

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОДИНА ИЗ СОСТАВА НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ОСЛАБЛЕНИЯ

Маскей М. Ш. гр.367041

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

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

**Аннотация.** В материалах доклада рассматривается разработанная методика исследований технических и метрологических характеристик гетеродина, из состава эталона единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 178,4 ГГц.

**Ключевые слова:** методика, исследования, метрологические характеристики, гетеродин, сверхвысокая частота, эталон, ослабление

**Введение.** В последние годы наблюдается активное развитие в области создания и совершенствования эталонной базы для обеспечения единства измерений в миллиметровом диапазоне частот. Особое внимание уделяется метрологическому обеспечению измерений ослабления электромагнитных колебаний, что обусловлено ростом потребности в высокоточных средствах измерений данной физической величины. В рамках этих работ в Центре НИИ 1.9 БГУИР реализуется проект по созданию национального эталона единицы ослабления в диапазоне частот от 37,5 до 178,4 ГГц.

Важной составной частью эталонного комплекса является гетеродин, от метрологических характеристик которого существенно зависит точность и воспроизводимость результатов измерений. Исследования, направленные на оценку стабильности частоты, уровня выходного сигнала, фазового шума и других параметров гетеродина, позволяют обоснованно определить его вклад в общую неопределенность измерений.

В докладе рассматривается структурная схема эталона, принцип его работы и методика экспериментальных исследований метрологических характеристик гетеродина входящего в состав эталона.

**Основная часть.** Обобщенная структурная схема эталона единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 178,4 ГГц представлена на рисунке 1 [1].

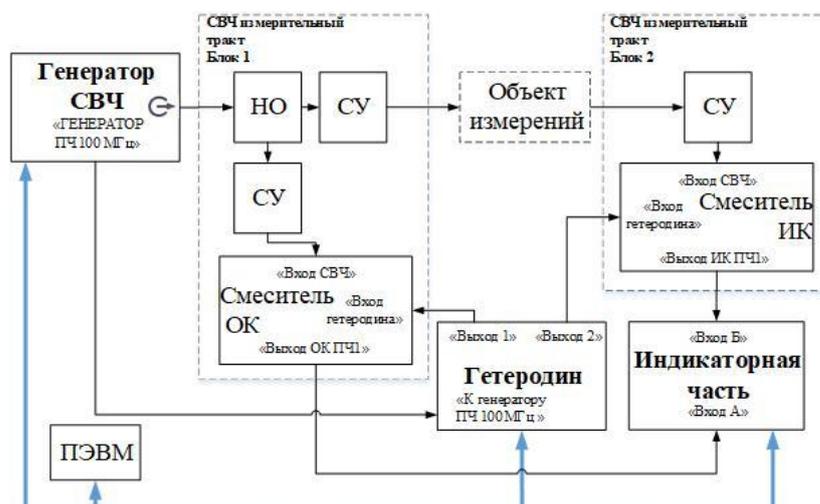


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема эталона

Принцип действия эталона основан на преобразовании частоты в опорном (ОК) и измерительном каналах (ИК) на постоянную промежуточную частоту 20 кГц. Преобразование частоты осуществляется в три этапа.

Гармонический сигнал от СВЧ-генератора с помощью направленного ответвителя (НО) делится на измерительный (ИК) и опорный (ОК) каналы. В ИК сигнал проходит через объект измерений (ОИ), затем поступает на смеситель ИК. В ОК сигнал поступает на смеситель ОК. На оба смесителя подаются сигналы от гетеродина. В них выполняется первое преобразование частоты и формируется сигнал первой промежуточной частоты:

$$f_{пч1} = f_{свч} \pm N \cdot f_{гет}, \quad (1)$$

где  $f_{свч}$  – частота сигнала, поступающего на вход смесителя;

$N$  – номер рабочей гармоники смесителя;

$f_{гет}$  – частота сигнала гетеродина.

В измерительной части, в качестве которой используется прибор для измерения ослабления ДК1-28, осуществляются второй и третий этапы преобразования частоты, (на частоты 20 МГц и 20 кГц соответственно) и измерение отношений уровней сигналов в каналах А и Б.

Сигналы генератора СВЧ соответствующего поддиапазона и гетеродина синхронизированы с помощью генератора ПЧ, конструктивно входящего в состав генератора СВЧ.

Согласующие устройства (СУ) элементов СВЧ измерительного тракта предназначены для обеспечения согласования, а также обеспечивают развязку между ИК и ОК.

Управление работой эталона и измерительным оборудованием из состава эталона, вывод, обработка и документирование результатов измерений осуществляется с помощью ПЭВМ через интерфейсы USB или RS-232.

Гетеродин, методика исследования характеристик которого приведена ниже, построен по схеме измерительного генератора и обеспечивает формирование электрического синусоидального сигнала частотой от 0,01 до 18,0 ГГц. Принцип действия гетеродина основан на формировании синусоидального СВЧ сигнала требуемой частоты в частотном диапазоне от 0,01 до 18,00 ГГц путем синтеза из опорного сигнала частотой 100 МГц.

Методика предусматривает определение следующих метрологических характеристик гетеродина: определение рабочего диапазона частот, погрешности установки и нестабильности частоты; определение динамического диапазона, погрешности установки и нестабильности уровня мощности; КСВН выходов гетеродина.

Определение рабочего диапазона частот, погрешности установки и нестабильности частоты приводится по схеме, приведенной на рисунке 2.

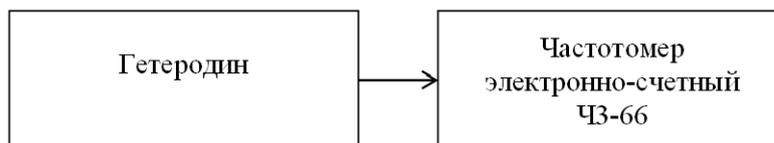


Рисунок 2 – Схема измерения частоты

Перед началом измерений частотомер прогревается в течение 2 часов. Гетеродин переводится в режим непрерывной генерации, после чего через 15 минут измеряется частота выходного сигнала на точках: 0,01; 5,00; 10,00; 15,00; 18,00 ГГц.

Основная относительная погрешность установки частоты рассчитывается по формуле:

$$\delta_f = \frac{f_y - f_{и}}{f_{и}}, \quad (2)$$

где  $f_y$  – значение частоты, установленное на источнике, Гц;

$f_{и}$  – значение частоты, измеренное частотомером, Гц.

Нестабильность частоты  $\delta_{нf}$  за промежуток времени  $t = 15$  минут определяется следующим образом. Устанавливается частота, равная 10,0 ГГц. В течение 15 минут снимаются показания значений частоты с фиксацией результата каждую минуту.

Измерения проводятся для выхода 1 и выхода 2 гетеродина. Из полученных результатов выбрать максимальную  $f_{max}$ , Гц, и минимальную  $f_{min}$ , Гц, частоту сигнала и вычислить нестабильность частоты  $\delta_{нf}$  за промежуток времени  $t = 15$  мин по формуле

$$\delta_{нf} = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_y}, \quad (3)$$

где  $f_{max}$  – максимальное значение частоты, Гц;

$f_{min}$  – минимальное значение частоты, Гц.

Определение динамического диапазона, погрешности установки и нестабильности уровня мощности приводится по схеме, приведенной на рисунке 3.

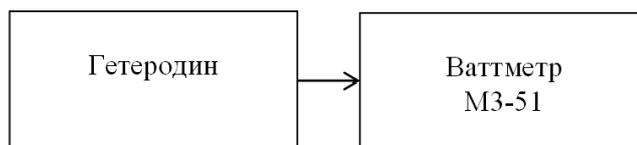


Рисунок 3 – Схема измерения мощности

Измерения проводятся на следующих значениях частоты выходного сигнала: 0,01; 5,00; 10,00; 15,00; 18,00 ГГц и значениях уровня мощности: 0,1; 0,3; 1 мВт.

Абсолютную погрешность установки уровня мощности  $\Delta_P$ , мВт, вычислить для каждого установленного значения уровня мощности и частоты по формуле

$$\Delta_P = P_u - P_y, \quad (4)$$

где  $P_u$  – измеренное значение мощности, мВт;

$P_y$  – установленное значение мощности, мВт;

Нестабильность уровня мощности определяется следующим образом. Устанавливается частота, равная 10,0 ГГц и уровень мощности равный 1 мВт. В течение 15 минут снимаются показания значений уровня мощности с фиксацией результата каждую минуту. Измерения проводятся для выхода 1 и выхода 2 гетеродина.

Из полученных результатов выбрать максимальную  $P_{max}$ , мВт, и минимальную  $P_{min}$ , мВт, мощность и вычислить нестабильность уровня мощности  $\delta_{нP}$  за промежуток времени  $t = 15$  минут по формуле

$$\delta_{нP} = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_y}, \quad (5)$$

где  $P_{max}$  – максимальное значение мощности, мВт;

$P_{min}$  – минимальное значение мощности, мВт.

Определение КСВН первого и второго выходов гетеродина  $K_{СТУ}$  осуществляется методом прямых измерений с помощью анализатора цепей векторного MS4644A по схеме, приведенной на рисунке 4.

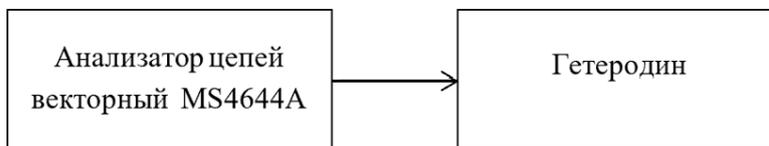


Рисунок 4 – Схема измерения КСВН

Измеряется коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) на выходах гетеродина на частотах: 0,01; 5,00; 10,00; 15,00 и 18,00 ГГц. Полученные значения позволяют оценить согласование выходов гетеродина с измерительным трактом и его пригодность для работы в составе эталона.

**Заключение.** Разработанная методика исследований метрологических характеристик гетеродина позволяет экспериментально определить их значения количественно и оценить их вклад в общую неопределенность результатов измерений, выполняемых с использованием эталона единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 178,4 ГГц.

**Список использованных источников:**

1. Разработка эталона единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 178,4 ГГц: Междунар. науч.-метод. конф. «Инженерное образование в цифровом обществе». В 2 ч. Ч.1 / А. В. Гусинский [и др.] – Минск: БГУИР, 2024. С. 302 – 303.

## METHODOLOGY OF RESEARCH OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF HETERODYNE FROM THE NATIONAL STANDARD OF ATTENUATION UNIT

*Maskey M.S. gr.367041*

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

*Beloshitsky A. P. – Cand. Sc. (Tech.), associate professor*

**Annotation.** In the materials of the report the developed research methodology of technical and metrological characteristics of the heterodyne, from the composition of the standard of the unit of attenuation of electromagnetic oscillations in the frequency range from 37.5 to 178.4 GHz is considered.

**Keywords:** methodology, research, metrological characteristics, heterodyne, ultrahigh frequency, standard, attenuation