

2. *Чикуров Т. Г.* Алгоритмы повышения точности при диэлектрических измерениях // *Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права* : науч. тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. – М. : МГАПИ, 2000. – С. 188–192.

3. *Фрелих Г.* Теория диэлектриков. – М. : ИЛ, 1960. – 248 с.

4. *Челидзе Т. Л., Деревянко А. И., Куриленко О. Д.* Электрическая спектроскопия гетерогенных систем. – Киев : Наук. думка, 1977. – 231 с.

4. Пат. № 2260190 (Россия), МКИ G01R 27/26 / Релаксационный измеритель параметров *CG*-двухполосников / Подкин Ю. Г., Мишков М. Ю. Заявл. 06.02.2004. – № 2004103523/28 (Россия) ; опубл. 10.09.2005. Бюл. 25.

5. *Подкин Ю. Г., Чикуров Т. Г., Данилов Ю. В.* Электротехника и электроника. – Т. 2. – М. : Академия, 2011. – 314 с.

Yu. G. Podkin, Doctor of Technical Sciences, Professor; Sarapul Polytechnical Institute, Branch of Izhevsk State Technical University
T. G. Chikurov, Candidate of Technical Sciences, Sarapul Polytechnical Institute, Branch of Izhevsk State Technical University

Installation for Relaxation Processes Research

The installation and the technique of measurement of relaxation time of a specific resistance of dielectric disperse systems on low and infra low frequencies of an electromagnetic field with simultaneous transformation of the measured parameter to periodic pulse sequence is considered. The error of measuring transformation is less than 1 % in a range of capacitance $C_x = 0...400$ pF and resistance $R_x = 1..100$ MOhm.

Key words: disperse systems, dielectric measurement, dielectric characteristics, relaxation time.

УДК 681.584.71

И. В. Абрамов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

А. И. Абрамов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет

И. А. Никитин, магистрант, Ижевский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕХАТРОННОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОДУЛЯ*

Приведена математическая модель расчета параметров модуля бесконтактной передачи электроэнергии для питания электронного блока управления и исполнительного привода мехатронного инструментального модуля, результаты численного эксперимента.

Ключевые слова: мехатронный инструментальный модуль, система беспроводной передачи энергии, коэффициент связи контуров, геометрические параметры магнитопровода.

Тенденциями развития промышленного оборудования является повышение производительности путем концентрации технологических операций на одном станке, расширение гибкости и функциональности с помощью интеллектуальных инструментальных устройств, выполняющих основные технологические операции обработки. Проблема интеграции подобных устройств в обрабатывающие центры и роботизированные системы связана с высокими скоростями взаимного перемещения элементов, наличием агрессивных сред (масляный туман, СОЖ, пыль), высоких температур и негативных механических воздействий (вибрация, попадание стружки). Обеспечение питанием подобных устройств, совершающих вращательное либо поступательное движение, выполняется с помощью контактных и бесконтактных систем. В контактных системах как правило используются скользящий контакт или токосъемные кольца с жидкометаллическими средами. Недостатком скользящего контакта

является его низкая долговечность из-за механического износа вследствие наличия соприкасающихся частей, подверженность химическим воздействиям, а также искрообразование в месте контакта. Система токосъемных колец с жидкометаллическими средами сложна и неэффективна в случае с быстро и часто заменяемыми инструментальными устройствами. Бесконтактный способ имеет ряд ключевых преимуществ для применения в станочных системах: отсутствие механического износа, отсутствие потребности в обслуживании, высокая надежность, возможность электрической изоляции источника и приемника, а также выполнение их в защищенном корпусе. Среди бесконтактных способов передачи энергии наиболее надежной и универсальной является система, основанная на эффекте электромагнитной индукции.

В статье рассматривается разработанная бесконтактная система питания для быстросменного мехатронного инструментального модуля (МИМ) [1]. МИМ предназначен для выполнения операций рас-

© Абрамов И. В., Абрамов А. И., Никитин И. А., 2011

Получено 27.06.11

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы в ГОУ ВПО «ИжГТУ» (государственный контракт № П723).

тачивания и устанавливается в шпиндель станка с ЧПУ с использованием штатных средств смены инструментальных систем. Электронный блок управления и исполнительный привод МИМ расположены во вращающейся части, герметично изолированной от внешней среды, в связи с чем возникает задача по разработке и расчету устройства, обеспечивающего их бесперебойное электроснабжение. Модель МИМ представлена на рис. 1.

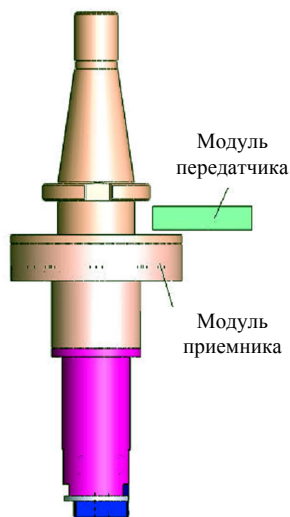


Рис. 1. Модель мехатронного инструментального модуля

Структурная схема устройства для бесконтактной передачи электроэнергии МИМ представлена на рис. 2.

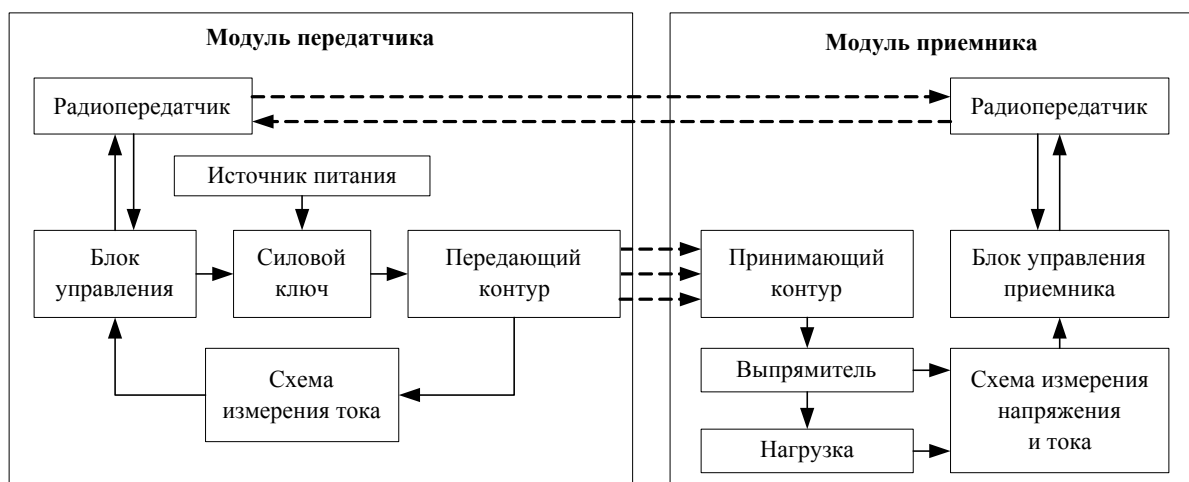


Рис. 2. Структурно-функциональная схема устройства для бесконтактной передачи энергии

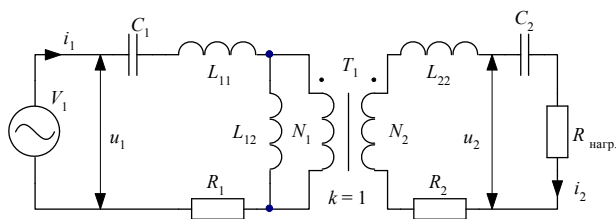


Рис. 3. Схема замещения системы беспроводной передачи энергии

Модуль приемника интегрирован в МИМ, который устанавливается в шпиндель станка. Модуль передатчика устанавливается на неподвижных элементах шпиндельной бабки и имеет конструкцию, обеспечивающую возможность установки на различные типы обрабатывающих центров и робототехнических систем. Между приемником и передатчиком имеется воздушный зазор, определяемый условиями эксплуатации. Величина зазора должна исключать застревание в нем стружки и в то же время обеспечивать максимальный КПД системы. Наличие немагнитного промежутка – воздушного зазора в цепи магнитопровода – приводит к возникновению потоков рассеяния, ведущих к значительному снижению эффективности передачи. Для компенсации потерь на рассеяние магнитного поля цепи первичной и вторичной обмоток выполнены в виде колебательных контуров. Эквивалентная схема замещения системы беспроводной передачи энергии представлена на рис. 3. Первичный контур подключен к генератору переменной ЭДС, при этом частота генератора совпадает с резонансной частотой контура. Ток, протекающий в катушке первичного контура, порождает переменное магнитное поле, которое наводит ЭДС индукции в катушке вторичного контура. В цепь вторичного контура через выпрямитель и стабилизатор подключается нагрузка. Регулирование тока первичного контура осуществляется микропроцессорным блоком управления. На рис. 3 представлена схема замещения системы при рассмотрении ее со стороны первичной обмотки.

Здесь $R_{нагр}$ – сопротивление нагрузки; R_1, R_2 – активные сопротивления обмоток; L_{11}, L_{22} – индуктивности рассеяния катушек; L_{12} – индуктивность намагничивания; C_1, C_2 – емкости резонансных конденсаторов, N_1, N_2 – количество витков в обмотках. Коэффициент магнитной связи k определяется соотношением индуктивности намагничивания L_{12} к общей индуктивности катушек $L = L_1 = L_2 = L_{12} + L_{11}$:

$$k = \frac{L_{12}}{L} \tag{1}$$

Основными параметрами [2], определяющими качество системы беспроводной передачи энергии, являются выходная мощность P_H и КПД η :

$$P_H = \frac{R_H}{2} \left(\frac{E(2\pi f_{\text{рез}} Lk)}{R_1(R_H + R_2) + (2\pi f_{\text{рез}} Lk)^2} \right)^2; \tag{2}$$

$$\eta = \frac{1}{\frac{(R_H + R_2)}{R_H} \left(1 + \frac{R_1(R_H + R_2)}{(2\pi f_{\text{рез}} Lk)^2} \right)}, \tag{3}$$

где R_H – сопротивление нагрузки; E – ЭДС источника питания; $f_{\text{рез}}$ – частота генератора при полном резонансе контуров. При фиксированных параметрах R_H , R_1 , R_2 , L , E характеристики системы зависят от резонансной частоты

$$f_{\text{рез}} = \frac{f_0}{\sqrt{1 \pm k}}, \tag{4}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{5}$$

и коэффициента магнитной связи k , который определяется геометрическими параметрами магнитопровода (в том числе и величиной воздушного зазора между обмотками). Из формулы (4) следует, что имеет место влияние коэффициента связи на резонансную частоту. При фиксировании параметра C – емкости конденсатора – зависимость $f_{\text{рез}} = F(k)$ имеет вид, показанный на рис. 4.

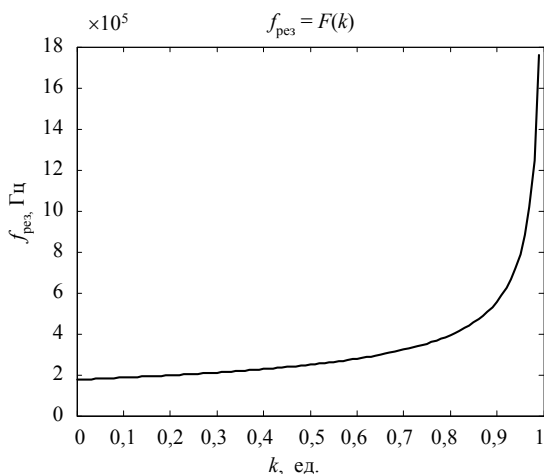


Рис. 4. Зависимость резонансной частоты от коэффициента связи контуров

Расчет коэффициента связи возможен тремя путями: методами теории поля, методами теории цепей и смешанными методами, включающими и те, и другие. Ввиду высокой трудоемкости и низкой точности

цепных методов при расчете магнитных систем со сложной пространственной конфигурацией все большую распространенность получают методы теории поля.

Выходные характеристики системы, построенные с учетом влияния коэффициента связи на резонансную частоту, представлены на рис. 5. Форма данных графиков свидетельствует о необходимости определения коэффициента связи при оптимизации системы по критериям мощности и КПД. С целью установления зависимости коэффициента связи от таких геометрических параметров магнитопровода, как осевое и радиальное смещение катушек, был произведен расчет методом конечных элементов (МКЭ).

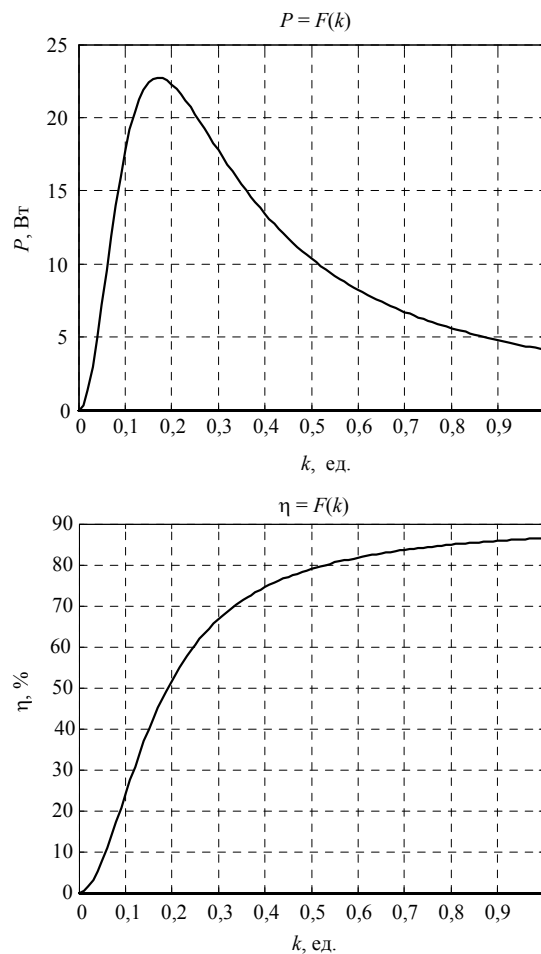


Рис. 5. Графики зависимости мощности и КПД от коэффициента связи

В качестве объекта исследования выбрана СБПЭ с катушками диаметром 100 мм с воздушным сердечником. В процессе расчета производилось варьирование величины осевого (a) и радиального (b) смещения катушек (рис. 6). В результате расчета была получена поверхность $k = F(a, b)$ (рис. 7).

Характер зависимости коэффициента связи от горизонтального смещения b объясняется направлением вектора магнитной индукции при варьировании b и заданном a .

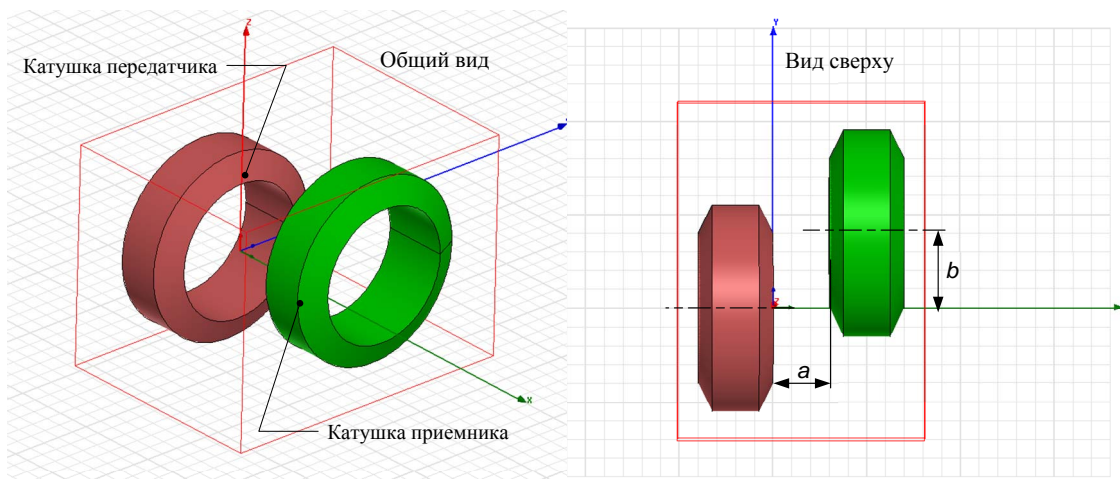


Рис. 6. Схема расположения катушек при расчете зависимости $k = F(a, b)$

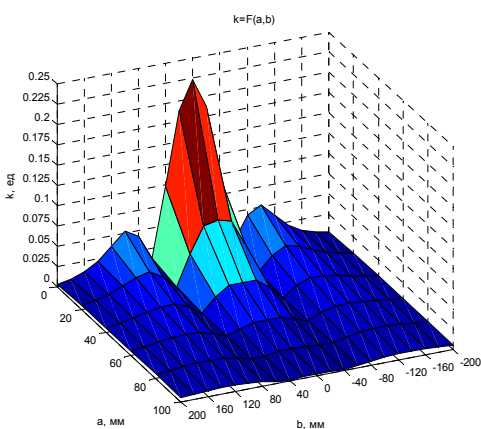


Рис. 7. График зависимости $k = F(a, b)$

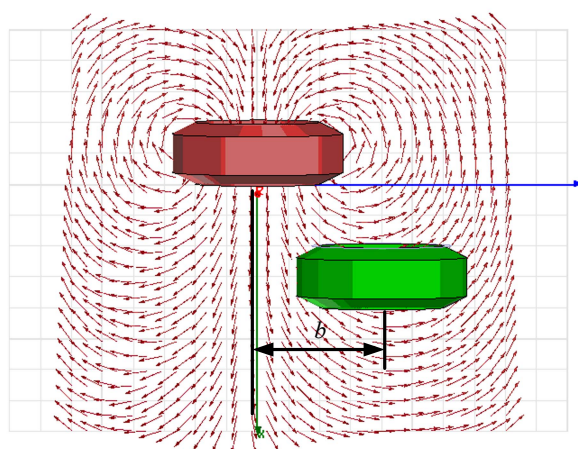


Рис. 8. Эквипотенциальные линии магнитного поля первичной катушки. Вторичная катушка находится в области пониженной связи

На рис. 8 показано расположение катушек с минимальным значением k при определенном b , объясняемое перпендикулярным направлением вектора магнитной индукции относительно оси катушки.

Для определения аналитической зависимости коэффициента связи от величины зазора при фиксированном значении $b = 0$ методом наименьших квадратов построена регрессионная модель:

$$k_{\text{расч}} = 7,5015 \cdot 10^{-9} a^4 - 2,0979 \cdot 10^{-6} a^3 + 2,2105 \cdot 10^{-4} a^2 - 0,0108a + 0,2227. \quad (6)$$

Данная зависимость позволяет определить значение коэффициента связи в диапазоне значений a от 0 до 100 мм.

Представленные в данной статье аналитические и эмпирические зависимости позволяют определить характер и степень влияния параметров системы беспроводной передачи энергии, в том числе геометрические размеры магнитопровода на выходные величины, которые определяются на этапе ее проектирования в составе мехатронного инструментального модуля.

Библиографические ссылки

1. Оценка силового воздействия на мехатронный инструментальный модуль при растачивании / И. В. Абрамов [и др.] // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 4(48). – С. 32–35.
2. Основы теории цепей [Электронный ресурс] : комплект лекций / В. И. Вепринцев [и др.]. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.

I. V. Abramov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
A. I. Abramov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University
I. A. Nikitin, Candidate for a Master's Degree, Izhevsk State Technical University

Wireless Energy Transfer Device for Mechatronic Tool Component: Modeling and Analysis

This article presents a mathematical model and experimental results for calculation of wireless energy transfer device characteristics. The device is intended for power transfer to an intellectual mechatronic tool.

Key words: wireless energy transfer, inductive coupling, coupling coefficient, mechatronic tool.