

Мисеюк Ольга Ивановна

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Для датчиков напряженности электрического поля в проводящих средах, расположенных на подвижных носителях, обоснован выбор в качестве критерия оптимизации максимальной мощности, отдаваемой в согласованную нагрузку. Показано, что выполнение указанного условия обеспечивает максимальный коэффициент преобразования и минимальный порог реагирования датчика. Предложена идеализированная модель первичного преобразователя, позволяющая получить аналитическое решение при определении параметров параллельной схемы замещения активного двухполюсника, в качестве которого рассматривается окружающая среда вместе с источником измеряемого электрического поля. Получены оптимальные соотношения конструктивных размеров рассмотренной модели первичного преобразователя.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2017/1/18.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2017. № 1 (115). С. 64-68. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2017/1/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 621.317.328

Технические науки

Для датчиков напряженности электрического поля в проводящих средах, расположенных на подвижных носителях, обоснован выбор в качестве критерия оптимизации максимальной мощности, отдаваемой в согласованную нагрузку. Показано, что выполнение указанного условия обеспечивает максимальный коэффициент преобразования и минимальный порог реагирования датчика. Предложена идеализированная модель первичного преобразователя, позволяющая получить аналитическое решение при определении параметров параллельной схемы замещения активного двухполюсника, в качестве которого рассматривается окружающая среда вместе с источником измеряемого электрического поля. Получены оптимальные соотношения конструктивных размеров рассмотренной модели первичного преобразователя.

Ключевые слова и фразы: датчик напряженности электрического поля; первичный преобразователь; коэффициент преобразования; порог чувствительности; электрод; сопротивление растекания; ток короткого замыкания.

Мисеюк Ольга Ивановна, к.т.н., доцент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

omiseyuk@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Измерение напряженности естественных и искусственных электрических полей в морской воде при помощи датчиков, расположенных на подвижных носителях, является специфической задачей, требующей для своего решения создания таких измерительных преобразователей, на которые бы не влияло электрическое поле индукции, связанное с движением системы в геомагнитном поле. Кроме того, необходимо, чтобы результаты измерений не зависели от скорости движения носителя. Метрологические параметры датчиков напряженности электрического поля (ДНЭП), отвечающих этим требованиям [4; 6], в значительной степени зависят от соотношения конструктивных размеров их первичных преобразователей (ПП), которые представляют собой электродную систему, разделенную диэлектрической перегородкой [5].

Задача улучшения метрологических характеристик ДНЭП при соблюдении ограничений, накладываемых на габариты датчиков, непосредственно связана с задачей оптимизации первичных преобразователей, которая решается путем выбора оптимальных соотношений конструктивных размеров последних. Задача оптимизации ставится следующим образом. Требуется определить соотношение между характерными конструктивными размерами ПП, обеспечивающими максимальный коэффициент преобразования и минимальное значение порога реагирования ДНЭП при соблюдении ограничений на максимальный габаритный размер ПП.

Возможность постановки и решения задачи оптимизации ПП следует из анализа выражения для максимальной мощности, которую преобразователь может отдать в согласованную нагрузку:

$$P_{max} = \frac{R_{вх} I_k^2}{4}, \quad (1)$$

где I_k – ток короткого замыкания, $R_{вх}$ – резистивная составляющая входного сопротивления являются параметрами параллельной схемы замещения активного двухполюсника, в качестве которого можно представить окружающую среду вместе с источником поля относительно электродов ПП. Очевидно, что для ПП, представленного на Рис. 1, при заданном максимальном габаритном размере «b» уменьшение размера «a» электродов приводит к уменьшению тока I_k до нуля, а, следовательно, в соответствии с (1), к нулю стремится мощность, которая может быть отдана согласующему устройству.

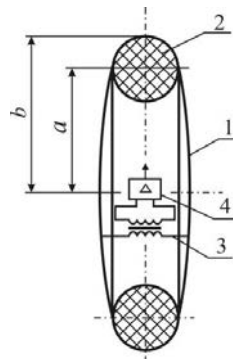


Рис. 1. Идеализированная модель датчика напряженности электрического поля:

1 – электроды, 2 – изоляционная перегородка, 3 – согласующий трансформатор, 4 – предусилитель

При увеличении размера электрода «a» до величины электрода «b» к нулю стремится входное сопротивление $R_{вх}$, а значит и указанная мощность. Очевидно, что должен существовать такой оптимальный размер

«а» электрода, при котором достигается максимальное значение указанной мощности, обеспечивающее максимальный коэффициент преобразования ДНЭП. С другой стороны, анализ, проведенный в [1; 2], показал, что в целом ряде практически важных случаев при решении задачи оптимизации ПП в качестве источника шума принимается резистивная составляющая $Z_{вх}$, рассчитанная по формуле:

$$Z_{вх} = R_p + 2 Z_{сл}, \quad (2)$$

где R_p – сопротивление растекания по воде между парой электродов без учета влияния двойного электрического слоя, сопротивление которого равно $Z_{сл}$. При этом условие передачи максимальной мощности совпадает с условием достижения максимального соотношения сигнал/шум.

Таким образом, первичный преобразователь, оптимальный с точки зрения передачи в согласующее устройство максимальной мощности, является одновременно и оптимальным в смысле максимальной чувствительности.

Ток I_k короткого замыкания и сопротивление $R_{вх}$, входящие в выражение (1), определяются в результате решения краевой задачи со смешанными граничными условиями. В качестве примера рассмотрим расчет тока I_k и сопротивления растекания R_p для ДНЭП, у которого диэлектрическая вставка ограничена поверхностью тора, а электроды – поверхностями части сферы, которые являются координатными поверхностями в тороидальной системе координат. При этом задача определения I_k и R_p решается аналитически. Рассмотрим задачу определения I_k . Задача ставится следующим образом. Требуется определить величину тока в окне проема тора, расположенного в однородном электрическом поле с напряженностью E_0 и обладающего удельной электропроводностью σ . С этой целью будем искать распределение потенциала в области, лежащей вне тора, в виде:

$$u = U_0 + u_1, \quad (3)$$

где U_0 – потенциал исходного неискаженного однородного поля, u_1 – потенциал поля, искаженного диэлектрическим тором, в части пространства вне тора. Искомое решение должно удовлетворять граничному условию $\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{\alpha=\alpha_0} = 0$, где α_0 – координатная поверхность, совпадающая с поверхностью тора, и условию $\text{grad } u = E_0$ при $z \rightarrow \infty$, где $z = \frac{c \sin \beta}{\cosh \alpha - \cos \beta}$, α, β – тороидальные координаты, $c = \sqrt{R^2 - r^2}$ – масштабный множитель (Рис. 2).

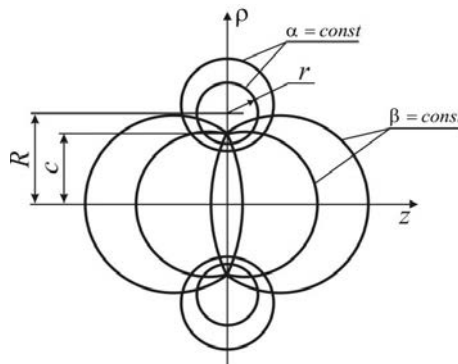


Рис. 2. Тороидальная система координат

Как показано в [5], решение для u имеет вид:

$$u(\alpha, \beta) = E_0 \frac{c \sin \beta}{ch\alpha - \cos \beta} + (2ch\alpha - 2 \cos \beta)^{1/2} \sum_{n=0}^{\infty} M_n P_{n-0,5}(ch\alpha) \sin n\beta. \quad (4)$$

Искомый ток в проеме тора определим как:

$$I_k = \int j_{\beta=\pi} dS_0 = 2\pi c^2 \int_0^{\alpha_0^2} j_{\beta=\pi} \frac{sh\alpha}{(ch\alpha+1)} d\alpha, \quad (5)$$

где плотность тока $j_{\beta=\pi} = \sigma E_{\beta=\pi} - \sigma \frac{1}{h_\beta} \frac{\partial u}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi}$.

После математических преобразований по результатам численного расчета зависимости $I_k \left(\frac{R}{r} \right)$ было получено выражение I_k , аппроксимирующее зависимость для $\frac{R}{r} \geq 1,5$ с погрешностью, не превышающей 10%:

$$I_k = \pi \sigma E_0 r^2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right)^2 \left[1 + 2 \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]^2. \quad (6)$$

Как видно из (6), первый член выражения равен току через окно тора от неискаженного поля с напряженностью E_0 , второй член представляет собой поправку от сгущающего действия тора.

Второй параметр схемы замещения определим как разность:

$$R_d = R_{\text{вх}} = R_p - R_0, \quad (7)$$

где R_p – сопротивление растекания, т.е. сопротивление проводящей жидкости, расположенной вне тора, R_0 – сопротивление проводящей жидкости в объеме, ограниченном поверхностью тора и электродов (Рис. 3). Для определения R_p используем следующий прием. Представим, что в плоскости ортогональной оси z (Рис. 3), проходящей через точку $z = 0$ и являющейся эквипотенциальной в рассматриваемой системе координат, размещены тонкие металлические пластины. Одна из них, имеющая потенциал $u_1 = V_0$, размещена в окне тора, другая, с потенциалом $u_2 = -V_0$, расположена вне окна тора. Очевидно, что внесение таких пластин не вызовет искажения картины поля.

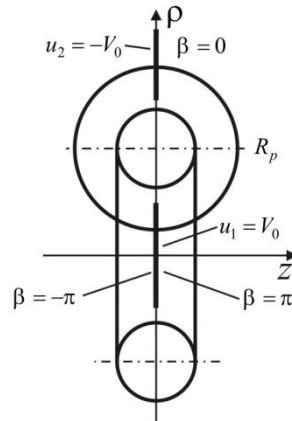


Рис. 3. К расчету R_p

Определив величину тока I , протекающего от пластины с потенциалом u_1 к пластине с потенциалом u_2 , можно найти сопротивление растекания $R_p = \frac{u_1 - u_2}{I} = \frac{2V_0}{I}$. Для рассматриваемого случая, учитывая симметрию относительно плоскости $z = 0$, решение уравнения Лапласа имеет вид [3]:

$$u = \sqrt{2(\text{ch}\alpha - \cos\beta)} \sum_{n=0}^{\infty} M_n P_{n-1/2}(\text{ch}\alpha) \cos n\beta. \quad (8)$$

С учетом граничных условий на плоскости $\beta = \pm\pi$, где $u = V_0$, и на плоскости $\beta = 0$, где $u = -V_0$, а также граничного условия для потенциала, удовлетворяющегося на поверхности тора $\alpha = \alpha_0$, $\left. \frac{\partial u}{\partial n} \right|_{\alpha=\alpha_0} = \frac{1}{h_\alpha} \frac{\partial u}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_0} = 0$, получим выражение для потенциала поля, создаваемого системой вышеуказанных электродов $u = A \sqrt{(\text{ch}\alpha - \cos\beta)} \sum_{n=0}^{\infty} \eta_n \cos n\beta P_{n-1/2}(\text{ch}\alpha)$, где

$$A = \frac{V_0}{2} \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{\text{ch}\alpha_0 + 1}} - \frac{1}{\sqrt{\text{ch}\alpha_0 - 1}} \right)}{\sum_{n=0}^{\infty} \eta_n P_{2n-0,5}(\text{ch}\alpha_0)}; \quad \eta_n = \frac{\lambda_{n-1} \eta_{n-1} - P_{n-2,5}^1 \eta_{n-2}}{P_{n-0,5}^1}, \quad n=0,1,2,\dots \quad (9)$$

$$\lambda_n = \text{sh}\alpha_0 P_{n-0,5}(\text{ch}\alpha_0) + 2 \text{ch}\alpha_0 P_{n-0,5}^1(\text{ch}\alpha_0).$$

Определим плотность тока I , от величины которого зависит сопротивление растекания: $j_\beta = \sigma E_\beta = \sigma \frac{1}{h_\beta} \left(-\frac{\partial u}{\partial \beta} \right)$. На поверхности $\beta = \frac{\pi}{2} = \text{const}$ плотность тока равна $j_{\beta=\frac{\pi}{2}} = -\sigma A \frac{\text{ch}\alpha}{c} \left[\frac{1}{2\sqrt{\text{ch}\alpha}} \sum_{n=0}^{\infty} \eta_{2n} (-1)^n P_{2n-0,5} + \sqrt{\text{ch}\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \eta_{2n+1} (-1)^{n+1} (2n+1) P_{2n+0,5}(\text{ch}\alpha) \right]$. Выражение для тока I будет иметь вид:

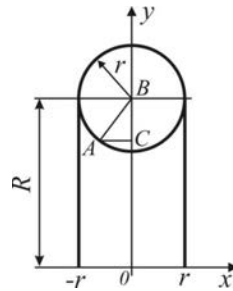
$$I = \int j_{\beta=\frac{\pi}{2}} ds = \pi \sigma A c \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left[\begin{array}{l} \eta_{2n} \int_1^{R/r} \frac{P_{2n-0,5}(\text{ch}\alpha)}{(\text{ch}\alpha)^{3/2}} d(\text{ch}\alpha) - \\ - 2(2n+1) \eta_{2n+1} \int_1^{R/r} \frac{P_{2n+0,5}(\text{ch}\alpha)}{(\text{ch}\alpha)^{1/2}} d(\text{ch}\alpha) \end{array} \right]. \quad (10)$$

С учетом (9) и (10) выражение R_p примет вид:

$$R_p = \frac{2V_0}{I} = \frac{4 \sum_{n=0}^{\infty} \eta_{2n} P_{2n-0,5}(\frac{R}{r})}{\pi \sigma r \left(\sqrt{\frac{R}{r}-1} - \sqrt{\frac{R}{r}+1} \right) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left[\eta_{2n} \int_1^{\frac{R}{r}} \frac{P_{2n-0,5}(z)}{z^{3/2}} dz - 2(2n+1) \eta_{2n+1} \int_1^{\frac{R}{r}} \frac{P_{2n+0,5}(z)}{(z)^{1/2}} dz \right]}, \quad (11)$$

где $z = \text{ch}\alpha$. Величина сопротивления R_0 определяется как (Рис. 4):

$$R_0 = 2 \int_0^r d\rho, \quad \text{где } d\rho = \frac{1}{\sigma} \frac{dx}{\pi y^2}. \quad (12)$$

Рис. 4. К расчету R_0

Определим y через размеры тора и координату x из треугольника ABC (Рис. 4):

$$y = R - \sqrt{r^2 - x^2}, \quad 0 \leq x \leq r. \quad (13)$$

С учетом (10) и (11) получим выражение для R_0 :

$$R_0 = \frac{2}{\pi\sigma} \left[\int_{R-r}^R \frac{Rdz}{z^2 \sqrt{r^2 - (R-z)^2}} - \int_{R-r}^R \frac{dz}{z \sqrt{r^2 - (R-z)^2}} \right], \quad (14)$$

где $z = R - \sqrt{r^2 - x^2}$. Оба интеграла в (12) являются табличными. После математических преобразований окончательно получим:

$$R_0 = \frac{2}{\pi\sigma} \frac{r}{(R^2 - r^2)} \left[1 + \frac{r}{\sqrt{R^2 - r^2}} \left(\pi - \arcsin \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}} \right) \right]. \quad (15)$$

Таким образом, выражения (11) и (15) позволяют совместно с (7) определить R_d . По результатам расчета было получено выражение, аппроксимирующее зависимость (11) для $\frac{R}{r} \geq 2$ с погрешностью, не превышающей 10%:

$$R_p = \frac{1}{\sigma r \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \left(188 + 25 \frac{R}{r} - 0,5 \frac{R^2}{r^2} \right)}. \quad (16)$$

Используя (6) и (16), проведено исследование на экстремум выражения (1). В результате было получено оптимальное с точки зрения передачи в нагрузку максимальной мощности и минимального порога реагирования соотношение конструктивных размеров рассматриваемого ДНЭП: $\left(\frac{R}{r} \right)_{\text{опт}} = 25$, что соответствует (Рис. 1) отношению $\left(\frac{a}{b} \right)_{\text{опт}} = 0,90$. Полученный результат нашел подтверждение при расчетах по точным формулам I_k (5) и R_p (11).

Выводы

Для первичных преобразователей ДНЭП в проводящих средах обосновано использование в качестве критерия оптимизации максимальной мощности, отдаваемой в согласованную нагрузку, что обеспечивает максимальный коэффициент преобразования и минимальное значение порога реагирования преобразователя.

Предложена идеализированная модель первичного преобразователя. Получены аналитические выражения параметров параллельной схемы замещения активного двухполюсника: тока короткого замыкания и входного сопротивления. В качестве активного двухполюсника представлена окружающая среда вместе с источником поля относительно электродов первичного преобразователя.

В результате анализа выражения максимальной мощности получено оптимальное соотношение конструктивных параметров рассматриваемой модели датчика: $\left(\frac{R}{r} \right)_{\text{опт}} = 25$.

В дальнейшем предполагается провести оценку влияния реальных конструктивных параметров первичного преобразователя на значения коэффициента преобразования и порога реагирования датчика.

Список литературы

1. **Зимин Е. Ф., Кудин В. Н., Кузовкин В. А.** Первичные преобразователи трансформаторных датчиков электрического поля в проводящих средах // Труды Московского энергетического института. 1980. Вып. 481. С. 29-36.
2. **Зимин Е. Ф., Мисеюк О. И.** Патент № 2122223 «Датчик напряженности электрического поля (варианты)». Бюллетень изобретений № 32. 1998 г.
3. **Лебедев Н. Н.** Специальные функции и их применение. М. – Л., 1968. 360 с.
4. **Мисеюк О. И.** Модуляционный датчик напряженности электрического поля в проводящей среде [Электронный ресурс] // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2015. № 7. DOI: 10.7463/0715.0780965. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/780965.html> (дата обращения: 08.02.2017).
5. **Мисеюк О. И., Плаксин И. И.** О расчете параметров схемы замещения плоского датчика напряженности электрического поля // Труды Московского высшего технического училища им. Н. Э. Баумана. 1982. № 385. С. 28-34.
6. **Мисеюк О. И., Собисевич А. Л.** Электродные системы многокомпонентных датчиков напряженности геоэлектрического поля для подвижных носителей [Электронный ресурс] // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2014. № 5. DOI: 10.7463/0514.0710552. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/710552.html> (дата обращения: 08.02.2017).

OPTIMIZATION OF PRIMARY MEASURING TRANSDUCERS OF ELECTRIC FIELD INTENSITY

Miseyuk Ol'ga Ivanovna, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor
Bauman Moscow State Technical University
omiseyuk@mail.ru

The paper substantiates a choice of maximum power given in the matched load as an optimization criterion for transducers of electric field intensity in conducting media located on mobile carriers. It is shown that meeting this condition provides the maximum conversion coefficient and the minimum threshold of the transducer reaction. The author proposes an idealized model of the primary transducer, which allows obtaining an analytical solution in determination of parameters of the parallel circuit of replacement of the active two-terminal network that is considered as surrounding environment together with the source of measured electric field. The article calculates an optimal relation of structural dimensions of the primary transducer model under study.

Key words and phrases: electric field intensity transducer; primary transducer; conversion coefficient; response threshold; electrode; spreading resistance; short-circuit current.

УДК 811.161.1'04+81'42

Филологические науки

Статья посвящена структуре и семантике одного из самых распространенных видов дескрипции (описания) в древнерусском тексте – описания местности. Автор рассматривает описания местности в двух аспектах: формально-грамматическом и содержательно-тематическом, что позволяет выявить границы дискретных единиц, которые лежат в основе описаний местности, а также проследить их лексическое наполнение. В результате анализа материала данные единицы были отнесены к формульным конструкциям.

Ключевые слова и фразы: описание; дескрипция; описание местности; дескриптивный словесный ряд; дескриптивный элемент; номинативный элемент.

Пилипенко Наталья Викторовна

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
nataliapilipenko@rambler.ru

**СТРУКТУРА И СЕМАНТИКА ОПИСАНИЙ МЕСТНОСТИ В ДРЕВНЕРУССКОМ ТЕКСТЕ
(НА МАТЕРИАЛЕ ПАМЯТНИКОВ XI-XVII ВЕКОВ)**

Описание, или дескрипция (от лат. *describe* – описывать) представляет собой языковую экспликацию познания как процесса определения внешних и внутренних характеристик, свойств, элементов объекта действительности. В современной лингвистике описание рассматривается в двух аспектах: содержательно-тематическом и формально-грамматическом. В основу содержательно-тематического аспекта положено семантическое наполнение описательной единицы, в основу формально-грамматического – её языковое выражение.

К одному из самых распространенных видов описания в древнерусском тексте относится пейзаж, который состоит из описания картин природы и описания общего вида какой-либо местности. Описанию природы в древнерусском тексте нами была посвящена отдельная статья [13, с. 72-85]. Цель данной статьи – рассмотреть структуру и семантику описаний местности.

Следует указать, что изучением описания местности в древнерусских текстах до недавнего времени занималось преимущественно литературоведение, которое рассматривало данный вид дескрипции (описания) в рамках исследования паломнической литературы (В. П. Адрианова-Перетц [1], Т. Ф. Волкова [3], В. В. Данилов [5], Х. М. Лопарев [11], Л. О. Свиридова [18], А. К. Семенкин [19], И. В. Федорова [20] и др.). В лингвистическом плане описание местности не подвергалось специальному исследованию. Отдельные аспекты структурно-семантических особенностей описания местности в древнерусском тексте затронуты лишь в работах М. Вас. Пименовой [14; 15].

Придерживаясь традиции, сложившейся в синхроническом языкознании, мы будем рассматривать описания местности в древнерусском тексте в двух аспектах: формально-грамматическом и содержательно-тематическом, то есть будем рассматривать языковую структуру описательной единицы и её семантическое наполнение.

Описание местности в древнерусском тексте – это имеющая символический смысл формульная конструкция (дескриптивный словесный ряд¹), представленная в виде линейной, обладающей относительной смысловой и структурной законченностью последовательности двух логически зависимых друг от друга

¹ Структура, семантика и функционирование словесных рядов как основных видов минимальных, вычленяемых, повторяющихся единиц древнерусского текста, главной функцией которых является описание действительности, рассмотрены нами в статье «Дескриптивный словесный ряд как минимальная единица древнерусского текста (на материале памятников XI-XVII вв.)» [12, с. 145-160].