

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет**

**КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ З ОСНОВАМИ
МЕТРОЛОГІЇ**

М е т о д и ч н і в к а з і в к и

Практична робота № 2

Дослідження принципу дії та основних метрологічних характеристик вимірювального каналу частоти середніх значень в середовищі програмного забезпечення Micro-Cap

Вінниця, 2022

ХІД РОБОТИ

1. Дослідження принципу роботи каналу частоти середніх значень.

- 1.1. Запустіть програму Micro-Cap (Micro-Cap.exe).
- 1.2. Розмістіть на робочому полі двійковий лічильник (елемент 74HC93 з вкладок Digital Library – 74xx42 – 93-).
- 1.3. Приєднайте до P0BAR входу лічильника вихід елемента логічного «І» з 2 входами (елемент And2 з вкладок Digital Primitives – Standard Gates – And Gates).
- 1.4. Приєднайте до входів елемента логічного «І» виходи генераторів тактових імпульсів (елемент DClock з вкладок Digital Primitives – Stimulus Generators).
- 1.5. Задайте період сигналу тактуючого генератора, що під'єднаний до першого входу елемента логічного «І» у відповідності до Вашого варіанту (табл.1).

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота	100N	200N	300N	400N	500N	600N	700N	800N	900N	1000N

Увага!!! Для завдання періоду тактуючому генератору необхідно відкрити меню генератора (подвійним натисканням лівої клавіші його зображенні у робочому полі) та задати у стрічках Param:ZEROWIDTH= та Param:ONEWIDTH= значення, що рівні половині значення, заданого в таб. 1.

- 1.6. Задайте період сигналу тактуючого генератора, що під'єднаний до другого входу елемента логічного «І», у двадцять більший в порівнянні з періодом, приведеним в табл.1.
 - 1.7. Приєднайте до виходу тактуючого генератора, що під'єднаний до другого входу елемента логічного «І» елемент логічного «НЕ» (елемент Inverter з вкладок Digital Primitives – Standard Gates – Inverters).
 - 1.8. Приєднайте вихід логічного елемента «НЕ» до входів MR1 та MR2 двійкового лічильника.
 - 1.9. Пронумеруйте виходи елементів схеми (меню Опции – Отображать на схеме – Номера узлов), та зніміть зображення робочого вікна.
 - 1.10. Відобразіть та зніміть зображення часових діаграм роботи схеми (меню Анализ – Анализ переходных процессов).
 - 1.11. Розрахуйте відносну похибку квантування.
 - 1.12. Зробіть висновки за результатами пункту 1.
- ### 2. Дослідження впливу частоти вхідного сигналу на точність каналу частоти середніх значень.
- 2.1. Збільшіть період сигналу тактуючого генератора, що під'єднаний до першого входу елемента логічного «І» у 1,5 разів в порівнянні з заданим для Вашого варіанту значенням (таб. 1).

- 2.2. Пронумеруйте виходи елементів схеми (меню Опции – Отображать на схеме – Номера узлов), та зніміть зображення робочого вікна.
- 2.3. Відобразіть та зніміть зображення часових діаграм роботи схеми (меню Анализ – Анализ переходных процессов).
- 2.4. Розрахуйте відносну похибку квантування.
- 2.5. Зменшіть період сигналу тактуючого генератора, що під'єднаний до першого входу елемента логічного «І» у 1,5 разів в порівнянні з заданим для Вашого варіанту значенням (таб. 1).
- 2.6. Пронумеруйте виходи елементів схеми (меню Опции – Отображать на схеме – Номера узлов), та зніміть зображення робочого вікна.
- 2.7. Відобразіть та зніміть зображення часових діаграм роботи схеми (меню Анализ – Анализ переходных процессов).
- 2.8. Розрахуйте відносну похибку квантування.
- 2.9. Зробіть висновки за результатами пункту 2.

3. Дослідження впливу частоти сигналу квантування на точність каналу частоти середніх значень.

- 3.1. Збільшіть період сигналу тактуючого генератора, що під'єднаний до другого входу елемента логічного «І» у 1,5 разів в порівнянні з пунктом 1.
- 3.2. Пронумеруйте виходи елементів схеми (меню Опции – Отображать на схеме – Номера узлов), та зніміть зображення робочого вікна.
- 3.3. Відобразіть та зніміть зображення часових діаграм роботи схеми (меню Анализ – Анализ переходных процессов).
- 3.4. Розрахуйте відносну похибку квантування.
- 3.5. Зменшіть період сигналу тактуючого генератора, що під'єднаний до другого входу елемента логічного «І» у 1,5 разів в порівнянні з пунктом 1.
- 3.6. Пронумеруйте виходи елементів схеми (меню Опции – Отображать на схеме – Номера узлов), та зніміть зображення робочого вікна.
- 3.7. Відобразіть та зніміть зображення часових діаграм роботи схеми (меню Анализ – Анализ переходных процессов).
- 3.8. Розрахуйте відносну похибку квантування.
- 3.9. Зробіть висновки за результатами пункту 3.

4. Зробіть загальні висновки за результатами виконання лабораторної роботи.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Принцип дії цифрового частотоміра середніх значень засновано на підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти f_x за зразковий часовий інтервал t_0 , який формується зразковою мірою часу.

Структурну схему цифрового частотоміра середніх значень наведено на рис.4.2, а часові діаграми його роботи – на рис.10.1.

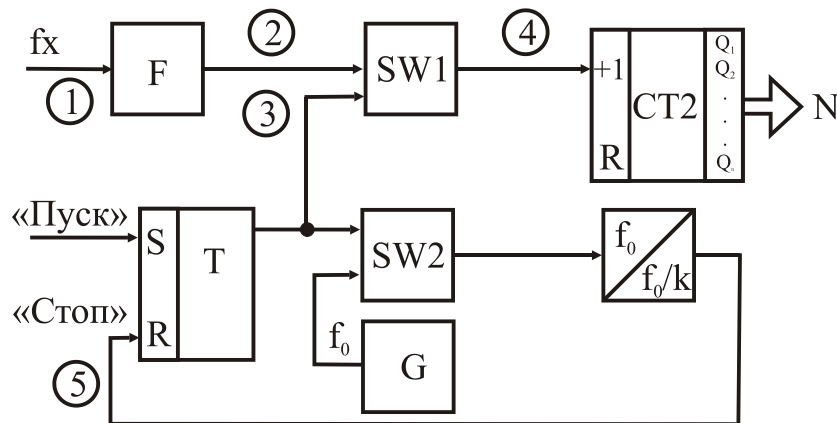


Рисунок 10.1

Структурна схема частотоміра містить такі основні блоки. Зразкову міру часу ЗМЧ (Т – RS – тригер, SW2 – схема збігу, G – генератор зразкової частоти, ПЧ – подільник частоти, що формує зразковий часовий інтервал t_0).

А також вона містить двійковий лічильник CT2, який підраховує кількість імпульсів невідомої частоти f_x за зразковий інтервал часу t_0 , схема збігу SW1, де здійснюється квантування зразкового часового інтервалу імпульсами невідомої частоти, формувач імпульсів F, який із вхідних синусоїдних сигналів формує прямокутні імпульси, калібровані за амплітудою і тривалістю.

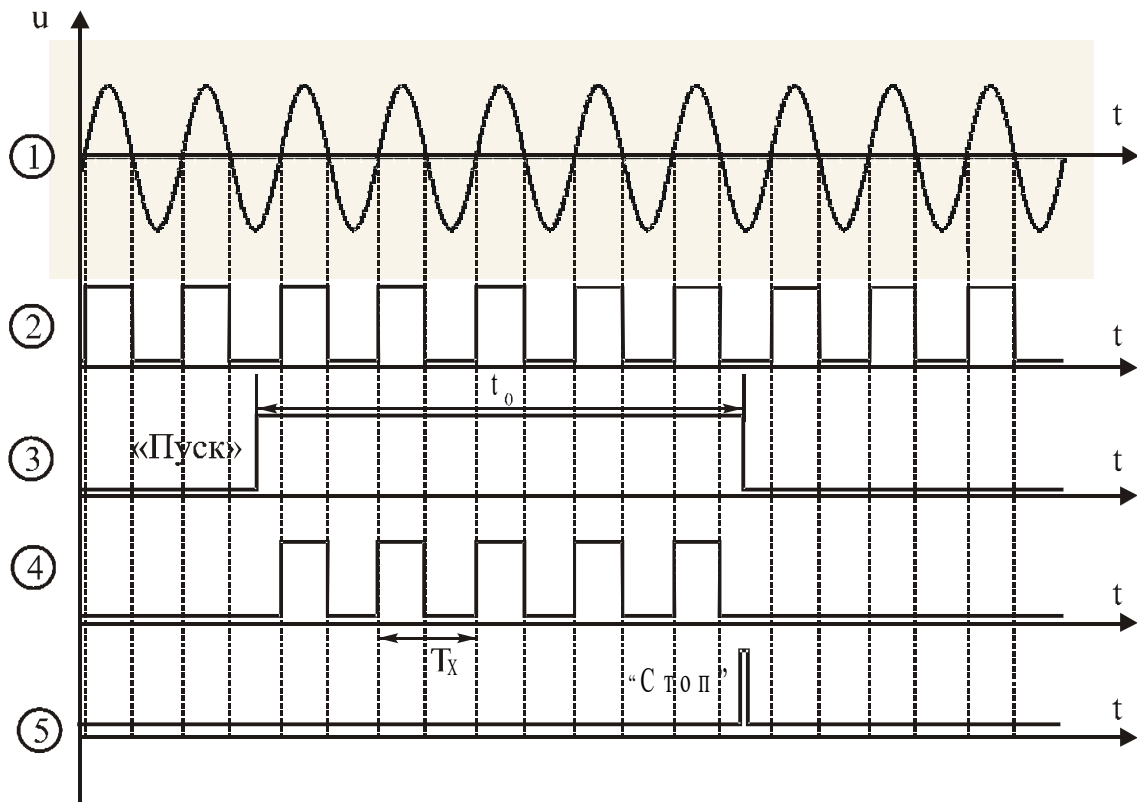


Рисунок 10.2

Вихідне положення. RS-тригер T і тригери двійкового лічильника $CT2$ знаходяться у стані логічного «0». Рівнем логічного нуля закриті схеми збігу $SW1$ і $SW2$. Тому імпульси вимірюваної частоти f_x не поступають на вхід лічильника $CT2$, а імпульси зразкової частоти f_0 – на вхід подільника частоти ПЧ.

Вимірювання. За командою "Пуск" тригер T приймає стан логічної одиниці і таким чином відкриває схеми збігу $SW1$ і $SW2$. Імпульси, які проходять із частотою f_x через формувач F і відкриту схему $SW1$, надходять на вхід двійкового лічильника $CT2$, який здійснює їх підрахунок. В цей самий момент часу через відкриту схему $SW2$ імпульси f_0 із виходу генератора G зразкової частоти надходять на вхід подільника частоти, коефіцієнт ділення якого розраховують з урахуванням забезпечення потрібного часового інтервалу t_0 .

Після закінчення формування зразкового часового інтервалу подільником частоти заднім фронтом імпульсу t_0 (точка 3) тригер T встановлюється у стан логічного нуля, схеми збігу $SW1$ і $SW2$ закриваються і в лічильнику $CT2$ фіксується код N . Кількість імпульсів невідомої частоти, які підраховує двійковий

лічильник за час t_0 , визначається так:

$$N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 f_x, \quad (10.1)$$

де t_1, t_2 - моменти початку та закінчення зразкового часового інтервалу.

Зразковий часовий інтервал формується в подільнику частоти і визначається таким добутком

$$t_0 = k T_0 = \frac{k}{f_0}, \quad (10.2)$$

де k - коефіцієнт ділення подільника частоти; T_0 - період імпульсів зразкової частоти f_0 .

Тоді остаточне рівняння перетворення цифрового частотоміра середніх значень матиме вигляд:

$$N_F = k T_0 f_x = \frac{k f_x}{f_0}. \quad (10.3)$$

Подане співвідношення є рівнянням перетворювання частотоміра, оскільки воно характеризує, яким чином пов'язані між собою вихідна N_F і вхідна f_x величини. Статична характеристика цифрового частотоміра середніх значень лінійна (рис.10.3).

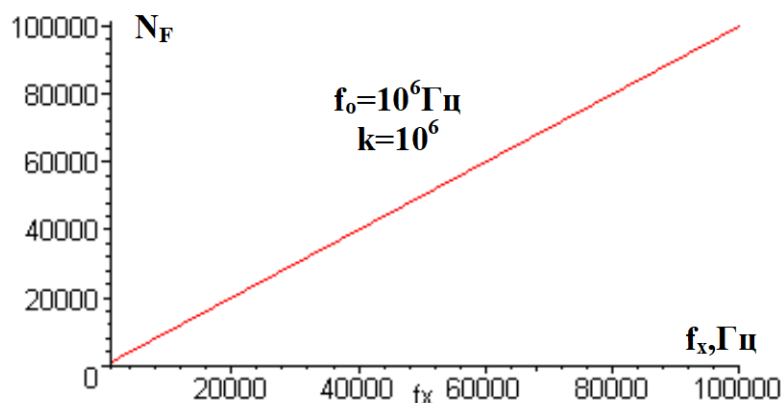


Рисунок 10.3

У цифровому вимірювальному приладі за умови постійної абсолютної похибки в діапазоні зміни вимірюваної величини межа допуску основної похибки нормується у вигляді максимальної зведеної похибки

$$\delta = \frac{\Delta}{X_H} 100\% = \frac{1}{N} 100\% . \quad (10.4)$$

З урахуванням цього, рівняння похибки квантування цифрового частото-
міра середніх значень подамо у вигляді

$$\delta_{kF} = \frac{1}{N_F} 100\% = \frac{f_0}{k f_x} 100\% . \quad (10.5)$$

Аналіз наведеного рівняння показує, що похибка квантування суттєво за-
лежить від вимірюваної величини (рис.10.4).

Під час вимірювання низьких частот похибка велика, і тому область застосу-
вання таких частотомірів – вимірювання середніх частот (>1000 Гц). Крім того,
похибка квантування залежить також

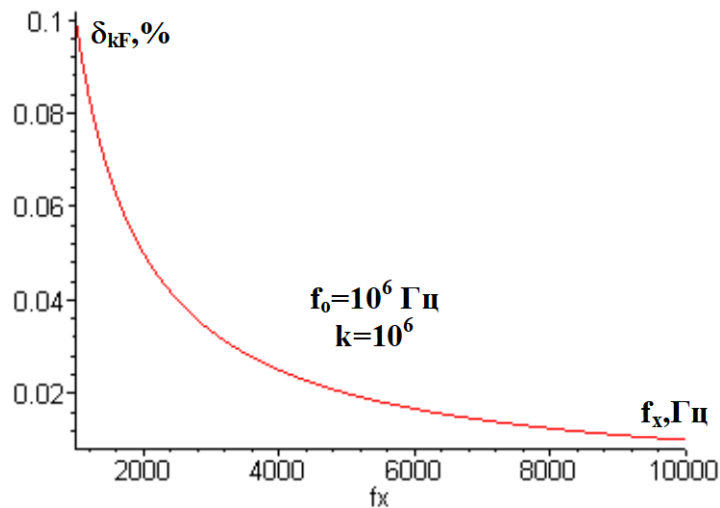


Рисунок 10.4

від величини зразкового часового інтервалу, який визначається коефіцієнтом k подільника частоти. Похибка квантування зменшується при збільшенні зраз-
кового часового інтервалу t_0 . Однак, збільшення t_0 приводить до зростання часу
вимірювання, а, отже, до зниження швидкодії. Оскільки δ_k зменшується при
збільшенні f_x , то такі частотоміри ефективні в області середніх і високих частот
(від одиниць кілогерц до десятків мегагерц).

Другою складовою похибки вимірювання частоти є похибка зразкової
міри часу $\delta_{змч}$, яка зумовлена неточністю первинного встановлення значення t_0

і його наступними часовими та температурними змінами.

Визначимо нижню межу вимірювання $f_{x \min}$. Для цього задамося нормованим значенням похибки квантування $\delta_k = \delta_{\text{кн}}$:

$$\delta_{\text{кн}} = \frac{100\% f_0}{k f_{x \min}} \Rightarrow f_{x \min} = \frac{f_0}{k \delta_{\text{кн}}} 100\% . \quad (10.6)$$

Знайдемо верхню межу вимірювання частотоміра середніх значень. Ця характеристика обмежена ємністю двійкового лічильника:

$$N_{\max} = 2^n ,$$

де n – розрядність двійкового лічильника.

Підставимо N_{\max} в рівняння перетворення частотоміра і отримаємо рівняння для визначення верхньої межі вимірювання

$$f_{x \max} = \frac{2^n f_0}{k} . \quad (10.7)$$

Цифрові частотоміри цього типу вимірюють за час t_0 середнє значення частоти f_x . Тому їх називають частотомірами середніх значень.

В області низьких і інфранизьких частот більш ефективні частотоміри, які базуються на квантуванні вимірюваного періоду.

Контрольні питання і завдання:

1. Дайте поняття частоти, одиниці вимірювання частоти.
2. В чому сутність прямого і опосередкованого методів вимірювання частоти?
3. З яких основних блоків складається частотомір?
4. Сформулюйте фізичний ефект, який покладено в основу роботи частотомира середніх значень.
5. Наведіть структурну схему і часові діаграми роботи частотомира середніх значень.
6. Опишіть принцип дії частотомира користуючись структурною схемою і часовими діаграмами.
7. Яке призначення зразкової міри часу? Поясніть за допомогою яких елементів формують зразковий часовий інтервал t_0 ? Чи впливає його стабільність на значення похибки квантування?
8. Виведіть рівняння перетворення та похибки квантування для частотомира середніх значень.
9. Вкажіть шляхи зменшення похибки квантування.
10. Виведіть аналітичні залежності для оцінювання нижньої і верхньої межі вимірювання.
11. Поясніть, якими параметрами схеми обмежені нижня і верхні межі вимірювання.
12. Чому даний частотомір називають середніх значень.
13. За допомогою частотомира середніх значень проведено вимірювання інформативного параметру $f_x=10$ кГц. Частота зразкового генератора $f_0=1$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=1\ 000\ 000$. Наведіть структурну схему та часові діаграми роботи частотомира. Визначити відносну похибку квантування.
14. За допомогою частотомира середніх значень проведено вимірювання інформативного параметру $f_x=10$ кГц. Частота зразкового генератора $f_0=1$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=1\ 000\ 000$. Наведіть структурну схему та часові діаграми роботи частотомира. Визначити верхню межу вимірювання даного каналу, для 16-ти розрядного двійкового лічильника.
15. За допомогою вимірювального каналу частоти середніх значень проведено вимірювання інформативного параметру $f_x=10$ кГц. Частота зразкового генератора $f_0=1$ МГц, а коефіцієнт переліку подільника частоти $k=1\ 000\ 000$. Наведіть структурну схему та часові діаграми роботи частотомира. Визначити нижню межу вимірювання даного каналу, для якої нормоване значення похибки квантування не перевищує 0.1%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи метрології та електричних вимірювань / Підручник: За ред. В. Кухарчука. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – 531с.
2. Основи метрології та вимірювальної техніки / Підручник: За ред. Б. Стадника. – Львів: Бескид-Біт, 2003. – Т1, 2.
3. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Долгополов В.П., Грумінська Л.В. Метрологія та вимірювальна техніка. –Вінниця: ВНТУ, 2004. –252с.