

## ВПЛИВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТЕПЛОВИХ ТРУБ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСУ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Ph.D. Д. В. Пекур<sup>1</sup>, д. т. н. Ю. Є. Ніколаєнко<sup>2</sup>, д. т. н. В. Ю. Кравець<sup>2</sup>, Р. С. Мельник<sup>2</sup>,  
к. т. н. Д. В. Козак<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України;

<sup>2</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Україна, м. Київ

yunikola@ukr.net, demid.pekur@gmail.com

*Методом комп'ютерного моделювання показано, що використання теплових труб з теплопровідністю від 5000 до 10000 Вт/(м·°С) є найбільш доцільним для використання в системах охолодження потужних приймально-передавальних модулів розробленої конструкції.*

*Ключові слова: приймально-передавальний модуль, підсилювач потужності, система охолодження, тепла труба, комп'ютерне моделювання.*

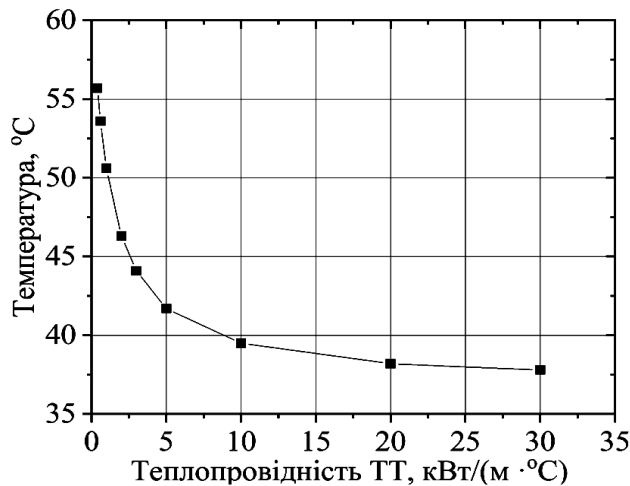
Особливістю потужних приймально-передавальних модулів (ППМ) активних фазованих антенних решіток (АФАР) є використання потужних надвисокочастотних транзисторів або мікрохвильових монолітних інтегральних схем, які в процесі роботи можуть виділяти тепловий потік густиною близько 30 кВт/см<sup>2</sup> [1]. Такі високі значення густини теплового потоку транзисторів ППМ потребують ефективних систем охолодження. Системи примусового повітряного охолодження ППМ на основі теплообмінників у вигляді радіаторів з теплопровідного матеріалу не завжди можуть забезпечити нормальний тепловий режим транзисторів [2]. Одним зі шляхів підвищення ефективності відведення теплоти від потужних транзисторів ППМ є використання в конструкціях повітряних систем охолодження теплових труб (ТТ). Ефективність відведення теплоти в такій системі та рівень температури транзисторів значною мірою залежатиме від теплопровідності теплових труб, тому встановлення впливу теплопровідності ТТ на теплові характеристики повітряної системи охолодження ППМ є актуальною задачею.

Метою цієї роботи є визначення методом комп'ютерного моделювання впливу теплопровідності ТТ на температуру найбільш нагрітого транзистора ППМ та розроблення рекомендацій щодо вибору найбільш раціональних значень теплопровідності ТТ для використання їх в системах охолодження ППМ.

Враховуючи складність виготовлення фізичних моделей конструкцій систем охолодження ППМ з ТТ, для визначення теплових характеристик системи охолодження та з'ясування характеру впливу теплопровідності ТТ на температуру транзисторів було застосовано метод комп'ютерного моделювання з використанням модуля Flow Simulation програмного комплексу Solidworks. Моделювання виконано для теплообмінника з габаритними розмірами 490×324×25 мм та вбудованими в нього під кутом до горизонтальної основи тепловими трубами [3]. Теплообмінник виготовлено з наявного на ринку алюмінієвого радіаторного профілю з товщиною основи 4 мм, кроком між ребрами 7 мм та товщиною ребер від 2 мм (біля основи) до 1 мм (біля вершини). Радіаторний профіль виготовлено з двох частин, з'єднаних між собою методом зварювання у суцільну конструкцію корпусу ППМ з заданими вище розмірами. Основними тепловидільними елементами є 8 надвисокочастотних транзисторів вихідного підсилювача потужності. Потужність кожного транзистора 28 Вт. Розміри контактної поверхні основи транзистора 10×10 мм. Транзистори змонтовано на чотирьох мідних пластинах розмірами 51×36×5 мм, які розміщуються приблизно посередині довжини ППМ. Невелика площа контакту корпусу транзистора з теплообмінником ППМ та висока густина теплового потоку в

зоні контакту робить доцільним використання теплових труб для розосередження локального теплового потоку на всю поверхню теплообмінника з мінімальним термічним опором.

Комп'ютерне моделювання дозволило визначити максимальну температуру транзисторів при значеннях типової для такої конструкції швидкості повітряного потоку у каналах охолодження 5 м/с та температури повітря на вході 20°C при різних значеннях теплопровідності ТТ. Значення теплопровідності ТТ змінювалося в діапазоні від 400 до 30000 Вт/(м·°C). Залежність температури транзистора з найвищою температурою (третій транзистор знизу на рис. 2 у [3]) при зміні теплопровідності ТТ показано на рисунку.



Залежність температури найбільш нагрітого транзистора від теплопровідності ТТ

З наведених даних видно, що залежність температури надвисокочастотного транзистора від теплопровідності ТТ є монотонно спадною з деяким перегином в області теплопровідності ТТ близько 5000 Вт/(м·°C). При цьому при збільшенні теплопровідності ТТ від 400 до 5000 Вт/(м·°C) температура найбільш нагрітого транзистора знижується на 15°C (з 55,7 до 41,7°C), а при подальшому збільшенні теплопровідності від 5000 до 30 000 Вт/(м·°C) зменшення температури транзистора є повільнішим — всього на 3,9°C (з 41,7 до 37,8°C). Водночас вартість ТТ з високим значенням теплопровідності суттєво вища, ніж вартість ТТ з меншою теплопровідністю. Враховуючи все це, можна дійти висновку, що з економічної точки зору оптимальним для розроблених конструкцій ППМ є використання ТТ з ефективною теплопровідністю у діапазоні від 5000 до 10000 Вт/(м·°C), адже подальше збільшення теплопровідності не дозволить суттєво знизити температуру транзисторів, а лише призведе до підвищення вартості конструкції.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Lee H., Agonafer D. D., Won Y., Houshmand F., Gorle C., Asheghi M., Goodson K. E. Thermal Modeling of Extreme Heat Flux Microchannel Coolers for GaN-on-SiC Semiconductor Devices. *J. of Electronic Packaging*. Received, 2016, 138 (1), p. 10907-1 – 10907-12.
2. Николаенко Ю.Е., Баранюк А.В., Рева С.А., Рогачев В.А. CFD – моделирование температурного поля корпуса-радиатора передающего модуля АФАР с воздушным охлаждением. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2019, № 1–2, с. 27–33.
3. Пекур Д.В., Николаенко Ю.С. Порівняння теплових характеристик двох варіантів корпусів приймально-передавальних модулів. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIX МНПК молодих вчених та студентів*, м. Київ, 2021, т. 1.

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

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

#### Impact of thermal conductivity of heat pipes on thermal characteristics of T/R module casing.

The authors use computer simulation to show that the heat pipes with the thermal conductivity from 5000 to 10000 W/(m·°C) are the most appropriate choice for the cooling systems of powerful T/R modules of the developed design.

Keywords: T/R module, high power amplifier, cooling system, heat pipe, computer modeling.