

# СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

---

# SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

---

---

УДК 621.317

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2018.4.150520>

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМА РАБОТЫ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ С ИМПЕДАНСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

*В. Г. Мельник, П. И. Борщев, А. Д. Василенко, А. В. Слицкий*

Институт электродинамики НАН Украины пр. Победы 56, г. Киев-57, 03057, Украина,  
тел. +38-044-366-25-11, E-mail: melnik@ied.org.ua

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМА РАБОТЫ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ С ИМПЕДАНСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

*В. Г. Мельник, П. И. Борщев, А. Д. Василенко, А. В. Слицкий*

**Аннотация.** В работе рассматривается новый способ параллельно-последовательного преобразования слабых информативных сигналов при многопараметровых исследованиях быстропротекающих процессов. Разработанное решение позволяет получить 18-битовые результаты с частотой 100 Гц при асинхронности отсчетов измеряемых величин не хуже  $\pm 3,3$  мсек, высокой чувствительности и подавлении помех с частотой 50 Гц. Рассмотрена структура и алгоритм работы унифицированного трехканального измерительного блока на основе мостовых цепей переменного тока и интегрирующих АЦП типа MAX-132, разработанные в Институте электродинамики НАН Украины. Приведены результаты тестирования такого устройства. Предложенный измерительный канал может использоваться в одноканальном

режиме с любым из трех сенсоров с трехкратным повышением частоты отсчетов или с соответствующим сужением шумовой полосы.

**Ключевые слова:** многоканальная сенсорная система, чувствительность, быстродействие, помехоустойчивость, интегрирующие АЦП

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ВИСОКОЧУТЛИВОЇ МУЛЬТИСЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ З ІМПЕДАНСНИМИ ДАТЧИКАМИ

*В. Г. Мельник, П. І. Борщов, О. Д. Василенко, О. В. Сліцький*

**Анотація.** В роботі розглядається новий спосіб паралельно-послідовного перетворення сигналів для багатопараметрових досліджень швидкоплинних процесів з використанням високочутливих мультибіосенсорних систем. Розроблене рішення дозволяє отримати 18-бітові результати з частотою 100 Гц при асинхронності відліків вимірюваних величин не гірше  $\pm 3,3$  мсек, високу чутливість та придушення завад з частотою 50 Гц. Розглянуто структуру та алгоритм роботи уніфікованого трьохканального вимірювального блоку на основі мостових кіл змінного струму та інтегруючих АЦП типу MAX-132, які розроблено в Інституті електродинаміки НАН України. Запропонований вимірювальний канал може використовуватись в одноканальному режимі з будь-яким з трьох сенсорів з триразовим підвищенням частоти відліків або з відповідним звуженням шумової смуги.

**Ключові слова:** багатоканальна сенсорна система, чутливість, швидкодія, завадостійкість, інтегруючий АЦП

## OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE AND ALGORITHM OF THE WORK OF THE HIGHLY-SENSITIVE MULTI-SENSORS SYSTEM WITH IMPEDANCE TRANSDUCERS

*V. G. Melnik, P. I. Borshchev, A. D. Vasylenko, A. V. Slitskiy*

**Abstract.** The paper considers the new method of parallel-sequential transformation of signals for multi-parameter studies of fast processes using highly sensitive multi-biosensor systems. The developed solution allows to obtain 18-bit results with a frequency of 100 Hz, with asynchrony of samples of the measured values no worse than  $\pm 3,3$  msec, high sensitivity and suppression of interference on the frequency 50 Hz. The structure and algorithm of operation of the unified three-channel measuring unit based on AC-bridges with using the integrating type ADC MAX-132, which are developed at the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, are considered. The proposed measuring channel can be used in a single-channel mode with any of three sensors with three-fold increase in the sampling frequency.

**Keywords:** multichannel sensor system, sensitivity, speed of measuring, noise immunity, integrating ADC

**ВВЕДЕНИЕ.** При разработках высокопроизводительных многоканальных измерительных систем для контроля многопараметровых динамических процессов всегда возникает проблема совмещения высокой частоты и достаточной синхронности отсчетов по совокупности определяемых величин с высокой чувствительностью, помехоустойчивостью и приемлемой сложностью аппаратно-программного комплекса. Особенно актуальна данная проблема в биомедицинских измерениях, в частности при построении высокочувствительных биосенсорных систем, поскольку получение каждого отсчета требует довольно длительного накопления энергии слабого сигнала. Обычно для ее решения применяют параллельно-последовательную организацию процесса измерения, когда часть преобразований измеряемых величин выполняется одновременно (параллельно) отдельными ветвями измерительного канала, а другая – его общей частью последовательно во времени. Такой путь повышения информационной производительности измерительных средств широко применяется, в частности, в распределенных системах сбора данных. Методы организации параллельно-последовательных процессов цифровой обработки данных и средства для них достаточно хорошо отработаны и широко применяются, например [1-3]. В то же время в первичных звеньях измерительных каналов, где формируются первичные данные, имеются значительные резервы для увеличения объемов информации, получаемых в единицу времени.

В импедансометрических сенсорных системах первичный и вторичный измерительные преобразователи образуют мостовую цепь резистивного, емкостного или кондуктометрического типа, которая выделяет и нормирует по величине слабый информативный сигнал переменного тока, который может иметь частоту в широком диапазоне (до десятков кГц и более). Вместе с генератором тестового сигнала, синхронным детектором и АЦП мостовая цепь образует единый блок преобразователя пассивной электрической величины в код, сочетающий нужные

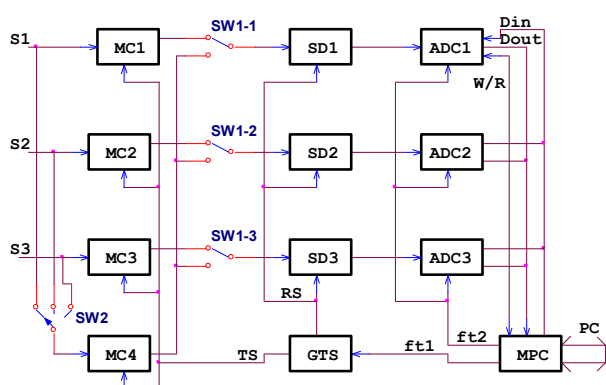
функции с высокой чувствительностью, помехоустойчивостью, простотой конструкции и невысокой стоимостью. Такие качества в существующих измерительных системах достигаются структурно-алгоритмическими решениями, которые ограничивают возможности известных методов параллельно-последовательного преобразования сигналов.

В этой работе рассматривается новый способ параллельно-последовательного преобразования для 3-х сенсорной системы, позволяющий получить высокую частоту выдачи данных по каждому из каналов с хорошей синхронностью измерений определяемых величин и достаточно глубоком подавлении промышленных помех с частотой 50 Гц. Такая система реализуется на основе унифицированного базового измерительного модуля, разработанного в Институте электродинамики НАН Украины, содержащего 3 высокочувствительных, 18-битовых, интегрирующих (“multi-slope”) АЦП (типа МАХ-132, например) и, соответственно, 3 мостовые схемы [4]. Координация съема данных с сенсоров производится по методу, предложенному в [5].

Предложенный способ измерения кратко состоит в следующем. Тактирование АЦП производится с частотой, обеспечивающей длительность цикла преобразования (выдачи результатов) 10 мсек. Интегрирования информативных сигналов в них происходят в течении примерно 3,3 мсек. после команды запуска соответствующего АЦП. Запуски 3-х АЦП выполняются последовательно через 3,3 мсек. Парное усреднение результатов 2-х смежных преобразований одного АЦП позволяет подавить промышленную помеху с частотой 50 Гц и получить полосу пропускания канала 150 Гц. Полученные при этом данные могут дополнительно усредняться для сужения шумовой полосы канала. Усреднение пяти пар результатов позволяет сузить ее до 50 Гц. Выдача данных в этом случае также происходит через 10 мсек. при асинхронности измерений в 1-м и 3-м каналах  $\pm 3,3$  мсек. по отношению ко второму каналу.

### СТРУКТУРА И АЛГОРИТМ РАБОТЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.

Рассмотрим более детально измерительные возможности трехканального блока преобразования сигналов сенсоров с тремя интегрирующими 18-битовыми “multi-slope” АЦП типа MAX-132, реализованного на основе унифицированного базового модуля MXP-4. На рис.1 изображена его блок-схема, а на рис.2 –временные диаграммы работы при тактовой частоте 200 кГц (цикл преобразования 10 мсек).



**Рисунок 1.** Унифицированный быстродействующий блок преобразования сигналов сенсоров многоканальной измерительной системы.

Сенсоры S1 – S3 измеряемых величин подключаются к измерительным цепям MC1 – MC4. На них подается синусоидальный тестовый сигнал TS с частотой, оптимальной для сенсоров от цифрового генератора GTS, который тактируется импульсами с частотой  $f_{T1}$ , формируемыми микропроцессорным контроллером MPC.

Тактовые импульсы с частотой  $f_{T2}$ , близкой к 200 кГц, используются для тактирования АЦП ADC1 – ADC3. Оптимальное значение этой частоты определяется частотой промышленных помех. Тактовая частота около 200 кГц соответствует сетям с частотой 50 Гц. Отклонение  $f_{T2}$  от оптимального значения снижает коэффициент подавления сетевых помех, поэтому целесообразно регулировать  $f_{T2}$  при колебаниях частоты сети. Решение этой проблемы может быть задачей для последующих разработок.

На входах АЦП установлены ключевые синхронные детекторы SD, которые управляются опорным сигналом RS, синфазным или квадратурным с TS. Вместе с АЦП они образуют фазочувствительные векторные микровольтметры, позволяющие определять две составляющие (Re и Im) информативных сигналов сенсоров. Учитывая малое время интегрирования (3,3 мсек.), диапазон рабочих частот TS ограничен снизу и имеет практические пределы от единиц до нескольких сотен кГц. При выборе рабочей частоты следует также учитывать желательность кратности его периода и времени интегрирования АЦП [6]. В то же время отметим, что затормозив SD, мы можем измерять мгновенные значения информативных сигналов. При рассматриваемых параметрах канала это позволяет проводить измерения в области инфранизких (дозвуковых) частот.

Переключатель SW1 служит для подключения информативных сигналов сенсоров, выделенных и пронормированных измерительными цепями MC, к входам фазочувствительных микровольтметров. В их верхнем положении блок функционирует в трехканальном режиме, а в нижнем положении переводится в одноканальный режим с повышенной чувствительностью и более глубоким подавлением всей совокупности гармоник промышленной помехи. Это достигается осуществлением непрерывного интегрирования информативного сигнала одного из сенсоров, который поступает с выхода измерительной цепи MC4 на входы всех микровольтметров. Данные преобразования трех АЦП усредняются микроконтроллером за 2 цикла их работы. При этом общее время интегрирования составляет 20 мсек., а использованная энергия сигнала увеличивается в 6 раз. Дискретность преобразования при этом возрастает до 20 бит в диапазоне входных сигналов  $\pm 0,5$  В. Минимально возможная асинхронность измерений при последовательном подключении трех сенсоров S1 – S3 переключателем SW2 составит  $\pm 20$  мсек. Такой режим может использоваться для исследования более медленных процессов со слабыми информативными сигналами. При

необходимости иметь большее, чем 3, число каналов, можно организовать параллельную работу нескольких таких унифицированных измерительных блоков.

Рассмотрим временные диаграммы получения и обработки данных для наиболее актуальных режимов измерений.

На графике 1 показано расположение во времени 6-ти команд запуска АЦП-1 – АЦП-3 ( $1_1, 1_2, 1_3 \dots 6_1, 6_2, 6_3$ ). Команды запуска и, соответственно, интервалы интегрирования расположены со сдвигом на время интегрирования, равное 3,3 мсек. (графики 2 - 4). Таким образом, в цикле преобразования одного АЦП происходит непрерывное интегрирование сигнала последовательно тремя АЦП. Преобразованные в цифровой код результаты этих интегрирований (выходные данные) выдаются каждым из АЦП с задержкой на два интервала интегрирования (графики 5 - 7). Они могут быть объединены в общий

поток данных с частотой около 300 отсчетов/сек. (график 8) или использоваться отдельно для трех разных сигналов.

Совместное использование результатов интегрирования тремя АЦП в цикле преобразования одного АЦП позволяет получить интервал усреднения (цикл интегрирования) сигнала равный времени цикла преобразования АЦП (график 9). Усредненные данные за такой цикл вырабатываются с задержкой на два времени интегрирования (график 10). Используя скользящее усреднение общего потока данных можно выдавать результаты с частотой около 300 Гц. Интегрирование сигнала каждым из АЦП происходит в течение 3,3 мсек с интервалами около 10 мсек. Усреднение результатов двух смежных интегрирований (графики 11 – 13 и 16) позволяет подавить индустриальную помеху (50 Гц) при частоте выдачи данных каждым АЦП около 100 Гц и частоте общего потока около

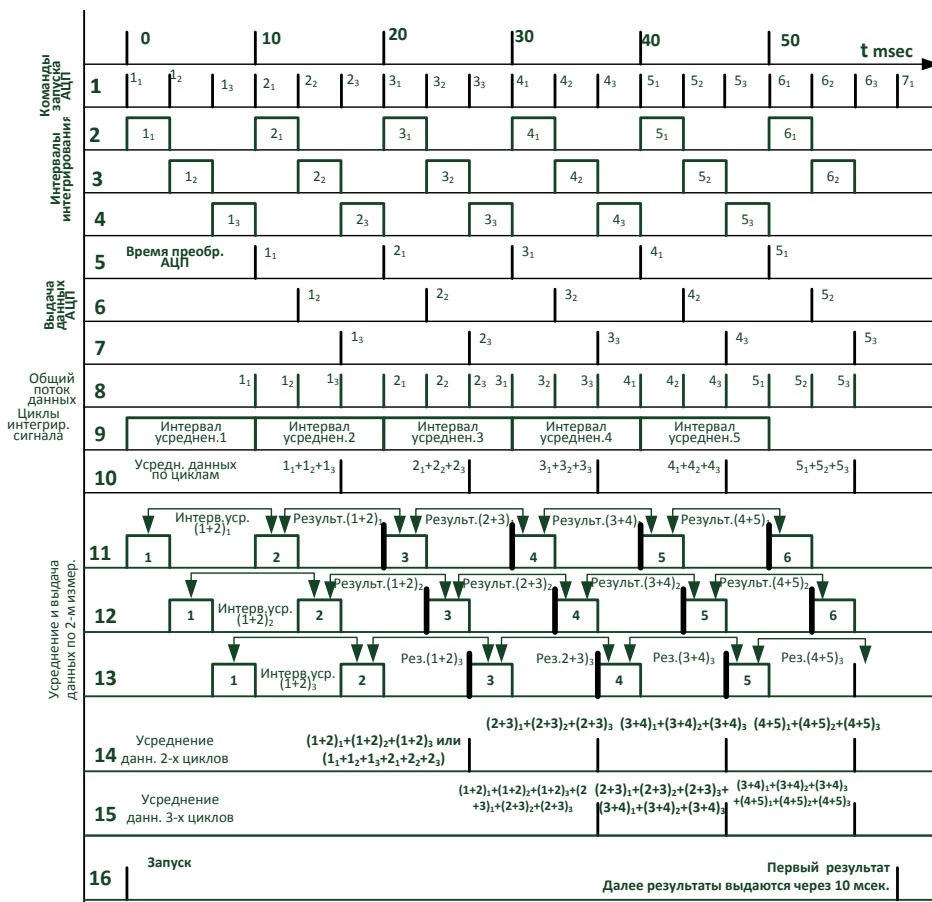


Рисунок 2. Временные диаграммы функционирования многоканальной измерительной системы с уменьшенной асинхронностью преобразований сигналов и подавлением сетевых помех.

300 Гц. Ширина шумовой полосы пропускания при этом составляет 150 Гц.

Для максимально глубокого подавления сетевой помехи интервал между смежными интегрированиями должен быть точно равен половине периода напряжения в сети. Этого можно достичь соответствующим выбором частоты тактирования АЦП и моментов выдачи команд выполнения циклов измерения с учетом алгоритма работы АЦП.

Результаты усреднения пар смежных отсчетов каждого из трех АЦП могут дополнительно усредняться за 2 цикла преобразований (график 9) и выдаваться с частотой около 100 Гц (график 14). То же самое получается, если усреднять данные трех АЦП в двух смежных циклах. Общее время интегрирования сигнала составляет при этом 20 мсек при полосе пропускания канала 50 Гц. Можно усреднять данные и большего числа циклов (график 15) с той же скоростью выдачи данных и сужением шумовой полосы для повышения чувствительности, однако время задержки выдачи данных при этом возрастает. На графике 17 отмечены моменты запуска измерений и получения первого результата с усреднением данных шести циклов преобразований в каждом АЦП. Частота выдачи данных при этом составляет 100 отсчетов/сек, а полоса пропускания канала 17 Гц, поэтому следует учитывать, что при скачкообразном изменении сигнала новый уровень данных преобразования установится на шестом отсчете.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.** С использованием образца-прототипа нового унифицированного базового модуля МХР-4, созданного на основе ранее использовавшегося модуля МХР-3 [7], были проведены экспериментальные исследования разработанного алгоритма работы измерительного канала. На рис. 3 представлены результаты измерения смоделированного полезного сигнала (частота 4,5 Гц, амплитуда 120 мкВ) при воздействии смоделированной помехи (частота 50 Гц, амплитуда 800 мкВ) в режиме попарного усреднения результатов 2-х смежных интегрирований сигнала. В этих экспериментах

тактирование АЦП происходило с частотой 196,6 кГц, при которой АЦП производит 96 отсчетов в секунду, т.е. на 4% меньше их оптимального числа для подавления 50-герцовой помехи, а также с частотой 205,4 кГц, близкой к оптимальной. Это позволяет оценить глубину подавления помехи при отклонениях частоты сети от номинального значения. В связи с этим обстоятельством, при получении осциллограммы помехи получаются биения из-за не кратности частот отсчетов с частотой сети.

На рис. 3а показана осциллограмма сигнала при отсутствии сетевой помехи, на рис. 3б – осциллограмма смеси сигнала и помехи без подавления последней, на которую наложена осциллограмма результатов измерения с попарным усреднением смежных отсчетов АЦП, а на рис. 3в – осциллограммы помехи без подавления и с подавлением (без сигнала). На рис. 3г, д представлены результаты таких же измерений при частоте отсчетов АЦП, близкой к оптимальной (100,5 отс./сек). При этом остаточный уровень помехи (из-за искажений напряжения сети) снижается практически до уровня внутренних шумов измерительного канала (рис. 3е).

На рис. 3ж, з представлены осциллограммы данных, полученных при отсутствии смоделированных сигнала и помехи. Вариации отсчетов связаны с внутренними шумами элементов схемы и иными внешними и внутрисхемными помехами. На рис. 3ж на осциллограмму данных, полученных в одном из каналов без усреднения отсчетов, наложена осциллограмма с усреднением пар смежных отсчетов (подавление 50-герцовой помехи), в результате чего уменьшились высокочастотные составляющие вариаций отсчетов. Во втором случае амплитуда вариаций не превышает  $\pm 4$  ед. дискретности (8 мкВ). На рис. 3з показана осциллограмма данных, получаемых от одного сенсора с параллельным попарным усреднением отсчетов в трех каналах (график 14 на рис. 2). Амплитуда вариаций в этом случае не превышает  $\pm 2$  ед. дискретности (4 мкВ). На графиках масштаб единицы по горизонтальной оси – 0,01 сек., по вертикальной – 2 мкВ. Эк-

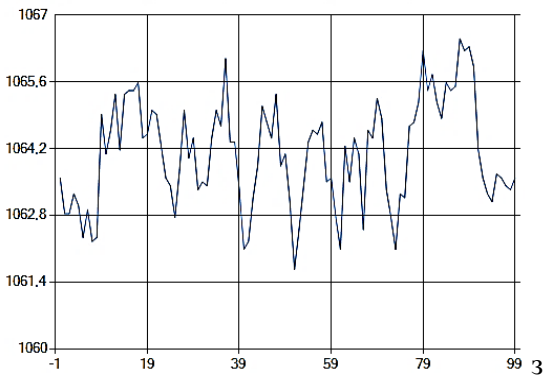
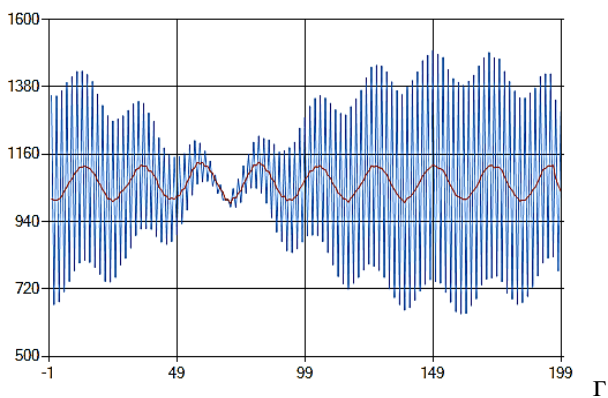
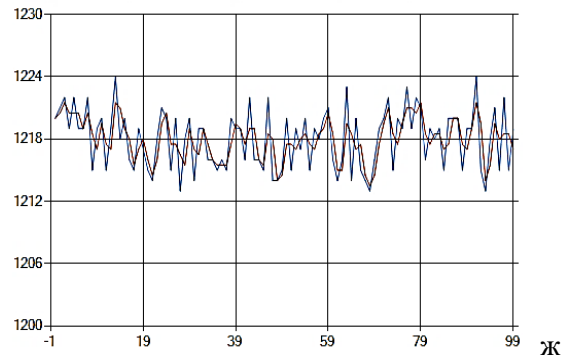
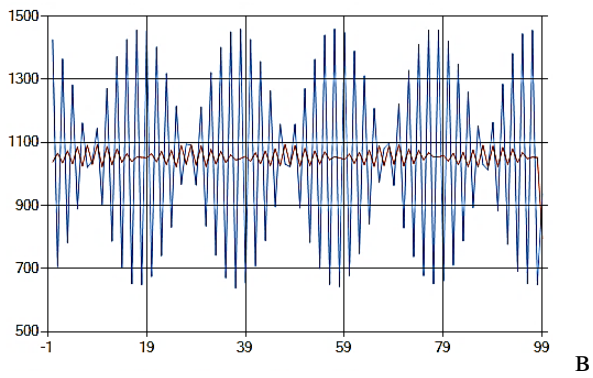
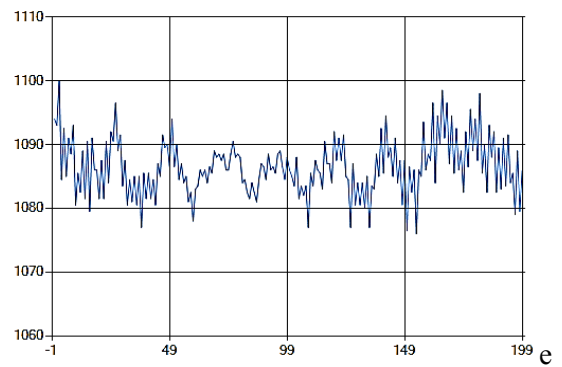
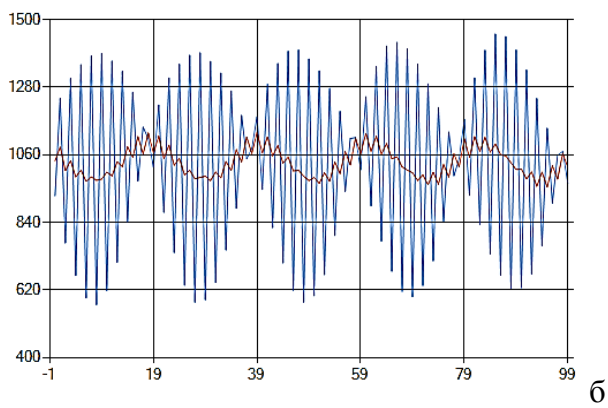
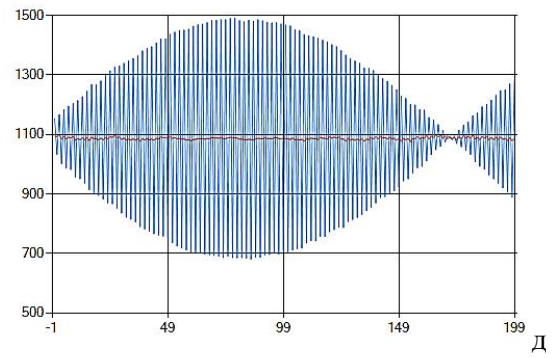
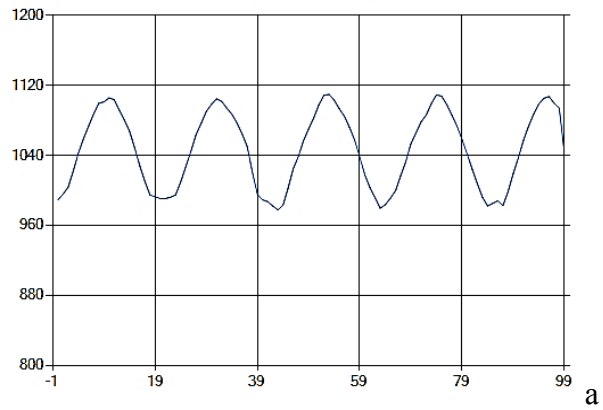


Рисунок 3. Осциллограммы результатов измерения полезного сигнала при воздействии сетевой помехи в режиме попарного усреднения результатов смежных отсчетов.

вивалентная дискретность преобразования канала во всем его динамическом диапазоне ( $\pm 0,5$  В) в таком режиме измерения достигает 21 двоичного разряда, а время получения результата после скачкообразного изменения сигнала равно 20 мсек .

**ВЫВОДЫ.** Рассмотренные методы параллельно-последовательного преобразования и обработки сигналов сенсоров позволяют существенно повысить быстродействие высокочувствительных многоканальных сенсорных измерительных систем, уменьшить их динамические погрешности из-за асинхронности получения данных в разных каналах и при этом сохранить высокую разрешающую способность, хорошее подавление сетевых и других промышленных помех.

Разработанная структура измерительно-го блока с параллельно-последовательным преобразованием сигналов позволяет реализовать предложенные методы измерений и примерно на порядок повысить информационную производительность унифицированного базового импедансометрического модуля без его значительного усложнения.

#### Список использованной литературы

- [1]. О. В. Klimova. Metodologija dekompozicii dannyh i edinoe opisaniye posledovatel'nyh i parallel'nyh algoritmov vychisleniya operacij obrabotki signalov. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tehnika i informatika. – 2013. – №2(23). – S. 112 – 120.
- [2] О. Н. P'janchenko. Parallel'no-posledovatel'nye shemy raspredelennyh sistem sbora i obrabotki informacii datchikov. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. – 2014. – №4(153). – S. 8 – 14.
- [3] P. Il'in. Parallel'no-posledovatel'nye preobrazovateli SN65HV588x s cifrovym vhomom dlja industrial'nogo primeneniya. Novosti jelektroniki. 2009. – №3. – Stat'ja 3. Rezhim dostupa: <https://www.compel.ru/lib/ne/2009/3/3-parallelno-posledovatelnyie-preobrazovateli-sn65hvs88x-s-tsifrovym-vhomom-dlya-industrialnogo-primeneniya>.
- [4] V. G. Mel'nik, A. D. Vasilenko, A. V. Slickij, S. V. Dzjadevich Mul'tibiosensornaja konduktometrisheskaja sistema s avtomaticheskoy nastrojkoj i samodiagnostikoj. Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2015. – Т. 12, №4. – S. 49 – 61.
- [5]. Ja. I. Ljepikh, Ju. O. Gordijenko, S. V. Dzjadevych, A. O. Druzhyinin, A. A. Jevtuh, S. V. Ljenkov, V. G. Mel'nyk, V. O. Romanov, V. O. Procenko. Intelektual'ni vymirjuval'ni systemy na osnovi mikroelektronnyh datchykiev novogo pokolinnja. za red. Ja. I. Ljepiha, V.O. Romanova. – Odesa: Astroprynt, 2011. - 353 s.
- [6]. V. G. Mel'nik, A. V. Slickij, V. D. Pogrebnyak. Issledovanie trebovanij k vyboru taktovyh chastot v mnogochastotnyh vysokotochnyh izmeriteljah kompleksnyh soprotivlenij. 5-ja NTK «Radiotehnika v XXI stoletii». – 2011. – S. 136-138.
- [7]. S. V. Ljenkov, Ja. I. Lepikh, V. G. Mel'nyk, V. O. Romanov, V. O. Procenko. Intelektual'ni vymirjuval'ni kanaly sensoryh system. Nauka y oborona. – 2011. – №2. – С. 36 – 43.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2018 р.



UDC 621.317

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2018.4.150520>

## OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE AND ALGORITHM OF THE WORK OF THE HIGHLY-SENSITIVE MULTI-SENSORS SYSTEM WITH IMPEDANCE TRANSDUCERS

*V. G. Melnyk, P. I. Borshchev, A. D. Vasylenko, A. V. Slitskiy*

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Peremohy Av. 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine,  
tel. + 38-044-366-25-11, E-mail: melnik@ied.org.ua

### Summary

The paper considers the new method of parallel-sequential conversion of weak informative signals for multi-parameter studies of fast processes. Its essence consists in using for the simultaneous transformation of the sensor signals of several integrating ADCs, the number of which corresponds to the ratio of the integration interval and the ADC conversion cycle. Their starts are performed alternately, after the integration is completed in the previous ADC, therefore the data output at the end of their conversion cycles occurs at intervals equal to the integration time of the signals. These data can be combined into a common stream with a correspondingly higher sampling rate. With the ADC conversion cycle time of 10 msec, averaging the results of two adjacent cycles provides interference suppression at the frequency of 50 Hz. Sharing of the integration results of several ADCs during the conversion cycle of one ADC allows to increase the signal averaging interval up to the ADC conversion cycle time. The structure and algorithm of functioning of the unified three-sensors measuring unit based on the AC bridge circuits and high-sensitivity “multi-slope” ADCs of the MAX-132 are developed at the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The device allows to obtain 18-bit results on three channels with a sampling frequency of 100 Hz, when the readings of the measured quantities are asynchronous is not worse than  $\pm 3.3$  msec, while providing high sensitivity and suppression of interference with a frequency of 50 Hz. The results of its testing showed that the random error with respect to input signals of the ADC is approximately  $\pm 5 \mu\text{V}$  in the range  $\pm 0.5\text{V}$ . This measuring unit can be used in single-channel mode for one sensor with a threefold increase in the sampling frequency or with a corresponding reduction in the random error.

**Keywords:** multichannel sensor system, sensitivity, speed of measuring, noise immunity, integrating ADC.

УДК 621.317

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2018.4.150520>

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ВИСОКОЧУТЛИВОЇ МУЛЬТИСЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ З ІМПЕДАНСНИМИ ДАТЧИКАМИ

*В. Г. Мельник, П. І. Борщов, О. Д. Василенко, О. В. Сліцький*

Інститут електродинаміки НАН України пр. Перемоги 56, м. Київ-57, 03057, Україна,  
тел. + 38-044-366-25-11, E-mail: melnik@ied.org.ua

### Реферат

В роботі розглядається новий спосіб паралельно-послідовного перетворення слабких інформативних сигналів при багатопараметрових дослідженнях швидкоплинних процесів. Його суть полягає у використанні для одночасного перетворення сигналів сенсорів декількох інтегруючих АЦП, число яких відповідає кратності інтервалу інтегрування та циклу перетворення АЦП. Їх запуски виконуються по черзі, після закінчення інтегрування в попередньому АЦП, тому видача даних по закінченню їх циклів перетворення відбувається з інтервалами, що дорівнюють часу інтегрування сигналів. Ці дані можуть бути об'єднані в загальний потік з відповідно більш високою частотою вибірок або використовуватись окремо в декількох каналах. При тривалості циклу перетворення АЦП 10 мсек усереднення результатів двох суміжних циклів забезпечує придушення завад з частотою 50 Гц. Спільне використання результатів інтегрування декількома АЦП за час циклу перетворення одного АЦП дозволяє збільшити інтервал усереднення сигналу до тривалості циклу перетворення АЦП. Розглянуто розроблені в Інституті електродинаміки НАН України структуру и алгоритм роботи уніфікованого трьохсенсорного вимірювального блоку на основі мостових кіл змінного струму и високочутливих “multi-slope” АЦП типу MAX-132. Пристрій дозволяє отримати 18-бітові результати по трьох каналах з частотою вибірок 100 Гц при асинхронності відліків вимірюваних величина не гірше  $\pm 3,3$  мсек, забезпечуючи при цьому високу чутливість та придушення завад з частотою 50 Гц. Результати його тестування показали, що випадкова похибка по вхідним сигналам АЦП становить приблизно  $\pm 5$  мкВ в діапазоні  $\pm 0,5$ В. Даний вимірювальний блок може використовуватись в одноканальному режимі для одного сенсора з триразовим підвищенням частоти відліків або з відповідним зменшенням випадкової похибки за рахунок усереднення пар суміжних відліків по всім трьом АЦП.

**Ключові слова:** багатоканальна сенсорна система, чутливість, швидкодія, завадостійкість, інтегруючий АЦП