

Матричные системы электропитания – новый этап развития технологий АФАР

Александр Гончаров, AEPS GROUP

В статье обсуждаются особенности построения матричных систем распределённого электропитания для активных фазированных антенных решёток.

Распределённые системы электропитания, состоящие из большого числа модулей, завоевывают всё большую популярность. Оптимизация структуры такой системы электропитания позволяет повысить её эффективность и надёжность, а также снизить стоимость. В последнее время во многих приложениях находит применение матричная структура расположения модулей питания. Будем называть такие системы матричными системами распределённого электропитания (МСРЭП).

Группа российско-чешских компаний AEPS GROUP, которая занимается разработкой систем электропитания для авиации, радиолокации, желез-

нодорожного транспорта и других отраслей промышленности, предлагает решения для построения матричных систем распределённого электропитания различного назначения. Ярким примером МСРЭП может служить система электропитания активной фазированной антенной решётки (АФАР) (см. рис. 1).

Главным элементом АФАР, который в значительной степени определяет её стоимость, вес и тактико-технические характеристики, является приёмно-передающий модуль (ППМ). Количество ППМ в АФАР летательных аппаратов сегодня может превышать 2000 штук, а в наземной аппаратуре их количество доходит до 10 000 и более штук.

В состав типового ППМ входят СВЧ-устройства: передатчик, приёмник и фазовращатель, а также микропроцессор для обработки сигналов и управления. Кроме того, ППМ содержит батарею накопительных конденсаторов для импульсного электропитания СВЧ-передатчика (длительность импульсов питания от сотен наносекунд до единиц миллисекунд при скважности от сотен до 4–5).

Крайне важно обеспечивать миниатюризацию ППМ, поскольку при средней длине модуля, равной 150–250 мм, ширина и высота ППМ, совместно с элементами жидкостного и воздушного охлаждения, не может быть больше половины длины волны излучения АФАР:

$$\Delta L \leq \lambda/2,$$

где ΔL – условная сторона квадрата, образованного шириной и высотой ППМ; λ – длины волны излучения АФАР.

В таблице приведены типовые значения ΔL с учётом реальных размеров элементов охлаждения для различных диапазонов частот АФАР.

Габаритные размеры выпускаемых сегодня СВЧ-микросхем позволяют располагать их полосой шириной 9–11 мм. Поэтому с учётом того, что для защиты ППМ от СВЧ-излучения необходимо использовать металлический корпус с толщиной стенок не менее 0,5 мм (чтобы обеспечить теплоотвод), следует ожидать достижение размера $\Delta L = 10–12$ мм для СВЧ-блока ППМ.

Одной из проблем дальнейшей миниатюризации ППМ, которая обеспечивает снижение веса и стоимости АФАР, а также улучшение показателей электромагнитной совместимости (ЭМС), является снижение габаритных размеров модулей электропитания и накопительных конденсаторов. В частности, крайне сложно уменьшить размеры трансформаторов и дросселей модулей электропитания, работающих на частотах в 10 000 раз меньших, чем частотный диапазон СВЧ-компонентов ППМ. Например, оптимальные для использования в АФАР DC/DC- и AC/DC-модули производства AEPS GROUP имеют предельные размеры ΔL , превышающие

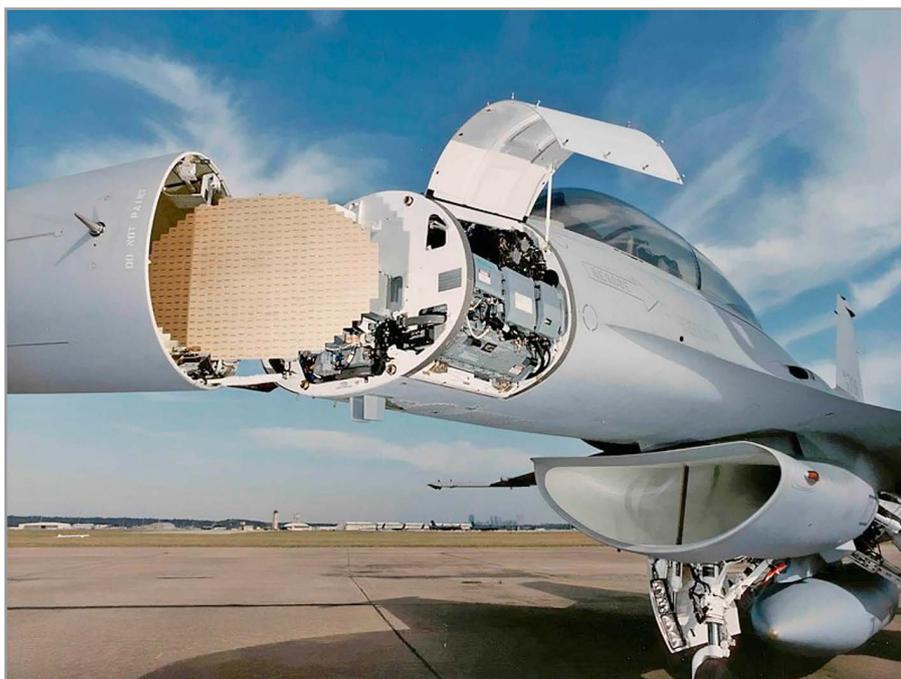


Рис. 1. АФАР в составе истребителя

Типовые значения ΔL для различных диапазонов частот АФАР

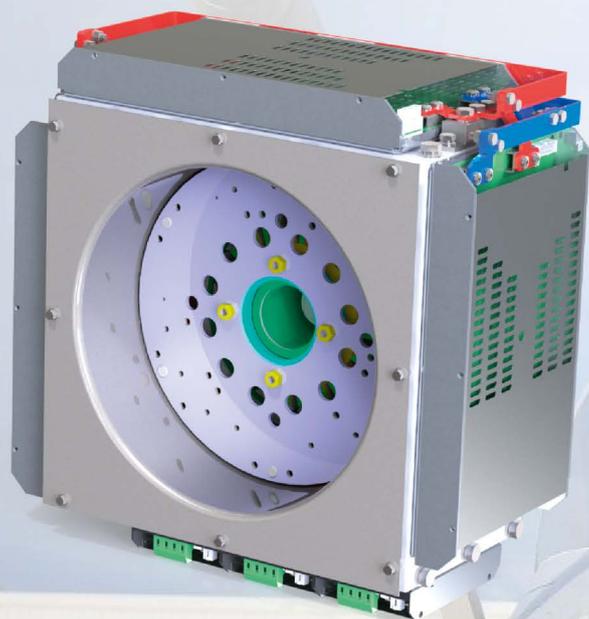
Частотный диапазон	Частота излучения, ГГц	Длина волны, мм	ΔL , мм
S	2–4	150–75	70–33
C	4–8	75–37,5	33–15
X	8–12	37,5–25	15–9



Мы делаем уникальные системы электропитания Мы – AEPS GROUP

Основное направление нашей деятельности – производство высоконадежных мощных AC/DC и DC/DC преобразователей и блоков электропитания на их основе для организации электропитания на транспорте, в авиации, радиолокации, на железных дорогах и т.д.

Нашу продукцию выбрали ведущие предприятия, мы работаем в тесном сотрудничестве со своими клиентами и готовы к реализации самых сложных и нестандартных проектов.



Блок электропитания 9 000 Вт

- Для работы с дизельными генераторами
- Входное трехфазное напряжение 304...456VAC
- Выходная мощность до 9000 Вт
- Выходной ток до 316А
- Функция параллельной работы
- Все виды защит
- Дистанционное включение/выключение и подстройка выходного напряжения
- Алюминиевый радиатор со встроенными вентиляторами охлаждения
- Встроенные разделительные выходные диоды

Блок электропитания 3 600 Вт

- Входное напряжение 100...242 В
- Выходная мощность до 3600 Вт
- Выходной ток до 133,2 А
- Функция параллельной работы
- Корректор коэффициента мощности
- Защита от перегрузки по току, КЗ и перенапряжения по выходу, тепловая защита
- Дистанционное выключение и подстройка выходного напряжения внешним управляющим напряжением
- Возможность работы на АКБ в буферном режиме
- Встроенные разделительные выходные диоды



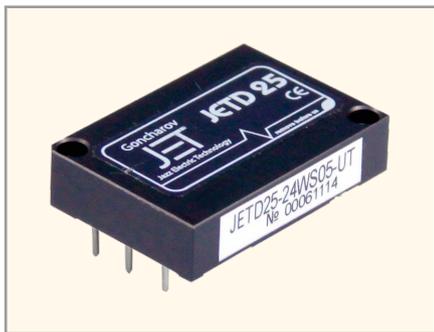


Рис. 2. DC/DC-модуль JETD25 (прототип модуля для ППМ с $\Delta L = 21,5$ мм, габариты $23 \times 33 \times 10$ мм)



Рис. 3. DC/DC-модуль JETD50 (прототип модуля для ППМ с $\Delta L = 21,5$ мм, габариты $23 \times 51 \times 10$ мм)



Рис. 4. AC/DC-модуль JETA60 (прототип модуля электропитания с ККМ для ППМ АФАР с $\Delta L = 47$ мм, габариты $101 \times 51 \times 18$ мм)



Рис. 5. AC/DC-DC-модуль TESAV50 с двумя вариантами входного напряжения без ККМ и с ККМ (габариты $85 \times 53 \times 13$ мм)



Рис. 6. AC/DC-модуль с ККМ JETA2000 (габариты $250 \times 140 \times 38$ мм)

21,5 и 47 мм (см. рис. 2–5). Это означает, что построить полностью децентрализованную МСРЭП (что крайне желательно с точки зрения обеспечения надёжности АФАР) для диапазонов С и Х на базе модулей AEPS GROUP пока не представляется возможным – для этого требуется проведение дорогостоящих НИОКР. Поэтому сегодня создать децентрализованную МСРЭП АФАР на основе одноканальных ППМ можно только для частот до 4–6 ГГц.

Для АФАР с рабочими частотами более 6 ГГц можно использовать хорошо отработанные технические реше-

ния, которые позволяют преодолеть ограничение на превышение размеров ППМ половины длины волны излучения. Таким решением являются многоканальные (2- или 4-канальные) ППМ, в общем корпусе которых размещены два модуля электропитания, что обеспечивает простой вариант резервирования электропитания.

В этом случае можно построить децентрализованную МСРЭП с коэффициентом надёжности, близким к единице. Однако платой за это является усложнение ППМ и ухудшение показателей ЭМС.

Выпуск более сложных и дорогих многоканальных модулей вместо однотипных и простых ППМ в больших количествах нерентабелен. Кроме того, необходимость применения для таких систем централизованных AC/DC-источников электропитания, например, на основе преобразователя с корректором коэффициента мощности (ККМ) JETA2000 (см. рис. 6), приводит к созданию двухступенчатой структуры преобразования энергии, что снижает общий КПД.

Примером того, насколько важна миниатюризация МСРЭП с количеством ППМ более 2000, является 3D АФАР для истребителя F22 Raptor. По данным, опубликованным в американских источниках, объём бортовых РЛС этого самолёта составляет 565 дм^3 , а вес – 553 кг. При мощности МСРЭП АФАР, равной 16 530 Вт, объём МСРЭП составит 40% от общего объёма АФАР, а вес – 45%. Здесь необходимо заметить, что в данном примере используется практически централизованная МСРЭП. Она обладает критически низким уровнем надёжности и занимает большую долю в весе системы электропитания с фидерами, питающими ППМ. Однако её вес ниже, чем у децентрализованной системы.

Рассмотрим примеры реализации нескольких типовых МСРЭП АФАР воздушного и наземного базирования, а также сравним основные энергетические показатели децентрализованной МСРЭП для ППМ, созданных с использованием СВЧ-компонентов на базе GaAs- и GAN-технологии.

Вариант 1 (см. рис. 7) построен на основе GaAs СВЧ-транзисторов с типичным для них напряжением питания 10 В и КПД = 0,2 и содержит конденсаторный накопитель энергии объёмом 3,14 условных единиц (при сравнении вариантов 1 и 2 учитываются различия в напряжении питания и КПД).

Вариант 2 (см. рис. 8) выполнен на основе СВЧ-транзисторов с типичным для GAN-технологии напряжением питания 28 В и КПД = 0,5. Содержит конденсаторный накопитель энергии объёмом 1 условная единица.

Общими для вариантов являются следующие параметры:

- излучаемая импульсная мощность ППМ – 10 Вт;
- максимальная частота – 6 ГГц;
- КПД модуля электропитания – 0,88;
- количество ППМ – 2000;
- скважность импульсов – 5.

Суммарный объём МСРЭП на основе GaAs-транзисторов составляет 10 280 условных единиц – примерно 56 дм³, а совместно с централизованным резервированным преобразователем, состоящим из 18 параллельно включённых модулей типа JETA2000 с ККМ (каждый имеет объём 1200 условных единиц), 21600 + 10280 = 31880 условных единиц – примерно 174 дм³.

Суммарный объём МСРЭП на основе GaN-транзисторов составляет 4000 условных единиц – примерно 21,7 дм³, а совместно с централизованным резервированным преобразователем, состоящим из 9 параллельно включённых модулей типа JETA2000 с PFC, 10800 + 4000 = 14800 условных единиц – примерно 80,4 дм³.

Результаты расчёта по варианту 1 (GaAs-транзисторы) и варианту 2 (GaN-транзисторы) следующие:

- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaAs) ППМ для всей АФАР составила 20 000 Вт;
- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaN) ППМ для всей АФАР составила 8000 Вт;
- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaAs) для всей АФАР с имеющимися ККМ составила 25 244 Вт;
- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaN) для всей АФАР с имеющимися ККМ составила 10 111 Вт;
- тепловая мощность, рассеиваемая в АФАР, без учёта антенны для GaAs-транзисторов, составила 86 885 Вт;
- тепловая мощность, рассеиваемая в АФАР, без учёта антенны для GaN-транзисторов составила 10 251 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественная промышленность (российская и белорусская) уже сегодня,

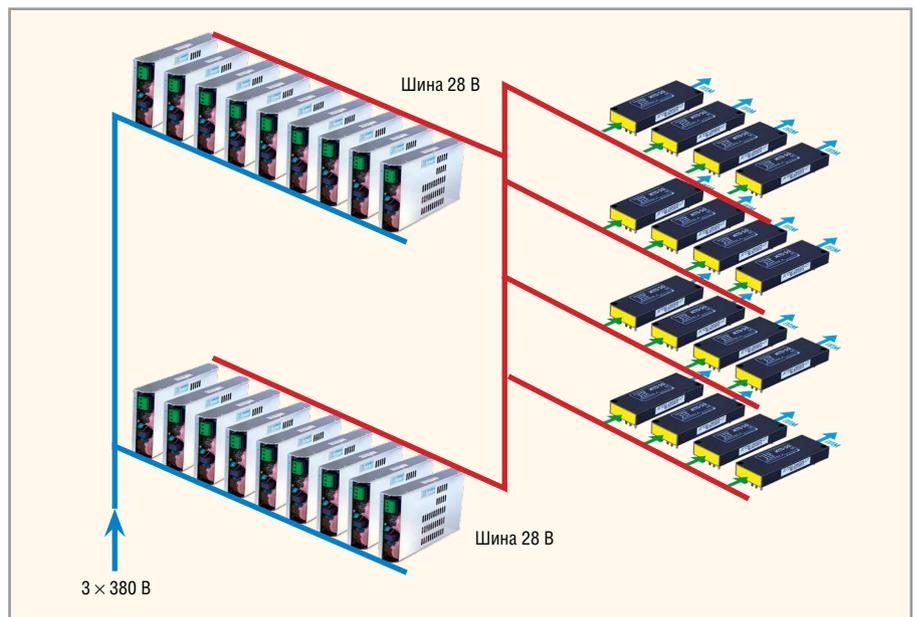


Рис. 7. Вариант 1 построения МСРЭП для АФАР

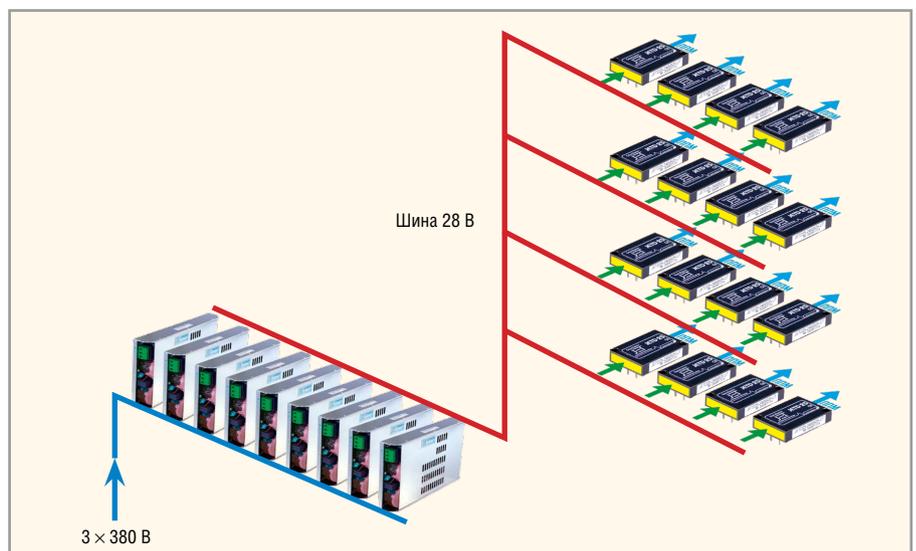


Рис. 8. Вариант 2 построения МСРЭП для АФАР

возможно уже в 2016–2017 гг., могла бы производить на основе GaN-компонентов ППМ, работающие в S-, C- и, частично, в X-диапазонах, с суммарной выходной СВЧ-мощностью

20 000 Вт. В качестве прототипов модулей электропитания могут быть использованы серийно выпускаемые компанией AEPS GROUP модули JETD25, JETD50 и JETA2000.



Новости мира News of the World Новости мира

Победители Startup Village получили сертификаты на форуме «Открытые инновации»

3 июня в рамках Startup Village в инновационном центре «Сколково» состоялось награждение победителей конкурса Startup Village. Три победителя конкурса питч-презентаций всероссийского стартап-тура Startup Village – представители компаний Tektum, Real Target и Гравитон получили возможность выступить в качестве спикеров

на Форуме «Открытые инновации», который в этом году будет проходить в обновлённом формате. Остальным 28 победителям были вручены сертификаты на доступ ко всем пяти дням Форума и Шоу технологий.

На площадке конференции Startup Village также была представлена новая концепция форума «Открытые инновации», темой которого станет «Человек на стыке трендов технологической революции». Взятая за основу стилистика современного международного

конгресса, предполагающая неформальное общение и диалог «без галстуков», нашла своё отражение в формате интерактивной дискуссии о том, что инновационные технологии принесут в сферы производительности, образования, здоровья, развлечений и в нашу среду обитания.

Новая концепция Форума и Шоу технологий предполагает, что участником мероприятия может стать каждый.

Forinnovations.ru