

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХІДНОГО НВЧ-ПРИСТРОЮ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ РЛС ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ

© Семенюк А.Й., 2009

Запропоновано структуру побудови антенної решітки для РЛС кругового огляду простору. Проаналізовано технічні характеристики РЛС, на які істотно впливають параметри вхідних пристроїв НВЧ. Запропоновано шляхи зниження коефіцієнта шуму приймача та його захисту від потужних зондуючих сигналів. Сформовано технічні вимоги до вхідного пристрою.

The array construction structure is proposed for the space surveillance radar system. The radar system technical characteristics, which are essentially influenced by the microwave input device parameters, have been analyzed. There are suggested the ways to decrease the receiver noise factor and protect it from power sounding signals. The input device specifications have been formed.

Одним із перспективних шляхів подальшого вдосконалення радіолокаційних систем (РЛС) огляду простору є використання замість громіздких і складних дзеркальних антен антенних систем на основі площинних антенних решіток. Такі антени дають змогу побудувати багатопробеневу трикоординатну РЛС, в якій тривимірний огляд простору виконується за допомогою розміщеного в вертикальній площині під фіксованими кутами місця пучка голкоподібних променів, які неперервно сумісно обертаються по азимуту (рис. 1).

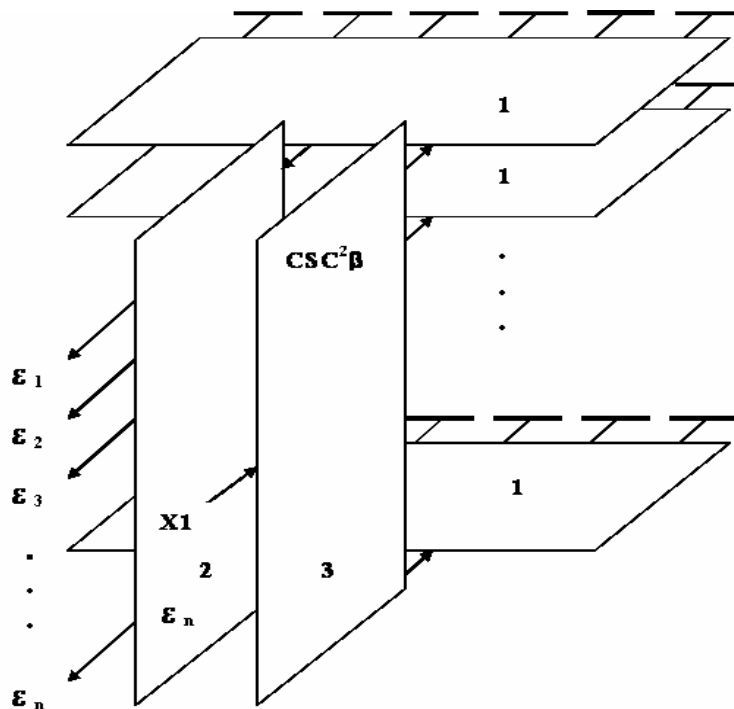


Рис. 1. Структурна схема об'єднання стрічок в антенну решітку і формування ДН передачі і прийому сигналів

Під час передачі зондуючого імпульсу весь комплект елементів антенної решітки 1 (або частина) збуджується одним потужним передавачем Х1, вихідна потужність якого ділиться і розподіляється в такий спосіб, щоб усі випромінювачі збуджувались синфазно, а форма огинаючої сумарної передаючої діаграми направленості приблизно відповідала закону розподілу $csc^2\theta$, 3 на рис. 1.

На прийом з кожного збуджувача 1, які розміщені по рядках і стовпцях антенної решітки, за допомогою діаграмоутворювального пристрою 2 формуються окремі приймальні промені $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$, які необхідні для визначення кута місця і забезпечення максимального підсилення приймальних променів при пошуку по азимуту і дальності.

Вирішальне значення для забезпечення потенціалу РЛС огляду простору мають параметри вхідних НВЧ-пристроїв.

Для потенційних можливостей РЛС огляду простору вхідні НВЧ-пристрої мають забезпечити певні технічні характеристики, які ми розглянемо нижче.

Постановка задачі

РЛС огляду простору розв'язують задачі виявлення цілей, вимірювання координат і параметрів руху цілей, їх швидкості і відстані до них. Предметом нашого розгляду є формування технічних характеристик вхідних НВЧ-пристроїв, використовуючи необхідність забезпечення тактико-технічних характеристик антенних решіток РЛС огляду простору.

Для цього скористаємося основним рівнянням радіолокації для вільного простору, яке пов'язує дальність радіовиявлення R з технічними параметрами РЛС і ймовірностями виявлення P_o і P_n [1]:

$$R = 4 \sqrt{\frac{P_{cp} T G^2 \lambda^2 \sigma \eta}{(4\pi)^3 k T_K q^2 \rho}}, \quad (1)$$

де P_{cp} – середня потужність передавального пристрою; T – тривалість вхідної реалізації коливань; G – коефіцієнт направленої дії антени; λ – довжина робочої хвилі; σ – ефективна площа розсіювання цілі; T_K – шумова температура приймальної антени; η – коефіцієнт втрат НВЧ-лінії передачі між передавачем і антеною ($\eta \leq 1$); $q^2 = f(P_o, P_n)$ – порогове відношення сигнал-шум; ρ – втрати за неузгодженої фільтрації.

Проаналізуємо рівняння з метою виявлення технічних характеристик приймального тракту і схеми побудови антенної системи на збільшення дальності дії РЛС. Зі зменшенням спектральної густини шуму $N_0 = k T_K$ збільшується дальність, тому намагаються зменшити шумову температуру, яка визначається формулою

$$T_K = T_A / \eta_1 + T_{л} + T_{ПР}, \quad (2)$$

де T_A – шумова температура антени; $T_{л}$ – шумова температура НВЧ-лінії передачі між антеною та приймачем; $T_{ПР}$ – шумова температура приймача; η_1 – коефіцієнт втрат НВЧ-ліній передачі, розв'язуючих пристроїв і діаграмоутворювальних пристроїв антенної решітки ($\eta_1 \leq 1$).

Шумова температура антени T_A для випадку антенної решітки визначається шумовою температурою окремого випромінювача залежно від його типу і конструктивного виконання.

Шумова температура ліній передачі $T_{л}$, які з'єднують антену і приймач, залежить від їх типу та схеми побудови.

Для антенної решітки випромінювачі 1 (рис. 2) є спільними для передачі і приймання сигналу. Між каналом передачі і приймання сигналу встановлюють розв'язувальний пристрій 2 (рис. 2) для каналізації зондуючого імпульсу в антену і відбитого імпульсу у приймач. При цьому лінії передачі НВЧ і розв'язувальний пристрій мають вносити мінімальні втрати, щоб не збільшити загальну шумову температуру T_K .

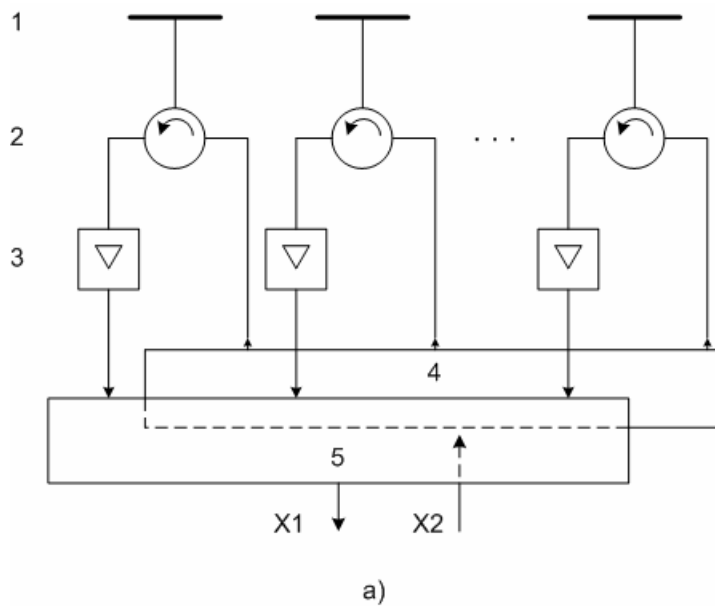


Рис. 2. Структурна схема стрічки антени, яка формує ДН по азимуту

Необхідно зауважити, що у загальному випадку для пасивної антенної решітки складова втрат діаграмоутворювального пристрою пропорційна до кількості елементів антенної решітки, кількість яких може становити від кількох десятків до сотень одиниць. Це може призвести до зростання шумової температури T_K і втрати потенціалу РЛС. Способом усунення цього недоліку є установка у кожному каналі після розв'язувального пристрою НВЧ-підсилювача 3 (рис. 2) з малим коефіцієнтом шуму і великим коефіцієнтом підсилення. Для мінімізації втрат лінії передачі розв'язувальний і вхідний НВЧ-пристрої необхідно розмістити безпосередньо біля кожного елемента антенної решітки. Тоді шумова температура антенної решітки T_K буде переважно визначатися шумовою температурою елементарного опромінювача, втратами пристрою розв'язки та шумовою температурою НВЧ-пристрою.

Враховуючи, що на вхідний НВЧ-пристрій через розв'язувальний елемент просочується частина зондуючого сигналу, перед входом мал шумного підсилювача (МПП) необхідно встановити захисний пристрій (ЗП), який обмежить вхідний сигнал. Тому шумова температура приймача $T_{ДР}$ складатиметься із власних шумів МПП та втрат ЗП.

Розроблення вхідних НВЧ-пристроїв (ліній передачі, розв'язувальних пристроїв, ЗП і МПП) з мінімальним коефіцієнтом шуму рівнозначна підвищенню вихідної потужності енергомісткого (сотні кВт імпульсної потужності) передавального пристрою або збільшенню дальності дії радіолокатора.

Шляхи вирішення

Для аналізу технічних характеристик вхідних НВЧ-пристроїв задамося такими параметрами: потужність передавача 150 кВт (51.8 дБВ), тривалість імпульсу $\tau_i = 43$ мкс, щільність імпульсів $q = 20$.

Кількість елементів антенної решітки вибирається із необхідності формування необхідної діаграми направленості і параметрів підсилення. Для прикладу розглянемо антенну решітку типу $6 * 9$, в якій у кожному горизонтальному рядку розміщено 6 елементів 1 (рис. 1), і таких рядків є 9.

Діаграмоутворювальна система на передачу і приймання матиме орієнтовний коефіцієнт передачі $L = 10 \lg(6 * 9) = 17.3$ дБ.

Якщо врахувати коефіцієнт розв'язки циркулятора 2 (рис. 2) близько $L_C = 15$ дБ, то імпульсна потужність на вході НВЧ-пристрою 3 (рис. 2) становитиме

$$P_{ex} = P_{i,пер} - L - L_C = 51.8 - 17.3 - 15 = 19.8 \text{ дБВ (95 Вт)},$$

з урахуванням нерівномірності поділу і виробничого запасу максимально допустимий рівень вхідної імпульсної НВЧ-потужності становить 150 В т.

Коефіцієнт підсилення МШП має бути достатній, щоб зменшити вплив втрат діаграмоутворювального пристрою ($L = 17.8$ дБ) та коефіцієнта шуму приймальних пристроїв, щоб частка їх впливів на сумарний коефіцієнт шуму не перевищувала 5 %, тобто більше 13 дБ, в результаті коефіцієнт підсилення підсилювача має становити більше як 31 дБ.

Для забезпечення приймання вхідних сигналів з динамічним діапазоном $D = 60$ дБ за реальної чутливості РЛС:

$$P_{rea} = kT_0 \Delta f N_g = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 2.5 \cdot 10 = 3.1 \cdot 10^{-11} (105 \text{ дБВ}).$$

Верхня межа лінійності амплітудної характеристики по виходу становить

$$P_1 = D + K_p + P_{rea} = 60 + 33 - 105 = -12 \text{ дБВ (63 мВт)}.$$

З урахуванням запасу $P_1 = 100$ мВт.

У цій роботі розглядаються компоненти вхідних НВЧ-пристроїв, які розробляються для складних режимів роботи, що потребують когерентності усіх частотних складових сигналів, що передаються. Сигнали різних частот можуть передаватись або швидко у вигляді одного посилання, або повільно за допомогою послідовності імпульсів, але в будь-якому випадку повний сигнал отримують в результаті обробки окремих частотних складових відповідними схемами, які об'єднують їх в єдину смугу. Для того, щоб приймальні і передавальні діаграмоутворювальні схеми зовсім не спотворювали сигнали, вони повинні пропускати ці сигнали, вносячи в них, у гіршому випадку, лише часову затримку. Коли йдеться про частотну область, ця вимога має на увазі постійність амплітудної характеристики і лінійність фазової характеристики у межах смуги частот сигналу.

Аналіз впливу похибок в амплітуді і фазі показує, що періодичні амплітудні і фазові спотворення (помилки) призводять до появи хибних відбиттів меншої амплітуди, а квадратичні помилки викликають розширення імпульсів і знижують коефіцієнт стиснення. Відповідні числові результати наводяться у [3]. Для вхідного НВЧ-пристрою вимагається нерівномірність коефіцієнта підсилення менше 1 дБ, а неіндентичність фазочастотних характеристик – менше 10 градусів.

Технічні вимоги до вхідного НВЧ-пристрою

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень з побудови антенної решітки РЛС огляду простору можна сформулювати технічні вимоги до вхідного НВЧ-пристрою:

Склад:	– пристрій захисту
	– МШП
	– вторинне джерело живлення
Довжина робочої хвилі	10 см
Робоча смуга	10 %
Коефіцієнт підсилення по потужності	31...33 дБ
Нерівномірність коефіцієнта підсилення	< 1 дБ
Коефіцієнт шуму	< 2,5 дБ
Неіндентичність фазочастотних характеристик	< 10 °
Верхня межа лінійності амплітудної характеристики по виходу	> 100 мВт
Максимально допустимий рівень вхідної імпульсної НВЧ-потужності за $\tau_v \geq 43$ мкс, $Q \leq 20$	150 Вт
Час відновлення коефіцієнта підсилення після дії високого рівня НВЧ-потужності	< 5 мкс

Враховуючи місце установки, пристрій має забезпечувати вказані вище параметри в жорстких умовах експлуатації за робочої температури від мінус 50 до плюс 55 °С, ударних навантажень – 10 g і механічних вібраціях. Виконання виробу має бути безкорпусне, малогабаритне, в гібридно-інтегральному виконанні – з можливістю об'єднання кількох пристроїв для формування лінійки в одному герметичному корпусі.

Висновки

Запропоновано структуру побудови антенної решітки для РЛС кругового огляду простору і проаналізовано вплив параметрів вхідного пристрою НВЧ на основні параметри радіолокатора.

Показано, що розміщення вхідного маломощного НВЧ-пристрою з пристроєм захисту на вході, який має мінімальний коефіцієнт шуму, рівноцінне значному збільшенню радіуса дії радіолокатора.

Сформовано вимоги до технічних характеристик вхідного НВЧ-пристрою антенної решітки РЛС огляду простору. Розроблені за технічними вимогами пристрої можуть застосовуватися в аналогічних НВЧ-пристроях інших діапазонів частот та інших типів РЛС.

1. Дымова А.И., Альбац М.Е., Бонч-Бруевич А.М. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Под. ред. А.И. Дымовой. – М.: Сов. радио, 1975. – 440 с. 2. Семенюк А.И. Мощные микро-электронные СВЧ приемопередатчики бортовых РЛС // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков, 2002. – Т. 1, № 2. 3. Klauder J.R., Price A.E., Darlington S. and Albersheim W.J. The theory and design of chirp radars // Bell Sys Tech. Jvoe.39. – July 1960. – P.801.