

## **ВАРІАНТ ПОБУДОВИ ОДНОКАНАЛЬНОГО АМПЛІТУДНОГО РАДІОПЕЛЕНГАТОРА З ЧАСОВИМ РОЗПОДІЛОМ СИГНАЛУ**

*У статті розглянуто можливий варіант модернізації амплітудного радіопеленгатора з часовим розподілом сигналу шляхом застосування сучасної елементної бази радіоелектроніки та можливостей цифрової обробки сигналів засобами обчислювальної техніки. Наводяться результати експериментальної перевірки прийнятих рішень на макеті радіопеленгатора, створеного за розробленою схемою.*

**Постановка проблеми.** Сучасний стан розвитку техніки радіопеленгування характеризується розробкою та створенням різноманітних радіопеленгаторів (РП) з нерухомими антенними системами (АС), в яких застосовуються рознесені у просторі вібраторні антенні елементи (АЕ). Зазвичай такі РП мають багатоканальний приймальний тракт, що дозволяє їм визначати пеленг на джерело радіовипромінювання (ДРВ) одразу після налаштування на частоту сигналу без додаткового пошуку за напрямком [1, 2]. Проте таким РП властиві певні недоліки, одним з яких є необхідність вирівнювання та підтримки ідентичності амплітудних і фазових характеристик усіх приймальних каналів тракту [1]. Усунення даної проблеми – складне завдання, що вносить додаткові труднощі в технічну реалізацію таких РП та суттєво обмежує можливості їх застосування.

Для одноканальних РП, вільних від зазначеного недоліку, властива інша вада, що полягає у неможливості одночасного просторового огляду в межах  $360^\circ$  за азимутом. Отже, виникає необхідність організації послідовного просторового огляду шляхом переміщення діаграми спрямованості (ДС) АС тим чи іншим способом і, як наслідок, зниження темпу оновлення інформації про пеленг.

Одним з можливих шляхів усунення зазначеного недоліку може бути перехід до одноканального принципу побудови приймального тракту з послідовною у часі подачею на його вхід сигналів, які прийняті окремими пеленгаційними складовими загальної АС.

Виходячи з поступового, послідовного у часі, надходження сигналів на вхід приймального тракту, обов'язковими елементами такої схеми побудови РП мають бути інерційні елементи, здатні запам'ятовувати інформацію про пеленг у прийнятих сигналах. Для амплітудних РП порівняння амплітуди поточного сигналу з амплітудами сигналів, попередньо занесеними до елементів пам'яті, дає змогу визначати пеленг на ДРВ.

**Огляд останніх досліджень.** Питанням побудови одноканального амплітудного РП з часовим розподілом сигналу присвячено низку робіт [1, 3–5]. Однак у зазначених джерелах не наведено вирішення завдання запам'ятовування інформації про пеленг у прийнятих сигналах та принципові схеми побудови таких РП.

**Виклад основного матеріалу.** Структурну схему одноканального амплітудного РП з часовим розподілом сигналу описано в [3] і наведено на рис. 1.

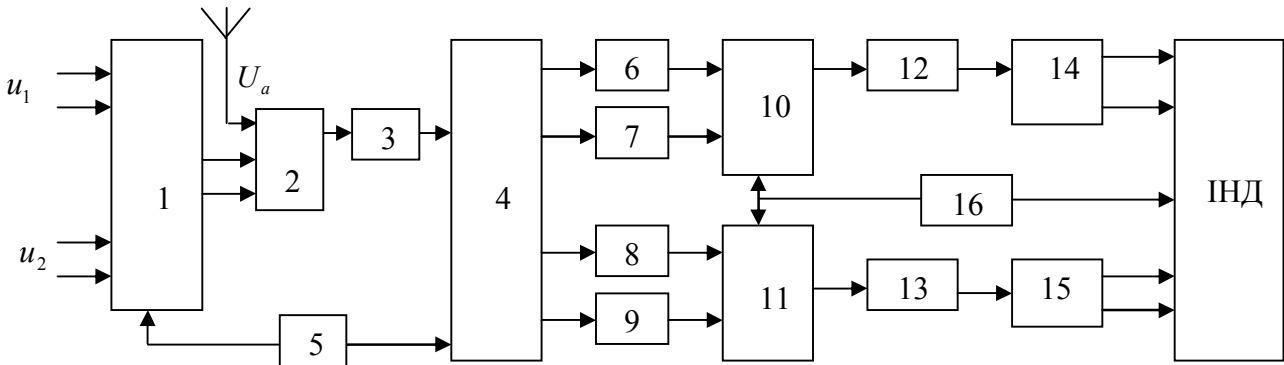


Рис. 1. Структурна схема амплітудного РП

До її складу входять: чотирифазний комутатор вхідних сигналів – 1; вхідний контур – 2; приймальний канал – 3; вихідний комутатор – 4; генератор імпульсів управління комутатором – 5; амплітудні детектори – 6, 7, 8, 9; комутатори віднімаючих пристроїв – 10, 11, 12, 13; вихідні підсилювачі – 14, 15; генератор комутуючих імпульсів – 16.

Принцип роботи РП, побудованого за схемою, що наведена на рис. 1, полягає в тому, що сигнали з пеленгаційних пар АС

$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \cos \Theta \sin \omega t, \\ u_2 &= U_m \sin \Theta \sin \omega t \end{aligned} \quad (1)$$

надходять на чотирифазний комутатор вхідних сигналів 1, де з них з частотою  $F1$  утворюються чотири, послідовні у часі, імпульси з високочастотним заповненням такого вигляду:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_m \cos \Theta \sin \omega t, & U_3 &= U_m \sin \Theta \sin \omega t, \\ U_2 &= U_m \cos \Theta \sin(\omega t + \pi), & U_4 &= U_m \sin \Theta \sin(\omega t + \pi), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $U_m$  – амплітуда прийнятого сигналу залежно від напрямку приходу;

$\Theta$  – кут на ДРВ, що підлягає пеленгуванню;

$\omega$  – значення несучої частоти сигналу.

У вхідному контурі 2 до цих напруг додається попередньо зфазована напруга неспрямованої антени  $U_a = U_m \sin \omega t$ , у результаті чого утворюються напруги:

$$\begin{aligned} U'_1 &= (U_a + U_m \cos \Theta) \sin \omega t, & U'_3 &= (U_a + U_m \sin \Theta) \sin \omega t, \\ U'_2 &= (U_a - U_m \cos \Theta) \sin \omega t, & U'_4 &= (U_a - U_m \sin \Theta) \sin \omega t. \end{aligned} \quad (3)$$

Послідовність імпульсів на вході приймача 3 зображена на рис. 2.

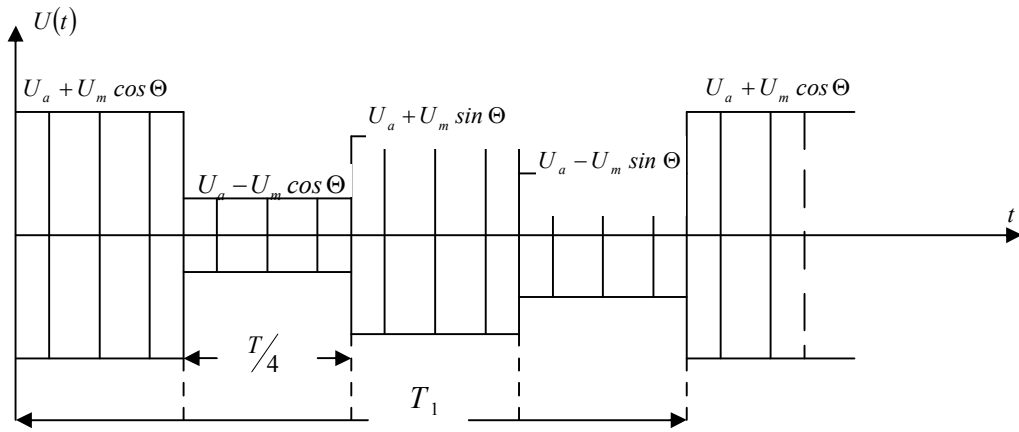


Рис. 2. Послідовність імпульсів на виході приймача амплітудного РП

Інформація про пеленг, у разі виконання умови  $U_a > U_m$ , міститься тільки в амплітуді наведених імпульсів [3].

Після підсилення і перетворення в приймачі 3 з лінійною амплітудною характеристикою імпульси  $U'_1 \div U'_4$  у тій же послідовності, яку забезпечує вихідний комутатор 4, подаються на детектори 6, 7 та 8, 9. У навантаженнях детекторів, характеристики яких повинні бути однакові, включені інтегруючі RC ланцюжки, постійні часу яких значно перевищують період комутації напруги.

Таким чином, за час повного циклу комутації на інтеграторах детекторів 6, 7 та 8, 9 будуть діяти напруги:

$$\begin{aligned} U''_1 &= k_D K |U_a + U_m \cos \Theta|, & U''_3 &= k_D K |U_a + U_m \sin \Theta|, \\ U''_2 &= k_D K |U_a - U_m \cos \Theta|, & U''_4 &= k_D K |U_a - U_m \sin \Theta|, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $k_D$  – коефіцієнт передачі детекторів;

$K$  – коефіцієнт підсилення приймача.

За допомогою комутаторів 10, 11 та віднімаючих пристроїв 12, 13 утворюються вихідні напруги:

$$\begin{aligned} U_{вих1} &= U''_1 - U''_2 = 2k_D K U_m \cos \Theta, \\ U_{вих2} &= U''_3 - U''_4 = 2k_D K U_m \sin \Theta. \end{aligned} \quad (5)$$

Підключення напруг (4) до індикатора (електронно-променевої трубки (ЕПТ)) призводить до розташування зображення на ній під кутом

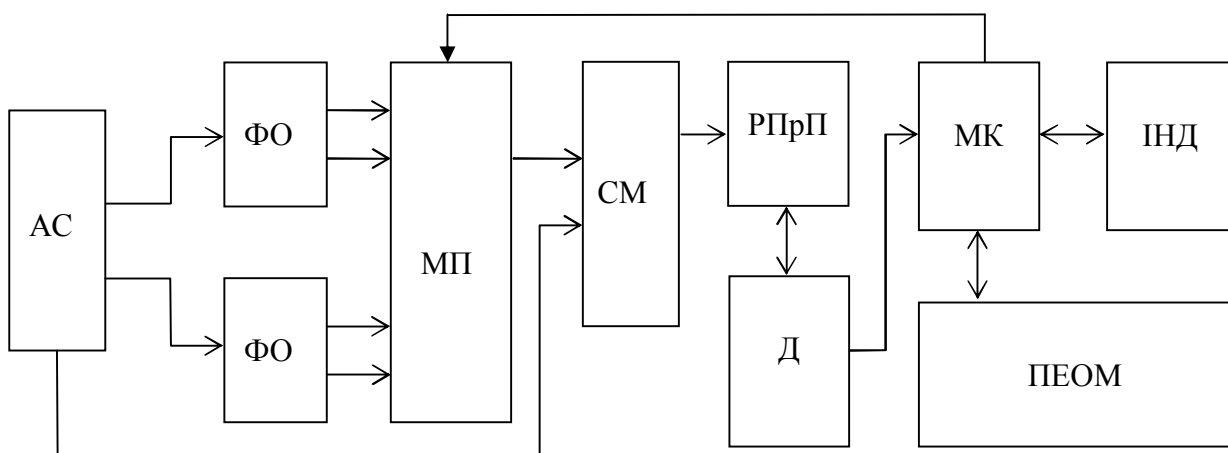
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_{вих2}}{U_{вих1}} = \operatorname{tg} \Theta, \quad \alpha = \Theta. \quad (6)$$

Застосування як віднімаючих пристроїв комутованих диференціальних ланцюгів дозволяє одразу отримати напруги у вигляді гострокінцевих імпульсів, які дають радіальну розгортку на екрані ЕПТ. Комутація виходів детекторів здійснюється імпульсами генератора імпульсів комутації 16 з частотою надходження  $F2$ . Використання

вихідних підсилювачів 14, 15 викликано необхідністю гасіння трубки протягом півперіоду напруги комутації детекторів. У такому випадку зображення радіального променя на екрані ЕПТ дозволяє зчитувати однозначний пеленг на ДРВ.

Розгляд принципу функціонування РП за схемою, наведеною на рис. 1, явно вказує на те, що він одноканальний лише в частині основного приймального тракту. В інших частинах багатоканальність значною мірою зберігається, отже, зберігаються і властиві їй недоліки.

Сучасний стан розвитку елементної бази радіоелектроніки та засобів обчислювальної техніки дозволяє радикально спростити структурну схему РП шляхом збереження необхідної багатоканальності лише в ланці підключення пеленгаційних антен до входу приймального пристрою. Варіант спрощеної структурної схеми одноканального амплітудного РП з часовим розподілом сигналу наведено на рис. 3.



*Рис. 3. Спрощена структурна схема амплітудного РП з часовим розподілом сигналу*

До структурної схеми амплітудного РП з часовим розподілом сигналу входять:  
пеленгаційні антени з синусоїдальною, косинусоїдальною ДС та неспрямована антена опорного сигналу;

пристрої забезпечення фазових відмінностей у прийнятих сигналах на  $\pi/2$  – фазообертачі (ФО);

високочастотний аналоговий мультиплексор – МП;

суматор сигналів пеленгаційних та неспрямованої антен – СМ;

радіоприймальний пристрій – РПрП;

середньоквадратичний детектор сигналу проміжної частоти з виходу РПрП – Д;

мікроконтролер для управління МП, забезпечення аналогово-цифрового перетворення сигналів з виходу детектора, а також забезпечення інформаційного обміну з персональною електронно-обчислювальною машиною (ПЕОМ) – МК;

ПЕОМ для управління роботою пеленгатора, реалізації алгоритму пеленгування, індикації пеленга та ведення документування результатів функціонування;

цифровий індикатор пеленга – ІНД.

Принцип роботи РП відповідно до схеми, наведеної на рис. 3, полягає в такому.

Сигнали, що прийняті пеленгаційними парами АС, подаються на ФО, з яких вони надходять на входи МП.

МП за командами МК подає сигнал на вхід СМ, в якому здійснюється його об'єднання із сигналом сфазованої неспрямованої антени, на виході якого утворюється послідовність сигналів, наведена на рис. 2. Ця послідовність надходить на вхід РПрП, де підсилюється і перетворюється на проміжну частоту, і далі подається на вхід Д. Продетектований сигнал перетворюється МК у цифрову форму. Окрім того, МК здійснює обмін інформацією з ПЕОМ, а в разі роботи без неї реалізує алгоритм пеленгування та індикацію пеленга на цифровому індикаторі ІНД.

Як АС у РП доцільно використати АС Едкока-Камолова з центральним елементом, що виконує роль неспрямованої антени, або іншу АС з аналогічними характеристиками.

Як пристрої забезпечення фазових відмінностей пропонується використати операційні підсилювачі (ОП) з прямим та інверсним виходом. Прикладом такого ОП може бути інтегральна мікросхема (ІМС) фірми Analog Devices AD8131. Ця ІМС має внутрішні елементи зворотного зв'язку, що забезпечують їй коефіцієнт передачі  $K = 2$  в діапазоні частот до 400 МГц, прямий та інверсний вихідний сигнал. За необхідності роботи РП у більш широкому діапазоні частот доцільно застосувати ІМС AD8353 з частотою зрізу 2,7 ГГц або інші ІМС з потрібними параметрами [4].

Роль МП виконуватиме чотириходовий аналоговий ключ з цифровим управлінням AD8184 або ADG904. Частотний діапазон останнього перевищує 1 ГГц, час перемикання становить 3 нс, втрати при проходженні сигналу не перевищують 0,8 дБ.

Для сумування сигналів може бути використано багато із сучасних ІМС, наприклад, ОП AD8045, у якого робочий частотний діапазон перевищує 1 ГГц.

Елементом фазування неспрямованої антени слугуватиме сплітер серії QCN на відповідний діапазон частот, зокрема QCN-12. Він забезпечує зсув сигналу неспрямованої антени на  $90^\circ$  у широкому діапазоні частот.

Як РПрП може бути застосований багатофункціональний приймач з відповідними технічними характеристиками. Широкого розповсюдження набуло застосування приймача ІС AR-5000 (8000). Його технічні характеристики наведені в [5]. При цьому найбільш важливими з них для даного випадку є наявність зовнішнього виходу сигналу другої проміжної частоти 10,7 МГц, а також можливість управління приймачем як в автономному режимі, так і за допомогою ПЕОМ.

Для перетворення сигналу проміжної частоти в цифрову форму із збереженням інформації про пеленг пропонується задіяти ІМС Д, наприклад AD8361 [4]. При подачі на вхід цієї ІМС синусоїдальної напруги або напруги з іншою обвідною з її виходу буде отримана напруга, що лінійно змінюється, пропорційно  $U_{ex}/2$ . Дана ІМС має коефіцієнт передачі 7. Ця напруга далі перетворюється в цифрову форму.

МК призначений для створення сигналів управління МП, перетворення сигналу з виходу детектора в цифрову форму та забезпечення інформаційного обміну з ПЕОМ.

На ПЕОМ покладаються задачі управління роботою РП, реалізація алгоритму пеленгування, відображення результатів пеленгування на моніторі, здійснення документування результатів функціонування РП та виконання ним поставлених завдань.

Принципові схеми аналогової та цифрової частини макета РП, в якій застосовані запропоновані комплектуючі, наведені на рис. 5а та 5б відповідно.

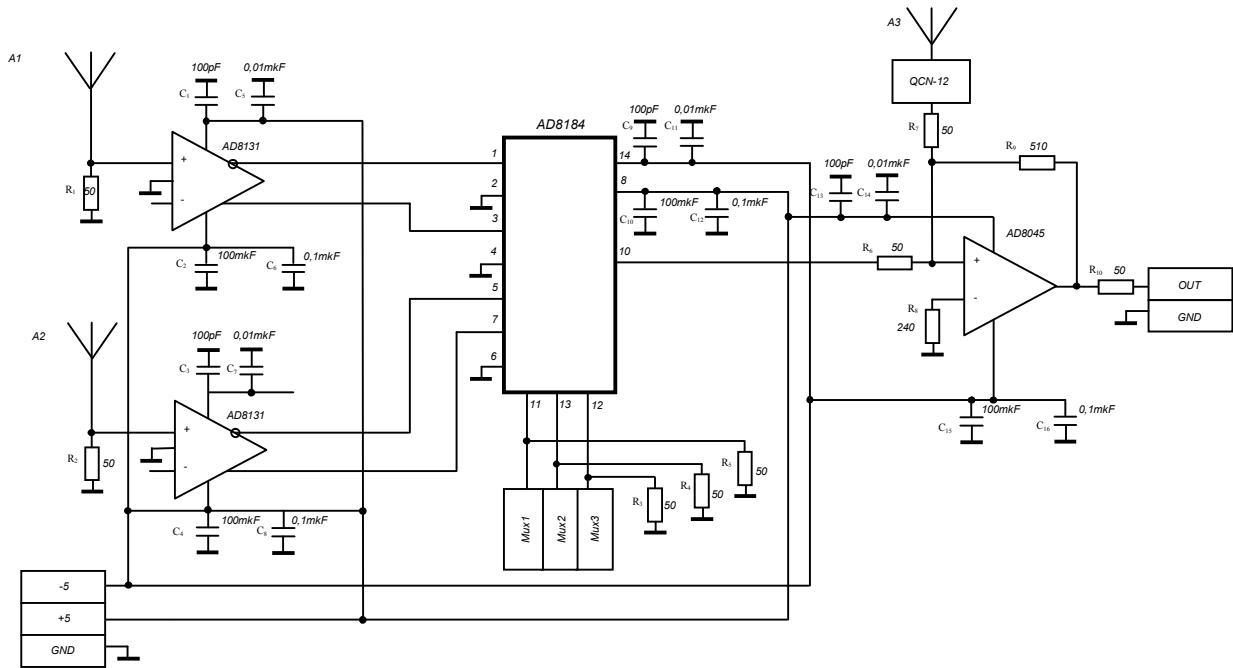


Рис. 5а. Схема електрична принципова аналогової частини РП

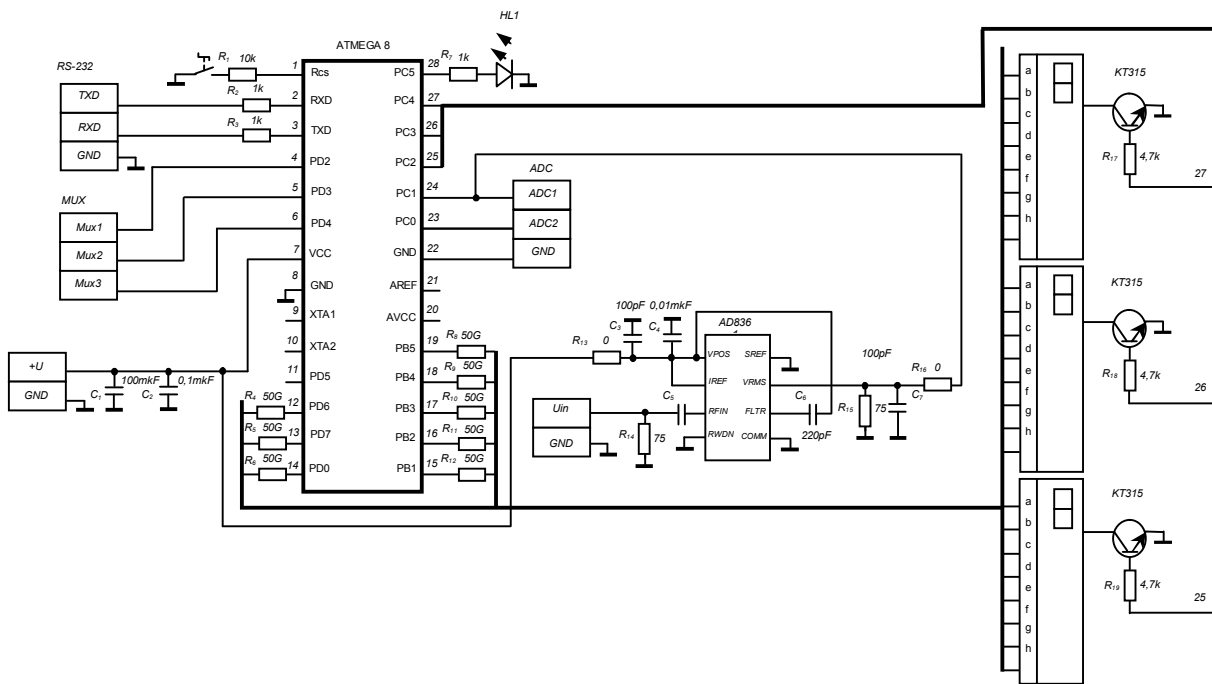


Рис. 5б. Схема електрична принципова цифрової частини РП

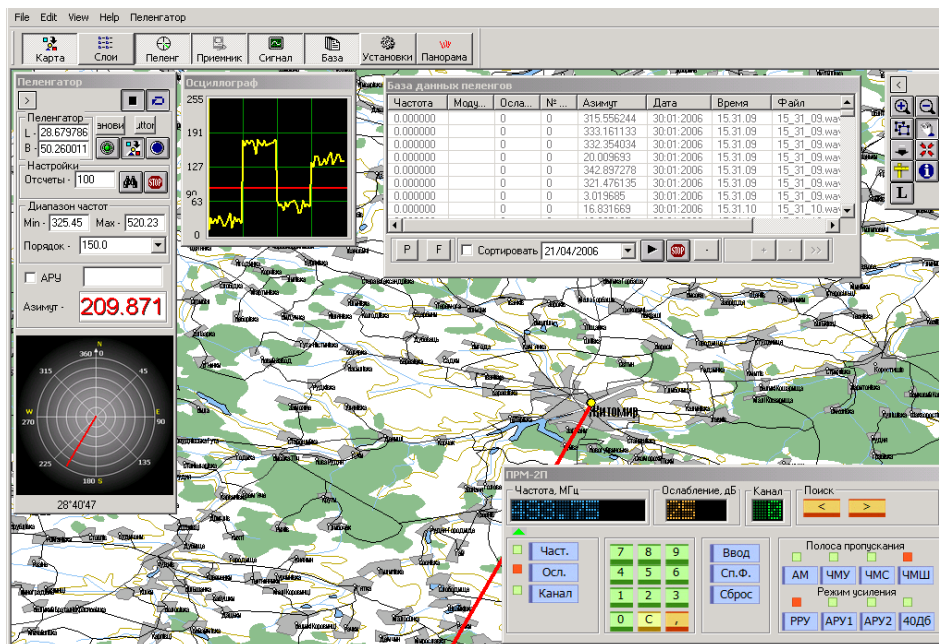
Особливістю складу запропонованих елементів для реалізації в макеті РП за оновленою схемою є те, що залежно від умов алгоритм пеленгації може бути реалізований із застосуванням ручного автономного управління РПРП, з реалізацією алгоритму обчислення пеленга МК та індикацією результату обчислення пеленга цифровим індикатором. За іншим варіантом задача управління РПРП, обчислення пеленга, індикації та документування результатів функціонування здійснюється в автоматизованому режимі під управлінням ПЕОМ.

Для експериментальної перевірки запропонованих рішень за розробленою структурною схемою було створено декілька макетних зразків амплітудного РП.

У першому з них була використана АС Едкака-Комолова, яка є штатною системою РП Р-386. У приймальному тракті застосовувався радіоприймач Р-323М.

На цьому зразку був відпрацьований алгоритм визначення пеленга з усередненням значень амплітуд серії відліків, отриманих для кожного з імпульсів у ході аналого-цифрового перетворення сигналу МК, а також з усередненням певної кількості одноразових вимірів при обчисленні пеленга.

У другому зразку макета РП була використана АС із застосуванням дворамкових та дискоконусної антен. Як РПрП був застосований радіоприймач ПРМ-2П, який дозволяє здійснювати керування ним за допомогою ПЕОМ. Це дало змогу перейти до програмного пошуку ДРВ за частотою, що значно розширило можливості РП. Окрім того, РПрП ПРМ-2П має режим роботи "ведучий-ведений", що дає змогу створювати пеленгаторну мережу для синхронного пеленгування. Одночасно з цим був створений інтерфейс для управління РП та відображення на моніторі ПЕОМ результатів пеленгування на цифровій карті місцевості. Вигляд інтерфейсу подано на рис. 6.



*Рис. 6. Вигляд інтерфейсу для забезпечення управління роботою амплітудного РП за допомогою ПЕОМ*

На ньому можна побачити панель управління, панель управління картами місцевості, екран цифрового осцилографа сигналу з виходу цифрової апаратної частини РП, тобто на вході ПЕОМ, таблицю бази даних за результатами функціонування.

З другим варіантом макета РП були проведені випробування, які підтвердили обґрунтованість прийнятих рішень, і за їх результатами отримано позитивний відгук.

У третьому варіанті макета РП був застосований РПрП АР-5000 з відповідною адаптацією апаратної та алгоритмічно-програмної частин до його характеристик.

Інтерфейс макета амплітудного РП з РПрП АР-5000 відрізняється від раніше наведеного лише специфічною панеллю управління РПрП.

**Висновки.** Таким чином, запропонований варіант модернізації схеми одноканального амплітудного РП з часовим розподілом сигналу надає можливість усунення недоліків, притаманних багатоканальним варіантам побудови пеленгаторів, нових якостей,

властивих сучасним РП, серед яких програмний пошук ДРВ за частотою, алгоритмічно-програмна реалізація методу пеленгування, зручний інтерфейс управління функціонуванням РП та відображення результатів пеленгування.

На основі розглянутих макетних зразків РП, можуть бути створені пеленгаційні приставки для розширення можливостей постів радіоспостереження, за рахунок надання їм здатності визначення пеленга на ДРВ без суттєвого ускладнення штатної апаратури.

Напрямами подальших досліджень є дослідження можливостей амплітудного РП при використанні антенних систем з більш широким діапазоном частот, а також дослідження можливості застосування елементної бази з покращеними характеристиками.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин ; под ред. А. М. Рембовского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 492 с.
2. Кукес И. С. Основы радиопеленгации / И. С. Кукес, М. Е. Старк. – М. : Советское радио, 1965. – 642 с.
3. Мезин В. К. Автоматические радиопеленгаторы / В. К. Мезин. – М. : Советское радио, 1969. – 215 с.
4. Голуб В. Драйверы для быстродействующих АЦП с дифференциальным выходом / В. Голуб. – ЭКиС, 2009. – № 7. – С. 7–14.
5. AR5000 english operating manual addendum V1.2 0809/99 – CAOR LTD, 1997, 1998, 1999 EiOE-Page 2.

Подано 13.08.13

**Ю. Л. Бондаренко**

#### **ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ОДНОКАНАЛЬНОГО АМПЛИТУДНОГО РАДИОПЕЛЕНГАТОРА С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ СИГНАЛА**

*В статье рассмотрен возможный вариант модернизации амплитудного радиопеленгатора с временным разделением сигнала путем применения современной элементной базы радиоэлектроники и возможностей цифровой обработки сигналов средствами вычислительной техники. Приводятся результаты экспериментальной проверки принятых решений на макете радиопеленгатора, созданного по разработанной схеме.*

**Y. L. Bondarenko**

#### **VARIANTS OF BUILDING A SINGLE-CHANNEL AMPLITUDE FINDER C TIMING SEPARATION SIGNAL**

*The article describes the possible variant of modernization of the amplitude of radio direction finder with time separation of signal through the application of modern element base of electronics and opportunities of digital signal processing with computer technologies. Given the results of experimental verification of the adopted decisions on the layout radio direction finder created the scheme developed.*