

Выводы:

1. Для сетей 35-110 кВ ПАО «МРСК Сибири» характерна малая плотность нагрузок, большая протяженность сетей, высокий процент искажающих нагрузок. За счет Аллюминиевых заводов в сети генерируются, в основном 11 и 13 гармоники, уровень которых достигает 2% и более в питающей сети 220-500 кВ.
2. Параметры сети при наличии длинных и слабо нагруженных ВЛ 35-110 кВ усиливают эти гармоники за счет собственных резонансных частот близких к этим гармоникам (на примере ПС Недокура) до амплитуд достигающих 40-50%, что является причиной повреждений электроники и бытовой техники у потребителей в летние периоды минимума активной нагрузки.
3. Классический способ устранения резонанса на высших гармониках напряжения в виде фильтра из последовательно соединенного бетонного реактора и емкости (L-C фильтр) оказываются дорогостоящими и нереализуемыми из-за большой емкости. Поэтому наиболее экономичным является использование «фильтра-трансформатора» (мощностью 400-630 кВА) с батареей конденсаторов в обмотке 0,4 кВ мощностью 50-70 кВАр (определяется расчетами в зависимости от параметров схемы).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Курбацкий В.Г. Анализ распространения высших гармоник в электрических сетях // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ: Энергетика. - Минск. - 1993. - №11-12. - С.25-30.
4. Смирнов С.С., Коверникова Л.И. Влияние коммутаций в сети на режим высших гармоник // Пром. энергетика. – 2000. – №8. – С. 45–49.
5. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

**ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР КАК РЕЗОНАНСНОЕ УСТРОЙСТВО
БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ**

Будько А.А., Исаев Ю.Н., Васильева О.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Аннотация.

Объектом исследования являются индуктивно связанные катушки различной конфигурации по типу воздушного трансформатора. В результате исследования рассмотрен один из основных способов беспроводной передачи энергии путем явления магнитно-резонансной индукции, получены резонансные характеристики индуктивно-связанных контуров и распределение плотности тока в поперечном сечении проводника в ComsolMultiphysics.

Введение.

Впервые опыты по беспроводной передаче энергии были продемонстрированы Николой Теслой в 1893 году на выставке в Чикаго. Он показал беспроводное освещение люминесцентными лампами в проекте Колумбовской всемирной выставки.

В настоящее время технологии беспроводной передачи электрической энергии переживают бурное развитие, связанное с огромным количеством потребителей, желающих получать энергию без проводов [1].

Способы беспроводной передачи энергии.

Понятие «беспроводная передача энергии» является собирательным термином, который относится к числу различных технологий для передачи энергии с помощью электромагнитных полей.

Возможные методы передачи беспроводной передачи электроэнергии представлены на рисунке 1 [2].

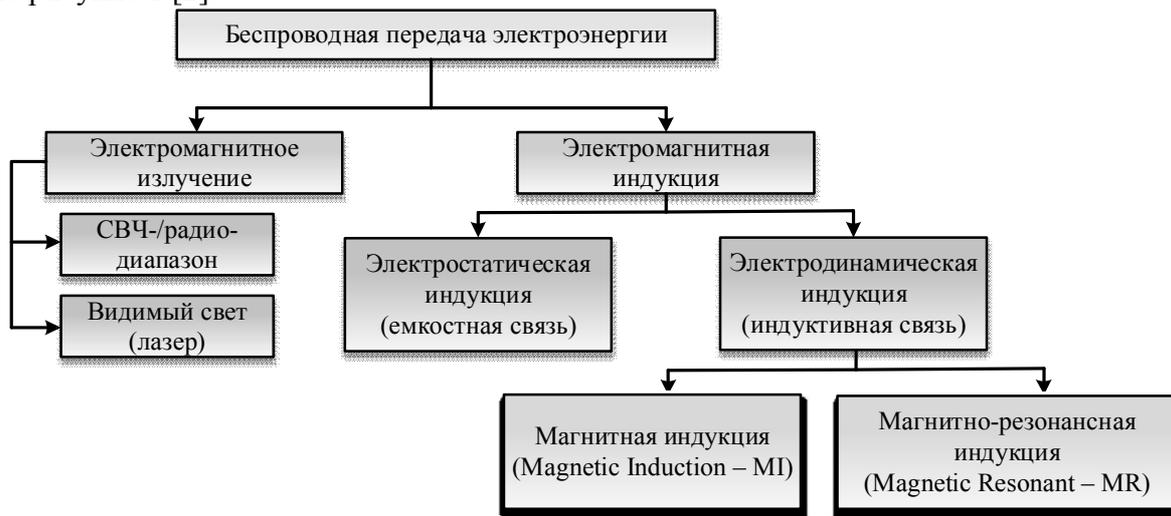


Рис. 1. Методы беспроводной передачи энергии

Создание модели.

Постановка задачи исследования сводится к тому, чтобы получить оптимальные параметры катушки при передаче энергии беспроводным путем с максимальной эффективностью на расстоянии, не превышающим размеры комнаты. Передающая катушка должна иметь такие размеры, чтобы она удовлетворяла условиям практичности и целесообразности ее установки.

В целях упрощения описания методики расчетов и построения электромагнитных полей возьмем катушку в форме круговых колец радиусом $R=0,25$ м выполненного из медного провода кругового сечения, имеющего радиус $r=5$ мм (рис. 2).

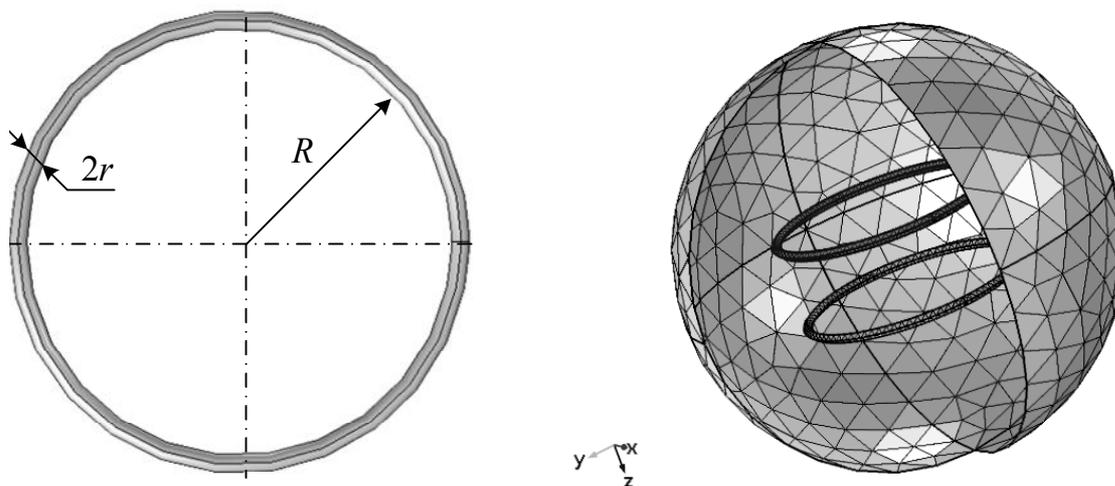


Рис. 2. Создание рабочей области системы двух колец

Сделаем расчет плотности распределения тока в поперечном сечении проводника с помощью системы уравнений Максвелла, которая позволяет получить уравнение для векторного магнитного потенциала \mathbf{A} .

Уравнение для постоянного тока, связывающее магнитную индукцию \mathbf{B} и векторный магнитный потенциал \mathbf{A} , описывается выражением [3]:

$$\mathbf{B} = \nabla \mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{pmatrix} = \mathbf{i} \left(\frac{\partial}{\partial y} A_z - \frac{\partial}{\partial z} A_y \right) + \mathbf{j} \left(\frac{\partial}{\partial z} A_x - \frac{\partial}{\partial x} A_z \right) + \mathbf{k} \left(\frac{\partial}{\partial x} A_y - \frac{\partial}{\partial y} A_x \right) \quad (1)$$

Уравнение для постоянного тока, связывающее напряженность магнитного поля \mathbf{H} и вектор плотности тока \mathbf{J} , описывается выражением:

$$\nabla \mathbf{H} = \begin{pmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{pmatrix} = \mathbf{i} \left(\frac{\partial}{\partial y} H_z - \frac{\partial}{\partial z} H_y \right) + \mathbf{j} \left(\frac{\partial}{\partial z} H_x - \frac{\partial}{\partial x} H_z \right) + \mathbf{k} \left(\frac{\partial}{\partial x} H_y - \frac{\partial}{\partial y} H_x \right) = \mathbf{J} \quad (2)$$

Сочетая выражения (1) и (2) получаем уравнение Пуассона для векторного потенциала \mathbf{A} через плотность тока \mathbf{J} :

$$\Delta \mathbf{A} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \mathbf{A} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \mathbf{A} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \mathbf{A} = \mathbf{J} \quad (3)$$

Для переменного тока, решая уравнение Гельмгольца относительно выражения (1) получается следующее выражение:

$$\left(j\omega\sigma - \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon \right) \mathbf{A} + \nabla \mathbf{H} = \mathbf{J}, \quad (4)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

σ – удельная электрическая проводимость проводника;

ε – диэлектрическая проницаемость вещества;

ε_0 – диэлектрическая проницаемость в вакууме.

Чтобы провести расчет представленных выше уравнений, используем программно-математический пакет Comsol Multiphysics, работающего по принципу метода конечных элементов. Результаты расчетов представлены на рис. 3-5.

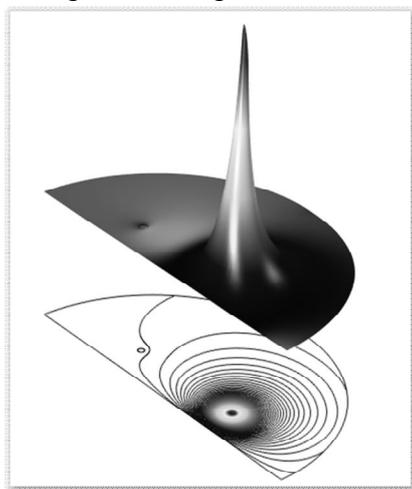


Рис. 3. Поле распределения вектора магнитного потенциала \mathbf{A} по поверхности катушки

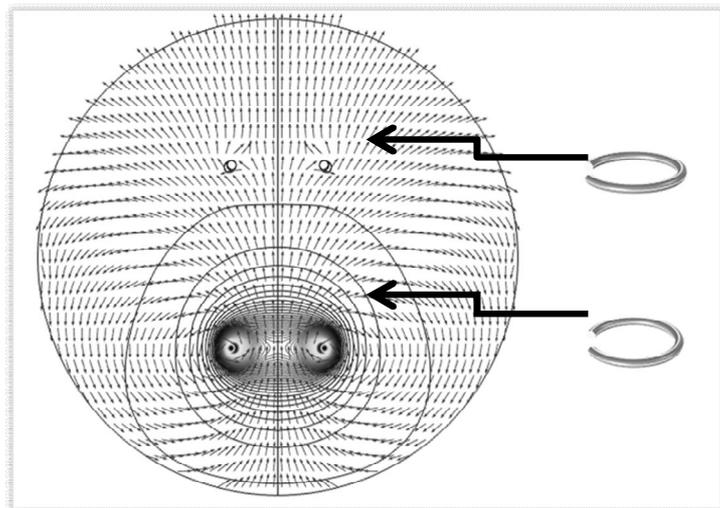


Рис. 4. Распределение поля магнитного потока в виде нормированных векторов, указывающих направление и интенсивность поля в виде изолиний

Вследствие скин-эффекта большая часть значения тока протекает в поверхностном слое катушки, таким образом, значительная часть поперечного сечения катушки становится неиспользуемой. Результаты моделирования распределения плотности тока J [А/м²] приведены на рисунке 5.

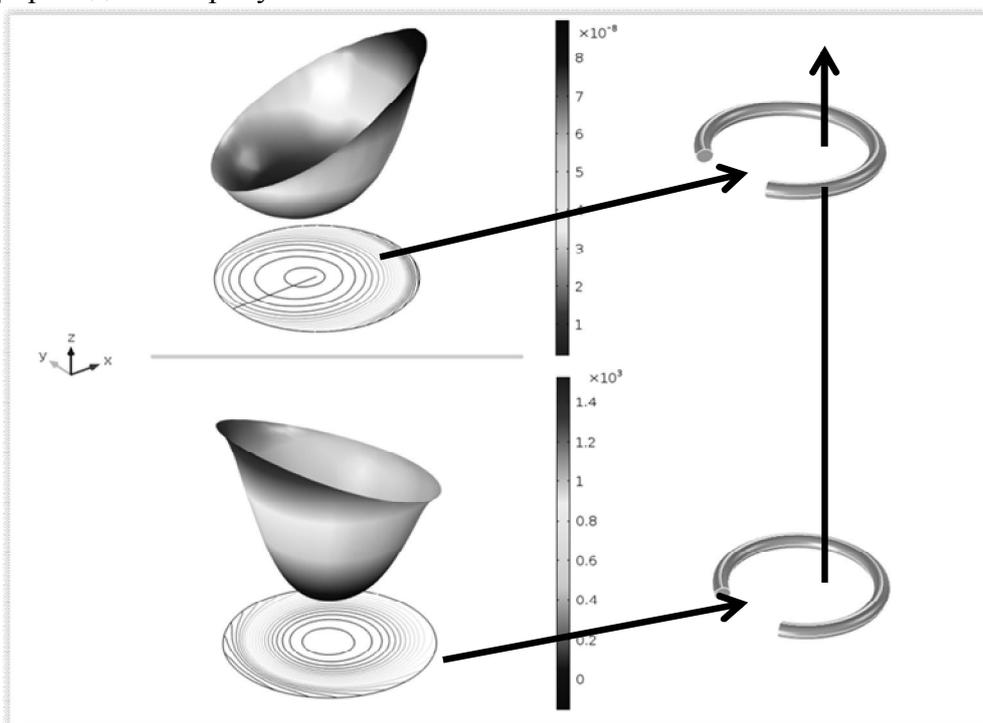


Рис. 5. Распределение плотности тока в поперечном сечении проводника при частоте $f=100$ Гц

Выводы.

В настоящей работе проведено изучение технологии беспроводной передачи энергии между двумя катушками. Несмотря на то что, данная технология в России не имеет должно уровня исследования и описания, она является перспективной в развитии интеллектуальных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kamil A. Grajski, R. Tseng, C. Wheatley. Qualcomm Incorporated. Loosely-coupled wireless power transfer: physics, circuits, standards. – IEEE, 2012.
2. Wireless power transfer. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Т. 8: Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1992. – 664 с.

РОСТ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ – СДЕРЖИВАЮЩИЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

Рахимов Дж.Б., Гусев Ю.П.

Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт, г.Москва

Политика развития электроэнергетики большинства стран мира, направлены на повышение уровня благосостояния населения и дальнейшего развития экономики страны. В целях эффективного и надёжного исполнения вышеуказанных задач, в первую очередь осуществляется реализация повышения генерирующего потенциала, в том числе за счет строительства новых объектов и модернизации действующих генерирующих электростанций. При этом уровень токов коротких замыканий в сетях различного напряжения электроэнергетических систем (ЭЭС) в той или иной степени возрастают. Параметры установленного на электростанциях и подстанциях энергосистемы электротехнического оборудования могут оказаться не соответствующими возрастающим значениям токов КЗ, что приведет к росту аварийности и значительным затратам на восстановление работы ЭЭС. Таким образом, вопрос о проблеме роста уровней токов коротких замыканий в сетях ЭЭС становится актуальным. В данной работе на примере ЭЭС Таджикистана рассматриваются способы решения вышеуказанной проблемы.

Для моделирования ЭЭС Таджикистана был выбран программно – технический комплекс NEPLAN. NEPLAN является программное средство, применяемое во всем мире для сетевого планирования, моделирования и анализа. NEPLAN используется в более 80 странах мира и в более 600 электрических компаний.

Программный комплекс NEPLAN даёт возможность рассчитывать потокораспределение мощности в электрических сетях энергосистем методами итерации Ньютона – Рафсона, итерации по току, падением напряжения и установившийся режим по постоянному току. Расчеты токов коротких замыканий также выполняются методиками рекомендуемыми стандартами IEC909, IEC60909 2.1, ANSI 37.10 2.2, ANSI 37.13 и методом наложения.

Программный комплекс NEPLAN представляет собой набор из 42 модулей, каждый из которых предназначен для решения конкретной задачи, например расчета токов короткого замыкания, релейной защиты, надёжности, потокораспределения мощности и т.д. Фрагмент схемы расчетной математической модели энергосистемы Таджикистана представлен на рис.1.