

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ДИСКОВОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВОК

А.Ж. Жамалов¹, А.А. Утебаева²

¹д.т.н., профессор,

²магистрант,

Казахский государственный женский педагогический университет,
Казахстан, г. Алматы, e-mail: utebaeva_a999@mail.ru

Ветроустановка (ВЭУ) преобразует кинетическую энергию ветра в механическую или электрическую энергию, удобную для практического использования. Механическая энергия, главным образом, используется для подъема воды в сельских или удаленных местностях. Ветроэнергетические установки производят электрическую энергию для бытовых или промышленных нужд. Известно множество типов конструкций ветровых установок, которые имеют различные формы ветроколес, принципы работы генератора и общие конструктивные решения. На этой части изучается распространение магнитного поля в двухроторном генераторе с постоянными магнитами, где основным элементом является осевой статор генератора поля для получения энергии ветра. Электромагнитное поле $E^{\pm}, H^{\pm}$ требует решения кривой задачи для уравнений электродинамики. Получаемые при этом выражения поля $E^{\pm}, H^{\pm}$ называют «строгим решением» задачи электродинамики.

Ключевые слова: электромагнитное поле, генератор, статор, электродинамика, ветроустановка

В этой статье изучается распространение магнитного поля в двухроторном генераторе с постоянными магнитами, где основным элементом является осевой статор генератора поля для получения энергии ветра. Нахождение поля $E^{\pm}, H^{\pm}$ требует решение кривой задачи для уравнений электродинамики. Получаемые при этом выражения поля $E^{\pm}, H^{\pm}$ называют «строгим решением» задачи электродинамики (дифракции). Строгие решения задач дифракции, как правило, не удается получать в замкнутой форме. Для некоторых геометрически простых случаев они выражают в виде дифференциальных рядов. Характерным примером является рассматриваемая ниже задач дифракции такой волны на цилиндре [1].

Цель аналитической модели - разработка машины, которая облегчит своевременный дизайн и полную поддержку электромеханической модели системы получения энергии [2].

Вычисление электромагнитного поля имеет большую важность, потому что для этого требуется вычисление константы вращающего момента, электродвижущей силы. Чтобы получить решения магнитного поля аналитическим методом, для постоянных магнитов дискового генератора, присутствовали, были в литературе машины радиального течения, прямолинейные, и конфигурация аксиального потока. Однако, для решения осевых машин течения используется точность решения для нахождения машин ширины магнита или кольца статора [3].

Осевые машины формируют дисковый генератор с несущими магнитами, которые производят аксиальный поток и диск статора, содержащий фазовые проветривания. В этом основном дизайне есть возможность многих вариаций, в том числе примкнутость, двусторонность, тороидальность и много магнитов.

Магниты противоположно поставлены на дисковом генераторе, которые устроены таким образом, что северный полюс на одном роторе сталкивается с южным полюсом на другом, приводя к осевому магнитному полю таким образом, что хомут статора требует для облицовочных магнитов N-N. Чтобы проанализировать магнитное поле в осевой машине, основные вычислительные работы применены в ссылке.

Для анализа магнитного поля в осевой машине, применяются расчеты, обоснованные в источнике [4]. Однако, аналитическая модель, представленная в источниках, предполагает наличие железного статора и что напряженность поля на границах (статора и ротора) [4]. Таким образом, уравнения, разработанные с применением принципа суперпозиции полей, то есть поле определяется

путем сложения полей, в результате магниты на каждой стороне ротора, действующими индивидуально и реакции поле якоря. Хотя суперпозиция не применяется, если без якоря машины обычно не работают в состоянии насыщения.

При постановке той или иной конкретной задачи дифракции задаются геометрические и электродинамические характеристики тела V и падающая волна E^0, H^0 , внешняя среда обычно вакуум.

Требуется же найти решение уравнений Максвелла E, H такое, что $E = E^+, H = H^+$ в V и $E = E^0 + E^-, H = H^0 + H^-$ вне V . При этом на границе S и должны соблюдаться V известные условия. Наша задача будет состоять в изучении полей непосредственно вблизи таких поверхностей, при переходе через которые параметры сред ε, μ и σ возможно, испытывают скачок. Проще всего считать этот скачок идеальным, т.е. рассматривать ε, μ и σ , как разрывные функции к границе [5]. Можно было бы, конечно, допустить, что граница не является резкой, и имеется весьма тонкий переходный слой, внутри которого свойства среды изменяются плавно, но попытка изучать такого рода слои в рамках макроскопической электродинамики было бы последовательной.

Дифференциальные уравнение Максвелла применять в точках границы затруднительно.

Непрерывность тангенциальных векторов E, H и нормальных компаний векторов B, D означает в данном случае выполнение равенства: $E_\tau^0 + E_\tau^+ = E_\tau^+, H_\tau^0 + H_\tau^- = H_\tau^+, D_v^0 + D_v^- = D_v^+, B_v^0 + B_v^- = B_v$. В случае, когда тело V является идеальным проводником, граничные условия имеют вид: $E_\tau^0 + E_\tau^- = 0, [v_0 n^0 + n^-] = \eta, D_v^0 + D_v^- = \xi, B_v^0 + B_v^- = 0$ (х).

Внешние поля E, H должны также удовлетворять требованиям, которые предъявляются к решениям внешних задач электродинамики.

Также образом, нахождение поля $E^\pm, H^\pm$ требует решения кривой задачи для уравнений электродинамики. Получаемые при этом выражения поля $E^\pm, H^\pm$ называют «строгим решением» задачи электродинамики (дифракции). Строгое решение задач дифракции, как правило, не удается получить в замкнутой форме. Для некоторых геометрически простых случаев они выражаются в виде дифференциальных рядов. Характерным примером является рассматриваемая ниже задач и дифракции такой волны на цилиндре. Итак, в качестве объекта дифракции возьмем бесконечный круговой цилиндр в густоте.

Проницаемости среды можно, таким образом представить как кусочно-постоянные функции радиальной координаты: $\varepsilon(r) = \varepsilon, \mu(r) = \mu$ при $r < R$ (внутри цилиндра), $\varepsilon(r) = \varepsilon_0, \mu(r) = \mu_0$ при $r > R$ (вне цилиндра). Пусть плоская однородная волна падает на цилиндр перпендикулярно его оси z и поляризована параллельно последней: $E_0 = z_0 E^v$.

Запишем:

$$E_m^0 = z_0 A e^{2k_0 x}, H_m^0 = -y_0 \frac{A}{W_0} e^{ik_0 x}, \quad (1)$$

где $k_0 = \frac{\omega}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}, W_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_{0m}}$. Выражая E_m^0 в цилиндрических координатах, имеем

$E_m^v = z_0 A e^{-ik_0 r \cos x_3}$. Представив E_m^0 в виде следующего разложения [6]:

$$E_m^0 = z_0 A \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-i)^n j_n(k_0 r) e^{in\alpha}, r > R \quad (2)$$

Поскольку поле E^0, H^0 не изменяется по координате z и вектор E^0 параллелен оси цилиндра, то этими же свойствами должно обладать и дифрагированное поле: $\frac{v}{vz} = v; E^\pm = z_0 E^\pm$, т.е. задача двумерная.

Из этого следует спиральное изображение, которому удовлетворяют функции E_m^0, E_m^+ и E_m^- ;

$$\nabla_+^2 E_m + k_0^2 E_m = 0 \quad (3)$$

где $k_0^2 = k_0^2 = \omega^2 \varepsilon \mu$ при $r < R$ и $k_0^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0$ при $r > R$.

Мы выразим E_m^+ и E_m^- в виде линейных комбинаций решений типа РА. При выборе R учтем, что ограниченные решения для области $r=R$, и решение для области $r>R$, имеющие характер расходящихся волн функциями Ханкеля второго. Таким образом, можем записать следующие ряды с неизвестными коэффициентами:

$$E_m^+ = z_0 A \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-i)^n b_n j_n(kr) e^{ina} \quad r < R \quad (4)$$

и

$$E_m^- = z_v A \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-i)^n c_n H_n^{(2)}(kr) e^{ina} \quad r > R \quad (5)$$

Далее выпишем такие же разложения для магнитного поля. Поскольку на основании второго уравнения Максвелла.

$$H_m = \frac{i}{\omega \mu} \omega E_m = \frac{1}{\omega \mu} (r_0 \frac{v E_m}{v \alpha} - \alpha_0 \frac{v E_m}{v r}) \quad \text{при } E_m = z_0 E_m$$

то рядом (2), (3), (4), и (5) соответствуют следующие:

$$H_m^+ = \frac{iA}{\omega \mu} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{\infty} (-i)^n b_n \left[r_0 \frac{i_n}{z} j_n(kz) - \alpha_0 k j_n(kr) \right] e^{ina} \quad r < R, \quad (6)$$

$$H_m^- = \frac{iA}{\omega \mu_0} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{\infty} (-i)^n c_n \left[r v \frac{i_n}{r} H_n^{(2)}(k_0 r) - \alpha_0 k_0 H_n^{(2)}(k_0 r) \right] e^{ina},$$

и

$$H_m^+ = \frac{iA}{\omega \mu_0} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{\infty} (-i)^n \left[r_0 \frac{i_n}{r} j_n(k_0 r) - \alpha_0 k_0 j_n(k_0 r) \right] e^{ina}, \quad r < R$$

После записи всех этих представлений решение задачи сводится к нахождению коэффициентов b_n и c_n путем наложения требуемых граничных условий. Требование непрерывности тангенциальных компонент векторов E и H принимает форму

$$E_m^0 + E_m = E_m^+, H_{m\alpha}^0 + H_{m\alpha}^- = H_{m\alpha}^+ \quad r=R \quad (7)$$

При по членом сопоставлении рядов (3), (4) и (5) первое записанных условий даст

$$-b_n j_n(kR) + c_n H_n^{(2)}(k_0 R) = -\gamma_n(k_0 R) \quad (8)$$

Точно также на основании разложений (6)-(8) из второго условия находим

$$b_n \frac{k}{\mu} \gamma_n(kR) - c_n \frac{k_0}{\mu_0} H_n^{(2)}(k_0 R) = \frac{k_0}{\mu_0} J_0(k_0 R) \quad (9)$$

Теперь b_n и c_n определяются как решения системы уравнений (10) и (11)

$$b_n = \frac{J_n(k_0 R) H_n^{(2)}(k_0 R) - J_n'(k_0 R) H_n^{(2)}(k_0 R)}{J_n(kR) H_n^{(2)}(k_0) - \frac{W_0}{W} J_n'(kR) H_n^{(2)}(k_0 R)} \quad (10)$$

$$c_n = \frac{-J_n(kR)J'_n(k_0R) + \frac{W_0}{W} J'_n(kR)J_n(k_0R)}{J_n(kR)H_n^{(2)}(k_0R) - \frac{W_0}{W} J'_n(kR_1)H_n^{(2)}(k_0R_1)}, W = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

Итак, коэффициент разложений (6)-(9) найдены и поле дифракции определено.

Перейдем к обсуждению полученных результатов, взяв сначала идеально проводящий цилиндр. Данный случай будем рассматривать, как предельный $\varepsilon \rightarrow -i\omega$. Поскольку одновременно $W \rightarrow 0$, то предельные выражения коэффициентов b_n и c_n вид имеют:

$$b_n = 0, c_n = -\frac{J_n(k_0R)}{H_n^{(2)}/k_0R} \quad (11)$$

Как и следовало ожидать, внутреннее поле $E^+ H^+$ теперь отсутствующий. Конечное, граничные условие (9) для H_α на поверхности идеально проводящего цилиндра не удовлетворяется. Его заменяется соответствующее граничное условие (x)

$$\left[r_0 H_m^0 + H_m^- \right] = \eta_m \text{ при } r=R \quad (12)$$

Давшее возможность найти плотность поверхностного тока, наводимого дающий волны. На основании (14)

$$\eta_m = z_0 (H_{m\alpha}^0 + H_m^-) \text{ при } r=R \quad (13)$$

Желая найти внешнее дифрагированное поле E^-, H^- в дальней зоне, воспользуемся симптотическим представленным функций Ханкеля:

$$H^{(2)}(k_0r) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi k_0r}} e^{-i\left[k_0r - \frac{\pi}{2}\left(n + \frac{1}{2}\right)\right]}$$

и

$$H_n^{(2)1}(k_0r) \approx -iH_n^{(2)}(k_0r) \quad (14)$$

С учетом (13), (7), (9) получаем для дальнего поля рассеяния следующие ряды [7]:

$$E_m^- = -z_0 A \sqrt{\frac{2}{\pi k_0r}} e^{-i(k_0r - \frac{\pi}{4})} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\alpha_n(k_0R)}{H_n^{(2)}(k_0R)} e^{in\alpha} \quad (15)$$

и

$$H_m^- = \alpha_0 \frac{A}{\omega_0} \sqrt{\frac{2}{\pi k_0r}} e^{-i(k_0r - \pi/4)} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{J_n(k_0R)}{H_n^{(2)}(k_0R)} e^{in\alpha} \quad (16)$$

Решение E_m^-, H_m^- (14), (15) удовлетворяет требованиям, гарантирующим его единственность.

Список литературы

- 1 Болотов С.А. Вихревая роторная ветроэлектростанция // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 3 междунар. науч.-техн. конф., Москва 14-15 мая 2003 г. В 4 ч. Ч.4. - М.:ВИЭСХ, 2003. - С.177-185.
- 2 Обозов А. Дж., Байтлеуов Д.К. К вопросу теоретического и практического обоснования коэффициента отбора мощности биколесных ветроэнергетических установок // ВИЭ российские технологии для индустрии: Тез. докл. конф. – Санкт-Петербург, 2001. 165 с.
- 3 Жамалов А., Обозов А.Дж. Разработка бивалентного энергетического модуля на базе двухроторной ветроустановки. - Алматы, Нұр-Принт, 2014. 176 с.
- 4 Р. де Гроог, Л.Г.Сатторп. Электродинамика. М.: Наука 1982. С. 31-36.
- 5 Zhamalov A., Obozov A., Kunelbaev M., Isaev R. Study of the Electrical Parameters of the Disk generator for Micro Hydro Power Plant // World Applied Science Journal, 2013. P.111-116.

- 6 Azzouzi, J., Barakat, G., and B. Dayko, Quasi-3D analytical modeling of the magnetic field of an axial flux permanent-magnet synchronous machine, IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 20, no. 4, Dec. 2005, pp. 746-752.
- 7 Gieras, J.F., R Wang, and M.J. Kamper, Axial flux permanent magnet brushless. Kluwer Academic Publishers, 2004.

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРСІТІҢ ЖЕЛ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ДИСКІЛІ ГЕНЕРАТОРЫНА ӘСЕРІ

А.Ж. Жамалов¹, А.А. Утебаева²

¹ техника ғылымдарының докторы, профессор,

² магистрант,

Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті,
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: utebaeva_a999@mail.ru

Жел энергетикасы - атмосферадағы ауа массасы энергиясы жел энергиясын қолдануға бағытталған энергия түрі. Жел энергиясын қолдану арнайы құрылғылар арқылы жүзеге асырылады. Жел энергетика қондырғысы (ЖЭҚ) - бұл жел ағынының кинетикалық энергиясын басқа бір энергия түріне түрлендіретін техникалық құрылғылар құрылымы. Жел энергетикасы қондырғысы арнайы қолданыстық (сорғылық немесе су көтеруші, электрмен зарядтаушы, диірмендік, су тұщыландырушы, т.б.) жел энергетикасы қондырғысы және кешенді қолданылатын жел энергетикасы қондырғысы (жел электр станциялары) болып ажыратылады. ЖЭҚ-тің бірнеше конструкциялық түрлері бар. Электромагниттік өрсітің жел қондырғысының екі роторлы генераторға әсері қарастырылады.

Түйін сөздер: электромагниттік өріс, генератор, статор, электродинамика, жел турбинасы

ELECTROMAGNETIC FIELD OF DISK GENERATOR FOR WIND TURBINES

A. Zhamalov¹, A.A. Utebayeva²

¹ Dr.Sci. (Technics), Professor,

² M.Sc,

Kazakh State Women's Teacher Training University,
Almaty, Kazakhstan, e-mail: utebaeva_a999@mail.ru

The wind turbine transforms the kinetic energy of the wind into mechanical or electrical energy, convenient for practical use. Mechanical energy is mainly used to raise water in rural or remote areas. Wind power plants produce electrical energy for domestic or industrial needs. There are many types of wind turbine designs that have different forms of wind turbines, the principles of the generator operation and general design solutions. This part studies the propagation of the magnetic field in two rotor generators with permanent magnets, where the main element is the axial stator of the field generator for obtaining wind energy. Electromagnetic field requires the solution of the problem curve for the equations of electrodynamics. The resulting field expressions are called the "rigorous solution" of the electrodynamics problem.

Keywords: electromagnetic field, generator, stator, electrodynamics, wind turbine

ФИЛОЛОГИЯ

PHILOLOGY