

УДК 621.389

С.М. Власік<sup>1</sup>, О.А. Наконечний<sup>2</sup>, А.О. Подорожняк<sup>3</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків<sup>3</sup>Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЧАСТОТНИХ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ

В статті досліджено та обґрунтовано застосування модифікованого методу залежного рахунку при багатоканальних вимірювань частотних імпульсних сигналів при проведенні телевимірювань різних фізичних величин. Отримані результати пропонується використати при розробці, проектуванні та виготовленні багатоканальних вимірювачів частотних імпульсних сигналів для систем централізованого контролю та попередження в комплексах автоматичного управління технологічними процесами.

**Ключові слова:** метод, багатоканальні вимірювачі частотних імпульсних сигналів, вимірювальний канал.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При побудові інформаційно-вимірювальних систем, які використовуються для автоматичного управління технологічними процесами, в системах контролю технічного стану складних технічних систем, в системах попередження про небезпечний стан виникає завдання телевимірювання різних фізичних величин.

Недоліки вимірювань можуть призвести до техногенних аварій і навіть катастроф. Так, за опублікованими в США даними, за період 1984 – 1999 рр. на американських АЕС сталася 35 аварія, причому всі вони були пов'язані з недоліками вимірювань (у 10 випадках виявилися несправними вимірювальні прилади, у 25 випадку – недосконалість датчиків). Однією з причин аварії на Чорнобильській АЕС була недосконала організація вимірювань технологічних параметрів [1].

У системах централізованого контролю та попередження може налічуватися від десятків до десятків тисяч вимірювальних перетворювачів, які різним чином розміщені в просторі, можуть знаходитись у важкодоступних місцях і, як правило, розміщені на значній відстані від центрального диспетчерського пульту. При реалізації таких систем пред'являються суперечливі вимоги до вимірювальних перетворювачів. З одного боку, висока точність, стабільність в часі та ідентичність вихідних характеристик, а з іншого боку – простота конструкції, висока надійність, низька собівартість.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективним способом телевимірювання параметрів є метод, заснований на перетворенні їх в частоту змінного струму, а частоти в цифровий еквівалент [2 – 7].

Необхідно відзначити, що вказаний спосіб застосовний не тільки в телевимірюваннях. Скрізь, де

виникає необхідність перетворення неелектричної аналогової величини в цифрову форму, використання цього методу часто приводить до найбільш ефективного рішення поставленої задачі.

У телевимірюваннях значення перетворювачів з вихідним сигналом у вигляді частоти змінного струму важко переоцінити. Це пояснюється тим, що з'являється можливість по лінії зв'язку передавати частотний сигнал, що приводить до мінімальної втрати інформації в пристроях комутації, самій лінії зв'язку та вторинній апаратурі.

При реалізації частотного перетворювача величини, що вимірюються, перетворюються за допомогою первинних перетворювачів в проміжні параметри, такі як електричний опір, індуктивність, ємність, а останні – в частоту змінного струму шляхом включення їх в задаючий контур генератора. Первинні перетворювачі разом з перетворювачами проміжного параметра в частоту, як правило, представляють єдину конструкцію, яка має назву частотного перетворювача [3, 4].

Однак відомі методи багатоканальних вимірювань дозволяють розробляти вимірювальні перетворювачі з невисокою точністю вимірювання при низькій собівартості. Розробка більш точних вимірювальних перетворювачів потребує ускладнення їх конструкції та собівартості. Задовольнити вимогам, з одного боку, високої точності та стабільності характеристик, а з іншого боку, – простоти конструкції та високої надійності при низькій собівартості, при розробці вимірювальних перетворювачів дозволяє метод багатоканальних вимірювань частотних імпульсних сигналів.

**Метою статті** є обґрунтування застосування методу багатоканальних вимірювань частотних імпульсних сигналів при розробці систем централізованого контролю та попередження.

## Основний розділ

**Постановка задачі та її вирішення.** Актуальним є завдання розробки універсальних високоточних швидкодіючих багатоканальних модулів введення частотних імпульсних сигналів, що розглядається в цій статті, в ЕОМ, скорочено названих нижче як модулі введення даних (МВД), таких, що мають широкий діапазон вимірювань: від одиниць мілігерц до сотень кілогерц.

Перспективним для побудови універсальних багатоканальних МВД є метод залежного рахунку [1, 2, 6]. У роботах [3, 4] розглянуті широкодіапазонні цифрові частотоміри, побудовані з використанням цього методу і швидкодіючих 8- і 16-розрядних мікропроцесорів.

За допомогою частотоміра [3] довільна частота з діапазону 1 Гц...22,2 кГц вимірюється за 1 с з максимальною відносною похибкою 0,0035 %. Частотомір [1] має діапазон вимірювання 15 Гц...200 кГц, час вимірювання 65 мс, максимальну відносну похибку вимірювання 0,0015 %. Частотомір [5] забезпечує вимірювання частоти за 1 с в діапазоні вимірювань 1 Гц...100 МГц з максимальною відносною похибкою 0,0001 %. Недоліком цих частотомірів є великий час вимірювання.

Частотомір, описаний в роботі [7], має діапазон вимірювання 0,25 МГц...25 МГц; його максимальна похибка вимірювання вибирається з діапазону (0,1...0,00001) %, час вимірювання близький до оптимального та залежить від вимірюваної частоти  $f_x$ :

$$\begin{cases} T_x, & \text{при } f_x < f_{ip} \delta_m; \\ T_{ip}/\delta_m, & \text{при } f_{ip} \delta_m \leq f_x < f_{ip}; \\ T_x/\delta_m, & \text{при } f_x \geq f_{ip}, \end{cases}$$

де  $T_x = 1/f_x$  – період частоти, що вимірюється;  $\delta_m$  – максимальна відносна похибка вимірювань;  $f_{ip}$  і  $T_{ip}$  – частота та період імпульсів рахунку відповідно.

Недоліком частотоміра є складна схема, що включає мікропроцесор і два лічильники імпульсів сумарною ємністю 32 бита. Розглянуті частотоміри забезпечують вимірювання частоти тільки одного імпульсного сигналу.

У роботі [4] розглянутий восьмиканальний МВД, в якому виконуються послідовні в часі вимірювання частоти імпульсів. У відносно вузькому діапазоні частот, що вимірюються, від 4 Гц до 10 кГц довільна частота імпульсів вимірюється за 0,264 с з максимальною відносною похибкою 0,0004 %. Проте для багатьох практичних застосувань швидкодія цього МВД є недостатньою.

Проведений огляд свідчить про перспективність методу залежного рахунку для досягнення широкого діапазону вимірювань частот імпульсних сигналів і необхідності проведення подальших дос-

ліджень в цьому напрямі. У статті пропонується модифікований для багатосигнальних вимірювань метод залежного рахунку та структурна схема багатоканального широкодіапазонного модуля введення частотних імпульсних сигналів в ЕОМ; метод аналізу досяжної точності та швидкодії вимірювань.

Модифікований метод залежного рахунку полягає в наступному:

- у використанні єдиної шкали часу для всіх вимірюваних сигналів;

- у виконанні непрямих вимірювань за допомогою вимірювання інтервалу часу, рівного цілому числу періодів вимірюваного сигналу, з подальшим визначенням вимірюваної частоти;

- у виборі величини цього інтервалу не меншої тривалості мінімального інтервалу, що гарантує необхідну точність;

- у вирішенні конфліктів, що виникають між вимірюваними сигналами, за допомогою системи пріоритетів;

- у конверсії паралельній організації вимірювань і передачі результатів вимірювань в ЕОМ.

Структурна схема що реалізовує цей метод вимірювань  $n$ -канального модуля введення частотних імпульсних сигналів в ЕОМ приведена на рис. 1. На входи  $n$ -канального МВД поступають імпульсні послідовності  $S_1(t), \dots, S_n(t)$  частоти слідування імпульсів, які підлягають вимірюванню.

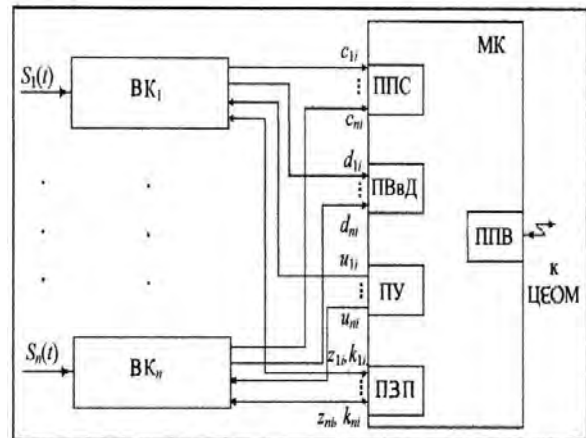


Рис. 1. Структурна схема  $n$ -канального модуля вводу частотних імпульсних сигналів в ЦЕОМ

До складу МВД входять  $n$  ідентичних вимірювальних каналів  $VK_1, \dots, VK_j, \dots, VK_n$  та мікроконтролер МК з п'ятьма портами введення-виводу: ПСС – портом сигналів статусу  $\{c_{ji}\}$ ; ПВВД– портом вводу даних  $\{d_{ji}\}$ ; ПУ– портом управляючих сигналів  $\{u_{ji}\}$ ; ЛВС – процесором зовнішніх подій, який приймає сигнали  $\{z_{ji}\}$  та формує команди  $\{k_{ji}\}$ ; ППВ – портом послідовного вводу-виводу, який дозволяє проводити обмін командами та результатами вимірювань з центральною ЕОМ (ЦЕОМ), де  $j$  й  $i$  означають, відповідно, номери

вимірювального каналу та вимірювання, що проводиться, при цьому  $j = \overline{1, n}$ .

Процесор зовнішніх подій ПЗП включає в свій склад  $n$  блоків захоплення БЗ1, ..., БЗ $n$  і блоків порівняння БП1, ..., БП $n$  [7]. У момент початку вимірювань в  $j$ -му каналі ПЗП переводиться в режим захоплення першого імпульсу  $z_{ji}$ . Після захвату імпульсу в мікроконтролері визначається момент закінчення мінімального інтервалу вимірювання в  $j$ -ому каналі, який передається в блок порівняння БП $j$ , і процесор зовнішніх подій переводиться в режим порівняння. Після закінчення мінімального інтервалу вимірювання процесор зовнішніх подій повертається в режим очікування та захоплення останнього імпульсу  $z_{ji}$ , який завершує  $i$ -е вимірювання сигналу  $S_j(t)$ . Для вирішення конфліктів, що виникають між вимірювальними каналами, використовується вкладена система переривань з наступними абсолютними пріоритетами, починаючи з вищого: ЦЕОМ; таймер; БЗ1, ..., БЗ $n$ ; БП1, ..., БП $n$ .

Склад довільного вимірювального каналу МВД представлений на рис. 2. По аналогових лініях зв'язку з виходів частотних датчиків або інших джерел сигналів на входи МВД поступають вимірювані імпульсні сигнали  $S_1(t), \dots, S_n(t)$ . У промислових умовах експлуатації вони піддаються дії перешкод  $n(t)$  загального і нормального вигляду.

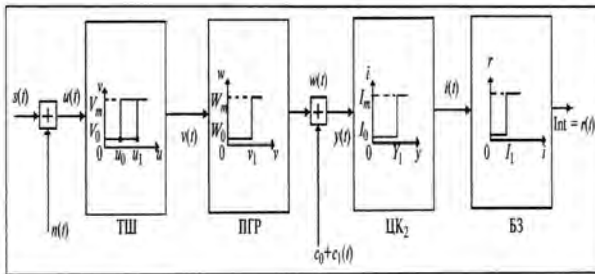


Рис. 2. Схема вимірювального каналу модуля вводу даних

На вході вимірювального каналу розташований тригер Шмітта ТШ, який поновлює прямокутну форму імпульсів, що поступають по лініях зв'язку, і перешкод нормального вигляду, що знижують дію. Вихідний сигнал ТШ поступає на вхід пристрою гальванічної розв'язки ПГР, що здійснює гальванічну розв'язку входу і центральної частини МВС і зниження рівня перешкод загального вигляду. З виходу ПГР імпульси через цифровий ключ ЦК1 поступають на вхід двійкового лічильника імпульсів ЛЛ, що здійснює рахунок цілого числа періодів вимірюваного сигналу. Виходи ЛЛ підключені до входів порту ПЗП мікроконтролера.

Сигнали статусу  $\{c_{ji}\}$  несуть інформацію про можливе переповнення лічильників імпульсів ЛЛ за

час  $i$ -го вимірювання. Даними  $\{d_{ji}\}$  є число злічених лічильниками імпульсів  $\{N_{ji}\}$  за час  $i$ -го вимірювання імпульсів. За допомогою сигналів управління  $\{u_{ji}\}$  здійснюється зчитування даних  $\{d_{ji}\}$ , обнуління лічильників імпульсів ЛЛ перед наступним вимірюванням і комутація імпульсів, що вимірюються, на їх входи. Сигнали  $\{z_{ji}\}$  з виходу ПГР поступають на входи блоків захоплення БЗ процесора зовнішніх подій ПЗП мікроконтролера. У моменти закінчення мінімальних інтервалів вимірювання  $T_{vmin}$  сигнали порівняння  $\{k_{ji}\}$  поступають з виходу процесора зовнішніх подій ПЗП на управляючі виходи цифрових ключів ЦК2, дозволяючи проходження сигналів  $\{z_{ji}\}$  на входи блоків захвату процесора зовнішніх подій ПЗП.

Розглянемо роботу довільного  $j$ -го вимірювального каналу МВД. Мікроконтролер виробляє команду початку  $i$ -го вимірювання. З приходом першого імпульсу  $z_{ij}$  мікроконтролер за допомогою внутрішнього таймера фіксує момент його появи і генерує команду  $k_{ji}$ , яка блокує вхід блоку захвату БЗ $j$  процесора зовнішніх подій на мінімальний час вимірювання  $T_{vmin}$ . Одночасно з допомогою команди  $u_{ji}$  що поступає з виходу порту управління ПУ, вихідні імпульси  $z_{ij}$  блоку подаються на вхід лічильника імпульсів ЛЛ.

Після інтервалу часу, рівного часу вимірювання  $T_{vmin}$ , розблокується вхід блоку захоплення БЗ $j$  процесора зовнішніх подій, мікроконтролер переходить в режим очікування приходу першого наступного імпульсу  $z_{ij}$  з виходу ПГР. За допомогою таймера фіксується момент приходу імпульсу  $z_{ji}$  і знову блокується захоплення по  $j$ -му входу процесора зовнішніх подій. За допомогою команди управління  $u_{ji}$  виконується зчитування числа імпульсів  $N_{ji}$ , які були підраховані лічильником, ввід цього числа в мікроконтролер, обнуління лічильника ЛЛ, визначення дійсного часу вимірювання  $t_{vji}$ .

У мікроконтролері аналізується статусний сигнал  $c_{ij}$ , що є ознакою переповнення лічильника імпульсів ЛЛ за час  $i$ -го вимірювання; наявність переповнення лічильника імпульсів ЛЛ свідчить про вихід вимірюваної частоти за верхню межу діапазону вимірювань. За відсутності переповнення в мікроконтролері визначається значення вимірюваної частоти  $f_{xji} = N_{ji}/t_{vji}$ , і супроводжуваний адресою вимірювального каналу результат вимірювання  $f_{xji}$  поступає в порт ПЗП мікроконтролера для передачі в ЦЕОМ. На цьому  $i$ -е вимірювання закінчується, і  $j$ -й вимірювальний канал чекає команду початку наступного  $(i + 1)$ -го вимірювання. На рис. 3, як приклад, приведені часові діаграми трьох вимірюваних

сигналів  $S_1(t)$ ,  $S_2(t)$ ,  $S_3(t)$ , команд управління, операцій, процесів передачі результатів вимірювань в ЦЕОМ. Використовуються наступні позначення для  $j$ -го вимірювального каналу:  $I_{пj}$ ,  $I_{кj}$  – імпульси початку та кінця вимірювань;  $t_{пj}$ ,  $t_{кj}$  – моменти часу їх появи;  $t_{зj}$  – момент часу закінчення  $j$ -го інтервалу

тривалістю  $T_{в, min}$ ;  $ППj$  – команда початку перетворення  $j$ -го сигналу;  $\tau_{01j}$ ,  $\tau_{02j}$ ,  $\tau_{03j}$  – інтервали часів обробки переривань мікроконтролера, пов'язаних з появою подій в моменти часу;  $\tau_{пер}$  – час передачі результатів вимірювань в ЦЕОМ;  $t_{bj}$  – повний час вимірювання  $j$ -го сигналу ( $j = 1..3$ ), де .

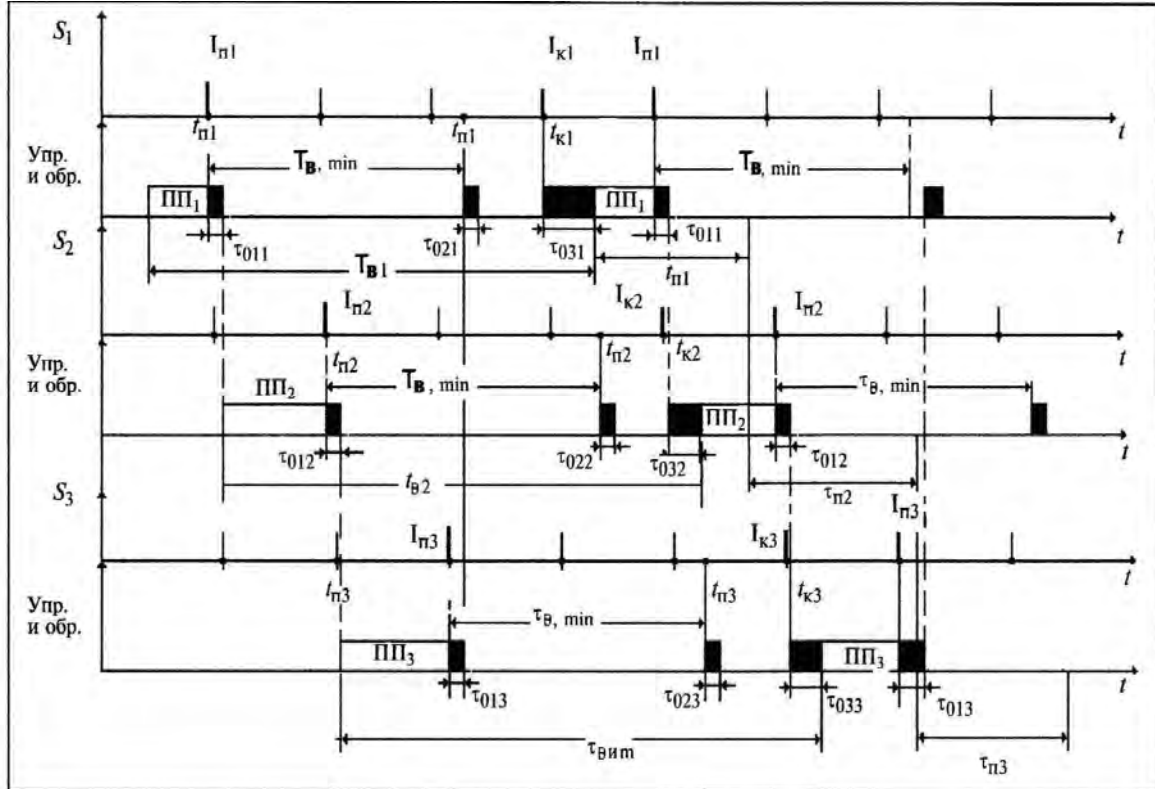


Рис. 3. Часові діаграми сигналів, що вимірюються, процесів управління, обробки та передачі результатів вимірювань в ЦЕОМ

Час обробки  $\tau_{01j}$  включає часи захоплення імпульсу  $I_{пj}$ , фіксації моменту його появи  $t_{пj}$ , розрахунку моменту часу  $t_{вj} = t_{пj} + T_{в, min}$ , блокування блоку БЗ $j$  та ініціалізації блоку БП $j$  на якийсь час  $T_{в, min}$ . Час обробки  $\tau_{02j}$  складається з часів комутації ключів в каналі перетворення ВК $j$  і часу розблокування блоку БЗ $j$  процесора зовнішніх подій. В час обробки  $\tau_{03j}$  входять час захвату імпульсу  $I_{кj}$ , час фіксації моменту його появи  $t_{кj}$ , час аналізу числа переповнювань і запам'ятовування змісту лічильника імпульсів ЛІ, визначення результату вимірювання  $f_{xji}$  і передачі його в порт ППВ мікроконтролера.

Час  $\tau_{пер}$  передачі результатів вимірювань в ЦЕОМ визначається довжиною повідомлення та швидкістю його передачі по каналу зв'язку в ЦЕОМ. Застосування інтерфейсу RS-485 забезпечує високу швидкість передачі повідомлень – порядку декількох мегабод.

## Висновки

Проведене комп'ютерне моделювання запропонованого методу дозволяє зробити такі висновки:

- модуль вводу даних забезпечує широкий динамічний діапазон вимірювань, який збільшується з ростом амплітуди імпульсів, що вимірюються;
- в широкому діапазоні частот модуль вводу даних забезпечує високу точність вимірювань. Похибки вимірювань суттєво залежать від параметрів імпульсів сигналів, що вимірюються, рівня похибок вхідних блоків і завад;
- час вимірювання любого вхідного сигналу приблизно дорівнює двом періодам імпульсної вхідної послідовності.

Відмітимо, що запропонована структура та модифікований для багатоканальних вимірювань метод залежного підрахунку забезпечує рішення задачі розробки універсальних високоточних швидкодіючих модулів вводу частотних імпульсних сигналів в ЦЕОМ для вимірювальних і телевимірювальних систем, програмованих контролерів автоматичного управління, контролю та попередження.

## Список літератури

1. Макаров В.В. Многоканальные измерения частотных импульсных сигналов модифицированным методом зависимого счета / В.В. Макаров, С.М. Володин // Датчики и системы. – 2004. – № 9. – С. 34-39.

2. Аналоговые электроизмерительные приборы / Е.Г. Бишард, Е.А. Киселева, Г.П. Лебедев и др. – М.: Высшая школа, 1991. – 415 с.

3. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах / Г.Я. Мирский. – М.: Радио и связь, 1984. – 452 с.

4. В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления / В.Ф. Козаченко. – М.: ЭКОМ, 1997. – 278 с.

5. Ю.В. Комп'ютерне моделювання електронних систем: Навчальний посібник / Ю.В. Шабатура, В.В. Присяжнюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 142 с.

6. Бромберг Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

7. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.

Надійшла до редколегії 20.09.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

С.Н. Власик, А.А. Наконечный, А.А. Подорожняк

*В статье исследовано и обоснованно применение модифицированного метода зависимого счета при многоканальных измерениях частотных импульсных сигналов при проведении телеизмерений разных физических величин. Полученные результаты предлагается использовать при разработке, проектировании, и изготовлении многоканальных измерителей частотных импульсных сигналов для систем централизованного контроля и предупреждения в комплексах автоматического управления технологическими процессами.*

**Ключевые слова:** метод, многоканальный измеритель частотных импульсных сигналов, измерительный канал.

## USE OF METHOD OF MULTI-CHANNEL MEASUREMENTS FREQUENCY IMPULSIVE SIGNALS FOR CONSTRUCTION OF CENTRAL CHECKING AND WARNING SYSTEMS

S.M. Vlasik, O.A. Nakonechny, A.O. Podoroznyak

*In the article it is investigational and grounded application of the modified method of dependent account at multi-channel measurements of frequency impulsive signals during the leadthrough of telemetering of different physical sizes. It is suggested to draw on the got results at development, planning, and made multi-channel measuring devices of frequency impulsive signals for the centralized checking and warning systems in the complexes of automatic control technological processes.*

**Keywords:** method, multi-channel measuring device of frequency impulsive signals, measuring channel.