

СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИХ МОДУЛІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

К. т. н. А. С. Соломаха¹, д. т. н. Ю. Є. Ніколаєнко¹, д. т. н. В. Ю. Кравець¹,
Р. С. Мельник¹, к. т. н. Д. В. Козак¹, Ph.D. Д. В. Пекур²

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

²Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України

Україна, м. Київ

yunikola@ukr.net, a.solomakha@kpi.ua

Проаналізовано системи охолодження приймально-передавальних модулів з тепловими трубами різних конструкцій. Показано, що для здешевлення систем охолодження на основі теплових труб необхідно в їхніх конструкціях використовувати теплові труби з капілярною структурою, для виготовлення якої не потрібно застосувати тривалі й енергомісткі технологічні процеси високотемпературного спікання та екструзії.

Ключові слова: теплова труба, система охолодження, електронні компоненти.

Розвиток та розширення функціональних можливостей радіолокаційних станцій (РЛС) призвели до ускладнення конструкцій антенних систем та їхніх приймально-передавальних модулів (ППМ), але підвищення компактності ППМ та збільшення локальних теплових потоків в напівпровідникових кристалах призвело до суттєвого росту густини теплового потоку в конструкціях ППМ. Традиційні засоби для охолодження не дозволяють підтримувати температуру елементів ППМ в межах заданого робочого діапазону, що певним чином стримує розвиток РЛС. Для нормальної роботи необхідно підтримувати температуру кристала активних елементів вихідного підсилювача ППМ не вище 150°C, а температуру його корпусу не вище 70°C; нерівномірність температури ППМ в системі не має перевищувати 10°C [1]. Тому критично важливим є пошук нових спеціальних засобів для підвищення ефективності тепловідведення з метою забезпечення надійної роботи РЛС. Зараз теплові труби (ТТ) є найбільш перспективним засобом для розв'язання вказаної проблеми, а найважливішим фактором широкого поширення систем охолодження є їхня вартість.

Метою роботи є огляд існуючих систем охолодження приймально-передавальних модулів з тепловими трубами та пошук нових технічних рішень, спрямованих на їх здешевлення.

Розгляд найпоширеніших сучасних систем охолодження з ТТ, що застосовуються або можуть застосовуватися для відведення теплоти від ППМ, дозволив виділити найбільш перспективні конструкції для практичного застосування. В одній з них використовується масив відносно довгих (понад 1 м) теплових труб з примусовим повітряним охолодженням оребрених зон конденсації, розташованих у верхній частині ТТ. У [1 – 4] експериментально перевірялася можливість покращення функціонування таких ТТ завдяки встановленню секції випаровування під різними кутами, зміні кількості заправки, в залежності від теплової потужності та ін. Були отримані обнадійливі результати, проте в роботах не вказується, як такі конструкції можуть використовуватися безпосередньо в реальних РЛС.

У [5] запропоновано конструкцію з каскадними басейнами. На відміну від класичної конструкції, в ТТ відносно довга ділянка секції випаровування у порівнянні з адіабатичною та конденсаторною секціями, а наявність декількох каскадних басейнів дозволяє мінімізувати перепад та коливання температури по всій довжині зони нагріву. В експериментальних дослідженнях вони показали гарні результати, проте висока складність їх виготовлення та низька надійність конструкції не дозволяє сподіватися на широке використання.

У низці закордонних патентів, наприклад [6 – 8], теплові труби вмонтовуються в основу ППМ, і повинні мати капілярну структуру для повернення теплоносія з зони конденсації в зону випаровування. Корпус модуля [6] містить алюмінієву основу, в якій виконані ТТ у вигляді паралельних каналів з гнітом на внутрішній поверхні та паропровід. На кінці каналів встановлено заглушки та заправні штуцери. Зони конденсації ТТ оснащено радіаторами та винесено за межі основи. Охолоджувальні елементи встановлено в місці розташування зони випаровування ТТ. У патенті [7] описано антенну систему, антенний блок якої містить багат шарову друковану плату з набором антенних елементів на одній її стороні і безліч тепловиділяючих модулів, припаяних і виступаючих назовні з протилежної сторони. Кожен модуль включає теплові труби, які передають тепло в охолоджувальну секцію. Приймально-передавальний модуль [8] активної фазованої антенної решітки Ка-діапазону містить як основу плоску ТТ товщиною до 2 мм, на якій розміщена друкована плата з тепловиділяючими елементами. Частина поверхні ТТ виходить за межі корпусу ППМ і закріплюється у віддаленій від модуля зоні на теплообміннику зовнішньої системи примусового рідинного охолодження. Загальним недоліком наведених у патентах конструкцій є необхідність використання високотемпературних процесів для виготовлення ТТ, що збільшує їхню вартість та вартість конструкцій модулів в цілому.

Таким чином, можна стверджувати, що на сьогоднішній день не існує загальноприйнятої єдиної робочої конструкції системи охолодження з тепловими трубами для приймально-передавальних модулів. При цьому дуже важливо, щоб теплові труби мали якомога просту конструкцію і були технологічними у виготовленні. Авторами цієї роботи запропоновано нову конструкцію системи охолодження ППМ з ТТ з простою та здешевленою у виготовленні різьбовою капілярною структурою, для виготовлення якої не потрібно застосовувати тривалі та енергоємні технологічні процеси високотемпературного спікання та екструзії. Напрямоком подальших досліджень є виготовлення та дослідження теплових характеристик запропонованої системи охолодження.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2020.02/0357) та Міністерства освіти і науки України (проект № 2407).

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Wits W.W., Riele G.J. Modelling and performance of heat pipes with long evaporator sections. *Heat Mass Transfer*. 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s00231-017-2040-5>.
2. Gert Jan te Riele, Wessel W. Wits. Heat pipe array for planar cooling of rotating radar systems. *Joint 19th IHPC and 13th IHP*, Pisa, Italy. 2018.
3. Schreiber M., Wits W.W., Riele G. J. Numerical and experimental investigation of a counter-current two phase thermosyphon with cascading pools. *Applied Thermal Engineering*, 2016, vol. 99, p. 133–146.
4. K. Smith, S. Siedel, L. Akalanne, R. Kempers, A. Robinson. Development of a naturally aspirated thermosyphon for power amplifier cooling. *8th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics*. 2013. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/525/1/012007>
5. Smith K., Siedel S., Robinson A. J., Kempers R. The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*, 2016.
6. Кириба Ю. В., Романов І. В., Петров А. В., Іонов А. С., Ігнат'єв Р. Н. Корпус модуля активної фазированої антенної решітки. Пат. RU 175 877, 2017.
7. Haws; James L., Short, Jr.; Byron Elliott. Compact phased array antenna system, and a method of operating same. Pat. 6297775. USA. 2001.
8. Невокшенов А. В., Поляков П. О., Рабинский Л. Н. и др. Корпус модуля активної фазированої антенної решітки. Пат. RU 196 690, 2019.

A. S. Solomakha, Yu. E. Nikolaenko, V. Yu. Kravets, R. S. Melnyk, D. V. Kozak, D. V. Pekur

Cooling systems of T/R modules for radars based on heat pipes

The authors analyze cooling systems of T/R modules with heat pipes of different designs. It is shown that one can reduce the cost of a cooling system based on heat pipes by choosing the heat pipes with capillary structure. Producing such pipes does not require long and energy-intensive technological processes of high-temperature sintering and extrusion.

Keywords: heat pipe, cooling system, electronic component.