

ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

УДК 621.317
DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-99-106
EDN: HLUWKG

С. В. БИРЮКОВ¹
А. В. ТЮКИН²
Л. В. ТЮКИНА³

¹ Омский государственный
технический университет,
г. Омск

² Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет,
г. Омск

³ Омский промышленно-
экономический колледж,
г. Омск

РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ СДВОЕННОГО ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОГО ДАТЧИКА

Предлагается новый метод измерения напряженности электрического поля. В основу метода положен метод измерения по среднему значению, в котором используется сдвоенный электроиндукционный сферический датчик. Использование сдвоенного датчика для реализации метода позволило расширить функциональные возможности метода по среднему значению. Метод измерения по среднему значению предполагает одновременное измерение двух значений напряженности E_1 и E_2 в одной точке электрического поля с противоположными по знаку погрешностями. Как показала теория построения нового метода, по двум значениям напряженностей можно определить не только результат измерения как среднее из них, так и оценить погрешность результата измерений и ориентировочно определить расстояние до источника поля. Для определения расстояния до источника поля вводится коэффициент отношения двух найденных напряженностей в каждой точке поля, по которому находится эмпирическая зависимость относительного расстояния до источника поля. Относительное расстояние представляет собой соотношение между радиусом сферического датчика и расстоянием до источника

поля. Определяя по этой зависимости относительное расстояние в каждой точке измерений и подставляя его в известное выражение для погрешности, определяют погрешность результата в точке измерений. Через относительное расстояние определяют и расстояние до источника поля. Таким образом, новый метод измерения позволяет повысить точность измерения напряженности электрического поля, определить погрешность результата измерений и расстояние до источника поля.

Ключевые слова: метод измерения, электроиндукционный датчик, сдвоенный датчик, электрическое поле, погрешность измерения, расстояние до источника поля.

Введение. В настоящее время существуют различные методы измерения напряженности электрического поля (НЭП). Приборы для измерения напряженности поля используют в основном следующие методы: электроиндукционный, электропространственный, электромеханический, газоразрядный, емкостный и оптический.

В работе будут рассматриваться электроиндукционные методы измерения, в которых используются электроиндукционные датчики [1, 2]. Большая часть электроиндукционных датчиков НЭП относится либо к одинарным [3], либо к двойным [4]. В данной статье предложен новый метод, позволяющий измерять НЭП с помощью сдвоенного датчика нового типа. Таким датчиком является сдвоенный электроиндукционный датчик, позволяющий определять значение напряженности поля, погрешность результата измерений и оценивать расстояние до источника поля.

Существует большое количество методов измерения НЭП [5–14]. Все они решают конкретные задачи. К таким задачам можно отнести: повышение точности измерений, повышение чувствительности, облегчение процесса измерений и др. Предлагаемый в работе метод относится к методам, повышающим точность измерений и расширяющим функциональные возможности измерений. В основу нового метода положен метод измерения по среднему значению [15–17]. Рассмотрим его теоретические особенности.

Теория. Достоинством выбранного метода измерений НЭП по среднему значению является возможность одновременного получения в одной точке измерений двух значений напряженности E_1 и E_2 , имеющих противоположные по знаку погрешности, относительно значения E_0 в точке измерений. Реализовать этот метод позволяют датчики НЭП нового типа — сдвоенные сферические датчики, основанные на явлении электрической индукции [18, 19]. Сдвоенные датчики совмещают в себе два двойных датчика, расположенных на одних координатных осях. В связи с этим сдвоенный датчик вырабатывает два выходных сигнала, соответствующих напряженностям ЭП E_1 и E_2 .

Сдвоенный электроиндукционный датчик [15, 16] представлен на рис. 1.

Датчик состоит из двух частей: механической и измерительной.

Механическая часть состоит из проводящего сферического основания 1 и двух пар проводящих чувствительных элементов, являющихся частями сферической поверхности датчика. Первая пара чувствительных элементов 2 и 3 выполнена в форме сферических сегментов и входит в состав первого датчика, а вторая пара чувствительных элементов 4 и 5 выполнена в форме сферических слоёв и входит в состав второго датчика. Обе пары чувствительных

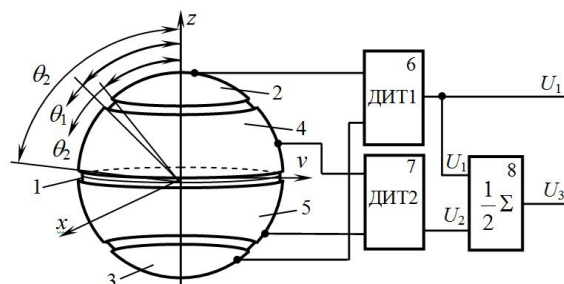


Рис. 1. Сдвоенный датчик напряженности электрического поля

элементов симметрично расположены на поверхности сферы и изолированы от неё тонким изоляционным слоем толщиной ~ 50 мкм. Таким образом, механическая часть состоит из двух независимых датчиков.

Измерительная часть состоит из дифференциальных интеграторов тока 6 (ДИТ1), 7 (ДИТ2) и полусумматора 8. Полусумматор 8 суммирует выходные сигналы дифференциальных интеграторов тока 6 и 7 с коэффициентом суммирования $\frac{1}{2}$.

Чувствительные элементы 2 и 3, имеющие форму сферических сегментов, ограничены угловым размером $\theta_0 = 45^\circ$ как у двойного сферического датчика, представленного в работе [20].

Чувствительные элементы 4 и 5, имеющие форму сферических слоёв, ограничены угловыми размерами: у вершины $\theta_0 = 45^\circ$ и основания $\theta_0 = 90^\circ$, как у двойного сферического датчика, представленного в работе [21].

Конструктивно механическая часть датчика выполнена так, что все проводящие чувствительные элементы изолированы между собой и проводящим сферическим основанием.

При внесении датчика в электрическое поле на чувствительных элементах 2–5 индуцируются электрические заряды, пропорциональные напряженности электрического поля. Электрические заряды с чувствительных элементов снимаются дифференциальными интеграторами тока 6 и 7, которые преобразуют разность зарядов с противоположных элементов датчика 2–3 и 4–5 преобразуют в напряжения $U_1(t)$ и $U_2(t)$. Эти напряжения полусумматором 8 преобразуются в напряжение $U_3(t)$. Сформированные, таким образом, сдвоенным датчиком напряжения $U_1(t)$ и $U_3(t)$ являются его выходными сигналами, пропорциональными напряженностям электрического поля E_1 и E_2 в одной точке измерения.

В работе приняты условия, которые необходимы для реализации нового метода измерения НЭП с повышенной точностью и возможностью определения погрешности измерения и расстояния до источника поля и заключаются в следующем:

1) необходимо иметь два значения НЭП E_1 и E_2 , измеренные в данной точке измерений с исходной напряженностью E_0 ;

2) необходимо, чтобы значения НЭП E_1 и E_2 были измерены с противоположными по знаку погрешностями $+\delta_1$ и $-\delta_2$;

3) для определения погрешностей $+\delta_1$ и $-\delta_2$ использовать выражение [22]:

$$\delta(a) = \left[\begin{array}{l} \frac{1-a^2}{3a^2 \sin(\theta_2 - \theta_1) \sin(\theta_2 + \theta_1)} \times \\ \left(\frac{1}{\sqrt{1-2a \cos \theta_1 + a^2}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{1+2a \cos \theta_1 + a^2}} - \right. \\ \left. - \frac{1}{\sqrt{1-2a \cos \theta_2 + a^2}} - \right. \\ \left. - \frac{1}{\sqrt{1+2a \cos \theta_2 + a^2}} \right) \cdot 100, \quad (1) \end{array} \right] \cdot 100,$$

полученное при взаимодействии сферического датчика с полем точечного источника. Дадим пояснения к выражению (1): $a = R/d$ — относительное расстояние до источника поля, ограничивающее пространственный диапазон измерений; R — радиус датчика; d — расстояние от центра датчика до источника поля; θ — угол, между осями, выходящими из центра сферического основания датчика и проходящими через центр и край сферического чувствительного элемента, определяющий размеры сферического сегмента и сферического слоя. Для сферического сегмента у вершины $\theta = \theta_1 = 0^\circ$ и у основания $\theta = \theta_2 = 45^\circ$. Для сферического слоя у вершины $\theta = \theta_1 = 45^\circ$ и у основания $\theta = \theta_2 = 90^\circ$.

При подстановке угловых размеров чувствительных элементов в форме сферических сегментов и сферических слоёв в выражение (1) можно упростить его и привести к видам:

для сферического сегмента ($\theta_1 = 0^\circ$ и $\theta_2 = 45^\circ$):

$$\delta_1(a) = \left[\frac{4}{3a^2} \left(1 - \frac{(1-a^2)(\sqrt{1+\sqrt{2}a+a^2} + \sqrt{1-\sqrt{2}a+a^2})}{2\sqrt{1+a^4}} \right) - 1 \right] \cdot 100, \quad (2)$$

для сферического слоя ($\theta_1 = 45^\circ$ и $\theta_2 = 0^\circ$):

$$\delta_2(a) = \left[\frac{4}{3a^2} \left(\frac{(1-a^2)(\sqrt{1+\sqrt{2}a+a^2} + \sqrt{1-\sqrt{2}a+a^2})}{2\sqrt{1+a^4}} - \frac{(1-a^2)}{\sqrt{1+a^2}} \right) - 1 \right] \cdot 100. \quad (3)$$

Выходными напряжениями датчика являются напряжения $U_1(t) = kE_1(t)$ и $U_3(t) = kE_2(t)$. При этом напряжение $U_3(t) = [U_1(t) + U_2(t)]/2$ формируются на выходе полусумматора 8 и объединяют электрические заряды, индуцированные на чувствительных элементах 2 + 4 и 3 + 5.

Для напряжений $U_1(t)$ и $U_2(t)$ с учетом их погрешности можно записать:

$$\begin{cases} U_1(t) = kE_1(t) = kE_0(1 + \delta_1), \\ U_2(t) = kE_2(t) = kE_0(1 + \delta_2). \end{cases} \quad (4)$$

Для напряжения $U_3(t)$ с учетом погрешности запишем

$$\begin{aligned} U_3(t) &= \frac{k[E_1(t) + E_2(t)]}{2} = \\ &= kE_3(t) = kE_0(t) \cdot (1 + \delta_3), \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\delta_3 = (\delta_1 + \delta_2)/2. \quad (6)$$

Подставив в выражение для δ_3 выражения (2) и (3), получим

$$\begin{aligned} \delta_3(a) &= \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{4}{3a^2} \left(1 - \frac{(1-a^2)(\sqrt{1+\sqrt{2}a+a^2} + \sqrt{1-\sqrt{2}a+a^2})}{2\sqrt{1+a^4}} \right) - 1 \right] + \right. \\ &\left. + \left[\frac{4}{3a^2} \left(\frac{(1-a^2)(\sqrt{1+\sqrt{2}a+a^2} + \sqrt{1-\sqrt{2}a+a^2})}{2\sqrt{1+a^4}} - \frac{(1-a^2)}{\sqrt{1+a^2}} \right) - 1 \right] \right\} \cdot 100 = \\ &= \left[\frac{2}{3a^2} \left(1 - \frac{1-a^2}{\sqrt{1+a^2}} \right) - 1 \right] \cdot 100. \end{aligned} \quad (7)$$

Выражение (7) после определения параметра a , что будет показано ниже, позволяет определять погрешность результата измерения НЭП E_0 .

Теперь несложно записать НЭП E_1 и E_2 в функции от пространственного диапазона измерения a :

$$E_1(a) = E_0(a)[1 + \delta_1(a)] \quad \text{и} \quad E_2(a) = E_0(a)[1 + \delta_3(a)], \quad (8)$$

где E_0 — напряженность ЭП исходного поля в точке измерения до внесения датчика.

Введем в рассмотрение коэффициент $k(a)$

$$k(a) = \frac{E_1(a)}{E_2(a)}, \quad (9)$$

который будет использоваться для определения расстояния для источника поля.

Постановка задачи. Для создания нового метода измерений и достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

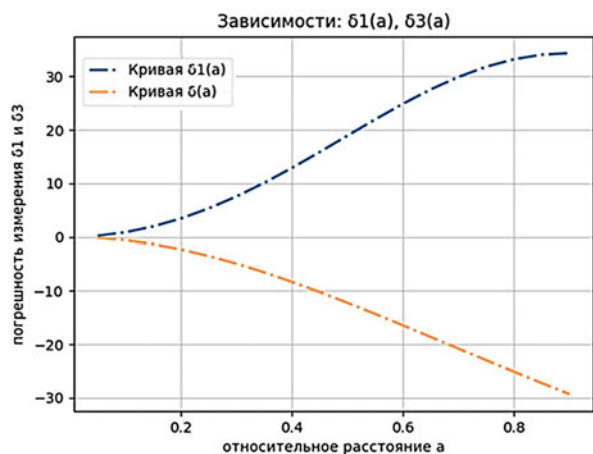


Рис. 2. График зависимости погрешностей δ_1 и δ_3 измерения напряженности от относительного расстояния a

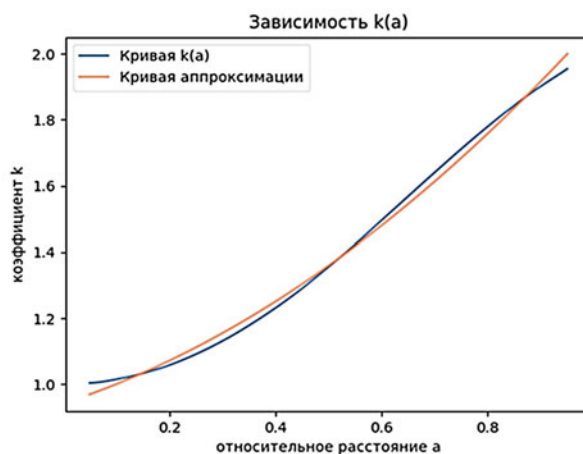


Рис. 3. График зависимости $k(a)$ и аппроксимирующей кривой

1. Произвести расчет погрешностей измерений $\delta_1(a)$ и $\delta_3(a)$ для пространственного диапазона измерений a (относительного расстояния) от 0 до 0,95 с шагом 0,05, используя выражения (2) и (7).

2. Построить график зависимостей $\delta_1(a)$ и $\delta_3(a)$ и представить их (рис. 2).

3. Рассчитать коэффициенты $k(a)$ (выражение (9)) для пространственного диапазона измерений a от 0 до 0,95 с шагом 0,05 с учетом выражения (8)

$$k(a) = \frac{E_1(a)}{E_2(a)} = \frac{E_0[1 + \delta_1(a)]}{E_0[1 + \delta_3(a)]} = \frac{1 + \delta_1(a)}{1 + \delta_3(a)}. \quad (10)$$

Полученные результаты записать в табл. 1.

4. По данным (табл. 1) получить эмпирическое выражение для функциональной зависимости параметра a от $k(a)$.

Полученное эмпирическое выражение для a имеет вид [23]:

$$a = \frac{R}{d} = 1,123\sqrt{k(a) - 0,94} - 0,21, \quad (11)$$

Для наглядности подтверждения уменьшения погрешности $\delta(a)$ предложенного метода построим график этой погрешности в зависимости от пространственного диапазона a и представим его на рис. 4.

Из графика (рис. 4) следует, что погрешность измерения предложенного метода измерений положительна и не превышает 4,6 % во всем пространственном диапазоне измерений a .

где R — радиус датчика; d — расстояние от центра датчика до источника поля.

На графике (рис. 3) представлена зависимость коэффициента $k(a)$ от пространственного диапазона измерения a и кривая аппроксимации.

Используемый в работе метод измерения по среднему значению, включенный в состав предлагаемого авторами нового метода, позволяет повысить точность НЭП E по отношению к исходному полю E_0 . Поясним это утверждение, для чего с учетом выражения (8) запишем:

$$E(a) = \frac{E_1(a) + E_2(a)}{2} = E_0(a) \left[1 + \frac{\delta_1(a) + \delta_3(a)}{2} \right], \quad (12)$$

где

$$\delta(a) = (\delta_1(a) + \delta_3(a))/2. \quad (13)$$

В выражении (13) погрешность $\delta_1(a)$ положительная, а погрешность $\delta_3(a)$ отрицательная. После подстановки в выражение (13) выражений (2) и (7) для погрешностей $\delta_1(a)$ и $\delta_3(a)$ получим выражение для результирующей погрешности сдвоенного датчика $\delta(a)$:

$$\delta(a) = \left\{ \frac{1}{3a^2} \left[3 - (1 - a^2) \left(\frac{\sqrt{1 + \sqrt{2}a + a^2} + \sqrt{1 - \sqrt{2}a + a^2}}{\sqrt{1 + a^4}} + \frac{1}{\sqrt{1 + a^2}} \right) \right] - 1 \right\} 100. \quad (14)$$

Обсуждение полученных результатов. Полученные в работе результаты исследований позволили сформулировать новый метод измерения НЭП, который сводится к следующему:

1) одновременно измеряются сдвоенным датчиком значения напряженностей ЭП $E_1(a)$ и $E_2(a)$ в интересующихся точках поля;

2) определяется результат измерения НЭП как среднее значение из $E_1(a)$ и $E_2(a)$: $E = (E_1 + E_2) / 2$:

Значения коэффициента k_0 в зависимости от пространственного диапазона измерения a

Таблица 1

a	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$k(a)$	1,004	1,015	1,033	1,058	1,091	1,131	1,178	1,231	1,29	1,355
a	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	
$k(a)$	1,423	1,495	1,568	1,64	1,711	1,779	1,843	1,901	1,954	

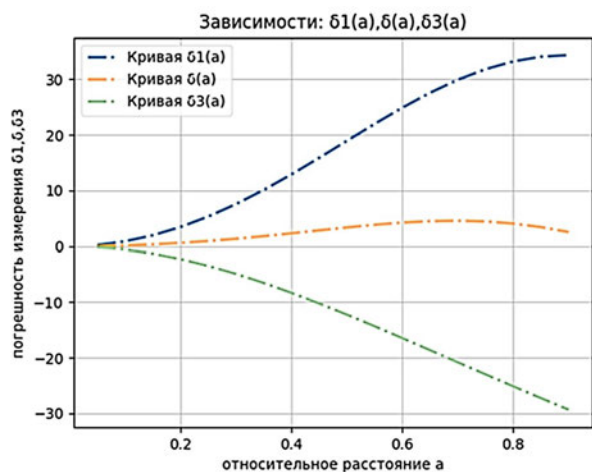


Рис. 4. График зависимостей погрешностей δ_1 и δ_3 измерения напряженности E от a и результирующей погрешности δ значения

3) определяется значения введенного коэффициента $k(a)$ для каждой точки измерения как $k(a) = E_1(a) / E_2(a)$;

4) определяется по найденным значениям коэффициента $k(a)$ и эмпирическому выражению (11) пространственный диапазон измерения в каждой точке поля;

5) определяется по найденным значениям в п. 4 относительных расстояний a и выражению (14) погрешность $\delta(a)$ в каждой точке измерений;

6) производится уточнение полученного результата измерений НЭП:

$$E_0(a) = \frac{E(a)}{[1 + \delta(a)]},$$

где $E(a)$ — результаты измерений, полученные в п. 2 метода измерений; $\delta(a)$ — погрешность результата измерения, полученная по выражению (14); $E_0(a)$ — НЭП в точке измерения до внесения датчика.

Данный метод является принципиально новым [24].

Заключение. В результате проведенных исследований предложен новый метод измерения НЭП с использованием сдвоенного электроиндукционного сферического датчика. Приведены требования к сдвоенному датчику и его конструктивные решения. Использование сдвоенного датчика позволило расширить функциональные возможности метода измерений по среднему значению. Сдвоенный датчик позволил не только измерить НЭП, но и:

- вычислить погрешность результата измерений;
- уточнить результат измерений через его погрешность;
- определить расстояние до источника поля.

Метод подтвержден численным экспериментом.

Библиографический список

1. Xiao D., Ma Q., Xie Y. [et al.]. A Power-Frequency Electric Field Sensor for Portable Measurement // *Sensors* (Basel). 2018. Vol. 18 (4). 1053. DOI: 10.3390/s180410532.
2. Suo C., Wei R., Suo C. [et al.]. Research on the Three-Dimensional Power Frequency Electric Field Measurement

System // *Journal of Sensors*. 2021. Vol. 16. P. 1–15. DOI: 10/1155/2021/8859022.

3. Берент Г. Н., Плейс И. Р. Датчик электрического поля // *Приборы для научных исследований*. 1971. № 6. С. 141–142.
4. Гатман С. А. Двойной измеритель электрического поля с защитой // С. Гатман // *Приборы для научных исследований*. 1968. № 1. С. 45–49.
5. Юркевич В. М., Кондратьев Б. Л. О методике измерения напряженности и других характеристик электрического поля // *Измерительная техника*. 1980. № 5. С. 57–59.
6. Чугунов С. А., Юркевич В. М. Расширение зоны измерения параметров электрического поля при применении зондового метода // *Измерительная техника*. 1981. № 1. С. 33–35.
7. Кондратьев Б. Л., Юркевич В. М. Измерения в электрическом поле с выравниванием потенциалов // *Труды Московского энергетического института*. Москва, 1979. Т. 432. С. 20–22.
8. Колдекотт Р., Деворе Р. В., Себо С. А. Измерение электрических полей на подстанциях сверхвысокого напряжения // *Электрические станции сети и системы. Экспресс-информация*. 1977. № 19. С. 10–26.
9. Chauzy S., Magnes P. Mise au point d'un mesureur de champ électrique alternatif 50 // *Rev. Gen. Elec.* 1988. No. 7. P. 27–38.
10. Бирюков С. В. Метод измерения напряженности электрического поля путем выравнивания составляющих // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления (Датчик-2002): сб. материалов XIV науч.-техн. конф. с участ. зарубеж. специалистов. Москва, 01–31 мая 2002 г. / под ред. В. Н. Азарова. Москва: Изд-во МГИЭМ, 2002. С. 25–26.
11. Бирюков С. В. Методы измерения напряженности неоднородных электрических полей вблизи источников поля трехкоординатными датчиками // *Известия вузов. Электротехника*. 2003. № 4. С. 22–25. EDN: HTUFYJ.
12. Коробкова В. П., Морозов Ю. А., Столяров М. Д. [и др.]. Воздействие электрического поля распределительных устройств 500 и 750 кВ на обслуживающий персонал и средства для его защиты // *Подстанции переменного тока: материалы междунар. конф. по большим электрическим системам (СИГРЭ-72)*. Москва: Энергия, 1974. С. 33–43.
13. Eggert S., Goltz S. NFM-1 ein aperiodisches Nahfeld – Stärkemessgerät für Messungen an Hochfrequenzarbeitsplätze // *Radio Fernsehen Elektronik*. 1976. Vol. 25, no. 15. S. 488–490.
14. Сукманов В. И., Сафонов В. И., Ильин А. Н. [и др.]. Прибор для измерения напряженности электрического поля // *Электрические станции*. 1987. № 6. С. 69–71.
15. Пат. 2743617 С1 Российская Федерация, МПК G 01 R 29/12. Способ измерения напряженности электрического поля повышенной точности / Бирюков С. В., Глуховера Е. Г. № 2020118083; заявл. 02.06.2020; опубл. 20.02.2021. Бюл. № 5. 10 с.
16. Пат. 2773868 С1 Российская Федерация, МПК G 01 R 29/12. Способ измерения напряженности электрического поля сдвоенным датчиком / Бирюков С. В., Тюкина Л. В., Тюкин А. В. № 2021120230; заявл. 09.07.2021; опубл. 14.06.2022. Бюл. № 17. 8 с.
17. Тюкина Л. В., Бирюков С. В., Тюкин А. В. Новый подход к применению метода измерений напряженности электрического поля по среднему значению // *Омский научный вестник*. 2022. № 3 (183). С. 122–127. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-183-122-127. EDN: GRAKRH.
18. Пат. 210806 U1 Российская Федерация, МПК G 01 R 29/12. Сдвоенный датчик для измерения напряженности электрического поля с составными чувствительными элементами / Бирюков С. В., Тюкина Л. В. № 2022101437; заявл. 24.01.2022; опубл. 05.05.2022. Бюл. № 13. 10 с.
19. Глуховера Е. Г. Датчики напряженности электрического поля на новых физических эффектах и явлениях // *Актуальные проблемы современной науки: материалы IX Регион.*

науч.-практ. конф. с междунар. участием. Омск, 29 мая 2020 г. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. С. 47–50.

20. Цигловский К. Б., Аксельрод В. С. Приборы для измерения параметров электростатического поля и их калибровка // Измерительная техника. 1978. № 5. С. 63–65.

21. Misakian M., Kotter F. R., Kahler R. L. Miniature ELF Electric Field Probe // Instruments for Scientific Research. 1978. Vol. 49, no. 7. P. 933–935. DOI: 10.1063/1.1135497.

22. Шкарин Ю. П. Влияние электроустановок высоко-го напряжения на окружающую среду: пер. докл. междунар. конф. по большим электрическим системам (СИГРЭ-86). Москва: Энергоатомиздат, 1988. 104 с. ISBN 5-283-02447-4.

23. Пат. № 2776097 С1 Российская Федерация, МПК G 01 R 29/12. Способ измерения напряженности электрического поля с использованием датчика сдвоенного типа / Бирюков С. В., Тюкина Л. В., Тюкин А. В. № 2021120706; заявл. 14.07.2021; опубл. 13.07.2022. Бюл. № 29. 9 с.

24. Пат. № 2774654 С1 Российская Федерация, МПК G 01 R 29/12. Способ измерения напряженности электрического поля датчиком сдвоенного типа / Бирюков С. В., Тюкина Л. В., Тюкин А. В. № 2021120704; заявл. 14.07.2021; опубл. 21.06.2022. Бюл. № 18. 9 с.

БИРЮКОВ Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Физика» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 9384-0078

ORCID: 0000-0002-1362-9911

AuthorID (SCOPUS): 7006438919

Адрес для переписки: sbiryukov154@mail.ru

ТЮКИН Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и математика» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, г. Омск.

SPIN-код: 4516-7742

AuthorID (SCOPUS): 57203100232

ORCID: 0000-0002-7316-3797

ТЮКИНА Людмила Владимировна, преподаватель Омского промышленно-экономического колледжа, г. Омск.

SPIN-код: 6018-7429

Для цитирования

Бирюков С. В., Тюкин А. В., Тюкина Л. В. Разработка нового метода измерения напряженности электрического поля на основе сдвоенного электроиндукционного датчика // Омский научный вестник. 2024. № 2 (190). С. 99–106. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-99-106.

Статья поступила в редакцию 29.11.2023 г.

© С. В. Бирюков, А. В. Тюкин, Л. В. Тюкина

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR MEASURING THE ELECTRIC FIELD STRENGTH BASED ON A DUAL ELECTRO-INDUCTION SENSOR

A new method for measuring electric field strength is proposed. The method is based on the mean value measurement method, which uses a dual electroinduction spherical sensor. The use of the dual sensor for the method implementation allows to extend the functionality of the method by mean value. The method of measurement by the mean value assumes simultaneous measurement of two values of intensity E_1 and E_2 in one point of electric field with opposite sign errors. As the theory of construction of the new method has shown, it is possible to determine not only the measurement result as an average of two values of the strengths, but also to estimate the error of the measurement result and tentatively determine the distance to the field source. In order to determine the distance to the field source, a coefficient of the ratio of the two found strengths at each point of the field is introduced, by which the empirical dependence of the relative distance to the field source is found. The relative distance is the ratio between the radius of the spherical sensor and the distance to the field source. By determining the relative distance at each measuring point according to this relationship and substituting it into the known expression for the error, the error of the result at the measuring point is determined. The relative distance is also used to determine the distance to the field source. Thus, the new method of measurement allows to increase the accuracy of measurement of electric field strength, determined by the relative distance to the source of the field.

Keywords: measurement method, electroinduction sensor, dual sensor, electric field, measurement error, distance to the field source.

References

1. Xiao D., Ma Q., Xie Y. [et al.]. A Power-Frequency Electric Field Sensor for Portable Measurement // *Sensors* (Basel). 2018. Vol. 18 (4). 1053. DOI: 10.3390/s180410532. (In Engl.).
2. Suo C., Wei R., Suo C. [et al.]. Research on the Three-Dimensional Power Frequency Electric Field Measurement System // *Journal of Sensors*. 2021. Vol. 16. P. 1–15. DOI: 10/1155/2021/8859022. (In Engl.).
3. Berent G. N., Pleys I. R. Datchik elektricheskogo polya [Electric field sensor] // *Pribory dlya nauchnykh issledovaniy. Instruments for Scientific Research*. 1971. No. 6. P. 141–142. (In Russ.).
4. Gatman S. Dvoynoy izmeritel' elektricheskogo polya s zashchitoy [Double electric field meter with protection] // *Pribory dlya nauchnykh issledovaniy. Instruments for Scientific Research*. 1968. No. 1. P. 45–49. (In Russ.).
5. Yurkevich V. M., Kondratyev B. L. O metodike izmereniya napryazhennosti i drugikh kharakteristik elektricheskogo polya [About the technique for measuring the intensity and other characteristics of the electric field] // *Izmeritel'naya tekhnika. Measurement Techniques*. 1980. No. 5. P. 57–59. (In Russ.).
6. Chugunov S. A., Yurkevich V. M. Rasshireniye zony izmereniya parametrov elektricheskogo polya pri primenenii zondovogo metoda [Expanding the area for measuring electric field parameters when using the probe method] // *Izmeritel'naya tekhnika. Measurement Techniques*. 1981. No. 1. P. 33–35. (In Russ.).
7. Kondrat'yev B. L., Yurkevich V. M. Izmereniya v elektricheskom pole s vyravnivaniyem potentsialov [Electric field measurements with potential equalization] // *Trudy Moskovskogo energeticheskogo instituta. Proceedings Moscow Energy Institute*. Moscow, 1979. Vol. 432. P. 20–22. (In Russ.).
8. Koldekott P., Devore R. V., Sebo S. A. Izmereniye elektricheskikh poley na podstantsiyakh sverkhvysokogo napryazheniya [Measuring electric fields at ultra-high voltage substations] // *Elektricheskiye stantsii seti i sistemy. Ekspress-*

информативна. *Electric Power Stations Networks and Systems. Express Information*. 1977. No. 19. P. 10–26. (In Russ.).

9. Chauzy S., Magnes P. Mise au point d'un mesureur de champ électrique alternatif 50 // *Rev. Gen. Elec.* 1988. No. 7. P. 27–38. (In Engl.).

10. Biryukov S. V. Metod izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya putem vyravnivaniya sostavlyayushchikh [Method for measuring electric field strength by equalizing components] // *Datchiki i preobrazovateli informatsii sistem izmereniya, kontrolya i upravleniya (Datchik-2002)*. *Sensors and Information Converters for Measurement, Monitoring and Control Systems (Sensor-2002)* / Ed. by V. N. Azarova. Moscow, 2002. P. 25–26. (In Russ.).

11. Biryukov S. V. Metody izmereniya napryazhennosti neodnorodnykh elektricheskikh poley vblizi istochnikov polya trekhkoordinatnymi datchikami [Methods for measuring the strength of non-uniform electric fields near field sources using three-coordinate sensors] // *Izvestiya vuzov. Elektromekhanika. Russian Electromechanics*. 2003. No. 4. P. 22–25. EDN: HTUFYJ. (In Russ.).

12. Korobkova V. P., Morozov Yu. A., Stolyarov M. D. [et al.]. Vozdeystviye elektricheskogo polya raspredelitel'nykh ustroystv 500 i 750 kV na obsluzhivayushchiy personal i sredstva dlya ego zashchity [Impact of the electric field of 500 and 750 kV switchgears on operating personnel and means for their protection] // *Podstantsii peremennogo toka. AC Substations*. Moscow. 1974. P. 33–43. (In Russ.).

13. Eggert S., Goltz S. NFM-1 ein aperiodisches Nahfeld – Stärkemessgerät für Messungen an Hochfrequenzarbeitsplätze [NFM-1 an aperiodic near field strength meter for measurements at high frequency locations] // *Radio Fernsehen Elektronik. Radio Television Electronics*. 1976. Vol. 25, no. 15. P. 488–490. (In Germ.).

14. Sukmanov V. I., Safonov V. I., Ilin A. N. [et al.]. Pribor dlya izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya [Electric field strength measuring device] // *Elektricheskie stantsii. Electric Stations*. 1987. No. 6. P. 69–71. (In Russ.).

15. Patent 2743617 C1 Russian Federation, IPC G 01 R 29/12. Sposob izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya povyshennoy tochnosti [Method of highest accuracy for electric field measuring] / Biryukov S. V., Glukhoverya E. G. No. 2020118083. (In Russ.).

16. Patent 2773868 U1 Russian Federation, IPC G 01 R 29/08. Sposob izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya sdvoyennym datchikom [Method for measuring the electric field strength with a dual sensor] / Biryukov S. V., Tyukina L. V., Tyukin A. V. No. 2021120230. (In Russ.).

17. Tyukina L. V., Biryukov S. V., Tyukin A. V. Novyy podkhod k primeneniyu metoda izmereniy napryazhennosti elektricheskogo polya po srednemu znacheniyu [A new approach to application of the method of measuring electric field strength by average value] // *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2022. No. 3 (183). P. 122–127. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-183-122-127. EDN: GRAKRH. (In Russ.).

18. Patent 210806 U1 Russian Federation, IPC G 01 R 29/12. Sdvoyenny datchik dlya izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya s sostavnymi chuvstvitel'nymi elementami [Dual sensor for measuring electric field strength with composite sensing elements] / Biryukov S. V., Tyukina L. V. No. 2022101437. (In Russ.).

19. Glukhoverya E. G. Datchiki napryazhennosti elektricheskogo polya na novykh fizicheskikh effektakh i yavleniyakh [Electric field strength sensors based on new physical effects and phenomena] // *Aktualnyye problemmy sovremennoy nauki. Current Problems of Modern Science*. Omsk, 2020. P. 47–50. (In Russ.).

20. Shchiglovskiy K. B., Aksel'rod V. S. Pribory dlya izmereniya parametrov elektrostatischeeskogo polya i ikh kalibrovka [Instruments for measuring electrostatic field parameters and their calibration] // *Izmeritel'naya tekhnika. Measurement Techniques*. 1978. No. 5. P. 63–65. (In Russ.).

21. Misakian M., Kotter F. R., Kahler R. L. Miniature ELF Electric Field Probe // *Instruments for Scientific Research*. 1978. Vol. 49, no. 7. P. 933–935. DOI: 10.1063/1.1135497. (In Engl.).

22. Shkarin Yu. P. Vliyaniye elektroustanovok vysokogo napryazheniya na okruzhayushchuyu sredu [Impact of high voltage electrical installations on the environment]. Moscow, 1988. 104 p. ISBN 5-283-02447-4. (In Russ.).

23. Patent 2776097 S1 Russian Federation, IPC G 01 R 29/12. Sposob izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya s ispol'zovaniyem datchika sdvoyennogo tipa [Method for measuring the electric field intensity using a dual-type sensor] / Biryukov S. V., Tyukina L. V., Tyukin A. V. No. 2021120706. (In Russ.).

24. Patent 2774654 C1 Russian Federation, IPC G 01 R 29/12. Sposob izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya datchikom sdvoyennogo tipa [Method for measuring the electric field strength by a dual-type sensor] / Biryukov S. V., Tyukina L. V., Tyukin A. V. No. 2021120704. (In Russ.).

BIRYUKOV Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Physics Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 9384-0078

ORCID: 0000-0002-1362-9911

AuthorID (SCOPUS): 7006438919

Correspondence address: sbiryukov154@mail.ru

TYUKIN Alexander Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physics and Mathematics Department, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk.

SPIN-code: 4516-7742

ORCID: 0000-0002-7316-3797

AuthorID (SCOPUS): 57203100232

TYUKINA Lyudmila Vladimirovna, Lecturer at the Omsk Industrial and Economic College, Omsk.

For citations

Biryukov S. V., Tyukin A. V., Tyukina L. V. Development of a new method for measuring the electric field strength based on a dual electro-induction sensor // *Omsk Scientific Bulletin*. 2024. No. 2 (190). P. 99–106. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-99-106.

Received November 29, 2023.

© S. V. Biryukov, A. V. Tyukin,
L. V. Tyukina