

## **Выводы**

1. Синхронные электроприводы с постоянными магнитами обеспечивают повышение КПД на 5–8 % и коэффициента мощности до 0,98 по сравнению с асинхронными аналогами.
2. Применение СДПМ в системах АПК способствует снижению потребления электроэнергии на 10–15 % и повышению надёжности электроснабжения.
3. Асинхронные двигатели остаются экономически целесообразными для простых, кратковременных и нерегулируемых механизмов, тогда как СДПМ эффективны в установках непрерывного действия.

## **Список использованной литературы**

1. Кононенко Е.В., Лукиянов Г.И. Рабочие характеристики синхронных реактивных двигателей при переменной частоте. Томск: ТПУ, 1974. - С. 116-120.
2. Сажин И.Ю. Моделирование пусковых режимов синхронного двигателя при питании от различных источников // Электротехника и электротехнические комплексы. – 2021. – Том 40. - С. 149-156.
3. Филатов А.Н. и др. Статические характеристики и методы расчёта установившихся режимов работы синхронных двигателей. Journal of Siberian Federal University, 2016. – Том 8. – С. 795-801.
4. Петрушин В.С., Каплун В.Н., Шульга С.А. Исследование динамических характеристик асинхронных двигателей в электроприводах с согласующим трансформатором и редуктором. Харьков: НТУ «ХПИ», 2019. – С. 14-20.
5. Рыбак А.Д., Зарница А.Ю., Власов К.С. Энергоэффективность и окупаемость синхронных двигателей с постоянными магнитами. Томск: ТПУ, 2016. – С. 325–326.

**УДК 536.24; 532516; 663.033**

**Чорный-Ерофеев<sup>1</sup> Р.А., студент, Заяц<sup>2</sup> Е.М., д.т.н., профессор**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, г. Минск,*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

## **К РАСЧЕТУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕЖДУ ДВУМЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПРОВОДАМИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ**

В сообществе электротехников иногда возникает вопрос о наличии электрического поля между двумя изолированными проводами, к жилам которых приложено напряжение. Теоретического

ответа на этот вопрос нет. Инструментально не доказано существование такого электрического поля.

В настоящей работе рассмотрена задача определения распределения электрического потенциала между двумя цилиндрическими проводами с изоляцией в электростатическом приближении с решением уравнения Лапласа [1].

Рассмотрим два бесконечно длинных параллельных провода с токопроводящими жилами, в общем случае, с различными радиусами  $a_k$ , материалами изоляции толщиной  $t_k$  с различной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{rk}$ , соответственно ( $k = 1$  – провод 1,  $k = 2$  – провод 2 (Рис. 1). Расстояние между осями проводов  $D$ . Приложенная разность потенциалов  $V$ . Требуется найти распределение потенциала  $\phi$  в пространстве между проводами.

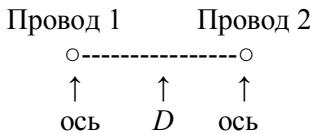


Рисунок 1 – Схематичное представление двух параллельных проводов

Для расчета электростатических полей используются основные уравнения электростатики – уравнения Пуассона и Лапласа с соответствующими граничными условиями. В диэлектрической среде (изоляция, окружающая среда) необходимо разрешить уравнение Лапласа с учетом граничных условий. Представим его в цилиндрических координатах для осесимметричного случая (проводы параллельны оси  $z$ , поле не зависит от  $z$  и  $\theta$ ) для области без свободных зарядов:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{d\phi}{dr} \right) = 0.$$

Общее решение уравнения представляет собой зависимость  $\phi(r) = C_1 \ln(r) + C_2$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – константы, определяемые граничными условиями:

1. на поверхности провода 1 ( $r = a_1$ ):  $\phi_{01} = V/2$ ;
2. на поверхности провода 2 ( $r = a_2$ ):  $\phi_{02} = -V/2$ ;

3. в общем случае  $D \geq (a_1 + t_1) + (a_2 + t_2) = R_1 + R_2$ , то на границе изоляция/воздух следует непрерывность потенциала  $\phi_k(R_k) = \phi_{\text{воздух}}(R_k)$  и его производной  $\varepsilon_{rk}\phi'_k(R_k) = \varepsilon_0\phi'_{\text{воздух}}(R_k)$ .

Тогда для каждого из проводов справедливо распределение потенциала как

$$\phi_k(r_k) = \begin{cases} \phi_{0k} \left[ \frac{\ln r_k + (\varepsilon_{rk} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_k}{\ln a_k + (\varepsilon_{rk} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_k} \right], & a_k \leq r_k \leq R_k \\ \phi_{0k} \left[ \frac{(\varepsilon_{rk} / \varepsilon_0) \ln r_k}{\ln a_k + (\varepsilon_{rk} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_k} \right], & r_k > R_k \end{cases}$$

Используя принцип суперпозиции для электрического поля и потенциала можно записать общее распределение потенциала  $\phi(x, y) = \phi_1(r_1) + \phi_2(r_2)$ , где  $r_1 = \sqrt{(x + d_1)^2 + y^2}$ ,  $r_2 = \sqrt{(x - d_2)^2 + y^2}$ ,  $d_1 = (D + R_1 - R_2) / 2$ ,  $d_2 = (D - R_1 + R_2) / 2$  (начало координат на одинаковом расстоянии между внешними поверхностями проводов).

Рассмотрим пример неодинаковых проводов с  $a_1 = 1$  мм и  $a_2 = 2$  мм,  $t_1 = 1$  мм и  $t_2 = 3$  мм с  $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_0 = 2$  и  $\varepsilon_{r2}/\varepsilon_0 = 4$ . При  $D = 15$  мм и  $V = 1000$  В распределение электрического потенциала будет как на рисунке 2. Тогда как на рисунке 3 и 4 представлен результат для одинаковых проводов с  $a_1 = a_2 = 1$  мм,  $t_1 = t_2 = 1$  мм и  $\varepsilon_{rk}/\varepsilon_0 = 2$  с зазором и без зазора между проводами.

Как видно применение к цилиндрическим проводам с изоляцией электростатического приближения с решением уравнения Лапласа дает неоднородное распределение электрического потенциала с отличным от нуля значением потенциала на поверхности изоляции в зависимости от свойств изоляции за исключением случая одинаковых проводов без зазора между ними (рис. 4).

Проведем мыслительный эксперимент и измерим разность потенциалов на поверхности изоляции двух произвольных проводов. Без ограничения общности рассмотрим точки поверхности изоляции с координатами  $(x_1, y_1) = (-d_1, R_1)$  для провода 1 и  $(x_2, y_2) = (d_2, R_2)$  для провода 2.

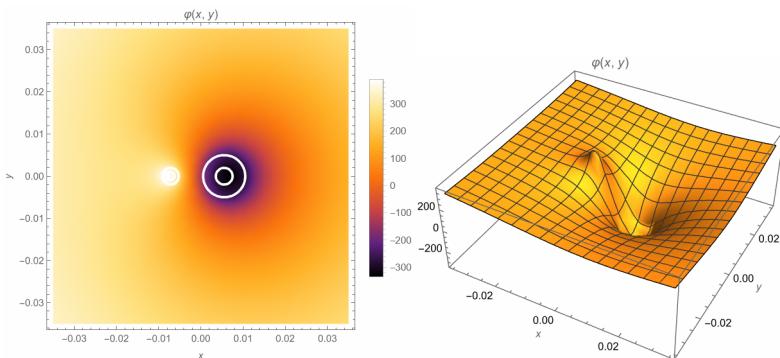


Рисунок 2 – Распределение электрического потенциала для неодинаковых проводов

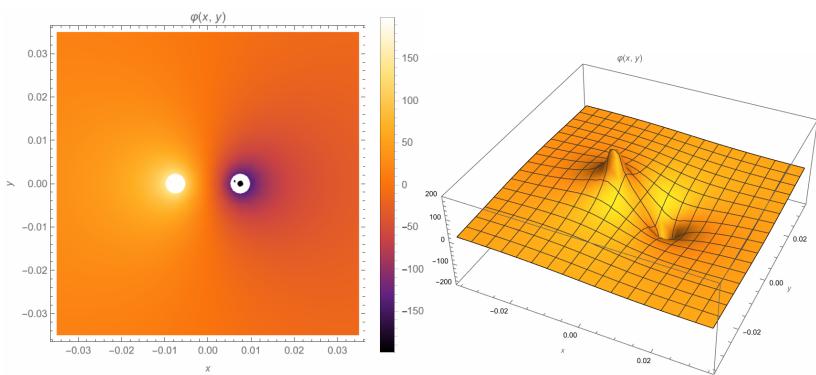


Рисунок 3 – Распределение электрического потенциала для одинаковых проводов с зазором между ними

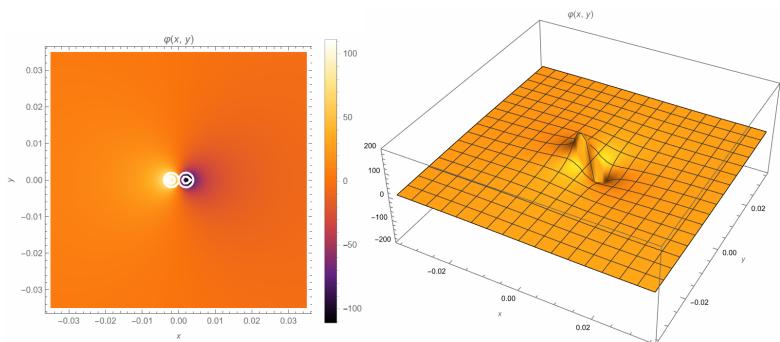


Рисунок 4 – Распределение электрического потенциала для одинаковых проводов без зазора между ними

В точке  $(-d_1, R_1)$   $r_1 = R_1$ ,  $r_2 = D$ , в точке  $(d_2, R_2)$   $r_1 = D$ ,  $r_2 = R_2$ ,  
тогда потенциал в точке изоляции провода 1

$$\phi(-d_1, R_1) = \frac{V}{2} \left[ \frac{\ln R_1 + (\varepsilon_{r1} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_1}{\ln a_1 + (\varepsilon_{r1} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_1} \right] - \left( -\frac{V}{2} \right) \left[ \frac{\ln D + (\varepsilon_{r2} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_2}{\ln a_2 + (\varepsilon_{r2} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_2} \right]$$

в точке изоляции провода 2

$$\phi(d_2, R_2) = \frac{V}{2} \left[ \frac{\ln D + (\varepsilon_{r1} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_1}{\ln a_1 + (\varepsilon_{r1} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_1} \right] - \left( -\frac{V}{2} \right) \left[ \frac{\ln R_2 + (\varepsilon_{r2} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_2}{\ln a_2 + (\varepsilon_{r2} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_2} \right]$$

получим разность потенциалов:

$$\Delta_{12}^{\text{изол}} = \frac{V}{2} \left[ \frac{\ln R_1 - \ln D}{\ln a_1 + (\varepsilon_{r1} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_1} \right] - \frac{V}{2} \left[ \frac{\ln R_2 - \ln D}{\ln a_2 + (\varepsilon_{r2} / \varepsilon_0 - 1) \ln R_2} \right].$$

Последняя формула утверждает, что нулевая разность потенциалов и отсутствие электрической напряженности реализуется при одинаковом размере провода с изоляцией:  $R_1 = (a_1 + t_1) = R_2 = (a_2 + t_2)$ , независимо от расстояния между осями проводов, что демонстрируют рисунки 3 и 4.

#### Список используемой литературы

1. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, Самарский А.А.  
– М.: Издательство МГУ, 2004. – 798 с.

УДК 621.31; 663.126

**Янко М.В., Заяц Е.М., д.т.н., профессор**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АЭРОИОННОГО АКТИВАТОРА ПРОДУКТИВНОСТИ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

Хлебопекарные дрожжи в Беларуси производят ОАО «Дрожжевой комбинат», г. Минск, и СООО «Интерферм», г. Слуцк, – объёмом около 30 тысяч тонн в год [1]. Культуральная среда состоит из воды, отходов свекло-сахарного производства и продуктов химической промышленности. Проблема производства хлебопекарных дрожжей состоит в неполном использовании потенциала