

О.М. Чекунова, С.В. Женжера, Я.Ю. Старусьов, Л.Г. Гордєєва

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

## ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РАДІОСТАНЦІЇ ДКМХ-МХ ДІАПАЗОНУ

У роботі запропоноване технічне рішення побудови цифрового СЧ, що дозволило зменшити час входу системи в синхронізм, спростило технічну реалізацію блоку ДОЧ та другого гетеродина, а також вдосконалення системи автонастройки антенно-погоджуючого пристрою, що дало змогу використовувати малий інтервал часу на настроювання десяти фіксованих частот та передача сигналу з високим коефіцієнтом корисної дії.

**Ключові слова:** синтезатор частоти (СЧ), датчик опорних частот (ДОЧ), дробний дільник із змінним коефіцієнтом ділення (ДДЗКД), антенно-погоджуючий пристрій (АПП), датчик модуля (ДМ), датчик фази (ДФ).

### Вступ

**Постановка проблеми.** Важливими тенденціями розвитку систем зв'язку є освоєння високих частот та перехід до використання складних сигналів для створення нових перспективних радіотехнічних систем з підвищеною швидкістю та досягнення високої оперативності, швидкості налаштування та випромінювання з більш високим коефіцієнтом корисної дії, що потребує, відповідно, удосконалення систем синтезу частот та системи управління за рахунок антенно-погоджуючих пристроїв.

Застосування методів цифрового синтезу частот дозволяє значно покращити технічні характеристики РЕЗ: в радіомовленні та телебаченні – покращити якість звукових та телевізійних сигналів, в радіолокації – підвищити пропускну здатність по дальності та по швидкості, в навігації та радіопеленгації – зменшити помилки визначення координат об'єкту, в радіозв'язку – покращити швидкодію, скритність та надійність сеансу зв'язку.

Використання автоматизованого налаштування АПП замість ручного дозволить підвищити оперативність управління та швидкість налаштування при мінімальній витраті часу. За прототип обрано радіостанцію Р-161А-2М, яка ефективно забезпечує оперативний інформаційний обмін на віддаленні її від лінії бойового зіткнення в радіомережах штабу АТО з пунктами управління оперативних командувань і штабами ПС, а також в радіомережах за межами АТО, через недостатню кількість та велику коштовність більш сучасних радіостанцій типу Harris. Тому запропоновані шляхи її удосконалення є вкрай актуальні.

В даній статті запропоновано розробку цифрового синтезатора частоти та антенно-погоджуючого пристрою, в яких було використано дробний дільник з змінним коефіцієнтом ділення (ДДЗКД) та датчик модуля (ДМ), датчик фази (ДФ).

**Метою статті** є підвищення швидкодії синтезатора частоти за рахунок використання цифрової

елементної бази та вдосконалення антенно-погоджуючого пристрою з використанням датчика модуля та датчика фази.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В публікації [1] запропоновано аналіз принципів побудови швидкодіючих синтезаторів частот на основі систем фазової синхронізації.

В монографіях [2–3] реалізовано технічні рішення побудови систем імпульсно-фазової автопідстройки в пристроях синтезу і стабілізації частоти.

В посібнику [4] розглянуто принцип роботи антенно-погоджуючого пристрою з використанням датчика модуля та датчика фази.

В роботах проаналізовані напрямки розвитку та вдосконалення засобів радіозв'язку військового призначення.

### Виклад основного матеріалу

В системах фазового автопідстроювання частоти, які становлять основу синтезатора частот, одним з методів підвищення швидкодії є заміна аналогових елементів на цифрові. На рис. 1 наведена структурна схема моделі цифрового синтезатора частоти, що дає змогу скоротити час входу в синхронізм на 20 %.

При реалізації даної моделі застосування логічних ІМС дозволило майже повністю виключити перетворення частоти генератора, керованого напругою (далі – ГКН), замінивши перетворювачі (ЗМ1, ЗМ2 та ЗМ3) на ДДЗКД.

ДДЗКД призначений для ділення частоти слідування імпульсів. Сучасні ДДЗКД забезпечують стійку роботу на частотах 20...30 МГц. Діапазон роботи 6-ти ГКН радіостанції складає 42,6...72,6 МГц. Тому для формування сітки частот у більш високо-частотному діапазоні необхідно понижувати частоту слідування імпульсів, які надходять на ДДЗКД. Це можливо шляхом попереднього перетворення частоти ГКН в сторону пониження. З цієї метою до схеми було введено ЗМ, який понижує частоту кожного

з діапазонів 6-ти ГКН на 45, 35, 25 або 15 МГц, що дає можливість забезпечити стійку роботу ДДЗКД.

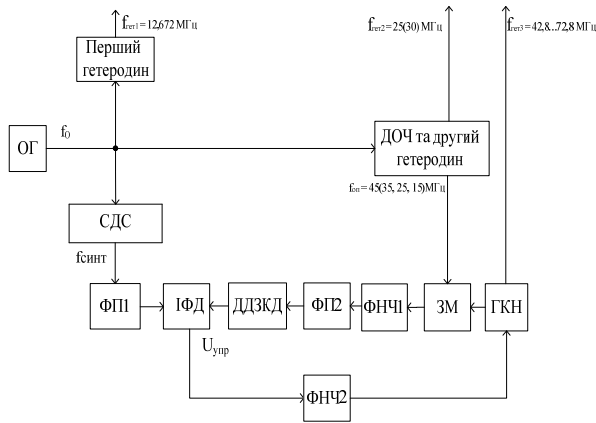


Рис. 1. Структурна схема цифрового синтезатора частоти

Одним із важливих параметрів, що представляють особливий інтерес для практики, є час входження в синхронізм (час захоплення).

Чисельні розрахунки часу входження в синхронізм цифрового СЧ  $T_c = TC1$  в порівнянні із часом входження в синхронізм системи в початковому стані  $T_c = TC2$  представлені на рис. 2.

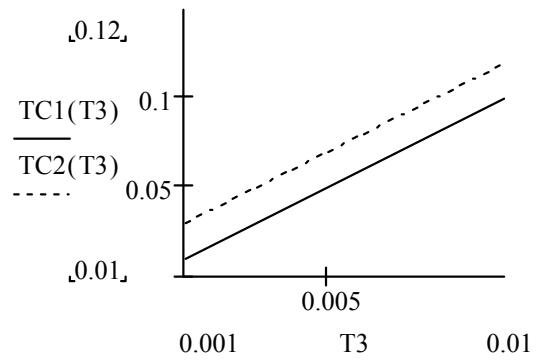


Рис. 2. Порівняльна чисельна оцінка часу входження в синхронізм

Можна зробити висновок, що в порівнянні із системою в початковому стані час входження в синхронізм більший до 20 % у порівнянні із розробляемою системою і залежить від вибору параметра пропорційно-інтегруючого фільтру основного кола зворотного зв'язку за фазою.

Управління органами налаштування АПП виконується вручну, а це не відповідає умові адаптації. Тому розроблена структурна схема удосконаленого АПП (рис. 3), яка дозволяє як вручну, так і автоматично налаштовувати АПП з мінімальними витратами часу.

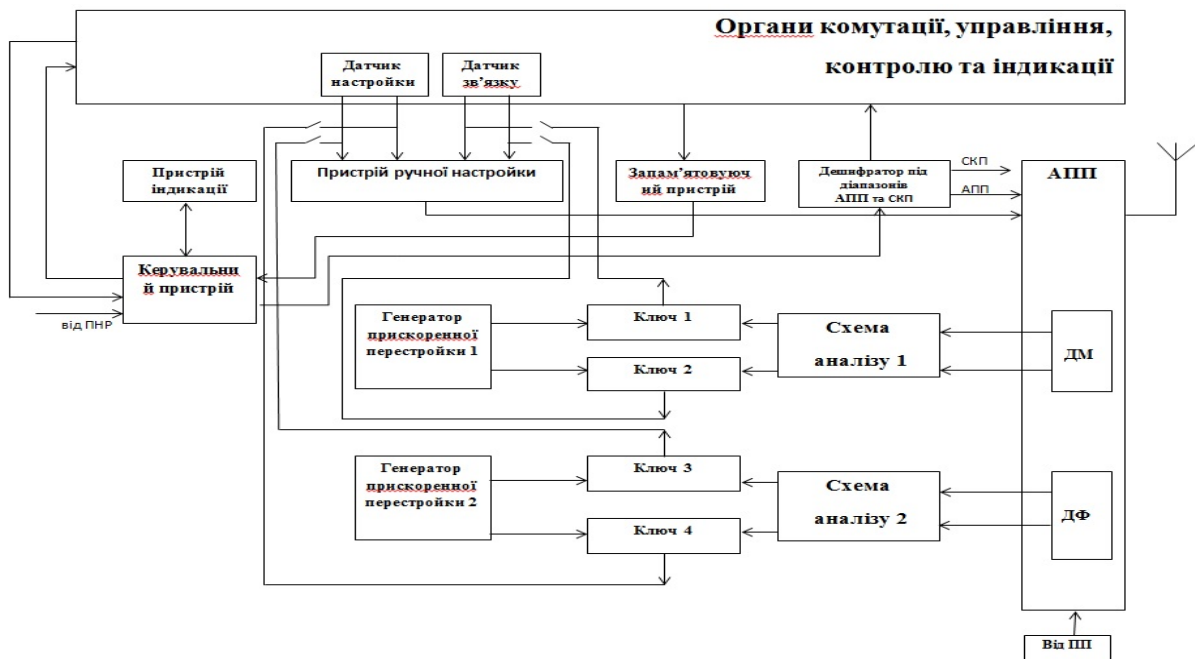


Рис. 3. Структурна схема удосконаленого АПП

Налаштування АПП проводиться завчасно з зафіксуванням настройки на одній з десяти завчасно підготовлених частотах.

До складу блоку управління входять:

- керуючий пристрій;
- запам'ятовуючий пристрій;
- пристрій ручної настройки;
- дешифратор АПП;

– органи комутації, управління, контролю та індикації.

Для автоматичного налаштування АПП до блока управління під'єднано ДМ та ДФ, принцип роботи якого було розглянуто в радіостанції Р-857.

Настроювання відбувається наступним чином: при переключенні перемикача «ручне-автоматичне» у положення «автоматичне», при невиконанні умови

узгодження з виходу ДМ та ДФ на вхід схеми аналізу, яка складається із компаратора, який здійснює аналіз вихідної напруги ДФ та ДМ. В результаті на виході формується керуюча напруга (позитивна чи негативна), яка здійснює керування настройкою АПП. Схема аналізу призначена для управління ключами 1, 2, 3, 4 та утримує їх в запертому положенні до тих пір поки ДМ та ДФ буде формувати керуючу напругу.

Замикання ключів імітують підключення до схеми генератора прискореної перестройки, який вже існує в АПП радіостанції Р-161А2-М. Цей генератор формує імпульси аналогічні імпульсам, які надходять від обтюратора, але з частотою 200 Гц.

Ці імпульси потрапляють у пристрій ручної настройки, який формує команди на підключення необхідних ємностей та катушок індуктивності, забезпечуючи налаштування АПП. Одночасно ці імпульси потрапляють на пристрій індикації, який призначений для індикації на світловому табло показання лічильника та запам'ятовуючого пристрою, який призначений для фіксування станів дискретних органів налаштування АПП на десятих фіксованих частотах.

Пристрій керування виконує наступні функції:

- перемикання режимів «місцеве-дистанційне»;
- перемикання режимів «робота-настройка»;
- блокування переключення з режиму «робота» в режим «налаштування» при дистанційному керуванні;
- включення сигналізації при досягненні заданого рівня вихідної потужності;

– включення збудника та переведення його в режим несучої;

– блокування передавача при перевантаженні моста;

– здійснює дешифрування команд «фіксована хвиля» в двійково-десятковий код для управління цифровими індикаторами.

Розроблена схема АПП дозволяє автоматично керувати налаштуваннями, тим самим покращується такий з параметрів, як час налаштування та підготовки 10 ЗПЧ.

## Висновки

Запропоноване технічне рішення побудови цифрового СЧ дозволило зменшити час входження системи в синхронізм до 20 %, спростило технічну реалізацію блоку ДОЧ та другого гетеродина за рахунок відсутності потреби використання 12 функціональних елементів. Розроблена структурна схема автоматизованої системи настройки реалізована без серйозних переробок елементів системи управління радіостанції Р-161А-2М.

Перевагами даної схеми є:

- використання малого інтервалу часу (близько 1,5..4 хв. замість 30..60 хв.) на налаштування 10 фіксованих частот та перехід з одного пакету частот в інший;
- було спрощено налаштування АПП;
- система автоматично регулює налаштування АПП, тим самим забезпечує максимальний рівень сигналу на виході антени, тобто передача сигналу з високим коефіцієнтом корисної дії.

## Список літератури

1. Чекунова О.М. Аналіз принципів побудови швидкодіючих синтезаторів частот на основі систем фазової синхронізації / О.М. Чекунова, С.А. Макаров, Р.В. Коваленко // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 1(5). – С. 122-126.
2. Романов С.К. Системы импульсно-фазовой автоподстройки в устройствах синтеза и стабилизации частот / С.К. Романов, Н.М. Тихомиров, А.В. Леньшин. – М.: Радио и связь, 2010. – 327 с.
3. Широкодиапазонная радиостанция комбинированного диапазона: нач. посіб. / А.П. Глушко, І.М. Зайнуллін та ін. – Харків: ХІ ВПС, 2003.
4. Сверхширокополосная связь – результат развития технологий широкополосного доступа / Ю.Ф. Урядников, С.С. Аджемов, В.В. Штыркин, М.В. Соколова // Электросвязь. – 2006. – № 2. – С. 18-23.
5. Аналіз шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку мережі радіодоступу військової телекомунікаційної системи / Т.Г. Гурський та інші // Збірник наукових праць. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – № 1. – С. 30-40.
6. Васишин В.І. Стан та перспективи розвитку телекомунікаційних систем спеціального призначення / В.І. Васишин, В.В. Лютов, В.Д. Луняка, С.Л. Бутенко, А.К. Сулов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4(53). – С. 66-70.
7. Чекунова О.М. Варіант удосконалення бортової радіостанції МХ-ДМХ діапазону хвиль за рахунок введення сигналів односмугової модуляції та швидкодіючої системи фазового автопідстроювання частоти / О.М. Чекунова, С.В. Женжера, Б.А. Поліщук // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4(53). – С. 122-124.
8. Історія розвитку електровз'язку. Невідомі сторінки / С.В. Женжера, О.М. Чекунова, К.С. Васюта, М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – 2015. – № 5. – С. 6-10.
9. Макаров С.А. Підвищення швидкодії синтезаторів частот засобів радіозв'язку / С.А. Макаров, О.М. Чекунова // Системи озброєння і військова техніка. – 2005. – № 3(3). – С. 49-51.

10. Макаров С.А. Визначення основних властивостей системи фазового автопідстроювання частоти з додатковим каналом фазової компенсації / С.А. Макаров, С.М. Рот, О.М. Чекунова, Ю.М. Добришкін // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 2(30). – С. 178-185.
11. Чекунова О.М. Методика визначення основних властивостей адаптивних систем фазового автопідстроювання частоти з нелінійними законами адаптації / О.М. Чекунова, С.А. Макаров, С.М. Рот // Системи обробки інформації. – 2007. – № 9(67). – С. 102-108.
12. Лосев Ю.І. Методи розширення смуги захоплення швидкодіючих систем фазової автопідстройки частоти синтезаторів частот засобів радіозв'язку / Ю.І. Лосев, С.А. Макаров, С.М. Рот // Системи обробки інформації. – 2010. – № 9(90). – С. 67-69.

## References

1. Chekunova, O.M., Makarov, S.A. and Kovalenko, R.V. (2006), "Analiz pryntsyviv pobudovy shvydkodiiuchykh syntezatoriv chastot na osnovi system fazovoi synkhronizatsii" [Analysis of the principles of construction of high-speed frequency synthesizers based on the systems of phase synchronization], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(5), pp. 122-126.
2. Romanov, S.K., Tihomirov, N.M. and Lenishin, A.V. (2010), "Sistemi impulsno-fazovoi avtopodstroiki v ustroistvakh sintesa i stabilizatsii chastoti" [Systems of pulse-phase automatic tuning in the devices of synthesis and frequency stabilization], Radio and communication, Moscow, 327 p.
3. Hlushko, A.P. and Zainullin, I.M. (2003), "Shirokodiapasonna radiostantsia kombinovanoho diapasonu. Navchlnii posibnik" [All wave radio station of combined range. Textbook], KhI VPS, Kharkiv.
4. Uradnikov, U.F., Adgemov, S.S., Shtirkin, V.V. and Sokolova, M.V. (2006), "Sverhshirokopolosnaia svias – rezultat rasvitiia tehnologii shirokopolosnogo dostupa" [Ultra-wideband communication is the result of the development of all wave technologies], *Telecommunication*, No. 2, S.-Peterburg, pp. 18-23.
5. Hurskii, T.H. (2007), "Analiz shliakhiv vdoskonalennia sasobiv radiosviasku meregi radiodostupu viskovoi telekomunikatsinoi sistemi" [Analysis of the ways of improvement of means of radio communication within the radio network of the military telecommunication system], *Scientific works*, No. 1, KPI, Kyiv, pp. 30-40.
6. Vasylyshyn, V.I., Liutov, V.V., Luniaka, V.D., Butenko, S.L. and Suslov, A.K. (2017), "Stan ta perspektyvy rozvytku telekomunikatsiinykh system spetsialnogo pryznachennia" [State and perspectives of development of the special purpose telecommunication systems], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, Vol. 4(53), pp. 66-70.
7. Chekunova, O.M., Zhenzhera, S.V. and Polishchuk, B.A. (2017), "Variant udoskonalennia bortovoi radiostantsii MKh-DMKh diapazonu khvyl za rakhunok vvedennia syhnaliv odnosmuhovoi moduliatsii ta shvydkodiiuchoi systemy fazovoho avtopidstroiuвання частоты" [A variant of improvement of the MX-DMX radiostation range in the wave range for the account of introducing signals of a single-band modulation and a quick frequency system of phase frequency auto construction], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, Vol. 4(53), pp. 122-124.
8. Zhenzhera, S.V., Chekunova, O.M., Vasiuta, K.S. and Pavlenko, M.A. (2015), "Istoriia rozvytku elektrozv'iazku. Nevidomi storinky" [The history of the telecommunication development. Unknown pages], *Information Processing Systems*, No. 5 (130), pp. 6-10.
9. Makarov, S.A. and Chekunova, O.M. (2005), "Pidvyshchennia shvydkodii syntezatoriv chastot zasobiv radiozviazku", *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 3(3), pp. 49-51
10. Makarov, S.A., Rot, S.M., Chekunova, O.M. and Dobryshkin, Yu.M. (2012), "Vyznachennia osnovnykh vlastyvostei systemy fazovoho avtopidstroiuвання частоты z dodatkovym kanalom fazovoi kompensatsii", *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(30), pp. 178-185.
11. Chekunova, O.M., Makarov, S.A. and Rot, S.M. (2007), "Metodyka vyznachennia osnovnykh vlastyvostei adaptivnykh system fazovoho avtopidstroiuвання частоты z nelineinymy zakonamy adaptatsii", *Information Processing Systems*, Vol. 9(67), pp. 102-108.
12. Losiev, Yu.I., Makarov, S.A. and Rot, S.M. (2010), "Metody rozshyrennia smuhy zakhoplennia shvydkodiiuchykh system fazovoi avtopidstroiky частоты синтезаторів частот засобів радіозв'язку", *Information Processing Systems*, Vol. 9(90), pp. 67-69.

Надійшла до редколегії 8.06.2018

Схвалена до друку 17.07.2018

### Відомості про авторів:

**Чекунова Оксана Миколаївна**  
кандидат технічних наук  
старший викладач  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9613-7244>

### Information about the authors:

**Oksana Chekunova**  
Candidate of Technical Sciences  
Senior Instructor  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9613-7244>

**Женжера Сергій Володимирович**

кандидат технічних наук  
старший викладач  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6965-6890>

**Sergei Zhenzhera**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Instructor  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6965-6890>

**Старусьов Ярослав Юрійович**

курсант  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-8547-5301>

**Yaroslav Starusov**

Cadet  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8547-5301>

**Гордєєва Лоліта Григорівна**

курсант  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-9785-1818>

**Lolita Hordieieva**

Cadet  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9785-1818>

**ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИОСТАНЦИИ ДКМВ-МВ ДИАПАЗОНА**

О.Н. Чекунова, С.В. Женжера, Я.Ю. Старусёв, Л.Г. Гордеева

*В работе предложено техническое решение построения цифрового СЧ, что позволило уменьшить время вхождения системы в синхронизм, упростило техническую реализацию блока ДОЧ и второго гетеродина, а также усовершенствована система автонастройки антенно-согласующего устройства, которое позволяет использовать малый интервал времени на настройку десяти фиксированных частот и передачу сигнала с высоким коэффициентом полезного действия.*

**Ключевые слова:** синтезатор частоты (СЧ), датчик опорных частот (ДОЧ), дробный делитель со сменным коэффициентом деления (ДДСКД), антенно-согласующее устройство (АСУ), датчик модуля (ДМ), датчик фазы (ДФ).

**THE WAYS OF IMPROVEMENT RADIO STATION DKM-MW WAVES RANGE**

O. Chekunova, S. Zhenzhera, Y. Starusov, L. Hordieieva

*The paper proposes to improve the DKM-MW waves radio station by replacing the analogue frequency synthesizer with a digital one and by replacing manual adjustment of antenna-matching device with automated setting. The technical construction solution of a digital frequency synthesizer allowed to reduce the period of time the system requires for synchronization and to simplify technical implementation of the reference sensor block and the second heterodyne. Improvement of the automatic tuning system of the antenna coupler made it possible to set up ten fixed frequencies and to transmit high-gain signals within a small interval of time. The P-161A2-M radio station was chosen as a prototype. When located at a distance from the battle line, this radio station effectively provides operational information exchange between the Joint Operation headquarters and operational command control posts and Air Forces headquarters. The P-161A2-M radio station is used in radio networks outside the Joint Forces Operations because of insufficient quantity and great price of more modern Harris type radio stations. One of the problems of creation of a frequency synthesizer based on the pulse-phase detector system is the deterioration of the phase noise of the synthesized oscillation when the step of the net of the output frequency decreases. When a digital fractional divisor with exchangeable fission coefficient is used in a synthesizer with a pulse-phase detector, it allows to obtain the initial oscillation with a sufficiently high spectral purity. In addition, it allows to accelerate the time of synchronization, which reduces the time of passage from one frequency to another. The modern digital elemental base made it possible to reduce the mass-size dimensions due to the low level of necessity to use 12 functional elements in the reference frequency sensor block and the second heterodyne. To provide automated adjustment of an antenna coupler of the P-161A2-M radio station, that was selected as a prototype, it is possible to use elements of the automated adjustment system of an antenna coupler of the P-857 radio station, namely the module sensor and phase sensor. This can be done with no radical modification of the elements of the control system of the selected radio station, increasing the efficiency of control and the speed of adjustment within a short period of time.*

**Keywords:** frequency synthesizer (FS), the reference sensor block (RSB), pulse-phase detector (PPD), module sensor (MS), phase sensor (PS), antenna-matching device (AMD).