

УДК 519.87:316.458.6

В.Б. Кононов, О.А. Кононова, В.В. Кірвас, С.В. Лозинська

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ НИЗЬКИХ ЧАСТОТ

Предметом вивчення в статті є цифрові частотоміри миттєвих значень, що використовуються в контрольно-перевірочній апаратурі метрологічних ремонтно-відновлювальних груп, які залучаються до проведення антитерористичної операції та процеси їх експлуатації. Метою статті є дослідження процесу вимірювання низьких частот за допомогою цифрових частотомірів миттєвих значень. Задача, що вирішується, – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких в практику вимірювання дозволить підвищити точність вимірювання низьких частот, що використовуються при обробці радіолокаційної інформації. В статті розглядається: структурна схема частотоміра миттєвих значень із використанням суматора; часова діаграма роботи частотоміра без синхронізації моменту початку виміру; структурна схема частотоміра миттєвих значень із використанням цифро-аналогового перетворювача. Висновки: запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих цифрових частотомірів миттєвих значень, так і при створенні перспективних зразків контрольно-перевірочної апаратури.

Ключові слова: низькі частоти, цифрові частотоміри миттєвих значень, суматор, тригер.

Вступ

Постановка задачі. Зростання складності зразків озброєння та військової техніки підрозділів радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України обумовлено розширенням кола задач, які ними вирішуються в зоні проведення антитерористичної операції, з одночасним підвищенням вимог до забезпечення єдності вимірювань параметрів, що забезпечується силами виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп, які діють в зоні антитерористичної операції. На етапі експлуатації зразків озброєння та військової техніки підрозділів радіотехнічних військ використовується контрольно-перевірочна апаратура (КПА). У складі КПА є цифрові частотоміри миттєвих значень, що використовуються при повірці й контролю різноманітних параметрів зразків озброєння та військової техніки підрозділів радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України в зоні антитерористичної операції. Дослідження вимірювання низьких частот, за допомогою цифрових частотомірів миттєвих значень, визначає актуальність питання визначення методів та засобів, описом якого й присвячена стаття.

Аналіз літератури. Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції, викладено в наказах [1–3], в статтях [4; 11], літературі [8–10] та інструкції [12]. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості викладено в статті [5]. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення викладено в статті

[6]. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО викладені в літературі [7]. Нажаль в джерелах [1–12] питання, які пов'язані з процесом вимірювання низьких частот за допомогою цифрових частотомірів миттєвих значень в зразках озброєння та військової техніки військових частин та підрозділів радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України, що залучаються до проведення антитерористичної операції, не розглядалися.

Метою статті є дослідження процесу вимірювання низьких частот за допомогою цифрових частотомірів миттєвих значень, силами виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп, які залучаються до проведення антитерористичної операції.

Основний матеріал

Обслуги метрологічних ремонтно-відновлювальних груп, які залучаються до повірки озброєння та військової техніки радіолокаційної станції підрозділу радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України, що дислокується в зоні проведення антитерористичної операції у складі КПА мають цифрові частотоміри. Цифрові частотоміри є високоточними, багатofункціональними вимірювальними приладами, різновидом яких є частотоміри миттєвих значень, де вимірюється період, а значення частоти визначається як величина, зворотна вимірюваному періоду. Отримане в такий спосіб значення частоти ставиться до моменту часу, що збігає з кінцем періоду. Час вимірювання для таких приладів утворюється із часу виміру періоду й часу перетворення результату в одиницях періоду в результаті в одиницях частоти. Як відомо, час виміру періоду не перевищує двох тривалостей періоду

$$t_{\text{вим}} = 2T_x + t_{\text{пр}}, \quad (1)$$

де $T_x = 1/f_x$ – період вимірюваної частоти, результату виміру.

Частотоміри, що вимірюють період, мають назву миттєвих значень, в них не потрібно підраховувати тисячі й десятки тисяч періодів вимірюваної частоти, як у частотомірах середніх значень. Тому загальний час виміру миттєвих значень виявляється меншим у порівнянні з часом вимірювання середніх значень. Це й визначило основне призначення таких приладів - вимір низьких й інфранизьких частот.

Всі відомі схеми цифрових частотомірів миттєвих значень, що вимірюють період, відрізняються між собою принципами побудови пристрою перетворення результату виміру в одиницях періоду в результат в одиницях частоти. Визначення значення вимірюваної частоти в загальному випадку виробляється шляхом розподілу деякого постійного числа N_0 на число N_T пропорційне періоду досліджуваного сигналу, що впливає з наступного очевидного співвідношення, або в числі імпульсів:

$$N_f N_T = N_0, \quad (2)$$

де N_f – число імпульсів, пропорційне частоті f_x .

Розглянемо цифровий частотомір, миттєвих значень, де використовується суматор. Структурна схема такого частотоміра представлена на рис. 1.

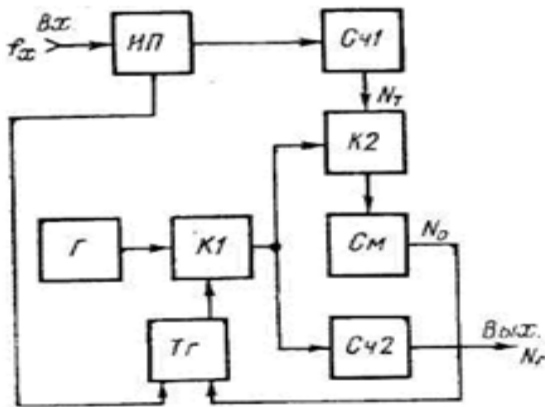


Рис. 1. Структурна схема частотоміра миттєвих значень із використанням суматора

Вимірювана частота надходить на вхід вимірювача періоду з лічильником на виході. Вимірюється період. Результат виміру періоду накопичується в лічильнику Сч1. По команді кінця виміру періоду імпульсом від вимірювача періоду тригер перемикається в положення «1», у результаті чого відкривається ключ К1. Імпульси з генератора Г через відкритий ключ К1 починають надходити на стробуючі входи ключів К2 і одночасно на лічильник Сч2. Із приходом кожного імпульсу на стробуючий вхід ключів К2 число N_T записується в суматор СМ. Підсумовування відбувається доти, поки не буде набране число, що перевищує число, після чого імпульсом з виходу суматора тригер Тг перемкнеться у

вихідний стан, закінчивши процес перетворення відліку в одиницях періоду у відлік в одиницях частоти. Результат виміру N_f накопичується в лічильнику Сч2. Тимчасова діаграма роботи описаної схеми (рис. № 2.) показує, що відсутність

$$T_0 = NT_x = N/f_x = T_0 + \Delta t_1 - \Delta t_2 \quad (3)$$

синхронізації початку й кінця зразкового проміжку часу T_0 з імпульсами f_x приводить до появи похибки виміру частоти, абсолютна величина якої визначається значеннями Δt_1 і Δt_2 .

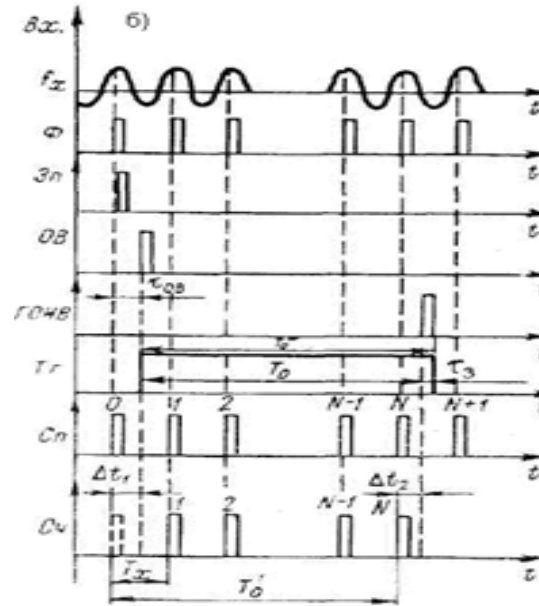


Рис. 2. Часова діаграма роботи частотоміра без синхронізації моменту початку виміру

Фактично час виміру дорівнює:

$$N = T_0 f_x + (\Delta t_1 - \Delta t_2) / T_x. \quad (4)$$

Інтервали Δt_1 й Δt_2 можуть змінюватися незалежно один від одного, приймаючи з рівною ймовірністю значення від 0 до T_x . В цьому випадку максимальна відносна похибка, обумовлена відсутністю синхронізації, буде

$$\gamma_d = 1/N = 1/(T_0 f_x). \quad (5)$$

Похибка γ_d має назву похибки дискретності. Іншої складової похибки є похибка, що обумовлена збільшенням часу T_0 до величини T_0'' , яка обумовлена затримкою τ_3 спрацьовування елементів схеми, розташованих між ГЗІЧ і лічильником Сч (у цьому випадку тригер Тг і схема збігу Сп). Вираз цієї похибки має вигляд:

$$\gamma_3 = \tau_3 / T_0 = \tau_3 f_x / (T_0 f_x) = \gamma_d \tau_3 f_x. \quad (6)$$

Розглянемо похибку виміру частоти в схемі на рис. 1. Вона складається із двох складових – похибки виміру періоду γ_T й похибки перетворення $\gamma_{пр}$

$t_{np} = 10$ мсек. Слід зазначити, що при використанні такої високої частоти f до швидкодії ключів у резистивної матриці РМ2 пред'являються досить тверді вимоги.

Похибка виміру для даної схеми (рис. 3) утворюється з похибки виміру періоду й похибки перетворення. Причому похибка перетворення визначається похибкою цифро-аналогових перетворювачів і пристрою, якій порівнюється, а також стабільністю джерел напруг $E_{шт}$ і U_0 . Недоліком схеми є необхідність використання в ній аналогових вимірювальних пристроїв.

Для перетворювача відліку в одиницях періоду у відлік в одиницях частоти може бути використаний цифровий інтегратор.

Як відомо, цифровий інтегратор з послідовним переносом включає регістр інтегральної функції зі схемами збігу на виході кожного з розрядів, дільник частоти, імпульсами з виходів якого запитуються названі вище схеми збігу, і лічильник результату інтегрування, на вхід якого підключені через збірну схему виходи всіх схем збігу. Зчитування інтегральної функції виробляється шляхом послідовного опитування імпульсно-потенційних схем збігу імпульсами з відповідних розрядів дільника частоти. Причому виходи розрядів останнього комбінуються так, щоб жодна пара імпульсів з виходів будь-яких двох розрядів не збігалася в часі. Середня частота імпульсів на виході збірної схеми визначається виразом:

$$f_{сб} = fN_1A^n, \quad (18)$$

де N_1 , – число, записане в регістрі; n – число розрядів регістра й дільника частоти; A – основа системи числення.

За час інтегрування t у лічильнику накопичується число

$$N_2 = \int_0^t f_{сб} dt = \frac{N_1}{A^n} ft. \quad (19)$$

У цьому випадку на виході збірної схеми формується послідовність імпульсів із щільністю, обумовленою інтегральною функцією, записаної в регістр, частотою f , що надходить на вхід дільника частоти, і кількістю розрядів останнього й регістра.

Висновки

1. В статті досліджено вимірювання низьких частот, за допомогою цифрових частотомірів миттєвих значень, силами виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп, які залучаються до проведення антитерористичної операції.

2. При вимірюванні низьких частот доцільно використовувати цифровий частотомір, миттєвих значень, де використовується суматор.

3. Відсутність синхронізації початку й кінця зразкового проміжку часу T_0 з імпульсами f_x приводить до появи похибки виміру частоти.

4. Похибку виміру частоти складається із двох складових – похибки виміру періоду γ_T й похибки перетворення γ_{np} .

5. Для перетворення відліку в одиницях періоду у відлік в одиницях частоти запропоновано використовувати цифро-аналоговий перетворювач.

6. Похибка виміру для даної схеми з використанням цифро-аналоговий перетворювач утворюється з похибки виміру періоду й похибки перетворення. Причому похибка перетворення визначається похибкою цифро-аналогових перетворювачів і пристрою, якій порівнюється, а також стабільністю джерел напруг $E_{шт}$ і U_0 .

7. Для перетворювача відліку в одиницях періоду у відлік в одиницях частоти доцільно використовувати цифровий інтегратор.

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України від 24.05.2017 № 288 “Про затвердження Положення про метрологічну службу Міністерства оборони України та Збройних Сил України”.
2. Наказ Міністра оборони України від 18.01.2010 № 12 “Про затвердження Концепції розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року”.
3. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації від 14.05.2007 № 2 “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України”.
4. Кононов В.Б. Метрологічне забезпечення у сфері оборони в умовах проведення антитерористичної операції / В.Б. Кононов, С.А. Копашинський, О.В. Коваль // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХНУПС, 2017. – № 4(53). – С. 144-147.
5. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. – Вип. 1 (147). – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 88-92.
6. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення / В.Б. Кононов // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ ХАИ. – 2011. – № 8 (85). – С. 231-234.

7. Основи експлуатації засобів виміральної техніки військового призначення в умовах проведення АТО: навч. посіб. / В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Водолажко, О.В. Коваль, І.І. Кондрашова. – Х.: ХНУПС, 2017. – 288 с.
8. Швець С.В. Вимірвальні системи та комплекси спеціального призначення: навч.-метод. посіб. / С.В. Швець, С.В. Рудаков, Ю.П. Шамаєв. – Х.: ХУПС, 2006. – 87 с.
9. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1: навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
10. Кузнецов І.Б. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування: навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
11. Удосконалення парку пересувних лабораторій виміральної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем / І.Б. Кузнецов, В.Т. Марценківський, О.В. Ярошенко, О.В. Буяло, В.О. Проценко // Збірник наукових праць Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2011. – Вип. 32. – С. 33-46.
12. Інструкція з організації роботи виїзних метрологічних груп метрологічних частин, затверджена начальником Центрального управління метрології і стандартизації – головним метрологом ЗС України від 09.10.2006.

References

1. The order of the Ministry of Defense of Ukraine from 24.05.2017 № 288 (2017), “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro metrolohichnu sluzhbu Ministerstva oborony Ukrainy ta Zbroinykh Syl Ukrainy” [About approval of the Provision on metrological service of the Ministry of Defence of Ukraine and Armed Forces of Ukraine].
2. The order of the Minister of Defense of Ukraine from 18.01.2010 № 12 (2010), “Pro zatverdzhennia Kontseptsii rozvytku systemy metrolohichnoho zabezpechennia u sferi oborony na period do 2015 roku ta na perspektyvu do 2025 roku” [About approval of the Concept for the development of the metrological support system in the field of defense for the period up to 2015 and for the perspective up to 2025].
3. The order of the Head of the Central Department of Metrology and Standardization from 14.05.2007 № 2 (2007), “Pro zatverdzhennia Kerivnystva z orhanizatsii vyrobnychoi diialnosti viiskovykh metrolohichnykh laboratorii v Ministerstvi oborony Ukrainy ta Zbroinykh Sylakh Ukrainy” [About approval of the Manual for the organization of production activities of military metrology laboratories in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine].
4. Kononov, V.B., Kopashynskiy, S.A. and Koval, O.V. (2017), “Metrolohichne zabezpechennia u sferi oborony v umovakh provedennia antyterrorystychnoi operatsii” [Metrological support in the field of defense in the context of the antiterrorist operation], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4(53), KNAFU, Kharkiv, pp. 144-147.
5. Kononov, V.B. and Burtseva, V.V. (2017), “Matematychni modeli vyznachennia kilkosti zamovlen na harantovane metrolohichne obsluhovuvannia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki z urakhuvanniam yikh vazhlyvosti” [Mathematical models for determination of the number of orders for guaranteed metrological maintenance of weapons and military equipment samples taking into account their importance of Information processing systems], *Information Processing Systems*, No. 1 (147), KNAFU, Kharkiv, pp. 88-92.
6. Kononov, V.B. (2011), “Metodyka prohozuvannia mozhyvosti metrolohichnykh pidrozdiliv z vidnovlennia poskodzhennykh zasobiv vymiriualnoi tekhniki viiskovoho pryznachennia” [Methodology of forecasting of possibilities of metrological units for the repair of damaged measuring equipment of military purpose], *Aerospace technology*, No. 8 (85), KHAU, Kharkiv, pp. 231-234.
7. Kononov, V.B., Naumenko, A.M., Vodolazhko, O.V., Koval, O.V. and Kondrashova, I.I. (2017), “Osnovy ekspluatatsii zasobiv vymiriualnoi tekhniki viiskovoho pryznachennia v umovakh provedennia ATO” [Fundamentals of Operation of Means of Measuring Equipment for Military Purposes under the conditions of ATO], KNAFU, Kharkiv, 288 p.
8. Shvec, S.V., Rudakov, S.V. and Shamaev, Y.P. (2006), “Vymiriualni systemy ta komplekxy spetsialnoho pryznachennia” [Measuring systems and special-purpose complexes], KAFU, Kharkiv, 87 p.
9. Kusnetsov, I.B. and Yablonskiy, P.M. (2009), “Orhanizatsiia metrolohichnoho zabezpechennia viisk (syl)” [Organization of metrological support of troops (forces)], P. 1, NUOU, Kyiv, 356 p.
10. Kusnetsov, I.B. and Yaroshenko, O.V. (2009), “Orhanizatsiia zastosuvannia peresuvnykh zasobiv metrolohichnoho obsluhovuvannia” [Organization of the using of mobile metrological services], NUOU, Kyiv, 356 p.
11. Kusnetsov, I.B. Martcenkivskiy, V.T., Yaroshenko, O.V., Buyalo, O.V. and Protsenko, V.O. (2011), “Udoskonalennia parku peresuvnykh laboratorii vymiriualnoi tekhniki yak fактор pidvyshchennia operatyvnosti ta efektyvnosti metrolohichnoho obsluhovuvannia skladnykh system” [Improvement of park of mobile laboratories of measuring technique as a factor of increasing efficiency and efficiency of metrological service of complex systems] // *Collection of scientific works of Kyiv national university named Tarasa Shevchenka*. No. 32, The Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kiev, Kyiv, pp. 33-46.
12. Head of the Central Department of Metrology and Standardization – the main metrologist of the Armed Forces of Ukraine, (2006), “Instruktsiia z orhanizatsii roboty vyiznykh metrolohichnykh hrup metrolohichnykh chastyn” [Instruction of the organization of work of the visiting metrological groups of metrological units].

Надійшла до редколегії 14.07.2017
Схвалена до друку 7.09.2017

Відомості про авторів:

Кононов Володимир Борисович

доктор технічних наук професор,
начальник кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9946-5056>
e-mail: aveprofessor@gmail.com

Кононова Олена Анатоліївна

науковий співробітник наукового центру
Повітряних Сил Харківського національного
університету Повітряних Сил імені
Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6251-9495>
e-mail: 7adonya0@gmail.com

Кірвас Валерія Вікторівна

науковий співробітник
науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5310-6587>
e-mail: lera.kirvas@gmail.com

Лозинська Світлана Василівна

курсант Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6267-1163>
e-mail: malecha.eea@gmail.com

Information about the authors:

Kononov Vladimir

Doctor of Technical Science Professor
Chief of the Department of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9946-5056>
e-mail: aveprofessor@gmail.com

Kononova Helen

Research Associate
of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6251-9495>
e-mail: 7adonya0@gmail.com

Kirvas Valeriya

Research Associate
of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5310-6587>
e-mail: lera.kirvas@gmail.com

Lozinska Svetlana

cadet of Air Force of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6267-1163>
e-mail: malecha.eea@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НИЗКИХ ЧАСТОТ

В.Б. Кононов, Е.А. Кононова, В.В. Кирвас, С.В. Лозинская

Предметом изучения статьи являются цифровые частотомеры мгновенных значений, используемые в контрольно-измерительной аппаратуре метрологических ремонтно-восстановительных групп, используемых при проведении антитеррористической операции и процессы их эксплуатации. Целью статьи является исследование процесса измерения низких частот при помощи цифровых частотомеров мгновенных значений. Задачей является обоснование технических решений, внедрение которых в практику измерений позволит повысить точность измерения низких частот, используемых при обработке радиолокационной информации. В статье рассматривается: структурная схема частотомера мгновенных значений с использованием сумматора; часовая диаграмма работы частотомера без синхронизации момента начала измерения; структурная схема частотомера мгновенных значений с использованием цифро-аналогового преобразователя. Выводы: предложенные технические решения целесообразно использовать как при модернизации существующих цифровых частотомеров мгновенных значений, так и при разработке перспективных образцов контрольно-измерительной аппаратуры.

Ключевые слова: низкие частоты, цифровые частотомеры мгновенные значения, сумматор, триггер.

MEASUREMENT RESEARCH OF LOW FREQUENCIES

V. Kononov, H. Kononova, V. Kirvas, S. Lozinska

The subject of the study of the article are digital frequency meters of instantaneous values used in the control and measuring equipment of the metrological repair and restoration groups used in the conduct of the antiterrorist operation and the processes of their exploitation. The purpose of the article is to study the process of measuring the low frequencies using digital frequency meters of instantaneous values. The task is to substantiate technical solutions, the introduction of which in the practice of measurement will overcome the accuracy of measuring the low frequencies used in the processing of radar information. The article deals with: the block diagram of the frequency meter of the instantaneous values using the summator; hour frequency diagram of the frequency meter without synchronization of the instant of measurement start; the block diagram of the frequency converter of instantaneous values using a digital-to-analog converter. Conclusions: it is advisable to use the proposed technical solutions both during modernization of existing digital frequency meters of instantaneous values and in the development of perspective samples of control and measuring equipment.

Keywords: low frequencies, digital frequency meters of instantaneous values, adder, trigger.