

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Конесев С.Г.¹, Хазиева Р.Т.¹

¹ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия (450062, Уфа, ул. Космонавтов, 1), e-mail: KonesevSG@yandex.ru

Выполнен расчет показателей надежности многофункциональных интегрированных электромагнитных компонентов (МИЭК) различного схмотехнического исполнения на основе разработанной методики. Структуры МИЭК (двухобкладочные: одно-, двух- и трехсекционная; трехобкладочная и другие) для оценки надежности рассмотрены с точки зрения материальной и функциональной основы. На основании полученных результатов произведена оценка показателей надежности с учетом нескольких факторов: составляющих МИЭК элементов, степени интеграции и выполняемых им функций. Приведены полученные табличные данные приближенных показателей надежности исследованных структур МИЭК для дальнейшей оценки надежности различных электротехнических устройств на их основе (генераторов импульсов напряжения, индуктивно-емкостных преобразователей, устройств заряда емкостных накопителей, устройств для испытания изоляции повышенным напряжением) и повышения эффективности применения сложных электромагнитных компонентов.

Ключевые слова: многофункциональный интегрированный электромагнитный компонент (МИЭК), надежность, методика оценки, сложные электромагнитные компоненты.

ASSESSMENT OF RELIABILITY PARAMETERS OF MULTIFUNCTIONAL INTEGRATED ELECTROMAGNETIC COMPONENTS

Konesev S.G.¹, Khazieva R.T.¹

¹FSBEI HPE «Ufa State Petroleum Technological University», Ufa, Russia (450062, Ufa, street Kosmonavtov, 1), e-mail: KonesevSG@yandex.ru

Calculation of reliability parameters of multifunctional integrated electromagnetic components (MIEC) for different circuit execution based on the developed method was achieved. Structures of MIEC (two layers: one-, two- and three-section; three layers and others) are considered to assess the reliability in terms of material and functional basis. Based on these results the assessment of reliability parameters was carried out based on several factors: constituent elements of MIEC, integration and functions performed by them. Given tabular data obtained approximate parameters of reliability structures studied MIEC to further assess the reliability of various electrical devices based on them (pulse voltage generators, inductive-capacitive converters, capacitor storage charge devices, devices for testing high voltage insulation), and increase the effectiveness of complex electromagnetic components.

Keywords: multifunctional integrated electromagnetic component (MIEC), reliability, evaluation method, complex electromagnetic components.

Ранее авторами был проведен сравнительный анализ существующих методов оценки показателей надежности сложных компонентов и систем [7], разработана методика расчета приближенных значений показателей надежности многофункциональных интегрированных электромагнитных компонентов (МИЭК) [6] и выполнена оценка надежности простой структуры односекционного МИЭК [5]. Однако компоненты имеют более сложные структуры [1, 8], значительно расширяющиеся области их применения в различных электротехнических устройствах [2, 3, 4]. Поэтому возникает необходимость произвести расчеты параметров надежности более сложных структур МИЭК по разработанной методике.

Цель исследования

В данной статье поставлена задача оценки показателей надежности более сложных структур МИЭК по методике, предложенной в [6].

Материал и методы исследования

Рассмотрим различные структуры и схмотехнические исполнения МИЭК с точки зрения материальной и функциональной основы. На рисунке 1 показаны структуры, схемы замещения и функциональные схемы различных схмотехнических исполнений МИЭК. Определим показатели надежности: интенсивность отказа $\lambda(t)$, среднее время безотказной работы T_1 , вероятность безотказной работы $P(t)$, плотность распределения времени безотказной работы $f(t)$, различных структур МИЭК, представленных на рисунке 1.

| Структура | Схема замещения | Функциональная схема |
|--|-----------------|----------------------|
| | | |
| а) односекционный МИЭК | | |
| | | |
| б) односекционный МИЭК с выводами в середине каждой из проводящих обкладок | | |
| | | |
| в) односекционный МИЭК с дополнительной обмоткой, соединенной последовательно с одной из проводящих обкладок | | |
| | | |
| г) двухсекционный МИЭК | | |
| | | |
| д) трехсекционный МИЭК | | |

Рис. 1. Структуры МИЭК, их схемы замещения и функциональные схемы

Приближенный расчет показателей надежности выполнен при помощи электронных таблиц программы Excel. Учитываются все элементы, включая монтажные. Интенсивности отказов элементов, составляющих МИЭК, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Интенсивности отказов элементов, составляющих различные структуры МИЭК

| Элементы | Количество | $\lambda \cdot 10^{-5}$, час ⁻¹ |
|---|-------------------|---|
| Проводящие обкладки, разделенные диэлектриком | $n + 1$ | 0,08 |
| Электрические выводы, расположенные в начале и конце проводящих обкладок (разъемы коаксиальные) | $2 \cdot (n + 1)$ | 0,021 |
| Пайки | $4 \cdot (n + 1)$ | 0,01 |
| Печатные проводники | $2 \cdot (n + 1)$ | 0,01 |

Таблица 2

Интенсивности отказов элементов, составляющих схемы замещения различных структур МИЭК

| Элементы | Количество | $\lambda \cdot 10^{-5}$, час ⁻¹ |
|---|---------------------------|---|
| Конденсаторы | $2 \cdot n$ | 0,15 |
| Катушки индуктивности | $2 \cdot n$ | 0,075 |
| Резисторы | $2 \cdot n$ | 0,075 |
| Электрические выводы (разъемы коаксиальные) | $2 \cdot (n + 1)$ | 0,021 |
| Пайки | $2 \cdot (7 \cdot n + 1)$ | 0,01 |
| Печатные проводники | $6 \cdot n$ | 0,01 |

Рассмотрим односекционный МИЭК, представленный на рисунке 1, а, с точки зрения выполняемых им функций. Односекционный МИЭК выполняет простые функции катушки индуктивности (за счет наличия проводящего материала, свернутого в спираль) и конденсатора (за счет наличия двух проводящих обкладок, разделенных диэлектриком) и составные функции последовательного RLC-контура. Если добавить по одному выводу в середину каждой проводящей обкладки (рисунок 1, б), то односекционный МИЭК сможет выполнять дополнительные простые функции первичной и вторичной обмоток трансформатора и дополнительную составную функцию трансформатора. В случае использования дополнительной обмотки, соединенной последовательно с одной из проводящих обкладок (рисунок 1, в), односекционный МИЭК сможет выполнять те же функции, что и схемотехническое решение односекционного МИЭК с выводами в середине каждой из проводящих обкладок. Двухсекционный МИЭК, представленный на рисунке 1, г, выполняет простые функции катушки индуктивности и конденсатора в зарядной и разрядной цепи, первичной и вторичной обмоток трансформатора и составные функции последовательного RLC-контура и трансформатора. Трехсекционный МИЭК, представленный на рисунке 1, д, выполняет простые функции катушки индуктивности и конденсатора в

зарядной и разрядной цепи, первичной и вторичной обмоток трансформатора и составные функции последовательного RLC-контура, трансформатора, генератора импульсов напряжений.

Результаты расчета показателей надежности различных структур МИЭК и их схем замещения с точки зрения материальной и функциональной основы представлены в таблице 3.

Таблица 3

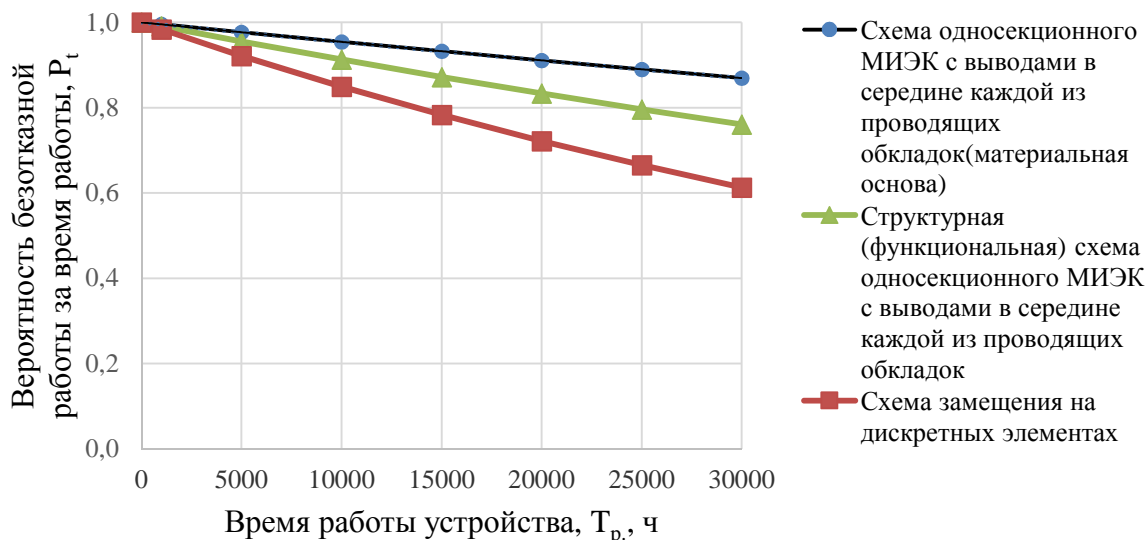
Показатели надежности различных структур МИЭК

| Показатели надежности | Схема замещения на дискретных компонентах | МИЭК | Функциональная схема МИЭК |
|---|---|----------------------|---------------------------|
| для односекционного МИЭК с выводами в середине каждой из проводящих обкладок | | | |
| Интенсивность потока отказов, λ , 1/ч | $16,31 \cdot 10^{-6}$ | $4,66 \cdot 10^{-6}$ | $9,12 \cdot 10^{-6}$ |
| Среднее время наработки на отказ, T_1 , ч | 61 312 | 214 592 | 109 649 |
| Время наработки на отказ с заданной вероятностью, t , ч | 6 131 | 21 459 | 10 965 |
| Время работы устройства, T_p , ч | 30 000 | 30 000 | 30 000 |
| Вероятность безотказной работы за время работы, P_t | 0,61 | 0,87 | 0,76 |
| для двухсекционного МИЭК | | | |
| Интенсивность потока отказов, λ , 1/ч | $17,46 \cdot 10^{-6}$ | $5,46 \cdot 10^{-6}$ | $11,37 \cdot 10^{-6}$ |
| Среднее время наработки на отказ, T_1 , ч | 57 274 | 183 150 | 87 951 |
| Время наработки на отказ с заданной вероятностью, t , ч | 5 727 | 18 315 | 8 795 |
| Время работы устройства, T_p , ч | 30 000 | 30 000 | 30 000 |
| Вероятность безотказной работы за время работы, P_t | 0,59 | 0,85 | 0,71 |
| для трехсекционного МИЭК | | | |
| Интенсивность потока отказов, λ , 1/ч | $25,88 \cdot 10^{-6}$ | $7,28 \cdot 10^{-6}$ | $20,41 \cdot 10^{-6}$ |
| Среднее время наработки на отказ, T_1 , ч | 38 640 | 137 363 | 48 996 |
| Время наработки на отказ с заданной вероятностью, t , ч | 3 864 | 13 736 | 4 900 |
| Время работы устройства, T_p , ч | 30 000 | 30 000 | 30 000 |
| Вероятность безотказной работы за время работы, P_t | 0,46 | 0,80 | 0,54 |

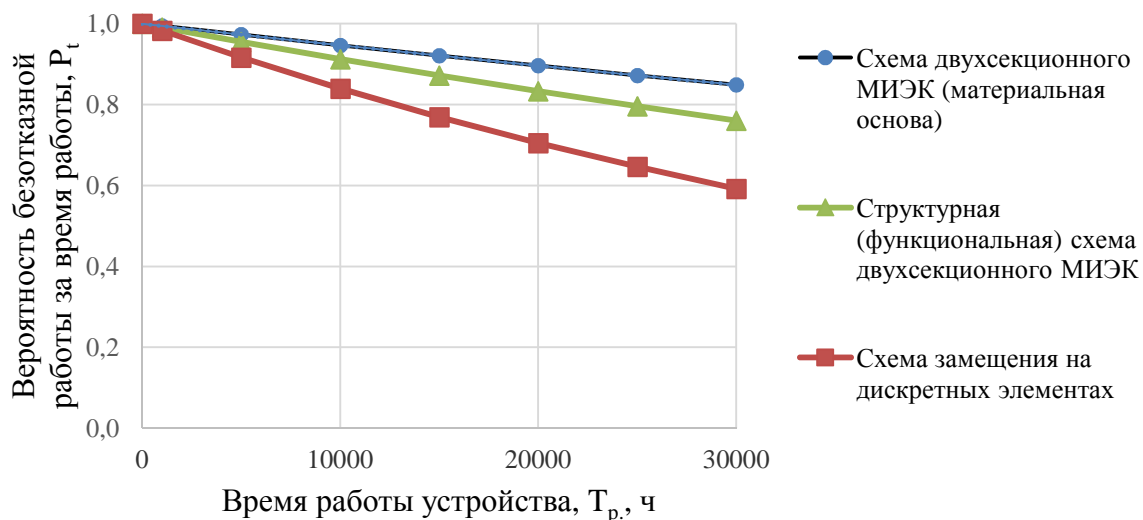
Анализируя результаты оценки показателей надежности различных структур МИЭК и их схем замещения, можно сделать вывод, что интегрированное исполнение компонента приводит к снижению интенсивности потока отказов в 1,5 раза, увеличению среднего времени работы компонента и времени безотказной работы с заданной вероятностью в 1,5 раза, увеличению вероятности безотказной работы на 9% для односекционного МИЭК, на 20% – для двухсекционного МИЭК, на 17% – для трехсекционного МИЭК. Надежность

трехсекционного гораздо ниже, чем одно- и двухсекционного структуры (29% и 24% соответственно), что обусловлено значительным расширением функциональных возможностей: трехсекционный МИЭК, выполняет дополнительную составную функцию генератора импульсов напряжений.

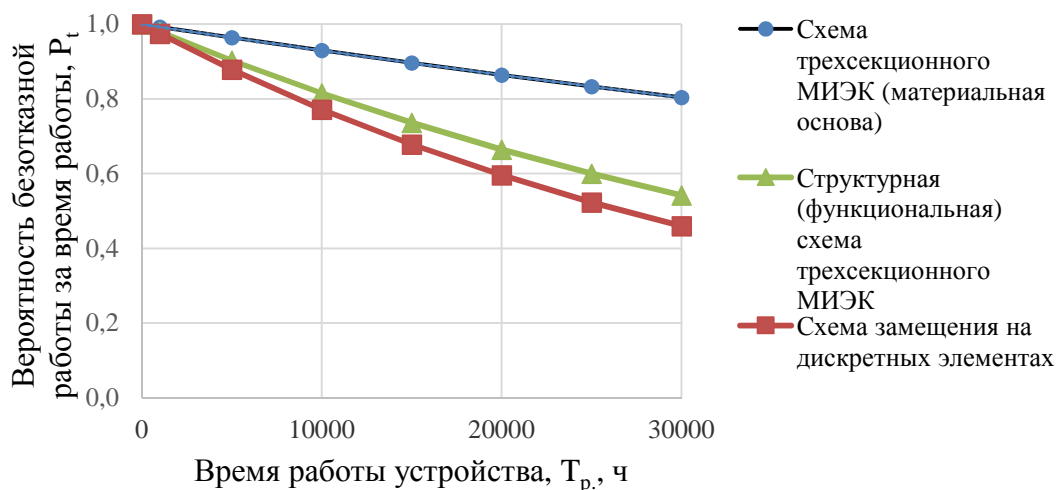
Получим значения вероятности безотказной работы и плотности распределения времени до отказа, табулируя функции $P(t) = e^{-\lambda \cdot t}$ и $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$. Результаты табулирования представлены на рисунках 2 и 3.



а) для односекционного МИЭК с выводами в середине каждой из проводящих обкладок

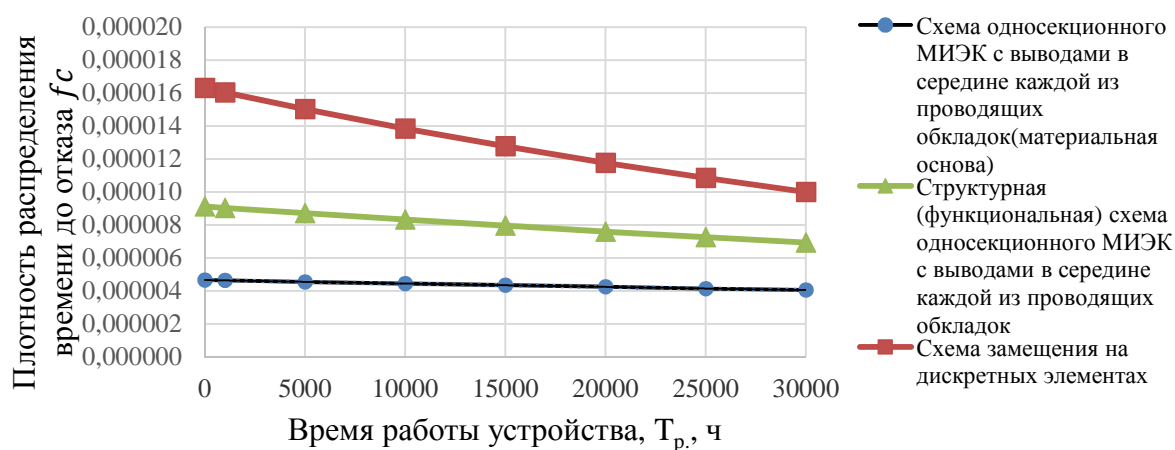


б) для двухсекционного МИЭК

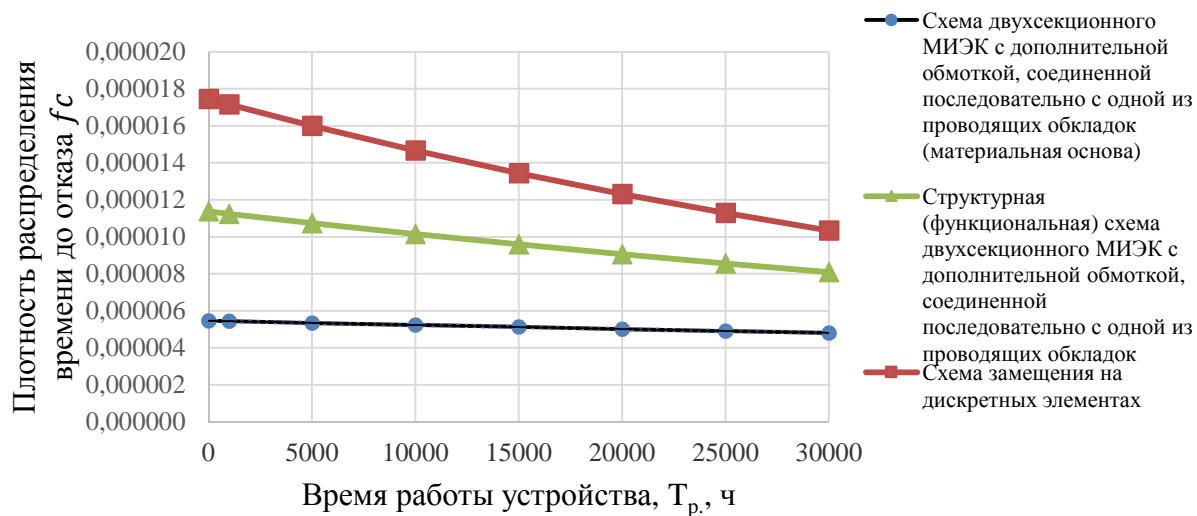


в) для трехсекционного МИЭК

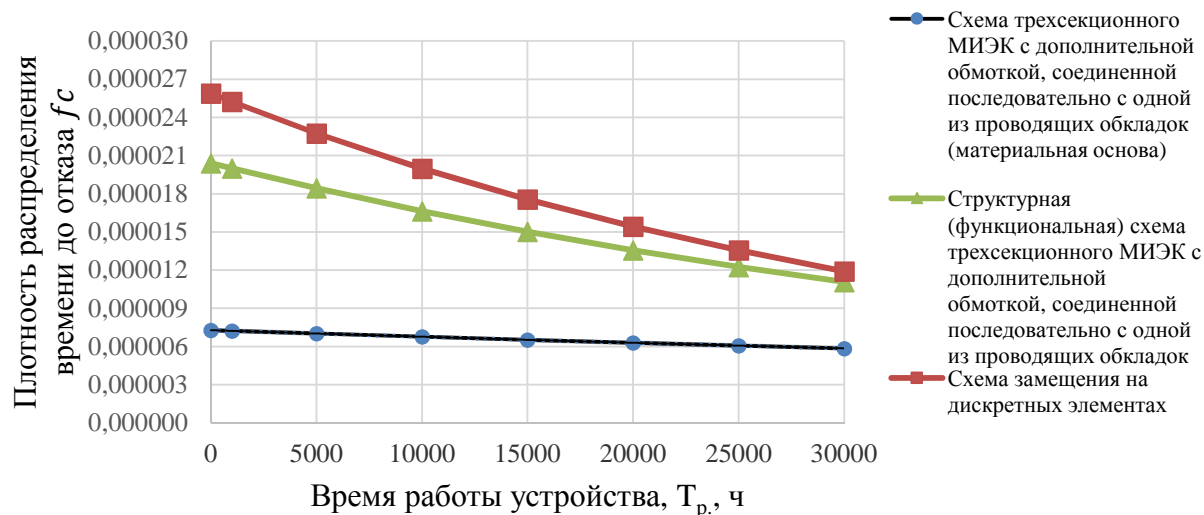
Рис. 2. Вероятность безотказной работы различных структур МИЭК и их схем замещения на дискретных компонентах с материальной и функциональной точек зрения



а) для односекционного МИЭК с выводами в середине каждой из проводящих обкладок



б) для двухсекционного МИЭК



в) для трехсекционного МИЭК

Рис. 3. Плотность распределения времени до отказа различных структур МИЭК и их схем замещения на дискретных компонентах с материальной и функциональной точек зрения

Повышение надежности МИЭК обеспечивается уменьшением числа элементов, отсутствием дополнительных межэлементных и монтажных соединений, паек.

Выводы

1. С целью исследования различных структур МИЭК с точки зрения надежности и разработки устройств на их основе получены табличные данные приближенных показателей надежности одно-, двух- и трехсекционной структуры МИЭК.

2. Интегрированное исполнение компонента приводит к снижению интенсивности потока отказов в 1,5 раза, увеличению среднего времени работы компонента и времени безотказной работы с заданной вероятностью в 1,5 раза, увеличению вероятности безотказной работы на 9% для односекционного МИЭК, на 20% – для двухсекционного МИЭК, на 17% – для трехсекционного МИЭК. Надежность трехсекционного гораздо ниже, чем одно- и двухсекционного структуры (29% и 24% соответственно), что обусловлено значительным расширением функциональных возможностей: трехсекционный МИЭК, выполняет дополнительную составную функцию генератора импульсов напряжений. Наиболее оптимальным для применения с точки зрения функционального и элементного подходов является двухсекционная структура МИЭК. Повышение надежности МИЭК обеспечивается уменьшением числа элементов, отсутствием дополнительных межэлементных и монтажных соединений, паек.

Список литературы

1. Конесев С.Г., Кириллов Р.В., Хазиева Р.Т. Анализ энергетических и частотных характеристик многофункциональных интегрированных электромагнитных компонентов // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. науч. тр. Вып. 1 под ред. С.И. Лукьянова, Н.В. Швидченко.– Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – С. 65-75.
2. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т., Кириллов Р.В., Мухаметшин А.В. Генератор импульсов напряжений / Патент России №2477918. – 2013. – Бюл. №8.
3. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т., Кириллов Р.В., Мухаметшин А.В., Садиков М.Р. Устройство заряда емкостного накопителя/Патент России №117748. – 2012. – Бюл. №18.
4. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т., Конесев И.С., Нурлыгаянов А.Р. Индуктивно-емкостной преобразователь/Патент России №2450413. – 2012. – Бюл. №13.
5. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. Математическая модель односекционного многофункционального интегрированного компонента [Электронный ресурс] // Научный электронный архив.– URL: <http://econf.rae.ru/article/7908> (дата обращения: 10.10.2013).
6. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. Методика оценки надежности сложных электромагнитных элементов [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал. - №1. URL: www.science-education.ru/121-17925 (дата обращения: 18.03.2015).
7. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. Методы оценки параметров надежности сложных компонентов и систем [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал, 2015. - №1. URL: <http://www.science-education.ru/121-17558> (дата обращения: 27.02.2015).
8. Конесев, С.Г., Хазиева, Р.Т. Функциональная интеграция как техническое средство развития электромагнитных элементов // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвуз. сб. науч. тр.– Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014.– С. 135-138.

Рецензенты:

Гизатуллин Ф.А., д.т.н., профессор кафедры электромеханики ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа;

Сапельников В.М., д.т.н., профессор кафедры «Электротехники и электрооборудования предприятий» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа.