

УДК 621.396
МРНТИ 47.45.29РАЗРАБОТКА КОММУТАЦИОННОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ АКТИВНОЙ
ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИА.И. САМСОНЕНКО¹, А.З. АЙТМАГАМБЕТОВ², Б.А. КОЖАХМЕТОВА²,
А.Е. КУЛАКАЕВА², А. ЖАКСЫЛЫК²¹Институт космической техники и технологии²Международный университет информационных технологий

Аннотация: В данной статье рассмотрены наиболее актуальные на сегодняшний день антенны - фазированные антенные решетки (ФАР), которые конструктивно состоят из системы большого числа отдельных излучателей, соединенных с помощью фидерной линии с фазовращателями. Фазовращатель – это один из основных узлов в ФАР, формирующий необходимый фазовый сдвиг. Дальнейшее развитие ФАР привело к созданию активных фазированных антенных решеток (АФАР), где к каждому излучателю антенной решетки (АР) или к их группе подключается усилитель мощности, генератор или преобразователь частоты. Преимущества АФАР: высокий уровень излучаемой мощности, высокая надежность, работа в широкой рабочей полосе частот, основные недостатки – сложность построения и высокая стоимость антенной системы. Существует два основных вида фазовращателей: аналоговые и дискретные. В работе рассматривается процесс разработки коммутационного фазовращателя для макета четырехэлементной антенны активной ФАР. Коммутационные фазовращатели относятся к фазовращателям дискретного типа. Управление лучом антенны сводится к простейшим операциям включения или выключения линий задержки. К основным достоинствам данного типа коммутаторов можно отнести высокий коэффициент полезного действия (КПД), высокую надежность, простоту конструкции, стабильность характеристик. В цепи каждого излучателя макета антенны содержится по 2 коммутатора. В работе выбран коммутатор маркировкой HMC241AQS16, который переключается на 4 направления. Коммутационный модуль выполнен по технологии полосковых линий. Топология коммутационного модуля выполнена в программе трассировки печатных плат «*Sprint-Layout*». Данная программа позволяет проектировать печатные платы малой и средней сложности, а также является простой в использовании.

Ключевые слова: фазовращатель, активная фазированная антенная решетка, коммутационный модуль, диаграмма направленности, дискретный фазовращатель

DEVELOPMENT OF A SWITCHING PHASE SWITCHING
ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY

Abstract: In this article, the most relevant to date antennas are considered - phased antenna arrays (PAA), which constructively consist of a system of a large number of individual emitters connected via a feeder line to phase shifters. The phase shifter is one of the main nodes in the PAA, forming the necessary phase shift. Further development of the PAA led to the creation of active phased antenna arrays (A PAA), where a power amplifier, generator or frequency converter is connected to each antenna array antenna (AA) or to their group. The advantages of A PAA: high level of radiated power, high reliability, work in a wide operating frequency band, the main disadvantages are the construction complexity and high cost of the antenna system. There are two main types of phase shifters: analog and discrete. The paper discusses the process of developing a switching phase shifter for the layout of a four-element active phased array antenna. Switching phase shifters are discrete type phase shifters. Antenna beam control is reduced to the simplest operations of switching on or off delay lines. The main advantages of this type of switch are high efficiency, high reliability, simplicity of design, and stability of characteristics. In the circuit of each radiator antenna layout contains 2 switches. A switch with the HMC241AQS16 marking was selected in operation, which switches to 4 directions. The switching

module is made using stripline technology. The topology of the switching module is made in the «Sprint-Lay-Out» circuit tracing program. This program allows you to design printed circuit boards of small and medium complexity, and is also easy to use.

Keywords: phase shifter, active phased antenna array, switching module, radiation pattern, discrete phase shifter

БЕЛСЕНДІ ФАЗАЛАНҒАН АНТЕННА ТОРЛАРЫНЫҢ КОММУТАЦИЯЛЫҚ ФАЗА АЙНАЛДЫРҒЫШЫН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа: Бұл мақалада бүгінгі күнгі ең өзекті антенналар – фазалық түрлендіргішпен фидерлі желінің көмегімен қосылған жеке сәулелендіргіштердің үлкен санынан тұратын фазалық антенна торлары (ФАТ) қарастырылған. Фаза айналдырғыш-қажетті фазалық ығысуды қалыптастыратын ФАТ негізгі түйіндерінің бірі. ФАТтың одан әрі дамуы белсенді фазаланған антенна торларының (БФАТ) құрылуына әкелді, мұнда антенна торының (АТ) әрбір сәуле шығарушысына немесе олардың тобына қуат күшейткіші, жиілік генераторы немесе түрлендіргіш қосылады. БФАТ артықшылықтары: сәулеленетін қуаттың жоғары деңгейі, жоғары сенімділік, кең жұмыс жолағында жұмыс істеу, негізгі кемшіліктер-құру күрделілігі және антенналық жүйенің жоғары құны. Фаза айналғыштардың екі негізгі түрі бар: аналогты және дискретті. Жұмыс барысында белсенді фазалардың төрт элементті антеннасының макеті үшін коммутациялық фаза айналғышты әзірлеу процесі қарастырылады. Коммутациялық фаза айналғыштары дискретті типті фаза айналғыштарға жатады. Антенна сәулесін басқару кідіріс желілерін қосу немесе өшірудің қарапайым операцияларынан тұрады. Коммутаторлардың осы түрінің негізгі артықшылықтарына пайдалы әрекеттің жоғары коэффициентін, жоғары сенімділік, конструкцияның қарапайымдылығы, сипаттамалардың тұрақтылығын жатқызуға болады. Әрбір сәулелендіру тізбегінде антенна макеті 2 коммутатордан тұрады. Жұмыста НМС241АQS16 таңбалы коммутатор таңдалды, ол 4 бағытқа ауысады. Коммутациялық модуль жолақты желілер технологиясы бойынша орындалған. Коммутациялық модуль топологиясы «Sprint-LayOut» баспа платаларын трассалау бағдарламасында орындалған. Бұл бағдарлама күрделілігі аз және орташа баспа платаларын жобалауға мүмкіндік береді, сондай-ақ пайдалану оңай болып табылады.

Түйінді сөздер: фаза айналдырғыш, белсенді фазалы антенналық тор, коммутациялық модуль, бағытталу диаграммасы, дискретті фаза айналдырғыш

В настоящее время фазированные антенные решетки (ФАР) занимают особое место среди антенн других типов. Раньше подобные антенны применялись в основном в системах радиолокации, пеленгации из-за их способности электронного формирования диаграммы направленности (ДН) и без инерционного сопровождения подвижных объектов. В авиакосмической и военной технике использовалось еще одно полезное свойство ФАР- способность формировать «нули» в ДН, т.е. создавать сектора нечувствительности антенны в тех направлениях, с которых могли прийти помехи.

Выполнение этих задач традиционными антенными комплексами затруднительно, а зачастую и невозможно. С появлением фазированных антенных решеток возможности

радиотехнических систем существенно расширились.

На сегодняшний день ФАР начинают применять в гражданских секторах, например в базовых станциях 5G для персональной раздачи интернета через оперативное направление луча в сторону клиента.

Конструктивно ФАР состоит из решетки антенн излучающих не одновременно, а с задержками во времени (сдвигом фаз), который и вызывает наклон луча. Сдвиг обеспечивается группой фазовращателей под управлением контроллера.

В виду этого управление в ФАР коренным образом отличается от управления антеннами остальных типов.

Известны разновидности ФАР в зависимости от способа обработки сигнала в решет-

ки, от типа излучателей, их расположения и способу возбуждения.

Наибольший интерес представляют активные ФАР (АФАР), в которой к каждому излучателю антенной решетки подключается активный элемент в виде усилителя мощности, генератора или преобразователя частоты.

На рисунке 1 представлена обобщенная структурная схема АФАР.

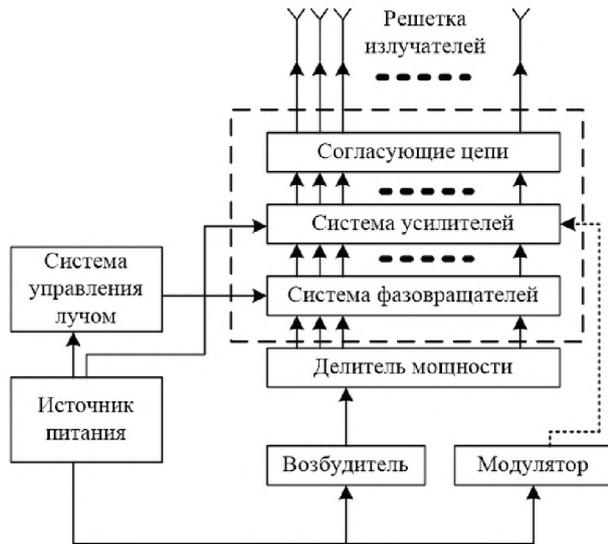


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема АФАР

Активную ФАР любого типа можно разделить на следующие основные узлы [1]:

- Система формирования и управления положением луча антенны, которая и создает необходимое распределение амплитуд и фаз сигнала в излучателях решетки. Эта система содержит набор усилителей мощности, набор фазовращателей, а также набор согласующих цепей;

- Решетка излучателей, которая образует апертуру антенны и состоит из набора одинаковых слабонаправленных излучателей (вибраторных, щелевых, рупорных, волноводных);

- Делитель мощности, обеспечивающая распределение сигнала от одного источника (общего возбудителя) по всем каналам АФАР, характеризуемая рабочей частотой, КПД, выходной мощностью, стабильностью характеристик и др.

Кроме перечисленных выше систем в состав любой АФАР входят системы: электро-

питания, функционального контроля и охлаждения.

Фазовращатель является важной составной частью ФАР. Встречаются фазовращатели аналоговые и дискретные, каждый со своими достоинствами и недостатками.

Аналоговые фазовращатели обладают плавностью задержки фазы, однако требуют температурной стабильности, и стабильности источников питания.

В дискретных фазовращателях также имеются некоторые недостатки: увеличение боковых лепестков ДН, снижение коэффициента направленного действия (КНД). Однако из-за простоты конструкции и управления их часто используют. Схема дискретного фазовращателя [3] приведена на рисунке 2.

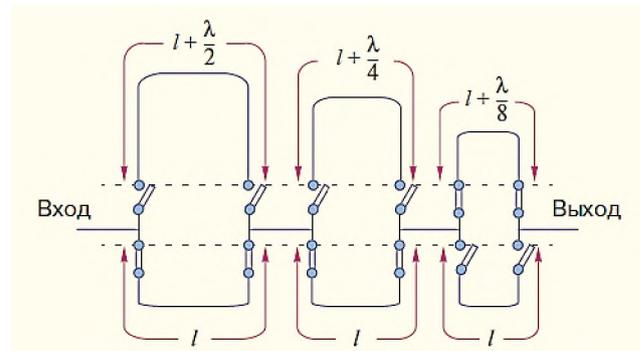


Рис. 2 – Схема дискретного фазовращателя

Вариантом дискретных фазовращателей являются коммутационные фазовращатели. Такие антенны содержат коммутаторы и коммутационные фазовращатели. Управление лучом сводится к операциям коммутации ветвей линий задержки.

Активным элементом дискретного фазовращателя служит полупроводниковый ключ, в основе которого лежит полупроводниковый р-і-п диод или транзистор [2].

В данной статье рассматривается разработка коммутационного модуля антенной системы АФАР. Данный модуль будет использован как часть будущего макета АФАР, предназначенный для учебных и научных целей.

Выбранный коммутационный фазовращатель выполнен на базе полупроводниковых ріп-диодов, маркировкой НМС241АQS16

SP4T. Схема коммутатора приведена на рисунке 3.

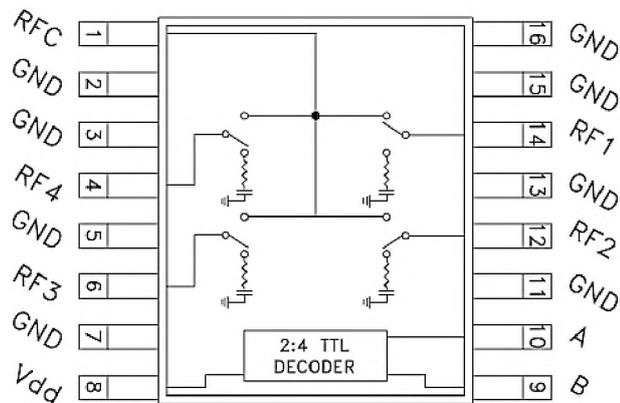


Рис. 3 – Схема коммутатора HMC241AQS16

Определены основные технические характеристики коммутатора:

- Рабочий диапазон частот – 0.3-3.5 ГГц;
- Малые потери: менее 0,7 дБ на частоте 2ГГц;
- Затухание: 0 – 18 дБ, ступенчато по 6 дБ;
- Широкий диапазон напряжений питания от +5В;
- Быстрое время переключения 29 нс;
- Параллельное управление – TTL уровни, 2-бита.

Количество выводов в коммутаторе 16 и переключается на 4 направления. В Таблице 1 указана конфигурация выводов коммутатора HMC241AQS16.

Алгоритм управления коммутации входа с выходом приведен в таблице 2. Рабочее напряжение включения соответствует TTL уровню 5 вольт.

Таблица 2 – Переключение выводов микросхемы HMC241AQS16

Управляющий вход		Сигнал переключения
A	B	RFCOM к
0	0	RF1
1	0	RF2
0	1	RF3
1	1	RF4

На рисунке 4 приведена схема формирование фронта волны антенны. Общая конструкции антенны состоит из четырех излучателей. В цепи каждого излучателя содержится по 2 коммутатора, которые формируют необходимый фазовый сдвиг. Коммутаторы могут переключаются на 4 направления, из которых используются - 3, что позволяет сформировать 3 дискретных направления луча антенны. Блок управления подает команды каждому коммутатору по шине для включения его в одно из трех состояний, и формируют требуемое распределение фаз на излучателях.

Диапазон частот работы антенны – 800 ÷ 900 МГц, с рабочей длиной волны– 0,33 метра, выбран из расчета наблюдения за базовыми станциями LTE и GSM, как за готовыми радиоисточниками.

Коммутационный модуль выполнен по полосковой технологии на материале стеклотекстолит FR-4 толщиной 0.8мм.

Длина волны в стеклотекстолите составит:

$$\lambda_{\text{текст}} = \frac{\lambda_{\text{в}}}{\sqrt{\epsilon_{\text{текст}}}} = \frac{0.33}{\sqrt{5}} = 0.15 \text{ м}$$

Длина линии $\lambda/4$ будет равна:

Таблица 1 – Конфигурация выводов коммутатора

№ вывода	Наименование	Функция
1,4,6,12,14	RF4, RF3, RF2,RF1, RFC	ВЧ вх/вых
2,3,5,7,11,13,15,16	GND	Заземление
8	Vdd	Питание
9	B	Управляющий вход
10	A	Управляющий вход

$$d = \frac{\lambda_{\text{текс}}}{\sqrt{\epsilon_{\text{текс}}}} = \frac{0.15}{4} = 0,0375 \text{ м}$$

Исходные данные для проектирования антенны приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные

Длина волны для 900 МГц диапазон (λ)	33 см
Длина волны для 900 МГц в стеклотекстолит (λ)	15 см
Диэлектрическая проницаемость стеклотекстолита ($\epsilon\epsilon$)	4.3 – 5.7

Опираясь на выше показанные расчеты, определяется длина пути линии d . Каждый коммутатор пропускает сигнал по одной из трех линий задержки в соответствии с командой на шине. Средняя линия имеет одинаковую длину во всех коммутаторах, все сигналы придут к сумматору с одинаковой фазой, и луч не отклоняется. Ее принимаем как исходную.

Тогда другие линии будут соответствовать длинам:

$$\begin{aligned} & l + 3.75 \text{ см}, l + 3.75 \text{ см}, l + 2 * 3.75 \text{ см}, \\ & l + 2 * 3.75 \text{ см}, l + 3 * 3.75 \text{ см}, \\ & l + 3 * 3.75 \text{ см}. \end{aligned}$$

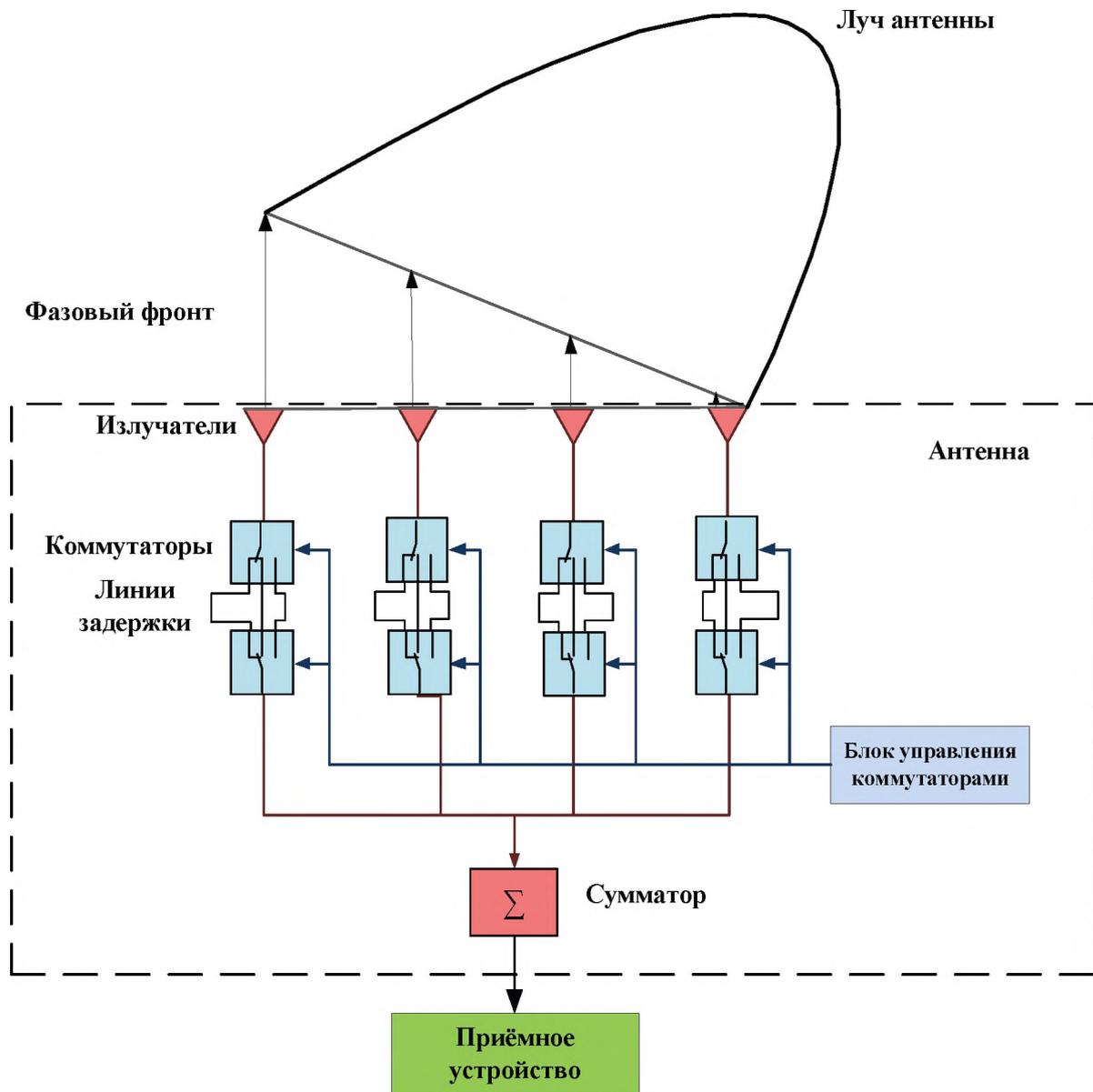


Рис. 4 – Структурная схема антенны

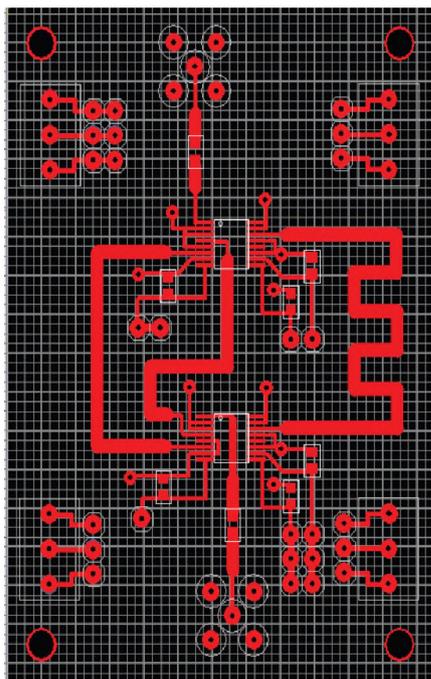


Рис. 5 – Трассировка печатной платы

Размер двухсторонней печатной платы – 50мм x 70мм, ширина микрополосковых линий – 1.5мм для соблюдения волнового сопротивления – 50 Ом. В местах пайки микросхемы ширина проводников сужается до 0.4мм, диаметр отверстий металлизации – 0.8мм

Трассировка модуля печатной платы (ПП) выполнена в программе «Sprint-LayOut», скриншот программы представлен на рисунке 5.

Трассировка ПП проведена в двух слоях. Общий вид разработанной платы в верхнем и нижнем слое изображен на рисунке 6.

В данной статье был рассмотрен вопрос построения лабораторного макета активной фазированной антенной решётки, а именно коммутационного модуля. Макет антенны АФАР разрабатывается с целью изучения его основных параметров и характеристик и будет использован для учебных и научных целей.

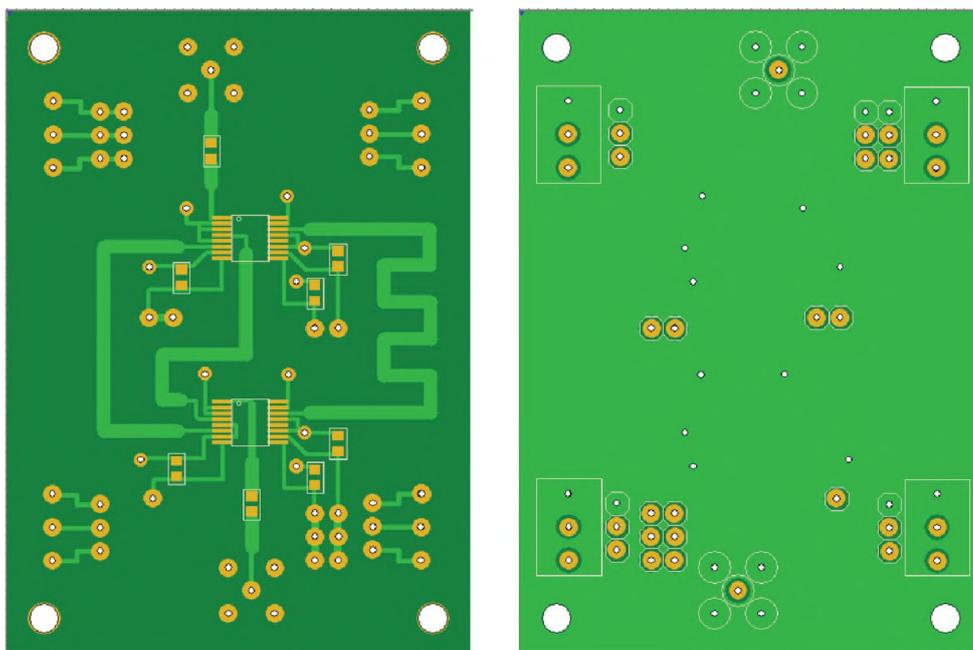


Рис. 6 – Топология верхнего и нижнего слоя платы

ЛИТЕРАТУРА

1. Активные фазированные антенные решетки/ Под ред. Д.И. Воскресенского и А.П. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
2. Проектирование фазированных антенных решеток. / Под ред. Д.И.Воскресенского. М.: Радиотехника, 2012.
3. Вендик О.Г. Фазированная антенная решетка-глаза радиотехнической системы, Соросовский образовательный журнал, №2, 1997. – С.115-120.