

第4章 オシロスコープによる位相の測定

Measurement of Phase by Oscilloscope

4.1 目的

ブラウン管上に描かれたリサージュ図形 Lissajous figure により、任意の2つの正弦波電圧の位相差を測定し、あわせてオシロスコープの原理と取扱方法を習得する。

4.2 理論

オシロスコープは電圧や電流の波形のほかに周波数や位相差を観測することができる。その主要部であるブラウン管は高度の真空にしたフラスコ状のガラス管内に陰極、格子、陽極、偏向板などが備えられている。陰極から放射された電子は陰極、格子、陽極からなる電子レンズの作用により、強く絞られてビーム状になって加速される。また互に直交するように配置された水平、垂直の2組の偏向板によって加速された電子は上下左右の方向に転換して、けい光膜に到達すると輝点 spot を生ずる。いま同一周波数で位相差が φ である2つの正弦波電圧

$$e_a = V_a \sin \omega t \quad e_b = V_b \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.1)$$

をそれぞれ水平軸と垂直軸に加え、そのときの輝点の偏位を x 、 y とすれば

$$x = KV_a \sin \omega t \quad y = KV_b \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.2)$$

となる。ただし、 K は感度を表わす比例定数である。したがってブラウン管面に現われるリサージュ図形は

$$\left(\frac{x}{V_a}\right)^2 - 2\frac{xy}{V_a V_b} \cos \varphi + \left(\frac{y}{V_b}\right)^2 = K^2 \sin^2 \varphi \quad (4.3)$$

で表わされ、一般にだ円形になり、図 4.1 のようになる。式 (4.3) において

(1) $y = 0$ のときの x の値を x_1 とすれば $\sin \varphi$

$$\frac{x_1}{KV_a} = \sin \varphi \quad (4.4)$$

(2) $x = 0$ のときの y の値を y_1 とすれば

$$\frac{y_1}{KV_b} = \sin \varphi \quad (4.5)$$

となる。ここで式 (4.2) から KV_a 、 KV_b はそれぞれ x 、 y の最大値であるから、式 (4.4)、(4.5) に図 4.1 のリサージュ図形を適用すれば、2つの正弦波電圧の位相差は次式から求まる。

$$\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{B_1}{A_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{B_2}{A_2}\right) \quad (4.6)$$

いま位相差 φ と概略のリサージュ図形との関係を示せば、次のようである。

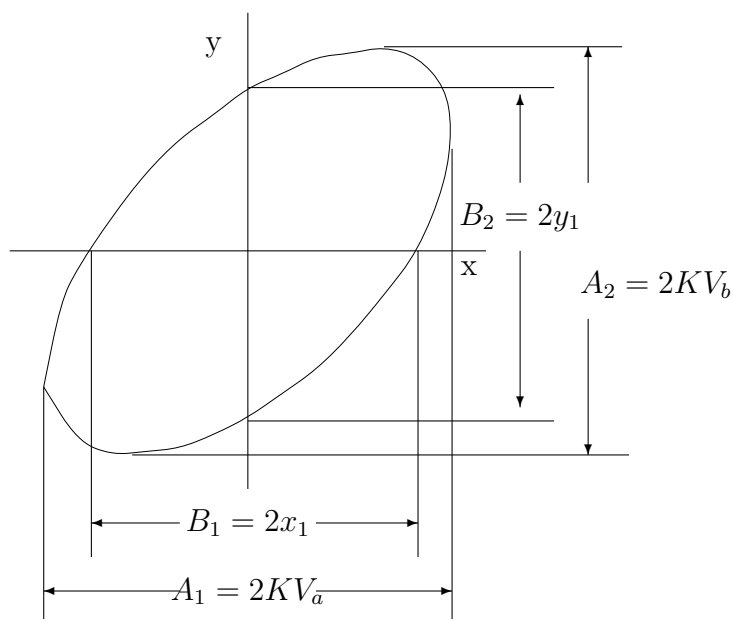


図 4.1: リサージュ図形

表 4.1: 位相とリサージュ図形の関係

位相差 $\varphi(^{\circ})$	0	45	90	135	180
リサージュ 図形					

4.3 方法

図 4.2 のようなツーロン回路 Toulon circuit を結線する。

図 4.2 のようなツーロン回路で大きさが等しく位相が異なる 2 つの電圧 V_a 、 V_b をそれぞれ水平軸と垂直軸に加え、抵抗 R を変えて V_a と V_b との位相差を変えた場合のリサージュ図形を描き、図 4.1 に示す各部の寸法を測り、式 (4.6) から位相差 φ を求める。

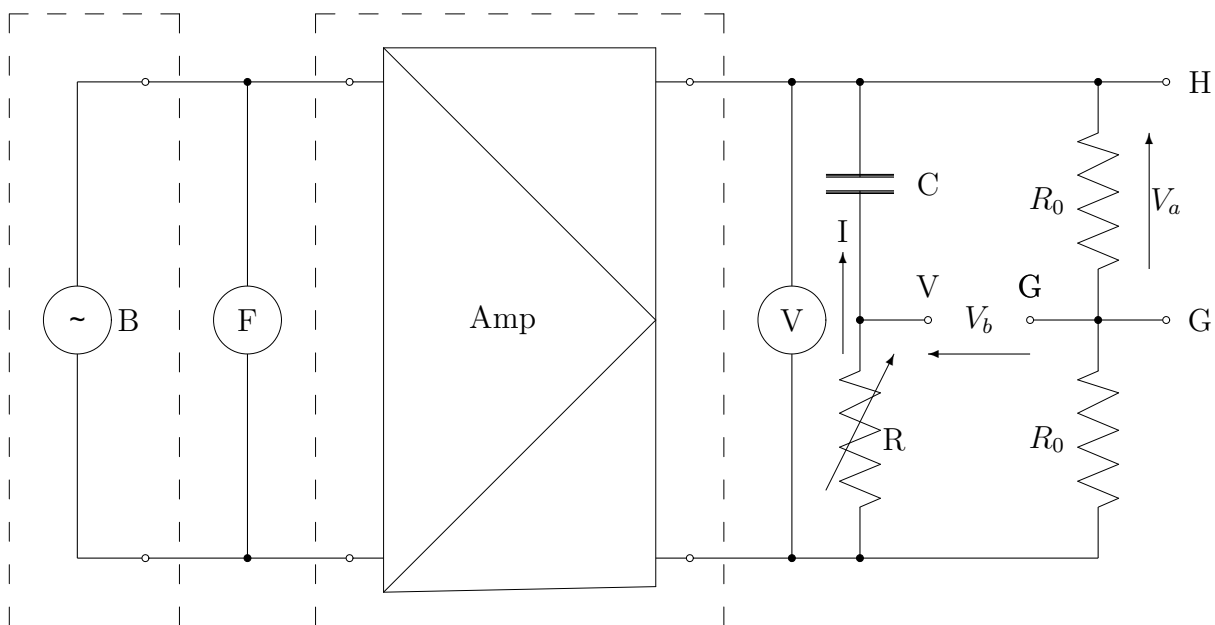


図 4.2: 位相測定の結線図 (ツェロン回路)

B : 低周波発振器 R : 可変抵抗 R_0 : 固定抵抗
C : コンデンサ V : デジタルマルチメータ F : 周波数計
Amp : TAKASAGO POWER SUPPLY

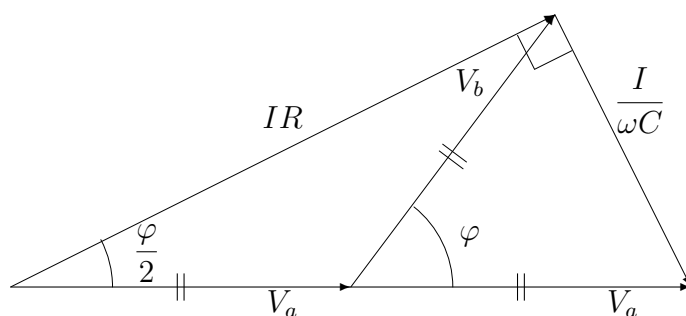


図 4.3: ツェロン回路のベクトル図

また図 4.2 のツェロン回路のベクトル図を描けば、図 4.3 のようである。このベクトル図から

$$\varphi = 2 \tan^{-1} \frac{1}{\omega C R} \quad (4.7)$$

となり、 $R \rightarrow \infty$ のときは $\varphi = 0$ となり、 $R = 0$ のときは $\varphi = 180^\circ$ となって、 R に対する φ の変化範囲は $0 \sim 180^\circ$ である。式 (4.7) から位相差 φ の計算値を求め、実測値と比較検討する。

4.4 結果

コンデンサ $C(\mu F)$ 周波数 $f(\text{Hz})$

抵抗 $R(k\Omega)$	リサージュ 図形	水 平 軸			垂 直 軸			位相差 $\varphi(^{\circ})$	
		A_1	B_1	$\varphi(^{\circ})$	A_2	B_2	$\varphi(^{\circ})$	実測値	計算値

抵抗 R を横軸にし、位相差 φ を縦軸にして、実測値 (平均値) と計算値の変化をグラフで示す。

4.5 注意

1. ブラウン管のけい光膜上の輝点を長い間静止したまま放置しない。
2. 抵抗 R の変化に対して位相差の変化が著しい部分は特に詳しく測定する。
3. 式 (4.7) から位相差 φ を計算するとき $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の範囲については注意を要する。

4.6 問題

ツェロン回路の位相差を回路方程式より導け。

4.7 実験装置・規格

ディジタルオシロスコープで位相を測定する方法について説明する。

[] で囲まれた文字は、操作するキーの名前を示し、操作パネル上のキーとソフトキーメニューの場合もある。

ソフトキーメニューの選択は、選択するキー名が液晶画面に表示され、表示画面の直ぐ下の横一列に並んだ 7 個のキーの何れかを押下する。

4.7.1 ディジタルオシロスコープのリサージュ図形での位相測定

ディジタルオシロスコープを用いたリサージュ図形での位相測定は次のようである。

1. 図 4.2 の低周波発振器の周波数は 1kHz に設定する。
2. 図 4.2 の抵抗 R は $100(\Omega)$ から $1(\text{M}\Omega)$ の範囲で測定する。
3. 0 度付近、 90 度付近、 180 度付近の位相とリサージュ図形は表 4.1 で確認する。
4. 表 4.1 で 45 度と 135 度の位相のリサージュ図形は未記入であるから、実験の終了後にリサージュ図形を表に記入する。

5. 指導書に従い位相 φ は約 22.5 度間隔で約 0 度から約 180 度まで 9 点測定する。
6. 位相 φ に対応する A1 と B1 または A2 と B2 の値を式 4.6 から電卓で求める。
7. A1 と B1 または A2 と B2 の値を持つ波形を抵抗 R で調整して求め、その時の抵抗 R の値、A1、B1、A2、B2 を記録する。
8. 実験が終了したときのデータチェックでは、式 4.7 の位相 φ を 1 箇所の測定値について計算する。ただし、報告書では全ての位相を計算する。
9. 報告書のグラフで抵抗 R を対数化し表示すると変化の様子が明らかになる。

4.7.2 デジタルオシロスコープで波形を表示

実験回路の接続を済ませ、デジタルオシロスコープで波形を表示する操作は次の手順となる。

1. デジタルオシロスコープの ch1 と ch2 にプローブを接続する。
2. 電源を入れ液晶画面が安定するのを待つ。
3. [SETUP] を押下する。
4. [Initialise] を押下する。
5. [Auto Setup] を押下する。
上下に 2 つの sin 波形が表示される。

デジタルオシロスコープの操作中に画面表示が変わり、操作が解らなくなった場合は、上記 3. の操作から再開すると良い。

4.7.3 デジタルオシロスコープでリサージュ波形の表示

デジタルオシロスコープに表示された 2 つの波形をリサージュ波形に表示する操作は次のようになる。

1. [Shift] を押下する。
2. [X-Y] を押下する。
3. [Mode X-Y] を押下する。
4. [X-Y] を押下する。

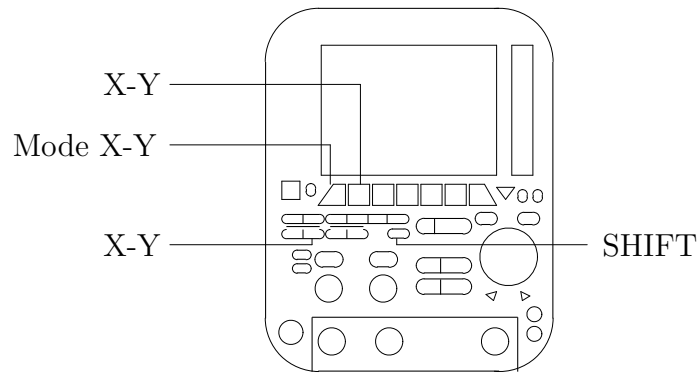


図 4.4: デジタルオシロスコープでリサージュ波形の表示

4.7.4 デジタルオシロスコープで波形の平均化

表示されたリサージュ波形は幅が広まっています。この波形の幅を平均化する操作は次のようになります。

1. [ACQ] を押下する。
2. [Mode Normal] を押下する。
3. [Averag] を押下する。

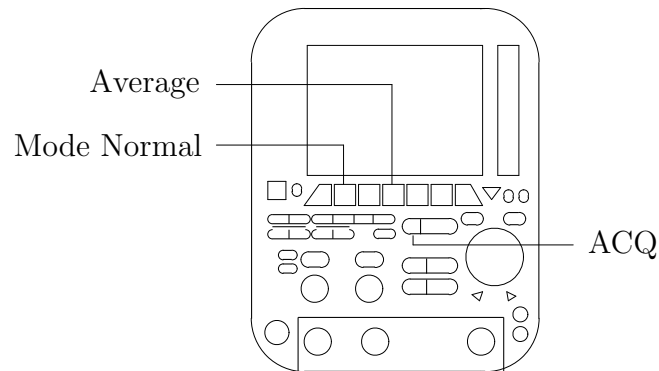


図 4.5: デジタルオシロスコープで波形の平均化

この平均化の操作を行うと、波形が鮮明になり、A1 と B1、A2 と B2 の測定が行い易くなる。

4.7.5 デジタルオシロスコープによる時間測定からの位相

2 つの波形の時間差からの位相測定では、約 45 度と約 135 度の 2 箇所の値を測定する。このとき、位相を変化させる抵抗器 R の値は、第 4.7.1 項での測定と同じ値を用いる。

デジタルオシロスコープを用いた時間測定から位相を求める手順は次のようである。

1. 1 個の波形 (波形 1) の 1 周期の時間を測定する。
2. 上記と異なる波形 (波形 2) の 1 周期の時間を測定する。

3. 波形 1 と波形 2 の周期が同じ値であることを確認する。
4. 波形 1 の電圧が正から負に変わる零ボルトの点の時間軸に cursor1 を移動する。
5. 波形 2 の電圧が正から負に変わる零ボルトの点の時間軸に cursor2 を移動する。
6. 波形 1(cursor1) と波形 2(cursor2) の時間差 [ΔX] を測定する。
7. 1 周期の時間と 2 波の時間差から計算 (式 4.8 参照) で位相を求める。
8. 時間レンジ、波形 1 の周期 T_1 、波形 2 の周期 T_2 、時間 X_1 、時間 X_2 、時間差 ΔX 、位相 φ を表にまとめて報告する。

時間レンジ (msec/div)	波形 1 周期 T_1 (msec)	波形 2 周期 T_2 (msec)	時間 1 X_1 (msec)	時間 2 X_2 (msec)	時間差 ΔX (msec)	位 相 (度)

4.7.6 波形 1 と波形 2 の時間差とデジタルオシロスコープの $X_1 \cdot X_2 \cdot \Delta X$ の関係

波形 1 と波形 2 の時間差の測定においてデジタルオシロスコープで表示される $X_1 \cdot X_2 \cdot \Delta X$ の関係はつぎのようである。

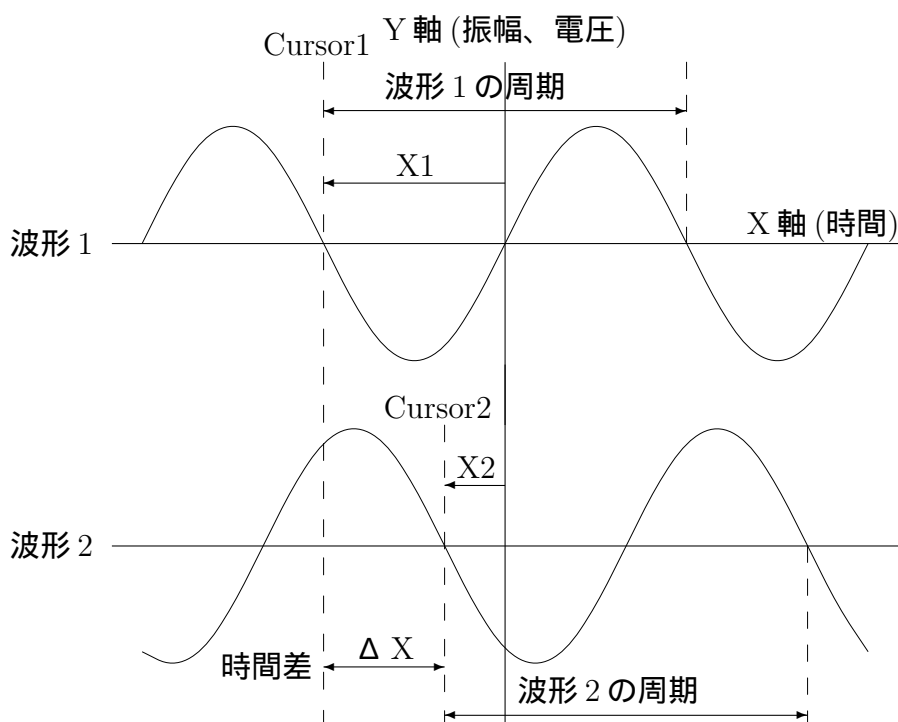


図 4.6: 波形 1 と波形 2 の時間差とデジタルオシロスコープの $X_1 \cdot X_2 \cdot \Delta X$ の関係
波形 1 と波形 2 の時間差から位相 φ は

$$\text{位相} \varphi = \frac{\text{時間差}}{1 \text{ 周期時間}} \times 360 \quad (4.8)$$

で求まる。