

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Б. М. МАМИКОНЯН, Л. С. ТОНОЯН

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОГО
ШАРОВОГО ЭКРАНА

В электромагнитной технике широко применяется ферромагнитный шаровой экран в качестве как экранирующего от внешних магнитных полей элемента, так и самостоятельного узла различных устройств. Однако отсутствуют теоретические работы по исследованию его магнитопроводящих характеристик. В настоящей статье определяется комплексное магнитное сопротивление ферромагнитного шарового экрана, которое он оказывает переменному (синусоидальному) магнитному потоку.

Исходными данными для расчета являются: внешний R и внутренний r радиусы, а также материал экрана, т. е. его удельное комплексное магнитное сопротивление

$$Z_Z = Z_R + jZ_X,$$

где Z_R , Z_X — активная и реактивная его составляющие.

Если между точками a и b (рис. 1) приложено магнитное напряжение $\dot{E}$, под действием которого через экран проходит поток Φ , то комплексное магнитное сопротивление Z шарового экрана, равное

$$Z = \frac{\dot{E}}{\Phi},$$

зависит от параметров самого экрана и величины индукции в экране, т. к. от последней нелинейно зависит величина $\dot{B}_2$ [1].

Для определения Z выделим из шарового экрана элемент, заключенный между двумя конусами, вершины которых расположены в центре шара, оси совмещены с осью $a-b$, а углы при вершине осевых сечений равны, соответственно, $2(\alpha + d\alpha)$ и 2α . Осевое сечение данного элемента показано на рис. 2 жирными линиями. Его магнитное сопротивление в направлении силовых линий поля равно

$$dZ = \dot{B}_2 \frac{dl}{S_2} \quad (1)$$

Поскольку толщина стенки экрана намного меньше его радиусов, можно допустить, что эквивалентный поток протекает через среднюю сферу и поэтому длина dl дуги элемента равна

$$dl = \frac{R+r}{2} d\alpha.$$

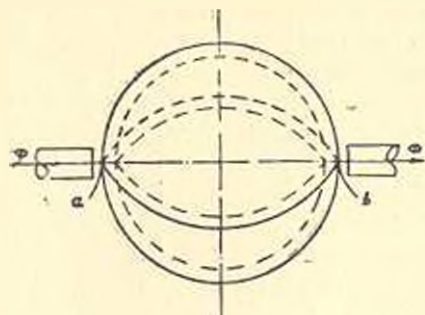


Рис. 1. Шаровой экран с потокоподводящим стержнем.

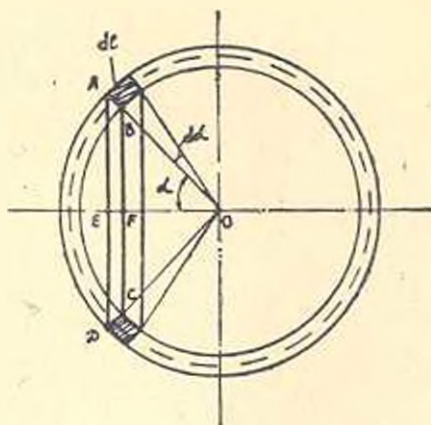


Рис. 2. Элемент шарового экрана.

Поперечное сечение элемента S_α , зависящее от α , представляет собой боковую поверхность усеченного конуса ABCD, в каждой точке которой поток перпендикулярен к этой поверхности:

$$S_\alpha = \pi \cdot AB (AE + BF).$$

Учитывая, что $AB = R - r$, $AE = R \sin \alpha$, $BF = r \sin \alpha$, получим:

$$S_\alpha = \pi (R^2 - r^2) \sin \alpha.$$

Подставляя значения dl и S_α в выражение (1), получим магнитное сопротивление элемента экрана:

$$dZ = \frac{\mu_0}{2(R-r)} \cdot \frac{d\alpha}{\sin \alpha} \quad (2)$$

Для определения общего сопротивления Z экрана необходимо интегрировать выражение (2) в пределах $0 \leq \alpha \leq \pi$. Однако, этот интеграл будет равен бесконечности, т. к. в точках a и b (т. е. для значений $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi$) $S_\alpha = 0$. Физически это означает, что в группе последовательно включенных сопротивлений имеется такое, величина которого равна бесконечности, и тогда, независимо от значений остальных сопротивлений, эквивалентное сопротивление группы будет равно бесконечности. В действительности этого нет, т. к. поток Φ входит в экран не через точку a , а через определенную поверхность экрана вокруг этой точки. В каждом конкретном случае площадь указанной по-

верхности зависит как от конструкции и размеров потокоподводящего стержня, так и от величины воздушного зазора между стержнем и экраном, т. е. от последней зависит величина потока рассеяния. Кроме того, необходимо учесть, что в конечной части потокоподводящего стержня силовые линии магнитного поля смещаются от оси стержня к его периметру (рис. 3), стремясь выбрать путь наименьшего сопротивления.

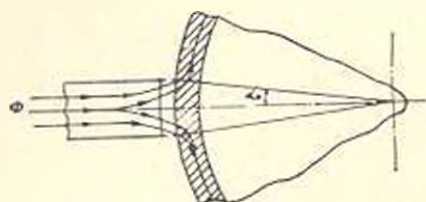


Рис. 3. Приближенная картина магнитного поля у входа в экран.

Указанные обстоятельства позволяют допустить, что поток Φ входит в экран по периметру стержня (при небольших величинах зазора), поэтому начальное значение α_0 угла α будет

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{d}{2R},$$

где d — диаметр стержня.

Поскольку поток через экран общий, а на его пути сечение S_{α} минимальное, то в этом сечении индукция максимальна и равна

$$B_{\max} = \frac{\Phi}{\pi(R^2 - r^2) \sin \alpha_0} = \frac{2R\Phi}{\pi d(R^2 - r^2)} \quad (3)$$

Если параметры экрана выбраны такими, что значение $B_{\max}$, рассчитанное по (3), не выходит за верхний предел линейного участка кривой намагничивания материала экрана, то значения ρ_R и ρ_X можно считать постоянным для всех участков экрана [2]. Учитывая также, что конструкция экрана симметрична, получим его магнитное сопротивление:

$$Z = \frac{2\rho_Z}{2\pi(R-r)} \int_{\alpha_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{\rho_Z}{\pi(R-r)} \ln \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}}$$

Выражая $\operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$ через $\sin \alpha_0$ и $\cos \alpha_0$ и учитывая, что обычно $4R^2 \gg d^2$, окончательно получим:

$$Z = \frac{\rho_Z}{\pi(R-r)} \ln \frac{4R}{d} \quad (4)$$

Формулу (4) можно использовать при расчете и конструировании магнитного шарового экрана. Рассмотрим пример ее применения. Пусть требуется конструировать шаровой экран со следующими данными: $R=0,04$ м; $d=0,008$ м; $Z \leq 4 \cdot 10^6$ 1/гн. Необходимо определить толщину стенки экрана.

В качестве материала для экрана выбираем сталь 35. Из зависимостей удельных магнитных сопротивлений от величины индукции для стали 35 [3] находим значение ρ_R и ρ_X на линейном участке кривой намагничивания: $\rho_R = 22 \cdot 10^2 \text{ м/гн}$ и $\rho_X = 32 \cdot 10^2 \text{ м/гн}$.

Согласно (4), модуль сопротивления экрана

$$Z = \frac{1}{\pi(R-r)} \ln \frac{4R}{d} \cdot \frac{\rho_R^2 + \rho_X^2}{2},$$

откуда находим толщину стенки:

$$R-r = \frac{10^{-4} \cdot \frac{22^2 + 32^2}{2}}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,04}{0,008} = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Толщину стенки выбираем равной 0,001 м.

Найдем допустимую величину потока Φ , при которой индукция в наиболее малом сечении экрана еще не выходит за пределы линейной области. Для стали 35 это значение индукции (амплитудное значение) равно $B_{\max} = 0,5 \text{ тл}$ [3].

Допустимое амплитудное значение потока определяем из формулы (3):

$$\Phi_{\max} = \frac{\pi d (R^2 - r^2)}{2R} \cdot B_{\max} = 1,24 \cdot 10^{-5} \text{ В}.$$

Проведенные авторами экспериментальные исследования магнитных шаровых экранов подтвердили хорошее соответствие полученных формул практике.

Ленинградский фил. ЕРШ им. К. Маркса

Поступило 20.IX.1977

Բ. Մ. ՄԱՐԿԱՆՔԱՆ, Լ. Ս. ՏՈՒՆՅԱՆ

ՖԵՐՐՈՄԱԳՆԻՏՈՒԿԱՆ ԳՆԴԱՋԵՎ ԷԿՐԱՆԻ ՄԱԳՆԻՏՈՒԿԱՆ
ԳԻՄԱԿՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Առաջարկված է ֆերոմագնիսական ղեղաձև էկրանի կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության հաշվարկի մեթոդը այն դեպքի համար, երբ որպես հոսքամատուցող հարմարանք օգտագործվում է կլոր կտրվածքով և հայտնի տրամագծով ձողը: Առաջված բանաձևերը կարելի է օգտագործել ղեղաձև էկրաններ նախագծելիս: Բերված է էկրանի պատի հաստության հաշվարկի օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Буль Б. К. Основы теории и расчета магнитных цепей. Изд. «Энергия», М., 1964, с. 54—55.
2. Куликовский Л. Ф., Заринов М. Ф. Индуктивные преобразователи перемещения с распределенными парахетрами. Изд. «Энергия», М., 1966, с. 12.
3. Рашкович М. П. и др. Индуктивные преобразователи для автоматизации металло-режущих станков. Изд. «Машиностроение», М., 1969, с. 91.