

Національний авіаційний університет  
ФАЕТ  
Кафедра ЕРМІТ

## **ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ**

Методичні рекомендації і завдання  
до виконання РГР

для студентів спеціальності 171, Освітня програма «Електронні технології інтернету речей»

Розробник: професор, д.т.н. Ф. Й. Яновський

Київ 2020

## ВСТУП

Згідно з програмою студенти мають виконати РГР у 7-му семестрі.  
Час, необхідний для виконання РГР – 8 годин самостійної роботи.

### 1. ЦІЛІ І ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Мета виконання РГР - зміцнити, розширити і узагальнити отримані знання з принципів роботи і функціонування електронних систем, а також розуміння експлуатаційних даних системи.

### 2. ЗМІСТ РОБОТИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇЇ ВИКОНАННЯ

Розрахунок реальної роздільної здатності локаційного датчика за дальністю і азимутом, а також точності вимірювання дальності і азимута. Вихідні дані у додатку 1.

Робота виконується у вигляді розрахунків з поясненнями. Вона включає в себе:

- титульний аркуш (Додаток 2);
- завдання;
- розрахунки та пояснення відповідно до завдання;
- висновок;
- список використаних джерел.

### 4. ЗАВДАННЯ НА РГР

Розрахунок реальної роздільної здатності за дальністю і азимутом, а також точності вимірювання дальності і азимута за характеристиками відбитого сигналу.

Вихідні дані включають такі параметри:

- несна частота  $f$  [ГГц];
- тривалість зондувального імпульсу  $\tau$  [мкс];
- розмір антени у горизонтальній площині  $d_{ah}$  [м];
- розмір антени у вертикальній площині  $d_{av}$  [м];
- діаметр екрану індикатора кругового огляду  $D_{CRT}$  [мм];
- якість фокусування пучка електронів ЕПТ  $Q_f$
- граничні значення лінійної дальності на екрані (масштаб)  $D_{sl}$  [км]
- інтервал між мітками дальності  $\Delta D$  [км]
- інтервал міток азимуту  $\Delta\phi$  [град]

Ці дані є необхідними і достатніми для розрахунку заданих характеристик згідно з умовами, наведеними нижче.

#### Розрахунок реальної роздільної здатності за дальністю і азимутом

Реальна роздільна здатність радіолокатора при використанні індикатора кругового огляду (ІКО) в якості вихідного пристрою визначається за формулою:

$$\Delta R = \Delta R_{pot} + \Delta R_{disp}, \quad (4.1)$$

де  $\Delta R_{pot}$  потенційна роздільна здатність;

$\Delta R_{disp}$  роздільна здатність по дальності пристрою відображення інформації (дисплея).

У разі некогерентних прямокутних зондувальних імпульсів, потенційна роздільна здатність за дальністю (припускаючи відношення сигналу до шуму  $SNR \gg 1$ ) може бути оцінена як

$$\Delta R_{pot} = \frac{c\tau}{2}. \quad (4.2)$$

Роздільна здатність дисплея по дальності може бути розрахована за формулою:

$$\Delta R_{disp} = \frac{D_{st}}{k_{es} Q_f}, \quad (4.3)$$

де  $D_{st}$  – граничні значення шкали дальності (масштаб дальності);

$k_{es}$  – коефіцієнт використання екрану (можна припустити  $k_{es} = 0,4$  для ІКО);

$Q_f$  – параметр якості фокусування ЕПТ, який фактично є відношенням діаметра екрану  $D_{CRT}$  до діаметра мінімальної точки  $d_s$ , тобто  $Q_f = D_{CRT}/d_s$ .

Розрахунок роздільної здатності за дальністю необхідно виконати для різних значень  $D_{st}$ , щоб визначити вплив розміру екрану і масштабу на реальну роздільну здатність.

Реальна роздільна здатність за азимутом аналогічно з роздільною здатністю за дальністю складається з двох компонентів: потенційна роздільна здатність і роздільна здатність екрану:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{pot} + \Delta\theta_{disp}. \quad (4.4)$$

Оцінити потенційну роздільну здатність за азимутом можна за простою формулою

$$\Delta\theta_{pot} \approx 1.3\theta_{0.5}, \quad (4.5)$$

де ширина променя  $\theta_{0.5}$  залежить від розміру (апертури) антени і довжини хвилі і може бути розрахована за формулою (3.8).

Кутова роздільна здатність екрану (роздільна здатність екрану за азимутом) приблизно дорівнює

$$\Delta\theta_{disp} = d_s M_f, \quad (4.6)$$

де  $d_s$  – діаметр точки ЕПТ;

$M_f = 360/2\pi r$  є вибираним масштабом на екрані, де  $r$  є відстань між мітками на екрані, відлічуваним від центру екрану.

Припускаючи, що мітка цілі знаходиться на краю екрану, що означає  $r = k_{es} D_{CRT}/2$ , отримуємо

$$\Delta\theta_{disp} = \frac{d_s 360}{\pi D_{CRT} k_{es}} = \frac{360}{\pi Q_f k_{es}} \quad (4.7)$$

У підсумку, реальна роздільна здатність оцінюється за рівнянням (4.4), з урахуванням (4.5) і (4.7).

### Розрахунок точності вимірювання дальності і азимуту

Точність характеризується похибкою вимірювання. Сумарна середньоквадратична похибка вимірювання дальності розраховується за формулою:

$$\sigma(R) = \sqrt{\sigma^2(R)_{pot} + \sigma^2(R)_{prop} + \sigma^2(R)_{impl}}, \quad (4.8)$$

де:  $\sigma(R)_{pot}$  – потенційна середньоквадратична похибка вимірювання дальності;  
 $\sigma(R)_{prop}$  – середньоквадратична похибка, зумовлена аномальним поширенням радіохвиль;  
 $\sigma(R)_{impl}$  – середньоквадратична методична похибка.

Потенційна точність визначається похибкою, що залежить від ефективної ширини спектра зондувального сигналу та відношення сигналу-шуму. У разі імпульсного радіолокатора з прямокутним зондувальним імпульсом (ширина спектра зворотно пропорційна тривалості імпульсу) вона може бути оцінена за формулою:

$$\sigma(R)_{pot} = \frac{c \cdot \tau}{2\sqrt{\pi \cdot q_0}}, \quad (4.9)$$

де  $q_0$  – це відношення сигналу до шуму, яке розраховується за формулою (3.6).

Похибкою, яка виникає за рахунок поширення хвилі не по прямій лінії  $\sigma(R)_{prop}$ , можна знехтувати. Методична похибка  $\sigma(R)_{impl}$  може бути, головним чином, спричинена інструментальною похибкою  $\sigma(R)_{disp}$ . Для розрахунку  $\sigma(R)_{disp}$ , припустимо, що використовується метод електронного читання знаків на екрані ІКО. В такому разі оцінка інструментальної похибки пов'язана з ціною поділки, яка в свою чергу пов'язана з інтервалом міток дальності  $\Delta D$  і бити грубо оцінена як

$$\sigma(R)_{disp} \approx 0.1\Delta D. \quad (4.10)$$

Отже, точність вимірювання дальності характеризується середньоквадратичною похибкою, яка може бути оцінена за формулою (4.8), після підстановки (4.9) і (4.10) і нехтуючи складовою  $\sigma(R)_{prop}$ .

Результуюче значення середньоквадратичної похибки при вимірюванні азимуту, визначається аналогічним шляхом. Її можна записати у вигляді:

$$\sigma(\theta) = \sqrt{\sigma^2(\theta)_{pot} + \sigma^2(\theta)_{disp}}, \quad (4.11)$$

де  $\sigma(\theta)_{pot}$  – потенційна похибка;  
 $\sigma(\theta)_{disp}$  – похибка відображення.

Обидва компоненти можуть бути оцінені наступними виразами відповідно:

$$\sigma(\theta)_{pot} = \frac{\theta_{0.5}}{2\sqrt{\pi \cdot q_0}}; \quad (4.12)$$

$$\sigma(\theta)_{disp} \approx 0.1\Delta\varphi, \quad (4.13)$$

де  $\Delta\varphi$  – інтервал маркеру азимуту, зазначений у вихідних даних.

Варіанти вихідних даних для розрахунку подані в Додатку 1.

## Список рекомендованої літератури

1. Яновський Ф.Й. Радіолокаційні системи повітряних суден. Рекомендовано МОН як підручник для ВНЗ, К.: Видавництво НАУ, 2012 – 688 с.
2. Yanovsky, F.J. Basics of Aviation Telecommunications, Radar, and Radio Navigation: Lectures Synopsis (electronic version). – К.: НАУ, 2011. Available: <http://www.kafelec.kiev.ua>
3. Yanovsky, F.J. Theory of Radar Systems: Lectures Synopsis (electronic version). – К.: НАУ, 2003. Available: <http://www.ans.nau.edu.ua/>
4. Meikle, Hamish. Modern Radar Systems, Boston – London: Artech House, 2001.
5. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. – М.: Радио и связь, 1983.
6. Васин В.В., Б.М. Степанов. Справочник-задачник по радиолокации. М.: Советское радио, 1977.
7. Яновський Ф.Й. Метеонавігаційні радіолокаційні системи повітряних суден. – К.: НАУ, 2003. – 304 с.

## Варіанти вихідних даних для РГР

Номер варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Несна частота $f$ [ГГц]	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Тривалість імпульсу $\tau$ [мкс]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	2	3	4	4	5	6	1	2	3	4	
Діаметр антени $d_a$ [см]	76	56	76	56	76	56	76	56	76	560	760	960	560	760	960	560	760	960	560	760	760	760	760
Діаметр екрану $D_{CST}$ [см]	20	15	25	20	25	15	20	25	30	560	760	760	560	560	760	560	560	760	560	560	560	760	560
Якість фокусування $Q_f$	1000	1500	2000	1000	1500	2000	1500	1000	2000	1000	1500	2000	1000	1500	2000	1500	1000	2000	1000	1500	2000	1000	1000
Граничні значення шкали дальності $D_{sl}$ [км]	<p>Оберіть самі та обґрунтуйте декілька масштабів дальності.  Найбільше значення <math>D_{sl}</math> відповідає найбільшій дальності, яку можна виміряти.  Наприклад, його можна вибрати з урахуванням умови однозначного вимірювання дальності  <math display="block">R_{одн} \leq \frac{cT}{2} = \frac{c}{2F}</math> Тобто <math>D_{sl\max} &lt; R_{одн}</math>. Тут <math>T</math> і <math>F</math> - період і частота повторення імпульсів відповідно. Значення <math>F</math> можна взяти з таблиці (Додаток 1) свого варіанту.</p>																						
Інтервал міток дальності $\Delta D$ [км]	Оберіть самі та обґрунтуйте для кожного з масштабів з міркувань зручності застосування шкали.																						
Інтервал міток азимуту $\Delta\phi$ [град]	10	10	10	10	10	10	15	15	15	20	20	20	10	10	10	10	10	10	15	15	20	20	

ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОЇ СТОРІНКИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
кафедра ЕРМІТ

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА  
з дисципліни: «Електронні системи»

Тема:

Виконав: студент, групи \_\_\_\_\_

*Прізвище ПП*

*(підпис)*

Дата: „\_\_ „ \_\_\_\_ 2020

Перевірив: *підпис* проф. Яновський Ф.Й.

Київ 2020