

【 問題 】

静電容量型変位計に関する次の解説を読んで、下記の設問に答えよ。

【解説】

図1に示したような対向する2つの平行平板でできたコンデンサの静電容量は、電極間隔によって変化する。電極の変位がゼロのときの電極間隔を x_0 、そのときの静電容量を C_0 とすると、変位が電極間隔を狭める方向に Δx 生じたときの静電容量 C は、

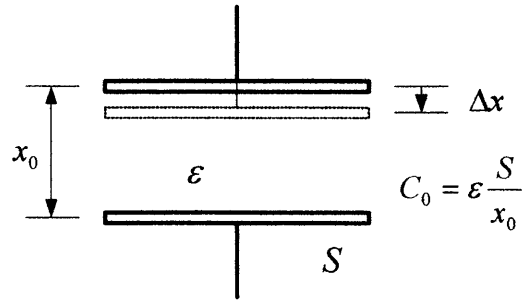


図1 平行平板コンデンサ

$$C = C_0 \boxed{\text{(ア)}} \quad (1)$$

で与えられる。静電容量型変位計は、この容量変化を、図2に示したような回路によって電圧変化として検出するものである。この回路からわかるとおり、変位がゼロの初期平衡状態において、電極間はバイアス電源(電圧 E_B)によって充電されている。電極間に溜まっている電荷の量は、

$$q_0 = C_0 E_B \quad (2)$$

である。変位が生じると静電容量 C が変化するために平衡状態が崩れて、電荷に過不足 Δq が生じる。

$$q = q_0 + \Delta q \quad (3)$$

その過不足分 Δq を補償するように回路に電流 i が流れることになる。この電流を抵抗 R 両端に生じる電位降下 e_0 として検出することで、その原因たる電極の変位 Δx を計測するのである。

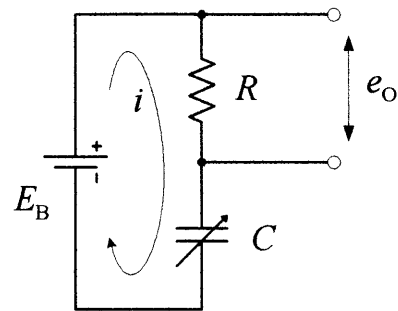


図2 静電容量変位計の回路

変位 Δx と出力電圧 e_0 の関係の詳細に見てみよう。まず、コンデンサの電圧を e_c とおくと、

$$e_0 = R i = E_b - e_c \quad (4)$$

が成り立つ。一方、コンデンサの電圧は $e_c = q/C$ であるから、これに式(1)、式(3)を代入し、式(2)を考慮すると、

$$e_c = \frac{q}{C} = E_B \left(\boxed{\text{(イ)}} \right) \left(\boxed{\text{(ウ)}} \right) \quad (5)$$

が成り立つ。この式(5)を式(4)に代入し、 $\Delta q/q_0$ や $\Delta x/x_0$ が微小であるとすると、近似的に

$$R i = \boxed{\text{(エ)}} \Delta q + \boxed{\text{(オ)}} \Delta x \quad (7)$$

なる関係式が成り立つ。電荷の増分 Δq は電流 i の積分値であることを考慮すると、電流 i と変位 Δx の関係が、ラプラス変換上で

$$i(s) = \boxed{\text{(カ)}} \Delta x(s) \quad (8)$$

と表せることがわかる。 $e_0 = R i$ を再度考慮すると、電極の変位 Δx と出力電圧 e_0 の関係を決める伝達関数は、

$$\frac{e_0}{\Delta x}(s) = K \frac{\tau s}{\tau s + 1} \quad \left(\text{ここで、} \tau = \boxed{\text{(キ)}} \text{, } K = \boxed{\text{(ク)}} \text{とおいた} \right) \quad (9)$$

となることがわかる。したがって、その周波数応答特性は、

$$\frac{e_o}{\Delta x}(\omega) = K \boxed{\text{(ケ)}} \quad \left(\text{ここで、} \omega_c = \frac{1}{\tau} \text{ とおいた} \right) \quad (10)$$

と表される。変位 Δx が、ごく低周波の変動である場合には、

$$\omega \ll \omega_c \Rightarrow \text{振幅比: } \left| \frac{e_o}{\Delta x} \right| \cong \boxed{\text{(コ)}}, \text{ 位相差: } \angle \frac{e_o}{\Delta x} \cong \boxed{\text{(サ)}} \quad (11)$$

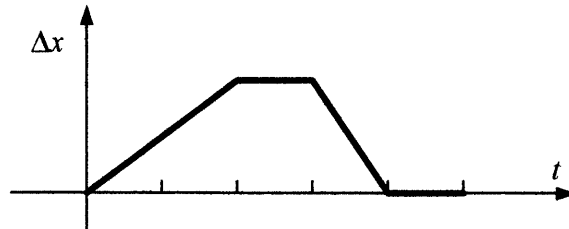
が成り立つ。一方、高周波の変動である場合には、

$$\omega \gg \omega_c \Rightarrow \text{振幅比: } \left| \frac{e_o}{\Delta x} \right| \cong \boxed{\text{(シ)}}, \text{ 位相差: } \angle \frac{e_o}{\Delta x} \cong \boxed{\text{(ス)}} \quad (12)$$

が成り立つ。よって、静電容量型変位計の入出力特性は、 $\boxed{\text{(セ)}}$ フィルタの特性をもつといえる。

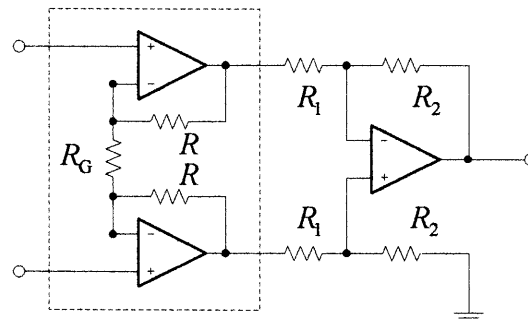
【問題】

- 1) 文章中の式の空欄ア～セに、適当な式、または語句を入れなさい。
- 2) 式(10)で与えられる周波数応答特性の概略を図示しなさい。なお、振幅特性 $|e_o/\Delta x|$ は、両対数で、位相特性 $\angle(e_o/\Delta x)$ は片対数で図示するものとする。
- 3) 式(11)の関係が成立する程度に十分ゆっくりした速度で、変位 Δx に下図のような変化を与えたとき、出力電圧 e_o がどのような変化をするか、図示しなさい。(なお、応答を正確に計算する必要はなく、その概略を Δx の変化に対応させて示すだけでよい。)



- 4) 式(12)の関係が成立する周波数範囲での具体的な変位計測について考える。初期の電極間隔 x_0 は正確に 1mm で製作されているとする。また、バイアス電源 $E_B = 5.0$ (V) を用いるものとする。いま、変位計からの出力電圧 e_o を記録器へ導くために、下図のようなオペアンプを使った増幅回路を挿入するとき、次の問いに答えなさい。

- a) 入力段に破線で囲んだアンプ部分が必要なのはなぜか、説明しなさい。
- b) 変位 $1 \mu\text{m}$ に対して電圧 1V が出力されるようにしたい。図中の抵抗 R_G を何 Ω に設定しなくてはならないか？(有効数字 3 桁で答えなさい)



$R = 47 \text{ k}\Omega$
 $R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$