

УДК 621.3.09

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Шкулёва Е.Н., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

Научный руководитель: Соловьёв В.А., доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Shakhnov@iu4.bmstu.ru

Введение

В современном мире резко возрастают потребности в отслеживании перемещений и идентификации объектов, а также в постоянном обновлении информации о состоянии этих объектов. Главная задача автоматизированной информационной системы заключается в том, чтобы получаемая информация была максимально достоверной. Это необходимо, потому что на поиск и отсеивание неверной информации в больших массивах данных придется затратить немало времени и средств [2].

Технологии автоматической идентификации, включающие распознавание и регистрацию объектов в реальном времени без участия человека, наиболее полно соответствуют этой задаче. Эти технологии базируются на штриховом или радиочастотном кодировании.

Радиочастотная идентификация (RFID (Radio Frequency Identification)) – это самая современная технология идентификации, предоставляющая существенно больше возможностей по сравнению с другими. В ее основе лежит технология передачи с помощью радиоволн информации, необходимой для распознавания (идентификации) объектов, на которых закреплены специальные метки, несущие как идентификационную, так и пользовательскую информацию: хранение в метке-ключе динамически изменяемых данных, однозначная идентификация объекта на уровне предмета, возможность мультипоточного считывания меток и их данных. Главными достоинствами рассматриваемой технологии являются, считывание и распознавание меток, находящихся вне прямой видимости считывателя [1].

Работа посвящена разработке методики по исследованию электромагнитных волн на основе стенда радиочастотной идентификации, анализу метода ослабления

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/637718.html>

электромагнитных волн – экранированию, изучению системы радиочастотной идентификации.

Объектом исследования является поведение электромагнитных волн при работе с экранами методом радиочастотной идентификацией на примере учебно-лабораторного комплекса.

Целью настоящей работы является разработка методики анализа электромагнитных волн на основе технологии радиочастотной идентификации (RFID), разработка учебно-лабораторного комплекса радиочастотной идентификации, разработка методологии для изучения данной области.

Для достижения данной цели в работе решены следующие задачи: проведён анализ возможностей технологии радиочастотной идентификации, который позволяет исследовать поведение электромагнитных волн, проанализировано поведение электромагнитных волн при работе с экранами, при котором выявлено отражение и ослабление волн при прохождении через металлические экраны; разработан учебно-лабораторный стенд радиочастотной идентификации, обеспечивающий наглядное действие технологии радиочастотной идентификации и поведение электромагнитных волн; проанализированы математические модели, позволяющие оценить параметры систем радиочастотной идентификации, в частности, взаимодействие электромагнитных волн с металлическим экраном, металлической сеткой, плоской проводящей поверхности; разработаны методики и алгоритм для анализа поведения и проницаемости электромагнитных волн при работе с экранами на примере рассматриваемого стенда, которые позволяют выполнить самостоятельно лабораторную работу; предложена методика по исследованию радиочастотной идентификации, обеспечивающая наглядное представление о технологии радиочастотной идентификации.

При решении поставленных задач использованы методы анализа технологии радиочастотной идентификации и синтеза характеристик электромагнитных волн, прогнозирования поведения электромагнитных волн и их ослабления вследствие взаимодействия с экранами. При решении задач используются теория вероятностей, математическая статистика, линейной алгебры, теория конструирования и надежности.

В работе предложена новая онтология бурно развивающейся и активно применяющейся технологии радиочастотной идентификации и обеспечении доступа к ресурсам по предметной области, способствующие решению научных и образовательных задач в рамках курса «ТОКИНЭС». Создана новая база знаний по технологии радиочастотной идентификации с использованием учебно-лабораторного стенда для

целей анализа методов и технологий, а также сравнения научно-технических решений в указанной области.

Практическая ценность работы состоит в том, что созданную методику можно применить в рамках программы ТОКИН ЭС при обучении студентов на кафедре «ИУ4» и смежных кафедрах. Практическая значимость состоит в том, что формализованная модель знаний обеспечила возможность:

- проведения анализа и систематизации возможностей радиочастотной идентификации, который позволяет ознакомить студента с радиочастотной идентификации на примере учебно-лабораторного комплекса.

- исследования учебно-лабораторного комплекса по изучению радиочастотной идентификации, которые позволяет выявить воздействие на алгоритмы настройки стенда.

- разрабатывать математические модели, которые позволяют просто и наглядно продемонстрировать технологию радиочастотной идентификации, поведение электромагнитных волн при работе с экранами.

- свести полученные данные в отдельную методику – лабораторную работу - для исследования электромагнитных волн на основе радиочастотной идентификации, что позволит познакомить студентов с основами работы технологии, практическим применением, а также изучить поведение электромагнитных волн при работе с экранами на примере данного стенда.

Радиочастотная идентификация (RFID) является одной из наиболее развивающихся востребованных современных технологий идентификации объектов. В данной технологии используются радиоволны для автоматической идентификации физических объектов (как живых существ, так и неодушевленных предметов). Другими примерами систем автоматической идентификации - это штрих-коды, биометрические методы (например, использование отпечатков пальцев, сканирование сетчатки глаза, идентификация голоса), системы оптического распознавания образов.

При штриховом кодировании источником информации является штриховой код. Штриховой код — графическая информация, наносимая на поверхность маркировку или упаковку изделий, представляющая возможность считывания её техническими средствами — последовательность чёрных и белых полос либо других геометрических фигур [3].

По функциональности RFID-метки, как метод сбора информации, очень близки к штрих-кодам, наиболее широко применяемым сегодня для маркировки товаров.

При сравнении двух технологий можно выявить, что технологии объединяет их общее использование там, где отслеживаемые объекты нужно идентифицировать в контрольных точках; обе технологии позволяют полностью автоматизировать процесс

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/637718.html>

маркировки, причем используются практически одинаковые устройства — автоматические принтеры-аппликаторы. Для промышленного применения преимущество в цене для штрих-кодовой технологии теряется по сравнению с системой радиочастотной идентификации.

По сумме характеристик RFID позволяет сконструировать автоматизированную систему идентификации гораздо более надежную, обладающую большей пропускной способностью и предлагающую большую гибкость размещения считывающего оборудования. В тех случаях, когда эти факторы преобладают над ценой маркировки и обеспечивают желаемое упрощение автоматизации учета, например, готовой продукции или товара на складе, RFID имеет явные преимущества перед штрих-кодированием [1].

Любая система радиочастотной идентификации состоит из:

1. Метки (транспондер) – устройства, способные хранить и передавать данные. В памяти меток содержится их уникальный идентификационный код. Метки некоторых типов имеют перезаписываемую память.
2. Считыватели – приборы, которые с помощью антенн получают информацию из меток, а также записывают в них данные.
3. Антенны используются для наведения электромагнитного поля и получения информации от меток, попавших в это поле.
4. Система управления считывателями – программное обеспечение, которое формирует запросы на чтение или запись меток, управляет считывателями, объединяя их в группы, накапливает и анализирует полученную с меток информацию, а также передает эту информацию в учетные системы [10].

Считывающее устройство (транспондер) представляет собой устройство, состоящее из микрочипа, соединенного с антенной, и корпуса, в котором вся конструкция реализована.

Транспондеры практически во всех случаях работают в пассивном режиме. Вся энергия, необходимая для работы микрочипа, должна быть обеспечена считывателем. Для этого антенна считывателя наводит высокочастотное электромагнитное поле. Из-за того, что длины волн, соответствующие диапазону используемых частот, в несколько раз превышают расстояние между антенной считывателя и меткой, электромагнитное поле можно рассматривать как слабо меняющееся ближнее магнитное поле.

Небольшая часть излучаемого поля пронизывает витки антенны транспондера, находящегося на некотором расстоянии от антенны считывателя. За счет индукции на антенне считывателя возникает напряжение, которое выпрямляется и используется в качестве питания микрочипа. Параллельно обмотке антенны подключается емкость, Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038

которая в цепи с индуктивностью антенны формирует параллельную резонирующую цепь, частота резонанса которой соответствует частоте передаваемого сигнала. В обмотке антенны считывателя генерируются сильные токи, которые могут быть использованы для создания поля такой мощности, чтобы удаленный транспондер мог работать. На стороне метки, ёмкость, подключенная параллельно виткам антенны подстраивается таким образом, чтобы сформировалась резонансная цепь, настроенная на частоту излучения считывателя [1].

Исследования ослабления электромагнитного поля

Электромагнитное поле - это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Представляет собой взаимосвязанные переменные электрическое поле и магнитное поле. Взаимная связь напряженности электрического поля E и магнитного поля H заключается в том, что всякое изменение одного из них приводит к появлению другого: переменное электрическое поле, порождаемое ускоренно движущимися зарядами (источником), возбуждает в смежных областях пространства переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает в прилегающих к нему областях пространства переменное электрическое поле [4].

Электромагнитными экранами называют конструкции, предназначенные для ослабления электромагнитных полей, создаваемых какими-либо источниками в некоторой области пространства, не содержащей этих источников. Степень ослабления зависит от конструкции экрана и параметров излучения. Существенное влияние на эффективность защиты оказывает также материал, из которого изготовлен экран.

Экранирование электромагнитных волн является основой экологической безопасности и одним из самых действенных средств защиты объекта от утечки информации по техническим каналам. Промышленный шпионаж рано или поздно заставляет предпринимателя изучить аспекты защиты коммерческой тайны. Темпы развития рыночных отношений в стране превращают вопрос защиты от промышленного шпионажа в сложную для предпринимателя проблему, к решению которой он зачастую не готов [7].

Исходными данными для расчета электромагнитной помехоустойчивости являются: конструкционные параметры изделия или его узлов; спектр частот помехи и соответствующие им напряженности электрического поля $E(f_i)$ или магнитной индукции $B(f_i)$; допустимые значения напряженности $E_n(f_i)$ или магнитной индукции $B_n(f_i)$.

Наибольшее воздействие на работоспособность узлов РЭА оказывает магнитная составляющая электромагнитного поля B . Когда магнитное поле частотой f пересекает замкнутый контур площадью S , то в контуре возникает ЭДС U [5]:

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/637718.html>

$$|U| = 2nfS|B|. \quad (1)$$

Рассчитанное по формуле (1) напряжение U является напряжением помехи для чувствительных элементов устройства. В случае анализа помехоустойчивости печатных узлов чувствительными элементами обычно являются микросхемы, тогда S — наибольшая площадь замкнутого контура, образованного заземляющим и сигнальным проводниками.

Если $|U| > U_B$ и нет возможности уменьшить площадь контура S , то необходим электромагнитный экран, эффективность которого

$$\mathfrak{E}_n = 201g(|U/U_n|). \quad (2)$$

Существует классификация электромагнитных экранов по трем признакам: типу поля помехи, конструктивной форме, материалу и конструкции стенок экрана. Все эти признаки вносят существенное влияние на распространение электромагнитных волн.

Тип поля помехи бывает:

- магнитостатическое поле (действительно при условии выполнения неравенства 3);
- электростатическое поле (действительно при условии выполнения неравенства 3);

$$r < \frac{\lambda}{2\pi} \quad (3)$$

- электромагнитное поле (действительно при условии выполнения неравенства 4).

$$r > \frac{\lambda}{2\pi} \quad (4)$$

По материалу и конструкции стенок экрана:

- магнитные материалы ($\mu_r > 1$);
- немагнитные материалы ($\mu_r = 1$);
- фольгированные материалы ($d = 0,01 \dots 0,05$ мм);
- многослойные материалы;
- сеточные материалы;
- радиопоглощающие материалы.

Конструктивная форма экрана в зависимости от экранируемого изделия в виде параллелепипеда, цилиндра или сферы. Форма экрана влияет в первую очередь на характеристическое сопротивление среды вблизи него и, как следствие, на эффективность экранирования. Кроме этого, форма экрана влияет на его резонансные свойства, а именно, на значение частоты, на которой происходит резкое увеличение магнитного или электрического поля внутри экрана [6].

Выбор материала экрана проводится исходя из обеспечения требуемой эффективности экранирования в заданном диапазоне частот при определенных

ограничениях. Эти ограничения связаны с массой и габаритами характерными экрана, его влиянием на экранируемый объект, с механической прочностью и устойчивостью экрана против коррозии, с технологичностью его конструкции.

Количественно эффективность электромагнитного экрана или эффективность экранирования от плоской проводящей поверхности можно характеризовать отношением напряженностей поля в защищаемой области пространства при отсутствии экрана (E_0 или H_0) и при наличии его (E или H) (5).

$$E = \frac{E_0}{E} \text{ или } H = \frac{H_0}{H} \quad (5)$$

В общем случае экран не только ослабляет, но и искажает в большей или меньшей степени поле источника в защищаемой области пространства. Поэтому его эффективность оказывается различной для электрической и магнитной составляющих поля и зависит от координат точки измерения, что затрудняет ее количественную оценку. В простейших случаях эффективность экрана определяется однозначно: экранирование полупространства от плоской электромагнитной волны бесконечным плоским однородным экраном; экранирование однородным шаровым экраном точечного источника, расположенного в его центре; экранирование однородным бесконечно протяженным цилиндрическим экраном линейного источника, лежащего на его оси. Точность оценки падает [5].

В особо сложных случаях приходится прибегать при оценке эффективности экрана к ряду условностей, например, определять ее для области защищаемого пространства, лежащей на достаточно большом расстоянии от экрана, для худшей точки этой области, для худшего из возможных расположений источника поля. В таких случаях точность оценки еще более снижается и можно с уверенностью судить на основании расчетов лишь о порядке наименьшей возможной эффективности.

При отвесном падении плоской электромагнитной волны на плоскую поверхность раздела двух сред: свободного пространства и металла, - применяется уравнение плоской моногармонической электромагнитной волны с частотой ω . Частота распространяется вдоль оси x в положительном направлении в однородной среде с абсолютными магнитной и диэлектрической проницаемостями μ_a и ϵ_a и удельной проводимостью δ . Уравнение имеет вид (6) [4]:

$$\frac{dE}{dx} = -j\omega\mu_a \dot{H}; \quad \frac{dH}{dx} = -j\omega\epsilon' \dot{E} \quad (6)$$

Отражение электромагнитной волны от поверхности экрана и ослабление при проникновении сквозь него характеризуется величиной $\mathcal{E}_{\text{пл}}$ (7):

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} = \mathcal{E}_{\text{пл отр}} \mathcal{E}_{\text{пл осла}}, \quad (7)$$

где первый из этих сомножителей характеризует эффективность отражения первичной падающей волны электрического поля от поверхности экрана, а второй сомножитель правой части (7) характеризует степень ослабления электрической составляющей при проникновении поля сквозь толщу стенки экрана. Стальной экран на всех частотах, а особенно на высоких отражает хуже медного и алюминиевого (из-за меньшей величины удельной проводимости и много меньшей глубины проникновения). На высоких частотах в нем значительно больше ослабление при проникновении (из-за много меньшей глубины проникновения) [4].

В некоторых случаях по конструктивным соображениям удобно делать экран не из сплошного листового материала, а из металлической сетки.

Ослабление электромагнитного поля происходит при процессе экранирования электромагнитного поля при падении плоской волны на бесконечно протяженную металлическую пластину толщиной d , находящуюся в воздухе. В этом случае на границе раздела двух сред с различными электрофизическими характеристиками (воздух—металл и металл—воздух) волна претерпевает отражение и преломление, а в толще экрана, ввиду его проводящих свойств, происходит частичное поглощение энергии электромагнитного поля. Электромагнитная волна при взаимодействии с экраном отражается от его поверхности, частично проникает в стенку экрана, претерпевает поглощение в материале экрана, многократно отражается от стенок экрана и, в конечном счете, частично проникает в экранируемую область. В результате общая эффективность экранирования (величина потерь энергии электромагнитной волны) металлической пластиной определяется суммой потерь за счет поглощения (затухания) энергии в толще материала $A_{\text{погл}}$, отражения энергии от границ раздела внешняя среда—металл и металл—экранируемая область $A_{\text{отр}}$ и многократных внутренних отражений в стенках экрана $A_{\text{мотр}}$ (8):

$$A_{[\text{дБ}]} = A_{\text{погл}} + A_{\text{отр}} + A_{\text{мотр}}. \quad (8)$$

Потери на поглощение связаны с поверхностным эффектом в проводниках, приводящим к экспоненциальному уменьшению амплитуды проникающих в металлический экран электрических и магнитных полей [4].

Выявим алгоритм по расчету эффективности экранирования.

1. Определяем тип поля помехи. Область пространства вокруг условного излучателя электромагнитной помехи делится на и дальнюю зоны (формулы 3, 4). Если излучатель представить в виде электрического диполя, то в ближней зоне существенно преобладает электрическое поле, в случае представления излучателя рамкой с током в ближней зоне преобладает магнитное поле. В первом случае можно говорить об электростатическом, а во втором — о магнитостатическом полях. В электронной аппаратуре экранируют как источники, так и приемники помехи. Вследствие принципа взаимности эффективность экранирования в том и другом случаях одинакова.

2. Выбираем конструктивную форму экрана в зависимости от экранируемого изделия в виде параллелепипеда, цилиндра или сферы. Форма экрана влияет в первую очередь на характеристическое сопротивление среды вблизи него и, как следствие, на эффективность экранирования. Кроме этого, форма экрана влияет на его резонансные свойства, а именно, на значение частоты, на которой происходит резкое увеличение магнитного или электрического поля внутри экрана. Чтобы сравнивать экраны различных форм, вводится обобщенный параметр — эквивалентный радиус $R_э$. Для экрана прямоугольной формы [5]:

$$R_э = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} l_1 l_2 l_3} \quad (9)$$

Низшая резонансная частота экрана может быть определена по приближенной формуле

$$f_{рез} = \frac{13.8}{R_э} 10^6 \quad (10)$$

Значение $f_{рез}$ не должно входить в спектр частот помехи. В данной работе используются экраны прямоугольной формы (рис. 1).

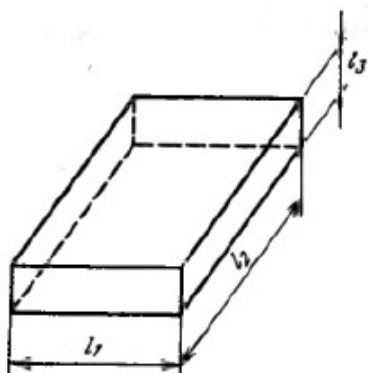


Рис. 1. Прямоугольная форма электромагнитного экрана

3. Выбираем материал и конструкцию стенок экрана. Материал стенок экрана оказывает наибольшее влияние на эффективность экранирования. Величиной,

характеризующей экранирующее действие материала экрана, является глубина проникновения δ (на такой глубине напряженность электрического поля уменьшается в e раз):

$$\delta = 0.52(\pi f \mu_r \sigma)^{-0.5}, \quad (11)$$

где f — частота поля помехи, МГц; μ_r — относительная магнитная проницаемость; σ — удельная проводимость материала экрана, См/м.

Для немагнитных металлов $\mu_r = 1$, а для ферромагнитных материалов μ_r — зависит от частоты f . Для стали эта зависимость может быть учтена следующим образом:

$$\mu_r = 150 - 30f \quad (12)$$

при $f < 4$ МГц, где f — частота, МГц.

Для электромагнитного экранирования используются тонколистовые и фольгированные материалы толщиной 0,01 ... 0,05 мм. Широко применяются сеточные экраны. Это объясняется тем, что металлические сетки легки, а сеточные экраны проще в изготовлении, удобны в сборке и эксплуатации, не препятствуют свободным конвективным потокам воздуха, светопроницаемы и позволяют получить достаточно высокую эффективность во всем диапазоне радиочастот. Недостатком сеточных экранов является невысокая механическая прочность. Экранирующие свойства металлических сеток проявляются главным образом в результате отражения электромагнитной волны от их поверхности. Параметрами сетки, определяющими ее экранирующие свойства, являются: шаг сетки S_c , радиус проволоки r_n и удельная проводимость материала сетки [6].

1. Рассчитываем эффективность экранирования выбранного экрана и, при необходимости, требуемую толщину экрана. Ниже приводятся формулы для расчета эффективности экранирования экранов разной формы из различных материалов.

Приведем расчет магнитостатического экрана и сеточных экранов.

Расчет магнитостатического экрана.

Для прямоугольного экрана эффективность определяется как

$$\mathcal{E}_H^n = 20 \cdot \lg \left[1 + \left(1 - \frac{a_1^2}{a_2^2} \right) \left(\mu_r + \frac{1}{\mu_r} - 2 \right) \right] \quad (13)$$

$$\mathcal{E} = 20 \cdot \lg \left[1 + \sqrt{1 - \frac{\left(1 - \frac{a_1^2}{a_2^2} \right)}{\mu_r + \frac{1}{\mu_r} - 2}} \right] \quad (14)$$

Расчет перфорированных и сеточных экранов.

Для перфорированных экранов эффективность экранирования определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ЭБ(Н)} = 20 \lg \left[\sqrt{\sigma \delta z_{БЭ(Н)}} \sqrt{\frac{\lambda}{r_3}} \left(\frac{a-D}{a} \right)^2 \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda} \right)^6 \exp \left(\frac{2\pi d}{m} \right) \right], \quad (15)$$

где a — расстояние между центрами отверстий;

D — диаметр отверстий,

m — наибольший размер отверстия в экране.

Эта формула применима для диапазона длин волн, пока $\lambda > m\pi$. При $\lambda \cong m\pi$ эффективность экранирования становится незначительной.

Для экранов, изготовленных из сеточных материалов, за толщину экрана принимают эквивалентную толщину сетки $d_c = \pi r_n^2 / S_c$ (где r_n радиус провода и S_c шаг сетки).

Формула для расчета эффективности таких экранов принимает вид [4]:

$$\mathcal{E}_{ЭБ(Н)} = 20 \lg \left[\sqrt{d_c \sigma z_{БЭ(Н)}} \sqrt{\frac{\lambda}{r_3}} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda} \right)^6 \exp \left(\frac{2\pi r_n}{S_c} \right) \right] \quad (16)$$

Эффективность экранов, изготовленных из электрически тонких материалов, в том числе с металлизированными поверхностями, определяется выражением [6]:

$$\mathcal{E}_{ЭБ(Н)} = 20 \lg \left[1.25\pi \sqrt{d \sigma z_{БЭ(Н)}} \sqrt{\frac{\lambda}{r_3}} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda} \right)^6 \right] \quad (17)$$

где d — толщина слоя металла.

Если рассчитанная эффективность экранирования больше требуемой, то на этом расчет заканчивают. В противном случае необходимо изменить конструкционные параметры: толщину, размер отверстий.

Структура и состав учебно-лабораторного стенда радиочастотной идентификации

Общий вид лабораторного стенда представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид лабораторного стенда

На рисунке видна компоновка расположения элементов системы внутри стенда.

Состав лабораторного стенда [10]:

1. Модуль RFID считывателя.
2. Блок световой и звуковой индикации работы
3. Электромеханический замок, управляемый RFID системой
4. Принудительная система охлаждения
5. Методические указания для работы с учебно-лабораторным комплексом
6. Структура RFID меток в разрезе
7. Модуль подключения учебно-лабораторного комплекса к ПЭВМ

Учебно-лабораторный комплекс, на котором исследуется поведение электромагнитных волн, состоит из лабораторного стенда (рис. 3), набора экранов, набора меток, блока электропитания, измерительного прибора – магнитометра МФ-23ИМ.



Рис. 3. Состав учебно-лабораторного комплекса

1. Набор экранов различной конфигурации: сплошной, с мелким шагом и крупным шагом сетки.
2. Лабораторный стенд
3. Набор меток в различном исполнении.

Проведя анализ теоретической информации данной технологии для реализации учебно-лабораторного комплекса для исследований электромагнитных волн на основе RFID - систем была выбрана частота 125КГц. Питание комплекса осуществляется от сети 220В, а потребляемый ток не более 3А. Стенд отражает работу системы радиочастотной идентификации, за счет представленной в нем теоретической информации, комплекта радиочастотных меток, разобранных меток, помещенных на лицевую часть учебно-лабораторного комплекса, а также графических схем работы технологии [10].

Работа с лабораторным комплексом строится следующим образом: сначала программируется лабораторный стенд и метки к нему. Программирование может происходить в двух режимах: с участием терминала и без участия. Затем при поднесении метки к антенне-излучателю, данные считываются и подаются в логический анализатор. Логический анализатор обращается к памяти системы, в которой записаны все метки, разрешенные к опознанию. Если кодовый номер метки находится в памяти, то система обрабатывает и подает на внешнее подключаемое устройство разрешающий сигнал. Если идентификатора метки в памяти не присутствует, то система остается в исходном состоянии, ожидая поднесения следующей метки.

Для измерений эффективности электромагнитного поля был выбран прибор магнитометр дефектоскопический МФ-23ИМ.

Магнитометр дефектоскопический МФ-23ИМ предназначен для измерения напряженности и индукции постоянных, переменных и импульсных магнитных полей [11].

При каждом измерении антенна должна ориентироваться так, чтобы показания измерительного прибора были максимальны, поскольку измерительная аппаратура может исказить исследуемое поле. Необходимо выполнить несколько измерений при различных расположениях корпуса измерителя относительно антенны, чтобы оценить степень влияния этого искажения на результаты измерения. Эффективность экранирования определяется как отношение полученных средних значений напряженности поля без экрана и с экраном.

В ходе эксперимента сначала измеряется напряженность и индукция магнитного поля для учебно-лабораторного комплекса без экранирования (рис. 4), а после этого с экранами, имеющимися в комплекте к учебно-лабораторному комплексу (рис. 5). Все измерения проводить в трех контрольных точках, для точности по три раза, и за истинное значение принимать усредненное.



Рис. 4. Измерение излучения лабораторного стенда без экранирования

Произвести замер напряженности магнитного поля и индукции магнитного поля магнитометром при наличии металлического экрана с мелким шагом сетки.



Рис. 5. Проверка срабатывания системы через сетку с мелким шагом

Необходимо воспользоваться формулой (18) для расчета эффективности экранирования для выявления влияния экранов на поведение электромагнитной волны

$$\mathcal{E}_H = 20 \cdot \lg(H_0/H_Э) = 20 \cdot \lg(U_0/U_Э) \quad (18)$$

где напряжение U является напряжением помехи для чувствительных элементов устройства. Когда магнитное поле частотой f пересекает замкнутый контур площадью S , то в контуре возникает ЭДС U :

$$|U| = 2\pi f S |B|. \quad (19)$$

На основе полученных данных получены зависимости (рис. 6) усредненных значений напряженности магнитного поля и индукции магнитного поля в зависимости от вида используемых в каждом опыте экранов и без них.

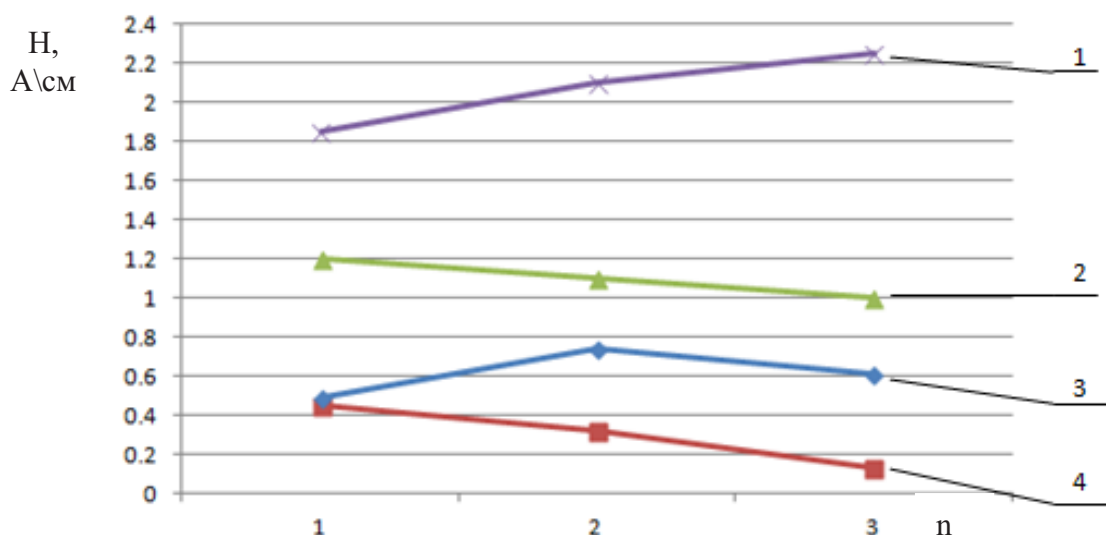


Рис. 6. Графики зависимости напряженности H магнитного поля от влияния экрана 1 – без экрана, 2 – экран с крупным шагом сетки, 3 – экран с мелким шагом сетки, 4 – экран сплошной

На рис. 7 изображена зависимость влияния экранов на значение индукции магнитного поля.

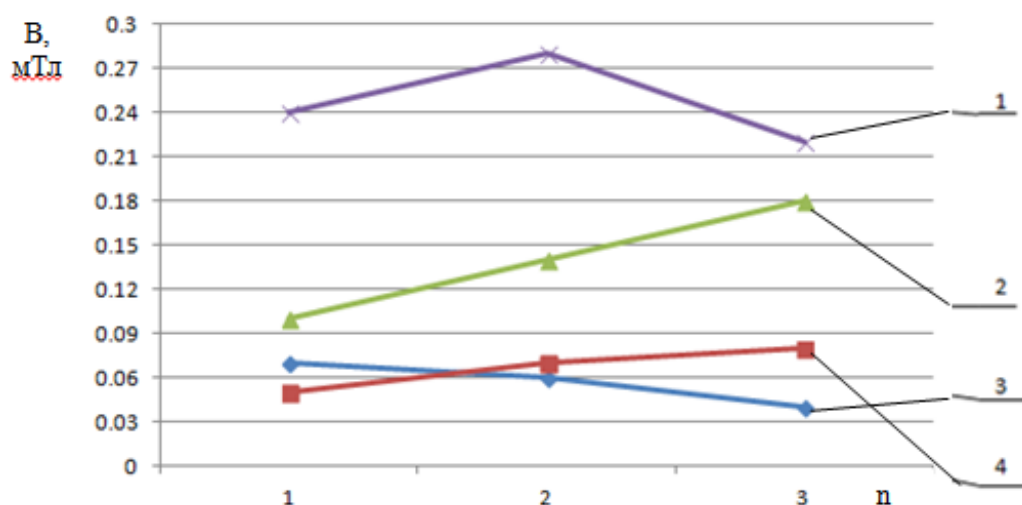


Рис. 7. Графики зависимости индукции B магнитного поля от влияния экрана 1 – без экрана, 2 – экран с крупным шагом сетки, 3 – экран с мелким шагом сетки, 4 – экран сплошной

На основе полученных данных построен график зависимости влияния выбранных экранов на эффективность экранирования $\mathcal{E}$. График изображен на рис. 8.

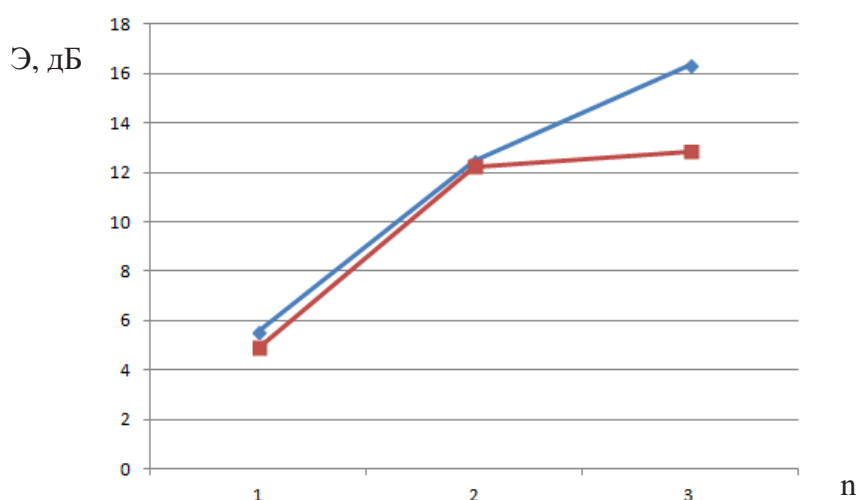


Рис. 8. График зависимости влияния выбранных экранов на эффективность экранирования $\mathcal{E}$

На рис. 9 изображены значения, полученные при расчете эффективности экранирования при 1 – стальном экране с крупным шагом сетки, 2 – стальном экране с мелким шагом сетки, 3 – сплошном алюминиевом экране. По оси ординат отложены значения эффективности в дБ. Нижний график показывает зависимость эффективности экранирования $\mathcal{E}$ от выбранных экранов при расчете через индукцию магнитного поля, а

верхний график показывает зависимость эффективности экранирования $\mathcal{E}$ от выбранных экранов при расчете через напряженность магнитного поля

Заключение

В работе исследовано поведение электромагнитных волн при экранировании на основе учебно-лабораторного стенда системы радиочастотной идентификации.

Проведён анализ возможностей технологии радиочастотной идентификации, который позволяет исследовать поведение электромагнитных волн.

Произведен сравнительный анализ двух систем идентификации объектов: системы радиочастотной идентификации и штрихового кодирования.

Проанализировано поведение электромагнитных волн при работе с экранами, при котором выявлено отражение и ослабление волн при прохождении через металлические экраны.

Проанализированы математические модели, позволяющие оценить параметры систем радиочастотной идентификации, в частности, взаимодействие электромагнитных волн с металлическим экраном, металлической сеткой, плоской проводящей поверхностью.

Разработаны методики и алгоритм для анализа поведения и проницаемости электромагнитных волн при работе с экранами на примере рассматриваемого стенда, которые позволяют выполнить самостоятельно лабораторную работу.

Предложена методика по исследованию радиочастотной идентификации, обеспечивающая наглядное представление о технологии радиочастотной идентификации, которая сведена в лабораторную работу.

Список литературы

1. Manish B., Shahram M. RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems. Prentice Hall PTR, 2005 - 288с.
2. Джон Нэтриб. Система радиочастотной идентификации. Перспективы развития. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.idexpert.ru/reviews/5994/> (Дата обращения: 26.06.2013).
3. О технологии RFID. Применения. Оборудование. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.rf-id.ru/about_rfid/ (Дата обращения: 26.06.2013).
4. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование: Научное издание/– Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 120 с.

5. Парфенов Е.М., Камышная Э.Н., Усачев В.П. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры // Учебное пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1989.—272 с.
6. Волин М.Л. Паразитные связи и наводки. — М.: Издательство «Советское радио», 1965.
7. Стариков О.П. Радиочастотная идентификация: технология, системы, компоненты // Электронные компоненты.2003.№1. С.79-82.
8. Крахмалев А.А. Электронные компоненты для системы идентификации
9. // Электронные компоненты.2002. №3. С.46-51.
10. Усачев В.П., Григорьев В.П., Костиков В.Г. Исследование электромагнитных экранов // МГТУ им. Баумана. М. 2008. 12 с.
11. Шкулёва Е.Н. Исследование электромагнитных волн на основе стенда радиочастотной идентификации. Квалификационная работа бакалавра. — М: МГТУ, 2013.
12. Кудрявцев Д.А. Условия эксплуатации магнитометра МФ-23ИМ. — М.: Научно-исследовательский институт интроскопии «СПЕКТР», 2010. — 45 с.
13. Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств. /Под общ. редакцией В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. 500 с. (серия: Информатика в техническом университете).
14. Нестеров Ю.И., Власов А.И., Першин Б.Н.. Виртуальный измерительный комплекс// Датчики и системы. — 2000. - №4. - С.12-22.