

# Некоторые аспекты организации систем электропитания АФАР

## Часть 1

Существует множество приложений, в которых нагрузка на источник электропитания (ИП) носит явно выраженный импульсный характер. К таким нагрузкам относятся, например, приемопередатчики радиолокационной техники, импульсные усилители, высокопроизводительные процессорные устройства, озонаторы, лидары и ряд других промышленных и специальных устройств [1]. При этом длительность импульсов нагрузки и скважность этих импульсов могут варьироваться в очень широких пределах.

Часто импульсная нагрузка предъявляет к ИП повышенные требования по уровню коммутационных эфирных и кондуктивных радиопомех. Кроме того, во многих случаях для правильного функционирования аппаратуры необходима очень высокая стабильность питающего напряжения как во время рабочих импульсов, так и во время пауз между ними. К такой категории, в частности, можно отнести приемопередатчики активных фазированных антенных решеток (АФАР), которые находят все более широкое применение не только в военных, но и в гражданских приложениях.

В статье рассмотрено несколько особенностей систем электропитания АФАР и организации их энергоснабжения, что полезно для инженеров, специализирующихся на разработке АФАР.

Олег Негреба

onegreba@aedon.ru

### Преимущества и недостатки централизованной и децентрализованной систем электропитания

АФАР состоит из целого полотна приемопередающих модулей (ППМ), в состав каждого из которых входит от двух до нескольких десятков приемопередающих каналов. В результате суммарное количество приемопередатчиков АФАР составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч [2]. Отказ одного или нескольких приемопередающих каналов решетки лишь незначительно искажает диаграмму направленности антенны. Даже при выходе из строя нескольких процентов от общего числа каналов антенна в целом остается работоспособной [2, 3]. За счет этого структура АФАР имеет очень высокие показатели надежности и отказоустойчивости.

Организовать электропитание ППМ можно несколькими способами: используя полностью централизованную, полностью децентрализованную конфигурации либо схему с частичной децентрализацией энергоснабжения [4, 5].

На рис. 1 показана полностью централизованная система электропитания АФАР.

В централизованной системе один мощный ИП получает энергию от входной электросети через фильтр

радиопомех (Ф) и преобразовывает ее для энергоснабжения всего полотна АФАР (на рисунке условно показаны только три группы ППМ: А1–А6, Б1–Б6 и В1–В6). Конструктивная реализация такой системы приводит к заметным потерям напряжения на соединительных цепях, связанным с передачей токов большой величины по выходу, а также с удаленностью потребителей от ИП, что отрицательно сказывается на показателях стабильности напряжения питания ППМ и обуславливает необходимость использования цепей питания большого сечения. Качество напряжения питания ППМ можно повысить, используя дополнительные стабилизаторы напряжения без гальванической развязки (POL-преобразователи), но еще одно преобразование влечет за собой снижение КПД системы и повышение тепловыделения от нее и усложняет систему ее охлаждения. Надежность подобной конфигурации также не высока, поскольку зависит от надежности одного мощного источника, питающего всех потребителей.

На рис. 2 изображен децентрализованный вариант системы электропитания АФАР, в котором количество отдельных ИП определяется числом каналов ППМ. Питание каждого приемопередатчика в такой системе реализовано от собственного относительно маломощного ИП, который, в свою очередь, питается непосред-

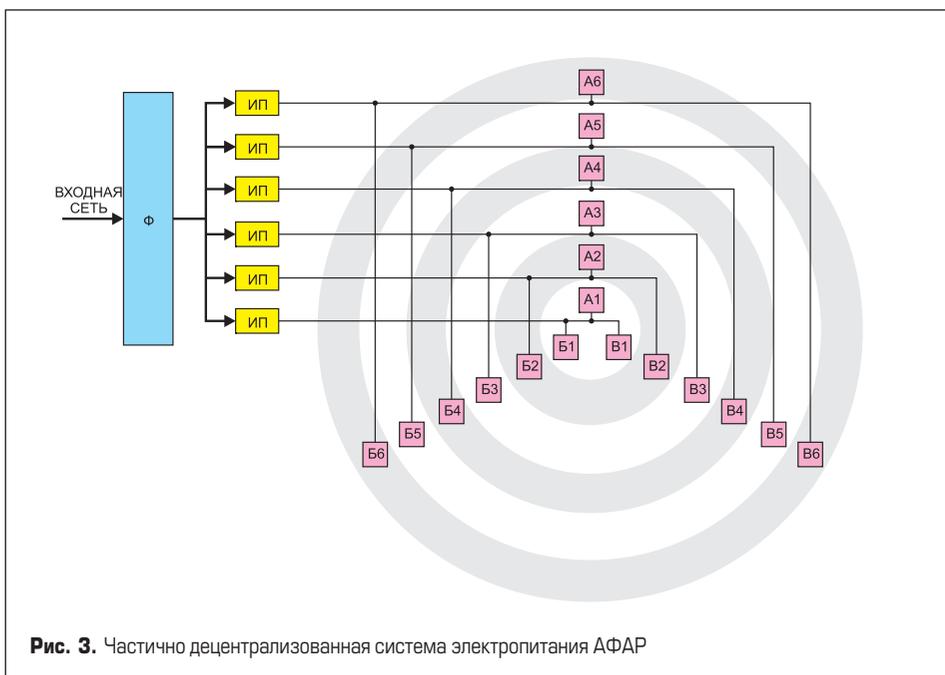
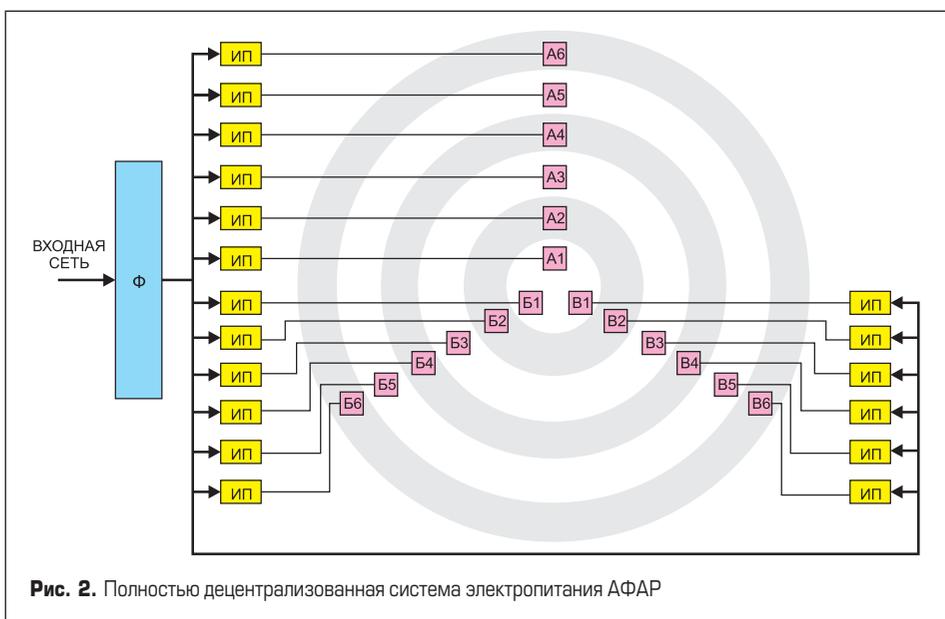
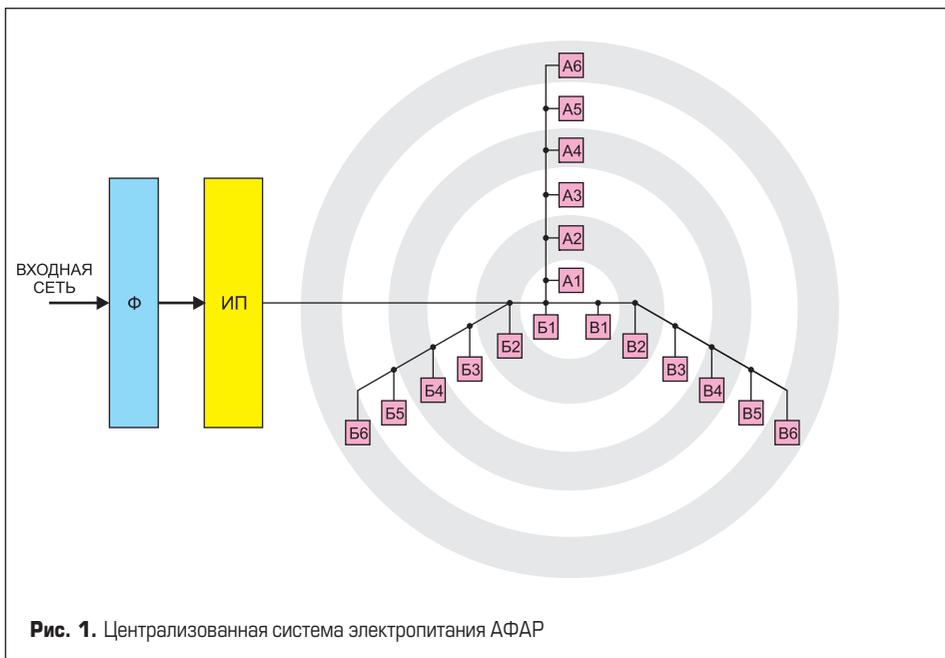
ственно от бортсети, генератора или другого источника входного напряжения. В этом случае ИП могут быть размещены на близком расстоянии от своих потребителей, что минимизирует динамические нестабильности напряжения. Децентрализация энергоснабжения ППМ АФАР обеспечивает наибольшую надежность системы в целом. При аварии неисправная ячейка вместе со своим ИП может быть автоматически отключена от входной сети, что не повлияет на работоспособность других потребителей и не выведет из строя всю систему. За счет этого аппаратура АФАР приобретает максимальную отказоустойчивость. Кроме того, систему электропитания, построенную из относительно маломощных преобразователей напряжения, можно выполнить более тонкой (низкопрофильной) по сравнению с ИП в централизованной конфигурации, что положительно отразится на качестве теплоотвода и на компоновке системы электропитания в конструкции АФАР. Недостатком данной системы является повышенная стоимость.

Во многих случаях компромиссным и оптимальным вариантом с точек зрения надежности, стоимости реализации и массогабаритных показателей является частичная децентрализация системы электропитания АФАР (рис. 3), когда потребители электропитания группируются таким образом, чтобы выход из строя группы ППМ или прекращение ее электропитания не приводило бы к отказу всего полотна АФАР. В рассматриваемом примере при выходе из строя даже всех каналов ППМ в пределах одного кольца (например, А1–В1 или А2–В2 и т. д.) антенна останется работоспособной, лишь несколько потеряв в чувствительности.

**Требования к помехозащите ИП АФАР**

Для приемопередающей аппаратуры АФАР очень критично качество напряжения ее питания как в режиме приема, так и в режиме передачи. В режиме приема радиоприемный тракт ППМ оперирует отраженными сигналами величиной в единицы микровольт, и на линейном участке усиления любые пульсации, шумы и нестабильности по питанию приводят к амплитудной модуляции принимаемого сигнала. Подобным же образом в режиме передачи пульсации и нестабильность напряжения питания могут создать паразитную амплитудную модуляцию мощности сигнала передатчика и неидентичность амплитудных и фазовых характеристик излучаемых радиопульсов.

Для снижения помех от ИП разработчики системы энергоснабжения ППМ АФАР могут использовать несколько приемов. В первую очередь, конечно, необходимо применять преобразователи напряжения с низким уровнем собственных помех. Здесь следует еще раз отметить преимущество децентрализованной или частично децентрализованной конфигурации системы электропитания АФАР, поскольку относительно маломощные преобразователи напряжения, как правило, имеют меньший уровень радиопомех по сравнению с мощным ИП, требующимся для централизованной системы. Распространению эфирных



радиопомех препятствуют экранированием преобразователей напряжения и их входных и выходных кабелей, а кондуктивные радиопомехи блокируют установкой пассивных или активных помехоподавляющих фильтров.

Для питания особо чувствительных к помехам узлов ППМ разработчики часто дополнительно применяют линейные стабилизаторы категорий Low Noise и Ultra Low Noise, а в некоторых системах электропитания и вообще отключают импульсный ИП от аппаратуры ППМ на время приема или передачи, питая ее от накопительных конденсаторов.

Также при выборе преобразователей напряжения следует обращать внимание на как

можно более высокую частоту преобразования. Во-первых, в этом случае помехоподавляющие фильтры будут компактнее, поскольку высокая частота преобразования позволяет использовать меньшие значения индуктивности дросселей и емкости конденсаторов фильтра, чтобы получить необходимое подавление пульсаций и помех, а во-вторых, кондуктивные и эфирные коммутационные радиопомехи импульсных преобразователей не будут попадать в область доплеровского сдвига частоты, доходящего для современных сверх- и гиперзвуковых видов вооружения до 500 кГц. По этой же причине во многих приложениях предпочтительны преобразова-

тели напряжения с фиксированной, а не с плавающей частотой преобразования.

Дополнительное преимущество имеют ИП с возможностью внешней синхронизации частоты преобразования. В этом случае разработчик АФАР может использовать единственный задающий генератор на всю систему и засинхронизировать на его кратных частотах все коммутационные и тактовые процессы в аппаратуре АФАР, включая частоту преобразования ИП и тактовые частоты цифровой части ППМ. При таком подходе гармоники всех помех аппаратуры ППМ будут находиться на известных фиксированных частотах и могут быть отфильтрованы при цифровой обработке принимаемого сигнала. Появление биений различных частот преобразования отдельных ИП при этом также исключено.

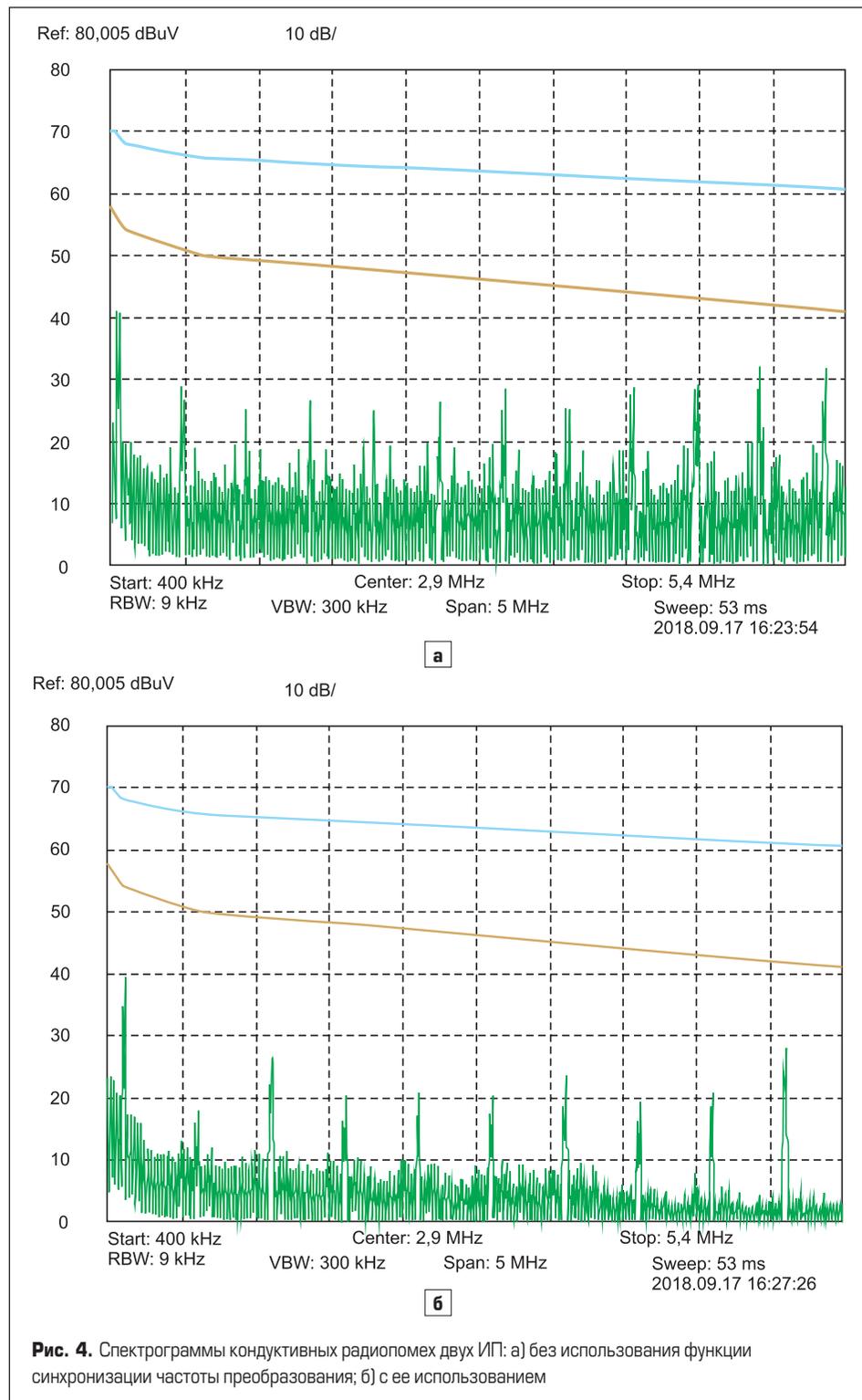
Для наглядности на рис. 4 показаны спектрограммы кондуктивных радиопомех двух ИП без использования функции синхронизации частоты преобразования и с задействованием этой функции.

В рассмотренном примере два ИП с собственными частотами преобразования около 440 кГц были запитаны от одной входной сети и подключены каждый к своей нагрузке. Вследствие того, что их частоты преобразования несколько не совпадают, пики радиопомех в суммарном спектре, изображенном на рис. 4а, расположены также со сдвигом, что приводит к большему зашумлению в рассматриваемом диапазоне. Кроме того, спектр радиопомех подвержен тепловому дрейфу, связанному с уходом частоты преобразования ИП с прогревом. Во втором случае (рис. 4б) оба ИП были засинхронизированы от внешнего тактового генератора на частоте 500 кГц. В результате пики радиопомех оказались зафиксированы в строго определенных местах, что позволяет избавиться от их влияния на принимаемый сигнал в процессе цифровой обработки. В случае необходимости, например при изменении режима работы радиолокатора, частота преобразования ИП может быть оперативно изменена, чтобы снизить уровень вносимых радиопомех в особо важном диапазоне частот.

*Продолжение следует*

## Литература

1. Кириенко В. П. Регулируемые преобразователи систем импульсного электропитания. ЧГУ им. И. Н. Ульянова, 2008.
2. Туркичева С. В. Разработка и конструирование четырехканального приемопередающего модуля активной фазированной антенной решетки. ПАО «Радиофизика», 2016.
3. Папилов К. Комплексный подход в создании измерительных комплексов для применения в радиолокации // Вектор высоких технологий. 2016. № 7.
4. Кушнерев Н. А., Шумов М. А. Система электропитания активных фазированных антенных решеток // Радиотехника. 2007. № 12.
5. Лукин А. В. Распределенные системы электропитания // Электронные компоненты. 1997. № 7.



**Рис. 4.** Спектрограммы кондуктивных радиопомех двух ИП: а) без использования функции синхронизации частоты преобразования; б) с ее использованием