

## 1 目的

公称値  $100\Omega$  (基準抵抗器) の直流抵抗値  $R_{100}$  と  $10k\Omega$  の抵抗器を用い、それぞれ直列電源と交流電流とで直列電気回路をつくり、電流・電圧を測定することで、それらのインピーダンスを求める。

## 2 原理

直流抵抗値が  $R$  の抵抗器を直流電源に接続し、回路を流れる電流  $I$  と抵抗両端の電圧  $V_R$  を測定すると、次の式で直流抵抗を求めることができる。

$$R = \frac{V_R}{I} \quad (1)$$

一方同じ回路を交流電源に接続し、同様に回路を流れる電流と抵抗両端電圧を測れば、インピーダンスの大きさ  $|Z|$  は抵抗値  $R$  に等しいので、次の式で表すことができる。

$$|Z| = R = \frac{V_R}{I} \quad (2)$$

抵抗両端電圧波形と電流波形を観測し、2 波形の時間差を  $\Delta t$ 、交流電源の周期を  $T$ 、あるいは周波数  $f = 1/T$  とすると、位相差  $\phi$  は次式で表すことができる。

$$\phi = 360^\circ \times \frac{\Delta t}{T} = 360^\circ \times \Delta t \times f \quad (3)$$

また、基準抵抗  $R_{100}$  と公称抵抗値  $10k\Omega$  の抵抗器  $Z$  を直列につないだ回路において、抵抗器にかかる電圧を  $V_A$ 、抵抗にかかる電圧を  $\overline{V_B}$  とすると、抵抗のインピーダンスの大きさ  $|Z|$  は、次の式(4)で表すことができる。

$$|Z| = \frac{V_A}{\overline{V_B}} \times R_{100} \quad (4)$$

さらに、電流波形  $\overline{V_B}$  に対する電圧波形  $V_A$  の時間差を  $\Delta t$  とすれば、位相角  $\phi$  は、次の式(5)で求めることができる。

$$\phi = 360^\circ \times \Delta t \times f \quad (5)$$

### 3 実験方法

#### 3.1 基準抵抗 $R_{100}$ の測定

公称値  $100\Omega$  の抵抗 $R_{100}$ を直流電源に接続し、電源電圧を適当なステップで変化させながら、その都度回路を流れる電流を電流計で、抵抗両端電圧を電圧計で測定した。

横軸を電圧、縦軸を電流ととり、計測データをグラフ用紙にプロットし、直線の傾きの逆数を求めることで基準抵抗値の抵抗値 $R_{100}$ を決定することができた。

測定手順は以下のとおりである。

1. 次の図 1 に従い、ブレッドボード上に回路を組み立てた。
2. はじめに  $5V$  を印加した場合に抵抗 $R_{100}$ に流れる電流の値 $I_{max}$ を計算した。
3. 電源が OFF のときに電流、電圧計の表示が各々  $0A$ 、 $0V$  であることを確認した。
4. 電源を ON にし、電流電圧の大きさを  $0\sim 5V$  の間で変えながら電圧計と電流値を記録。データは測定範囲内で  $5\sim 6$  点とった。
5. データを記録するのと同時にグラフにプロットも行った。
6. 測定終了後は可変電源のつまみを全て初期状態にして電源を OFF にした。

図 1 基準抵抗の測定回路

### 3.2 抵抗のインピーダンスの周波数特性

基準抵抗 $R_{100}$ と公称抵抗値が $10\text{k}\Omega$ の抵抗器 $Z$ を直列につなぎ、この回路に交流電源(ファンクションジェネレーターを用いる)をつないだ。測定の基準を $Z$ と $R_{100}$ の中間に置くため、FGと回路の間にトランスを入れた。

オシロスコープにより $Z$ と $R_{100}$ の抵抗両端電圧波形を観測し、FGの周波数を適当に変化させながら、 $V_A$ と $\overline{V_B}$ の全振幅電圧値(pp値、 $V_{pp}$ )と2波形の時間差 $\Delta t$ を計測した( $\overline{V_B}$ とは $V_B$ の極性を反転させたときの波形のpp値である)。

以上より、抵抗 $Z$ のインピーダンスの大きさ $|Z|$ は、式(4)から導くことができる。さらに、電流波形 $\overline{V_B}$ に対する電圧波形 $V_A$ の時間差を $\Delta t$ とすれば、位相角 $\phi$ は、式(5)より求めることができる。

インピーダンスの測定対象は公称値 $10\text{k}\Omega$ の抵抗( $Z$ )を用い、電源測定用に先ほど抵抗値を測定した $100\Omega$ の抵抗器を基準抵抗( $R_{100}$ )として求めた。FGと回路の間に接続するトランスは、1次側の緑線、白線を各々FGの信号機とGNDに、2次側の白線(1次側の白線と同極)、青線を各々回路の $Z$ 側と $R_{100}$ 側につないだ。また、FGのGND線は $Z-R_{100}$ の midpoint にも配線をした。

測定手順は次のとおりである。

1. 回路を次の図2に従いブレッドボードに作成した。
2. FGをONにし、波形を正常波モード、発振周波数を $10\text{kHz}$ にした。
3. FGの出力振幅を調整し、 $Z$ の両端電圧 $V_A$ がpp値で $3\text{V}$ にした。
4. CH1のプロローブを $Z$ 側、CH2のプロローブを $R$ 側につないだ。ミノムシクリップは $Z-R$ の midpoint に両方ともにかませた。結合がAC、プロローブは $\times 1$ 、反転OFFになっていることなど、オシロスコープの各設定を確認した。また、Positionツマミで波形の位置が移動することと、VOLTS/DIVツマミで波形の縦方向が拡大縮小することを確認した。
5. 各々実際に確認をしたら、CH1の波形1周期分が画面上に最大に表示されるように設定を調節し、画面に表示される感度設定値をもとに、pp値と1周期の時間を読んだ。
6. カーソルで振幅という項目を選択し、カーソル1と2をそれぞれ波形の山と谷に移動させた。
7. カーソルで時間という項目を選び、同様に測定する。 $Z$ 両端電圧および $R_{100}$ 両端電圧と2波形の時間差を記録し、インピーダンスの大きさと位相角を計算した。
8.  $1\text{mm}$ 方眼紙に波形をスケッチした(図3)。
9. 周波数を $100\text{Hz}$ 、 $1\text{kHz}$ 、 $2\text{kHz}$ 、 $5\text{kHz}$ 、 $50\text{Hz}$ 、 $10\text{kHz}$ と変化させて同様の測定を繰り返した。
10. 片対数用紙を横向きにし、横軸に周波数、縦軸にインピーダンスの大きさと位相角をとり、グラフにデータをプロットした。

図2 抵抗のインピーダンスの測定回路

## 4 実験結果

### 4.1 基準抵抗値と 10kΩ のインピーダンスの大きさ

はじめに計測した、5V を印加したときに抵抗 $R_{100}$ に流れた電流の値は、

$$I_{\max} = 3.943 \times 10^{-3} \text{ A}$$

であった。

また、電源を立ち上げたのちに電源電圧を 0～5V 間で変えながら測定した電圧値と電流値は、次の表にまとめた。

表 1 電源電圧の大きさの変化に伴う電圧値と電流値

電圧値 /V	電流値 /mA	$R_{100}$ の電圧値 /V
1.000	0.789	0.0787
2.000	1.578	0.1573
3.000	2.366	0.2358
4.000	3.155	0.3142
4.500	3.549	0.3535
5.000	3.943	0.3927

これを、1mm 方眼紙に、横軸に電圧値を、縦軸に電流値をプロットしたものを次ページに添付した(図 4)。

このグラフに回帰直線を引き、その傾きを求めたところ、

$$\frac{(2.500 - 0.025) \times 10^{-3}}{0.252 - 0.026} \cong 0.00956$$

となった。この値の逆数は、

$$\frac{1}{0.011} \cong 100.4$$

より、基準抵抗値の抵抗値は、

$$R_{100} = 100.4 \Omega$$

となり、公称値とほとんど変わらない値を導くことができた。

ここで、金属皮膜抵抗の許容差は公称値の 1%であることから、抵抗値の値は  $100 \pm 1 \Omega$  になっていれば正確といえる。今回この値はその範囲内に収まっているため、ほぼ正しく測定できたといえる。

#### 4.2 10k $\Omega$ のインピーダンス

周波数を変化させたときの $V_A$ 、 $V_B$ 、 $\Delta t$ の測定値を以下の表にまとめた。

**表2 周波数の変化に伴う $V_A$ 、 $V_B$ 、位相差 $\Delta t$ の値**

周波数 /kHz	$V_A$ /Vpp	$V_B$ /mVpp	位相差 $\Delta t$ / $\mu$ s
0.1	1.16	11.8	160
1	1.20	12.0	10
2	1.15	11.9	2.0
5	1.15	12.0	2.0
10	1.16	12.3	2.8
50	1.17	13.0	2.6
100	1.17	31.2	1.8

また、上の値と式(4)、(5)より導くことができたインピーダンスの大きさと位相角を、以下の表にまとめた。このとき式(4)における $R_{100}$ の値は、マルチメータで測定した値 $R_{100} = 99.4 \Omega$ を用いた。

**表3 周波数の変化に伴うインピーダンスの大きさと位相角**

周波数 /kHz	インピーダンスの大きさ $ Z $ / $\Omega$	位相角 $\Phi$ /deg.
0.1	9.77	5.76
1	9.94	3.6
2	9.61	1.44
5	9.53	3.6
10	9.37	10.08
50	8.90	46.8
100	3.73	64.8

次に、片変数グラフ用紙の横軸に周波数を取り、縦軸に各々のインピーダンスの大きさと位相角をプロットしたグラフ2枚を次に添付した(図5、図6)。

この図5より、10k $\Omega$ の抵抗器のインピーダンスの大きさは $10 \times 10^{-3} \Omega$ である。

## 5 考察

公称値  $100\Omega$  の直接抵抗値  $R_{100}$  は、今回の実験のやり方・手順で、ほぼ正確な値を導くことができた。多少の誤差はあるが、それは図 1 において回帰直線をひくときに生じた誤差が原因だと考えられる。

$10k\Omega$  の抵抗器のインピーダンスの大きさと位相角に関しては、図 5、図 6 により決定した。これらもほぼ公式通りになっている。

しかし、周波数が大きくなると各々極端に小さくなったり大きくなったりしている。また、理論値ではインピーダンスの大きさは  $10k\Omega$ 、位相角は  $0$  になるはずだが、この実験ではその値に近いものの、そうではなかった。具体的には、比較的誤差が少ない、周波数が  $10kHz$  より小さいときでさえ、約  $5\%$  の誤差があった。これは、回路にトランスを挿入したことやプローブの存在が原因である。

## 6 感想

私は電気回路がとても苦手だ。昨年の基礎科学実験 A の電気回路でさえよく理解できず、再実験までしてなんとか終わらせただけであるうえ、前期の基礎電気回路もなんとか暗記した結果とれた評価は良で、きちんと理解できているとは言えない状況だ。

そんな訳で、今回の実験も、電気回路の組み立てからつまづいていた。もともと機械の扱いも得意でないうえに、初めて見るものを操作するというのは私にとってとても難しいことだった。実験時していることがどんなことにつながっているのか、わからないまま進めているのはとてももどかしい。この半年で少しでも理解できるようになれるよう、努力していきたい。