

問題 F

図1のように、半径 a の導体 A、半径 b の接地された導体 B からなる同軸円筒ケーブルがある ($a < b$)。このケーブルの導体 AB 間の絶縁を、固体絶縁材料あるいは窒素ガスでとる場合について考えてみよう。

最初に、導体 A と導体 B の間に誘電率 ϵ 、絶縁破壊電界 E_b の固体絶縁材料を詰めて絶縁をとった。このとき、以下の問に答えよ。

- (1) 導体 A に電圧 V を印加すると、導体 A に単位長さあたり電荷密度 q の電荷が発生した。このとき、中心軸から距離 r ($a \leq r \leq b$) における電界の大きさを q を用いて表せ。
- (2) 問(1)で求めた電界の大きさを、 V を用いて表せ。
- (3) 導体 B の半径 b を固定値として、導体 A の半径 a は自由に設定できるとする。このとき、導体 AB 間の絶縁破壊電圧が最大になるような半径 a の値を求めよ。

次に、導体 AB 間の固体絶縁材料を窒素ガスに置き換えて、窒素ガスで絶縁をとった。窒素ガスの絶縁破壊について、以下の問に答えよ。

- (4) 窒素ガス中の放電において、電子の平均速度を v_e 、電子と窒素分子の密度をそれぞれ n_e 、 n_g 、電子と窒素分子の衝突断面積を σ とする。このとき、次の文章の下線部(i)~(iii)の関係式を完成させよ。ただし、窒素分子の平均速度は v_e より十分小さいと仮定する。

「電子の平均自由行程 λ_e と、電子の窒素分子に対する衝突周波数 f_c の間には、
 $\lambda_e =$ (i) _____ の関係が成立する。また、 f_c と n_g の間には $f_c =$ (ii) _____ の関係がある。よって、 λ_e と n_g の関係は $\lambda_e =$ (iii) _____ で表される。」

- (5) 窒素ガスの圧力を大気圧から大幅に増加させると、導体 AB 間の絶縁破壊電圧は増加した。また、圧力を大気圧から大幅に減少させた場合も、絶縁破壊電圧は増加した。それぞれの理由を説明せよ。

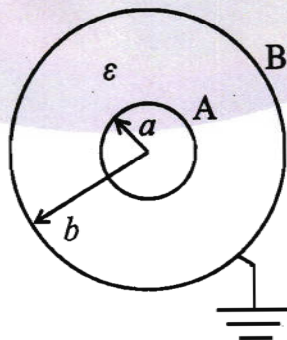


図1

Problem F

Figure 1 shows a coaxial cylindrical cable composed of conductor A of radius a and grounded conductor B of radius b ($a < b$). Let us consider insulation between conductors A and B of the cable using a solid dielectric material or nitrogen gas.

First, the space between conductors A and B is filled with a solid dielectric material of permittivity ϵ and breakdown field strength E_b for the insulation. Answer the following questions.

- (1) When a voltage V is applied to conductor A, a charge with a charge density q per unit length is induced on conductor A. Express the electric field strength at a distance r ($a \leq r \leq b$) from the center axis of the cable in terms of q .
- (2) Express the electric field strength in Question (1) in terms of V .
- (3) Let us assume that the radius b of conductor B is a fixed value and the radius a of conductor A is variable. Find the radius a that maximizes the breakdown voltage between conductors A and B.

Next, the solid dielectric material between conductors A and B is replaced with a nitrogen gas as an insulator. Answer the following questions on breakdown phenomena in the nitrogen gas.

- (4) In the nitrogen-gas discharge, let v_e be the average electron velocity, n_e and n_g be the densities of electrons and nitrogen molecules, respectively, and σ be the collision cross-section between electrons and nitrogen molecules. Assume that the average velocity of nitrogen molecules is sufficiently lower than v_e . Complete the equations in (i) to (iii) in the following description.

“The relation between the mean free path of electrons, λ_e , and the collision frequency of electrons with nitrogen molecules, f_e , is expressed as $\lambda_e =$ (i) _____. The relation between f_e and n_g is expressed as $f_e =$ (ii) _____. Therefore, the relation between λ_e and n_g is expressed as $\lambda_e =$ (iii) _____.”

- (5) When the pressure of the nitrogen gas is significantly increased from the atmospheric pressure, the breakdown voltage between conductors A and B increases. Also when the pressure is significantly decreased from the atmospheric pressure, the breakdown voltage increases. Describe the reasons for both cases.

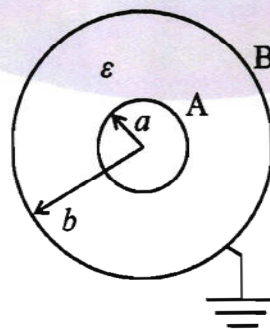


Fig. 1