

ДОСВІД РОЗРОБКИ ТВЕРДОТІЛЬНИХ МАЛОШУМНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ НВЧ ДЛЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ

Харченко С.О.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Сакало С.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. КРiСТЗi, м. Харків, Україна
тел. +38(057) 702-14-30, e-mail: serhii.kharchenko@nure.ua

Experience of developing solid-state low-noise UHF amplifiers designed to replace traveling-wave tube in radar receiving channels is presented. Analysis of various types of protective devices at amplifiers inputs is carried out, parameters of production-run equipment is provided.

Однією з нагальних проблем, що стоїть перед службами управління повітряним рухом, є продовження ресурсу та покращення тактико-технічних характеристик радіолокаційних станцій, що експлуатуються понад 20 років. Найбільш уразлива ланка старих радіолокаційних станцій - електровакуумні прилади НВЧ (лампи біжучих хвиль, магнетрони і клістрони). Вони мають обмежений ресурс, велику вартість і вироблялися підприємствами військово-промислового комплексу, які нині не працюють.

Специфіка роботи радіолокаційних станцій висуває особливі вимоги до малошумного підсилювача НВЧ. Передавач та приймач радіолокаційної станції працюють на один антенно-фідерний тракт. Залежно від того чи іншого способу розв'язування передавача та приймача, на вхід малошумного підсилювача просочується імпульсна потужність від сотень до тисяч ват. Електровакуумні малошумні підсилювачі в силу особливостей конструкції можуть розсіяти цю потужність у вигляді тепла без зміни їх електричних характеристик. Напівпровідникові малошумні підсилювачі дуже чутливі до подібного роду перевантажень. Тому необхідно вирішувати практичну проблему захисту входу твердотільного малошумного підсилювача від впливу великої імпульсної потужності НВЧ [1].

Засобів обмеження потужності на вході малошумного підсилювача, як впливає з численних літературних джерел, є декілька. Зупинимось докладніше на перевагах та недоліках двох із них, які побудовані з використанням НВЧ *p-i-n* - діодів [2]:

1) примусове включення відбиваючого ключа на перемикальних *p-i-n* - діодах, розташованих перед малошумним підсилювачем, на час зондуючого імпульсу радіолокаційної станції (бланкування);

2) автономний захисний пристрій на обмежувальних *p-i-n* - діодах.

Побудова захисного пристрою з бланкуванням дозволяє використовувати в ньому потужні з низькою швидкістю *p-i-n* - діоди з товстою базою (базою називають *i*-шар, розташований між *p*- та *n*- зонами напівпровідника). Такі діоди мають, як правило, великі значення зворотних пробивних

напруг і теплових потужностей, які можуть розсіюватись, що дозволяє успішно витримувати падаючу НВЧ потужність до десятків кіловат. Але такі захисні пристрої мають серйозний недолік. При попаданні в антену радіолокаційної станції потужної асинхронної перешкоди від розташованої поруч радіолокаційної станції, що працює в тому ж діапазоні довжин хвиль, твердотільний малощумний підсилювач залишиться практично беззахисним.

Описана ситуація з розташованими поряд радіолокаційними станціями є типовою, наприклад, для систем управління повітряним рухом, де одночасно працюють оглядовий локатор, висотомір, диспетчерський локатор, вторинний локатор і система посадки. Тому описаний тип захисних пристроїв (з бланкуванням) неприпустимо використовувати в малощумних підсилювачах, призначених для заміни ламп біжучої хвилі в радіолокаційних станціях.

Застосування в захисних пристроях обмежувальних *p-i-n* - діодів дозволяє відмовитися від примусового зміщення, оскільки вони здатні автозміщуватися потужністю НВЧ, що падає на них. Розвиток сучасних напівпровідникових технологій дозволяє створювати обмежувальні *p-i-n* - діоди з малою ємністю переходу, що дає можливість досягти гарного узгодження на малому сигналі (коли обмежувальний *p-i-n* - діод закритий) аж до частот 18–22 ГГц.

Як і в будь-якій галузі, у виробництві обмежувальних *p-i-n* - діодів існують конфліктні проблеми. Зменшення товщини бази дозволяє різко збільшити швидкодію діода і зсуває граничну робочу частоту (частота, при якій обмежувальний *p-i-n* - діод ще автозміщується) вгору. Але в той же час, при зменшенні товщини бази, збільшується ємність *p-i-n* структури та погіршується малосигнальне узгодження діода. Крім того, при зменшенні товщини бази, знижується зворотна пробивна напруга, що визначає максимальну імпульсну потужність НВЧ, яку можна подати на захисний пристрій. Тому провідні компанії, які виробляють НВЧ напівпровідники випускають цілу гаму обмежувальних *p-i-n* - діодів з різною товщиною бази, ємністю структури та пробивною напругою.

Наприклад, особливістю аеродромного локатора типу П-37 є перемикання антенно-фідерного тракту з прийому на передачу за допомогою двох газонаповнених розрядників, встановлених на широкій та вузькій стінках хвилеводу. Потужність передавача П-37 досягає 900-1000 КВт в імпульсі в 10-сантиметровому діапазоні довжин хвиль. На вхід малощумного підсилювача (після розрядників) під час проходження зондувального імпульсу впливає імпульс складної форми, зумовлений обмеженою швидкістю розрядників. Передній фронт імпульсу має швидкість наростання НВЧ енергії таку ж, як і у магнетрона, оскільки газ в розрядниках підпалюється з кінцевою швидкістю. Практично на захисний пристрій малощумного підсилювача надходить 40-50% потужності передавача протягом 0,1-0,15 мкс

(час спрацьовування розрядників). Після запалювання розрядників на вхід малошумного підсилювача впливає потужність 400-1000 Вт протягом 0,9-1,2 мкс (тривалість зондувального імпульсу). Сигнал такої складної форми та великої енергетики висуває до обмежувальних *p-i-n* - діодів у край суперечливі вимоги. Діоди повинні мати тонку базу (для того, щоб ефективно відмикатися автозміщенням при впливі крутого переднього фронту імпульсу передавача), і, водночас, велику зворотну пробивну напругу (для того, щоб витримати вплив енергопіку в сотні кіловат).

Номенклатура обмежувальних *p-i-n* - діодів вітчизняних і зарубіжних виробників, що є на сьогодні, не задовольняє висунутим вимогам. Для модернізації радіолокаційної станції з параметрами близькими до *П-37* були розроблені нові вимоги до діода, зроблено замовлення і в одній із зарубіжних фірм виготовлено діод, що успішно працює в малошумному підсилювачі і витримує екстремальні режими експлуатації, навіть з розбитим розрядником, чого не витримувала лампа біжучої хвилі у стандартному локаторі.

Список використаних джерел

1. Air Traffic Control (ATC) PSR sensors operating in the frequency band 2 700 MHz to 3 100 MHz (S band). URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303300_303399/30336402/01.01.01_60/en_30336402v010101p.pdf (дата звернення: 12.02.2024).
2. PIN diode drive circuits optimized for fast switching. URL: <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/c2292f43-47c7-43e8-82ce-9010b0672ede/content> (дата звернення: 12.02.2024).