

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники

УДК 004.312.46:004.056

Пастор  
Андрей Викторович

Методика определения параметров, управления и диагностики состояния  
генераторов качающейся частоты для технических средств защиты  
информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-98 80 01 Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность

---

Научный руководитель  
Белошицкий А. П.  
кандидат технических наук,  
доцент

---

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением производства и использования различных радиоэлектронных средств (РЭС) значительно возрастает уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) от них. На протяжении своей жизни человек находится под их, главным образом, негативным воздействием. При этом широкий диапазон частот от единиц Гц до тысяч ГГц такого излучения может влиять на состояние человеческого организма на молекулярном уровне и отражаться на следующих поколениях.

Источники радиоволн могут работать в пределах одного частотного диапазона или перестраиваться в некоторой полосе частот. С помощью электромагнитных волн можно передавать информацию в виде радиосигналов, отличающихся несущей частотой, шириной частотного спектра, видом модуляции. Вид и ширина ЭМИ зависят от мгновенного значения напряженности поля и характера изменения ее во времени. Гармонические колебания, наиболее широко применяемые в современной радиотехнике и удобные для анализа, характеризуются мгновенными значениями амплитуды, частоты и фазы. Следовательно, информационным параметром может быть изменение амплитуды, частоты и фазы.

Одним из важнейших способов защиты от ЭМИ является экранирование электромагнитных полей. Экранированием называется локализация электромагнитной энергии в определенном пространстве за счет ограничения распространения ее всеми возможными способами.

Физическая сущность защитного экранирования объясняется созданием на поверхности экрана заряда или индуцированного тока, которые являются источниками полей, противодействующих существующим электромагнитным полям. Это равнозначно увеличению пути между приемником и источником возникающей помехи. Эффективность защитного экранирования зависит от ряда факторов:

- частота поля;
- электропроводимость материала, из которого изготовлен экран;
- магнитная проницаемость материала защитного экрана;
- месторасположение и размеры экрана.

Для определения параметров и характеристик экранов и экранирующих материалов, необходимо использовать современное измерительное оборудование, обладающее высокими метрологическими характеристиками и степенью автоматизации.

Следовательно, задачи разработки методик определения параметров средств измерений СВЧ диапазона, а так же устройств их автоматизации и диагностики являются весьма важными и актуальными.

Целью данной магистерской диссертации является разработка методик определения параметров генераторов качающейся частоты (ГКЧ) СВЧ диапазона и блока управления и диагностики состояния ГКЧ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ современных методов и технических средств защиты от ЭМИ;
- выбрать конкретный тип генератора и описать его устройство и принцип действия;
- разработать методики определения параметров ГКЧ;
- провести экспериментальные исследования ГКЧ с использованием разработанных методик;
- разработать блок управления и диагностики состояния ГКЧ и его программное обеспечение.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В связи с увеличением производства и использования различных радиоэлектронных средств (РЭС) значительно возрастает уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) от них.

Одной из важнейших проблем современности является защита от ЭМИ путем экранирования электромагнитных полей. Для определения параметров и характеристик экранов и экранирующих материалов, необходимо использовать современное измерительное оборудование, обладающее высокими метрологическими характеристиками и степенью автоматизации.

Следовательно, задачи разработки методик определения параметров средств измерений СВЧ диапазона, а так же устройств их автоматизации и диагностики являются весьма важными и актуальными.

Тема диссертационной работы соответствует подразделу 13 «Безопасность человека, общества, государства» приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12 марта 2015г., № 190. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Целью данной магистерской диссертации является разработка методик определения параметров генераторов качающейся частоты (ГКЧ) СВЧ диапазона и блока управления и диагностики состояния ГКЧ.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ современных методов и технических средств защиты от ЭМИ;
- выбран конкретный тип генератора и описаны его устройство и принцип действия;
- разработаны методики определения параметров ГКЧ;
- проведены экспериментальные исследования ГКЧ с использованием разработанных методик;
- разработаны блок управления и диагностики состояния ГКЧ и его программное обеспечение.

Научная новизна работы определяется следующими результатами:

- разработаны и обоснованы методики поверки и калибровки ГКЧ СВЧ диапазона;
- предложены алгоритмы обработки результатов экспериментальных исследований ГКЧ при их поверке и калибровке и оценке неопределенности измерений;
- предложена структурная схема блока управления и диагностики состояния ГКЧ.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные методики поверки и калибровки являются основой для написания методик поверки и калибровки ГКЧ СВЧ диапазона конкретных типов и исследования их метрологических характеристик. Спроектированный блок управления и

диагностики ГКЧ может использоваться при изготовлении ГКЧ для различных участков диапазона СВЧ.

Результаты работы апробированы на 10-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» - БНТУ (Минск, 26-28 апреля 2017 г.), 53-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов - БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2017 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

Все основные результаты работы получены самостоятельно и внедрены в Центре 1.9 НИЧ БГУИР.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** приводятся результаты анализа источников ЭМИ, методы и средства экранирования ЭМИ, а так же методы и средства измерений параметров и характеристик экранов. Для защиты от электромагнитных помех СВЧ диапазона используются различные экраны с использованием различных технологий и материалов. Электромагнитные экраны являются средством ослабления взаимного влияния одних частей устройства на другие; средством защиты различных аппаратов и приборов в целом от воздействия ЭМП, создаваемых посторонними устройствами; средством подавления промышленных помех у источников их возникновения; средством защиты обслуживающего персонала от ЭМИ, создаваемых мощными генераторами.

Для исследования параметров и характеристик таких экранов в диапазоне СВЧ используются различные средства измерения этого диапазона:

- генераторы качающейся частоты;
- скалярные анализаторы цепей;
- векторные анализаторы цепей;
- измерительные антенны;
- ваттметры.

Во **второй главе** описываются устройство и принцип действия генератора качающейся частоты Г4-МВМ-118. Генератор предназначен для генерирования колебаний сигналов сверхвысоких частот СВЧ в режимах непрерывной генерации на одной частоте и перестройки частоты в диапазоне частот от 78,33 до 118,10 ГГц.

ГКЧ содержит в своем составе функциональные узлы и блоки с помощью которых формируется выходной СВЧ сигнал: опорный генератор, синтезатор частоты, два умножителя частоты, модулятор, модуль автоматической регулировки мощности, блок управления, цифровой индикатор, клавиатуру и блок питания. Устройство и принцип работы генератора качающейся частоты Г4-МВМ-118 подробно изложены во второй главе диссертационной работы. Обобщенная структурная схема ГКЧ Г4-МВМ-118 представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ГКЧ Г4-МВМ-118

Выходной сигнал задающего кварцевого генератора с частотой 100 МГц поступает на синтезатор. Синтезатор формирует сетку высокостабильных значений частот в диапазоне от 13 до 20 ГГц. С помощью двух умножителей частоты обеспечивается рабочий диапазон частот генератора. Модулятор обеспечивает режим амплитудно-импульсной модуляции.

Основные метрологические характеристики генератора: погрешность установки частоты – не более  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ , нестабильность частоты – не более  $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ , выходная мощность – 10 мВт, КСВН выхода – не более 1,5.

В **третьей главе** приводятся разработанные методики поверки и калибровки ГКЧ Г4-МВМ-118. В этих методиках установлены операции и средства поверки и калибровки ГКЧ Г4-МВМ-118, описаны процедуры определения основной погрешности установки частоты и кратковременной нестабильности частоты в режиме непрерывной генерации, определения основной погрешности установки уровня выходной мощности, определения КСВН выхода генератора, определения отклонения установки опорного уровня выходного сигнала, представлены алгоритмы обработки результатов измерений.

Для оценки неопределенности измерения отклонения установки частоты сигнала на выходе генератора выбрана следующая модель:

$$\Delta_f = f_r - f_s - \Delta_s + \Delta_d, \text{ Гц}, \quad (1)$$

где  $f_r$  – показание калибруемого генератора, Гц;

$f_s$  – показание эталонного частотомера, Гц;

$\Delta_s$  – поправка на погрешность эталонного частотомера, Гц;

$\Delta_d$  – поправка на погрешность, вносимую дискретностью установки частоты калибруемого генератора, Гц;

Для оценки неопределенности измерения КСВН выхода генератора выбрана следующая модель:

$$K_{CTU} = K_{CTU_s} + \Delta_s, \text{ отн. ед.}, \quad (2)$$

где  $K_{CTU_s}$  – показание измерителя КСВН панорамного, отн. ед.;

$\Delta_s$  – поправка на погрешность измерителя КСВН панорамного, отн. ед.

Для оценки неопределенности измерения отклонения установки опорного уровня выходного сигнала выбрана следующая модель:

$$\Delta_P = P_r - P_s - \Delta_s + \Delta_p + \Delta_d, \text{ мВт}, \quad (3)$$

где  $P_r$  – установленное значение мощности калибруемого генератора, мВт;

$P_s$  – измеренное значение мощности эталонным измерителем мощности, мВт;

$\Delta_s$  – поправка на погрешность эталонного измерителя мощности, мВт;

$\Delta_p$  – поправка на погрешность рассогласования тракта, мВт;

$\Delta_d$  – поправка на погрешность, вносимую дискретностью установки уровня мощности калибруемого генератора, мВт;

Для оценки неопределенности измерения отклонения установки ослабления аттенюатора выбрана следующая модель:

$$\Delta_A = A_T - A_э - \Delta_э + \Delta_p + \Delta_d + \Delta_n, \text{ дБ} \quad (4)$$

где  $A_T$  – установленное ослабление на выходе калибруемого генератора, дБ;

$A_э$  – измеренное с помощью эталонного СИ (панорамного измерителя КСВН и ослаблений или установки для поверки аттенюаторов) ослабление, дБ;

$\Delta_э$  – поправка на погрешность эталонного СИ (панорамного измерителя КСВН и ослаблений или установки для поверки аттенюаторов), дБ;

$\Delta_n$  – поправка на нестабильность уровня генератора, дБ;

$\Delta_p$  – поправка на погрешность рассогласования тракта, дБ;

$\Delta_d$  – поправка на погрешность дискретности считывания установленного на калибруемом генераторе ослабления, дБ;

Для этих параметров составлены бюджеты неопределенности и приведены выражения стандартной и расширенной неопределенности измерения калибруемых параметров.

В **четвертой главе** определены требования к разрабатываемому блоку управления и диагностики состояния ГКЧ, описаны результаты разработки структурной и электрической принципиальной схем данного блока, а так же программного обеспечения.

Структурная схема блока управления и диагностики состояния ГКЧ представлена на рисунке 2.

Разъем синхронизации предназначен для обмена синхросигналом с внешними модулями, входящими в состав ГКЧ Г4-МВМ-118. Разъемы USB и Ethernet предназначены для подключения внешних устройств к блоку управления и диагностики состояния ГКЧ, корректировки его работы, изменения режимов работы отдельных узлов прибора. Блок диагностики предназначен для опроса подключаемых модулей на предмет корректной работы. Блоки управления модуляторами предназначены для передачи управляющих сигналов на модуляторы. Питание блока управления и диагностики состояния поступает из встроенного блока питания через фильтр +5В, +12В, -12В.

Программное обеспечение представляет собой структуру дерева, разбитого на следующие блоки:

- блок управления от внешних интерфейсов;
- блок управления: интерфейс пользователя;
- блок перестройки частоты;
- блок управления (основной).



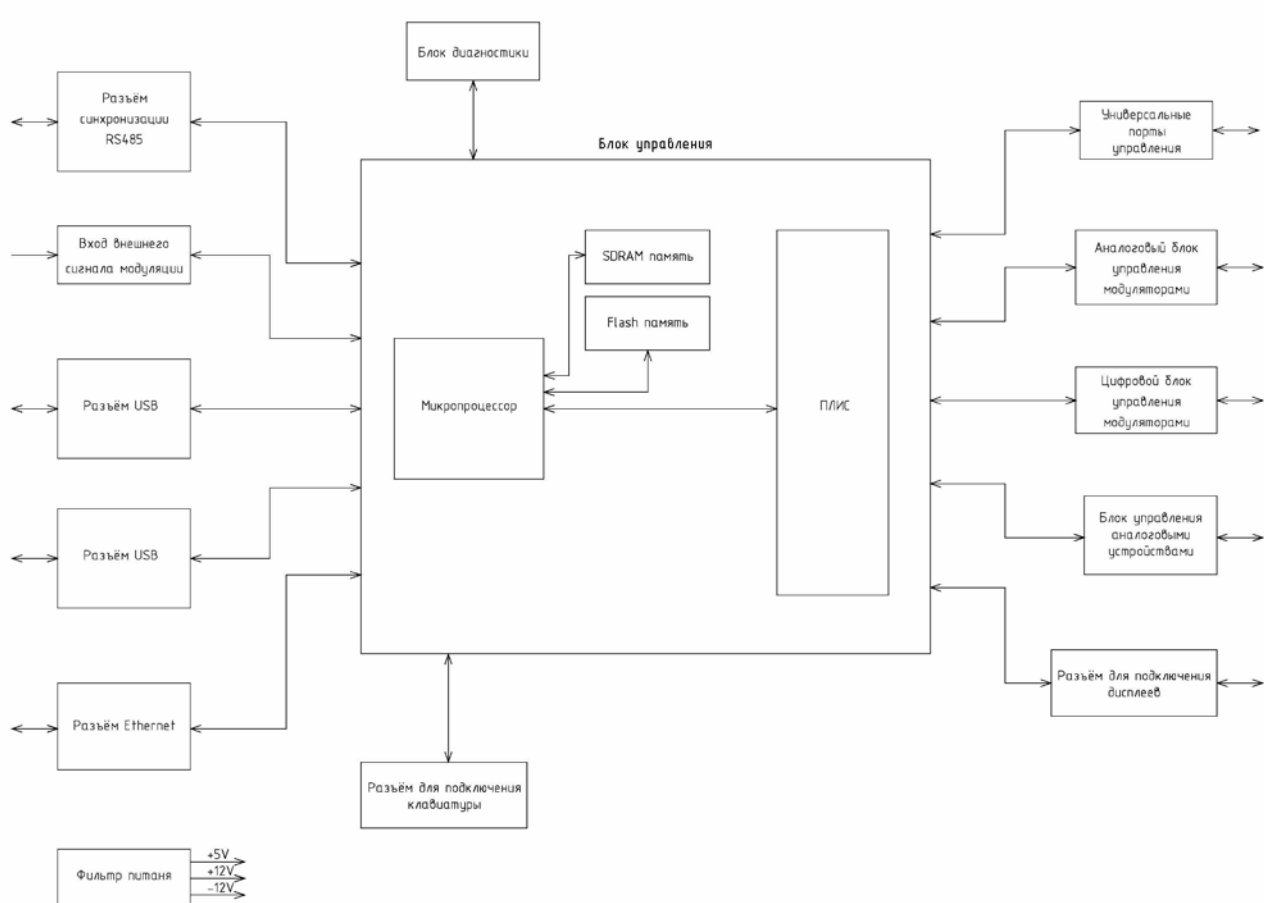


Рисунок 2 – Структурная схема блока управления и диагностики состояния ГКЧ

Для написания программного обеспечения использовались языки программирования C++ и SystemVerilog.

Внешний вид блока управления и диагностики состояния ГКЧ представлен на рисунке 3.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик генератора Г4-МВМ-118 с использованием разработанных методик поверки и калибровки.

Полученные результаты параметров генератора имеют следующие значения:

- основная погрешность установки частоты в рабочем диапазоне не более 0,5 кГц;
- кратковременная нестабильность частоты в режиме непрерывной генерации  $1,2 \cdot 10^{-9}$ ;
- основная погрешность установки уровня выходной мощности не более 0,74 дБм;
- КСВН выхода генератора не более 1,46.

По полученным результатам можно сделать вывод, что все измеренные значения лежат в пределах допускаемых предельных значений.

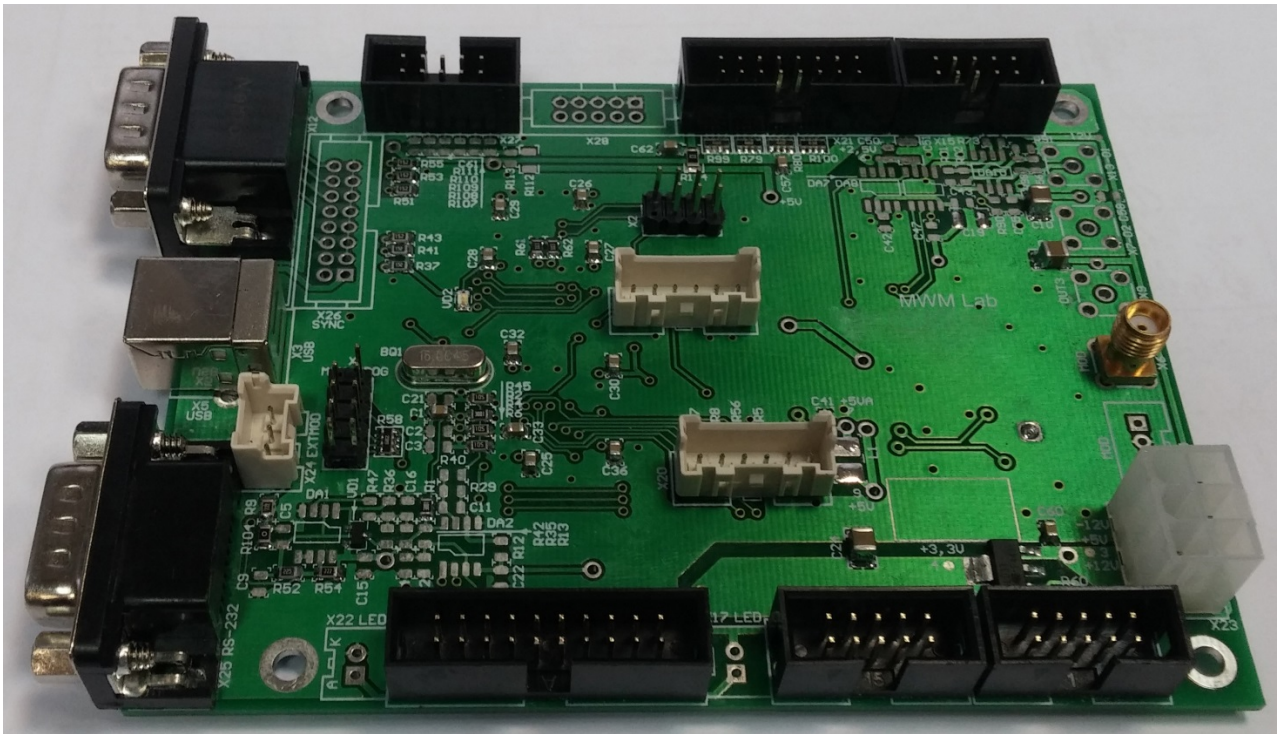


Рисунок 3 – Внешний вид блока управления и диагностики состояния ГКЧ

На основании полученных результатов сделан вывод, что генератор Г4-МВМ-118 соответствует заявленным характеристикам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе проведен анализ источников ЭМИ, рассмотрены методы и средства экранирования ЭМИ, а так же методы и средства измерений параметров и характеристик экранов.

Описаны устройство и принцип действия ГКЧ Г4-МВМ-118. Разработаны методики поверки и калибровки этого генератора. В этих методиках установлены операции, средства поверки и калибровки ГКЧ, описаны процедуры определения основной погрешности установки частоты и кратковременной нестабильности частоты в режиме непрерывной генерации, определения основной погрешности установки уровня выходной мощности, определения КСВН выхода генератора, определения отклонения установки опорного уровня выходного сигнала, представлены алгоритмы обработки результатов измерений. С использованием разработанных методик были проведены экспериментальные исследования параметров и характеристик генератора. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что генератор Г4-МВМ-118 соответствует заявленным характеристикам.

Разработана структурная, электрическая принципиальная схема блока управления и диагностики состояния ГКЧ Г4-МВМ-118 и его программное обеспечение.

Программное обеспечение позволяет реализовать управление генератором в соответствии с теми функциями, которые были заложены на этапе создания прибора. Программное обеспечение создано на базе языков программирования C++ и SystemVerilog. Проведены работы по разработке конструкции и изготовлению данного блока.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные методики поверки и калибровки являются основой для написания методик поверки и калибровки ГКЧ СВЧ диапазона конкретных типов и исследования их метрологических характеристик. Спроектированный блок управления и диагностики ГКЧ может использоваться при изготовлении ГКЧ для различных участков диапазона СВЧ.

Результаты работы апробированы на 10-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» - БНТУ (Минск, 26-28 апреля 2017 г.), 53-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов - БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2017 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

Все основные результаты работы внедрены в Центре 1.9 НИЧ БГУИР

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 Пастор, А.В., Белошицкий А.П., Ворошень А.В. Генератор качающейся частоты миллиметрового диапазона: материалы 10-й Международной научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения» - БНТУ - Минск, 2017 – Том 2 – С.80-81.

2 Пастор, А.В. Генератор качающейся частоты миллиметрового диапазона: материалы 53-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов - БГУИР – Минск, 2017 – С.100-101.