

CVT(コンデンサ分圧型計器用変圧器)

直列接続した2個のコンデンサによる電圧分割(分圧)により、高電圧から、それに比例する低電圧を取り出そうとすると、低圧側の計器なり継電器なりのインピーダンスがあるため単純な分圧回路では誤差が生じる。

この対策として、2個のコンデンサの和容量と商用周波数で共振するインダクタンス L を採用することにより、正確に容量比に分圧することができる。

ただし、実際の回路では、変圧器を介在させるのでインダクタンスの抵抗分と変圧器の漏れインピーダンスによる誤差が生じる。

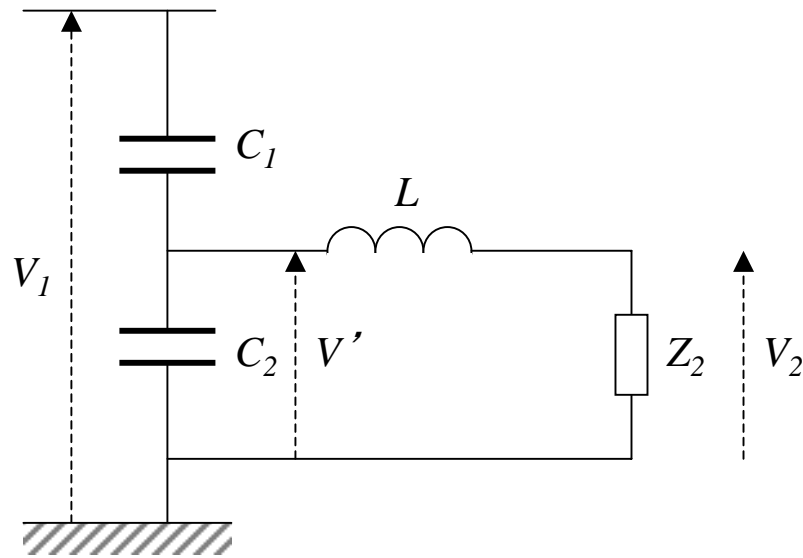


図 a

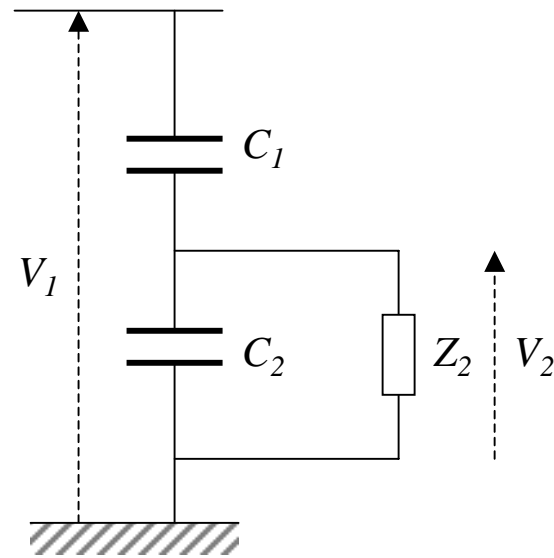


図 b

分圧の原理は図bで Z_2 を ∞ として、
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2}}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2}}} \approx \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$
 である。図bの方が単純でよいように

見えるが、負荷 Z_2 の値に影響される。また Z_2 が ∞ ではないために誤差が生じる。これに対し、図aでは、 L と $(C_1 + C_2)$ を角周波数 ω で共振させると、

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V'}{V_1} \times \frac{V_2}{V'} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L}}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L}}} \times \frac{Z_2}{Z_2 + j\omega L} = \frac{1}{\frac{C_1 + C_2}{C_1} + \frac{1 - \omega^2 L(C_1 + C_2)}{Z_2 j\omega C_1}} \dots (1) \text{ 次ページ参照}$$

共振条件から、 $1 - \omega^2 L(C_1 + C_2) = 0$ であるから分母の第2項が0で、
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$
 となり Z_2 に無関係に容量比になる。

(1)式の導出説明

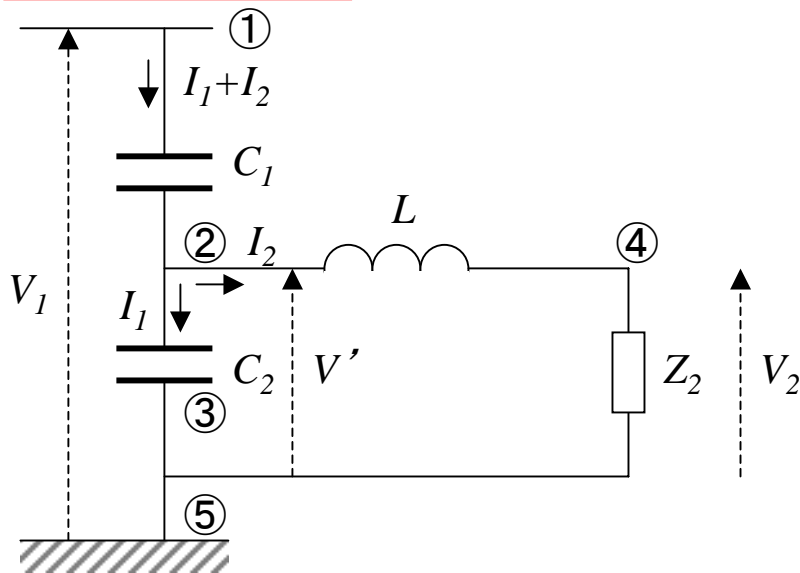


図 a

(1)式の導出 同一電流が流れる直列回路の電圧分布はインピーダンスに比例するから、

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V'}{V_1} \times \frac{V_2}{V'} = \frac{Z_{25}}{Z_{15}} \times \frac{Z_{45}}{Z_{245}},$$

Z_{15} は、 Z_{12} と、 $Z_{25} = Z_{235} // Z_{245}$ ($//$ は並列) が直列

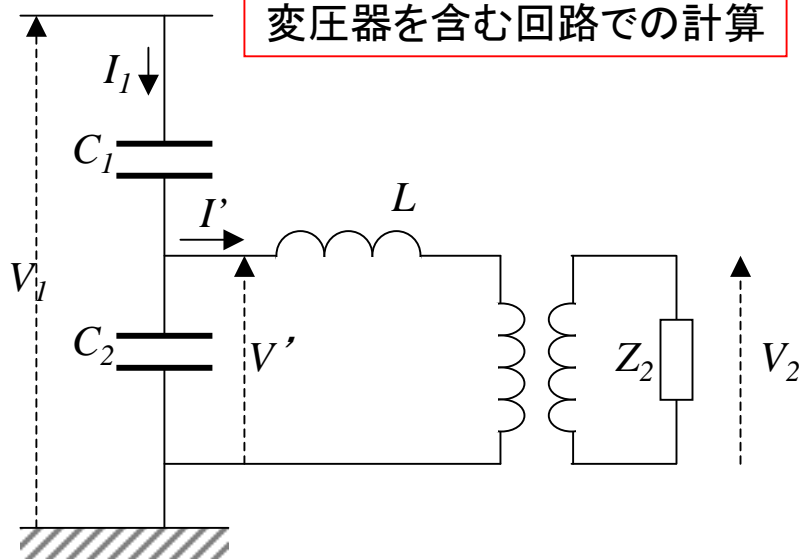
$$Z_{15} = \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L}},$$

$$Z_{25} = \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L}}, \quad Z_{245} = Z_2 + j\omega L, \quad Z_{45} = Z_2$$

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{V_1} &= \frac{V'}{V_1} \times \frac{V_2}{V'} = \frac{Z_{25}}{Z_{15}} \times \frac{Z_{45}}{Z_{245}} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L}}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L}}} \times \frac{Z_2}{Z_2 + j\omega L} = \frac{j\omega C_1}{j\omega C_2 + \frac{1}{Z_2 + j\omega L} + j\omega C_1} \times \frac{Z_2}{Z_2 + j\omega L} \\ &= \frac{j\omega C_1 Z_2}{j\omega(C_1 + C_2)(Z_2 + j\omega L) + 1} = \frac{j\omega C_1 Z_2}{j\omega(C_1 + C_2)Z_2 + 1 + j\omega L j\omega(C_1 + C_2)} = \frac{j\omega C_1 Z_2}{j\omega(C_1 + C_2)Z_2 + \{1 - \omega^2 L(C_1 + C_2)\}} \\ &= \frac{1}{(C_1 + C_2)/C_1 + \{1 - \omega^2 L(C_1 + C_2)\}/(j\omega C_1 Z_2)} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \text{ at } 1 - \omega^2 L(C_1 + C_2) = 0, \end{aligned}$$

分圧比は負荷 Z_2 に無関係となるが、 ω が変動すると(高調波など)その影響を受ける。

変圧器を含む回路での計算



図c 実際の回路は変圧器を含む

図cのうちコンデンサ部分を図dに示す。
図dの等価回路として以下のようにして、
図eが得られる。

図dで、

$$V_1 = Z_{11}I_1 - Z_{12}I' \dots (2)$$

$$V' = Z_{21}I_1 - Z_{22}I' \dots (3)$$

と置くと、順次、 $I' = 0, I_1 = 0$ と置き、

$$Z_{11} = \left(\frac{V_1}{I_1} \right)_{I'=0} = \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2},$$

$$Z_{21} = \left(\frac{V'}{I_1} \right)_{I'=0} = \frac{1}{j\omega C_2}$$

$$Z_{12} = \left(\frac{V_1}{-I'} \right)_{I_1=0} = \frac{1}{j\omega C_2}$$

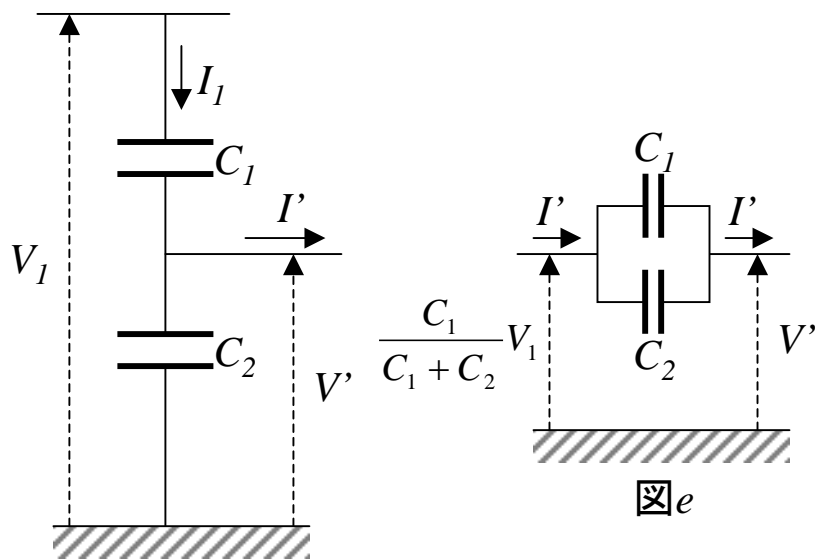
$$Z_{22} = \left(\frac{V'}{-I'} \right)_{I_1=0} = \frac{1}{j\omega C_2}$$

が得られる。 V_1, V' の式から、 $(3) \times Z_{11} - (2) \times Z_{21}$ として
 I_1 を消去すると、

$$V'Z_{11} - V_1Z_{21} = (Z_{12}Z_{21} - Z_{11}Z_{22})I' \text{ から、}$$

$$V' = \frac{Z_{21}}{Z_{11}}V_1 - \left(Z_{22} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{11}} \right) I'$$

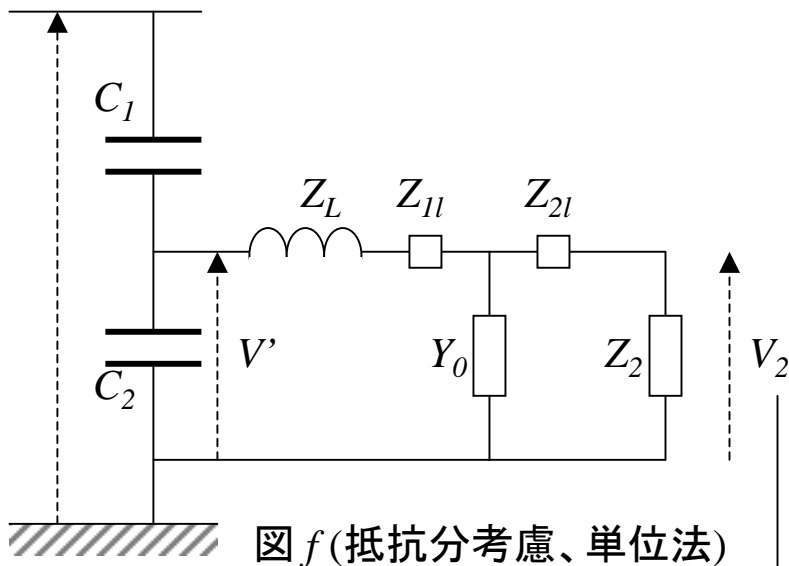
$$V' = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_1 - \frac{I'}{j\omega(C_1 + C_2)} \text{ が得られ、図eとなる。}$$



図d



図e



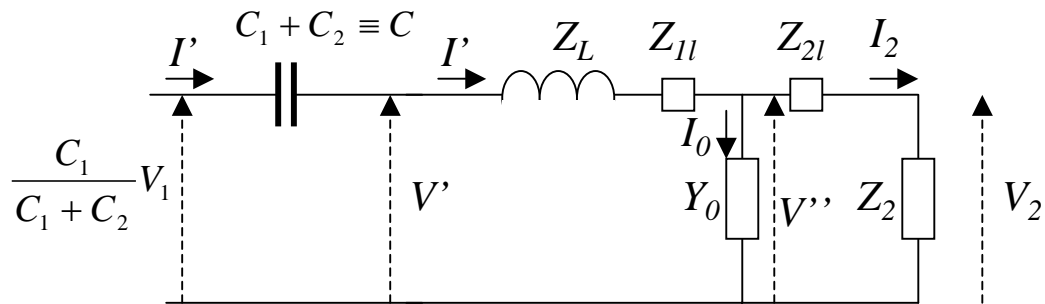
図f(抵抗分考慮、単位法)

図fでコンデンサ部分を前頁の置き換えで書き換えると図gになる。

同図でインピーダンス比から電圧比を求めると

$$\frac{C_1}{C} \frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{1}{j\omega C} + Z_L + Z_{1l} + \frac{1}{Y_0 + \frac{1}{Z_{2l} + Z_2}}}{\frac{1}{Y_0 + \frac{1}{Z_{2l} + Z_2}} \times \frac{Z_2}{Z_{2l} + Z_2}}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{j\omega C} + Z_L + Z_{1l}\right)\{1 + Y_0(Z_{2l} + Z_2)\} + (Z_{2l} + Z_2)}{Z_2}$$



図g 等価回路(単位法表示)

$$\frac{C_1}{C} \frac{V_1}{V_2} = \frac{\left(Z_L + \frac{1}{j\omega C}\right)\{1 + Y_0(Z_{2l} + Z_2)\} + Z_{1l} + (1 + Y_0 Z_{1l})(Z_{2l} + Z_2)}{Z_2}$$

ここで、 $Z_L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ 、共振

条件から $Z_L + \frac{1}{j\omega C} = R$ となる。

$$\frac{C_1}{C} \frac{V_1}{V_2} = \frac{R\{1 + Y_0(Z_{2l} + Z_2)\} + Z_{1l} + (1 + Y_0 Z_{1l})(Z_{2l} + Z_2)}{Z_2}$$

$$= 1 + Y_0 \left(Z_{1l} + R + \frac{RZ_{2l}}{Z_2} \right) + \frac{R + Z_{1l} + Z_{2l}}{Z_2}$$

$$\approx 1 + Y_0(Z_{1l} + R) + \frac{R + Z_{1l} + Z_{2l}}{Z_2}$$

$$\therefore \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{C_1 + C_2}{C_1} \left\{ 1 + \left(Y_0 Z_{1l} + \frac{Z_{1l} + Z_{2l}}{Z_2} \right) + R \left(Y_0 + \frac{1}{Z_2} \right) \right\}$$

誤差