МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

Факультет И «Информационные и управляющие системы»

Кафедра И4 «Радиоэлектронные системы управления»

Дисциплина (модуль) «Устройства приёма и преобразования сигналов»

КУРСОВАЯ РАБОТА

«Суммирование мощностей в СВЧ диапазоне»

Выполнила студент группы И443

Замятина Е.В.

Научный руководитель

Тарасов А.И.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2017г.

Содержание

1. [Способы суммирования мощностей 3](#_Toc495327241)

[2. Суммирование мощностей сигналов с помощью многополюсной схемы 5](#_Toc495327242)

[3. Суммирование мощностей сигналов с помощью ФАР 9](#_Toc495327243)

[Литература 12](#_Toc495327244)

1. Суммирование мощностей в СВЧ диапазоне.

Сущность проблемы. Требуемая мощность радиопередатчиков современных радиотехнических систем в некоторых случаях на 3-5 порядков превышает максимальную мощность, генерируемую электронными приборами. Этот разрыв между мощностью радиопередатчика и мощностью единичного генератора стал особенно ощутим при переходе от электровакуумных приборов к полупроводниковым. Мощность электровакуумных приборов в непрерывном режиме работы достигает десятков киловатт, в импульсном - мегаватт. Максимальная мощность полупроводниковых приборов значительно ниже. Причем их мощность ограничена даже не причинами технологического, а физического характера: максимально допустимым значением напряженности электрического поля для исключения пробоя р-n-перехода и максимально возможной температурой полупроводниковой структуры. Более того, с увеличением частоты сигнала мощность транзистора снижается по закону, близкому к 1/f 2, и составляет всего несколько ватт при частоте сигнала 5…6 ГГц. Вместе с тем требуемая мощность СВЧ радиопередатчиков в непрерывном режиме работы достигает нескольких киловатт. Но даже и в СВЧ радиопередатчиках мощностью в несколько десятков ватт мощность полупроводникового прибора во многих случаях оказывается меньше в несколько раз.

Итак, в связи с практически повсеместным переходом от ламповых к полупроводниковым радиопередатчикам проблема суммирования мощностей сигналов генераторов приобрела важное значение. Три основных способа суммирования мощностей сигналов однотипных генераторов:

– с помощью многополюсных схем-сумматоров; – со сложением сигналов в пространстве с помощью фазированной антенной решетки;

– в общем резонаторе.

При первом способе к специальному многополюсному устройству подключается большое число однотипных генераторов, мощность сигналов которых поступает в общий выходной канал, связанный с нагрузкой (рис.1, а).

При втором способе сложение мощностей сигналов происходит в пространстве с помощью фазированной антенной решетки (ФАР), состоящей из большого числа определенным образом ориентированных излучателей, каждый из которых возбуждается от самостоятельного генератора (рис.1, б). Все сигналы, подводимые к излучателям, идентичны, за исключением значений начальных фаз, связанных между собой определенным законом. При этом возникает задача по стабилизации и управлению фронтом фаз сигналов одинаковой структуры.

При третьем способе сигналы генераторов подводятся к общей колебательной системе, в котором и происходит их сложение (рис.1, в). 

Рис.1. Способы суммирования мощностей.

Практически первый способ позволяет увеличить мощность радиопередатчика по отношению к мощности одного полупроводникового прибора на 15…20 дБ; второй - на 30…40 дБ; третий - на 10…13 дБ. Все способы позволяют существенно повысить надежность радиопередатчика, поскольку отказ одного из генераторов приводит только к некоторому снижению суммарной выходной мощности, и устойчивость работы усилительного тракта, так как сумматоры улучшают развязку между отдельными каскадами. Кроме того, при суммировании мощностей сигналов улучшаются условия охлаждения мощных полупроводниковых приборов, рассредоточиваемых на большой поверхности.

1. Суммирование мощностей сигналов с помощью многополюсной схемы.

Многополюсный сумматор должен иметь N входов для подключения N однотипных генераторов, один общий выход для подключения нагрузки и К входов для подключения балластных нагрузок. Рассмотрим эти нагрузки как составную, обязательную часть сумматора и поэтому определим последний как многополюсник с (n+1) входами (рис.2). Будем считать, что ко всем входам присоединяются фидерные линии с одним и тем же волновым сопротивлением, равным стандартному значению 50 Ом.

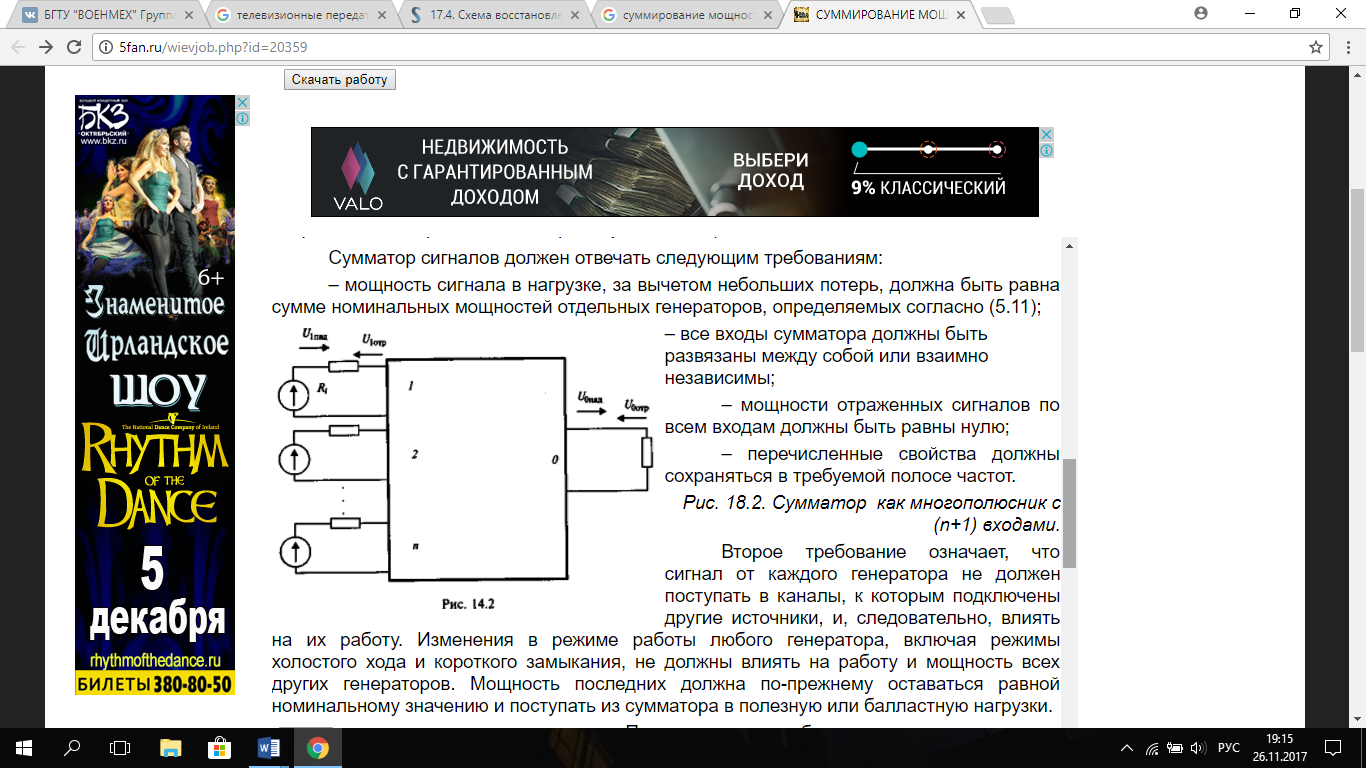
Сумматор сигналов должен отвечать следующим требованиям:

– мощность сигнала в нагрузке, за вычетом небольших потерь, должна быть равна сумме номинальных мощностей отдельных генераторов;

– все входы сумматора должны быть развязаны между собой или взаимно независимы;

– мощности отраженных сигналов по всем входам должны быть равны нулю;

– перечисленные свойства должны сохраняться в требуемой полосе частот.

   
Рис.2. Сумматор как многополюсник с (n+1) входами.

Второе требование означает, что сигнал от каждого генератора не должен поступать в каналы, к которым подключены другие источники, и, следовательно, влиять на их работу. Изменения в режиме работы любого генератора, включая режимы холостого хода и короткого замыкания, не должны влиять на работу и мощность всех других генераторов. Мощность последних должна по-прежнему оставаться равной номинальному значению и поступать из сумматора в полезную или балластную нагрузки.

Перечисленным требованиям отвечают сумматоры:

– составленные из К ступеней мостовых квадратурных устройств;

– составленные из К ступеней устройств синфазного типа;

– типа «звезда».

Структурная схема сумматора 1-го вида на основе мостовых устройств квадратурного типа по сложению мощностей четырех генераторов приведена на рис.3, а; восьми генераторов - на рис.3, б. Требуемые фазы сигналов на входе сумматора показаны на рис.3, где БН - балластная нагрузка. Из рассмотрения схемы рис.3 следует, что в данном варианте сумматора число складываемых по мощности генераторов N = 2К, где К -число ступеней мостовых устройств, количество которых при переходе от одной ступени к другой удваивается. Требуемый сдвиг сигналов по фазе на входе сумматоров можно получить с помощью фазовращателей дискретного типа.

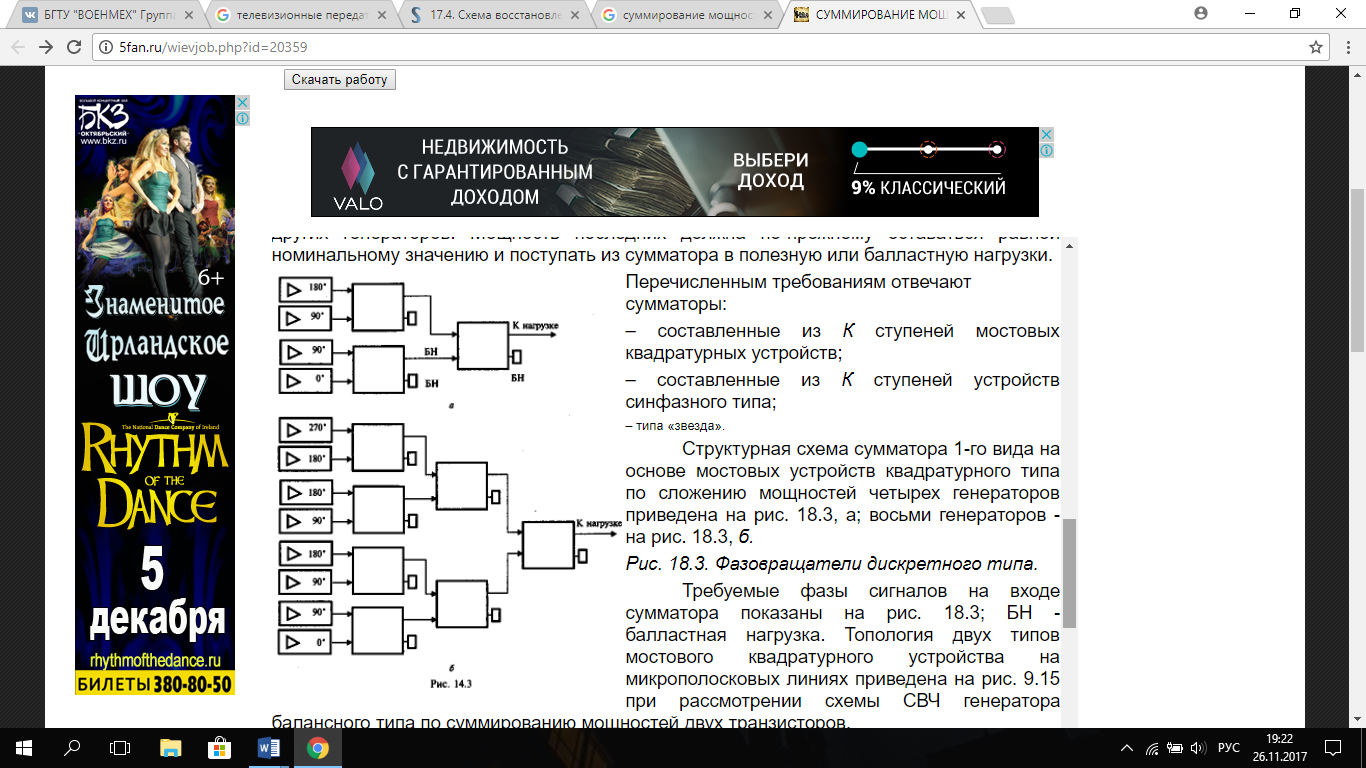


Рис.3. Фазовращатели дискретного типа.

Сумматор 2-го вида строится на базе устройств синфазного типа, в частности шестиполюсника, топология которого приведена на рис.4. Шестиполюсник состоит из двух отрезков линий длиной по 0,25λд и балластного сопротивления величиной 2r. Значения волновых сопротивлений линий показаны также на рис.4.

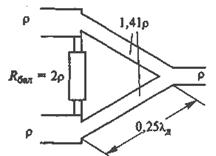


Рис. 4. Топология сумматора на базе устройств синфазного типа.

Структурная схема сумматора 2-го вида на базе шестиполюсников по сложению мощностей четырех генераторов приведена на рис.5. Здесь ко всем входам сумматора сигналы подводятся с одинаковыми фазами.

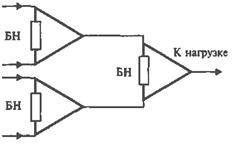


Рис.5. Схема сумматора 2-го вида на базе шестиполюсников.

Структурная схема сумматора 3-го вида, построенного по схеме ʼзвездаʼ, по сложению мощностей четырех генераторов приведена на рис.6. Здесь ко всем входам сумматора сигналы, как и в предыдущем случае, подводятся с равными фазами.

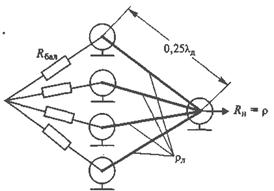


Рис.6. Схема сумматора 3-го вида, построенного по схеме ʼзвездаʼ.

При волновом сопротивлении внешних линий передачи r и сопротивлении нагрузки Rн=r следует иметь: сопротивление балластной нагрузки Rбал=r, волновое сопротивление отрезков линий сумматора длиной по 0,25lд. Следует отметить, что разбаланс амплитуд и фаз суммируемых сигналов в рассмотренных схемах (рис.3,5,6) приводит к ощутимым потерям, поскольку часть мощности от генераторов вместо полезной нагрузки начинает поступать в балластные сопротивления. По этой причине при суммировании сигналов крайне важно с определенной точностью стабилизировать фронт амплитуд и фаз сигналов, в том числе с помощью устройств автоматического регулирования. Особенно ощутимы потери при выходе из строя усилителей. Так, к примеру, в случае суммирования двух усилителей при отказе одного из них происходит уменьшение мощности в полезной нагрузке в четыре раза по сравнению с нормальным режимом работы. Другая часть мощности работоспособного усилителя в 0,5Р1 начинает рассеиваться в балластной нагрузке.

При суммарной мощности сигналов до нескольких десятков ватт сумматоры изготавливаются на базе микрополосковых линий. При большем значении мощности используются двухпроводные и коаксиальные линии, а в сантиметровом диапазоне волн - волноводы. Сумматор является устройством взаимного типа. По этой причине при подаче сигнала на общий вход 0 (рис.2) схема становится делителем мощности сигнала на N каналов.

3. Суммирование мощностей сигналов с помощью ФАР.

Определенное число идентичных и одинаково ориентированных излучателей - электрических и щелевых вибраторов, рупорных, диэлектрических, спиральных и других типов антенн - составляют многоэлементную антенную решетку. Управление диаграммой направленности такой антенной решетки осуществляется изменением фаз сигналов, подводимых к отдельным излучателям, что предопределяет ее название - фазированная антенная решетка (ФАР). Мощность сигнала, излучаемая ФАР в телесном угле главного лепестка диаграммы направленности, равна сумме мощностей всех генераторов, возбуждающих отдельные излучатели, за вычетом излучения по боковым лепесткам. Это позволяет рассматривать ФАР как устройство суммирования мощностей большого, до нескольких тысяч, источников сигнала.

В зависимости от расположения излучателей ФАР подразделяют:

- линейные,

- плоские,

- цилиндрические.

Рассмотрим линейную ФАР, у которой излучатели располагаются вдоль прямой линии (рис.7, а). Ко всем излучателям подводятся сигналы одинаковой структуры, равной амплитуды, но с разными начальными фазами. Пусть разность начальных фаз сигналов между двумя соседними излучателями есть Δϕ (дискрет фазы). При этом к i-му излучателю подводится сигнал, сдвинутый по фазе относительно 1-го на ϕi=iΔϕ (рис.7, б).

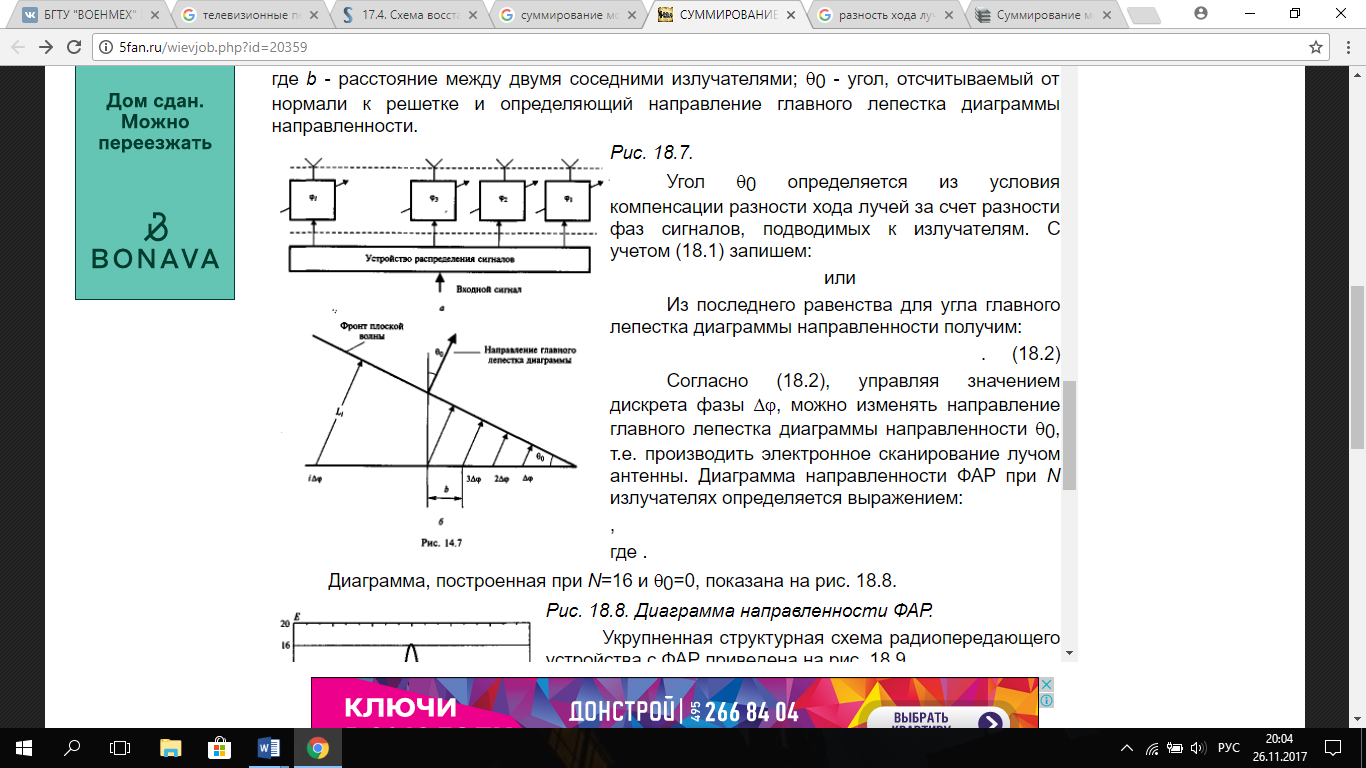


Рис.7. Линейная ФАР.

Где b - расстояние между двумя соседними излучателями; θ0 - угол, отсчитываемый от нормали к решетке и определяющий направление главного лепестка диаграммы направленности. Угол θ0 определяется из условия компенсации разности хода лучей за счет разности фаз сигналов, подводимых к излучателям.

Управляя значением дискрета фазы Δϕ, можно изменять направление главного лепестка диаграммы направленности θ0, т.е. производить электронное сканирование лучом антенны. Диаграмма, построенная при N=16 и θ0=0, показана на рис.8.

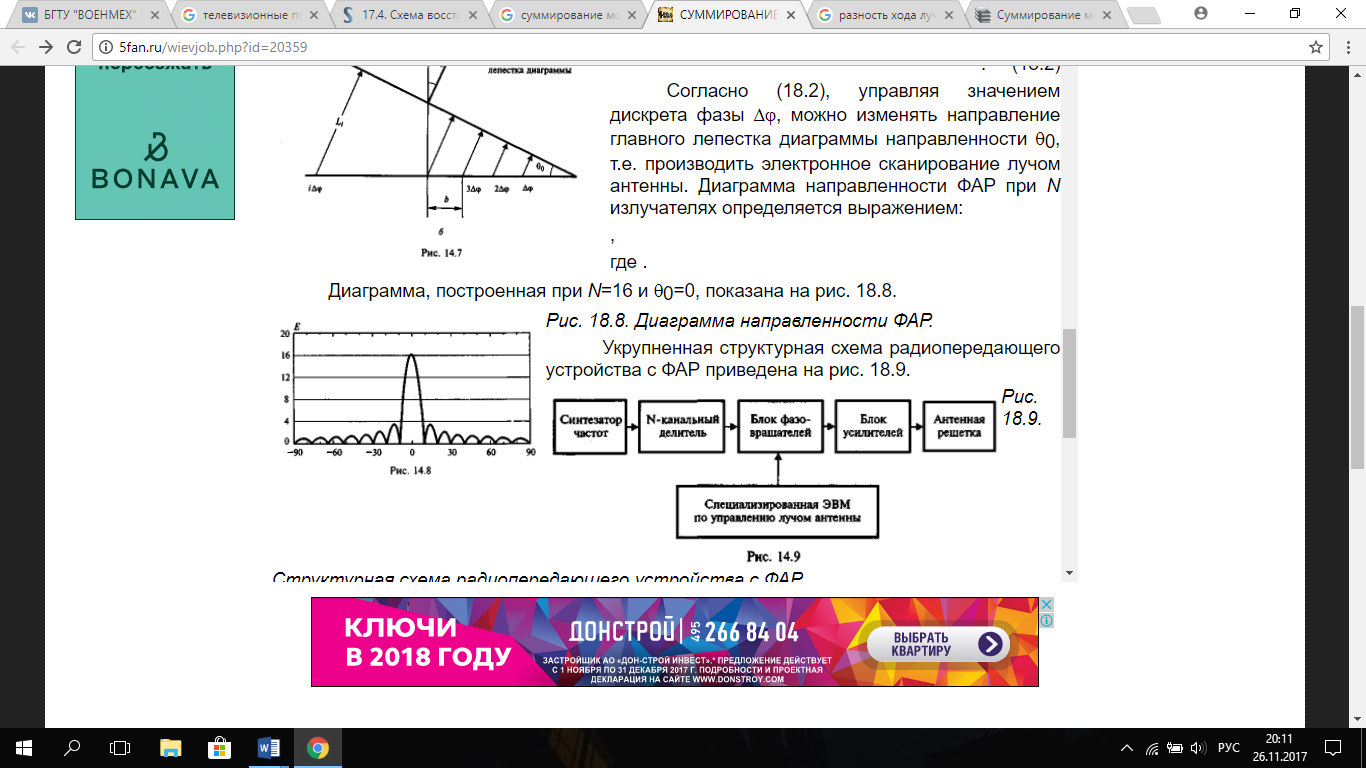


Рис.8. Диаграмма направленности ФАР.

Укрупненная структурная схема радиопередающего устройства с ФАР приведена на рис.9.

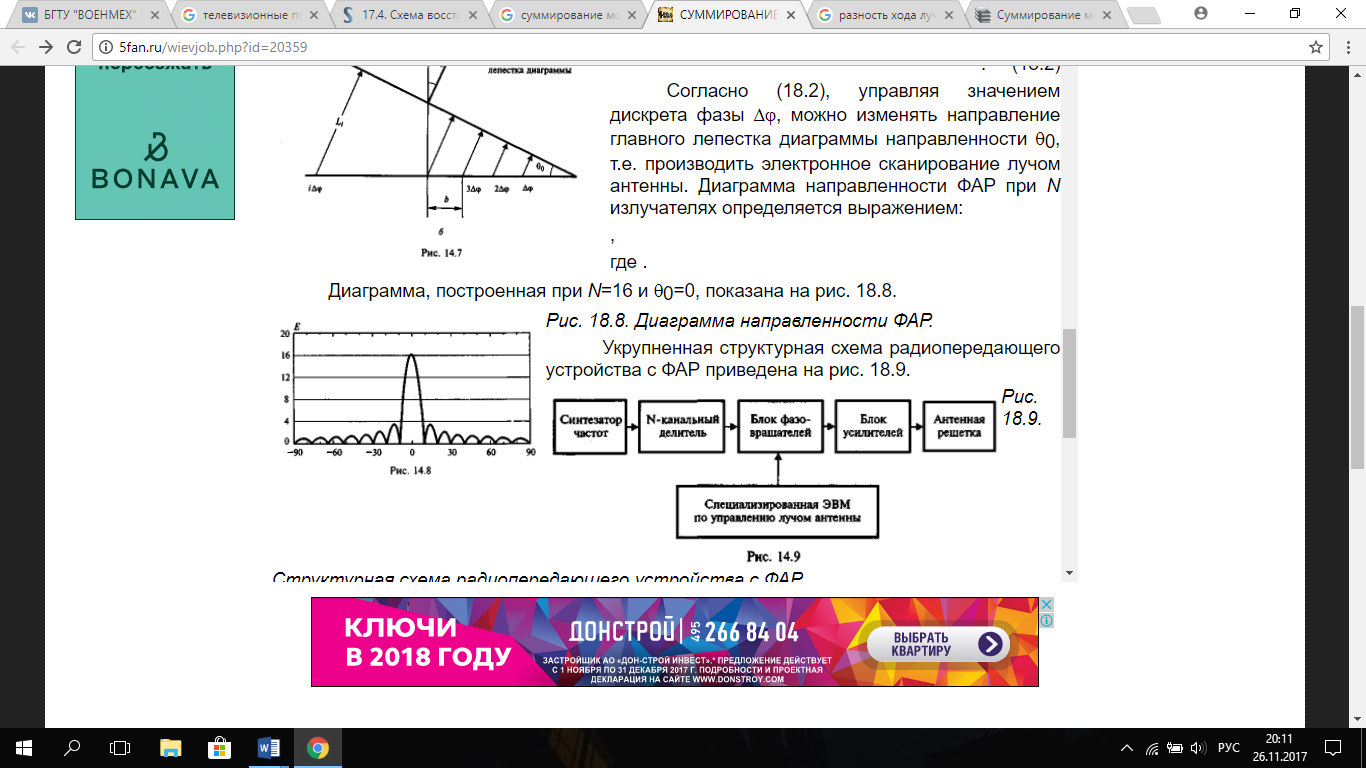
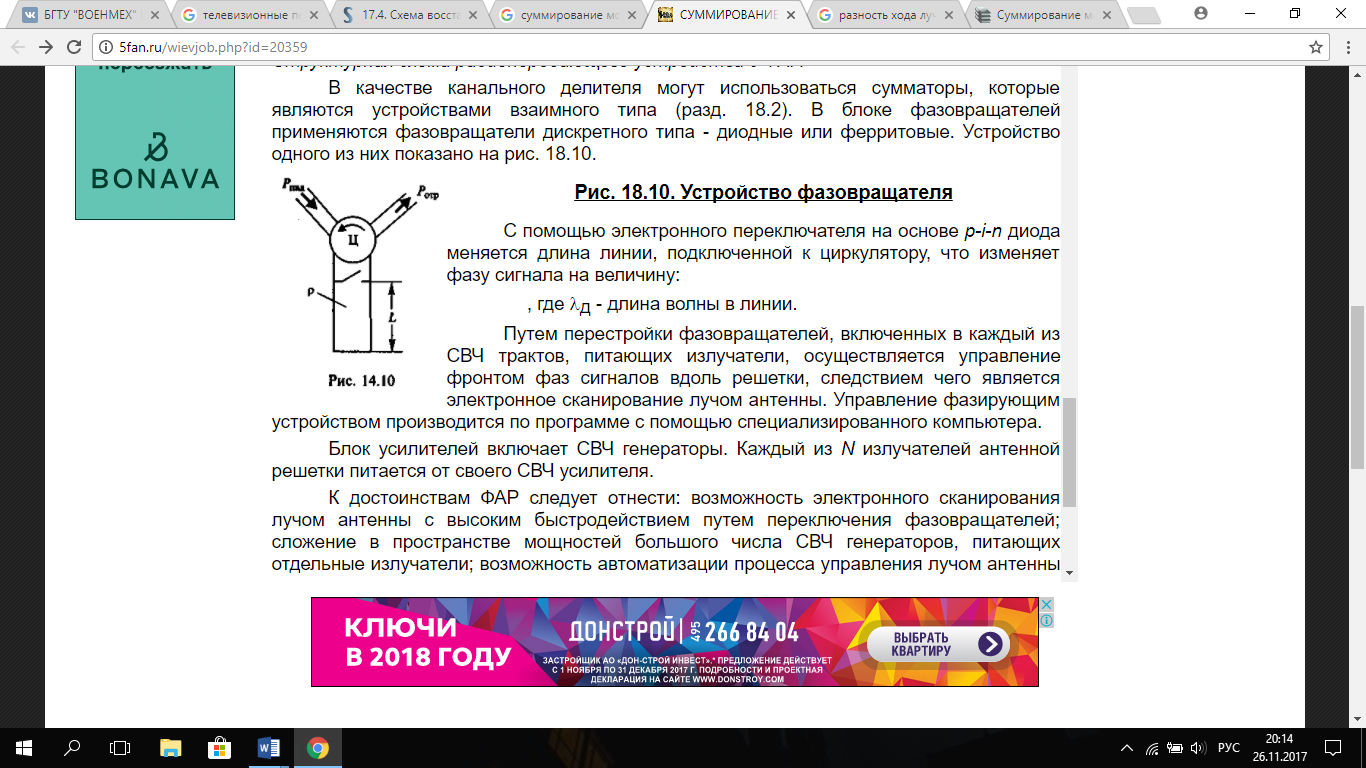


Рис. 18.9. Структурная схема радиопередающего устройства с ФАР.

В качестве канального делителя могут использоваться сумматоры, которые являются устройствами взаимного типа. В блоке фазовращателей применяются фазовращатели дискретного типа - диодные или ферритовые. Устройство одного из них показано на рис.10.

   
Рис.10. Устройство фазовращателя.

С помощью электронного переключателя на основе p-i-n диода меняется длина линии, подключенной к циркулятору, что изменяет фазу сигнала. Путем перестройки фазовращателей, включенных в каждый из СВЧ трактов, питающих излучатели, осуществляется управление фронтом фаз сигналов вдоль решетки, следствием чего является электронное сканирование лучом антенны. Управление фазирующим устройством производится по программе с помощью специализированного компьютера. Блок усилителей включает СВЧ генераторы. Каждый из N излучателей антенной решетки питается от своего СВЧ усилителя.

К достоинствам ФАР следует отнести:

- возможность электронного сканирования лучом антенны с высоким быстродействием путем переключения фазовращателей;

- сложение в пространстве мощностей большого числа СВЧ генераторов, питающих отдельные излучатели;

- возможность автоматизации процесса управления лучом антенны с помощью компьютера;

- высокую надежность при выходе из строя отдельных генераторов;

- слабую связь между отдельными излучателями, что позволяет обеспечить хорошую развязку (30 дБ и выше) между питающими их генераторами.

При плоской ФАР без снижения ее параметров общий сектор обзора составляет ±60°. Для управления лучом в двух ортогональных направлениях применяют двумерную плоскую ФАР. При необходимости расширения сектора обзора до 360° используют цилиндрическую ФАР, в которой производится поочередное подключение групп излучателей.

## 4. Литература

1. Егоров Ю., Иванов И., Артамонов В., Юсупов У. Устройство сложения мощностей генераторов на магнетронах.

2. Лебедев И. Балансный усилитель СВЧ.

3. Бецкий О., Гутцайт Э. Балансный регенеративный усилитель СВЧ // Радиотехника и электроника.