

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ФАКУЛЬТЕТ АВІАЦІЙНИХ ТА КОСМІЧНИХ СИСТЕМ

(повна назва інституту/факультету)

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.317

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності(спеціалізації) 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка _____
(код і назва спеціальності)

на тему: Дослідження статистичного методу вимірювання часу

Виконав студент 2 курсу, групи ВВ-61м
(шифр групи)

Панчик Михайло Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Бобков Ю.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент зав. кафедри АЕД, д.т.н., професор Туз Ю. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ–2018 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 131 с., 45 рис., 29 табл., 6 додатків, 20 джерел.

Актуальність: Вимірювання інтервалів часу є широко поширеною завданням у всіх областях науки і техніки. Для вимірювання інтервалів часу, заданих у вигляді електричних сигналів, зазвичай використовують метод прямого порівняння з періодом квантуючих імпульсів. Основним недоліком даного методу є обмеження мінімального значення вимірюваних часових інтервалів допустимою похибкою квантування, яка, в свою чергу, залежить від максимально можливої частоти квантуючих імпульсів, що знаходиться на рівні 600 MHz. Іншою, пов'язаною з цим проблемою, є обмеження щодо застосування сучасної мікроконтролерної елементної бази, що зазвичай працює на значно менших тактових частотах.

Таким чином, для вимірювання коротких інтервалів часу з високою точністю при використанні елементної бази широкого вжитку й невисокої вартості, необхідно використовувати спеціальні методи вимірювання, зокрема статистичний метод вимірювання часу.

Мета і задачі дослідження: визначення рекомендації, щодо оптимізації параметрів статистичного вимірювача інтервалів часу за результатами проведення дослідження його технічних та метрологічних характеристик.

Об'єкт дослідження: статистичний метод вимірювання часу.

Предмет дослідження: технічні та метрологічні характеристики статистичного вимірювача інтервалів часу.

Метод дослідження: математичний та статистичний аналіз, теорія похибок, методи фізичного моделювання.

Наукова новизна: полягає у запропонованих способах визначення оптимальних параметрів статистичного вимірювача інтервалів часу з метою підвищення його метрологічних характеристик.

Практичне значення: в розробці статистичного вимірювача інтервалів часу на базі недорогих мікроконтролерів широкого вжитку, а також створення макету

для лабораторної роботи «Дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу» з дисципліни «Вимірювальні прилади – 2. Цифрові вимірювальні прилади».

Апробація результатів: була проведена на конференціях:

- 2 етап всеукраїнського конкурсу студентських робіт у галузі «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» – 1 місце;
- IX міжнародна конференція студентів та молодих вчених «Intelligence. Integration. Reliability» 26 квітня 2016 року, м. Київ.
- науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем, 30-31 травня 2016 року, м. Київ;
- XI Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки» 14 квітня 2017 року, м. Київ.

Публікації: всього було зроблено 4 публікації:

- Збірник доповідей науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем, 30-31 травня 2016 року, м. Київ, ФАКС, НТУУ «КПІ». - 2016. С.143-147.
- Интеллект. Интеграция. Надійність: Тези учасн. IX міжнар. конф. студ. та молодих вчених. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2016. С.33.
- XI Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки»: Збірка доповідей. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. С.67-70.
- Інформаційні системи, механіка та керування - №17 с. 5-12.

Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження - присутній попит та рентабельність роботи на ринку.

Ключові слова: СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ, ІНТЕРВАЛ ЧАСУ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ХРОНОМЕТР, ПОХИБКА.

ABSTRACT

Master's dissertation: 131p., 45 figures, 29 tables, 6 applications, 20 sources.

Actuality: Measuring short time intervals is a common and pressing problem in various areas of science and industry. In particular, repeated short intervals are an informative parameter for defect thickness measurement systems in nuclear physics, medicine, electronics, electrical engineering, and more.

Method of direct comparison with the period of quantizing impulses is commonly used for their measurement. The main disadvantage of this method is the minimum duration limitation of the measured time intervals with allowable quantization error, which depends on the maximum frequency of the quantizing impulses located at 600 MHz.

Another related problem is the restriction of the use of a modern microcontroller element base, which usually operates at significantly lower clock frequencies.

Therefore, to measure short intervals of time with high accuracy when using the elemental base of consumer and low cost, it is necessary to use special measurement methods, in particular, the statistical method of measuring time.

Purpose and tasks of the research: determination of the recommendation on the optimization of the parameters of the statistical measure of time intervals based on the results of the study of its technical and metrological characteristics.

Object of research: statistical method of measuring time.

Subject of research: technical and metrological characteristics of the statistical measure of time intervals.

The method of research: mathematical and statistical analysis, theory of errors, methods of physical modeling.

Scientific novelty: consists in the proposed methods for determining the optimal parameters of a statistical meter of time intervals in order to increase its metrological characteristics.

Practical significance: in the development of a statistical meter of time intervals based on low-cost microcontrollers of consumer goods, as well as the creation of a

layout of the laboratory work "The study of statistical measure of time intervals" in the discipline "Measuring instruments - 2. Digital measuring devices".

Approbation of results: it was held at conferences:

- Stage 2 of the All-Ukrainian competition for student work in the field of "Standardization, Certification and Metrological Support" - 1 place;
- IX International Conference of Students and Young Scientists "Intelligence. Integration Reliability »April 26, 2016, Kyiv.
- Scientific and Technical Conference of Teachers, Scientists, Postgraduates, Students of the Faculty of Aviation and Space Systems, May 30-31, 2016, Kyiv;
- XI International Scientific and Technical Conference "Gyrotechnology, Navigation, Traffic Management and Aerospace Engineering" April 14, 2017, Kyiv.

Publications: A total of 4 publications were made at various conferences:

- Collection of reports of the scientific and technical conference of teachers, scientists, postgraduates, students of the Faculty of Aviation and Space Systems, May 30-31, 2016, Kyiv, FAKS, NTUU "KPI". - 2016. 143-147p.
- Intelligence. Integration. Reliability: Abstracts participated. IX International conf. student and young scientists. - K. : IPC " Polytechnic ", 2016. – 33p.
- XI International Scientific and Technical Conference "Gyrotechnology, Navigation, Motion Control and Aerospace Engineering": Collection of reports. K. : KPI them. Igor Sikorsky, 2017. 67-70 p.
- Information systems, mechanics and management - № 17 5-12p.

Foreseeable assumptions about the development of the research object - there is demand and profitability in the market.

Keywords: STATISTICAL METHOD OF MEASUREMENT, INTERVAL OF TIME, MICROCONTROLLER, CHRONOMETER, ERROR.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
1.АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ ВИРШЕННІ ЗАДАЧ ВИМІРЮВАННЯ	10
1.1 Загальні питання використання статистичних методів у вимірювальній техніці	10
1.2 Статистичні методи обробки результатів вимірювання	11
1.2.1 Первинні методи обробки результатів вимірювання	11
1.2.1.1 Визначення середньої величини	11
1.2.1.2 Визначення вибіркової дисперсії	12
1.2.1.3 Визначення вибіркової моди	13
1.2.1.4 Визначення вибіркової медіани	14
1.2.2 Вторинні методи обробки результатів вимірювання	15
1.2.2.1 Кореляційний аналіз	15
1.2.2.2 Регресійний аналіз	16
1.2.2.3 Метод найменших квадратів	16
1.3 Вимірювання статистичних характеристик електричних сигналів	16
1.3.1 Статистичний вимірювач якості електроенергії	17
1.3.2 Цифрові вимірювачі математичного очікування та дисперсії	20
1.3.3 Вимірювач розподілу ймовірностей	24
1.4 Статистичні методи вимірювання	28
1.4.1 Статистична фазометрія	28
1.4.2 Статичний метод оцінки початкової фази сигналу	29
1.4.3 Статистичний метод вимірювання часу	32
1.5 Висновок	32
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАТИСТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ	34
2.1 Особливості використання статистичного методу вимірювання інтервалів	34

часу

2.2 Аналіз характеристик статистичного методу вимірювання інтервалів часу	36
2.2.1 Аналіз діапазонів вимірювання часу	36
2.2.2 Аналіз методичної складової похибки	37
2.2.3 Аналіз діапазонів частоти вимірюваної та квантуючої послідовності імпульсів	39
2.2.4 Аналіз інструментальної складової похибки	40
2.3 Висновок	41
3. РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОГО СТАТИСТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ	42
3.1 Розробка структурної схеми статистичного вимірювача інтервалів часу	42
3.1.1 Розрахунок структурної схеми	43
3.2 Розробка функціональної схеми статистичного вимірювача інтервалів часу	47
3.3 Розробка та розрахунок принципової схеми статистичного вимірювача інтервалів часу	51
3.3.1 Формувач імпульсів	51
3.3.2 Генератор квантуючих імпульсів та схема збігу	54
3.3.3 Мікроконтролер та індикація	58
3.3.4 Комутація контрольних точок	60
3.3.5 Живлення	61
3.4 Алгоритм роботи статистичного вимірювача інтервалів часу	62
3.5 Опис роботи макету статистичного вимірювача інтервалів часу	65
3.6 Висновки	67
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКЕТУ РОЗРОБЛЕНОГО СТАТИСТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ	68
4.1 Опис схеми дослідження	68

4.2 Дослідження впливу границь випадкової зміни частоти квантуючих імпульсів на похибку вимірювання	70
4.3 Дослідження впливу частоти вимірюваних інтервалів часу на похибку вимірювання	73
4.4 Дослідження впливу кількості вимірюваних інтервалів часу на похибку вимірювання	75
4.5 Дослідження впливу тривалості квантуючих імпульсів на похибку вимірювання	77
4.6 Дослідження впливу частоти квантуючих імпульсів на похибку вимірювання	78
4.7 Висновки	79
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	80
5.1 Опис ідеї проекту	80
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	84
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	85
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	91
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	92
5.6 Висновки	94
ВИСНОВКИ	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97
ДОДАТОК А. Лістинг програми основного мікроконтролера	99
ДОДАТОК Б. Лістинг програми допоміжного мікроконтролера	103
ДОДАТОК В. Алгоритми роботи окремих програмних блоків	104
ДОДАТОК Г. Програмне забезпечення для ПЕОМ	108
ДОДАТОК Д. Лабораторна лабораторна робота	109
ДОДАТОК Е. Результати вимірювань	120

ВСТУП

Вимірювання є основною складовою частиною будь-якого експерименту. Для підвищення точності та перевірка достовірності результатів вимірювання досить поширене використання методів математичної статистики.

Використання статистичних методів у вимірювальній техніці можна розглядати в декількох аспектах:

- статистична обробка результатів вимірювання з метою підвищення метрологічних характеристик;
- вимірювання статистичних характеристик електричних сигналів;
- використання ймовірнісних характеристик для отримання результату вимірювання.

Приведені сфери використання статистичних методів досліджені достатньо на відмінну від власне статистичних методів вимірювання. Ці методи основані на визначеннях конкретних статистичних характеристик процесів з подальшим присвоєнням їм конкретного числового результату, статистичної оцінки. До таких методів можна віднести статистичні методи вимірювання часу, коефіцієнта гармонік, амплітуди сигналу на фоні переважаючого шуму, тощо.

Метою роботи є визначення рекомендації, щодо оптимізації параметрів статистичного вимірювача інтервалів часу за результатами проведення дослідження його технічних та метрологічних характеристик.

Об'єктом дослідження даної роботи є статистичний метод вимірювання часу.

Предметом дослідження є технічні та метрологічні характеристики статистичного вимірювача інтервалів часу.

Наукова новизна полягає у запропонованих способах визначення оптимальних параметрів статистичного вимірювача інтервалів часу з метою підвищення його метрологічних характеристик..

Практичне значення полягає в розробці статистичного вимірювача інтервалів часу на базі недорогих мікроконтролерів широкого вжитку, а також

створення макету для лабораторної роботи «Дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу» з дисципліни «Вимірювальні прилади – 2. Цифрові вимірювальні прилади».

З метою досягнення поставленої цілі було розглянуто наступні питання.

У першому розділі даної роботи був проведений аналіз використання статистичних методів у вимірювальній техніці. У розділі розглянуті статистичні методи обробки результатів вимірювання, вимірювачі статистичних величин електричних сигналів та власне статистичні методи вимірювання. Зокрема був розглянутий статистичний метод вимірювання інтервалів часу. Слід зазначити, що даний метод досліджений недостатньо.

У другому розділі було проведено аналіз технічних та метрологічних характеристик статистичного вимірювача інтервалів часу. В результаті аналізу були встановлені діапазон вимірювання інтервалів часу, діапазон значень об'єму вибірки, допустимі значення частоти слідування квантуючих імпульсів та обрано їх тривалість.

На основі проведеного аналізу можна визначити шляхи покращення метрологічних характеристик статистичного вимірювача.

У третьому розділі даної роботи описується розробка алгоритму роботи, структурної, функціональної та принципової схеми макету цифрового статистичного вимірювача коротких інтервалів часу.

На основі розробленого алгоритму та принципової схеми був зібраний діючий макет для подальшого дослідження його технічних та метрологічних характеристик.

У четвертому розділі були проведені дослідження впливу на похибку вимірювання границь випадкової зміни частоти квантуючих імпульсів, частоти та кількості вимірюваних інтервалів часу, тривалості та частоти квантуючих імпульсів. За результатами дослідження були встановлені оптимальні значення основних технічних характеристик макету цифрового статистичного вимірювача коротких інтервалів часу.

У п'ятому розділі був розроблений стартап-проект з продажу статистичних вимірювачів коротких інтервалів часу.

Результати роботи представлені в наступних публікаціях:

– Збірник доповідей науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем, 30-31 травня 2016 року, м. Київ, ФАКС, НТУУ «КПІ». - 2016. С.143-147.

– Інтелект. Інтеграція. Надійність: Тези учасн. ІХ міжнар. конф. студ. та молодих вчених. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2016. С.33.

– XI Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки»: Збірка доповідей. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. С.67-70.

– Інформаційні системи, механіка та керування - №17 с. 5-12.

На основі результатів роботи була підготовлена лабораторна робота та методичні вказівки до лабораторної роботи «Дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу» з дисципліни «Вимірювальні прилади – 2. Цифрові вимірювальні прилади», що приведені в додатку Д.

ВИСНОВКИ

Використання статистичних методів для обробки результатів вимірювання дуже поширене рішення для отримання додаткової інформації про результати вимірювання. Це призвело до всебічного вивчення методів статистичної обробки. Однак методи математичної статистики також доцільно використовувати для безпосереднього отримання результатів вимірювання.

В сучасній техніці вимірювання інтервалів часу, що повторюються, стало дуже поширеним, що зумовлює інтерес для застосування саме статистичного методу. Слід зазначити також, що суттєвою перевагою методу є можливість зменшення похибки вимірювання без збільшення частоти квантуючих імпульсів, що дозволяє застосовувати елементну базу широкого вжитку, що, в свою чергу, значно спрощує розробку та надає значні економічні переваги.

Проведені дослідження дозволили визначити основні технічні характеристики для розробки статистичного вимірювача інтервалів часу, а саме:

- тривалість квантуючих імпульсів $\tau_0=10\text{ ns}$ та $\tau_0=50\text{ ns}$;
- допустимий діапазон частоти слідування квантуючих імпульсів від 2.5 kHz до 10 kHz ;
- об'єм вибірки від 1000 до 10000;
- діапазон вимірювання інтервалів часу від $0.1\text{ }\mu\text{s}$ до $10\text{ }\mu\text{s}$.

На основі проведеного аналізу були визначені наступні шляхи покращення метрологічних характеристик статистичного вимірювача інтервалів часу.

В рамках даної роботи був виготовлений лабораторний макет мікропроцесорного статистичного вимірювача коротких інтервалів часу на основі мікроконтролера фірми Atmel ATmega128A та розроблені методичні вказівки.

Реалізація статистичного вимірювача коротких інтервалів часу на базі мікроконтролера дозволяє вивчати вплив параметрів алгоритму вимірювання на похибку вимірювання часового інтервалу.

За результатами дослідження були визначені оптимальні значення основних технічних характеристик розробленого макету цифрового статистичного вимірювача коротких інтервалів часу становлять:

- діапазон випадкової зміни квантуючої частоти $\Delta f_0 = 0.1 \%$;
- квантуюча частота $f_{cep} = 10 \text{ kHz}$;
- об'єм вибірки $N_0 = 10000$ вимірюваних інтервалів часу.

На основі результатів роботи була підготовлена лабораторна робота та методичні вказівки до лабораторної роботи «Дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу» з дисципліни «Вимірювальні прилади – 2. Цифрові вимірювальні прилади».

СПИСОК ВИКОРИСТИНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цветков Э. И. Основы теории статистических измерений.— 2-е изд., перераб. и доп.— Л.: Энергоатомиздат. Ленинград, 1986.— 256 с.
2. Метрологія, стандартизація, сертифікація, акредитація [Текст]: навч. посібник / В.І. Корсун, В.Т. Белан, Н.В. Глухова. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 147 с .
3. Анализ малой выборки. Прикладные статистические методы/ Б.И. Сухорученков. - М.: Вузовская книга, 2010. - 384с.
4. Медианная фильтрация. - Электронный ресурс. Режим доступа: https://ru.bmstu.wiki/Медианная_фильтрация - Дата доступа: 03.13.18 - Медианная фильтрация.
5. Г.Г. Трофимов, О.П. Живаева. Качество электроэнергии и энергосбережение в электроэнергетике. Конспект лекций для магистрантов специальности 6М071800 – Электроэнергетика. – Алматы: АУЭС, 2013. – 63 с.
6. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. А.С. Сигов, Белик ЮД, Вербя В.С. и др. /Под ред. В.И. Нефедова. - Мд Высшая школа, 2005.
7. Нефедов В.И. Электрорадиоизмерения : учебник / В.И. Нефедов, А.С Сигов, В.К. Битюков, Е.В. Самохина ; под ред. А.С. Сиюва. — 4-е изл., персраб. и дон. — М.: ФОРУМ : ИНФРА-М. 2018. — 383 с. — (Среднее профессиональное образование).
8. Куц Ю.В., Щербак Л.М. Статистична фазометрія: Монографія. — Тернопіль: Вид-во ТДТУ, 2009. — 384 с.
9. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне М.: Сов. радио, 1978. — 296 с.
10. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 504 с.
11. Орнатский П. П. «Теоретические основы информационно-измерительной техники». - К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 455 с.

12. Микроконтроллеры ATmega128, ATmega128L. - Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/avr/arh128/19_2.htm - Дата доступа: 05.12.16 - Микроконтроллеры ATmega128, ATmega128L.
13. Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М., Радио и связь, 1986. – 440 с.
14. Гутников В. С. «Інтегральна електроніка у вимірювальних пристроях». Вища школа. Ленінград, 1988 р. – 304 с.
15. Шило В.Л. «Популярные микросхемы КМОП». – М.: Радио и связь, 1987. – 352 с.
16. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 2014. – 704 с.
17. Панчик М.В., Бобков Ю.В. «Статистичний вимірювач коротких інтервалів часу». Збірник доповідей науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем, 30-31 травня 2016 року, м. Київ, ФАКС, НТУУ «КПІ». - 2016. С.143-147.
18. Панчик М.В., Бобков Ю.В. «Статистичний вимірювач коротких інтервалів часу». Інтелект. Інтеграція. Надійність: Тези учасн. ІХ міжнар. конф. студ. та молодих вчених. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2016. С.33.
19. Панчик М.В., Бобков Ю.В. «Статистичний вимірювач коротких інтервалів часу». XI Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки»: Збірка доповідей. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. С.67-70.
20. Панчик М.В., Бобков Ю.В. «Статистичний вимірювач коротких інтервалів часу». Інформаційні системи, механіка та керування - №17. – К.: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017 с. 5-12.