

В.Г. Ципоренко, к.т.н., доц.  
Житомирський державний технологічний університет

## ПОШУК РАДІОСИГНАЛІВ У СКЛАДНІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІЙ ОБСТАНОВЦІ

Показано, що ефективне функціонування матричного приймача пошуку радіосигналів у складній електромагнітній обстановці може бути реалізоване шляхом використання процедури ідентифікації та однозначного співставлення відповідним радіосигналам сукупності відгуків каналів прийому усіх етапів пошуку. Основною операцією процедури ідентифікації результатів етапів пошуку матричного приймача є часовий аналіз потоку відгуків каналів. Визначені кількісні характеристики матричного приймача пошуку із часовим аналізом та вимоги до основних параметрів його складових елементів. Запропоновані рішення забезпечують суттєве підвищення перепускної спроможності та завадозахищеності матричної системи пошуку радіосигналів при незмінній кількості каналів прийому.

**Постановка проблеми.** Умови функціонування сучасних радіоелектронних систем характеризуються великою апріорною невизначеністю, завантаженістю радіочастотного ресурсу та інтенсивністю потоку радіовипромінювань [1], [2], [3]. Для ефективного функціонування радіоелектронних систем радіолокації, радіонавігації, передачі та добування інформації, а також систем контролю ефективного використання радіочастотного ресурсу необхідно використовувати пошук радіовипромінювань радіоелектронних засобів (РЕА) в реальному масштабі часу. Основним напрямком реалізації ефективного пошуку радіосигналів на сьогодні є використання паралельних систем аналізу, враховуючи тенденцію все більшого використання широкосмугових сигналів, у тому числі багато частотних [4], [5]. Поки що основним недоліком таких систем є великі складність реалізації та апаратурні витрати. Ефективним варіантом вирішення цієї проблеми є використання багатоетапних паралельних систем пошуку, які забезпечують значне скорочення апаратурних витрат [6], [7]. Однак такі сучасні системи ефективні у відносно простій електромагнітній обстановці (ЕМО). В складній ЕМО ефективність таких систем значно зменшується, тому що результати етапів пошуку радіосигналів стають неоднозначними [8].

Таким чином, підвищення ефективності функціонування багатоетапних паралельних систем пошуку радіосигналів в умовах складної ЕМО є актуальною задачею.

**Аналіз інформаційних джерел.** Вирішувати поставлену задачу доцільно шляхом використання додаткового аналізу та ідентифікації результатів етапів пошуку, що дозволяє без суттєвих апаратурних та часових витрат забезпечити однозначність обробки результатів пошуку в складній ЕМО. Проблема неоднозначності результатів пошуку відомими методами зазвичай вирішувалась шляхом усунення неоднозначності визначення частоти радіосигналів та їх розділення по частоті [1], [5]. Відомі варіанти усунення неоднозначності результатів пошуку направлені на однозначне визначення номеру каналу паралельного аналізатора, частота якого найближча до частоти радіосигналу, а також підвищення достовірності визначення кількості одночасно прийнятих радіосигналів. Основними методами вирішення цих проблем є аналіз співвідношення рівнів відгуків каналів прийому, а також встановлення певного порогу „сідловини” між ними [1], [4], [5]. Проте вказані методи не дозволяють усунути неоднозначність результатів пошуку, що отримані на різних етапах багатоетапних паралельних систем пошуку.

**Мета і задачі роботи.** Метою роботи є дослідження методів усунення неоднозначності результатів пошуку при багатоетапній паралельній процедурі пошуку, а також визначення вимог до складових частин таких систем.

**Виклад основної частини.** Розглянемо поставлену задачу для умови пошуку радіосигналів матричним приймачем при можливості одночасної дії на його вході двох і більше радіовипромінювань, що відрізняються несучою частотою, тривалістю, а також часом початку дії. Матричний пошуковий приймач забезпечує одночасний аналіз – контроль усього діапазону робочих частот  $D_f$ , виконуючи поетапний паралельний пошук шляхом аналізу сукупності кодів  $\{(m_1), (m_2) \dots (m_L)\}$ , що формуються відгуками паралельних каналів прийому кожного із  $L$  етапів пошуку.

Перепускна спроможність  $V_S$  сучасних матричних систем пошуку дорівнює

$$V_S = \frac{\alpha \cdot D_f}{\prod_{i=1}^L n_{ki}}, \quad (1)$$

де  $n_{ki}$  – кількість каналів прийому на  $i$ -му етапі пошуку;

$\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, що враховує схемні особливості реалізації каналів прийому;

$\Pi ( )$  – операція добутку.

Перепускна спроможність  $V_S$  за рівнянням (1) обмежена можливістю однозначного пошуку радіосигналів за умови прийому в кожний момент часу тільки одного радіосигналу.

Потенційно-максимальна перепускна спроможність матричного приймача, що зумовлюється наявністю сумарної кількості паралельних каналів прийому  $n_{k\Sigma}$ , в свою чергу, дорівнює:

$$V_{S_{\max}} = \frac{\alpha \cdot D_f}{L \prod_{i=1}^L n_{ki}} \cdot \left( \sum_{i=1}^L n_{ki} \right) = V_S \cdot n_{k\Sigma}, \quad (2)$$

Порівняльний аналіз рівнянь (1), (2) показує, що практично наявний апаратний потенціал кількості каналів прийому  $n_\Sigma$  в сучасних матричних приймачах не використовується. Для його використання необхідно виконувати додаткові розпізнавання та ідентифікацію відгуків каналів прийому різних етапів пошуку на відповідність певним радіосигналам.

Інформаційними ознаками для розпізнавання та ідентифікації відгуків каналів прийому матричного приймача можуть бути використані час початку прийому, час закінчення прийому, тривалість радіосигналу та інші. Дослідження показали, що одним із найбільш інформативних ознак розпізнавання відгуків каналів прийому є час початку прийому  $t_{пп}$  радіосигналу. В цьому випадку на кожному етапі пошуку виявляються частотні канали, на виході яких відгук перевищив енергетичний поріг, а також додатково фіксується час появи цих відгуків. Відгуки частотних каналів прийому з різних етапів пошуку на один радіосигнал будуть з'являтися у часі узгоджено і однозначно. Тому аналіз і співставлення моментів часу появи відгуків частотних каналів різних етапів пошуку дає можливість однозначного співвіднесення та розділення у відповідності до певних радіосигналів при їх одночасному прийомі.

Таким чином, для умови одночасного аналізу, наприклад двох радіосигналів  $S_1(f_1)$  та  $S_2(f_2)$ , будуть правдиві співвідношення:

$$t_{пп\ 11} < t_{пп\ 21}; t_{пп\ 12} < t_{пп\ 22}; \dots t_{пп\ 1L} < t_{пп\ 2L}, \quad (3)$$

де  $t_{пп\ km}$  – час появи відгуку в певному частотному каналі на  $k$ -й радіосигнал по  $m$ -му етапу пошуку.

Рівняння (3) може бути узагальнене на випадок перекриття у часі прийому  $M$  радіосигналів:

$$t_{пп\ 1m} < t_{пп\ 2m} < \dots < t_{пп\ Mm}, \quad (4)$$

де  $m = 1, 2, \dots L$ .

В результаті видно, що додатковий часовий аналіз потоку імпульсів відгуків каналів прийому усіх  $L$  етапів пошуку матричного приймача забезпечує принципову можливість однозначної їх ідентифікації в умовах складної ЕМО.

Визначимо вимоги до складових частин матричного пошукового приймача з часовим аналізом однозначного визначення частоти радіосигналів.

В загальному випадку кількість частотних каналів прийому на останньому  $L$ -му етапі пошуку  $n_{kL}$  повинна одночасно задовольняти вимоги роздільної здатності за частотою, а також необхідної перепускної спроможності:

$$n_{kL} = \max \{ n_{kL1}, n_{kL2} \}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} n_{kL1} \geq M \\ n_{kL2} \geq \frac{2 \cdot D_f}{\Delta f_p \cdot \prod_{i=1}^{L-1} n_{ki}} \end{cases}$$

де  $n_{kL1}$ ,  $n_{kL2}$  – відповідно кількість каналів прийому на останньому  $L$ -му етапі пошуку, що забезпечують перепускну спроможність та роздільну здатність за частотою;

$n_{kL}$  – необхідна кількість каналів  $L$ -му етапі виявлення.

$M$  – кількість сигналів, що одночасно приймаються.

Процес частотно-часового багатоетапного пошуку радіосигналів пояснюється епюрами на рис. 1 для умови  $L = 2$  і  $M = 2$ .

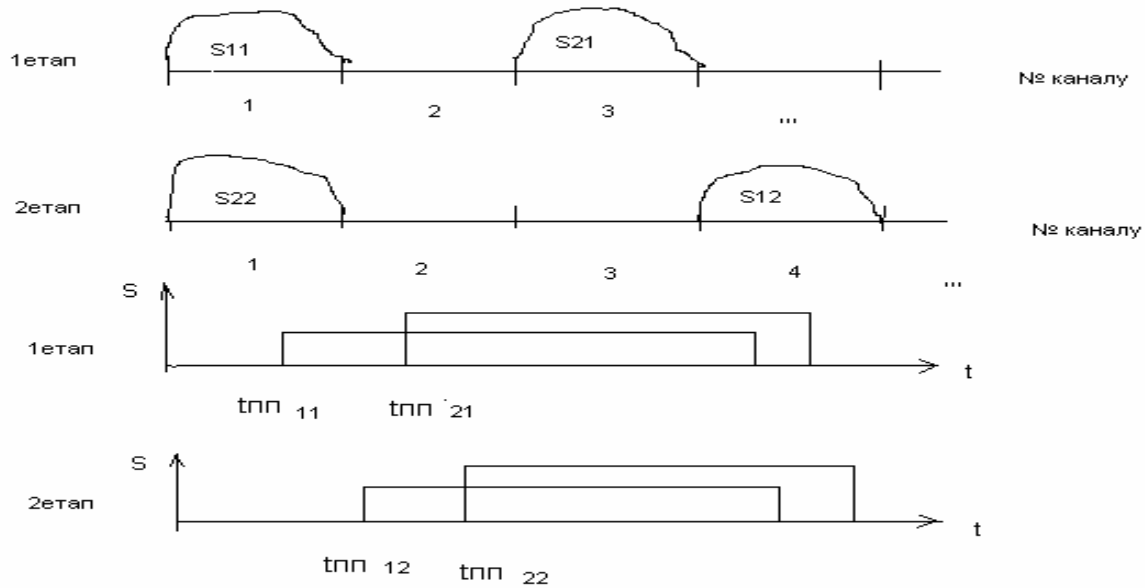


Рис. 1. Частотно-часові епюри функціонування матричної пошукової системи

Достовірність однозначного розпізнавання та ідентифікації відгуків каналів прийому обмежується також точністю часового аналізу моментів часу  $t_{пп\ i}$ . Але вимоги до точності часового аналізу можливо суттєво знизити, використовуючи порівняльний часовий аналіз, за яким абсолютні значення  $t_{пп\ i}$  не визначаються, а визначається тільки їх співвідношення за рівнянням (4). Тому для цих умов необхідно забезпечувати вже роздільну здатність у часі:

$$\Delta t_p \leq \min \{ t_{пп\ k} - t_{пп\ (k+1)} \}, \tag{6}$$

де  $\Delta t_p$  – роздільна здатність у часі;

$t_{пп\ i}, t_{пп\ (i+1)}$  – момент початку аналізу  $k$ -го та  $(k + 1)$ -го сигналів.

Вказані часові вимоги на сьогодні можуть ефективно реалізовуватися відповідними методами цифрової обробки сигналів з дуже високою точністю [3], [6], [9].

Запропонований спосіб також забезпечує і суттєве (в  $\sum_{i=1}^L n_{ki} = K$  разів) підвищення перепускної здатності матричних приймачів без відчутних апаратних затрат. Кількість каналів прийому матричних систем пошуку може сягати десятків–сотень залежно від конкретних умов використання. Тому в найпростіших варіантах використання запропонованої процедури частотно-часового пошуку радіосигналів може забезпечити підвищення їх перепускної спроможності на порядок і вище. Це зумовлює беззаперечну перспективність їх практичного використання і подальшого розвитку.

**Висновки.** Таким чином, запропонований частотно-часовий багатоетапний аналіз результатів пошуку матричним приймачем забезпечує підвищення ефективності його функціонування в умовах складної ЕМО без використання додаткових каналів прийому, а також ефективності використання наявного апаратного потенціалу сукупності каналів прийому.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Обнаружение радиосигналов / П.С. Акимов, Ф.Ф. Евстратов, С.И. Захаров и др. / Под ред. А.А. Колосова. – Радио и связь, 1989. – 288 с.
2. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. Цифровые радиоприемные системы: Справочник / М.И. Жодзишский, Р.Б. Мазепа, Е.П. Овсянников и др. / Под ред. М.И. Жодзишского. – М.: Радио и связь, 1990. – 208 с.
4. *Вартанесян В.А.* Радиоэлектронная разведка. – М.: Воениздат, 1991. – 254 с.

5. Мартынов В.А., Селихов Ю.И. Панорамные приемники – анализаторы спектра. – М.: Советское радио, 1980. – 352 с.
6. Журавлев В.И. Поиск и синхронизация в широкополосных системах. – М.: Радио и связь, 1986. – 240 с.
7. Цифровая обработка сигналов: Опыт использования персональных ЭВМ / А.А. Иванько, В.И. Гордиенко, В.М. Соловьев, Я.А. Иванько. – К.: Техника, 1991. – 160 с.
8. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Ю.А. Феоктистов, В.В. Матасов, Л.И. Башурин, В.И. Селезнев / Под ред. Ю.А. Феоктистова. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
9. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: Справочник / Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.

ЦИПОРЕНКО Валентин Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– радіоелектроніка з використанням цифрової обробки сигналів.

Подано 30.10.2004

**Ципоренко В.Г.** Пошук радіосигналів в складній електромагнітній обстановці  
**Ципоренко В.Г.** Поиск радиосигналов в сложной электромагнитной обстановке  
**Tsiporenko V.G.** Search of radiosignals in difficult electromagnetic conditions

УДК 621.37:621.391

**Пошук радіосигналів в складній електромагнітній обстановці / В.Г. Ципоренко**

Показано, що ефективне функціонування матричного приймача пошуку радіосигналів в складній електромагнітній обстановці може бути реалізоване шляхом використання процедури ідентифікації та однозначного співставлення відповідним радіосигналам сукупності відгуків каналів прийому усіх етапів пошуку. Основною операцією процедури ідентифікації результатів етапів пошуку матричного приймача є часовий аналіз потоку відгуків каналів. Визначені кількісні характеристики матричного приймача пошуку із часовим аналізом та вимоги до основних параметрів його складових елементів. Запропоновані рішення забезпечують суттєве підвищення пропускнув спроможності та завадозахищеності матричної системи пошуку радіосигналів при незмінній кількості каналів прийому.

УДК 621.37:621.391

**Поиск радиосигналов в сложной электромагнитной обстановке / В.Г. Ципоренко**

Показано, что эффективное функционирование матричного приемника поиска радиосигналов в сложной электромагнитной обстановке может быть реализовано путем использования процедуры идентификации и однозначного сопоставления соответствующим радиосигналам совокупности откликов каналов приема всех этапов поиска. Основной операцией процедуры идентификации результатов этапов поиска матричного приемника есть временной анализ потока откликов каналов. Определены количественные характеристики матричного приемника поиска с временным анализом и требования к основным его составным элементам. Предложенные решения обеспечивают существенное повышение пропускной способности и помехозащищенности матричной системы поиска радиосигналов при неизменном количестве каналов приема.

УДК 621.37:621.391

**Search of radiosignals in difficult electromagnetic conditions / V.G. Tsiporenko**

Is shown, that the effective functioning of the matrix receiver of search of radiosignals in difficult electromagnetic conditions can be realized by use of procedure of identification and unequivocal comparison to the appropriate radiosignals of set of the responses of channels of reception of all stages of search. The basic operation of procedure of identification of results of stages of search of the matrix receiver is the temporary analysis of a flow of the responses of channels. The quantitative characteristics of the matrix receiver of search with the temporary analysis and requirement to its basic components are determined. The offered decisions provide essential increase of throughput of matrix system of search of radiosignals at constant quantity of channels of reception.