

Исследование влияния нагрева на характеристики антенной решетки с электронным сканированием

В.В. Демшевский, А.Д. Баженов, С.С. Сидоренко

АО НПП «Исток «им. Шокина», г. Фрязино

Аннотация: Оценка тепловых режимов работы радиоэлектронной аппаратуры крайне важна для обеспечения заявленных характеристик и требований надежности. В работе показаны результаты проведения связанных электро- и термодинамических расчетов характеристик линейной антенной решетки с электронным сканированием при подаче сигнала различной мощности на ее каналы.

Ключевые слова: Антенная решетка, термодинамический расчет, коэффициент усиления, электронное сканирование.

1. Введение

Известно, что свойства материалов с увеличением температуры изменяются. В радиоэлектронной аппаратуре это как правило приводит к увеличению потерь при передаче полезного сигнала в устройствах. Оценка тепловых режимов работы радиоэлектронной аппаратуры крайне важна для обеспечения заявленных характеристик и требований надежности.

Антенные решетки (АР) являются одними из наиболее эффективных форм антенн, которая используется во многих радиотехнических системах различного назначения и обусловлены высокими тактико-техническими (ТТХ) требованиями к созданию новых систем локации, навигации и связи.

АР в активных системах должны не просто излучать мощность в определенном направлении, но и максимально концентрировать ее в заданной части пространства, а также обеспечивать КУ, который определяется ТТХ изделия. Однако, каждая антенна и АР имеют свою эффективность излучения, которая в конечном счете определяется КПД, что явно отражается в КУ и ряде других характеристик. Важно то, что при прохождении полезного сигнала через элементы АР, из-за сопротивления проводников, взаимного сопротивления излучателей, потерь в диэлектриках, потерь при прохождении сигнала через СВЧ-соединители, часть энергии преобразуется в тепло, что приводит к нагреву отдельных излучателей и АР в целом. Повышение температуры антенны может приводить к искажениям полезного сигнала, искажениям в амплитудно-фазовом распределении (АФР) и как следствие к ухудшению ТТХ всей системы.

Цель представленной работы – провести оценку влияния нагрева печатной АР на ее характеристики электронного сканирования в секторе углов из-за электромагнитных потерь в диэлектрической подложке при подаче сигналов различной мощности на ее каналы. Для этого были разработаны электродинамические и термодинамические модели АР X-диапазона и проведена серия связанных расчетов. На вход каждого канала в АР подавался сигнал мощностью: 1 Вт, 5 Вт, 10 Вт, 50 Вт и 100 Вт.

Несмотря на высокую актуальность задачи, проблема влияния высоких температур на характеристики активных АР, а также проблемы теплоотвода и в научно-технической литературе рассмотрены недостаточно широко. В основном встречаются такие работы как [1] «Экспериментальные и численные исследования передающей антенны для беспроводной передачи энергии СВЧ с системой

принудительного воздушного охлаждения» в которой рассмотрена задача охлаждения АР при помощи системы кулеров. В работе определено, что шаг ребер теплоотвода (радиатора) является основным фактором, влияющим на максимальную температуру отдельных элементов АР и стандартное отклонение температуры, в то время как высота ребер является основным фактором, влияющим на среднюю температуру.

В работе [2] «Влияние температуры и скорости воздушного потока на параметры резонаторной антенны» результаты моделирования показывают, что с увеличением температуры нагрева излучающей апертуры согласование антенны изменяется и смещается в область длинноволнового участка спектра, а в ДН увеличивается уровень боковых лепестков.

В работе [4] «Зависимость характеристик активной фазированной антенной решетки от наработки» приведены результаты испытаний 17-элементной активной решетки с воздушным охлаждением. Потребляемая от источника мощность постоянного тока в каждом канале составляет 9 Вт. В отсутствие принудительного охлаждения центральные элементы решетки имеют температуру примерно 100 С°, крайние 60 С°. При включенном принудительном обдуве эти температуры составляют 40 С° и 20 С° соответственно. Повышенная температура в центральной части апертуры приводит к более высокой интенсивности отказов расположенных. Это, в свою очередь, приводит к более высокому росту бокового излучения.

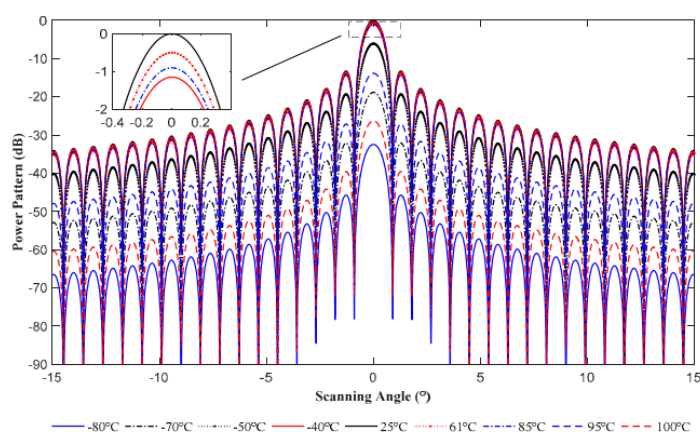


Рисунок 1. Изменение КУ АР от изменения температуры окружающей среды

В работе [4] «Влияние температуры на электромагнитные характеристики активной фазированной антенной решетки» изучались электромагнитные характеристики АР под влиянием равномерно распределенного температурного поля основе различных форм и размеров антенн, чтобы обеспечить теоретические рекомендации по их тепловому проектированию.

2. Модель АР и алгоритм расчета

В ходе работы были проведены связанные электро- и термодинамические расчеты линейных печатных АР Х-диапазона с электронным сканированием, имеющие разное количество элементов. Материал диэлектрической подложки – Ro3006. Количество элементов в АР: 8 и 16. Диапазон углов электронного сканирования 0°÷50°. Размер единичного элемента АР 17.5x17.5 мм.

Решение задачи проходило в 3 этапа. Вначале, осуществлялся термодинамический расчет, при котором были получены данные о нагреве АР в зависимости от подаваемой мощности на отдельные каналы, которые затем были импортированы в электродинамическую задачу.

На втором этапе при решении электродинамической задачи учитывались

возросшие ЭМ потери в АР в следствии нагрева и проведена первичная оценка электродинамических характеристик, таких как КУ, УБЛ, углы электронного сканирования. Основное внимание на этом этапе уделялось КСВн на входе каждого элемента в АР.

Третьим этапом было импортирование полученных результатов в термодинамическую задачу для проведения оценки дополнительного разогрева АР в следствии учета ЭМ потерь.

Расчеты проводились в нестационарном режиме в заданном временном промежутке в несколько итераций.

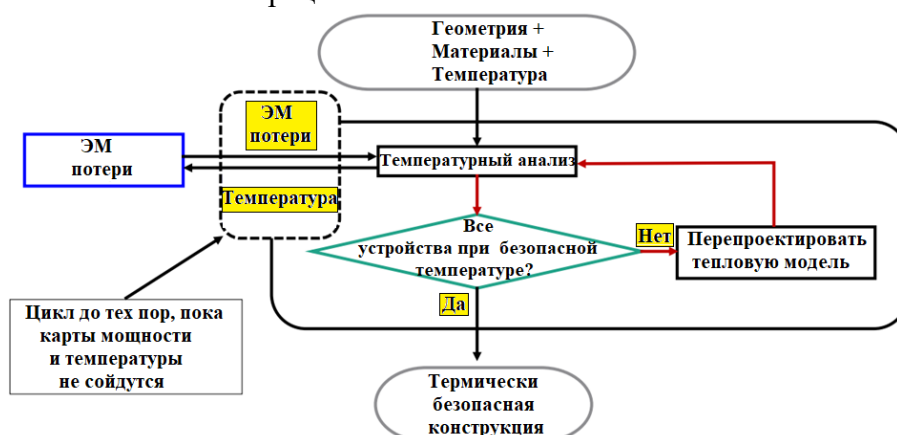


Рисунок 2. Алгоритм выполнения связанного термо- и электродинамического расчета характеристик электронного сканирования печатной АР

3. Характеристики АР

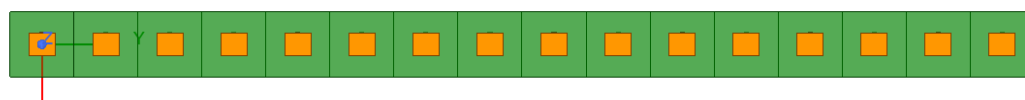
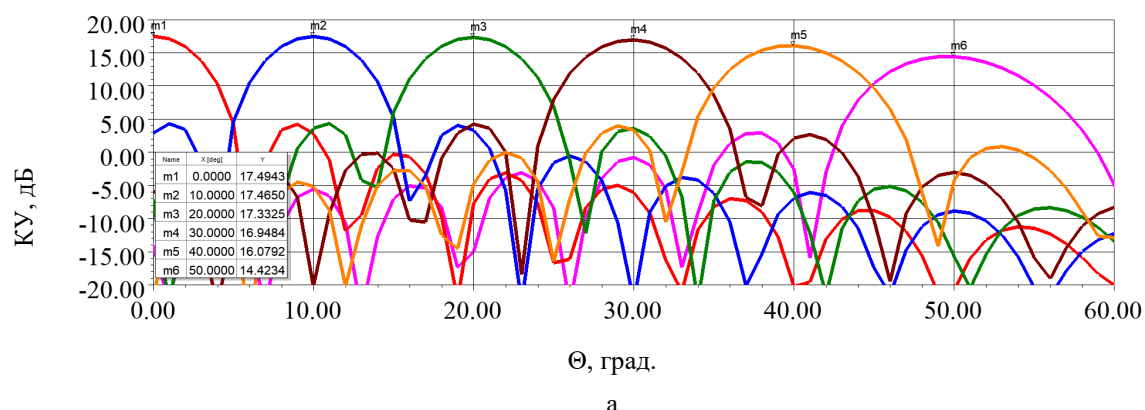


Рисунок 3. Внешний вид 16-ти элементной печатной АР



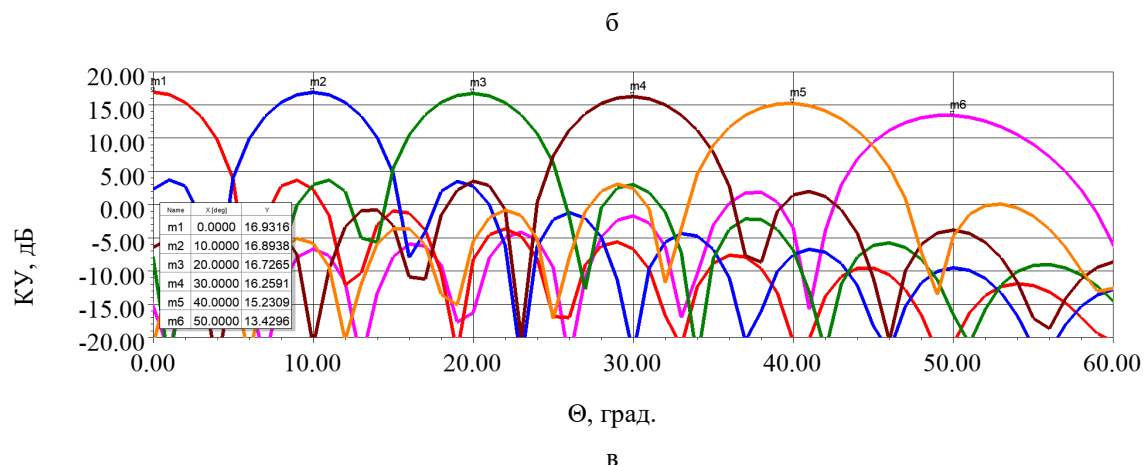
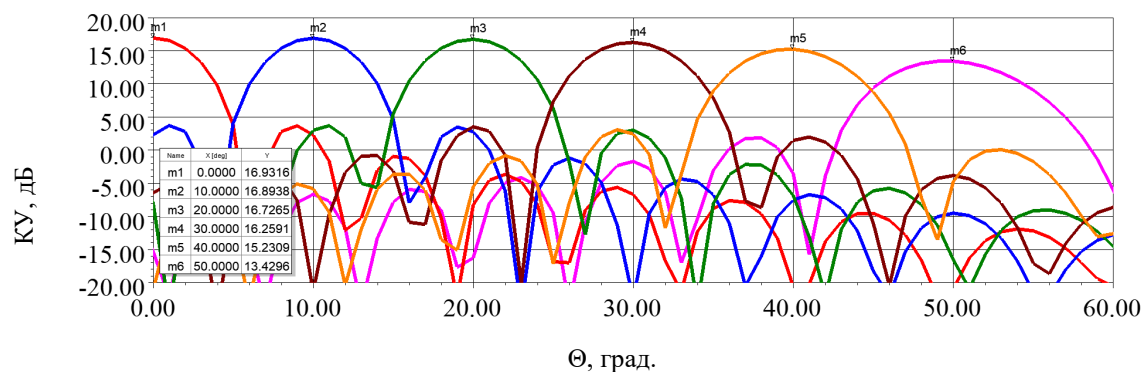


Рисунок 4. ДН 16-ти элементной АР при электронном отклонении луча в зависимости от подаваемой мощности на канал: а - 1 Вт/канал, б - 10 Вт/канал, в - 100 Вт/канал

Таблица 1 - Значения КУ при электронном отклонении луча для линейной печатной АР и 16-ти

Р, Вт	элементов					
	КУ, 0°	КУ, 10°	КУ, 20°	КУ, 30°	КУ, 40°	КУ, 50°
КУ в зависимости от подаваемой мощности						
1 Вт	17.49	17.46	17.33	16.94	16.07	14.42
5 Вт	17.16	17.12	16.96	16.51	15.52	13.76
10 Вт	16.93	16.89	16.72	16.25	15.23	13.42
50 Вт	15.81	15.76	15.52	14.91	13.65	11.68
100 Вт	14.8	14.73	14.46	13.77	12.43	10.39
Относительная разница между КУ АР с подаваемой мощностью 1 Вт/канал и КУ АР с подаваемой мощностью 5, 10, 50, 100 Вт/канал соответственно						
Δ5	0.33	0.34	0.37	0.43	0.55	0.66
Δ10	0.56	0.57	0.61	0.69	0.84	1
Δ50	1.68	1.7	1.81	2.03	2.42	2.74
Δ100	2.69	2.73	2.87	3.17	3.64	4.03

4. Заключение

Проведенное исследование показало, что при увеличении подаваемой мощности на отдельные каналы АР, КУ может существенно снижаться, как в прямом

направлении, так и при электронном отклонении луча. Причем снижение КУ при увеличении угла электронного отклонения луча носит непропорциональный характер. В частности это связано с увеличением электромагнитных потерь в диэлектрической подложке за счет роста температуры внутри печатной АР при увеличении подаваемой мощности.

Список литературы

1. Qian, Sihao & Ge. Experimental and numerical investigations of the transmitting antenna in microwave wireless power transmission with forced air cooling // Case Studies in Thermal Engineering – 2022 – 33. 101933.10.
2. Бухарин В.А. Влияние температуры и скорости воздушного потока на параметры резонаторной антенны // Физика и технические приложения волновых процессов – 2012 – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та 2012 – С. 96-97.
3. Cai, Sen & Han. Thermal Design of Tile Type Active Phased Array Radar Antenna // Journal of Physics – 2024 – 2785. 012075.10.1088.
4. Wang, Yan & Wang. Effect of Temperature on Electromagnetic Performance .of Active Phased Array Antenna // Electronics – 2020 – 9.1211. 10.3390