

Рисунок 1 - Структурная схема устройства непрерывного контроля пробивного напряжения трансформаторного масла

Данное устройство позволяет непрерывно контролировать значение пробивного напряжения трансформаторного масла, что значительно снижает затраты, связанные с временным прекращением работы трансформатора, а также повышает безопасность его эксплуатации за счет возможности своевременного выявления ухудшения качеств масла и дефектов трансформатора.

Список использованных источников

1. ГОСТ 21515-76. Материалы диэлектрические. Термины и определения (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. - Взамен ГОСТ 17033-71 в части терминологии диэлектрических материалов; введ. 1977-01-01. - М.: Стандартинформ, 2005. - 14 с.

2. Энергетика. Оборудование. Документация. [Сайт]. URL: <http://forca.ru/stati/podstancii/metody-kontrolya-kachestva-transformatornyh-masel.html> (дата обращения 10.12.2016).

УДК 621.396.67

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН

А.И. Махов, Д.А. Ворох
Самарский университет, г. Самара

Поверхность излучения любой антенны можно представить с одной стороны в виде совокупности элементарных источников излучения – элементов Гюйгенса [1]. Следовательно, поле в любой точке пространства можно определить путём суммирования полей этих источников, вычисляя интеграл по поверхности излучения [2,3]. С другой стороны при решении внутренней задачи (определение поля на поверхности излучения) получаем это поле в виде двух циркуляций E_{ℓ_E}, H_{ℓ_H} при равномерном распределении поля по поверхности. И поле в пространстве можно определить, суммируя

элементарные источники по этим линиям. Таким образом, в точке М пространства находим два вектора $\mathbf{E}_M, \mathbf{H}_M$, амплитуды которых зависят от размеров антенны. Отношение амплитуд в общем случае не равно волновому сопротивлению, и возникает вопрос: какой из векторов будет определять поле в точке М? Или надо брать сумму $E_{M+Z_0H_M}$? Или суммировать по поверхности излучения? Попробуем разрешить эти противоречия.

ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА ВОЛНОВОГО ФРОНТА

В настоящее время [1,2] поле излучения элемента волнового фронта представляют как сумму полей двух элементарных источников, то есть двух антенн, размещённых на элементарной площадке dS . Один источник содержит линейную электрическую циркуляцию $E d\ell$ и круговую магнитную $H 2\pi dr$, а другой наоборот линейную магнитную циркуляцию $H d\ell$ и круговую электрическую $E 2\pi dr$, где $E = Z_0 H$, Z_0 – волновое сопротивление, $d\ell$ – размер площадки, а dr – радиус циркуляции. В результате получена диаграмма направленности элемента волнового фронта в виде кардиоиды вращения.

Представление элемента волнового фронта в виде двух источников неверно. В каждой точке волнового фронта действуют только два вектора: \mathbf{E} и \mathbf{H} , а элементарный источник строится в виде плоской элементарной площадки dS , касательной к фронту волны, где имеем всего две линейные циркуляции: электрическую $E d\ell$ и магнитную $H d\ell$. И никаких круговых. Вследствие малости длины циркуляций силовые линии внешнего поля в главных плоскостях являются окружностями, касательными к векторам, и поле в произвольной точке М пространства в этих плоскостях согласно законам Ампера – Фарадея определяется из сравнения циркуляций:

$$E d\ell = E_M \pi r \cos \alpha, \quad H d\ell = H_M \pi r \cos \alpha,$$

где, r – расстояние от центра площадки до точки М,

α – угол между направлением на точку М и нормалью к площадке dS .

Следовательно, диаграммы направленности элемента волнового фронта в главных плоскостях совпадают с силовыми линиями (это окружности), диаграммы направленности каждого вектора \mathbf{E} и \mathbf{H} являются тороидами а объёмная диаграмма элемента волнового фронта – шар. Рассмотрим далее электрическое и магнитное поля в плоскости, например, вектора \mathbf{E} , рис.1. Имеем фронт волны в виде окружности и равномерное распределение вектора \mathbf{H} по фронту. Вектор же \mathbf{E} распределён согласно диаграмме направленности (окружность, касательная к вектору). В направлении по нормали к вектору \mathbf{E} в точке М имеем максимальные амплитуды обоих векторов и связь между ними через волновое сопротивление Z_0 . В других же точках, например, в М1 имеем $E_{M1} < Z_0 H_{M1} = Z_0 H_M$ и логично заключить, что амплитуда вектора \mathbf{E} является определяющей при формировании поля в точке М1. В данном случае

магнитное поле оказалось в избытке. Если рассмотреть картину полей в плоскости вектора \mathbf{H} , то в избытке окажется электрическое поле, и амплитуда поля по фронту волны будет определяться магнитным полем. Покажем далее, что правило **меньшей амплитуды** работает и при формировании поля реальных антенн.

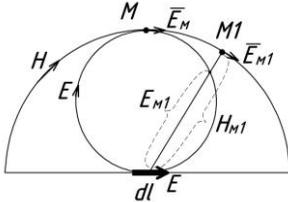


Рисунок 1 – Антенна элементарный источник

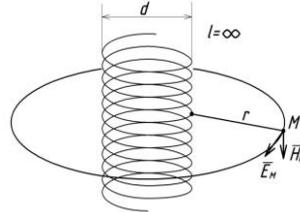


Рисунок 2 – Антенна в виде цилиндрической катушки

ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН С РАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОЛЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ

Возьмём антенну в виде цилиндрической катушки диаметром d и бесконечной длины l , рис.2. На поверхности антенны при включении тока имеем равномерное поле с амплитудами E, H , причём вектор \mathbf{H} направлен параллельно оси антенны, а \mathbf{E} касательный к её окружности. Циркуляции вектора \mathbf{E} суть окружности длиной $E_M 2\pi r$, где r расстояние точки M от оси антенны, а циркуляции вектора \mathbf{H} – прямые линии бесконечной длины и параллельные оси антенны. Поле такой антенны имеет цилиндрический фронт и амплитуду E_M в точке M , определяемую из соотношения равенства циркуляций $E_M 2\pi r = E l d$. Если же определять поле в точке M путём суммирования полей элементарных источников по поверхности излучения антенны, то получим $H_M = H$, $E_M = E$, что неверно. Итак, амплитуда поля в пространстве определяется не бесконечной циркуляцией $H l$, а конечной циркуляцией вектора \mathbf{E} . При уменьшении длины антенны поле в точке M не будет изменяться до тех пор, пока не сравняются поля, создаваемые циркуляциями векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} .

При дальнейшем изменении длины антенны поле в точке M будет соответствовать полю, создаваемому меньшей циркуляцией $H l$: $H_M < E_M / Z_0$. Таким образом, при расчёте поля, формируемого в пространстве двумя векторами \mathbf{E} и \mathbf{H} , равномерно распределёнными на поверхности антенны, за определяющее выбирается поле с **меньшей** амплитудой, а поле другого вектора рассчитывается через волновое сопротивление.

Рассмотрим далее плоскую антенну. Построим антенну в виде бесконечного экрана с узкой щелью, рис.3. Слева нормально к экрану (в объёме антенны) имеем плоское, равномерное по амплитуде поле, справа – пространство излучения. Ширина щели соответствует размеру элементарного источника $d l$, вектор \mathbf{E} направлен вдоль щели, а вектор \mathbf{H} – поперёк. Рассмотрим

поле в точке М на расстоянии r по нормали к экрану. Имеем согласно диаграмме направленности элементарной антенны $H_M = dl \sin(\theta) / \pi r$, то есть амплитуда поля в точке М значительно меньше амплитуды поля в щели.

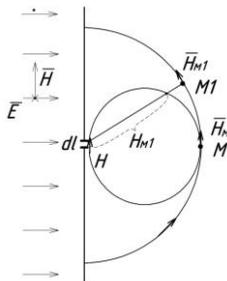


Рисунок 3 – Антенна, бесконечный экран с узкой щелью

Суммирование же по всей площади щели даёт $H_M = H$, что неверно. Если увеличить в обе стороны ширину щели до l_H , то амплитуда поля в точке М определится путём суммирования полей E элементарных источников, расположенных по линии l_H поперёк щели. То есть амплитуда поля в пространстве соответствует циркуляции вектора H , так как она меньше амплитуды, создаваемой вектором E : $H_M = Z_0 H_M < E_M = E$.

При уменьшении длины щели поле в точке М не изменится до тех пор, пока не сравняются поля, создаваемые векторами E и H площадки. При дальнейшем уменьшении длины щели, а следовательно и циркуляции вектора E , амплитуда поля в точке М будет соответствовать этому вектору, так как амплитуда поля $H_{EM} = E_M / Z_0$, создаваемого вектором E , меньше амплитуды, создаваемой вектором H .

Таким образом, показано, что в случае плоских прямоугольных и цилиндрических антенн с равномерным распределением поля на поверхности для определения максимальной амплитуды поля в произвольной точке пространства М нужно определить амплитуды полей, создаваемых векторами E, H , сравнить их между собой с учётом волнового сопротивления Z_0 и взять **меньшую** амплитуду. Диаграммы направленности антенн будут определяться размерами поверхности антенн, то есть размерами циркуляций векторов поля.

Список использованных источников

1. Кубанов В.П. Элементарные излучатели электромагнитных волн: учебное пособие – Самара: «ПГУТИ», 2010. – 40 с.
2. Семёнов Н.А. Техническая электродинамика: учебное пособие для вузов – Москва : «Связь», 1973. – 480 с.
3. Кубанов В.П. и др. Основы теории и распространения радиоволн: учебное пособие – Самара: ООО «Офорт», 2016. – 258 с.