

# 交流基本回路の電圧-電流測定

v4.2 Jun.2009

## 【目的】

抵抗・インダクタンス・コンデンサを接続した、直列および並列回路の電圧・電流の大きさと位相関係について調べ、交流回路の知識を習得する。

## 【原理】

### 1. R-L 直列回路

図1の回路において、抵抗を  $R[\Omega]$ 、コイルを  $L[H]$ 、流れる電流を  $I[A]$ とする。抵抗  $R$  の端子電圧  $\dot{V}_R$  とコイル  $L$  の端子電圧  $\dot{V}_L$  は、(1-1)式および(1-2)式となる。回路全体の電圧  $\dot{V}$  は  $\dot{V}_R$  と  $\dot{V}_L$  の和で与えられるから式(1-3)となる。このとき、回路に流れる電流  $\dot{I}$  の大きさは、(1-3)式に(1-1)式と(1-2)式を代入して、

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (I\omega L)^2} = I\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

これを  $I$  について求めると

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

となる。合成インピーダンスの大きさは回路全体の電圧と電流の比で定義されるので、(1-4)式より、インピーダンスは(1-5)式になることがわかる。さらに電源電圧  $\dot{V}$  と電流  $\dot{I}$  の位相差  $\theta$  は、図1のベクトル図より(1-6)式となる。

表1. R-L 直列回路のまとめ

抵抗の端子電圧 $V_R$	コイルの端子電圧 $V_L$
$\dot{V}_R = R\dot{I}$ $V_R =  \dot{V}_R  = RI$	$\dot{V}_L = X_L \dot{I} = j\omega L \dot{I}$ $V_L =  \dot{V}_L  = X_L I = \omega L I$
回路全体の電圧 $V$	電流 $I$
$\dot{V} = \dot{V}_R + \dot{V}_L$ $V =  \dot{V}  = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$	$I =  \dot{I}  = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$
合成インピーダンス $Z$	位相角度 $\theta$
$Z =  \dot{Z}  = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_L}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$

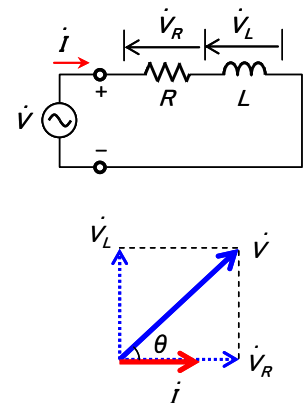


図1. R-L 直列回路 (上)とそのベクトル図 (下)

### 2. R-C 直列回路

図2の回路において、抵抗を  $R[\Omega]$ 、コンデンサを  $C[F]$ 、流れる電流を  $I[A]$ とする。抵抗  $R$  の端子電圧  $\dot{V}_R$  とコンデンサ  $C$  の端子電圧  $\dot{V}_C$  は、(2-1)式および(2-2)式となる。回路全体の電圧  $\dot{V}$  は  $\dot{V}_R$  と  $\dot{V}_C$  の和で与えられるから(2-3)式となる。このとき、回路に流れる電流  $\dot{I}$  の大きさは、(2-3)式に(2-1)式と(2-2)式を代入して、

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (1/\omega C)^2} = I\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$$

これを  $I$  について求めると

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}}$$

となる。合成インピーダンスの大きさは回路全体の電圧と電流の比で定義されるので、(2-4)式よりインピーダンスは(2-5)式となることがわかる。さらに電源電圧  $\dot{V}$  と電流  $\dot{I}$  の位相差  $\theta$  は、図2のベクトル図より、(2-6)式となる。

表 2. R-C 直列回路のまとめ

抵抗の端子電圧 $V_R$	コンデンサの端子電圧 $V_C$
$\dot{V}_R = RI$ $V_R =  \dot{V}_R  = RI$ (2-1)	$\dot{V}_C = X_C I = I/j\omega C$ $V_C =  \dot{V}_C  = X_C I = I/\omega C$ (2-2)
回路全体の電圧 $V$	電流 $I$
$\dot{V} = \dot{V}_R + \dot{V}_C$ $V =  \dot{V}  = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ (2-3)	$I =  i  = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}}$ (2-4)
合成インピーダンス $Z$	位相角度 $\theta$
$Z =  Z  = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$ (2-5)	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega CR}\right)$ (2-6)

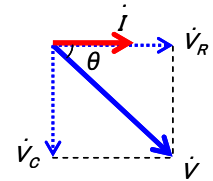
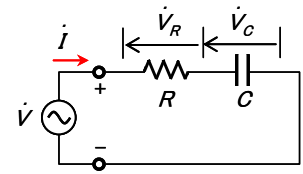


図 2. R-C 直列回路(上)とそのベクトル図(下)

### 3. R-L 並列回路

図 3 の回路において、抵抗を  $R[\Omega]$ 、コイルを  $L[H]$ 、電圧を  $\dot{V}[V]$  とする。抵抗  $R$  を流れる電流  $\dot{I}_R$  とコイル  $L$  を流れる電流  $\dot{I}_L$  は、(3-1)式および(3-2)式となる。回路全体の電流  $\dot{I}$  は  $\dot{I}_R$  と  $\dot{I}_L$  の和で与えられるから式(3-3)となる。このとき、電圧  $\dot{V}$  の大きさは、(3-3)式に(3-1)式と(3-2)式を代入して、

$$I = \sqrt{(V/R)^2 + (V/\omega L)^2} = V \sqrt{(1/R)^2 + (1/\omega L)^2}$$

これを  $V$  について求めると

$$V = \frac{I}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/\omega L)^2}}$$

となる。合成インピーダンスの大きさは回路全体の電圧と電流の比で定義されるので、(3-4)式より、インピーダンスは(3-5)式になることがわかる。さらに電源電圧  $\dot{V}$  と電流  $\dot{I}$  の位相差  $\theta$  は図 3 のベクトル図より、(3-6)式となる。

表 3. R-L 並列回路のまとめ

抵抗を流れる電流 $I_R$	コイルを流れる電流 $I_L$
$\dot{I}_R = \dot{V}/R$ $I_R =  \dot{I}_R  = V/R$ (3-1)	$\dot{I}_L = \dot{V}/j\omega L$ $I_L =  \dot{I}_L  = V/\omega L$ (3-2)
回路全体の電流 $I$	電圧 $V$
$I = \dot{I}_R + \dot{I}_L$ $I =  i  = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$ (3-3)	$V =  \dot{V}  = \frac{I}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/\omega L)^2}}$ (3-4)
合成インピーダンス $Z$	位相角度 $\theta$
$Z =  Z  = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/\omega L)^2}} = \frac{\omega LR}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$ (3-5)	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_L}{I_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{R}{\omega L}\right)$ (3-6)

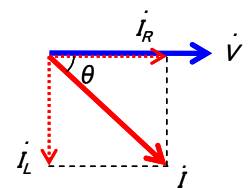
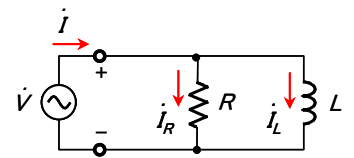


図 3. R-L 並列回路(上)とそのベクトル図(下)

#### 4. R-C 並列回路

図4の回路において、抵抗を  $R[\Omega]$ 、コンデンサを  $C[F]$ 、電圧を  $\dot{V}[V]$ とする。抵抗  $R$  を流れる電流  $\dot{I}_R$  とコンデンサ  $C$  を流れる電流  $\dot{I}_C$  は、(4-1)式および(4-2)式となる。回路全体の電流  $\dot{I}$  は  $\dot{I}_R$  と  $\dot{I}_C$  の和で与えられるから式(4-3)となる。電圧  $\dot{V}$  の大きさは、(4-3)式に(4-1)式と(4-2)式を代入して、

$$I = \sqrt{(V/R)^2 + (\omega CV)^2} = V\sqrt{(1/R)^2 + (\omega C)^2}$$

これを  $V$  について求めると

$$V = \frac{I}{\sqrt{(1/R)^2 + (\omega C)^2}}$$

となる。合成インピーダンスの大きさは回路全体の電圧と電流の比で定義されるので、(4-4)式より、インピーダンスは(4-5)式になることがわかる。さらに電源電圧  $\dot{V}$  と電流  $\dot{I}$  の位相差  $\theta$  は図4のベクトル図より、(4-6)式となる。

表4. R-C 並列回路のまとめ

抵抗を流れる電流 $I_R$	コンデンサを流れる電流 $I_C$
$\dot{i}_R = \dot{V}/R$ $I_R =  \dot{i}_R  = V/R$ (4-1)	$\dot{i}_C = j\omega C\dot{V}$ $I_C =  \dot{i}_C  = \omega CV$ (4-2)
回路全体の電流 $I$	電圧 $V$
$I = \dot{i}_R + \dot{i}_C$ $I =  \dot{i}  = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$ (4-3)	$V =  \dot{V}  = \frac{I}{\sqrt{(1/R)^2 + (\omega C)^2}}$ (4-4)
合成インピーダンス $Z$	位相角度 $\theta$
$Z =  \dot{Z}  = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (\omega C)^2}} = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$ (4-5)	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right) = \tan^{-1}(\omega CR)$ (4-6)

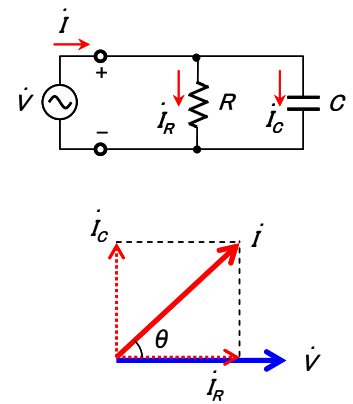


図4. R-C 並列回路(上)とそのベクトル図(下)

【測定系】

測定回路を図5に示す。電圧計 $V_0$ - $V_3$ には、1台の電子電圧計を共有して使用する。同様に電流計 $A_0$ - $A_3$ には、1台の熱電対電流計を共有して使用するが、電流計を挿入しない場合は配線で短絡する必要がある。(例えば、図5-(d)のRL並列回路において、 $A_0$ の測定に電流計を使用しているときは、 $A_1$ と $A_2$ はリード線で短絡しておく)

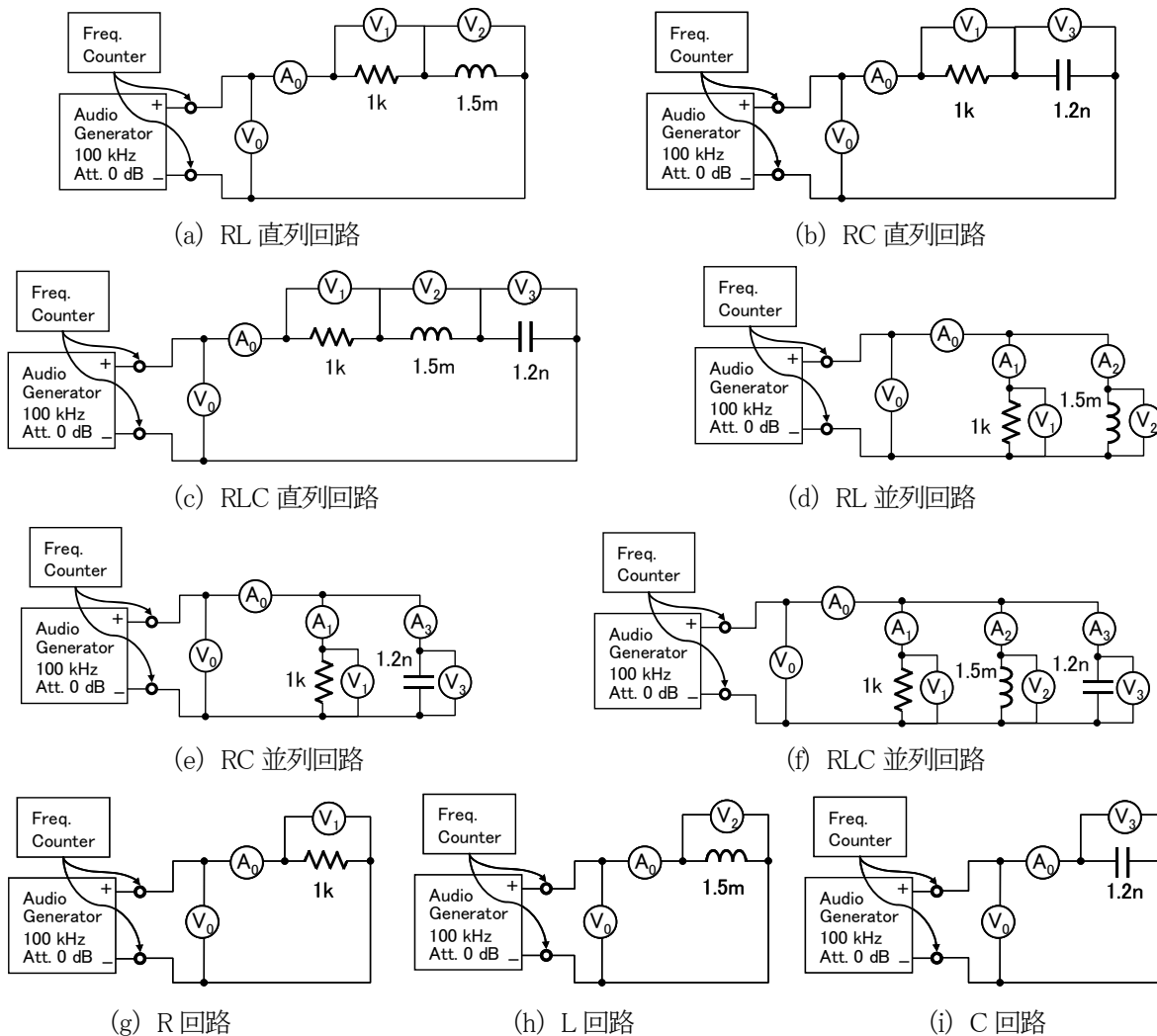


図5. 実験回路

【使用器具】

表5. 使用器具一覧 (測定は4グループに分かれて並列進行する)

品目	周波数カウンター	電子電圧計	熱電形電流計	Audio Generator	デジタルマルチメータ
個数	1×4グループ	1×4グループ	1×4グループ	1×4グループ	1×4グループ
メーカー	LEADER	KIKUSUI	YEW	LEADER	FLUKE or IWATSU
型番	LDC-822A	165A		LAG-120A	
備考	GATE TIME: 1S Sensitivity: 0.02	$V_0$ - $V_3$ を1台で共有 Range: 10 V	$A_0$ - $A_3$ を1台で共有 Range: 5 or 10 mA DC, 10Hz - 5 MHz	Frequency: 1 kHz Attenuation: 0 dB Fine 最大で使用 10 Hz - 1 MHz	

## 【測定方法】

### 1. RL 直列回路、RC 直列回路の測定、RLC 直列回路の測定

- (1) デジタルマルチメータ(以降DMM)でRとCの値を測定する。Lについては公称値(メーカーが提示する代表値のことで10%-20%程度の誤差があると思つてよい)をデータシートに記録する。
- (2) 図5-(a)、図5-(b)、図5-(c)の回路を作る。
- (3) 周波数カウンターを見ながら、Audio Generatorの周波数ダイヤルを調節して100kHzにする。そしてATTENUATIONを0dBにし、Fineツマミも右一杯にまわして出力が最大になるようにする。
- (4) 発振周波数 $f$ と電源電圧 $V_0$ を記録する。
- (5) 電圧計 $V_0$ - $V_3$ 、および電流計 $A_0$ - $A_3$ の指示を記録する。
- (6) データシートを使って計算整理を行い、測定と理論を比較検討する。測定は周波数 $f$ 、電圧 $V_0$ - $V_3$ 、電流 $A_0$ - $A_3$ の値からR、L、Cの値を導出し、理論はDMMまたは公称値のR、L、Cの値と周波数 $f$ 、電圧 $V_0$ から $V_1$ - $V_3$ と $A_0$ - $A_3$ の値を導出せよ。
- (7) 測定と理論の電圧-電流ベクトル図を1つのグラフに重ねて描き、比較検討せよ。

### 2. RL 並列回路、RC 並列回路、RLC 並列回路の測定

- (1) 図5-(d)、図5-(e)、図5-(f)の回路を作る。
- (2) 以降同様に測定と計算および、ベクトル図の描画を行う。

### 3. R、L、C 単独回路の測定

- (1) 図5-(g)、図5-(h)、図5-(i)の回路を作る。
- (2) 以降同様に測定と計算および、ベクトル図の描画を行う。

## 【注意事項】

- (1) 配線の変更は、熱電対形電流計が必ずSHORT端子になっていることを確認してから行うこと。
- (2) 熱電対形電流計は、読取り時のみ適切なレンジに切り替えて使用し、読取りが終了したら速やかにSHORTに戻すこと。
- (3) 電圧計、電流計の測定レンジに注意し、過大電流・電圧を加えないこと。
- (4) 不注意による配線や端子の短絡には十分注意すること。
- (5) 理論計算と測定を並行して実施するため、関数電卓の持参必須。
- (6) 本実験テキストおよび測定データシートはダウンロードできるが、目的、原理、測定系については単なるコピー貼り付けは不可。手書き又は式の導出過程等を確認して自分のレポートを作成すること。

## 【研究事項】

- (1) 各回路で導出したRLC各素子の値について、DMMで測定した値(RとCの場合)または公称値(Lの場合)を、電圧-電流測定値から導出した値および、理論値と比較せよ。
- (2) RLC直列およびRLC並列回路について、テキスト原理説明と同じように $V$ 、 $I$ 、 $Z$ 、 $\theta$ の関係式をすべて導出し、 $X_L < X_C$ 、 $X_L = X_C$ 、 $X_L > X_C$ の3ケースについて一般的なベクトル図を描け。
- (3) 回路によって電源出力 $V_0$ が変動する理由を考えよ。

## 【参考文献】

- [1] 大熊 “図解でわかるはじめての電気回路” pp.178-221, 技術評論社