

УДК 621.396.67:629.735.051.83-52:621.396.029.55(045)

ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНИХ АНТЕН БОРТОВОЇ АВІАЦІЙНОЇ НАВІГАЦІЙНО-ПОСАДКОВОЇ АПАРАТУРИ

Я. В. Кондрашов, канд. техн. наук, А. О. Осіпчук

Національний авіаційний університет
alina-osipchuk@mail.ru

Запропоновано методику дослідження характеристик активних антен навігаційно-посадкової апаратури. Наведено результати вимірювання характеристик у частині динамічного діапазону, блокування, взаємної і перехресної модуляції, а також інтермодуляції.

Ключові слова: антена, приймач.

In the article are represented the researches technique of characteristics of active aeriels navigation landing apparatus. The presented results of measuring of descriptions are in part of dynamic range, blocking, mutual and cross modulation, and also intermodulation.

Keywords: aerial, receiver.

Вступ

Активними антенами (АА) або антенами-підсилювачами (АП) у радіотехніці називають пристрої, що об'єднують власне антену і активні елементи підсилення, перетворення або генерації сигналів. Розділення АП на пасивну і активну частини неможливе через інтегральний характер пристрою. Інтеграція антен і активних елементів дає змогу зменшити розміри антен, розширити смугу пропускання електрично коротких антен, поліпшити чутливість приймальних антен, здійснити електронне налаштування антен, ефективне симетрування при з'єднанні симетричної антени з несиметричною лінією передачі, поліпшити електромагнітну сумісність радіосистем. У багатьох випадках активні антени дозволяють реалізувати одночасно декілька вказаних переваг, причому вираш, наприклад, у габаритах активних антен може досягати декількох десятків разів порівняно з пасивним аналогом при збереженні або навіть поліпшенні електричних характеристик (смуги пропускання, чутливості тощо). Активна антена виконується у вигляді одного блоку. У загальному випадку це нелінійний і невзаємний пристрій.

Характеристики електромагнітної сумісності активних антен

Електромагнітна сумісність (ЕМС) активних антен визначається такими характеристиками: динамічним діапазоном, блокуванням, взаємною модуляцією, перехресною модуляцією.

Кількісні характеристики ЕМС АП бортової авіаційної навігаційно-посадкової апаратури (НПА) ІV покоління визначалися через напруже-

ності полів завад і сигналів, заданих вимогами ARINC і НЛГС 3 [1], у полігонних умовах за допомогою стандартної вимірювальної апаратури або в лабораторних умовах за описаною нижче методикою. Методика вимірювання напруженості поля в лабораторних умовах ґрунтується на вимірюванні напруги на виході АП і перерахунку цієї величини в напруженість поля за відомою діючою довжиною l_d (м) активної антени, на центральній частоті робочого діапазону і відомій частотній характеристиці коефіцієнта підсилення активної антени $G_{\text{відн}}$ (за напругою) відносно його значення на центральній частоті робочого діапазону. Напруга на виході активної антени U і напруженість поля в місці прийому E пов'язані залежністю [2]:

$$U = (1/2) E l_d G_{\text{відн}} ;$$

$$E = (2U)/(l_d G_{\text{відн}}) .$$

Таким чином, знаючи величини l_d і $G_{\text{відн}}$, можна визначити величину U за заданим значенням E (або навпаки).

Напруженості полів завад і сигналів розраховувалися, виходячи з очікуваних величин чутливості апаратури, за каналами, в яких передбачається використовувати АП: за курсовим каналом (навігаційна антена) — $U_{\text{пр}} = 1,5$ мкВ, $l_d = 0,85$ м, $f_p = 113$ МГц — середня робоча частота; за маркерним — $U_{\text{пр}} = 200$ мкВ, $l_d = 0,4$; $f_p = 75$ МГц.

Динамічний діапазон активних антен $D_{\text{а.а}}$ визначається відношенням напруженості поля робочого сигналу E_{max} , за якої динамічна характеристика АА відхиляється від прямої лінії на не більш ніж на 1 дБ і чутливості $U_{\text{пр}}$, що відповідає

за курсовим каналом $E_{\text{пр}} = 3,5$ мкВ/м, за маркерним каналом $E_{\text{пр}} = 1$ мкВ/м.

Динамічний діапазон АА має бути не менше динамічного діапазону приймача: $1,5$ мкВ \div \div 100 мВ, тобто 94 дБ. Не повинно виникати блокування АА, що визначається за зменшенням робочого сигналу на 1 дБ у разі дії на неї завади з напруженістю поля: 36 мВ/м у діапазоні частот від $102,6$ до $123,8$ МГц, виключаючи діапазон 113 ± 120 кГц; $1,2$ В/м у діапазоні частот $2-24$ МГц та $123,8-136$ МГц; 750 В/м у діапазоні $65-85$ МГц, виключаючи діапазон $74,5-75,5$; робочі сигнали 10 мкВ/м на частоті 113 МГц та 3 мВ/м на частоті 75 МГц.

Коефіцієнт перехресної модуляції АА не повинен перевищувати 3% при дії робочого сигналу вказаної величини і сигналу завади для курсового каналу величиною $3,6$ мВ/м у діапазоні частот від $105,74$ до $120,21$ МГц та 482 мВ/м у діапазоні частот $0,19-1215$ МГц, виключаючи діапазон 113 МГц \pm 120 кГц; 750 мВ/м у діапазоні частот $65-75$ МГц, виключаючи діапазон від $74,5$ до $75,5$ МГц. Завада інтермодуляції 3-го порядку вигляду $2f_1 - f_2$ на виході АА НПА ІV покоління не повинна перевищувати $1,5$ мкВ при дії двох сигналів, що заважають, з рівнем $3,6$ мВ/м у діапазоні частот $0,19$ до 1215 МГц, виключаючи діапазон $107,88-118,12$ МГц.

Схему вимірювання основних характеристик ЕМС АА типу АП-001 М на транзисторі 2Т3120А показано на рис. 1, де 1 — селективний мікровольтметр SMV 8,54; 2 — пристрій введення живлення ПВЖ-001; 3 — блок живлення Б5-7; 4 — блок, що випробовується (АП 001М); 5 — дільник потужності В0-029; 6 — генератор Г4-107; 7 — генератор сигналів ВЧ Г4-143, Г4-31; 8 — вольтметр В3-13; 9 — комбінований прилад Ц4313; 10 — загороджувальний фільтр ЕУ2.067.360 ($118 \div 136$ МГц).

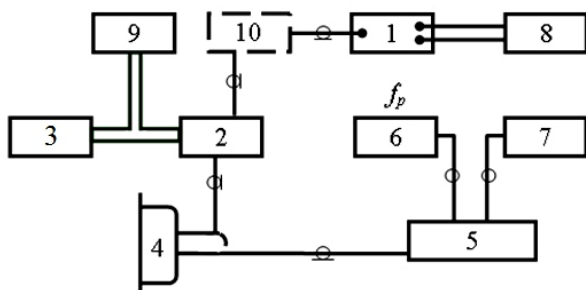
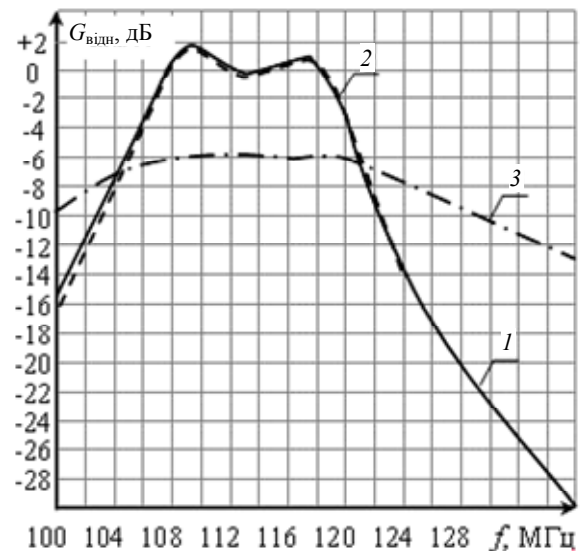


Рис. 1. Схема вимірювання основних характеристик ЕМС АА

Дільник потужності В0-029 (поз. 5) має розв'язок не гірше 18 дБ у діапазоні від 40 до 400 МГц, а в діапазоні $108-118$ МГц — не гірше 25 дБ, що забезпечує розв'язку генераторів (поз. 6, 7). Сигнали від генераторів через дільник

потужності надходять на короткий випромінювач, розміщений у резонаторі антени, що випробовується (поз. 4).

Частотна характеристика коефіцієнта підсилення антени-підсилювача, що випробовується, знята через випромінювач, показана на рис. 2, практично збігається по формі з частотною характеристикою коефіцієнта підсилення АП у вільному просторі. Рівень 0 дБ на рис. 2 відповідає коефіцієнту підсилення півхвильового вібратора.



— вимірювана частотна характеристика ЕМС;
- - - норма за технічною вимогою

Рис. 2. Частотна характеристика коефіцієнта підсилення антени-підсилювача:

- 1 — АП001М, знята за допомогою контрольного штиря;
2 — АП001М, знята у вільному просторі;
3 — АП001, знята у вільному просторі

Під час вимірювання динамічного діапазону використовувався один генератор Г4-107 (поз. 6), що має східчастий аттенюатор $0-119$ дБ/мкВ. Спочатку проводилась перевірка динамічного діапазону приймача SMV 8,5 (поз. 1), для чого генератор підключали безпосередньо до приймача. Потім генератор підключали до входу контрольного випромінювача блоку, що випробовується, а його вихід — через ПВЖ-001 (поз. 2) — до приймача. Залежність $U_{\text{пр}}(\text{дБ/мкВ})$ від $U_{\text{ген}}^*(\text{дБ/мкВ})$ показана на рис. 3 (частота 113 МГц). Як видно з рис. 3, рівень $U_{\text{пр}}(\text{дБ/мкВ})$ відповідає відхиленню від прямої лінії на 1 дБ при $U_{\text{ген}}(\text{дБ/мкВ}) = 108,9 \approx 109$ дБ.

Потім генератор (поз.6) вимикався і вимірювалася $U_{\text{ШАП}}(\text{дБ/мкВ})$. Динамічний діапазон ($D_{\text{АП}}$) визначається як

$$D_{\text{АП}} = E_{\text{ген}}(\text{дБ/мкВ}) - E_{\text{ш}}(\text{дБ/мкВ}) = U_{\text{ген}}(\text{дБ/мкВ}) - U_{\text{ш}}(\text{дБ/мкВ}),$$

оскільки $E = (2U)/(I_d \sqrt{G_{\text{вдн}}})$.

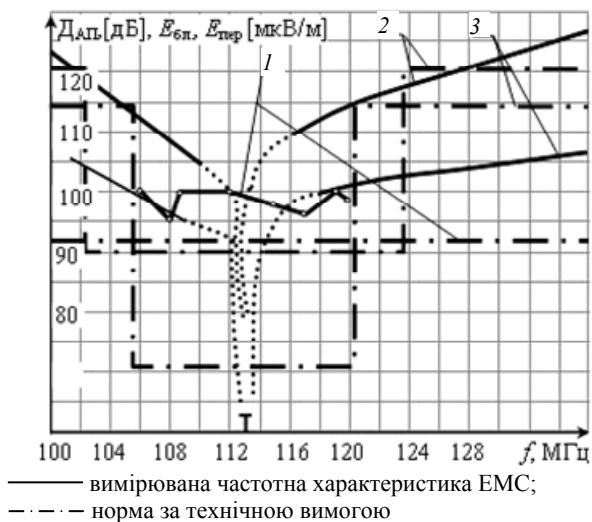


Рис. 3. Частотні залежності характеристик ЕМС антени АП001М $D_{АП}(f)$:
 1 — динамічний діапазон $D_{АП}$;
 2 — рівень завади при блокуванні $E_{бл.}$;
 3 — рівень завади при перехресній модуляції $E_{пер}$

Частотна залежність $D_{АП}(f)$ показана на рис. 3. Як видно, величина $D_{АП}(f)$ у робочому діапазоні 108–118 МГц не менше 94 дБ, що задовольняє технічні вимоги.

При вимірюванні блокування сигналу генератор (поз. 6) вмикають (генератор поз. 7 вимкнений), налаштовують його і приймач на частоту 113 МГц і виставляють такий рівень сигналу, щоб покази приймача становили

$$U = (1/2) \cdot E \cdot l_d \sqrt{G_{вдн}} = (1/2) \cdot 10 \text{ мкВ/м} \cdot 0,85 \cdot 1 = 4,25 \text{ мкВ (12,6 дБ/мкВ)}.$$

Потім вмикають генератор (поз. 7) на частоті, наприклад, 114 МГц не змінюючи налаштування приймача і збільшують його потужність доти, доки покази приймача не зменшаться на 1 дБ (тобто 11,6 дБ/мкВ). Після цього на частоті 114 МГц вимірюють рівень завади і за формулою $E = (2U)/(l_d \sqrt{G_{вдн}})$ перераховують його в напруженість поля.

Після вимірювання блокування на заданих частотах вимірюють рівень блокування приймача. При вимірюванні блокування АП на частотах завади 118–136 МГц застосовується фільтр (поз.10), який під час вимірювання на частоті 113 МГц зменшує рівень завади, що надходить до приймача, на 20–30 дБ.

Частотна залежність рівня завади, за якої відбувається блокування АП, показана на рис. 3. Пунктиром виділена та частина характеристики, яка визначається не АП, а приймачем. Як видно, вимоги щодо блокування виконуються у всьому діапазоні (100–136) МГц, окрім ділянки (124–129) МГц. На частоті 124 МГц рівень завади на 5 дБ нижче, ніж вимагається.

Під час вимірювання перехресної модуляції спочатку вмикають генератор (поз. 6) і налаштовують його і приймач на частоту 113 МГц. На генераторі вмикають модуляцію сигналу і, встановивши на приймачі рівень високочастотного сигналу 12,6 дБ, вимірюють за вольтметром рівень низькочастотного сигналу. Модуляцію сигналу після цього вимикають.

Далі вмикають генератор (поз. 7) на частоті, наприклад, 114 МГц. Вмикають модуляцію і встановлюють рівень сигналу на генераторі (поз. 7) такий, щоб покази низькочастотного вольтметра становили 3 % від показів при вимірюванні корисного сигналу.

Після вимірювання перехресної модуляції на заданих частотах вимірюють рівень перехресної модуляції приймача. При вимірюванні перехресної модуляції АП на частотах завади 118–136 МГц застосовується фільтр (поз. 10).

Частотна залежність рівня завади, за якого рівень перехресної модуляції дорівнює 3 %, показана на рис. 3. Пунктиром виділена та частина характеристики, яка визначається не АП, а приймачем. Як видно, вимоги щодо перехресної модуляції виконуються з великим запасом у діапазоні 106–120 МГц і не виконуються поза цим діапазоном. На частотах 106 і 120 МГц рівень завади нижче потрібного на 7–8 дБ.

Під час вимірювання інтермодуляції сигналу вмикають генератор (поз. 6) і приймач на частоту 118,12 МГц, устанавлюючи рівень генератора такий, щоб покази приймача становив

$$U = \frac{1}{2} E l_d \sqrt{G_{вдн}} = \frac{1}{2} \cdot 3,6 \text{ мВ/м} \cdot 0,85 \cdot 1 = 1,53 \text{ мВ (63,7 дБ/мкВ)}.$$

Потім вмикають генератор (поз. 7) і налаштовують його та приймач на частоту 120 МГц, устанавлюючи рівень генератора такий, щоб покази приймача були

$$U = (1/2) \cdot 3,6 \text{ мВ/м} \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 1,22 \text{ мВ, (62,4 дБ/мкВ)}.$$

Далі приймач налаштовують на частоту

$$2f_1 - f_2 = 2 \cdot 118,12 \text{ МГц} - 120 \text{ МГц} = 116,24 \text{ МГц}$$

і вимірюють рівень інтермодуляції.

Якщо рівень інтермодуляції дуже малий і не фіксується приймачем, то збільшують, наприклад, рівень сигналу на генераторі (поз.6) послідовно на 10, 20, 30 дБ і, не змінюючи частоту приймача, вимірюють рівень інтермодуляції.

Після вимірювання інтермодуляції на заданих частотах перевіряють рівень інтермодуляції приймача, виставляючи рівні сигналів ті самі, що і при вимірюванні інтермодуляції антен.

Результати вимірювання інтермодуляції декількох комбінацій частот наведено на рис. 4.

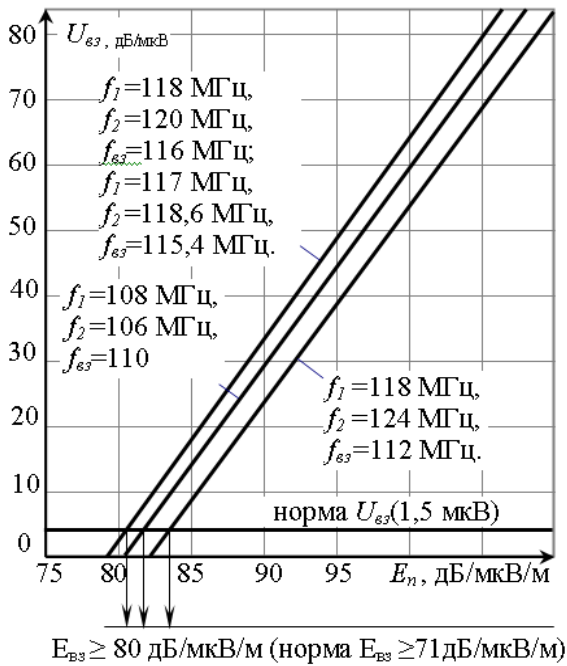


Рис. 4. Залежність U_{83} від E_3

Як видно, у найнебезпечнішому випадку ($f_1 = 118,12$ МГц, $f_2 = 120$ МГц) рівень напруженості полів E_1, E_2 , при якому рівень інтермодуляції на виході АП дорівнює $1,5$ мкВ ($3,5$ дБ/мкВ),

становить не менше 80 дБ/мкВ/м (10 мВ/м), що перевищує технічні вимоги ($3,6$ мВ/м).

Висновки

Результати вимірювань показали, що технічні вимоги до характеристик ЕМС активної антени АП-001М курсового приймального пристрою виконуються в частині: динамічного діапазону, взаємної модуляції, перехресної модуляції, дії імпульсної завади, блокування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кондрашов В. І. Бортові радіотехнічні засоби ближньої навігації і інструментальної посадки літальних апаратів. / В. І. Кондрашов, В. М. Федоренко // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. — 2002. — № 1. — С. 3–9.
2. Цибаєв Б. Г. Антени-підсилювачі / Б. Г. Цибаєв, Б. Н. Романов. — М. : Сов. радио, 1980. — 240 с.

REFERENCES

1. Kondrashov V. I. Airborne radio equipment blizhnoyi navigation tool and landing aircraft / V. Kondrashov, V. Fedorenko // Technologies and design of electronic equipment. — 2002. — № 1. — P. 3–9.
2. Tsybayev B. G. Antenna amplifiers / B. G. Tsybayev, B. N. Romanov. — Moscow : Sov. radio, 1980. — 240 p.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2013