豆知識

RL 直列 C 並列回路

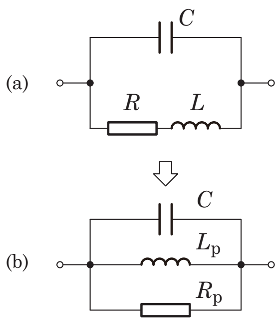

図 1 RL 直列 C 並列回路と等価な RLC 並列回路.

アドミタンス［回路 (a)］

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{R+\mathrm{j}\omega L}+\mathrm{j}\omega C \\ &= \frac{R}{R^2+\omega^2L^2}-\frac{\mathrm{j}\omega L}{R^2+\omega^2L^2}+\mathrm{j}\omega C \\ &= \frac{R}{R^2+\omega^2L^2}+\mathrm{j}\omega\left(C-\frac{L}{R^2+\omega^2L^2}\right) \end{aligned} \tag{1}$$

アドミタンス［回路 (b)］

$$Y = \frac{1}{R_\mathrm{p}}+\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_\mathrm{p}}+\mathrm{j}\omega C = \frac{1}{R_\mathrm{p}}-\frac{\mathrm{j}}{\omega L_\mathrm{p}}+\mathrm{j}\omega C$$

共振条件と共振角周波数

$$\mathrm{Im}[Y(\omega_0)] = 0 \quad \therefore \quad R^2+\omega_0^2L^2 = \frac{L}{C}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{L}\sqrt{\frac{L}{C}-R^2} = \sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{L^2}} \tag{2}$$

共振の必要条件 $R^2 < \dfrac{L}{C}$ または $1 < \dfrac{L}{CR^2}$

共振時の等価な RLC 並列回路

$$\frac{1}{R_\mathrm{p}} = \frac{R}{R^2+\omega_0^2L^2} = \frac{R}{L/C} = \frac{CR}{L}$$

$$\frac{1}{\omega_0 L_\mathrm{p}} = \frac{\omega_0 L}{R^2+\omega_0^2L^2} = \frac{\omega_0 L}{L/C} = \omega_0 C$$

共振時のアドミタンス

$$Y(\omega_0) = \frac{1}{R_\mathrm{p}} = \frac{CR}{L} \tag{3}$$

Q 値（エネルギー方式・等価回路方式・電力方式）

$$\begin{aligned} Q &= \omega_0 C R_\mathrm{p} = \frac{R_\mathrm{p}}{\omega_0 L} = \frac{\omega_0 L}{R} \\ &= \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}-R^2} \qquad \text{参考} \quad Q^2 = \frac{L}{CR^2}-1 \end{aligned} \tag{4}$$

$\Delta\omega$（エネルギー方式の Q 値からの逆算）

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} = \frac{R}{L}$$

半値幅方式の ω_1，ω_2 $(\omega_1 < \omega_2)$，$\Delta\omega$，Q 値

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{LC}+\frac{1}{2}\frac{R^2}{L^2}-\frac{R^2}{L^2}\sqrt{\frac{L}{CR^2}+\frac{9}{4}}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{LC}+\frac{1}{2}\frac{R^2}{L^2}+\frac{R^2}{L^2}\sqrt{\frac{L}{CR^2}+\frac{9}{4}}}$$

Q(エネルギー方式) > 10 であれば

$$\Delta\omega = \omega_2-\omega_1 \approx \frac{R}{L}$$

$$Q_\mathrm{FWHM} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} \approx Q(\text{エネルギー方式})$$

アドミタンスの周波数特性

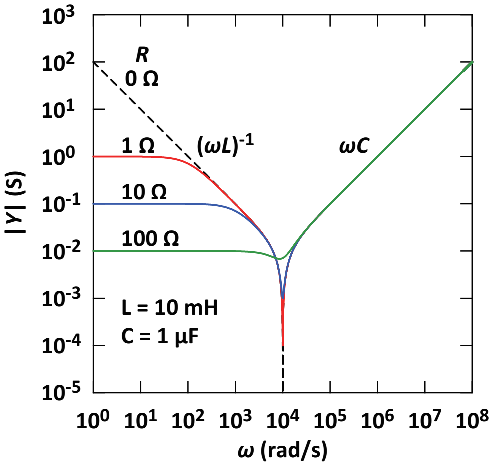

図 2 RL 直列 C 並列回路の $|Y|$ の周波数特性.

表 1 共振周特性の数値例（L = 10 mH, C = 1 μF）. 単位は, R (Ω), 角周波数 (rad/s). 共振の必要条件は, $R < \sqrt{L/C} = 100\ \Omega$.

R	0	1	10	50	100
$R < \sqrt{L/C}$	yes	yes	yes	yes	no
ω_0	10000	10000	9950	8660	0
ω_1	10000	9950	9507	7071	n/a
ω_2	10000	10050	10517	13229	18174
$\Delta\omega_{\mathrm{FWHM}}$	0	100	1010	6158	n/a
$\Delta\omega_{\mathrm{ene}}$	0	100	1000	5000	10000
Q_{ene}	∞	100	9.95	1.73	0
Q_{FWHM}	∞	100	9.85	1.41	n/a

課題　RL 直列 C 並列回路の Q 値（エネルギー方式）

図 3 に示した RL 直列 C 並列回路の Q 値が次式で与えられることを，エネルギー方式の Q 値の定義に基づいて示せ．

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C} - R^2}$$

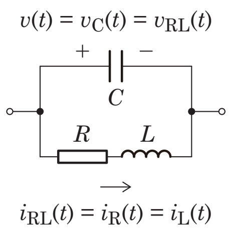

図 3 RL 直列 C 並列回路．

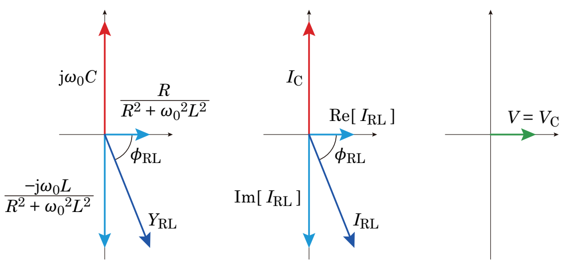

図 4 RL 直列 C 並列回路のフェーザダイヤグラム．

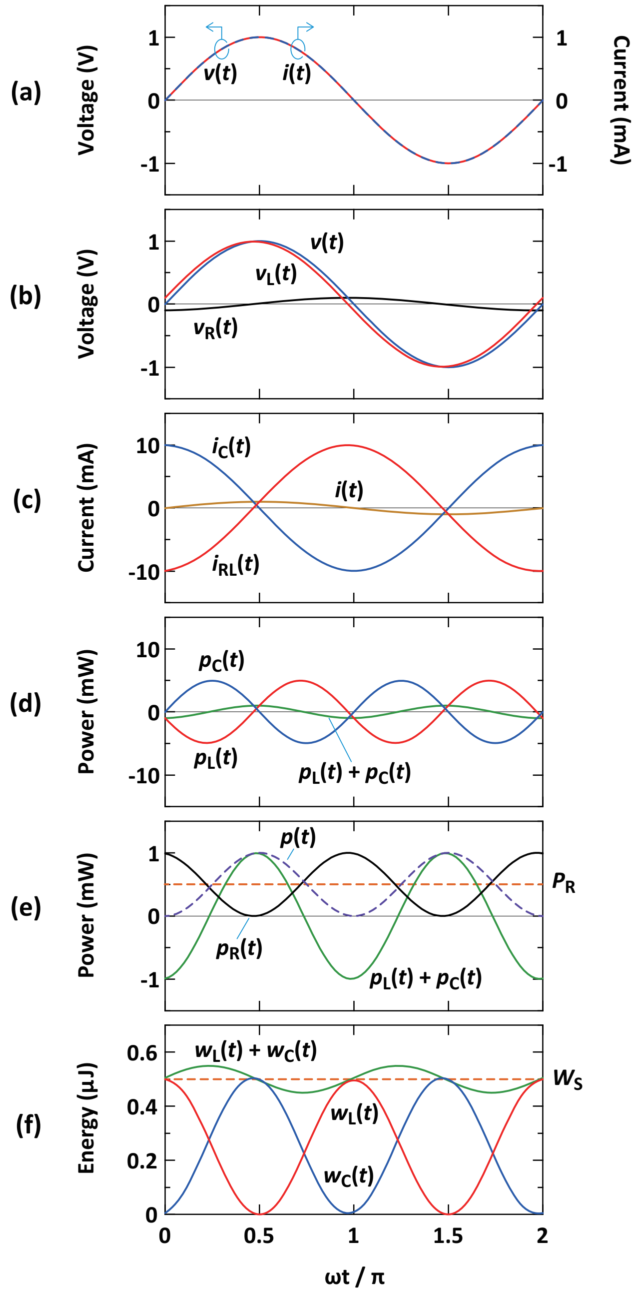

図 5 RL 直列 C 並列回路の電圧・電流・電力・エネルギーの波形．

略解

【共振時の端子間電圧】

$$v(t) = V_\mathrm{m} \sin\omega_0 t$$

【共振時の各素子の電流・電圧】

$$v_\mathrm{C}(t) = v(t) = V_\mathrm{m} \sin\omega_0 t$$
$$i_\mathrm{C}(t) = C\frac{\mathrm{d}v_\mathrm{C}(t)}{\mathrm{d}t} = \omega_0 C V_\mathrm{m} \cos\omega_0 t$$

$$v_\mathrm{RL}(t) = v(t) = V_\mathrm{m} \sin\omega_0 t$$
$$i_\mathrm{RL}(t) = I_\mathrm{RLm} \sin\left(\omega_0 t + \phi\right)$$

$$i_\mathrm{L}(t) = i_\mathrm{RL}(t) = I_\mathrm{RLm} \sin\left(\omega_0 t + \phi\right)$$
$$v_\mathrm{L}(t) = L\frac{\mathrm{d}i_\mathrm{RL}(t)}{\mathrm{d}t} = \omega_0 L I_\mathrm{RLm}\ \cos\left(\omega_0 t + \phi\right)$$

$$i_\mathrm{R}(t) = i_\mathrm{RL}(t) = I_\mathrm{RLm}\ \sin\left(\omega_0 t + \phi\right)$$
$$v_\mathrm{R}(t) = R\ i_\mathrm{RL}(t) = R I_\mathrm{RLm}\ \sin\left(\omega_0 t + \phi\right)$$

【I_RLm と ϕ】

I_RLm と ϕ は，与えられたパラメータで表す必要がある．これらは，フェーザを用いた以下の計算で求められる．

V　　$v(t)$ のフェーザ　$V = \dfrac{V_\mathrm{m}}{\sqrt{2}}\angle 0$

I_RL　　$i_\mathrm{RL}(t)$ のフェーザ　$I_\mathrm{RL} = \dfrac{I_\mathrm{RLm}}{\sqrt{2}}\angle\phi$

Y_RL　　R と L の直列回路のアドミタンス

とすると，

$$I_\mathrm{RL} = Y_\mathrm{RL} V \qquad Y_\mathrm{RL} = \frac{1}{R + \mathrm{j}\omega_0 L}$$

よって

$$I_\mathrm{RLm} = |Y_\mathrm{RL}|\ V_\mathrm{m} = \frac{V_\mathrm{m}}{\sqrt{R^2 + \omega_0^2 L^2}} \tag{5}$$

$$\tan\phi = -\frac{\omega_0 L}{R}$$

【共振時に成り立つ関係】

端子間のアドミタンスは,

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{R + \mathrm{j}\omega_0 L} + \mathrm{j}\omega_0 C \\ &= \frac{R}{R^2 + \omega_0^2 L^2} - \frac{\mathrm{j}\omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2} + \mathrm{j}\omega_0 C \\ &= \frac{R}{R^2 + \omega_0^2 L^2} + \mathrm{j}\left(\omega_0 C - \frac{\omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2}\right) \end{aligned}$$

共振時に $\mathrm{Im}[Y] = 0$ であるから,

$$\omega_0 C = \frac{\omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2} \quad \therefore\ R^2 + \omega_0^2 L^2 = \frac{L}{C}$$

これより，式 (5) の I_RLm と V_m の関係は，以下のように書き換えられる．

$$I_\mathrm{RLm}^2 = \frac{V_\mathrm{m}^2}{R^2 + \omega_0^2 L^2} = \frac{V_\mathrm{m}^2}{L/C}$$

以下の電力計算では，上式から導かれる次式を使う．

$$P_\mathrm{X} = \frac{1}{2}\omega_0 L I_\mathrm{RLm}^2 = \frac{1}{2}\omega_0 C V_\mathrm{m}^2$$

【L と C の無効電力】

$$\begin{aligned} p_\mathrm{L}(t) &= v_\mathrm{L}(t)\ i_\mathrm{L}(t) \\ &= \omega_0 L\ I_\mathrm{RLm}^2\ \sin\left(\omega_0 t + \phi\right)\ \cos\left(\omega_0 t + \phi\right) \\ &= \omega_0 L\ I_\mathrm{RLm}^2\ \frac{1}{2}\ \sin\left(2\omega_0 t + 2\phi\right) \\ &= P_\mathrm{X}\ \sin\left(2\omega_0 t + 2\phi\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_\mathrm{C}(t) &= v_\mathrm{C}(t)\ i_\mathrm{C}(t) \\ &= \omega_0 C\ V_\mathrm{m}^2\ \sin\omega_0 t\ \cos\omega_0 t \\ &= \omega_0 C\ V_\mathrm{m}^2\ \frac{1}{2}\ \sin 2\omega_0 t \\ &= P_\mathrm{X}\ \sin 2\omega_0 t \end{aligned}$$

【L が保持するエネルギーの瞬時値 $w_{\mathrm{L}}(t)$】

$$
\begin{aligned}
w_{\mathrm{L}}(t) &= \int p_{\mathrm{L}}(t)\ \mathrm{d}t = P_{\mathrm{X}} \int \sin\left(2\omega_0 t + 2\phi\right)\ \mathrm{d}t \\
&= -\frac{1}{2}\frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\ \cos\left(2\omega_0 t + 2\phi\right) + K_{\mathrm{L}}
\end{aligned}
$$

L が保持するエネルギーは，L の電流がゼロのときにゼロであるから，

$$
\begin{aligned}
& i_{\mathrm{L}}(t) = 0 \ \Rightarrow\ \sin\left(\omega_0 t + \phi\right) = 0 \Rightarrow \\
& \omega_0 t + \phi = n\pi \ \Rightarrow\ 2\omega_0 t + 2\phi = 2n\pi \ \Rightarrow \\
& \cos\left(2\omega_0 t + 2\phi\right) = 1 \text{ のときに } w_{\mathrm{L}}(t) = 0 \\
& \therefore\ \ K_{\mathrm{L}} = \frac{1}{2}\frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}
\end{aligned}
$$

よって，

$$
\begin{aligned}
w_{\mathrm{L}}(t) &= \frac{1}{2}\frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\ \left[1 - \cos\left(2\omega_0 t + 2\phi\right)\right] \\
&= \frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\ \sin^2(\omega_0 t + \phi)
\end{aligned}
$$

【C が保持するエネルギーの瞬時値 $w_{\mathrm{C}}(t)$】

$$
\begin{aligned}
w_{\mathrm{C}}(t) &= \int p_{\mathrm{C}}(t)\ \mathrm{d}t = P_{\mathrm{X}} \int \sin 2\omega_0 t\ \mathrm{d}t \\
&= -\frac{1}{2}\frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\ \cos 2\omega_0 t + K_{\mathrm{C}}
\end{aligned}
$$

C が保持するエネルギーは，C の電圧がゼロのときにゼロであるから，

$$
\begin{aligned}
& v_{\mathrm{C}}(t) = 0 \ \Rightarrow\ \sin\omega_0 t = 0 \ \Rightarrow \\
& \omega_0 t = n\pi \ \Rightarrow\ 2\omega_0 t = 2n\pi \ \Rightarrow \\
& \cos 2\omega_0 t = 1 \text{ のときに } w_{\mathrm{C}}(t) = 0 \\
& \therefore\ \ K_{\mathrm{C}} = \frac{1}{2}\frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}
\end{aligned}
$$

よって，

$$
\begin{aligned}
w_{\mathrm{C}}(t) &= \frac{1}{2}\frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\ \left[1 - \cos 2\omega_0 t\right] \\
&= \frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\ \sin^2\omega_0 t
\end{aligned}
$$

【回路が保持するエネルギーの瞬時値 $w_{\mathrm{S}}(t)$】[*1]

$$
\begin{aligned}
w_{\mathrm{S}}(t) &= w_{\mathrm{L}}(t) + w_{\mathrm{C}}(t) \\
&= \frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\left[\sin^2(\omega_0 t + \phi) + \sin^2\omega_0 t\right] \\
&= \frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\left[1 - \cos\phi\cos\left(2\omega_0 t + \phi\right)\right]
\end{aligned}
$$

- 第 1 項 $\dfrac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}$ は
  定数であり，回路が定常的に保持しているエネルギーである．
- 第 2 項 $\dfrac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0}\cos\phi\cos\left(2\omega_0 t + \phi\right)$ は
  ゼロを中心として正負に振動する正弦波であり，電源との間で往復するエネルギーである．つまり，定常的に回路が保持しているエネルギーではない．

【回路が定常的に保持しているエネルギー W_{S}】

$$
\begin{aligned}
W_{\mathrm{S}} &= \frac{P_{\mathrm{X}}}{\omega_0} \\
&= \frac{1}{2}LI_{\mathrm{RLm}}^2 = \frac{1}{2}CV_{\mathrm{m}}^2
\end{aligned}
$$

なお，これより，

$$
W_{\mathrm{S}} = \max\left[w_{\mathrm{L}}(t)\right] = \max\left[w_{\mathrm{C}}(t)\right]
$$

ということがわかる．

[*1] 豆知識ここでの式変形については，「位相差のある二つの正弦波の二乗の和」を参照されたし．

【R の有効電力】

$$\begin{aligned} p_{\mathrm{R}}(t) &= v_{\mathrm{R}}(t)\ i_{\mathrm{R}}(t) \\ &= R I_{\mathrm{RLm}}^2 \sin\bigl(\omega_0 t + \phi\bigr) \end{aligned}$$

【R の一周期の平均電力 P_{R}】

$$\begin{aligned} P_{\mathrm{R}} &= \frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} p_{\mathrm{R}}(t)\ \mathrm{d}t \\ &= R I_{\mathrm{RLm}}^2\ \frac{1}{T_0}\int_0^{T_0} \sin^2(\omega_0 t + \phi)\ \mathrm{d}t \\ &= \frac{1}{2}\ R I_{\mathrm{RLm}}^2 \end{aligned}$$

【R で一周期に消費されるエネルギー W_{D}】

$$W_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{R}}\ T_0 = \frac{1}{2}\ R I_{\mathrm{RLm}}^2\ \frac{2\pi}{\omega_0}$$

【Q 値】

$$\begin{aligned} Q &= 2\pi\frac{W_{\mathrm{S}}}{W_{\mathrm{D}}} = 2\pi\frac{\dfrac{1}{2}L I_{\mathrm{RLm}}^2}{\dfrac{1}{2}R I_{\mathrm{RLm}}^2\dfrac{2\pi}{\omega_0}} \\ &= \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C} - R^2} \end{aligned}$$

課題 RL 直列 C 並列回路の Q 値：RLC 並列回路への変換

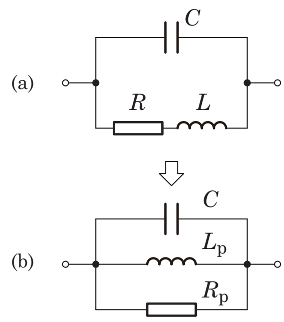

図 6 RL 直列 C 並列回路と等価な RLC 並列回路.

図 6(a) に示した RL 直列 C 並列回路の場合には，**図 6**(b) のように，直列接続された R と L を並列接続の R_{p} と L_{p} に変換することで，RLC 並列回路に帰着できる．したがって，RLC 並列回路の Q 値の公式より，

$$Q = \omega_0 C R_{\mathrm{p}} = \frac{R_{\mathrm{p}}}{\omega_0 L_{\mathrm{p}}} = R_{\mathrm{p}}\sqrt{\frac{C}{L_{\mathrm{p}}}} \tag{6}$$

となる．これがエネルギー方式で得られる Q 値の式と一致することを示せ.

略解

R_p と L_p は，**図 6** の二つの回路のアドミタンス Y_a と Y_b が等しい，とすることで求められる．

$$\begin{aligned} Y_\mathrm{a} &= \frac{1}{R+\mathrm{j}\omega L}+\mathrm{j}\omega C \\ &= \frac{R}{R^2+\omega^2L^2}-\mathrm{j}\frac{\omega L}{R^2+\omega^2L^2}+\mathrm{j}\omega C \\ Y_\mathrm{b} &= \frac{1}{R_\mathrm{p}}-\mathrm{j}\frac{1}{\omega L_\mathrm{p}}+\mathrm{j}\omega C \end{aligned} \tag{7}$$

であるから，R_p と L_p は以下の通りとなる．

$$\frac{1}{R_\mathrm{p}}=\frac{R}{R^2+\omega^2L^2} \qquad \frac{1}{\omega L_\mathrm{p}}=\frac{\omega L}{R^2+\omega^2L^2}$$

次に，Q 値を求めるときの角周波数，つまり共振角周波数 ω_0 における R_p と L_p の表式を求めよう．式 (7) の虚部 $=0$ より，

$$C=\frac{L}{R^2+\omega_0^2L^2} \quad \therefore\ R^2+\omega_0^2L^2=\frac{L}{C} \tag{8}$$

$$\therefore\ \omega_0=\frac{1}{L}\sqrt{\frac{L}{C}-R^2}=\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{L^2}} \tag{9}$$

となる．これより，R_p と L_p は以下の通りとなる．

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_\mathrm{p}} &= \frac{R}{R^2+\omega_0^2L^2}=\frac{R}{L/C}=\frac{CR}{L} \\ \frac{1}{\omega_0 L_\mathrm{p}} &= \frac{\omega_0 L}{R^2+\omega_0^2L^2}=\frac{\omega_0 L}{L/C}=\omega_0 C \end{aligned}$$

ここで，ω_0 を求める途中の式 (8) を用いた．

得られた R_p と L_p を式 (6) に代入し，式 (9) も用いると，R，L，C を用いた Q 値の表式は以下のようになる．

$$\begin{aligned} Q &= \frac{R_\mathrm{p}}{\omega_0 L_\mathrm{p}}=\omega_0 CR_\mathrm{p}=\omega_0 C\frac{L}{CR}=\frac{\omega_0 L}{R} \\ &= \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}-R^2} \end{aligned}$$

この Q 値の表式は，エネルギー方式で求めた Q 値の表式と一致している．

課題　等価変換で求めた Q 値の妥当性

前課題の等価変換で Q 値を求めることの妥当性を検討せよ．

略解

抵抗とリアクタンスの直列⇔並列の等価変換前後において以下が成り立つからである．[*2]

- 抵抗での有効電力は同じ．
- リアクタンスでの無効電力は同じ．

- 抵抗での一周期の消費エネルギーは同じ．
- リアクタンスの最大保持エネルギーは同じ．

*2 抵抗とリアクタンスの直列⇔並列の等価変換前後における各回路素子の電力波形・エネルギー波形の詳細については，「直列と並列の等価変換（R と L）」，「直列と並列の等価変換（R と C）」を参照されたし．

課題 RL 直列 C 並列回路の Q 値（半値幅方式）

図 3 に示した RL 直列 C 並列回路の Q 値を，半値幅方式の Q 値の定義に基づいて求めよ．

略解

半値幅方式の Q 値の定義式は次式の通りである．

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} \tag{10}$$

分子の ω_0 は式 (2) で与えられる．一方，分母の $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ における ω_1 と ω_2 は

$$|Y| = \sqrt{2}\,|Y(\omega_0)|$$

となる ω である．RL 直列 C 並列回路の Y は式 (1) で与えられ，$Y(\omega_0)$ は式 (3) で与えられる．したがって，次式を解く必要がある．

$$\sqrt{\left(\frac{R}{R^2+\omega^2L^2}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2+\omega^2L^2}\right)^2} = \frac{CR}{L}\sqrt{2}$$

これを満たし，$0 < \omega_1 < \omega_0 < \omega_2$ となる ω_1，ω_2 を求めるのはかなり面倒であるが，以下のような解が得られる．[*3]

$$\begin{matrix}\omega_1[-] \\ \omega_2[+]\end{matrix} = \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{1}{2}\frac{R^2}{L^2} \mp \frac{R^2}{L^2}\sqrt{\frac{L}{CR^2} + \frac{9}{4}}} \tag{11}$$

この解の式から，半値幅方式で得られる Q 値の式がエネルギー方式で得られる Q 値の式［式 (4)］と一致しないことがわかる．

ただし，回路の Q 値がある程度大きい場合には，式 (11) から得られる $\Delta\omega$ が，エネルギー方式の Q 値を式 (10) に代入して得られる $\Delta\omega$ と近似的に等しくなる．つまり，Q 値がある程度大きい場合には，エネルギー方式と半値幅方式の Q 値は近似的に一致する．以下では，そのことを示す．

まず，

$$k = \frac{R}{L}$$

とする．さらに，式 (2) と式 (4) を用いると，式 (11) は以下のように書き換えられる．

$$\begin{matrix}\omega_1[-] \\ \omega_2[+]\end{matrix} = \sqrt{\omega_0^2 + k^2\left(\frac{3}{2} \mp \sqrt{Q^2 + 1 + \frac{9}{4}}\right)} \tag{12}$$

ここで，Q はエネルギー方式の Q 値である．$1 \ll Q$ である場合には，以下のような近似が成り立つ．

$$\frac{3}{2} \pm \sqrt{Q^2 + 1 + \frac{9}{4}} \;\approx\; \frac{3}{2} \pm Q \;\approx\; \pm Q$$

この近似を式 (12) に適用し，式 (4) より，

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0}{k} \quad \therefore\ k^2 Q = \frac{k^2Q^2}{Q} = \frac{\omega_0^2}{Q}$$

であることを用いると，以下のようになる．

$$\begin{aligned}\begin{matrix}\omega_1[-] \\ \omega_2[+]\end{matrix} &= \sqrt{\omega_0^2 \mp k^2 Q} = \sqrt{\omega_0^2 \mp \frac{\omega_0^2}{Q}} \\ &= \omega_0\sqrt{1 \mp \frac{1}{Q}} \\ &\approx \omega_0\left(1 \mp \frac{1}{2}\frac{1}{Q}\right) = \omega_0 \mp \frac{1}{2}\frac{\omega_0}{Q} = \omega_0 \mp \frac{1}{2}k\end{aligned}$$

最後の式変形では，$1 \ll Q$ であることを用いて，テーラー展開の第 2 項までの近似を行った．これより，

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 \approx k = \frac{R}{L}$$

となる．つまり，Q 値が十分に大きい場合には，エネルギー方式で得られた Q 値から逆算した $\Delta\omega$ と半値幅方式で得られる $\Delta\omega$ は近似的に一致する．言い換えると，Q 値が十分に大きい場合には，エネルギー方式の Q 値と半値幅方式の Q 値は近似的に一致する．以下では，この近似の程度を数値計算によって確認する．

[*3] Wolfram alpha の助けを借りる．

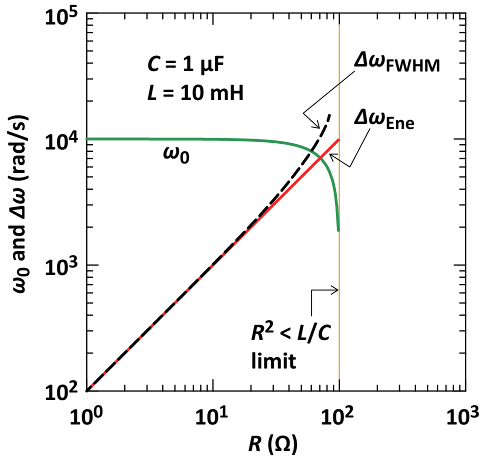

図 7 RL 直列 C 並列回路の $\Delta\omega$ の定義式依存性.

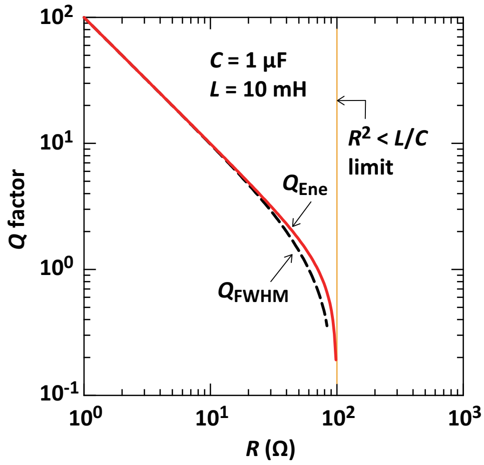

図 8 RL 直列 C 並列回路の Q 値の定義式依存性.

図 7 は，ω_0，半値幅方式の $\Delta\omega$，エネルギー方式の $\Delta\omega$ を $C = 1\ \mu$F，$L = 10$ mH，$R = 1 \sim 10^3\ \Omega$ として計算した結果である．この図から，$R < 10\ \Omega$（つまり，$10 < Q$）であれば，エネルギー方式の Q 値から逆算した $\Delta\omega$ が，半値幅方式で得られる $\Delta\omega$ の良い近似になっていることがわかる．

図 8 は，半値幅方式とエネルギー方式の Q 値を $C = 1\ \mu$F，$L = 10$ mH，$R = 1 \sim 10^3\ \Omega$ として計算した結果である．この図から，$R < 10\ \Omega$（つまり，$10 < Q$）であれば，エネルギー方式の Q 値が，半値幅方式で得られる Q 値のよい近似になっていることがわかる．