



Рисунок 3 – Алгоритм реализации режима бегущей строки

Мощность и максимальный отдаваемый ток блока питания выбирается исходя из размера матрицы и режимов, в которых она будет работать.

В прошивке GuyverMatrixOS версии 1.2 и выше настраивается ограничение тока системы. Для успешной работы матрицы рекомендуется:

- разграничить светодиоды объемной решеткой;
- поверх решетки положить рассеиватель;
- затемнить «экран» матрицы.

Для реализации работы «бегущей строки», воспользуемся алгоритмом, приведенным на рис. 3.

#### Литература

1. Светодиодные системы отображения информации / А. С. Сушко [и др.] // Новые направления развития приборостроения : материалы 15-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 20–22 апреля 2022 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 53–54.

2. WS2812 Intelligent control LED integrated light source [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://voltage.ru/datasheets/WS2812B\\_datasheet\\_EN.pdf](https://voltage.ru/datasheets/WS2812B_datasheet_EN.pdf).

УДК 621.396.96

### ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН СПОСОБАМИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИМИ РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОБМОТКАХ

Исаев А.В., Суходолов Ю.В.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Работа посвящена оценке возможностей методов диагностики состояния обмоток асинхронных двигателей использующие резонансные явления в обмотках. Проведен анализ основных характеризующих параметров при проведении диагностики, рассмотрены входные и выходные (анализируемые) сигналы, способы подачи диагностического сигнала и особенности получения результирующего, определены основные достоинства и недостатки каждого из подходов исследования.

**Ключевые слова:** диагностика состояния обмоток, резонансные явления в обмотках, схема диагностики обмоток электрических машин.

### INCREASING THE ACCURACY OF MEASURING TIME PARAMETERS WITH INSTABILITY OF THE PARAMETERS OF PULSE SIGNALS

Isaev A., Suchodolov U.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The work is devoted to the assessment of the possibilities of methods for diagnosing the state of the windings of asynchronous motors using resonant phenomena in the windings. The analysis of the main characterizing parameters during the diagnostics was carried out, the input and output (analyzed) signals, the methods of supplying the diagnostic signal and the features of obtaining the resulting signal were considered, the main advantages and disadvantages of each of the research approaches were determined.

**Key words:** diagnostics of the state of windings, resonant phenomena in windings, diagnostic scheme for windings of electrical machines.

Адрес для переписки: Исаев А.В., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь  
e-mail: isaev0302@gmail.com

В настоящее время наиболее оптимальными и чувствительными являются методы диагностики состояния обмоток электрических машин спо-

собы, использующие резонансные явления в обмотках. Необходимо отметить, что сегодня разработано большое количество схем, позволяющих

реализовать данную методику. Среди них можно выделить основные характеризующие параметры:

- тип входного диагностического сигнала;
- тип анализируемого сигнала.
- способ подачи диагностического сигнала;
- способ получения результирующего сигнала.

В качестве входного диагностического сигнала для контроля обмоток может применяться три группы: монохроматический; с дискретным спектром и со сплошным спектром. Монохроматический сигнал представляет собой гармонический сигнал заданной частоты.

Сигналы с дискретным спектром являющиеся периодическими импульсами последовательно-стоями и со сплошным спектром имеют различную форму импульсов: прямоугольную и экспоненциальную; синусоидальную – радиоимпульсы; форму затухающих колебаний; трапецеидальную и т.д. Форма импульсов обычно выбирается для создания максимальных испытательных напряжений в обмотке. В настоящее время сигналы с дискретным спектром получили наибольшее распространение среди методов контроля обмоток.

Использование сигналов со сплошным спектром предопределяет обнаружение дефектов по форме выходного сигнала, что снижает чувствительность контроля и не позволяет автоматизировать измерительный процесс. Применение в чистом виде таких сигналов редко, т.к. в основном используют короткие импульсы с периодом повторения 20 или 10 мс, спектр которых можно считать сплошным, так как за это время происходит затухание сигнала в обмотке. Кроме этого необходимость использовать импульсный сигнал требует спектральной обработки выходного сигнала с целью выделения тех составляющих, которые наибольшим образом реагируют на возникновение виткового замыкания.

Различие видов выходных сигналов и методов их обработки затрудняют автоматизацию контроля, а достоверность большинства методов зависит от формы испытательного сигнала и стабильности его параметров. Кроме этого, известные методы контроля не дают стабильного результата, т.к. они разработаны без учета влияния на выходной анализируемый сигнал нестабильности испытательного сигнала и разброса параметров обмотки. А следовательно, при проведении измерения могут возникнуть ситуация, когда относительное изменение параметра выходного сигнала от виткового замыкания меньше, чем разброс параметров исправной обмотки в пределах допуска и изменения этого же параметра при некоррелированном отклонении параметров испытательного сигнала, что приводит к ошибке.

В качестве анализируемого измерительного сигнала в таких схемах могут выступать два основных параметра: 1 – относительное изменение амплитуды и 2 – разность фаз между исправной и

неисправной обмотками в АД. В первом случае определение состояния АД осуществляется на основе АЧХ, во втором – на основе ФЧХ исследуемого сигнала.

Таблица 1. Схемы подключения

	<p><i>Достоинство схемы:</i> высокая чувствительность на исследование по АЧХ и ФЧХ, малое влияние местоположения короткозамкнутых витков на результаты диагностики. <i>Недостатки:</i> необходимость полной раскоммутации обмоток АД, обязательное наличие вывода средней точки</p>
	<p><i>Достоинство схемы:</i> высокая чувствительность на исследование по АЧХ и ФЧХ, малое влияние местоположения короткозамкнутых витков на результаты диагностики. <i>Недостатки:</i> необходимость полной раскоммутации обмоток АД, обязательное наличие вывода средней точки</p>
	<p><i>Достоинство схемы:</i> высокая чувствительность на исследование по АЧХ и ФЧХ, малое влияние местоположения короткозамкнутых витков на результаты диагностики. <i>Недостатки:</i> необходимость полной раскоммутации обмоток АД, обязательное наличие вывода средней точки</p>
	<p><i>Достоинство схемы:</i> высокая чувствительность на исследование по ФЧХ, малое влияние местоположения короткозамкнутых витков на результаты диагностики, отсутствие необходимости раскоммутации обмоток АД. <i>Недостатки:</i> не высокая чувствительность на исследование по АЧХ, обязательное наличие вывода средней точки</p>
	<p><i>Достоинство схемы:</i> высокая чувствительность на исследование по ФЧХ, малое влияние местоположения короткозамкнутых витков на результаты диагностики, отсутствие необходимости раскоммутации обмоток АД, отсутствие необходимости наличия физического вывода средней точки обмотки АД. <i>Недостатки:</i> не высокая чувствительность на исследование по АЧХ</p>
	<p><i>Достоинство схемы:</i> отсутствие необходимости раскоммутации обмоток АД, отсутствие необходимости наличия физического вывода средней точки обмотки АД, возможность контроля КЗ на корпус. <i>Недостатки:</i> не высокая чувствительность на исследование по АЧХ и ФЧХ, сильное влияние местоположения короткозамкнутых витков на результаты диагностики</p>

Способы подачи диагностического сигнала и получения результирующего сигнала определяются схемой подключения измерительной установки к АД, подлежащего контролю. Среди представленных схем наиболее приминительными являются схемы, представленные в табл. 1.

#### Литература

1. Гольдберг, О. Д. Испытания электрических машин. Учеб для вузов по спец. «Электромеханика» / О. Д. Гольдберг. – М.: Высш. шк., 1990. – 255 с.

2. Гемке, Р. Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б. Уманцева. – 9-е изд., перераб. и доп. / Р. Г. Гемке. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.

3. Способ контроля витковой изоляции обмотки якоря электрической машины : пат. РБ 16628 / Ю. В. Суходолов, А. А. Шейников, А. Н. Малашин, В. Р. Вашкевич. – Опубл. 2012.08.30.

4. Способ контроля фазных обмоток трехфазной электрической машины : пат РБ 20042 / Ю. В. Суходолов, А. В. Белоусов, Л. П. Крученюк. – Опубл. 2016.04.30.

УДК 004.056.053

### СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФНФ СТАТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛИС И ПРОМЫШЛЕННЫХ МИКРОСХЕМ

Кайкы М.Н., Иванюк А.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Данная работа посвящена изучению применимости физически неклонировуемых функций на основе ячеек статической памяти в качестве схем идентификации цифровых устройств. В работе представлены результаты сравнения характеристик стабильности и уникальности ячеек статической памяти промышленных микросхем и ячеек, сконфигурируемых на элементной базе программируемых логических интегральных схем.

**Ключевые слова:** физически неклонировуемая функция, статическая память, идентификация, ПЛИС.

### COMPARISON OF STATIC MEMORY PUF CHARACTERISTICS USING FPGA AND INDUSTRIAL ICs

Kaiky M., Ivaniuk A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** This work is devoted to the study of the applicability of physically uncloneable functions based on static memory cells as digital device identification schemes. The paper presents the results of comparing the characteristics of stability and uniqueness of static memory cells of industrial integrated circuits and cells configured on the element base of field programming gate arrays.

**Key words:** physically uncloneable function, static memory, identification, FPGA.

*Адрес для переписки: Кайкы М.Н. e-mail kaikymykhailo@gmail.com; Иванюк А.А. e-mail ivaniuk@bsuir.by*

**Актуальность.** Процесс производства современных интегральных схем (ИС) состоит из множества этапов, начиная с функционального проектирования, заканчивая размещением кристалла в корпус и его герметизацией [1]. На данный момент распространенными являются методы защиты цифровых устройств (ЦУ) от несанкционированного копирования, клонирования и использования, позволяющие пресекать акты промышленного шпионажа, изготовления и распространения контрафактной продукции. Одними из эффективных методов защиты ЦУ являются методы идентификации аппаратного обеспечения (Hardware Metering), позволяющие распознать устройство, определить его принадлежность владельцу прав интеллектуальной собственности и даже заблокировать работу устройства при попытке несанкционированного использования [2].

**Физически неклонировуемые функции.** Основную роль при построении систем идентификации играют источники энтропии. В основе источников энтропии и идентификаторов обычно лежат физически неклонировуемые функции (ФНФ), являющиеся сущностями, воплощенными в физической структуре, которые легко оценить, но, в силу неконтролируемых человеком процессов, невозможно воспроизвести, смоделировать или охарактеризовать [3, 4]. В научной литературе упоминаются различные типы ФНФ, реализуемые с использованием современных КМОП-технологий: ФНФ на основе задержек, ФНФ типа бабочка, ФНФ на статической памяти и т.д. Однако, вне зависимости от типа ФНФ, все они в результате случайных технологических вариаций при изготовлении ИС будут иметь уникальные электрофизические характеристики, извлечение (регистрация)