

**ИНТЕРФЕЙС ТИПУ “АНАЛОГОВА ШИНА” ДЛЯ ДИСТАНЦИЙНЫХ  
ВИМІРЮВАНЬ СИГНАЛІВ ПАРАМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ****ИНТЕРФЕЙС ТИПА “АНАЛОГОВАЯ ШИНА” ДЛЯ ДИСТАНЦИОННЫХ  
ИЗМЕРЕНИЙ СИГНАЛОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ****INTERFACE TYPE “ANALOG BUS” FOR REMOTE MEASUREMENT  
OF PARAMETRIC SENSOR SIGNALS**

**Д.П. Орнатський**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних систем, Національний авіаційний університет, м. Київ.

**О.І. Осмоловський**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, Національний авіаційний університет, м. Київ.

**Д.П. Орнатский, D.P. Ornatskyi**

**О.И. Осмоловский, O.I. Osmolovskyi**

*В роботі запропоновано структуру системи централізованого типу для дистанційних вимірювань з аналоговим інтерфейсом типу “аналогова шина” з покращеними метрологічними характеристиками. Проведено її порівняльний аналіз з класичними засобами вимірювання аналогічного призначення. Наведено результати моделювання в програмному середовищі Electronics Workbench, які підтверджують ефективність запропонованих рішень для підвищення метрологічних характеристик системи.*

*В работе предложена структура системы централизованного типа для дистанционных измерений с аналоговым интерфейсом типа “аналоговая шина” с улучшенными метрологическими характеристиками. Проведен ее сравнительный анализ с классическими средствами измерения аналогичного назначения. Приведены результаты моделирования в программной среде Electronics Workbench, которые подтверждают эффективность предложенных решений для повышения метрологических характеристик системы.*

*The paper proposes the structure of a centralized type system for remote measurements with an analog interface such as an “analog bus” with improved metrological characteristics. Its comparative analysis with classical means of measuring a similar purpose has been carried out. Results of modeling in the software environment of Electronics Workbench are presented, which confirm the effectiveness of the proposed solutions for improving the metrological characteristics of the system.*

**Ключові слова:** дистанційні вимірювання, аналогова шина, частотна модуляція, ФАПЧ, завадозахищеність, динамічні похибки.

**Ключевые слова:** дистанционные измерения, аналоговая шина, частотная модуляция, ФАПЧ, помехозащищенность, динамические погрешности.

**Keywords:** remote measurements, analog bus, frequency modulation, PLL, noise immunity, dynamic errors.

**Вступ.** Реалізація прецизійних дистанційних багатоточкових вимірювальних систем (кількість каналів до декількох сотень, відстань до 1 км, типу промислового кондиціонера) з архітектурою централізованого типу наштовхується на наступні перешкоди:

– по-перше, реалізація розповсюдженого сьогодні методу, який полягає у використанні для підключення датчиків до аналогової шини електромеханічних реле, які утворюють розподілений покроковий пошукувач з послідовним керуванням (Daisy-Chained Connection), потребує ретельного ізолювання та екранування компонентів аналогового інтерфейсу щоб

уникнути впливу дестабілізуючих факторів через зазвичай низький рівень вихідних сигналів датчиків і значну довжину ліній зв'язку, що знаходяться під впливом зовнішніх електромагнітних полів, які генерують завади в 200 мкВ на кожні 10 м кабелю, що суттєво збільшує економічні витрати;

– по-друге, використання аналогових інтерфейсів з уніфікованими струмовими сигналами в таких системах неефективно через вплив неідеальності аналогового мультиплексору, який також необхідно буде реалізовувати за герконових реле, а також значні похибки (по відношенню до похибок датчика) низки аналогових вимірювальних перетворювачів: ініціалізації датчика, вимірювальних підсилювачів, уніфікуючих перетворювачів напруга-струм та струм-напруга, автоматизація корекції похибок яких також буде вимагати додаткових витрат.

### **Мета і постановка задачі досліджень**

Сьогодні набуває все більшого поширення використання частотної модуляції в аналогових інтерфейсах завдяки своїм відомим перевагам.

Зазвичай частотно-часові параметри вимірювальних сигналів ІВС перетворюються в код двома шляхами в залежності від розташування спектру моделюючої (вимірювальної) функції в НЧ-діапазоні або в ПЧ-діапазоні. В першому випадку перетворення сигналів базується на використанні проміжного перетворення частота-напруга з наступним перетворенням в цифровий код за допомогою АЦП миттєвих значень, що сприяє зменшенню динамічних похибок вимірювання [1-3]. В цьому випадку досягнення високих метрологічних характеристик досягається інструментами, які притаманні вимірюванню сигналів, інформативним параметром яких є напруга (при цьому спрощуються засоби гальванічної розв'язки). У другому випадку використовується безпосереднє перетворення частоти в код, яке реалізується трьома шляхами:

- підрахунком імпульсів вимірювальної частоти за певний період часу (цифровий частотомір середніх значень);
- вимірюванням миттєвих (середніх) значень періоду вхідних сигналів з наступним перерахунком в частоту;
- методом залежного підрахунку.

### **Основний матеріал статті**

Похибка вимірювання частоти при дистанційних вимірюваннях визначається похибкою квантування та співвідношенням сигнал/шум на вході частотоміра. При цьому шум буде мати дві складові: випадкову (білий та рожевий шум) і квазидетерміновану заваду (мережева наводка частотою  $50 \pm 0,5$  Гц).

Перевагами першого методу є можливість придушення мережевої наводки шляхом узгодження часу підрахунку імпульсів вимірюваної частоти з періодом (або декількома періодами) мережевої наводки. Для зменшення впливу цієї завади час підрахунку імпульсів обирається кратним 20 мс, при цьому коефіцієнт придушення завади становитиме 40 дБ при відхиленні частоти завади від номінального значення на 1% [4]. До недоліків цього методу відноситься низька швидкодія через необхідність збільшення часу підрахунку імпульсів вимірюваної частоти для зменшення похибки квантування. Наприклад, для зменшення похибки квантування до рівня 0,01% при найбільшій вихідній частоті вимірювальних перетворювачів в 10 кГц знадобиться час підрахунку в 1 с, що на порядок перевищує припустимі значення для багатоточкових систем.

Перевагами другого методу є можливість підвищення швидкодії. Наприклад, в діапазоні вимірювання частоти 1-10 кГц при коефіцієнті усереднення 10 час вимірювання становитиме 1-10 мс (зокрема за допомогою стандартного модулю збору даних ТМС-10, ТМС-12, який використовує програмно керовані таймери 8254 з максимальною тактовою частотою 8 МГц). До недоліків цього методу відносять низьку заводозахищеність через неможливість узгодження часу підрахунку з періодом завади.

Третій метод – метод залежного підрахунку, вбирає в себе переваги обох вище перелічених методів завдяки тому, що тривалість інтервалу підрахунку імпульсів вимірюваної частоти завжди дорівнює цілому числу періодів повторення імпульсів цієї частоти і також може бути обраним кратним періоду мережевої завади 20 мс [5-7]. Але, на відміну від першого методу, час підрахунку імпульсів вимірюваної частоти не є постійною величиною, а відрізняється від неї на певну частину періоду вхідної частоти і носить випадковий характер. Це утворює деякі обмеження щодо мінімальної частоти вхідного сигналу, тобто вона повинна бути не меншою за 5 кГц.

Перелічені вище методи переслідують цілі зменшення похибок квантування та впливу мережевої завади.

Для зменшення впливу широкопasmового шуму використовується або метод вагових функцій [8-10], або цифрова фільтрація [11, 12]. До недоліків методу вагових функцій відносять зменшення ефективності придушення шумів при скороченні часу вимірювання. Наприклад, для придушення шуму в 10 разів необхідно виконати усереднення результатів 60 вимірювань, що призводить до неприпустимого збільшення часу вимірювання.

Вирішення задачі підвищення ефективності системного АЦП для частотно-часових сигналів за допомогою методів цифрової фільтрації обмежується наявністю недоліків, серед яких найбільш вагомим є необхідність застосування високопродуктивних мікропроцесорних систем цифрової обробки сигналів.

Слід відзначити, що загальною рисою розглянутих методів є невикористання можливостей апаратних засобів первинної обробки вимірювальних сигналів.

Для усунення зазначених вище недоліків пропонується новий підхід до побудови дистанційних багатоточкових вимірювальних систем, структура організації якого приведена на рис. 1, особливістю якої є саме застосування оригінальних апаратних засобів первинної обробки частотно-модульованих сигналів.

Система складається з  $N$  ідентичних модулів вводу сигналів датчиків неелектричних величин – резистивних  $R1$  та ємнісних  $C1$ , які включені в частото-утворюючі ланки ЧІМ-модуляторів. Останні виконані [13] за схемою “квадратичного” ПНЧ з вихідною трикутною напругою робочою частотою в межах від 600 Гц до 3000 Гц. До кожного з модулів підключається по 8 датчиків. Вибір одного з датчиків у черговому модулі здійснюється за допомогою послідовної шини керування Daisy Chained або послідовного периферійного інтерфейсу SPI. Для забезпечення підключення до аналогової шини (одно- або двопровідної) обраного ЧІМ застосовуються схема “монтажного АБО” на основі буферних каскадів з комплементарними емітерними повторювачами з третім станом (обидва зачинені).

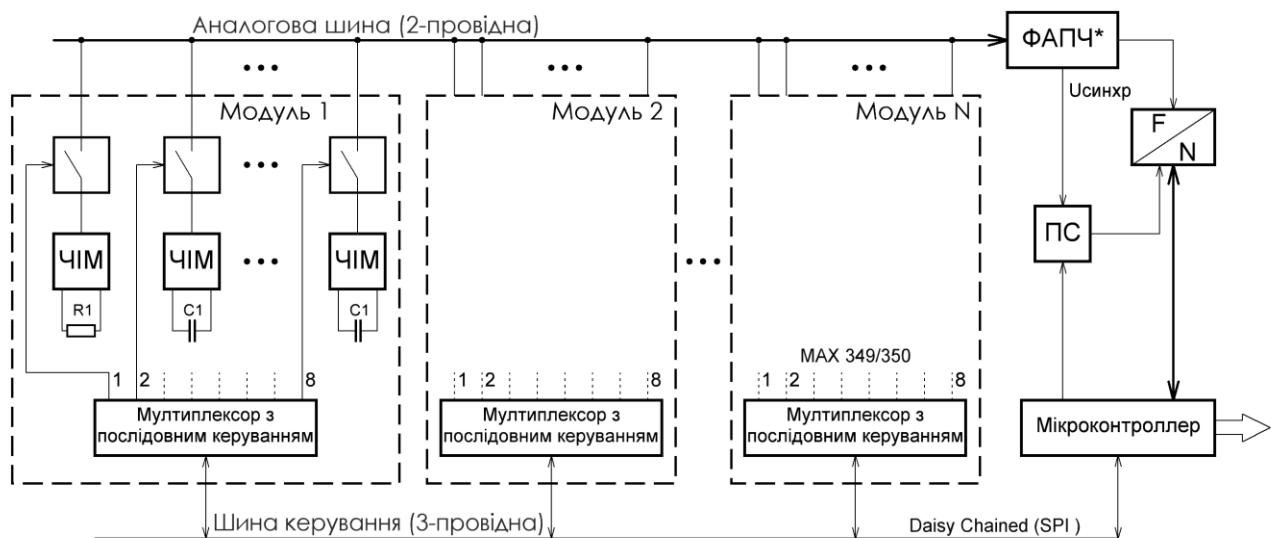


Рисунок – 1 Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи з інтерфейсом типу “аналогова шина”

Вихідний сигнал кожного з модулів послідовно в часі потрапляє на вхід широкопasmової системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) на основі структури, представленій в [14], яка забезпечує очищення нуль-переходів вхідного сигналу перед операцією безпосереднього перетворення частоти в код. Для зменшення фазового шуму в систему введено додатковий контур регулювання на основі ітераційного інтегруючого перетворювача з динамічним запам'ятовуючим пристроєм (ІІП). Структурна схема отриманої прецизійної широкопasmової системи ФАПЧ наведено на рис. 2.

Запропонована система була змодельована в пакеті Electronics Workbench, в якому було виконано оптимізацію моделі вдосконаленої ФАПЧ, а також проведено детальне дослідження динамічної та статичної точності перетворення і завадозахищеності системи.

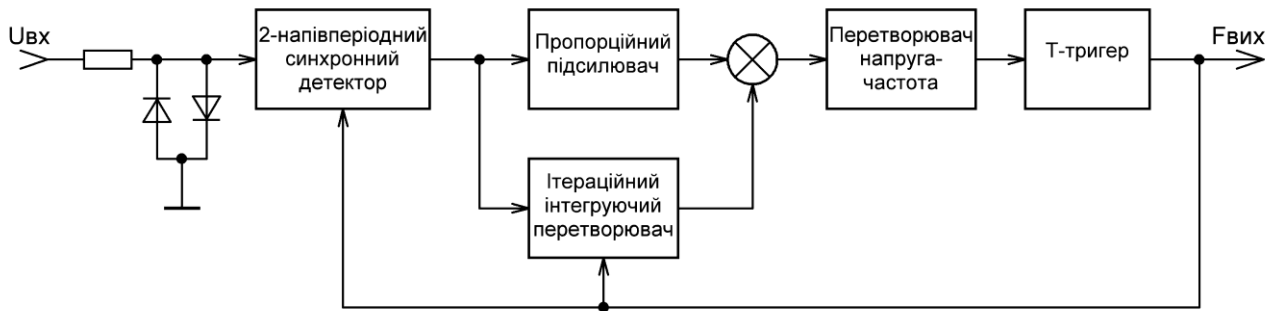


Рисунок – 2 Структурна схема прецизійної широкопasmової системи ФАПЧ з використанням ітераційного інтегруючого перетворювача

На рис. 3 представлено часову діаграму флуктуацій миттєвих значень періоду вихідного сигналу ФАПЧ  $F_{вих}$  відносно середнього значення періоду за час спостереження 630 мс, а на рис. 4 – їх спектр. З цих діаграм видно, що мають місце інфранизькочастотні пульсації, подвійна амплітуда яких не перевищує 0,5%. Наведені результати були отримані при значенні коефіцієнту підсилення ІІП по постійному струму вдвічі меншому, ніж у пропорційного підсилювача.

Для зменшення пульсацій коефіцієнт підсилення ІІП по постійному струму було збільшено в 60 разів. Це можливо завдяки тому, що інерційність ІІП значно більша, ніж у пропорційного підсилювача, і не впливає на процеси захвата по частоті. Завдяки цьому пропорційно зменшився рівень пульсацій і в результаті не перевищив 0,002%.

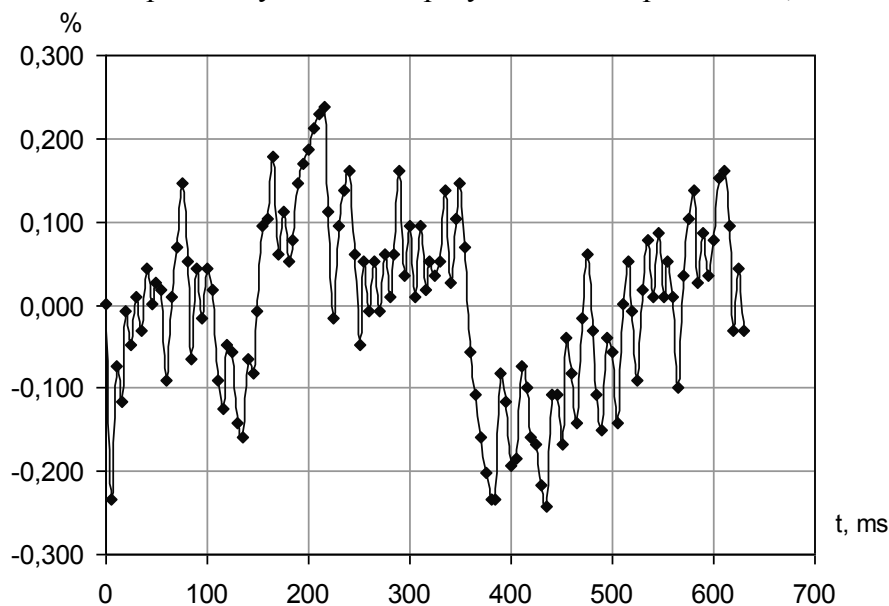


Рисунок – 3 Часова діаграма відносних флуктуацій періоду вихідного сигналу ФАПЧ (у відсотках)

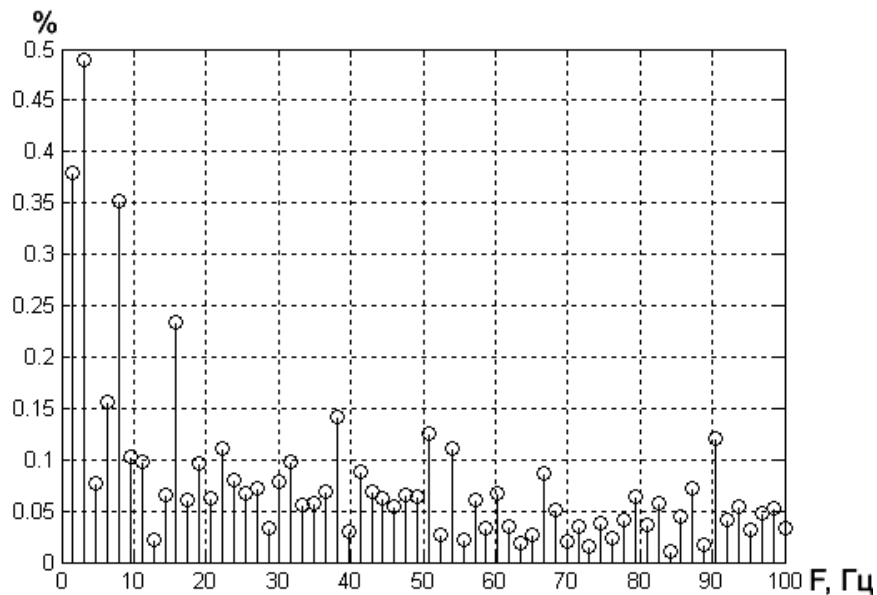


Рисунок – 4 Спектральний склад відносних флуктуацій періоду вихідного сигналу ФАПЧ

В основу побудови АЦП частотно-модульованих сигналів покладено метод залежного підрахунку (блок F/N на рис. 1), застосування якого відрізняється тим, що для збільшення коефіцієнту придушення мережевих завад в області низьких частот (менше 5 кГц) в систему введено пристрій синхронізації ПС, який дозволяє узгодити інтервал підрахунку імпульсів з фазою проявів впливу мережевої завади на вихідний сигнал. Це дозволяє отримати коефіцієнт придушення мережевої завади не менше 40 дБ при частоті вихідного сигналу 800 Гц.

### Заключна частина

Запропоновані технічні рішення дозволяють будувати аналогові інтерфейси типу “аналогова шина” з підвищеними метрологічними характеристиками завдяки використанню нових частотних демодуляторів на основі широкосмугової системи ФАПЧ, які забезпечують зменшення фазового шуму до рівня  $-80$  дБ. Це дозволяє будувати АЦП частота-код з швидкодією 30 вимірювань за 1 с (час перебування на кожному вимірюваному каналі 30 мс) завадозахищеністю 60 дБ/% та основною похибкою вимірювання менше 0,01%, що значно перевищує відомі результати. Підтвердженням достовірності даного результату є моделювання системи в пакеті Electronics Workbench.

### Список використаних джерел

1. SCXI-1126. User Manual. Eight-Channel Isolated Frequency Input Module for Signal Conditioning. National Instruments Corporation. 1998–2003.
2. Кирианаки Н.В., Юриш С.Ю. Информационно-измерительная система сбора и обработки сигналов частотных датчиков. Датчики и системы. – 2004. – № 12. – С. 2-5.
3. Макаров В.В., Володин С.М. Метод параллельных широкодиапазонных измерений частотных импульсных сигналов. Датчики и системы. – 2002. – № 1. – С. 22-25.
4. R. Mark Stitt, Rod Burt. Frequency-to-Voltage / Conversion Burr-Brown Corporation // Application Bulletin. AV-040A, Printed in U.S.A. June, 1993.
5. Кривченко Т.И. Измерение частоты в многофункциональных измерительно-управляющих контроллерах на базе однокристалльных микроЭВМ. Приборы и системы управления. – 1996. – № 2. – С. 44-47.
6. Макаров В.В., Володин С.М. Адаптивный широкодиапазонный многоканальный модуль ввода частотных импульсных сигналов в ЭВМ. Измерительная техника. –

2004. – № 4. – С. 6-13.
7. Будько В.В., Шилин А.Н. Адаптивное устройство сопряжения компьютера и измерительного преобразователя с частотным выходным сигналом. – 2002. – № 8. – С. 24-28.
  8. Патюков В.Г. Фильтрация сигналов частотных датчиков. Датчики и системы. – 2003. – № 5. – С. 2-4.
  9. Чмых М.К. Весовой метод повышения точности и помехоустойчивости цифровых измерителей частоты. Известия высш. учебных заведений. Приборостроение. – 1979. – № \*\*. – С. 135-137.
  10. Патюков В.Г., Чмых М.К. Оптимальный алгоритм цифрового измерения частоты. – Известия высш. учебных заведений. Приборостроение. – 1976. – № 3. – С. 21-24.
  11. Патюков В.Г. Помехоустойчивые измерители частотно-временных параметров сигналов. Измерительная техника. – 2003. – № 4. – С. 45-47.
  12. Гутников В.С., Литуненко Г.И. Измерение частоты сигналов с применением цифровой обработки. Приборы и системы управления. – 1995. – № 6. – С. 16-19.
  13. Мартяшин А.И., Шахов Э.К., Шляндин В.М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.
  14. Квасніков В.П., Орнатський Д.П., Осмоловський О.І. Частотний демодулятор з покращеними динамічними властивостями та заводо захищеністю на основі широкопasmової ФАПЧ. – Вісник Інженерної академії України. – 2012. – № 2. – С. 69-72.