

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 2

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Научно-технический журнал

Выпуск 1 (256) 2020

ELECTRONIC ENGINEERING

SERIES 2

SEMICONDUCTOR DEVICES

Scientific & technical journal

Issue 1 (256) 2020

Москва, 2020

Журнал издаётся с 1958 года

Учредитель:

АО «Научно-производственное предприятие
«Пульсар»

Наблюдательный совет

Председатель совета:

В.В. Груздов, д.т.н., профессор, генеральный
директор АО «НПП «Пульсар»

Заместитель председателя совета:

Ф.И. Шамхалов, д.э.н., профессор, учёный
секретарь АО «НПП «Пульсар»

Члены совета:

А.С. Сигов, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор,
президент РТУ (МИРЭА)

В.Л. Панков, профессор, первый проректор
РТУ (МИРЭА)

Г.А. Егорочкин, к.х.н., генеральный директор
АО «ФНПЦ «ННИИРТ»

С.Н. Игнатьков, генеральный директор
АО «КБ «Кунцево»

В.А. Телец, д.т.н., профессор, директор
ИЭПЭ НИЯУ «МИФИ»

Редакционная коллегия

Главный редактор:

Ю.В. Колковский, д.т.н., профессор

Заместители главного редактора:

В.Ф. Синкевич, д.т.н., профессор

М.М. Крымко, к.т.н.,

Члены редколлегии:

А.Н. Алёшин, д.ф.-м.н.

А.А. Глыбин, к.т.н.

А.С. Евстигнеев, к.т.н.

И.П. Жиган, д.т.н., профессор

Е.В. Каевицер, к.ф.-м.н.

Ю.А. Концевой, д.т.н., профессор

С.В. Корнеев, к.т.н.

Е.И. Минаков, д.т.н., доцент

В.М. Миннебаев, к.т.н., доцент

А.В. Перевезенцев, к.т.н.

К.О. Петросянц, д.т.н., профессор

В.П. Чалый, к.ф.-м.н.

А.А. Шаповалов, к.э.н.

Н.И. Шарапешникова, ответственный
секретарь редколлегии

Редакторы:

В.М. Миннебаев, к.т.н., доцент

Н.И. Шарапешникова

Дизайн и вёрстка:

Е.В. Силонова

Перевод:

Д.И. Леканов

Свидетельство о регистрации средств массовой
информации ПИ № ФС77-63844 от 27.11.2015 г.

Журнал включён в Перечень ведущих
рецензируемых научных журналов и изданий
ВАК в России и в Российский индекс научного
цитирования

Журнал отражается в РЖ и БД ВИНТИ

Адрес издательства и редакции:

105187, Москва, Окружной проезд, 27

Тел.: 8-499-745-05-44 доб. 1104

E-mail: journal@pulsarnpp.ru

Подписка по каталогам агентства

«Роспечать»: «Издания органов научно-
технической информации» - индекс 59890

Подписано в печать: 15.05.2020 г.

Печать офсетная цветная

Уч.-изд. л. 18,7

Тираж 500 экз.

Заказ № 75 от 15.05.2020 г.

© АО «НПП «Пульсар», Москва 2020

Содержание

1. Максимов А.Н.

Образование двумерного электронного газа (ДЕГ)
в структуре с двумя барьерными слоями

$Al_xGa_{1-x}N/GaN/Al_yGa_{1-y}N$ 4

2. Валихин Г.А.

Следящий фильтр для РЛС построенной
на нитрид-галлиевой технологии 17

3. Василевский В.В.

Адаптивное минимаксное оценивание видеoinформа-
ции в задачах аэрокосмического мониторинга 27

4. Дюканов П.А., Корнеев С.В., Паньков В.С., Сидоров Д.В., Синкевич В.Ф., Трунов С.В.

Конструктивно-технологический контроль при раз-
работке и производстве кремниевых операционных
усилителей для обеспечения требуемого уровня
стойкости в части воздействия тяжёлых заряжен-
ных частиц космического пространства 33

5. Лебединская А.Е., Кабальнов Ю.А., Труфанов А.Н., Градобоев А.В., Седнев В.В.

Радиационно-стойкая оптоэлектронная пара
для вторичных источников питания 40

6. Василевский А.А., Иванов К.А., Консенциуш Е.С., Редька Ан.В.

Программа расчёта полей температуры
в трёхмерных моделях устройств 49

7. Чупрунов А.Г., Сидоров В.А., Биларус И.А.

Беспотенциальный корпус силового модуля 57

8. Жуков А.В., Крымко М.М., Настюкова Н.К., Иванов М.Ю.

Способы обеспечения низких показателей
подкорпусной влаги в металлокерамических
корпусах при серийном производстве 64

9. Кирьянов А.Ю.

Эргономическое проектирование испытательного
стенда для отбраковочных испытаний
твёрдотельных СВЧ модулей 71

10. Маслов В.В.

Системные несовершенства в организации
микроэлектроники и классификации 78

Contents

1. Maksimov A.N. Formation of two-dimensional electron GaS (2DEG) in the structure with two Al _x Ga _{1-x} N/GaN/Al _y Ga _{1-y} N barrier layers	4
2. Valikhin G.A. Tracking filter for radar systems based on Gallium Nitride technology	17
3. Vasilevskiy V.V. Adaptive minimax estimation of video-data in aerospace monitoring applications	27
4. Dyukanov P.A., Korneev S.V., Pankov V.S., Sidorov D.V., Sinkevich V.F., Trunov S.V. Structural and technological in the design and manufacturing of silicon operational amplifiers to ensure the high-energy particles of outer space	33
5. Lebedinskaya A.E., Kabalnov Yu.A., Trufanov A.N., Gradoboev A.V., Sednev V.V. Radiation-resistant and optocoupler for secondary power supplies	40
6. Vasilevskiy A.A., Ivanov K., Konsentsiush E.S., Redka An.V. Software for the thermal field calculation in 3D models of semiconductor devices	49
7. Chuprunov A.G., Sidorov V.A., Bilarus I.A. Potential-free power module package	57
8. Zhukov A.V., Krymko M.M., Nastyukova N.K., Ivanov M.Yu. Methods for ensuring low humidity inn the internal volume of ceramic-metal cases in series production of integrate circuits	64
9. Kiryanov A.Yu. Ergonomic design of a test facility for screening tests of solid-state microwave modules	71
10. Maslov V.V. System deficiencies in the process of organizing microelectronics, causes and classification	78

In publication since 1958

Founder:

**Joint Stock Company «Scientific and Production
Enterprise «Pulsar»**

Supervisory Board

Chairman of the Board:

V. V. Gruzlov, Sc.D., Professor, General Director
of SPE «PULSAR» JSC

Deputy Chairman:

F.I. Shamkhalov, Sc.D., Professor, Scientific Secretary
of SPE «Pulsar» JSC

Members of the Board:

A. S. Sigov, Sc.D., Professor, President of RTU MIREA,
Academician of the Russian Academy of Sciences

V. L. Pankov, First Pro-rector of RTU MIREA

G. A. Egorochkin, Ph.D., General Director
of «FRPC «NNIIRT» JSC

S. N. Ignatkov, General Director

of «CB «KUNTSEVO» JSC

V. A. Telets, Sc.D., Professor, Director
of NRNU MEPhI

Editorial Board

Chief Editor:

Yu. V. Kolkovskiy, Sc.D., Professor

Deputy Chief Editor:

V. F. Sinkevich, Sc.D., Professor

M. M. Krymko, Ph.D.

Members of the Board:

A. N. Alyoshin, Sc.D.

A.A. Glybin, Sc.D.

A. S. Evstigneev, Ph.D.

I. P. Zhigan, Sc.D., Professor

E. V. Kaevitser, Ph.D.

Y. A. Kontsevoi, Sc.D., Professor

S.V. Korneev Ph.D.

E. I. Minakov, Sc.D., Associate Professor

V. M. Minnebaev, Ph.D., Associate Professor

A.V. Perevezentsev, Ph.D.

K. O. Petrosyants, Sc.D., Professor

V. P. Chalyi, Ph.D.

A.A. Shapovalov, Ph.D.

N.I. Sharapezhnikova, Editorial Board Executive
Secretary

Editors:

V. M. Minnebaev

N.I. Sharapezhnikova

Design and layout:

E.V. Silonova

Translation:

D. I. Lekanov

Mass Media Registration Certificate PI

No. FS77-63844 of 27 Nov. 2015

The Journal is included in the list of the leading
peer-reviewed scientific journals and publications
of the Russian Higher Attestation Commission and
the Russian Index of Scientific Citation.

Journal recognized at VINITI database and Abstract
Journal

Publisher and Editorial Office:

105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 27

Tel.: 8-499-745-05-44, ext. 1104

E-mail: journal@pulsarnpp.ru

Subscription via the catalogs of «Rospechat»:

«Publications of scientific and technical information
agencies» - index 59890

Signed to print: 15.05.2020

Offset color printing

Publisher's sheets 18.7

Print run 500 copies.

Order No. 75 at 15.05.2020

© S&PE «Pulsar», JSC, Moscow 2020

УДК 004.45

DOI:10.36845/2073-8250-2020-256-1-49-56

ПРОГРАММА РАСЧЁТА ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЯХ УСТРОЙСТВ

А.А. Василевский¹, К.А. Иванов¹, Е.С. Консенциуш², Ан.В. Редька¹

¹АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27;

²Череповецкое высшее военное инженерное ордена Жукова училище радиозлектроники
162622, Волгоградская обл., г. Череповец, Советский проспект, д. 126

В статье представлены результаты использования созданного программного обеспечения, предназначенного для проведения теплового моделирования режимов работы СВЧ модулей на основе твердотельной элементной базы. Проведено сравнение разработанного программного продукта с аналогичной программой – ANSYS Icepak.

Ключевые слова: полевой транзистор с барьером Шоттки (ПТБШ), выходной усилитель мощности (ВУМ), тепловое моделирование, радиатор, тепловой расчёт, СВЧ модуль

Сведения об авторах: Василевский Андрей Александрович, vasilevskiy_aa@pulsarnpp.ru; Иванов Кирилл Андреевич, ivanov_ka@pulsarnpp.ru; Редька Андрей Владимирович, redka_anv@pulsarnpp.ru; Консенциуш Екатерина Сергеевна, bez35@bk.ru

SOFTWARE FOR THE THERMAL FIELD CALCULATION IN 3D MODELS OF SEMICONDUCTOR DEVICES

A.A. Vasilevskiy¹, K.A. Ivanov¹, E.S. Konsentsiush², An.V. Redka¹

¹JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 27

²Cherepovetskoye vyssheye voyennoye inzhenernoye ordena Zhukova uchilishche
radioelektroniki, 162622, Volgograd region, Cherepovets, Sovetskiy avenue, 126

In this paper we demonstrate the performance of the software designed for thermal model testing of solid-state microwave modules and compare it with the similar software ANSYS Icepak.

Keywords: Schottky barrier field-effect transistor (Schottky FET), output power amplifier, thermal model testing, radiator, thermal calculation, microwave module

Data on authors: Vasilevskiy Andrey Aleksandrovich, vasilevskiy_aa@pulsarnpp.ru, Ivanov Kirill Andreevich, ivanov_ka@pulsarnpp.ru, Redka Andrey Vladimirovich, redka_anv@pulsarnpp.ru, Konsentsiush Ekaterina Sergeevna, bez35@bk.ru

Введение

Основным элементом, определяющим технические характеристики передающего тракта радиолокационных систем, является выходной усилитель мощности (БУМ), в состав которого при твердотельном варианте конструкции входят мощные полевые транзисторы с барьером Шоттки (ПТБШ), функционирующие в импульсных и непрерывных режимах эксплуатации [1-5]. Поддержание теплового режима и контроль температуры в теплонагруженных точках важны для поддержания высокого уровня выходной СВЧ мощности усилителя и обеспечения его бесбойной работы в течение всего срока эксплуатации. В статье демонстрируются возможности разработанного программного обеспечения AliceFlow_v0.48 [6], предназначенного для проведения тепловых расчётов сложных модулей.

Постановка задачи

Программа AliceFlow_v0.48 разработана в АО «НПП «Пульсар» и предназначена для проведения оперативных расчётов температурных полей в трёхмерных виртуальных компьютерных моделях радиоэлектронных изделий.

Для оценки достоверности проводимых расчётов использованы несколько модульных задач:

1. Расчёт теплового сопротивления диода 2Д714 [7].
2. Задача конвекции-диффузии (расчёт воздушного охлаждения модуля приёмо-передающего) [5].
3. Расчёт модуля выходного усилителя мощности (БУМ) с радиатором системы жидкостного охлаждения [3].

За основные критерии для проведения оценки точности и скорости расчётов раз-

работанного программного обеспечения приняты время расчёта и температура наиболее теплонагруженного элемента.

В качестве исходных данных в каждой задаче используются заранее известные свойства материалов (корпуса, радиатора и пр.), конструкции изделия, а также мощности рассеяния активных элементов.

Для оценки работы программного обеспечения проведённый расчёт сравнивается с полученным в ANSYS Icerak решением этой же задачи.

Описание программного продукта.

Получение результатов

Программа AliceFlow_v0.48 создана для расчёта температурных полей в трёхмерных виртуальных компьютерных моделях диодов, ПТБШ, модулей выходных и предварительных усилителей мощности (БУМ и ПУМ).

В состав программы входят следующие компоненты:

1. Встроенный генератор неструктурированных локально адаптивных сеток (АЛИС).
2. Компонент решения стационарного или нестационарного уравнений теплопередачи в частных производных, аппроксимирующихся на заданной расчётной сетке для получения конечного числа дискретных алгебраических уравнений большой размерности.
3. Компонент для нахождения векторного поля скорости теплоносителя для задач теплопередачи с учётом влияния вынужденной конвекции в случае, если скорость теплоносителя нельзя задать аналитически.
4. Модели турбулентности – Спаларт Аллмарес [8], SST $k-\omega$ Ментера [9].

5. Схемы высокой разрешающей способности на структурированной сетке (SMARTER, WACEB, SUPER C).

6. Различные программные реализации алгебраических многосеточных методов (собственный алгоритм РУМБА v0.14, amglr5 алгоритм, библиотеки NVIDIA CUSP 0.5.1, библиотека AMGCL Дениса Демидова [10], библиотека SPARSKIT2 Ю. Саада [11], стабильные решатели на основе многосеточных технологий), обладающих различными свойствами: чистой лицензией, наличием полного исходного кода, требованиями к ресурсам компьютера (время, память), скоростью сходимости, возможностью решать задачи большой размерности.

Для графической визуализации результатов расчёта данные экспортируются в программы tectplot [12] и paraview [13].

Решение задачи теплопередачи сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений – базовой операции. На решение системы линейных алгебраических уравнений тратится более 90 % времени решения задачи теплопередачи. Существенно увеличить быстродействие решения

системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), понизить требования к потребляемому объёму оперативной памяти, сохранить максимальную универсальность позволяют алгебраические многосеточные методы. Алгебраический многосеточный метод – это не один конкретный алгоритм, это методология решения СЛАУ.

Задача № 1. Расчёт теплового сопротивления диода 2Д714 на медном основании. Условия задачи:

- тепловая мощность $P_{diss} = 7.926$ Вт;
- температура основания 30°C .

Результаты решения поставленной задачи (рис. 1) показывают достаточно точное совпадение полученного теплового сопротивления кристалла диода 2Д714 – $34,58^{\circ}\text{C}$ для программного продукта ANSYS Icerpak и $34,5^{\circ}\text{C}$ для разработанного программного продукта AliceFlow. Несовпадение результатов составляет менее 0,25 %. При этом время расчёта поставленной задачи в программе AliceFlow составило $t = 5$ с. Эта же задача была решена в ANSYS Icerpak за время $t = 30.3$ с. Выигрыш во времени расчётов составил более 6 раз.

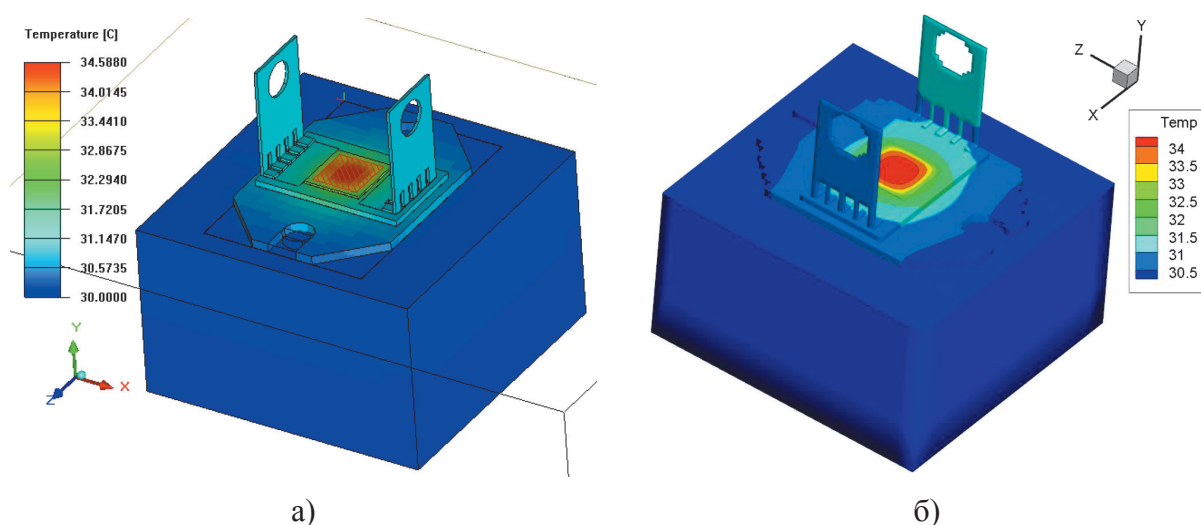


Рис. 1
Результат решения задачи: а) Icerpak; б) AliceFlow

Задача № 2. Задача конвекции-диффузии. Обдув модуля приёмо-передающего. Условия задачи:

- модуль состоит из восьми приёмо-передающих каналов выходной мощностью передатчика $P_{out} = 13.75$ Вт;
- радиатор воздушного охлаждения имеет 18 рёбер;
- скорость теплоносителя между рёбрами 2 м/с;
- суммарная средняя тепловая мощность модуля 19.4 Вт;
- масса модуля вместе с радиатором 886 граммов;
- температура воздуха на входе плюс 65°C.

Результат расчёта (рис. 2) показывает, что разница в максимальных температурах теплонагруженных элементов модуля составляет 2 % ($T = 97.7^\circ\text{C}$ для программного продукта ANSYS Icepak и 95.6°C для разработанного программного продукта AliceFlow).

За счёт возможности аналитически задать скорость теплоносителя в разработанной программе AliceFlow удалось сократить время решения задачи до $t = 24$ с, не потеряв при этом точности получения результата.

Решение задачи в ANSYS Icepak заняло 9 минут. Выигрыш во времени расчётов составил более 22 раз.

Задача № 3. Модуль выходного усилителя мощности (ВУМ) с водяным охлаждением.

Условия задачи:

- модуль ВУМ с уровнем выходной мощности $P_{out} = 800$ Вт, работающий в импульсном режиме;
- охлаждение жидкостное (радиатором с водяным охлаждением);
- расход воды через радиатор 3 л/мин;

– температура воды на входе в радиатор 30 °C;

– масса модуля 13.3 кг.

При решении поставленной задачи с применением программного продукта ANSYS Icepak только построение расчётной сетки для дискретного представления задачи теплопередачи заняло 1 час 22 мин.

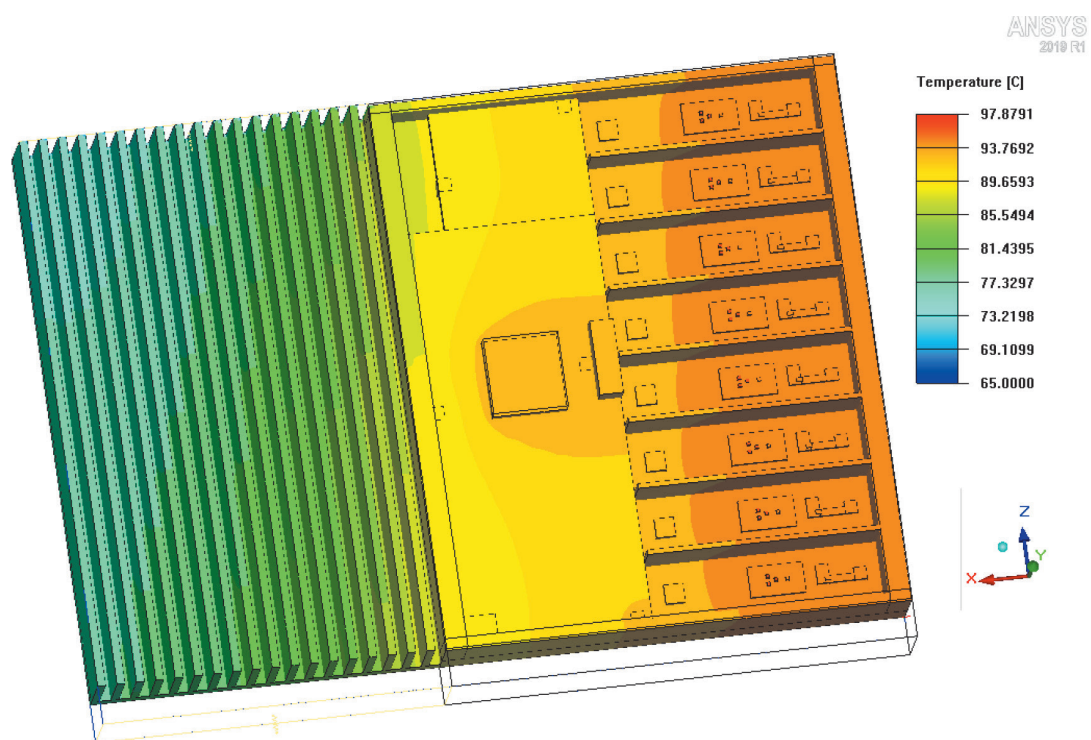
Решение задачи в разработанной программе AliceFlow заняло 24 минуты 38 секунд. Выигрыш во времени расчётов составил более 3 раз. При этом расхождение в полученных температурах наиболее теплонагруженных элементов составило меньше 5 °C.

Результаты проведённых расчётов показали, что отличие по температуре между двумя программными продуктами укладывается в 5°C и обусловлено отличиями в сетках – временной и пространственной, а также различными способами аппроксимации – поузловой или поячеечной.

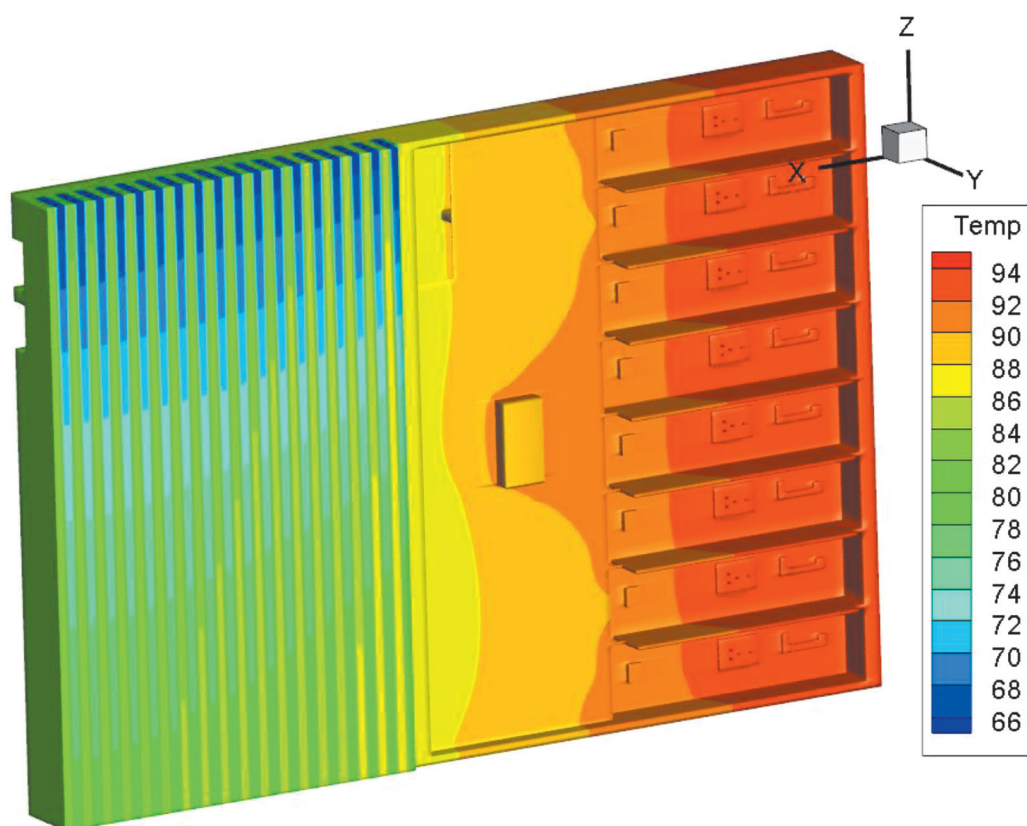
Кроме того, отличаются аппроксимации в программах на фиксированном временном шаге – программа AliceFlow использует нелинейный многопроходный итерационный решатель для установления по температуре на заданном временном шаге, т. е. на шаге по времени в AliceFlow несколько раз повторно собирается матрица системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для устранения нелинейности.

Проведённые расчёты показали существенное (до 22 раз) снижение времени решения тепловой задачи в программе AliceFlow относительно программного продукта ANSYS Icepak.

Благодаря наличию встроенного генератора экономичных неструктурированных сеток и робастому алгебраическому многосеточному методу программа AliceFlow



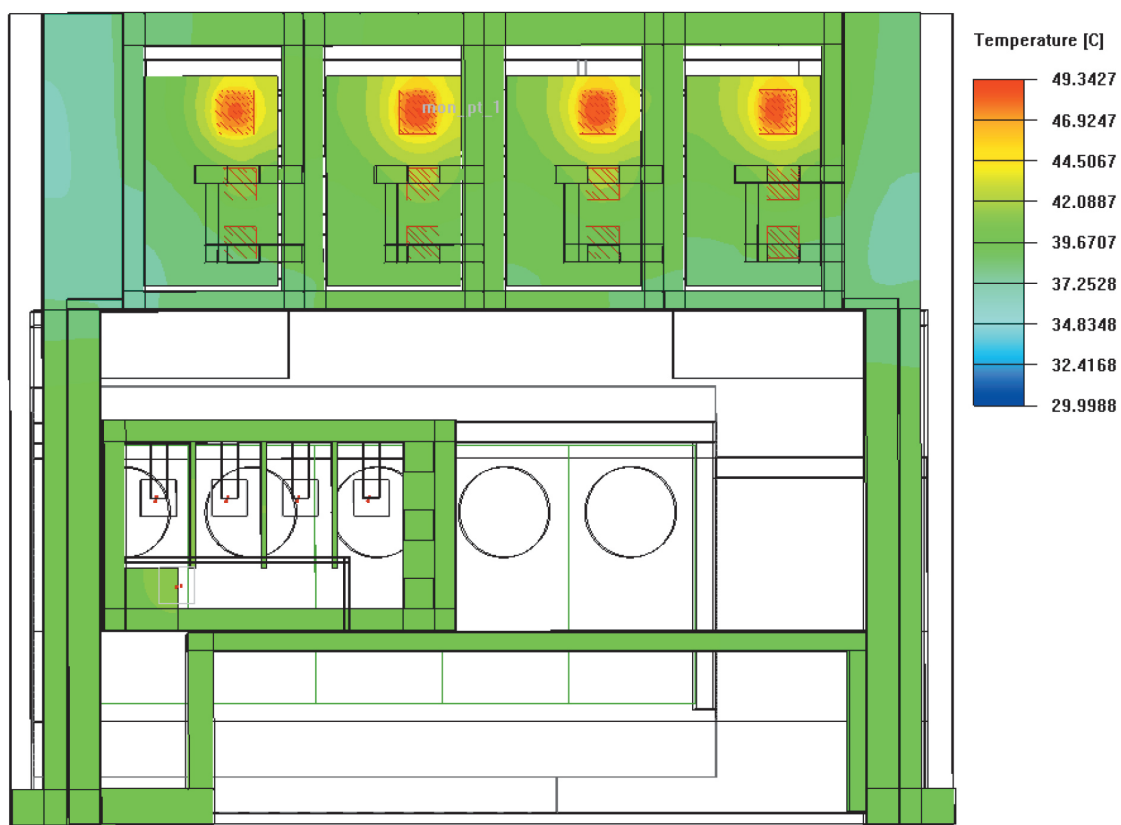
а) Icepak



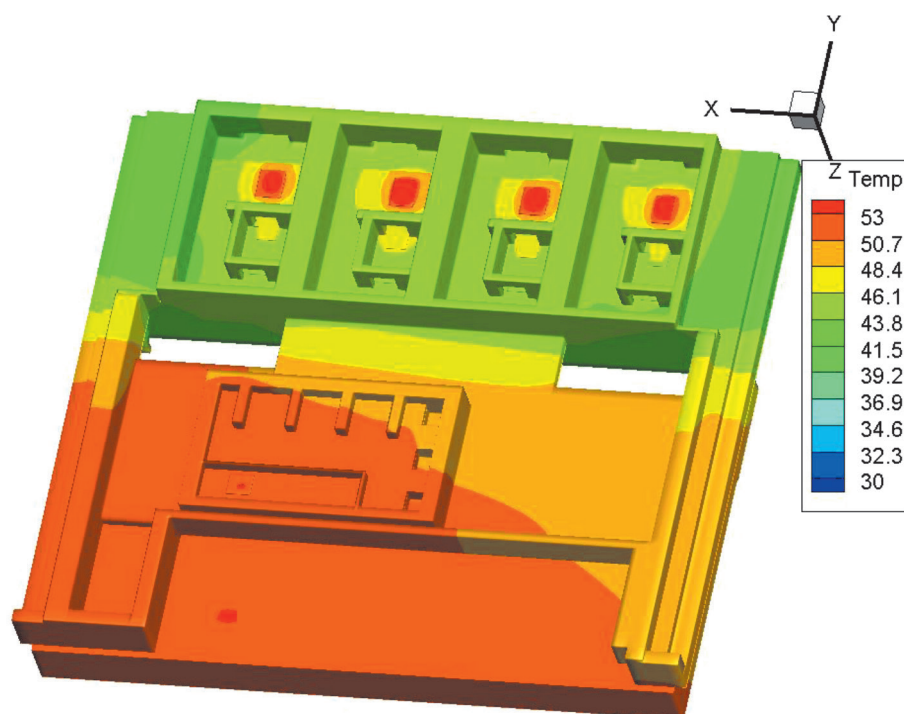
б) AliceFlow

Рис. 2

Расчёт охлаждения модуля приёмо-передающего



а) Icepak



б) AliceFlow

Рис. 3

Расчёт модуля усилителя мощности с радиатором жидкостного охлаждения

может использоваться в дополнении к программному комплексу ANSYS Icepak для проведения оперативных тепловых расчётов при конструировании сложных высокотеплонагруженных изделий.

Литература

1. Груздов, В.В. Электронные блоки на основе AlGaIn/GaN/SiC СВЧ гетеротранзисторов для космических систем / Груздов В.В., Колковский Ю.В., Миннебаев В.М. // Известия Тульского университета. Технические науки. – 2016. – № 12-2. – С. 201-208.
2. Аболдуев, И.М. Импульсный режим работы мощных СВЧ гетеро-полевых AlGaIn/GaN транзисторов / И.М. Аболдуев, Г.З. Гарбер, А.М. Зубков, К.А. Иванов, Ю.В. Колковский, В.М. Миннебаев, А.В. Редька, А.В. Ушаков // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2012. – № 1 (228). – С. 48-53.
3. Герасимов, А.О. Импульсный усилитель мощности X-диапазона на GaN транзисторах: опыт изготовления / А.О. Герасимов, В.Ф. Синкевич, В.М. Миннебаев, Ал.В. Редька // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2012. – № 1 (228). – С. 30-37.
4. Васильев, А.Г. Твердотельный нитридгаллиевый 500-ваттный импульсный усилитель мощности X-диапазона / А.Г. Васильев, А.А. Глыбин, К.А. Иванов, Ю.В. Колковский, К.С. Мещерякова, В.М. Миннебаев // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2011. – № 1 (226). – С. 83-88.
5. Акинин, В.Е. 8-канальный приёмо-передающий модуль X-диапазона с первичной цифровой обработкой сигнала / В.Е. Акинин, О.В. Борисов, Ю.В. Колковский, В.М. Миннебаев, Ал.В. Редька, Ан.В. Редька, А.В. Ушаков, А.В. Царев // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2018. – № 1 (248). – С. 57-67.
6. Иванов, К.А. Программа трёхмерного моделирования тепло- и массообмена в радиаторах, со-

стоящих из набора прямоугольных параллелепипедов / Иванов К.А., Зубков А.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013660267 от 30 октября 2013г. <https://github.com/kirill7785/AliceFlow/commits?after=8916554797c8cb6629bc17af220b89a2ead856b2+104&author=kirill7785>

7. Евдокимова, Н.Л. Сравнение переходных тепловых сопротивлений полупроводниковых приборов, полученных методами нагрева и остывания / Н.Л. Евдокимова, В.В. Долгов, К.А. Иванов, А.Ю. Моторин, В.С. Ежов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2018. – № 4 (251). – С. 37-45.
8. Spalart-Allmaras model. URL: https://www.cfd-online.com/Wiki/Spalart-Allmaras_model. Текст электронный.
9. SST k-omega model. URL: https://www.cfd-online.com/Wiki/SST_k-omega_model. Текст электронный.
10. Demidov D. AMGL: An efficient, flexible, and extensible algebraic multigrid implementation. URL: <https://github.com/ddemidov/amgl>. Текст электронный.
11. Саад, Юсеф. Итерационные методы для разреженных линейных систем: в 2 т. / Юсеф Саад; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: МГУ, 2013.
12. CFD Visualization & Analysis Tools: Tecplot 360. URL: <https://www.tecplot.com/products/tecplot-360>. Текст электронный.
13. ParaView: multi-platform data analysis and visualization application. URL: <https://www.paraview.org/>. Текст электронный.

References

1. Gruzдов V.V., Kolkovskiy Yu.V., Minnebaev V.M. Elektronnyye bloki na osnove AlGaIn/GaN/SiC SVCH geterotranzistorov dlya kosmicheskikh system [Electronic systems based on AlGaIn/GaN/SiC microwave heterogenous transistors for space applications]. Izvestiya tulgskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki, 2016, no. 12-2, pp. 201-208.

2. Abolduyev I.M., Garber G.Z., Zubkov A.M., Ivanov K.A., Kolkovskiy Yu.V., Minnebaev V.M., Red'ka A.V., Ushakov A.V. Impul'snyy rezhim raboty moshchnykh SVCH getero-polevykh AlGaIn/GaN tranzistorov [Pulse operating mode of high-power microwave heterogeneous AlGaIn/GaN FETs]. *Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices*, 2012, no. 1 (228), pp. 48-53.
3. Gerasimov A.O., Sinkevich V.F., Minnebaev V.M., Redka A.I.V. Impul'snyy usilitel' moshchnosti X-diapazona na GaN tranzistorakh: opyt izgotovleniya [X-band pulsed power amplifier based on GaN transistors: manufacturing practice]. *Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices*, 2012, iss. 1 (228), pp. 30-37.
4. Vasilyev A.G., Glybin A.A., Ivanov K.A., Kolkovskiy Yu.V., Meshcheryakova K.S., Minnebaev V.M. Tverdotel'nyy nitridgalliyevyy 500-vattnyy impul'snyy usilitel' moshchnosti X-diapazona [X-band 500 W GaN solid-state pulsed power amplifier]. *Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices*, 2011, no. 1 (226), pp. 83-88.
5. Akinin V.E., Borisov O.V., Kolkovskiy Yu.V., Minnebaev V.M., Redka A.I.V., Redka An.V., Ushakov A.V., Tsarev A.V. 8-kanal'nyy priyomopere dayushchiy modul' KH-diapazona s pervichnoy tsifrovoy obrabotkoy signala [X-band 8-channel transceiver module with digital signal pre-processing]. *Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices*, 2018, no. 1 (248), pp. 57-67.
6. Ivanov K.A., Zubkov A.M. Programma trekhmernogo modelirovaniya teplo- i massoobmena v radiatorakh, sostoyashchikh iz nabora pryamougol'nykh parallelepipedov [The software for 3D modeling of heat and mass transfer in radiators, which consist of a set of rectangular parallelepiped]. Certificate of state registration for software no. 20133626267 of October 30, 2013. Available at: <https://github.com/kirill7785/Al-iceFlow/commits?after=8916554797c8cb6629bc17af220b89a2ead856b2+104&author=kirill7785>
7. Evdokimova N.L., Dolgov V.V., Ivanov K.A., Motorin A.Yu., Ezhov V.S. Sravneniye perekhodnykh teplovykh soprotivleniy poluprovodnikovyykh priborov, poluchennykh metodami nagreva i ostyvaniya [Transient thermal resistance of semiconductor devices, obtained by heating and cooling methods]. *Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices*, 2018, no. 4 (251), pp. 37-45.
8. Spalart-Allmaras model, available at: https://www.cfd-online.com/Wiki/Spalart-Allmaras_model.
9. SST k-omega model, available at: https://www.cfd-online.com/Wiki/SST_k-omega_model.
10. Demidov D. AMGL: An efficient, flexible, and extensible algebraic multigrid implementation. Available at: <https://github.com/ddemidov/amgcl>.
11. Yu. Saad. Iteratsionnyye metody dlya razrezhennykh lineynykh sistem [Iterative methods for sparse linear systems]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvenniy universitet, 2013.
12. CFD Visualization & Analysis Tools: Tecplot 360. Available at: <https://www.tecplot.com/products/tecplot-360>.
13. ParaView: multi-platform data analysis and visualization application. Available at: <https://www.paraview.org/>.

ИЗДАТЕЛЬ АО «НПП «ПУЛЬСАР»

Журнал издаётся с 1958 года, заслужил статус профессионального отраслевого издания, широко популярен среди учёных и специалистов. На страницах издания публикуются статьи по разработке и производству полупроводниковых приборов СВЧ диапазона, интегральных схем, приборов силовой и фотозлектроники; физическому и технологическому моделированию, топологическому и схемотехническому проектированию; технологии изготовления, измерениям и испытаниям; разработке и производству СВЧ твердотельных сложных функциональных блоков и модулей РЭА.

Журнал включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых в соответствии с решением ВАК могут публиковаться основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук.

Журнал включён в информационную систему «Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)». Подписной индекс 59890 в каталоге АО Агентство «Роспечать» - «Издания органов научно-технической информации».

Очередной выпуск [1 (256) 2020 г.] журнала подготовлен в соответствии с принятыми по решению Президиума ВАК Минобрнауки РФ критериями к научным периодическим журналам и изданиям для включения в Перечень, а также техническими требованиями РИНЦ.

На официальном сайте журнала (j.pulsarpp.ru) в свободном доступе размещена информация об опубликованных статьях (авторы, название статьи, аннотация, ключевые слова, сведения об авторах на русском и английском языках, а также библиографические ссылки).

Приглашаем Вас к сотрудничеству, просим высылать статьи, а также рекламный материал и сообщения для публикации по тематике журнала.

Научно-технический журнал «Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы» распространяется только по подписке.

Извещение	Форма № ПД-4
Кассир	<div>АО «НПП «Пульсар» для издательства</div> <div>наименование получателя платежа</div> <div>7719846490</div> <div>ИНН получателя платежа</div> <div>40702810138290018166</div> <div>(номер счета получателя платежа)</div> <div>ПАО Сбербанк (Публичное акционерное общество «Сбербанк России») БИК 044525225</div> <div>(наименование банка получателя платежа)</div> <div>Номер кор./сч. банка получателя платежа: 30101810400000000225</div> <div>Годовая подписка на журнал «Электронная техника.</div> <div>Серия 2. Полупроводниковые приборы»</div> <div>(наименование платежа)</div> <div>(номер лицевого счета (код) плательщика)</div> <div>Ф.И.О. плательщика</div> <div>Адрес плательщика:</div> <div>Сумма платежа 640 руб. 0 коп. Сумма платы за услуги 0 руб. 0 коп.</div> <div>Итого 640 руб. 0 коп. " " 20 г.</div> <div>С условиями приема указанной в платёжном документе суммы, в.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен Подпись плательщика:</div>
	Квитанция

