

DOI: 10.18372/2310-5461.40.13274

УДК 539.3 (045)

В. О. Павлій, канд. техн. наук
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
orcid.org/0000-0003-3992-3884
e-mail: pavlijvladislav@gmail.com;

А. Г. Сардак, канд. техн. наук, доц.
Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0002-5864-8424
e-mail: sardak_ag@gmail.com;

О. М. Макаров, старш. викладач
Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0001-2535-5627
e-mail: makarov_om@ukr.net;

В. А. Степук, старш. викладач
Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0003-4125-5891
e-mail: stepuch65@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУЧАСНИХ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Вступ

У розвитку техніки приймально-передавальних пристроїв будь-якого призначення характерні такі тенденції [1–5]:

– розширення використовуваного діапазону як у бік більш високих (міліметрових, субміліметрових хвиль та хвиль оптичного діапазону), так і у бік низьких частот. Останнє пов'язане з розвитком радіонавігації, гідроакустики й зв'язку з підводними човнами;

– зростання вимог до стабільності частоти й монохроматичності коливань, що генеруються, особливо для доплеровської радіолокації й забезпечення електромагнітної сумісності радіотехнічних систем. Останнє здобуває більшої актуальності через зростання насиченості частотних діапазонів електромагнітними коливаннями;

– зростання потреби в більших потужностях генераторів і підсилювачів для забезпечення більшої дальності зв'язку, радіолокації, радіотелеуправління, радіонавігації й ін.;

– зростання вимог до швидкості перебудови несучої частоти, наприклад, з метою захисту від активних перешкод та поява необхідності здійснення складної модуляції коливань, при цьому зростають і вимоги до стабільності параметрів модульованих коливань;

– необхідність підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) приймачів і передавачів, зменшення їхньої ваги й габаритів. Це ставиться як до пересувних, так і стаціонарних радіотехнічних

систем. Підвищення ККД особливо істотно для потужних передавальних систем безперервного генерування;

– посилення ролі автоматизації керування й контролю роботи приймально-передавальних пристроїв з метою підвищення експлуатаційної надійності й готовності їх до роботи в різних зовнішніх умовах, Наприклад, у космосі, в умовах вологого тропічного, сухого пустельного або холодного арктичного клімату, в умовах сильних механічних вібрацій тощо;

– витиснення електронних та іонних приладів напівпровідниковими. В області НВЧ коливань багато електронних генераторних і підсилювальних приладів малої й середньої потужності успішно замінюються напівпровідниковими. Напівпровідникові вентиля конкурують із іонними приладами в досить потужних випрямлячах і імпульсних модуляторах.

Схеми побудови приймачів і передавачів визначаються, переважно, їхнім призначенням і умовами експлуатації. Основні характеристики пристроїв, у свою чергу, визначаються загальними тактико-технічними вимогами, пропонованими до радіолокаційних станцій (РЛС).

Постановка завдання та аналіз останніх досліджень

Технічні вимоги до передавальних систем пред'являють, виходячи з основного цільового призначення РЛС й необхідних тактико-технічних характеристик (ТТХ) на основі комп-

ромісних рішень при системному аналізі з урахуванням фізичних, економічних і організаційних обмежень [4–8]. Звичайно розрізняють три основні види технічних вимог: електричні, конструктивні й експлуатаційні. При цьому вихідними і найбільш істотними є вимоги до їхніх електричних характеристик [9; 10].

Головними електричними характеристиками передавальних систем є:

- вид і параметри зондувальних сигналів;
- діапазон робочих частот $f_n \dots f_b$ і ширина спектра зондувальних сигналів P ;
- вихідна потужність P_c і коефіцієнт корисної дії передавальної системи η ;
- частота повторення (при імпульсних зондувальних сигналах) T_n або тривалість періоду модуляції (при квазібезперервних зондувальних сигналах) t_c ;
- рівень небажаних (позаполосних і побічних) випромінювань;
- стабільність і точність установки частоти (фази), частотних (фазових) і часових параметрів модуляції зондувальних сигналів.

До основних конструктивних вимог належать:

- габарити, вага й особливості розміщення апаратури;
- забезпечення доступу до органів регулювання й елементів апаратури при їхній заміні;
- механічна міцність і вібростійкість;
- состав комплекту, вид транспортування та ін.

До основних експлуатаційних вимог належать:

- час безперервної роботи, вмикання й вимикання, експлуатаційна надійність (наробіток на відмову);
- кліматичні умови (межі робочих температур, вологості, атмосферного тиску);
- мінімальна вартість серійного виробництва й експлуатації;
- ремонтпридатність, максимальна безпека обслуговування та ін.

Оскільки величина вихідної потужності сучасних радіопередавачів може сягати декількох сотень мегаватів в імпульсі, то коефіцієнт підсилення підсилювального ланцюжка радіопередавального пристрою повинен становити 100 дБ і більше. При цьому потрібно, щоб підсилювальний тракт не вносив помітних перекручувань у структуру й форму посилюваного широкосмугового сигналу. Перекручування можна зменшити шляхом скорочення кількості підсилювальних каскадів у підсилювальному тракті. Із цією метою прагнуть застосовувати підсилювачі, що володіють більшим коефіцієнтом підсилення (типу лампи бігучою хвилі (ЛБХ) і клістронів). Однак прилади, що мають великий коефіцієнт підсилення, володіють порівняно низьким ККД.

Навпроти, прилади з високим ККД (типу амплітронів) мають малий коефіцієнт підсилення. Шляхом раціонального розміщення зазначених вище приладів можна одержати високий ККД радіопередавального пристрою й великий коефіцієнт підсилення тракту [7; 9].

Для отримання високого ККД при мінімальній кількості підсилювальних каскадів необхідно в перших каскадах підсилювального тракту застосовувати прилади з більшим коефіцієнтом підсилення, а у вихідних — з високим ККД. Для отримання на виході передавача досить великої потужності часто з'єднують паралельно кілька приладів, сумують потужність у просторі або застосовують спеціальні мости додавання, які поряд зі збільшенням рівня потужності й підвищенням надійності передавача підвищують стабільність коливаний, що генеруються. Рішення проблеми підвищення потужності радіопередавальних пристроїв привело до різкого зростання обсягу апаратури.

Основні технічні характеристики приймальних систем

До основних параметрів, за якими формулюються технічні вимоги до приймачів, відносять чутливість, вибірковість, динамічний діапазон. Вони впливають на характеристики точності й електромагнітну сумісність радіотехнічної системи, у якій використовується прийомний пристрій.

Чутливість характеризує здатність приймача виконувати свої функції при слабких сигналах. Кількісно чутливість оцінюється мінімальним рівнем сигналу, наведеним в антені, при якому забезпечується задана якість обробки інформації в прийомному пристрої. Розрізняють граничну та порогову чутливість. Їх зв'язує відношення сигналу до шуму на виході лінійної частини приймального каналу.

Гранична чутливість визначається потужністю корисного сигналу в антені, при якій відношення сигнал/шум на виході лінійної частини приймального каналу дорівнює одиниці.

Порогова чутливість визначається потужністю корисного сигналу в антені, при якій забезпечується виявлення сигналу із заданими ймовірностями правильного виявлення й хибної тривоги. Вимоги до чутливості сучасних приймальних каналів становлять величину ($10^{-14} - 10^{-19}$) Вт.

Чутливість приймального каналу визначається спектральною щільністю шуму, перерахованою на вхід, його еквівалентною шумовою смугою, а також енергетичними втратами при обробці сигналів. Шуми, що враховуються при розрахунку чутливості, складаються із шумів

антени й внутрішніх шумів приймального каналу й виражаються через шумові температури антени й приймального каналу.

Відносна шумова температура приймального каналу пов'язана з його коефіцієнтом шуму залежністю:

$$\gamma_{\text{пр}} = K_{\text{ш}} - 1, \quad (1)$$

де $K_{\text{ш}}$ — коефіцієнт шуму, що показує, у скільки разів номінальна потужність шумів на виході чотириполосника більше номінальної потужності шумів джерела сигналу, перерахованої на вихід.

Якщо чотириполосник пасивний, то його коефіцієнт шуму

$$K_{\text{ш}} = K_p^{-1}, \quad (2)$$

де K_p — коефіцієнт підсилення номінальної потужності.

Оскільки лінійний тракт приймача являє собою послідовне з'єднання активних і пасивних чотириполосників, то його коефіцієнт шуму буде характеризувати шумові властивості приймального пристрою в цілому

$$K_{\text{ш пр}} = K_{\text{ш1}} + \frac{K_{\text{ш2}} - 1}{K_{p1}} + \dots + \frac{K_{\text{шn}} - 1}{K_{p1}K_{p1}\dots K_{p(n-1)}}. \quad (3)$$

Поряд з коефіцієнтом шуму, шумові властивості приймального пристрою характеризуються мірою шуму

$$M = \frac{K_{\text{ш}} - 1}{1 - K_p^{-1}}. \quad (4)$$

Аналіз виразів свідчить, що для зменшення внутрішніх шумів необхідно зменшувати рівень шумів перших каскадів ($K_{\text{ш}}$) і підвищувати їхній коефіцієнт підсилення по номінальній потужності (K_p).

Шуми антени складаються із шумів внутрішнього й зовнішнього походження. Рівень цих шумів обмежує здатність прийомної системи приймати слабкі сигнали, тобто її чутливість. Внутрішні шуми антени зумовлені опором втрат антени і її температурою, а зовнішні шуми визначаються зовнішніми електромагнітними випромінюваннями.

Оскільки власний і зовнішній шуми антени статистично незалежні, то шуми антени можна характеризувати еквівалентною шумовою температурою антени.

Фактори, що впливають на рівень зовнішніх шумів антени:

- електромагнітне випромінювання космічного походження;
- теплове випромінювання навколишнього середовища;
- теплове випромінювання землі.

При впливі на антену, крім перерахованих шумів природного походження, навмисних шумових перешкод її відносна шумова температура зростає. За рахунок використання багатоканальних адаптивних приймальних систем можливо істотно послабити вплив навмисних завад на приймальний канал. Слід зазначити, що можливості таких систем значною мірою визначаються інтенсивністю шумів природного походження, а також ступенем кореляційних зв'язків завадових сигналів у каналах. Це підкреслює актуальність забезпечення високої чутливості приймальних каналів, їхньої ідентичності, а також лінійності в значному динамічному діапазоні. Шумова смуга пропускання визначається результируючою амплітудно-частотною характеристикою багатокаскадного лінійного тракту, форма якої близька до колоподібної. При практичних розрахунках шумову смугу пропускання $\Pi_{\text{ш}}$ вважають рівній смузі пропускання лінійного тракту, яка взята на рівні 0,7 від максимального значення вихідної напруги.

Вибірковість — здатність приймального пристрою виділяти корисний сигнал із всієї сукупності коливань, що наведено в антені. Виділення сигналів ґрунтується на використанні відмінностей їхніх параметрів від аналогічних параметрів коливань, що заважають. Розрізняють просторову, тимчасову, амплітудну, частотну, фазову, поляризаційну вибірковість. Найчастіше вимоги до приймальних каналів зв'язують із забезпеченням їхньої частотної вибірковості. Кількісно частотна вибірковість приймального пристрою характеризують коефіцієнтами послаблення сигналів, що діють по сусідніх частотних каналах. Дані коефіцієнти показують, у скільки разів гармонійний сигнал, що надходить на центральній частоті сусіднього каналу, послабляється в основному каналі. Першим сусіднім частотним каналом є канал, що займає смугу частот, яка дорівнює смузі сигналу, і безпосередньо примикає до неї. Другий частотний канал розташований рядам з першим тощо. Придушення додаткових каналів приймання вирішується за допомогою фільтра сигнальної частоти (преселектора), який включено до входу перетворювача частоти. Преселектор утворює вхідний пристрій і підсилювач високої частоти. Потрібно, щоб сигнали, що заважають та впливають по дзеркальному й сусідніх частотних каналах, послаблялися не менш чим на 30...40 дБ. Крім перерахованих видів вибірковості, у приймальних каналах можуть широко використовуватися й інші методи селекції сигналів на тлі завад. Сукупність їхнього застосування значною мірою визначає перешкодозахищеність приймального пристрою.

Динамічний діапазон приймального пристрою є характеристикою, що показує здатність підсилювати й перетворювати вхідні сигнали без нелінійних переколювань їхньої форми й спектра. Нелінійні переколювання сигналів можуть виникати через нелінійність амплітудних характеристик окремих каскадів. Вони є причиною переколювань форми сигналів, викликають появу додаткових коливань на частотах, відсутніх у спектрі вихідного сигналу, обумовлюють появу додаткових коливань прийому завад, придушення слабких сигналів сильною завадою. Наявність нелінійних переколювань супроводжується не тільки переколюванням форми сигналів, але й неоднаковим посиленням приймального пристрою для різних рівнів вхідних сигналів. Кількісно динамічний діапазон визначається як відношення рівня максимально допустимого сигналу на вході до мінімального:

$$D_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{вх max}}}{P_{\text{вх min}}}, \quad (5)$$

$$D_{\text{пр}} [\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_{\text{вх max}}}{P_{\text{вх min}}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вх max}}}{U_{\text{вх min}}}, \quad (6)$$

де $P_{\text{вх max}}$ — потужність вхідного сигналу, при якому коефіцієнт передачі приймального пристрою або окремого його каскаду, обмірюваний при малому сигналі, зменшується на 1 дБ, при цьому ступінь переколювання сигналу становить 5 %. У зв'язку з тим, що реальні сигнали мають більший діапазон, то до складу приймального пристрою включають додаткові пристрої й застосовують спеціальні методи формування амплітудних характеристик, що забезпечують розширення й узгодження його динамічного діапазону з динамічним діапазоном кінцевих пристроїв. Необхідна величина динамічного діапазону сучасних приймальних каналів велика й звичайно становить 90...140 дБ (без вживання спеціальних заходів становить величину 20...30 дБ). Це пояснюється більшою зміною дальності до цілей, їх ефектних поверхонь, що відбивають, умов розповсюдження електромагнітних хвиль, інтенсивностями завадових сигналів, скануванням антени. Отже, важливою вимогою до приймального каналу є розширення його динамічного діапазону. Динамічний діапазон приймального пристрою значною мірою визначає його завадозахищеність. Більшість існуючих способів завадозахищеності виявляються ефективними лише тоді, коли рівень завади не перевищує динамічний діапазон.

Вхідним пристроєм називається та частина прийомної системи, що зв'язує прийомну антену

з першим каскадом посилення сигналу. Вхідний пристрій виконує наступні основні функції:

— забезпечення попередньої частотної селекції (вибірковості) сигналів (виділення спектра корисних сигналів на тлі перешкод);

— забезпечення передачі слабких сигналів з мінімальними втратами, з метою забезпечення мінімального коефіцієнта шуму приймального пристрою.

Для виконання цих функцій вхідний пристрій повинен бути пристроєм, що узгоджує (трансформатором опорів і мати вибірковість за частотою). Крім того, у радіолокаційних станціях вхідний пристрій забезпечує захист чутливих перших каскадів приймача від впливу потужного зондувального імпульсу в момент випромінювання передавальним пристроєм. Для виконання цих функцій вхідний пристрій повинне включати надвисокочастотні (НВЧ) комутуючі елементи або обмежники потужності.

Якість роботи вхідного пристрою характеризують такі технічні параметри:

— коефіцієнт передачі напруги $K_{u \text{ вх}}$;

— коефіцієнт передачі потужності $K_{p \text{ вх}}$;

— смуга пропускання $\Pi_{\text{вх}}$;

— послаблення завади $\sigma_{\text{п}}$ при заданій розстройці частоти сигналу Δf ;

— діапазон перебудови $f_{\text{min}} - f_{\text{max}}$;

— час перемикання t_n ;

— повна потужність, що просочується, зондувального $P_{\text{пр ос}}$ імпульсу;

— коефіцієнт шуму $K_{\text{ш вх}}$.

Чутливість, вибірковість і динамічний діапазон приймальних систем значною мірою визначаються технічними можливостями елементної бази, на якій вони побудовані.

Особливості експлуатації приймально-передавальних систем

Технічна експлуатація сучасних радіоелектронних пристроїв містить захід як організаційно, так і технологічного характеру.

Розглянемо деякі заходи, характерні для технічного обслуговування приймально-передавальних пристроїв радіотехнічних систем. До таких заходів відносять:

— контрольно-перевірочні роботи, тобто контроль технічних параметрів пристрою;

— забезпечення експлуатаційної надійності й довговічності;

— захист обслуговуючого персоналу від біологічного впливу високочастотного електромагнітного поля й рентгенівського випромінювання.

Важливість цих заходів продиктовано особливими умовами роботи пристроїв.

По-перше, у них застосовуються прилади й елементи, що працюють у важких режимах, без значних запасів по електричній міцності й потужності, що розсіюється.

По-друге, до формованих і прийнятих сигналів пред'являються жорсткі вимоги в забезпеченні їхньої заданої структури й стабільності параметрів, оскільки від цього значною мірою залежить ефективність роботи всієї радіотехнічної системи.

По-третє, вони є джерелами НВЧ випромінювання, що при достатній інтенсивності шкідливо діє на організм людини. Крім того, наявність високих напруг на електродах ламп викликає рентгенівське випромінювання.

Контроль технічних параметрів приймально-передавальних систем

Контроль технічних параметрів радіоелектронної апаратури здійснюється з метою визначення відповідності її технічних характеристик потрібним.

Контроль може здійснюватися як під час безпосереднього застосування апаратури, так і в процесі проведення профілактичних заходів (регламентних робіт).

Основними перевітками, проведеними в процесі контролю технічних параметрів, є:

— перевірка відповідності частоти коливальних або діапазону перебудови заданим вимогам (для передавальних пристроїв зі складною структурою сигналу перевірка параметрів амплітудної, частотної або фазової модуляції високочастотного сигналу);

— перевірка рівнів високочастотної потужності й шуму;

— перевірка форми й параметрів спектра сигналу, що генерується;

— перевірка стабільності параметрів високочастотних сигналів і напруг, що модулюють;

— перевірка режиму роботи електровакуумних приладів і інших елементів;

— перевірка ефективності роботи систем автоматичного регулювання, захисту, керування й охолодження.

Експлуатаційна надійність приймально-передавальних систем

Підвищення надійності апаратури є однією з важливих технічних проблем. Вона охоплює широке коло питань, пов'язаних із проектуванням, виготовленням і експлуатацією апаратури.

Основними кількісними характеристиками для оцінки надійності є ймовірність безвідмовної роботи, наробіток на відмову й коефіцієнт готов-

ності. Наробіток на відмову — це середній час тривалості роботи апаратури між відмовами, звичайно використовується для апаратури багаторазового використання або працюючий тривалий час, наприклад, РЛС виявлення, радіомовна станція, радіорелейна лінія зв'язку й т. п.

Коефіцієнт готовності показує ймовірність того, що дана апаратура працездатна в будь-який момент часу, є важливою характеристикою для оцінки надійності апаратури, наприклад, РЛС.

Крім зазначених, існують і інші характеристики експлуатаційної надійності, такі, як інтенсивність відмов, коефіцієнт простою, коефіцієнт навантаження та інші.

Поліпшення характеристик експлуатаційної надійності НВЧ пристроїв досягається різними шляхами, які розділяють на дві групи: конструктивно-виробничі й експлуатаційні.

На стадії проектування й виготовлення пристроїв основними шляхами підвищення експлуатаційної надійності є такі:

— розробка й застосування генераторних, модуляторних і інших приладів і елементів, що мають високу експлуатаційну надійність. Істотне значення щодо цього має строге дотримання технології виробництва і її вдосконалення, особливо шляхом впровадження автоматизації;

— використання полегшених режимів для тих елементів, експлуатаційна надійність яких у номінальному режимі низька;

— ретельний контроль якості на всіх етапах виробництва, попереднє тренування елементів у більш тяжких умовах, комплектування контрольно-вимірювальною апаратурою й застосування автоматичних методів контролю за режимом роботи елементів і всього пристрою в процесі експлуатації;

— застосування резервних елементів і вузлів. Так, застосування багатоканальної побудови істотно підвищує надійність і, зокрема, коефіцієнт готовності.

До експлуатаційної групи ставляться шляхи, пов'язані з підготовкою обслуговуючого персоналу й організацією експлуатації. До них ставляться такі:

— підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу. Питанням підготовки обслуговуючого персоналу повинне приділятися першорядне значення, оскільки статистика показує, що до 30 % відмов апаратури є наслідком недостатньої кваліфікації обслуговуючого персоналу;

— удосконалення організації роботи при використанні апаратури (бойовій роботі) і її технічного обслуговування. Наприклад, для підвищення надійності роботи деяких потужних радіопередавальних пристроїв РЛС, що перебува-

ють у черговому режимі, передбачаються режими роботи зі зниженою вихідною потужністю. Велике значення має правильний вибір періодичності контролю функціонування апаратури. При частих вмиканнях апаратури для контролю роботи надійність її знижується, тому що перехідні процеси, особливо в таких потужних пристроях, як радіопередавальні, аналогічні збільшенню електричних навантажень на елементи іноді в кілька разів;

– розробка й застосування спеціальних методів прогнозування відмов і пошуку їхніх причин. Це підвищує коефіцієнт готовності, тому що останній визначається головним чином часом відшукання елементів, що відмовили. Час відшукання елемента, що відмовив, може доходити до десятків годин. Прогнозування відмов і програмування пошуку елементів, що відмовили, дозволяють зменшити цей час у кілька разів;

– підвищення якості ремонтних робіт і робіт з технічного обслуговування, що регламентовано відповідними інструкціями. Так, наприклад, при проведенні регламентних робіт слабко підготовленими операторами кількість відмов у добу наступні після регламентних робіт, може в кілька разів перевищувати число відмов у добу, що передують цим роботам.

Основні причини відмов у роботі НВЧ пристроїв

Вихід з ладу генераторних, підсилювальних і модуляторних електровакуумних приладів відбувається найчастіше в результаті виходу з ладу катодів.

Найбільш ефективним у цей час є оксидний катод, імпульсна емісія якого досягає 50 А/см^2 і більше. Тому цей тип катода застосовується найбільше широко, особливо в електровакуумних приладах великої потужності. Разом з тим оксидний катод є менш довговічним у порівнянні з іншими, тому що бомбардування оксидного катода іонами залишкових газів приводить до ушкодження оксидного покриття катода й зменшенню струму емісії. На оксидний катод шкідливо діють також молекули газу, що виділяються електродами й проникають в прилад через спаї металу зі склом або керамікою, особливо при сильних перегрівках місця спаю.

У приладах з оксидним катодом, що працюють при високих анодних напругах, спостерігається так зване *іскріння*. При іскрінні на поверхні катода з'являється крапкове вогнище газового розряду, у результаті якого відбувається короткочасний пробій, що супроводжується випаром або розпиленням частини оксидного покриття. Іскріння приводить, по-перше, до зменшення активної поверхні катода і його емісії, а по-друге,

до іонізації залишкових газів у приладі, що збільшує інтенсивність бомбардування катода іонами. Крім того, іскріння приводить до того, що оксид може попадати на сітку або інші електроди лампи, які при нагріванні починають емітувати і порушувати нормальну роботу лампи. Іскріння можна виявити по тремтінню стрілки приладу, що вимірює анодний струм, а іноді й візуально, наприклад, через виводи розжарення. Основними заходами щодо зменшення іскріння є обмеження величини максимального й ефективного значення катодного струму приладу й проведення тренування (жовстіння) для відновлення вакууму після тривалого зберігання. Жовстіння полягає в поступовому підвищенні анодної напруги, починаючи зі значень, за яких пробої ще не спостерігаються. Якщо виникає іскріння, то напруга на якийсь час знижують, а потім повільно підвищують знову. У процесі жовстіння залишкові гази, що нагромадилися в приладі за час зберігання, поступово поглинаються гарячим геттером і нагрітими елементами приладу. Тому що поглинання газів іде порівняно повільно, жовстіння може тривати до декількох годин (2...3 і більше). Включення приладу після тривалого зберігання на повну анодну напругу без жовстіння може вивести його з ладу протягом декількох секунд.

У тяжких умовах перебувають катоди приладів НВЧ магнетронного типу. При роботі таких приладів деякі електрони, потрапляючи в прискорювальне високочастотне поле системи, що сповільнює, вертаються до катода й бомбардують його. Ці електрони, виділяючи свою кінетичну енергію у вигляді тепла, додатково розігрівають катод і, крім того, викликають вторинну емісію з катода. Небезпека перегріву катода й зменшення його терміну служби особливо велика для приладів, що працюють у безперервному режимі. Для збільшення терміну служби катодів у таких приладах, особливо в приладах великої потужності, зменшують напругу розжарення після включення анодної напруги, або повністю виключають розжарення, а іноді навіть прохолоджують катод рідиною. У приладах типу «О» (пролітні клістроны, ЛБХ «О» і інших), у яких катод винесений із простору взаємодії, легше забезпечується висока експлуатаційна надійність.

Наприклад, багато потужних клістронов мають термін служби 5000...7000 і більше годин, у той час як термін служби магнетронів 1000...3000 годин.

У багатьох випадках низьку експлуатаційну надійність мають лампи попередніх каскадів імпульсних модуляторів. Причиною цього є наявність великої напруги на керуючій сітці під час імпульсу.

Висновки

Експлуатаційна надійність передавального пристрою у великому ступені залежить від зовнішніх умов. Так, у багатьох випадках причиною відмов є більша вологість навколишнього повітря. Особливо великий вплив вологості в умовах тропічного клімату. Під впливом вологості відбувається руйнування органічних, ізоляційних матеріалів або зміна їхніх електричних характеристик. Крім того, осаджуючись на поверхні діелектрика, волога разом з пилом утворює іонізуючу провідну плівку. При цьому може виникнути поверхневий пробій, що приводить до виходу з ладу ізоляційного елемента. У радіопередавальних пристроях застосовуються високі напруги, то в умовах експлуатації повинне бути приділене сама серйозна увага чистоті поверхонь, що перебувають під високою напругою. Зменшення тиску навколишнього повітря різко зменшує його електричну міцність. При проектуванні й експлуатації бортової апаратури літальних апаратів, а також радіотехнічних систем, використовуваних в умовах гірської місцевості, на це повинне бути звернене особлива увага. Підвищення температури навколишнього середовища також приводить до зниження надійності радіоелектронної апаратури. Особливо це позначається на надійності елементів, що працюють із невеликим запасом по потужності, що розсіюється. Елементи високочастотного тракту вимагають якісного узгодження — у протилежному випадку в цих елементах і, особливо в місцях зчленувань, можуть виникати перенапруги, що ведуть до пробіїв і обгорань контактів. Отже, безаварійна експлуатація сучасних приймально-передавальних систем потребує своєчасного контролю технічного стану та, за необхідністю, регулювання параметрів і заміни відмовивши блоків.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Электроника. Наука, технология, бизнес.* URL: <http://www.electronics.ru> (дата звернення 25.08.2018)
2. *Радиоэлектронные системы* URL: <http://www.oao-tantal.ru/publications> (дата звернення 25.08.2018)
3. *Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справочник*; под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
4. *Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник* под ред. Я. Д. Ширмана. М.: ЗАО «Маквис», 1998. 828 с.
5. **Седышев Ю. Н.** Приемно-передающие устройства радиотехнических систем. Ч. 1. Х.: ВИРТА ПВО, 1991. 335 с.
6. **Herasimov S., Timochko O., Khmelevskiy S.** Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes. *Зб. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил.* 2017. Вип. 4 (53). С. 148–152.
7. **Bractslavska A., Herasimov S., Zubrytskyi H., Tymochko A., Timochko A.** Theoretical basic concepts for formation of the criteria for measurement signals synthesis optimality for control of complex radio engineering systems technical status. *Системи обробки інформації.* 2017. Вип. 5 (151). С. 151–157.
8. **Герасимов С. В., Шапран Ю. Є., Кірвас В. В.** Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту. *Системи озброєння і військова техніка.* 2017. Вип. 4 (52). С. 5-10.
9. **Седышев Ю. Н.** Приемно-передающие устройства радиотехнических систем. Часть 2. Х.: ВИРТА ПВО, 1992. 321 с.

Павлій В. О., Сардак А. Г., Макаров О. М., Степух В. А.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУЧАСНИХ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Обґрунтовано основні тенденції розвитку техніки приймально-передавальних пристроїв будь-якого призначення. Проведено аналіз основних електричних характеристик передавальних систем є. Визначені основні конструктивні вимоги до приймально-передавальних пристроїв. Показано, що до основних експлуатаційних вимог належать: час безперервної роботи, включення й вимикання, експлуатаційна надійність (коефіцієнт боекдатності, наробіток на відмову); кліматичні умови (межі робочих температур, вологості, атмосферного тиску); мінімальна вартість серійного виробництва й експлуатації; ремонтпридатність, максимальна безпека обслуговування.

Обґрунтовано, що до основних параметрів, за якими формулюються технічні вимоги до приймачів, відносяться чутливість, вибірковість, динамічний діапазон.

Ключові слова: приймально-передавальна система; потужність; чутливість; вибірковість; динамічний діапазон; контроль технічного стану.

Pavlii V., Sardak A. G., Makarov O. M., Stepukh V. A.

FEATURES OF CONSTRUCTION AND USE OF MODERN ACCESSIBLE TRANSMITTING SYSTEMS

The basic tendencies of the development of the technology of receiving and transmitting devices of any destination are substantiated. The analysis of the basic electrical characteristics of transmission systems is carried out. The basic design requirements for receiving and transmitting devices are defined. It is shown that the main operational requirements include: time of continuous operation, switching on and off, operational reliability (coefficient of combat capability, earnings for failure); climatic conditions (limits of operating temperatures, humidity, atmospheric pressure); the minimum cost of serial production and operation; maintainability, maximum service safety.

It is substantiated that in order to obtain the output of a transmitter, quite a lot of power is often connected in parallel by several devices, the amount of power in space or the use of special bridges are added, which, along with an increase in power level and increased reliability of the transmitter, increase the stability of the generated oscillations. The solution to the problem of increasing the capacity of radio transmitters has led to a sharp increase in the volume of equipment.

The main parameters that formulate the technical requirements for receivers are sensitivity, selectivity, dynamic range. They affect the precision characteristics and electromagnetic compatibility of the radio engineering system in which the receiver is used. Control of technical parameters of electronic equipment is carried out in order to determine the conformity of its technical characteristics to the required.

The main quantitative characteristics for reliability evaluation are the probability of failure-free operation, work failure and readiness ratio. Elements of the high-frequency path require qualitative harmonization, because there may be overvoltage's, leading to breakdowns and overheating of contacts. The safe operation of modern transceiver systems requires timely control of the technical condition.

Keywords: receiving and transmitting system; power; sensitivity; selectivity; dynamic range; control of technical condition.

Павлій В. А., Сардак А. И., Макаров А. Н., Степук В. А.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ

Обоснованы основные тенденции развития техники приемо-передающих устройств любого назначения. Проведен анализ основных электрических характеристик передающих систем есть. Определены основные конструктивные требования к приемо-передающим устройствам. Показано, что в основных эксплуатационных требований относятся: время непрерывной работы, включение и выключение, эксплуатационная надежность (коэффициент боеспособности, сделай-ток на отказ) климатические условия (границы рабочих температур, влажности, атмосферного давления); минимальная стоимость серийного производства и эксплуатации; ремонтпригодность, максимальная безопасность обслуживания.

Обосновано, что к основным параметрам, по которым формулируются технические требования к приемникам, относятся чувствительность, избирательность, динамический диапазон.

Ключевые слова: приемо-передающая система; мощность; чувствительность; избирательность; динамический диапазон; контроль технического состояния.

Стаття надійшла до редакції 07.11.2018 р.

Прийнято до друку 05.12.2018 р.