

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров  
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»

Кафедра «Метрология и энергетика»

## **ПОВЕРКА СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Учебно-методическое пособие для руководителей и специалистов  
метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов  
повышения квалификации и студентов технических ВУЗов

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

*Электронный учебный материал*

**Минск 2016**

УДК 006.91:519.2(035)

ББК 30.10

Р44

### **Авторы**

**О.П. Реут, В.Л. Гуревич, Н.А Герасимова, А.А. Новиков**

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

### **Рецензенты**

Д.В. Василевский, заместитель начальника Испытательного центра БелГИСС

В учебно-методическом пособии подробно рассмотрены вопросы проведения поверки приборов общего применения, получивших наиболее широкое распространение в радиоэлектронных измерениях: генераторов измерительных низкочастотных, высокочастотных и СВЧ диапазона, частотомеров электронно-счетных, вольтметров электронных аналоговых переменного тока и осциллографов универсальных. Данное учебно-методическое пособие представляет интерес для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации, а так же студентов технических ВУЗов.

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37  
E-mail: kme-ipk@mail.ru  
<http://www.bntu.by/>  
Регистрационный № БНТУ/ИПКиПК-62.2016

© БНТУ, 2016  
© Реут О.П., Гуревич В.Л. 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Поверка генераторов сигналов низкочастотных измерительных.....	6
2.1. Общие СВЕДЕНИЯ.....	6
2.2. Источники погрешности установки частоты, уровня выходного сигнала, формы выходного сигнала.....	7
2.3. Основные метрологические характеристики генераторов сигналов низкочастотных.....	8
2.4. Проведение поверки генераторов сигналов низкочастотных.....	8
2.5. Оформление результатов поверки.....	9
Список использованных источников.....	10
Глава 2. Поверка генераторов сигналов высокочастотных измерительных.....	11
3.1 Общие сведения.....	11
3.2 Источники погрешности установки частоты, уровня выходного сигнала, формирования коэффициента амплитудной модуляции.....	12
3.3 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов высокочастотных радиовещательного диапазона.....	13
3.4 Проведение поверки генераторов сигналов высокочастотных радиовещательного диапазона.....	13
3.5 Оформление результатов поверки.....	14
Список использованных источников.....	15
Глава 3. Поверка генераторов сигналов измерительных СВЧ диапазона.....	16
4.1 Общие сведения.....	16
4.2 Источники погрешности установки частоты, мощности, длительности радиоимпульса, девиации частоты, амплитудной модуляции... ..	16
4.3 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов метрового диапазона волн и СВЧ диапазона.....	17
4.4 Проведение поверки генераторов сигналов метрового диапазона волн и СВЧ диапазона.....	18
4.5 Оформление результатов поверки.....	20
Список использованных источников.....	20
Глава 4. Поверка частотомеров электронно-счетных.....	21
5.1 Общие сведения.....	21
5.2 Источники погрешности измерения частоты и периода с помощью частотомера электронно-счетного.....	22
5.3 Основные метрологические характеристики частотомера электронно-счетного.....	24
5.4 Проведение поверки частотомеров электронно-счетных.....	24
5.5 Оформление результатов поверки.....	25
Список использованных источников.....	26
Глава 5. Поверка вольтметров электронных аналоговых переменного тока.....	27
5.1 Общие сведения.....	27

5.2	Источники погрешности при измерении напряжений переменного тока.....	28
5.3	Основные метрологические характеристики.....	29
5.4	Проведение поверки.....	29
5.5	Оформление результатов поверки.....	30
	Список использованных источников.....	30
Глава 6.	Поверка универсальных осциллографов.....	31
6.1	Общие сведения.....	31
6.2	Источники погрешности измерения амплитудных и временных параметров	32
6.3	Основные метрологические характеристики осциллографа электронно-лучевого универсального.....	33
6.4	Проведение поверки универсальных осциллографов.....	34
6.5	Оформление результатов поверки.....	35
	Список использованных источников.....	35

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие науки и техники немыслимо без измерений. В результате научно-технического прогресса происходит усложнение современных средств измерений, что приводит к увеличению требований к качеству их функционирования и к точности измерений различных физических величин.

Измерение, как операция, устанавливает количественное соотношение между измеряемой величиной и заранее выбранной единицей измерений и сопровождается любой контроль производственных процессов, определяет степень работоспособности машин, установок и радиоэлектронных приборов.

Современному средству измерений для поддержания работоспособности, а так же для сохранения точности измерений, производимых с его помощью, требуется своевременная поверка метрологических характеристик, которая обеспечивает единство и правильность измерений и осуществляет связь средств измерений с эталонами физических величин.

В ниже изложенном методическом пособии подробно рассмотрены вопросы проведения поверки приборов общего применения, получивших наиболее широкое распространение в радиоэлектронных измерениях: генераторов измерительных низкочастотных, высокочастотных и СВЧ диапазона, частотомеров электронно-счетных, вольтметров электронных аналоговых переменного тока и осциллографов универсальных.

Все эталонные средства измерений, используемые при поверке приборов, должны обеспечивать прослеживаемость измерений к единицам Международной системы SI, которые воспроизводятся национальными эталонами: Национальным эталоном единицы напряжения переменного тока в диапазоне частот от 10 Гц до 2 ГГц (НЭ РБ 5-01), Национальным эталоном единицы напряжения - вольта (НЭ РБ 10-02) и Национальным эталоном единиц: времени-секунды, частоты-герца и шкалы времени (НЭ РБ 1-95).

# ГЛАВА 1. ПОВЕРКА ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ

## 2.1. Общие сведения

К низкочастотным генераторам относят генераторы, большая часть диапазона частот которых лежит в пределах от 20 Гц до 300 кГц. К ним могут относиться и генераторы с более широким диапазоном частот: от долей герца до десятков мегагерц.

Генераторы низкочастотные используют в приборостроении для испытаний и настройки усилителей и других низкочастотных узлов радиоэлектронной аппаратуры, ими осуществляют модуляцию сигналов высокочастотных генераторов, градуировку вольтметров, используют для исследований амплитудно-частотных характеристик различных устройств.

Генераторы низкочастотные во всем диапазоне генерируемых частот обеспечивают формирование сигнала синусоидальной формы, стабильного по частоте и выходному напряжению. У многих генераторов дополнительно может присутствовать сигнал прямоугольной формы типа меандр.

Задающий генератор является основным элементом любого измерительного генератора. Он определяет диапазон генерируемых частот, точность установки частоты по шкале генератора, стабильность частоты и выходного напряжения, неравномерность амплитудно-частотной характеристики, наличие гармонических составляющих в выходном сигнале.

В зависимости от схем задающего генератора различают несколько типов низкочастотных генераторов: генераторы RC–типа, LC–типа, генераторы на биениях, генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты и цифро-аналоговые генераторы.

LC– задающий генератор представляет собой усилительную схему с самовозбуждением, содержащую колебательный LC–контур. При формировании низких частот требуются большие значения индуктивности L и емкости C, что, в свою очередь, ухудшает метрологические характеристики генератора. Широкого распространения генераторы LC–типа не получили.

В генераторах на биениях выходной сигнал формируется за счет смещения двух высокочастотных сигналов близких по частоте и последующего выделения смесителем сигнала разностной частоты – напряжения биения.

В генераторах с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты для повышения стабильности частоты используют кварцевые резонаторы. Точность установки частоты на выходе таких генераторов определяет точность частоты опорного кварцевого генератора. Выходной сигнал формируется в результате преобразования частоты опорного высокостабильного генератора (с кварцевой стабилизацией частоты). Такие генераторы отличаются большим диапазоном частот выходного сигнала от 50 Гц до 50 МГц с дискретностью установки частоты до 0,01 Гц, нестабильность частоты может составлять  $10^{-8}$  за сутки.

В задающих генераторах цифро-аналоговых генераторов выходной сигнал

формируется путем кусочно-ступенчатой аппроксимации синусоидального сигнала. С использованием данного метода строятся схемы генераторов низких и инфранизких частот, а также генераторов с фиксированным значением частоты выходного сигнала. Генераторы этого типа обладают лучшими метрологическими характеристиками в сравнении с другими низкочастотными генераторами, они удобнее в эксплуатации, имеют более наглядную индикацию, позволяют проводить автоматическую перестройку частоты по заданной программе.

Наибольшее распространение получили генераторы RC–типа благодаря простоте схемы исполнения и стабильным метрологическим характеристикам. На выходе такого низкочастотного генератора формируется частота, определяемая формулой [1], [2],

$$F = \frac{1}{2\pi RC}$$

Для получения колебаний на выходе задающего генератора требуется выполнение двух условий:

- баланс фаз, когда необходимо, чтобы напряжение с выхода усилителя поступало на его вход в одной и той же фазе, т.е. должна обеспечиваться положительная обратная связь;

- баланс амплитуд, когда усиление усилителя должно быть достаточным для компенсации потерь в цепи положительной обратной связи.

Кроме задающего генератора в схеме низкочастотного генератора RC–типа предусмотрено наличие [3]:

- выходного усилителя для регулировки опорного уровня напряжения;
- встроенного электронного вольтметра для контроля напряжения на входе аттенюатора;

- аттенюаторов для ступенчатой и плавной регулировок выходного напряжения;

- согласующего трансформатора для согласования выходного сопротивления измерительного генератора с сопротивлением нагрузки.

Кроме этих типовых элементов структурной схемы некоторые генераторы могут иметь модулятор, обеспечивающий модуляцию сигнала, генерируемого задающим генератором и электронно-счетный частотомер, который позволяет контролировать установку частоты на выходе генератора.

## **2.2. Источники погрешности установки частоты, уровня выходного сигнала, формы выходного сигнала**

Источниками погрешности установки частоты по шкале генератора являются следующие составляющие [4]:

- погрешность, определяемая отклонением генерируемой частоты конкретного задающего генератора от установленного по отсчетному устройству генератора;

- погрешность, определяемая погрешностью эталонной меры, по которой осуществляли градуировку шкалы генератора;

- погрешность отсчета показаний по шкале генератора, которая зависит от опыта поверителя;

- погрешность из-за временной нестабильности частоты.

Источниками погрешности установки уровня выходного сигнала являются:

- погрешность установки опорного уровня выходного сигнала из-за погрешности градуировочной характеристики генератора, частотной неравномерности опорного уровня, погрешности отсчета показаний по шкале встроенного вольтметра и временной нестабильности опорного уровня сигнала;

- погрешность установки ослабления аттенюатора из-за погрешности градуировки аттенюатора и частотной погрешности аттенюатора.

Источниками погрешности формы выходного сигнала являются задающий генератор и усилитель, где в процессе формирования появляются искажения формы выходного сигнала.

### **2.3. Основные метрологические характеристики генераторов сигналов низкочастотных**

К основным нормируемым метрологическим характеристикам генераторов сигналов низкочастотных относят [5]:

- диапазон установки частоты выходного сигнала;

- предел допускаемой погрешности установки частоты;

- нестабильность частоты;

- диапазон установки уровня выходного напряжения;

- предел допускаемой погрешности установки уровня выходного напряжения;

- нестабильность уровня выходного напряжения;

- диапазон установки ослабления выходного сигнала;

- предел допускаемой погрешности установки ослабления выходного сигнала;

- допускаемое искажение формы сигнала (коэффициент нелинейных искажений/коэффициент гармоник).

### **2.4. Проведение поверки генераторов сигналов низкочастотных**

Поверку генераторов сигналов низкочастотных проводят в соответствии с ГОСТ 8.314 - 78 «Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства измерений», который содержит требования к проведению поверки и устанавливает методику их первичной и периодической поверок [6].

#### **1.4.1 Условия проведения поверки**

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды  $20 \pm 5$  °С;

- относительная влажность воздуха (30-80)%;

- атмосферное давление (84-106) кПа;

- отклонение напряжения питания сети от номинального  $\pm 2\%$  при частоте



сети питания 50 Гц  $\pm$  10%.

1.4.2 Эталонные средства измерений, используемые при поверке:

- компенсационный вольтметр, обеспечивающий измерение напряжения переменного тока в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;
- частотомер электронно-счетный, обеспечивающий измерение частоты (периода) в требуемом диапазоне с заданной точностью;
- измеритель нелинейных искажений, обеспечивающий измерение коэффициента нелинейных искажений с заданной точностью;
- анализатор спектра низкочастотный или селективный вольтметр, обеспечивающий измерение коэффициента гармоник в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;
- делитель напряжения, работающий в необходимом динамическом диапазоне напряжений с заданной точностью деления;
- стандарт частоты;
- частотный компаратор (для поверки генераторов с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты);
- режекторный фильтр.

1.4.3 Операции поверки:

1.4.3.1 Внешний осмотр

1.4.3.2 Опробование

1.4.3.3 Определение метрологических характеристик.

При проведении поверки определяют следующие метрологические характеристики:

- погрешность установки частоты,
- нестабильность частоты генератора,
- погрешность установки выходного напряжения,
- коэффициент деления выходного регулятора (делителя, ослабителя) напряжения,
- коэффициент гармоник выходного напряжения.

## 2.5. Оформление результатов поверки

Результаты поверки оформляют протоколом.

На генераторы, признанные годными по результатам поверки, выдают свидетельство установленной формы.

Генераторы, не удовлетворяющие установленным требованиям, к применению не допускают.

## Список использованных источников

1. Мирский Г.Я., Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский М., «Энергия», 1975.
2. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, «Энергия», Л, Ленинградское отделение, 1975.
3. Брянский Л.Н., Радиоизмерения. Методы, средства, погрешности / Л.Н. Брянский, М.М. Левин, М., «Издательство стандартов» ,1970.
4. Аристов О.В., Поверка средств радиотехнических измерений / О.В. Аристов, Ю.М. Белоусов, Э.Ф. Макаров, В.Р. Федоров, Измерительные генераторы. М., «Издательство стандартов», 1989.
5. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
6. ГОСТ 8.314-78 Государственная система обеспечения единства измерений. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки.

## ГЛАВА 2. ПОВЕРКА ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ

### 3.1 Общие сведения

К высокочастотным генераторам относят генераторы с частотой колебаний от 30 кГц до 300 МГц. В этот диапазон входят генераторы радиовещательного диапазона с частотой от 100 кГц до 30 МГц и генераторы метровых волн от 30 до 300 МГц.

Применяют высокочастотные генераторы при испытаниях и настройке радиоаппаратуры, измерениях чувствительности и избирательности приемников, исследованиях частотных характеристик фильтров, используют для питания передающих антенн и других мощных устройств и т.д.

Для генераторов высокочастотных характерны стабильность частоты и амплитуды напряжения выходного сигнала, малый коэффициент гармоник, возможность получения модулированных по амплитуде сигналов, регулировка амплитуды и частоты в значительных пределах.

Упрощенная структурная схема высокочастотного генератора представлена на рисунке 1.

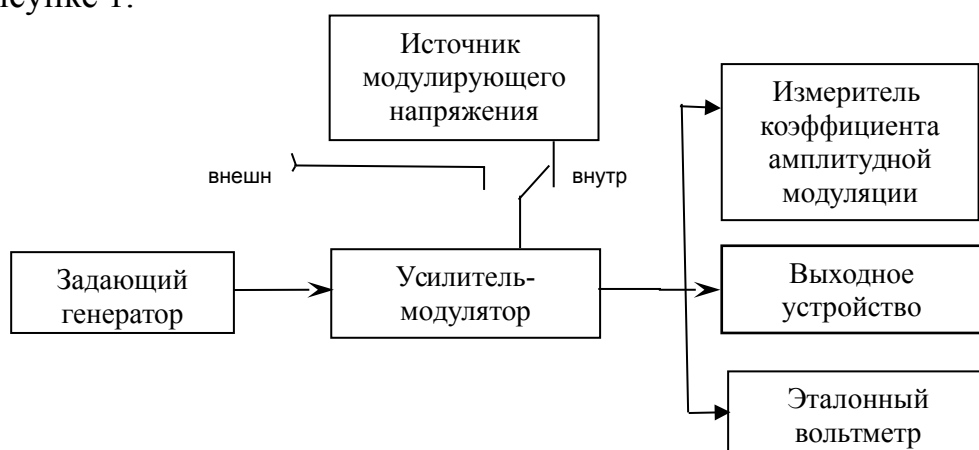


Рисунок 1. Структурная схема высокочастотного генератора

Структурная схема высокочастотного генератора содержит [1], [2]:

- задающий генератор для создания синусоидальных напряжений в заданном диапазоне частот;
- усилитель для изменения амплитуды напряжения задающего генератора и защиты от влияния внешней нагрузки на работу генератора;
- модулятор для внутренней модуляции выходного сигнала, которая обеспечивается с помощью встроенного низкочастотного генератора с частотой 1 кГц. Возможно также наличие режима внешней амплитудной модуляции за счет подачи внешнего модулирующего напряжения на соответствующий вход;
- выходное устройство для плавной регулировки уровня выходного напряжения;
- контрольные приборы для установки выходного напряжения и коэффициента амплитудной модуляции.

Большинство высокочастотных генераторов радиовещательного диапазона в качестве частото задающего элемента задающего генератора имеют  $LC$ -контур. Он определяет диапазон частот, погрешность установки частоты, ее стабильность и паразитную девиацию. На выходе такого генератора формируется частота, определяемая формулой:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

У современных генераторов высокочастотных возможны и другие схемные решения задающего генератора, например, использование делителей частоты, где применяется принцип деления частоты верхнего поддиапазона задающего генератора. Верхний поддиапазон имеет фазовую автоподстройку частоты по кварцевому генератору. Это позволяет увеличить точность установки частоты, ее стабильность. Такие генераторы имеют цифровую индикацию всех устанавливаемых параметров.

Для генераторов метровых волн характерно наличие нескольких видов модуляции, поэтому, в структурную схему могут добавляться модуляторы для обеспечения амплитудной, частотной и импульсной модуляций и соответствующие им отсчетные устройства.

### **3.2 Источники погрешности установки частоты, уровня выходного сигнала, формирования коэффициента амплитудной модуляции**

Источниками погрешности установки частоты по шкале высокочастотного генератора являются [3]:

- погрешность из-за неточности градуировки шкалы и отсчета по шкале частот;

- погрешность из-за временной и температурной нестабильности частоты.

Источниками погрешности установки выходного напряжения генератора являются:

- погрешность установки опорного уровня выходного напряжения из-за несовершенства калибровки шкалы и неравномерности опорного уровня во всем частотном диапазоне;

- погрешность из-за временной и температурной нестабильности выходного напряжения;

- погрешность установки ослабления аттенюатора;

- погрешность из-за неполного согласования сопротивлений нагрузки и генератора.

Источниками погрешности формирования коэффициента амплитудной модуляции являются:

- погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции на модулирующей частоте 1 кГц;

- погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции в диапазоне модулирующих частот;

- наличие гармоник огибающей амплитудно-модулированного сигнала.

### **3.3 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов высокочастотных радиовещательного диапазона**

Основными нормируемыми метрологическими характеристиками генераторов сигналов высокочастотных радиовещательного диапазона являются [4]:

- диапазон частот генератора;
- предел допускаемой основной погрешности установки частоты;
- кратковременная нестабильность частоты сигнала генератора;
- погрешность встроенного в генератор вольтметра;
- предел допускаемой основной погрешности установки опорного значения выходного напряжения;
- предел допускаемой основной погрешности ослабления аттенюатора;
- нестабильность выходного напряжения;
- предел допускаемой основной погрешности установки коэффициента модуляции;
- предел допускаемой погрешности частоты внутреннего модулирующего источника;
- коэффициент второй и третьей гармоник выходного сигнала основной частоты в режиме непрерывной генерации.

Основные нормируемые метрологические характеристики генераторов диапазона метровых волн (в полном объеме) такие же, как у генераторов СВЧ диапазона и поэтому, более подробно будут рассмотрены ниже в перечне основных метрологических характеристиках генераторов СВЧ диапазона.

### **3.4 Проведение поверки генераторов сигналов высокочастотных радиовещательного диапазона**

Поверку генераторов высокочастотных радиовещательного диапазона на частотах (0,1 – 35) МГц проводят в соответствии с ГОСТ 16863-71 «Генераторы измерительные диапазона частот (0,1 – 35) МГц. Методы и средства поверки», который содержит требования к проведению поверки и устанавливает методику их первичной и периодической поверок [5].

Поверку генераторов сигналов высокочастотных диапазона метровых волн осуществляют по ГОСТ 8.322-78, поэтому, операции их поверки приведены в соответствующей главе по поверке генераторов СВЧ диапазона.

#### **2.4.1 Условия проведения поверки**

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды ( $20 \pm 5$ )°С;
- относительная влажность воздуха ( $60 \pm 15$ )%;
- атмосферное давление (84-106) кПа.

#### **2.4.2 Эталонные средства измерений, используемые при поверке:**

- вольтметры, обеспечивающие измерение напряжения переменного тока в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;
- частотомер электронно-счетный, обеспечивающий измерение частоты в

требуемом диапазоне с заданной точностью;

- селективный вольтметр, обеспечивающий измерение коэффициента гармоник в требуемом диапазоне частот;

- установка для поверки аттенуаторов в соответствующем динамическом диапазоне ослаблений с заданной точностью;

- измеритель модуляции, работающий в режимах измерения коэффициента амплитудной модуляции, девиации частоты, обеспечивающий измерение параметров модулированных сигналов в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;

- анализатор спектра высокочастотный, работающий в необходимом диапазоне частот, обеспечивающий измерение спектральных составляющих выходного сигнала с заданной точностью;

- генератор сигналов высокой частоты (в качестве внешнего гетеродина), обеспечивающего поверку встроенного аттенуатора генератора в требуемом диапазоне частот;

- детекторная головка;

- измеритель нестабильности напряжения постоянного тока.

#### 2.4.3 Операции поверки

##### 2.4.3.1 Внешний осмотр

##### 2.4.3.2 Опробование

##### 2.4.3.3 Определение метрологических характеристик.

При проведении поверки определяют следующие метрологические характеристики:

- погрешность установки частоты,
- кратковременную нестабильность частоты выходного сигнала,
- основную погрешность вольтметра,
- основную погрешность установки опорного уровня выходного напряжения,
- основную погрешность установки ослабления аттенуатора,
- нестабильность выходного напряжения,
- погрешность частоты внутреннего модулятора,
- пределы регулировки и основную погрешность установки,
- коэффициенты второй  $K_2$  и третьей  $K_3$  гармоник выходного сигнала

### 3.5 Оформление результатов поверки

Результаты поверки оформляют протоколом.

На генераторы, признанные годными по результатам поверки, выдают свидетельство установленной формы.

Генераторы, не удовлетворяющие установленным требованиям, к применению не допускают.

## Список использованных источников

1. Мирский Г.Я., Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский М., «Энергия», 1975.
2. Брянский Л.Н., Радиоизмерения. Методы, средства, погрешности / Л.Н. Брянский, М.М. Левин, М., «Издательство стандартов» ,1970.
3. Аристов О.В., Поверка средств радиотехнических измерений / О.В. Аристов, Ю.М. Белоусов, Э.Ф. Макаров, В.Р. Федоров, Измерительные генераторы. М., «Издательство стандартов», 1989.
4. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
5. ГОСТ 16863-71 Государственная система обеспечения единства измерений. Генераторы измерительные диапазона частот 0,1-35 МГц. Методы и средства поверки.

## **ГЛАВА 3. ПОВЕРКА ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СВЧ ДИАПАЗОНА**

### **4.1 Общие сведения**

К генераторам СВЧ диапазона относят генераторы с частотой колебаний от 300 МГц до 40 ГГц. Генераторы СВЧ применяют для настройки радиоприемных устройств, радиолокационных и радионавигационных станций, систем космической связи и спутникового вещания, измерения параметров антенн, ретрансляторов, радиорелейных линий и т.д.

Структурная схема генераторов СВЧ имеет меньшее количество структурных элементов, чем генераторы высокочастотные радиовещательного и метрового диапазонов волн. В схему генератора входят задающий генератор, модулятор, измеритель мощности, частотомер и аттенюатор.

В зависимости от диапазона частот в качестве активного элемента схемы задающего генератора используют СВЧ – транзисторы, отражательные клистроны с внешним или внутренним объемным резонатором. В более коротковолновой части спектра находят применение диоды, имеющие участок вольт-амперной характеристики с отрицательным сопротивлением (туннельные диоды, лавинно-пролетные диоды, диоды Ганна).

Для генераторов СВЧ диапазона характерна высокая температурная и временная нестабильность, что может ухудшать их метрологические характеристики [1], [2], [3].

Генераторы СВЧ обеспечивают работу с различными видами модуляции: амплитудной, амплитудно-импульсной, фазовой и частотной. Модуляция может осуществляться как от внутреннего источника модулирующего напряжения, так и от внешнего генератора.

В современных генераторах СВЧ диапазона в основе построения стали использовать методы диапазонно-кварцевой стабилизации и синтеза частот. Генераторы имеют цифровой отсчет устанавливаемых параметров, высокую точность и большую степень автоматизации измерений.

Генераторы СВЧ должны отвечать повышенным требованиям по экранированию СВЧ излучения.

### **4.2 Источники погрешности установки частоты, мощности, длительности радиоимпульса, девиации частоты, амплитудной модуляции**

Источниками погрешности установки частоты на выходе генератора являются [4]:

- погрешность установки частоты при непрерывном или модулированном сигнале;
- погрешность, определяемая изменением частоты и вызванная регулировкой мощности выходного сигнала;
- погрешность отсчета показаний по шкале генератора;
- погрешность из-за временной и температурной нестабильности частоты.



Источниками погрешности установки мощности на выходе генератора являются:

- погрешность из-за временной и температурной нестабильности опорного уровня сигнала;
- погрешность установки ослабления аттенюатора для всех участков ослабления;
- погрешность из-за рассогласования выходного тракта генератора и нагрузки.

Источниками погрешности воспроизведения длительности радиоимпульса являются:

- погрешность установки длительности импульса;
- погрешности из-за нестабильности длительности импульса;
- погрешности из-за нестабильности опорного уровня мощности выходного сигнала;
- погрешность из-за временной и температурной нестабильности установки длительности импульса.

Источниками погрешности воспроизведения девиации частоты являются:

- погрешность установки девиации частоты;
- погрешности из-за нестабильности девиации частоты;
- погрешность из-за временной и температурной нестабильности установки девиации частоты.

Источниками погрешности воспроизведения коэффициента амплитудной модуляции являются:

- погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции по отсчетному устройству;
- погрешность из-за нестабильности коэффициента амплитудной модуляции;
- погрешность из-за временной и температурной нестабильности установки коэффициента амплитудной модуляции.

#### **4.3 Основные метрологические характеристики генераторов сигналов метрового диапазона волн и СВЧ диапазона**

К основным нормируемым метрологическим характеристикам генераторов относят [5]:

- диапазон частот;
- погрешность установки частоты сигнала;
- нестабильность частоты сигнала;
- погрешность установки опорного уровня сигнала;
- погрешность установки ослабления на калиброванном выходе генератора;
- нестабильность опорного уровня выходной мощности;
- погрешность установки длительности выходного импульса;
- КСВН выхода генератора;
- погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции;

- погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции в диапазоне модулирующих частот;
- коэффициент гармоник формы огибающей амплитудно-модулированного выходного сигнала;
- паразитная девиация частоты амплитудно-модулированного сигнала;
- погрешность установки девиации частоты;
- погрешность установки девиации частоты в диапазоне модулирующих частот;
- коэффициент гармоник формы огибающей частотно - модулированного выходного сигнала;
- коэффициент паразитной амплитудной модуляции частотно-модулированного сигнала;
- погрешность модулирующей частоты в режиме внутренней модуляции.

#### **4.4 Проведение поверки генераторов сигналов метрового диапазона волн и СВЧ диапазона**

Поверку генераторов метрового диапазона волн и СВЧ диапазона проводят в соответствии с ГОСТ 8.322 - 78 «Генераторы сигналов измерительные. Методы и средства поверки в диапазоне частот (0,03-17,44) ГГц» [6], который содержит требования к проведению поверки и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

##### **3.4.1 Условия проведения поверки**

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха  $(60 \pm 15)\%$ ;
- атмосферное давление  $(84-106)$  кПа;

##### **3.4.2 Эталонные средства измерений, используемые при поверке:**

- вольтметры, обеспечивающие измерение напряжения переменного тока в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;
- частотомер электронно-счетный, обеспечивающий измерение частоты в требуемом диапазоне с заданной точностью;
- измеритель мощности, обеспечивающий измерение мощности в необходимом динамическом диапазоне с заданной точностью;
- селективный вольтметр, обеспечивающий измерение напряжений в необходимом динамическом диапазоне и в требуемом диапазоне частот;
- установка для поверки аттенюаторов в соответствующем динамическом диапазоне ослаблений с заданной точностью;
- измеритель модуляции, обеспечивающий измерение параметров модулированных сигналов с заданной точностью;
- анализатор спектра высокочастотный, который работает в требуемом диапазоне частот и обеспечивает измерение спектральных составляющих выходного сигнала с заданной точностью;
- генераторы сигналов высокой частоты (в качестве внешнего гетеродина),

обеспечивающие поверку встроенного аттенюатора генератора в требуемом диапазоне несущих частот;

- осциллограф универсальный, обеспечивающий измерение частотных и временных параметров в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;

- развязывающие аттенюаторы, обеспечивающие ослабление в требуемом динамическом диапазоне с заданной точностью;

- измеритель КСВН, обеспечивающий измерение КСВН с заданной точностью;

- измеритель нелинейных искажений, обеспечивающий измерение нелинейных искажений с заданной точностью;

- детекторные головки;

- генератор импульсов, обеспечивающий установку выходных импульсов с требуемыми параметрами с заданной точностью;

- генератор сигналов низкой частоты, обеспечивающий поверку генератора в режиме внешней модуляции.

### 3.4.3 Операции поверки:

#### 3.4.3.1 Внешний осмотр и опробование

#### 3.4.3.2 Определение метрологических характеристик.

При проведении поверки определяют следующие метрологические характеристики:

- относительную погрешность установки частоты по шкале генератора,
- нестабильность частоты выходного сигнала,
- максимальный уровень и пределов регулировки,
- погрешность установки опорного уровня сигнала на калиброванном выходе,
- погрешность установки ослабления на калиброванном выходе генератора,
- погрешность установки длительности импульсов,
- коэффициент гармоник,
- погрешность модулирующей частоты,
- основную погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции,
- дополнительную погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции,
- паразитную девиацию частоты,
- коэффициент гармоник, огибающей частотно-модулированного сигнала,
- основную погрешность установки девиации частоты,
- дополнительную погрешность в диапазоне модулирующих частот,
- коэффициент паразитной амплитудной модуляции,
- коэффициент стоячей волны по напряжению выхода генератора.

#### 4.5 Оформление результатов поверки

Результаты поверки оформляют протоколом.

На генераторы, признанные годными по результатам поверки, выдают свидетельство установленной формы.

Генераторы, не удовлетворяющие установленным требованиям, к применению не допускают.

#### Список использованных источников

1. Мирский Г.Я., Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский М., «Энергия», 1975.
2. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, «Энергия», Л, Ленинградское отделение, 1975.
3. Брянский Л.Н., Радиоизмерения. Методы, средства, погрешности / Л.Н. Брянский, М.М. Левин, М., «Издательство стандартов» ,1970.
4. Аристов О.В., Поверка средств радиотехнических измерений / О.В. Аристов, Ю.М. Белоусов, Э.Ф. Макаров, В.Р. Федоров, Измерительные генераторы. М., «Издательство стандартов», 1989.
5. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
6. ГОСТ 8.322-78 Государственная система обеспечения единства измерений. Генераторы сигналов измерительные. Методы и средства поверки в диапазоне частот 0,03-17,44 ГГц.

## ГЛАВА 4. ПОВЕРКА ЧАСТОТОМЕРОВ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНЫХ

### 5.1 Общие сведения

Основным назначением частотомеров электронно-счетных является измерение частоты периодических колебаний и интервалов времени между мгновенными значениями повторяющихся сигналов. Частотомеры могут измерять отношения двух сравниваемых частот, выполнять роль счетчиков импульсов с выдачей сигналов начала и конца счета, применяться в качестве делителей частоты.

Возможности электронно-счетных частотомеров расширяются при работе с дополнительными устройствами: широкополосными усилителями, улучшающими чувствительность прибора; компараторами частоты, увеличивающими их разрешающую способность при сравнении частот и измерении долговременной нестабильности; преобразователями частоты, расширяющими частотный диапазон частотомера и др.

Измерять частоту можно следующими методами:

- непосредственный счет числа периодов за известный отрезок времени – абсолютный метод измерения;
- сравнение измеряемой частоты с эталонной частотой – относительный метод измерения;
- использование устройств, реакция которых зависит от частоты воздействующего на них процесса – косвенный метод измерения;
- комбинированные способы, использующие первые три из перечисленных выше в той или иной комбинации [1].

Структурная схема частотомера электронно-счетного представлена на рисунке 2 и включает в себя:

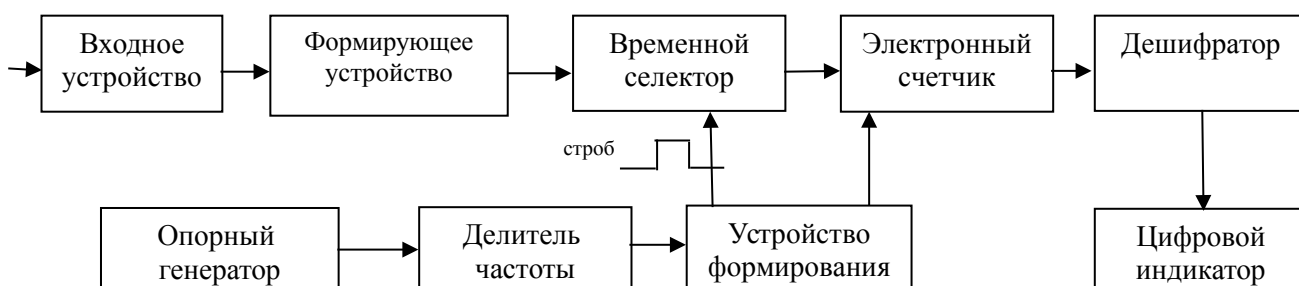


Рисунок 2 Структурная схема электронно-счетного частотомера

- входное устройство;
- формирующее устройство для преобразования синусоидального сигнала в прямоугольные импульсы с крутыми фронтами;
- опорный кварцевый генератор как источник сигнала высокостабильной частоты;
- делители частоты, изменяющие частоту следования импульсов;
- схему формирования временных ворот для выработки

стробоскопического импульса, отпирающий вход счетчика на определенное время;

- электронный счетчик импульсов;
- реле времени индикации и сброса показаний на нуль, который задает определенную продолжительность времени индикации результата измерений;
- цифровой индикатор.

Для измерения частоты с помощью частотомера электронно-счетного используется метод непосредственного подсчета числа импульсов за определенную единицу времени. Этот метод подразумевает наличие опорного кварцевого генератора. Сигнал, частоту которого необходимо измерить, поступает на входное устройство прибора. Формирующее устройство преобразует синусоидальное напряжение измеряемой частоты в последовательность импульсов, частота следования которых равна частоте измеряемого сигнала. Импульсы поступают на вход временного селектора, на другой вход которого поступает стробирующий импульс строго определенной длительности, которая задается делением частоты кварцевого генератора. Таким образом, счетчик подсчитывает число импульсов, прошедших на его вход за время действия калиброванного стробирующего импульса и отображает результат измерения частоты на табло.

Для измерения периода исследуемый сигнал подают на другой вход частотомера, где формирующее устройство преобразует синусоидальное напряжение в последовательность коротких импульсов с периодом следования, равным измеряемому периоду. В узле формирования из них формируется стробирующий импульс с длительностью, которая будет определять значение счетного интервала времени. Путем умножения частоты кварцевого генератора образуется последовательность коротких импульсов с частотой, которую называют частотой заполнения, а соответствующий ей период метками времени. Прошедшее за время счета, равное измеряемому периоду, определенное количество счетных импульсов пересчитывается в значение измеряемого периода и отображается на табло.

## **5.2 Источники погрешности измерения частоты и периода с помощью частотомера электронно-счетного**

Источниками погрешности измерения частоты являются [2]:

- погрешность меры частоты  $\delta_0$ , которая определяется относительной погрешностью частоты кварцевого генератора. Данная погрешность обусловлена погрешностью эталонной меры, по которой устанавливалась частота и нестабильностью частоты генератора в условиях эксплуатации. У современных электронно-счетных частотомеров нестабильность частоты составляет примерно

$10^{-8}$  и менее, поэтому при измерениях ее можно не учитывать;

- погрешность сравнения меры  $\delta_{f_{срав}}$  с измеряемым значением частоты  $f_{изм}$  обусловлена дискретностью счета импульсов на счетном интервале времени  $t_{сч}$

и определяется по формуле [3]:

$$\delta f_{срав} = \pm \frac{1}{f_{изм} \cdot t_{сч}}$$

Погрешность сравнения появляется из-за не синхронизованности фронта и среза временных ворот с моментами появления заполняющих ворота импульсов.

Составляющая погрешности  $\delta f_{срав}$  зависит от измеряемой частоты и времени счета. При измерении низких частот погрешность измерения будет недопустимо велика. Для того чтобы обеспечить приемлемую погрешность измерения низких частот, переходят к измерению периода с последующим пересчетом в частоту.

- погрешность формирования длительности счетного интервала времени определяется погрешностью опорного кварцевого генератора и может быть результатом нестабильности запуска схемы формирования. В частотомерах эту составляющую погрешности удается сделать пренебрежимо малой и ее практически не учитывают;

- погрешность формирования счетных импульсов имеет пренебрежимо малое значение и ее тоже практически не учитывают.

Таким образом, результирующее значение предельной относительной погрешности измерения частоты  $\delta f_{пред}$ , в общем случае, можно представить в виде формулы:

$$\delta f_{пред} = \pm \delta_0 + \frac{1}{f_{изм} \cdot t_{сч}}$$

Источниками погрешности измерения периода являются:

- погрешность меры временного интервала, которая обусловлена относительной погрешностью частоты кварцевого генератора  $\delta_0$ ;

- погрешность сравнения меры с измеряемым значением периода может быть оценена отношением максимальной относительной ошибки единицы счета, равной периоду счетных импульсов заполнения  $\Delta t_{срав} = \pm \frac{1}{f_{запол}}$ , к измеряемому периоду  $T_{изм}$  по формуле:

$$\delta t_{срав} = \frac{1}{T_{изм} \cdot f_{запол}};$$

- погрешность формирования счетных импульсов и счетного интервала времени пренебрежимо мала и может не учитываться. Но она может проявляться при сигнале малой частоты, когда скорость изменения уровня сигнала невелика. В этих случаях, уровень запуска схемы формирования счетного интервала оказывается нестабильным. Может появиться сигнал помехи, действующий совместно с входным сигналом. Это приводит к формированию счетного интервала времени с некоторой ошибкой запуска  $\Delta T_{зан}$ . Тогда относительная погрешность запуска  $\delta T_{зан}$ , а, следовательно, и эта составляющая погрешности измерения периода будет определяться формулой:

$$\delta T_{зан} = \frac{\Delta T_{зан}}{T_{изм}}.$$

Эти составляющие погрешности носят случайный характер и могут быть уменьшены путем сравнения серии из  $N$  полученных измерений периода.

Результирующее значение предельной относительной погрешности измерения периода, в общем случае, можно представить в виде формулы:

$$\delta T_{пред} = \pm \delta_0 + \frac{1}{T_{изм} \cdot f_{запол} \cdot N} + \frac{\delta T_{зан}}{N}.$$

### 5.3 Основные метрологические характеристики частотомера электронно-счетного

Основными нормируемыми метрологическими характеристиками частотомеров электронно-счетных являются [4]:

- диапазон измеряемых частот;
- диапазон измеряемых периодов и временных интервалов;
- диапазон измеряемых отношений частот;
- допускаемые уровни напряжения входного сигнала;
- нестабильность частоты опорного кварцевого генератора;
- погрешность измерения частоты и периода временных интервалов.

### 5.4 Проведение поверки частотомеров электронно-счетных

Поверку частотомеров электронно-счетных проводят в соответствии с СТБ 8038-2014 «Частотомеры электронно-счетные. Методика поверки» [5].

Стандарт содержит требования к проведению поверки электронно-счетных частотомеров прямого счета и вычислительных и устанавливает методику их первичной и периодической поверок и распространяется на частотомеры, выпускаемые как самостоятельные средства измерений, так и на базовые блоки частотомеров, которые конструктивно объединены с устройствами, расширяющими их функциональные возможности. Вставные блоки поверяются совместно с частотомерами по методикам поверки, приведенным в руководстве по эксплуатации (РЭ) на вставные блоки.

#### 4.4.1 Условия проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего среды  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха  $(55 \pm 25)\%$ ,
- напряжение питания  $230 \text{ В} \pm 2\%$  при частоте  $50 \text{ Гц} \pm 10\%$ .

#### 4.4.2 Эталонные средства измерений, используемые при поверке:

- генератор сигналов синусоидальной и импульсной формы, обеспечивающий проверку функциональных возможностей частотомера при всех значениях частоты, периода и интервалов времени. Допускается использование нескольких типов генераторов сигналов, перекрывающих необходимые диапазоны параметров;



- вольтметр (измеритель мощности), обеспечивающий измерение уровня входного сигнала в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;
- эталонный источник частоты, обеспечивающий воспроизведение частоты с требуемой точностью в диапазоне, соответствующем диапазону частот частотомера (допускается в режиме внешнего запуска от опорного генератора);
- стандарт частоты, обеспечивающий воспроизведение частот номиналом 1, 5 или 10 МГц с погрешностью не хуже  $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ ;
- компаратор частотный, обеспечивающий сличение частот 1, 5 или 10 МГц с погрешностью не хуже  $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ .

#### 4.4.3 Операции поверки

##### 4.4.3.1 Внешний осмотр, опробование

##### 4.4.3.2 Проверка электрической прочности изоляции.

##### 4.4.3.3 Проверка функциональных возможностей:

- в режиме измерения частоты,
- в режиме измерения периода,
- в режиме измерения временных интервалов,
- внешнего источника опорной частоты,
- встроенного программного обеспечения.

##### 4.4.3.4 Определение метрологических характеристик.

При проведении поверки определяют метрологические характеристики 2 методами: комплектным или поэлементным.

При поверке комплектным методом определяют следующие метрологические характеристики:

- относительную погрешность измерения частоты,
- относительную погрешность измерения периода.

При поверке поэлементным методом определяют следующие метрологические характеристики:

- относительную погрешность частоты встроенного опорного генератора,
- относительную погрешность измерения частоты и периода, обусловленную дискретностью счета,
- относительную погрешность измерения частоты и периода, обусловленную погрешностью запуска.

## 5.5 Оформление результатов поверки

Результаты поверки оформляют протоколом.

На частотомеры, признанные годными по результатам поверки, выдают свидетельство установленной формы.

Частотомеры, не удовлетворяющие установленным требованиям, к применению не допускают.

### **Список использованных источников**

1. Мирский Г.Я., Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский М., «Энергия», 1975.
2. Брянский Л.Н., Радиоизмерения. Методы, средства, погрешности / Л.Н. Брянский, М.М. Левин, М., «Издательство стандартов» ,1970.
3. Кузнецов В.А., Измерения в электронике: справочник / В.А. Кузнецов, М., Энергоатомиздат, 1987.
4. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
5. СТБ 8038-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Частотомеры электронно-счетные. Методика поверки.

## ГЛАВА 5. ПОВЕРКА ВОЛЬТМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ АНАЛОГОВЫХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### 5.1 Общие сведения

В радиотехнических измерениях применяется большое количество разнообразных электронных вольтметров, которые позволяют измерять напряжение переменного тока в широком диапазоне напряжений и частот.

Электронные вольтметры классифицируются в зависимости от [1]:

- формы измеряемых напряжений (синусоидальная, произвольная периодическая);
- измеряемого параметра (пиковое, среднее, средневыпрямленное, среднеквадратическое значение);
- диапазона измеряемых напряжений (микро-, милливольтметры, вольтметры);
- диапазона частот;
- вида индикатора (стрелочный, цифровой);
- конструктивных особенностей;
- назначения (рабочий, эталонный).

Электронные вольтметры переменного тока представляют собой сочетание входного устройства, электронного преобразователя (детектора) переменного напряжения в постоянное, усилителя и электроизмерительного прибора.

Входное устройство обеспечивает значения входного сопротивления, необходимые для дальнейших преобразований, а также для регулирования пределов измеряемых напряжений с помощью делителей напряжений.

В качестве электронного преобразователя используются полупроводниковые диоды в различных схемных решениях, обеспечивающих высокую точность измерений в широком диапазоне напряжений и частот. Детектор в значительной мере определяет метрологические характеристики вольтметра.

Усилитель предназначен для увеличения мощности входного сигнала до уровня, достаточного для отклонения указателя стрелочного прибора отсчитывающего устройства, тем самым, увеличивая чувствительность вольтметра.

В зависимости от закона преобразования напряжение на выходе детектора может быть пропорциональным среднему, средневыпрямленному, среднеквадратическому и пиковому (амплитудному) значениям [2].

Среднее значение напряжения  $U_0$  является среднеарифметическим за период и его определяют по формуле:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Средневыпрямленное значение напряжения  $U_{ср.в}$  является средним значением модуля напряжения и его определяют по формуле:

$$U_{cp.в} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

Среднеквадратическое значение напряжения  $U$  за время измерения определяют по формуле:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Пиковое (амплитудное) значение напряжения  $U_m$  представляет собой наибольшее мгновенное значение напряжения за время измерения.

Каждому закону изменения напряжения соответствуют определенные количественные соотношения между средним, среднеквадратическим и пиковым (амплитудным) значениями напряжений. Эти отношения оцениваются:

- коэффициентом амплитуды по формуле:

$$K_a = \frac{U_m}{U};$$

- коэффициентом формы по формуле

$$K_\phi = \frac{U}{U_{cp.в}}.$$

Характер этой зависимости определяет, какое входное напряжение измеряет вольтметр. Соответственно, различают вольтметры амплитудных, средних и среднеквадратических значений.

## 5.2 Источники погрешности при измерении напряжений переменного тока

Источниками погрешности при измерении напряжений переменного тока электронными вольтметрами являются следующие составляющие [3]:

- погрешности детектора измерительного преобразователя, связанные с преобразованием измеряемого пикового значения напряжения в постоянное;

- частотные погрешности детектора, обусловленные паразитными параметрами диода, входных цепей;

- нестабильность параметров вольтметра, связанная со старением элементов вольтметра, температурной зависимостью, изменением напряжения питания;

- погрешности усилителя измерительного преобразователя, обусловленные нестабильностью параметров схемы усилителя постоянного тока, недостаточной его широкополосностью и вносимыми им нелинейными искажениями;

- погрешность усилителя измерительного преобразователя за счет неравномерности значений коэффициента усиления в диапазоне рабочих частот вольтметра;

- погрешность, вызванная влиянием формы кривой измеряемого напряжения;

- погрешность вольтметра постоянного тока;

- погрешности, обусловленные неточностью стрелочного индикатора

электронного вольтметра.

### 5.3 Основные метрологические характеристики

К основным нормируемым метрологическим характеристикам электронных аналоговых вольтметров переменного тока относят [4]:

- параметр напряжения, измеряемый данным вольтметром;
- пределы измерения напряжений;
- допускаемая погрешность измерения напряжений;
- диапазон частот;
- входное сопротивление.

### 5.4 Проведение поверки

Поверку электронных аналоговых вольтметров, предназначенных для измерения напряжения переменного тока в диапазоне частот от 10 Гц до 1000 МГц, проводят в соответствии с ГОСТ 8.118-85 «Вольтметры электронные аналоговые переменного тока. Методика поверки» [5], который содержит требования к проведению поверки и устанавливает методику первичной и периодической поверок вольтметров электронных.

#### 5.4.1 Условия проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды:  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха:  $(30 \pm 80)\%$ ;
- атмосферное давление: (84-106) кПа;
- напряжение сети питания:  $(220 \pm 4,4)$  В.

#### 5.4.2 Эталонные средства измерений, используемые при поверке:

- эталонные установки для поверки вольтметров, обеспечивающие измерения в требуемом диапазоне частот (до 1 ГГц), требуемом динамическом диапазоне напряжений с заданной точностью.

Примечание. При отсутствии эталонных установок для поверки вольтметров допускается использование эталонных вольтметров и измерительных преобразователей с цифровыми вольтметрами постоянного тока, эталонных делителей напряжения, измерительных генераторов переменного напряжения гармонической формы, фильтров для подавления гармонических составляющих, необходимых согласующих устройств, которые будут удовлетворять требованиям стандарта на поверку вольтметров электронных.

#### 5.4.3 Операции поверки

##### 5.4.3.1 Внешний осмотр и опробование

##### 5.4.3.2 Определение метрологических характеристик

При проведении поверки вольтметра определяют следующие характеристики:

- погрешность вольтметра на частоте градуировки,
- погрешность вольтметра в рабочем диапазоне частот.

## 5.5 Оформление результатов поверки

Результаты поверки оформляют протоколом.

На вольтметры, признанные годными по результатам поверки, выдают свидетельство установленной формы.

Вольтметры, не удовлетворяющие установленным требованиям, к применению не допускают.

### Список использованных источников

1. Мирский Г.Я., Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский М., «Энергия», 1975.
2. Брянский Л.Н., Радиоизмерения. Методы, средства, погрешности / Л.Н. Брянский, М.М. Левин, М., «Издательство стандартов» ,1970.
3. Кузнецов В.А., Измерения в электронике: справочник / В.А. Кузнецов, М., Энергоатомиздат, 1987.
4. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
5. ГОСТ 8.118-85 Государственная система обеспечения единства измерений. Вольтметры электронные аналоговые переменного тока. Методика поверки.

## ГЛАВА 6. ПОВЕРКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

### 6.1 Общие сведения

Осциллограф является основным прибором при исследовании, настройке и ремонте сложной радиоэлектронной аппаратуры. Универсальные осциллографы предназначены для визуального наблюдения непрерывных синусоидальных и импульсных сигналов, а также периодических сигналов произвольной формы и измерения их параметров.

На сегодня существует широкий выбор различных типов осциллографов как отечественных, так и зарубежных производителей: от классических аналоговых до современных цифровых.

По своим техническим возможностям универсальные осциллографы позволяют наблюдать и измерять параметры сигналов в широком динамическом диапазоне: напряжений от микровольт до сотен вольт, длительностей от наносекунд до нескольких секунд. Полоса пропускания универсальных осциллографов достигает 350 МГц.

Структурная схема универсального осциллографа включает в себя электронно-лучевую трубку, канал вертикального отклонения, канал горизонтального отклонения, канал модуляции яркости луча и устройство для калибровки коэффициентов отклонения и развертки.

Устройство для калибровки применяют с целью улучшения метрологических характеристик осциллографа. В него входят калибраторы амплитуды и длительности. Калибратор амплитуды представляет собой источник сигнала с известной амплитудой и позволяет отградуировать в единицах напряжения канал Y осциллографа. Калибратор меток времени представляет собой стабильный генератор электрических колебаний. Его сигнал подается на усилитель канала вертикального отклонения. Период повторения этого сигнала используется в качестве калибровочных интервалов времени.

Исходя из принципа работы универсального осциллографа, на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) яркостная точка описывает траекторию, которая представляет собой функциональную зависимость мгновенного значения напряжения от времени. Горизонтальную координату воспроизводят путем подачи на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ напряжения, которое изменяется пропорционально времени. Отклонение луча в вертикальном направлении производится напряжением на вертикально-отклоняющих пластинах, пропорциональном мгновенному значению напряжения входного сигнала [1]. Одновременное воздействие этих двух напряжений вызывает появление осциллограммы на экране ЭЛТ. Для получения устойчивой осциллограммы служит схема синхронизации и запуска развертки.

С помощью осциллографа амплитудные и временные характеристики исследуемого сигнала определяют косвенным путем. По линейным размерам изображения сигнала в вертикальном и горизонтальном направлениях и по известным коэффициентам определяют амплитудные и временные

характеристики входного сигнала. Эти коэффициенты называются коэффициентом отклонения и коэффициентом развертки соответственно. Они устанавливают количественное соотношение между амплитудными и временными параметрами исследуемого сигнала и размерами его изображения по вертикали и горизонтали масштабной сетки на экране осциллографа.

Коэффициент отклонения  $K_o$  устанавливает соотношение между напряжением исследуемого сигнала  $U_{вх}$  и его размером изображения по вертикали  $H$  и определяется по формуле:

$$K_o = \frac{U_{вх}}{H}.$$

Коэффициент развертки  $K_p$  устанавливает соотношение между длительностью исследуемого сигнала  $T_{вх}$  и его размером изображения по горизонтали  $L$  и определяется по формуле:

$$K_p = \frac{T_{вх}}{L}.$$

При проведении работ с осциллографами возможны случаи несоответствия изображения истинной форме исследуемого сигнала, которые возникают вследствие различных причин: нелинейности блоков каналов управления, несогласованности сопротивлений источника сигналов и входа осциллографа, превышение допустимой величины сигнала на входе осциллографа, астигматизма, дефокусировки луча, нелинейных искажений вблизи границ экрана трубки и т.д. Представление о возможных искажениях осциллограмм и причинах их возникновения позволяет контролировать и корректировать эти несоответствия.

## 6.2 Источники погрешности измерения амплитудных и временных параметров

Измерение амплитудных и временных параметров сигнала с помощью осциллографа можно проводить двумя методами [2]:

- метод непосредственной оценки, когда осциллограф выполняет функцию измерительного прибора с нормируемыми метрологическими характеристиками;
- методом сравнения с мерой, когда осциллограф используется в качестве компаратора.

Источниками погрешности измерения амплитудных параметров входного сигнала методом непосредственной оценки являются:

- погрешность коэффициента отклонения  $\delta_{ко}$ ;
- визуальная погрешность отсчета линейных размеров  $\delta_{виз}$ ;
- неравномерность переходной характеристики  $\delta_{нер}$ .

Суммарную погрешность измерения амплитуды методом непосредственной оценки можно представить в виде формулы



$$\delta_u = \sqrt{\delta_{ко}^2 + \delta_{виз}^2 + \delta_{нер}^2} .$$

Источниками погрешности измерения амплитудных параметров входного сигнала методом сравнения с мерой являются:

- неравномерность переходной характеристики  $\delta_{нер}$  ;
- визуальная погрешность отсчета линейных размеров по вертикали  $\delta_{виз}$  ;
- погрешность выравнивания коэффициентов отклонения  $\delta_{ср}^2$  ;
- погрешность установки напряжения эталонного источника  $\delta_o$  ;

Суммарную погрешность измерения амплитудных параметров методом сравнения можно представить в виде формулы:

$$\delta_u = \sqrt{\delta_{нер}^2 + \delta_{виз}^2 + \delta_{ср}^2 + \delta_o^2} .$$

Источниками погрешности измерения временных параметров входного сигнала методом непосредственной оценки являются:

- погрешность коэффициента развертки  $\delta_{кр}$  ;
- визуальная погрешность отсчета линейных размеров по горизонтали  $\delta_{виз}$  ;
- погрешность определения уровня 0,5, на котором проводят измерения  $\delta_{0,5}$  .

Суммарную погрешность измерения временных параметров методом сравнения можно представить в виде формулы:

$$\delta_\tau = \sqrt{\delta_{кр}^2 + \delta_{виз}^2 + \delta_{0,5}^2} .$$

Источниками погрешности измерения временных параметров сигнала методом сравнения с мерой являются:

- погрешность эталонного источника сигнала  $\delta_o$  ;
- визуальная погрешность отсчета линейных размеров по горизонтали  $\delta_{виз}$  ;
- погрешность определения уровня 0,5, на котором проводят измерения  $\delta_{0,5}$  .

Суммарную погрешность измерения временных параметров методом сравнения можно представить в виде формулы:

$$\delta_\tau = \sqrt{\delta_o^2 + \delta_{виз}^2 + \delta_{0,5}^2} .$$

### 6.3 Основные метрологические характеристики осциллографа электронно-лучевого универсального

К основным нормируемым метрологическим характеристикам осциллографа электронно-лучевого универсального относят [3]:

- диапазоны измерений напряжения и временных интервалов;
- диапазоны установки коэффициента отклонения и коэффициента развертки;
- пределы допускаемой погрешности измерения напряжения и временных интервалов;
- пределы допускаемой погрешности установки коэффициента отклонения и коэффициента развертки;
- параметры амплитудно-частотной характеристики тракта Y;

- параметры переходной характеристики;
- нелинейность амплитудной характеристики;
- ширина линии луча.

## **6.4 Проведение поверки универсальных осциллографов**

Поверку универсальных осциллографов проводят в соответствии с ГОСТ 8.311-78 «Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки» [4], который устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

### **6.4.1 Условия проведения поверки**

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха  $(60 \pm 15)\%$ ;
- атмосферное давление  $(84-106)$  кПа.

6.4.2 Эталонные средства измерений, используемые при поверке осциллографов:

- генераторы сигналов синусоидальной и импульсной формы, обеспечивающие поверку осциллографа при всех требуемых значениях частоты, периода и интервалов времени. Допускается использование нескольких типов генераторов сигналов, перекрывающих необходимые диапазоны частот и интервалов времени;

- вольтметры, обеспечивающие измерение напряжения переменного тока в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;

- вольтметры, обеспечивающие измерение напряжения постоянного тока с заданной точностью;

- эталонные установки или приборы для поверки вольтметров в требуемом диапазоне частот с заданной точностью;

- калибратор импульсов, обеспечивающий формирование параметров импульсов с заданной точностью;

- частотомер электронно-счетный, работающий в требуемом диапазоне частот.

### **6.4.3 Операции поверки универсальных осциллографов**

#### **6.4.3.1 Внешний осмотр и опробование.**

#### **6.4.3.2 Определение метрологических характеристик.**

При проведении поверки осциллографа определяют следующие метрологические характеристики:

- ширину линии луча,
- погрешность коэффициента отклонения,
- погрешность измерения напряжения,
- погрешность коэффициента развертки,
- погрешность измерения временных интервалов,
- параметры испытательных импульсов,
- амплитудно-частотную характеристику тракта вертикального отклонения.

## **6.5 Оформление результатов поверки**

Результаты поверки оформляют протоколом.

На осциллографы, признанные годными по результатам поверки, выдают свидетельство установленной формы.

Осциллографы, не удовлетворяющие установленным требованиям, к применению не допускают.

### **Список использованных источников**

1. Мирский Г.Я., Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский М., «Энергия», 1975.
2. Белоусов Ю.М. , Измерители параметров формы радиосигналов и их поверка / Ю.М. Белоусов и др.. Учебное пособие. М., «Издательство стандартов», 1984.
3. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
4. ГОСТ 8.311-78 Государственная система обеспечения единства измерений. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки.