

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭКРАНИРОВАННЫХ
ТОКОПРОВОДАХ**
**ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN SHIELDED CURRENT
CONDUCTORS**

В.Д. Тихно

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

Sv.konstantinova@bntu.by

V. Tichno

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены процессы в экранированных токопроводах, так это актуально при передаче электроэнергии при больших токах.*

***Abstract:** This article discusses the processes in shielded conductors, because it is important when transmitting electricity at high currents.*

***Ключевые слова:** токопровод, экранирование, электромагнитное поле, передача электроэнергии.*

***Keywords:** conductor, shielding, electromagnetic field, power transmission.*

Введение

Токопровод – это устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из проводников, изоляции, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Экранирование проводников и шин выполняется для уменьшения влияния внешнего поля соседних проводников; для снижения электродинамических усилий, действующих на шины; для повышения безопасности при эксплуатации и для защиты внешнего пространства от действия сильных полей токов; модельных исследований и т.п.

Основная часть

Металлические экраны, применяются для защиты шин, соединяющих генераторы с блочными трансформаторами, находятся в собственном поле $H_{\text{соб}}$ данного экрана и во внешнем поле $H_{\text{вн}}$ остальных шин (Рисунок 1) [1].

Значение внешнего поля зависит от габаритных размеров и расположения шин относительно друг друга в пространстве. Наиболее эффективным и пространственным являются трубчатые экраны с замкнутой в электромагнитном системой. Для собственного поля шины трубчатая оболочка является открытым экраном потому, что независимо от ее толщины на внешней поверхности будет практически такое же поле, как и на внутренней. Этим объясняется наличие внешнего поля соседних шин, несмотря на присутствие экрана.

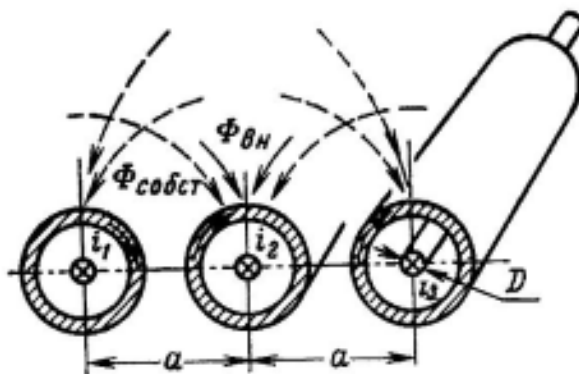


Рисунок 1 – Собственное и внешнее магнитное поле в трехфазной системе экранируемых шин.

Если размеры экранов значительно больше расстояния между ними, то необходимо учитывать неравномерное распределение внешнего поля на поверхности экрана и влияние эффекта близости на вихревые токи в экране. В дальнейшем будем рассматривать экран из идеального проводника и применим метод зеркальных изображений внешнего точечного заряда в заземленном шаре.

Токи, индуцируемые в экранах соседними шинами, представлены фиктивными токами в сумме с возбуждающими токами на поверхности экрана дают магнитные поля, существующие там в действительности.

Изолированные экраны. Рассмотрим сначала случай, когда только в одной бесконечно длинной шине экранируемой трехфазной системы, например, в шине R, протекает ток I (Рисунок 2).

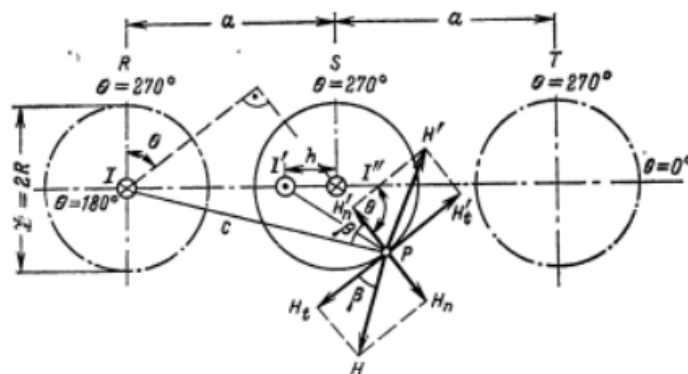


Рисунок 2 – Изображение напряженности магнитного поля в точке P, образуемого токами в фазе R и в экранах с помощью фиктивных токов I

Ток, протекающий в шине A, наводит в точке P соседнего экрана напряженность магнитного поля $H_m = \sqrt{2}I/(2\pi c)$. Вихревые токи в экране так велики, что полностью вытесняют электромагнитное поле из экрана, если достаточно малое удельное сопротивление и толщину нескольких миллиметров. Согласно этому положению нормальная составляющая магнитного поля H'_{mn} , наведенная вихревыми токами, протекающими в экране, является равной и противоположно направленной составляющей H_{mn} (Рисунок 2), образуемой током шины R. Если данный экран представить двумя одинаковыми фиктивными токами $I'' = I$ и $I' = I$. Ток I'' расположим на оси экрана так, чтобы он образовывал только

тангенциальную составляющую поля на поверхности экрана, а второй ток I'' на расстоянии b от оси экрана (рисунок 2). Из рисунка 2 можем найти:

$$H_{mn} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi c)} \sin\beta = \frac{I}{\sqrt{2}} \pi \frac{a \cdot \sin\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (1)$$

$$H_{mt} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi c)} \cos\beta = \frac{I}{\sqrt{2}} \pi \frac{R + a \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (2)$$

Модуль составляющих H'_{mn} и H_{mn} : можно выразить, заменяя параметр a параметром b . Расстояние b фиктивного тока I'' от оси находим из условия:

$$H_{mn} = H''_{mn} \quad (3)$$

которое должно сохраняться для каждого угла θ , т. е.

$$a \cdot \sin \theta / (a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta) = b \cdot \sin \theta / (a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta) \quad (4)$$

откуда после решения уравнения находим:

$$b = R^2 / a. \quad (5)$$

Значение это подставляем в выражения для H'_{mn} и H'_{mt} .

На поверхности экрана останется теперь лишь только тангенциальная составляющая $H'_{рез}$ которая является суммой трех составляющих:

$$H_{рез} = H_{mt} - H'_{mt} + H''_m = \frac{(\sqrt{2}I)}{\pi} \frac{R + a \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (6)$$

где:

$$H_{mt} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi \cdot R)} \frac{R^2 + aR \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (7)$$

$$H'_{mt} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi \cdot R)} \frac{R^2 + aR \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (8)$$

$$H_{тт} = H_m = 1/\sqrt{2} \pi R \quad (9)$$

Величина H'_{mt} была получена из выражения для H_{mt} путем подстановки в него значения $b = R^2/a$ вместо a .

Зная распределение напряженности магнитного поля на поверхности, можно определить линейную плотность J_l^* тока в экране с помощью закона полного тока.

Для бесконечно малого сектора экрана длиной dl вдоль окружности имеем (рисунок 3):

$$\sqrt{2}J_1 dl = H_{рез} dl + H_{вн} dl + H_{n2} d. \tag{10}$$

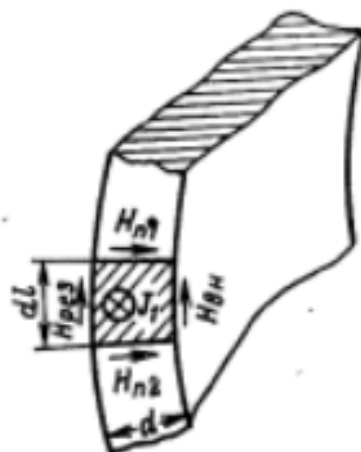


Рисунок 3 – Сектор трубчатого экрана

В соответствии с принятым допущением об идеальном экране

$$H_{mn1} = H_{mn2} = H_{твн} = 0,$$

$$J_1 = \frac{H_{рез}}{\sqrt{2}} = \frac{I}{\pi} \frac{R+a \cdot \cos\theta}{a^2+R^2+2aR \cdot \cos\theta} \tag{11}$$

Данная формула представляет распределение вихревых токов в уединенном экране, в близости которого проходит уединенный проводник с током.

Заключение

Рассмотрение электромагнитных процессов в экранированных токопроводах актуально на сегодняшний день ввиду широкого распространения токопроводов для передачи электроэнергии с большими токами (в т. ч. на генераторном напряжении). За счет применения современных материалов экранов и изоляции, и используя различные конфигурации расположения проводников и экранов можно добиться снижения влияния проводников друг на друга, повысить качество электроэнергии у потребителей, а также обеспечить более высокий уровень безопасности эксплуатации электроустановок.

Литература

1. Туровский, Я. Техническая электродинамика Я. Туровский – М: Энергия, 1974. – 488 с.
2. Герасимович А.Н. Техническая электродинамика / А.Н. Герасимович – Минск: БГПА, 1997. – 96 с.
3. Мосэлектрощит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shinoprovod.com/files/Katalog-Shinoprovodi-s-vozdushnoj-izolyaciej-0.4-35kV-Moselektroshit.pdf>. – Дата доступа: 10.11.2020.