |
|   | 電子電圧計の値 $V_i$ (ch1) <span style="float:right">1.0V</span>                         |
| オシロで計測する(1ch⇔電圧波形)  |   |
| ②   | オシロ(最大値) (ch1) <span style="float:right"></span>                                  |
| 3   | 実効値(計算値) <span style="float:right"></span>  |
| 抵抗に流れる電流(電圧計ch2で計測)   |   |
| ④   | 電子電圧計 $V_o$ (ch2) <span style="float:right">V</span>                              |
| 5   | 電流 $I$ (mA/V換算) <span style="float:right">mA</span>                               |
| (オシロ2chで計測⇔電流波形)  |   |
| ⑥   | オシロ電圧(最大値) (ch2) <span style="float:right">V</span>                               |
| 7   | 実効値 (6の計算値) <span style="float:right">V</span>                                    |
| 8   | 電流 $I$ (mA/V換算) <span style="float:right">mA</span>                               |
| ・オシロスコープで位相差を計測し(電流を基準とした場合の1chと2chの波形を計測する)、その画面をUSBに各々保存する                                |   |
| ・位相差 $\phi$ は計算で求める。(テキストP28 図3参照) $\phi = (t/T) \times 360 = ( \quad / \quad ) \times 360$ |   |
| ⑨   | 位相角(deg) (電流基準) <span style="float:right">°</span>                                |
| $(t/T) \times 360 = ( \quad / \quad ) \times 360$   |   |
| 10  | 誘導リアクタンス(計算値) <span style="float:right"></span>                                   |
|   | $X_L = 2\pi fL$ [ $\Omega$ ] <span style="float:right"><math>\Omega</math></span> |
| 11  | インピーダンス $Z$ [ $\Omega$ ] <span style="float:right"><math>\Omega</math></span>     |
|   | ( $R = Z$ より $\therefore X_L, X_C = 0$ )  |
| 12  | 計算による電流 $I$ (1,11より) <span style="float:right"></span>                            |
|   | $I = V/R$ (項目8と比較する) <span style="float:right">mA</span>                          |
| 13  | 上記項目3,5,9でベクトル図を描け  |

| (3) インダクタ回路   |   |
|---|---|
| 1   | インダクタ $L$ の値 <span style="float:right">10 mH</span>                               |
|   | 発振器の周波数 $f$ <span style="float:right">3 KHz</span>                                |
|   | 電子電圧計の値 $V_i$ (ch1) <span style="float:right">1.0V</span>                         |
| オシロで計測する(1ch⇔電圧波形)  |   |
| ②   | オシロ(最大値) (ch1) <span style="float:right"></span>                                  |
| 3   | 実効値(計算値) <span style="float:right"></span>  |
| インダクタに流れる電流(電圧計ch2で計測)  |   |
| ④   | 電子電圧計 $V_o$ (ch2) <span style="float:right">V</span>                              |
| 5   | 電流 $I$ (mA/V換算) <span style="float:right">mA</span>                               |
| (オシロ2chで計測⇔電流波形)  |   |
| ⑥   | オシロ電圧(最大値) (ch2) <span style="float:right">V</span>                               |
| 7   | 実効値 (6の計算値) <span style="float:right">V</span>                                    |
| 8   | 電流 $I$ (mA/V換算) <span style="float:right">mA</span>                               |
| ・オシロスコープで位相差を計測し(電流を基準とした場合の1chと2chの波形を計測する)、その画面をUSBに各々保存する                                |   |
| ・位相差 $\phi$ は計算で求める。(テキストP28 図3参照) $\phi = (t/T) \times 360 = ( \quad / \quad ) \times 360$ |   |
| ⑨   | 位相角(deg) (電流基準) <span style="float:right">°</span>                                |
| $(t/T) \times 360 = ( \quad / \quad ) \times 360$   |   |
| 10  | 誘導リアクタンス(計算値) <span style="float:right"></span>                                   |
|   | $X_L = 2\pi fL$ [ $\Omega$ ] <span style="float:right"><math>\Omega</math></span> |
| 11  | インピーダンス $Z$ [ $\Omega$ ] <span style="float:right"><math>\Omega</math></span>     |
|   | ( $X_L = Z$ より $\therefore R = 0$ )   |
| 12  | 計算による電流 $I$ (1,11より) <span style="float:right"></span>                            |
|   | $I = V/X_L$ (項目8と比較する) <span style="float:right">mA</span>                        |
| 13  | 上記項目3,5,9でベクトル図を描け  |

| (4) キャパシタ回路   |   |
|---|---|
| 1   | キャパシタ $C$ の値 <span style="float:right">0.1 <math>\mu</math>F</span>                         |
|   | 発振器の周波数 $f$ <span style="float:right">3 KHz</span>  |
|   | 電子電圧計の値 $V_i$ (ch1) <span style="float:right">1.0V</span>                                   |
| オシロで計測する(1ch⇔電圧波形)  |   |
| ②   | オシロ(最大値) (ch1) <span style="float:right"></span>  |
| 3   | 実効値(計算値) <span style="float:right"></span>  |
| キャパシタに流れる電流(電圧計ch2で計測)  |   |
| ④   | 電子電圧計 $V_o$ (ch2) <span style="float:right">V</span>  |
| 5   | 電流 $I$ (mA/V換算) <span style="float:right">mA</span>   |
| (オシロ2chで計測⇔電流波形)  |   |
| ⑥   | オシロ電圧(最大値) (ch2) <span style="float:right">V</span>   |
| 7   | 実効値 (6の計算値) <span style="float:right">V</span>  |
| 8   | 電流 $I$ (mA/V換算) <span style="float:right">mA</span>   |
| ・オシロスコープで位相差を計測し(電流を基準とした場合の1chと2chの波形を計測する)、その画面をUSBに各々保存する                                |   |
| ・位相差 $\phi$ は計算で求める。(テキストP28 図3参照) $\phi = (t/T) \times 360 = ( \quad / \quad ) \times 360$ |   |
| ⑨   | 位相角(deg) (電流基準) <span style="float:right">°</span>  |
| $(t/T) \times 360 = ( \quad / \quad ) \times 360$   |   |
| 10  | 容量リアクタンス(計算値) <span style="float:right"></span>   |
|   | $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ [ $\Omega$ ] <span style="float:right"><math>\Omega</math></span> |
| 11  | インピーダンス $Z$ [ $\Omega$ ] <span style="float:right"><math>\Omega</math></span>               |
|   | ( $Z = X_C$ より $\therefore R = 0$ )   |
| 12  | 計算による電流 $I$ (1,11より) <span style="float:right"></span>                                      |
|   | $I = V/X_C$ (項目8と比較する) <span style="float:right">mA</span>                                  |
| 13  | 上記項目3,5,9でベクトル図を描け  |

注) 有効数字(読みの有効桁数)を注意して記入すること。位相角の極性に注意。なお、この用紙は報告書と共に提出する大切な資



# RLC 回路の実験

## Step 2

### 3-4 R, L, C 回路の周波数特性実験

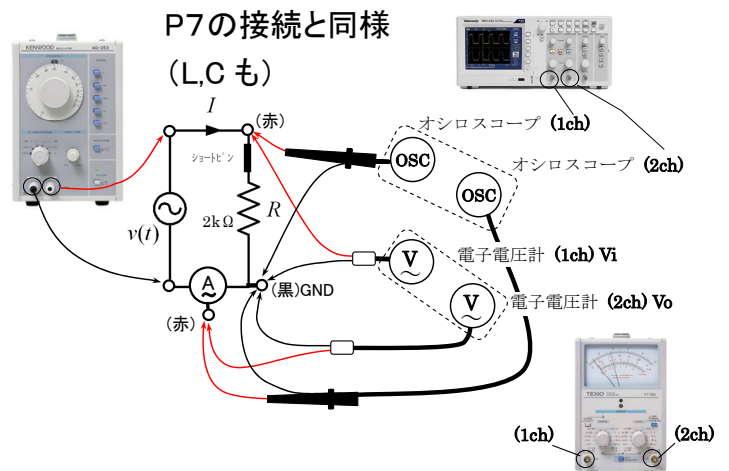
#### 【実験5】周波数の変化がR・L・Cに及ぼす影響を調査する実験

##### 3-4-1 実験手順（下記の測定値はP18の実験記録表に記録する）

- 1) 実験項目 3-2~4で用いた回路を、それぞれもう一度用いて実験を行います。
- 2) 回路を接続したら、実験記入表の最初の周波数に発振器を設定します。
- 3) 発振器の出力電圧(電源電圧  $V_i$ )は、1.0Vに調整します。
- 4) そのときの2chの電圧  $V_o$ を記録し、電流値の換算値を記録します。
- 5) 電圧波形と電流波形をオシロスコープで観察し、位相角を読み取ります。
- 6) 次に、記入表に示される各々の周波数に、発振器のダイヤルを回して合わせます。このとき電圧計の1chを確認し1.0Vに再設定します。(周波数を変えると電圧が変化するため、その都度、設定・調節が必要)
- 7) 同様に、2chの電圧計の針が示す値を記録し、電流  $I$ を記録します。
- 8) 以下同様に、指示された周波数に対する電流測定の計測実験を行い、電流  $I$ とインピーダンス  $Z$  の関係を方眼用紙にグラフを描き、その様子を考察しましょう。

##### 3-4-2 実験回路の接続方法

実験 3-1、2、3に示した、R回路、L回路、C回路 (P6, P9, P12 参照)を前節と同様にそれぞれ再度接続し直して、実験記録シート (1-2)に従って実験を行います。



**【実験5 課題1】** 測定データをグラフ化してください。(添付して提出)

ただし、この3種類の実験グラフは1枚の方眼用紙にまとめてください。

**【実験5 課題2】** 3つのグラフの関係を下記に考察してください。

# RLC回路の実験(1-2) 周波数特性

学籍番号

氏名

※1 周波数を変える度に電源電圧が変化するので、その都度調整し1Vにすること。

※2 位相差の求め方はテキストP28の図3を参照すること。  $\phi = (\omega T) \times 360$

【課題】 回路(5)(6)と(7)の特性は、1枚の方眼紙に3つのグラフを描き一つにまとめて描くこと。

## (5) 抵抗回路の周波数特性

|                      |      |
|----------------------|------|
| 抵抗Rの値                | 2kΩ  |
| 電子電圧計Viの値(ch1)(一定※1) | 1.0V |

オシロで波形を観察する(1ch⇔電圧波形)

オシロで波形を観察する(2ch⇔電流波形)

オシロで両者の位相差を観察する (電流基準)

抵抗に流れる電流 I (電圧計ch2で計測)

| 周波数 f [KHz] | 電圧計Vo[V] (ch2) | 電流 I [mA] (mA/V換算) | インピーダンス Z [kΩ] (Z = Vi / I) | ※2 位相角 (°) (電流基準) |
|-------------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| 10          |                |                    |                             |                   |
| 20          |                |                    |                             |                   |
| 30          |                |                    |                             |                   |
| 40          |                |                    |                             |                   |
| 50          |                |                    |                             |                   |

## (6) インダクタ回路

|                      |      |
|----------------------|------|
| インダクタLの値             | 10mH |
| 電子電圧計Viの値(ch1)(一定※1) | 1.0V |

オシロで波形を観察する(1ch⇔電圧波形)

オシロで波形を観察する(2ch⇔電流波形)

オシロで両者の位相差を観察する (電流基準)

インダクタに流れる電流 I (電圧計ch2で計測)

| 周波数 f [KHz] | 電圧計Vo[V] (ch2) | 電流 I [mA] (mA/V換算) | インピーダンス Z [kΩ] (Z = Vi / I) | ※2 位相角 (°) (電流基準) |
|-------------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| 10          |                |                    |                             |                   |
| 20          |                |                    |                             |                   |
| 30          |                |                    |                             |                   |
| 40          |                |                    |                             |                   |
| 50          |                |                    |                             |                   |

## (7) キャパシタ回路

|                      |       |
|----------------------|-------|
| キャパシタCの値             | 0.1μF |
| 電子電圧計Viの値(ch1)(一定※1) | 1.0V  |

オシロで波形を観察する(1ch⇔電圧波形)

オシロで波形を観察する(2ch⇔電流波形)

オシロで両者の位相差を観察する (電流基準)

キャパシタに流れる電流 I (電圧計ch2で計測)

| 周波数 f [KHz] | 電圧計Vo[V] (ch2) | 電流 I [mA] (mA/V換算) | インピーダンス Z [kΩ] (Z = Vi / I) | ※2 位相角 (°) (電流基準) |
|-------------|----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| 2           |                |                    |                             |                   |
| 3           |                |                    |                             |                   |
| 4           |                |                    |                             |                   |
| 5           |                |                    |                             |                   |
| 6           |                |                    |                             |                   |
| 7           |                |                    |                             |                   |
| 8           |                |                    |                             |                   |
| 9           |                |                    |                             |                   |
| 10          |                |                    |                             |                   |

(注) 有効数字(読みの有効桁数)を注意して記入すること。なお、この用紙は報告書と共に提出する大切な資料です。

### 3-4 RL直列回路

図3-10に示すように、抵抗とコイルの直列回路に交流の電流が流れるとき、電源電圧は以下のように表されます。

瞬時値表現では

$$\begin{aligned} v(t) &= Ri(t) + L \frac{d}{dt} i(t) = R\sqrt{2}I \sin \omega t + \omega L \sqrt{2}I \cos \omega t \\ &= \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \sqrt{2}I \sin(\omega t + \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}) = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}) \end{aligned}$$

複素数表現（この実験では、電流を基準ベクトルとする。）

$$V = (R + j\omega L)I = ZI = E \angle \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = V_R + jV_L = RI + jX_L I$$

インピーダンス  $Z$  は

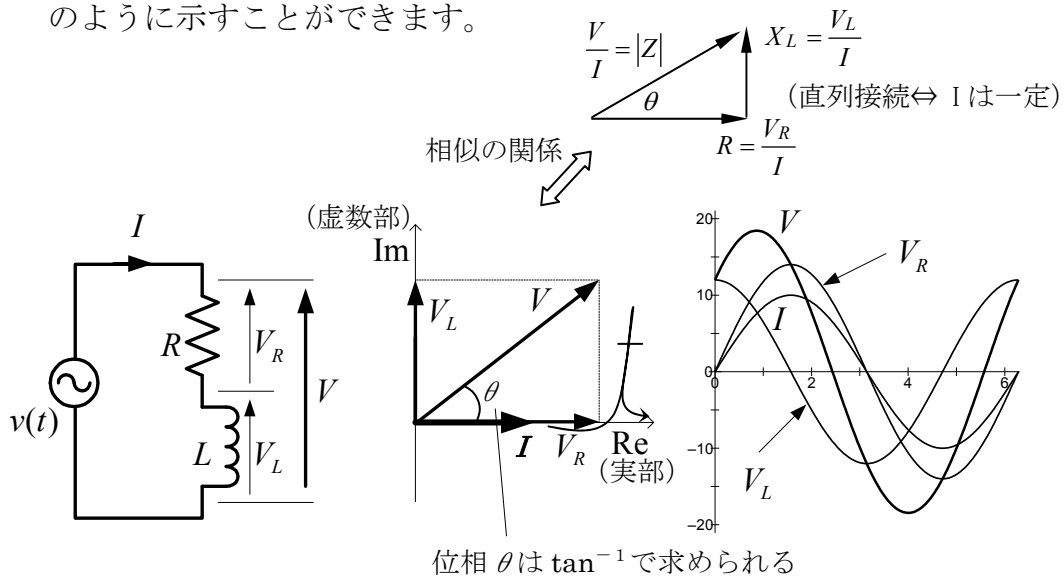
$$Z = R + jX = R + j\omega L = R + jX_L [\Omega]$$

インピーダンスの実部を抵抗  $R$ 、虚数部をリアクタンス  $X_L$  といいます。  
 (ヨコ軸) (タテ軸)

インピーダンスの大きさ  $|Z|$  は、下図のベクトル図からわかるように

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} [\Omega]$$

のように示すことができます。



位相  $\theta$  は  $\tan^{-1}$  で求められる

〔本実験では  $V$  と  $V_L$  の計測値から、 $V_R$  を算出するので、位相  $\theta$  は  $\sin^{-1}$  で求めることになることに注意〕

図3-10 RL回路と特性

### 3-5 RC直列回路

図 3-11 に示すように、抵抗とコンデンサの直列回路に交流の電流が流れるとき、電源電圧は以下のように表されます。

瞬時値表現では

$$v(t) = Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = R\sqrt{2}I \sin \omega t - \frac{1}{\omega C} \sqrt{2}I \cos \omega t$$

$$\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \sqrt{2}I \sin\left(\omega t - \tan^{-1} \frac{1}{\omega CR}\right) = \sqrt{2}E \sin\left(\omega t - \tan^{-1} \frac{1}{\omega CR}\right)$$

$R \int \frac{1}{\omega C} \Leftrightarrow \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega CR}$  より

電卓が持ち込めない EM・国試では角度計算は出題されにくい。

複素数表現（この実験では、電流を基準ベクトルとする。）

$$V = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) I = \left(R - j\frac{1}{\omega C}\right) I = ZI = E \angle -\tan^{-1} \frac{1}{\omega CR} = V_R - jV_C = RI - jX_C I$$

インピーダンス  $Z$  は

$$Z = R - jX = R - j\frac{1}{\omega C} = R - jX_C [\Omega]$$

インピーダンスの実部を抵抗  $R$ 、虚数部をリアクタンス  $X$  といいます。また、負の虚数部を容量リアクタンス  $X_C$ 、正の虚数部を誘導リアクタンス  $X_L$  といいます。（この RC 回路の場合、 $X_C$  の項が負であるので容量リアクタンスである）

インピーダンスの大きさ  $|Z|$  は、ベクトル図からわかるように

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X_C^2} [\Omega]$$

のように示すことができます。

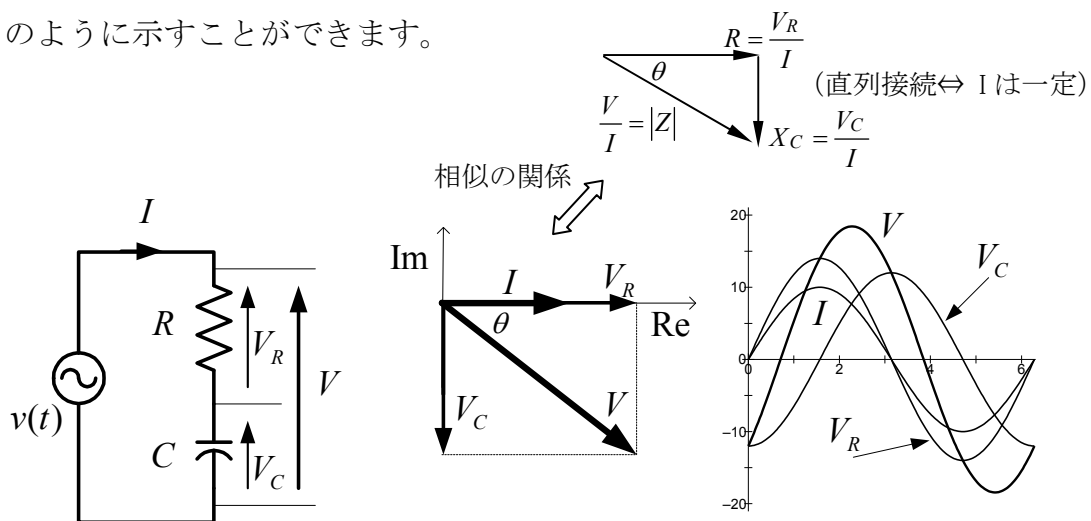
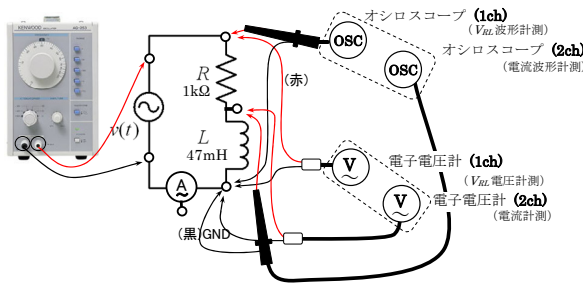
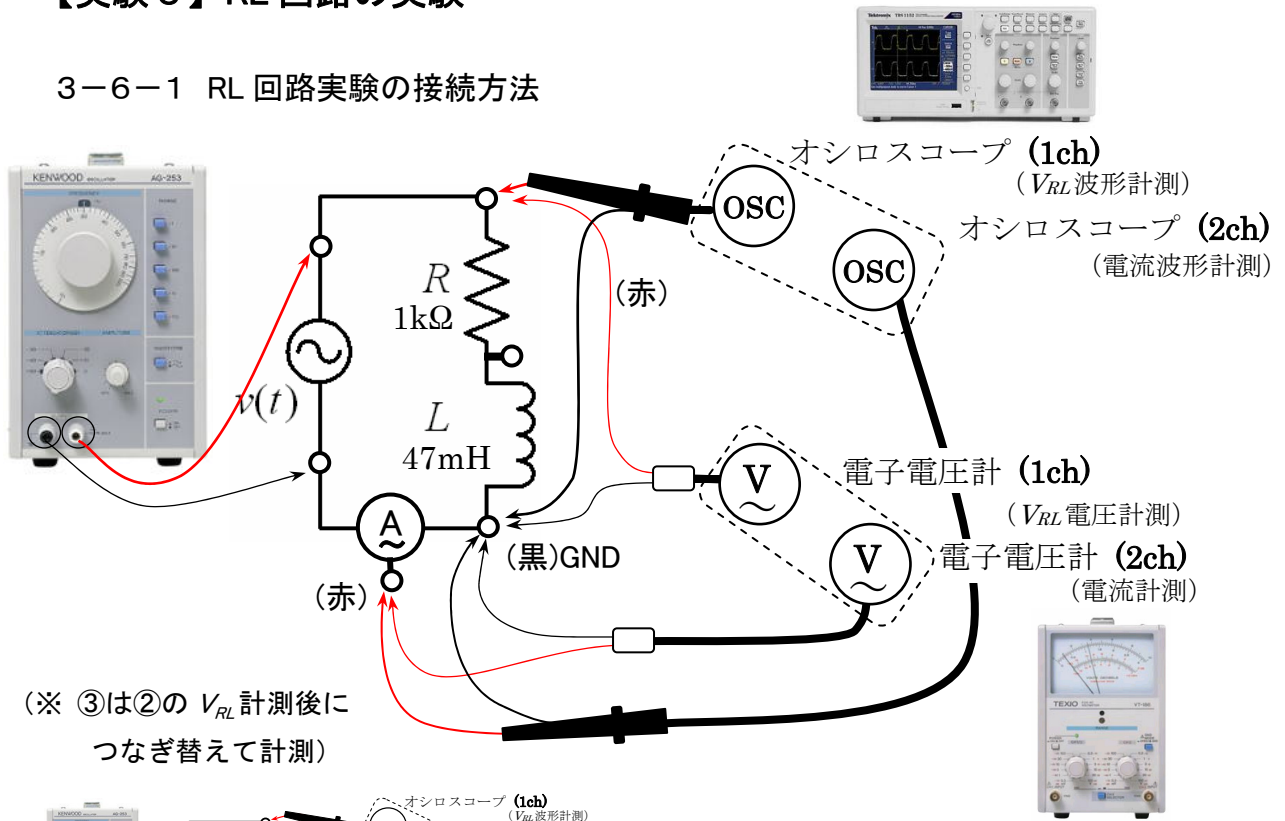


図 3-11 RC 回路と特性

# 【実験6】RL回路の実験

## 3-6-1 RL回路実験の接続方法



(実際は内部抵抗  $r$  が含まれるため  
 $Z = X_L = r + X_L$  となっている)

本実験装置のインダクタに含まれる内部抵抗値  
10mH(20Ω)、 22mH(52Ω)、 47mH(42Ω)

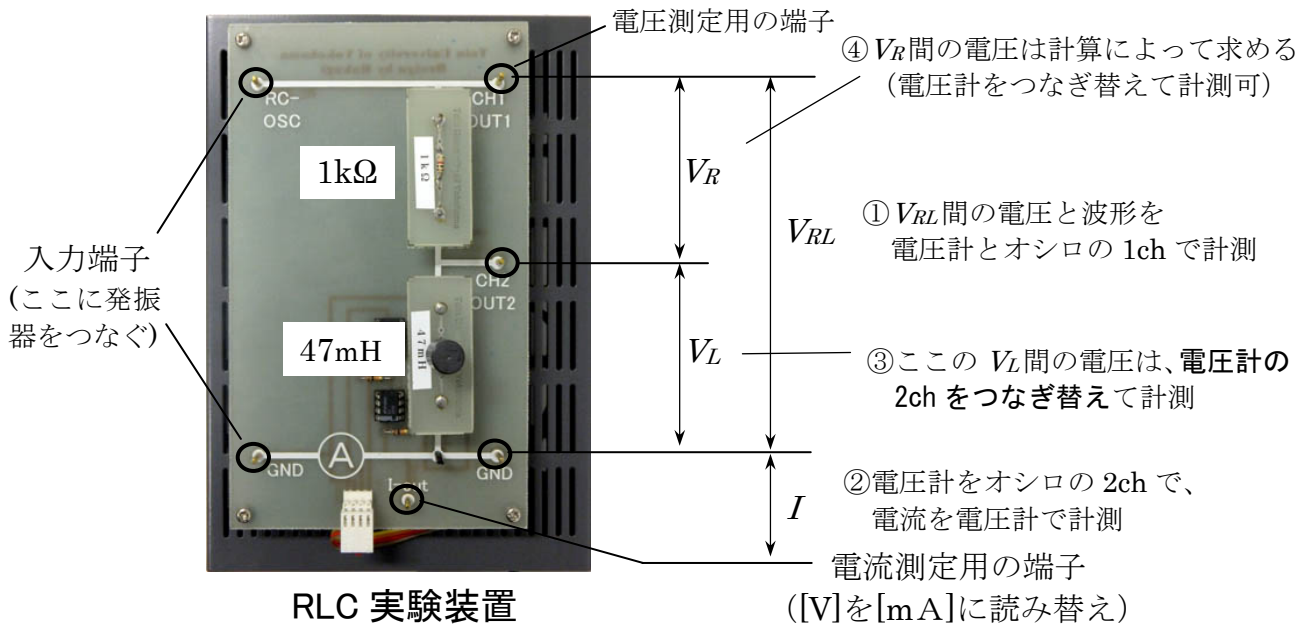


図 3-12 RL回路の接続図と計測機器

### 3-6-2 RL 回路実験方法（下記の測定値は P24 の実験記録表に記録する）

- 1) 図 3-12 を参照しながら、RL 回路を準備し、各計測器を接続します。
  - 2) 電源（低周波発振器）の周波数を 5.0 kHz にします。
  - 3) 同じく発振器の出力電圧を、電子電圧計(1ch)を見ながら 1.0V に調整。
  - 4) 予め、周波数に対するインピーダンスから電流、位相を計算します。  
 $(I = V/Z, \theta = \tan^{-1} X_L/X_R \text{ より})$
  - 5) オシロスコープにより、電圧と電流について振幅、周期、位相を計測します。
- 2) 電子電圧計（2ch）を読み、電圧から換算して、電流を計測します。
  - 3) 電子電圧計を、コイル間につなぎ替えて  $V_R$  と  $V_L$  を計測します。
  - 4) 予め求めた計算と一致するかを確認します。

### 【実験 6 課題 1】計算による事前シミュレーション（P26 の記録表に従い記録）

- 1) RC 回路で使用する電子部品や設定電圧、周波数から、リアクタンスやインピーダンス、インピーダンス  $Z$  等を求め、記入欄に記入してください。
- 2) 電流  $I$  を基準とした、 $V_R$  と  $V_L$  のベクトル図を方眼用紙に描いて、電圧と電流の関係、原理と実験値の整合性などを確認して、全体の電圧や、R と L の合成インピーダンス（≡合成抵抗）がどのように定まるか考察してください。

#### 考察

～～～ 参考計算例（実験とは数値も部品も異なるので注意）～～～

関係式は P19 を参照してください。

周波数  $f = 15 \text{ kHz}$

抵抗  $R = 0.6 \text{ k}\Omega$

インダクタ  $L = 8 \text{ mH}$

誘導リアクタンス  $X_L = 2\pi \times 15 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-3} = 754 \Omega$

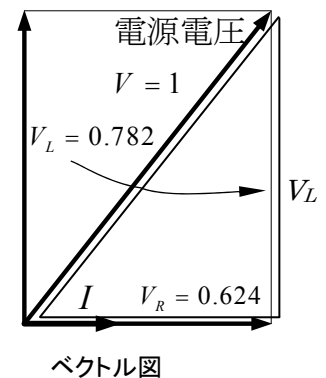
インピーダンス  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{600^2 + 754^2} = 964 \Omega$

回路に流れる電流  $I = \frac{V}{Z} = \frac{1}{964} = 1.04 \times 10^{-3} = 1.04 \text{ mA}$

インダクタの端子電圧  $V_L = IX_L = 1.04 \times 10^{-3} \times 754 = 0.784 \text{ V}$

抵抗の端子電圧  $V_R = IR = 1.04 \times 10^{-3} \times 600 = 0.624 \text{ V}$

電源電圧と電流の位相角  $\phi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \frac{754}{600} = 51.5^\circ$



# 【実験 7】RC 回路の実験

## 3-7-1 RC 回路実験の接続方法

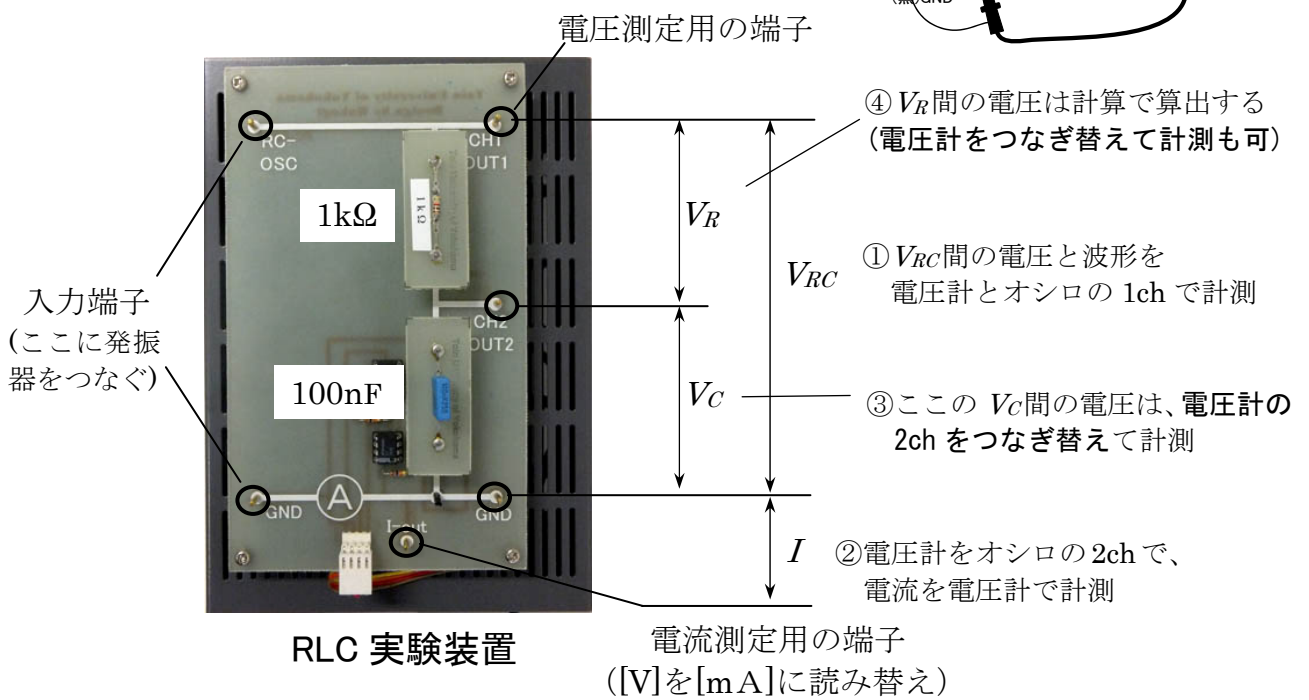
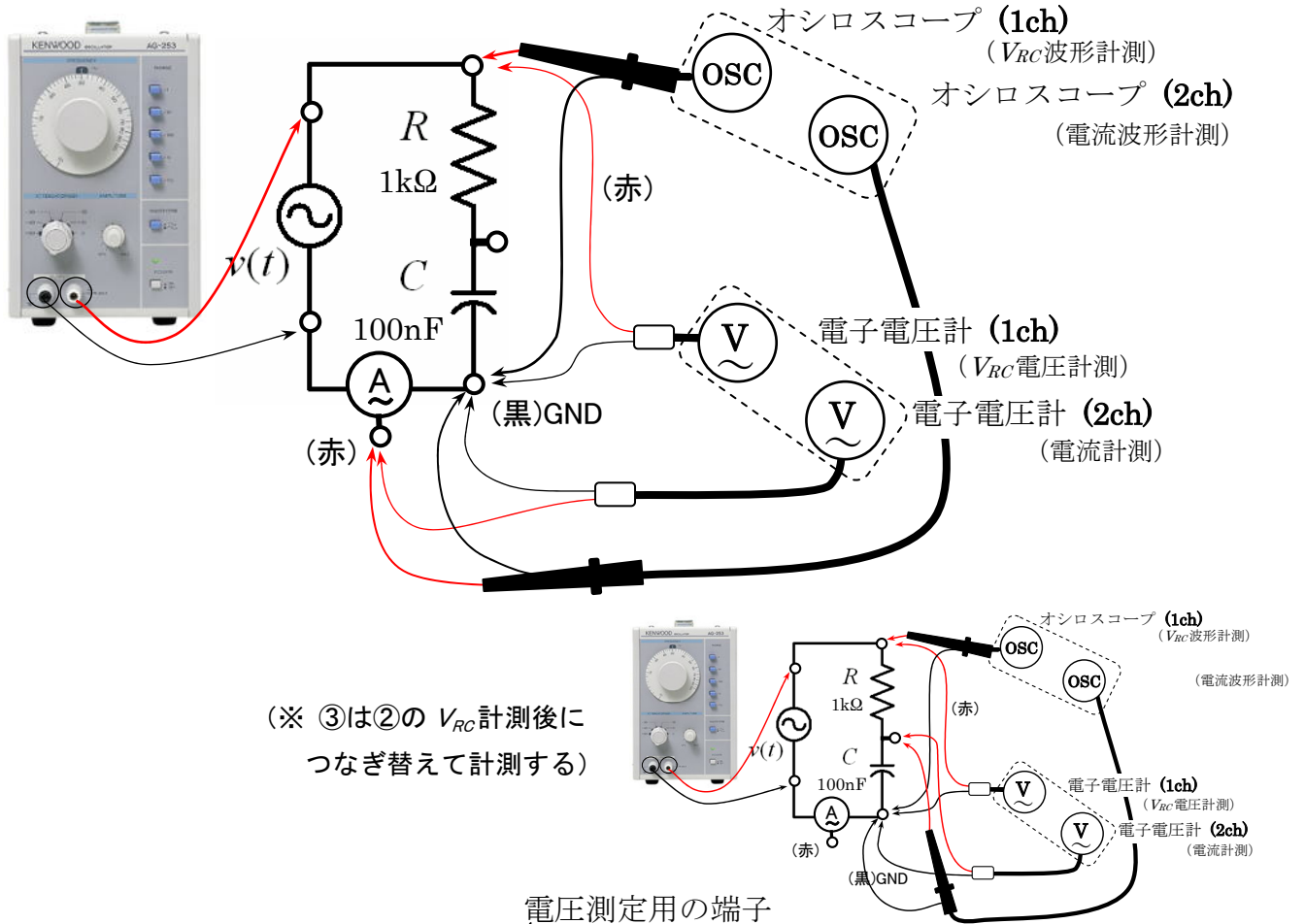


図 3-13 RC 回路の接続図と計測機器



### 3-7-2 実験手順（下記の測定値は P24 の実験記録表に記録すること）

- 1) 図 3-13 を参照しながら、RC 回路を準備し、各計測器を接続します。
- 2) キャパシタは  $0.1 \mu\text{F}$  ( $100\text{nF}$ ) を用います。
- 3) 周波数を  $1.1\text{kHz}$  に設定します。
- 4) 発振器の電源電圧は  $1.0\text{V}$  に調整します。
- 5) 予め（次の課題 13）、周波数に対するインピーダンスから電流や位相を計算で求めます。
- 6) オシロスコープから振幅、周期、位相を読み取り、USB メモリに保存します。
- 7) 電子電圧計 (2ch) を読み、この電圧から換算して、電流を計測します。
- 8) 電子電圧計を、コンデンサ間につなぎ替えて  $V_R$  と  $V_C$  を計測します。
- 9) 予め求めた計算と一致（又は同等）するかを確認します。
- 10) また、電流  $I$  を基準とした、 $V_R$  と  $V_C$  のベクトル図を方眼紙に描いて電圧と電流の関係を確認し、作図します。

### 【実験 7 課題 1】 計算による回路シミュレーション (P26 の記録表に従い記録)

- 1) RC 回路で使用する電子部品や設定電圧、周波数から、リアクタンスやインピーダンス、インピーダンス  $Z$  等を求め、記入欄に記入してください。
- 2) 電流  $I$  を基準とした、 $V_R$  と  $V_C$  のベクトル図を方眼用紙に描いて、電圧と電流の関係、原理と実験値の整合性などを確認して、全体の電圧や、 $R$  と  $C$  の合成インピーダンス（≡合成抵抗）がどのように定まるか考察してください。

考察

～～～ キャパシタの場合の計算例 ～～～

$$\text{インピーダンス} : Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} [\Omega]$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

ベクトル  $V = ZI = (R - j\frac{1}{\omega C})I$  より電流に対して、位相  $\theta = \tan^{-1} \frac{1}{\omega CR}$  度遅れる。

(時間に余裕がある人は)

### 3-8 RLC 回路の実験

**【実験 8】RLC 回路の実験を次の設定条件として、これまでと同様な実験方法で実験を行い、理論値と実験値を比較検討する。**

#### 3-8-1 実験条件

$R$  はコイルなどの内部抵抗を代用して使うとして、

$L = 22 \text{ mH}$  (抵抗成分  $52 \Omega$ )、(実際は内部抵抗  $r$  が含まれるため  $X_L = r + X_L$  となっている)

$C = 0.22 \mu\text{F}$  ( $220 \text{ nF}$ )

発振器周波数 :  $f = 2 \text{ kHz}$ 、電源電圧  $V = 0.5 \text{ V}$

理論公式

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R}$$
$$V = Z \times I = \left( R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \right) I$$

#### 3-8-2 実験項目 (P26 の実験記録表を活用してください)

- 1) オシロスコープから振幅、周期、位相を読み取り、USB メモリに保存します。
- 2) 電子電圧計 (2ch) を読み、この電圧から換算して、電流を計測します。
- 3) 電子電圧計 (2ch) を、コンデンサ間につなぎ替えて  $V_C$  を計測します。
- 4) 予め求めた計算と一致 (又は同等) するかを確認します。
- 5) また、電流  $I$  を基準とした、 $V_R$  と  $V_L$ 、 $V_C$  のベクトル図を方眼紙に描いて電圧と電流の関係を確認し、作図します。

#### 実験(観察)のポイント

- ・ オシロスコープの電圧 (最大値) と電圧計の電圧 (実行値) の関係を理解
- ・ 各電子素子や回路の特性から見た、理論値と実験値との対応を理解
- ・ 素子に流れる電流と電圧の関係を明確に
- ・ 周波数と各素子によるインピーダンス  $Z$  等の、電圧、電流の関係
- ・ ベクトル図から見た、電流、電圧、インピーダンスの関係や合成の関係
- ・ 電流、電圧の関係、位相とベクトルの関係からの計算方法、考え方など

# RLC回路の実験(2)

学籍番号 \_\_\_\_\_

氏名 \_\_\_\_\_

| (1)RL回路                 |   | (2)RC回路                 |    | (3)RLC回路 $r = 52 \Omega$                            |                |
|-------------------------|---|-------------------------|----|---|----------------|
| 1                       | 周波数 $f$   | 5kHz                    | 1  | 周波数 $f$   | 1.1kHz         |
| 2                       | 電源電圧 $V_i$ (1ch)                                    | 1.0V                    | 2  | 電源電圧 $V_i$ (1ch)                                    | 1.0V           |
| 3                       | 抵抗の値 $R$  | 1k $\Omega$             | 3  | 抵抗の値 $R$  | 1k $\Omega$    |
| 4                       | インダクタの値 $L$   | 47mH                    | 4  | キャパシタの値 $C$   | 100nF          |
| 5                       | 誘導リアクタンス $X_L$                                      | k $\Omega$              | 5  | 容量リアクタンス $X_C$                                      | k $\Omega$     |
| 6                       | インピーダンス $Z$   | k $\Omega$              | 6  | インピーダンス $Z$   | k $\Omega$     |
| 7                       | (計算)電流 $I$ ( $=V_i/Z$ )                             | mA                      | 7  | (計算)電流 $I$ ( $=V_i/Z$ )                             | mA             |
| 8                       | (計算)L電圧 $V_L$ ( $=IX_L$ )                           | V                       | 8  | (計算)C電圧 $V_C$ ( $=IX_C$ )                           | V              |
| 9                       | 位相角(計算値) $\theta$                                   | $^\circ$                | 9  | 位相角(計算値) $\theta$                                   | $^\circ$       |
| 10                      | 抵抗の電圧(計算値) $V_R$                                    | V                       | 10 | 抵抗の電圧(計算値) $V_R$                                    | V              |
| 電圧計測定値(1ch)             |   | 電圧計測定値(1ch)             |    | 電圧計測定値(1ch)   |                |
| ⑪                       | 電圧計電源 $V_i$   | V                       | ⑪  | 電圧計電源 $V_i$   | V              |
| ⑫                       | 電圧計(インダクタ部)   | V                       | ⑫  | 電圧計(キャパシタ部)   | V              |
| 13                      | 位相角(⑪⑫より算出) $\theta$                                | $^\circ$                | 13 | 位相角(⑪⑫より算出) $\theta$                                | $^\circ$       |
| 回路に流れる電流 $I_o$ の計測(2ch) |   | 回路に流れる電流 $I_o$ の計測(2ch) |    | 回路に流れる電流 $I_o$ の計測(2ch)                             |                |
| ⑭                       | 電子電圧計 $V_o$ (2ch)                                   | V                       | ⑭  | 電子電圧計 $V_o$ (2ch)                                   | V              |
| 15                      | 電流 $I$ (mA/V 換算)                                    | mA                      | 15 | 電流 $I$ (mA/V 換算)                                    | mA             |
| 電源と電流の位相角(オシロで)         |   | 電源と電流の位相角(オシロで)         |    | 電源と電流の位相角(オシロで)                                     |                |
| ⑯                       | 位相角測定値(deg)   | $^\circ$                | ⑯  | 位相角測定値(deg)   | $^\circ$       |
| 17                      | 位相角(式)  |                         | 17 | 位相角(式)  |                |
| 18                      |   | 報告書には別紙方眼紙にて提出          | 18 |   | 報告書には別紙方眼紙にて提出 |
| ⑪⑫⑬⑭⑮のベクトル概略図           |   | ⑪⑫⑬⑭⑮のベクトル概略図           |    | 11,12,⑬⑭⑮,20,21のベクトル概略図                             |                |
| 1                       | 電源電圧 (1ch)  | 0.5V                    | 1  | 電源電圧 (1ch)  | 0.5V           |
| 2                       | 周波数 $f$   | 2kHz                    | 2  | 周波数 $f$   | 2kHz           |
| 3                       | インダクタの値 $L$<br>(インダクタの内部抵抗 $r$ も考慮する)               | 22mH                    | 3  | インダクタの値 $L$<br>(インダクタの内部抵抗 $r$ も考慮する)               | 22mH           |
| 4                       | 誘導リアクタンス $X_L$                                      | $\Omega$                | 4  | 誘導リアクタンス $X_L$                                      | $\Omega$       |
| 5                       | キャパシタの値 $C$   | 220nF                   | 5  | キャパシタの値 $C$   | 220nF          |
| 6                       | 容量リアクタンス $X_C$                                      | $\Omega$                | 6  | 容量リアクタンス $X_C$                                      | $\Omega$       |
| 7                       | インピーダンス $Z$   | $\Omega$                | 7  | インピーダンス $Z$   | $\Omega$       |
| 8                       | 計算電流 $I$ ( $=V_i/Z$ )                               | mA                      | 8  | 計算電流 $I$ ( $=V_i/Z$ )                               | mA             |
| 9                       | 位相角(計算値) $\theta$                                   | $^\circ$                | 9  | 位相角(計算値) $\theta$                                   | $^\circ$       |
| 10                      | 抵抗の電圧(計算値) $V_R$                                    | V                       | 10 | 抵抗の電圧(計算値) $V_R$                                    | V              |
| 11                      | インダクタの電圧(計算値) $V_L$                                 | V                       | 11 | インダクタの電圧(計算値) $V_L$                                 | V              |
| 12                      | キャパシタ電圧(計算値) $V_C$                                  | V                       | 12 | キャパシタ電圧(計算値) $V_C$                                  | V              |
| 電圧計測定値(1ch)             |   | 電圧計測定値(1ch)             |    | 電圧計測定値(1ch)   |                |
| ⑬                       | 電圧計電源 $V_i$   | V                       | ⑬  | 電圧計電源 $V_i$   | V              |
| ⑭                       | 電圧計 $V_C$ (キャパシタ)                                   | V                       | ⑭  | 電圧計 $V_C$ (キャパシタ)                                   | V              |
| 回路に流れる電流 $I_o$ の計測(2ch) |   | 回路に流れる電流 $I_o$ の計測(2ch) |    | 回路に流れる電流 $I_o$ の計測(2ch)                             |                |
| ⑮                       | 電子電圧計 $V_o$ (2ch)                                   | V                       | ⑮  | 電子電圧計 $V_o$ (2ch)                                   | V              |
| 16                      | 電流 $I$ (mA/V 換算)                                    | mA                      | 16 | 電流 $I$ (mA/V 換算)                                    | mA             |
| 17                      | インピーダンス $Z$ (⑬⑭の計算)                                 | $\Omega$                | 17 | インピーダンス $Z$ (⑬⑭の計算)                                 | $\Omega$       |
| 電源と電流の位相角(オシロで)         |   | 電源と電流の位相角(オシロで)         |    | 電源と電流の位相角(オシロで)                                     |                |
| ⑰                       | 位相角測定値(deg)   | $^\circ$                | ⑰  | 位相角測定値(deg)   | $^\circ$       |
| 19                      | 位相角(式)  |                         | 19 | 位相角(式)  |                |
| 20                      | リアクタンス電圧(⑬⑰より算出) $V_x$<br>( $X_L$ と $X_C$ の合成ベクトル分) | V                       | 20 | リアクタンス電圧(⑬⑰より算出) $V_x$<br>( $X_L$ と $X_C$ の合成ベクトル分) | V              |
| 21                      | 抵抗の電圧(⑬⑰より算出) $V_R$                                 | V                       | 21 | 抵抗の電圧(⑬⑰より算出) $V_R$                                 | V              |
| 19                      |   | 報告書には別紙方眼紙にて提出          | 19 |   | 報告書には別紙方眼紙にて提出 |

この実験では電流を基準のベクトルとする。また、○印が計測項目を表す。

## デジタルオシロスコープの基本操作

- 1) 装置上部の電源スイッチを入れると約 30 秒ほどで画面が現れる。
- 2) CH1、CH2 に信号を接続して、電源を入れた最初は**工場出荷設定** (DEFAULT SETUP) を押し、初期の状態に戻しておく。
- 3) **オートセット** (AUTOSET) のボタンを押す。周波数、周期、pp 値などが画面に数値で表示される。これで波形のアウトラインをつかんでおく。  
(この操作を基本操作として始めるとわかりやすい)
- 4) その後、波形を見やすいように、いくつかのつまみによって調整する。
  1. CH1 の VOLT/DIV つまみ(電圧軸つまみ)を回して波形の高さを調整する。  
(高さの位置の調整はその上にある垂直位置調整つまみで調整する)
  2. SEC/DIV を回して時間軸の調整とともに、見やすい位置に調整する。  
(水平方向の位置は水平位置調整つまみで調整する)
  3. (開始点は、トリガレベル調節する。) ← あまり触らない。
  4. CH2 の波形を出力させるときは青の CH2 ボタンを押す。

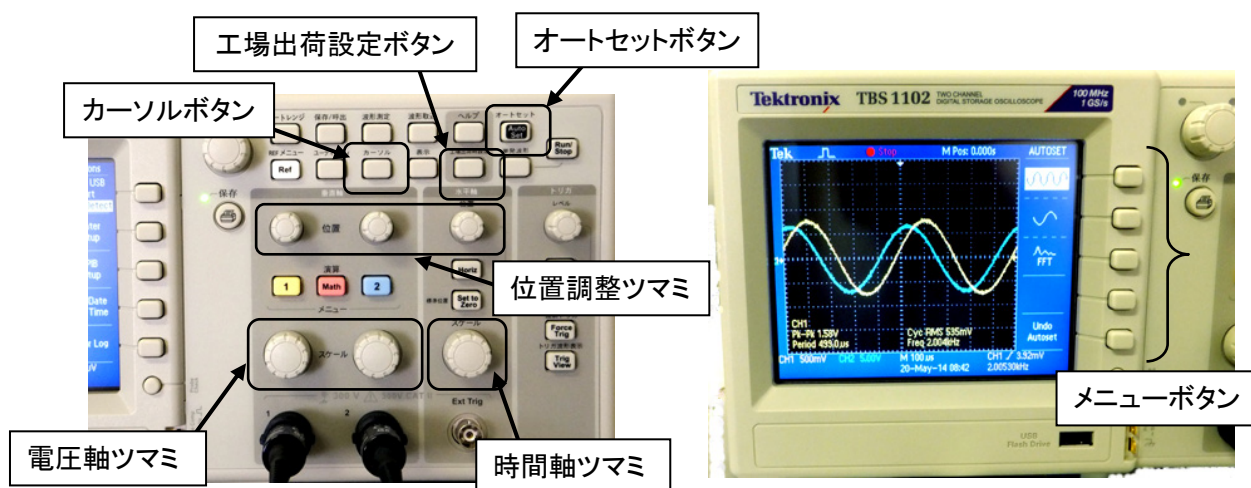


図1 操作パネル

図2 オシロ画面

図2に示すオシロスコープ画面の表示について

黄色はCH1、水色はCH2の波形を示す。これは操作パネルとも対応している。画面左下の「CH1\*\*V」の表示は、黄色の波形の電圧軸(縦軸)が1目盛 何V (\* V/DIV)であることを示す。水色はCH2で同様。中央下に表示される「\*\* μS」の表示は、時間軸(横軸)が1目盛 何秒 (\*\* S/DIV)であることを示す。

右下の表示は、トリガの立ち上がりの記号について示している。

なお、画面右側には5段のメニュー文字が表示され、その位置の右側の押しボタンを押すことにより、そのメニューが選択できるように設計されている。

## 電圧(時間)の計測

波形の電圧を測定する場合、**カーソル**(CURSOR)ボタンを押す。

1. 画面右のメニューとメニューボタンにより選択する。
2. **メニューボタン①**より目的に応じて電圧(Amplitude)や時間(Time)を選択する。
3. **メニューボタン④、⑤**より2つの位置(POSITION)を調整つまみを回して操作する。  
(**メニューボタン④**を押すとカーソル1(線)の位置が調整つまみで設定できるので、同様に**メニューボタン⑤**を押しカーソル2(線)の位置を調整する)
4. 画面のデルタの値は両カーソルの差分電圧を表している。

## 位相差の測定の計算法

図3のような波形の位相差を求める場合、**カーソル**(CURSOR)ボタンを押す。

項目から時間を選び周期Tと時間差tを求める。

位相差は次の式から求める。

$$t:T = \phi:360^\circ$$

$$\phi = \frac{t}{T} 360^\circ$$

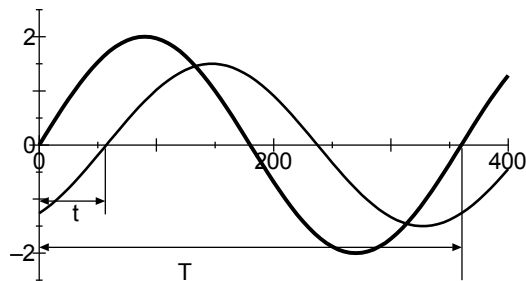



図3 位相差

## 画面データの保存法(USBメモリーへ)

- 1) USBメモリを本体に差し込む。(しばらく青画面(図5)のベリファイ(確認)状態となる)
- 2) 時計マーク  が消えた後に、**保存/呼出** ボタンを押し、**メニューボタン①**を何度か押し「Save Image」表示にする。メニューボタン②は同様の操作で「JPEG」を選択する。
- 3) メニューボタン⑤を押すと、ボタン左に表示されるファイル名でUSBに保存される。

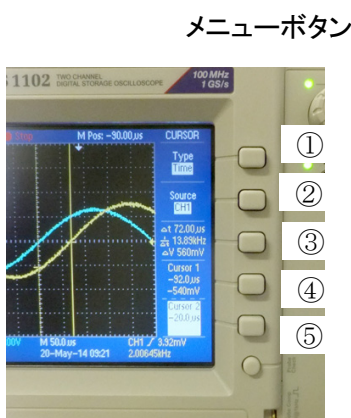


図4 カーソルの操作画面

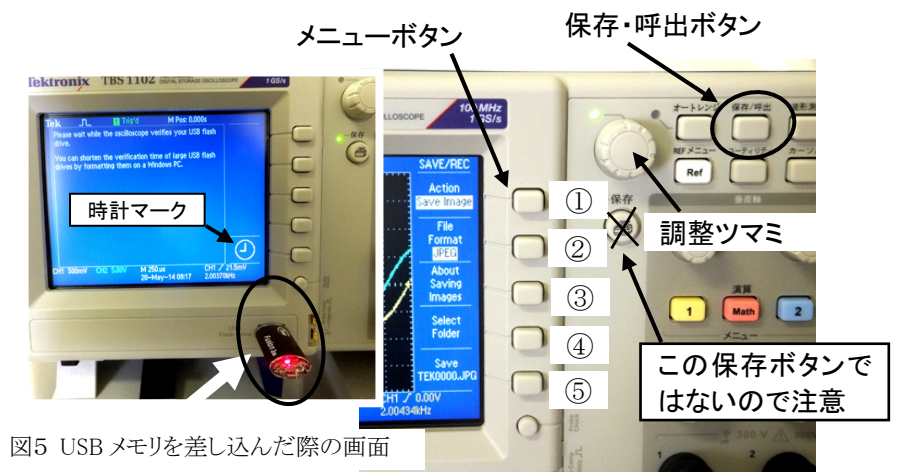


図5 USBメモリーを差し込んだ際の画面

図6 画面情報の保存操作パネル

## 電子電圧計（ミリボルト）の基本操作

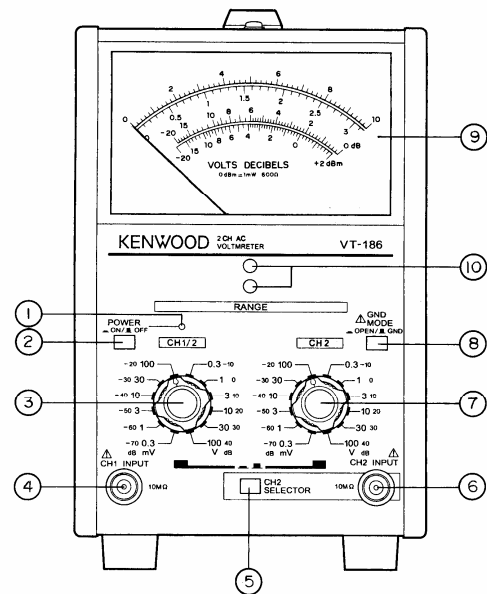
電子電圧計は、交流を読むための電圧計であり、かつ一般的な電圧測定用の電圧計やテスタ（数100KHz程度まで）に比べ、高い内部インピーダンス（10MΩ）を持ち、微小な電源や高周波数帯（数10MHz）までを測定できる特長がある。電圧測定は、目盛りが上下2段にあり、それにより電圧を計測することができる。また、dB（デシベル）とdBm目盛り、レンジ切替スイッチに電圧および赤い印字でデシベルが刻印されているので、これらの両方の値を加算することによってデシベルを直読することができる。利得(Gain)は次式で一般的に表されるので、

$$\begin{aligned} \text{利得} G [\text{db}] &= 20 \log \frac{\text{出力電圧} [\text{V}]}{\text{入力電圧} [\text{V}]} = 20 \log \text{出力電圧} [\text{V}] - 20 \log \text{入力電圧} [\text{V}] \\ &= \text{出力電圧} [\text{db}] - \text{入力電圧} [\text{db}] \end{aligned}$$

例えば、入力側のレンジを1Vレンジに設定し1V一定すると、デシベルの目盛りも0dBとなり、指針も1Vを指せばデシベルも0dBを指すので、入力電圧は常に0dBとなる。そこで、例えば出力側のレンジが-20dB(100mV)で指針が-4dBの場合には、その測定回路の利得Gは-(20+4)dB-0dBとなるので-24dBと読むことができる。

### AC電圧計の名称

- ②電源スイッチ
- ③ch1レンジ切替スイッチ（入力）
- ⑦ch2レンジ切替スイッチ（出力）
- ④ch1入力端子
- ⑥ch2出力端子
- ⑤ch2セレクト
- ⑧フローティングスイッチ  
(連動させないこと：ボタンが飛び出した状態)
- ⑨フローティングスイッチ  
(常にボタンが飛び出した状態とする)



### 使用上の注意

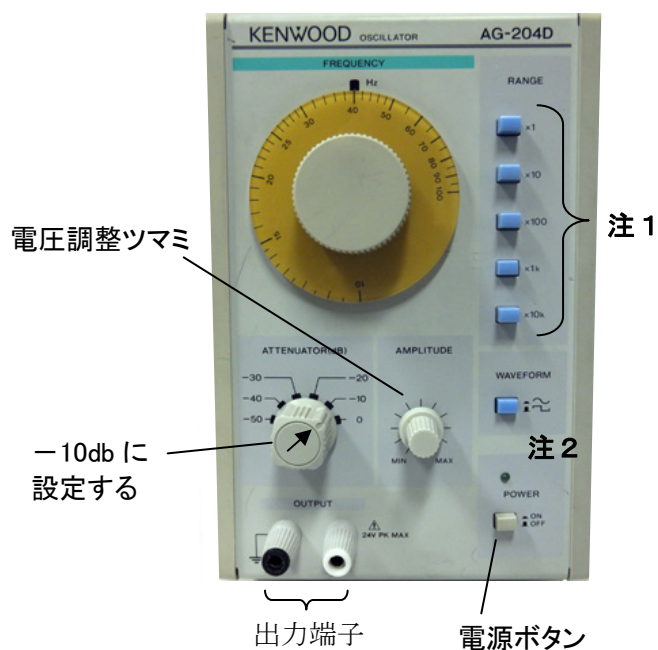
- 1) 電子電圧計で電圧を計測する際は、一般的な電圧計と同様に、大きなレンジから徐々にレンジを下げて、針が振り切らない程度に大きく振れるレンジで読むようにすること。(微小な電圧も計測できるため、小さいレンジ設定で大きな電圧をかけると針が振り切ってしまい電圧計を壊してしまうことがある)
- 2) 測定対象に接続する際は、GND(黒のクリップ)から接続すること。  
接続はBNCケーブルにて行う。BNCケーブルで測定端がミノムシクリップとなっているものは、黒がGND、赤が測定端となる。接続の基本は、まずGNDから接続する。

## 低周波発振器の基本操作

低周波発振器 (low frequency oscillator) : AG-204Dは、交流の信号発生装置（電源電圧や周波数が可変できる微弱な交流電源装置）である。

- 1) 低周波発振器正面左下2個の端子に、接続コードのワニロクリップやバナナチップを挿入する。端子黒がGND（アース）側端子に、黒ワイヤを、もう一方は赤を挿入する。
- 2) 出力電圧は、粗調：減衰器(attenuator)と微調：振幅(amplitude)によって調節する。
  - ・本実験での粗調の基本位置は-10dBとする。
  - ・本実験では、微調によって、電子電圧計のch1の電圧が、常に1Vとなるように調節する。（周波数などを変化させる場合は、その都度調節する。）
- 3) 周波数は、大きなダイヤルとレンジ(RANGE)切り替えボタンで調節する。

例 ダイヤル目盛：40  
レンジ：×1k の場合は、  
 $40 \times 1000 = 40 \text{ kHz}$  となる。



**注1**：レンジは常にどれか1つ選択されていること。選択されないと電圧を出力しない。

**注2**：WAVEFORMのボタンは上に飛び出すと方形波となる。特に断りがない限り、正弦波（ボタンが押された状態）にすること。



TOIN GAKUEN

交流回路実験テキスト

桐蔭横浜大学  
医用工学部臨床工学科

2018年3月8日改訂4