

УДК 621.311

К.С. Аверьянова, Н.В. Безменова

**К ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
В КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Самарский государственный технический университет

Приведены результаты экспериментальных исследований напряженности магнитного поля промышленной частоты от проводников различного сечения комплектных распределительных устройств 6(10) кВ. Исследования проведены с учетом влияния: ограниченной длины проводника на характер изменения напряженности магнитного поля в окружающем воздушном пространстве на небольшом расстоянии; расстояния между точкой пространств распределительного устройства (контрольной точкой), где могут быть расположены технические устройства, чувствительные к магнитным полям промышленной частоты, и центром проводника с током. Определение напряженности магнитного поля промышленной частоты выполнялось с помощью измерителя напряженности поля промышленной частоты ПЗ – 50. Получены выражения, которые могут быть использованы для определения значений напряженности магнитного поля промышленной частоты, в воздушном пространстве для рабочих токов проводников круглого и прямоугольного сечения.

*Ключевые слова:* комплектные распределительные устройства, напряженность магнитного поля промышленной частоты, одиночный проводник, шина, экспериментальные исследования.

Наибольшее влияние магнитных полей (МП) промышленной частоты (ПЧ) может проявиться в комплектных распределительных устройствах 6 (10)кВ (КРУ). Это обусловлено небольшими расстояниями между токоведущими частями, как правило, шинами распределительных устройств, создающих магнитные поля промышленной частоты, и устройствами микропроцессорной релейной защиты.

В КРУ 6 (10) кВ подстанций источниками магнитных полей промышленной частоты являются проводники с током как круглого сечения (провода), так и прямоугольного сечения (шины) однофазного и трехфазного исполнения [1].

В соответствии с законом полного тока [2] в диэлектрике магнитную напряженность можно определять расстоянием от проводника с током, считая, что ток протекает по оси провода бесконечной длины:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R}, \text{ А/м}, \quad (1)$$

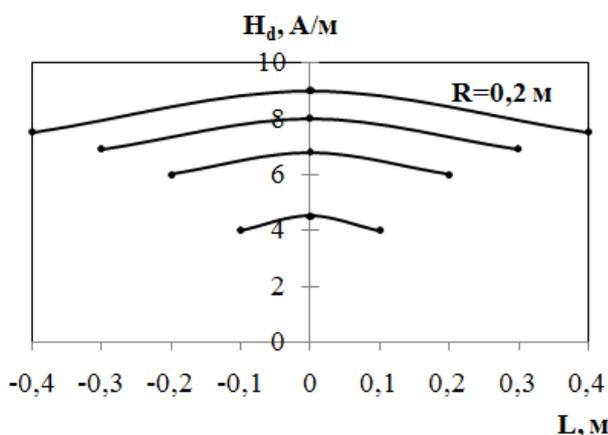
где  $I$  - ток в проводнике, А;  $R$  - расстояние от оси проводника, м.

В КРУ проводники имеют ограниченную длину. Для учета влияния ограниченной длины проводника на характер изменения напряженности магнитного поля в окружающем воздушном пространстве на небольшом расстоянии (в пределах 1...3 м) были проведены экспериментальные исследования. Исследования напряженности магнитного поля промышленной частоты осуществлялись измерителем напряженности поля промышленной частоты ПЗ – 50.

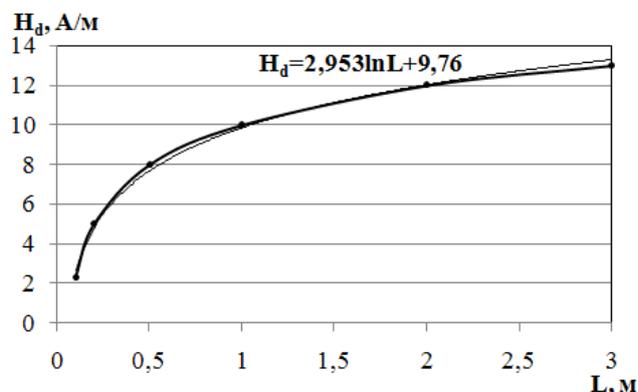
В результате экспериментальных исследований было получено, что при перемещении в окружающем пространстве контрольной точки (антенны ПЗ-50) вдоль проводника круглого сечения ограниченной длины  $L$  с током  $I$ , напряженность МППЧ от проводника круглого сечения изменяется по окружностям с увеличением их радиуса при увеличении расстояния  $R$  от проводника до контрольной точки.

Из рис. 1 также видно, что наибольшее значение напряженности МППЧ в окружающем пространстве находится в точке напротив центра круглого проводника ограниченной длины. Следовательно, при последующих исследованиях напряженности МППЧ от проводника круглого сечения в окружающем пространстве от влияния проводников с током огра-

ниченной длины  $L$  целесообразно анализировать только максимальные значения напряженности МППЧ, определяемые напротив (перпендикулярных) центральных точек проводника с током, характер изменения которых от длины круглого проводника, в частности, при  $R = 0,2$  м показан на рис. 2.



**Рис. 1.** Характер изменения  $H_d$ , напряженности МППЧ в окружающем пространстве при изменении длины  $L = 0,8; 0,6; 0,4; 0,2$  м круглого проводника с током  $I = 16$  А при неизменном расстоянии  $R = 0,2$  м от антенны до проводника



**Рис. 2.** Характер изменения максимальных значений напряженности МППЧ, создаваемой током  $I = 16$  А в круглом проводнике ограниченной длины  $L = 0,2 \dots 3,0$  м с сечениями  $S = 2,5 \dots 25$  мм<sup>2</sup> на расстоянии  $R = 0,2$  м

Представленная на рис. 2 кривая изменений значений напряженности МППЧ от проводника круглого сечения в окружающем пространстве с учетом длины проводников  $L = var$  для частных условий: обобщенный диапазон сечений  $S = 2,5 \dots 25$  мм<sup>2</sup>;  $I = 16$  А;  $R = 0,2$  м; может быть описана следующим выражением:

$$H_{d,R=0,2\text{ м}} \approx 2,95 \cdot \ln L + 8,76 = 2,95 \cdot (\ln L + 3,29), \text{ А/м}, \quad (2)$$

т.е. в общем виде:

$$H_{d,R=\text{const}} = a \cdot \ln L + b, \text{ А/м}, \quad (3)$$

где  $H_d$  - напряженность МППЧ в окружающем пространстве от влияния проводника с током круглого сечения, А/м;  $L$  - длина круглого проводника, м;  $R$  - расстояние от контрольной точки окружающего пространства (от центра антенны) до центра круглого проводника, м.

Принципиально важным при исследованиях напряженности МППЧ в пространстве распределительных устройств (РУ), особенно КРУ, является определение изменения напряженности, А/м не только от длины проводника  $L$ , но и от расстояния  $R = var$ , между точкой пространств РУ (контрольной точкой), где могут быть расположены технические устройства (ТУ), чувствительные к магнитным полям промышленной частоты, и центром круглого проводника с током.

Получено, что значения напряженности МППЧ  $H_{d,R=var;L=var}$  в воздушном пространстве, окружающем одиночный круглый проводник ограниченной длины  $L$  с током  $I$ , для радиуса  $R$  могут быть определены по выражению:

$$H_{d,R=var;L=var} = \frac{I \cdot 0,12 \cdot (\ln L + 3,29)}{2 \cdot \pi \cdot R^{1,4}}, \text{ А/м}, \quad (4)$$

При этом следует отметить, что значения напряженности МППЧ от одиночного проводника с током в зависимости от расстояния характеризуются степенью 1,4.

В КРУ шины с рабочими токами, как правило, имеют прямоугольное сечение. По аналогии с (4) для шин прямоугольного сечения получено, что характер изменения напряженности МППЧ  $H_{b,R=var;L=var}$ , А/м в пространстве по оси узкой стороны прямоугольной

шины ограниченной длины практически совпадает с характером изменения  $H_d$  от проводников круглого сечения:

$$H_{b,R=\text{var};L=\text{var}} = \frac{I \cdot 0,12 \cdot (\ln L + 3,29)}{2 \cdot \pi \cdot R^{1,4}}, \text{ А/м}, \quad (5)$$

а по оси широкой стороны шин - напряженность МППЧ  $H_{h,R=\text{var};L=\text{var}}$ , А/м определяется в виде:

$$H_{h,R=\text{var};L=\text{var}} = \frac{I \cdot 0,15 \cdot (\ln L + 3,11)}{2 \cdot \pi \cdot R^{1,4}}, \text{ А/м}. \quad (6)$$

Напряженность МППЧ в пространстве между осями широкой и узкой сторонами шины от центра шины до контрольной точки окружающей среды определяется по выражению:

$$H_{\varphi} = \frac{H_h \cdot H_b}{\sqrt{H_h^2 \cdot \sin^2 \varphi + H_b^2 \cdot \cos^2 \varphi}}, \quad (7)$$

где  $\varphi$  - угол между радиусом - вектором и полярной осью.

Полученные выражения (4)–(6) могут быть использованы для определения значений напряженности магнитного поля промышленной частоты, в воздушном пространстве для рабочих токов проводников круглого и прямоугольного сечения.

#### Библиографический список

1. **Безменова, Н.В.** Оценка допустимых расстояний в распределительных устройствах напряжением 6-10 кВ при обеспечении нормируемых уровней магнитных полей промышленной частоты 50 Гц / Н.В. Безменова, В.М. Салтыков // Технологии ЭМС. №1(36). 2011. С. 14–18.
2. **Бессонов, Л.А.** Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2003. – 317 с.

*Дата поступления  
в редакцию 29.01.2015*

**K.S. Averyanova, N.V. Bezmenova**

#### BY ESTIMATING THE MAGNETIC FIELD STRENGTH IN COMPLETE SWITCHGEARS

Samara state technical university

**Purpose:** Impact electromagnetic compatibility influence of complete switchgears.

**Methodology:** Authors performed impact electromagnetic compatibility (magnetic field strength) of complete switchgears by means experimental (magnetic field strength meter PZ – 50) and analytical (expressions) methods.

**Results:** The paper presents the results of experimental studies of the magnetic field of industrial frequency of conductors of different sections of complete switchgears 6 (10) kV. Expressions for magnetic field strength calculation are obtained, which used by circular and rectangular conductor.

*Key words:* complete switchgear, the magnetic field of industrial frequency, single conductor, experimental research.