

СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ АФАР РЛС

Д. т. н. Ю. Е. Николаенко, Э. Б. Быков, Д. В. Конько, Н. Н. Котов

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Украина, г. Киев
yunikola@ukr.net

Приведен обзор существующих конструкций приемопередающих модулей (ППМ) для активных фазированных антенных решеток. Показана тенденция развития СВЧ элементной базы для построения более мощных ППМ. Рассмотрены особенности применяемых и перспективных систем охлаждения. Показана возможность использования тепловых труб в системах охлаждения ППМ.

Ключевые слова: АФАР, приемо-передающий модуль, система охлаждения, тепловая труба.

Современные радиолокационные станции широко применяются для получения изображений земной поверхности с высоким пространственным разрешением, что позволяет решать задачи прогнозирования погоды, исследования природных ресурсов, геологоразведки, оценки биоресурсов, создания топографических карт, мониторинга катастроф, экологических загрязнений и др. С помощью РЛС можно также выявлять движущиеся воздушные, морские и наземные объекты и с высокой точностью определять координаты и параметры их движения.

Составной частью современных радиолокационных станций являются фазированные антенные решетки (АФАР), содержащие до нескольких тысяч излучателей и приемопередающих модулей (ППМ). Вследствие невысокого КПД значительная часть энергии, потребляемой ППМ, выделяется в виде теплоты. Тепловой режим ППМ определяется в основном выходным усилителем мощности. Ведущие компании мира, такие как TriQuint Semiconductor, Mimi, Hittite, Skyworks Inc. (США), UMS (Франция), Eudyna (Тайвань) в выходных усилителях мощности используют монолитные интегральные схемы (МИС) на основе GaAs с мощностью 10—20 Вт при максимальной площади кристалла 25—30 мм². В последние годы наблюдается тенденция к использованию более высокочастотных транзисторов и МИС на основе GaN [1]. Мощность GaN-МИС ведущих фирм — Cree, TriQuint Semiconductor (США), Eudyna (Тайвань) — уже достигает 40 Вт при площади кристалла всего 18 мм². Высокая плотность теплового потока при недостаточной эффективности теплоотвода может привести к перегреву активных СВЧ электронных компонентов и существенному снижению их рабочих характеристик (рис. 1) [2]. То есть очевидно, что организация теплоотвода от активных электронных компонентов ППМ является весьма актуальной проблемой.

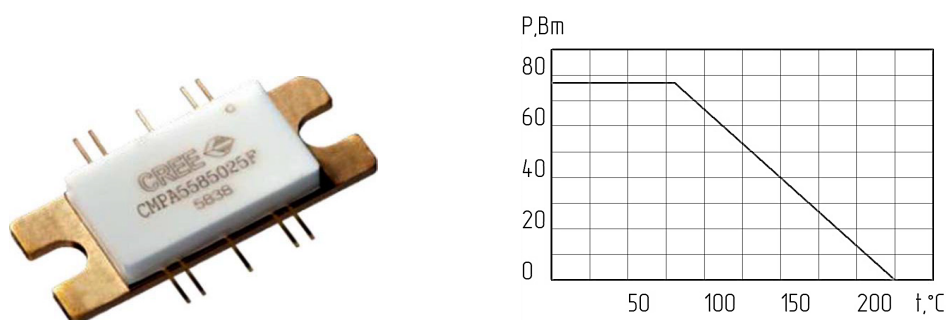


Рис. 1. GaN-МИС CMPA5585025F и зависимость мощности ее рассеяния P от температуры корпуса t [2]

В ППМ с мощностью менее 10 Вт используются преимущественно воздушные системы охлаждения. Теплота отводится потоком охлаждающего воздуха, подаваемым через отверстия в ППМ непосредственно на теплонагруженные элементы [3]. С повышением мощности ППМ свыше 10 Вт все шире используются более эффективные жидкостные системы охлаждения [4]. При этом в конструкцию ППМ вводятся жидкостные каналы, по которым прокачивается охлаждающая жидкость. В докладе приводится обзор известных систем охлаждения ППМ. На рис. 2 и рис. 3 приведены примеры ППМ с воздушной и жидкостной системой охлаждения соответственно.

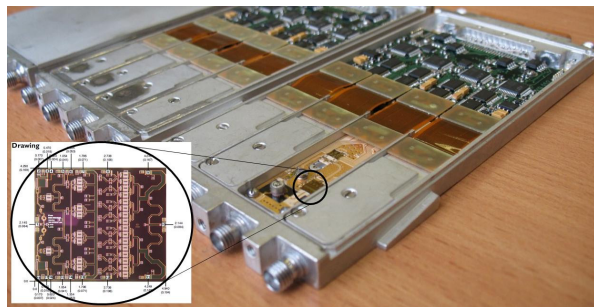


Рис. 2. Четырехканальные ППМ (8—10 Вт) с воздушным охлаждением, ЗАО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон» [5]

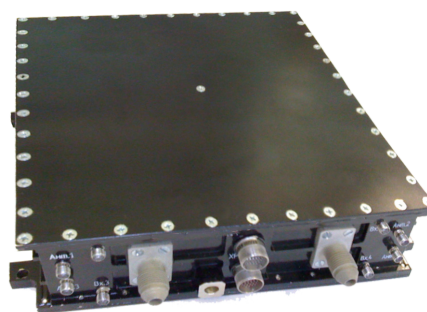


Рис. 3. Четырехканальный широкополосный ППМ (импульсная мощность 400 Вт на канал) с жидкостным охлаждением, НПП «Пульсар» [4]

Авторами доклада предложено построение комбинированной системы теплоотвода от ППМ мощностью от 15 до 350 Вт путем введения в конструкцию ППМ тепловых труб. Тепловые трубы позволяют рассредоточить высокий локальный тепловой поток от мощных МИС на поверхность корпуса ППМ и затем отвести его с помощью конвективного воздушного или жидкостного теплообменника. Такое техническое решение позволит снизить гидравлическое сопротивление жидкостной магистрали и энергетические затраты на прокачку теплоносителя, а также упростить подключение ППМ к жидкостной магистрали при плотной компоновке ППМ на полотне АФАР.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. М. В. Кулиев. Обзор современных GaN транзисторов и направления развития // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. — 2017. — Вып. 2 (245). — С. 18—28.
2. CMPA5585025F 25 W, 5.5— 8.5 GHz, GaN MMIC, Power Amplifier. — <https://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/479/product/184/cmpa5585025f.pdf>
3. M. Scott. SAMPSON MFR active phased array antenna // IEEE Int. Symp. on Phased Array Systems and Technology, Boston, 2003. — P. 119—123. — <https://doi.org/10.1109/PAST.2003.1256967>
4. Научно-производственное предприятие «ПУЛЬСАР». Многоканальный широко-полосный приемопередающий СВЧ модуль. — <http://pulsarnpp.ru/index.php/15-razrabotki-i-produktsiya?start=8>
5. Езопов А.В. Повышение уровня выходной мощности приемо-передающих модулей активных фазированных антенных решеток / Автореферат дис. ... к.т.н. — Саратов: СГТУ, 2011.

Yu. E. Nikolaenko, E. B. Bykov, D. V. Kon'ko, N. N. Kotov

The current state of and trends in development of cooling systems for transmit/receive modules for active phased antenna arrays of radar

The report reviews the existing designs of transmit/receive modules (TRMs) for active phased antenna arrays (APAA). The trend in the development of the super-high-frequency hardware components for building more powerful TRMs is shown. The features of the currently used and prospective cooling systems are examined. The possibility of using heat pipes in the cooling systems of the TRMs is demonstrated.

Keywords: APAA, transmit/receive module, cooling system, heat pipe.