

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 621.3.014.12

О СКИН-ЭФФЕКТЕ В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ

В недавней работе Ю. П. Вербина «К теории скин-эффекта для радиоволн в переходном режиме» [1] решена, в частности, задача о включении гармонического поля, причем полученные формулы имеют довольно сложный вид. В тех случаях, когда от решения не требуется большой точности, оно может быть выражено гораздо проще, как это сделано в нашей работе «К теории скин-эффекта в переходном режиме» [2], а именно

$$H(x, t) \simeq H_0 \sqrt{A/\pi} f(\tau) + H_0 e^{-x/\Delta} \sin[\tau - (x/\Delta)], \quad (1)$$

если поле на границе изменяется по закону $H(0, t) = H_0 \sin \omega t$ (включение производится в момент $t = 0$), и

$$H(x, t) \simeq H_0 \sqrt{A/\pi} f'(\tau) + H_0 e^{-x/\Delta} \cos[\tau - (x/\Delta)] \quad (2)$$

в случае $H(0, t) = H_0 \cos \omega t$. Здесь $H(x, t)$ — магнитное поле (электрическое поле изменяется пропорционально); $f(\tau) = e^{-A/\tau} \tau^{-3/2}$; $A = x^2/2\Delta^2$; $\Delta = c/\sqrt{2\pi\omega\mu\sigma}$ — толщина скин-слоя; $\tau = \omega t$; x — глубина; остальные обозначения — обычные; задача предполагается одномерной. Недостатком простых выражений (1), (2) является их непригодность [2] при малых $\tau \lesssim \sqrt{A}$. В этой области, однако, можно пользоваться выражениями, полученными на основе решения для включения постоянного поля [3]:

$$H(x, t) = H_0 (1 - \operatorname{erf} \sqrt{A/\tau}). \quad (3)$$

Это выражение может быть непосредственно использовано в случае $H(0, t) = H_0 \cos \omega t \simeq H_0$. Если же $H(0, t) = H_0 \sin \omega t \simeq H_0 \tau$, то из (3) легко получается решение для включения линейно нарастающего поля

$$H(x, t) = H_0 \tau \{ [(2A/\tau) + 1] (1 - \operatorname{erf} \sqrt{A/\tau}) - (2/\sqrt{\pi}) \sqrt{A/\tau} e^{-A/\tau} \}, \quad (4)$$

причем выражение в фигурных скобках есть универсальная функция безразмерного параметра $A/\tau = \pi \mu \sigma x^2 / t c^2$, которую легко протабулировать.

Как видно из (1) и (2), запаздывание поля вследствие скин-эффекта $\sim x/\Delta = \sqrt{2A}$. Следовательно, область применимости (3) и (4) простирается по крайней мере до $\tau \sim \sqrt{2A}$ и перекрывается с областью решений (1), (2). В переходной области точность (1) порядка 10%, как это показано на примере в [2].

Дальнейшее повышение точности может быть достигнуто за счет аппроксимации гармонической функции ломаной с применением к каждому ее отрезку соотношения (4).

При помощи (1) — (4), используя Фурье-разложение, может быть построено, разумеется, решение переходного процесса для поля любой формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Вербин, Радиотехника и электроника, 1963, 8, 7, 1120.
2. В. И. Волосов, Б. В. Чириков, ЖТФ, 1960, 30, 5, 508.
3. В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, ч. II, ОНТИ, 1936.
В. И. Волосов,
Б. В. Чириков

Поступило в редакцию
10 XI 1963