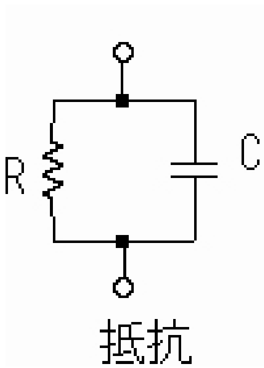
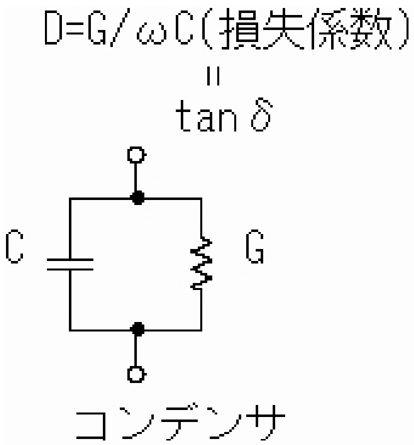
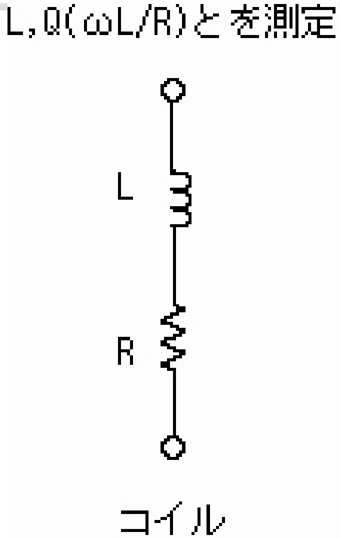
電子計測　第10回目　講義資料

杉本　泰博

高周波における抵抗、コンデンサ、インダクタ

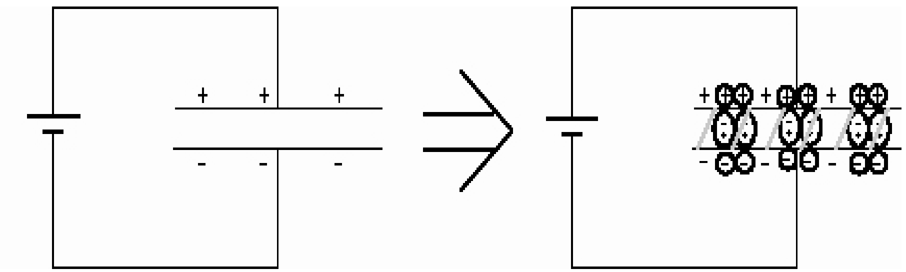






高周波においては、単なる抵抗、コンデンサ、インダクタではない。

例えばコンデンサ

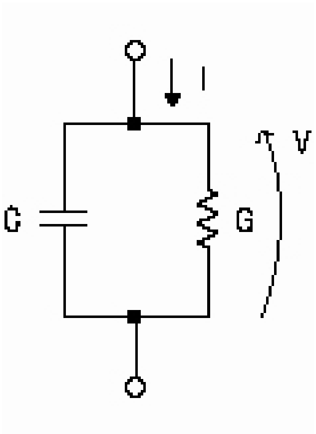


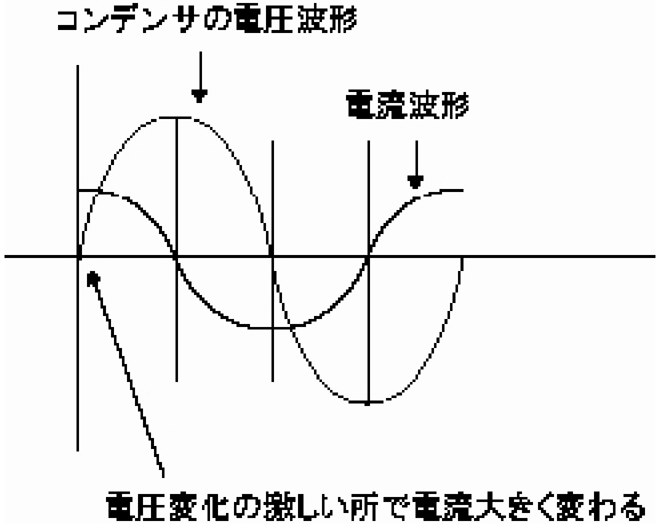
誘電分極には必ず時間遅れを伴う。

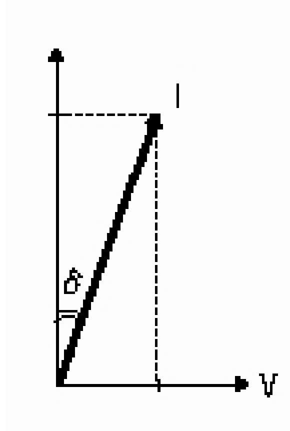
↓

あたかも抵抗する力があるようで、電力損(誘電損)を伴う。

コンデンサ

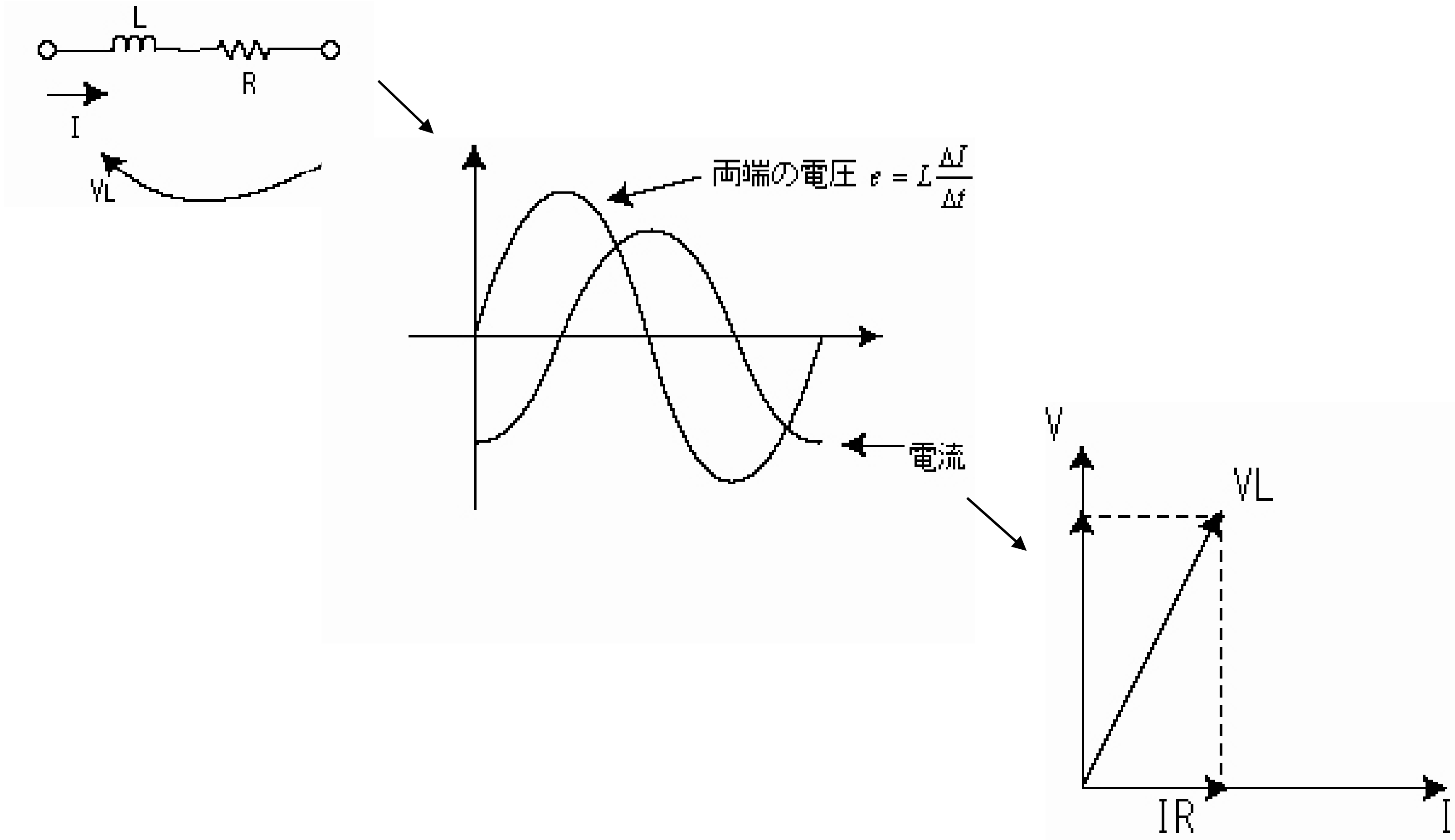






$$
\begin{aligned}
I &= GV + j\omega CV \\
&= (G + j\omega C)V = \left(\frac{1}{R} + j\omega C\right)V \\
&= \omega C\left(\frac{G}{\omega C} + j\right)V
\end{aligned}
\longrightarrow \quad \tan\delta = \frac{G}{\omega C}
$$

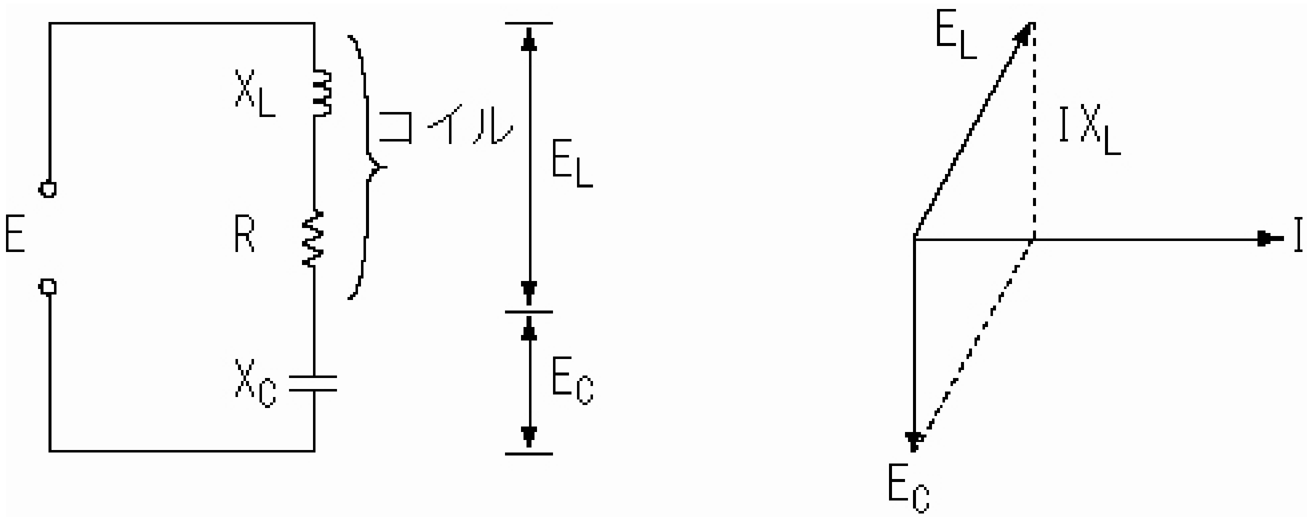
インダクタ



練習問題10．1　Qメータ (Q meter)

LC共振回路のQを直読できる。

ブリッジに比し確度は低いが、簡便さと周波数範囲が広いことを特徴とする



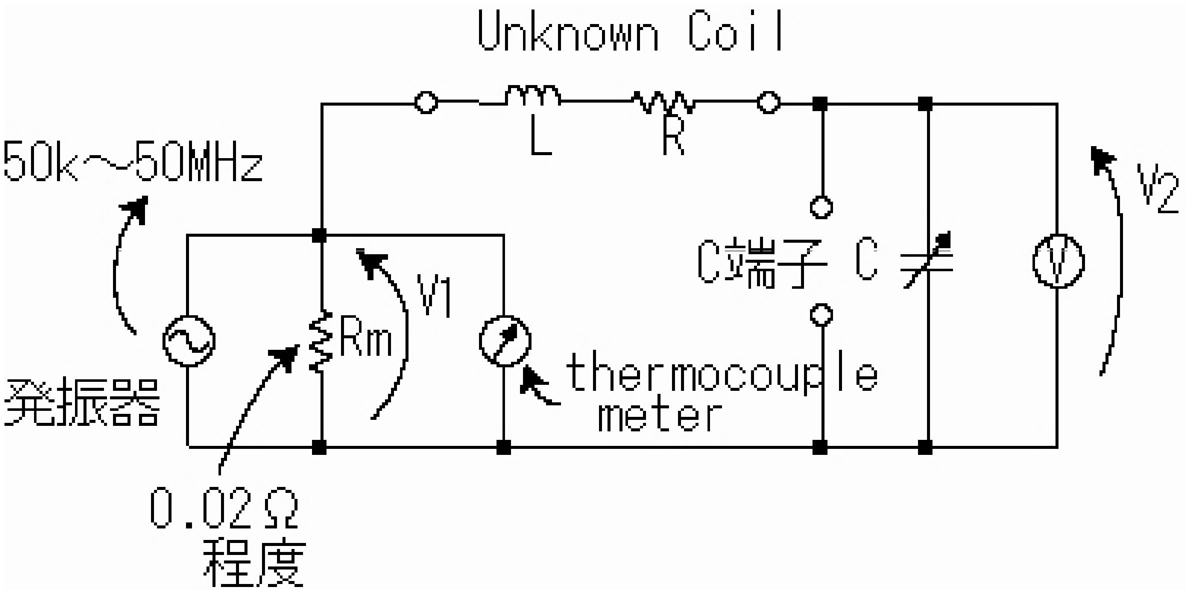
共振状態では、

$$X_L = X_C$$

$$I = \frac{E}{R}$$

問題：　直列共振回路のQ値を計算しなさい。

コイルの測定



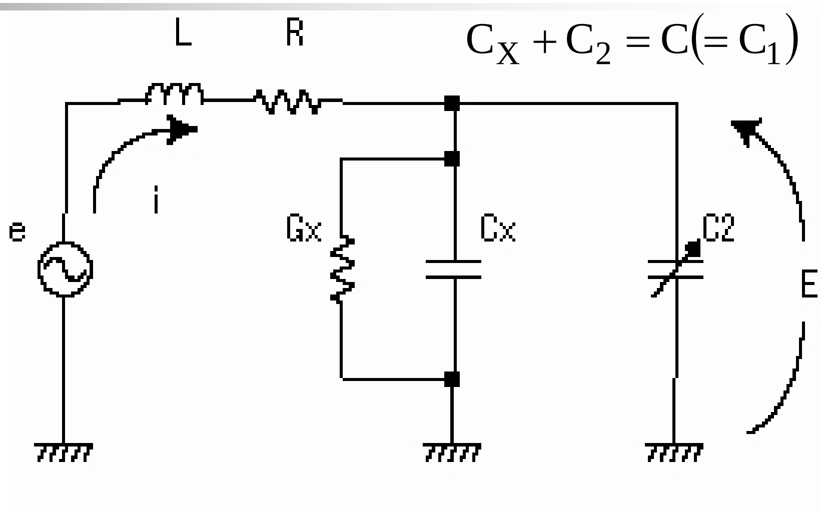
V2が最大となるように同調コンデンサCを調整する。

Q=V2/V1

$$X_L = X_C より、L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}[H]$$

$$Q = \frac{1}{\omega CR} より、R = \frac{1}{(2\pi f)CQ}[\Omega]$$

コンデンサの測定その1



$$C_X + C_2 = C(= C_1)$$

$$i = \frac{e}{j\omega L + R + \dfrac{1}{G_X + j\omega C}} = \frac{(G_X + j\omega C)}{1 + (R + j\omega L)(G_X + j\omega C)} e$$

$$= \frac{(G_X + j\omega C)}{(1 + G_X R - \omega^2 LC) + j\omega(G_X L + RC)} e$$

$$= \frac{G_X(1 + G_X R - \omega^2 LC) + \omega^2 C(G_X L + RC) + j\omega\{C(1 + G_X R - \omega^2 LC) - G_X(G_X L + RC)\}}{(1 + G_X R - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 (G_X L + RC)^2} e$$

共振時には、虚数項＝0となる。

$C(1 + G_X R - \omega^2 LC) - G_X(G_X L + RC) = 0$より、

$$1 + G_X R - \omega^2 LC = \frac{G_X}{C}(G_X L + RC)$$

これを上式に代入して整理すると、

$$i = \frac{e}{R + \dfrac{L}{C} G_X}$$

コンデンサの測定その2

$$\therefore |E| = \frac{e}{R + \frac{L}{C}G_X} \times \left| \frac{1}{G_X + j\omega C} \right| = \frac{1}{R + \frac{L}{C}G_X} \times \frac{1}{\sqrt{{G_X}^2 + (\omega C)^2}} e$$

C=C1であるから、 $Q_2 = \frac{|E|}{e} = \frac{1}{\left(R + \frac{L}{C_1}G_X\right)\sqrt{{G_X}^2 + (\omega C_1)^2}}$

なお、$Q_1 = \frac{1}{\omega C_1 R}$である事より、$\omega C_1 = \frac{1}{Q_1 R}$なので、$G_X << \omega C_1$と仮定すれば、

$Q_2 = \frac{1}{\left(R + \frac{L}{C_1}G_X\right) \times \frac{1}{Q_1 R}}$と表される。

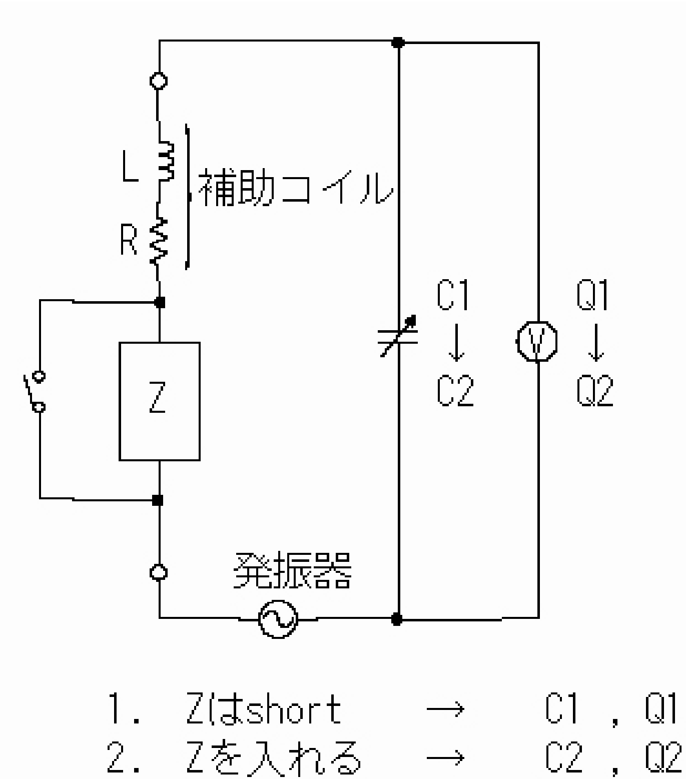
これより、$\frac{LG_X}{RC_1} = \frac{Q_1}{Q_2} - 1 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2}$、

$$G = \frac{RC_1}{L} \times \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} = \omega^2 {C_1}^2 R \times \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} = \omega C_1 \times \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2}$$

但し、$\omega^2 = \frac{1}{LC_1}$($Q_1$における共振条件)、および$\omega C_1 R = \frac{1}{Q_1}$を使用。

したがって、$D_X = \frac{G_X}{\omega C_X} = \frac{1}{\omega(C_1 - C_2)} \times \omega C_1 \times \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2} = \frac{C_1(Q_1 - Q_2)}{(C_1 - C_2)Q_1 Q_2}$

低インピーダンス (コイルに直列に接続)



1.の場合　$X_{C1} = X_L$ つまり $\dfrac{1}{\omega C_1} = \omega L$ であるから、

$$Q_1 = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{\omega C_1 R}$$

2.の場合　リアクタンスの変化は、

$$X_S = \frac{1}{\omega C_2} - \frac{1}{\omega C_1} = \frac{C_1 - C_2}{\omega C_1 C_2}$$

$C_1 > C_2$ ならインダクティブ、
$C_1 < C_2$ ならキャパシティブ、と考えられる。

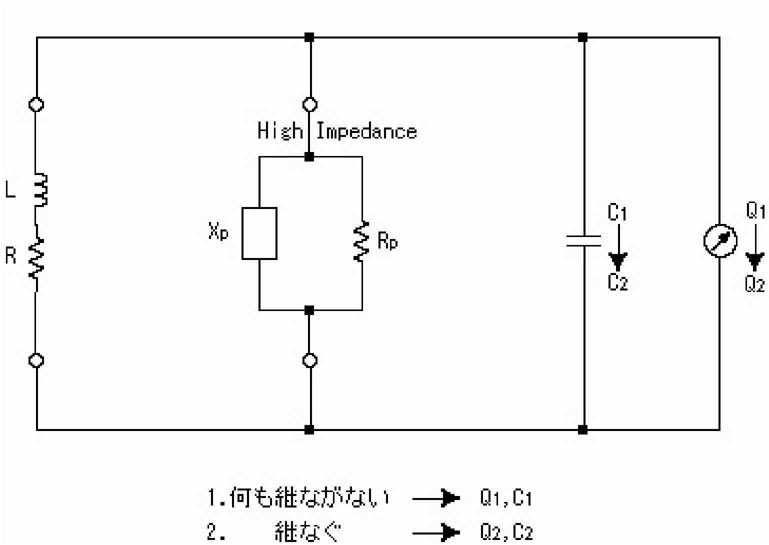
$R = \dfrac{X}{Q}$ であるから、抵抗の変化分 R_S は、

$$R_S = R_2 - R_1 = \frac{1}{\omega C_2 Q_2} - \frac{1}{\omega C_1 Q_1} = \frac{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}{\omega C_1 C_2 Q_1 Q_2}$$ となる。

Zが純抵抗の場合、$C_1 = C_2 = C$ であるから、

$$R_S = \frac{Q_1 - Q_2}{\omega C Q_1 Q_2}$$ である。

高インピーダンス (並列に接続) その1



1.の場合 $\omega L = \dfrac{1}{\omega C_1}$ なので、$Q_1 = \dfrac{\omega L}{R} = \dfrac{1}{\omega C_1 R}$

2.の場合 $X_L = \dfrac{X_{C2} X_P}{X_{C2} + X_P}$ $(X_{C2} // X_P)$より、

$$X_P = \frac{X_{C2} X_L}{X_{C2} - X_L} \quad (X_{C2} = \frac{1}{\omega C_2}、 X_L = X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1})$$

$$= \frac{1}{\omega (C_1 - C_2)}$$

X_Pがインダクティブの場合$(= \omega L_P)$、$L_P = \dfrac{1}{\omega^2 (C_1 - C_2)}$

X_Pがキャパシティブの場合$(= \dfrac{1}{\omega C_P})$、$C_P = C_1 - C_2$

並列共振回路の抵抗成分は共振時、$R_T = Q_2 X_L (= Q_2 X_{C1} = \dfrac{Q_2}{\omega C_1})$で表される。

R_Pを求めるためにコンダクタンスを計算する。

G_T : 全コンダクタンス、 G_P : 未知部分のコンダクタンス、
G_L : コイルのコンダクタンス

$G_T = G_P + G_L$、つまり$G_P = G_T - G_L$である。

高インピーダンス（並列に接続）その2

$$G_T = \frac{1}{R_T} = \frac{\omega C_1}{Q_2}$$

$$R_P = \frac{\omega C_1}{Q_2} - \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} = \frac{\omega C_1}{Q_2} - \left(\frac{1}{R}\right)\frac{1}{1 + \omega^2 L^2 / R^2}$$

$$= \frac{\omega C_1}{Q_2} - \frac{1}{R Q_1{}^2} = \frac{\omega C_1}{Q_2} - \frac{\omega C_1}{Q_1} \quad (Q_1 = 1/\omega CR)$$

$$\therefore R_P = \frac{Q_1 Q_2}{\omega C_1 (Q_1 - Q_2)}$$

コイルはLとRが直列、アドミタンスは、

$$Y_L = \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{R - j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\frac{-\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$ だから、

コンダクタンスは、$\dfrac{R}{R^2 + \omega^2 L^2}$