

Скін-ефект в проводах ліній надвисокої номінальної напруги

Доповідач: ст. гр. ЕС-21мп

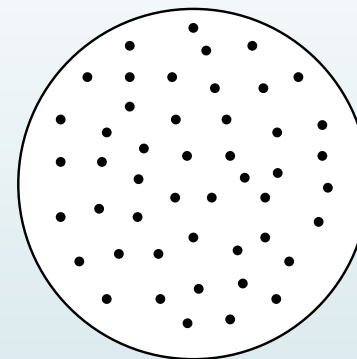
Яцура Богдан Олександрович

Київ – 2022

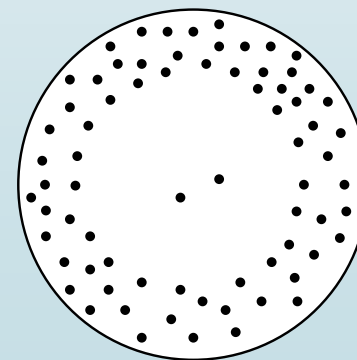
Скін-ефект

Скін-ефект – це проходження змінного електричного струму високої частоти не через увесь переріз провідника, а переважно лише в поверхневому шарі.

Розподіл щільності струму в твердому провіднику при проходженні по ньому:



а) постійного струму



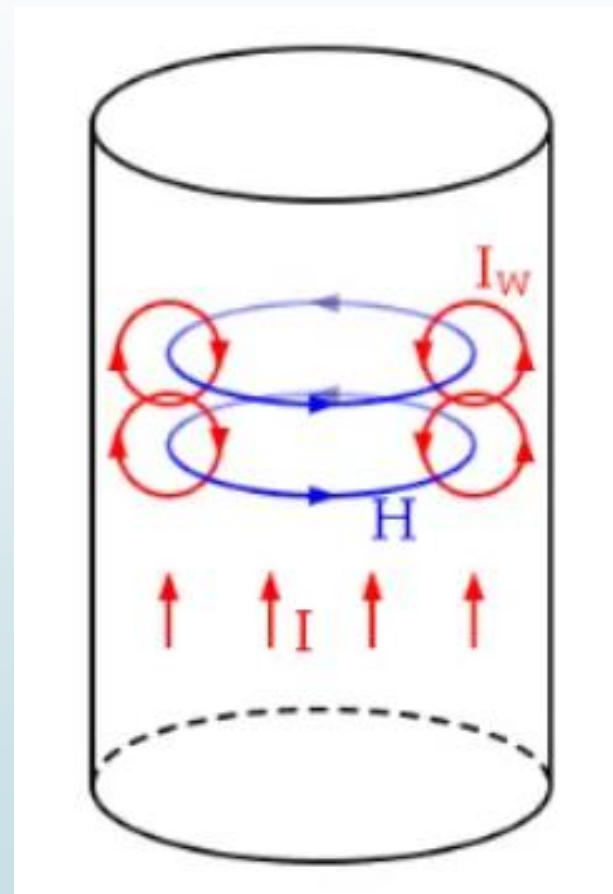
б) змінного струму

Скін-ефект залежить від таких факторів:

- **робоча частота** – скін ефект посилюється зі збільшенням частоти (в Україні промислова частота змінного струму в електромережах становить 50 Гц);
- **тип матеріалу** – скін-ефект посилюється зі збільшенням проникності матеріалу;
- **діаметр провідника** – скін-ефект збільшується зі збільшенням діаметра провідника;
- **форма провідника** – скін-ефект більший у суцільних провідниках, оскільки площа поверхні твердих провідників вища.

Механізм виникнення скін-ефекту

У випадку з змінним струмом в провіднику, відбувається його зміна в часі з одночасною зміною магнітного поля. При зміні потоку магнітного поля спостерігається поява електрорушійної сили. Саме ця ЕРС витісняє електричний струм до поверхні провідника за допомогою магнітного поля. При дуже високих частотах весь струм буде протікати тільки по тонкому шару зовнішньої частини провідника.



Електричне поле на одиницю величини струму

$$\left(\frac{E}{I}\right)_R = \operatorname{Re} \left[\frac{\rho \cdot (1-j)}{D \cdot \pi \cdot \delta} \cdot \left(\frac{J_0}{J_1} \right) \right]$$

де,

D – діаметр однорідного провідника, або зовнішній діаметр трубчастого провідника (м);

δ – глибина шкіри (м);

J_0 – функція Бесселя першого роду і нульового порядку;

J_1 – функція Бесселя першого роду і першого порядку;

ρ – питомий опір матеріалу (Ом·м).

Глибина скін-ефекту

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{4 \cdot f \cdot \pi^2 \cdot \mu_r \cdot 10^{-7}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{10^7 \cdot \rho}{f \cdot \mu_r}}$$

де,

f – частота;

μ_r – відносна проникність матеріалу провідника (≈ 1 для алюмінію).

Функція Бесселя

Загальним виразом функції Бесселя будь-якого порядку є:

$$J_n = x^n \cdot \sum \left[\frac{(-1)^m \cdot x^{2m}}{2^{2m+n} \cdot m! \cdot (m+n)!} \right]$$

де,

$m = 0 \dots \infty$;

n – порядок функції Бесселя, 0 для J_0 і 1 для J_1 .

x – змінна функції Бесселя,

$$x = \frac{(1-j) \cdot D}{2 \cdot \delta}$$

Функція Бесселя

У нашому випадку для діапазону частот потужності та діапазону провідників, що використовуються для повітряних ліній, вираз можна спростити з достатньою точністю як:

$$J_0(x) = \left[1 - \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^4 - \frac{1}{36} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^6 \right]$$

$$J_1(x) = \left[\frac{x}{2} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^3 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^5 - \frac{1}{144} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^7 \right]$$

Коефіцієнт скін-ефекту

$$k_{sk} = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot (E/I)_R}{4 \cdot \rho}$$

При розрахунку скін-ефекту трубчастого провідника або трубки, яка є провідною частиною АС та подібного провідника, скін-ефект буде результатом співвідношення між розрахунками електричного поля для зовнішнього та внутрішнього діаметрів трубки і може бути розрахований таким чином:

$$k_{sk(tube)} \approx 1 + (k_{sk(D)} - 1) \cdot \left(1 - \frac{D_1}{D}\right)$$

де D_1 – внутрішній діаметр трубчастого провідника або зовнішній діаметр сталевого сердечника в АС та подібних провідниках.

Коефіцієнт скін-ефекту для проводів марки АС з різними номінальними перерізами

Було проведено розрахунок коефіцієнту скін-ефекту для проводів марки АС з різними номінальними перерізами. Результати для всіх перерізів наведені у таблиці.

| Номінальний переріз, мм ² | Діаметр провoда, мм ² | Переріз, мм ² | | Коефіцієнт скін-ефекту |
|---|----------------------------------|--------------------------|-------|------------------------|
| | | алюмінію | сталі | |
| АС-70/11 | 11,4 | 68 | 11,3 | 1,001 |
| АС-240/32 | 21,6 | 244 | 31,7 | 1,014 |
| АС-330/43 | 25,2 | 332 | 43,1 | 1,025 |
| АС-400/51 | 27,5 | 394 | 51,1 | 1,035 |
| АС-500/64 | 30,6 | 490 | 63,5 | 1,054 |



Дякую за увагу!