

第14章 LCR回路の共振特性の測定

Measurement of Resonance Characteristic of LCR Circuit

14.1 目的

LCR の直列ならびに並列共振特性を調べ、共振現象ならびにコイルの Q について習得する。

14.2 理論

LCR 回路の共振状態を得るには、 L 、 C および電源周波数 f のうちいずれを変化させてもよいが、ここでは L 、 C を一定にして、 f を変化させる方法で行なう。

14.2.1 直列共振回路

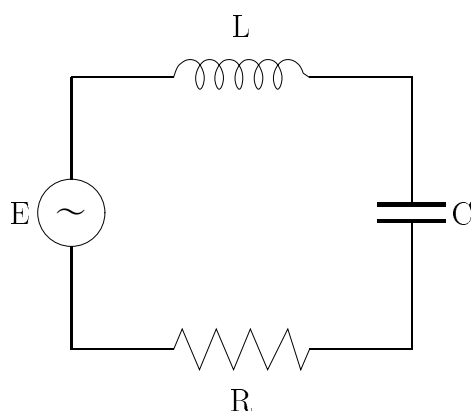


図 14.1: 直列共振回路図

図 14.1 の LCR の直列共振回路のインピーダンス $\dot{Z}$ は

$$\dot{Z} = \frac{1}{\dot{Y}} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (14.1)$$

$$|\dot{Z}| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (14.2)$$

である。したがって Z の値は周波数によって変わるが、リアクタンス分が零、すなわち $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ のときはインピーダンスは最小値 $Z_0 = R$ になり、逆に電流は最大値 $I_0 = E/R$ になる。これ

が直列共振状態であり、そのときの周波数 f_0 を共振周波数 resonance frequency という。すなわち

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (14.3)$$

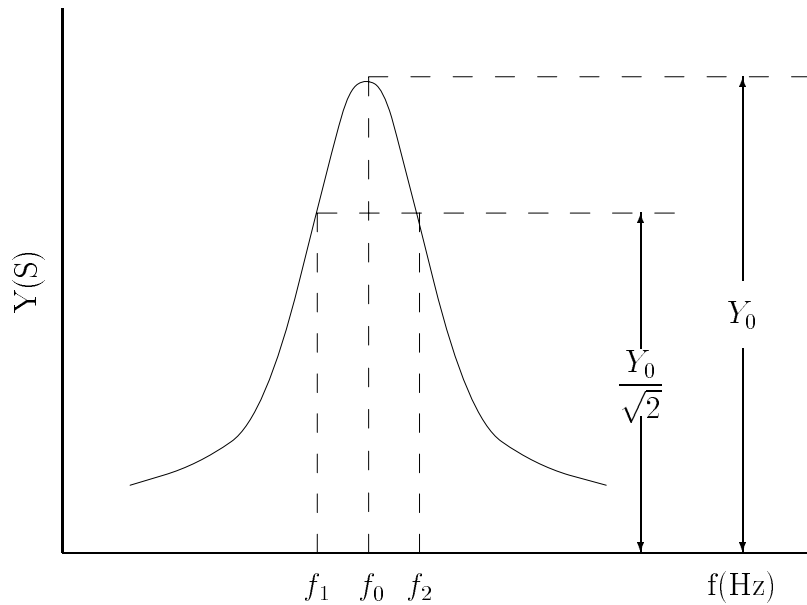


図 14.2: 直列共振特性

図 14.2 は周波数 f に対するアドミタンス Y (または電流 I) の変化を表わす曲線で共振曲線という。その尖鋭度を表わす選択度 Q は

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (14.4)$$

である。ここで、 f_1 、 f_2 は共振曲線において、最大値の $1/\sqrt{2}$ に対する周波数である。この Q を用いれば、共振時の L および C の端子電圧 E_{L0} 、 E_{C0} はそれぞれ

$$E_{L0} = \frac{E}{R} \omega_0 L = QE \quad E_{C0} = \frac{E}{R} \frac{1}{\omega_0 C} = QE \quad (14.5)$$

となる。すなわち共振時には L および C の端子には加えた電圧 E の Q 倍の電圧が現われる。また実際の共振回路では、抵抗 R はコイルとコンデンサとの等価直列抵抗であるが、近似的には、コイルだけの等価直列抵抗とみなされ、 Q の値が大きいほど、 R は小さく、コイルの損失が少ないことを意味する。

14.2.2 並列共振回路

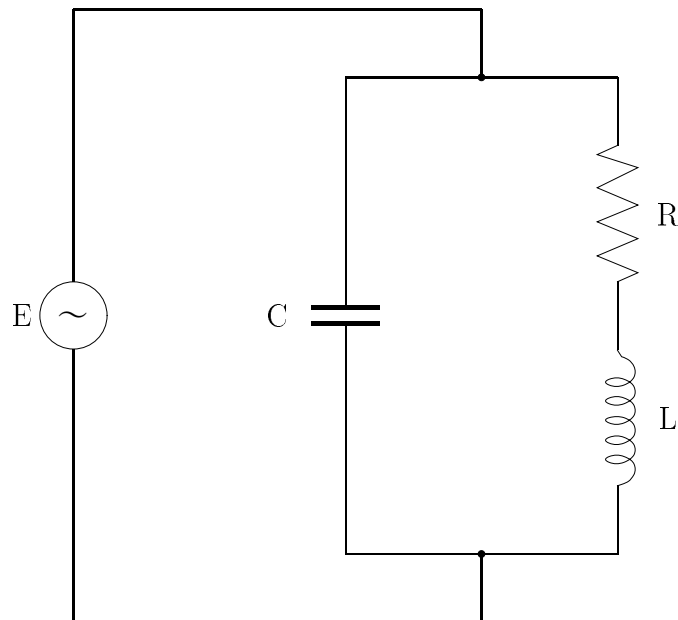


図 14.3: 並列共振回路

図 14.3 の LCR の並列共振回路のアドミッタンス $\dot{Y}$ は、

$$\dot{Y} = \frac{1}{\dot{Z}} = \frac{1}{-j\frac{1}{\omega C}} + \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}\right) \quad (14.6)$$

である。リアクタンス分が零のときは、アドミッタンスは最小値になり、電流も最小値になる。これが並列共振状態であり、共振周波数 f_0 は次のようになる。

$$\omega C - \frac{\omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2} = 0 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \quad (14.7)$$

$$|\dot{Y}| = \sqrt{\left(\frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}\right)^2} \quad (14.8)$$

もし $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$ ならば

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (14.9)$$

となり、直列共振回路の共振周波数と一致する。

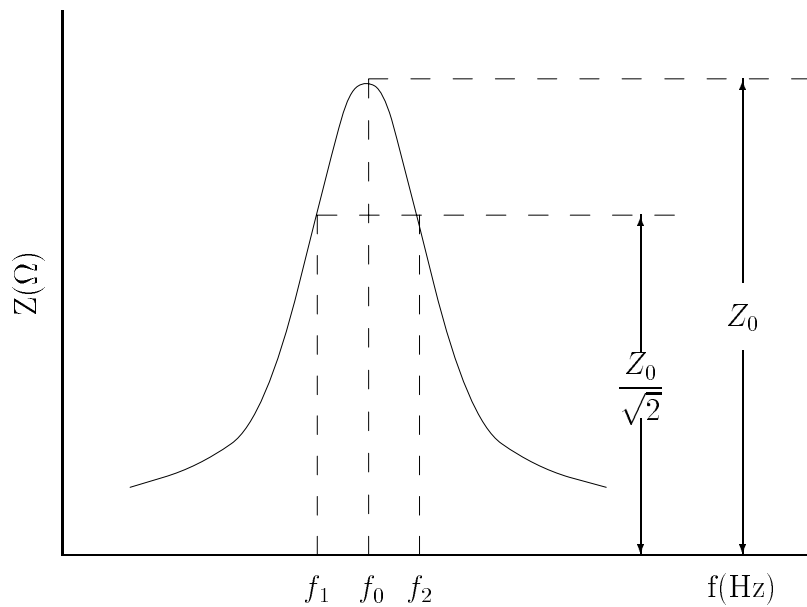


図 14.4: 並列共振特性

図 14.4 は周波数 f に対するインピーダンス Z (または電流 I の逆数) の変化を表わす曲線で、その選択度 Q は

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (14.10)$$

である。厳密には、図 14.4 において Z の値が最大になる点は f_0 より多少大きい方に現われる。しかし $R \ll \sqrt{L/C}$ の場合には、近似的に両者の点は一致する。

14.3 方法

図 14.5 と図 14.6 のように、共振回路に直列抵抗 r を接続し、周波数 f を変化して、これに対する共振回路および直列抵抗 r の端子電圧 E_a および E_b を電子電圧計で測定する。この場合、前もって共振周波数 f_0 を計算して実験を始め、特に共振周波数付近は細かく測定する。

いま共振回路および直列抵抗 r を流れる電流を I とすれば、次のようになる。

$$V_a = ZI \quad V_b = rI \quad (14.11)$$

これから

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{V_a}{V_b} r \quad (14.12)$$

となり、

共振回路のインピーダンス Z およびアドミッタンス Y は直列、並列共振回路ともに式 (14.12) から求められる。

14.3.1 直列共振回路

直列共振回路の結線を図 14.5 に示す。

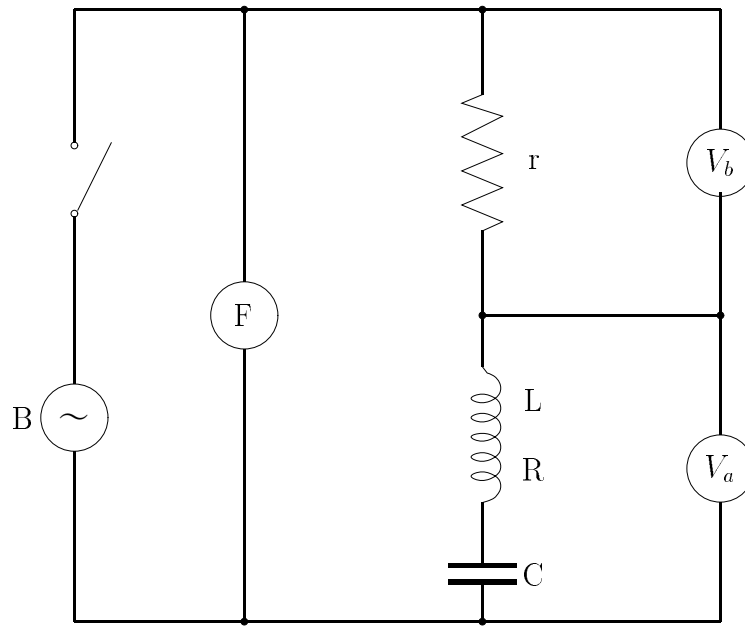


図 14.5: 直列共振特性の測定結線図

14.3.2 並列共振回路

並列共振回路の結線を図 14.6 に示す。

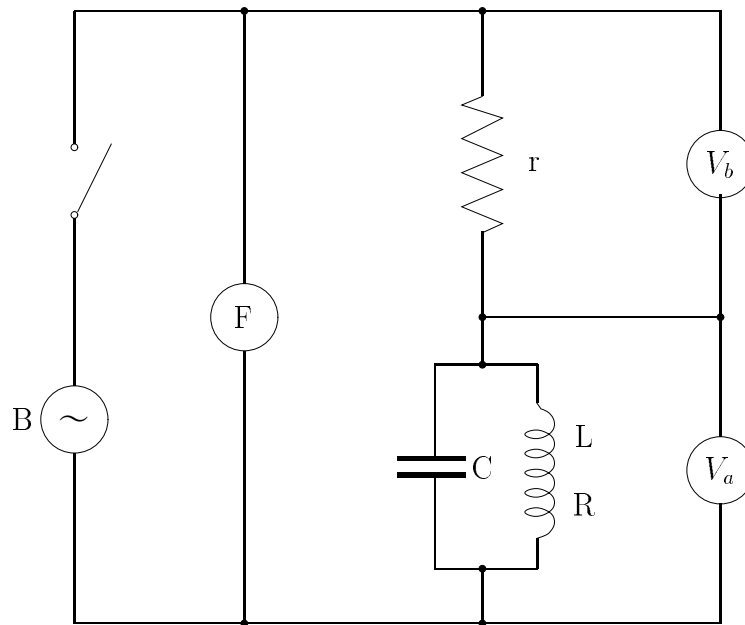


図 14.6: 並列共振特性の測定結線図

B : 低周波発振器 F : 周波数計 V_a : デジタルマルチメータ
 C : コンデンサ L : インダクタンス V_b : デジタルマルチメータ
 r : 高周波無誘導抵抗 R : コイルの等価抵抗

14.4 結果

コイルのインダクタンス $L(\text{mH})$ コンデンサのキャパシタンス $C(\mu\text{F})$ 直列抵抗 $r(\Omega)$

14.4.1 直列共振回路

周波数 f を横軸にし、アドミッタンス Y を縦軸にしてアドミッタンス Y の変化を曲線で示す。
 この曲線および (14.4) 式から、共振周波数 f_0 、選択度 Q および R を求める。

周 波 数 $f(\text{Hz})$	電子電圧計の読み		アドミッタンス (S)
	$V_a(\text{V})$	$V_b(\text{V})$	

14.4.2 並列共振回路

周波数 f を横軸にし、インピーダンス Z を縦軸にしてインピーダンス Z の変化を曲線で示す。
 この曲線および (14.4) 式から、共振周波数 f_0 、選択度 Q および R を求める。

周 波 数 $f(\text{Hz})$	電子電圧計の読み		インピーダンス (Ω)
	$V_a(\text{V})$	$V_b(\text{V})$	

14.5 注意

1. 浮遊容量の影響がないように配線に注意する。
2. STANDAR CAPACITOR の端子は、 C_1 と C_2 を使用する。

14.6 問題

電子電圧計の代りにふつうの電圧計を用いたならば、いかなる影響があるか。

14.7 補足

図 14.5 と図 14.6 において電圧 V_a と電圧 V_b の波形をデジタルオシロスコープで観測する。