

УДК 621.317

*А. В. Ермоленко<sup>1</sup>, А. Г. Ададурова<sup>1</sup>, С. В. Бирюков<sup>1</sup>, В. А. Лютаревич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет

<sup>2</sup>Омский государственный университет имени Ф. М. Достоевского

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

**Аннотация.** В данной статье описывается конструкция устройства для проверки измерителей напряженности электрического поля, которая будет создавать эллиптическое электрическое поле с заданными параметрами.

**Ключевые слова:** электрическое поле, напряженность, вектор напряженности, датчик, средство измерения, погрешность.

Для проверки датчиков напряженности электрического поля предлагается разработать и провести математические расчеты для построения установки, которая будет создавать электрическое поле с заданными параметрами. Наиболее простой схемой для получения вращающегося поля является система, состоя-

шая из цилиндрических электродов, расположенных по окружности кругового цилиндра, присоединенных к трехфазному источнику питания (рисунок 1). Особенностью такого поля является то, что вектор напряженности электрического поля изменяет не только свою амплитуду, но и направление.

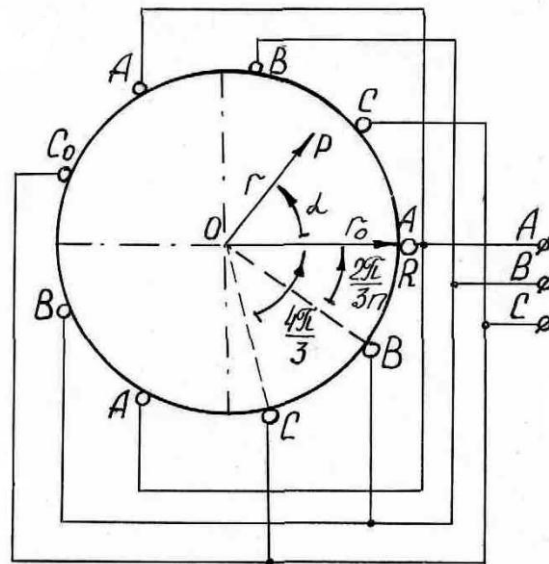


Рис. 1. Конструкция устройства для поверки датчика

Устройство представляет собой некоторое количество электродов, выполненных в форме трубок, расположенных параллельно друг другу образуя цилиндрическую поверхность. Количество проводников будет кратно трем, по числу фаз переменного тока подаваемого на электроды. Общее количество электродов будет рассчитываться так, чтобы погрешность поля была в рамках требований эталонного электрического поля по государственной поверочной схеме для средств измерений напряженности электрического поля.

Данная установка будет иметь трехмерное пространственное описание, поэтому и создаваемое ею поле, также будет описываться в трехмерном пространстве.

Найдем поле внутри цилиндра радиуса  $r_0$ , т.е. при  $r \leq r_0$ . Будем решать задачу с некоторыми допущениями. Мы не будем учитывать краевой эффект в торцах цилиндра, а также по малости пренебрежем излучением и другими побочными явлениями, как смещение осей электродов. Для решения задачи воспользуемся методом конформных отображений. Потенциальную функцию в произвольной точке  $P$  пространства можно определить, согласно принципу суперпозиции, складывая потенциалы от отдельных проводников.

Рассматривая проводники одной фазы, можем записать потенциальную функцию в виде:

$$Y(\xi) = \frac{-\tau}{2\pi\pi E_0} \left[ \ln(\xi - r_0) + \ln \left( \xi - r_0 e^{j \frac{2\pi}{n}} \right) + \dots + \ln \left( \xi - r_0 e^{j(n-1) \frac{2\pi}{n}} \right) \right], \quad (2)$$

где  $n$  – число электродов на фазу;  $\tau$  – линейный заряд одного электрода.

Заменив сумму логарифмов логарифмом произведения и произведя соответствующие умножения, получим

$$Y(\xi) = \frac{-\tau}{2\pi E_0 E} \ln(\xi^n - r_0^n) \quad (3)$$

После подстановки  $\xi = r e^{j\alpha}$ , найдем вещественную часть  $Y(\xi)$ , которая представляет собой выражение потенциала  $Y(r, \alpha)$  в полярных координатах.

Рассмотрим трехфазную систему из  $3n$  проводников. После тригонометрических преобразований выражение (3) для проводников трех фаз будет иметь вид

$$Y(r, \alpha) = \frac{-1}{4\pi E E_0} \left\{ \tau_a \ln(r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos n\alpha) + \tau_b \ln \left[ r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \right] + \tau_c \ln \left[ r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

Выражению (4) можно придать вид, более удобный для расчетов, если выразить заряды  $\tau_A$ ,  $\tau_B$  и  $\tau_C$  через фазные напряжения. Поскольку система электродов симметричная, то за нулевой потенциал можно принять точку в начале координат (при  $n \geq 2$ ), написав потенциалы на проводах отдельных фаз и решив полученную систему относительно зарядов, получим:

$$\tau_A = \frac{-4\pi E E_0}{\ln \frac{a}{b}} \cos \omega t; \quad \tau_B = \frac{-4\pi E E_0}{\ln \frac{a}{b}} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \quad \tau_C = \frac{-4\pi E E_0}{\ln \frac{a}{b}} \cos \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right),$$

где  $a = (r_0 - R)^{2n} + r_0^{2n} - 2(r_0 - R)^n r_0^n$ ,  $b = (r_0 - R)^{2n} + r_0^{2n} + 2(r_0 - R)^n r_0^n$ .

Подставляя (5) в (4), получим выражение потенциала через фазные напряжения

$$Y(r, \alpha) = U_m N \left\{ \left[ \ln(r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos n\alpha) \right] \cos \omega t + \left[ \ln \left[ r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \right] \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \left[ \ln \left[ r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \right] \right] \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right\}$$

$$\text{Где } N = \frac{1}{\ln \frac{a}{b}}$$

Слагающие напряженности поля найдутся

$$E_r(r, \alpha) = -2U_m n N \left\{ \frac{r^{2n-1} - r^{n-1} r_0^n \cos n\alpha}{r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos n\alpha} \cos \omega t + \frac{r^{2n-1} - r^{2n-1} r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)}{r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \frac{r^{2n-1} - r^{n-1} r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)}{r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right\};$$

$$E_a(r, \alpha) = -2U_m n N \left\{ \frac{r^{n-1} r_0^n \sin n\alpha}{r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos n\alpha} \cos \omega t + \frac{r^{n-1} r_0^n \sin \sin \left( n\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)}{r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{2\pi}{3} \right)} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \frac{r^{n-1} r_0^n \sin \left( n\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)}{r^{2n} + r_0^{2n} - 2r^n r_0^n \cos \left( n\alpha + \frac{4\pi}{3} \right)} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right\}.$$

Габариты установки, в отличие от аналогов, будут значительно меньше, что позволит определять не только основную погрешность поверяемых приборов, но и дополнительные погрешности, например от изменения температуры, поскольку установка не потребует создания больше объемной камеры тепла и холода.

### Библиографический список

1. Ermolenko, A. V.; Biryukov, S. V., "Calculation of elliptical polarization electric field intensity," Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2014, vol., no., pp.1,4, 11-13 Nov. 2014.
2. Бирюков С. В. Физические основы измерения параметров электрических полей: Монография. –Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. – 112 с.
3. Бирюков С. В. Построение измерителя напряженности электрического поля по результатам математического моделирования /С.В. Бирюков, А.С.Шиликов//Измерение, контроль, информатизация (ИКИ-2001): Материалы II международной научно-технической конференции. – Барнаул: АТГУ, 2001. – С.57-60.