

С. А. Плекан , П. С Куш

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИБОРІВ НВЧ У ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ТРАКТАХ РЛС ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗРК

Анотація. Розглянуто можливості застосування сучасних напівпровідникових пристроїв надвисоких частот у передавальних трактах радіолокаційних станцій перспективних зенітних ракетних комплексів. Проаналізовано основні вимоги до передавальних пристроїв РЛС, визначено переваги та обмеження твердотільних технологій порівняно з традиційними електровакуумними приладами. Запропоновано напрями оцінювання доцільності впровадження твердотільних підсилювачів потужності з урахуванням енергоефективності, надійності, теплових режимів і вимог до експлуатації радіолокаційних засобів.

Ключові слова: НВЧ-пристрої, радіолокаційна станція, зенітний ракетний комплекс, твердотільна електроніка, підсилювач потужності.

Abstract. The paper considers the potential use of modern semiconductor microwave devices in the transmitter paths of radar systems for advanced surface-to-air missile systems. The main requirements for radar transmitters are analyzed, and the advantages and limitations of solid-state technologies compared with conventional vacuum electronic devices are identified. The proposed assessment criteria include energy efficiency, reliability, thermal performance, and operational requirements.

Keywords: microwave devices, radar station, surface-to-air missile system, solid-state electronics, power amplifier

Передавальний тракт РЛС призначений для формування, підсилення та передавання радіочастотного сигналу до антенно-фідерної системи. Його характеристики безпосередньо впливають на енергетичний потенціал радіолокаційного засобу, стабільність випромінювання та можливості оброблення відбитих сигналів.

До основних параметрів передавальних НВЧ-пристроїв належать робочий діапазон частот, вихідна потужність, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт корисної дії, стабільність частоти, рівень побічних випромінювань і тривалість безперервної роботи. Важливими експлуатаційними характеристиками також є маса, габарити, тепловиділення, стійкість до зовнішніх впливів і середній час напрацювання на відмову.

Традиційно у потужних передавальних трактах радіолокаційних станцій застосовували електровакуумні прилади, зокрема клістриони та лампи біжучої хвилі. Їх використання обумовлене можливістю отримання значної вихідної потужності на високих частотах. Водночас такі рішення можуть потребувати складніших систем живлення, охолодження та обслуговування. Твердотільні пристрої забезпечують інший підхід до побудови передавача: необхідна потужність формується шляхом об'єднання вихідних сигналів декількох підсилювальних модулів. Це створює передумови для модульної побудови передавального тракту, проте вимагає врахування втрат у суматорах, розподілу тепла та складності системи керування.

Основу сучасних твердотільних передавачів становлять транзисторні підсилювачі потужності, виготовлені за технологіями арсеніду галію (GaAs), нітриду галію (GaN) та кремнієвих напівпровідників. Вибір матеріалу визначається робочою частотою, необхідною вихідною потужністю, енергоефективністю, вартістю та умовами експлуатації. Технологія GaN характеризується високою напруженістю електричного поля пробою та можливістю роботи за високих густин потужності. Це робить її перспективною для створення потужних НВЧ-підсилювачів.

Пристрої GaAs широко застосовуються у високочастотних колах, де важливими є підсилення та низькі втрати. Кремнієві технології можуть бути доцільними в окремих діапазонах частот і для інтегрованих радіочастотних схем. До основних переваг твердотільних передавачів

належать модульність, можливість резервування окремих каналів, швидке керування режимами роботи та потенційне зменшення потреби в обслуговуванні. Вихід з ладу одного модуля за належної архітектури не обов'язково призводить до повної втрати працездатності передавача. Разом із тим застосування напівпровідникових пристроїв має певні обмеження. До них належать необхідність об'єднання потужності багатьох підсилювачів, тепловідведення, забезпечення електромагнітної сумісності та підтримання стабільності характеристик у різних температурних умовах. Тому переваги твердотільної технології необхідно оцінювати не лише за параметрами окремого транзистора, а й на рівні всього передавального тракту.

Для оцінювання доцільності впровадження твердотільних НВЧ-пристроїв пропонується використовувати комплекс критеріїв, що охоплює електричні, теплові, експлуатаційні та економічні характеристики. Основними показниками мають бути вихідна потужність, коефіцієнт корисної дії, стабільність сигналу, надійність, масогабаритні характеристики та вартість життєвого циклу. Доцільним напрямом є застосування модульної архітектури передавача з розподіленням потужності між окремими підсилювальними каналами. Такий підхід дає змогу передбачити резервування, спростити локалізацію несправностей і скоротити час відновлення працездатності обладнання.

Окрему увагу необхідно приділити системам охолодження, контролю температури та діагностики технічного стану. Вибір конкретної технології повинен здійснюватися з урахуванням призначення РЛС, її частотного діапазону, вимог до потужності та режимів роботи. Для обґрунтованого порівняння слід використовувати експериментальні або паспортні дані виробників, отримані за зіставних умов. Це дасть змогу уникнути некоректного порівняння окремих напівпровідникових компонентів із завершеними передавальними системами. Отже, перспективним є поетапне впровадження твердотільних НВЧ-пристроїв із попереднім моделюванням, лабораторним випробуванням і перевіркою теплових режимів. Остаточне рішення має враховувати не лише технічні переваги, а й сумісність із наявною апаратурою, ремонтпридатність та загальну вартість експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Приймання та оброблення сигналів. Ч 2.: навч. посібник. / І.В. Красношопка, Д.В. Максютя, А.О. Ковальчук та ін. – Х. : ХНУПС, 2017. – 308 с.
2. Корнієнко Л.Г. Антени. Частина 1. Загальна теорія антен : навч. посіб. / Л.Г. Корнієнко, Я.С. Шифрін. – Х. : ХНУПС, 2021. – 300 с.
3. Усін В.А. Пристрої НВЧ та антени: завд. на лабор. роботи / В.А. Усін, О.А. Войтович, О.Д. Анохіна, В.А. Ковальчук. – Харків : ХУПС, 2005, 276 с.
4. Цифрові пристрої: курс лекцій / Садовий К.В. Харків: ХУПС, 2014. – 350 с.
5. Садовий К. В. Цифрові пристрої : підручник / К. В. Садовий.: ХНУПС, 2018. – 380 с.

Плекан Софія Андріївна – курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул.Сумська,буд.77/79 , Україна; e-mail: sofiaplekan@icloud.com

Куш Павло Станіславович- старший викладач Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул.Сумська,буд.77/79,Україна; e-mail: pavelkushch@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9080-0487>

Sofiia Andriivna Plekan - Cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, SumskaSt.,61023 Ukraine; e-mai: sofiaplekan@icloud.com ORCID <https://orcid.org/0009-0003-0919-2678>

Kushch Pavlo Stanislavovych-Senior Lecturer at Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,Kharkiv,77/79 SumskaSt.,61023 Ukraine; e-mai: pavelkushch@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9080-0487>