

Варианты реализации передающих систем для РЛС по технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации.

В.А. Усачев, Н.А. Голов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5. nkgolov@gmail.com

Рассмотрены варианты реализации передающих устройств для СКИ РЛС, в том числе на основе твердотельной элементной базы, и определены основные тенденции ее развития. Рассмотрены экономические аспекты применения различных вариантов элементной базы передающих систем в радиолокаторах с ФАР и АФАР.

The variants of implementation of the transmission devices for short-pulse radar, including based on solid-state elements was reviewed, and the main trends of its development was determined. The economic aspects of the application of different variants of the element base transmission systems in phased array radar and AESA radar was considered.

Одним из путей повышения информативности радиолокационных систем является применение сверхкоротких импульсных (СКИ) сигналов, длительностью 10-20 нс. Развитие данной технологии длительное время сдерживалось отсутствием элементной базы с требуемыми параметрами [1]. Специфической особенностью СКИ РЛС является тот фактор, что энергетический потенциал, при использовании сигналов с однозначной дальностью, определяется импульсной мощностью передатчика. В связи с этим необходимо с одной стороны обеспечить достаточно высокий уровень импульсной мощности (1-10 кВт), а с другой, данную задачу необходимо решать с учетом ряда других, порой противоречащих требований – минимизации массогабаритных параметров и стоимости производства и эксплуатации РЛС. Эти обстоятельства обуславливают необходимость разработки и внедрения современной элементной базы, в первую очередь в выходных каскадах передатчиков, что позволит обеспечить реализацию данных требований.

В настоящее время, для большинства многофункциональных РЛС широко применяются антенные системы с электронным управлением лучом, которые позволяют реализовать электронное управления формой диаграммы направленности, большую скорость обзора пространства, дают возможность создания гибких алгоритмов обзора пространства, а так же обеспечивают снижение массогабаритных характеристик по сравнению с системами с механическим сканированием [2]. Такие антенные системы могут быть реализованы в виде пассивных фазированных антенных решеток (ФАР) или активных фазированных антенных решеток (АФАР). Принципиальное отличие данных систем состоит в реализации выходных каскадов передатчиков – если в системах с ФАР передатчик реализован, как правило, на одном мощном вакуумном приборе, то в АФАР обычно используется набор менее мощных полупроводниковых приемопередающих модулей (ППМ), с последующим сложением излучаемой мощности в пространстве.

РЛС с активными фазированными антенными решетками имеют ряд общеизвестных преимуществ, по сравнению с РЛС с ФАР, в частности обеспечивают энергетический выигрыш до 5-7 дБ и более высокую надежность за счет применения набора ППМ вместо сосредоточенного передатчика [3]; при этом такие системы имеют более высокую изначальную стоимость. Для определения целесообразности выбора варианта построения РЛС на основе ФАР или АФАР необходимо рассмотреть в комплексе как возможности по достижению требуемых технических характеристик (достижимые уровни излучаемой мощности и возможности по управлению диаграммой

направленности и др.), так и экономические показатели - стоимость производства системы и ее жизненного цикла.

Проиллюстрируем данный подход на примере РЛС с СКИ зондирующими сигналами. Для РЛС данного типа важным фактором является необходимость реализации широкой полосы всех систем и устройств (250-300МГц). Такая рабочая полоса может быть достигнута как на основе твердотельных, так и вакуумных приборов. Остановимся в первую очередь на передающей системе РЛС на основе ФАР с излучаемой мощностью от единиц до десятков киловатт в X-диапазоне. Стоимость вакуумного прибора, позволяющего обеспечить такие характеристики, составляет величину порядка 20000\$, а стоимость систем высоковольтного питания и охлаждения до 50000\$, откуда следует, что полная стоимость всей передающей системы на основе мощного вакуумного прибора достигает 70000\$. При этом срок службы, гарантированный заводом-изготовителем составляет порядка 3000 часов. Таким образом, для постоянно эксплуатируемых РЛС, требуется замена дорогостоящего прибора приблизительно каждые полгода (рис. 1), что помимо стоимости самого прибора требует наличия квалифицированного персонала.

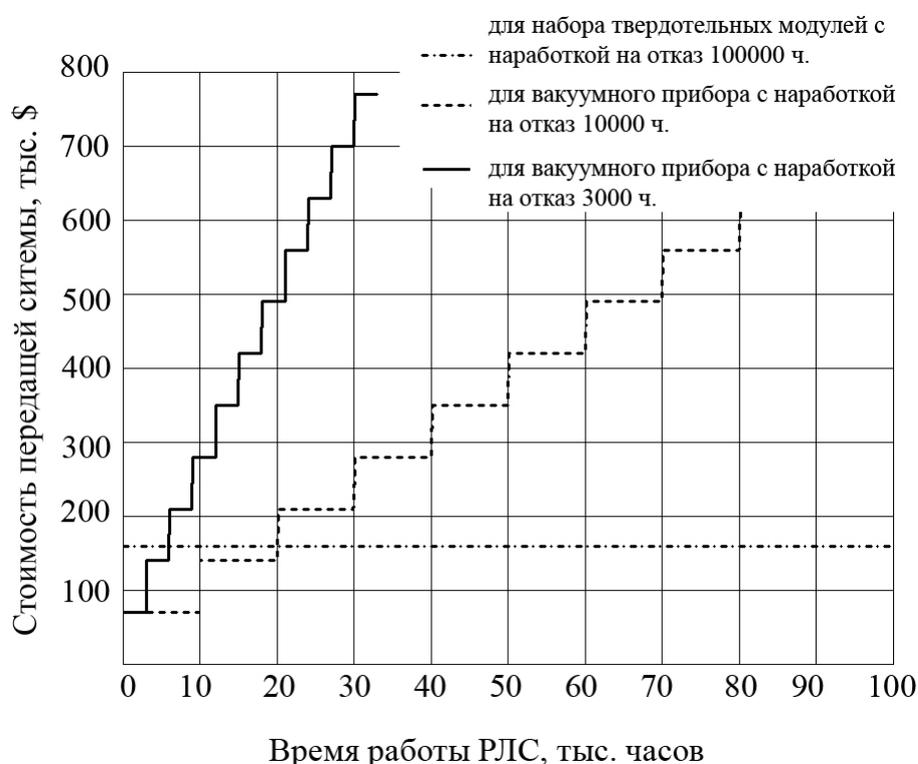


Рис. 1. Сопоставление стоимости комплекта передающих устройств, при использовании различных вариантов элементной базы

Стоимость твердотельного ППМ для АФАР с импульсной мощностью 12 Вт в настоящее время составляет сумму порядка 2000\$. Для достижения излучаемой мощности 1 кВт, достигаемой одним мощным прибором, необходимо применение порядка 80 твердотельных модулей, т.е. стоимость комплекта модулей составит около 160000\$. При изначально более высокой цене систем с АФАР, стоимость жизненного цикла может быть значительно ниже за счет большей продолжительности работы твердотельных ППМ, у которых достигнутые значения наработки на отказ составляют свыше 100000 часов. Кроме того, выход даже нескольких (до 10%) модулей из строя не

окажет критического влияния на дальность действия системы. Существует и возможность оперативной замены ППМ при отказах, что облегчается за счет отсутствия высоких рабочих напряжений. Для достижения большего энергетического потенциала необходимо пропорционально увеличивать количество ППМ, что резко повышает базовую стоимость РЛС. Совокупность данных факторов делает целесообразным применение твердотельных АФАР в РЛС с длительным жизненным циклом и импульсной мощностью не превышающими единиц кВт.

Возможности применения твердотельных ППМ в мобильных и бортовых РЛС ограничиваются их достаточно низким приборным КПД, ведущим к избыточному тепловыделению и, как следствие, необходимости создания сложных и дорогостоящих систем охлаждения. В настоящее время мощные активные приборы СВЧ диапазона реализуются на основе арсенида галлия, и для них уже фактически достигнуты предельные характеристики. Для ППМ на основе арсенид-галлиевых транзисторов практическим пределом выходной мощности можно считать 10-20 Вт в сантиметровом диапазоне при КПД 15-20%, следовательно, для достижения больших значений мощности необходимо применение приборов на иных материалах.

Наиболее активно развивающейся в настоящий момент является технология приборов на основе нитрида галлия, которая находится на этапе начала серийного производства. Рядом западных компаний анонсированы транзисторы, имеющие выходную мощность от 50 до 100 Вт в X-диапазоне [6] - [8]. Так же сообщается о создании монолитных интегральных схем на основе GaN [6]. В работе [9] заявлено о разработке усилителей на основе GaN НЕМТ - транзисторов с весьма привлекательными характеристиками - 100 Вт выходной мощности в X-диапазоне и 340 Вт в С-диапазоне, при КПД превышающем 50%. Можно полагать, что применение усилителей мощности на основе GaN позволит в 3-5 раз повысить достижимую выходную мощность активных приборов для твердотельных приемопередающих модулей и повысить надежность за счет возможности работы при более высоких температурах. Основным направлением работ при разработке твердотельных приемопередающих модулей в первую очередь должно являться повышение приборного КПД модуля, как за счет схемотехнических решений, так и за счет совершенствования технологии приборов.

Таким образом, для РЛС с импульсной мощностью 0.5-1.5кВт при использовании сверхширокополосных сигналов с однозначной дальностью, для которых требуется полоса 300-500 МГц в сантиметровом диапазоне, антенная и передающая системы могут быть реализованы на основе твердотельной АФАР. С учетом отношения времени наработки на отказ элементов передающей системы и стоимости жизненного цикла РЛС к достигаемому энергетическому потенциалу можно считать данный вариант реализации передающей системы такой РЛС технически и экономически наиболее целесообразным.

Литература

1. Тенденции и пути внедрения технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации. Скосырев В.Н. Слукин Г.П., Ильин Е.М. // Вестник московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, спец. выпуск «Радиолокация, спутниковая навигация и связь, радиоастрономия» с. 40-48.
2. Электронное управление лучом в бортовых радиолокационных комплексах. Синани А.И. // Сборник докладов симпозиума «Электронное управление лучом в бортовых радиолокационных комплексах». (4-6 октября 2000 г.) Рязань, с. 8-14.
3. Активные фазированные антенные решетки: / Под ред. Д. И. Воскресенского и А. И. Канащенкова. - М.: Радиотехника, 2004. 488 с: ил.

4. Технические пути повышения энергетического потенциала радиолокаторов. Скосырев В.Н., Усачев В.А. // Вестник московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, спец. выпуск «Антенны и устройства радио – и оптического диапазона» с. 78-83
5. Генераторы и усилители СВЧ / Под ред. Лебедева И.В. М.: Радиотехника, 2005. 352с.
6. www.triquint.com
7. www.toshiba.com
8. www.cree.com
9. Shigematsu, H.; Inoue, Y.; Akasegawa, A.; Yamada, M.; Masuda, S.; Kamada, Y.; Yamada, A.; Kanamura, M.; Ohki, T.; Makiyama, K.; Okamoto, N.; Imanishi, K.; Kikkawa, T.; Joshin, K.; Hara, N. Microwave Symposium Digest, 2009. MTT apos;09. IEEE MTT-S International Volume , Issue , 7-12 June 2009 Page(s):1265 – 1268.