

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального
директора – заместитель по научной
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.Н. Щипунов

2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

**Измерители интервалов времени и частоты прецизионные универсальные
ЧЗ-110**

Методика поверки

МП 651-24-057

**пгт. Менделеево
2024 г.**

Содержание

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	6
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	8
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	8
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ	9
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	11
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	11
8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	12
9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	13
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	13
11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ	31
12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	34

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика поверки распространяется на измерители интервалов времени и частоты прецизионные универсальные ЧЗ-110 (далее – ЧЗ-110), изготавливаемые ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область, г. Солнечногорск, рабочий поселок Менделеево, и устанавливает методику первичной и периодической поверок.

1.1 Метрологические характеристики указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
<i>1</i>	<i>2</i>
Диапазон измеряемых интервалов времени, с	от -1000 до 1000
Пределы допускаемой систематической абсолютной погрешности измерения интервалов времени, пс	±80
Предел допускаемого среднего квадратического отклонения (случайная погрешность) измерения интервалов времени, пс	20
Диапазон измеряемых частот: - синусоидальных сигналов по входам «А» и «Б»; - импульсных сигналов по входам «А» и «Б»; - синусоидальных сигналов вход «В»	от 1 МГц до 500 МГц от 1 мГц до 500 МГц от 350 МГц до 20 ГГц
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты сигналов	$\pm F_x \cdot (\Delta of + \frac{\Delta t_{\text{тип}} + \Delta t_{\text{КАН}}}{t_{\text{изм}}})^*$
Диапазон измерений периода следования сигналов, с	от $5 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^3$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений периода следования сигналов	$\pm (t_{\text{изм}} \cdot \Delta of + \Delta t_{\text{КАН}} - 1)^{**}$
Диапазон измерений длительности импульсов, с	от $8 \cdot 10^{-9}$ до 999,999 999 995
Диапазон измерений разности фаз, с	от -1000 до 1000
Диапазон измерений коэффициента заполнения	от 0,000 000 000 008 до 0,999 999 999 995
Диапазон измерений разности частот, МГц	от 0 до 19 999,999 999 999
Диапазон измерений отношения частот	от $5 \cdot 10^{-14}$ до $2 \cdot 10^{13}$
Диапазон измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с	от 1 до $1 \cdot 10^{12}$
Диапазон измерений количества импульсов	от 1 до до 999 999 999 999 999
Номинальные значения частоты выходных сигналов: - синусоидальных; - импульсных	5, 10 МГц 1 Гц
Среднее квадратическое значение напряжения выходных синусоидальных сигналов 5 и 10 МГц на нагрузке 50 Ом, В	от 0,8 до 1,2

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение	
1	2	
Параметры выходного импульсного сигнала на нагрузке 50 Ом: - частота сигнала, Гц - полярность - амплитуда сигнала, В - длительность, мкс - длительность переднего фронта, нс, не более	1,0 положительная не менее 2,4 от 20 до 40 30	
Пределы допускаемой относительной погрешности по частоте: - в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сут***; - на межповерочном интервале; - при выпуске	$\pm 5,0 \cdot 10^{-12}$ $\pm 2,0 \cdot 10^{-10}$ $\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$	
Пределы дополнительной допускаемой относительной погрешности по частоте при изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих температур	$\pm 1,0 \cdot 10^{-10}$	
Пределы допускаемой относительной погрешности по частоте от включения к включению	$\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$	
Нестабильность (среднее квадратическое относительное двух-выборочное отклонение) частоты выходных сигналов 5 и 10 МГц, не более: - при интервале времени измерений 1 с - при интервале времени измерений 10 с - при интервале времени измерений 100 с	$1,4 \cdot 10^{-11}$ $5,0 \cdot 10^{-12}$ $1,4 \cdot 10^{-12}$	
Относительное систематическое суточное изменение частоты без синхронизации по сигналам ГНСС	$\pm 2,0 \cdot 10^{-11}$	
Ослабление гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц, дБ, не менее	30	
Спектральная плотность мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра, дБ/Гц, не более: - на частоте 10 Гц - на частоте 100 Гц - на частоте 1 кГц - на частоте 10 кГц	5 МГц <hr/> -100 -130 -140 -145	10 МГц <hr/> -95 -125 -140 -145
Пределы допускаемых смещений формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS***, нс	± 150	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС, мкс	± 5	

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
1	2
Пределы допускаемой абсолютной погрешности синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц, нс	± 100
<p>Примечания:</p> <p>* Δ_{of} – пределы допускаемой относительной погрешности по частоте опорного генератора; F_X – измеренное значение частоты, с; $\Delta_{UП}$ – абсолютная погрешность измерения, обусловленная погрешностью установки уровня запуска, с; $\Delta_{КАН}$ – абсолютная погрешность определения разности времени задержки импульсных сигналов, связанная с неоднородностью измерительных каналов, равная $(80+80)/\sqrt{3}$ пс; $t_{изм}$ – интервал времени измерения, установленный на ЧЗ-110, с; $\Delta_{UП} = \frac{\Delta U_{UП1}}{K_{P1}} + \frac{\Delta U_{UП2}}{K_{P2}}$ где $\Delta U_{UП1}$, $\Delta U_{UП2}$ – абсолютная погрешность установки уровней запуска компараторов входных каналов, равная 1 мВ; K_{P1}, K_{P2} – значения крутизны фронтов измеряемых сигналов в точке уровня запуска, В/с. ** $t_{Xн}$ – измеренное значение периода сигнала, с; $\Delta_{КАН-1}$ – абсолютная погрешность, связанная с неоднородностью измерительных каналов, равная $80/\sqrt{3}$ пс. *** Через сутки в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS</p>	

1.2 При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единиц времени и частоты в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерения времени и частоты, утверждённой Приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. № 2360, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022.

1.3 При определении метрологических характеристик поверяемого средства измерений используется метод прямых измерений.

1.4 Настоящая методика поверки может применяться для поверки ЧЗ-110 в качестве рабочего эталона единицы частоты 2 разряда и единицы времени 3 разряда в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утверждённой приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 № 2360. В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования:

- относительная погрешность по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сут Δ_{of} находится в пределах $\pm 5,0 \cdot 10^{-12}$;
- смещения формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS $\Delta T_{UTC(SU)-ПШ}$ находятся в пределах ± 150 нс;
- абсолютная погрешность хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС $\Delta T_{хран}$ находится в пределах ± 5 мкс;
- абсолютная погрешность измерений интервалов времени Δt находится в пределах $\pm 0,1$ нс (систематическая абсолютная погрешность измерений интервалов времени находится в пределах ± 80 пс; СКО случайной погрешности измерений интервалов времени не превышает 20 пс).

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 Для поверки ЧЗ-110 должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1	2	3	4
1 Внешний осмотр	да	да	7
2 Контроль условий поверки	да	да	8.2
3 Опробование	да	да	8.4
4 Проверка ПО средства измерений	да	да	9
5 Определение метрологических характеристик средства измерений:	да	да	10
5.1 Проверка диапазона, определение систематической абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени	да	да	10.1
5.2 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерения частоты сигналов	да	да	10.2
5.3 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерения периода следования сигналов	да	да	10.3
5.4 Определение относительной погрешности по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сут*	да	да	10.4
5.5 Определение относительной погрешности по частоте от включения к включению	да	да	10.5
5.6 Определение нестабильности (среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения) частоты выходных сигналов 5 и 10 МГц при интервалах времени измерения 1, 10 и 100 с	да	да	10.6
5.7 Определение систематического суточного изменения частоты без синхронизации по сигналам ГНСС, определение относительной погрешности по частоте на межповерочном интервале; при выпуске	да	да	10.7

Продолжение таблицы 2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1	2	3	4
5.8 Определение ослабления гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц	да	да	10.8
5.9 Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра на частотах: 10, 100 Гц и 1, 10 кГц	да	да	10.9
5.10 Определение смещений формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS	да	да	10.10
5.11 Определение абсолютной погрешности хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС	да	да	10.11
5.12 Определение абсолютной погрешности синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц	да	да	10.12
5.13 Проверка диапазона измерений длительности импульсов	да	да	10.13
5.14 Проверка диапазона измерений разности фаз	да	да	10.14
5.15 Проверка диапазона измерений коэффициента заполнения	да	да	10.15
5.16 Проверка диапазона измерений разности частот	да	да	10.16
5.17 Проверка диапазона измерений отношения частот	да	да	10.17
5.18 Проверка диапазона измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с	да	да	10.18

Продолжение таблицы 2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1	2	3	4
5.19 Проверка диапазона измерений количества импульсов	да	да	10.19
6 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	11
7 Оформление результатов поверки	да	да	12

2.2 Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов или меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений, которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Соответствующая запись должна быть сделана в эксплуатационных документах и в свидетельстве о поверке на основании решения эксплуатирующей организации.

2.3 При получении отрицательных результатов поверки по любому пункту таблицы 2 ЧЗ-110 бракуется и отправляется в ремонт.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С.....от +15 до +25;
- относительная влажность окружающего воздуха при плюс 20 °С, не более, %80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.).....от 84,0 до 106,7 (от 630 до 800).

3.2 Условия проведения поверки должны соответствовать эксплуатационным документам и (или) требованиям правил содержания и применения применяемых для поверки эталонов и требованиям эксплуатационных документов применяемых для поверки средств измерений и вспомогательных средств.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 К проведению поверки допускаются лица с высшим или средним техническим образованием, имеющие квалификацию поверителя в области измерения времени и частоты, изучившие эксплуатационные документы поверяемых ЧЗ-110 и применяемых средств поверки, имеющие навык работы на персональном компьютере.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Требования к метрологическим и техническим характеристикам средств поверки изложены в таблице 3.

Таблица 3 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
п. 8.2 Контроль условий поверки	Средство измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне измерений от +15 °С до +25 °С с абсолютной погрешностью не более ± 1 °С; средство измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 10 % до 80 % с погрешностью не более 3 %	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7 мод. ИВТМ-7М6-Д-1, рег. №71394-18
	Средство измерений напряжения питающей сети в диапазоне от 198 до 242 В с относительной погрешностью не более 3 %; средство измерений частоты питающей сети в диапазоне от 45 до 55 Гц с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,25$ Гц	Клещи для измерения параметров качества электроэнергии Fluke 345, рег. № 52396-13
п. 10 Определение метрологических характеристик	Рабочий эталон единиц времени и частоты первого разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты (приказ Росстандарта от 26.09.2022 № 2360). Номинальные значения частот выходных сигналов 1 Гц; 1, 5 и 10 МГц. Пределы допускаемой относительной погрешности по частоте выходных сигналов (опорного генератора) $\Delta qf \pm 1,6 \cdot 10^{-12}$. Пределы допускаемых смещений рабочих шкал времени относительно национальной шкалы времени $\Delta T_{UTC(SU)-P11}$ не хуже ± 50 нс.	Государственный рабочий эталон 1 разряда единиц времени в диапазоне значений от 1,0 нс до 9,(9) с, частоты номинальных значений 1 Гц, 5 МГц, 10 МГц, 100 МГц и шкалы времени (далее – РЭ1), рег. № 3.1.ZZT.0378.2021
	Полоса пропускания 4 ГГц. Максимальная частоты дискретизации 100 ГГц; пределы допускаемой относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора $\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$	Осциллограф цифровой DPO70404C, рег. № 48470-11
	Диапазон частот выходных сигналов от 300 кГц до 40 ГГц, пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала $\pm 3,0 \cdot 10^{-7}$	Генератор сигналов высокочастотный MCSG40-ULN-2, рег. № 79460-20

Продолжение таблицы 3

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
	<p>Диапазон частот выходных сигналов от 1 мГц до 50 МГц, пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала $\pm (1,0 \cdot 10^{-6} \cdot F + 15 \text{ пГц})$, где F установленное значение частоты сигнала.</p>	<p>Генераторы сигналов произвольной формы 33612А, рег. № 79866-20</p>
	<p>Средство измерений интервалов времени в диапазоне от 0 нс до 1 с. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения интервалов времени $\pm 0,62 \text{ нс}$ (для интервалов времени не более 100 мкс)</p>	<p>Частотомер универсальный CNT-90, рег. № 41567-09</p>
	<p>Номинальные значения частот входных сигналов 5, 10 и 100 МГц. Предел допускаемого среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерения частоты для одноканального режима работы, не более: $t_1 = 1 \text{ с} - 8,0 \cdot 10^{-14}$; $t_1 = 10 \text{ с} - 2,0 \cdot 10^{-4}$; $t_1 = 100 \text{ с} - 3,0 \cdot 10^{-15}$</p>	<p>Компаратор частотный VCH-314 рег. № 35266-07</p>
	<p>Диапазон частот от 9 кГц до 1 ГГц, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня в диапазоне от минус 50 дБ до 0 дБ относительно опорного уровня $\pm 2,3 \text{ дБ}$ (от 9 кГц до 10 МГц вкл.) и $\pm 1,3 \text{ дБ}$ (от 10 МГц до 1 ГГц вкл.).</p>	<p>Анализатор спектра FPC1000, рег. № 68365-17</p>
	<p>Уровень собственных фазовых шумов при частоте входного сигнала 5(10) МГц в режиме «Два входа» для пары сигналов YX, при частоте анализа дБн/Гц: 10 – минус 135 (130), 100 – минус 155 (145), 1 000 – минус 160 (158), $\geq 10 000$ – минус 163 (160)</p>	<p>Компаратор-анализатор фазовый VCH-323, рег. № 70997-18</p>
	<p>Диапазон установки времени задержки сигнала от 0 до 1000 с.</p>	<p>Вспомогательное средство. Генератор-калибратор временных интервалов DG535</p>

Продолжение таблицы 3

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
	1 вход, 16 выходов, длительность фронта импульсного сигнала не более 1 нс	Вспомогательное средство. Усилитель-распределитель импульсных сигналов TimeTech 10188
	Интерфейс Ethernet и RS232, ОС Windows 7, 10, процессор с тактовой частотой 400 МГц, ОЗУ 128 Мб	Вспомогательное средство. ПЭВМ

5.2 Допускается использование других средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых ЧЗ-110 с требуемой точностью.

5.3 Применяемые средства поверки должны быть исправны, поверены и иметь Сведения о результатах поверки в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, регламентированные в ГОСТ ИЕС 61010-1-2014.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При внешнем осмотре проверить соответствие ЧЗ-110 следующим требованиям:

- соответствие маркировки ЧЗ-110 формуляру и описанию типа;
- соответствие комплектности ЧЗ-110 формуляру;
- сохранность пломб;
- чистота и исправность соединителей;
- отсутствие внешних механических повреждений корпуса, мешающих работе с прибором, и ослабления элементов конструкции;
- сохранность органов управления.

7.2 Результаты поверки считать положительными, если выполняются условия п. 7.1, в противном случае ЧЗ-110 бракуют.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Подготовить ЧЗ-110 к работе в соответствии с руководством по его эксплуатации (далее - РЭ), средства поверки – в соответствии с их эксплуатационной документацией.

8.2 Перед поверкой ЧЗ-110 убедиться, что условия поверки соответствуют указанным в разделе 3.

8.3 Перед проведением операций поверки необходимо:

- проверить комплектность рекомендуемых (или аналогичных им) средств поверки;
- заземлить (если это необходимо) на общую точку заземления средства измерений и включить питание заблаговременно перед очередной операцией поверки (в соответствии со временем установления рабочего режима, указанным в эксплуатационной документации).

8.4 Опробование

8.4.1 В соответствии с разделом 2 РЭ подготовить ЧЗ-110 к работе и включить. Через интервал времени не более 15 минут (интервал времени допускается определять по встроенным часам ЧЗ-110) на блоке индикаторном или на отображаемом через web-интерфейс мониторе (для ЧЗ-110М) должна появиться надпись «ЗАХВАТ», что свидетельствует о выходе в рабочий режим. При этом не должна отражаться информация об ошибках.

8.4.2 Прогреть частотомер универсальный CNT-90 в течении 15 минут. Поочередно подключить на вход частотомера выходные сигналы ЧЗ-110 частотой 1 Гц, 5 и 10 МГц на нагрузке 50 Ом.

Определить номинальные значения частоты входных синусоидальных сигналов 5 и 10 МГц, а также выходного импульсного сигнала 1 Гц.

8.4.3 Прогреть осциллограф цифровой DPO70404C в течении 30 минут. Поочередно подключить на вход осциллографа выходные сигналы ЧЗ-110 частотой 1 Гц, 5 и 10 МГц на нагрузке 50 Ом.

Определить среднее квадратическое значение напряжения выходных синусоидальных сигналов 5 и 10 МГц, а также параметры выходного импульсного сигнала на нагрузке 50 Ом:

- частота сигнала,
- полярность,
- амплитуда сигнала,
- длительность,
- длительность переднего фронта.

8.4.4 Результаты поверки считать положительными, если:

- по истечении не более 15 минут на блоке индикаторном (на отображаемом через web-интерфейс мониторе) ЧЗ-110 отображается надпись «ЗАХАТ» и отсутствует информация об ошибках;

- номинальные значения частоты выходных сигналов 5,000 МГц, 10,000 МГц, 1,000 Гц;
- среднее квадратическое значение напряжения выходных синусоидальных сигналов 5 и 10 МГц на нагрузке 50 Ом от 0,8 до 1,2 В;

- параметры выходного импульсного сигнала на нагрузке 50 Ом:

- частота сигнала, 1,0 Гц;
- полярность положительная;
- амплитуда сигнала не менее 2,4 В;
- длительность от 20 до 40 мкс;
- длительность переднего фронта не более 30 нс,

в противном случае ЧЗ-110 бракуют.

9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Собрать схему согласно рисунку 1.

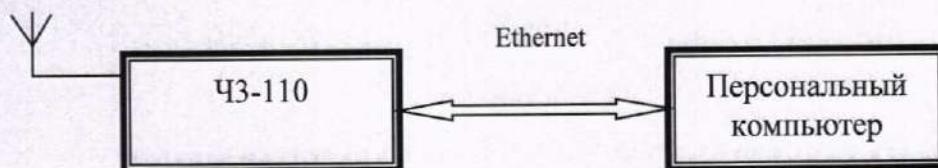


Рисунок 1 – Схема для проверки ПО средства измерений.

9.2 Подключиться к ЧЗ-110 через интерфейс Ethernet в соответствии с руководством по эксплуатации.

Персональный компьютер и ЧЗ-110 должны быть в одной сети. По умолчанию IP адрес имеет значение 192.168.0.170.

9.3 Выбрать раздел «Настройки», затем нажать «О программе» зафиксировать идентификационные данные программного обеспечения.

Таблица 4 - Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение			
	1	2	3	4
Идентификационное наименование ПО	ПО блока синхронизации	ПО блока измерения интервалов времени и частоты	ПО блока индикации и управления	
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже вер. 1	не ниже вер. 1	не ниже вер. 1	

9.4 Результаты поверки считать положительными, если наименование и номер версии ПО соответствует описанию типа. Идентификационные данные ПО представлены в таблице 4. В противном случае ЧЗ-110 бракуют.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

10.1 Проверка диапазона, определение систематической абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени

10.1.1 Проверка диапазона, определение систематической абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени провести по схеме, представленной на рисунке 2.

Перед проведением измерений, с помощью осциллографа цифрового DPO70404C, определить задержку прохождения сигналов между кабелями «Каб.1 DPO» - «Каб.2 DPO» и «Каб.1 ЧЗ-110» - «Каб.2 ЧЗ-110». Разность задержек кабелей Δt , подключаемых к ЧЗ-110 и DPO70404C, в дальнейшем использовать как поправку к результатам измерений ЧЗ-110.

10.1.2 Настроить значение задержки сигнала генератора-калибратора временных интервалов DG535 таким образом, чтобы значение результата измерения осциллографа цифрового DPO70404C было менее 1 нс.

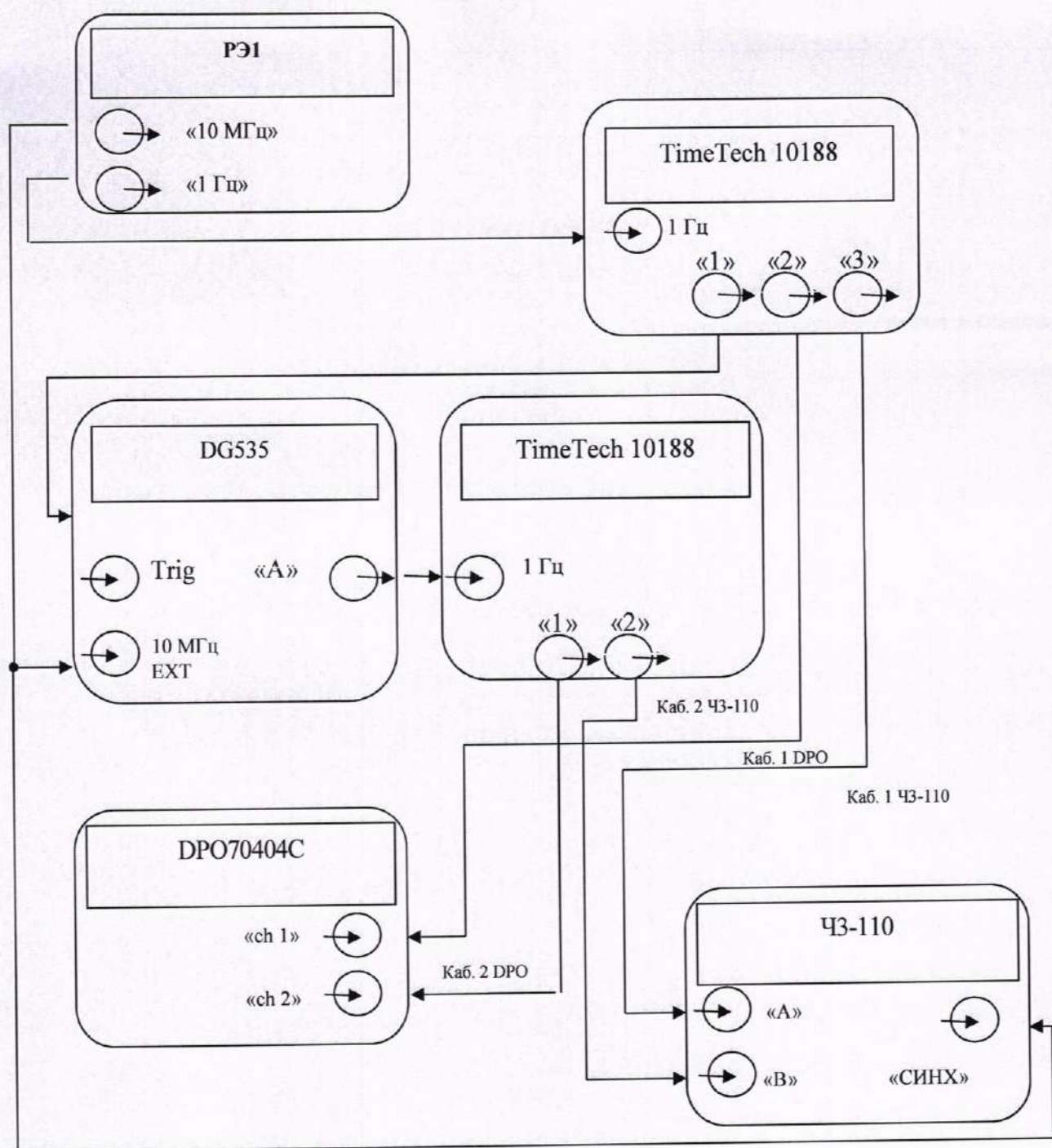


Рисунок 2 – схема для проверки диапазона, определения систематической абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени

В соответствии с РЭ настроить ЧЗ-110 и осциллограф цифровой DPO70404C на отображение среднего квадратического отклонения результатов измерений (среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени).

Провести не менее 10 измерений интервала времени $T_{изм ЧЗ-110 (i)}$ и $T_{изм DPO (i)}$ с применением ЧЗ-110 и осциллографа цифрового DPO70404C.

Систематическую абсолютную погрешность измерения интервалов времени ΔT_{MAX} определить как максимальную разность i -го результата измерения интервала времени по формуле (1):

$$\Delta T_{MAX} = T_{изм\ ЧЗ-110}(i) - T_{изм\ ДРО}(i) + \Delta_{п} \quad (1)$$

10.1.3 Соблюдая схему подключения, представленную на рисунке 1, вместо осциллографа цифрового DPO70404C подключить частотомер универсальный CNT-90. На вход «EXT REF» подать сигнал 10 МГц от РЭ1, на частотомере установить режим работы от внешнего опорного генератора.

Повторить измерения для интервалов времени 1 мкс, 1 мс, 500 мс, 1 с, 100 с и 1000 с добавляя значения задержек сигналов к установленному на генераторе-калибраторе временных интервалов DG535 значению.

Для получения отрицательного значения интервала времени на ЧЗ-110 установить вход «Б» – старт, вход «А» – стоп.

10.2 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерения частоты сигналов

10.2.1 Проверку диапазона и определение абсолютной погрешности измерения частоты сигналов провести по схеме, изображенной на рисунке 3.

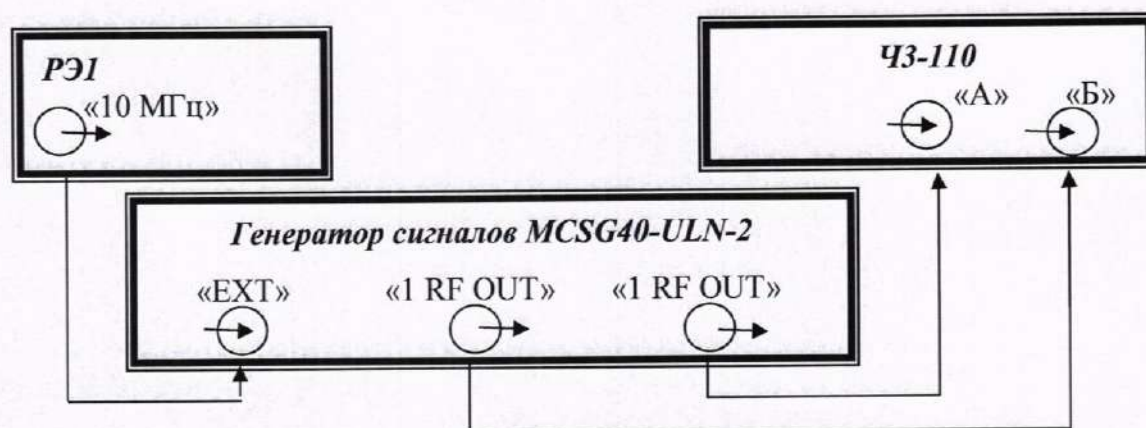


Рисунок 3 – Схема для проверки диапазона и определения абсолютной погрешности измерения частоты сигналов

10.2.2 На генератор сигналов подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выходы 1 и 2 RF OUT на выдачу синусоидальных (импульсных) сигналов 1 МГц амплитудой 1 В.

10.2.3 Настроить каналы «А» и «Б» ЧЗ-110 на измерение частоты. Установить порог срабатывания компаратора равным 0 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «АС» или «DC» для синусоидального или импульсного сигнала соответственно.

10.2.4 В соответствии с таблицей 5 провести не менее 10 измерений для каждого значения частоты входного сигнала и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

В графе 4 таблицы 5 приведены значения абсолютной погрешности измерения частоты сигналов, рассчитанные по формуле (2):

$$\pm F_X \cdot (|\Delta_{of}| + \frac{\Delta t_{уп} + \Delta t_{КАН}}{t_{изм}}) , \quad (2)$$

где: Δ_{of} – пределы допускаемой относительной погрешности по частоте опорного генератора;

F_X – измеренное значение частоты, с;

$\Delta t_{уп}$ – абсолютная погрешность измерения, обусловленная погрешностью установки уровня запуска, с;

$\Delta t_{КАН}$ – абсолютная погрешность определения разности времени задержки импульсных сигналов, связанная с неоднородностью измерительных каналов, равная $(80+80)/\sqrt{3}$ пс;

$t_{изм}$ – интервал времени измерения, установленный на ЧЗ-110, с;

$$\Delta t_{уп} = \frac{\Delta U_{уп1}}{Kp_1} + \frac{\Delta U_{уп2}}{Kp_2} , \text{ где:}$$

$\Delta U_{уп1}, \Delta U_{уп2}$ – абсолютная погрешность установки уровней запуска компараторов входных каналов, равная 1 мВ;

Kp_1, Kp_2 – значения крутизны фронтов измеряемых сигналов в в точке уровня запуска, В/с.

10.2.5 Провести не менее 10 измерений для каждого устанавливаемого значения и записать среднее значение результатов измерений в таблицу 5.

10.2.6 Значение абсолютной погрешности рассчитать по формуле (3) и записать в таблицу 3.

$$\Delta f = F_X - F_{эм}. \quad (3)$$

10.2.7 Повторить измерения по п.п. 10.2.1 - 10.2.6 для диапазона частот от 1 МГц до 500 МГц, при этом вместо генератора сигналов MCSG40-ULN-2 установить генератор сигналов произвольной формы 33612А. Генератор сигналов настроить на выдачи импульсных сигналов амплитудой 1,0 В.

Т а б л и ц а 5 – Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерения частоты

Частота входного сигнала, $F_{эм}$	Измеренное значение частоты, F_X	Значение абсолютной погрешности, Гц	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, Гц
1	2	3	4
Импульсные сигналы			
1 МГц	«А»		$\pm 5,0 \cdot 10^{-12}$
	«Б»		
1 МГц	«А»		$\pm 1,55 \cdot 10^{-3}$
	«Б»		

Продолжение таблицы 5

Частота входного сигнала, $F_{эм}$	Измеренное значение частоты, F_X	Значение абсолютной погрешности, Гц	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, Гц
1	2	3	4
20 МГц	«А»		$\pm 1,9 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
50 МГц	«А»		$\pm 4,75 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
100 МГц	«А»		$\pm 9,51 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
200 МГц	«А»		$\pm 0,19$
	«Б»		
350 МГц	«А»		$\pm 0,33$
	«Б»		
500 МГц	«А»		$\pm 0,49$
	«Б»		
Синусоидальные сигналы			
1 МГц	«А»		$\pm 1,55 \cdot 10^{-3}$
	«Б»		
10 МГц	«А»		$\pm 1,9 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
50 МГц	«А»		$\pm 4,75 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
100 МГц	«А»		$\pm 9,51 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
200 МГц	«А»		$\pm 0,19$
	«Б»		
350 МГц	«А»		$\pm 0,33$
	«Б»		

Продолжение таблицы 5

Частота входного сигнала, $F_{Эм}$	Измеренное значение частоты, F_X	Значение абсолютной погрешности, Гц	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, Гц
1	2	3	4
500 МГц	«А»		±0,49
	«Б»		
350 МГц	«В»		±1,03·10 ⁻¹
500 МГц	«В»		±1,56
1 ГГц	«В»		±1,18
5 ГГц	«В»		±6,04
10 ГГц	«В»		±9,60
20 ГГц	«В»		±19,84

10.3 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерения периода следования сигналов

Проверку диапазона и определение абсолютной погрешности измерения периода следования сигналов провести по схеме, изображенной на рисунке 3.

10.3.1 На генератор сигналов подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выходы 1 и 2 RF OUT на выдачу синусоидальных сигналов 1 МГц амплитудой 1 В.

10.3.2 Настроить каналы «А» и «Б» ЧЗ-110 на измерение периода. Установить порог срабатывания компаратора равным 0 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «АС».

10.3.3 Провести не менее 10 измерений для каждого устанавливаемого значения на канале «А» и записать среднее значение результатов измерений в таблицу 6.

Т а б л и ц а 6 – Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерения периода следования сигналов

Период следования сигнала, $t_{Эм}$	Измеренное значение периода, t_{Xn}	Значение абсолютной погрешности, нс	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, с
1	2	3	4
1 000 с (1 МГц)	«А»		±6,0·10 ⁻⁶
	«Б»		
1 мкс (1 МГц)	«А»		±1/1,55·10 ⁻³
	«Б»		
20 нс (50 МГц)	«А»		±1/1,90·10 ⁻²
	«Б»		

Продолжение таблицы 6

Период следования сигнала, $t_{Эм}$	Измеренное значение периода, t_{Xn}	Значение абсолютной погрешности, нс	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, с
1	2	3	4
10 нс (100 МГц)	«А»		$\pm 1/4,75 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
4 нс (250 МГц)	«А»		$\pm 1/9,51 \cdot 10^{-2}$
	«Б»		
2,5 нс (400 МГц)	«А»		$\pm 1/0,19$
	«Б»		
2 нс 500 МГц	«А»		$\pm 1/0,33$
	«Б»		
2,857 нс 350 МГц	«В»		$\pm 1/1,03 \cdot 10^{-1}$
2 нс 500 МГц	«В»		$\pm 1/1,56$
1 нс 1 ГГц	«В»		$\pm 1/1,18$
200 пс 5 ГГц	«В»		$\pm 1/6,04$
100 пс 10 ГГц	«В»		$\pm 1/9,60$
50 пс 20 ГГц	«В»		$\pm 1/19,84$

В графе 4 таблицы 6 приведены значения абсолютной погрешности измерения периодов следования сигналов, рассчитанные по формуле (4):

$$\pm t_{Xn} \cdot \left(|\Delta_{of}| + \frac{\Delta t_{КАН-1}}{t_{изм}} \right) \quad (4)$$

где: Δ_{of} – пределы допускаемой относительной погрешности по частоте опорного генератора;

t_{Xn} – среднее значение результатов измерений периода, с;

$\Delta t_{КАН-1}$ – абсолютная погрешность, связанная с неоднородностью измерительного канала, равная $80/\sqrt{3}$ пс;

$t_{изм}$ – интервал времени измерения, установленный на ЧЗ-110, с.

10.3.4 Провести не менее 10 измерений для каждого устанавливаемого значения на канале «Б» и записать среднее значение результатов измерений в таблицу 6.

10.3.5 Значение абсолютной погрешности рассчитать по формуле (5) и записать в таблицу 6.

$$\Delta t_n = t_{Xn} - t_{Эм}. \quad (5)$$

10.4 Определение относительной погрешности по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сутки

10.4.1 Определение относительной погрешности по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сутки провести по схеме, представленной на рисунке 4.

В соответствии с РЭ подготовить ЧЗ-110 к работе в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS. Перед проведением измерений выдержать ЧЗ-110 в режиме синхронизации не менее 1 суток.

Включить VCH-314 в соответствии с руководством по эксплуатации ЯКУР.411146.014РЭ и прогреть в течение 2 ч.

10.4.2 Установить в меню «опции» параметры измерения VCH-314 в соответствии с руководством по эксплуатации ЯКУР.411146.014РЭ:

- коэффициент умножения $1 \cdot 10^6$;
- максимальное время усреднения измерений 86400 с;
- число измерений 10;
- входная частота 5 МГц.

10.4.3 Запустить однократный режим измерений. По истечении суток зафиксировать среднее значение разности частот (относительную погрешность по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сутки).

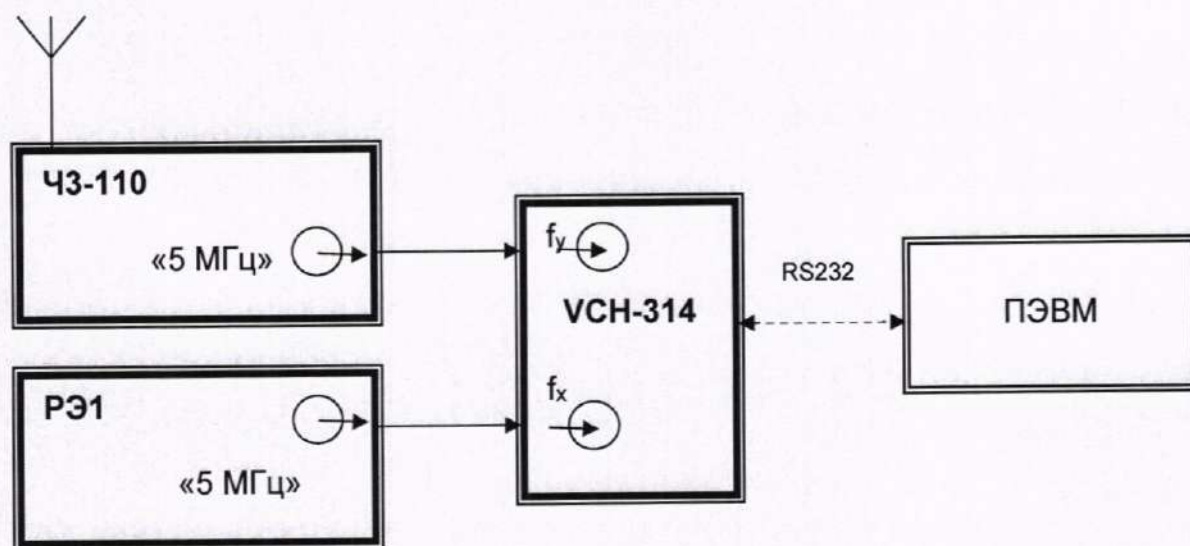


Рисунок 4 – Схема определения относительной погрешности по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сутки

10.5 Определение относительной погрешности по частоте от включения к включению
Рекомендуется совмещать с п. 10.4

10.5.1 Определение относительной погрешности по частоте от включения к включению провести по схеме, представленной на рисунке 4, при этом от ЧЗ-110 отключить приемную антенну сигналов ГНСС.

10.5.2 В соответствии с РЭ подготовить ЧЗ-110 к работе.

Включить VCH-314 в соответствии с руководством по эксплуатации ЯКУР.411146.014РЭ и прогреть в течение 2 ч.

10.5.3 Установить в меню «опции» параметры измерения VCH-314 в соответствии с руководством по эксплуатации ЯКУР.411146.014РЭ:

- коэффициент умножения $1 \cdot 10^6$;
- максимальное время усреднения измерений 1000 с;
- число измерений 10;
- входная частота 5 МГц.

10.5.4 По истечении интервала времени не менее 1000 с зафиксировать среднее значение разности частот f_1 (относительную погрешность по частоте).

10.5.5 Выключить ЧЗ-110 и выдержать в выключенном состоянии не менее 2 часов.

Затем ЧЗ-110 включить и дождаться выхода в рабочий режим.

10.5.6 Повторить измерения по п. 10.5.4.

По истечении интервала времени не менее 1000 с зафиксировать среднее значение разности частот f_2 (относительную погрешность по частоте).

10.5.7 Относительную погрешность по частоте от включения к включению определить по формуле (6):

$$\Delta f_{\text{вкл-выкл}} = f_2 - f_1 \quad (6)$$

10.6 Определение нестабильности (среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения) частоты выходных сигналов 5 и 10 МГц при интервалах времени измерений 1, 10 и 100 с

Рекомендуется совмещать с п. 10.4

10.6.1 Повторить измерения, изложенные в п.п. 10.4.4 – 10.5.5 для частоты выходных сигналов 5 и 10 МГц.

10.6.2 По истечении интервала времени не менее 1000 с зафиксировать значения среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения при интервалах времени измерений 1, 10 и 100 с.

10.7 Определение систематического суточного изменения частоты без синхронизации по сигналам ГНСС, относительной погрешности по частоте на межповерочном интервале и при выпуске

10.7.1 Повторить измерения по п.п. 10.4.1 – 10.4.3 при отключенной антенне сигналов ГНСС (режим без синхронизации) на интервале времени наблюдений не менее 11 суток.

По завершению измерений в программе компаратора частотного VCH-314 открыть график относительной разности частот при интервале времени измерения 1 сутки, зафиксировать средние значения для каждого суток и занести в таблицу.

10.7.2 Рассчитать значения систематического суточного изменения частоты по формуле (7) и занести в таблицу 7:

$$v_i = \Delta f_{i+1} - \Delta f_i \quad (7)$$

Т а б л и ц а 7 – Определение систематического суточного изменения частоты без синхронизации по сигналам ГНСС

№ п/п	Дата	Значение относительной погрешности по частоте в i -е сутки, Δf_i	Систематическое изменения частоты при интервале времени наблюдений 1 сутки, v_i
1	2	3	4
1			–
2			
...			
11			
Среднее значение систематического суточного изменения частоты без синхронизации по сигналам ГНСС, v			

10.7.3 Систематическое суточное изменение частоты без синхронизации по сигналам ГНСС определить как среднее значение систематического изменения частоты за интервал времени наблюдений 1 сутки при интервале времени наблюдений не менее 11 суток по формуле (8):

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (8)$$

10.7.4 Относительную погрешность по частоте на межповерочном интервале определить по формуле (9):

$$\Delta f/f = v \cdot 365 \quad (9)$$

где: 365 – количество дней в году.

10.7.5 В случае, если относительная погрешность по частоте при выпуске превышает значение $\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$, произвести постройку частоты ЧЗ-110 в соответствии с его РЭ (вкладка «Настройки» - «Настройка смещения частоты опорного генератора»). По завершении операции сохранить код смещения частоты в ПЗУ ЧЗ-110.

Зафиксировать относительную погрешность по частоте при выпуске.

10.8 Определение ослабления гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц

10.8.1 Определение ослабления гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц произвести поочередно с помощью анализатора спектра FPC1000 по схеме, приведенной на рисунке 5.

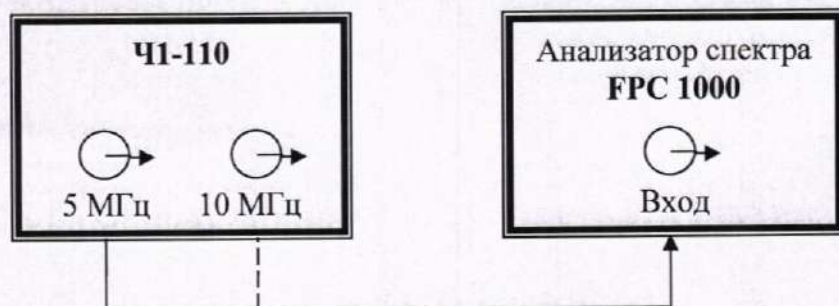


Рисунок 5 – Схема определения ослабления гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц

10.8.2 На вход анализатора спектра FPC1000 подать сигнал 5 МГц от ЧЗ-110 и запустить измерения в соответствии с РЭ. С помощью маркера снять отсчеты амплитуды спектральных составляющих на частотах 5, 10, 15, 20 и 25 МГц. Рассчитать ослабление спектральных составляющих 10, 15, 20 и 25 МГц по формуле (10):

$$K_f = U_f - U_{5\text{МГц}} \quad (10)$$

где: K_f - коэффициент ослабления спектральной составляющей частоты f , дБ;
 U_f - отсчет амплитуды спектральной составляющей частоты f , дБ;
 $U_{5\text{МГц}}$ - отсчет амплитуды спектральной составляющей частотой 5 МГц, дБ.

10.8.3 Повторить п. 4.12.2 для сигнала 10 МГц. С помощью маркера снять отсчеты амплитуды спектральных составляющих на частотах 10, 20 и 30 МГц. Рассчитать ослабление спектральных составляющих 20 и 30 МГц по формуле (11):

$$K_f = U_f - U_{10\text{МГц}} \quad (11)$$

где: K_f - коэффициент ослабления спектральной составляющей частоты f , дБ;
 U_f - отсчет амплитуды спектральной составляющей частоты f , дБ;
 $U_{10\text{МГц}}$ - отсчет амплитуды спектральной составляющей частотой 10 МГц, дБ.

10.9 Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра на частотах: 10, 100 Гц и 1, 10 кГц

10.9.1 Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра выходного сигнала 5 и 10 МГц произвести с помощью РЭ1 и компаратора-анализатора фазового VCH-323.

10.9.2 Собрать схему, приведенную на рисунке 6. На вход «Z» компаратора-анализатора фазового VCH-323 подать сигнал 5 (10) МГц от РЭ1, на входы «X» и «Y» подать сигналы 5 и 10 МГц ЧЗ-110 соответственно.

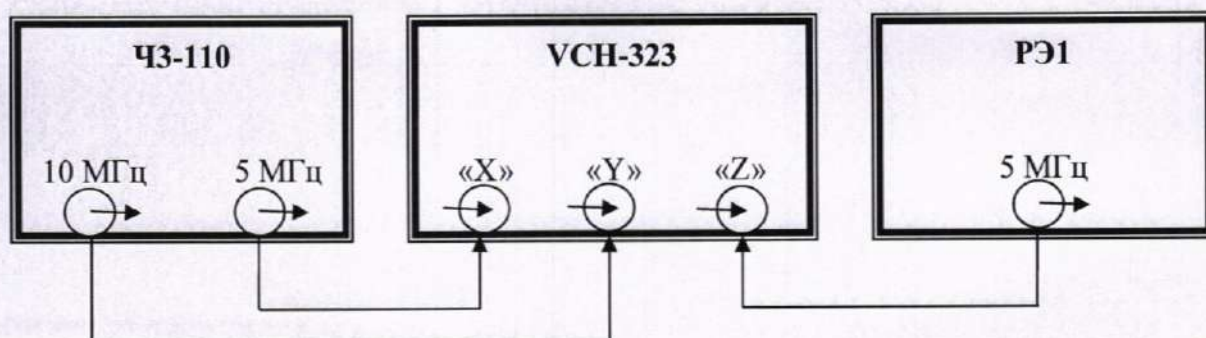


Рисунок 6 – Схема определения спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра выходного сигнала 5 (10) МГц

10.9.3 Запустить измерения компаратора-анализатора фазового VCH-323. Проводить измерения в течение не менее 30 мин. С помощью маркера определить отсчеты фазового шума при отстройке от несущей частоты на 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц и 10 кГц. В случае, если маркер попадает на выброс в спектре, переместить маркер на несколько делений в сторону.

10.10 Определение смещений формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS

10.10.1 Смещение формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS определить с помощью РЭ1, работающего в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS, и частотомера универсального CNT-90 по схеме, приведенной на рисунке 7.

Кабели, подключаемые к входам «А» и «В» частотомера универсального CNT-90, должны быть одинаковыми по длине и типу. В ином случае в результате измерений необходимо учитывать разницу задержек прохождения сигналов в подключаемых кабелях.

10.10.2 На вход «А» частотомера универсального CNT-90 подать импульсный сигнал с выхода «1 Гц» ЧЗ-110, на вход «В» частотомера универсального CNT-90 подать импульсный сигнал 1 Гц от РЭ1, работающего в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS. Частотомер универсальный CNT-90 установить в режиме измерений интервалов времени.

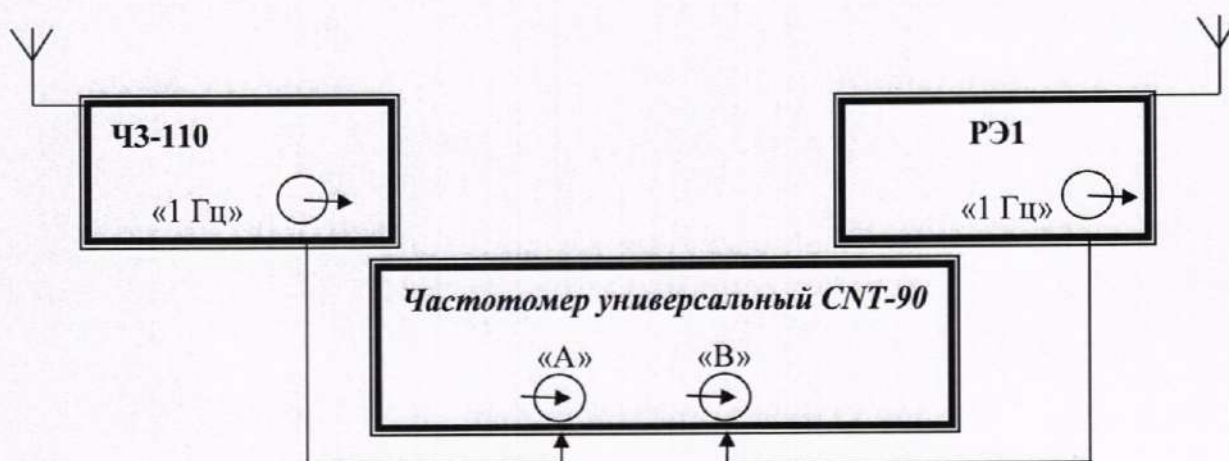


Рисунок 7 – Схема определения смещения формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS

10.10.3 Настроить входы «А» и «В» частотомера универсального CNT-90 в соответствии с параметрами импульсных сигналов 1 Гц:

- измерение интервала от А до В (Meas Func → Time → TimeInterval → A to B);
- интервал между измерениями не менее 10 мс (Settings → MeasTime → «10 ms»);
- число измерений не менее 100 (Settings → Stat → No.Samples → «100»);
- срабатывание по переднему фронту (Input A(B) → «┘»);
- связь по постоянному току (Input A(B) → «DC»);
- входная нагрузка 50 Ом (Input A(B) → «50Ω»);
- затухание 1x и переключатель на щупах 1x (Input A(B) → «1x»);
- ручной запуск (Input A(B) → «Man»);
- уровень напряжения точки привязки 1 В (Input A(B) → Trig → «1 V»);
- выключить фильтрацию (Input A(B) → Filter → «Off»).

Произвести не менее 100 измерений интервала времени между выходными импульсными сигналами 1 Гц ЧЗ-110 и РЭ1 (смещений формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS).

10.11 Определение абсолютной погрешности хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС

10.11.1 Повторить измерения по п.п. 10.10.1 – 10.10.3 и рассчитать смещение формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS \bar{T} по формуле (12):

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_i \quad , \quad (12)$$

где T_i – i -й результат измерений;

n – количество результатов измерений.

10.11.2 По истечении 30 минут после установления режима синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS перевести ЧЗ-110 в режим автономного хранения путем отключения приемной антенны сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS.

10.11.3 По истечении 1 суток повторить измерения в соответствии с п.п. 10.10.1 – 10.10.3 и по формуле (11) рассчитать \bar{T}_1 .

10.11.4 Значение абсолютной погрешности хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС определить по формуле (13):

$$\Delta T_{\text{хран}} = \bar{T}_1 - \bar{T} \quad (13)$$

10.12 Определение абсолютной погрешности синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц

10.12.1 Определение абсолютной погрешности синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц произвести с помощью РЭ1 и частотомера универсального CNT-90 по схеме, приведенной на рисунке 8.

Подключаемые к частотомеру универсальному CNT-90 кабели должны иметь одинаковую задержку прохождения сигналов в пределах 1 нс (одинаковые по длине и типу кабеля), в противном случае разность задержек в используемых кабелях должна учитываться при конечной обработке результатов измерений.

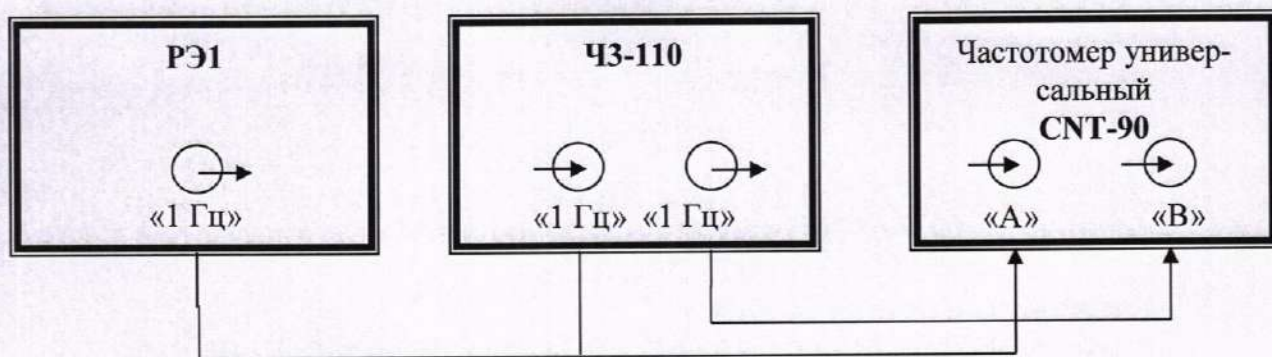


Рисунок 8 – Схема определения абсолютной погрешности синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц

10.12.2 Собрать схему, приведенную на рисунке 8. На вход «1 Гц» ЧЗ-110 подать импульсный сигнал 1 Гц от РЭ1. Этот же сигнал подать на вход «А» частотомера универсального CNT-90, работающего в режиме измерений интервалов времени. На вход «В» частотомера подать сигнал с выхода «1 Гц» ЧЗ-110.

10.12.3 Настроить входы частотомера универсального CNT-90 в соответствии с параметрами импульсных сигналов 1 Гц:

- импульсный сигнал;
- измерения по переднему фронту;
- входная нагрузка 50 Ом;
- уровень срабатывания по переднему фронту 1 В.

10.12.4 В соответствии с РЭ ЧЗ-110 произвести синхронизацию по внешнему сигналу 1 Гц. Произвести измерение интервала времени между импульсными сигналами 1 Гц от ЧЗ-110 и от РЭ1.

10.12.5 Повторить пункт 10.12.4 не менее 10 раз.

10.13 Проверка диапазона измерений длительности импульсов

10.13.1 Проверку диапазона измерений длительности импульсов провести по схеме, изображенной на рисунке 9.

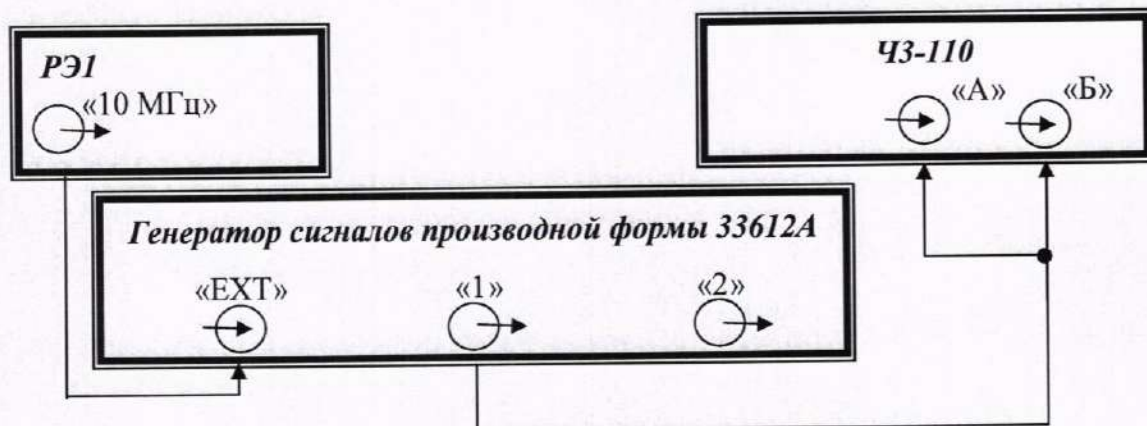


Рисунок 9 – Схема для проверки диапазона измерений длительности импульсов

10.13.2 На генератор сигналов произвольной формы подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выход 1 на выдачу импульсных сигналов частотой 1 Гц, амплитудой 2 В и шириной импульсов 8 нс.

10.13.3 Настроить ЧЗ-110 на измерение длительности импульсов. Установить порог срабатывания компаратора равным 0,5 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «DC», настройка измерителей: канал «А» – подключен, канал «Б» – инвертирован.

10.13.4 Провести не менее 10 измерений и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

10.13.5 Повторить п.п. 10.13.2-10.13.4 для значений длительности импульсов 1 мкс, 1 мс, 1 с, 100 с, 999,999 999 995 с.

Для значений длительности импульса 999,999 999 995 с на генераторе сигналов произвольной формы настроить выход 1 на выдачу импульсных сигналов частотой 1 мГц, амплитудой 2 В и шириной импульсов 999,999 999 995 с.

10.14 Проверка диапазона измерений разности фаз

10.14.1 Проверку диапазона измерений разности фаз провести по схеме, изображенной на рисунке 10.



Рисунок 10 – Схема для проверки диапазона измерений разности фаз

10.14.2 На генератор сигналов произвольной формы подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выходы 1 и 2 на выдачу синусоидальных сигналов 1 мГц амплитудой 1 В.

Произвести синхронизацию выходных сигналов.

10.14.3 Настроить каналы «А» и «Б» ЧЗ-110 на измерение разности фаз. Установить порог срабатывания компаратора равным 0,1 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «АС».

10.14.4 Изменяя на входе 1 (или 2) значение фазы от минус 1000 до 1000 с с шагом 400 с, убедиться, что результаты измерений разности фаз находятся в диапазоне от минус 1000 до 1000 с (вместо 1000 с допускается отображение 0 с).

10.15 Проверка диапазона измерений коэффициента заполнения

10.15.1 Проверку диапазона измерений коэффициента заполнения провести по схеме, изображенной на рисунке 9.

10.15.2 На генератор сигналов произвольной формы подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выход 1 на выдачу импульсных сигналов частотой 1 Гц, амплитудой 2 В и длительностью импульсов 8 нс, что соответствует коэффициенту заполнения 0,000 000 000 008.

10.15.3 Настроить ЧЗ-110 на измерение коэффициента заполнения. Установить порог срабатывания компаратора равным 0,5 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «DC», настройка измерителей: канал «А» – подключен, канал «Б» – инвертирован.

10.15.4 Провести не менее 10 измерений и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

10.15.5 Повторить п.п. 10.15.2-10.15.4 для значения длительности импульса 999,999 999 995 с, что соответствует коэффициенту заполнения 0,999 999 999 995.

10.16 Проверка диапазона измерений разности частот

10.16.1 Проверку диапазона измерений разности частот провести по схеме, изображенной на рисунке 11.

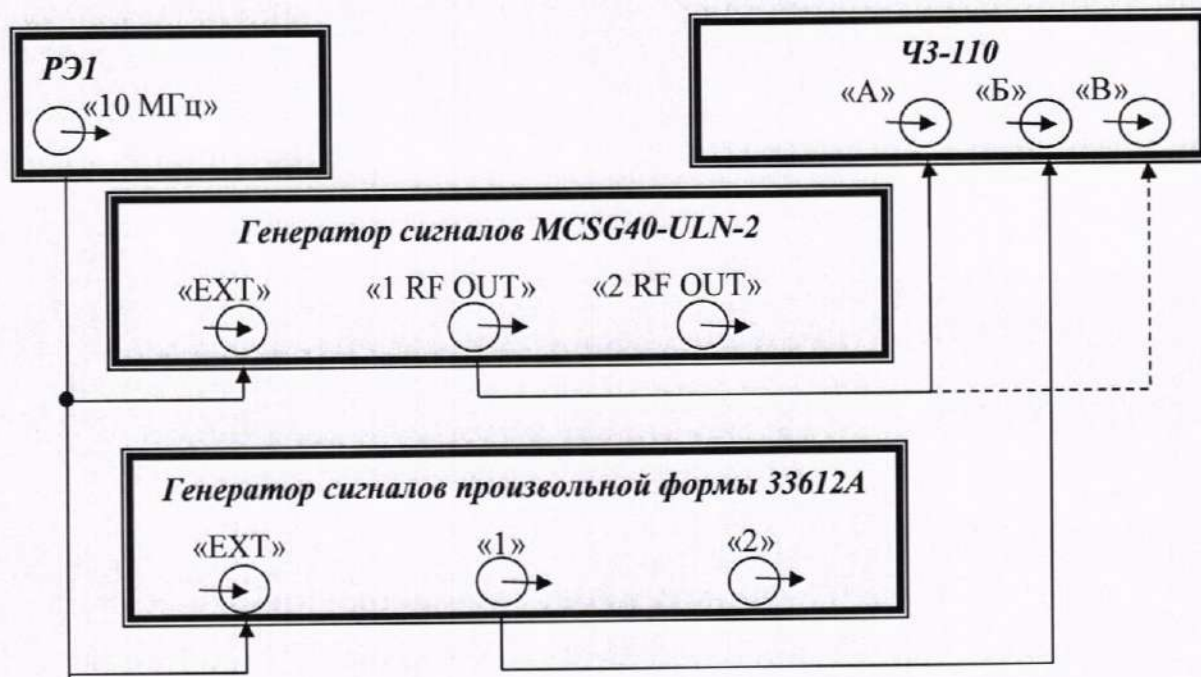


Рисунок 11 – Схема для проверки диапазона измерений разности частот

10.16.2 На генераторы сигналов подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выход 1 RF OUT генератора сигналов MCSG40-ULN-2 на выдачу синусоидального сигнала 1 МГц амплитудой 1 В.

Настроить выход 1 генератора сигналов 33612A на выдачу синусоидального сигнала 1 МГц амплитудой 1 В.

10.16.3 Настроить каналы «А» и «Б» ЧЗ-110 на измерение разности частот. Установить порог срабатывания компаратора равным 0,1 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «АС».

10.16.4 Провести не менее 10 измерений и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

10.16.5 Повторить измерения по п.п. 10.16.2-10.16.4, при этом на генераторе сигналов MCSG40-ULN-2 последовательно установить значения 100 МГц, 1 ГГц, 10 ГГц, 20 ГГц.

Для значений частот свыше 500 МГц в настройках ЧЗ-110 подключить вход «В».

10.16.6 Повторить измерения по п.п. 4.16.2-4.16.4, при этом на генераторе сигналов MCSG40-ULN-2 установить значение 20 ГГц, на генераторе сигналов произвольной формы 33612А последовательно установить значения частоты импульсных сигналов 1 Гц и 1 мГц.

10.17 Проверка диапазона измерений отношения частот

10.17.1 Проверку диапазона измерений отношения частот провести по схеме, изображенной на рисунке 11.

10.17.2 На генераторы сигналов подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выход 1 RF OUT генератора сигналов MCSG40-ULN-2 на выдачу синусоидального сигнала 1 МГц амплитудой 1 В.

Настроить выход 1 генератора сигналов 33612А на выдачу синусоидального сигнала 1 МГц амплитудой 1 В.

10.17.3 Настроить каналы «А» и «Б» ЧЗ-110 на измерение отношения частот. Установить порог срабатывания компаратора равным 0,1 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «АС».

10.17.4 Провести не менее 10 измерений и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

10.17.5 Повторить измерения по п.п. 10.17.2-10.17.4, при этом на генераторе сигналов MCSG40-ULN-2 последовательно установить значения 100 МГц, 1 ГГц, 10 ГГц, 20 ГГц.

Для значений частот свыше 500 МГц в настройках ЧЗ-110 подключить вход «В».

10.17.6 Повторить измерения по п.п. 4.17.2-4.17.4, при этом на генераторе сигналов MCSG40-ULN-2 установить значение 20 ГГц, на генераторе сигналов произвольной формы 33612А последовательно установить значения частоты импульсных сигналов 1 Гц и 1 мГц.

10.18 Проверка диапазона измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с

10.18.1 Проверку диапазона измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с провести по схеме, изображенной на рисунке 12.



Рисунок 12 – Схема для проверки диапазона измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с

10.18.2 На генератор сигналов произвольной формы подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выход 1 на выдачу импульсных сигналов частотой 1 Гц, амплитудой 2 В.

10.18.3 Настроить ЧЗ-110 на измерение количества импульсов в заданном интервале времени измерения (окне). Установить порог срабатывания компаратора равным 0,5 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «DC», настройка измерителей: канал «А» – подключен.

10.18.4 Провести не менее 10 измерений и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

10.18.5 Повторить п.п. 10.18.2-10.18.4 при частоте входных импульсов 80 МГц и установленном времени измерения 100 с (одиночная посылка).

Максимальное измеряемое значение количества импульсов определяется как максимальное значение измеряемой частоты умноженное на максимальный интервал времени измерения 2000 с и равен $1 \cdot 10^{12}$.

10.19 Проверка диапазона измерений количества импульсов

10.19.1 Проверку диапазона измерений количества импульсов провести по схеме, изображенной на рисунке 12.

10.19.2 На генератор сигналов произвольной формы подать опорный сигнал 10 МГц от РЭ1.

Настроить выход 1 на выдачу импульсных сигналов частотой 1 Гц, амплитудой 2 В.

10.19.3 Настроить ЧЗ-110 на измерение количества импульсов. Установить порог срабатывания компаратора равным 0,5 В, время измерения равным 1 с, входной импеданс равным 50 Ом, связь с источником сигнала – «DC», настройка измерителей: канал «А» – подключен.

10.19.4 Провести не менее 10 измерений и зафиксировать среднее значение результатов измерений.

10.19.5 Повторить п.п. 10.19.2-10.19.4 при частоте входных импульсов 80 МГц и дождаться заполнения счетчика.

В связи с тем, что счетчик количества импульсов имеет разрядность 64 бита, а разрядность цифрового индикатора ограничена 15 десятичными цифрами, допускается проверять работу счета количества импульсов до $1 \cdot 10^{12}$, что гарантирует переход в старшие 32 бита 64 разрядного счетчика. Максимально отображаемое число из-за ограничений индикатора составит 999 999 999 999 999.

11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 Проверку диапазона, определение систематической абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени определяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если полученные значения составляют (п. 10.1):

- диапазон измеряемых интервалов времени составляет от минус 1000 с до плюс 1000 с;
- значение систематической абсолютной погрешности измерения интервалов времени (рассчитанное по формуле 1) находится в пределах ± 80 пс;
- значение среднего квадратического отклонения (случайной погрешности) измерения интервалов времени не более 20 пс.

11.2 Абсолютную погрешность измерения частоты сигналов определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если диапазон измерений и рассчитанные значения абсолютной погрешности измерения частоты сигналов находятся в пределах, указанных в графе 4 таблицы 5 (п. 10.2).

11.3 Абсолютную погрешности измерения периода следования сигналов определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если диапазон измерений и рассчитанные значения абсолютной погрешности измерения периода следования сигналов находятся в пределах, указанных в графе 4 таблицы 6 (п. 10.3).

11.4 Относительную погрешность по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сутки определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если значение относительной погрешности по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сутки находится в пределах $\pm 5,0 \cdot 10^{-12}$ (п. 10.4).

11.5 Относительную погрешность по частоте от включения к включению рассчитывают по формуле (6):

$$\Delta f_{\text{вкл-выкл}} = f_2 - f_1 \quad (6)$$

Результаты поверки считать положительными, если значение относительной погрешности по частоте от включения к включению находится в пределах $\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$ (п. 10.5).

11.6 Определение нестабильности (среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения) частоты выходных сигналов 5 и 10 МГц при интервалах времени измерений 1, 10 и 100 с определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если значения нестабильности (среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения) частоты выходных сигналов 5 и 10 МГц не более (п. 10.6):

- при интервале времени измерения 1 с $1,4 \cdot 10^{-11}$;
- при интервале времени измерения 10 с $5,0 \cdot 10^{-12}$;
- при интервале времени измерения 100 с $1,4 \cdot 10^{-12}$.

11.7 Систематическое суточное изменение частоты без синхронизации по сигналам ГНСС при интервале времени наблюдений 1 сутки рассчитывают по формуле (7):

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (8)$$

Относительную погрешность по частоте на межповерочном интервале рассчитывают по формуле (9):

$$\Delta f/f = v \cdot 365 \quad (9)$$

Относительную погрешность по частоте при выпуске определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если (п. 10.7):

- значение систематического суточного изменения частоты без синхронизации по сигналам ГНСС находится в пределах $\pm 2,0 \cdot 10^{-11}$;
- значение относительной погрешности по частоте на межповерочном интервале находится в пределах $\pm 2,0 \cdot 10^{-10}$;
- значение относительной погрешности по частоте при выпуске находится в пределах $\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$.

11.8 Определение ослабления гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц рассчитывают по формуле (11):

$$K_f = U_f - U_{10\text{МГц}} \quad (11)$$

Результаты поверки считать положительными, если ослабление всех гармонических составляющих в спектре выходных сигналов 5 и 10 МГц не менее 30 дБ (п. 10.8).

11.9 Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра на частотах: 10, 100 Гц и 1, 10 кГц определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если полученные значения спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе спектра не превышают:

- при отстройке от несущей частоты 5 МГц
- на частоте 10 Гц минус 100 дБ/Гц,
 - на частоте 100 Гц минус 130 дБ/Гц,
 - на частоте 1 кГц минус 140 дБ/Гц,
 - на частоте 10 кГц минус 145 дБ/Гц;

- при отстройке от несущей частоты 10 МГц
- на частоте 10 Гц минус 95 дБ/Гц,
 - на частоте 100 Гц минус 125 дБ/Гц,
 - на частоте 1 кГц минус 140 дБ/Гц,
 - на частоте 10 кГц минус 145 дБ/Гц, (п. 10.9).

11.10 Определение смещений формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если значения смещений формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS находятся в пределах ± 150 нс (п. 10.10).

11.11 Абсолютную погрешность хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС рассчитывают по формуле (13):

$$\Delta T_{\text{хран}} = \bar{T}_1 - \bar{T} \quad (13)$$

Результаты поверки считать положительными, если значение абсолютной погрешности хранения формируемой шкалы времени за 1 сутки без синхронизации по сигналам ГНСС находится в пределах $\pm 5,0$ мкс (п. 10.11).

11.12. Абсолютную погрешность синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц определяют методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если максимальное по модулю значение абсолютной погрешности синхронизации импульсного сигнала 1 Гц внешним сигналом 1 Гц находится в пределах ± 100 нс (п. 10.12).

11.13 Диапазон измерений длительности импульсов проверяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если результаты измерений длительности импульсов находятся в диапазоне от $8 \cdot 10^{-9}$ до 999,999 999 995 с (п. 10.13).

11.14 Диапазона измерений разности фаз проверяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если значения разности фаз находятся в диапазоне от минус 1000 до 1000 с (п. 10.14).

11.15 Диапазон измерений коэффициента заполнения проверяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если результаты измерений коэффициента заполнения находятся в диапазоне от 0,000 000 000 008 до 0,999 999 999 995 (п. 10.15).

11.16 Диапазон измерений разности частот проверяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если результаты измерений разности частот находятся в диапазоне от 0 до 19 999,999 999 999 МГц (п. 10.16).

11.17 Диапазон измерений отношения частот проверяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если результаты измерений отношения частот находятся в диапазоне от $5 \cdot 10^{-14}$ до $2 \cdot 10^{13}$ (п. 10.17).

11.18 Диапазон измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с проверяют методом прямых измерений.

Результат поверки считать положительными, если результаты измерений количества импульсов при интервалах времени измерения от 100 мс до 2000 с находятся в диапазоне от 1 до $1 \cdot 10^{12}$ (п. 10.18).

11.19 Диапазон измерений количества импульсов проверяют методом прямых измерений. Результат поверки считать положительными, если результаты измерений количества импульсов находятся в диапазоне от 1 до 999 999 999 999 999 (п. 10.19).

11.20 В соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утверждённой приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. № 2360:

– к рабочим эталонам единицы частоты 2 разряда установлены следующие обязательные требования:

– допускаемая относительная погрешность по частоте выходных сигналов (опорного генератора) Δ_{of} находится в пределах от $\pm 1,0 \cdot 10^{-13}$ до $\pm 1,0 \cdot 10^{-11}$.

– к рабочим эталонам единицы времени 3 разряда установлены следующие обязательные требования:

- пределы допускаемых смещений рабочих шкал времени относительно национальной шкалы времени $\Delta T_{UTC(SU)-PШ}$ составляют $\pm 10,0$ мкс;

- пределы допускаемой погрешности хранения формируемой шкалы времени $\Delta T_{хран}$ в автономном режиме за сутки составляют $\pm 100,0$ мкс;

- допускаемая абсолютная погрешность измерения интервалов времени Δt находится в пределах от $\pm 0,5$ нс до $\pm 0,4$ мс.

11.21 ЧЗ-110 соответствует требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам единицы частоты 2 разряда и рабочим эталонам единицы времени 3 разряда, по Государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, если по результатам поверки установлено, что:

– относительная погрешность по частоте в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS при интервале времени измерения 1 сут Δ_{of} находится в пределах $\pm 5,0 \cdot 10^{-12}$;

– смещения формируемой шкалы времени относительно национальной шкалы времени UTC(SU) в режиме синхронизации по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS $\Delta T_{UTC(SU)-PШ}$ находятся в пределах ± 150 нс;

– абсолютная погрешность хранения формируемой шкалы времени за сутки без синхронизации по сигналам ГНСС $\Delta T_{хран}$ находится в пределах ± 5 мкс;

– абсолютная погрешность измерений интервалов времени Δt находится в пределах $\pm 0,1$ нс (систематическая абсолютная погрешность измерений интервалов времени находится в пределах ± 80 пс; СКО случайной погрешности измерений интервалов времени не превышает 20 пс)

12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ


12.1 Сведения о результатах поверки средства измерений передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке, и (или) в формуляр средства измерений вносится запись о проведённой поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки, или выдается извещение о непригодности к применению средства измерений с указанием причины непригодности.

В случае положительных результатов поверки на СИ наносится знак поверки в соответствии с указаниями в описании типа.

12.2 Результаты поверки оформляются в соответствии с приказом Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510.

Начальник отделения ГМЦ ГСВЧ
ФГУП «ВНИИФТРИ»

 В.Н. Федотов

Начальник отдела № 71 – ученый хранитель
государственного эталона ФГУП «ВНИИФТРИ»

 И.Б. Норец

Инженер I категории
лаборатории № 714 ФГУП «ВНИИФТРИ»

 С.А. Семенов