

渦電流と表皮効果 (演習問題)

v1.6 Nov.2020

凡例: ♣◇教科書 ♡演習書 ♠他文献

番号: _____ 氏名: _____

1. 渦電流の具体例を2つ以上挙げて、その原理を説明せよ。^{*1}
2. 厚みのある導体中を流れる電流 I の周波数 ω が高くなる時に生じる表皮効果について説明せよ。^{*2}
3. ♡ 銅板が電磁石の間を前後に振れるようになっている振り子がある。電磁石に巻かれたコイルのスイッチを入れると銅板の制動はとまる。なぜ銅板に制動がかかるかを説明せよ。^{*3} (演習書, 基礎 8.7)
4. ♡ 導体表面の磁界が H_0 [A/m] であるとき、導体中の磁界 H [A/m] は、表皮効果によって指数関数的に減少する。減少する割合が $1/e$ になる距離を表皮の厚さといい、 $\delta = \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$ で与えられる。ただし、 ω は高周波磁界の角周波数であり、 μ, σ はそれぞれ導体の透磁率、導電率である。高周波磁界の周波数が 1 MHz のとき、導体板が銅の場合と銀の場合の表皮の厚さを求めよ。^{*4} (演習書, 基礎 8.8)
5. ♡ アルミニウムや銅の導体円板を回転させておき、これに永久磁石を挟むと円板に制動がかかる。この現象の原理を述べよ。^{*5} (演習書, 応用 8.6)

6. ♠ 内半径 a [m], 外半径 b [m] の同軸線路において、表皮効果を考慮した場合の単位長さ当たりの抵抗 R [Ω /m] が次式で与えられることを示せ。ただし、表皮厚みは $\delta_S = \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$ [m] とする。^{*6} (岡田, マイクロ波工学, p.140)

$$R = \frac{R_S}{2\pi} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad \text{where} \quad R_S = \frac{1}{\sigma\delta_S} : \text{surface resistance}$$

$$= 0.0415\sqrt{f} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad [\Omega/\text{m}] \quad (1)$$

7. ♠ z 軸上に置かれた半径 a [m] の円柱導体に電流 I を流したとき、断面電流密度 J_z [A/m²] は次式で与えられることを示せ。ただし、 J_0, J_1 は 0 次および 1 次のベッセル関数である。^{*7} (砂川, 理論電磁気学 第3版, pp.179-184)

$$J_z = \frac{kI}{2\pi a} \frac{J_0(kr)}{J_1(ka)} \quad [\text{A}/\text{m}^2] \quad \text{where} \quad k^2 = -j\omega\mu\sigma \quad (2)$$

^{*1} 答え: トランス, IH 調理器, 人体の誘導電流など, 原理は略

^{*2} 答え: 略

^{*3} 答え: 銅板が電磁石の磁場空間に入ると, ファラデーの法則によって銅板に渦電流が発生し, フレミングの左手則から制動力がはたらく。

^{*4} 答え: 66 μm , 64.1 μm

^{*5} 答え: 円板の回転方向 φ とすると, 永久磁石の前方 φ_+ と後方 φ_- ではファラデーの法則より渦電流の向きが逆向きになる。発生した渦電流 \vec{I} と永久磁石の磁場 \vec{B} から, フレミングの左手則に従って $\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B}$ の力がはたらく。この力は円板の回転方向と逆向きにはたらくので制動力となる。

^{*6} 答え: 略

^{*7} 答え: 略