

Масса полученного водорода, отнесенная к суммарному массовому расходу компонентов, определялась по формуле:

$$S_H = \frac{\dot{m}_{H_2}}{\dot{m}_{\Sigma}} = g_{H_2} \cdot (1 + K_m + K_B),$$

$$\text{где } g_{H_2} = \frac{R_{cm} \cdot r_{H_2}}{R_{H_2}}$$

Расчётные данные приведены ниже в виде таблиц и диаграмм.

Таблица 2 – Масса полученного водорода, отнесённая к суммарному массовому расходу

$\alpha$ Доля воды	0,3	0,4	0,5
0	0.1954	0.1523	0.1089
10%	0.2073	0.1615	0.1169
20%	0.2215	0.172	0.1262
30%	0.2384	0.2175	0.1369
40%	0.259	0.2002	0.1507
50%	0.2857	0.2198	0.1662
60%	0.3222	0.2476	0.1884
70%	0.3728	0.2883	0.2218
80%	0.4231	0.3528	0.2739
90%	0.267	0.2776	0.2814
$\alpha$ Доля воды	0,6	0,7	0,8
0	0.0745	0.0531	0.04
10%	0.0808	0.0574	0.043
20%	0.0879	0.0619	0.0459
30%	0.0966	0.0669	0.048
40%	0.1067	0.0732	0.0504
50%	0.1207	0.0826	0.0533
60%	0.1396	0.0974	0.061
70%	0.1675	0.1197	0.1405
80%	0.2092	0.1504	0.0982
90%	0.2321	0.1699	0.1099

УДК 621.396.6

## ПРОБЛЕМЫ КОНФИГУРИРОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ RFID

Левко И.А.

Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

Системы RFID (радиочастотной идентификации) являются системами бесконтактного доступа к информации и включают в себя электронные носители данных, не обладающие собственным источником питания, которые получили

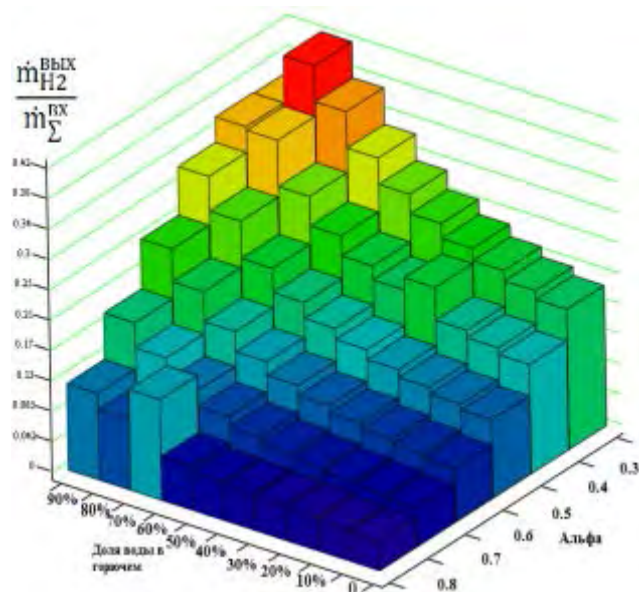


Рисунок 1 – Масса полученного водорода, отнесённая к суммарному массовому расходу

Из диаграммы видно, что максимальный удельный выход водорода получается при  $\alpha=0.3$  и доле воды в горючем 80%. Однако на практике такой режим трудно организовать, т.к. возникают проблемы с воспламенением смеси, также образовывается большое количество сажи. Наиболее выгодный, с практической точки зрения, режим осуществляется при  $\alpha=0.45$  и 65% воды в горючем.

1. Савва, Р.И. Перспективный метод получения водорода на основе высокотемпературного реактора / Р.И. Савва, Г.Б. Савченко // VI общероссийская молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос». – СПб.: БГТУ, 2014 г. – С. 137-139.
2. Добровольский, М.В. Жидкостные ракетные двигатели: учебник для ВУЗов. / М.В. Добровольский – М.: Машиностроение, 1968. – 398 с.:

название транспондеры. Связь с такими носителями данных осуществляет устройство считывания RFID, являющееся одновременно и источником питания для транспондера. Передача энер-

гии обеспечивается с помощью магнитных или электромагнитных полей.

Низкочастотные системы RFID, работающие в диапазоне 125 - 135 кГц, практически не подвержены экранировке магнитного поля со стороны влагонесодержащих объектов, что обусловило их применение для идентификации животных и решения ряда других задач.

Устройство считывания низкочастотной системы RFID создает электромагнитное излучение, длина волны которого составляет около 2400 м, т.е. во много раз больше расстояния между устройством считывания и транспондером. Поэтому, с точки зрения физики, можно считать, что транспондер находится в ближней зоне электромагнитного поля излучателя (антенны устройства считывания) и по воздействию на антенну транспондера эквивалентно воздействию переменного магнитного поля [1, с. 63].

Использование переменного магнитного поля в низкочастотных системах RFID обусловило классифицирование таких систем в качестве систем с индуктивной связью между считывателем и транспондером. Иногда такие системы также называются системами с удаленной связью [2, с. 67].

Дальность действия систем с индуктивной связью может достигать 1 м и определяется рядом взаимозависимых конструктивных параметров, зависящих, в том числе, и от рабочей частоты  $f_0$ .

Определенный научный интерес представляет выбор критериев расчета конструктивных параметров низкочастотной системы RFID для обеспечения необходимой дальности действия.

Важным конструктивным элементом такой системы является антенна считывателя RFID. Для упрощения анализа можно принять, что антенна имеет форму цилиндрической катушки с числом витков  $N$  и радиусом  $r$ , величина которого намного превосходит диаметр поперечного сечения провода и высоту катушки. Тогда аксиальная составляющая напряженности магнитного поля на расстоянии  $z$  от катушки, в которой протекает ток  $I$ , может быть представлена выражением [3, с. 123]:

$$H_z = \frac{I \cdot N \cdot r^2}{2\sqrt{(r^2 + z^2)^3}}. \quad (1)$$

Выражение (1) свидетельствует о том, существует нелинейная зависимость напряженности магнитного поля в заданной точке на вертикальной оси  $z$  от радиуса антенны, причем максимальное значение  $H_z$  достигается при выполнении соотношения [1, с. 90]

$$r_0 = \sqrt{2} \cdot z. \quad (2)$$

Однако при оптимизации радиуса антенны следует учитывать обратную тенденцию, которая

заключается в уменьшении  $H_z(r_0)$  при увеличении радиуса антенны. Для нормальной работы транспондера же требуется значение напряженности магнитного поля в диапазоне от 18 до 600 А/м при пороговой величине 4 А/м [4].

Согласно выражению (1) регулировка напряженности магнитного поля, создаваемого антенной считывателя RFID, возможна при изменении тока  $I$  в антенне и количества витков  $N$ . При этом нужно учитывать, что антенна в низкочастотном считывателе RFID является составной частью последовательного резонансного контура и характеризуется индуктивностью  $L$ . Для цилиндрической катушки (соленоида) индуктивность вычисляется по формуле [5, с. 247]

$$L = \frac{\pi}{4} \mu_0 N^2 \frac{d^2}{h} K_a, \quad (3)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $N$  – число витков;  $d$  – диаметр катушки;  $h$  – длина катушки;  $K_a$  – табулированный коэффициент, зависящий от отношения  $h/d$ . Отсюда следует, что увеличение напряженности магнитного поля за счет увеличения числа витков антенны приводит к увеличению индуктивности  $L$ . При этом резонансная частота контура должна оставаться постоянной и равной рабочей частоте  $f_0$  считывателя RFID.

Увеличение индуктивности в контуре ведет к увеличению его добротности  $Q$ , так как

$$Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R}, \quad (4)$$

где  $C$  – емкость контура;  $R$  – активное сопротивление контура [1, с. 373]. Активное сопротивление контура представляет собой сумму сопротивления потерь контура  $R_{пл}$ , выходного сопротивления  $R_{вых}$  цепи согласования с антенной и последовательного сопротивления  $R_{лос}$ .

Важным фактором, требующим учета, является также скорость передачи данных от транспондера к считывателю RFID или в обратном направлении. Скорость передачи данных жестко связана с рабочей частотой  $f_0$  и может принимать значения  $f_0/32$  или  $f_0/64$  для ряда транспондеров, получивших широкое распространение. Для того чтобы обеспечить допустимые искажения информационного сигнала, полоса частот приемной цепи должна в 2 – 3 раза превосходить скорость передачи данных, выраженную в Гц.

В свою очередь, полоса частот последовательного резонансного контура зависит от его добротности и определяется выражением

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}. \quad (5)$$

Для  $f_0 = 125$  КГц,  $f_0/32 = 3,9$  КГц и согласно выражению (5) добротность должна иметь фиксированное значение в пределах  $Q_{fix} = 8 \div 12$ .

Переменный ток  $I_a$ , протекающий в антенне, в случае последовательного контура связан с

амплитудой выходного напряжения  $U_A$  цепи согласования с антенной следующим соотношением

$$I_A = \frac{U_A}{R}. \quad (6)$$

Используя выражения (4), (6) и формулу для резонансной частоты в контуре, получим систему уравнений

$$\begin{cases} Q_{fix} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R} \\ I_A = \frac{U_A}{R} \\ f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{cases} \quad (7)$$

Решение этой системы позволяет выразить амплитудное значение тока в антенне через индуктивность  $L$  следующим образом

$$I_A = \frac{Q_{fix} U_A}{2\pi f_0 L}. \quad (8)$$

Как видно из выражения (8), между током в антенне считывателя RFID и индуктивностью антенны наблюдается обратная зависимость. При заданной геометрии антенны и, соответственно, фиксированном значении  $L$  единственной возможностью увеличения напряженности магнитного поля, создаваемого антенной, является увеличение напряжения  $U_A$ .

Для соленоида диаметром  $d = 0,155$  м; длиной  $h = 0,01$  м; числом витков  $N = 44$ ; индуктивностью  $L = 0,684$  мГн; при  $U_A = 3,18$  В,  $R = 62$  Ом и  $Q_{fix} = 12$  дальность действия составляет около 8 см. При уменьшении активного сопротивления контура до 20 Ом дальность действия снижается до 4 см, что можно объяснить значительными искажениями сигнала за счет уменьшения полосы пропускания, хотя напряженность магнитного поля, создаваемого антенной, возрастает. Приведенные результаты свидетельствуют о правильности предложенного критерия.

Еще одним фактором, который следует учитывать, является уменьшение коэффициента ин-

дуктивной связи между антеннами считывателя RFID и транспондера при увеличении расстояния между ними. Это приводит к уменьшению глубины модуляции и вызывает необходимость использования дополнительного усилителя [6].

Таким образом, оптимизация дальности действия низкочастотных пассивных систем RFID достигается при выполнении следующих условий:

- выбор геометрии антенны, учитывающей расстояние до транспондера;
- фиксацию добротности входного контура в соответствии с требуемой полосой пропускания и нахождении индуктивности антенны для заданного значения напряженности магнитного поля;
- использование маломощного предварительного усилителя для выделения сигналов с малой глубиной модуляции.

1. Финкенцеллер, К. RFID-технологии. Справочное пособие. — М.: Додэка-XXI, 2010. — 496 с.
2. Дшхунян, В.П. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. — М.: ООО «Издательство АСТ», 2004. — 695 с.
3. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. — М.: Высш. шк., 1986. — 263 с.
4. Standard Read/Write ID Transponder with Anti-collision TK5551. - Atmel Corporation, 2010 - Mode of access: <http://www.atmel.com>. - Date of access: Feb. 12, 2014.
5. Калантаров, П.Л., Цейтлин, Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. — 488 с.
6. Extended RFID Reading Distance by Using U2270B with an Additional Preamplifier. Application Note. . - Atmel Corporation, 2002 - Mode of access: <http://www.atmel.com>. - Date of access: Oct. 17, 2012.

## АНАЛИЗАТОР ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В., Бруек А.А.

Открытое акционерное общество «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

В рамках научно-технической программы «Эталонные и научные приборы», в ОАО «МНИПИ» разработан и изготовлен как единичное изделие «Анализатор вольтамперных характеристик силовых полупроводниковых приборов» для эксплуатации в ЦКП «Радиационный

центр» при ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению».

Анализатор, внешний вид которого представлен на рисунке 1, предназначен для измерения и наблюдения вольтамперных характеристик (ВАХ) силовых полупроводниковых приборов в