

УДК 621.396.96.33

Ю.В. Севостьянов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЯВЛЕННЯ І ПЕРЕХОПЛЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ІМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРІВСЬКИХ РЛПК З ДВОКАНАЛЬНИМ ПРИЙМАННЯМ ЕХО-СИГНАЛІВ ТА ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ РОЗВ'ЯЗАННЯМ

Проведено аналіз існуючих авіаційних бортових РЛС літаків-винищувачів четвертого покоління, які стоять на озброєнні авіації Повітряних Сил України. Виявлені недоліки при роботі на високих та середніх частотах повторення імпульсів та вказані пропозиції щодо їх усунення.

авіаційні бортові РЛС, енергія сигналу, літак, хвиля, частота сигналу, повітряна ціль, робочий діапазон частот, швидкість, дальність, кут місця, азимут, частота Доплера, поляризація хвиль, рупорний випромінювач, поляризаційний фільтр, висока частота повтору імпульсів

Вступ

Постанова задачі і аналіз літератури. ВПС України мають на озброєнні літаки четвертого покоління. Ці літальні апарати виконують бойові завдання з перехоплення повітряних цілей супротивника та завоювання лідерства над ними у повітрі. На всіх вище перелічених типах літальних апаратів встановлені радіолокаційні комплекси перехоплення та прицілювання. Дані радіолокаційні комплекси оснащені потужними обчислювальними системами, системами єдиної індикації (СЕІ), пультами дистанційного керування (ПДК), які полегшують роботу екіпажу при виконанні поставлених завдань.

З часом, з розвитком авіації ведеться боротьба за масу та розміри в літакобудуванні, з одного боку, але, з іншого, ведеться боротьба за швидке та якісне виконання авіаційною технікою поставлених завдань. Що стосується радіолокаційних комплексів перехоплення та прицілювання у вимогах до якості виконання поставлених задач, то вони повинні забезпечувати найбільш максимальну дальність дії, тим самим забезпечуючи виявлення високошвидкісних цілей супротивника на великих дистанціях, де збільшується час зустрічі з ціллю і тим самим досягається вірогідність точного влучання у ціль ракети від літака перехоплювача. Чим вище дальність виявлення цілі, тим вище вірогідність того, що дальність радіолокаційного комплексу літака-винищувача буде вище, ніж дальність дії РЛПК літака супротивника, тим самим зменшується вірогідність того, що супротивник першим виявить і знищить його.

Структурно радіолокаційні комплекси включають у себе основні блоки, а саме: передавач високочастотних потужних радіоімпульсів, антенний перемикач (на газорозрядних приладах), антена для передавання прийомів (в основному застосовується антена дзеркального типу з рупорним випромінювачем), приймач віддзеркалених сигналів, електронно-обчислювальна машина, пульти керування.

Дальність дії бортових РЛС залежить у значній мірі від трьох факторів, а саме: від потужності передавача [2, 7] чутливості приймача [4 – 6] ширини діаграми спрямованості антени і четвертий фактор, який не залежить від нас, це – канал розповсюдження радіохвиль і ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) цілі. На четвертий фактор ми вплинути не можемо, але на перші три фактори можемо і від задуму розробника буде залежати їх величина. Окрім цих чотирьох факторів, існує й не менш важливий п'ятий фактор, який полягає в обробці прийнятих віддзеркалених від цілі сигналів та прийнятті рішення про наявність ними відсутності цілі. Цю задачу виконує бортова цифрова обчислювальна машина (БЦОМ), наскільки вірно і точно БЦОМ проведе операцію обробки сигналів, настільки успішним буде виконання поставленої задачі. Одна особливість полягає в тому, що вище зазначені РЛПК працюють на високих та середніх частотах повторення (ВЧП, СЧП) імпульсів на одну антену. Це приводить до того, відбиті ехо-імпульси від цілі можуть потрапити до антени, коли передавач працюватиме на випромінювання, а вхід приймача у цей час для приймання закритий. Таким чином, частина імпульсів не приймається приймачем, та час затримки вимірюється неоднозначно [1, 3].

У статті проаналізовано функціонування авіаційних РЛПК, що знаходяться на озброєнні ВПС України, та внесено пропозиції щодо усунення недоліків, вказаних вище, застосування двоканального приймання з поляризаційним розв'язанням.

1. Застосування декількох настотя повтору імпульсів (ПІ) у роботі авіаційних РЛПК для розкриття неоднозначності та „сліпих” зон за дальністю при виявленні повітряної цілі

В імпульсних РЛС з низькою частотою повторення дальність виявляється однозначно, якщо ЧПІ задовольняють умові:

$$F_1 \leq \frac{c}{2D_M} \quad (1)$$

При застосуванні в імпульсно – доплерівських (ІД) РЛС середніх та високих ЧПІ виявити цілі можливо, але через неоднозначності важко вказати відповідний відбитий імпульс і дальності до цілі. Покажемо застосування декількох ЧПІ (мінімально дві ЧПІ) для усунення неоднозначності виявлення істинної відстані до цілі. Є основний період T_{i0} однозначного виміру, який обирається за формулою (1). Випромінювання здійснюється з двома ЧПІ, періоди повторення імпульсів обрані так:

$$T_{i1} = T_{i0}/n_1 \quad T_{i2} = T_{i0}/n_2 \quad (2)$$

На рис. 1 показані відповідні імпульси випромінювання та приймальні імпульси ($n_1 = 3, n_2 = 4$ в нашому випадку). Всі послідовності імпульсів показані на часових діаграмах, одна під іншою. У реальних умовах роботи РЛПК спочатку випромінюється, наприклад, послідовність імпульсів з F_{i1} , виявляється час затримки t'_{d1} відбитого імпульсу відносно найближчого випромінюваного, а потім випромінюється друга група з ЧПІ F_{i2} , і також вимірюється затримка t'_{d2} , істинну затримку t_{d0} на відстань до цілі можна виявити шляхом схемного варіанта, коли на компаратор подаються відбиті імпульси з ЧПІ – 1 і ЧПІ – 2. збіги імпульсів можливі тільки при істинній затримці t_{d0} в межах основного періоду T_{i0} . На рис. 1 збіжні імпульси зарисовані.

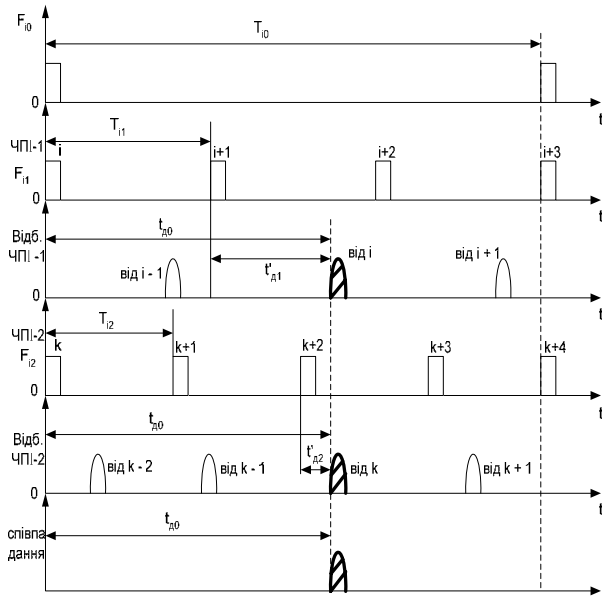


Рис. 1. Вимірювання відстані до цілі методом перебору двох ЧПІ

Достоїнством РЛС, які працюють на ВЧП, є однозначне вимірювання швидкості зближення з ціллю, бо дуже велика частота Доплера сигналу від цілі, і між спектрами пасивних завад, які приймаються по бічних (паразитних) пелюстках діаграми спрямованості антени, з'являється зона СДЦ, яка

вільна від завад, і куди можна розмістити сигнал від цілі (рис. 2).

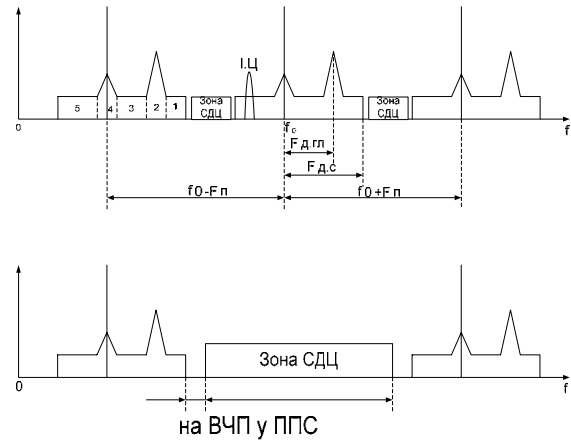


Рис. 2. Спектри пасивних завад на ВЧП

На рис. 2 ми бачимо, спектр пасивної завади складається з п'яти зон: 1 – зона приймання антеною по передніх пелюстках, на рис. 3, які стоять перед головною пелюсткою (вони мають наймаксимальнішу частоту Доплера); 2 – зона приймання антеною по головній пелюстці; 3 – зона приймання антеною по пелюсткам які знаходяться за головним пелюстком; 4 – „альтиметровий” викид, він має частоту Доплера, яка дорівнює нулю (на рис. 3 вони позначені позицією 4); 5 – зона приймання по задніх пелюстках. Всі ці зони розраховуються за формулою (3).

$$F_D = \frac{2 \cdot v_P}{\lambda} = \frac{2 \cdot v_{Ц} \cdot \cos \alpha}{\lambda} \quad (3)$$

де F_D – Доплерівська частота (зсув частоти) між частотою зондуючого сигналу f_3 і частотою віддзеркаленого сигналу $f_{віддз}$; v_P – радіанна швидкість руху цілі відносно РЛС; λ – довжини хвиль випромінюючого зондуючого сигналу; α – кут між вектором швидкості руху цілі та радіанною складовою швидкості цілі.

З рис. 2, 3 ми бачимо, чим більше буде кут α , тим менше буде частота Доплера в сигналі спектра завади від земної поверхні. Коли кут α буде дорівнювати 90° , то $\cos 90^\circ = 0$, у формулі (3) і весь вираз обернеться у нуль. На рис. 2 ми бачимо, спектри завад повторюються через $f_0 + F_n$ разів, і чим більше F_n , тим далі будуть розташовані спектри завад, тим ширша буде зона СДЦ і сигнали від цілі можна легко виявити. Але на ВЧП РЛС випромінює дуже велику кількість імпульсів, і коли відбиті „ехо” - імпульси надходять до антени РЛС, приймач може бути запертий, і частина імпульсів буде втрачена, тому, що передавач у цей час робитиме на випромінювання. З рис. 1 видно, що дальність виявляється до найближчого імпульсу, відбитого від цілі. У цьому випадку є імовірність того, що дальність буде виміряна неоднозначно на ВЧП, як було вказано вище. Для

того, щоб виміряти дальність до цілі, потрібно, щоб було як можна більше накопичено відбитих від цілі імпульсів, а на це потрібен деякий час і після обробки цих сигналів інформація про параметри цілі буде недійсна, оскільки за цей час ціль пройде переміщення по каналу дальності (рис. 3). З урахуванням цього фактора імпульсно-доплерівська бортова РЛС, яка застосовується у наш час, по каналу дальності при вимірюванні дальності дає дуже великі помилки (порядку 3 км). З цим приводом пропонується розробити імпульсно – доплерівську бортову РЛС з двоканальною приймальною частиною типу РЛПК.

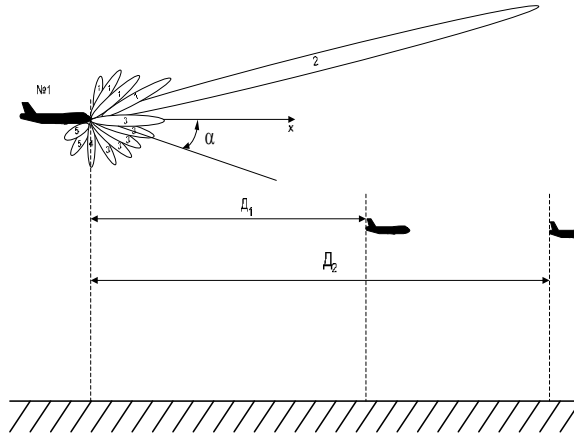


Рис. 3. Розміщення бічних пелюсток у діаграмі спрямованості антени

2.2 Принцип побудови радіолокаційної системи з двоканальною приймальною частиною

На рис. 4 наведена електрична структурна схема імпульсно-доплерівської бортової РЛС з двоканальною приймальною частиною типу РЛПК.

Ця схема до свого складу включає передавач, який складається з задаючого генератора, підсилювача потужності, антенного перемикача і синхронізатора, антени, яка являє собою дворупорний поляризаційний фільтр. Приймальна частина складається з високочастотних приймачів (ВЧ ПРМ1, ВЧ ПРМ2), двох низькочастотних приймачів (НЧ ПРМ1, НЧ ПРМ2). ВЧ ПРМ2, НЧ ПРМ2, які працюють як звичайний радіолокаційний приймач (коли передавач працює на випромінювання, їх входи закриті антенним перемикачем). У них є свій загальний рупор на випромінювання. У ВЧ ПРМ1, НЧ ПРМ1 є свій рупор. Ця група приймачів працює тоді, коли пере-

давач працює на випромінювання, а ВЧ ПРМ2, НЧ ПРМ2 у цей час закриті та „втрачають” відбиті від цілі імпульси. Для того, щоб енергія сигналу не потрапляла до входу у ВЧ ПРМ1, НЧ ПРМ1, у склад рупора, до якого вони підключені, входить поляризаційний фільтр на діодах Ганна, в його задачу входить не допускати у ВЧ ПРМ1, НЧ ПРМ1 поляризацію хвилі, яка випромінюється передавачем, і безперешкодно пропускати поляризацію хвилі, які відбиваються від цілі.

3.2 Дворупорна поляризаційна антена РЛПК

Для того, щоб виконати умови поляризаційного розв'язки першого каналу від другого на прийманні відбитих сигналів, потрібно мати два рупорних випромінювачі на кожен канал, причому випромінювачі повинні бути розташовані у фокусі резонаторної камери антени. При роботі передавача на випромінювання приймачі другого каналу заперті антенним перемикачем (рис. 4).

Вектор електричного поля \vec{E} випромінюється рупорним випромінювачем другого каналу вертикальної поляризації, але нижньої поляризації, він прямує до основного дзеркала на рис. 5.

На передньому краї основного дзеркала натягнуті тонкі металеві нитки, які розташовані паралельно падаючому до них вектору \vec{E} , який у свою чергу відбивається від нього (бо поверхня дзеркала, на яку падає вектор \vec{E} , по відношенні до нього розміщена під кутом), і бере напрямок до допоміжного (рухомого) дзеркала, на передній поверхні, на яку падає вектор \vec{E} , розміщені тонкі металеві дротики, як у основного дзеркала, але під кутом 45° по від-

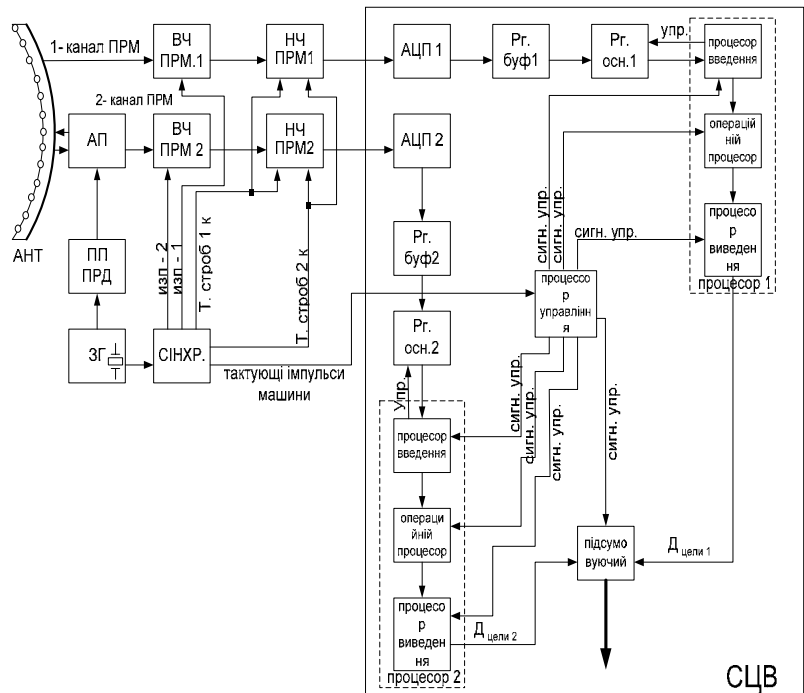


Рис. 4. Імпульсно-доплерівська бортова РЛС з двоканальною приймальною частиною типу РЛПК (схема електрична структурна)

ношенню до нього. У цьому випадку вектор \vec{E} розпадеться на два складові вектори $\vec{E}_{пад1}$ і $\vec{E}_{пад2}$. Ці вектори відбиваються від нього, причому вектор $\vec{E}_{пад2}$ змінює свою фазу на 180° , а вектор $\vec{E}_{пад1}$ свою фазу не змінює при відбитті від нього (так побудований фільтр). Тому результивний вектор \vec{E} повертається на 90° при відбитті від нього і прямує до основного дзеркала у зворотньому напрямку, він крізь нього проходить і йде у напрямку цілі. При відбитті від цілі вектор \vec{E} повертається на 180° і йде до антени. Коли він потрапляє до неї, відбуваються фізичні процеси, які були описані вище, але до рупорів він надходить з верхньою полярністю. Через рупор 2-каналу ПРМ він не пройде, бо останній працює на випромінювання, але крізь рупор 1 каналу він пройде без перешкод.

На рис. 5 ми бачимо рупор 2 каналу ПРМ має попереду металеві дротики, по середині яких впаєні діоди Ганна, задача яких, не пропускати до входу ВЧ ПРМ вектор \vec{E} нижньої полярності вертикальної поляризації, який випромінює передавач, та відбивати його у зворотньому напрямку на основне дзеркало з тією ж фазою, з якою він надійшов до нього, але у цей момент часу, якщо надійде відбита від цілі електромагнітна хвиля, то вона обов'язково буде тієї ж вертикальної поляризації (на вході у рупор 2 каналу ПРМ), але з верхньою поляризацією, яку пропустять безперешкодно діоди Ганна до входу у ВЧ ПРМ. Таким чином ми жодного відбитого від цілі імпульсу не втратимо. На рис. 6 показано, як падає вектор \vec{E} вертикальної поляризації нижньої полярності на металевий дротик, наводить індукційні заряди, а ті у свою чергу індукційні струми: i_{e+} , та i_{e-} , (рис. 6, а, б), за законом Фарадея:

$$E_i = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

де $d\Phi$: – змінний у часі dt магнітний струм; E_i – на-

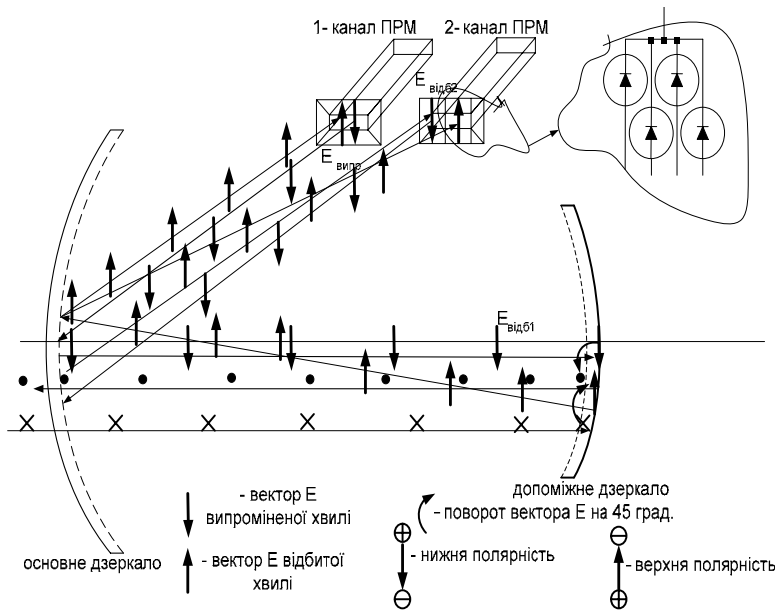


Рис. 5 Антенна система радіолокаційного комплексу

ведена ЕРС у металевому дротику.

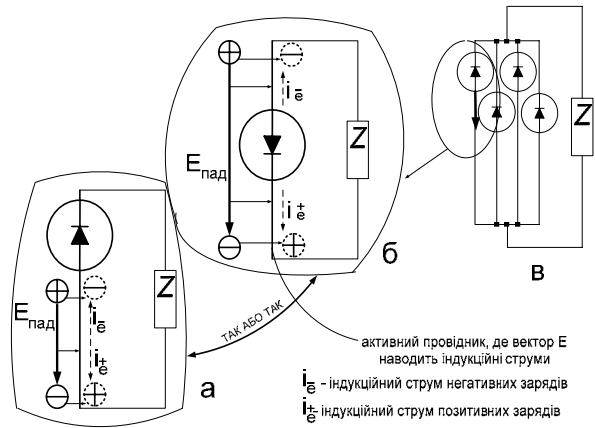


Рис. 6. Поляризаційний фільтр на діодах Ганна антенної системи радіолокаційного комплексу

Напрямок руху цих зарядів направлений зворотно відносно полярності діода Ганна (рис. 6, а), заряди через запертий діод не проходять, а слід зауважити, індукційного струму не буде, (за законом Ома) і не пройде таким чином хвиля до входу у приймач, відіб'ється у зворотньому напрямку, як було вказано вище:

$$I_i = E_i / Z, \quad (5)$$

де I_i – індукційний струм, E_i – наведена ЕРС, Z – повний опір навантаження кола металевого дротику

На рис. 6, б показаний, що діод Ганна підключений до прямої полярності по відношенні до наведених зарядів, і індукційний струм пройде до навантаження Z . Діод Ганна розміщений посередині дротику, на рис. 6, а Діод Ганна розміщений вгорі металевого дротику. Розміщення діодів не має значення. На рис. 6, в показаний поляризаційний фільтр, який складається з чотирьох активних провідників з діодами Ганна і підключеним еквівалентним навантаженням Z .

На рис. 7 показана схема одного з варіантів приймального рупора 2 каналу ПРМ, у задній 4 частині якого розміщений поляризаційний фільтр, який складається з “n” активних провідників з діодами Ганна (рис. 7, а).

Розміщення поляризаційного фільтра, з “n”- матрицею активних провідників з діодами Ганна у кінці прямокутного хвильоводу (рис. 7, в), та круглого хвильоводу (рис. 7, а).

Слід зазначити, що для збудження індукційних струмів у діодах Ганна не обов'язково поляризаційні фільтри розміщувати у кінці хвильоводів, можна спочатку, або всередині, чи у тій частині хвильоводу, де нам вигідно, але, так, щоб вектор \vec{E} був максимальним у цій точці хвильоводу, тобто перпендикулярний широкій

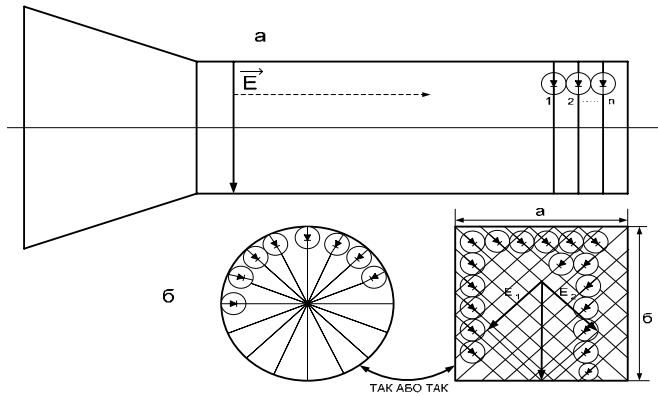


Рис. 7. Будова рупора другого каналу приймання радіолокаційного комплексу

його стінці ($\vec{E} \perp a$)

Висновки

Були розглянуті основні фізичні властивості радіолокаційних комплексів, які застосовуються у винищувальній авіації повітряних сил. Вони надають суттєву допомогу екіпажам повітряних суден у здійсненні виконання поставлених завдань, але є і недоліки, які істотно впливають на виконання поставлених завдань, з якими потрібно боротися шляхом оптимізації методів приймання відбитих від цілі сигналів та ідеєю обробки радіолокаційної інформації параметрів сигналів в авіаційних імпульсно-доплерівських РЛПК

Система, що була запропонована в цій статті, перша у цьому класі систем зі схожим принципом роботи. Вона „перекриває” позитивні якості попередніх систем, об’єднавши позитивні їх якісні показники і усуваючи тим самим їх головні недоліки, а це вимірювання однозначної дальності до цілі з високою точністю; вимірювання однозначної швидкості руху повітряної цілі з високою точністю; досить велика дальність виявлення повітряної цілі у всіх ракурсах атаки та на будь-яких радіальних швидкостях зближення (вдавлення) з повітряною ціллю; відносно короткий час обробки інформації, яка обробляється з приходом відбитого сигналу від повітряної цілі.

Є і основні недоліки цієї системи, а це втілення допоміжного другого каналу приймання, що приводить до установа ще одного рупора у фокусний простір резонатора антени. Це призведе до допоміжних затрат на юстирування і фокусування рупору першого каналу на передавання і приймання, його розв’язування по електромагнітній сумісності з рупором другого каналу приймання. Це приводить до незначного збільшення маси антенної системи та її розмірів. Але з урахуванням сучасних технологій ці вказані недоліки не будуть суттєво впливати на конструктивні та технологічні фактори, які у значній мірі можуть подіяти на виконання поставленої задачі.

Список літератури

1. Бакулев П.А., Стенин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 287 с.
2. Голиусов Ю.В. Авиационные радиопередающие устройства. – М.: ВВИА, 1990. – 210 с.
3. Дудник П.И., Чересов Ю.И. Авиационные радиолокационные устройства. – М.: ВВИА, 1986. – 533 с.
4. Новокианов М.Н. Электродинамика и распространение радиоволн. Специальный курс. – Рига, РВВАИУ им. Я. Алксниса, 1981. – 563 с.
5. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. – М.: Высшая школа 1967. – 244 с.
6. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1978 – 543 с.
7. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
8. Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС. Справочник. – М.: Радио и связь, 1990 – 271 с.
9. Куля Б.М. Авиационные радиопередающие устройства. – К.: КВВАИУ, 1987. – 487 с.

Надійшла до редколегії 10.04.2007

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.К. Волосяк, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.