

Державна служба спеціальному зв'язку і захисту інформації України
Адміністрація державної служби спеціального зв'язку і захисту інформації України

Кафедра Метрології, стандартизації і сертифікації

МЕТОДИЧНЕ КЕРІВНИЦТВО

**для виконання практичних і лабораторних занять
Вимірювання частоти і часових інтервалів інформаційних
сигналів.**

Метрологічне забезпечення засобів вимірювання

Одеса - 2012р.

Державна служба спеціальному зв'язку і захисту інформації України
Адміністрація державної служби спеціального зв'язку і захисту інформації України
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

Кафедра Метрології, стандартизації і сертифікації

Вимірювання в системах зв'язку

МЕТОДИЧНЕ КЕРІВНИЦТВО

для виконання практичних і лабораторних занять
Вимірювання частоти і часових інтервалів інформаційних
сигналів.

Метрологічне забезпечення засобів вимірювання

за напрямками

6.050903-телекомунікації
6.050901-радіотехніка

Одеса - 2012 р.

Автори: Козаченко М.Т., Жмурко Ю.В., Козаченко Л.О., Зіангірова Л.Т., Богун В.Д., Серебрін В.Л.

У лабораторних роботах № 7 і № 7а та в індивідуальному завданні з курсу «Вимірювання в системах зв'язку» розглядаються цифрові частотоміри, які виконані на схемах з жорсткою логікою. Аналізуються основні характеристики та режими роботи, які дозволяють мінімізувати похибки вимірювань. Подані індивідуальні завдання для самостійної роботи студентів, а також приклади розв'язання завдань за оцінкою характеристик результатів вимірювань при різноманітних режимах роботи.

Призначено для студентів вищих учбових закладів і видається українською, російською та англійською мовами.

Схвалено
на засіданні кафедри МСС
і рекомендовано до друку
Протокол №5 від 30.01.2012 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
методичною радою
академії зв'язку.
Протокол №16 від 23.03.2012 р.

Зміст

Загальна характеристика дисципліни.....	5
Вступ	8
Загальні відомості	8
Вимірювання частоти інфосигналу цифровим способом	10
Вимірювання інтервалу часу (періоду) інфосигналу.....	15
Вимірювання відношення частот інфосигналів.....	17
Метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки для вимірювання частоти та часових інтервалів.....	20
Лабораторна робота №7. Дослідження частоти і часових інтервалів інформаційного сигналу цифровим способом	24
Лабораторна робота №7а. Метрологічне забезпечення ЗВТ для вимірювання частоти інфосигналів. Вимірювання частот і часових інтервалів інформаційного сигналу.....	30
Індивідуальне завдання. Розрахунок метрологічних характеристик ЕЛЧ.....	38
Додаток А.....	41
Додаток Б.....	43
Додаток В.....	44
Додаток Г.....	54
Література.....	55

1. Загальна характеристика дисципліни

Дисципліна «Вимірювання в системах зв'язку» введена до стандартів навчання і забезпечує базову підготовку бакалаврів за напрямом 6.050903 «Телекомунікації» за спеціальностями: «Телекомунікаційні системи», «Інформаційні мережі зв'язку».

Дисципліна має 2,5 кредиту ECTS, модулів-2, змістовних модулів-4, загальна кількість годин-90, зокрема: лекції - 34 години; лабораторні заняття-18 годин; самостійна робота та індивідуальна робота - 38 годин; семестр 2.3, 2.4; вид контролю - *залік*.

Структура змістовних модулів 1

Змістовний модуль	Лекції (години)	Заняття		Самостійна робота (у тому числі ІНДЗ)	Індивідуальна робота
		прак тичні	лабора торні		
«Вимірювання параметрів інформаційних сигналів у системах зв'язку.»(1,25 кредит; 47 год.)					
1. Основи теорії вимірювань. Об'єкти вимірювань у системах зв'язку.	2	-	-	2	-
2. Часовий та спектральний аналіз інформаційних сигналів.	8	-	4	7	-
3. Вимірювання частоти та часових інтервалів.	8	-	6	10	-
Усього 1 модуль, годин.	18	-	10	19	-

2. Зміст змістовних модулів (лекційних годин)

2.1. Основи теорії вимірювань. Об'єкти вимірювань в системах зв'язку. (2 години)

Загальні положення. Алгоритмізація вимірюваних перетворень. Формалізація способів вимірювання. Аналіз впливу метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки на вимірювання. Аналогові вимірювальні перетворення. Аналого-цифрове перетворення, реалізація аналого-цифрового перетворення.

2.2. Часовий та спектральний аналіз інформаційних сигналів. (8 години.)

Дослідження електричних сигналів. Загальні відомості. Часовий аналіз сигналів. Види осцилографічних розгортки. Синхронізація розгортки. Вимірювання параметрів досліджуваних сигналів. Особливості осцилографування наносекундних імпульсів і сигналів надвисоких частот. Застосування мікропроцесорів у осцилографах. Цифрові осцилографи, що запам'ятовують. Перспективи розвитку засобів вимірювальної техніки для часового аналізу сигналів.

2.3. Вимірювання частоти і часових інтервалів (8 годин)

Методи вимірювання частоти та часових інтервалів. Вимірювання інтервалів часу методом дискретного рахунку. Цифровий спосіб вимірювання частоти. Використання мікропроцесорів у електронно-лічильних частотомірах. Адаптивні електронно-лічильні частотоміри. Метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки для вимірювання частоти. Особливості вимірювання частотно-часових параметрів сигналів цифровими частотомірами на високих частотах.

Таблиця №1 – Список лабораторних робіт модулів 1

№з/п	Тема	години
1	Лабораторна робота № 1 Вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою осцилографа	2
2	Лабораторна робота № 2 Калібрування універсальних осцилографів	2
3	Лабораторна робота № 7 Дослідження частоти і часових інтервалів інформаційного сигналу цифровим способом.	4
4	Лабораторна робота № 7а. Метрологічне забезпечення ЗВТ для вимірювання частоти інфосигналів. Вимірювання частот і часових інтервалів інформаційного сигналу.	2
Усього:		10

Вхідні вимоги до вивчення лабораторної роботи:

Необхідно знати:

- Вищу математику: векторну алгебру та аналітичну геометрію, матаналіз, диференціальне та інтегральне числення, теорію узагальнених функцій і дискретну математику; теорію вірогідності та математичну статистику; цифрову обробку сигналів (ЦОС).

- Фізику: теорію електромагнетизму; коливання і хвилі; теорію інтерференції; фізику твердого тіла, теорію напівпровідників, напівпровідникові пристрої та їх особливості.

- Методи вимірювання частотно-часових параметрів сигналу: аналогові методи вимірювання частоти; цифрові способи вимірювання частоти та часових інтервалів електричних сигналів.

- Цифрові частотоміри. Структурна схема і принципи роботи. Цифровий спосіб вимірювання частоти. Цифровий спосіб вимірювання часових інтервалів і відношення частот. Похибки вимірювання частоти і часових інтервалів. Вибір параметрів цифрових частотомірів для різних режимів роботи.

Уміти:

- Використовувати диференціювання, інтегрування при оцінці параметрів сигналів і оцінювати похибки результатів вимірювання за допомогою рядів.

Використовувати теорію вірогідності при статистичній обробці результатів вимірювання.

- Складати стандартні схеми та рівняння вимірювань, користуючись метрологічними правилами, що діють, нормами, термінами та визначеннями, одиницями системи SI, використовувати наукові принципи, атестовані методики та засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)

- Використовувати цифрові частотоміри-періодоміри: вибирати оптимальні режими роботи, розраховувати межі допустимих похибок цифрових вимірювань і цифрових ЗВТ.

Вихідні знання та уміння з лабораторної та практичної роботи:

В результаті виконання лабораторної роботи студент повинен:

- **Знати:** цифровий спосіб вимірювання частоти; цифровий спосіб вимірювання часових інтервалів і відношення частот; похибки вимірювання частоти і часових інтервалів; як проводиться вибір параметрів цифрових частотомірів для різних режимів роботи; методи аналізу форми та спектра електричних сигналів; основи візуалізації процесів. Простий осцилограф, структурну схему, процеси, органи управління; оцінку похибки результатів осцилографічних вимірювань; як використовувати осцилограф для дослідження форми сигналів. Види розгортки осцилографа та їх синхронізацію. Вимірювання енергетичних і часових параметрів процесів.

- **Уміти:** користуватися експлуатаційною документацією на ЗВТ, аналізувати структурні та функціональні схеми ЗВТ, представляти форми електричних процесів, визначати застосовані принципи та методи вимірювання, вибирати оптимальні режими роботи. Використовувати електронний осцилограф для дослідження форми та вимірювання енергетичних і часових параметрів електричних процесів.

Вступ

Метою даного методичного керівництва є залучення студентів до знань про основні положення державних стандартів, які забезпечують єдність вимірювань, методи та прийоми перевірки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), використовуваних для вимірювання частоти та часових інтервалів інфосигналів.

Методичне керівництво містить короткі відомості про цифрові способи вимірювання частоти та часових інтервалів. Тут також подані основні відомості з метрологічного забезпечення вказаних ЗВТ.

Керівництво містить методичні вказівки до двох лабораторних робіт, а також індивідуальні завдання для студентів. Підготовку до друку методичного керівництва англійською мовою для студентів «Технічної еліти» здійснювали доцент Селіванов П.П. та викладач Жмурко Ю.В.

У додатках подані відомості про метрологічні характеристики ЗВТ, використовуваних у лабораторних роботах і при вирішенні практичних завдань.

Загальні відомості

Вимірювання частоти та часових інтервалів, що є параметрами змінної напруги електричного сигналу, у тому числі й інформаційного, - один з видів вимірювань, які найчастіше зустрічаються.

Це пояснюється, в першу чергу, дуже високою точністю частотовимірювальних приладів, недосяжною для інших ЗВТ. Крім того, в пристроях зв'язку їх частотна характеристика - це характеристика, від якої багато в чому залежить неспотворена передача інформації.

Не менш важливим є контроль за стабільністю частоти, наприклад, в приймально-передавальних пристроях. Оскільки частота зв'язана із швидкістю зміни фази напруги сигналу, то, очевидно, контроль частоти необхідний і для обліку фазових спотворень, особливо на дуже високих частотах.

І, нарешті, перевірка, атестація та калібрування інших ЗВТ відбувається в певних точках частотного діапазону, що викликає необхідність у ході проведення вказаних операцій точно вимірювати частоту.

Діапазон частот, використовуваних у техніці зв'язку, простягається від доль герц до десятків гігагерц. Якщо виключити промислову частоту струму, то весь спектр умовно можна розділити на п'ять діапазонів: інфразвукові частоти - нижче 20 Гц, звукові частоти - від 20 Гц до 20 кГц, високі частоти - від 20 кГц до 30 МГц, ультрависокі частоти - від 30 до 300 МГц і надвисокі частоти - вище 300 МГц. Верхня межа використовуваних частот у процесі розвитку науки і техніки безперервно підвищується і в даний час перевищує 300 ГГц.

Частоту електромагнітних коливань зручно виражати через довжину плоскої хвилі у вільному просторі λ та період T .

Ці величини зв'язані між собою простими залежностями:

$$f = c/\lambda, \quad f = 1/T, \quad (1)$$

де f – частота, Гц;

c – швидкість розповсюдження електромагнітних коливань, м/с;

λ – довжина хвилі, м;

T – період коливання, параметр періодичного сигналу, який характеризує інтервал часу, через який повторюються його миттєві значення, с.

Швидкість розповсюдження електромагнітних коливань залежить від параметрів середовища, в якому вони розповсюджуються:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_a \cdot \epsilon_a}},$$

де μ_a – абсолютна магнітна проникність;

$\mu_a = \mu_0 \mu$;

ϵ_a – абсолютна діелектрична проникність; $\epsilon_a = \epsilon_0 \cdot \epsilon$;

Для вакууму $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\epsilon_0 = 8,852 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, тоді $c_0 = (299792,5 \pm 0,3)$ км/с.

Тут μ і ϵ відносна магнітна і діелектрична проникність середовища, відповідно.

Наприклад, швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у кабелях зв'язку залежить від μ_a і ϵ_a вживаного в ньому діелектрика.

Для характеристики електричних коливань можна вимірювати частоту f , період T або довжину плоскої хвилі у вільному просторі λ . У техніці зв'язку майже завжди вимірюється частота, рідше – період коливання, і лише на надвисоких частотах вимірюються і частота і довжина хвилі. Найчастіше вимірюють середню частоту за час лічби:

$$f = N / T_{\text{ліч}}, \quad (2)$$

де N – число періодів коливання,

$T_{\text{ліч}}$ – час лічби (час вимірювання).

Вимірюванням частоти користуються при градуванні шкал вимірювальних генераторів радіоприймальних і радіопередавальних пристроїв з плавним перестроюванням частоти діапазону; визначенні резонансних частот коливальних контурів і різних резонаторів; визначенні смуги пропускання фільтрів і чотириполісників; вимірюванні або контролі величини відхилення частоти від її номінального значення, властивого даному пристрою, – радіостанції, генераторному устаткуванню системи ущільнення і таке інше. Широке застосування безпошукового і ненастроюваного радіозв'язку, багатоканального високочастотного ущільнення, супутникового, а також мобільного зв'язку виявилось можливим у результаті розвитку методів точного вимірювання частоти.

В цілому, похибка вимірювання частоти задається в абсолютних Δf , або, частіше, у відносних величинах $\Delta f/f$. Допустима величина похибки визначається нестабільністю вимірюваної частоти і повинна бути менше неї, принаймні, в 5 разів. Наприклад, якщо відносна нестабільність частоти радіостанції рівна 10^{-5} , то відносна похибка вимірювання не повинна перевищувати $2 \cdot 10^{-6}$. Прилад, який

забезпечує потрібну точність вимірювань, повинен повірятися за допомогою ще точнішого пристрою, похибка якого в даному випадку не повинна перевищувати $4 \cdot 10^{-7}$. Похибка вимірювань низьких частот, звичайно, припускається значно більше – (1 ... 2)%, за винятком частот, вживаних у тональній телеграфії та передачі даних.

Для вимірювання частоти використовують ЗВТ, які класифікуються таким чином:

Ч1 – стандарти частоти та часу;

Ч2 – частотоміри резонансні;

Ч3 – частотоміри електронно-лічильні;

Ч4 – частотоміри гетеродинні, ємнісні та мостові;

Ч5 – синхронізатори частоти та перетворювачі частоти сигналу;

Ч6 – синтезатори частоти, подільники та помножувачі частоти;

Ч7 – приймачі сигналів еталонних частот і сигналів часу, компаратори частотні (фазові, часові) та синхронметри;

У вимірювальних приладах частоти, як правило, використовують високостабільні кварцові генератори як еталонну міру, для яких розрізняють короткочасну та довготривалу нестабільність. Короткочасна нестабільність таких генераторів обумовлена тепловими шумами кварцового резонатора та елементів генератора і дробовим шумом транзисторів. Крім того, на короткочасну нестабільність впливають нестабільність живлячої напруги та вібрації.

Довготривала нестабільність визначається, головним чином, старінням кварцового резонатора та зміною його механічних властивостей під дією дестабілізуючих чинників: вологості, тиску, вібрації та радіаційного опромінювання. Для зменшення дестабілізуючої дії вологості та тиску кварцовий резонатор розміщують у вакуумному балоні. Характерні граничні значення відносної похибки відтворення частоти, обумовлені довгостроковою нестабільністю, складають від 10^{-8} за добу до $5 \cdot 10^{-7}$ за рік експлуатації, а в деяких приладах ще менше.

Вимірювання частоти інфосигналу цифровим способом

В даний час цифровий спосіб набув найбільшого поширення. На його основі побудована велика частина частотомірів, які випускаються промисловістю. Як правило, в цифровому частотомірі передбачена можливість вимірювання не тільки частоти, але і періоду повторення і часових інтервалів. Деякі прилади можуть вимірювати й інші параметри сигналів і кіл, заздалегідь перетворивши їх у часовий інтервал або в частоту. Таким чином, цифрові частотоміри є хорошою основою для побудови багатофункціональних приладів. Зокрема, цифровим електронно-лічильним частотоміром (ЕЛЧ) можна вимірювати частоту, період сигналу, відношення, різницю, суму частот тощо.

В основу роботи цифрових частотомірів покладений принцип дискретної лічби: підрахунок кількості імпульсів за певний проміжок часу, який має багато переваг. До них відносяться: широкий діапазон вимірювань, висока точність і завадостійкість, можливість видачі результатів вимірювання на друк і таке інше.

Вимірювання частоти здійснюється прямим порівнянням частоти досліджуваного сигналу f_c із значенням зразкової частоти $f_{\text{зразк}}$, створеною кварцовим генератором, у якості міри. Найбільш оптимальним в плані зменшення похибки результату вимірювання цей режим буде за умови, якщо вимірювана частота у багато разів перевищує частоту зразкового сигналу.

У цьому режимі періодичний сигнал з частотою f_c подається на частотний вхід 1 (рис. 1). Після вхідного пристрою (1) досліджуваний сигнал поступає через комутатор (2) (ключ комутатора знаходиться в положенні 1) на перетворювач аналогового сигналу в дискретний (3). Тут досліджуваний сигнал (наприклад, синусоїдальний) перетвориться в періодичну послідовність коротких імпульсів (рис. 2). Окремі імпульси цієї послідовності можуть бути сформовані в моменти переходу синусоїдального сигналу через нульовий рівень з похідною того ж знаку. Таким чином, частота проходження цих імпульсів співпадає з частотою f_c вимірюваного сигналу. Далі ця послідовність імпульсів поступає на один із входів часового селектора (4). На інший вхід часового селектора подається, так званий, стробуючий імпульс. Формування стробуючого імпульсу відбувається в управляючому каналі, в якому напруга зразкової частоти, яка генерується кварцовим генератором, подається через комутатор (8) (ключ комутатора знаходиться в положенні 1) через блок ділення частоти (9) на формувач (10).

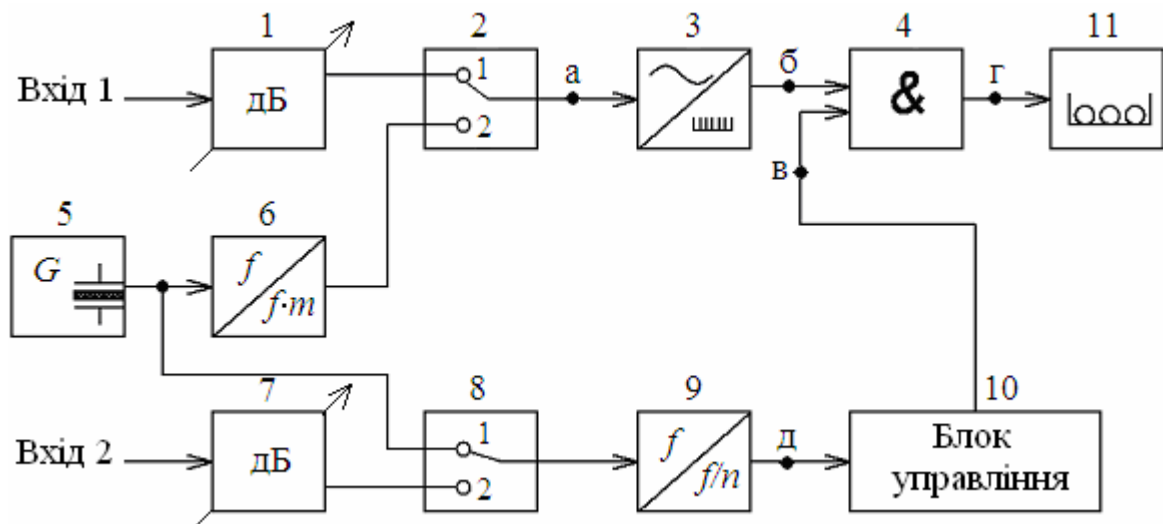


Рисунок 1 – Структурна схема ЕЛЧ

На рис. 2 подані епюри напруги ЕЛЧ, які наочно показують суть цифрового способу, який зводиться до підрахунку числа імпульсів N , які поступають на рахунковий блок (11) за час, що дорівнює $T_{\text{ліч}}$, названий «ЧАС ВИМІРЮВАННЯ» або «ЧАС ЛІЧБИ».

Тобто:

$$N = \frac{T_{\text{ліч}}}{T_{\text{сд}}} = T_{\text{ліч}} \cdot f_{\text{сд}}, \quad (3)$$

де $f_{\text{сд}}$ – дійсне значення вимірюваної частоти.

Таким чином, частота досліджуваного сигналу визначається виразом:

$$f_{\text{сд}} = \frac{N}{T_{\text{ліч}}}, \quad (4)$$

де $T_{\text{ліч}} = T_{\text{кв}}$.

При вимірюванні в рахунковий блок поступить $(N \pm 1)$ імпульс за рахунок дискретизації, тоді

$$f_{\text{н\`а\`єі}} = \frac{N \pm 1}{T_{\text{єз\`э}}}, \quad (5)$$

де $T_{\text{ліч}} = nT_{\text{кв}}$;

$T_{\text{кв}}$ – період коливань кварцового генератора;

n – коефіцієнт ділення частоти (блок 9).

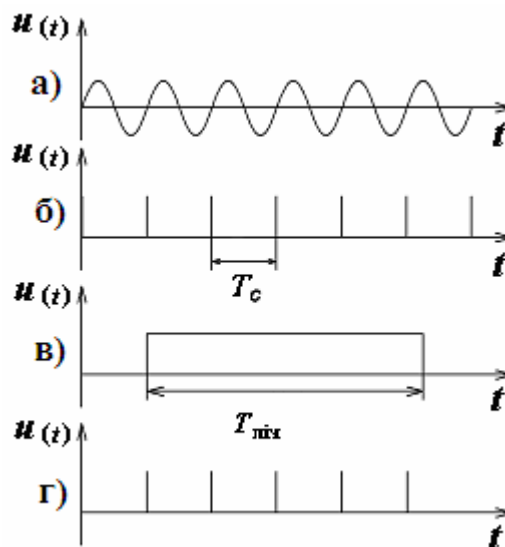


Рисунок 2 – Епюри напруги в режимі вимірювання частоти

При вимірюванні частоти за допомогою ЕЛЧ мають місце дві похибки: міри (за рахунок нестабільності частоти кварцового генератора) та порівняння (за рахунок дискретизації).

У сучасних цифрових частотомірах застосовуються кварцові генератори з відносною нестабільністю частоти порядку $\pm 10^{-10} \dots 10^{-12}$. Похибка порівняння визначається, головним чином, похибкою дискретності, тобто обумовлена тим, що фронт і спад керуючого(стробуючого) імпульсу, не синхронізовані з моментами появи імпульсів періодичної послідовності, сформованої з досліджуваного сигналу або, іншими словами, ця похибка пов'язана з не кратністю періодів вимірюваного сигналу та зразкового.

Максимальне значення абсолютної похибки дискретності Δ_N :

$$\Delta_N = f_{\text{н\`а\`єі}} - f_{\text{н\`а}} = \frac{N \pm 1}{T_{\text{єз\`э}}} - \frac{N}{T_{\text{єз\`э}}} = \pm \frac{1}{T_{\text{єз\`э}}}. \quad (6)$$

Вона не залежить від частоти досліджуваного сигналу і виражається в Гц. Зменшити значення абсолютної похибки можна за рахунок збільшення часу вимірювання $T_{\text{ліч}}$. Мінімальне значення Δ_N може бути отримане при $T_{\text{ліч.розрах}}$, обумовленому обмеженням на рахунковий блок ЕЛЧ, тобто

$$N = 10^q - 1, \quad (7)$$

де q – число розрядів ЕЛЧ.
Тоді, з урахуванням (4)

$$T_{\text{розрах}} = (10^q - 1)/f_{\text{сд}}. \quad (8)$$

Максимальне значення відносної похибки дискретності визначається виразом

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{f_{\text{сд}}} = \pm \frac{\left(\frac{1}{T_{\text{ліч}}}\right)}{\left(\frac{N}{T_{\text{ліч}}}\right)} = \pm \frac{1}{N}, \quad (9)$$

де N – число імпульсів, що поступили в рахунковий блок ЕЛЧ.
Сумарна похибка вимірювання частоти

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2}, \quad (10)$$

де $\delta_{\text{кг}}$ – складова похибки, внесена мірою (кварцовим генератором).

Положення децимальної крапки в результаті вимірювання визначається ступенем ряду чисел, які виражають час вимірювання $T_{\text{ліч}}$ у мілісекундах, звідки слідує одиниця вимірювання частоти «кГц», що і вказане на дисплеї частотоміра. Цей ряд чисел виглядає так: $T_{\text{ліч}} = (10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4)$ мс.

Після обчислення $T_{\text{ліч розрах}}$ вибирають із вказаного ряду $T_{\text{ліч}}$, дотримуючись наступних умов:

- якщо $T_{\text{ліч розрах}} \geq 10^4$ мс, то вибирають $T_{\text{ліч}} = 10^4$ мс;
- якщо 10^4 мс $> T_{\text{ліч розрах}} > 10^3$ мс, то вибирають $T_{\text{ліч}} = 10^3$ мс і так далі.

Результат на дисплеї ЕЛЧ, як указувалося, подається в кГц.

Приклад. Частота досліджуваного сигналу дорівнює 650 кГц. Вимірювання проводиться ЕЛЧ типу ЧЗ-57. Його основні метрологічні характеристики (МХ):

- діапазон вимірювання частоти 0,1 Гц ÷ 100 МГц;
- діапазон вимірювання періоду 1 мкс ÷ 10^4 мс;
- час лічби 10^0 ÷ 10^4 мс;
- множник періоду 10^0 ÷ 10^4 ;
- мітки часу 0,1 мкс; 1 мкс; 0,01 мс; 0,1 мс; 1 мс;
- число розрядів – 7.

Необхідно визначити: $T_{\text{ліч}}$, Δ_N і δ_N і записати результат вимірювання.

Розв'язання.

Визначаємо:

$$T_{\text{ліч розрах}} = \frac{10^9 - 1}{f} = \frac{10^7 - 1}{650 \cdot 10^3} \approx 15 \text{ с} \approx 1,5 \cdot 10^4 \text{ мс}.$$

З урахуванням вищезгаданих рекомендацій вибираємо $T_{\text{ліч}} = 10^4 \text{ мс} = 10 \text{ с}$.

Абсолютна похибка:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{10} = \pm 0,1 \text{ Гц}.$$

Відносна похибка дискретності:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{f_{\text{н}} \cdot T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{650 \cdot 10^3 \cdot 10} \approx 1,5 \cdot 10^{-7}.$$

Тут f_c – в Гц; $T_{\text{ліч}}$ – в сек.

Результат на дисплеї: 650,0000 кГц.

При вимірюванні низьких частот похибка дискретності є визначальною в складі похибки вимірювання. Наприклад, якщо вимірюється частота $f_c = 5 \text{ Гц}$ при $T_{\text{ліч}} = 1 \text{ с}$, максимальне значення абсолютної похибки дискретності $\Delta_N = \pm 1 \text{ Гц}$, а максимальне значення відносної похибки складе $\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{5}$, тобто 20%, що неприпустимо велике.

Таким чином, із-за великої похибки дискретності низькі частоти безпосередньо вимірюються цифровим частотоміром з невисокою точністю. Тому знаходження способу зменшення впливу похибки дискретності на результат вимірювання завжди представляло один з важливих напрямів розробки цифрової частотовимірювальної техніки.

Перший спосіб очевидний: він зводиться до збільшення тривалості «часових воріт», тобто тривалості часу вимірювання. Але можливості такого способу обмежені, оскільки в звичайних цифрових частотомірах (які не містять мікропроцесори) максимально можлива тривалість часу вимірювання $T_{\text{ліч}} = 10 \text{ с}$.

Другий спосіб зводиться до збільшення числа імпульсів, які заповнюють «часові ворота», що досягається множенням частоти досліджуваного сигналу. При цьому максимальна абсолютна похибка не змінюється (якщо незмінна тривалість «часових воріт»), але зменшується відносна похибка (у число разів множення). Здійснення даного способу пов'язане із застосуванням додаткового блоку - помножувача частоти, що ускладнює і здорожує апаратуру.

Третій спосіб, який враховує випадкову природу похибки дискретності, припускає проведення багатократних спостережень (одиничних вимірювань) і усереднювання їх результатів. Це ефективний шлях зменшення впливу випадкової похибки на результат вимірювання.

Четвертий спосіб полягає в безпосередньому вимірюванні періоду досліджуваного сигналу з подальшим обчисленням числового значення частоти ($f_c = 1/T_c$), зворотнього результату вимірювання періоду. Цей шлях дозволяє різко зменшити похибку дискретності при вимірюванні низьких частот.

Вимірювання інтервалу часу (періоду) інфосигналу

У даному режимі відбувається порівняння вимірюваного періоду досліджуваного сигналу T_c із зразковим інтервалом часу. При цьому сигнал подається на вхід 2 ЕЛЧ (рис. 1, ключ в положенні 2) і, далі, після відповідного перетворення в блоках (7), (8) і (9) через блок управління (10) подається на другий вхід селектора (4). У блоці (10) з досліджуваного сигналу формується прямокутний стробуючий імпульс, тривалість якого співпадає з періодом сигналу або кратна йому.

Напруга зразкової частоти від кварцового генератора (5) через помножувач частоти (6), комутатор (2) (положення ключа комутатора - «2»), перетворювач (3) і далі подається на перший вхід часового селектора.

Епюри напруги, що пояснюють роботу ЕЛЧ в режимі вимірювання періоду, подані на рис. 3. З них видно, що період досліджуваного сигналу визначається виразом:

$$T_{cd} = \frac{N \cdot T_m}{n},$$

де T_m – період зразкового сигналу (мітки часу);
 N – число міток, ЕЛЧ, які поступили в рахунковий блок;
 n – множник періоду (для даного випадку $n = 1$).

Час лічби визначається виразом:

$$T_{ліч} = n \cdot T_{cd} = N \cdot T_m \quad (11)$$

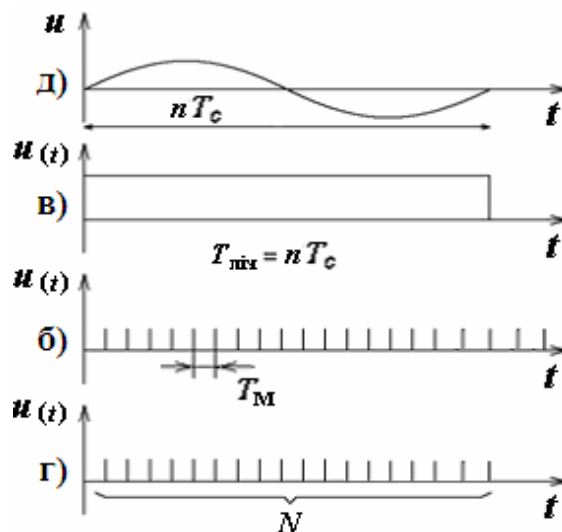


Рисунок 3 – Епюри напруг в режимі вимірювання періоду

Результат на дисплеї ЕЛЧ, як правило, виражається в одиницях вимірювання вибраної «мітки часу» (мс або мкс).

Положення децимальної крапки при цьому залежить і від значення множника періоду, і від числового значення періоду часової мітки.

Похибка вимірювання періоду T_{cd} складається з трьох складових: похибки міри, перетворення та порівняння. Похибка міри обумовлена відносною нестабільністю частоти кварцового генератора $\delta_{кг} = 5 \cdot (10^{-8} \div 10^{-12})$. Похибка перетворення $\delta_{пер}$ обумовлена, головним чином, відношенням напруги сигналу та перешкоди, що впливає на формування імпульсу, що управляє, і визначається з виразу (формула Сімпсона):

$$\delta_{i\ddot{a}\ddot{o}} = \frac{1}{\pi \cdot n} \cdot \frac{U_{\xi}}{U_{\tilde{N}}}, \quad (12)$$

де n – число зміряних періодів сигналу;

U_{ξ} – середньоквадратичне значення напруги завади;

U_C – середньоквадратичне значення напруги сигналу.

Якщо $20 \lg \frac{U_{\xi}}{U_{\tilde{N}}} = -40$ дБ і $n = 1$, тоді $\delta_{пер} \approx 0,3\%$, якщо $n = 100$, тоді

$$\delta_{пер} = 0,003\%.$$

Похибка порівняння обумовлена похибкою дискретності.

Абсолютна та відносна похибки, відповідно

$$\Delta_N = T_{c\hat{a}\hat{i}} - T_{c\ddot{a}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_i}{n} - \frac{N \cdot T_i}{n} = \pm \frac{T_i}{n}, \quad (13)$$

$$\delta_N = \pm \frac{\Delta_N}{T_{cd}} = \pm \frac{\frac{T_m}{n}}{N \cdot T_m} = \pm \frac{1}{N}. \quad (14)$$

Сумарна відносна похибка визначається за формулою:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\hat{a}\hat{i}}^2 + \delta_{i\ddot{a}\ddot{o}}^2 + \delta_N^2}.$$

Для вибору оптимального режиму роботи з погляду мінімізації похибки розглянемо наступний приклад.

Приклад. Необхідно вимірювати сигнал частотою $f_c = 100$ Гц, ($T_c = 10^{-2}$ с), тим же частотоміром.

Визначити: Δ_N , δ_N , вибрати n , T_m і записати результат вимірювань.

Розв'язання.

Вибираємо період мітки (як правило, мінімальне значення)

$$T_m = 0,1 \text{ мкс} = 10^{-7} \text{ с}.$$

З урахуванням обмеження на рахунковий блок величина множника n періоду сигналу:

$$n = \frac{N \cdot T_m}{T_c} = \frac{(10^7 - 1)10^{-7}}{10^{-2}} = 10^2 - 10^{-5} < 10^2.$$

Оскільки $10 < n < 10^2$, значення множника періоду беремо $n = 10$.
Записуємо результат вимірювання періоду на дисплеї: 10000,00 мкс.

Абсолютна похибка

$$\Delta_N = \pm \frac{T_m}{n} = \pm \frac{10^{-7}}{10} = \pm 10^{-8} \text{ с.}$$

Відносна похибка

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{де } N = \frac{n \cdot T_c}{T_m} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{10^{-7}} = 10^6,$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{10^6} = \pm 10^{-6}.$$

Вимірювання відношення частот інфосигналів

У режимі «ВІДНОШЕННЯ ЧАСТОТ» напруга вищої частоти, подається на вхід «1» (положення ключа на комутаторі «1» рис. 1). У каналі ця напруга перетвориться в послідовність коротких імпульсів з частотою проходження, рівною f_{c1} . Ці імпульси поступають на перший вхід часового селектора, на його другий вхід поступає управляючий імпульс, тривалістю T_{c2} . Формування цього імпульсу, відбувається в каналі 2 з сигналу з нижчою частотою f_{c2} , поданого на вхід 2. Зміна коефіцієнта ділення частоти в блоці 9 дозволяє збільшити час вимірювання, що, в результаті, збільшує інтегруючу здатність ЕЛЧ.

На рис. 4. ілюструється робота ЕЛЧ в режимі вимірювання відношення частот f_{c1}/f_{c2} .

З рисунка видно, що $N \cdot T_{c1} = n \cdot T_{c2}$ звідки

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_d = \frac{N}{n}; \tag{15}$$

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_{\text{âèì}} = \frac{N \pm 1}{n};$$

час лічби:

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_{c2} = N \cdot T_{c1} . \quad (16)$$

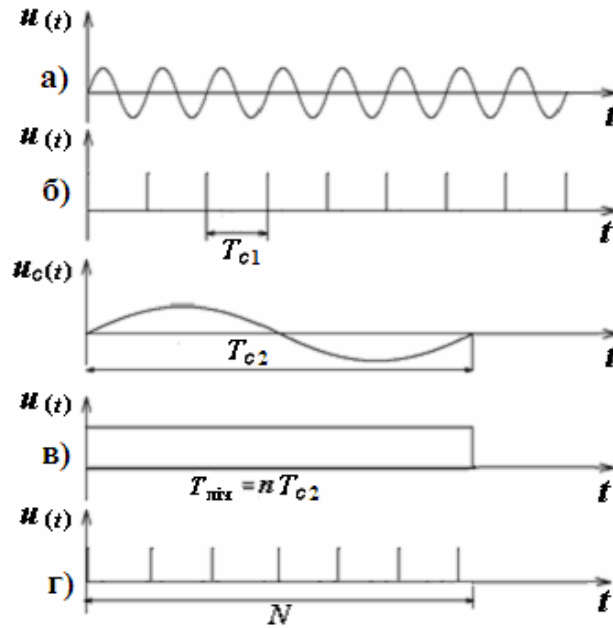


Рисунок 4 – Епюри напруг у режимі вимірювання відношення частот

Похибка вимірювання відношення частот f_{c1}/f_{c2} складається з двох складових: похибки перетворення ($\delta_{\text{пер}}$) і порівняння (δ_N)

$$\delta_{\text{іаб}} = \frac{1}{\pi n} \frac{U_{c2}}{U_{\zeta}} \quad (17)$$

де n – множник періоду,

U_{c2} – напруга сигналу, поданого на вхід 2,

U_{ζ} – напруга завади.

Абсолютна похибка дискретності:

$$\Delta_N = \left(\frac{T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}} \right)_{\text{âèì}} - \left(\frac{T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}} \right)_{\text{ä}} = \frac{N \pm 1}{n} - \frac{N}{n} = \pm \frac{1}{n} . \quad (18)$$

Відносна похибка дискретності:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{\left(\frac{T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}} \right)_{\text{ä}}} = \pm \frac{1}{N} , \quad (19)$$

де $N = \frac{n \cdot T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}}$.

Сумарна похибка визначається виразом:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{ia}\delta}^2 + \delta_N^2}. \quad (20)$$

Положення десятичної крапки визначається ступенем ряду чисел, що виражають множник періоду n ($n = 10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4$).

Розглянемо приклад вимірювання відношення частот з тих же позицій, що і раніше, тобто, мінімізації похибки.

Приклад. Необхідно виміряти відношення частот 2,1 МГц / 3 кГц частотоміром ЧЗ-57.

Розв'язання.

Записуємо згідно (16) рівність:

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_{c2} = N \cdot T_{c1},$$

$$\text{де } T_{c2} = 1/f_{c2} = \frac{1}{3 \cdot 10^3} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$\text{аналогічно } T_{c1} = \frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6} \text{ с};$$

$$\text{тоді } n \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = (10^7 - 1) \cdot \frac{10^{-6}}{2,1},$$

$$\text{звідки } n = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot 3}{2,1 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^4 \cdot 3}{2,1} - \frac{10^{-3} \cdot 3}{2,1} \approx 1,4 \cdot 10^4.$$

Беремо $n = 10^4$:

$$T_{\text{взр}} = n \cdot T_{\text{н2}} = 10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = 3,33 \text{ мс}.$$

Визначаємо абсолютну похибку дискретності: $\Delta_N = \pm \frac{1}{n} = \pm 10^{-4}$.

Обчислюємо відносну похибку: $\delta_N = \pm \frac{1}{N}$,

$$\text{де } N = \frac{n \cdot T_{c2}}{T_{c1}} = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6,$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{7 \cdot 10^6} = \pm 0,143 \cdot 10^{-6}.$$

Результат на табло: 700,0000.

Метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки для вимірювання частоти та часових інтервалів

Єдина національна система зв'язку України (ЄНСЗУ), а також її інтеграція у всесвітню мережу зв'язку обумовлюють особливості стандартизації галузі зв'язку, її гармонійної адаптації в міждержавні, міжнародні, регіональні і національні системи стандартизації.

Одним з основних завдань стандартизації є забезпечення єдності вимірювань. Вирішується це завдання шляхом відповідного метрологічного забезпечення (МЗ) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) частоти, яке полягає у випробуванні, повірці і калібруванні цих ЗВТ.

Розробка, виробництво та експлуатація частотовимірювальних приладів вимагають відповідного метрологічного забезпечення. При цьому здійснюється цілий комплекс науково-технічних і організаційних заходів, направлених на підтримку єдності та необхідної точності частотних вимірювань у всіх галузях народного господарства.

З числа технічних заходів особливо слід відзначити повірку приладів, тому що вона вимагає наявності великої кількості вимірювальної апаратури і, в першу чергу, частотовимірювальної. Досить сказати, що для проведення перевірки стандарту частоти кварцового генератора потрібні: рубідієвий стандарт частоти, компаратор частотний, ЕЛЧ, мікровольтметр селективний, аналізатор спектра.

З точки зору повірочних робіт всі види частотовимірювальної апаратури можна розділити на дві групи: прилади, які вимірюють частоту, і прилади, які виробляють високостабільні електромагнітні коливання.

Прилади першої групи повіряються шляхом подачі на їх вхід високостабільних за частотою електромагнітних коливань і визначення похибки вимірювання. Похибка установки зразкової частоти та її нестабільність повинні бути, принаймні, в 3 рази менше похибки вимірювання приладу, який повіряють. Тому для перевірки частотомірів застосовуються відповідні стандарти частоти, синтезатори, помножувачі частот. Похибка вимірювання частотоміра визначається в точках частотного діапазону, які регламентовані нормативно-технічною документацією (ГОСТ, інструкціями, методичними вказівками з перевірки приладів). Як правило, повірка проводиться на початку, в середині і в кінці частотного діапазону приладу.

Частотовимірювальні прилади другої групи повіряються шляхом порівняння частоти вироблених ними електромагнітних коливань із зразковою частотою приладу, який має метрологічні характеристики, в 3 рази кращі. Для перевірки таких приладів застосовуються стандарти частоти, сигнали зразкових частот, що передаються по радіо, приймачами, осцилографами.

З найвищою точністю частоту і час відтворюють за допомогою високо стабільних молекулярних генераторів.

Випробування. Випробування ЗВТ проводяться спеціалізованими організаціями, акредитованими як державні центри випробувань ЗВТ. Випробування зразків ЗВТ проводяться у встановленому порядку Держпотребстандартом. Випробування ЗВТ з метою затвердження їх типу

проводять за затвердженою програмою, яка повинна містити наступні розділи: розгляд технічної документації; експериментальне дослідження ЗВТ; оформлення результатів випробувань.

Докладні вимоги до програм викладені в рекомендаціях міжнародних метрологічних органів. В ході випробувань повинні бути перевірені відповідність документації і характеристик ЗВТ технічним умовам і нормативним документам (НД), які розповсюджуються на них, включаючи методики повірки.

Відповідність ЗВТ затвердженому типу контролюється органами Державної метрологічної служби (ДМС) за місцем розташування користувачів.

Повірка ЗВТ - це встановлення органом ДМС (іншими уповноваженими на те організаціями) придатності ЗВТ до застосування на підставі експериментального певних МХ і підтвердження їх відповідності встановленим обов'язковим вимогам.

Перелік груп ЗВТ, що підлягають повірці, затверджуються Держстандартом. Повірка проводиться відповідно до НД, що затверджується за наслідками випробувань.

Результатом повірки є підтвердження придатності ЗВТ до застосування. В цьому випадку на нього та (або) технічну документацію наноситься відтиск повірительного клейма та (або) видається «Свідоцтво про повірку». Повірительне клеймо - знак встановленої форми, що наноситься на ЗВТ, визнані в результаті їх повірки придатними до застосування. Якщо ЗВТ визнані непридатними до використання, то в цьому випадку відтиск повірительного клейма і (або) «Свідоцтво про перевірку» анулюються і випикується «Свідоцтво про непридатність». Форма клейма і свідоцтва про повірку, порядок нанесення повіряемого клейма встановлюються Держстандартом.

ЗВТ піддаються первинній, періодичній, позачерговій, інспекційній і експертній повірці.

Первинна повірка проводиться при випуску ЗВТ з виробництва або після ремонту, а також при ввезенні ЗВТ через кордон партіями. Такій повірці піддається, як правило, кожен екземпляр ЗВТ.

Періодична повірка проводиться через встановлені інтервали часу (міжповірочні інтервали). Їй підлягають ЗВТ, що знаходяться в експлуатації або на зберіганні. Конкретні переліки ЗВТ, що підлягають повірці, встановлюють їх власники - юридичні та фізичні особи. Органи ДМС при нагляді за дотриманням метрологічних норм і правил перевіряють правильність складання цих переліків. Періодичну повірку повинен проходити кожен екземпляр ЗВТ. Виняток можуть становити ЗВТ, що знаходяться на тривалому зберіганні. Результати такої повірки дійсні протягом міжповірочного інтервалу. Перший інтервал встановлюється при затвердженні типу ЗВТ, наступні визначаються на основі різних критеріїв.

Позачергова повірка ЗВТ проводиться до настання терміну їх періодичної повірки у випадках: пошкодження знака повірительного клейма, а також при втраті свідоцтва про повірку; введення в експлуатацію ЗВТ після тривалого зберігання (більш за один міжповірочний інтервал); проведення повторної настройки, а також, якщо відомо або є припущення про ударну (механічну) дію на ЗВТ або про незадовільну його роботу.

Інспекційна повірка проводиться органами МС при здійсненні державного нагляду або відомчого контролю за станом і застосуванням ЗВТ. Її допускається

проводити не в повному об'ємі, передбаченому методикою повірки. Результати інспекційної повірки відбиваються в акті перевірки.

Експертна повірка проводиться при виникненні спірних питань по МХ, справності ЗВТ і придатності їх до використання. Її проводять органи ДМС на письмову вимогу зацікавлених осіб.

Порядок представлення ЗВТ на повірку визначається Держстандартом. Повірка проводиться відповідно до встановлених методик і включає наступне:

- встановлення періодичності робіт (визначення міжповірочних інтервалів) відповідно до ISO 10012;
- розробку і документування методик проведення робіт згідно інструкції РД 50-660-88;
- ведення відповідних протоколів, що відображають результати проведених робіт;
- організацію зберігання та використання документації з повірки ЗВТ.

Основною МХ, яка визначається при повірці, є похибка. Вона визначається на підставі порівняння показів ЗВТ, яка повіряється і більш точнішого робочого еталону.

Заходи можуть бути повірені:

- звіркою (методами зіставлення або заміщення) з точнішою мірою за допомогою компаратора. Загальним для цих методів повірки ЗВТ є отримання сигналу про наявність різниці розмірів порівнюваних величин. Якщо цей сигнал шляхом підбору зразкової міри буде зведений до нуля, то реалізується нульовий метод вимірювань;
- вимірюванням еталонним ЗВТ величини, відтвореної мірою. В цьому випадку повірка часто називається градуванням. Градування - це нанесення на шкалу відміток, відповідних показам робочого еталону, або визначення за його показами уточнених значень величини, відповідних нанесеним відміткам на шкалі ЗВТ, які повіряються;
- способом калібрування, коли з точнішою мірою звіряється лише одна міра з набору або одна з відміток шкали багатозначної міри, а дійсні розміри інших мір визначаються шляхом їх взаємного порівняння в різних поєднаннях на приладах порівняння і при подальшій обробці результатів вимірювань.

Повірка вимірювальних приладів проводиться:

- методом безпосереднього порівняння вимірюваних величин і величин, відтворених робочими еталонами відповідного розряду або класу точності. Значення величин на виході мір вибираються рівними відповідним (частіше оцифрованим) відміткам шкали приладу. Найбільша різниця між результатом вимірювання і відповідним йому розміром еталону ϵ , в цьому випадку, основною похибкою приладу;
- методом безпосереднього звірення показань приладу, який повіряється, і еталонного при одночасному вимірюванні однієї і тієї ж величини. Різниця їх показів дорівнює абсолютній похибці ЗВТ яке повіряється. Можуть бути використані й інші методи повірки.

Важливим при повірці є вибір оптимального співвідношення між похибками еталонних ЗВТ, і тих, які повіряються. Звичайно, це співвідношення приймається рівним 1:3 (виходячи з критерію нехтувано малої похибки), коли при повірці

вводять поправки на покази зразкових ЗВТ. Якщо ж виправлення не вводять, то еталонні ЗВТ вибираються із співвідношення 1:5. Співвідношення похибок ЗВТ, які повіряються, і еталонних, встановлюється з урахуванням прийнятого методу повірки, характеру похибок, що допускають значення помилок першого та другого роду, та іноді можуть значно відрізнятись від вказаних раніше цифр.

За рішенням Держпотребстандарту право повірки ЗВТ може бути надане акредитованим МС юридичним особам, діяльність яких здійснюється відповідно до чинного законодавства, та НД із забезпечення єдності вимірювань, з урахуванням рекомендацій ISO і ІЕК.

У тих сферах діяльності, де державний метрологічний нагляд і контроль не є обов'язковими, для забезпечення метрологічної справності ЗВТ застосовується калібрування.

Калібрування (калібрувальні роботи) - сукупність операцій, які виконуються з метою визначення та підтвердження дійсних значень метрологічних характеристик і (або) придатності до застосування ЗВТ, які не підлягають державному метрологічному контролю та нагляду.

Організація, яка виконує калібрувальні роботи, повинна мати повірені та ідентифіковані засоби калібрування - еталони, установки та інші ЗВТ, вживані при калібруванні відповідно до встановлених правил. Вони покликані забезпечити передачу розміру одиниць від державних еталонів засобам вимірювальної техніки, які калібруються; актуалізовані документи, що регламентують організацію та проведення калібрувальних робіт. До них відносяться документація на ЗВТ і калібрування, нормативні документи на калібрування, процедури калібрування та використання її даних; професійно підготовлений і кваліфікований персонал; приміщення, які задовольняють нормативним вимогам.

Результати калібрування засвідчують калібрувальним знаком, який наноситься на ЗВТ, або свідоцтвом про калібрування, а також записом в експлуатаційних документах.

Вимоги до калібрувальних лабораторій подані у відповідному ГОСТ і стандарті ISO / ІЕК 17025-2000 /.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТИ І ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ ЦИФРОВИМ СПОСОБОМ

1. Мета роботи

1.1 Набути професійних навичок у роботі з цифровим частотоміром. Уміти аргументовано вибрати час рахунку ($T_{\text{ліч}}$), множник періоду (n) та частоту генератора міток (f_M).

1.2 Досліджувати основні характеристики цифрових частотомірів у різних режимах роботи. Уміти проводити вибір режимів роботи, які забезпечують мінімальні похибки результатів вимірювання частоти, часових інтервалів, відношення частот.

2. Ключові положення

2.1 Сучасні цифрові частотоміри, виконані на мікропроцесорній основі або на схемах з жорсткою логікою, - прилади багатофункціональні. Перехід від однієї функції до іншої здійснюється за встановленою програмою або за допомогою електромеханічних комутаторів - (ключів).

Функціональна схема, подана на рис. 1, відноситься до схем ЕЛЧ з жорсткою логікою.

2.2 У режимі «ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ» проводиться пряме порівняння частоти досліджуваного сигналу f_c із значенням зразкової частоти $f_{\text{кг}}$, відтвореної мірою (кварцовим генератором) як «одиниця вимірювання». Тут $f_c > f_{\text{кг}}$, що дає можливість знайти цифровим способом число, що показує в скільки разів f_c більше $f_{\text{кг}}$.

На рис. 2 подані діаграми напруг ЕЛЧ, які наочно показують суть цифрового методу, який зводиться до підрахунку числа імпульсів N , які поступають на рахунковий блок (11) за час, рівний $T_{\text{ліч}}$, званий «ЧАСОМ ВИМІРЮВАННЯ» або «ЧАСОМ ЛІЧБИ».

З діаграм виходить, що дійсне значення частоти досліджуваного сигналу рівне:

$$f_{\text{сд}} = \frac{N}{T_{\text{ліч}}}.$$

Виміряне значення частоти досліджуваного сигналу дорівнює:

$$f_{\text{с вим}} = \frac{N \pm 1}{T_{\text{ліч}}}.$$

Значення абсолютної похибки дискретності:

$$\Delta_N = f_{\text{с вим}} - f_{\text{сд}} = \frac{N \pm 1}{T_{\text{ліч}}} - \frac{N}{T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{T_{\text{ліч}}}.$$

Максимальне значення відносної похибки дискретності визначається виразом:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{f_{\text{н\ddot{a}}}} = \pm \frac{1}{N},$$

де N – число імпульсів, які поступили в рахунковий блок ЕЛЧ за час лічби.

Сумарна похибка вимірювання частоти:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2},$$

де $\delta_{\text{кг}}$ – складова похибки, яка вноситься мірою (кварцовим генератором).

2.3 У режимі «ВИМІРЮВАННЯ ПЕРІОДУ» проводиться порівняння вимірюваного періоду досліджуваного сигналу T_c із зразковим інтервалом часу. Діаграми напруг ЕЛЧ в цьому режимі подані на рис. 3.

З них виходить, що дійсне значення періоду досліджуваного сигналу визначається виразом:

$$T_{\text{сд}} = \frac{N \cdot T_m}{n},$$

де T_m – період зразкового сигналу;

N – число міток, які поступили в рахунковий блок ЕЛЧ;

n – множник періоду.

Час рахунку визначається виразом:

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_c.$$

Вимірне значення періоду досліджуваного сигналу визначається:

$$T_{\text{с вим}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_m}{n}.$$

Значення абсолютної та відносної похибок дискретності рівні, відповідно:

$$\Delta_N = T_{\text{с вим}} - T_{\text{сд}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_m}{n} - \frac{N \cdot T_m}{n} = \pm \frac{T_m}{n}; \quad \delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

де $N = \frac{n \cdot T_{\text{н\ddot{a}}}}{T_1}$.

Сумарна відносна похибка визначається за формулою:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{вв}}^2 + \delta_{\text{іао}}^2 + \delta_N^2},$$

де $\delta_{\text{пер}}$ – похибка перетворення, обумовлена відношенням напруги сигналу та завади.

2.4 У режимі «ВІДНОШЕННЯ ЧАСТОТ» напруга з більшою частотою f_1 , (положення ключа на комутаторі «1») подається на вхід «1» (рис. 1). У каналі 1 ця напруга перетвориться в послідовність коротких імпульсів з частотою проходження, рівною f_1 . Ці імпульси поступають на перший вхід часового селектора, на його другий вхід поступає імпульс, який управляє, тривалістю $T_{\text{ліч}}$.

Формування імпульсу, що управляє, проводиться в каналі 2 з сигналу з нижчою частотою f_2 , поданого на вхід 2.

З рис. 4 слідує рівність:

$$N \cdot T_1 = n \cdot T_2.$$

І дійсне значення відношення частот рівне:

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_d = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)_d = \frac{N}{n}.$$

Вимірне значення відношення частот:

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_{\text{вв}} = \left(\frac{\dot{O}_2}{\dot{O}_1} \right)_{\text{вв}} = \frac{(N \pm 1)}{n}.$$

Час лічби:

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_2.$$

Абсолютна похибка дискретності:

$$\Delta_N = \left(\frac{\dot{O}_2}{\dot{O}_1} \right)_{\text{вв}} - \left(\frac{\dot{O}_2}{\dot{O}_1} \right)_{\text{в}} = \frac{(N \pm 1)}{n} - \frac{N}{n} = \pm 1/n.$$

Відносна похибка дискретності:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_d} = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{де } N = \frac{n \cdot T_2}{T_1}.$$

Сумарна похибка визначається виразом:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{іао}}^2 + \delta_N^2}.$$

3. Ключові питання

- 3.1 Чому ЕЛЧ відносять до високоточних і універсальних засобів вимірювання?
- 3.2 У чому полягає суть методу вимірювання, на якому заснована робота ЕЛЧ?
- 3.3 Пояснити принцип роботи ЕЛЧ в режимах вимірювання:
 - частоти;
 - інтервалів часу;
 - відношення частот.
- 3.4 Перерахувати похибки, які виникають в ЕЛЧ при роботі в різних режимах, і вказати причини їх появи.
- 3.5 Вказати способи зменшення похибок, які виникають в ЕЛЧ.
- 3.6 Пояснити, як визначається сумарна похибка ЕЛЧ в різних режимах роботи.
- 3.7 Пояснити, як визначається положення децимальної крапки в різних режимах роботи ЕЛЧ.

4. Домашнє завдання

- 4.1 Вивчити структурну схему заданого частотоміра, і принцип дії в різних режимах роботи. Зарисувати структурну схему ЕЛЧ.
- 4.2 Користуючись технічними характеристиками заданого частотоміра, вибрати час лічби, що забезпечує найменшу похибку в режимі вимірювання частоти. Результат подати у формі табл. 4.1. Варіанти завдання подані в табл. 1 (додаток А); тут $f_1 = f_c$.

Таблиця 4.1. – Оцінка основних характеристик в режимі «ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ»

f_c , кГц	$T_{\text{ліч}}$, мс	Очікуваний результат на табло, кГц	Δ_N , Гц	N	δ_N

- 4.3 Користуючись технічними характеристиками заданого частотоміра, вибрати параметри режиму вимірювання періоду так, щоб забезпечити найменшу похибку вимірювання періоду. Результат подати у вигляді табл. 4.2. Рекомендується проводити розрахунки на тих же частотах, що і в табл.1 (додаток А).

Таблиця 4.2 – Оцінка основних характеристик в режимі «ВИМІРЮВАННЯ ПЕРІОДУ»

f_c , кГц	n	T_m	Очікуваний результат на табло (мс, або мкс)	Δ_N	N	δ_N	$T_{ліч}$, с

4.4 Користуючись технічними характеристиками заданого частотоміра, вибрати параметри режиму вимірювання «відношення частот», що забезпечують найменшу похибку вимірювання. Результати подати у вигляді табл.4.3 (частоти задані в додатку А).

Таблиця 4.3 – Оцінка основних характеристик в режимі «ВІДНОШЕННЯ ЧАСТОТ»

f_1/f_2	n	Очікуваний результат на табло	Δ_N	N	δ_N	$T_{ліч}$, с

5. Лабораторне завдання

5.1 Ознайомитися із засобами вимірювання на робочому місці. Встановити відповідність між органами управління, виведеними на передню панель приладу, що вивчається, і структурною схемою (рис. 1). Погоджувати з викладачем план роботи.

5.2 Провести зовнішній огляд ЕЛЧ і випробування в режимі самоконтролю.

5.3 Провести випробування в усіх режимах роботи.

5.4 У режимі вимірювання частоти провести перевірку правильності вибору характеристик частотоміра на частотах, вказаних в табл.1 (додаток А). Результати подати у вигляді табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Оцінка основних характеристик в режимі «ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ»

f_c , кГц	$T_{ліч}$, мс	Результат на табло, кГц	Δ_N , Гц	N	δ_N

5.5 У режимі вимірювання періоду провести аналогічні вимірювання. Результати подати у вигляді табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Оцінка основних характеристик в режимі «ВИМІРЮВАННЯ ПЕРІОДУ»

f_c , кГц	n	T_m	Результат на табло	Δ_N	N	δ_N	$T_{ліч}$, с

5.6 У режимі вимірювання відношення частот провести аналогічні вимірювання. Результати подати у вигляді табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Оцінка основних характеристик в режимі «ВІДНОШЕННЯ ЧАСТОТ»

f_1/f_2	n	Результат на табло	Δ_N	N	δ_N	$T_{ліч}$, с

6. Протокол лабораторної роботи (№ . назва .)

6.1 Мета лабораторної роботи.

6.2 Перелік використовуваної апаратури в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Перелік використовуваної апаратури

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики		
			Клас точності	Діапазон вимірювання	Частотний діапазон

6.3 Схема вимірювання.

6.4 Побудувати в одній системі координат графіки залежності відносної похибки δ_N від частоти в режимі вимірювання частоти і періоду. Зробити висновок про вибір режиму роботи ЕЛЧ.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7а

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВТ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ІНФОСИГНАЛІВ. ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТ І ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ

1. Мета роботи

1.1 Ознайомитися з науковою, законодавчою і технічною основою метрологічного забезпечення ЗВТ для вимірювання частоти.

1.2 Вивчити методики повірки електронно-лічильних частотомірів (ЕЛЧ) і метрологічні операції при повірці.

1.3 Набути практичних навичок з проведення повірки ЕЛЧ.

2. Ключові положення

2.1 Характеристики ЕЛЧ, які повіряються.

Повірці підлягають наступні параметри:

- діапазон вимірюваних частот синусоїдальних і імпульсних сигналів;

- похибка вимірювання частоти;

- діапазон частот при вимірюванні періоду синусоїдальних і імпульсних сигналів;

- похибка вимірювання періоду;

- діапазон вимірювання відношення частот;

- похибка вимірювання відношення частот і ін.

2.2 Засоби вимірювань, вживані при повірці.

При повірці ЕЛЧ застосовуються наступні еталонні та допоміжні засоби повірки:

- приймачі еталонних частот;

- рубідієві стандарти частоти з номінальними значеннями частот 100 кГц, 1 і 5 МГц з відносною нестабільністю порядку 10^{-11} ;

- кварцові генератори з тими ж значеннями номінальних частот і відносною нестабільністю порядку 10^{-8} ;

- стандарти частоти і кварцові генератори є засобами зразкової частоти, і якщо є можливість і необхідність, то точність цих мір контролюється за допомогою приймачів еталонних частот;

- синтезатори частоти, що перекривають діапазон частот 0,01 Гц – 50 МГц;

- помножувачі частоти;

- компаратори частоти;

- генератори універсальні, вольтметри змінної напруги та осцилографи.

2.3 Умови повірки та підготовка до неї.

При проведенні операцій повірки повинні витримуватися наступні умови:

- прилад, що поступив на повірку, піддається зовнішньому огляду. При цьому слід звертати увагу на наявність, справність і чистоту всього майна, стан лакофарбних покриттів і чіткість маркування. Наявність бруду та іржі

неприпустима. Прилад не повинен мати механічних пошкоджень, які можуть впливати на його роботу, наприклад, погане кріплення ручок управління, пошкодження затискачів, погана фіксація перемикачів;

- прилади, що мають несправність, в повірку не приймаються.

Повірка параметрів приладу проводиться при номінальній напрузі мережі в нормальних умовах:

- температура навколишнього середовища $293 \pm 5^\circ\text{K}$ ($20 \pm 5^\circ\text{C}$);
- відносна вологість повітря $65 \pm 15\%$;
- атмосферний тиск $100 \pm 4 \text{ кН/м}^2$ ($750 \pm 30 \text{ мм. рт. ст.}$);
- напруга живлячої мережі $220 \text{ В} \pm 4,4 \text{ В}$.

Перед проведенням операцій повірки, необхідно провести наступні підготовчі роботи:

- розмістити прилад, який повіряється, на робочому місці, забезпечивши зручність роботи та уникаючи попадання на нього прямих сонячних променів;
- з'єднати дротом клеми тих, які повіряються та зразкових приладів, використовуваних при повірці, з шиною заземлення;
- провести підключення приладу, який повіряється до зразкових приладів за допомогою штатних кабелів і перехідників;
- підключити прилади до мережі змінного струму з напругою 220 В , 50 Гц ;
- включити прилади в мережу і дати їм прогрітися під струмом протягом 1 години.

2.4 Проведення операцій повірки.

Зовнішній огляд

При проведенні зовнішнього огляду повинно бути перевірено:

- відсутність механічних пошкоджень, що впливають на точність показань приладу;
- наявність і міцність кріплення органів управління та комутації, чіткість фіксації їх положень, плавність обертання ручок органів настроювання;
- правильність установки стрілок показуючих приладів проти нульових відміток шкали;
- чистота гнізд, рознімів і клем;
- стан сполучних проводів, кабелів, перехідників;
- стан лакофарбних покриттів і чіткість маркувань;
- відсутність елементів схеми та сторонніх предметів, що від'єдналися або слабо закріплені (визначається на слух при нахилах приладу).

За наявності дефектів, прилад, що підлягає повірці, підлягає бракуванню і направленню в ремонт.

Випробування

Перевірка працездатності приладу в режимі «Самоконтроль» на контрольних частотах приладу.

Перевірка діапазонів вимірюваних частот і періодів

Перевірка діапазонів вимірюваних частот і періодів проводиться за схемою, поданою на рис. 1, методом прямих вимірювань частоти (періоду), що задаються вимірювальними генераторами (ВГ) відповідних діапазонів і видів.

Вимірювання проводяться на крайніх точках діапазону частот $f_H (T_H)$ і $f_B (T_B)$ і в 5ти – бти точках усередині діапазону. При необхідності перевірки мінімальних

значень вхідної напруги до виходу генератора підключають вольтметр, за допомогою якого і встановлюють мінімальне значення напруги вхідного сигналу. При цьому на ЕЛЧ повинні спостерігатися стійкі покази.

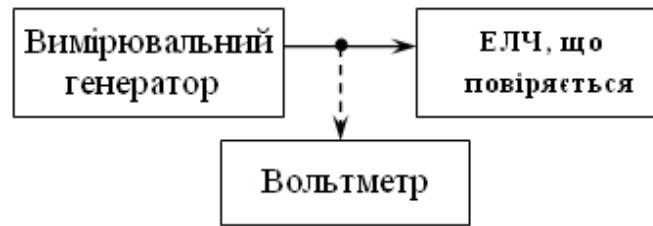


Рисунок 1 – Перевірка діапазонів частот (періодів) методом прямих вимірювань

Визначення основної відносної похибки вимірювання частоти проводиться згідно виразу:

$$\delta_f = \pm \sqrt{\delta_{\text{кГ}}^2 + \delta_N^2}, \quad (1)$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

де $N = f_c \cdot T_{\text{ліч}}$;

$\delta_{\text{кГ}}$ – відносна похибка опорного кварцового генератора;

$T_{\text{ліч}}$ – час вимірювання (час лічби);

f_c – вимірювана частота.

Визначення основної відносної похибки вимірювання періоду проводиться згідно виразу:

$$\delta_T = \pm \sqrt{\delta_{\text{кГ}}^2 + \delta_N^2}, \quad (2)$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{де } N = \frac{10^{(v+\varepsilon)} \cdot T_c}{T_{\text{êã}}};$$

$T_{\text{кГ}}$ – період сигналу опорного кварцового генератора;

T_c – вимірюваний період;

$n = 10^v$, $v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ – множник періоду сигналу;

$m = 10^\varepsilon$, $\varepsilon = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ – множник частоти кварцового генератора.

При визначенні похибок δ_f і δ_T перевіряють окремо:

- відносну похибку частоти опорного кварцового генератора ($\delta_{\text{кГ}}$);
- похибки вимірювання частоти і періоду, які виникають, із-за дискретності (другі доданки у формулах (1) і 2)).

Визначення відносної похибки за частотою опорного кварцового генератора

Відносну похибку за частотою опорного кварцового генератора визначають методом порівняння за допомогою компаратора за схемою, поданою на рис. 2.

Вихід опорного кварцового генератора ЕЛЧ, який повіряється, з'єднується з входом 1 компаратора. Від джерела зразкової частоти, яким є стандарт частоти виду Ч1-, подається сигнал такої ж частоти на вхід 2 компаратора і на роз'єм «5МГц» частотоміра типу Ч3-, що використовує цей сигнал замість власного сигналу опорної частоти.

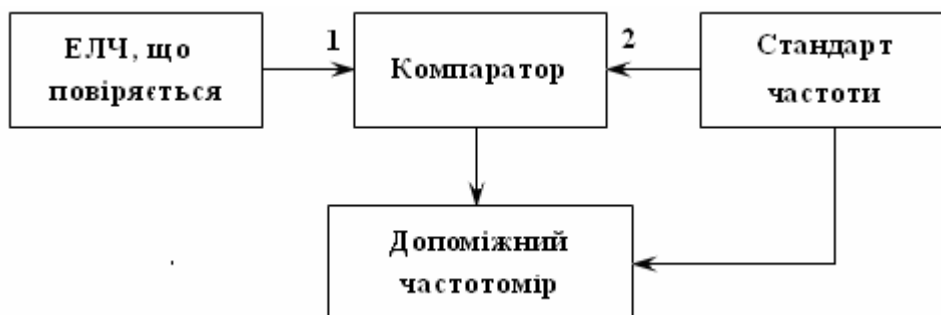


Рисунок 2 – Визначення відносної похибки за частотою опорного кварцового генератора методом порівняння

Вихідний сигнал компаратора з частотою f_k подається на вхід допоміжного ЕЛЧ, який працює в режимі вимірювання частоти при часі вимірювання 1 або 10 сек.

Для підвищення достовірності результатів вимірювання знімається не менше 10 послідовних показів частотоміра і знаходиться їх середнє арифметичне значення:

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ki}}{n}, \quad (3)$$

де f_{ki} – значення частоти вихідного сигналу компаратора одиничного вимірювання;

n – кількість проведених одиничних вимірювань.

Відносна похибка за частотою опорного генератора визначається за формулою:

$$\delta_{кг} = \frac{f_k - f_n}{f_n}, \quad (4)$$

де f_k – значення частоти компаратора, відповідне номінальному значенню частоти опорного генератора;

f_n – номінальне значення частоти опорного генератора.

У додатку Б подані НМХ стандарту частоти Ч1-53, компаратора частотного Ч7-12 і синтезатора частоти. При виконанні лабораторної роботи замість поданих зразкових приладів можна використовувати аналогічні за НМХ прилади.

Визначивши відносну похибку $\delta_{кг}$, проводять корекцію частоти опорного генератора ЕЛЧ, після чого шліц «корекція частоти» пломбується.

Визначення складових похибки вимірюваної частоти та періоду із-за дискретності лічби

Визначення даних складових похибки проводять методом прямого вимірювання зразкової частоти. Як джерело еталонної частоти використовується або синтезатор частоти, або синтезатор спільно з помножувачем частоти.

Схема з'єднання приладів при цій операції повірки подана на рис.3.

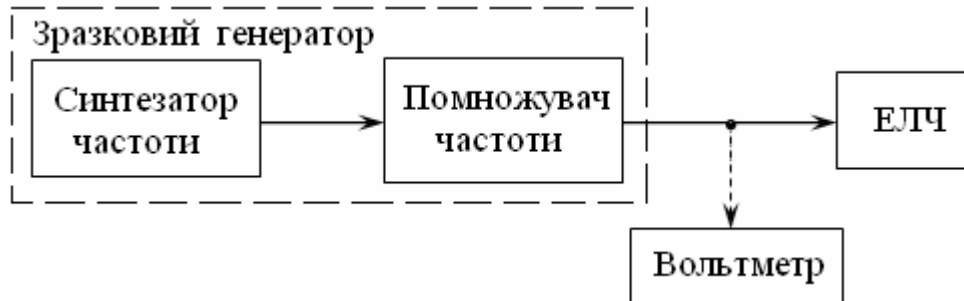


Рисунок 3 – Визначення складових похибки дискретності

Синтезатор і ЕЛЧ, які повіряються, повинні бути засинхронізовані від опорного генератора приладу, який повіряється.

На вхід ЕЛЧ, який повіряється, подають сигнал, близький до частоти верхньої межі і напругою, рівною мінімальній вхідній напрузі, при якому ЕЛЧ повинен нормально працювати. За відсутності у синтезатора градуйованого за напругою виходу сигналу, необхідно контролювати цю напругу за допомогою вольтметра.

Проводять серію з 10 спостережень. Результати повірки вважаються позитивними, якщо 9 спостережень (показань приладу) при вимірюванні не відрізняються від $f_{кт}$ більше, ніж на ± 1 ділення молодшого розряду лічби.

За аналогічною методикою визначається складова похибки із-за дискретності при вимірюванні періоду. При цьому на вхід частотоміра подають частоти, які відповідають верхній і нижній частоті діапазону, встановленого для частотоміра в режимі вимірювання періоду.

3. Ключові питання

- 3.1 Дайте визначення терміну «Випробування ЗВТ».
- 3.2 Як проводиться калібрування (калібрувальні роботи) ЕЛЧ?
- 3.3 Сформулюйте визначення повірки ЕЛЧ.
- 3.4 Види повірок і міжповірочні інтервали.
- 3.5 Які основні МХ визначаються при повірці ЕЛЧ?
- 3.6 Перерахуйте засоби вимірювань, вживані при повірці ЕЛЧ.
- 3.7 Вкажіть операції при проведенні повірки ЕЛЧ.

4. Домашнє завдання

- 4.1 Вивчити основні положення, які стосуються повірки та калібрування електронно-лічильних частотомірів (ЕЛЧ).
- 4.2 Виписати метрологічні характеристики компаратора частотного.
- 4.3 Виписати метрологічні характеристики стандарту частоти.
- 4.4 Виписати метрологічні характеристики синтезатора частоти.

5. Лабораторне завдання

5.1 Ознайомтеся з устаткуванням на робочому місці, зберіть схему вимірювання згідно рис. 1 і підготуйте прилади до роботи.

5.2 У режимі вимірювання частоти визначте поріг чутливості (мінімальну напругу, яка забезпечить стійкий показ на табло) і проведіть перевірку приладу на вказаних частотах в табл. 5.1.

5.3 Розрахувати абсолютну похибку виміряну і гранично допустиму похибку, отримані результати записати в табл. 5.1.

(δ_r – вибираємо з паспортних даних заданого генератора)

Таблиця 5.1 – Перевірка діапазону вимірюваних частот

f_r , кГц	$T_{ліч}$	U_{min}	Результат на табло	Абсолютна похибка $\Delta = f_{вим} - f_r$	Гранично допустима похибка $\Delta_r = \delta_r \cdot f_r$	Висновок
0,1						
1						
10						
100						
1000						

5.4 У режимі вимірювання періоду провести аналогічні вимірювання і розрахунки. Результати подати у вигляді табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Перевірка діапазону вимірюваних періодів

f_r , кГц (T_r)	T_m	n	Результат на табло	U_{min}	Абсолютна похибка $\Delta = T_{вим} - T_r$	Гранично допустима похибка $\Delta_r = \delta_r \cdot T_r$	Висновок
0,1							
1							
10							
100							
1000							

5.5 Користуючись технічними характеристиками заданого частотоміра, вибрати час лічби, що забезпечує найменшу похибку в режимі вимірювання частоти. Результати розрахунків записати в табл. 5.3.

Допустиму δ у режимі частоти розрахуємо за формулою 1.

Таблиця 5.3 – Визначення відносної похибки вимірювання частоти (похибка дискретності)

f_r , кГц	$T_{ліч}$	Результат на табло	Абсолютна похибка $\Delta = \pm 1 / T_{ліч}$	N	δ_N	Допустима δ	Висновок
0,1							
1							
10							
100							
1000							

5.6 Користуючись технічними характеристиками заданого частотоміра, вибрати параметри режиму вимірювання періоду так, щоб забезпечити найменшу похибку вимірювання періоду. Результати розрахунків записати в табл. 5.4.

Допустиму δ в режимі періоду розрахуємо за формулою 2.

Таблиця 5.4. – Визначення відносної похибки вимірювання періоду (похибка дискретності)

f_T , кГц (T_T)	T_M	n	$T_{ліч}$	Результат на табло	Абсолютна похибка $\Delta = \pm T_M / n$	N	δ_N	Допустима δ	Висновок
0,1									
1									
10									
100									
1000									

6. Протокол лабораторної роботи (№ . назва .)

6.1 Мета лабораторної роботи.

6.2 Перелік використовуваної апаратури в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Перелік використовуваної апаратури

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики		
			Клас точності	Діапазон вимірювання	Частотний діапазон

6.3 Схема вимірювання



Тип частотоміра, який повіряється _____

Зовнішній огляд _____

Випробування _____

Умови калібрування

Температура навколишнього середовища _____ °С

Відносна вологість повітря _____ %

Атмосферний тиск _____ мм рт.ст.

Час попереднього прогрівання _____ мин.

Напруга мережі _____ В.

Частота напруги мережі _____ Гц.

6.4 На підставі отриманих результатів зробити висновки про проведену повірку частотоміра.

Перевірка діапазону вимірюваних частот досліджуваного ЕЛЧ _____

Висновок: _____

Перевірка діапазону вимірюваних періодів досліджуваного ЕЛЧ _____

Висновок: _____

Визначення відносної похибки вимірювання частоти досліджуваного ЕЛЧ _____

Висновок: _____

Визначення відносної похибки вимірювання періоду досліджуваного ЕЛЧ _____

Висновок: _____

Загальний висновок:

Повірка виконана _____ « ____ » _____ 20 _ р.

П.І.Б.

Протокол перевірок: _____ (підпис)

Індивідуальне завдання Розрахунок метрологічних характеристик ЕЛЧ

1. Мета:

1.1 Оволодіти методикою оцінки похибки вимірювання, використовуючи НМХ ЕЛЧ.

1.2 Навчитися вибирати режим роботи ЕЛЧ, що забезпечує мінімальну похибку.

2. Ключові положення

2.1 Індивідуальне завдання містить чотири завдання. У першому та другому завданні необхідно, використовуючи НМХ ЕЛЧ, оптимальним чином вибрати параметри режиму роботи та розрахувати похибки. Записати результат вимірювання на табло із зазначенням розмірності.

Третє завдання пов'язане з оцінкою похибки результату вимірювання відношення частот. Тут також необхідно записати результат вимірювання на табло. При виконанні цього завдання необхідно звернути увагу на правильний вибір частот, які повинні входити в діапазон вимірювання ЕЛЧ.

Четверте завдання передбачає оцінку похибки результату вимірювання частоти (періоду, відношення частот), представленого на табло. Тут вирішується зворотне завдання.

2.2 Нормована метрологічна характеристика (НМХ) ЕЛЧ – це метрологічна характеристика (МХ), встановлена нормативною технічною документацією (НТД).

До НМХ ЕЛЧ відносяться:

- в режимі вимірювання частоти:
 - а) діапазон вимірювання;
 - б) час лічби $T_{\text{ліч}}$ (час вимірювання);

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_{\text{кг}},$$

де $n = 10^v$, $v = 0; 1; 2; 3; 4, \dots$, $T_{\text{кг}} = \frac{1}{f_{\text{кг}}}$;

- в) кількість розрядів;
- г) поріг чутливості;
- д) відносна похибка кварцового генератора $\delta_{\text{кг}}$;

- в режимі вимірювання періоду:

- а) діапазон вимірювання;
- б) період мітки;

$$T_i = \frac{1}{m \cdot f_{\hat{e}\hat{a}}} = \frac{\hat{O}_{e\hat{a}}}{10^\varepsilon},$$

де m – множник частот кварцового генератора $m = 10^\varepsilon$, $\varepsilon = 0; 1; 2; 3; 4, \dots$,

- в) множник періоду n ;

- г) кількість розрядів;
- д) поріг чутливості;
- е) відносна похибка кварцового генератора $\delta_{\text{кр}}$;

- у режимі вимірювання відношення частот:

- а) діапазон вимірювання частоти;
- б) діапазон вимірювання періоду;
- в) множник періоду (n);
- г) кількість розрядів;
- д) поріг чутливості;

2.3 Основна похибка в режимі вимірювання частоти визначається виразом:

$$\delta_f = \sqrt{\delta_{\text{кр}}^2 + \delta_N^2},$$

$\delta_{\text{кр}}$ – нормативне значення похибки кварцового генератора;

δ_N – відносна похибка дискретності (похибка лічильника);

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N};$$

де $N = f_c \cdot T_{\text{ліч}}$,

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_{\text{кр}};$$

$$T_{\text{кр}} = \frac{1}{f_{\text{кр}}};$$

$$n = 10^v, \quad v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots;$$

При $v = 0$, $T_{\text{ліч}} = 10^0$ мс;

$$v = 1, T_{\text{ліч}} = 10^1 \text{ мс}; \quad v = 2, T_{\text{ліч}} = 10^2 \text{ мс}; \quad v = 3, T_{\text{ліч}} = 10^3 \text{ мс}; \quad v = 4, T_{\text{ліч}} = 10^4 \text{ мс}.$$

Основна похибка в режимі вимірювання періоду визначається:

$$\delta_T = \sqrt{\delta_{\text{еа}}^2 + \delta_{\text{іаδ}}^2 + \delta_N^2};$$

$$\delta_{\text{іаδ}} = \frac{1}{\pi n} \frac{U_{\text{с2}}}{U_{\text{с}}};$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N}; \quad N = \frac{n \cdot T_c}{T_m} = \frac{10^v \cdot T_c}{10^\varepsilon / T_{\text{кр}}}; \quad \delta_N = \frac{T_{\text{кр}}}{10^{(v+\varepsilon)} \cdot T_c}; \quad T_c = \frac{1}{m \cdot f_{\text{кр}}},$$

m – множник частоти кварцового генератора;

$$m = 10^\varepsilon; \quad \varepsilon = 0; 1; 2; 3; 4, \dots$$

У режимі вимірювання відношення частот:

$$\delta_{(f_1/f_2)} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{T_1}{10^v \cdot T_2} = \pm \frac{T_1}{n \cdot T_2}.$$

Варіанти індивідуального завдання подані в додатку В і вибираються:

- для студентів денної форми навчання згідно порядкового номера ПІБ в навчальному журналі;
- для студентів заочної форми навчання згідно третій букві в прізвищі.

Правила оформлення завдання:

1. Виписати завдання у вигляді таблиці (додаток В);
2. Виписати НМХ заданого ЕЛЧ (додаток Г);
3. Провести необхідні обчислення параметрів вибраного (заданого) режиму вимірювання.
4. Результат розв'язання подати у вигляді таблиці (замість питань записати відповіді).

Додаток А

Таблиця А1 – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи №7.

№ з\п (стаціонар)	3-а буква прізвища (заочники)	Частоти в кГц						Період міток T_m
		f_1						
1	А	f_1	$0,08 \cdot 10^0; 0,08 \cdot 10^1; 0,08 \cdot 10^2; 0,08 \cdot 10^3; 0,08 \cdot 10^4; 0,08 \cdot 10^5$					
		f_2	0,04; 0,02; 0,08; 0,1; 0,64; 0,8					
2	Б	f_1	$0,12 \cdot 10^0; 0,12 \cdot 10^1; 0,12 \cdot 10^2; 0,12 \cdot 10^3; 0,12 \cdot 10^4; 0,12 \cdot 10^5$					
		f_2	0,02; 0,04; 0,06; 0,2; 1; 1,2					
3	В	f_1	$0,16 \cdot 10^0; 0,16 \cdot 10^1; 0,16 \cdot 10^2; 0,16 \cdot 10^3; 0,16 \cdot 10^4; 0,16 \cdot 10^5$					
		f_2	0,04; 0,08; 0,05; 0,2; 1; 3,2					
4	Г	f_1	$0,20 \cdot 10^0; 0,20 \cdot 10^1; 0,20 \cdot 10^2; 0,20 \cdot 10^3; 0,20 \cdot 10^4; 0,20 \cdot 10^5$					
		f_2	0,04; 0,08; 0,1; 0,5; ;2; 5					
5	Д	f_1	$0,24 \cdot 10^0; 0,24 \cdot 10^1; 0,24 \cdot 10^2; 0,24 \cdot 10^3; 0,24 \cdot 10^4; 0,24 \cdot 10^5$					
		f_2	0,06; 0,01; 0,08; 0,48; 1,2; 1,5					
6	Е	f_1	$0,28 \cdot 10^0; 0,28 \cdot 10^1; 0,28 \cdot 10^2; 0,28 \cdot 10^3; 0,28 \cdot 10^4; 0,28 \cdot 10^5$					
		f_2	0,14; 0,05; 0,2; 0,5; 1,4; 2,8					
7	Ж	f_1	$0,32 \cdot 10^0; 0,32 \cdot 10^1; 0,32 \cdot 10^2; 0,32 \cdot 10^3; 0,32 \cdot 10^4; 0,32 \cdot 10^5$					
		f_2	0,2; 0,16; 0,32; 0,8; 1,6; 6,4					
8	З	f_1	$0,36 \cdot 10^0; 0,36 \cdot 10^1; 0,36 \cdot 10^2; 0,36 \cdot 10^3; 0,36 \cdot 10^4; 0,36 \cdot 10^5$					
		f_2	0,06; 0,09; 0,03; 1,5; 1,8; 6					
9	И	f_1	$0,40 \cdot 10^0; 0,40 \cdot 10^1; 0,40 \cdot 10^2; 0,40 \cdot 10^3; 0,40 \cdot 10^4; 0,40 \cdot 10^5$					
		f_2	0,2; 0,16; 0,2; 1,25; 4; 5					
10	К	f_1	$0,44 \cdot 10^0; 0,44 \cdot 10^1; 0,44 \cdot 10^2; 0,44 \cdot 10^3; 0,44 \cdot 10^4; 0,44 \cdot 10^5$					
		f_2	0,11; 0,2; 0,2; 1,1; 2; 5					
11	Л	f_1	$0,48 \cdot 10^0; 0,48 \cdot 10^1; 0,48 \cdot 10^2; 0,48 \cdot 10^3; 0,48 \cdot 10^4; 0,48 \cdot 10^5$					
		f_2	0,12; 0,15; 0,2; 2; 2,4; 8					
12	М	f_1	$0,52 \cdot 10^0; 0,52 \cdot 10^1; 0,52 \cdot 10^2; 0,52 \cdot 10^3; 0,52 \cdot 10^4; 0,52 \cdot 10^5$					
		f_2	0,26; 0,08; 0,4; 4; 5; 6,5					
13	Н	f_1	$0,56 \cdot 10^0; 0,56 \cdot 10^1; 0,56 \cdot 10^2; 0,56 \cdot 10^3; 0,56 \cdot 10^4; 0,56 \cdot 10^5$					
		f_2	0,14; 0,2; 0,4; 2; 1,4; 5					
14	О	f_1	$0,60 \cdot 10^0; 0,60 \cdot 10^1; 0,60 \cdot 10^2; 0,60 \cdot 10^3; 0,60 \cdot 10^4; 0,60 \cdot 10^5$					
		f_2	0,2; 0,3; 0,4; 2,5; 1,2; 6					
15	П	f_1	$0,64 \cdot 10^0; 0,64 \cdot 10^1; 0,64 \cdot 10^2; 0,64 \cdot 10^3; 0,64 \cdot 10^4; 0,64 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08; 0,4; 0,16; 2; 1; 8					
16	Р	f_1	$0,68 \cdot 10^0; 0,68 \cdot 10^1; 0,68 \cdot 10^2; 0,68 \cdot 10^3; 0,68 \cdot 10^4; 0,68 \cdot 10^5$					
		f_2	0,17; 0,34; 0,68; 1,7; 8; 4					
17	С	f_1	$0,72 \cdot 10^0; 0,72 \cdot 10^1; 0,72 \cdot 10^2; 0,72 \cdot 10^3; 0,72 \cdot 10^4; 0,72 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08; 0,36; 0,6; 1,8; 7,2; 8					

Для 7-и розрядних частотомірів вибираємо $T_m=10^{-4}c=0,1мс$

Для 8-и розрядних і вище $T_m=10^{-6}c=1мкс$

Продовження таблиці А1

№ з\п (стаціонар)	3-а буква прізвища (заочники)	Частоти в кГц						Період міток T_M
		f_1						
18	Т	f_1	$0,76 \cdot 10^0; 0,76 \cdot 10^1; 0,76 \cdot 10^2; 0,76 \cdot 10^3; 0,76 \cdot 10^4; 0,76 \cdot 10^5$					
		f_2	0,19; 0,38; 0,4; 1,9; 3,8; 5					
19	У	f_1	$0,80 \cdot 10^0; 0,80 \cdot 10^1; 0,80 \cdot 10^2; 0,80 \cdot 10^3; 0,80 \cdot 10^4; 0,80 \cdot 10^5$					
		f_2	0,4; 0,32; 0,5; 6,4; 8; 4					
20	Ф	f_1	$0,84 \cdot 10^0; 0,84 \cdot 10^1; 0,84 \cdot 10^2; 0,84 \cdot 10^3; 0,84 \cdot 10^4; 0,84 \cdot 10^5$					
		f_2	0,21; 0,35; 0,6; 2,4; 4,2; 4					
21	Х	f_1	$0,88 \cdot 10^0; 0,88 \cdot 10^1; 0,88 \cdot 10^2; 0,88 \cdot 10^3; 0,88 \cdot 10^4; 0,88 \cdot 10^5$					
		f_2	0,11; 0,4; 0,55; 1; 4; 4,4					
22	Ц	f_1	$0,72 \cdot 10^0; 0,72 \cdot 10^1; 0,72 \cdot 10^2; 0,72 \cdot 10^3; 0,72 \cdot 10^4; 0,72 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08; 0,36; 0,6; 1,8; 7,2; 8					
23	Ч	f_1	$0,78 \cdot 10^0; 0,78 \cdot 10^1; 0,78 \cdot 10^2; 0,78 \cdot 10^3; 0,78 \cdot 10^4; 0,78 \cdot 10^5$					
		f_2	0,39; 0,6; 0,65; 1,95; 1,3; 8					
24	Ш	f_1	$0,82 \cdot 10^0; 0,82 \cdot 10^1; 0,82 \cdot 10^2; 0,82 \cdot 10^3; 0,82 \cdot 10^4; 0,82 \cdot 10^5$					
		f_2	0,82; 0,41; 0,82; 4,1; 5; 4					
25	Щ	f_1	$0,86 \cdot 10^0; 0,86 \cdot 10^1; 0,86 \cdot 10^2; 0,86 \cdot 10^3; 0,86 \cdot 10^4; 0,86 \cdot 10^5$					
		f_2	0,43; 0,2; 0,86; 2,5; 8,6; 5					
26	Э	f_1	$0,90 \cdot 10^0; 0,90 \cdot 10^1; 0,90 \cdot 10^2; 0,90 \cdot 10^3; 0,90 \cdot 10^4; 0,90 \cdot 10^5$					
		f_2	0,3; 0,2; 0,6; 1,5; 4,5; 9					
27	Ю	f_1	$0,94 \cdot 10^0; 0,94 \cdot 10^1; 0,94 \cdot 10^2; 0,94 \cdot 10^3; 0,94 \cdot 10^4; 0,94 \cdot 10^5$					
		f_2	0,47; 0,94; 0,47; 1; 2,5; 5					
28	Я	f_1	$0,98 \cdot 10^0; 0,98 \cdot 10^1; 0,98 \cdot 10^2; 0,98 \cdot 10^3; 0,98 \cdot 10^4; 0,98 \cdot 10^5$					
		f_2	0,49; 0,2; 0,98; 1,96; 7; 5					

Для 7-и розрядних частотомірів вибираємо $T_M=10^{-4}c=0,1мс$

Для 8-и розрядних і вище $T_M=10^{-6}c=1мкс$

Примітка. Частота f_2 використовується тільки для режиму відношення частот.

Додаток Б

Компаратор частотний

Метрологічні характеристики компаратора частотного Ч7-12:

- частоти вхідних сигналів 1 і 5 МГц при максимальному відхиленні частоти від номіналу не більше 1 Гц;
- напруга вхідних сигналів від 0,5 до 1,5 В;
- максимальна відносна різниця значень частот вхідних сигналів визначається виразом:

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{кг}}} \leq 10^3 \delta_{\text{доп}}$$

де $\delta_{\text{доп}}$ – допустима похибка вимірювань нестабільності частоти вхідних сигналів, $\delta_{\text{доп}} = 10^{-7} \dots 10^{-12}$;

Δf – різниця частот вхідних сигналів;

$f_{\text{кг}}$ – частота опорного сигналу.

При цьому повинна виконуватись умова:

$$M \cdot \Delta f \leq 10^3, \text{ Гц}$$

де M – коефіцієнт множення різниці частот вхідних сигналів.

- напруга вхідних сигналів не менше 0,65 В на опорі навантаження $R = 75 \text{ Ом}$.

Стандарт частоти

Метрологічні характеристики стандарту частоти Ч1-53:

- відносна похибка - не більше $5 \cdot 10^{-6}$ після 4 годин з моменту включення;
- відносне відхилення частоти вихідного сигналу за добу – не більше $5 \cdot 10^{-9}$ після 24-х годин роботи;
- середньоквадратичне відносне відхилення періоду вихідного сигналу після 24-х годин роботи - не більше $2 \cdot 10^{-11}$ за 1 сек;
- рівень вихідних сигналів - не менше 1 В на навантаженні 50 Ом.

Синтезатор частоти

Метрологічні характеристики синтезатора частоти:

- частота вихідного сигналу встановлюється в межах 50-49999999,99 Гц з кроком 0,01 Гц. Набір значення за допомогою кнопкового перемикача на передній панелі або дистанційно за допомогою сигналів постійного струму;
- вихідна напруга на зовнішньому навантаженні 50 Ом - 0,5 В;
- похибка установки номінального значення частоти - не більш $\pm 5 \cdot 10^{-8}$;
- нестабільність частоти вихідного сигналу після 2-х годин самопрогріву не більше $5 \cdot 10^{-10}$ за 10с; $5 \cdot 10^{-9}$ за 10 хв.

Додаток В
Індивідуальне завдання
Розрахунок метрологічних характеристик ЕЛЧ

Таблиця В1 – Варіанти завдань.

Варіант	Тип частотоміра	Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітки часу	Результат на цифровому табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
1 А	ЧЗ-35	120 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,7 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	33 МГц/3 кГц	?	–	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	00297.444 кГц	?	?	?
2 Б	ЧЗ-57	2,2 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	400 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	15 МГц/1 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	4841.227 кГц	?	?	?
3 В	ЧЗ-24	750 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,3 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	–	42 МГц/20 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.0009 кГц	?	?	?
4 Г	ЧЗ-36	10 кГц	?	–	?	–	–	?	?	10^{-5}	?
		?	0,1 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	?	47 МГц/10 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	1 мкс	07842.09 мкс	?	?	?
5 Д	ЧЗ-57	300 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,08 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	4,5 МГц/12 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		–	–	–	?	?	–	00077.75кГц	?	?	?
6 Е	ЧЗ-22	630 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,25 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	21 МГц/7 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	5555.5555 кГц	?	?	?

Продовження таблиці В1

Варіант	Тип частотомера	Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітки часу	Результат на цифровому табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
7 Ж	ЧЗ-35	?	0,01 мс	–	?	–	–	?	10^{-3} кГц	?	?
		?	0,04 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	17 МГц/2 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	10^3	?	00300.0000 мс	?	?	?
8 З	ЧЗ-22	575 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,35 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	906 кГц/3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.0220 кГц	?	?	?
9 И	ЧЗ-57	966 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	2 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	19 МГц/25 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0006757. кГц	?	?	?
10 К	ЧЗ-35	2,5 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,33 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,9 МГц/1,5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	0,1 мс	0049.0000 мс	?	?	?
11 Л	ЧЗ-24	?	0,03 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	7 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	10,5 МГц/2,5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	37886.420 кГц	?	?	?
12 М	ЧЗ-22	31 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	34 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	20,2 МГц/6 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	?	089124.38 мкс	?	?	?
13 Н	ЧЗ-24	9,4 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	8 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	3,8 МГц/3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0003333.3 кГц	?	?	?

Продовження таблиці В1

Варіант	Тип частотомера	Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітки часу	Результат на цифровому табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
14 О	ЧЗ-57	12 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,02 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	1,2 МГц/0,3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	06245.74 кГц	?	?	?
15 П	ЧЗ-36	15,3 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	27 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	27 МГц/5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	10^2	?	010.0000 мс	?	?	?
16 Р	ЧЗ-22	1001 кГц	?	–	?	–	–	?	?	10^{-6}	?
		85 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	5,9 МГц/5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	01378.000 кГц	?	?	?
17 С	ЧЗ-24	3,85 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		360 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	18,4 МГц/2 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	000.04250 кГц	?	?	?
18 Т	ЧЗ-57	14,6 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	35 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	35 МГц/1,2 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00000.22 кГц	?	?	?
19 У	ЧЗ-35	17,3 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	22 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	4,4 МГц/2,2 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	9999.9999 кГц	?	?	?
20 Ф	ЧЗ-24	940 кГц	?	–	?	–	–	?	?	?	?
		2,9 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	7,75 МГц/2 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	01000.000 кГц	?	?	?

Продовження таблиці В1

Варіант	Тип частотоміра	Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітки часу	Результат на цифровому табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
21 Х	ЧЗ-35	2,22 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	21 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	7,7 МГц/7 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	02664.3740 кГц	?	?	?
22 Ц	ЧЗ-24	49 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	17 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	8,2 МГц/250 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	008750.00 кГц	?	?	?
23 Ч	ЧЗ-57	6,25 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		750 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	6,25 МГц/750 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	0750.0000 мс	?	?	?
24 Ш	ЧЗ-22	5 МГц	?	–	?	–	–	?	?	10^{-4}	?
		?	12 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	5,5 МГц/0,1 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.2840 кГц	?	?	?
25 Щ	ЧЗ-24	12,6 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	10 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	10,8 МГц/0,7 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00001.000 кГц	?	?	?
26 Ь	ЧЗ-57	10,25 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		27 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,8 МГц/40 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	1 мс	000088.0 мс	?	?	?
27 Э	ЧЗ-35	?	0,9 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	9 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	14,7 МГц/0,1 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00442.2110 кГц	?	?	?

Продовження таблиці В1

Варіант	Тип частотоміра	Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітки часу	Результат на цифровому табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
28 Ю	ЧЗ-24	16,2 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		66 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	36 МГц/4 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		–	–	–	?	?	–	00024.400 мкс	?	?	?
29 Я	ЧЗ-35	19,8 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	6 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	20 МГц/20 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	004455.663 кГц	?	?	?
30	ЧЗ-22	?	7,5 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,6 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	25 МГц/0,4 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00000.100 кГц	?	?	?

Приклад розв'язання завдання W

Таблиця В2 – Умови варіанта W для типу частотоміра ЧЗ-57.

Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітки часу	Результат на цифр. табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
5 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
10 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
–	–	2,1 МГц/3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
?	?	–	?	–	–	0100.000 кГц	?	?	?

1. Визначимо технічні характеристики ЧЗ-57 з табл. Г1.

Таблиця В3 – Технічні характеристики ЧЗ-57.

Тип частотоміру	Діапазон вимірювання частоти	Діапазон вимірювання періоду	Час лічби, мс	Множник періоду	Мітки часу	Похибка кварцового генератора	Кількість розрядів
ЧЗ-57	0,1 Гц...100 МГц	1 мкс...10 ⁴ с	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 мкс...1 мс	10 ⁻⁷	7

Задача №1

- визначаємо період сигналу

$$T_{\tilde{n}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \cdot 10^6} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,2 \text{ мкс}$$

- обираємо режим роботи частотоміра. Оскільки T_c не входить в діапазон вимірювання періоду, то вибираємо режим вимірювання частоти.

- за формулою визначаємо час рахунку:

$$T_{\text{ліч}} = \frac{10^q - 1}{f} = \frac{10^7 - 1}{5 \cdot 10^6} \approx 2 \text{ с}, \text{ тобто } 10^3 \text{ мс} < T_{\text{ліч}} < 10^4 \text{ мс};$$

- з урахуванням того, що час рахунку може набувати тільки такі значення (10⁰; 10¹; 10²; 10³; 10⁴) мс, обираємо $T_{\text{ліч}} = 10^3 \text{ мс} = 1 \text{ с}$.

- абсолютну похибку дискретності визначаємо за формулою:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{1} = \pm 1 \text{ Гц.}$$

- відносна похибка дискретності:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_{\tilde{n}} \cdot T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{5 \cdot 10^6 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-7}.$$

- сумарна похибка вимірювання частоти:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\epsilon_{\text{а}}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\epsilon_{\text{а}}}$ – вибираємо з характеристик даного частотоміра ЧЗ-57, які зведені в табл. ВЗ. тоді $\delta_{\epsilon_{\text{а}}} = 10^{-7}$ підставляємо в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (2 \cdot 10^{-5})^2} = 2 \cdot 10^{-5}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 2 \cdot 10^{-5}$

- записуємо результат на табло 5000.000 кГц. (Децимальна точка на цифровому табло зміщується на стільки розрядів вліво, якою є степінь $T_{\text{ліч}}$).

Задача №2

- визначаємо період сигналу

$$T_{\text{п}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ п} = 0,1 \text{ нп} ,$$

- з урахуванням того, що частота і період сигналу входять в діапазон вимірювань, рекомендується вибрати такий режим роботи частотоміра, в якому похибка вимірювання буде мінімальною.

- обчислюємо відносну похибку дискретності в режимі вимірювання частоти:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_{\text{п}} \cdot T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{10 \cdot 10^3 \cdot 10} = 10^{-5} ,$$

де $T_{\text{ліч}}$ розраховано, як і в першому завданні, і вибрано $10^4 \text{ мс} = 10 \text{ с}$

- обчислюємо відносну похибку дискретності в режимі вимірювання періоду:

- вибираємо період мітки часу, (як правило, мінімальне значення), тобто $T_{\text{м}} = 0,1 \text{ мкс} = 10^{-7} \text{ с}$.

- даємо оцінку величини множника n періоду сигналу, з урахуванням обмеження на рахунковий блок ($N \leq 10^q - 1$), N – кількість міток, підрахованих лічильником, q – кількість розрядів лічильника.

Множник періоду може набувати значення $n = 10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4$.

$$n_{\text{дiçðàð}} = \frac{N \cdot \Delta_i}{\Delta_{\text{п}}} = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-7}}{10^{-4}} = 10^4 - 10^{-3} < 10^4$$

Оскільки $10^3 < n < 10^4$, то значення множника періоду вважаємо рівним 10^3 .

- визначаємо кількість міток

$$N = \frac{\dot{O}_{\tilde{n}} \cdot n}{\dot{O}_i} = \frac{10^{-4} \cdot 10^3}{10^{-7}} = 10^6.$$

- обчислюємо відносну похибку дискретності в режимі вимірювання періоду

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{10^6} = \pm 10^{-6},$$

тобто, менше ніж в режимі вимірювання частоти, а тому вибираємо режим вимірювання періоду.

- Сумарна похибка вимірювання частоти:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\hat{\epsilon}\tilde{a}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\hat{\epsilon}\tilde{a}}$ – вибираємо з характеристик даного частотоміра ЧЗ-57, які зведені в табл. В3.

Тоді $\delta_{\hat{\epsilon}\tilde{a}} = 10^{-7}$ підставляємо в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (10^{-6})^2} = 1,004 \cdot 10^{-6}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 1,004 \cdot 10^{-6}$

– для обраного режиму визначимо абсолютну похибку Δ_N , час лічби $T_{\text{ліч}}$, та результат вимірювання на табло.

$$\Delta_N = \pm \frac{\dot{O}_i}{n} = \frac{10^{-7}}{10^3} = \pm 10^{-10} \text{ с},$$

$$T_{\hat{\epsilon}\tilde{z}} = T_{\tilde{n}} \cdot n = 10^{-4} \cdot 10^3 = 0,1 \text{ с}.$$

Результат на табло 100.0000 мкс.

Задача №3

Вимірюємо відношення частот 2,1 МГц/3 кГц.

- розрахуємо величину множника періоду за умови $N \leq (10^q - 1)$ з рівності $n \cdot T_2 = N \cdot T_1$

$$n = \frac{(10^q - 1) \cdot T_1}{T_2},$$

$$\text{де } T_2 = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad T_1 = \frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6} \text{ с}; \quad q=7;$$

тоді $n = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot 3}{2,1 \cdot 10^{-3}} \approx 1,4 \cdot 10^4$,

вважаємо $n=10^4$;

– визначимо $T_{\text{ліч}}$:

$$T_{\text{ліч}} = n \cdot T_2 = 10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = 3,33 \text{ с};$$

– визначимо абсолютну похибку дискретності :

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{n} = \pm 10^{-4}.$$

– розрахуємо відносну похибку:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{де } N = \frac{n \cdot T_2}{T_1} = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6, \quad \delta_N = \pm \frac{1}{7 \cdot 10^6} = \pm \frac{1}{7} \cdot 10^{-6} = 0,143 \cdot 10^{-6}.$$

- сумарна похибка вимірювання частоти:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кр}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\text{еа}}$ – вибираємо з характеристик даного частотоміра ЧЗ-57, які зведені в таблицю ВЗ. Тоді $\delta_{\text{еа}} = 10^{-7}$ підставляємо в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (0,143 \cdot 10^{-6})^2} = 0,391 \cdot 10^{-6}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 0,391 \cdot 10^{-6}$.

Записуємо результат на табло 700.0000.

Задача №4

Це завдання є зворотним по відношенню до попередніх. Заданий результат вимірювання на табло 0100.000 кГц. Очевидно, що частотомір працює в режимі вимірювання частоти. З прикладу попередніх завдань, видно, що $\Delta_{\text{ліч}} = 10^3 \text{ мс} = 1 \text{ с}$;

– абсолютна похибка:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{\text{ліч}}} = \pm \frac{1}{1} = \pm 1 \text{ Гц};$$

– відносна похибка:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_c \cdot T_{\text{взр.}}} = \pm \frac{1}{100 \cdot 10^3 \cdot 1} = 1 \cdot 10^{-5};$$

- сумарна похибка вимірювання частоти:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\text{взр.}}$ – вибираємо з характеристик даного частотоміра ЧЗ-57, які зведені в табл. В3. Тоді $\delta_{\text{взр.}} = 10^{-7}$ підставляємо в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (1 \cdot 10^{-5})^2} = 1 \cdot 10^{-5}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 1 \cdot 10^{-5}$

– частота сигналу $f_c = 100 \text{ кГц}$; період сигналу $T_c = 10^{-5} \text{ с}$. Результати розв'язання всього завдання подані в табл. В4.

Таблиця В4 – Результати розв'язання завдання W для типу частотоміра ЧЗ-57.

Частота	Період	Відношення частот	Час лічби	Множник періоду	Мітка часу	Результат на цифр. табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_{\Sigma}$
5 МГц	$2 \cdot 10^{-5} \text{ с}$	–	1с	–	–	5000.000 кГц	1Гц	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
10 кГц	0,1мс	–	0,1с	10^3	10^{-7} с	100.0000 мкс.	10^{-10} с	10^{-6}	$1,004 \cdot 10^{-6}$
–	–	2,1 МГц/3 кГц	3,33 с	10^4	–	700.0000	10^{-4}	$0,143 \cdot 10^{-6}$	$0,391 \cdot 10^{-6}$
100 кГц	10^{-5} с	–	1с	–	–	0100.000 кГц	1Гц	10^{-5}	$1 \cdot 10^{-5}$

Додаток Г

Таблиця Г1 – Основні технічні характеристики частотомірів.

Тип частотоміра	Діапазон вимірювання частоти	Діапазон вимірювання періоду	Час лічби, мс	Множник періоду	Мітки часу	Похибка кварцового генератора	Кількість розрядів
ЧЗ-22	10 Гц...12 МГц	10 мкс...100 с	$1 \dots 10^4$	$1 \dots 10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-7}	8
ЧЗ-24	10 Гц...50 МГц	1 мкс...100 с	$1 \dots 10^4$	$1 \dots 10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-8}	8
ЧЗ-36	10 Гц...50 МГц	10 мкс...100 с	$1 \dots 10^4$	$1 \dots 10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-8}	7
ЧЗ-57	0,1 Гц...100 МГц	1 мкс... 10^4 с	$1 \dots 10^4$	$1 \dots 10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-7}	7
ЧЗ-35	10 Гц...50 МГц	20 мкс...100 с	$1 \dots 10^4$	$1 \dots 10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-8}	9

Література

1. Вимірювання в системах зв'язку. Книга 1: Загальні електрорадіовимірювання / [Коломієць Л.В., Воробієнко П.П., Козаченко М.Т. та ін.]. - Одеса: ВМВ, 2009. – с.
2. Метрологія, стандартизація та вимірювання в техніці зв'язку / [Хромой Б.П., Кандінов А.В. та ін.]. - М.: Радио и связь, 1986. – с.
3. Метрологія у галузі зв'язку , Книга I: Метрологія, стандартизація, менеджмент якості та оцінка відповідності: [підручник], / [Л. В. Коломієць, П.П. Воробієнко, М. Т. Козаченко]. - Одеса: Вид-во «Стандарт», 2006. – с.
4. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.
5. ДСТУ 1.0-93 Державна система стандартизації України. Основні поняття.

Измерение частоты и временных интервалов информационных сигналов.

Метрологическое обеспечение средств измерения

Авторы: Козаченко М.Т., Жмурко Ю.В., Козаченко Л.О.,
Зиангирова Л.Т., Богун В.Д., Серебрин В.Л.

В лабораторных работах №7 и №7а и в индивидуальном задании по курсу «Измерения в системах связи» рассматриваются цифровые частотомеры, которые выполнены на схемах с жесткой логикой. Анализируются основные характеристики и режимы работы, которые позволяют минимизировать погрешности измерений. Приведены индивидуальные задания для самостоятельной работы студентов, а также примеры решения задач по оценке характеристик результатов измерений при разнообразных режимах работы.

Предназначено для студентов высших учебных заведений и издаётся на украинском, русском и английском языках.

Содержание

Общая характеристика дисциплины.....	58
Вступление.....	61
Общие сведения.....	61
Измерение частоты инфосигнала цифровым способом.....	63
Измерение интервала времени (периода) инфосигнала.....	68
Измерение отношения частот инфосигналов.....	70
Метрологическое обеспечение средств измерительной техники для измерения частоты и временных интервалов.....	73
Лабораторная работа № 7. Исследование частоты и временных интервалов информационного сигнала цифровым способом.....	78
Лабораторная работа № 7а. Метрологическое обеспечение СИТ для измерения частоты инфосигналов. Измерение частот и временных интервалов информационного сигнала.....	84
Индивидуальное задание. Расчет метрологических характеристик ЭСЧ.....	92
Приложение А.....	95
Приложение Б.....	97
Приложение В.....	98
Приложение Г.....	108
Литература.....	109

1. Общая характеристика дисциплины

Дисциплина «Измерения в системах связи» включена в стандарты обучения и обеспечивает базовую подготовку бакалавров по направлению 6.050903 «Телекоммуникации» по специальностям: «Телекоммуникационные системы», «Информационные сети связи».

Дисциплина имеет 2,5 кредита ECTS, модулей-2, содержательных модулей-4, общее количество часов-90, в том числе: лекции- 34 часа, лабораторные занятия-18 часов; самостоятельная работа и индивидуальная работа – 38 часов, семестр 2.3, 2.4; вид контроля - зачет.

Структура содержательных модулей 1

Содержательный модуль	Лекции (часы)	Занятия		Самостоятельная работа (в том числе ИНДЗ)	Индивидуальная работа
		Практические	Лабораторные		
«Измерение параметров информационных сигналов в системах связи.»(1,25 кредит; 47 часов.)					
1. Основы теории измерений. Объекты измерений в системах связи.	2	-	-	2	-
2. Временной и спектральный анализ информационных сигналов.	8	-	4	7	-
3. Измерение частоты и временных интервалов.	8	-	6	10	-
Всего 1 модуль, часов.	18	-	10	19	-

2. Содержание содержательных модулей (лекционных часов)

2.1. Основы теории измерений. Объекты измерений в системах связи. (2 часа)

Общие положения. Алгоритмизация измеряемых преобразований. Формализация способов измерения. Анализ воздействия метрологических характеристик средств измерительной техники на измерения. Аналоговые измерительные преобразования. Аналого-цифровое преобразование, реализация аналого-цифрового преобразования.

2.2. Временной и спектральный анализ информационных сигналов. (8 часов.)

Исследование электрических сигналов. Общие сведения. Временной анализ сигналов. Виды осциллографических разверток. Синхронизация развертки. Измерение параметров исследуемых сигналов. Особенности осциллографирования наносекундных импульсов и сигналов сверхвысоких

частот. Применение микропроцессоров в осциллографах. Цифровые запоминающие осциллографы. Перспективы развития средств измерительной техники для временного анализа сигналов.

2.3. Измерение частоты и временных интервалов (8 часов)

Методы измерения частоты и временных интервалов. Измерение интервалов времени методом дискретного счета. Цифровой способ измерения частоты. Использование микропроцессоров в электронно-счетных частотомерах. Адаптивные электронно-счетные частотомеры. Метрологическое обеспечение средств измерительной техники для измерения частоты. Особенности измерения частотно-временных параметров сигналов цифровыми частотомерами на высоких частотах.

Таблица №1 – Список лабораторных работ модулей 1

№п /п	Тема	часы
1	Лабораторная работа № 1 Измерение параметров электрических сигналов с помощью осциллографа	2
2	Лабораторная работа № 2 Калибровка универсальных осциллографов	2
3	Лабораторная работа № 7. Исследование частоты и временных интервалов информационного сигнала цифровым способом.	4
4	Лабораторная работа № 7а. Метрологическое обеспечение СИТ для измерения частоты инфосигналов. Измерение частот и временных интервалов информационного сигнала.	2
Всего:		10

Входные требования к изучению лабораторной работы:

Необходимо знать:

- Высшую математику: Векторную алгебру и аналитическую геометрию. Матанализ, дифференциальное и интегральное исчисление. Теорию обобщенных функций и дискретную математику. Теорию вероятностей и математическую статистику. Цифровую обработку сигналов (ЦОС).

- Физику: теорию электромагнетизма. Колебания и волны, теорию интерференции. Физику твердого тела, теорию полупроводников, полупроводниковые устройства и их особенности.

- Методы измерения частотно-временных параметров сигнала: аналоговые методы измерения частоты; цифровые способы измерения частоты и временных интервалов электрических сигналов.

- Цифровые частотомеры. Структурная схема и принципы работы. Цифровой способ измерения частоты. Цифровой способ измерения временных интервалов и отношения частот. Погрешности измерения частоты и временных интервалов. Выбор параметров цифровых частотомеров для разных режимов работы.

Уметь:

- Использовать дифференцирование, интегрирование при оценке параметров сигналов и оценивать погрешности результатов измерения с помощью рядов. Использовать теорию вероятностей при статистической обработке результатов измерения.

- Составлять стандартные схемы и уравнения измерений, пользуясь действующими метрологическими правилами, нормами, сроками и определениями, единицами системы SI, использовать научные принципы, аттестованные методики и средства измерительной техники (СИТ)

- Использовать цифровые частотомеры-периодомеры: выбирать оптимальные режимы работы, рассчитывать границы допустимых погрешностей цифровых измерений и цифровых СИТ.

Выходные знания и умения из лабораторной и практической работ:**В результате выполнения лабораторной работы студент должен:**

- **Знать:** цифровой способ измерения частоты; цифровой способ измерения часовых интервалов и отношения частот; погрешности измерения частоты и временных интервалов; как производится выбор параметров цифровых частотомеров для разных режимов работы; методы анализа формы и спектра электрических сигналов; основы визуализации процессов. Простейший осциллограф, структурную схему, процессы, органы управления; оценку погрешности результатов осциллографических измерений; как использовать осциллограф для исследования формы сигналов. Виды разверток осциллографа и их синхронизацию. Измерения энергетических и временных параметров процессов.

- **Уметь:** пользоваться эксплуатационной документацией на СИТ, анализировать структурные и функциональные схемы СИТ, представлять формы электрических процессов, определять примененные принципы и методы измерения, выбирать оптимальные режимы работы. Использовать электронный осциллограф для исследования формы и измерения энергетических и временных параметров электрических процессов.

Вступление

Задачей настоящего методического пособия является приобщение студентов к знаниям об основных положениях государственных стандартов, обеспечивающих единство измерений, методах и приемах поверки средств измерительной техники (СИТ), используемых для измерения частоты и временных интервалов инфосигналов.

Методическое пособие содержит краткие сведения о цифровых способах измерения частоты и временных интервалов. Здесь также приведены основные сведения по метрологическому обеспечению указанных СИТ.

Пособие содержит методические указания к двум лабораторным работам, а также индивидуальные задания для студентов. Подготовку к изданию методического пособия на английском языке для студентов «Технической элиты» осуществляли доцент Селиванов П.П. и преподаватель Жмурко Ю.В.

В приложениях к пособию приведены сведения о метрологических характеристиках СИТ, используемых в лабораторных работах и при решении практических задач.

Общие сведения

Измерение частоты и временных интервалов, являющихся параметрами переменного напряжения электрического сигнала, в том числе и информационного, – один из видов измерений, которые наиболее часто встречаются.

Это объясняется, в первую очередь, очень высокой точностью частотоизмерительных приборов, недостижимой для других СИТ. Кроме того, в устройствах связи их частотная характеристика – это характеристика, от которой во многом зависит неискаженная передача информации.

Не менее важным является контроль за стабильностью частоты, например, в приемно-передающих устройствах. Поскольку частота связана со скоростью изменения фазы напряжения сигнала, то, очевидно, контроль частоты необходим и для учета фазовых искажений, особенно на очень высоких частотах.

И, наконец, поверка, аттестация и калибровка других СИТ происходит в определенных точках частотного диапазона, что вызывает необходимость в ходе проведения указанных операций точно измерить частоту.

Диапазон частот, используемых в технике связи, простирается от долей герц до десятков гигагерц. Если исключить промышленную частоту тока, то весь спектр условно можно разделить на пять диапазонов: инфразвуковые частоты – ниже 20 Гц, звуковые частоты – от 20 Гц до 20 кГц, высокие частоты – от 20 кГц до 30 МГц, ультравысокие частоты – от 30 до 300 МГц и сверхвысокие частоты – выше 300 МГц. Верхний предел используемых частот в процессе развития науки и техники непрерывно повышается и в настоящее время превышает 300 ГГц.

Частоту электромагнитных колебаний удобно выражать через длину плоской волны в свободном пространстве λ и период T .

Эти величины связаны между собой простыми зависимостями:

$$f = c/\lambda, \quad f = 1/T, \quad (1)$$

где f – частота, Гц;

c – скорость распространения электромагнитных колебаний, м/с;

λ – длина волны, м;

T – период колебания, параметр периодического сигнала, характеризующий интервал времени, через который повторяются его мгновенные значения, с.

Скорость распространения электромагнитных колебаний зависит от параметров среды, в которой они распространяются:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_a \cdot \epsilon_a}},$$

где μ_a – абсолютная магнитная проницаемость;

$\mu_a = \mu_0 \mu$;

ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость; $\epsilon_a = \epsilon_0 \cdot \epsilon$;

Для вакуума $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\epsilon_0 = 8,852 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, тогда $c_0 = (299792,5 \pm 0,3)$ км/с.

Здесь μ и ϵ относительные магнитная и диэлектрическая проницаемости среды, соответственно.

Например, скорость распространения электромагнитных колебаний в кабелях связи зависит от μ_a и ϵ_a применяемого в нем диэлектрика.

Для характеристики электрических колебаний можно измерять частоту f , период T или длину плоской волны в свободном пространстве λ . В технике связи почти всегда измеряется частота, реже – период колебания, и только на сверхвысоких частотах измеряются и частота, и длина волны. Чаще всего измеряют среднюю частоту за время счета.

$$f = N / T_{\text{сч}}, \quad (2)$$

где N – число периодов колебания,

$T_{\text{сч}}$ – время счета (время измерения).

Измерением частоты пользуются при градуировке шкал измерительных генераторов радиоприемных и радиопередающих устройств с плавной перестройкой диапазона; определении резонансных частот колебательных контуров и различных резонаторов; определении полосы пропускания фильтров и четырехполосников; измерении или контроле величины отклонения частоты от ее номинального значения, присвоенного данному устройству – радиостанции, генераторному оборудованию системы уплотнения и т.д. Широкое применение беспойсковой и бесподстраиваемой радиосвязи, многоканального высокочастотного уплотнения, спутниковой, а также мобильной связи оказалось возможным в результате развития методов точного измерения частоты.

В целом, погрешность измерения частоты задается в абсолютных Δf , или, чаще, в относительных величинах $\Delta f/f$. Допустимая величина погрешности определяется нестабильностью измеряемой частоты и должна быть меньше ее, по

крайней мере, в 5 раз. Например, если относительная нестабильность частоты радиостанции равна 10^{-5} , то относительная погрешность измерения не должна превышать $2 \cdot 10^{-6}$. Прибор, обеспечивающий нужную точность измерений, должен поверяться с помощью еще более точного устройства, погрешность которого в данном случае не должна превышать $4 \cdot 10^{-7}$. Погрешность измерений низких частот, конечно, допускается значительно больше – (1 ... 2)%, за исключением частот, применяемых в тональной телеграфии и передаче данных.

Для измерения частоты используют СИТ, которые классифицируются следующим образом:

Ч1 – стандарты частоты и времени;

Ч2 – частотомеры резонансные;

Ч3 – частотомеры электронно-счетные;

Ч4 – частотомеры гетеродинные, емкостные и мостовые;

Ч5 – синхронизаторы частоты и преобразователи частоты сигнала;

Ч6 – синтезаторы частоты, делители и умножители частоты;

Ч7 – приемники сигналов эталонных частот и сигналов времени, компараторы частотные (фазовые, временные) и синхронометры;

В измерительных приборах частоты, как правило, используют высокостабильные кварцевые генераторы в качестве эталонной меры, для которых различают кратковременную и долговременную нестабильности. Кратковременная нестабильность таких генераторов обусловлена тепловыми шумами кварцевого резонатора и элементов генератора и дробным шумом транзисторов. Кроме того, на кратковременную нестабильность влияют нестабильность питающего напряжения и вибрации.

Долговременная нестабильность определяется, главным образом, старением кварцевого резонатора и изменением его механических свойств под действием дестабилизирующих факторов: влажности, давления, вибрации и радиационного облучения. Для уменьшения дестабилизирующего действия влажности и давления кварцевый резонатор помещают в вакуумный баллон. Характерные предельные значения относительной погрешности воспроизведения частоты, обусловленные долгосрочной нестабильностью, составляют от 10^{-8} в сутки до $5 \cdot 10^{-7}$ за год эксплуатации, а в некоторых приборах еще меньше.

Измерение частоты инфосигнала цифровым способом

В настоящее время цифровой способ получил наибольшее распространение. На его основе построена большая часть частотомеров, выпускаемых промышленностью. Как правило, в цифровом частотомере предусмотрена возможность измерения не только частоты, но и периода повторения и временных интервалов. Некоторые приборы могут измерять и другие параметры сигналов и цепей, предварительно преобразовав их во временной интервал или в частоту. Таким образом, цифровые частотомеры являются хорошей основой для построения многофункциональных приборов. В частности, цифровым электронно-счетным частотомером (ЭСЧ) можно измерять частоту, период сигнала, отношение, разность, сумму частот и т.д.

В основу работы цифровых частотомеров положен принцип дискретного счета: подсчет количества импульсов за определенный промежуток времени,

который имеет много преимуществ. К ним относятся: широкий диапазон измерений, высокая точность и помехоустойчивость, возможность выдачи результатов измерения на печать и т.д.

Измерение частоты осуществляется прямым сравнением частоты исследуемого сигнала f_c со значением образцовой частоты $f_{обр}$, созданной кварцевым генератором, в качестве меры. Наиболее оптимальным в плане уменьшения погрешности результата измерения этот режим будет при условии, если измеряемая частота во много раз превышает частоту образцового сигнала.

В этом режиме периодический сигнал с частотой f_c подается на частотный вход 1 (рис. 1). После входного устройства (1) исследуемый сигнал поступает через коммутатор (2) (ключ коммутатора находится в положении 1) на преобразователь аналогового сигнала в дискретный (3). Здесь исследуемый сигнал (например, синусоидальный) преобразуется в периодическую последовательность коротких импульсов (рис. 2). Отдельные импульсы этой последовательности могут быть сформированы в моменты перехода синусоидального сигнала через нулевой уровень с производной того же знака. Таким образом, частота следования этих импульсов совпадает с частотой f_c измеряемого сигнала. Далее эта последовательность импульсов поступает на один из входов временного селектора (4). На другой вход временного селектора подается, так называемый, стробирующий импульс. Формирование стробирующего импульса происходит в управляющем канале, в котором напряжение образцовой частоты, генерируемой кварцевым генератором, подается через коммутатор (8) (ключ коммутатора находится в положении 1) через блок деления частоты (9) на формирователь (10).

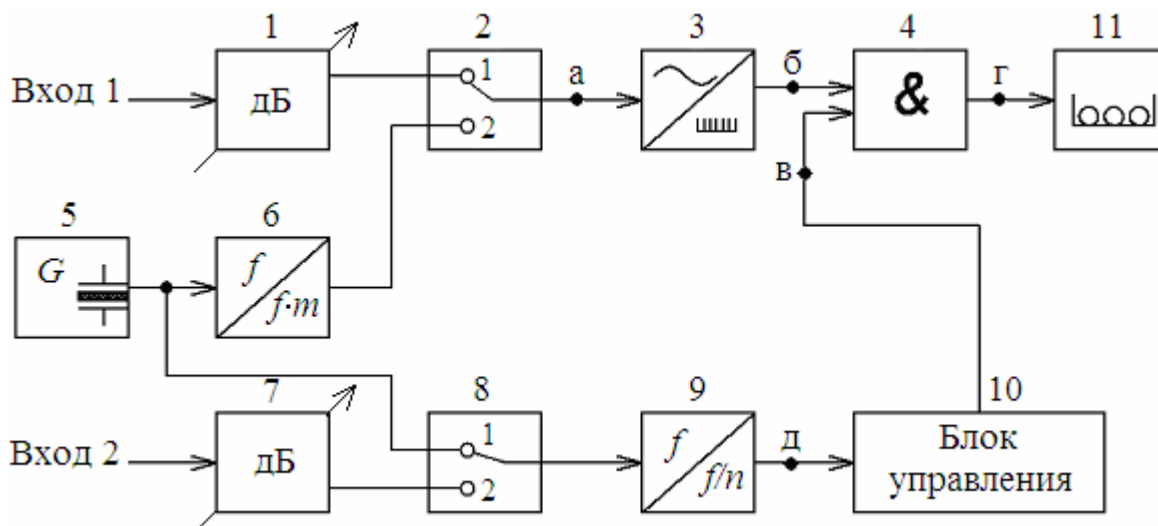


Рисунок 1 – Структурная схема ЭСЧ

На рис. 2 представлены эпюры напряжений ЭСЧ, которые наглядно показывают суть цифрового метода, который сводится к подсчету числа импульсов N , поступающих на счетный блок (11) за время, равное $T_{сч}$, названное «ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ» или «ВРЕМЯ СЧЕТА», т.е.

$$N = \frac{T_{сч}}{T_{сд}} = T_{сч} \cdot f_{сд}, \quad (3)$$

где $f_{сд}$ – действительное значение измеряемой частоты.

Таким образом, частота исследуемого сигнала определяется выражением:

$$f_{сд} = \frac{N}{T_{сч}}, \quad (4)$$

где $T_{сч} = T_{кг}$.

При измерении в счетный блок поступит $(N \pm 1)$ импульс за счет дискретизации, тогда

$$f_{сизм} = \frac{N \pm 1}{T_{сч}}, \quad (5)$$

где $T_{сч} = nT_{кг}$;

$T_{кг}$ – период колебаний кварцевого генератора;

n – коэффициент деления частоты блока (9).

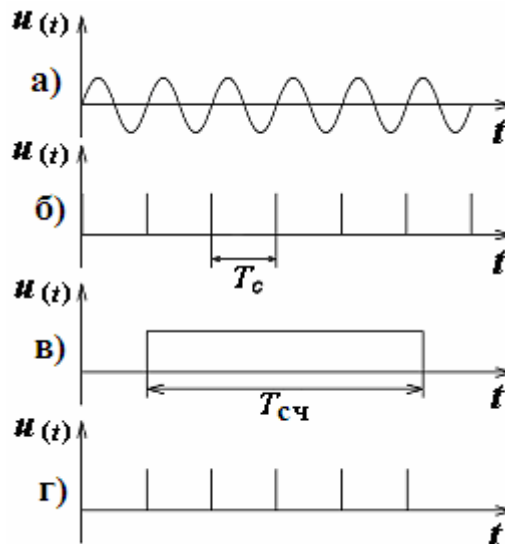


Рисунок 2 – Эпюры напряжений в режиме измерения частоты

При измерении частоты с помощью ЭСЧ имеют место две составляющие погрешности: меры (за счет нестабильности частоты кварцевого генератора) и сравнения (за счет дискретизации).

В современных цифровых частотомерах применяются кварцевые генераторы с относительной нестабильностью частоты порядка $\pm 10^{-10} \dots 10^{-12}$. Погрешность сравнения определяется, главным образом, погрешностью дискретности, т.е. обусловлена тем, что фронт и спад управляющего (стробирующего) импульса не синхронизированы с моментами появления импульсов периодической последовательности, сформированной из исследуемого сигнала или, другими словами, эта погрешность связана с некратностью периодов измеряемого сигнала и образцового.

Максимальное значение абсолютной погрешности дискретности Δ_N :

$$\Delta_N = f_{\text{н\ddot{e}ç\grave{c}\grave{i}} - f_{\text{н\ddot{a}}} = \frac{N \pm 1}{T_{\text{н\ddot{÷}}} - T_{\text{н\ddot{÷}}} = \pm \frac{1}{T_{\text{н\ddot{÷}}}. \quad (6)$$

Она не зависит от частоты исследуемого сигнала и выражается в Гц. Уменьшить значение абсолютной погрешности можно за счет увеличения времени измерения $T_{\text{сч}}$. Минимальное значение Δ_N может быть получено при $T_{\text{сч,расч}}$, обусловленном ограничением на счетный блок ЭСЧ, т.е.

$$N = 10^q - 1, \quad (7)$$

где q – число разрядов ЭСЧ.

Тогда, с учетом (4)

$$T_{\text{расч}} = (10^q - 1)/f_{\text{сд}}. \quad (8)$$

Максимальное значение относительной погрешности дискретности определяется выражением

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{f_{\text{н\ddot{a}}} = \pm \frac{\left(\frac{1}{T_{\text{н\ddot{÷}}}\right)}{\left(\frac{N}{T_{\text{н\ddot{÷}}}\right)} = \pm \frac{1}{N}, \quad (9)$$

где N – число импульсов, поступивших в счетный блок ЭСЧ.

Суммарная погрешность измерения частоты

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2}, \quad (10)$$

где $\delta_{\text{кг}}$ – составляющая погрешности, внесенная мерой (кварцевым генератором).

Положение десятичной точки в результате измерения определяется степенью ряда чисел, выражающих время измерения $T_{\text{сч}}$ в миллисекундах, откуда следует единица измерения частоты «кГц», что и указано на дисплее частотомера. Этот ряд чисел выглядит так: $T_{\text{сч}} = (10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4)$ мс.

После вычисления $T_{\text{сч,расч}}$ выбирают из указанного ряда $T_{\text{сч}}$, придерживаясь следующих условий:

- если $T_{\text{сч,расч}} \geq 10^4$ мс, то выбирают $T_{\text{сч}} = 10^4$ мс;
- если 10^4 мс $> T_{\text{сч,расч}} > 10^3$ мс, то выбирают $T_{\text{сч}} = 10^3$ мс и т.д.

Результат на дисплее ЭСЧ, как указывалось, представляется в кГц.

Пример. Частота исследуемого сигнала равна 650 кГц. Измерение проводится ЭСЧ типа ЧЗ-57. Его основные метрологические характеристики (МХ):

- диапазон измерения частоты 0,1 Гц ÷ 100 МГц;

- диапазон измерения периода $1 \text{ мкс} \div 10^4 \text{ мс}$;
- время счета $10^0 \div 10^4 \text{ мс}$;
- множитель периода $10^0 \div 10^4$;
- метки времени $0,1 \text{ мкс}$; 1 мкс ; $0,01 \text{ мс}$; $0,1 \text{ мс}$; 1 мс ;
- число разрядов – 7.

Необходимо определить: $T_{\text{сч}}$, Δ_N и δ_N и записать результат измерения.

Решение.

Определяем:

$$T_{\text{сч расч}} = \frac{10^9 - 1}{f} = \frac{10^7 - 1}{650 \cdot 10^3} \approx 15 \text{ с} \approx 1,5 \cdot 10^4 \text{ мс}.$$

С учетом вышеуказанных рекомендаций выбираем $T_{\text{сч}} = 10^4 \text{ мс} = 10 \text{ с}$.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{\text{нз}}} = \pm \frac{1}{10} = \pm 0,1 \text{ Гц}.$$

Относительная погрешность дискретности:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{f_c \cdot T_{\text{нз}}} = \pm \frac{1}{650 \cdot 10^3 \cdot 10} \approx 1,5 \cdot 10^{-7}.$$

Здесь f_c – в Гц; $T_{\text{сч}}$ – в сек.

Результат на дисплее $650,0000 \text{ кГц}$.

При измерении низких частот погрешность дискретности является определяющей составляющей погрешности измерения. Например, если измеряется частота $f_c = 5 \text{ Гц}$ при $T_{\text{сч}} = 1 \text{ с}$, максимальное значение абсолютной погрешности дискретности $\Delta_N = \pm 1 \text{ Гц}$, а максимальное значение относительной погрешности составит $\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{5}$, т.е. 20%, что недопустимо велико.

Таким образом, из-за большой погрешности дискретности низкие частоты непосредственно измеряются цифровым частотомером с невысокой точностью. Поэтому нахождение способа уменьшения влияния погрешности дискретности на результат измерения всегда представляло одно из важных направлений разработки цифровой частотоизмерительной техники.

Первый способ очевиден: он сводится к увеличению продолжительности «временных ворот», то есть длительности времени измерения. Но возможности такого способа ограничены, поскольку в обычных цифровых частотомерах (не содержащих микропроцессоры) максимально возможная продолжительность времени измерения $T_{\text{сч}} = 10 \text{ с}$.

Второй способ сводится к увеличению числа импульсов, заполняющих «временные ворота», что достигается умножением частоты исследуемого сигнала.

При этом максимальная абсолютная погрешность не меняется (если неизменна длительность «временных ворот»), но уменьшается относительная погрешность (в число раз умножения). Осуществление данного способа сопряжено с применением дополнительного блока – умножителя частоты, что усложняет и удорожает аппаратуру.

Третий способ, учитывающий случайную природу погрешности дискретности, предполагает проведение многократных наблюдений (единичных измерений) и усреднение их результатов. Это эффективный путь уменьшения влияния случайной погрешности на результат измерения.

Четвертый способ заключается в непосредственном измерении периода исследуемого сигнала с последующим вычислением числового значения частоты ($f_c = 1/T_c$), обратного результату измерения периода. Этот путь позволяет резко уменьшить погрешность дискретности при измерении низких частот.

Измерение интервала времени (периода) инфосигнала

В данном режиме происходит сравнение измеряемого периода исследуемого сигнала T_c с образцовым интервалом времени. При этом сигнал подается на вход 2 ЭСЧ (рис. 1, ключ в положении 2) и, далее, после соответствующего преобразования в блоках (7), (8) и (9) через блок управления (10) подается на второй вход селектора (4). В блоке (10) из исследуемого сигнала формируется прямоугольный стробирующий импульс, длительность которого совпадает с периодом сигнала или кратна ему.

Напряжение образцовой частоты от кварцевого генератора (5) через умножитель частоты (6), коммутатор (2) (положение ключа коммутатора – «2»), преобразователь (3) и далее подается на первый вход временного селектора.

Эпюры напряжений, поясняющие работу ЭСЧ в режиме измерения периода, приведены на рис. 3. Из них видно, что период исследуемого сигнала определяется выражением:

$$T_{сд} = \frac{N \cdot T_m}{n},$$

где T_m – период образцового сигнала (метки времени);

N – число меток, поступивших в счетный блок ЭСЧ;

n – множитель периода (для рассматриваемого случая $n = 1$).

Время счета определяется выражением:

$$T_{сч} = n \cdot T_{сд} = N \cdot T_m \quad (11)$$

Результат на дисплее ЭСЧ, как правило, представляется в единицах измерения выбранной «метки времени» (мс или мкс).

Положение десятичной точки при этом зависит и от значения множителя периода, и от числового значения периода временной метки.

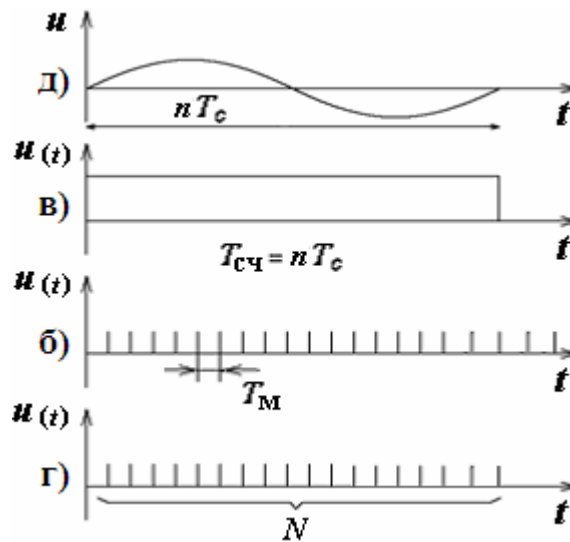


Рисунок 3 – Эпюры напряжений в режиме измерения периода

Погрешность измерения периода $T_{сд}$ состоит из трех составляющих: погрешности меры, преобразования и сравнения. Погрешность меры обусловлена относительной нестабильностью частоты кварцевого генератора $\delta_{кр} = 5 \cdot (10^{-8} \div 10^{-12})$. Погрешность преобразования $\delta_{пр}$ обусловлена, главным образом, отношением напряжения сигнала и помехи, что влияет на формирование управляющего импульса и определяется из выражения (формула Симпсона):

$$\delta_{пр} = \frac{1}{\pi \cdot n} \cdot \frac{U_{п}}{U_{с}}, \quad (12)$$

где n – число измеренных периодов сигнала;

$U_{п}$ – среднее квадратическое значение напряжения помехи;

$U_{с}$ – среднее квадратическое значение напряжения сигнала.

Если $20 \lg \frac{U_{п}}{U_{с}} = -40$ дБ и $n = 1$, то $\delta_{пр} \approx 0,3\%$, если $n = 100$, то $\delta_{пр} = 0,003\%$.

Погрешность сравнения обусловлена погрешностью дискретности.

Абсолютная и относительная погрешности соответственно,

$$\Delta_N = T_{с\ddot{с}и} - T_{с\grave{а}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_{м}}{n} - \frac{N \cdot T_{м}}{n} = \pm \frac{T_{м}}{n}, \quad (13)$$

$$\delta_N = \pm \frac{\Delta_N}{T_{сд}} = \pm \frac{\frac{T_{м}}{n}}{N \cdot T_{м}} = \pm \frac{1}{N}. \quad (14)$$

Суммарная относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{кр}^2 + \delta_{пр}^2 + \delta_N^2}.$$

Для выбора оптимального режима работы с точки зрения минимизации погрешности рассмотрим следующий пример.

Пример. Пусть измеряется сигнал частотой $f_c = 100$ Гц, ($T_c = 10^{-2}$ с), тем же частотомером.

Определить: Δ_N , δ_N , выбрать n , T_m и записать результат измерений.

Решение.

Выбираем период метки (как правило, минимальное значение),

$$T_m = 0,1 \text{ мкс} = 10^{-7} \text{ с.}$$

С учетом ограничения на счетный блок величина множителя n периода сигнала:

$$n = \frac{N \cdot T_m}{T_c} = \frac{(10^7 - 1)10^{-7}}{10^{-2}} = 10^2 - 10^{-5} < 10^2.$$

Поскольку $10 < n < 10^2$, то значение множителя периода принимаем $n = 10$.

Записываем результат измерения периода на дисплее: 10000,00 мкс.

Абсолютная погрешность

$$\Delta_N = \pm \frac{T_m}{n} = \pm \frac{10^{-7}}{10} = \pm 10^{-8} \text{ с.}$$

Относительная погрешность

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{где } N = \frac{n \cdot T_c}{T_m} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{10^{-7}} = 10^6,$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{10^6} = \pm 10^{-6}.$$

Измерение отношения частот инфосигналов

В режиме «ОТНОШЕНИЕ ЧАСТОТ» напряжение более высокой частоты, подается на вход «1» (положение ключа на коммутаторе «1» рис. 1). В канале это напряжение преобразуется в последовательность коротких импульсов с частотой следования, равной f_{c1} . Эти импульсы поступают на первый вход временного селектора, на его второй вход поступает управляющий импульс длительностью T_{c2} . Формирование управляющего импульса происходит в канале 2 из сигнала с более низкой частотой f_{c2} , поданного на вход 2. Изменение коэффициента деления частоты в блоке 9 позволяет увеличить время измерения, что, в итоге, увеличивает интегрирующую способность ЭСЧ.

На рис. 4. иллюстрируется работа ЭСЧ в режиме измерения отношения частот f_{c1}/f_{c2} .

Из рисунка видно, что $N \cdot T_{c1} = n \cdot T_{c2}$ откуда

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_d = \frac{N}{n}; \quad (15)$$

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_{изм} = \frac{N \pm 1}{n} \quad (16)$$

время счета

$$T_{сч} = n \cdot T_{c2} = N \cdot T_{c1} .$$

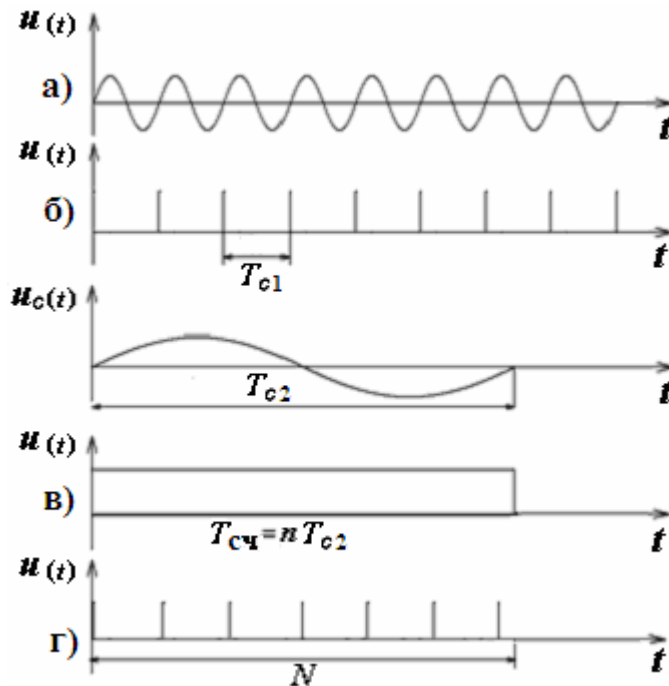


Рисунок 4 – Эпюры напряжений в режиме измерения отношения частот

Погрешность измерения отношения частот f_{c1}/f_{c2} состоит из двух составляющих: погрешности преобразования ($\delta_{пр}$) и сравнения (δ_N)

$$\delta_{пр} = \frac{1}{\pi n} \frac{U_{c2}}{U_{\Pi}} \quad (17)$$

где n – множитель периода,

U_{c2} – напряжение сигнала, поданного на вход 2,

U_{Π} – напряжение помехи.

Абсолютная погрешность дискретности:

$$\Delta_N = \left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_{изм} - \left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_d = \frac{N \pm 1}{n} - \frac{N}{n} = \pm \frac{1}{n}. \quad (18)$$

Относительная погрешность дискретности:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{\left(\frac{T_{\tilde{n}2}}{T_{\tilde{n}1}} \right)_{\ddot{a}}} = \pm \frac{1}{N}, \quad (19)$$

где $N = \frac{n \cdot T_{\tilde{n}2}}{\dot{O}_{\tilde{n}1}}$.

Суммарная погрешность определяется выражением

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{пр}}^2 + \delta_N^2}. \quad (20)$$

Положение десятичной точки определяется степенью ряда чисел, выражающих множитель периода n ($n = 10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4$).

Рассмотрим пример измерения отношения частот с тех же позиций, что и раньше, то есть, минимизации погрешности.

Пример. Пусть измеряется отношение частот 2,1 МГц / 3 кГц частотомером ЧЗ-57.

Решение.

Записываем согласно (16) равенство:

$$T_{\text{сч}} = n \cdot T_{\text{с}2} = N \cdot T_{\text{с}1},$$

где $T_{\text{с}2} = 1/f_{\text{с}2} = \frac{1}{3 \cdot 10^3} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \text{ с};$

аналогично $T_{\text{с}1} = \frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6} \text{ с};$

тогда $n \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = (10^7 - 1) \cdot \frac{10^{-6}}{2,1},$

откуда $n = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot 3}{2,1 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^4 \cdot 3}{2,1} - \frac{10^{-3} \cdot 3}{2,1} \approx 1,4 \cdot 10^4.$

Принимаем $n = 10^4$:

$$T_{\tilde{n}2} = n \cdot T_{\tilde{n}2} = 10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = 3,33 \tilde{\text{н}}.$$

Определяем абсолютную погрешность дискретности

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{n} = \pm 10^{-4}.$$

Вычисляем относительную погрешность

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{где } N = \frac{n \cdot T_{c2}}{T_{c1}} = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6, \quad \delta_N = \pm \frac{1}{7 \cdot 10^6} = \pm 0,143 \cdot 10^{-6}.$$

Результат на табло 700,0000.

Метрологическое обеспечение средств измерительной техники для измерения частоты и временных интервалов

Единая национальная система связи Украины (ЕНССУ), а также её интеграция во всемирную сеть связи обуславливает особенности стандартизации отрасли связи, ее гармоничной адаптации в межгосударственные, международные, региональные и национальные системы стандартизации.

Одной из основных задач стандартизации является обеспечение единства измерений. Решается эта задача путем соответствующего метрологического обеспечения (МО) средств измерительной техники (СИТ) частоты, которое заключается в испытании, поверке и калибровке этих СИТ.

Разработка, производство и эксплуатация частотоизмерительных приборов требуют соответствующего метрологического обеспечения. При этом осуществляется целый комплекс научно-технических и организационных мероприятий, направленных в поддержку единства и необходимой точности частотных измерений во всех отраслях народного хозяйства.

Из числа технических мероприятий особенно следует отметить поверку приборов, потому что она требует наличия большого количества измерительной аппаратуры и, в первую очередь, частотоизмерительной. Достаточно сказать, что для проведения поверки стандарта частоты кварцевого генератора нужны: рубидиевый стандарт частоты, компаратор частотный, ЭСЧ, микровольтметр селективный, анализатор спектра.

С точки зрения поверочных работ все виды частотоизмерительной аппаратуры можно разделить на две группы: приборы, которые измеряют частоту, и приборы, которые вырабатывают высокостабильные электромагнитные колебания.

Приборы первой группы поверяются путем подачи на их вход высокостабильных по частоте электромагнитных колебаний и определения погрешности измерения. Погрешность установки образцовой частоты и ее нестабильность должны быть, по крайней мере, в 3 раза меньше погрешности измерения прибора, который поверяют. Поэтому, для поверки частотомеров применяются соответствующие стандарты частоты, синтезаторы, умножители частот. Погрешность измерения частотомера определяется в точках частотного диапазона, которые регламентированы нормативно технической документацией

(ГОСТ, инструкциями, методическими указаниями по поверке приборов). Как правило, поверка проводится в начале, в середине и в конце частотного диапазона прибора.

Частотоизмерительные приборы второй группы поверяются путем сравнения частоты производимых ими электромагнитных колебаний с образцовой частотой прибора, который имеет метрологические характеристики, в 3 раза лучшие. Для поверки таких приборов применяются стандарты частоты, сигналы образцовых частот, передаваемые по радио, приемники, осциллографы.

С наивысшей точностью частоту и время воспроизводят с помощью высокостабильных молекулярных генераторов.

Испытания. Испытания СИТ проводятся специализированными организациями, аккредитованными как государственные центры испытаний СИТ. Испытания образцов СИТ проводятся в установленном Госпотребстандартом порядке. Испытания СИТ с целью утверждения их типа проводят по утвержденной программе, которая должна содержать следующие разделы: рассмотрение технической документации; экспериментальное исследование СИТ; оформление результатов испытаний.

Подробные требования к программам изложены в рекомендациях международных метрологических органов. В ходе испытаний должны быть проверены соответствие документации и характеристик СИТ техническим условиям и нормативным документам (НД), которые распространяются на них, включая методики поверки.

Соответствие СИТ утвержденному типу контролируется органами Государственной метрологической службы (ГМС) по месту расположения пользователей.

Поверка СИТ – это установление органом ГМС (другими уполномоченными на то организациями) пригодности СИТ к применению на основании экспериментально определенных МХ и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Перечни групп СИТ, подлежащих поверке, утверждаются Госстандартом. Поверка проводится в соответствии с НД, утверждаемой по результатам испытаний.

Результатом поверки является подтверждение пригодности СИТ к применению. В этом случае на него и (или) техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма и (или) выдается «Свидетельство о поверке». Поверительное клеймо – знак установленной формы, наносимый на СИТ, признанные в результате их поверки пригодными к применению. Если СИТ признаны непригодными к использованию, то в этом случае изображение поверительного клейма и (или) «Свидетельство о поверке» аннулируются и выписывается «Свидетельство о непригодности». Форма клейма и свидетельства о поверке, порядок нанесения поверительного клейма устанавливаются Госстандартом.

СИТ подвергаются первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверке.

Первичная поверка производится при выпуске СИТ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИТ через границу партиями. Такой поверке подвергается, как правило, каждый экземпляр СИТ.

Периодическая поверка производится через установленные интервалы времени (межповерочные интервалы). Ей подлежат СИТ, находящиеся в эксплуатации или на хранении. Конкретные перечни СИТ, подлежащих поверке, устанавливаются их владельцы - юридические и физические лица. Органы ГМС в надзоре за соблюдением метрологических норм и правил проверяют правильность составления этих перечней. Периодическую поверку должен проходить каждый экземпляр СИТ. Исключение могут составлять СИТ, находящиеся на длительном хранении. Результаты такой поверки действительны в течение межповерочного интервала. Первый интервал устанавливается при утверждении типа СИТ, следующие определяются на основе разных критериев.

Внеочередная поверка СИТ проводится до наступления срока их периодической поверки в случаях: повреждения знака поверительного клейма, а также при утрате свидетельства о поверке; ввода в эксплуатацию СИТ после длительного хранения (более одного межповерочного интервала); проведения повторной настройки, а также, если известно или имеются предположения об ударном (механическом) воздействии на СИТ или о неудовлетворительной его работе.

Инспекционная поверка проводится органами МС при осуществлении государственного надзора или ведомственного контроля за состоянием и применением СИТ. Ее допускается проводить не в полном объеме, предусмотренном методикой поверки. Результаты инспекционной поверки отражаются в акте поверки.

Экспертная поверка проводится при возникновении спорных вопросов по МХ, исправности СИТ и пригодности их к использованию. Ее проводят органы ГМС по письменному требованию заинтересованных лиц.

Порядок представления СИТ на поверку определяется Госстандартом. Поверка проводится в соответствии с установленными методиками и включает в себя следующее:

- установление периодичности работ (определение межповерочных интервалов) в соответствии с ISO 10012;
- разработку и документирование методик проведения работ согласно инструкции РД 50-660-88;
- ведение соответствующих протоколов, отражающих результаты проведенных работ;
- организацию хранения и использования документации по поверке СИТ.

Основной МХ, которая определяется при поверке, является погрешность. Она определяется на основании сравнения показаний поверяемого СИТ и более точного рабочего эталона.

Меры могут быть поверены:

- сверкой (методами противопоставления или замещения) с более точной мерой с помощью компаратора. Общим для этих методов поверки СИТ является получение сигнала о наличии разности размеров сравниваемых величин. Если этот сигнал путем подбора образцовой меры будет сведен к нулю, то реализуется нулевой метод измерений;
- измерением эталонным СИТ величины, воспроизводимой мерой. В этом случае поверка часто называется градуировкой. Градуировка – это нанесение на шкалу отметок, соответствующих показаниям рабочего эталона, либо

определение по его показаниям уточненных значений величины, соответствующих нанесенным отметкам на шкале СИТ, которые поверяются;

- способом калибровки, когда с более точной мерой сверяется лишь одна мера из набора или одна из отметок шкалы многозначной меры, а истинные размеры других мер определяются путем их взаимного сравнения в различных сочетаниях на приборах сравнения и при дальнейшей обработке результатов измерений.

Поверка измерительных приборов производится:

- методом непосредственного сравнения измеряемых величин и величин, воспроизводимых рабочими эталонами соответствующего разряда или класса точности. Значения величин на выходе мер выбираются равными соответствующим (чаще оцифрованным) отметкам шкалы прибора. Наибольшая разница между результатом измерения и соответствующим ему размером эталона является в этом случае основной погрешностью прибора;

- методом непосредственного сличения показаний прибора, который поверяется, и эталонного при одновременном измерении одной и той же величины. Разница их показаний равна абсолютной погрешности поверяемого СИТ. Могут быть использованы и другие методы поверки.

Важным при поверке является выбор оптимального соотношения между погрешностями эталонного и поверяемого СИТ. Обычно это соотношение принимается равным 1:3 (исходя из критерия ничтожно малой погрешности), когда при поверке вводят поправки на показания образцовых СИТ. Если же исправления не вводят, то эталонные СИТ выбираются из соотношения 1:5. Соотношение погрешностей поверяемых и эталонных СИТ устанавливается с учетом принятого метода поверки, характера погрешностей, допускающих значения ошибок первого и второго рода, и иногда может значительно отличаться от указанных ранее цифр.

По решению Госпотребстандарта право поверки СИТ может быть предоставлено аккредитованным МС юридическим лицам, деятельность которых осуществляется в соответствии с действующим законодательством и НД по обеспечению единства измерений, с учетом рекомендаций ISO и IEC.

В тех сферах деятельности, где государственный метрологический надзор и контроль не являются обязательными, для обеспечения метрологической исправности СИТ применяется калибровка.

Калибровка (калибровочные работы) – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению СИТ, которые не подлежат государственному метрологическому контролю и надзору.

Организация, выполняющая калибровочные работы, должна иметь поверенные и идентифицированные средства калибровки – эталоны, установки и другие СИТ, применяемые при калибровке в соответствии с установленными правилами. Они призваны обеспечить передачу размера единиц от государственных эталонов средствам измерительной техники, которые калибруются; актуализированные документы, регламентирующие организацию и проведение калибровочных работ. К ним относятся документация на СИТ и калибровку, нормативные документы на калибровку, процедуры калибровки и использования ее данных; профессионально подготовленный и

квалифицированный персонал; помещения, удовлетворяющие нормативным требованиям.

Результаты калибровки удостоверяют калибровочным знаком, наносимым на СИТ, или свидетельством о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах.

Требования к калибровочным лабораториям приведены в соответствующем ГОСТ и стандарте ISO / ИЕК 17025-2000 /.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ СПОСОБОМ

1. Цель работы

1.1 Приобрести профессиональные навыки в работе с цифровым частотомером. Уметь аргументировано выбирать время счета ($T_{сч}$), множитель периода (n) и частоту генератора меток (f_m).

1.2 Исследовать основные характеристики цифровых частотомеров в различных режимах работы. Уметь производить выбор режимов работы, обеспечивающих минимальные погрешности результатов измерения частоты, временных интервалов, отношений частот.

2. Ключевые положения

2.1 Современные цифровые частотомеры, выполненные на микропроцессорной основе или на схемах с жесткой логикой, – приборы многофункциональные. Переход от одной функции к другой осуществляется по установленной программе или посредством электромеханических коммутаторов – (ключей).

Функциональная схема, представленная на рис. 1, относится к схемам ЭСЧ с жесткой логикой.

2.2 В режиме «ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ» производится прямое сравнение частоты исследуемого сигнала f_c со значением образцовой частоты $f_{кг}$, воспроизводимой мерой (кварцевым генератором) в качестве «единицы измерения». Здесь $f_c > f_{кг}$, что дает возможность найти цифровым способом число, показывающее во сколько раз f_c больше $f_{кг}$.

На рис. 2 представлены диаграммы напряжений ЭСЧ, наглядно показывающие суть цифрового метода, который сводится к подсчету числа импульсов N , поступающих на счетный блок (11) за время, равное $T_{сч}$, называемое «ВРЕМЕНЕМ ИЗМЕРЕНИЯ» или «ВРЕМЕНЕМ СЧЕТА».

Из диаграмм следует, что действительное значение частоты исследуемого сигнала равно:

$$f_{сд} = \frac{N}{T_{сч}}.$$

Измеренное значение частоты исследуемого сигнала равно:

$$f_{с\text{ изм}} = \frac{N \pm 1}{T_{сч}}.$$

Значение абсолютной погрешности дискретности:

$$\Delta_N = f_{с\text{ изм}} - f_{с.д} = \frac{N \pm 1}{T_{сч}} - \frac{N}{T_{сч}} = \pm \frac{1}{T_{сч}}.$$

Максимальное значение относительной погрешности дискретности определяется выражением:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{f_{\text{н\ddot{a}}}} = \pm \frac{1}{N},$$

где N – число импульсов, поступивших в счетный блок ЭСЧ за время счета.
Суммарная погрешность измерения частоты:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2},$$

где $\delta_{\text{кг}}$ – составляющая погрешности, вносимая мерой (кварцевым генератором).

2.3 В режиме «ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРИОДА» производится сравнение измеряемого периода исследуемого сигнала T_c с образцовым интервалом времени. Диаграммы напряжения ЭСЧ в этом режиме представлены на рис. 3.

Из них следует, что действительное значение периода исследуемого сигнала определяется выражением:

$$T_{\text{сд}} = \frac{N \cdot T_M}{n},$$

где T_M – период образцового сигнала;

N – число меток, поступивших в счетный блок ЭСЧ;

n – множитель периода.

Время счета определяется выражением:

$$T_{\text{сч}} = n \cdot T_c.$$

Измеренное значение периода исследуемого сигнала определяется:

$$T_{\text{с изм}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_M}{n}.$$

Значение абсолютной и относительной погрешностей дискретности равны, соответственно:

$$\Delta_N = T_{\text{с изм}} - T_{\text{сд}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_M}{n} - \frac{N \cdot T_M}{n} = \pm \frac{T_M}{n};$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

где $N = \frac{n \cdot T_{\text{с изм}}}{T_M}$.

Суммарная относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кр}}^2 + \delta_{\text{пр}}^2 + \delta_N^2},$$

где $\delta_{\text{пр}}$ – погрешность преобразования, обусловлена отношением напряжения сигнала и помехи.

2.4 В режиме «ОТНОШЕНИЕ ЧАСТОТ» напряжение с большей частотой f_1 , (положение ключа на коммутаторе «1») подается на вход «1» (рис. 1). В канале 1 это напряжение преобразуется в последовательность коротких импульсов с частотой следования, равной f_1 . Эти импульсы поступают на первый вход временного селектора, на его второй вход поступает управляющий импульс длительностью $T_{\text{сч}}$.

Формирование управляющего импульса производится в канале 2 из сигнала с более низкой частотой f_2 , поданного на вход 2.

Из рис. 4 следует равенство

$$N \cdot T_1 = n \cdot T_2.$$

И действительное значение отношения частот равно

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_d = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)_d = \frac{N}{n}.$$

Измеренное значение отношения частот

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_{\text{изм}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{\text{изм}} = \frac{(N \pm 1)}{n}.$$

Время счета:

$$T_{\text{сч}} = n \cdot T_2.$$

Абсолютная погрешность дискретности:

$$\Delta_N = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{\text{изм}} - \left(\frac{T_2}{T_1} \right)_d = \frac{(N \pm 1)}{n} - \frac{N}{n} = \pm 1/n.$$

Относительная погрешность дискретности:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_d} = \pm \frac{1}{N},$$

где $N = \frac{n \cdot T_2}{T_1}$.

Суммарная погрешность определяется выражением:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{пр}}^2 + \delta_N^2}.$$

3. Ключевые вопросы

- 3.1 Почему ЭСЧ относят к числу высокоточных и универсальных средств измерения?
- 3.2 В чем состоит суть метода измерения, на котором основана работа ЭСЧ?
- 3.3 Объяснить принцип работы ЭСЧ в режимах измерения:
 - частоты;
 - интервалов времени;
 - отношения частот.
- 3.4 Перечислить погрешности, возникающие в ЭСЧ при работе в различных режимах, и указать причины их появления.
- 3.5 Указать способы уменьшения погрешностей, возникающих в ЭСЧ.
- 3.6 Пояснить, как определяется суммарная погрешность ЭСЧ в различных режимах работы.
- 3.7 Пояснить, как определяется положение десятичной точки в различных режимах работы ЭСЧ.

4. Домашнее задание

- 4.1 Изучить структурную схему заданного частотомера, и принцип действия в различных режимах работы. Зарисовать структурную схему ЭСЧ.
- 4.2 Пользуясь техническими характеристиками заданного частотомера, выбрать время счета, обеспечивающее наименьшую погрешность в режиме измерения частоты. Результат представить в форме табл. 4.1. Варианты задания представлены в табл. 1 (приложение А); здесь $f_1 = f_c$.

Таблица 4.1. – Оценка основных характеристик в режиме «ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ»

f_c , кГц	$T_{\text{сч}}$, мс	Ожидаемый результат на табло, кГц	Δ_N , Гц	N	δ_N

- 4.3 Пользуясь техническими характеристиками заданного частотомера, выбрать параметры режима измерения периода таким образом, чтобы обеспечить наименьшую погрешность измерения периода. Результат представить в виде табл. 4.2. Рекомендуется производить расчеты на тех же частотах, что и в табл. 1 (приложение А).

Таблица 4.2 – Оценка основных характеристик в режиме «ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРИОДА»

f_c , кГц	n	T_m	Ожидаемый результат на табло (мс, мкс)	Δ_N	N	δ_N	$T_{сч}$, с

4.4 Пользуясь техническими характеристиками заданного частотомера, выбрать параметры режима измерения «отношение частот», обеспечивающие наименьшую погрешность измерения. Результаты представить в виде табл.4.3 (частоты заданы в приложении А).

Таблица 4.3 – Оценка основных характеристик в режиме «ОТНОШЕНИЕ ЧАСТОТ»

f_1/f_2	n	Ожидаемый результат на табло	Δ_N	N	δ_N	$T_{сч}$, с

5. Лабораторное задание

5.1 Ознакомиться со средствами измерения на рабочем месте. Установить соответствие между органами управления, выведенными на переднюю панель изучаемого прибора, и структурной схемой (рис. 1). Согласовать с преподавателем план работы.

5.2 Произвести внешний осмотр ЭСЧ и опробование в режиме самоконтроля.

5.3 Произвести опробование во всех режимах работы.

5.4 В режиме измерения частоты произвести проверку правильности выбора характеристик частотомера на частотах, указанных в табл.1 (приложение А). Результаты представить в виде табл. 5.1.

Таблица 5.1. – Оценка основных характеристик в режиме «ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ»

f_c , кГц	$T_{сч}$, мс	Результат на табло, кГц	Δ_N , Гц	N	δ_N

5.5 В режиме измерения периода произвести аналогичные измерения. Результаты представить в виде табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Оценка основных характеристик в режиме «ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРИОДА»

f_c , кГц	n	T_M	Результат на табло	Δ_N	N	δ_N	$T_{сч}$, с

5.6 В режиме измерения отношения частот произвести аналогичные измерения. Результаты представить в виде табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Оценка основных характеристик в режиме «ОТНОШЕНИЕ ЧАСТОТ»

f_1/f_2	n	Результат на табло	Δ_N	N	δ_N	$T_{сч}$, с

6. Протокол лабораторной работы (№ ... название ...)

6.1 Цель эксперимента.

6.2 Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень используемой аппаратуры

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		
			Класс точности	Диапазон измерения	Частотный диапазон

6.3 Схема измерения.

6.4 Построить в одной системе координат графики зависимости относительной погрешности δ_N от частоты в режиме измерения частоты и периода. Сделать заключение о выборе режима работы ЭСЧ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7а

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИТ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИНФΟΣИГНАЛОВ. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ И ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА

1. Цель работы

1.1 Ознакомиться с научной, законодательной и технической основой метрологического обеспечения СИТ для измерения частоты.

1.2 Изучить методики поверки электронно-счетных частотомеров (ЭСЧ) и метрологические операции при поверке.

1.3 Приобрести практические навыки по проведению поверки ЭСЧ.

2. Ключевые положения

2.1 Поверяемые характеристики ЭСЧ.

Поверке подлежат следующие параметры:

- диапазон измеряемых частот синусоидальных и импульсных сигналов;

- погрешность измерения частоты;

- диапазон частот при измерении периода синусоидальных и импульсных сигналов;

- погрешность измерения периода;

- диапазон измерения отношения частот;

- погрешность измерения отношения частот и др.

2.2 Средства измерений, применяемые при поверке.

При поверке ЭСЧ применяются следующие эталонные и вспомогательные средства поверки:

- приемники эталонных частот;

- рубидиевые стандарты частоты с номинальными значениями частот 100 кГц, 1 и 5 МГц с относительной нестабильностью порядка 10^{-11} ;

- кварцевые генераторы с теми же значениями номинальных частот и относительной нестабильностью порядка 10^{-8} ;

- стандарты частоты и кварцевые генераторы являются мерами образцовой частоты, и если есть возможность и необходимость, то точность этих мер контролируется с помощью приемников эталонных частот;

- синтезаторы частоты, перекрывающие диапазон частот 0,01 Гц – 50 МГц;

- умножители частоты;

- компараторы частоты;

- генераторы универсальные, вольтметры переменного напряжения и осциллографы.

2.3 Условия поверки и подготовка к ней.

При проведении операций поверки должны соблюдаться следующие условия:

- прибор, поступивший на поверку, подвергается внешнему осмотру. При этом следует обращать внимание на наличие, исправность и чистоту всего

имущества, состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировки. Наличие грязи и ржавчины недопустимо. Прибор не должен иметь механических повреждений, могущих влиять на его работу, например, плохое крепление ручек управления, повреждение зажимов, плохая фиксация переключателей;

- приборы, имеющие неисправность, в поверку не принимаются.

Поверка параметров прибора производится при номинальном напряжении сети в нормальных условиях:

- температура окружающей среды $293 \pm 5^\circ\text{K}$ ($20 \pm 5^\circ\text{C}$);
- относительная влажность воздуха $65 \pm 15\%$;
- атмосферное давление $100 \pm 4 \text{ кН/м}^2$ ($750 \pm 30 \text{ мм. рт. ст.}$);
- напряжение питающей сети $220 \text{ В} \pm 4,4 \text{ В}$.

Перед проведением операций поверки, необходимо произвести следующие подготовительные работы:

- разместить поверяемый прибор на рабочем месте, обеспечив удобство работы и исключив попадание на него прямых солнечных лучей;
- соединить проводом клеммы поверяемого и образцовых приборов, применяемых при поверке, с шиной заземления;
- произвести подключение поверяемого прибора к образцовым приборам с помощью штатных кабелей и переходников;
- подключить приборы к сети переменного тока с напряжением 220 В, 50 Гц;
- включить приборы в сеть и дать им прогреться под током в течение 1 часа.

2.4 Проведение операций поверки.

Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть проверено:

- отсутствие механических повреждений, влияющих на точность показаний прибора;
- наличие и прочность крепления органов управления и коммутации, четкость фиксации их положений, плавность вращения ручек органов настройки;
- правильность установки стрелок показывающих приборов против нулевых отметок шкалы;
- чистота гнезд, разъемов и клемм;
- состояние соединительных проводов, кабелей, переходников;
- состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировок;
- отсутствие отсоединившихся или слабо закрепленных элементов схемы и посторонних предметов (определяется на слух при наклонах прибора).

При наличии дефектов прибор, подлежащий поверке, подлежит забраковыванию и направлению в ремонт.

Опробование

Проверка работоспособности прибора в режиме «Самоконтроль» на контрольных частотах прибора.

Поверка диапазонов измеряемых частот и периодов

Поверка диапазонов измеряемых частот и периодов проводится по схеме, приведенной на рис. 1, методом прямых измерений частоты (периода), задаваемых измерительными генераторами (ИГ) соответствующих диапазонов и видов.

Измерения проводятся на крайних точках диапазона частот $f_H (T_H)$ и $f_B (T_B)$ и в 5ти – 6ти точках внутри диапазона. При необходимости проверки минимальных значений входных напряжений к выходу генератора подключают вольтметр, с помощью которого и устанавливают минимальное значение напряжения входного сигнала. При этом на ЭСЧ должны наблюдаться устойчивые показания.

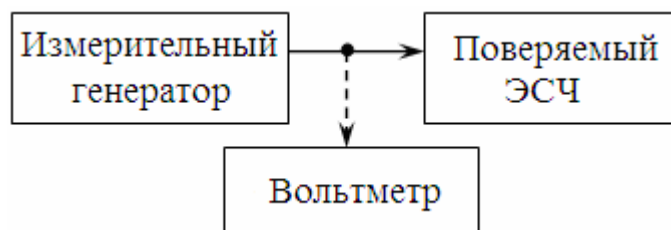


Рисунок 1 – Поверка диапазонов частот (периодов) методом прямых измерений

Определение основной относительной погрешности измерения частоты производится согласно выражению:

$$\delta_f = \pm \sqrt{\delta_{кг}^2 + \delta_N^2}, \quad (1)$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

где $N = f_c \cdot T_{сч}$;

$\delta_{кг}$ – относительная погрешность опорного кварцевого генератора;

$T_{сч}$ – время измерения (время счета);

f_c – измеряемая частота.

Определение основной относительной погрешности измерения периода производится согласно выражению:

$$\delta_T = \pm \sqrt{\delta_{кг}^2 + \delta_N^2}, \quad (2)$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

где $N = \frac{10^{(v+\varepsilon)} \cdot T_c}{T_{\hat{e}\hat{a}}}$;

$T_{кг}$ – период сигнала опорного кварцевого генератора;

T_c – измеряемый период;

$n = 10^v$, $v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ – множитель периода сигнала;

$m = 10^\varepsilon$, $\varepsilon = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ – множитель частоты кварцевого генератора.

При определении погрешностей δ_f и δ_T проверяют отдельно:

- относительную погрешность частоты опорного кварцевого генератора ($\delta_{кг}$);
- составляющие погрешности измерения частоты и периода из-за дискретности (вторые слагаемые в формулах (1) и 2)).

Определение относительной погрешности по частоте опорного кварцевого генератора

Относительную погрешность по частоте опорного кварцевого генератора определяют методом сравнения при помощи компаратора по схеме, приведенной на рис. 2.

Выход опорного кварцевого генератора поверяемого ЭСЧ соединяется со входом 1 компаратора. От источника образцовой частоты, которым является стандарт частоты вида Ч1-, подается сигнал такой же частоты на вход 2 компаратора и на разъем «5МГц» частотомера типа ЧЗ-, использующего этот сигнал вместо собственного сигнала опорной частоты.

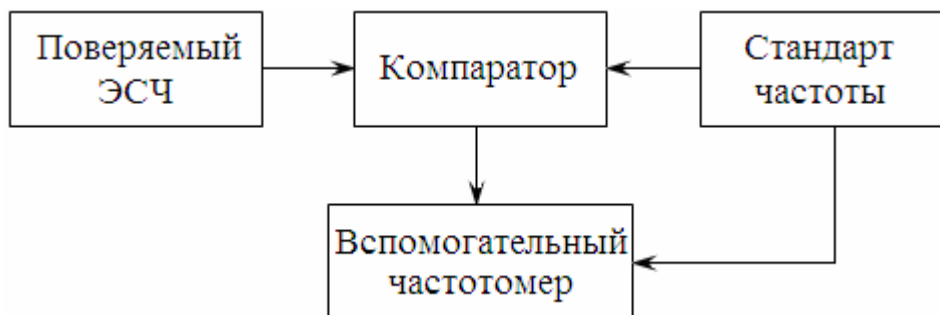


Рисунок 2 – Определение относительной погрешности по частоте опорного кварцевого генератора методом сравнения

Выходной сигнал компаратора с частотой f_k подается на вход вспомогательного ЭСЧ, работающего в режиме измерения частоты при времени измерения 1 или 10 сек.

Для повышения достоверности результатов измерения снимается не менее 10 последовательных показаний частотомера и находится их среднее арифметическое значение:

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ki}}{n}, \quad (3)$$

где f_{ki} – значения частоты выходного сигнала компаратора единичного измерения;

n – количество проведенных единичных измерений.

Относительная погрешность по частоте опорного генератора определяется по формуле:

$$\delta_{кр} = \frac{f_k - f_n}{f_n}, \quad (4)$$

где f_k – значение частоты компаратора, соответствующее номинальному значению частоты опорного генератора;

f_n – номинальное значение частоты опорного генератора.

В приложении Б приведены НМХ стандарта частоты Ч1-53, компаратора частотного Ч7-12 и синтезатора частоты. При выполнении лабораторной работы вместо приведенных образцовых приборов можно использовать аналогичные по НМХ приборы.

Определив относительную погрешность $\delta_{\text{кг}}$, проводят коррекцию частоты опорного генератора ЭСЧ, после чего шлиц «коррекция частоты» пломбируется.

Определение составляющих погрешности измеряемой частоты и периода из-за дискретности счета

Определение данных составляющих погрешности проводят методом прямого измерения образцовой частоты. В качестве источника эталонной частоты используется либо синтезатор частоты, либо синтезатор совместно с умножителем частоты.

Схема соединения приборов при этой операции поверки приведена на рис.3.

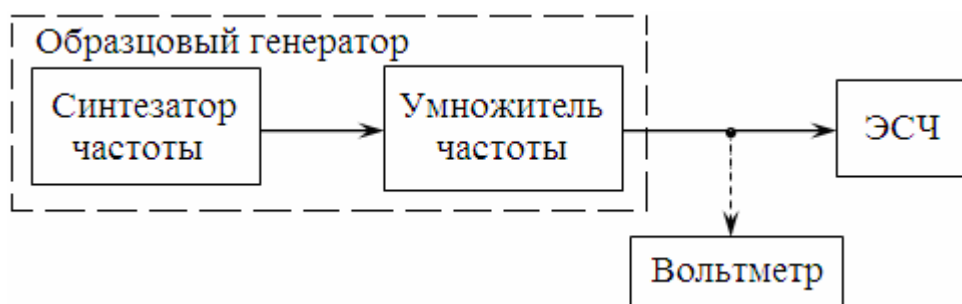


Рисунок 3 – Определение составляющих погрешности дискретности

Синтезатор и поверяемый ЭСЧ должны быть засинхронизированы от опорного генератора поверяемого прибора.

На вход поверяемого ЭСЧ подают сигнал, близкий к частоте верхнего предела и напряжением, равным минимальному входному напряжению, при котором ЭСЧ должен нормально работать. При отсутствии у синтезатора градуированного по напряжению выхода сигнала, необходимо контролировать это напряжение с помощью вольтметра.

Проводят серию из 10 наблюдений. Результаты поверки считаются положительными, если 9 наблюдений (показаний прибора) при измерении не отличаются от $f_{\text{кг}}$ более, чем на ± 1 деление младшего разряда счета.

По аналогичной методике определяется составляющая погрешности из-за дискретности при измерении периода. При этом на вход частотомера подают частоты, соответствующие верхней и нижней частоте диапазона, установленного для частотомера в режиме измерения периода.

3 Ключевые вопросы

- 3.1 Дайте определение термину «Испытания СИТ».
- 3.2 Как производится калибровка (калибровочные работы) ЭСЧ.
- 3.3 Сформулируйте определение поверки ЭСЧ.
- 3.4 Виды поверок и межповерочные интервалы?
- 3.5 Какие основные МХ определяются при поверке ЭСЧ?
- 3.6 Перечислите средства измерений, применяемые при поверке ЭСЧ.

3.7 Укажите операции при проведении поверки ЭСЧ.

4. Домашнее задание

4.1 Изучить основные положения, которые касаются поверки и калибровки электронно-счетных частотомеров (ЭСЧ).

4.2 Выписать метрологические характеристики компаратора частотного.

4.3 Выписать метрологические характеристики стандарта частоты.

4.4 Выписать метрологические характеристики синтезатора частоты.

5. Лабораторное задание

5.1 Ознакомьтесь с оборудованием на рабочем месте, соберите схему измерения согласно рис. 1. и подготовьте приборы к работе.

5.2 В режиме измерения частоты определите порог чувствительности (минимальное напряжение которое обеспечит устойчивое показание на табло) и поверку прибора на указанных частотах в табл. 5.1.

5.3 Рассчитать абсолютную погрешность измеренную и предельно допустимую погрешность, полученные результаты записать в табл. 5.1.

(δ_{Γ} – выбираем из паспортных данных заданного генератора)

Таблица 5.1 – Поверка диапазона измеряемых частот

f_{Γ} , кГц	$T_{сч}$	U_{\min}	Результат на табло	Абсолютная погрешность $\Delta = f_{и} - f_{\Gamma}$	Предельно допустимая погрешность $\Delta_{\Gamma} = \delta_{\Gamma} \cdot f_{\Gamma}$	Вывод
0,1						
1						
10						
100						
1000						

5.4 В режиме измерения периода произвести аналогичные измерения и расчеты. Результаты представить в виде табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Поверка диапазона измеряемых периодов

f_{Γ} , кГц (T_{Γ})	$T_{м}$	n	Результат на табло	U_{\min}	Абсолютная погрешность $\Delta = T_{и} - T_{\Gamma}$	Предельно допустимая погрешность $\Delta_{\Gamma} = \delta_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}$	Вывод
0,1							
1							
10							
100							
1000							

5.5 Пользуясь техническими характеристиками заданного частотомера, выбрать время счета, обеспечивающее наименьшую погрешность в режиме измерения частоты. Результаты расчетов записать в табл. 5.3.

Допустимую δ в режиме частоты рассчитаем по формуле 1.

Таблица 5.3 – Определение относительной погрешности измерения частоты (погрешность дискретности)

$f_{Г}$, кГц	$T_{сч}$	Результат на табло	Абсолютная погрешность $\Delta = \pm 1 / T_{сч}$	N	δ_N	Допустимая δ	Вывод
0,1 1 10 100 1000							

5.6 Пользуясь техническими характеристиками заданного частотомера, выбрать параметры режима измерения периода таким образом, чтобы обеспечить наименьшую погрешность измерения периода. Результаты расчетов записать в табл. 5.4.

Допустимую δ в режиме периода рассчитаем по формуле 2.

Таблица 5.4. – Определение относительной погрешности измерения периода (погрешность дискретности)

$f_{Г}$, кГц ($T_{Г}$)	$T_{М}$	n	$T_{сч}$	Результат на табло	Абсолютная погрешность $\Delta = \pm T_{М} / n$	N	δ_N	Допустимая δ	Вывод
0,1 1 10 100 1000									

6. Протокол лабораторной работы (№ ... название ...)

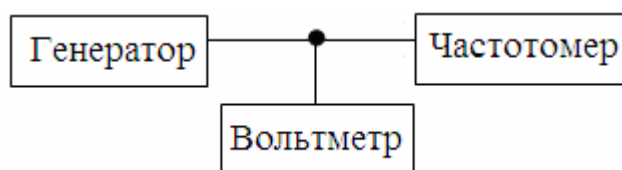
6.1 Цель эксперимента.

6.2 Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень используемой аппаратуры

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		
			Класс точности	Диапазон измерения	Частотный диапазон

6.3 Схема измерения



Тип калибруемого частотомера _____

Внешний осмотр _____

Опробование _____

Условия калибровки

Температура окружающей среды _____ °С
Относительная влажность воздуха _____ %
Атмосферное давление _____ мм рт.ст.
Время предварительного прогрева _____ мин.
Напряжение сети _____ В.
Частота напряжения сети _____ Гц.

6.4 На основании полученных результатов сделать выводы о проведенной поверке частотомера.

Поверка диапазона измеряемых частот исследуемого ЭСЧ _____

Вывод: _____

Поверка диапазона измеряемых периодов исследуемого ЭСЧ _____

Вывод: _____

Определение относительной погрешности измерения частоты исследуемого ЭСЧ _____

Вывод: _____

Определение относительной погрешности измерения периода исследуемого ЭСЧ _____

Вывод: _____

Общий вывод:

Поверка выполнена _____ « ____ » _____ 20 __ г.
ФИО

Протокол проверил: _____ (подпись)

Индивидуальное задание Расчет метрологических характеристик ЭСЧ

1. Цель:

- 1.1 Овладеть методикой оценки погрешности измерения, используя НМХ ЭСЧ.
- 1.2 Научиться выбирать режим работы ЭСЧ, обеспечивающий минимальную погрешность.

2. Ключевые положения

2.1 Индивидуальное задание содержит четыре задачи. В первой и второй задаче необходимо, используя НМХ ЭСЧ, оптимальным образом выбрать параметры режима работы и рассчитать погрешности. Записать результат измерения на табло с указанием размерности.

Третья задача связана с оценкой погрешности результата измерения отношения частот. Здесь также необходимо записать результат измерения на табло. При выполнении этой задачи необходимо обратить внимание на правильный выбор частот, которые должны входить в диапазон измерения ЭСЧ.

Четвертая задача предусматривает оценку погрешности результата измерения частоты (периода, отношения частот), представленного на табло. Здесь решается обратная задача.

2.2 Нормированная метрологическая характеристика (НМХ) ЭСЧ – это метрологическая характеристика (МХ), установленная нормативной технической документацией (НТД).

К НМХ ЭСЧ относятся:

- в режиме измерения частоты:
 - а) диапазон измерения;
 - б) время счета $T_{сч}$ (время измерения);

$$T_{сч} = n \cdot T_{кг} ,$$

где $n=10^v$, $v = 0; 1; 2; 3; 4; \dots$, $T_{кг} = \frac{1}{f_{кг}}$;

- в) количество разрядов;
- г) порог чувствительности;
- д) относительная погрешность кварцевого генератора $\delta_{кг}$;

- в режиме измерения периода:

- а) диапазон измерения;
- б) период метки;

$$T_{м} = \frac{1}{m \cdot f_{кг}} = \frac{T_{кг}}{10^\varepsilon} ,$$

где m – множитель частот кварцевого генератора $m = 10^\varepsilon$; $\varepsilon = 0; 1; 2; 3; 4; \dots$,

- в) множитель периода n ;
- г) количество разрядов;
- д) порог чувствительности;
- е) относительная погрешность кварцевого генератора $\delta_{\text{кг}}$;

- в режиме измерения отношения частот:

- а) диапазон измерения частоты;
- б) диапазон измерения периода;
- в) множитель периода (n);
- г) количество разрядов;
- д) порог чувствительности;

2.3 Основная погрешность в режиме измерения частоты определяется выражением:

$$\delta_f = \sqrt{\delta_{\text{эа}}^2 + \delta_N^2},$$

$\delta_{\text{кг}}$ – нормативное значение погрешности кварцевого генератора;
 δ_N – относительная погрешность дискретности (погрешность счетчика);

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N};$$

где $N = f_c \cdot T_{\text{сч}}$,

$$T_{\text{сч}} = n \cdot T_{\text{кг}};$$

$$T_{\text{кг}} = \frac{1}{f_{\text{кг}}};$$

$$n = 10^v, \quad v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots;$$

При $v = 0$, $T_{\text{сч}} = 10^0$ мс;

$v = 1$, $T_{\text{сч}} = 10^1$ мс; $v = 2$, $T_{\text{сч}} = 10^2$ мс; $v = 3$, $T_{\text{сч}} = 10^3$ мс; $v = 4$, $T_{\text{сч}} = 10^4$ мс.

Основная погрешность в режиме измерения периода определяется:

$$\delta_T = \sqrt{\delta_{\text{эа}}^2 + \delta_{\text{ио}}^2 + \delta_N^2};$$

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{1}{\pi \cdot n} \cdot \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{с}}},$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N};$$

$$N = \frac{n \cdot T_{\text{с}}}{T_{\text{м}}} = \frac{10^v \cdot T_{\text{с}}}{10^{\epsilon} / T_{\text{кг}}};$$

$$\delta_N = \frac{T_{\text{кГ}}}{10^{(v+\varepsilon)} \cdot T_c};$$

$$T_c = \frac{1}{m \cdot f_{\text{кГ}}},$$

m – множитель частоты кварцевого генератора;

$$m = 10^\varepsilon; \quad \varepsilon = 0; 1; 2; 3; 4; \dots$$

В режиме измерения отношения частот:

$$\delta_{(f_1/f_2)} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{T_1}{10^v \cdot T_2} = \pm \frac{T_1}{n \cdot T_2}.$$

Варианты индивидуального задания представлены в приложении В и выбираются:

– для студентов дневной формы обучения согласно порядковому номеру ФИО в учебном журнале;

– для студентов заочной формы обучения согласно третьей букве в фамилии.

Правила оформления задания:

1. Выписать задание в виде таблицы (приложение В);
2. Выписать НМХ заданного ЭСЧ (приложение Г);
3. Произвести необходимые вычисления параметров выбранного (заданного) режима измерения;
4. Результат решения привести в виде таблицы (вместо вопросов записать ответы).

Приложение А

Таблица А1 – Варианты индивидуальных заданий к лабораторной работе № 7.

№ п/п (стационар)	3-я буква фамилии (заочники)	Частоты в кГц						Период меток T_m
		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	
1	А	f_1	$0,08 \cdot 10^0; 0,08 \cdot 10^1; 0,08 \cdot 10^2; 0,08 \cdot 10^3; 0,08 \cdot 10^4; 0,08 \cdot 10^5$					
		f_2	0,04;	0,02;	0,08;	0,1;	0,64;	0,8
2	Б	f_1	$0,12 \cdot 10^0; 0,12 \cdot 10^1; 0,12 \cdot 10^2; 0,12 \cdot 10^3; 0,12 \cdot 10^4; 0,12 \cdot 10^5$					
		f_2	0,02;	0,04;	0,06;	0,2;	1;	1,2
3	В	f_1	$0,16 \cdot 10^0; 0,16 \cdot 10^1; 0,16 \cdot 10^2; 0,16 \cdot 10^3; 0,16 \cdot 10^4; 0,16 \cdot 10^5$					
		f_2	0,04;	0,08;	0,05;	0,2;	1;	3,2
4	Г	f_1	$0,20 \cdot 10^0; 0,20 \cdot 10^1; 0,20 \cdot 10^2; 0,20 \cdot 10^3; 0,20 \cdot 10^4; 0,20 \cdot 10^5$					
		f_2	0,04;	0,08;	0,1;	0,5;	2;	5
5	Д	f_1	$0,24 \cdot 10^0; 0,24 \cdot 10^1; 0,24 \cdot 10^2; 0,24 \cdot 10^3; 0,24 \cdot 10^4; 0,24 \cdot 10^5$					
		f_2	0,06;	0,01;	0,08;	0,48;	1,2;	1,5
6	Е	f_1	$0,28 \cdot 10^0; 0,28 \cdot 10^1; 0,28 \cdot 10^2; 0,28 \cdot 10^3; 0,28 \cdot 10^4; 0,28 \cdot 10^5$					
		f_2	0,14;	0,05;	0,2;	0,5;	1,4;	2,8
7	Ж	f_1	$0,32 \cdot 10^0; 0,32 \cdot 10^1; 0,32 \cdot 10^2; 0,32 \cdot 10^3; 0,32 \cdot 10^4; 0,32 \cdot 10^5$					
		f_2	0,2;	0,16;	0,32;	0,8;	1,6;	6,4
8	З	f_1	$0,36 \cdot 10^0; 0,36 \cdot 10^1; 0,36 \cdot 10^2; 0,36 \cdot 10^3; 0,36 \cdot 10^4; 0,36 \cdot 10^5$					
		f_2	0,06;	0,09;	0,03;	1,5;	1,8;	6
9	И	f_1	$0,40 \cdot 10^0; 0,40 \cdot 10^1; 0,40 \cdot 10^2; 0,40 \cdot 10^3; 0,40 \cdot 10^4; 0,40 \cdot 10^5$					
		f_2	0,2;	0,16;	0,2;	1,25;	4;	5
10	К	f_1	$0,44 \cdot 10^0; 0,44 \cdot 10^1; 0,44 \cdot 10^2; 0,44 \cdot 10^3; 0,44 \cdot 10^4; 0,44 \cdot 10^5$					
		f_2	0,11;	0,2;	0,2;	1,1;	2;	5
11	Л	f_1	$0,48 \cdot 10^0; 0,48 \cdot 10^1; 0,48 \cdot 10^2; 0,48 \cdot 10^3; 0,48 \cdot 10^4; 0,48 \cdot 10^5$					
		f_2	0,12;	0,15;	0,2;	2;	2,4;	8
12	М	f_1	$0,52 \cdot 10^0; 0,52 \cdot 10^1; 0,52 \cdot 10^2; 0,52 \cdot 10^3; 0,52 \cdot 10^4; 0,52 \cdot 10^5$					
		f_2	0,26;	0,08;	0,4;	4;	5;	6,5
13	Н	f_1	$0,56 \cdot 10^0; 0,56 \cdot 10^1; 0,56 \cdot 10^2; 0,56 \cdot 10^3; 0,56 \cdot 10^4; 0,56 \cdot 10^5$					
		f_2	0,14;	0,2;	0,4;	2;	1,4;	5
14	О	f_1	$0,60 \cdot 10^0; 0,60 \cdot 10^1; 0,60 \cdot 10^2; 0,60 \cdot 10^3; 0,60 \cdot 10^4; 0,60 \cdot 10^5$					
		f_2	0,2;	0,3;	0,4;	2,5;	1,2;	6
15	П	f_1	$0,64 \cdot 10^0; 0,64 \cdot 10^1; 0,64 \cdot 10^2; 0,64 \cdot 10^3; 0,64 \cdot 10^4; 0,64 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08;	0,4;	0,16;	2;	1;	8
16	Р	f_1	$0,68 \cdot 10^0; 0,68 \cdot 10^1; 0,68 \cdot 10^2; 0,68 \cdot 10^3; 0,68 \cdot 10^4; 0,68 \cdot 10^5$					
		f_2	0,17;	0,34;	0,68;	1,7;	8;	4
17	С	f_1	$0,72 \cdot 10^0; 0,72 \cdot 10^1; 0,72 \cdot 10^2; 0,72 \cdot 10^3; 0,72 \cdot 10^4; 0,72 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08;	0,36;	0,6;	1,8;	7,2;	8
18	Т	f_1	$0,76 \cdot 10^0; 0,76 \cdot 10^1; 0,76 \cdot 10^2; 0,76 \cdot 10^3; 0,76 \cdot 10^4; 0,76 \cdot 10^5$					
		f_2	0,19;	0,38;	0,4;	1,9;	3,8;	5
19	У	f_1	$0,80 \cdot 10^0; 0,80 \cdot 10^1; 0,80 \cdot 10^2; 0,80 \cdot 10^3; 0,80 \cdot 10^4; 0,80 \cdot 10^5$					
		f_2	0,4;	0,32;	0,5;	6,4;	8;	4
20	Ф	f_1	$0,84 \cdot 10^0; 0,84 \cdot 10^1; 0,84 \cdot 10^2; 0,84 \cdot 10^3; 0,84 \cdot 10^4; 0,84 \cdot 10^5$					
		f_2	0,21;	0,35;	0,6;	2,4;	4,2;	4
21	Х	f_1	$0,88 \cdot 10^0; 0,88 \cdot 10^1; 0,88 \cdot 10^2; 0,88 \cdot 10^3; 0,88 \cdot 10^4; 0,88 \cdot 10^5$					
		f_2	0,11;	0,4;	0,55;	1;	4;	4,4
22	Ц	f_1	$0,72 \cdot 10^0; 0,72 \cdot 10^1; 0,72 \cdot 10^2; 0,72 \cdot 10^3; 0,72 \cdot 10^4; 0,72 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08;	0,36;	0,6;	1,8;	7,2;	8

Для 7-и разрядных частотомеров выбираем

$T_m = 10^{-4} \text{ с} = 0,1 \text{ мс}$

Для 8-и разрядных и выше

$T_m = 10^{-6} \text{ с} = 1 \text{ мкс}$

Продолжение таблицы А1

№ п/п (стационар)	3-я буква фамилии (заочники)	Частоты в кГц						Период меток T_M		
		f_1								
23	Ч	f_1	$0,78 \cdot 10^0; 0,78 \cdot 10^1; 0,78 \cdot 10^2; 0,78 \cdot 10^3; 0,78 \cdot 10^4; 0,78 \cdot 10^5$						Для 7-и разрядных частотомеров выбираем $T_M = 10^{-4} \text{с} = 0,1 \text{мс}$	
		f_2	0,39; 0,6; 0,65; 1,95; 1,3; 8							
24	Ш	f_1	$0,82 \cdot 10^0; 0,82 \cdot 10^1; 0,82 \cdot 10^2; 0,82 \cdot 10^3; 0,82 \cdot 10^4; 0,82 \cdot 10^5$							
		f_2	0,82; 0,41; 0,82; 4,1; 5; 4							
25	Щ	f_1	$0,86 \cdot 10^0; 0,86 \cdot 10^1; 0,86 \cdot 10^2; 0,86 \cdot 10^3; 0,86 \cdot 10^4; 0,86 \cdot 10^5$							
		f_2	0,43; 0,2; 0,86; 2,5; 8,6; 5							
26	Э	f_1	$0,90 \cdot 10^0; 0,90 \cdot 10^1; 0,90 \cdot 10^2; 0,90 \cdot 10^3; 0,90 \cdot 10^4; 0,90 \cdot 10^5$							Для 8-и разрядных и выше $T_M = 10^{-6} \text{с} = 1 \text{мкс}$
		f_2	0,3; 0,2; 0,6; 1,5; 4,5; 9							
27	Ю	f_1	$0,94 \cdot 10^0; 0,94 \cdot 10^1; 0,94 \cdot 10^2; 0,94 \cdot 10^3; 0,94 \cdot 10^4; 0,94 \cdot 10^5$							
		f_2	0,47; 0,94; 0,47; 1; 2,5; 5							
28	Я	f_1	$0,98 \cdot 10^0; 0,98 \cdot 10^1; 0,98 \cdot 10^2; 0,98 \cdot 10^3; 0,98 \cdot 10^4; 0,98 \cdot 10^5$							
		f_2	0,49; 0,2; 0,98; 1,96; 7; 5							

Примечание. Частота f_2 используется только для режима отношения частот.

Приложение Б

Компаратор частотный

Метрологические характеристики компаратора частотного Ч7-12:

- частоты входных сигналов 1 и 5 МГц при максимальном отклонении частоты от номинала не более 1 Гц;
- напряжение входных сигналов от 0,5 до 1,5 В;
- максимальная относительная разница значений частот входных сигналов определяется выражением:

$$\frac{\Delta f}{f_{кг}} \leq 10^3 \delta_{доп}$$

где $\delta_{доп}$ – допустимая погрешность измерений нестабильности частоты входных сигналов, $\delta_{доп} = 10^{-7} \dots 10^{-12}$;

Δf – разница частот входных сигналов;

$f_{кг}$ – частота опорного сигнала.

При этом должно выполняться условие:

$$M \cdot \Delta f \leq 10^3, \text{ Гц}$$

где M – коэффициент умножения разницы частот входных сигналов.

- напряжение входных сигналов не менее 0,65 В на сопротивлении нагрузки $R = 75 \text{ Ом}$.

Стандарт частоты

Метрологические характеристики стандарта частоты Ч1-53:

- относительная погрешность – не более $5 \cdot 10^{-6}$ после 4 времен с момента включения;
- относительное отклонение частоты исходного сигнала за сутки – не более $5 \cdot 10^{-9}$ после 24-х часов работы;
- среднеквадратичное относительное отклонение периода выходного сигнала после 24-х часов работы - не более $2 \cdot 10^{-11}$ за 1 сек;
- уровень исходных сигналов – не менее 1 В на нагрузке 50 Ом.

Синтезатор частоты

Метрологические характеристики синтезатора частоты:

- частота исходного сигнала устанавливается в пределах 50-49999999,99 Гц с шагом 0,01 Гц. Набор значения с помощью кнопочного переключателя на передней панели или дистанционно с помощью сигналов постоянного тока;
- исходное напряжение на внешней нагрузке 50 Ом – 0,5 В;
- погрешность установки номинального значения частоты – не более $\pm 5 \cdot 10^{-8}$;

- нестабильность частоты исходного сигнала после 2-х часов самопрогрева не более $5 \cdot 10^{-10}$ за 10с; $5 \cdot 10^{-9}$ за 10 мин.

Приложение В
Индивидуальное задание
Расчет метрологических характеристик ЭСЧ

Таблица В1 – Варианты заданий.

Вариант	Тип частотомера	Частота	Период	Отношение частот	Время счета	Множитель периода	Метки времени	Результат на цифровом табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
1 А	ЧЗ-35	120 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,7 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	33 МГц/3 кГц	?	–	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	00297.444 кГц	?	?	?
2 Б	ЧЗ-57	2,2 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	400 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	15 МГц/1 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	4841.227 кГц	?	?	?
3 В	ЧЗ-24	750 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,3 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	–	42 МГц/20 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.0009 кГц	?	?	?
4 Г	ЧЗ-36	10 кГц	?	–	?	–	–	?	?	10^{-5}	?
		?	0,1 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	?	47 МГц/10 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	1 мкс	07842.09 мкс	?	?	?
5 Д	ЧЗ-57	300 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,08 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	4,5 МГц/12 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		–	–	–	?	?	–	00077.75кГц	?	?	?
6 Е	ЧЗ-22	630 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,25 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	21 МГц/7 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	5555.5555 кГц	?	?	?

Вариант	Тип частотомера	Частота	Период	Отношение частот	Время счета	Множитель периода	Метки времени	Результат на цифровом табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
7 Ж	ЧЗ-35	?	0,01 мс	–	?	–	–	?	10^{-3} кГц	?	?
		?	0,04 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	17 МГц/2 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	10^3	?	00300.0000 мс	?	?	?
8 З	ЧЗ-22	575 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,35 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	906 кГц/3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.0220 кГц	?	?	?
9 И	ЧЗ-57	966 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	2 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	19 МГц/25 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0006757. кГц	?	?	?
10 К	ЧЗ-35	2,5 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,33 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,9 МГц/1,5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	0,1 мс	0049.0000 мс	?	?	?
11 Л	ЧЗ-24	?	0,03 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	7 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	10,5 МГц/2,5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	37886.420 кГц	?	?	?
12 М	ЧЗ-22	31 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	34 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	20,2 МГц/6 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	?	089124.38 мкс	?	?	?
13 Н	ЧЗ-24	9,4 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	8 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	3,8 МГц/3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0003333.3 кГц	?	?	?

Вариант	Тип частотомера	Частота	Период	Отношение частот	Время счета	Множитель периода	Метки времени	Результат на цифровом табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
14 О	ЧЗ-57	12 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,02 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	1,2 МГц/0,3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	06245.74 кГц	?	?	?
15 П	ЧЗ-36	15,3 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	27 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	27 МГц/5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	10^2	?	010.0000 мс	?	?	?
16 Р	ЧЗ-22	1001 кГц	?	–	?	–	–	?	?	10^{-6}	?
		85 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	5,9 МГц/5 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	01378.000 кГц	?	?	?
17 С	ЧЗ-24	3,85 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		360 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	18,4 МГц/2 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	000.04250 кГц	?	?	?
18 Т	ЧЗ-57	14,6 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	35 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	35 МГц/1,2 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00000.22 кГц	?	?	?
19 У	ЧЗ-35	17,3 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	22 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	4,4 МГц/2,2 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	9999.9999 кГц	?	?	?
20 Ф	ЧЗ-24	940 кГц	?	–	?	–	–	?	?	?	?
		2,9 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	7,75 МГц/2 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	01000.000 кГц	?	?	?

Вариант	Тип частотомера	Частота	Период	Отношение частот	Время счета	Множитель периода	Метки времени	Результат на цифровом табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
21 X	ЧЗ-35	2,22 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	21 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	7,7 МГц/7 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	02664.3740 кГц	?	?	?
22 Ц	ЧЗ-24	49 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	17 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	8,2 МГц/250 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	008750.00 кГц	?	?	?
23 Ч	ЧЗ-57	6,25 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		750 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	6,25 МГц/750 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	0750.0000 мс	?	?	?
24 Ш	ЧЗ-22	5 МГц	?	–	?	–	–	?	?	10^{-4}	?
		?	12 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	5,5 МГц/0,1 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.2840 кГц	?	?	?
25 Ц	ЧЗ-24	12,6 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	10 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	10,8 МГц/0,7 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00001.000 кГц	?	?	?
26 Ь	ЧЗ-57	10,25 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		27 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,8 МГц/40 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	1 мс	000088.0 мс	?	?	?
27 Э	ЧЗ-35	?	0,9 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	9 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	14,7 МГц/0,1 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00442.2110 кГц	?	?	?

Вариант	Тип частотомера	Частота	Период	Отношение частот	Время счета	Множитель периода	Метки времени	Результат на цифровом табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
28 Ю	ЧЗ-24	16,2 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		66 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	36 МГц/4 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		–	–	–	?	?	–	00024.400 мкс	?	?	?
29 Я	ЧЗ-35	19,8 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	6 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	20 МГц/20 кГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	004455.663 кГц	?	?	?
30	ЧЗ-22	?	7,5 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,6 мкс	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	25 МГц/0,4 МГц	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00000.100 кГц	?	?	?

Пример решения задания W

Таблица В2 – Условия варианта W для типа частотомера ЧЗ-57.

Частота	Период	Отношение частот	Время счета.	Множитель периода	Метки времени	Результат на цифр. табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
5 МГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
10 кГц	?	–	?	?	?	?	?	?	?
–	–	2,1 МГц/3 кГц	?	?	–	?	?	?	?
?	?	–	?	–	–	0100.000 кГц	?	?	?

1. Определим технические характеристики ЧЗ-57 из табл. Г1.

Таблица В3 – Технические характеристики ЧЗ-57.

Тип частотомера	Диапазон измерения частоты	Диапазон измерения периода	Время счета, мс	Множитель периода	Метки времени	Погрешность кварцевого генератора	Количество разрядов
ЧЗ-57	0,1 Гц...100 МГц	1 мкс...10 ⁴ с	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 мкс...1 мс	10 ⁻⁷	7

Задача №1

- Определяем период сигнала

$$T_c = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 0,2 \text{ мкс}$$

- Выбираем режим работы частотомера. Поскольку T_c не входит в диапазон измерения периода, то выбираем режим измерения частоты.
- За формулой определяем время счета:

$$T_{\text{н.д.}} = \frac{10^q - 1}{f} = \frac{10^7 - 1}{5 \cdot 10^6} \approx 2 \text{ т.е. } 10^3 \text{ мс} < T_{\text{сч.расч}} < 10^4 \text{ мс};$$

- С учетом того, что время счета может принимать только такие значения ($10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4$) мс, выбираем $T_{\text{сч}} = 10^3 \text{ мс} = 1 \text{ с}$.
- Абсолютную погрешность дискретности определяем за формулой:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{\text{н.д.}}} = \pm \frac{1}{1} = \pm 1 \text{ Гц.}$$

- Относительная погрешность дискретности:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f \cdot T_{\text{н.д.}}} = \pm \frac{1}{5 \cdot 10^6 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-5}.$$

- Суммарная погрешность измерения частоты:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кр}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\hat{\epsilon}\tilde{a}}$ – выбираем из характеристик данного частотомера ЧЗ-57, которые сведены в таблицу ВЗ. Тогда $\delta_{\hat{\epsilon}\tilde{a}} = 10^{-7}$ подставляем в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (2 \cdot 10^{-5})^2} = 2 \cdot 10^{-5}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 2 \cdot 10^{-5}$

- Записываем результат на табло 5000.000 кГц. (Децимальная точка на цифровом табло смещается на столько разрядов влево, которой является степень $T_{\text{сч}}$).

Задача №2

- Определяем период сигнала

$$T_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{10 \cdot 10^3 \text{ Гц}} = 0,1 \text{ мс}$$

- С учетом того, что частота и период сигнала входят в диапазон измерений, рекомендуется выбрать такой режим работы частотомеру, в котором погрешность измерения будет минимальной.

- Вычисляем относительную погрешность дискретности в режиме измерения частоты:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_c T_{\tilde{n}\div}} = \pm \frac{1}{10 \cdot 10^3 \cdot 10} = 10^{-5},$$

где $T_{\text{сч}}$ рассчитано, как и в первой задаче, и выбрано $10^4 \text{ мс} = 10 \text{ с}$

- Вычисляем относительную погрешность дискретности в режиме измерения периода:

- Выбираем период метки времени, (как правило, минимальное значение), т. е. $T_M = 0,1 \text{ мкс} = 10^{-7} \text{ с}$.

- Даем оценку величины множителя n периода сигнала, с учетом ограничения на счетный блок ($N \leq 10^q - 1$), N – количество меток, подсчитанных счетчиком, q – количество разрядов счетчика.

Множитель периода может принимать значение $n = 10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4$.

$$n_{\delta\tilde{a}\tilde{n}\div} = \frac{N \cdot \dot{\Delta}_i}{\dot{\Delta}_{\tilde{n}}} = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-7}}{10^{-4}} = 10^4 - 10^{-3} < 10^4$$

Поскольку $10^3 < n < 10^4$, то значение множителя периода принимаем равным 10^3 .

- Определим количество меток

$$N = \frac{T_c \cdot n}{T_M} = \frac{10^{-4} \cdot 10^3}{10^{-7}} = 10^6.$$

- Вычисляем относительную погрешность дискретности в режиме измерения периода :

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{10^6} = \pm 10^{-6},$$

т. е., меньше чем в режиме измерения частоты, а потому выбираем режим измерения периода.

- Суммарная погрешность измерения частоты:

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\text{эа}}$ – выбираем из характеристик данного частотомера ЧЗ-57, которые сведены в табл. В3.

Тогда $\delta_{\text{эа}} = 10^{-7}$ подставляем в формулу:

$$\delta_\Sigma = \sqrt{(10^{-7})^2 + (10^{-6})^2} = 1,004 \cdot 10^{-6}$$

Результат $\delta_\Sigma = 1,004 \cdot 10^{-6}$

- Для выбранного режима определим абсолютную погрешность Δ_N , время счета $T_{\text{сч}}$, и результат измерения на табло.

$$\Delta_N = \pm \frac{\dot{O}_i}{n} = \frac{10^{-7} \tilde{n}}{10^3} = \pm 10^{-10} \text{ с},$$

$$T_{\tilde{n}} = T_{\tilde{n}} \cdot n = 10^{-4} \cdot 10^3 = 0,1 \text{ с}$$

Результат на табло 100.0000 мкс.

Задача №3

Измеряется отношение частот 2,1 МГц/3 кГц.

- Рассчитаем величину множителя периода за условием $N \leq (10^q - 1)$ из равенства $n \cdot T_B = N \cdot T_A$

$$n = \frac{(10^q - 1)T_A}{T_B},$$

где

$$T_{\dot{A}} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad T_A = \frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6} \text{ с}; \quad q=7;$$

тогда

$$n = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot 3}{2,1 \cdot 10^{-3}} \approx 1,4 \cdot 10^4,$$

принимаем $n=10^4$;

- определим $T_{\text{сч}}$:

$$T_{\text{сч}} = n \cdot T_{\dot{A}} = 10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = 3,33 \text{ с};$$

- определим абсолютную погрешность дискретности :

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{n} = \pm 10^{-4}.$$

- Вычисляем относительную погрешность :

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N}$$

$$\text{где } N = \frac{n \cdot T_{\dot{A}}}{T_A} = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6,$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{7 \cdot 10^6} = \pm \frac{1}{7} \cdot 10^{-6} = 0,143 \cdot 10^{-6}.$$

- Суммарная погрешность измерения частоты:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кг}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\text{êä}}$ – выбираем из характеристик данного частотомера ЧЗ-57, которые сведены в таблицу ВЗ. Тогда $\delta_{\text{êä}} = 10^{-7}$ подставляем в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (0,143 \cdot 10^{-6})^2} = 0,391 \cdot 10^{-6}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 0,391 \cdot 10^{-6}$.

Записываем результат на табло 700.0000.

Задача №4

Эта задача является обратной по отношению к предыдущим. Задан результат измерения на табло 0100.000 кГц. Очевидно, что частотомер работает в режиме измерения частоты. Из примера предыдущих задач, видно, что $T_{\text{нз}} = 10^3 \text{ мс} = 1 \text{ с}$;

- абсолютная погрешность

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{\text{нз}}} = \pm \frac{1}{1} = \pm 1 \text{ Гц};$$

- относительная погрешность

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_c \cdot T_{\text{нз}}} = \pm \frac{1}{100 \cdot 10^3 \cdot 1} = 1 \cdot 10^{-5};$$

- суммарная погрешность измерения частоты:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{кр}}^2 + \delta_N^2}$$

$\delta_{\hat{\alpha}}$ – выбираем из характеристик данного частотомера ЧЗ-57, которые сведены в таблицу В3. Тогда $\delta_{\hat{\alpha}} = 10^{-7}$ подставляем в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{(10^{-7})^2 + (1 \cdot 10^{-5})^2} = 1 \cdot 10^{-5}$$

Результат $\delta_{\Sigma} = 1 \cdot 10^{-5}$

– частота сигнала $f_c = 100 \text{ кГц}$; период сигнала $T_c = 10^{-5} \text{ с}$. Результаты решения всего задания приведены в таблице В4.

Таблица В4 – Результаты решения задания W для частотомера ЧЗ-57.

Частота	Период	Отношение частот	Время счета	Множитель периода	Метка времени	Результат на цифр. табло	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_{\Sigma}$
5 МГц	$2 \cdot 10^{-5} \text{ с}$	–	1с	–	–	5000.000 кГц	1Гц	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
10 кГц	0,1мс	–	0,1с	10^3	10^{-7} с	100.0000 мкс	10^{-10} с	10^{-6}	$1,004 \cdot 10^{-6}$
–	–	2,1 МГц/3 кГц	3,33 с	10^4	–	700.0000	10^{-4}	$0,143 \cdot 10^{-6}$	$0,391 \cdot 10^{-6}$
100 кГц	10^{-5} с	–	1с	–	–	0100.000 кГц	1Гц	10^{-5}	$1 \cdot 10^{-5}$

Приложение Г

Таблица Г1 – Основные технические характеристики частотомеров.

Тип частотомера	Диапазон измерения частоты	Диапазон измерения периода	Время счета, мс	Множитель периода	Метки времени	Погрешность кварцевого генератора	Количество разрядов
ЧЗ-22	10 Гц...12 МГц	10 мкс...100 с	$1...10^4$	$1...10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-7}	8
ЧЗ-24	10 Гц...50 МГц	1 мкс...100 с	$1...10^4$	$1...10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-8}	8
ЧЗ-36	10 Гц...50 МГц	10 мкс...100 с	$1...10^4$	$1...10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-8}	7
ЧЗ-57	0,1 Гц...100 МГц	1 мкс... 10^4 с	$1...10^4$	$1...10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-7}	7
ЧЗ-35	10 Гц...50 МГц	20 мкс...100 с	$1...10^4$	$1...10^4$	0,1 мкс...1 мс	10^{-8}	9

Литература

1. Вимірювання в системах зв'язку. Книга 1: Загальні електрорадіовимірювання / [Коломієць Л.В., Воробієнко П.П., Козаченко М.Т. та ін.]. - Одеса: ВМВ, 2009. – с.
2. Метрологія, стандартизація та вимірювання в техніці зв'язку / [Хромой Б.П., Кандінов А.В. та ін.]. - М.: Радио и связь, 1986. – с.
3. Метрологія у галузі зв'язку , Книга I: Метрологія, стандартизація, менеджмент якості та оцінка відповідності: [підручник], / [Л. В. Коломієць, П.П. Воробієнко, М. Т. Козаченко]. - Одеса: Вид-во «Стандарт», 2006. – с.
4. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.
5. ДСТУ 1.0-93 Державна система стандартизації України. Основні поняття.

Content

Introduction	111
General information.....	111
Measuring of the digital info signal speed.....	113
Measuring of time interval (period) of info signal.....	117
Measuring of frequency relations of info signals.....	120
Metrological assurance of measuring instruments for measuring frequency.....	122
Laboratory work № 7. Research of electronic frequency counter characteristics...	126
Laboratory work № 7a. Metrological support for measurements of frequency info signals MI.....	132
Individual task. Calculation of metrological characteristics of EFC.....	140
Appendix A.....	143
Appendix B.....	145
Appendix C.....	146
Appendix D.....	155
Literature.....	156

Introduction

The purpose of this methodological guide is familiarizing students to know about basic provisions of the state standards to ensure uniformity of measurements, methods and techniques of verification of measuring instruments (MI) used to measure the frequency and time intervals info signals.

Handbook contains a summary of the digital methods of measuring the frequency and time intervals. It also provides basic information on the metrological provision of the MI.

The manual provides guidance to the two labs, as well as individual assignments for students.

The appendices to the manual provide information on the metrological characteristics of the MI used in laboratory work and in solving practical problems.

General information

Frequency and time intervals which are the parameters of AC electrical signal, including information, - one of the types of measurements that are most common. This is due to first of all a very high precision instruments frequency measure devices unattainable for other MI. In addition, the devices due to the frequency response - a characteristic, which largely depends on undistorted communication.

No less important is the control of the frequency stability, such as receiving and transmitting devices. Since the frequency is related to the rate of change of the phase voltage signal, then clearly, frequency control is needed and to account for the phase distortion, especially at very high frequencies.

And finally, verification, validation and calibration of other MMT (Means of Measurement Technic) occurs at certain points in the frequency range, which makes it necessary in the course of these operations to accurately measure the frequency.

The range of frequencies used in communications technology, extending from Hz to tens of GHz. If we exclude the industrial current frequency, the whole spectrum can be divided into five ranges: infrasonic frequencies

– low 20 Hz, sound frequencies – from 20 Hz till 20 kHz, high frequencies – from 20 kHz till 30 MHz, ultrahigh frequencies – from 30 till 300 MHz and super-high frequencies – more 300 MHz The upper limit of the frequency band is used in development of science and technology continuously improves and now exceeds 300 GHz.

The frequency of electromagnetic modes conveniently express through the length of the flat wave in free space λ and period T so these values are simple dependencies:

$$\begin{aligned} f &= c/\lambda, \\ f &= 1/T, \end{aligned} \tag{1}$$

Where f – frequency, Hz;

c – the speed of propagation of electromagnetic oscillations, m/s;

λ – length of wave, m;

T – period of hesitation, the periodic signal characterizing time interval at which repeated his instant values, s.

The speed of propagation of electromagnetic oscillations depends on the environment in which they are distributed:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_a \cdot \epsilon_a}},$$

Where μ_a – absolute magnetic permeability;

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu;$$

ϵ_a – permittivity; $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon$;

For vacuum $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m; $\epsilon_0 = 8,852 \cdot 10^{-12}$ F/m, then $c_0 = (299792,5 \pm 0,3)$ km/s.

Here μ and ϵ relative dielectric permittivity and magnetic environment, respectively.

For example, the speed of propagation of electromagnetic vibrations in the cable connection is dependent on the μ_a , and ϵ_a the dielectric.

For the characteristics of electric oscillations can be measured frequency f , the period T , or the length of the flat wave in free space communications technology in λ is almost always measured frequency, more rarely-period oscillations, and only on ultrahigh frequencies are measured and the frequency and wavelength. Most often measure the average frequency of the account.

$$f = N / T_{\text{count}}, \quad (2)$$

Where N – number of periods of fluctuation,

T_{count} – time accounts (time dimension).

Measurement of frequency used when measuring scales, grades and signal generators, radio devices with smooth adjustment of the range; definition of resonance frequencies of oscillatory circuits and Resonators; determining bandwidth filters and networks are presented; measurement and control of frequency deviations from its nominal value assigned to this device – radio station, generation equipment system seals etc. widely used without-searching and without-adjusting radio-frequency multichannel compression, satellite and mobile communication has been possible as a result of the development of methods for the accurate measurement of the frequency.

In general, the measurement error of frequency setting in absolute Δf , or, more often, in relative terms $\Delta f/f$. Permissible error amount is determined by the instability of the measured frequency must be less than her at least 5 times. For example, if the relative frequency instability of the radio station is equal to 10^{-5} , the relative measurement error shall not exceed $2 \cdot 10^{-6}$. Reduction, the needed accuracy of measurements must be calibrated using an even more accurate device error which, in this case, should not exceed $4 \cdot 10^{-7}$. Error of measurement of low frequencies, of course, be much more – (1 ... 2) %, except for the frequencies used in tonal telegraphy and data transfer.

To measure the frequency using of MI, which are classified in following way:

F1 – standards of frequency and time;

F2 – resonance frequency counters;

F3 – adding electronic frequency counters;

F4 – frequency counters and bridging capacitor, heterodyne;

F5 – frequency converters and Synchronizers frequency signal;

F6 – frequency synthesizers, frequency multipliers and dividers;

F7 – receivers of standard frequencies and time signals and frequency comparators (phase, temporary).

In the frequency measuring instruments, as a rule, highly stable crystal oscillators are used as a reference measure for which distinguish short-term and long-term instability. Short-term instability of such generators is due to thermal noise and the elements of the crystal oscillator and fractional noise transistors. In addition, the short-term volatility affects the instability of supply voltage and vibration. Typical values of the relative standard deviation of the mean frequency increase from 10^{-10} for an averaging time of 1s and $3 \cdot 10^{-9}$ for an averaging time of 1year.

Long-term instability is determined primarily quartz resonator aging and changes in its mechanical properties under the action of destabilizing factors: humidity, pressure, vibration, and radiation exposure. To reduce the destabilizing action of humidity and pressure crystal placed in a vacuum tank. Typical limiting values of the relative error of frequency reproduction due to the long-term instability, ranging from 10^{-8} per day to $5 \cdot 10^{-7}$ per year of operation, and some devices even smaller.

Measuring of info signal frequency using digital method

Currently, the digital method was the most common. On the basis of much of the built of frequency produced by industry. Typically, a digital frequency meter provides the ability to measure not only the frequency but also the period of repetition and time intervals. Some devices can measure and other parameters of signals and circuits, pre-converting them into a time interval or frequency. Thus, digital frequency meters are a good basis to build multipurpose devices. In particular, digital electronic frequency counters (DEFC), we can measure the frequency, the period of the signal, the ratio, difference, sum frequency, etc.

The study is based on the principle of frequency digital discrete calculation: counting the number of pulses over a certain period of time, which has many advantages. These include a wide measuring range, high accuracy and robustness, the possibility of releasing the results of measurements on printing, etc.

Frequency measurement is carried out by direct comparison of the frequency $f_{s \text{ res}}$ of the signal with the value of the standard frequency $f_{s \text{ ast}}$ created by a quartz oscillator, as a measure. The most optimal in terms of reducing the error measurement result, this mode will be provided if the measured frequency is much higher than the frequency of the signal model.

In this mode, a periodic signal of frequency $f_{s \text{ res}}$ is applied to a frequency input (Fig. 1). After the input device (1) study the signal goes through the switch (2) (key switch is in position 1) to the transmitter analog signal to digital (3). Here, the analyzed signal (for example sine wave) is transformed into a periodic sequence of short pulses

(Fig. 2). The individual pulses of this sequence can be generated in moments of transition sinusoidal signal with a zero derivative of the same sign. Thus, the frequency of these pulses coincides with the frequency $f_{s \text{ res}}$ of the measured signal. Furthermore, this sequence of pulses is fed to one input of a temporary selector (4). At the time the other input selector is applied, the so-called strobe pulse. Formation of strobe pulse occurs in the control channel, a model in which the voltage frequency generated by the crystal oscillator is fed through the switch (8) (key switch is in position 1) through a block of frequency division (9) sharper (10).

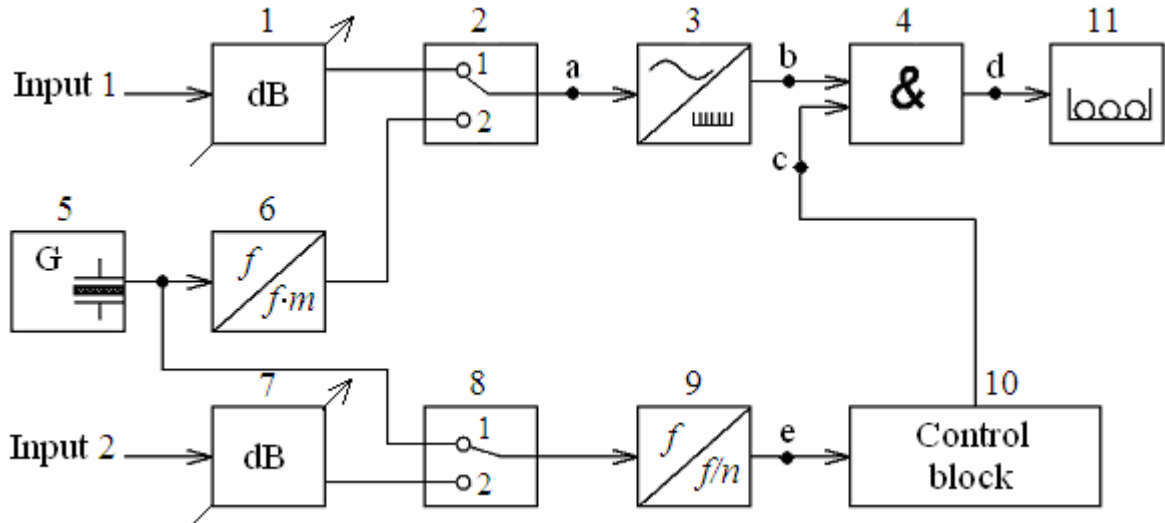


Figure 1 – Structure scheme of DEFC

In Fig. 2 shows the stress distribution of DEFC that demonstrate the essence of the digital method, which is reduced to counting the number of pulses N , arriving at the counting unit (11) for a time equal to T_{acc} , titled "TIME MEASUREMENT" or "COUNTING TIME", i.e.

$$N = \frac{T_{count}}{T_{act}} = T_{count} \cdot f_{sact}, \quad (3)$$

Where f_{sact} – the actual value of the measured frequency.

Thus, the frequency of the signal is determined by the expression:

$$f_{sact} = \frac{N}{T_{count}}, \quad (4)$$

where $T_{count} = T_{qg}$.

Measuring the counting unit will go to the $(N \pm 1)$ due to the sampling pulse, then

$$f_{s \text{ res}} = \frac{N \pm 1}{T_{count}}, \quad (5)$$

where $T_{count} = nT_{qg}$;

T_{qg} – the period of oscillation oscillator;

n – frequency division ratio of the block (9).

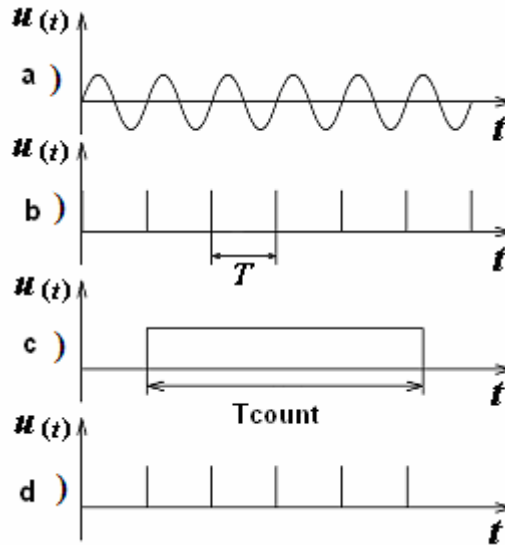


Figure 2 – Diagrams of the voltage in the mode of measuring the frequency

Measuring the frequency with electronic frequency counter there are two error components: measures (due to instability of the frequency oscillator) and comparison (by sampling).

In today's digital frequency crystal oscillators are used with relative frequency instability of the order of $\pm 10^{-10} \dots 10^{-12}$. Accuracy is determined by comparing mainly discreteness error, that is due to the fact that the front and drop the control (strobe) pulse is not synchronized with the appearance of a periodic sequence of pulses, formed from the test signal, or, in other words, this error is associated with a multiple of the periods of measuring signal model.

The maximum value of the absolute error of discreteness Δ_N :

$$\Delta_N = f_{cs\ res} - f_s = \frac{N \pm 1}{T_{count}} - \frac{N}{T_{count}} = \pm \frac{1}{T_{count}} \quad (6)$$

It does not depend on the frequency of the signal and is expressed in Hz. Reduce the value of the absolute error can be due to the increase of measurement time T_{acc} . The minimum value of Δ_N can be obtained at T_{calc} due to the limits on the counting unit electro-counting frequency meters, that is

$$N = 10^q - 1, \quad (7)$$

where q – the number of electronic frequency counter rank. Then, using (4)

$$T_{calc} = (10^q - 1)/f_{s\ act}. \quad (8)$$

The maximum value of the relative discrete error is given by

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{fsact} = \pm \frac{\left(\frac{1}{T_{count}} \right)}{\left(\frac{N}{T_{count}} \right)} = \pm \frac{1}{N}, \quad (9)$$

where N – the number of pulses received by the counting unit of electronic frequency counter.

The total error in measuring the frequency

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{qg}^2 + \delta_N^2}, \quad (10)$$

where δ_{qg} – component of the error, introduced by the measure (crystal oscillator)..

Position the decimal point is determined by measuring the degree of a series of numbers expressing the measurement time T_{count} in milliseconds, which implies a measurement of frequency, "kHz", as specified in the display frequency. This series of numbers is as follows: $T_{count} = (10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4)$ ms.

After calculating the T_{calc} is selected from the specified number of T_{count} , adhering to the following conditions:

- if $T_{calc} \geq 10^4$ ms, then we can take $T_{count} = 10^4$ ms;
- if 10^4 ms $>$ $T_{calc} >$ 10^3 ms, then choose $T_{count} = 10^3$ ms and so on.

The result is displayed electronic frequency counter, as mentioned is in kHz..

Example. Frequency of the signal is 650 kHz. The measurement is carried out by electronic frequency counter of Ч3-57 type. Its main metrological characteristics (MC):

- a range of measuring frequency of 0,1 GHz \div 100 MHz;
- period measurement range 1mcs \div 10^4 ms;
- counting time $10^0 \div 10^4$ ms;
- period factor $10^0 \div 10^4$;
- time markings 0,1 μ s; 1 μ s; 0,01 ms; 0,1 ms; 1 ms;
- digits number – 7.

You must define: T_{count} , Δ_N and δ_N and record the measurement result.

Solution.

We define:

$$T_{count} = \frac{10^q - 1}{f} = \frac{10^7 - 1}{650 \cdot 10^3} \approx 15c \approx 1,5 \cdot 10^4 \text{ ms}.$$

Based on the above recommendations, select $T_{count} = 10^4$ ms = 10 s.

Absolute accuracy:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{count}} = \pm \frac{1}{10} = \pm 0,1 \text{ Hz}.$$

Discrete ratio error:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{f_c \cdot T_{\text{count}}} = \pm \frac{1}{650 \cdot 10^3 \cdot 10} \approx 1,5 \cdot 10^{-7}.$$

Where f_c – in Hz; T_{count} – per second.

The result on the display is 650,0000 kHz.

Measuring low-frequency error of discreteness is the defining component of measurement error. For example, if the measured frequency $f_{s \text{ res}} = 5$ Hz at $T_{\text{count}} = 1$ s, maximum value of absolute discrete error $\Delta_N = \pm 1$ Hz, and the maximum value of ratio error $\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{5}$, that is 20%, which is unacceptably high.

Thus, because of the large discrete low-frequency error is directly measured by a digital frequency meter with a low accuracy. Therefore, finding ways to reduce the influence of the discreteness error in the measurement result has always been one of the important directions of development of digital frequency-measurement technology.

The first way is obvious: it is to increase the duration of the "gate time", that is the duration of the measurement time. But the possibilities of this method is limited because conventional digital frequency counter (non-microprocessor), the maximum possible duration of the measurement time $T_{\text{count}} = 10$ s.

The second way is to increase the number of pulses that fill "time-gate", which is achieved by multiplying the frequency of the signal. The maximum absolute error does not change (if not change the duration of "time-gate"), but decreases the relative error (in the number of times of multiplication). The implementation of this method involves the use of additional power - frequency multiplier, which makes it difficult and expensive equipment.

The third method, which takes into account the random nature of the error of discreteness, implies a multiple of observations (individual measurements) and averaging the results. This is an effective way to reduce the influence of random error in the measurement result.

The fourth method is direct measurement of the period of the signal and then calculating the numerical values of the frequency ($f_s = 1/T_{\text{count}}$), the inverse result of the measurement period. This path can dramatically reduce the error in the measurement of discrete low frequencies.

Measuring the time interval (period) of info signal

In this mode, the comparison of the researched signal measured period T_s model with a time interval. The signal is going to the input 2 electronic frequency counter (Figure. 1, key is in position 2) and then after appropriate transformations in blocks (7) (8) and (9) via a control unit (10) is fed to the second input selector (4). In block (10) of the test signal is formed by a rectangular gate pulse, the duration of which coincides with the period of the signal or a multiple thereof.

The voltage from the standard frequency crystal oscillator (5) through a frequency multiplier (6), switch (2) (the position of key switch - "2"), the inverter (3) and then fed to a first input selector of the time.

Stress diagram illustrating the operation mode of electronic frequency counter meter measurement period are shown in Figure 3. They show that the period of the signal is given by:

$$T_{s \text{ act}} = \frac{N \cdot T_m}{n},$$

where T_m – the period of the signal model (time of marking);

N – number of marks received by the counting unit electronic frequency counter;

n – the factor period (for the given case is $n = 1$).

Calculation time is given by:

$$T_{\text{count}} = n \cdot T_{s \text{ act}} = N \cdot T_m \quad (11)$$

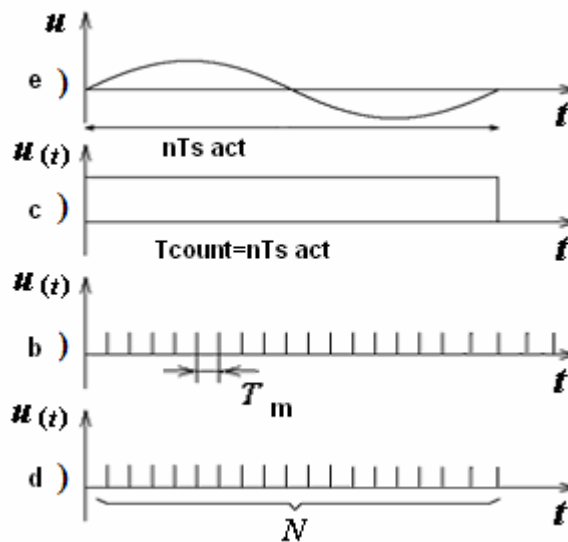


Figure 3 – Curves of voltage in the period measurement mode

The result is displayed on electronic frequency counter, usually represented in units of the selected "mark time" (ms or μ s).

The situation with the decimal point depends on the value of the multiplier period, and the numerical values of the period of temporary tags.

Accuracy of measurement period $T_{s \text{ act}}$ consists of three components: the error of measure, conversion and comparison. The error measure is due to the relative instability of the crystal frequency $\delta_{\text{qg}} = 5 \cdot (10^{-8} \div 10^{-12})$. The error is caused by the transformation δ_t mainly the ratio of the voltage signal and noise that affects the formation of the control pulse and is determined from the expression (Simpson's formula):

$$\delta t = \frac{1}{\pi \cdot n} \cdot \frac{U_n}{U_s}, \quad (12)$$

where n – number of periods of the measured signal;

U_n – the average value of the voltage noise;

U_s – the average value of the voltage signal.

If $20 \lg \frac{U_n}{U_s} = -40$ dB and $n = 1$, then $\delta_t \approx 0,3\%$, if $n = 100$, then $\delta_t = 0,003\%$.

The error is caused by an error of discrete comparisons.

Absolute and relative error respectively,

$$\Delta_N = T_{\text{sact}} - T_s = \frac{(N \pm 1) \cdot T_m}{n} - \frac{N \cdot T_m}{n} = \pm \frac{T_m}{n}, \quad (13)$$

$$\delta_N = \pm \frac{\Delta_N}{T_{s \text{ res}}} = \pm \frac{\frac{T_m}{n}}{N \cdot T_m} = \pm \frac{1}{N}. \quad (14)$$

The total relative error is given by:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{qg}}^2 + \delta_{\text{te}}^2 + \delta_N^2}.$$

To select the best performance in terms of minimizing the error, we consider the following example.

Example. Let the measured signal frequency is $f_s \text{ res} = 100$ Hz, ($T_{\text{count}} = 10^{-2}$ s), by the same frequency meter.

To define: Δ_N , δ_N , to choose n , T_m and record the measurement result.

Solution.

Choose the timestamps (usually a minimum value),

$$T_m = 0,1 \mu\text{s} = 10^{-7} \text{ s}.$$

Given the limitations on the counting value of the multiplier block of n signal period:

$$n = \frac{N \cdot T_m}{T_s} = \frac{(10^7 - 1)10^{-7}}{10^{-2}} = 10^2 - 10^{-5} < 10^2.$$

Since $10 < n < 10^2$, then the multiplier period take $n = 10$.

Write down the measurement period on the display: 10000, 00 μs .

Absolute error

$$\Delta_N = \pm \frac{T_m}{n} = \pm \frac{10^{-7}}{10} = \pm 10^{-8} \text{ s}.$$

Relative error

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{where } N = \frac{n \cdot \dot{O}_s}{\dot{O}_m} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{10^{-7}} = 10^6, \delta_N = \pm \frac{1}{10^6} = \pm 10^{-6}.$$

Measuring the info signal frequency ratio

In the "frequency ratio" higher frequency voltage is applied to the input of "1" (the key position on the switch to "1" in Fig. 1). In the channel voltage is converted into a sequence of short pulses with a repetition rate equal to f_{c1} . These pulses are fed to a first input selector temporary, at its second input receives a control pulse of duration T_{c2} . Formation of the control pulse occurs in the channel 2 of the signal with lower frequency f_{c2} , applied to the input 2. Change of frequency division in block 9 can increase the measurement time, which, in turn, increases the ability of integrating ESCH.

In Fig. 4. ESCH illustrated work in measure mode frequency ratio f_{c1} / f_{c2} . The figure shows that the $N \cdot T_{c1} = n \cdot T_{c2}$ from

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_d = \frac{N}{n}; \quad (15)$$

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_{c1}} \right)_{изм} = \frac{N \pm 1}{n} \quad (16)$$

counting time

$$T_{count} = n \cdot T_{c2} = N \cdot T_{c1}$$

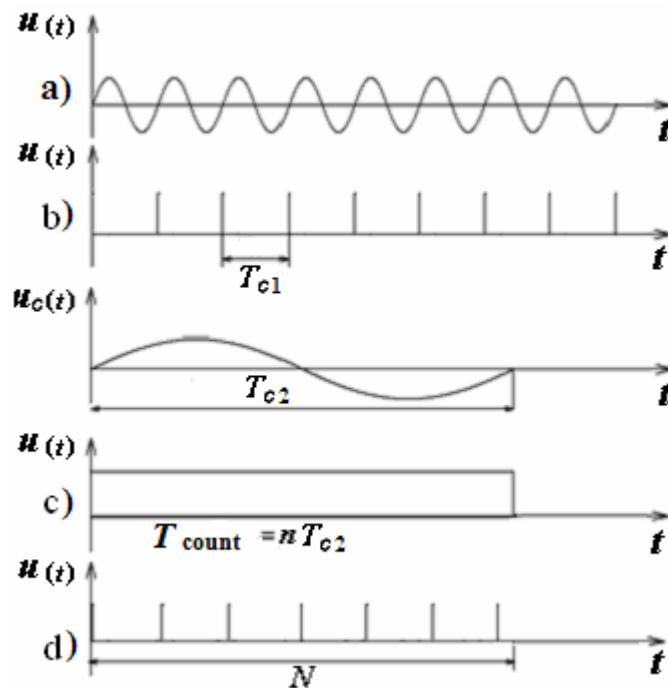


Figure 4 – Diagrams of the voltage in the mode of measuring the ratio of the frequencies

The error of measuring the ratio of the frequency f_{c1} / f_{c2} consists of two components: a conversion error (δ_{conv}) and comparison (δ_N)

$$\delta_t = \frac{1}{\pi n} \frac{U_{c2}}{U_f} \quad (17)$$

where n – the multiplier period

U_{c2} – the voltage signal applied to input 2,

U_f – noise voltage.

The absolute error of discreteness

$$\Delta N = \left(\frac{T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}} \right)_{\text{meas}} - \left(\frac{T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}} \right)_{\text{d}} = \frac{N \pm 1}{n} - \frac{N}{n} = \pm \frac{1}{n}. \quad (18)$$

The relative error in discrete

$$\delta_N = \frac{\Delta N}{\left(\frac{T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}} \right)_{\text{d}}} = \pm \frac{1}{N}, \quad (19)$$

where $N = \frac{n \cdot T_{\bar{n}2}}{T_{\bar{n}1}}$.

The total error is given by

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{conv}^2 + \delta_N^2}. \quad (20)$$

Position the decimal point is determined by the degree of a series of numbers expressing the multiplier period n ($n = 10^0, 10^1$ February 10^1 , March 10^1 , April 10^1).

Consider the example of measuring the ratio of the frequencies from the same positions as before, ie minimize the error.

Example. Let the frequency ratio measured 2.1 MHz / 3 kHz frequency meter H3-57.

Solution.

Write according to (16) equation:

$$T_{\text{count}} = n \cdot T_{c2} = N \cdot T_{c1},$$

where $T_{c2} = 1 / f_{c2} = \frac{1}{3 \cdot 10^3} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \text{ s};$

similar to $T_{c1} = \frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6} \text{ s};$

$$\text{then } n \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = (10^7 - 1) \cdot \frac{10^{-6}}{2,1},$$

$$\text{whence } n = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot 3}{2,1 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^4 \cdot 3}{2,1} - \frac{10^{-3} \cdot 3}{2,1} \approx 1,4 \cdot 10^4.$$

Take $n = 10^4$:

$$T_{\text{count}} = n T_{c2} = 10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = 3,33 \text{ s.}$$

Determine the absolute error of discreteness

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{n} = \pm 10^{-4}.$$

Calculate the relative error

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

$$\text{where } N = \frac{n \cdot T_{c2}}{T_{c1}} = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6, \quad \delta_N = \pm \frac{1}{7 \cdot 10^6} = \pm 0,143 \cdot 10^{-6}.$$

The result on the scoreboard 700.0000.

Metrological assurance of measuring instruments for measuring frequency

Unified National System of Ukraine (ENSU), as well as its integration into a worldwide communications network standards stipulate particular telecommunications industry, its harmonious adaptation to the interstate, international, regional and national standardization system.

One of the main objectives is to ensure standardization of measurement. This problem is solved by the appropriate metrological provisioning (MP) of measuring instruments (MI) frequency, which is in testing, verification and calibration of the MI.

Design, manufacture and operation of frequency measurement devices require appropriate metrological support. At the same time providing a range of scientific, technical and organizational measures designed to support the unity and the required accuracy of frequency measurements in all sectors of the economy.

Of particular technical measures should be noted verification devices because it requires a large amount of instrumentation and, above all, frequency measurement. Suffice it to say that for the calibration standard crystal frequency needed: rubidium frequency standard, the frequency comparator, EFC, micro voltmeter selective, spectrum analyzer.

In terms of verification of works all kinds of equipment measurement can be divided into two groups: devices that measure the frequency, and instruments that produce highly stable electromagnetic waves.

The first group of devices calibrated by feeding on their input of highly frequency of electromagnetic waves and to determine the measurement error. Error of the standard frequency and its instability must be at least 3 times smaller than the measurement error of the instrument, which confide. Therefore, for the calibration of frequency, the relevant standards of frequency synthesizers, frequency multipliers. Accuracy of measurement frequency is determined by the points of the frequency range, which are regulated by the normative and technical documentation (GOST, regulations, guidelines for the verification of the instruments). Typically, calibration is carried out in the beginning, middle and end of the frequency range of the instrument.

The second group measurement devices calibrated by comparing the frequency of electromagnetic waves produced by a model with a frequency of the instrument, which has a metrological characteristics, 3 times better. For the calibration of such devices are used frequency standards, frequency of model signals transmitted by radio receivers, oscilloscopes.

With the highest accuracy rate and time of reproducing with highly stable molecular generators.

Test. MI tests are conducted by specialized organizations accredited as a national center test sieves. Tests of samples held at MI state standard established order. MI tests for approval of the type carried out by the approved program, which should contain the following sections: review of technical documentation, an experimental study of MI; clearance test results.

Detailed requirements for the programs outlined in the recommendations of the international metrology bodies. During the tests should be monitored compliance documentation and technical characteristics of the MI conditions and regulatory documents (RD), which apply to them, including the calibration procedure.

Compliance with the approved type MI controlled bodies of the State Metrological Service (SMS) at the location of users.

Verification of MI - is the establishment of SMS authority (other authorized organizations) the suitability of SIT for use on the basis of experimentally determined MX and confirm their compliance with mandatory requirements.

Lists of groups of MI to be verification, approved by the State Standard. Calibration is carried out in accordance with the RD, approved the results of the tests.

The result of verification is to confirm the suitability of MI for use. In this case, it and (or) technical documents applied confidential imprint stamps and (or) issued "certificate of verification". Confidential stigma - a sign the prescribed form, applied to the MI, recognized as a result of verification suitable for use. If the MI as unfit to use, in this case, the image confidential stamps and (or) "certificate of verification" void and issued "certificate of unfitness." Form stamp and certificate of verification, the procedure for applying MI confidential stamp set by State Standard.

SIT are primary, periodic, exceptional, inspection and expert verification.

Initial calibration is made at the MI from the manufacture or after repairs, as well as the importation of MI across the border in batches. This verification is subjected, as a rule, each instance of the MI.

Periodic calibration is performed at set intervals of time (calibration interval). She was subject to the MI, which are in use or in storage. Specific lists of SIT to be checking, set by their owners - individuals and legal entities. Bodies of the SMS in overseeing compliance with metrological norms and rules checking the accuracy of these listings. Periodic calibration must pass each instance the MI. An exception may be the MI, are on long-term storage. The results of this verification is valid for Calibration interval. The first interval is set at MI type approval, the following are determined on the basis of different criteria.

Extraordinary MI calibration is carried out prior to the date of the periodic verification of the following cases: damage to the sign confidential stigma, as well as the loss of the certificate of verification, the commissioning of MI after prolonged storage (more than one Calibration interval) of reconfiguration, and, if known, or There are assumptions about the shock (mechanical) effects on the MI or the poor of his work.

The inspection is carried out verification of the implementation of SMS authorities of state supervision and departmental control over the state and the use of SIT. It is not allowed to conduct the full extent permitted by the method of verification. Inspection results are recorded in the instrument calibration verification.

Expert verification is carried out with any matters of MX, serviceability and suitability of MI for use. Her conduct SMS authorities upon written request of interested persons.

The order of presentation of MI in fact determined by the State Standard. Calibration is carried out in accordance with established procedures and includes the following:

- Establishing the frequency of work (defined calibration interval) in accordance with ISO 10012;
- The development and documentation of methodologies for work according to the instructions of RD 50-660-88;
- Maintaining appropriate protocols, reflecting the results of operations;
- The organization of storage and use of documentation for verification of the MI.

The primary MX, which is determined by calibration, the error is. It is determined on the basis of comparing the MI under verification and more accurate working standard.

Measures can be believed:

- Reconciliation of (or opposition to the methods of substitution) with a more accurate measure using a comparator. Common to these methods of checking the MI is to provide a signal about the presence of difference in size compared quantities. If this signal by adjusting the model measures would be reduced to zero, we realized a zero measurement method;

- Measurement of the reference value of MI, reproducible measure. In this case, verification is often called a grading. Graduation - a drawing on a scale of marks corresponding to the testimony of the working standard, or definition of his testimony refined values of the magnitude of the applied marks on the scale of the MI, which calibrated;

- Way to gauge when a more accurate measure is checked, only one measure of a set or one of the scale marks valued measures and other measures of the true dimensions are defined by their mutual comparison, in various combinations on instruments for comparison and further processing of the measurement results.

Calibration of measuring instruments is made:

- By direct comparison of the measured values and values that play an appropriate level of working standards and accuracy class. The values of the output measures are chosen equal to the corresponding (often digitized) marks the instrument scale. The greatest difference between the measurement and the corresponding size standard is, in this case, the main error of the instrument;

- By direct comparisons of the readings, which calibrated and the reference for the simultaneous measurement of the same magnitude. The difference of their testimony is under verification absolute error of MI Can be used and other methods of verification.

Verification is important in the selection of an optimal ratio between the standard errors under verification and the MI. Typically, this ratio is assumed to be 1:3 (based on the criterion of negligible error), when checking is introduced amendments to the testimony of MI model. If corrections are not introduced, the reference selected from SIT ratio of 1:5. The ratio of errors under verification and reference SIT is established taking into account the method of verification, the nature of the error, admitting the errors of the first and second kind, and can sometimes differ significantly from the previously mentioned figures.

By checking the right decision State Standard MI may be granted by an accredited MS entities whose activities are carried out in accordance with applicable law and RD for the uniformity of measurements, taking into account the recommendations of the ISO and IEK.

In those areas where the state metrological supervision and control are not required, to ensure proper operation of the metrological calibration of MI is applied.

Calibration (calibrations) - a set of operations performed to identify and confirm the actual values of the metrological characteristics, and (or) fitness for use of MI, which are not subject to state metrological control and supervision.

Organization performing the calibration work must be attorneys and an identified means of calibration - standards, facilities and other MI used for calibration in accordance with established rules. They are designed to ensure the transfer of units of the size of the national standards of measurement instruments that are calibrated, updated documents regulating the organization and conduct of the calibration work. They include documentation on the MI and calibration, regulatory documents for calibration, the calibration procedure and the use of its data professionally trained and qualified personnel, facilities, meet regulatory requirements.

Certify the results of the calibration gauge mark, applied to a MI or a certificate of calibration, and record in operational documents.

Requirements for calibration laboratories are given in the relevant Standard and the ISO / IEK 17025-2000 /.

LABORATORY WORK №7

RESEARCH OF ELECTRONIC FREQUENCY COUNTER CHARACTERISTICS

1. Work purpose

1.1 Obtaining the professional knowledge with digital frequency measuring device work. Be able to choose counting time (T_{count}), period factor (n) and marks generator frequency (f_M).

1.2 Research electronic frequency counter (EFC) basic characteristics in different working mods. Be able to choose working mod that will provide minimal error result of frequency measurement, time intervals and frequencies ratio.

2. Key features

2.1 Modern EFC based on micro processing schemes with hard logic are the multifunctional devices. The transition from one function to another is implemented by installed software or by switching keys.

Functional scheme is shown on pic. 1 relate to EFC with hard logic.

2.2 “FREQUENCY MEASUREMENT” mode perform the direct comparing of researched signal frequency f_s with standard frequency value f_{QG} (quartz-crystal generator). Here $f_s > f_{QG}$ that gives opportunity to find with digital method the number that will show in how many times f_s bigger than f_{QG} .

On pic. 2 are shown the diagrams of EFC voltages that reveal the point of digital method – the calculation of pulses quantity N coming on counting block (11) during time T_{count} – “MEASURING TIME” or “COUNTING TIME”.

From diagram follows that the actual value of researched signal frequency equal to:

$$f_{s\ act} = N / T_{count}$$

Measuring of researched signal frequency value:

$$f_{s\ res} = N \pm 1 / T_{count}$$

The value of absolute error of discreteness:

$$\Delta_N = f_{s\ res} - f_{s\ act} = \frac{N \pm 1}{T_{count}} - \frac{N}{T_{count}} = \pm \frac{1}{T_{count}}$$

The maximum value of relative error of discreteness defined by next formula:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{f_{s\ act}} = \pm \frac{1}{N}$$

where, N – quantity of pulses that comes on the counting block of EFC during counting time.

Total error of frequency measuring:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{QG}^2 + \delta_N^2},$$

where δ_{QG} – error component causing by quartz-crystal generator.

2.3 “PERIOD MEASUREMENT” mode perform comparing of researched signal period T_s with standard time interval. Diagrams of EFC voltages are shown on pic. 3. We can see from diagrams that actual value of researched signal period is defined by:

$$T_{s\text{act}} = \frac{N \cdot T_M}{n},$$

where T_M – period of standard (master) signal;

N – marks quantity that comes on counting block;

n – period factor.

Counting time is defined by:

$$T_{\text{count}} = n \cdot T_s,$$

The measuring period value of researched signal:

$$T_{s\text{res}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_M}{n}.$$

The values of relative and absolute error of discreteness are equal to:

$$\Delta_N = T_{s\text{res}} - T_{s\text{act}} = \frac{(N \pm 1) \cdot T_M}{n} - \frac{N \cdot T_M}{n} = \pm \frac{T_M}{n};$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

where $N = \frac{n \cdot T_{s\text{res}}}{T_M}$.

Total relative error of measuring:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{QG}^2 + \delta_N^2 + \delta_{\text{tr}}^2},$$

where δ_{tr} – transformation error caused by ratio of signal/obstacle voltage.

2.4 In “FREQUENCIES RATIO” mode the voltage with high frequency f_1 (the position of key on switch “1”) is applied on the input “1” (pic.1). In channel 1 this voltage transforms in sequence of short pulses with f_1 repetition rate. This pulses comes on the first input of time selector while on the second input is applied the control pulse with duration T_{count} . Formation of control pulse is performed in channel “2” from the signal with lower frequency f_2 applied on the input “2”.

From pic. 4 follows equality:

$$N \cdot T_1 = n \cdot T_2.$$

The actual value of frequency ratio equal to:

$$\left(\frac{f_1}{f_2}\right)_{act} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)_{act} = \frac{N}{n}.$$

The measuring value of frequencies ratio:

$$\left(\frac{f_1}{f_2}\right)_{res} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)_{res} = \frac{N \pm 1}{n}.$$

Counting time:

$$T_{count} = n \cdot T_2.$$

The absolute error of discreteness:

$$\Delta_N = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)_{res} - \left(\frac{T_1}{T_2}\right)_{act} = \frac{N \pm 1}{n} - \frac{N}{n} = \pm \frac{1}{n}.$$

The relative error of discreteness:

$$\delta_N = \frac{\Delta_N}{\left(\frac{T_1}{T_2}\right)_{act}} = \pm \frac{1}{N};$$

Where $N = \frac{n \cdot T_2}{T_1}$.

Total error of measurement:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{QC}^2 + \delta_N^2}.$$

3. Key questions

- 3.1 Why EFCs are related to high accuracy and universal measuring tool?
- 3.2 What is the main point of measuring method of EFC?
- 3.3 Explain the principle of EFC work by modes:
 - frequency;
 - time interval;
 - frequency ratio.
- 3.4 List the errors that occur in EFC in different modes of work.
- 3.5 Find out methods of decreasing of measurement errors.
- 3.6 Explain how the total error determines in different work mods.
- 3.7 Explain how to determine the position of decimal point in different work mods.

4. Home task

- 4.1 Research the structural scheme of given EFC and the principle of work in different modes. To draw the structural scheme of EFC.
- 4.2 Using the technical characteristics of EFC choose time counting that provides the minimal error in frequency measuring mode. The result show in table 4.1. The variants of the tasks given in table 1 (appendix A); here $f_1 = f_2$.

Table 4.1 – Basic characteristics evaluation in “FREQUENCY MEASURMENT” mode.

f_s , kHz	T_{count} , ms	Expected result, kHz	Δ_N , Hz	N	δ_N

- 4.3 Using the technical specifications of EFC choose the parameters of period measurement mode that provide minimal measurement error of interval. The result is show in table 4.2. It is recommended to provide calculations on same frequencies as in table 1 (appendix A).

Table 4.2 – Basic characteristics evaluation in “PERIOD MEASURMENT” mode.

f_s , kHz	n	T_M	Expected result (ms, μ s)	Δ_N	N	δ_N	T_{count} , ms

4.4 Using technical specifications of EFC choose parameters of the frequency ratio mode that will provide minimal measurement error. The results show in table 4.3 (the frequencies are given in appendix A).

Table 4.3 – Basic characteristics evaluation in “FREQUENCIES RATIO” mode.

f_1/f_2	n	Expected result	Δ_N	N	δ_N	T_{count}, ms

5. Laboratory task

5.1 Research the counter. Establish a correspondence between governments, shown on the front panel of the device and the structural scheme (pic 1).

5.2 To make the external research of EFC in self-control mode.

5.3 To make research in all work modes.

5.4 In frequency measurement mode perform validation of feature selection on the frequencies given in table 1 (appendix A). The results show in table 5.1.

Table 5.1 – Basic characteristics evaluation in “FREQUENCY MEASUREMENT” mode.

f_s, kHz	T_{count}, ms	Result, kHz	Δ_N, Hz	N	δ_N

5.5 In period measurement mode perform the same measuring. The results show in table 5.2.

Table 5.2 – Basic characteristics evaluation in “PERIOD MEASUREMENT” mode.

f_s, kHz	n	T_M	Result (ms, μs)	Δ_N	N	δ_N	T_{count}, ms

5.6 In frequencies ratio mode perform the same measuring. The results show in table 5.3.

Table 5.3 – Basic characteristics evaluation in “FREQUENCIES RATIO” mode.

f_1/f_2	n	Result	Δ_N	N	δ_N	T_{count} , ms

6. Protocol of the laboratory work (№ name ...)

- 6.1 The purpose of the experiment.
- 6.2 List of equipment used in the Table. 6.1.

Table 6.1 – List of equipment used

Name of the device	type	serial number	Metrological characteristics		
			Accuracy	Range	Frequency

6.3 Measuring chart.

6.4 To build in one system of coordinates of graphic arts of dependence of relative error of δ_N from frequency in the mode of measuring of frequency and period. To draw a conclusion about the choice of the mode of operations of EFC.

LABORATORY WORK №7a

METROLOGICAL PROVISION MEANS OF MEASUREMENT TECHNIC (MMT) FOR MEASURING FREQUENCY OF INFOSIGNALS

1. The purpose of the work

- 1.1 Preview of the scientific, legal and technical basis of metrological support of MMT for measuring the frequency.
- 1.2 Examine methods of verification of electronic frequency counters (EFC) and metrology operations for verification.
- 1.3 Acquire practical skills for the verification of EFC.

2. Key statements

2.1 EFC verifiable characteristics.

Subject to verification are the following parameters:

- the range of measured frequency sinusoidal and pulse signals
- the error of measuring the frequency
- the frequency range in the measurement period, sinusoidal and pulse signals
- the period of measurement error
- the measuring range of the frequency ratio
- error measuring ratio of frequencies, etc.

2.2 Means of measurements used for calibration.

When checking EFC, the following reference and auxiliary means of verification:

- receiver reference frequencies
- rubidium frequency standards with nominal values of the frequencies of 100 kHz, 1 and 5 MHz with the relative instability of 10^{-11} -
- quartz-crystal generator with the same values of nominal frequency and the relative instability of the order of 10^{-8}
- frequency standards and quartz-crystal generators are measures of the standard frequency, and if there is a possibility and necessity, the accuracy of these measures is controlled by the receiver reference frequencies
- frequency synthesizers, covering the frequency range 0.01 Hz -50 MHz
- Frequency Multipliers
- Frequency Comparators
- universal generators, voltmeters, oscilloscopes, and AC voltage.

2.3 Conditions of verification and preparation for it.

In carrying out verification operations subject to the following conditions:

- the unit that came in fact, subjected to external examination. We should pay attention to the availability, serviceability and cleanliness of the entire property, the condition of paint and clear labeling. The presence of dirt and rust is unacceptable. The instrument must not be mechanical damage that could affect its operation, such as looseness of control knobs, damaged terminals, poor fixation switches
 - devices having a fault, in actual fact are not accepted.
 - Verification of device parameters is performed at a nominal supply voltage under normal conditions:

- ambient temperature is $293 \pm 5 \text{ }^\circ \text{K}$ ($20 \pm 5 \text{ }^\circ \text{C}$)
 - Relative humidity of $65 \pm 15\%$, atmospheric pressure is $100 \pm 4 \text{ kN / m}^2$ ($750 \pm 30 \text{ mm. Hg. Art.}$)
 - Voltage Mains $220 \text{ V} \pm 4,4 \text{ V}$.
- Before the operations of checking, you must make the following preparations:
- place the unit under verification in the workplace, providing comfort and eliminating getting it out of direct
 - connect wire terminals that are under verification and reference devices used for verification, to the ground bus,
 - to make a connection, the device under verification to model devices with regular cables and adapters;
 - connect devices to an AC voltage of 220, 50 Hz
 - plug-in devices to the network and give them a warm-energized for 1 hour.

2.4 Transactions verification.

Visual inspection

When conducting an external examination must be verified: the

- absence of mechanical damage, affecting the accuracy of the readings, the
- presence and strength of attachment of controls and switching, the clarity of fixing their positions, smooth rotation of knobs settings;
- arrows showing the correct installation of devices against the zero marks of the scale,
- the purity of sockets, connectors and terminals
- the state of wires, cables, adapters,
- paint condition and clarity of markings
- the absence of detached or weakly attached circuit elements and foreign objects (defined by ear when bending device).

If the appliance defects, due verification shall be cancelled and direction for repair.

Testing

Verifying the device in the "Self-control" mode on the device control frequencies.

Calibration range of measured frequencies and periods of

Verification range of measured frequencies and periods is carried out according to the scheme shown in Fig. 1, by direct measurement of the frequency (period), given by the measuring generators (MG) of the respective ranges and types.

Measurements were carried out at both ends of the range of frequencies f_n (T_n) and f_{in} (T_s) and 5- 6 points within range. If necessary, check the minimum values of the input voltage to the output of the generator voltmeter connected by means of which, and establish the minimum voltage input signal. At the same time observed EFC has to have stable results.

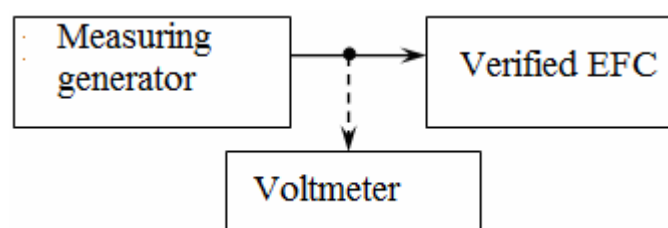


Figure 1 – Calibration frequency bands (periods) by the method of direct measurements.

The basic definition of the relative error of frequency measurement is performed according to the expression:

$$\delta_f = \pm \sqrt{\delta_{\text{qg}}^2 + \delta_N^2}, \quad (1)$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

where $N = f_s \cdot T_{\text{count}}$;

δ_{qg} – the relative error of the reference oscillator,

T_{count} – measurement time (time accounts);

f_s – measured frequency.

Determining the relative error of the measurement period is made according to the

$$\delta_T = \pm \sqrt{\delta_{\text{qg}}^2 + \delta_N^2}, \quad (2)$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N},$$

where $N = \frac{10^{(v+\varepsilon)} \cdot T_c}{T_{\text{qg}}}$,

T_{qg} – the period of the reference oscillator signal,

T_c – as measured by the period;

$n = 10^v$, $v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ – a multiplier signal period;

$m = 10^\varepsilon$, $\varepsilon = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ – frequency multiplier of crystal oscillator.

In determining the errors of δ_f and δ_T is checked separately:

- the relative error of the reference frequency crystal oscillator (δ_{qg})
- components of the measurement error due to the frequency and period of discontinuity (the second terms in equations (1) and 2)).

Determination of the relative error by the reference frequency of quartz-crystal generator

Relative accuracy of the reference oscillator frequency is determined by comparison with the comparator circuit shown in Fig. 2.

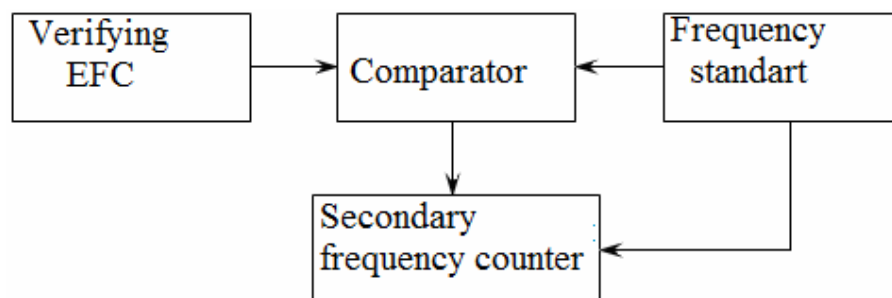


Figure 2 – Determination of the relative error in frequency reference oscillator by comparison

Output of the reference oscillator under verification EFC connected to the input of a comparator. Frequency of the source model, which is the standard rate n_1 -type, the signal of the same frequency at the input of the comparator 2 and the connector "5 MHz" frequency of type H3, which uses this signal instead of its own reference clock signal.

And the comparator output signal frequency f_t is input auxiliary EFC, operating in the frequency measurements at a measurement time of 1 or 10 sec.

To improve the reliability of measurement results is removed at least 10 consecutive readings of the frequency and is their average value:

$$f_c = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n}, \quad (3)$$

where f_{ci} – a frequency output of the comparator unit of measurement;
 n – the number of single measurements carried out.

Relative error of the reference oscillator frequency is determined by the

$$\delta_{qg} = \frac{f_c - f_n}{f_n}, \quad (4)$$

where f_c – value of the frequency comparator corresponding to the nominal value of the reference frequency generator;

f_n – nominal frequency of the reference oscillator.

Appendix B shows the NMC frequency standard Ч1-53, the frequency comparator Ч7-12 and frequency synthesizer. In carrying out laboratory work rather than the above model can be used similar devices on the NMC devices.

Determining the relative error δ_{qg} , shall adjust the frequency of the reference oscillator EFC, after which the slot "frequency correction" sealed.

Determination of components of the error of the measured frequency and period due to the discreteness of the account

Definition data components of the error is carried out by direct measurement of the standard frequency. The source of the reference frequency is used, or a frequency synthesizer or synthesizer with frequency multiplier.

Circuit connection of devices with the operation of verification is given in Figure3.

The synthesizer must be synchronized with verifiable EFC from the reference oscillator device under verification.

The input signal is fed under verification EFC, close to the upper limit frequency and a voltage equal to the minimum input voltage at which the EFC should work fine. In the absence of a graded synthesizer voltage output signal, it is necessary to control the voltage with a voltmeter.

Carry out a series of 10 observations. The results of calibration are considered positive if the 9 cases (reading) the measurement does not differ from f_{qg} more than ± 1 division accounts.

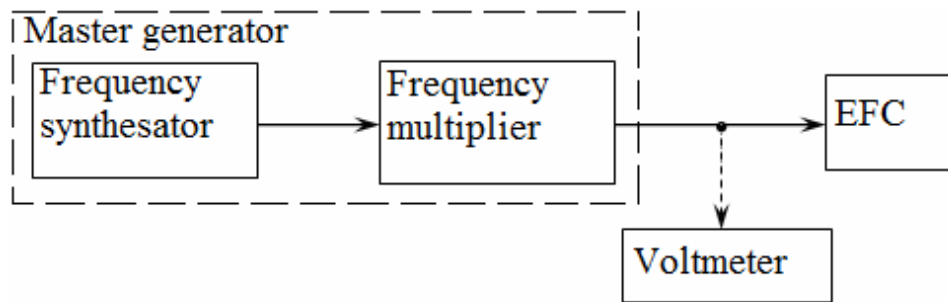


Figure 3 – Determination of discrete error consistent.

For a similar procedure is determined by the component of error due to the discreteness of the measurement period. In this case the input frequency is served frequencies corresponding to the upper and lower frequency range specified for the frequency measurement mode period.

3 Key issues

- 3.1 Define the term "MMT tests."
- 3.2 How to calibrate (calibration work) EFC.
- 3.3 State the definition of verification EFC.
- 3.4 Types of calibration and calibration interval?
- 3.5 What major are determined by checking the MX EFC?
- 3.6 List of measuring instruments used in checking EFC.
- 3.7 Specify the operations during the verification EFC.

4. Homework

- 4.1 Examine the basic provisions relating to the verification and calibration of the electronic frequency counter (EFC).
- 4.2 Write down the metrological characteristics of the frequency comparator.
- 4.3 Write down the metrological characteristics of a frequency standard.
- 4.4 Write down the metrological characteristics of the frequency synthesizer.

5. Laboratory reference

5.1 Familiarize with an equipment in the workplace, collect a measuring chart in obedience to lines. 1 and prepare devices to work.

5.2 In the mode of measuring of frequency define the threshold of sensitiveness (minimum tension which will provide a proof show on a board) and conduct the check of device on the indicated frequencies at tablas. 5.1.

5.3 To expect an absolute error the measured and maximum possible error, it is got results to write down at tablas. 5.1.

(δ_i – choose from passport information of the set generator)

Table 5.1 – Verification of the range of measured frequencies

f_r kHz	T_c	U_{\min}	results on the board	absolute error $\Delta = F_{\text{and}} - f_r$	maximum permissible error $\Delta_i = \delta_i \cdot f_i$	Output
0.1						
1						
10						
100						
1000						

5.4 In the mode of measuring of period to conduct the analogical measurements and calculations. To present results as table. 5.2.

Table 5.2 – Calibration of the measured range of periods

f_r kHz (T_r)	T_m	n	results on the board	U_{\min}	absolute error $\Delta = T_{\text{and}} - T_r$	maximum permissible error $\Delta_i = \delta_i \cdot T_i$	output
0.1							
1							
10							
100							
1000							

5.5 Using technical descriptions of the set cymometer, to choose time of account which provides the least error in the mode of measuring of frequency. . 5.3.

Possible δ in the mode of frequency will expect after a formula 1.

Table 5.3 – Determination of the relative error of frequency measurement (error discrete)

f_i kHz	T_{count}	results on the board	absolute error $\Delta = \pm 1 / T_{\text{count}}$	N	δ	Allowable δ	Output
0.1							
1							
10							
100							
1000							

5.6 Using technical descriptions of the set cymometer, to choose the parameters of the mode of measuring of period so that to provide the least error of measuring of period. . 5.4.

Possible δ in the mode of period will expect after a formula 2.

Table 5.4 – Determination of the relative error of measurement period (error discrete)

f_r kHz (T_r)	T_m	n	T_{cq}	results on the scoreboard	absolute error $\Delta = \pm T_m / n$	N	δ	Allowable δ	Output
0.1									
1									
10									
100									
1000									

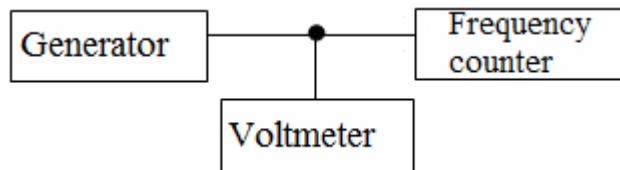
6. Protocol of the laboratory work (№ name ...)

- 6.1 The purpose of the experiment.
- 6.2 List of equipment used in the Table. 6.1.

Table 6.1 – List of equipment used

Name of the device	type	serial number	Metrological characteristics		
			Accuracy	Range	Frequency

6.3 Scheme of the measurement



Type of calibrated frequency counter _____

Visual inspection _____

Testing _____

Calibration settings

Ambient temperature _____ ° C

Relative humidity _____

Pressure mmHg _____

Time of pre-heating _____ min.

Supply voltage _____ V.

The frequency of voltage _____ Hz.

6.4 Based on these results to draw conclusions about the verification carried out by frequency.

Verification Measurement frequency range investigated EFC _____

Conclusion: _____

Calibration of the measured range of periods studied EFC _____

Conclusion: _____

Determination of the relative error of measurement of the frequency of the EFC

Conclusion: _____

Determination of the relative error of the measurement period studied EFC

Conclusion: _____

The overall conclusion

is made _____ Checking " ____ " _____ 20 __ y .

Name

Protocol tested: _____ (Signature)

Individual task

Calculation of metrological characteristics of EFC

1. Purpose:

1.1 Master the technique of an estimation error of measurement, using NMC EFC.

1.2 Learn how to choose the mode of EFC, which provides the minimum error.

2. Key Provisions

2.1 Individual task consists of four tasks. In the first and the second problem should be using the NMC EFC, the best way to select the operating mode parameters and calculate the error. Record the measurement result on the scoreboard showing the dimension.

A third challenge is the result of measurement error estimate of the frequency ratio. It is also necessary to record the measurement result on the scoreboard. This task is necessary to pay attention to the correct choice of frequencies, which should be in the range of measurement EFC.

Fourth task will assess the result of measurement error of the frequency (period, frequency ratio), submitted to the board. This inverse problem is solved.

2.2 Normalized metrological characteristics (NMC) EFC - a metrological characteristics (MC), the regulatory and technical documentation (TD).

To NMC EFC are:

- in the mode frequency measurements:

a) measuring range

b) the calculation time T_{count}

$$T_{\text{count}} = i \cdot \dot{O}_{\text{qg}},$$

where $n = 10^v$, $v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$, $\dot{O}_{\text{qg}} = \frac{1}{f_{\text{qg}}}$

c) the number of digits,

d) threshold,

e) the relative error δ_{qg} crystal oscillator

- in the mode of measurement periods:

a) measuring range

b) label the period;

$$T_m = \frac{1}{m \cdot f_{\text{qg}}} = \frac{\dot{O}_{\text{qg}}}{10^\varepsilon},$$

where m – frequency multiplier crystal oscillator $m = 10^\varepsilon$; $\varepsilon = 0; 1; 2; 3; 4, \dots$,

c) the period of the factor n ;

d) the number of digits

e) threshold

- e) the relative error δ_{qg} crystal oscillator
 - in the mode of measuring the ratio of frequencies:
 a) the range of measurement frequencies
 b) the range of measurement and period.
 c) the period of the factor(n);
 d) the number of digits
 e) the threshold of sensitivity,

2.3 The basic error in the measurement mode frequency is given by:

$$\delta_f = \sqrt{\delta_{qg}^2 + \delta_N^2},$$

δ_{qg} – standard error of the value of the crystal oscillator;
 δ_N – error of discreteness

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N};$$

where $N = f_c \cdot \dot{O}_{\text{count}}$,

$$T_{\text{count}} = n \cdot T_{qg};$$

$$\dot{O}_{qg} = \frac{1}{f_{qg}};$$

$$n = 10^v, \quad v = 0, 1, 2, 3, 4, \dots;$$

Where $v = 0, T_c = 10^0 \text{ ms}$;

$$\dot{O}_{\text{count}} = 10^1 \text{ ms}; \quad v = 2, \quad \dot{O}_{\text{count}} = 10^2 \text{ ms}; \quad v = 3, \quad \dot{O}_{\text{count}} = 10^3 \text{ ms}; \quad v = 4, \quad \dot{O}_{\text{count}} = 10^4 \text{ ms}.$$

Basic error in the measurement period is determined by the

$$\delta_T = \sqrt{\delta_{qg}^2 + \delta_{te}^2 + \delta_N^2}.$$

$$\delta t = \frac{1}{\pi \cdot n} \cdot \frac{U_n}{U_s},$$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N}; \quad N = \frac{n \cdot T_c}{T_m} = \frac{10^v \cdot T_c}{10^\varepsilon / T_{qg}}; \quad \delta_N = \frac{T_{qg}}{10^{(v+\varepsilon)} \cdot T_c};$$

$$\dot{O}_n = \frac{1}{m \cdot f_{qg}},$$

m – factor frequency oscillator;

$$m = 10^\varepsilon \quad \varepsilon = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$$

In the measurement of the frequency

$$\delta_{(f_1/f_2)} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{T_1}{10^v \cdot T_2} = \pm \frac{T_1}{n \cdot T_2}.$$

Options for individual tasks are presented in Appendix B and are selected for:

- full-time students under the ordinal name of academic papers;
- for students of correspondence courses according to the third letter in the name.

Rules for assignment:

1. Rewrite assignment as a table (Appendix B);
2. Rewrite NMC of given EFC (Appendix D);
3. Perform necessary computation of the parameters selected (specified) mode measurement
4. Result of solutions write in a table (instead of written answers questions).

Appendix A

Table A1. Variants of individual tasks for laboratory work №7.

№ (stationary)	3d letter of surname (extramural student)	Frequencies in kHz						Period of marks T_m	
1	А	f_1	$0,08 \cdot 10^0; 0,08 \cdot 10^1; 0,08 \cdot 10^2; 0,08 \cdot 10^3; 0,08 \cdot 10^4; 0,08 \cdot 10^5$						Let's take for 7- digit frequency counters $T_m=10^{-4}$ s=0,1ms For 8- digit and higher $T_m=10^{-6}$ s=1 μ s
		f_2	0,04; 0,02; 0,08; 0,1; 0,64; 0,8						
2	Б	f_1	$0,12 \cdot 10^0; 0,12 \cdot 10^1; 0,12 \cdot 10^2; 0,12 \cdot 10^3; 0,12 \cdot 10^4; 0,12 \cdot 10^5$						
		f_2	0,02; 0,04; 0,06; 0,2; 1; 1,2						
3	В	f_1	$0,16 \cdot 10^0; 0,16 \cdot 10^1; 0,16 \cdot 10^2; 0,16 \cdot 10^3; 0,16 \cdot 10^4; 0,16 \cdot 10^5$						
		f_2	0,04; 0,08; 0,05; 0,2; 1; 3,2						
4	Г	f_1	$0,20 \cdot 10^0; 0,20 \cdot 10^1; 0,20 \cdot 10^2; 0,20 \cdot 10^3; 0,20 \cdot 10^4; 0,20 \cdot 10^5$						
		f_2	0,04; 0,08; 0,1; 0,5; ;2; 5						
5	Д	f_1	$0,24 \cdot 10^0; 0,24 \cdot 10^1; 0,24 \cdot 10^2; 0,24 \cdot 10^3; 0,24 \cdot 10^4; 0,24 \cdot 10^5$						
		f_2	0,06; 0,01; 0,08; 0,48; 1,2; 1,5						
6	Е	f_1	$0,28 \cdot 10^0; 0,28 \cdot 10^1; 0,28 \cdot 10^2; 0,28 \cdot 10^3; 0,28 \cdot 10^4; 0,28 \cdot 10^5$						
		f_2	0,14; 0,05; 0,2; 0,5; 1,4; 2,8						
7	Ж	f_1	$0,32 \cdot 10^0; 0,32 \cdot 10^1; 0,32 \cdot 10^2; 0,32 \cdot 10^3; 0,32 \cdot 10^4; 0,32 \cdot 10^5$						
		f_2	0,2; 0,16; 0,32; 0,8; 1,6; 6,4						
8	З	f_1	$0,36 \cdot 10^0; 0,36 \cdot 10^1; 0,36 \cdot 10^2; 0,36 \cdot 10^3; 0,36 \cdot 10^4; 0,36 \cdot 10^5$						
		f_2	0,06; 0,09; 0,03; 1,5; 1,8; 6						
9	И	f_1	$0,40 \cdot 10^0; 0,40 \cdot 10^1; 0,40 \cdot 10^2; 0,40 \cdot 10^3; 0,40 \cdot 10^4; 0,40 \cdot 10^5$						
		f_2	0,2; 0,16; 0,2; 1,25; 4; 5						
10	К	f_1	$0,44 \cdot 10^0; 0,44 \cdot 10^1; 0,44 \cdot 10^2; 0,44 \cdot 10^3; 0,44 \cdot 10^4; 0,44 \cdot 10^5$						
		f_2	0,11; 0,2; 0,2; 1,1; 2; 5						
11	Л	f_1	$0,48 \cdot 10^0; 0,48 \cdot 10^1; 0,48 \cdot 10^2; 0,48 \cdot 10^3; 0,48 \cdot 10^4; 0,48 \cdot 10^5$						
		f_2	0,12; 0,15; 0,2; 2; 2,4; 8						
12	М	f_1	$0,52 \cdot 10^0; 0,52 \cdot 10^1; 0,52 \cdot 10^2; 0,52 \cdot 10^3; 0,52 \cdot 10^4; 0,52 \cdot 10^5$						
		f_2	0,26; 0,08; 0,4; 4; 5; 6,5						
13	Н	f_1	$0,56 \cdot 10^0; 0,56 \cdot 10^1; 0,56 \cdot 10^2; 0,56 \cdot 10^3; 0,56 \cdot 10^4; 0,56 \cdot 10^5$						
		f_2	0,14; 0,2; 0,4; 2; 1,4; 5						
14	О	f_1	$0,60 \cdot 10^0; 0,60 \cdot 10^1; 0,60 \cdot 10^2; 0,60 \cdot 10^3; 0,60 \cdot 10^4; 0,60 \cdot 10^5$						
		f_2	0,2; 0,3; 0,4; 2,5; 1,2; 6						
15	П	f_1	$0,64 \cdot 10^0; 0,64 \cdot 10^1; 0,64 \cdot 10^2; 0,64 \cdot 10^3; 0,64 \cdot 10^4; 0,64 \cdot 10^5$						
		f_2	0,08; 0,4; 0,16; 2; 1; 8						
16	Р	f_1	$0,68 \cdot 10^0; 0,68 \cdot 10^1; 0,68 \cdot 10^2; 0,68 \cdot 10^3; 0,68 \cdot 10^4; 0,68 \cdot 10^5$						
		f_2	0,17; 0,34; 0,68; 1,7; 8; 4						
17	С	f_1	$0,72 \cdot 10^0; 0,72 \cdot 10^1; 0,72 \cdot 10^2; 0,72 \cdot 10^3; 0,72 \cdot 10^4; 0,72 \cdot 10^5$						
		f_2	0,08; 0,36; 0,6; 1,8; 7,2; 8						
18	Т	f_1	$0,76 \cdot 10^0; 0,76 \cdot 10^1; 0,76 \cdot 10^2; 0,76 \cdot 10^3; 0,76 \cdot 10^4; 0,76 \cdot 10^5$						
		f_2	0,19; 0,38; 0,4; 1,9; 3,8; 5						
19	У	f_1	$0,80 \cdot 10^0; 0,80 \cdot 10^1; 0,80 \cdot 10^2; 0,80 \cdot 10^3; 0,80 \cdot 10^4; 0,80 \cdot 10^5$						
		f_2	0,4; 0,32; 0,5; 6,4; 8; 4						
20	Ф	f_1	$0,84 \cdot 10^0; 0,84 \cdot 10^1; 0,84 \cdot 10^2; 0,84 \cdot 10^3; 0,84 \cdot 10^4; 0,84 \cdot 10^5$						
		f_2	0,21; 0,35; 0,6; 2,4; 4,2; 4						

Continuation of table And

№ (stationary)	3d letter of surname (extramura I student)	Frequencies in kHz						Period of marks T_m
		f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2	
21	X	f_1	$0,88 \cdot 10^0; 0,88 \cdot 10^1; 0,88 \cdot 10^2; 0,88 \cdot 10^3; 0,88 \cdot 10^4; 0,88 \cdot 10^5$					
		f_2	0,11; 0,4; 0,55; 1; 4; 4,4					
22	Ц	f_1	$0,72 \cdot 10^0; 0,72 \cdot 10^1; 0,72 \cdot 10^2; 0,72 \cdot 10^3; 0,72 \cdot 10^4; 0,72 \cdot 10^5$					
		f_2	0,08; 0,36; 0,6; 1,8; 7,2; 8					
23	Ч	f_1	$0,78 \cdot 10^0; 0,78 \cdot 10^1; 0,78 \cdot 10^2; 0,78 \cdot 10^3; 0,78 \cdot 10^4; 0,78 \cdot 10^5$					
		f_2	0,39; 0,6; 0,65; 1,95; 1,3; 8					
24	Ш	f_1	$0,82 \cdot 10^0; 0,82 \cdot 10^1; 0,82 \cdot 10^2; 0,82 \cdot 10^3; 0,82 \cdot 10^4; 0,82 \cdot 10^5$					
		f_2	0,82; 0,41; 0,82; 4,1; 5; 4					
25	Щ	f_1	$0,86 \cdot 10^0; 0,86 \cdot 10^1; 0,86 \cdot 10^2; 0,86 \cdot 10^3; 0,86 \cdot 10^4; 0,86 \cdot 10^5$					
		f_2	0,43; 0,2; 0,86; 2,5; 8,6; 5					
26	Э	f_1	$0,90 \cdot 10^0; 0,90 \cdot 10^1; 0,90 \cdot 10^2; 0,90 \cdot 10^3; 0,90 \cdot 10^4; 0,90 \cdot 10^5$					
		f_2	0,3; 0,2; 0,6; 1,5; 4,5; 9					
27	Ю	f_1	$0,94 \cdot 10^0; 0,94 \cdot 10^1; 0,94 \cdot 10^2; 0,94 \cdot 10^3; 0,94 \cdot 10^4; 0,94 \cdot 10^5$					
		f_2	0,47; 0,94; 0,47; 1; 2,5; 5					
28	Я	f_1	$0,98 \cdot 10^0; 0,98 \cdot 10^1; 0,98 \cdot 10^2; 0,98 \cdot 10^3; 0,98 \cdot 10^4; 0,98 \cdot 10^5$					
		f_2	0,49; 0,2; 0,98; 1,96; 7; 5					

Let's take for
7- digit
frequency
counters
 $T_m=10^{-4}$ s=0,1ms

For 8- digit
and higher
 $T_m=10^{-6}$ s=1 μ s

Note. Frequency f_2 is taken only for frequency mode ratio.

Appendix B

Frequency comparator

Metrological characteristics of the frequency comparator Ч7-12:

- frequencies of input signals 1 and 5 MHz with a maximum deviation from the nominal frequency not exceeding 1 Hz;
- input voltage from 0.5 to 1.5 V;
- maximum relative difference between the values of input signals frequency is determined by:

$$\frac{\Delta f}{f_{qg}} \leq 10^3 \delta_{all}$$

where δ_{all} – allowable error of frequency instability measurement of input signals, $\delta_{all} = 10^{-7} \dots 10^{-12}$;

Δf – frequency difference of input signals;

f_{qg} – reference signal frequency.

In this case following condition must be satisfied:

$$M \cdot \Delta f \leq 10^3, \text{ Hz}$$

where M – multiplication factor of input signal frequency difference.

- voltage of input signals not less than 0.65 V at the load resistance $R = 75 \text{ Ohm}$.

Frequency standard

Metrological characteristics of frequency standard Ч1-53:

- relative error not more than $5 \cdot 10^{-6}$ after 4 times from the date of switching;
- the relative frequency deviation of the initial signal per day - not more than $5 \cdot 10^{-9}$ after 24 hours of work;
- root mean square relative deviation of the output signal period after 24 hours of work - not more than $2 \cdot 10^{-11}$ for 1 sec;
- the level of initial signals – at least 1 V at the load of 50 Ohm.

Frequency synthesizer

Metrological characteristics of frequency synthesizer:

- frequency of the initial signal is set within the 50-49999999,99 Hz with step 0,01 Hz. Dialing of value using the trigger switch on the front panel or remotely using of DC signals;
- initial voltage on the external load 50 Ohm – 0,5 V;
- error of installation the nominal frequency – not more than $\pm 5 \cdot 10^{-8}$;
- frequency instability the initial signal after 2 hours of self-heating – not more than $5 \cdot 10^{-10}$ in 10 s; $5 \cdot 10^{-9}$ in 10 min.

Appendix C Individual task

Measurement of the frequency and period by digital frequency counter

Table C1 – Task variants.

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
1 A	Ч3-35	120 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,7 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	33 MHz/3 kHz	?	–	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	00297.444 kHz	?	?	?
2 B	Ч3-57	2,2 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	400 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	15 MHz/1 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	4841.227 kHz	?	?	?
3 C	Ч3-24	750 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,3 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	–	42 MHz/20 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.0009 kHz	?	?	?
4 D	Ч3-36	10 kHz	?	–	?	–	–	?	?	10^{-5}	?
		?	0,1 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	?	47 MHz/10 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	1 μ s	07842.09 μ s	?	?	?
5 E	Ч3-57	300 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,08 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	4,5 MHz/12 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		–	–	–	?	?	–	00077.75kHz	?	?	?
6 F	Ч3-22	630 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,25 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	21 MHz/7 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	5555.5555 kHz	?	?	?

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
7 G	Ч3-35	?	0,01 ms	–	?	–	–	?	10^{-3} kHz	?	?
		?	0,04 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	17 MHz/2 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	10^3	?	00300.0000 ms	?	?	?
8 H	Ч3-22	575 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,35 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	906 kHz/3 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.0220 kHz	?	?	?
9 I	Ч3-57	966 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	2 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	19 MHz/25 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0006757. kHz	?	?	?
10 J	Ч3-35	2,5 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,33 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,9 MHz/1,5 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	0,1 ms	0049.0000 ms	?	?	?
11 K	Ч3-24	?	0,03 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	7 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	10,5 MHz/2,5 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	37886.420 kHz	?	?	?
12 L	Ч3-22	31 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	34 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	20,2 MHz/6 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	?	089124.38 μ s	?	?	?
13 M	Ч3-24	9,4 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	8 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	3,8 MHz/3 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0003333.3 kHz	?	?	?

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
14 N	Ч3-57	12 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,02 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	1,2 MHz/0,3 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	06245.74 kHz	?	?	?
15 O	Ч3-36	15,3 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	27 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	27 MHz/5 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	10^2	?	010.0000 ms	?	?	?
16 P	Ч3-22	1001 kHz	?	–	?	–	–	?	?	10^{-6}	?
		85 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	5,9 MHz/5 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	01378.000 kHz	?	?	?
17 Q	Ч3-24	3,85 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		360 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	18,4 MHz/2 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	000.04250 kHz	?	?	?
18 R	Ч3-57	14,6 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	35 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	35 MHz/1,2 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00000.22 kHz	?	?	?
19 S	Ч3-35	17,3 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	22 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	4,4 MHz/2,2 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	9999.9999 kHz	?	?	?
20 T	Ч3-24	940 kHz	?	–	?	–	–	?	?	?	?
		2,9 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	7,75 MHz/2 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	01000.000 kHz	?	?	?

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
21 U	Ч3-35	2,22 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	21 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	7,7 MHz/7 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	02664.3740 kHz	?	?	?
22 V	Ч3-24	49 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	17 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	8,2 MHz/250 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	008750.00 kHz	?	?	?
23 W	Ч3-57	6,25 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		750 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	6,25 MHz/750 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	–	0750.0000 ms	?	?	?
24 X	Ч3-22	5 MHz	?	–	?	–	–	?	?	10^{-4}	?
		?	12 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	5,5 MHz/0,1 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	0000.2840 kHz	?	?	?
25 Y	Ч3-24	12,6 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	10 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	10,8 MHz/0,7 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00001.000 kHz	?	?	?
26 Z	Ч3-57	10,25 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		27 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,8 MHz/40 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	?	1 ms	000088.0 ms	?	?	?
27 SH	Ч3-35	?	0,9 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	9 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	14,7 MHz/0,1 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00442.2110 kHz	?	?	?

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
28 CH	Ч3-24	16,2 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		66 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	36 MHz/4 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		–	–	–	?	?	–	00024.400 μ s	?	?	?
29	Ч3-35	19,8 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	6 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	20 MHz/20 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	004455.663 kHz	?	?	?
30	Ч3-22	?	7,5 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		?	0,6 μ s	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	25 MHz/0,4 MHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	00000.100 kHz	?	?	?

Example of W task solution

Table C2 – Terms of variant W.

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$	$\pm \delta_\Sigma$
W	Ч3-57	5 MHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		10 kHz	?	–	?	?	?	?	?	?	?
		–	–	2,1 MHz/3 kHz	?	?	–	?	?	?	?
		?	?	–	?	–	–	100.000 kHz	?	?	?

1. Determination of technical specifications of Ч3-57 from table D1.

Table C3 – Technical specifications of Ч3-57.

Frequency counter type	Range of frequency measurement	Range of period measurement	Counting time	Period multiplier	Time marks
Ч3-57	0,1 Hz...100 MHz	1 μ s...10 s	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 μ s...1 ms

Task №1

- determine the signal period

$$T_s = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0.2 \mu\text{s}$$

- choose the frequency counter operation mode. Since T_s is not included in range of measurement period, then select the mode of measuring the frequency.

- determine the counting time by the formula:

$$T_{count} = \frac{10^q - 1}{f} = \frac{10^7 - 1}{5 \cdot 10^6} \approx 2 \text{ s}, \text{ that is } 10^3 \text{ ms} < T_{count} < 10^4 \text{ ms};$$

- taking into account, that the counting time can take only those values (10⁰; 10¹; 10²; 10³; 10⁴) ms, let's choose $T_{count} = 10^3 \text{ ms} = 1 \text{ s}$.

- absolute error of discreteness is determined by the formula:

$$\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{count}} = \pm \frac{1}{1} = \pm 1 \text{ Hz}$$

- relative error of discreteness:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_s \cdot T_{count}} = \pm \frac{1}{5 \cdot 10^6 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-5}$$

- write the result on the display 5000.000 kHz. (Decimal point on the digital display is shifted to the left for the number of digits, which corresponds to the T_{count} degree).

Task №2

- determine the signal period

$$T_s = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0.1 \text{ ms},$$

- taking into account, that the frequency and period of the signal are included in the measurement range, it is recommended to choose such mode of frequency counter, where measurement error will be minimal.

- calculate the relative error of discreteness in the mode of frequency measurements:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_s \cdot T_{count}} = \pm \frac{1}{10 \cdot 10^3 \cdot 10} = 10^{-5}$$

where T_{count} is calculated as in the task 1, and equals $10^4 \text{ ms} = 10 \text{ s}$

- calculate the relative error of discreteness in the mode of period measuring:

- choose the period of time marks, (as the rule, minimal value), that's $T_m = 0,1 \mu\text{s} = 10^{-7} \text{ s}$.

- give an assessment of the value of multiplier n signal period, with the restriction on the counting unit ($N \leq 10^q - 1$), N – number of marks, calculated by the counter, q – number of counter digits.

Period multiplier can assume such values $n = 10^0; 10^1; 10^2; 10^3; 10^4$.

$$n_{dig} = \frac{N \cdot T_m}{T_s} = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-7}}{10^{-4}} = 10^4 - 10^{-3} < 10^4.$$

Since $10^3 < n < 10^4$, then the value of period multiplier equals 10^3 .

- determine the number of marks

$$N = \frac{T_s \cdot n}{T_m} = \frac{10^{-4} \cdot 10^3}{10^{-7}} = 10^6$$

– calculate the relative error of discreteness in the mode of period measuring :

$$\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{10^6} = \pm 10^{-6}$$

that is, less than in the mode of frequency measurements, and therefore choose the mode of measurement period.

– for the selected mode define the absolute error Δ_N , time counting T_{count} , and the measurement result of the display.

$$\Delta_N = \pm \frac{T_m}{n} = \frac{10^{-7} s}{10^3} = \pm 10^{-10} s,$$

$$T_{count} = T_s \cdot n = 10^{-4} \cdot 10^3 = 0,1s$$

Display result is 100.0000 μs .

Task №3

It is measured the frequency ratio 2, 1 MHz/3 kHz.

- calculate the value of period multiplier in the condition of $N \leq (10^q - 1)$ from the equation $n \cdot T_B = N \cdot T_A$

$$n = \frac{(10^q - 1)T_A}{T_B},$$

where $T_B = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} s$; $T_A = \frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6} s$; $q=7$; then

$$n = \frac{(10^7 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot 3}{2,1 \cdot 10^{-3}} \approx 1,4 \cdot 10^4, \text{ and take } n=10^4;$$

- determine T_{count} :

$$T_{count} = n \cdot T_B = 10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} = 3,33 s;$$

- define the absolute error of discreteness : $\Delta_N = \pm \frac{1}{n} = \pm 10^{-4}$.

- calculate the relative error : $\delta_N = \pm \frac{1}{N}$, where $N = \frac{n \cdot T_b}{T_A} = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2,1} \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6$

$$\delta_N = \pm \frac{1}{7 \cdot 10^6} = \pm \frac{1}{7} \cdot 10^{-6} = 0,143 \cdot 10^{-6}$$

Record the result on the display: 700.0000.

Task №4

This problem is the reverse of the previous one. It is given the measurement result on the display 100.000 kHz. Obviously, the frequency counter operates in frequency measurement mode. From the example of previous tasks, we know, that $T_{count.} = 10^3 ms = 1 s$;

– absolute error $\Delta_N = \pm \frac{1}{T_{count}} = \pm \frac{1}{1} = \pm 1 \text{ Hz}$;

– relative error $\delta_N = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{f_s \cdot T_{count}} = \pm \frac{1}{100 \cdot 10^3 \cdot 1} = 1 \cdot 10^{-5}$;

– signal frequency $f_s=100\text{kHz}$; period of the signal $T_s=10^{-5}\text{s}$. The results of solving tasks are shown in Table C4

Table C4 – Results of solving the task W.

Variant	Frequency counter type	Frequency	Period	Frequency ratio	Counting time	Period multiplier	Time marks	The result on the digital display	$\pm \Delta_N$	$\pm \delta_N$
W	Ч3-57	5 MHz	$2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$	–	1 s	–	–	5000.000 kHz	1 Hz	$2 \cdot 10^{-5}$
		10 kHz	0,1ms	–	0,1s	10^3	10^{-7} c	100.0000 μs	10^{-10} s	10^{-6}
		–	–	2,1 MHz/ 3 kHz	3,33 s	10^4	–	700.0000	10^{-4}	$0,143 \cdot 10^{-6}$
		100 kHz	10^{-5} s	–	1 s	–	–	0100.000 kHz	1 Hz	10^{-5}

Appendix D

Table D1 – The main technical characteristics of frequency counter.

Frequency counter type	Range of frequency measurement	Range of period measurement	Counting time, ms	Period multiplier	Time marks	The error of quartz generator	Number of digits
Ч3-22	10 Hz...12 MHz	10 μ s...100 c	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 μ s...1 ms	10 ⁻⁷	8
Ч3-24	10 Hz...50 MHz	1 μ s...100 c	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 μ s...1 ms	10 ⁻⁸	8
Ч3-36	10 Hz...50 MHz	10 μ s...100 c	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 μ s...1 ms	10 ⁻⁸	7
Ч3-57	0,1 Hz...100 MHz	1 μ s...10 ⁴ c	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 μ s...1 ms	10 ⁻⁷	7
Ч3-35	10 Hz...50 MHz	20 μ s...100 c	1...10 ⁴	1...10 ⁴	0,1 μ s...1 ms	10 ⁻⁸	9

Literature

1. Вимірювання в системах зв'язку. Книга 1: Загальні електрорадіовимірювання / [Коломієць Л.В., Воробієнко П.П., Козаченко М.Т. та ін.]. - Одеса: ВМВ, 2009. – с.
2. Метрологія, стандартизація та вимірювання в техніці зв'язку / [Хромой Б.П., Кандінов А.В. та ін.]. - М.: Радио и связь, 1986. – с.
3. Метрологія у галузі зв'язку , Книга I: Метрологія, стандартизація, менеджмент якості та оцінка відповідності: [підручник], / [Л. В. Коломієць, П.П. Воробієнко, М. Т. Козаченко]. - Одеса: Вид-во «Стандарт», 2006. – с.
4. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.
5. ДСТУ 1.0-93 Державна система стандартизації України. Основні поняття.

Навчальне видання

Автори:

Козаченко Михайло Терентійович,

Жмурко Юрій Володимирович,

Козаченко Людмила Олександрівна,

Зіангірова Лідія Тагірзянівна,

Богун Володимир Данилович,

Серебрін Віктор Леонович.

Назва Вимірювання частоти і часових інтервалів інформаційних сигналів.
Метрологічне забезпечення засобів вимірювання .

Методичне керівництво

Редактор - Гусак В.Т.

Комп'ютерне макетирование -