

第14章 共振回路の実験

14.1 目的

交流回路において、共振現象を実験で理解し、応用ができるようにする。

要項分類	グレード
知識（確認）	☆☆☆☆
操作（習熟度）	☆☆☆
観察（注意力）	☆☆☆
工夫（アイデア）	☆
結果整理	☆☆☆☆
法則の確認	☆☆☆
考察（理解力）	☆☆☆

14.2 原理

14.2.1 直列共振回路

図 14.1 の回路全体の合成インピーダンス \vec{Z} [Ω] は、角周波数 ω ($\omega = 2\pi f$, f は周波数) によって変化する。

$$\vec{Z} = R + j(X_L - X_C) = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (14.1)$$

$$|\vec{Z}| = Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (14.2)$$

ここで、 $\omega L - 1/\omega C = 0$ の時 \vec{Z} の大きさは $Z = R$ と最小値となり、電流 $I = E/Z$ は最大となる。この現象を（直列）共振という。直列共振時の角周波数 ω_0 及び周波数 f_0 は

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (14.3)$$

となる。共振状態の時のコイルの端子電圧は、

$$V_L = X_L I = \omega_0 L \frac{E}{R} \quad (14.4)$$

よりコイルの選択度 Q は、

$$Q = \frac{V_L}{E} = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (14.5)$$

となる。この Q はコイルやコンデンサの良さを測る量になる。同様に、コンデンサの選択度 Q は以下のように求められる。

$$Q = \frac{V_C}{E} = \frac{1}{\omega_0 C R} \quad (14.6)$$

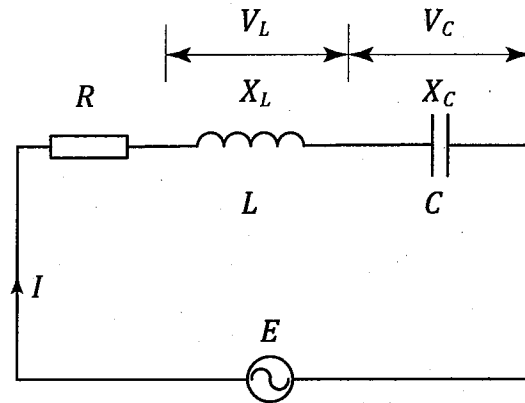


図 14.1: 直列共振回路

14.2.2 並列共振回路

図 14.2 のようにコイル L とコンデンサ C を並列にし、 R_L 及び R_C はそれぞれコイル、コンデンサの抵抗で電源 E を加えた回路である。

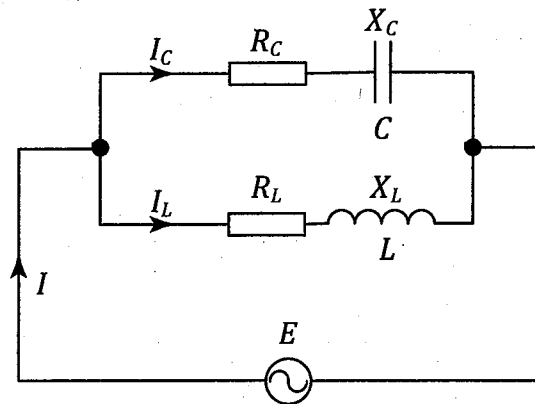


図 14.2: 並列共振回路

回路の合成アドミタンス \vec{Y} は、

$$\begin{aligned}\vec{Y} &= \frac{R_L - j\omega L}{R_L^2 + (\omega L)^2} + \frac{R_C + j(1/\omega C)}{R_C^2 + (1/\omega C)^2} \\ &= \left[\frac{R_L}{R_L^2 + (\omega L)^2} + \frac{R_C}{R_C^2 + (1/\omega C)^2} \right] - j \left[\frac{\omega L}{R_L^2 + (\omega L)^2} - \frac{1/\omega C}{R_C^2 + (1/\omega C)^2} \right] \quad (14.7)\end{aligned}$$

共振条件（虚数部 = 0）を満足するための周波数の条件は、

$$\frac{\omega_0 L}{R_L^2 + (\omega_0 L)^2} - \frac{1/\omega_0 C}{R_C^2 + (1/\omega_0 C)^2} = 0 \quad (14.8)$$

である。ここで、 R_L 及び R_C は小さいので無視すれば、 $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ となり、

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (14.9)$$

と共振（角）周波数は、直列共振の時と同じになる。

14.3 実験

14.3.1 使用器具と接続図

図 14.3(a) に直列共振回路の接続図を、図 14.3(b) に並列共振回路の接続図を示す。使用機器は、接続図と下記リストを参照に、実験で使用したものを各自記録のこと。

[使用機器]

- (1) r, L, C の測定素子
- (2) ブレッドボード
- (3) 電子電圧計 KENWOOD VT-185 (2 入力: 接続図 V_1, V_2)
- (4) 関数発生器 KENWOOD FG-272
- (5) オシロスコープ× 2 台 Tektronix TBS1022 (接続図 OSC.)
- (※) データ保存用の USB フラッシュメモリを持参すること

[接続図]

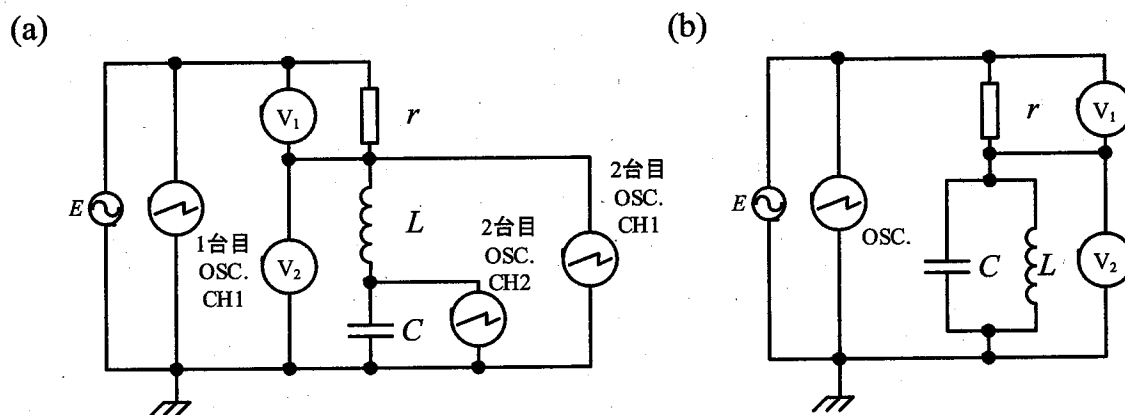


図 14.3: (a) 直列共振回路 (実験 I), (b) 並列共振回路 (実験 II)

14.3.2 実験-I: 直列共振回路

I-1 直列共振特性の測定手順

- (1) 与えられたコイルとコンデンサから次の計算をする。

・コイルの $L =$ _____ H, コンデンサの容量 $C =$ _____ F

・計算 (公称値): 共振周波数 $f_0 =$ _____ kHz (小数点 1 位まで求める)

- (2) 直列抵抗 $r = 10\ \Omega$ を使って、ブレッドボードで接続図 14.3(a) のように配線する。

- (3) 関数発生器とデジタルオシロスコープの電源を入れる。1 台目のオシロスコープの MEASURE 表示を CH1 : 周波数, CH1 : P-P 値に、2 台目のオシロスコープの MEASURE 表示を CH1 : P-P 値, MATH : P-P 値, CH2 : P-P 値, CH2 : 位相 (基準 CH1) にし、MATH ボタンを押し演算で CH1-CH2 を表示する。また、全ての信号入力を AC にする。
- (4) 関数発生器を調整して、5 kHz のときに 1 台目オシロスコープの V_{P-P} が 2 V になるように設定する。(以降、周波数を変える度に出力電圧が 2 V になっていることを確認する。) この時点で 1 台目オシロスコープにカーソルを表示し、カーソル 1 を +1 V, カーソル 2 を -1 V に設定し、電圧調整の目安とする。
- (5) 電子電圧計 V_1, V_2 の電源を入れる。
※ 3P コンセントプラグを使用している際は 2P 変換を使用してジャックに挿す。
- (6) 電子電圧計 V_1 の振れが最大になる周波数を、関数発生器の周波数調整で行い、このときの周波数を共振周波数の測定値 f_0 として、 f_0 と V_1 の値を表の一番上の欄にメモする。(グラフを描く際の目安とする。)
- (7) 関数発生器の周波数を 5 kHz に戻し、5 kHz から $f_0 - 1$ kHz までを 500 Hz 間隔で、共振周波数 f_0 の ± 1 kHz の範囲を最低 200 Hz 間隔で、 $f_0 + 1$ kHz から 15 kHz までを再び 500 Hz 間隔で測定し、表に測定値を記録する。このとき同時に図 14.4 を参照して I - f グラフを描きながら測定を進める。共振周波数付近では電圧変化が激しいので、グラフを見ながら測定点が不足しているようであれば測定間隔を狭める。
- (8) $f = 5$ kHz, f_0 , 15 kHz の 3 点で 2 台目のオシロスコープの波形を USB に記録する。

表 14.1: 直列共振特性の測定結果

周波数 f	電圧		LC 間測定オシロスコープ				回路電流 $I = \frac{V_1}{r}$	インピーダンス $Z = \frac{V_2}{I}$	アドミタンス $Y = \frac{1}{Z}$
	V_1	V_2	CH1 V_{P-P}	MATH V_{P-P}	CH2 V_{P-P}	CH2 位相			
/kHz	/mV	/mV	/mV	/mV	/mV	/°	/mA	/Ω	/S

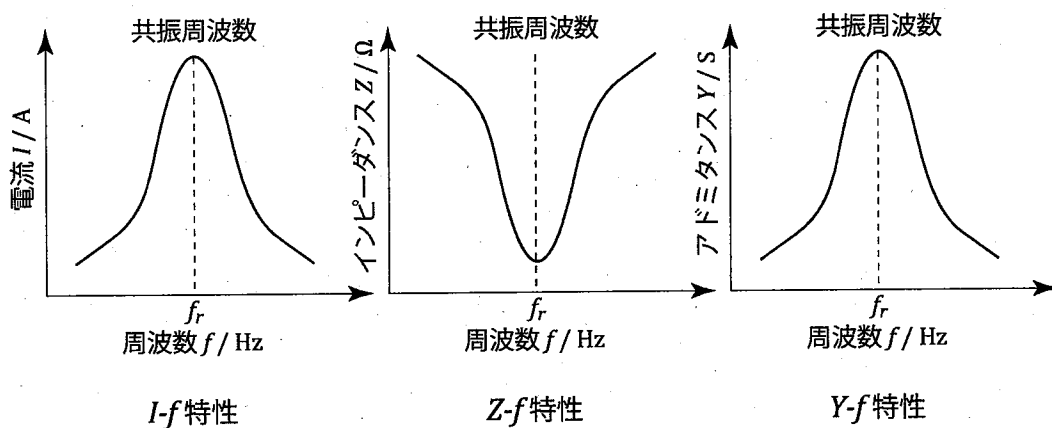


図 14.4: 直列共振特性の概略図

14.3. 実験

I-2 直列共振特性の結果整理

(a) 素子の公表値：コイルの $L =$ _____ H, コンデンサの容量 $C =$ _____ F

(b) 共振特性の測定が終了したら電流とインピーダンスを計算する（表 14.1 の整理）。

$$I = \frac{V_1}{r}, \quad Z = \frac{V_2}{I}, \quad Y = \frac{1}{Z} \quad (14.10)$$

(c) 測定中に作成した I - f グラフと同様に、図 14.4 を参照して Z - f 、 Y - f グラフも作成する。

(d) 共振時の結果の整理

(d-1) インピーダンスの電圧： $V_{Z0} =$ _____ V (共振時の V_2 の値)

(d-2) 共振電流 $I_0 = V_1/r =$ _____ A

(e) コイルの選択度： Q_1

(e-1) (d) より共振インピーダンス： $R_0 = V_{Z0}/I_0 =$ _____ Ω

(e-2) 共振角周波数の測定値 $\omega'_0 =$ _____ []

(e-3) よって、 $Q_1 = \omega'_0 L / R_0 =$ _____

(f) I - f 特性から求める回路の選択度： Q_2 (右図参照)

(f-1) I - f 特性から

$f_1 =$ _____ kHz,

$f_2 =$ _____ kHz,

なので $\Delta f =$ _____ kHz.

(f-2) よって、 $Q_2 = f'_0 / \Delta f =$ _____

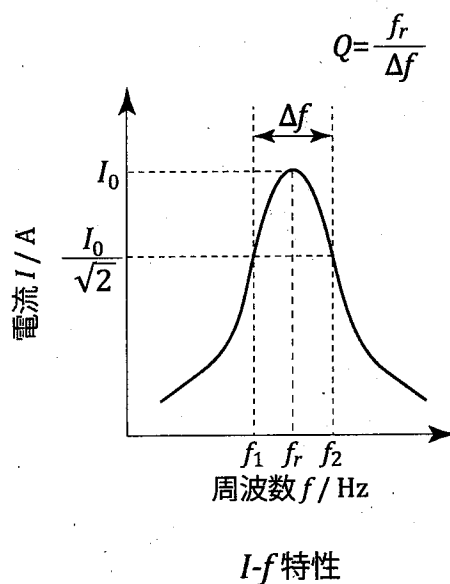


図 14.5: Δf と Q の算出図

(g) 回路電圧から求める選択度： $Q_3 = V_L / V_r =$ _____

(h) 以上、(e)、(f)、(g) で求めた 3 つの Q の値を比較してみよ。

14.3.3 実験-II：並列共振回路

II-1 並列共振特性の測定手順

- (1) コイル L とコンデンサ C を接続図 14.3(b) のように並列に接続する。
- (2) 挿入直列抵抗 r を、 $r = 10\text{ k}\Omega$ に変更する。
- 以降、直列共振 (I-1-1) と同様の周波数範囲と手順で測定する。
- (直列抵抗 r を $10\text{ k}\Omega$ に付け替えることを忘れないように！)

表 14.2: 並列共振特性の測定結果

周波数 f /kHz	電圧		回路電流 $I = \frac{V_1}{r}$ /mA	インピーダンス $Z = \frac{V_2}{I}$ / Ω	アドミタンス $Y = \frac{1}{Z}$ /S
	V_1 /mV	V_2 /mV			

II-2 並列共振特性の結果整理

- (a) 並列共振周波数：公称値 $f_0 =$ _____ kHz, 測定値 $f'_0 =$ _____ kHz,
- (b) 電流とインピーダンスを求め、表 14.2 を整理し、図 14.6 を参照してグラフを作成する。
- (c) 以下、I-2 の (d)~(h) と同じ作業を進め、同様の整理をする。ただし Q の計算については教員の指示を受けること。

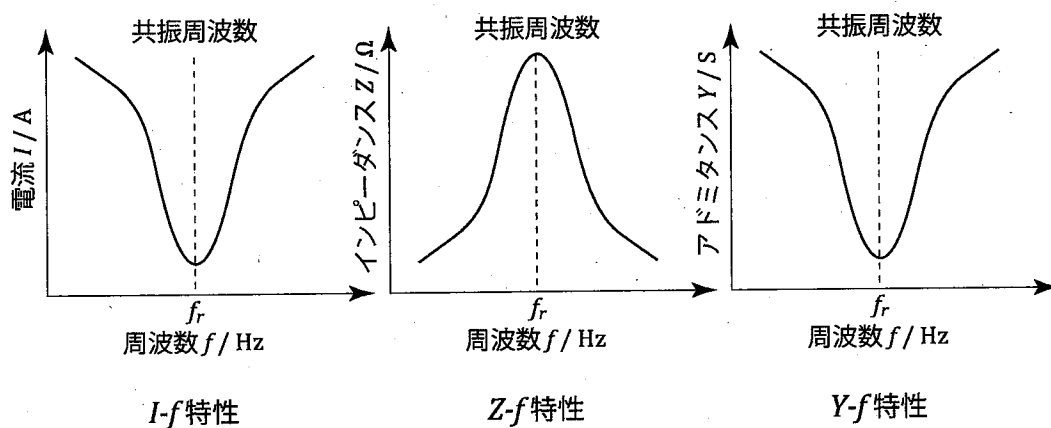


図 14.6: 並列共振特性の概略図

14.4 考察

- (1) 直列共振回路の共振インピーダンスについて検討せよ。
- (2) コイルの Q の定義を書け (式 (14.5) を導出せよ)。
- (3) Q は何を意味するか。
- (4) 直列共振回路の特徴・性格を述べよ。
- (5) 直列共振回路において測定したコイルの Q と回路全体の Q の結果を比較検討せよ。
- (6) 直列共振時のコイルとコンデンサの端子電圧を測定結果を検討せよ。
- (7) 直列共振の I - f 特性から解った事を述べよ。
- (8) 計算で求めた共振周波数の値と実験で測定した共振周波数の値を書き、比較・検討せよ。
公称値 : _____ kHz, 直列共振 : _____ kHz, 並列共振 : _____ kHz
- (9) 並列共振の I - f 特性から解った事を述べよ。
- (10) 直列共振回路と並列共振回路の I - f 特性を比較して検討せよ。
- (11) 共振回路は、どんなところに応用されているか調べてみよ。
- (12) 共振時のコイルのリアクタンス及びコンデンサのリアクタンスを計算せよ。
- (13) その他 感想などを記述する。

※進んだ研究

- ・ 直列共振回路で全体の Q は I - f 特性、素子の Q は Z - f 特性から求めた理由
- ・ 並列共振回路の Q を求めるのに、 I - f 特性でも Y - f 特性でも良い理由
- ・ 共振時、直列共振回路の E と I の位相 (角) 差の関係はどうなっているか