
КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 621.38+621.37

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.1>

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ВИБІРКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ: АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Антипчук Б. О. – викладач першої категорії кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Житомирського агротехнічного фахового коледжу
ORCID ID: 0000-0002-1426-4782

Логвінов Г. С. – викладач вищої категорії кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Житомирського агротехнічного фахового коледжу
ORCID ID: 0000-0002-4406-3367

Лаєрищев О. О. – викладач-методист кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Житомирського агротехнічного фахового коледжу
ORCID ID: 0000-0002-0051-3039

Мельничук В. В. – викладач-методист кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Житомирського агротехнічного фахового коледжу
ORCID ID: 0000-0002-1126-9000

Дурас М. В. – викладач першої категорії кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Житомирського агротехнічного фахового коледжу
ORCID ID: 0009-0000-5810-1566

Аналогово-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) – невід’ємна складова інформаційно-вимірювальних систем, тому багато в чому обумовлюють ефективність їх роботи. Використання АЦП і ЦАП у вимірювальних системах вимагає модернізації їх аналогових і цифрових пристроїв: підсилювачів, комутаторів, фільтрів, пристроїв керування, пристроїв вибірки і зберігання тощо.

Отже, модернізація та удосконалення елементної бази АЦП і ЦАП дасть змогу виключити статичні й динамічні складові загальної похибки, оптимізуючи весь тракт вимірювального сигналу.

Саме питання вдосконалення роботи АЦП, а точніше сказати, його структурного елементу – пристрою вибірки і зберігання, є ключовим в даній роботі. В статті проводиться порівняльний аналіз роботи модернізованого, запатентованого групою авторів цієї статті пристрою [6, с. 4.22] з його прототипом, пристроєм вибірки і зберігання (ПВЗ), який широко застосовується в автоматичній, електроніці і радіотехніці [9, с. 981].

Детально дано опис принципової схеми модернізованого ПВЗ і його прототипу, вказується на недоліки в роботі вже відомого пристрою, деталізується причина цих недоліків та показано, як ці недоліки усуваються в новоствореному пристрої, а саме принципом роботи його електричної схеми: модернізований пристрій додатково забезпечений підсилювачем рівня сигналу та додатковим резистором зворотного зв’язку.

Також наведено дані процесу моделювання вже відомого і новоствореного ПВЗ в програмі EveryCircuit, на графіках якої чітко зображено якість обробленого сигналу: видно, що модернізований пристрій працює краще, тобто обробка аналогового сигналу відбувається якісніше і динамічніше, що є вкрай важливим для отримання точних даних і виключення похибки вимірювання при швидкозмінному сигналі в аналогово-цифровому перетворювачі.

Ключові слова: аналогово-цифрове перетворення, аналоговий ключ, резистор, підсилювач, інтегруючий пристрій, діод.

Antypchuk B. O., Logvinov H. S., Lavrishchev O. O., Melnychuk V. V., Duras M. V. Comparative analysis of the operation of the modernized sampling and storage device with its prototype

Analogue-to-digital converters (ADCs) and digital-to-analog converters (DACs) are an integral part of information and measurement systems, and therefore largely determine the efficiency of their operation. The use of ADCs and DACs in measuring systems requires the modernization of their analog and digital devices: amplifiers, switches, filters, control devices, sampling and storage devices, etc.

Therefore, modernization and improvement of the element base of ADC and DAC will make it possible to exclude static and dynamic components of the total error, optimizing the entire path of the measurement signal.

The very issue of improving the operation of the ADC, or rather, its structural element – the sampling and storage device, is the key in this work. The article compares the operation of the modernized device patented by the group of authors of this article [6, с. 4.22] with its prototype, the sampling and storage device (SSD), which is widely used in automation, electronics and radio engineering [9, с. 981].

A detailed description of the basic scheme of the modernized PVZ and its prototype is given, the shortcomings in the operation of the already known device are indicated, the cause of these shortcomings is detailed, and it is shown how these shortcomings are eliminated in the newly created device, namely the principle of operation of its electrical circuit: the modernized device is additionally equipped with a signal level amplifier and an additional feedback resistor.

The data of the modeling process of the already known and newly created PVZ in the EveryCircuit program are also given, the graphs of which clearly show the quality of the processed signal: it can be seen that the modernized device works better, that is, the processing of the analog signal is more qualitative and dynamic, which is extremely important for obtaining accurate data and excluding measurement errors at a rapidly changing signal in an analog-to-digital converter.

Key words: analog-to-digital conversion, analog key, resistor, amplifier, integrating device, diode.

Вступ. Широке впровадження засобів інформаційно-вимірювальної та електронно-обчислювальної техніки в наукову, виробничу, військову та соціально-побутову сфери діяльності людини сприяє розвитку науково-технічного прогресу, що, в свою чергу, розширює галузі застосування електронних систем і пристроїв, а це спонукає до вдосконалення їхніх показників. Все це також позначається на

розвитку аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП), пристроїв, які є сполучною ланкою між аналоговими сигналами фізичного світу й цифрових засобів їхнього вимірювання, реєстрації, обробки й відображення.

Вимірювання й обробка низькочастотних сигналів АЦП ставить вимоги до точності їх застосування при одночасно високих вимогах до їхньої динамічності, тому, при аналогово-цифровому перетворенні процесів, які швидко протікають, обов'язковою умовою є застосування пристроїв вибірки і зберігання (ПВЗ), які необхідні для зменшення динамічних похибок, що виникають при дискретизації безперервних сигналів, які змінюються в часі. Їхня робота основана на принципі фіксації миттєвого значення сигналу на час, необхідний до наступного перетворення в аналого-цифрових перетворювачах.

Постановка проблеми. Основними характеристиками ПВЗ є точність та динамічність (швидкодія). З урахуванням того, що прототип модернізованого ПВЗ має ряд недоліків, які впливають на якість його основних характеристик, метою при написанні статті було: по-перше, провести порівняльний аналіз роботи модернізованого [6, с. 422] та його прототипу (вже досить відомого) [9, с. 981] пристроїв вибірки та зберігання й показати, як удосконаливши електричну схему ПВЗ, можна значно зменшити або уникнути похибок вимірювання в роботі аналогово-цифрових перетворювачів; по-друге, ознайомити широке коло фахівців в галузі електроніки, автоматики та радіотехніки з запатентованим ПВЗ.

Виклад основного матеріалу. Вже відомий пристрій вибірки та зберігання (Рис. 1) містить підсилювач сигналу, аналоговий ключ, інтегруючий пристрій, два резистора завдання коефіцієнта передачі, другий із яких являє собою ланцюг зворотного зв'язку, компенсуючий резистор та ланцюг зворотного зв'язку у вигляді ємності, причому вхід пристрою підключений до першого резистора завдання коефіцієнта передачі, неінвертуючий вхід підсилювача сигналу підключений між двома резисторами завдання коефіцієнта передачі, а його інвертуючий вхід підключений до компенсуючого резистора, другий вивід якого заземлений, крім того, вхід ключа аналогового сигналу підключений до виходу підсилювача сигналу, а вихід – підключений до інвертуючого входу інтегруючого пристрою, неінвертуючий вхід якого заземлений, причому інвертуючий вхід інтегруючого пристрою та його вихід підключені до ланцюгу зворотного зв'язку у вигляді ємності, одночасно з цим вихід інтегруючого пристрою підключений до другого виводу другого резистора завдання коефіцієнта передачі, який являє собою ланцюг зворотного зв'язку, при цьому, підсилювач сигналу та інтегруючий пристрій виконані у вигляді операційного підсилювача [9, с. 981].

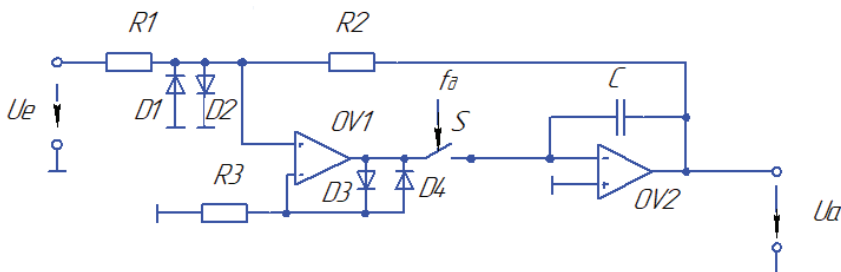


Рис. 1. Принципова схема прототипу модернізованого ПВЗ [8, с. 981]

Однак, у вже відомому пристрої вибірки та зберігання, який було описано вище, можливе перевантаження вхідного підсилювача в режимі зберігання, що негативно впливає на швидкодію та точність пристрою в цілому.

Крім того, у цьому пристрої недопущення перевантаження OV1 вирішується за допомогою діодних обмежувачів D1 та D4. Але рівень напруги обмежених діодами (для кремнієвих діодів $\pm 0,6\text{--}0,7$ В й $\pm 0,3\text{--}0,4$ В для діодів Шоткі та германієвих), є надто високим для надійного захисту операційного підсилювача OV1 від перевантажень. При цьому, слід підкреслити, що точність пристрою вибірки та зберігання буде обмежуватися діодами D1 і D2, так як вони не охоплені зворотним зв'язком і похибки, що вносяться ними, будуть накладеними на вихідний сигнал. Похибки, що вносяться зворотними струмами діодів, мають нелінійну залежність від величини вхідного сигналу і від температури навколишнього середовища. (значення зворотних струмів для кремнієвих діодів становить величину $0,1\text{--}1$ мкА, і подвоюється зі зростанням температури на 9°C). Так при зворотному струмі 1 мкА і величині резистора R1, що дорівнює 5 кОм, величина похибки становитиме 5 мВ [5, с. 3].

Під час розробки нового, модернізованого ПВЗ була поставлена задача: створити пристрій, який забезпечить надійний захист від перевантаження вхідного підсилювача у режимі зберігання з одночасним збільшенням точності цього пристрою.

Розроблена та вже існуюча електричні схеми були змодельовані в програмі EveryCircuit на визначення якості та динамічності вимірювального сигналу. При введенні однакових параметрів для обох електричних схем ПВЗ було з'ясовано, що модернізована схема працює краще: швидкість обробки інформації аналогового сигналу в цифрову форму здійснюється швидше і точніше, тобто оптимізується весь тракт проходження вимірювального сигналу (Рис. 2, 3).

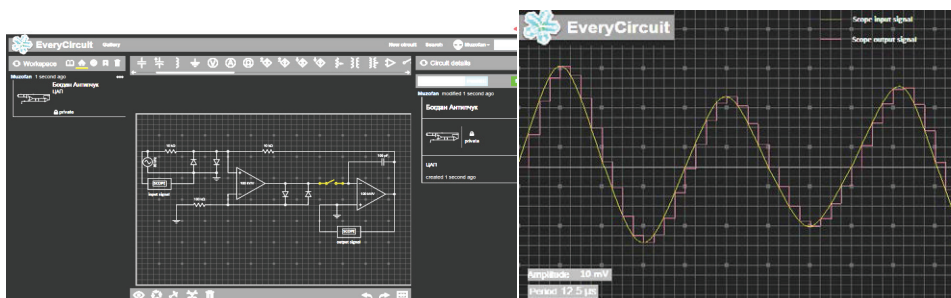


Рис. 2. Принципова схема (а) та модуляція обробленого сигналу (б) прототипом модернізованого ПВЗ

Поставлена задача при розробці модернізованого ПВЗ (Рис. 4) була вирішена за рахунок того, що в пристрої вибірки та зберігання, що містить підсилювач сигналу, аналоговий ключ, інтегруючий пристрій, два резистора завдання коефіцієнта передачі, другий із яких являє собою ланцюг зворотного зв'язку, компенсуючий резистор та ланцюг зворотного зв'язку у вигляді ємності, причому вхід пристрою підключений до першого резистора завдання коефіцієнта передачі, неінвертуючий вхід підсилювача сигналу підключений між двома резисторами завдання коефіцієнта передачі, а його інвертуючий вхід підключений до компенсуючого резистора,

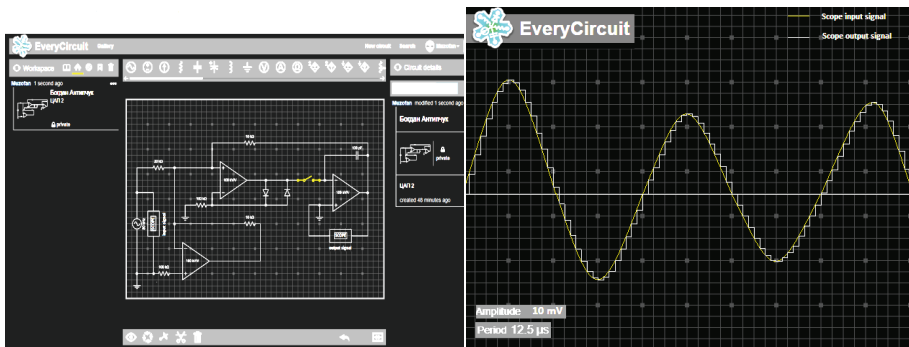


Рис. 3. Принципова схема (а) та модуляція обробленого сигналу (б) модернізованим ПВЗ

другий вивід якого заземлений, крім того, вхід ключа аналогового сигналу підключений до виходу підсилювача сигналу, а вихід – підключений до інвертуючого входу інтегруючого пристрою, неінвертуючий вхід якого заземлений, причому інвертуючий вхід інтегруючого пристрою та його вихід підключені до ланцюгу зворотного зв'язку у вигляді ємності, одночасно з цим, вихід інтегруючого пристрою підключений до другого виводу другого резистора завдання коефіцієнта передачі, який являє собою ланцюг зворотного зв'язку, відповідно до поставленої задачі, модернізований пристрій додатково забезпечений підсилювачем рівня сигналу та додатковим резистором зворотного зв'язку, причому інвертуючий вхід підсилювача рівня сигналу з'єднаний з двома резисторами завдання коефіцієнта передачі та додатковим резистором зворотного зв'язку, другий вивід якого з'єднаний з виходом підсилювача рівня сигналу, причому неінвертуючий вхід підсилювача рівня сигналу заземлений [5, с. 1–2].

Ознайомимось з принциповою схемою роботи модернізованого ПВЗ (Рис. 4): пристрій вибірки та зберігання містить підсилювач сигналу 1, інтегруючий пристрій 2, підсилювач рівня сигналу 3, виконані на базі операційних підсилювачів. Між підсилювачем сигналу 1 та інтегруючим пристроєм 2 встановлений аналоговий ключ 4. В зворотному зв'язку інтегруючого пристрою 2 встановлена ємність 5. Підсилювач сигналу 1, аналоговий ключ 4 та інтегруючий пристрій 2 охоплені зворотнім зв'язком у вигляді резистора 6. Інвертуючий вхід підсилювача сигналу 1 підключений до заземленого компенсуючого резистора 7. Підсилювач рівня сигналу 3 охоплений зворотним зв'язком у вигляді резистора 8, причому одночасно його інвертуючий вхід підключений до неінвертуючого входу підсилювача сигналу 1 та вхідного резистора 9. Неінвертуючі входи інтегруючого пристрою 2 і підсилювача рівня сигналу 3 заземлені [5, с. 5].

Пристрій, що зберігає – інтегруючий пристрій 2. У цьому випадку аналоговий ключ 4 розміщується в точці охопленій негативним зворотним зв'язком, що спрощує керування цим аналоговим ключем 4 і збільшує точність пристрою в цілому [5, с. 4].

Вихідна напруга U_a пристрою вибірки та зберігання у включеному стані повторює вхідну напругу U_e . Однак при вимкненні вихідна напруга U_a запам'ятовується, тобто відбувається стеження та запам'ятовування. Перемикання з режиму стеження в режим запам'ятовування здійснюється за зовнішнім сигналом частоти

дискретизації f_d . Тривалість режиму зберігання визначається часом, необхідним для перетворення аналого-цифровим перетворювачем отриманого миттєвого значення вхідної величини в цифрову форму.

Накопичувальна ємність 5 функціонує як запам'ятовуючий пристрій. При замкнутому аналоговому ключі 4 відбувається заряд ємності 5 до рівня вхідної напруги U_e . При розімкнутому аналоговому ключі 4 напруга на ємності 5 залишається незмінною до закінчення перетворення аналого-цифровим перетворювачем. При замкнутому аналоговому ключі 4 вихідна напруга U_a встановлюється на рівні вхідної напруги U_e помноженої на коефіцієнт, пропорційний відношенню резистора зворотного зв'язку 6 до вхідного резистора 9. Підсилювач сигналу 1, завдяки високому коефіцієнту підсилення, скорочує час інтегрування та усуває напругу зміщення інтегруючого пристрою 2 та похибку, яку вносить аналоговий ключ 4.

Коли аналоговий ключ 4 розімкнений, струм через ємність 5 припиняється, а вихідна напруга U_a зберігається незмінною. У цій ситуації загальний зворотний зв'язок розімкнений, тому підсилювач сигналу 1 може перейти в режим перевантаження (як наслідок високого коефіцієнту підсилення). Перевантаження підсилювача сигналу 1 неприпустиме, оскільки підсилювач повернеться в нормальний стан тільки через деякий час. Це обмежуватиме швидкодію всього пристрою та частоту дискретизації вхідного сигналу f_d . Додатковий підсилювач рівня сигналу 3 запобігає перевантаженню підсилювача сигналу 1 [5, с. 4].

Деякі особливості принципової схеми модернізованого ПВЗ треба враховувати при її реалізації [5, с. 4]:

по-перше, для збереження коефіцієнта передачі рівного одиниці номінал резистора 9 вибирають в два рази менше кожного із резисторів 6 і 8, оскільки при замкнутому аналоговому ключі 4 резистори 6 і 8 вважаються включеними паралельно;

по-друге, напругу живлення U_e додаткового інтегруючого пристрою 2 вибирають в 2 рази більшою за вхідний сигнал $\pm 2V$, що необхідно у зв'язку з тим, що при розімкнутому аналоговому ключі 4 діапазон вихідної напруги підсилювача рівня сигналу 3 буде вдвічі вищим, порівняно з часом, коли аналоговий ключ 4 замкнутий.

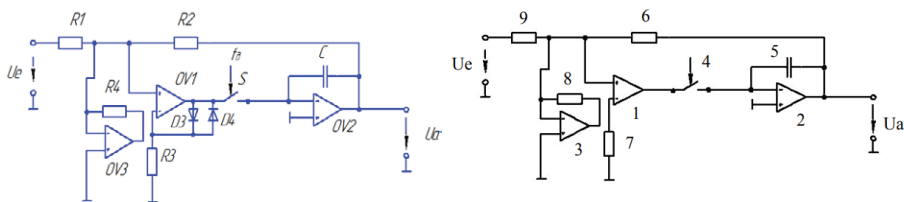


Рис. 4. Принципова схема модернізованого ПВЗ

Слід зауважити, що у модернізованому ПВЗ кожний із пристроїв у вигляді підсилювача сигналу, інтегруючого пристрою та підсилювача рівня сигналу може бути виконаний як операційний підсилювач.

Додаткове забезпечення модернізованого ПВЗ підсилювачем рівня сигналу та додатковим резистором зворотного зв'язку, причому з'єднання інвертуючого входу підсилювача рівня сигналу з двома резисторами завдання коефіцієнта передачі

та додатковим резистором зворотного зв'язку, з'єднання другого виводу якого з виходом підсилювача рівня сигналу, причому заземлення неінвертуючого входу підсилювача рівня сигналу, дозволяє уникнути можливої ситуації перевантаження вхідного підсилювача в режимі зберігання. Таким чином введення додаткового підсилювача рівня сигналу з резистором в негативному зворотному зв'язку, вхід якого включений в точку «віртуального нуля» підсилювача сигналу, дає можливість в режимі зберігання забезпечувати низький рівень сигналу на рівні десятків мікрвольт завдяки зворотному зв'язку додаткового операційного підсилювача, рівень цієї напруги залежить від рівня вхідного сигналу та коефіцієнта посилення додаткового підсилювача рівня сигналу без зворотного зв'язку [5, с. 3].

Висновок. Застосування модернізованого ПВЗ дозволяє забезпечити наступний технічний результат [5, с. 4]:

- забезпечується більш надійний захист від перевантаження вхідного підсилювача і як наслідок цього, більша швидкодія приладу в цілому;
- підвищується точність пристрою за рахунок відсутності обмежуючих діодів і похибок, які вносяться ними;
- забезпечується низький рівень сигналу на вході підсилювача в режимі зберігання, при чому цей сигнал не буде більшим порівняно з сигналом у режимі вибірки.

Крім того:

- забезпечується підвищена надійність зберігання інформації пристроєм вибірки та зберігання;
- підвищується конкурентноздатність приладу, що використовує даний пристрій вибірки та зберігання.

Запропонований модернізований ПВЗ може бути використаний в аналогово-цифрових системах автоматизованих виробничих процесів та у вимірювальній техніці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Азаров О. Д., Снігур А. В. Багатоканальні ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів на базі АЦП із ваговою надлишковістю : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 138 с.
2. Азаров О. Д., Фігас О. С. Високолінійна система аналог-код-аналог з ваговою надлишковістю на базі перетворення струмів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2022. № 2. С. 68–73.
3. Бичков В. С., Мрачковський О. Д., Правда В. І. Сучасні пристрої оптимальної фільтрації для активної радіолокаційної системи. *Вісник Національного технічного університету України "КПІ"*. Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2006. № 33. С. 39–46.
4. Крупельницький Л. В., Азаров О. Д. Аналогово-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / під заг. ред. О. Д. Азарова. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 167 с.
5. Опис до патенту на корисну модель №154251 UA. URL: <https://iprop-ua.com/inv/pdf/02gyrr2g-pub-description.pdf>
6. Патент на КМ 154251 UA, МПК G11C 27/02 (2006.01) Пристрій вибірки та зберігання / Г. С. Логвінов, О. О. Лаврішев, Б. О. Антипчук, М. В. Дурас, В. В. Мельничук. № u 2023 01581 ; заявл. 11.04.2023 ; опубл. 25.10.2023, Бюл. № 43 (кн. 1), 2023 р. С. 4.22.
7. Рубан В. П. Адаптоване стробоскопічне перетворення відео імпульсних сигналів у радіолокаційних системах : дис... канд. фіз.-мат. наук : 01.04.01. Харків, 2020. 182 с.

8. Рудик А. В., Рудик В. А., Матей М. І. Пристрої для вимірювання шумів операційних підсилювачів. *Вісник інженерної академії наук*. 2020. № 1. С. 121–125.

9. Tietze Ulrich, Schenk Christoph. Halbleiter-Schaltungen / unter mitarbeit von E. Gamm. Ausgabe 12. Berlin : Springer ; New York : Heidelberg, 2002. S. 981.

REFERENCES:

1. Azarov, O. D., & Snihur, A. V. (2008). Bahatokanalni IVS opratsiuvannia srybkopodibnykh syhnaliv na bazi ATsP iz vahovoiu nadlyshkovistiю [Multi-channel IBS processing of hopping signals based on ADC with weight redundancy]: monohrafiia. Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia [in Ukrainian].

2. Azarov, O. D., & Fihias, O. S. (2022). Vysokoliniina systema analog-kod-analog z vahovoiu nadlyshkovistiю na bazi peretvorennia strumiv [Highly linear analog-code-analog system with weight redundancy based on current conversion]. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. (Num. 2), (pp. 68-73) [in Ukrainian].

3. Bychkov, V. S., & Mrachkovskiy, O. D., & Pravda, V. I. (2006). Suchasni prystroi optymalnoi filtratsii dlia aktyvnoi radiolokatsiinoi systemy [Modern optimal filtering devices for an active radar system]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "KPI"*. Seriia: Radiotekhnika. Radioaparaturbuduvannia. (Num. 33), (pp. 39-46) [in Ukrainian].

4. Krupelnyskiy, L. V., & Azarov, O. D. (2005). Analogovo-tsyfrovii prystroi system, shcho samokoryhuiutsia, dlia vymiriuvan i obrobliannia nyzkochastotnykh syhnaliv [Analog-digital devices of self-correcting systems for measuring and processing low-frequency signals]: monohrafiia / pid zah. red. O. D. Azarova. Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia [in Ukrainian].

5. Opys do patentu na korysnu model №154251 UA [Description to a utility model patent №154251 UA]. URL: <https://iprop-ua.com/inv/pdf/02gyrr2g-pub-description.pdf> [in Ukrainian].

6. Lohvinov, H. S., & Lavrishchev, O. O., & Antypchuk, B. O., & Duras, M. V., & Melnychuk, V. V. (2023). Prystrii vybirky ta zberihannia [Sampling and storage device]: patent na KM 154251 UA, MPK G11C 27/02 (2006.01) № u 2023 01581; zaiavl. 11.04.2023; opubl. 25.10.2023, Biuleten. № 43 (kn. 1), (p. 4.22) [in Ukrainian].

7. Ruban, V. P. (2020). Adaptovane stroboskopichne peretvorennia video impulsnykh syhnaliv u radiolokatsiinykh systemakh [Adapted stroboscopic conversion of video pulse signals in radar systems]: dys... kand. fiz.-mat. nauk : 01.04.01. Kharkiv [in Ukrainian].

8. Rudyk, A. V., & Rudyk, V. A., & Matei, M. I. (2020). Prystroi dlia vymiriuvannia shumiv operatsiinykh pidsyliuvachiv [Devices for measuring the noise of operational amplifiers]. *Visnyk inzhenernoi akademii nauk*. (Num. 1), (pp. 121-125) [in Ukrainian].

9. Tietze Ulrich, Schenk Christoph (2002). Halbleiter-Schaltungen [Semiconductor circuitry] / unter mitarbeit von E. Gamm. Ausgabe 12. Berlin : Springer ; New York : Heidelberg, (s. 981) [in German].