

УДК 621.378

Особенности конструкции усилителей СВЧ мощности для служебных систем космических аппаратов

Алыбин В. Г., Сёмочкин А. С., Рожков В. М., Авраменко С. В.

АО «Российские космические системы»

*ул. Авиационная, 53, г. Москва, 111250, Российская Федерация
avramenko.gv@spacecorp.ru*

Получено: 1 июня 2022 г.

Отрецензировано: 5 июня 2022 г.

Принято к публикации: 5 июня 2022 г.

Аннотация: Рассмотрены перспективные конструкции усилителей СВЧ мощностей для бортовой аппаратуры служебных систем, в которых решена задача минимизации площади, занимаемой ими на термостабилизированной плите космического аппарата. В дублированных усилителях СВЧ мощности обеспечены хороший теплоотвод для работы с одним усилителем. Каждый из усилителей, входящий в состав дублированного усилителя СВЧ мощности, выполнен на платах, расположенных в одной плоскости перпендикулярно термостабилизированной плите, и закреплен на внутренней пластине, выполненной в виде части корпуса параллельно его крышкам. Корпус усилителя СВЧ мощности торцевой стенкой размещен на термостабилизированной плите космического аппарата и имеет с ней тепловой контакт. Тепловыделяющие транзисторы каждого усилителя размещены в области пластины, ближайшей к термостабилизированной плите. Одиночный усилитель СВЧ мощности имеет конструкцию, аналогичную конструкции дублированного усилителя СВЧ мощности; при этом стенка является для усилителя основанием в корпусе. Троируемый усилитель СВЧ мощности строится в виде сборки дублированного и одиночного усилителей СВЧ мощности, а усилитель СВЧ мощности с трехкратным резервированием — в виде сборки двух дублированных усилителей СВЧ мощности. Площадь, занимаемая дублированным или троированным усилителем СВЧ мощности на термостабилизированной плите космического аппарата, не превышает площади, необходимой для отвода тепла от одного усилителя СВЧ мощности, входящего в его состав, для трехкратно резервированного усилителя СВЧ мощности — площади, необходимой для отвода тепла от двух таких усилителей. Во всех усилителях СВЧ мощности обеспечена технологичность и механическая прочность и устойчивость.

Ключевые слова: космический аппарат, усилитель СВЧ мощности, термостабилизированная плата, теплоотвод, механическая устойчивость, устройство перекрестного резервирования, технологичность.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Особенности конструкции усилителей СВЧ мощности для служебных систем космических аппаратов / В. Г. Алыбин, А. С. Сёмочкин, В. М. Рожков, С. В. Авраменко // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2022. Т. 5, № 1. С. 70—78.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Особенности конструкции усилителей СВЧ мощности для служебных систем космических аппаратов / В. Г. Алыбин, А. С. Сёмочкин, В. М. Рожков, С. В. Авраменко // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2022. — Т. 5, № 1. — С. 70—78.

1. Введение

При создании бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА) важной задачей является уменьшение площади, занимаемой ею на термостабилизированной плате (ТСП) КА. Это, в первую очередь, относится к приборам сеансного режима с «холодным» резервированием, включая твердотельные усилители СВЧ мощности (РУМ) с наибольшим требуемым теплоотводом от их транзисторов. При этом нужно обеспечить компактность и наименьшую массу, механическую стойкость, а иногда и устойчивость, технологичность конструкции, путем размещения платы УМ в одной плоскости, и требуемую кратность резервирования [1, 2].

В состав РУМ входят собственно усилители мощности (УМ), их источники вторичного электропитания (ИВЭП), телеметрические датчики (ТМ) и в ряде случаев устройства перекрестного резервирования (УПР) [1, 2]. УПР могут использоваться в РУМ как в составе дублированного РУМ, так и вне его в виде отдельных устройств [3, 4]. Для РУМ применение находят УПР размерностью «2×2», «2×3», «2×4», «3×3» и редко «3×4» и «4×4».

Ранее, как и в настоящее время, предпринимаются попытки компактного размещения плат с УМ в корпусах УМ и РУМ с минимальной площадью, занимаемой ими на ТСП, которая должна быть не менее, и в лучшем случае не более площади, необходимой для приборов сеансного режима со средней плотностью теплового потока (типично $\sim 0,2$ Вт/см²). В известных технических решениях это достигается тем, что УМ располагаются либо на широкой стороне корпуса одиночного УМ, либо на пластине внутри корпуса РУМ [2]. Другое решение заключается в использовании в УМ двухэтажной конструкции, в которой узлы с наибольшим тепловыделением расположены на основании корпуса, находящегося в тепловом контакте с ТСП, а остальные узлы — на верхнем этаже [5].

Однако в упомянутых технических решениях не реализуются все необходимые требования для РУМ, предназначенных для БА КА, оговоренные выше.

В данной работе предложены УМ и РУМ, чаще всего используемые в БА командно-измерительной системы, характеризующиеся средним уровнем СВЧ мощности (не более 40 Вт) и работающие в одном из диапазонов частот (*S*, *C*, *X*, *K*).

2. Однократно резервированный усилитель СВЧ мощности

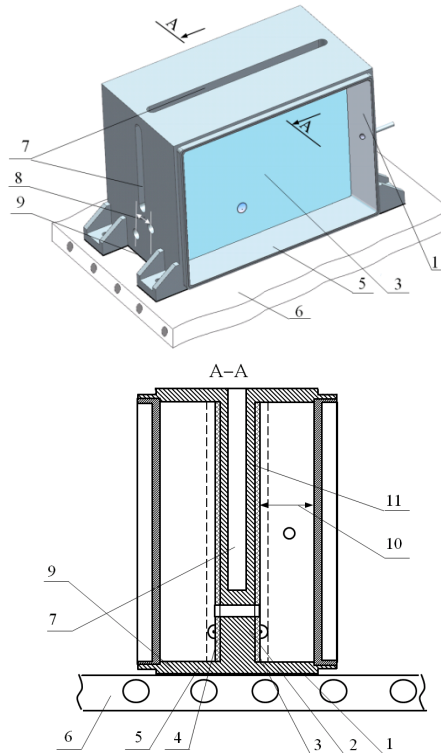


Рис. 1. Конструкция однократно резервированного РУМ (вверху) и поперечное сечение по А–А однократно резервированного РУМ (внизу).

Fig. 1. The design of a one-time redundant RUM (above) and A-A cross-section of a single redundant RUM (below)

На рисунке 1 (вверху) показана конструкция предложенного дублированного РУМ для БА КА, а на рис. 1 (внизу) — его поперечное сечение. РУМ содержит корпус 1, в котором с двух сторон пластины 2, распо-

женной параллельно его широким стенкам, располагаются функциональные узлы двух УМ 3 и 4, включающие СВЧ каскады УМ, ИВЭП, ТМ, и чаще — УПР 2×2, в качестве которого применяется мост Ланге [3].

Одной из торцевых стенок 5, непосредственно связанной с пластиной 2, корпус 1 закреплен на ТСП 6. Таким образом, пластина 2 для УМ 3 и 4 является основанием, расположенным перпендикулярно ТСП 6. СВЧ выходные каскады УМ и ИВЭП, транзисторы которых имеют наибольшее тепловыделение, размещены в части пластины 2, ближайшей к торцевой стенке 5, и в этой зоне пластина 2 имеет увеличенную толщину.

Толщина пластины 2 должна выбираться из расчета теплового потока в этой зоне, который проводится по известным моделям [2, 5], но ее увеличение приводит к увеличению массы РУМ. В действительности она выбирается из соображений обеспечения требуемого расстояния 8 между выходными разъемами РУМ. Для того, чтобы все входы, а следовательно и выходы РУМ, были обращены в одну сторону, один УМ по отношению к другому должен быть зеркальным.

Для сокращения массы РУМ в остальной части пластины 2, т. е. в корпусе 1, выполнен паз 7, разделяющий пластину 2 на две части уменьшенной толщины, что не мешает все функциональные узлы УМ размещать на платах, расположенных в одной плоскости, обеспечивая тем самым технологичность конструкции РУМ, так как не требуется выполнять СВЧ переходы с одной плоскости на другую.

Расстояние 10 от плат УМ до его боковых стенок 11 устанавливается исходя из площади, определяемой тепловым расчетом, и для однократно резервированного устройства, как правило, является избыточным. Как будет показано ниже, для устройств с двукратным резервированием это расстояние можно сделать меньше и тем самым сохранить площадь, занимаемую РУМ, до значений, удовлетворяющих теплоотводу для него при одном включенном УМ.

В РУМ с двумя УМ выполняется требование к стойкости и устойчивости к внешним воздействующим факторам при выборе соответствующей толщины стенок корпуса 1 и боковых стенок 11 (порядка 4 мм).

3. Одиночные, двух- и трехкратно резервированные усилители СВЧ мощности

Двух- и трехкратно резервированные УМ с обеспечением минимума места, занимаемого на ТСП, реализуются с помощью сборок из двух корпусов, состоящих из дублированного РУМ и одиночного УМ, как показано на рисунке 2, на котором представлено поперечное сечение троированного РУМ.

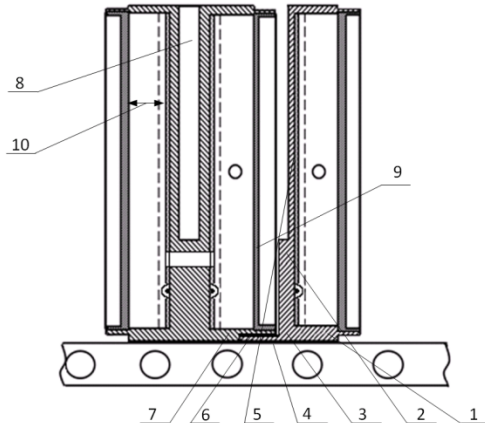


Рис. 2. Одно из поперечных сечений двукратно резервированного УМ.

Fig. 2. One of the cross sections of a doubly redundant power amplifier

Одиночный УМ, входящий в состав троированного РУМ (рис. 2), выполнен по аналогии с дублированным РУМ, содержит корпус 1, в котором отсутствует второй УМ, и, соответственно, стенка 2 на рис. 1 является не стенкой, а основанием корпуса 1, расположенным перпендикулярно ТСП (рис. 2). Одна из торцевых стенок 3 корпуса одиночного УМ, вблизи которой расположены тепловыделяющие транзисторы УМ, имеет тепловой контакт с ТСП через прокладку или теплопроводящую пасту 4. В троированном РУМ часть торцевой стенки 5 корпуса 1 выполнена меньше ее общей толщины для обеспечения теплового контакта с корпусом 6 дублированного УМ. Такое перекрытие корпусов 1 и 6 позволяет выполнить суммарную площадь основания сборки из дублированного РУМ и одиночного РУМ не более, чем необходимо для среднего теплового потока для одного включенного УМ.

В троированном РУМ стенка 9 дублированного РУМ, обращенная к одиночному УМ, выполнена меньшей толщины, тепловой поток от включенного одиночного УМ распространяется и по стенке корпуса дублированного РУМ, находящейся в тепловом контакте с ТСП. Обеспечение тепловых контактов между корпусами РУМ, а также ТСП обеспечивается тепловыми прокладками или теплопроводящей пастой.

Толщина стенок корпусов 1 и корпуса 6, обращенных к ТСП для обеспечения их перекрытия, превышает толщину остальных стенок РУМ и одиночного УМ.

Толщина основания 2 одиночного УМ в зоне наибольшего тепловыделения 7 увеличена аналогично увеличению толщины пластины 2 на рис. 1.

Пространства 10 между платами УМ и крышками корпусов, показанными на рис.1 и 2, имеют меньше высоту, чем в дублированном РУМ для обеспечения площади, занятой троированным РУМ, не превышающей площади, необходимой для отвода теплового потока от одного включенного УМ.

Трехкратно резервированный УМ применяется крайне редко и реализуется сборкой из двух дублированных РУМ. При этом площадь, занимаемая таким РУМ на ТСП, равна в сумме площади, необходимой для теплоотвода от двух одновременно включенных УМ, по одному в каждом из дублированных РУМ, т. к. перекрытие двух корпусов, аналогичное троированному РУМ, нецелесообразно.

В двух- и трехкратно резервированных РУМ УПР целесообразно располагать в отдельных корпусах.

4. Заключение

Представленные конструкции позволяют создавать компактные УМ и РУМ разных степеней резервирования с минимальной площадью, занимаемой на термостабилизированной плите КА, и хорошим теплоотводом. Это достигается расположением плат с УМ перпендикулярно ТСП и при этом обеспечивается технологичность, а также механическая прочность и устойчивость конструкций.

Представленные одиночные и резервированные УМ рациональны для применения в бортовой служебной аппаратуре КА со средней СВЧ мощностью до 40 Вт в *S*, *C*, *X* и *K* диапазонах частот.

Список литературы

1. Сечи Ф., Буджатти М. Мощные твердотельные усилители. М. : Техносфера, 2015. 416 с.
2. Карутин Н. В., Шипова В. А., Мацьгорин А. И. Комплексное решение задач оптимизации проектирования космических приборов нового поколения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2015. Том 2, вып. 2. С. 3—10.
3. Алыбин В. Г., Семочкин А. С., Зарапин С. А., Яхутин С. А. Микрополосковые устройства перекрестного резервирования бортовой аппаратуры космических аппаратов. В сб.: 31-я Международная Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2021 (Севастополь 5—11 сент. 2021 г.). 2021. С. 167—168.
4. Зарапин С. А. Пат. № 2766843 (РФ). Делитель мощности 2×3 , 3×2 для бортовой аппаратуры космических аппаратов. Оpubл. в Б. И. 2022. № 8.
5. Алыбин В. Г., Семочкин А. С. Бортовые СВЧ усилители мощности будущего для командно-измерительных систем // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Том 3, вып. 3. С. 89—97.
6. Былкин В. И., Виноградов Ю. Н., Гаврилов И. А. [и др.] Бортовые усилители мощности для аппаратуры ГЛОНАСС // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 2013. Вып. 3(518). С. 54—60.

Информация об авторах

Алыбин Вячеслав Георгиевич, д. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.

Сёмочкин Алексей Сергеевич, начальник отделения АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.

Рожков Владимир Макарович, к. т. н., заместитель начальника отделения АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.

Авраменко Сергей Владимирович, к. т. н., заместитель начальника отделения АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.

Major Items of Construction Amplifiers of UNF Power for the Auxiliary Systems of Spacecrafts

V. G. Alybin, A. S. Syomochkin, V. M. Rogkov, and S. V. Avramenko

Joint Stock Company "Russian Space Systems"
Aviamotornaya st., 53, Moscow, 111250, Russian Federation
avramenko.gv@spacecorp.ru

Received: June 1, 2022

Peer-reviewed: June 5, 2022

Accepted: June 5, 2022

Abstract: Prospective designs of microwave power amplifiers for on-board equipment of service systems are considered, in which the problem of minimizing the area occupied by them on a thermally stabilized plate of a spacecraft is solved. Microwave power amplifiers provide good heat dissipation and require a degree of redundancy. Each of the amplifiers included in the redundant microwave power amplifier is made on boards located perpendicular to the heat-stabilized plate and fixed on the plate on one or both sides. The area occupied by a duplicated or triple redundant microwave power amplifier does not exceed the area on a thermally stabilized plate required to remove heat from one microwave power amplifier included in its composition. And for a triple redundant microwave power amplifier – the area required for heat removal from two such amplifiers.

Keywords: spacecraft, microwave power amplifier, thermally stabilized plate, heat sink, mechanical stability, cross-backup device, manufacturability.

For citation (IEEE): V. G. Alybin, A. S. Syomochkin, V. M. Rogkov, and S. V. Avramenko, "Major Items of Construction Amplifiers of UNF Power for the Auxiliary Systems of Spacecrafts," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 5, no. 1, pp. 70–78, 2022, doi: 10.29039/2587-9936.2022.05.1.05. (In Russ.).

References

- [1] F. Sechi, M. Bujatti, *Solid-State Microwave High-Power Amplifiers*, Artech House Inc., 2009.
- [2] N. Karutin, V. Shipova, and A. Matsygorin, "Complex Solution During Optimization Designing the Space Devices of New Generation," *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, vol. 2, pp. 3–10, 2015, doi: 10.17238/issn2409-0239.2015.2.3. (In Russ.).
- [3] V. G. Alybin, A. S. Syomochkin, S. A. Zarapin, and S. A. Yakhutin, "Microstrip devices for cross-backup of spacecraft onboard equipment," *31st International Crimean Conf. "Microwave and telecommunication technologies" – CriMiCo'2021* (Sevastopol, September 5–11, 2021), pp. 167–168, 2021. (In Russ.).
- [4] S. A. Zarapin, Pat. No. 2766843 (RF). "Power divider 2×3, 3×2 for spacecraft onboard equipment," *Bulletin of Inventions*, no. 8, 2022. (In Russ.).

- [5] V. Alybin and A. Semochkin, "Onboard Microwave Solid-State Power Amplifiers for Future Command and Measurement Systems," *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, vol. 3, pp. 89–97, 2016, doi: 10.17238/issn2409-0239.2016.3.89. (In Russ.).
- [6] V. I. Bylkin, Yu. N. Vinogradov, I. A. Gavrilov [et al.], "On-board power amplifiers for GLONASS equipment," *Elektronnaya tekhnika, ser. 1. Microwave technology*, iss. 3(518), pp. 54–60, 2013. (In Russ.).

Information about the authors

Vyacheslav G. Alybin, Dr. Eng., Associate Professor, Leading Researcher of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation.

Aleksey S. Syomochkin, Head of Department of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation.

Vladimir M. Rozhkov, C. Sc. Deputy Head of the Department of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation.

Sergey V. Avramenko, C. Sc., Deputy Head of the Department of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation.