

**Федеральная служба России по гидрометеорологии и
мониторингу окружающей среды**

А.А. ЕФИМОВ

**МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ АЭРОЛОГИЧЕСКИЙ
РАДИОЛОКАТОР
МАРЛ**

Учебное пособие

Специальности: 210307 – Эксплуатация метеорологических
радиотехнических систем;
230103 – Автоматизированные системы
обработки информации и управления

Москва 2007

Автор: А.А.Ефимов, главный инженер Научно-технического центра радиозондирования ЦАО.

Микроэлектронный аэрологический радиолокатор МАРЛ. Учебное пособие. – М.: 2007.- 43 с.

Редактор: И.С. Сергеев кандидат педагогических наук, доцент

Рецензент: А.А.Иванов кандидат физико-математических наук

Учебное пособие содержит сведения о конструкции, принципах построения и функционирования МАРЛ и его подсистем, относящиеся к локаторам первых выпусков. Техническая информация достаточно иллюстрирована структурными схемами, временными диаграммами, рисунками и фотоматериалами.

Данное учебное пособие рекомендуется специалистам и студентам соответствующего профиля для ознакомления с общими принципами работы МАРЛ.

В издании использованы материалы статей разработчиков первых моделей микроэлектронных аэрологических радиолокаторов.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРОЭЛЕКТРОННОМ АЭРОЛОГИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ МАРЛ	4
1.1. Назначение МАРЛ	4
1.2. Технические данные МАРЛ	4
1.3. Структура сигнала радиозонда и принципы сопровождения радиозонда	5
1.4. Структурная схема МАРЛ	7
1.5. Принципы работы АФАР.....	9
1.5.1 Структурная схема АФАР	9
1.5.2. Управление отклонением диаграммы направленности	11
1.5.3. Принципы углового сопровождения	12
1.5.4. Работа АФАР в режиме передачи запросного импульса.....	14
ГЛАВА 2. СОСТАВ И ОПИСАНИЕ ПОДСИСТЕМ МАРЛ	16
2.1. Антенное полотно АФАР	16
2.2. Приемно-передающий тракт МАРЛ.....	20
2.3. Элементы приемно-передающего тракта МАРЛ	22
2.3.1. Приемно-передающий модуль (ППМ)	22
2.3.2. Блок суммирования и фазирования	24
2.3.3 Манипулятор квадрантного сканирования.....	27
2.3.4 Блок приемника (ПП).....	28
2.3.4.1. СВЧ-тракт блок приемника (ПП).....	28
2.3.4.2 ПЧ-тракт блок приемника (ПП)	30
2.4. Схема управления приводом	32
2.5. Управляющая микро-ЭВМ	35
2.6. ПЭВМ оператора	36
2.7. Система электропитания	38
ГЛАВА 3. Конструкция МАРЛ	40
3.1. Состав МАРЛ	40
3.1.1. Антенный пост	40
3.1.1. Пост оператора	41
3.1.1. Имитатор	41

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОЛОКАТОРЕ МАРЛ

1.1. Назначение радиолокационной станции МАРЛ

Микроэлектронный аэрологический радиолокатор (МАРЛ) предназначен для выполнения совместно с радиозондом комплексного зондирования атмосферы. Выпущенный в свободный полет радиозонд на пролетаемой высоте измеряет температуру и влажность атмосферы. По радиоканалу данные о метеопараметрах в закодированном виде принимаются станцией слежения МАРЛ. Одновременно, на протяжении всего полета радиозонда, станцией МАРЛ производится автоматическое сопровождение зонда по углам и дальности с регистрацией текущих координат. На основе принятых метеоданных и текущих координат вычислительный комплекс МАРЛ рассчитывает метеопараметры на высотах и из всех полученных данных за время полета радиозонда формируется аэрологическую телеграмма КН-04.

С помощью станции МАРЛ осуществляются также предполетная проверка радиозонда с представлением результатов на мониторе ЭВМ оператора.

1.2. Технические данные МАРЛ

Дальность автоматического сопровождения зонда: от 100 м до 200 км; высота комплексного зондирования до 40 км.

В качестве антенны используется активная фазированная антенная решетка (АФАР).

Пределы поворота диаграммы направленности антенны (ДН):

- в горизонтальной плоскости электронное сканирование в секторе 25° и механический поворот АФАР по кругу без ограничения;
- в вертикальной плоскости электронное сканирование в секторе $-10^\circ \div 100^\circ$.

Максимальная скорость механического поворота АФАР 60 град/сек.

Ширина ДН АФАР:

- в горизонтальной плоскости не более 9° ,
- в вертикальной плоскости не более 6° .

Мощность передающей части АФАР в импульсе 115 Вт, длительность импульса 0,5 мкс в ближней зоне и $1 \div 1,1$ мкс в дальней зоне.

Минимальное соотношение сигнал/шум приемной части АФАР (вместе с последующим приемным трактом) 3,7 дБ (2,35 раза).

Среднеквадратические значения ошибок измерения координат зонда:

- дальности не более 30 м;
- по угловым координатам не более $0,1^\circ$.

Абсолютная погрешность измерения телеметрической информации (погрешность измерения периода частотной манипуляции сигнала зонда) не более 1 мкс.

МАРЛ-А обеспечивает сопровождение радиозонда при следующих условиях:

- скорости подъема зонда до 12 м/с;
- скорости падения зонда до 125 м/с.
- скорости горизонтального перемещения зонда у земной поверхности до 35 м/с и на высотах более 10 км – до 150 м/с.

Система индикации и управления радиолокатором осуществляется с помощью персонального компьютера (ПЭВМ). Предусмотрен режим функционального контроля радиолокатора с использованием имитатора радиозонда.

Электропитание МАРЛ-А производится от сети 220В, 50 Гц (потребляемая мощность средняя не более 450 Вт, пиковая - до 600 Вт). Источник аварийного питания – стандартный источник бесперебойного питания мощностью 600 Вт (UPS-600).

1.3. Структура сигнала радиозонда и принципы сопровождения радиозонда

Радиолокатор МАРЛ совместно с радиозондом является измерительной системой, предназначенной для сбора и расчета основных метеопараметров атмосферы.

Зонд излучает импульсно-модулированный сигнал с несущей частотой $1672 \text{ МГц} \leq f_3 \leq 1688 \text{ МГц}$, длительностью импульса равного 0,5 мкс и средней частотой следования импульсов (суперирующая частота) $f_{\text{суп}} \approx 800 \text{ кГц}$. Информация о температуре и влажности атмосферы передается посредством модуляции суперлирующей частоты $f_{\text{суп}}$. Частота $f_{\text{суп}}$ поочередно принимает два значения $f_{\text{суп.1}}$ и $f_{\text{суп.2}}$ (см. рис.1.1). В длительности периода манипуляции частоты $f_{\text{суп}}$ (T) кодируются значения температуры, влажности воздуха и значение опорной частоты, учитывающей состояние измерительного генератора радиозонда. Для разделения модулирующей частоты по принадлежности к параметрам температуры, влажности и опорной величины, используется определенный порядок передачи частоты одного параметра в течение 5 секунд. Один цикл передачи определяется последовательностью Опорная-Температура-Влажность-Температура и равен 20 секунд. Для определения начала цикла передачи параметров импульсы опорной частоты имеют длительность в два раза меньшую, чем импульсы температурной и влажностной частоты. Поэтому после частотной демодуляции $f_{\text{суп.}}$ и преобразования значений T и T_1 в цифровой вид, в ПЭВМ оператора при дешифрации метеочастоты, сначала, анализируется длительность импульса T_1 , далее определяется принадлежность текущей частоты к параметру, а затем подсчитывается длительность периода T и производится расчет температуры и влажности.

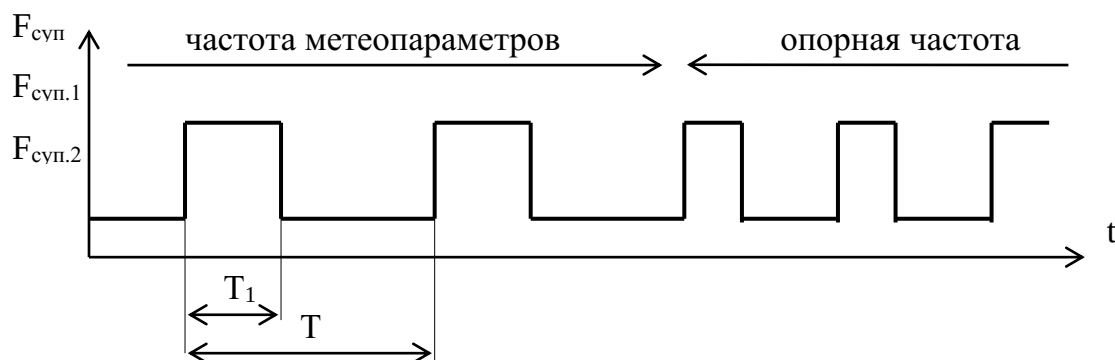


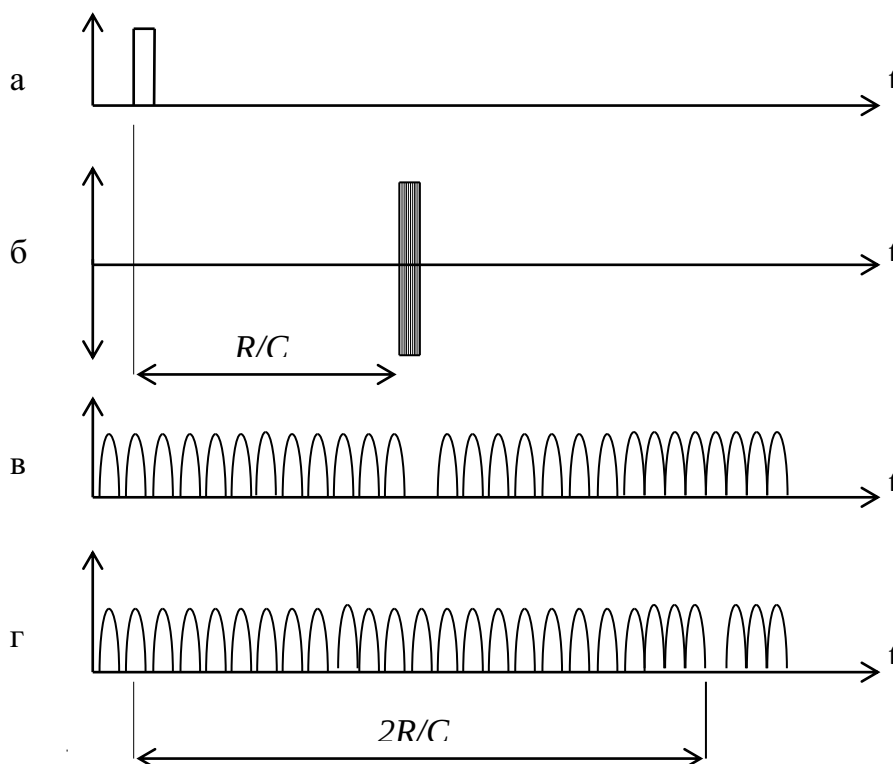
Рис. 1.1. Вид огибающей частотной модуляции суперлирующей частоты зонда.

Для измерения дальности до зонда в состав МАРЛ включен передатчик запросного сигнала (см. рис. 1.2.). Когда запросный импульс достигает зонда, зонд отвечает на запрос срывом одного периода генерации импульсов частоты $f_{\text{суп}} \approx 800$ кГц (около 1.2 мкс), в результате, на фоне генерируемых импульсов возникает пауза (ответная пауза). Определяя задержку этой паузы t_z относительно импульса передатчика МАРЛ, можно рассчитать текущую дальность до зонда:

$$R = C \cdot t_z / 2, \text{ где } C - \text{ скорость распространения радиоволн.}$$

Алгоритмы выделения ответной паузы, ее поиск и сопровождения реализованы в цифровом виде. Для построения системы дальности используется быстродействующий аналого-цифровой преобразователь и ПЭВМ оператора.

В сигнале радиозонда, помимо модулирующих составляющих метео и дальности, присутствует еще одна модулирующая составляющая - ошибка пеленга. Она возникает при сканировании луча диаграммы направленности в режиме автосопровождения по углам, когда радиозонд отклоняется от центра равносигнальной зоны, создаваемой сканированием луча. Составляющая сигнала ошибки пеленга имеет вид амплитудной модуляции с частотой сканирования диаграммы направленности. Она пропадает, когда в процессе слежения по углам после поворота луча диаграммы направленности зонд попадает в пеленг (оказывается в центре равносигнальной зоны).



а – импульс запуска передатчика; б – импульс передатчика на входе зонда;
 в – огибающая сигнала зонда с ответной реакцией на импульс передатчика;
 г – огибающая сигнала зонда на выходе приемника МАРЛ-А;

Рис.1.2. Временные диаграммы напряжений в тракте измерения дальности

1.4. Структурная схема МАРЛ

Радиолокатор МАРЛ работает совместно с радиозондом, выпущенным в свободный полет. В течение всего полета радиозонд непрерывно излучает сигнал, в котором закодированы текущие значения температуры и влажности атмосферы. Другим метеопараметром атмосферы, определяемым при сопровождении радиозонда, является направление и скорость ветра на достигаемых радиозондом высотах. Основное назначение радиолокатора МАРЛ заключается в приеме и обработке всей текущей метеоинформации радиозондировании атмосферы. При этом радиолокатор МАРЛ выполняет следующие функции:

- автосопровождение радиозонда по угловым координатам и получение значений угловых координат;
- прием и обработка сигнала радиозонда;
- автосопровождение радиозонда по дальности и расчет дальности;
- расчет текущих метеопараметров и формирование аэрологической телеграммы;
- обеспечение режима управления и контроля локатором.

Структурная схема радиолокатора МАРЛ показана на рис.1.3.

Главным компонентом и особенностью данного локатора является активная (приемо-передающая) фазированная антенная решетка (АФАР), в которую входит антенное полотно с матрицей излучающих вибраторов и приемо-передающих модулей (блоки ППМ) и группой схем сумматоров-делителей и схем фазирования СВЧ-сигнала (блоки АСФ, АСМ).

В состав локатора так же входят: приемник (блок ПП), одноплатная микро-ЭВМ, электро-механический привод, датчик “угол-код”, каналы передачи сигналов и данных, щит распределительный и персональная ЭВМ оператора (ПЭВМ).

Сигнал радиозонда принимается АФАР и передается в приемник. В приемнике сигнал преобразуется в промежуточную частоту, усиливается и демодулируется с выделением всех модулирующих составляющих, несущих необходимую информацию о метеопараметрах атмосферы, угловом отклонении радиозонда и дальности до радиозонда. Обработка модулирующих составляющих, а также расчет метеопараметров и дальности производится в ПЭВМ. Микро-ЭВМ обеспечивает работу системы слежения за радиозондом по угловым координатам.

АФАР является активной антенной системой, поэтому АФАР периодически переходит из режима приема в режим передачи зондирующего импульса, без которого невозможно измерение дальности. Формируется излучаемый зондирующий импульс в приемнике, а усиливается по мощности в модуле ППМ каждого элемента матрицы антенного полотна.

Для кругового вращения антенного полотна используется электромеханический привод. Исполнительный двигатель привода управляется от ПЭВМ оператора через преобразователь мощности. Преобразователь мощности с широтно-импульсной модуляцией фирмы «MITSUBISHI» установлен в распределительном щите. С подвижной частью конструкции антенного поста кинематиче-

Между подвижной и неподвижной частями конструкции антенного поста действует несколько каналов связи для передачи сигналов и цифровых данных. Это радиоканал для передачи видеосигнала 800кГц в ПЭВМ оператора, радиомодем для связи микро-ЭВМ и ПЭВМ и проводной канал с использованием токоємника для передачи синхронизирующего импульса дальности.



1.5.1. Структурная схема АФАР

АФАР содержит 64 приемо-передающих модуля (ППМ) и такое же количество сдвоенных дипольных излучателей (128 излучателей). За приемо-передающими модулями следуют: 64 фазовращателя (ФВ), 8 схем суммирования-деления (Σ_8) на восемь, 4 схемы суммирования-деления (Σ_2) на два, 4 фазовых манипулятора (ФМ) и схема суммирования-деления (Σ_4) на четыре.

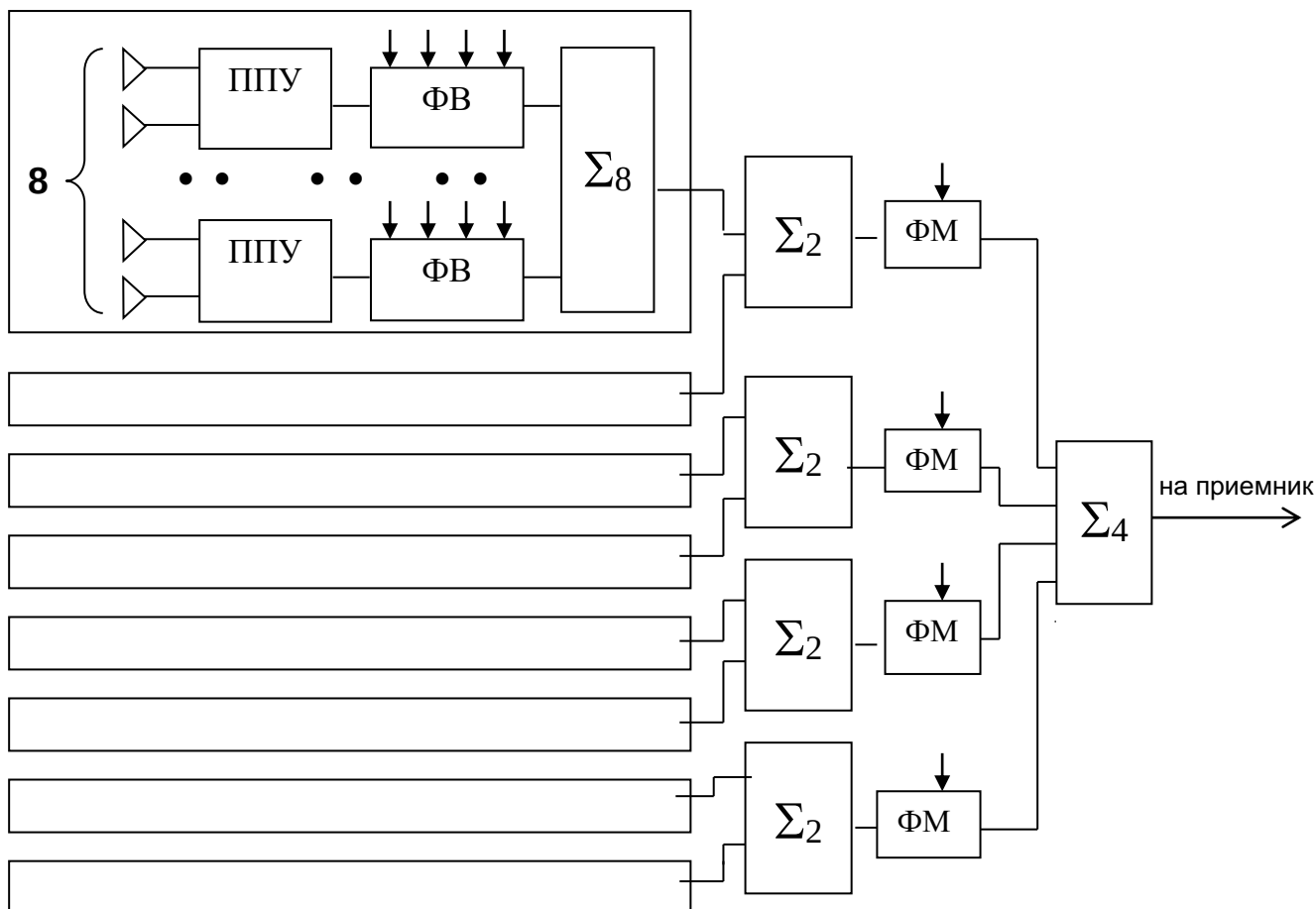


Рис.1.4. Структурная схема АФАР

Четырехразрядные фазовращатели (ФВ) управляются кодовыми группами, поступающими из микро-ЭВМ, и в каждом канале АФАР изменяют фазу проходящего сигнала в пределах от 0° до 360° с дискретностью $22,5^\circ$. Предназначены эти фазовращатели для управления отклонением луча АФАР.

Группа из 4 фазовращателей-манипуляторов (ФМ) предназначена для получения квадрантного сканирования диаграммы направленности. Эти фазовращатели являются одноразрядными с двумя возможными значениями сдвига фазы принимаемого сигнала: 0° или 90° .

Все схемы суммирования-деления объединяют, сначала, 64 канала по 8 каналов, затем 8 каналов по 4 канала и последняя схема – 4 канала в один. Объединение каналов используется при приеме сигнала. При передаче сигнала используется деление в каналах, при котором сигнал с выхода приемника распределяется в 64 канала АФАР.

1.5.2. Управление отклонением диаграммы направленности (ДН).

Отклонение луча ДН без изменения формы самой ДН возможно путем изменения фаз сигналов, проходящих в каналах питания элементов антенной решетки. С этой целью в каждом канале установлен четырехразрядный фазовращатель (ФВ) (см. рис. 1.4.). С их помощью можно выборочно увеличивать фа-

зы сигналов (принимаемых или передаваемых) в каналах, принадлежащим разным секторам антенной решетки.

Например, если условно разделить антенное полотно относительно вертикальной оси на две половины (левую и правую) и во всех каналах прохождения сигнала правой части установить временную задержку соответствующую увеличению фазы на угол $\Delta\beta$, то луч ДН отклонится в горизонтальной плоскости влево на угол пропорциональный значению $\Delta\beta$. Аналогично, подбором фазовых сдвигов во всех каналах антенной решетки можно получать отклонение луча ДН в любом направлении и на любой угол (в пределах возможных углов данной решетки). Набор фазовых сдвигов соответствующий задаваемому направлению отклонения и его углу называется фазовым распределением. Оно рассчитывается программой управления лучом ДН в микро-ЭВМ.

Отклонение луча ДН в вертикальной плоскости осуществляется в секторе от -10° до $+100^\circ$, а в горизонтальной плоскости поворот осуществляется в секторе не менее 25° . Если во всех каналах антенной решетки на фазовращателях ФВ установить нулевой сдвиг фазы, то луч ДН займет положение нормали к антенному полотну. Само антенное полотно имеет наклон в 60° , поэтому относительно горизонта нормаль в вертикальной плоскости будет расположена под углом 30° .

Управление лучом ДН в горизонтальной плоскости методом изменения фаз позволяет работать в секторе только 25° . Чтобы иметь возможность работать по всему кругу применяется механический поворот антенного полотна с помощью электро-механического привода. В связи с этим вводится понятие электронного и механического управления лучом ДН и соответствующее ему термины: электронный и механический угол. При электронном управлении, когда в процессе слежения за радиозондом электронный угол луча ДН подходит к своему предельному значению, включается двигатель электромеханического привода и антенное полотно медленно (что бы не сорвать сопровождение) поворачивается на 1° в направлении продолжения поворота луча. Поэтому при определении азимута зонда необходимо учитывать два угла: угол механического поворота антенного полотна - $\alpha_{\text{мех.}}$ и электронный угол луча АФАР относительно нормали.

Механический угол регистрируется датчиком "угол-код", а электронный угол формируется микро-ЭВМ в процессе управления лучом АФАР. Оба угла передаются в ПЭВМ для программы управления приводом, откуда производится общее управление, и где рассчитывается конечный азимутальный угол.

1.5.3. Принципы углового сопровождения.

Объединения каналов в антенной решетке выполнено таким образом, что разделяет всю решетку на четыре подрешетки (А, В, С, D). С помощью четырех фазовращателей ФМ, включенных в каждый канал подрешетки, можно устанавливать в подрешетках сдвиг фазы принимаемого сигнала 0° или 90° (см. рис. 1.5.). Это дает возможность осуществлять квадрантное сканирование с частотой 500Гц для создания равносигнальной зоны.

Сигналы управления фазовой манипуляцией в подрешетках при квадрантном сканировании показаны на рис.1.6. Управляющему уровню $u_i=0$ соответствует сдвиг фазы $\varphi_i=0^\circ$; а уровню $u_i=1$ соответствует $\varphi_i=90^\circ$. Под воздействием указанных на графике напряжений луч диаграммы направленности будет отклоняться относительно положения нормали в последовательности: верх, лево, вниз, право на половину ширины диаграммы направленности (около 3°). Если в процессе сопровождения по углам радиозонд сместится от центра равносигнальной зоны, в принимаемом сигнале возникает амплитудная модуляция с частотой сканирования (см. рис. 1.6.в). Глубина модуляции пропорциональна величине смещения, а фаза модуляции соответствует направлению смещения.

Для формирования сигнала ошибки пеленга используются два фазовых детектора ФД1, ФД2 и синхронизатор. Синхронизатор вырабатывает две опорные частоты сканирования сдвинутые по фазе на 90 градусов (см. рис 1.6 б).

С выхода приемника сигнал радиозонда детектируется и в виде сигнала ошибки пеленга поступает на вход каждого фазового детектора, где он сравнивается с соответствующей опорной частотой. В результате на фазовом детекторе ФД2 будет выделяться горизонтальная составляющая сигнала ошибки $\Delta\alpha$, а на ФД1 – вертикальная составляющая $\Delta\epsilon$. Эти напряжения в микро-ЭВМ оцифровываются и поступают в программу управления лучом АФАР, в которой производится корректировка числа фазового распределения, управляющего фазовращателями ФВ. Скорректированное число фазового распределения так изменяет положение луча диаграммы направленности, чтобы исчезла модуляция 500гц в сигнале радиозонда и сигнал ошибки пеленга стал равен нулю (см. рис. 1.6.в).

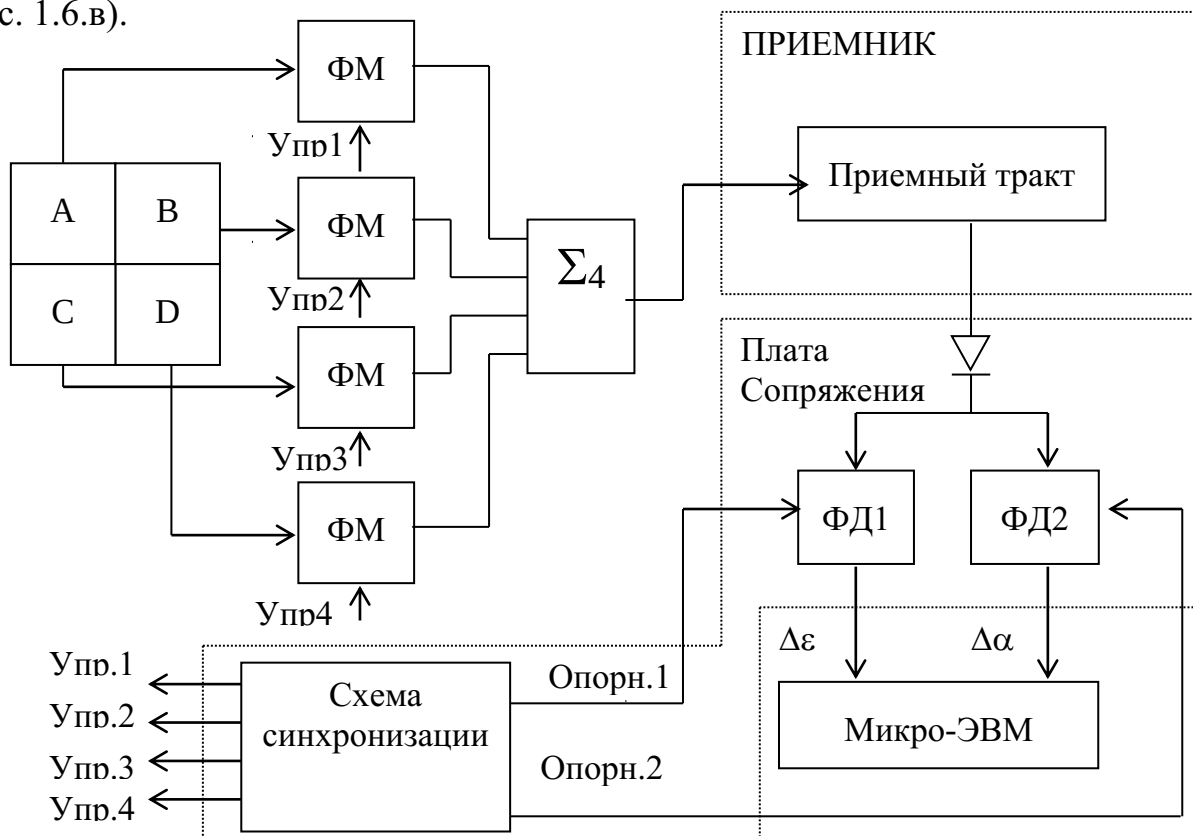
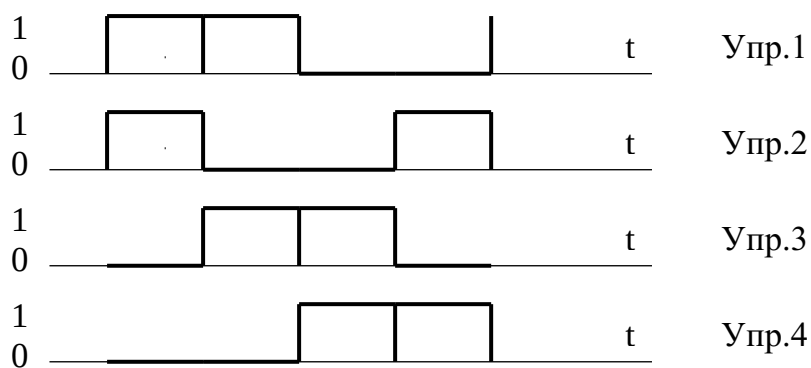
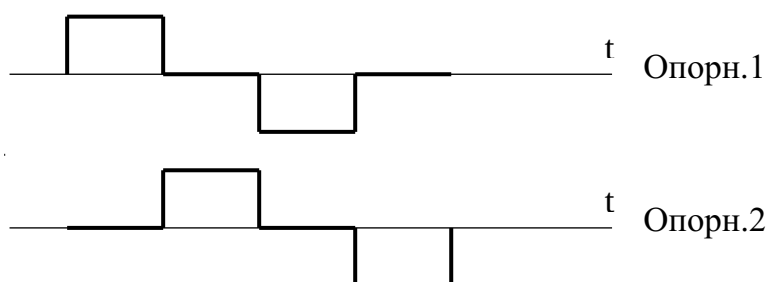


Рис.1.5. Структурная схема углового сопровождения в МАРЛ

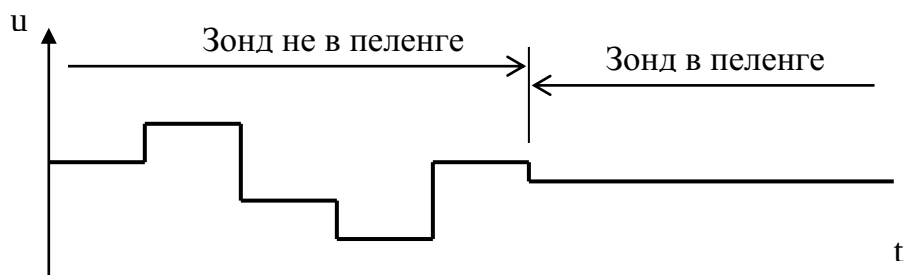
При этом микро-ЭВМ вырабатываются числовые коды новых электронных углов азимута и угла места и передаются в ПЭВМ. Корректировка положения ДН в процессе слежения за радиозондом производится с периодичностью 2 раза в секунду. С этой же периодичностью обновляются и отметки углов на панели оператора.



а) сигналы управления фазовыми манипуляторами



б) опорные напряжения фазовых детекторов



в) огибающая принимаемого сигнала

Рис.1.6. Сигналы действующие при угловом сопровождении

1.5.4. Работа АФАР в режиме передачи запросного импульса

В СВЧ-тракте АФАР такие элементы как сумматоры-делители и фазовращатели, установленные между приемником и модулями ППМ, являются пассивными элементами и работают как на прием, так и на передачу. В режиме передачи сигнал с выхода приемника (блок ПП) распределяется по всем 64 каналам антенной решетки и поступает в каждый модуль ППМ (см. рис. 1.7.).

В блоке ПП имеется формирователь частоты 1682мгц, работающий в непрерывном режиме. Во время передачи ключ “прием/передача” на входе блоке ПП переключается в положение “передача” на 1мкс и напряжение возбуждения 1682мгц, в виде прямоугольного импульса распределяется и поступает во все модули ППМ. К этому моменту ППМ переключаются из состояния усилителя МШУ принимаемого сигнала в состояние усилителя мощности передаваемого сигнала. Напряжение возбуждения в каждом модуле ППМ усиливается до 2вт импульсной мощности и излучается вибраторами. После сложение в эфире излучаемой всеми каналами мощности суммарная мощность запросного импульса составит около 128вт.

Чтобы излучение запросного импульса производилось в направлении радиозонда, фазовое распределение при передаче сохраняется такое же, как в процессе сопровождения при приеме сигнала зонда. Для исключения потери мощности запросного сигнала, достигающего радиозонд, на время излучения запросного сигнала квадрантное сканирование выключается. Эта мера позволяет увеличить эффективную мощность запросного импульса на 3 дБ.

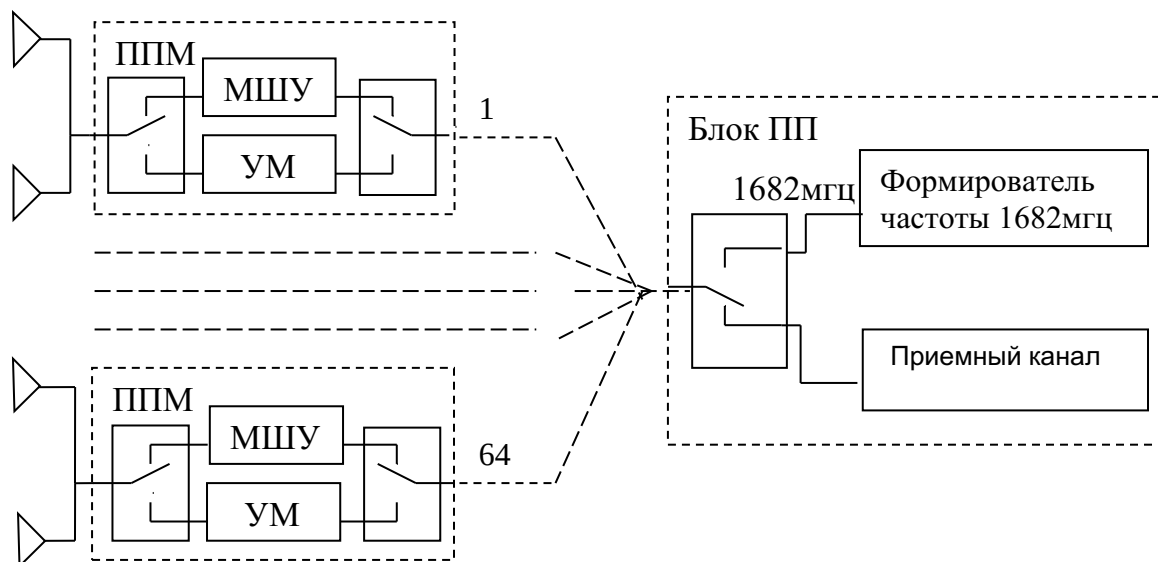


Рис.1.7. Схема, поясняющая работу АФАР в режиме передачи

ГЛАВА 2. Состав и описание подсистем СТАНЦИИ МАРЛ

2.1. Антенное полотно АФАР

Основное назначение антенного полотна является формирование в угломестной и азимутальной плоскостях диаграммы направленности (ДН) игольчатого типа. Формирование ДН осуществляется по принципу суммирования ДН всех излучателей, из которых состоит антенное полотно АФАР. При этом конструкция излучателей и антенного полотна должны обеспечивать еще и отклонение ДН в диапазоне углов: по углу места от -65° до $+40^\circ$ и по азимуту $\pm 12,5^\circ$ (сектор 25°) относительно нормали к полотну решетки. Для охвата всего диапазона углов по азимуту (от 0° до 360°) предусмотрено вращение антенного полотна в горизонтальной плоскости без какого-либо ограничения.

. Ширина ДН при луче установленном в нормаль составляет по азимуту 9° и по углу места 6° . При отклонении луча от нормали ДН становится шире. С увеличением ширины ДН ухудшаются приемная чувствительность лоатора и уменьшается мощность излучаемого запросного сигнала достигающего радиозонд, поэтому плоскость антенного полотна имеет наклон обеспечивающий наилучшие параметры при тех углах сопровождения радиозонда, при которых наблюдается максимальная дальность. Такой угол был выбран равный 60° относительно горизонта.

Общий вид АФАР представлен на рис.2.1, рис.2.2 . Все полотно АФАР разбито по конструктивным соображениям на 8 малых подрешеток. Каждая из малых подрешеток содержит в своем составе поле раскрыва из 16 парных излучателей. Места установки пары излучателей отмечены точками с обозначением от А1 до А8 для каждой малой подрешетки.

Структура раскрыва АФАР максимального использует преимущества строчно-столбцевого алгоритма управления лучом и снижает взаимное влияния излучателей в решетке. Исходя из заданной ширины ДН решетки в азимутальной (9°) и угломестной (6°) плоскостях, и, с целью уменьшения уровня боковых лепестков до -15 дБ без кардинальных изменений в структуре управления лучом, выбрана форма излучающей апертуры как квазиэллиптическая с осями 1650 мм и 1200 мм.

Тип и геометрия излучателей, а также межэлементные расстояния в решетке выбраны с условием максимального подавления дифракционных максимумов и обеспечения параметров ДН во всем секторе сканирования по азимуту и углу места.

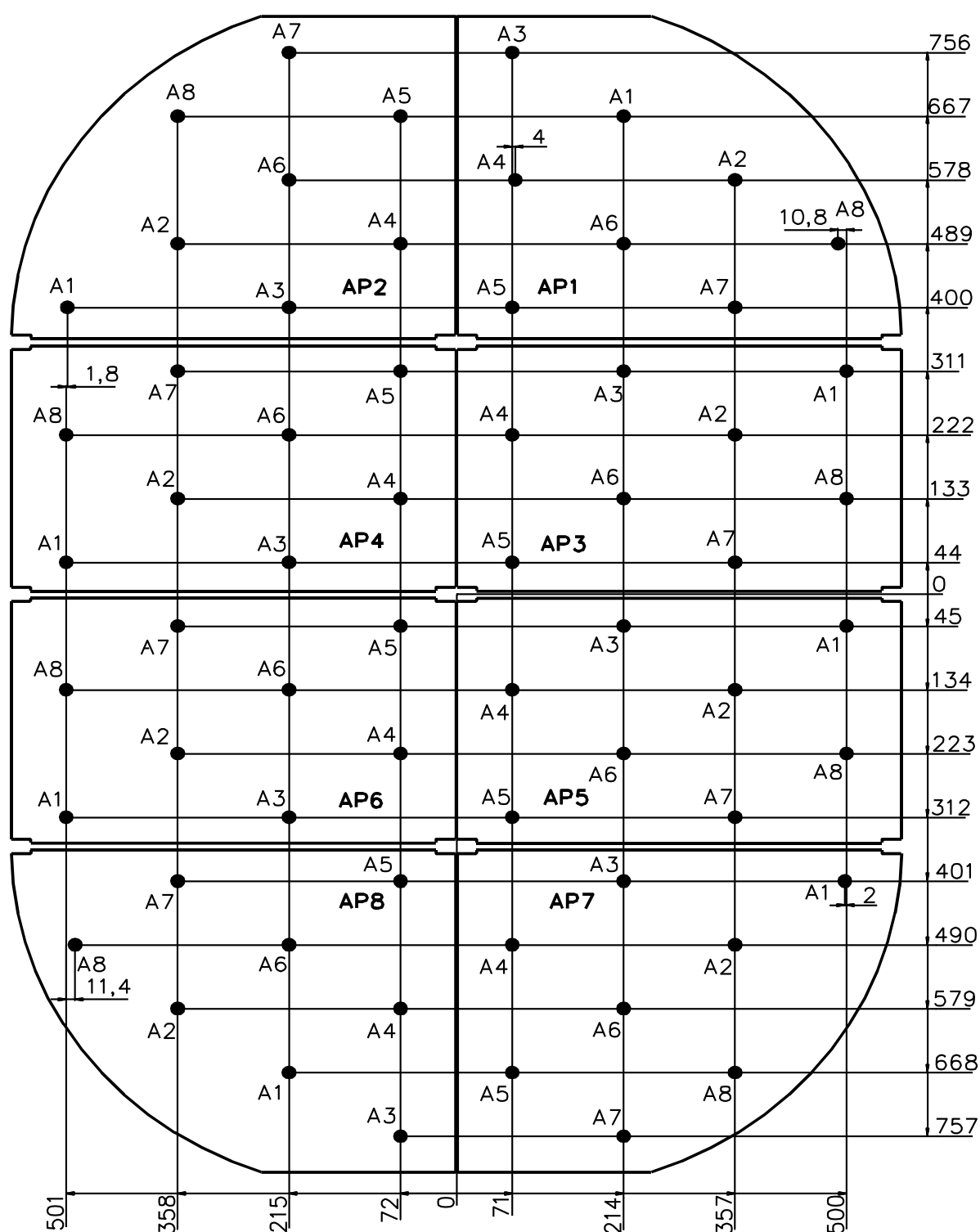


Рис. 2.1. Общий вид АФАР со стороны излучателей (размеры даны в мм)

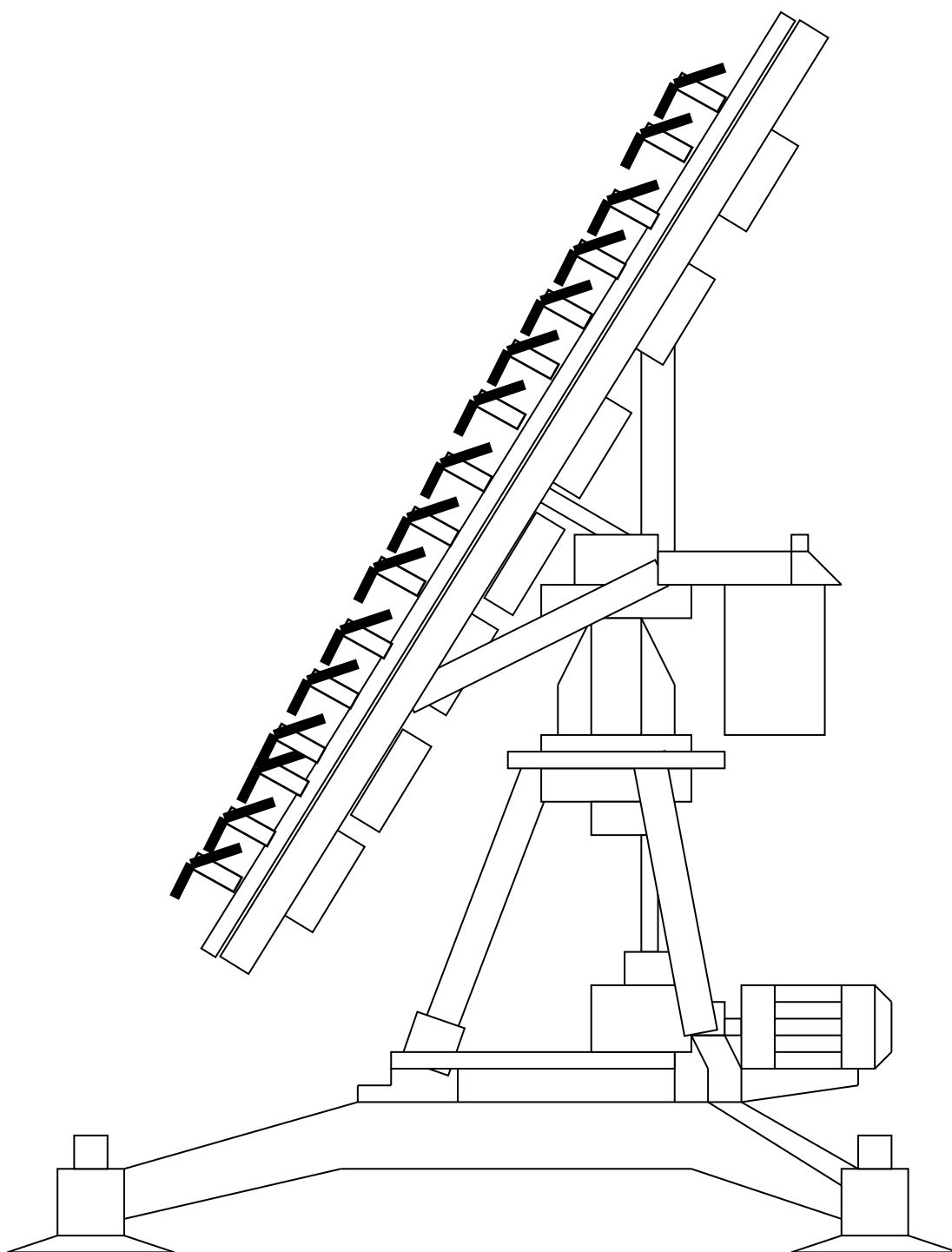


Рис. 2.2. Теоретический чертеж антенного поста

В качестве излучателей был выбран полуволновой вибратор с наклонным плечом (см. рис. 2.3.). Наклон плеча позволяет увеличить вертикальный угол отклонения ДН в верхней части рабочего сектора для большей устойчивости сопровождения радиозонда в зените.

Собственное усиление одиночного вибратора на частоте 1680 МГц имеет порядка 4 ед. в максимуме ДН. Диаграмма направленности используемого одиночного полуволнового вибратора в горизонтальной и вертикальной плоскости

показана на рис. 2.4.. Ширина ДН одиночного вибратора в Н-плоскости (азимутальной) порядка 100° по уровню половинной мощности, что не сможет обеспечить сектор сканирования в этой плоскости (25°). Поэтому в МАРЛ используется сдвоенный вибратор, ширина ДН в Н-плоскости которого по уровню половинной мощности составляет порядка 50° притом, что сохраняется ширина ДН в Е-плоскости как у одиночного вибратора. В паре вибраторы располагаются на одной горизонтальной линии на расстоянии друг от друга в $0,58\lambda$ (где λ - длина волны).

Усиление всей решетки (G) для различных базовых углов сканирования имеет следующие значения: для направления 30° от горизонта (по нормали к плоскости решетки) $G \sim 27$ дБ, по направлению 20° от горизонта - $G \sim 26$ дБ и по горизонту - $G \sim 24$ дБ.

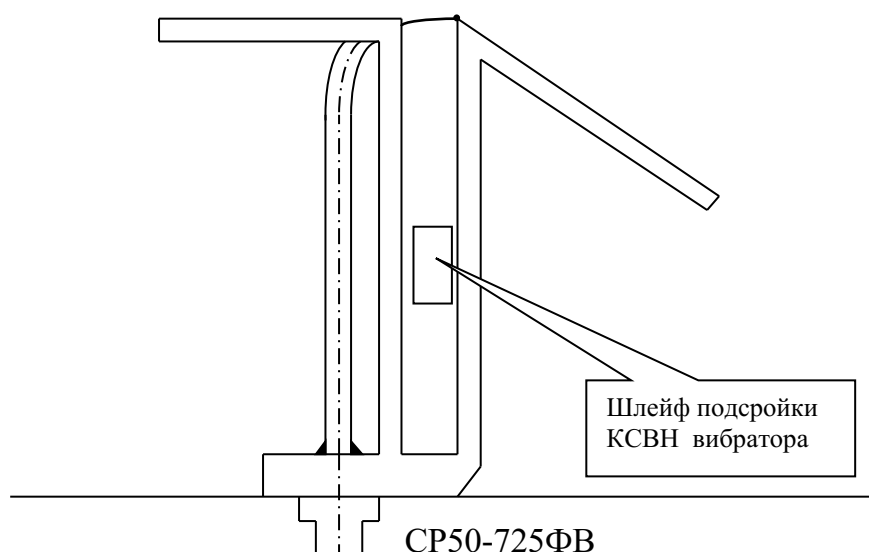


Рис.2.3. Несимметричный полуволновый вибратор с наклонными плечами

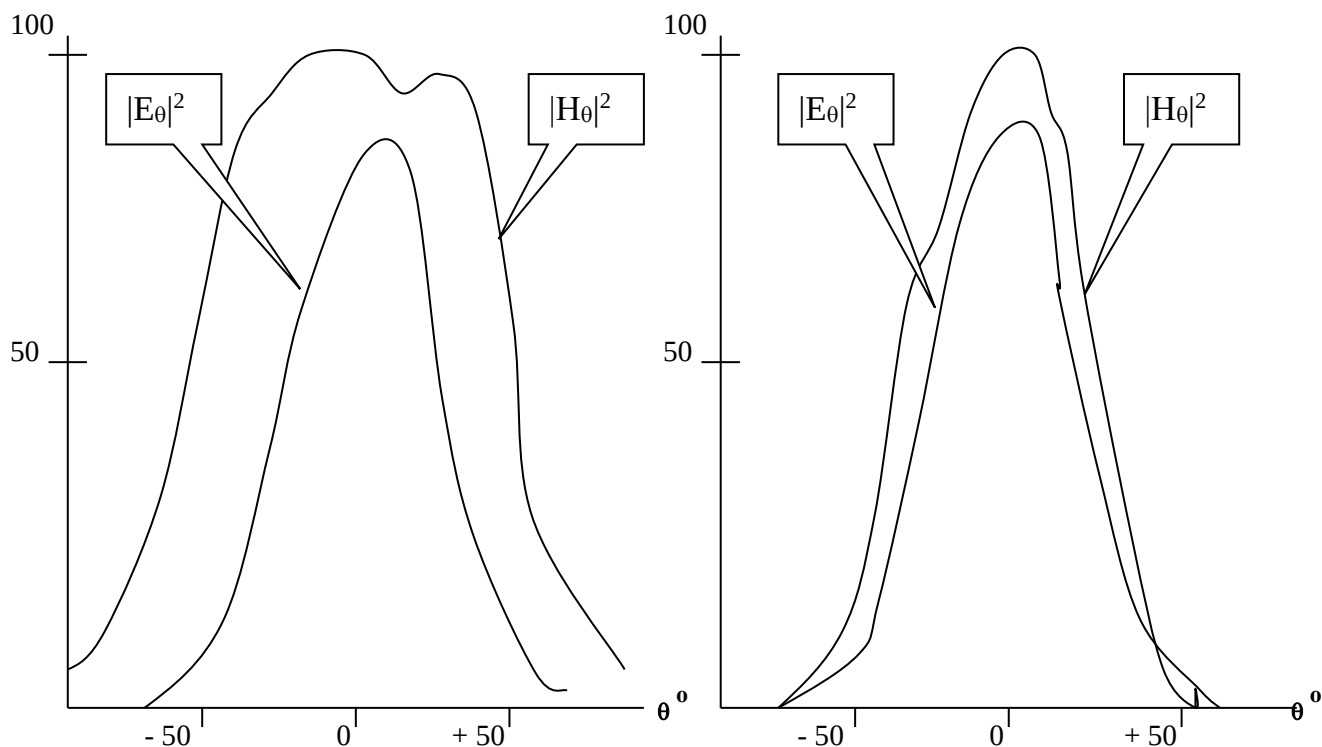


Рис.2.4. Диаграммы направленности полуволнового вибратора одиночного (слева) и сдвоенного вибратора (справа).

2.2. Приемо-передающий тракт МАРЛ

Упрощенная функциональная схема приемо-передающего тракта МАРЛ приведена на рис.2.5. Тракт состоит из следующих блоков: блок приемника (ПП), блок манипулятора квадрантного сканирования (АСМ), 8 блоков суммирования и фазирования (АСФ), 64 приемо-передающих модулей (ППМ) и 128 сдвоенных излучателей.

Прохождение и распределение сигнала по приемо-передающему тракту от ПП до всех ППМ следующее. С выхода блока ПП сформированный СВЧ-импульс поступает на вход сумматора-манипулятора (АСМ). В АСМ сигнал разделяется на 8 каналов: по два на каждую подрешетку АФАР. В парных каналах АСМ осуществляется манипуляция фазы $\Delta\varphi_0=0^\circ$, либо $\Delta\varphi_0=90^\circ$ одноразрядными фазовращателями, для получения квадрантного сканирования в режиме приема. Для управления фазовращателями из блока ПП подается четырех-разрядный код манипуляции, а для отключения манипуляции на время излучения запросного импульса подается синхроимпульс Имп.1мкс.

Каждый из восьми выходов блока АСМ соединяется с входом восьми блоков сумматоров-фазовращателей (АСФ), в которых осуществляется дальнейшее деление мощности поступающего сигнала на 64 канала. В каждом канале установлены четырехразрядные фазовращатели, способные изменять фазу сигнала от 0° до 360° с дискретом $\Delta\varphi_i=22,5^\circ$. Управление фазовращателями осуществляется 12-разрядным кодом, поступающим в плату управления из Микро-ЭВМ.

С выходов каналов блока АСФ СВЧ-импульсы поступают в приемо-передающие модули (ППМ), выполненные попарно на одной плате и разме-

щенные в одном корпусе. В режиме передачи в каждом модуле ППМ СВЧ-импульсы усиливаются до величины порядка 2,3-2,5 Вт и через делитель-сумматор модуля передается на пару излучателей.

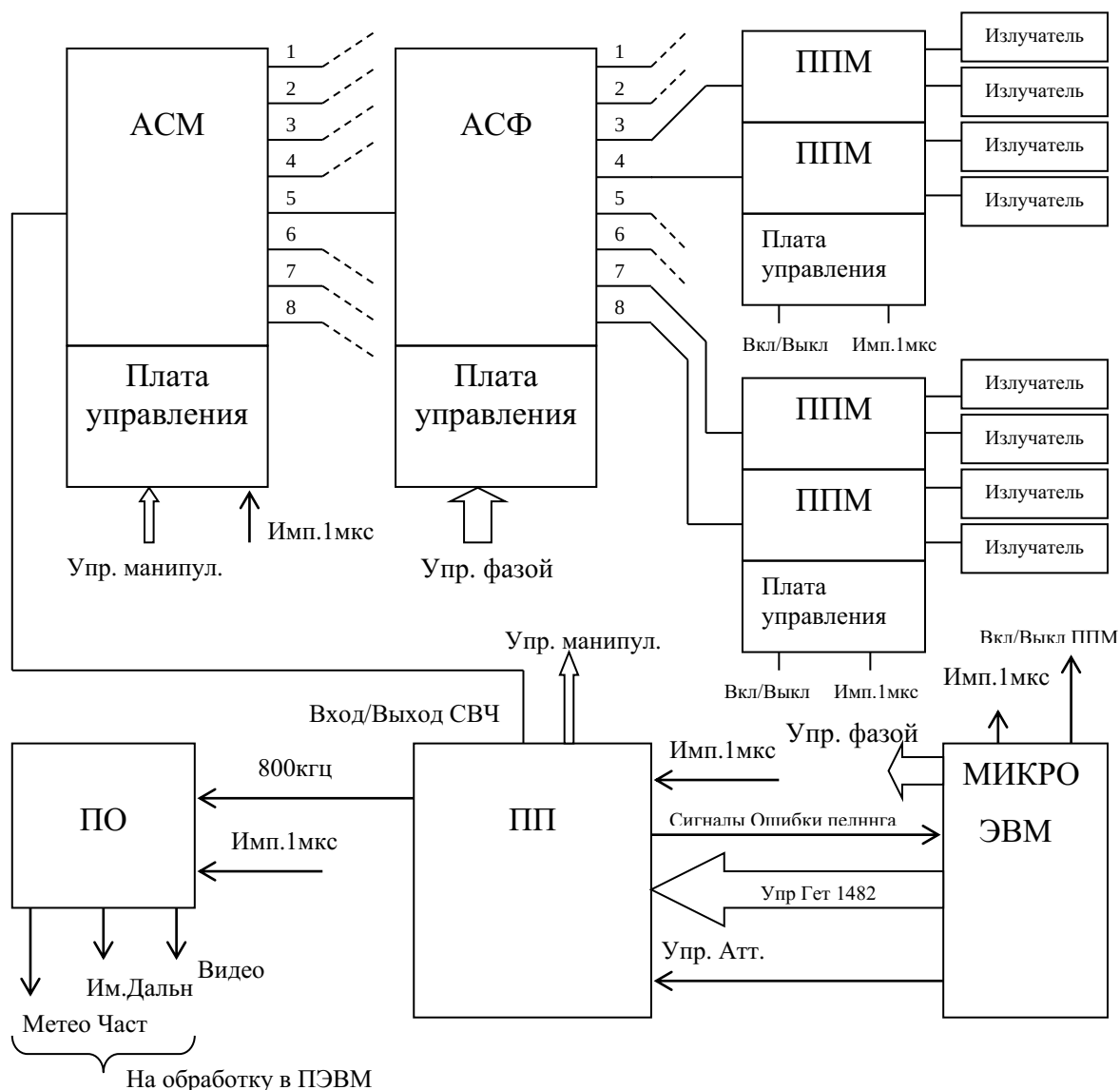


Рис.2.5. Упрощенная функциональная схема СВЧ тракта МАРЛ-А

. В режиме приема модули ППМ работают как малошумящие усилители принимаемого сигнала. Переключение режимов осуществляется импульсами синхронизации передачи 1 мкс.

При приеме сигнал радиозонда принятый всеми излучателями и предварительно усиленный в модулях ППМ суммируется в пассивной части тракта (АСМ, АСФ) и подается на ПП. В ПП он преобразуется, усиливается, детектируется и из него выделяются информационные составляющие в виде сигналов ошибки пеленга и суперирующей частоты 800 кгц. Сигналы ошибки пеленга $\Delta\epsilon$, $\Delta\alpha$ передаются в Микро-ЭВМ для обеспечения процесса автосопровождения по угловым координатам. Частота 800 кгц подается в блок поста оператора (ПО), где из нее выделяется частотная составляющая - Метео Частота, и далее 800

кгц как сигнал Видео совместно с импульсом дальности, который формируется из импульса Имп.1мкс, поступает в ПЭВМ на обработку дальности.

Приемо-передающий тракт МАРЛ имеет дополнительный режим включения при исполнении команды Ближняя зона. При подаче команды Ближняя зона от ПЭВМ микро-ЭВМ при помощи сигналов Вкл/Выкл ППМ отключает все ППМ кроме восьми, расположенных в центре антенного полотна АФАР. Таким образом, в ближней зоне достигается снижение мощности излучаемого сигнала с целью уменьшения отражений от местных предметов и ослабление на входе блока ПП принятого с малого расстояния сигнала радиозонда. Так же, для уменьшения искажений в приемном тракта при большом сигнале, предусмотрено включение аттенюатора в цепи прохождения сигнала блока ПП командой Упр.атт.. Команда приходит с ПЭВМ и через микро-ЭВМ по линии Упр.атт. подается в блок ПП.

2.3. Элементы приемо-передающего тракта МАРЛ

2.3.1. Приемо-передающий модуль (ППМ)

Приемо-передающий модуль служит для усиления принимаемого и передаваемого сигналов. В одном сборном корпусе размещены 2 приемо-передающих модуля, выполненных на одной плате. На рис.2.6. показана структурная схема одного из них. В режиме "прием" сигнал радиозонда, принятый излучателями, суммируется мостом D-C, затем через переключатель "прием-передача" (ППП2) подается на малошумящий усилитель (МШУ), далее на юстировочный фазовращатель и еще через один ППП1 поступает на выход модуля.

В режиме "передача" напряжение возбуждения проходит через юстировочный фазовращатель на усилитель-ограничитель (УО) и с выхода УО подается на вход усилителя мощности (УМ). Усилитель-ограничитель предохраняет входные цепи усилителя УМ, допустимая мощность по входу которого равна 10мВт, от колебаний входной мощности, возникающих при переключениях фазы в сумматорах-фазовращателях. Усилитель (УО) имеет практически плоский участок амплитудной характеристики для уровней входной мощности начиная с $P_{вх} = 3 \div 5$ мВт и выше. Поэтому при колебания мощности выше уровня $3 \div 5$ мВт на вход усилителя (УМ), тем не менее, поступит напряжение сигнал мощностью не более 5 мВт. Усиленный сигнал с выхода УМ через ППП2 распределяется на мосту (D-C) в два плеча и излучается в эфир.

Компоненты модуля (ППМ) имеют следующие характеристики.

Делитель-сумматор, выполненный в виде трехдецибельного синфазного моста на микрополосковых линиях, имеет потери порядка 0,5-0,6 дБ.

Переключатели ППП1 и ППП2 выполнены на сдвоенных рпн-диодах HSMP-3893 фирмы Hewlett-Packard и имеют потери в каналах коммутации порядка 0,9-1 дБ и развязку между каналами около $24 \div 26$ дБ.

Малошумящий усилитель выполнен на микросхеме MGA-86563, имеющей коэффициент шума $K_{ш} \approx 1,6$ дБ и коэффициент усиления $K_p \approx 19$ дБ. Ток потребления МШУ составляет порядка $I_0 = 14$ мА.

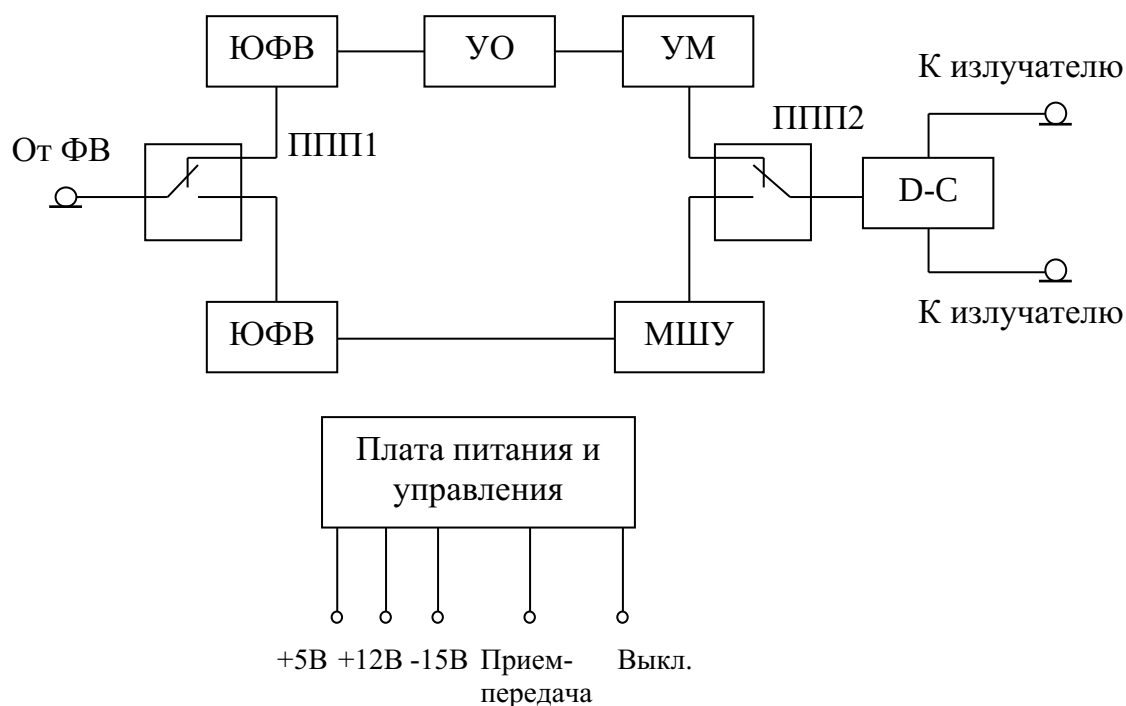


Рис.2.6. Структурная схема приемно-передающего модуля

Юстировочный фазовращатель применяется для компенсации неточности фазовых сдвигов в разных каналах прохождения сигнала и выполнен в виде микрополосковой линии с $Z_0=50$ Ом, длину которой можно менять переключением ее отрезков с шагом $\Delta\varphi=5\div6^\circ$. Топология ЮФВ позволяет изменять фазу в пределах $\varphi_{\text{ЮФВ}}=\pm 90^\circ$.

Усилитель-ограничитель собран на микросхеме INA-54063, питается от напряжения +5 В и потребляет ток $I_0 \cong 28$ мА.

Усилитель мощности собран на микросхеме MRFIC-1818 фирмы Motorola. Усилитель работает в импульсном режиме и способен отдать в нагрузку $P_{\text{вых}} \cong 2,4\text{--}2,7$ Вт импульсной мощности. С учетом потерь в ППП и D-C выходная мощность в каждом плече вибратора составляет около 0,92-0,96 Вт. Потребление усилителя мощности не более $I_{0\text{ УМ}}=1,0$ мА при напряжении питания +5 В и длительности импульса $\tau_{\text{и}} \cong 1$ мкс со скважностью $Q \cong 1000$.

Общее потребление модуля ППМ определяется устройствами, работающими постоянно и составляет:

	по цепи +5 В ≤ 15 мА;	по цепи
+12 В ≤ 45 мА;	по цепи -15 В ≤ 8 мА.	

Указанные питающие напряжения поступают с платы питания и управления. С нее, также, по команде "прием/передача" поступают сигналы переключения ППП1, ППП2 и сигналы на выключение компонентов модуля при поступлении команды "Выкл".

2.3.2. Блок суммирования и фазирования

Блок суммирования и фазирования (АСФ) является частью схемы пассивной разводки АФАР и обеспечивает управление фазами в каналах одной малой подрешетки. Структурная схема блока приведена на рис.2.7.

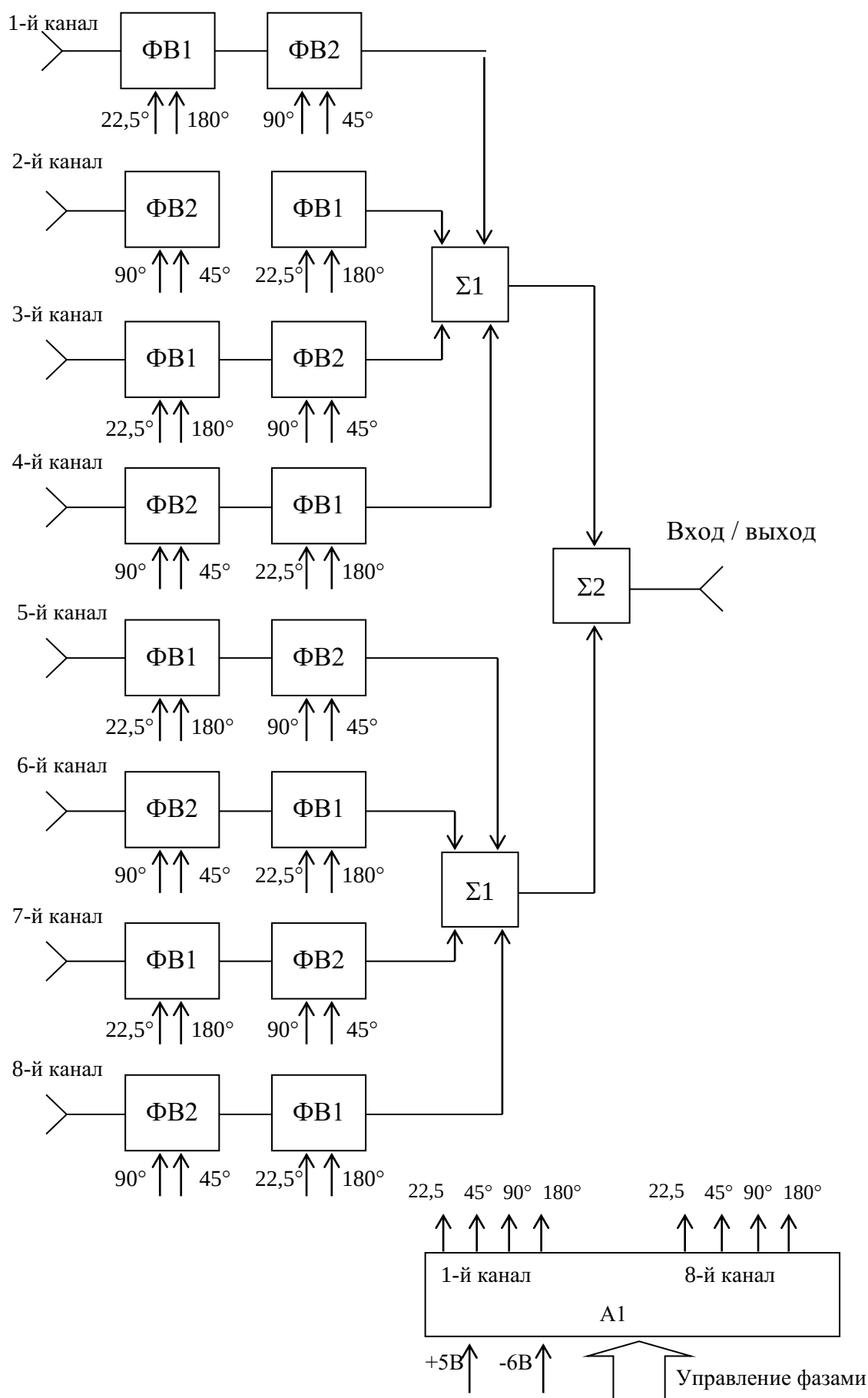


Рис.2.7. Структурная схема блока

Блок имеет следующие технические характеристики:

Напряжения питания	+5 В; -15 В;
Ток потребления в каждом канале блока (все разряды включены)	350 мА/5 В; 130 мА

/-15 В

Число разрядов дискретного фазовращателя в канале 4	
Фазы разрядов	22,5°/45°/90°/180°
Суммарная погрешность установки фазы	± 12,5°
Суммарные потери в блоке, не более	13,5 дБ
КСВН по входу, не более	1,5
КСВН по выходу, не более	2,2

Блок содержит восемь фазовращателей на дискреты 22,5° и 180° (ФВ1) и восемь фазовращателей на дискреты 45° и 90° (ФВ2). Суммирование и деление сигналов в блоке осуществляется при помощи двух сумматоров – делителей $\Sigma 1$ и одного сумматора - делителя $\Sigma 2$. Плата А1 принимает код фазового распределения, дешифрирует его и в соответствии с кодом выставляет для всех фазовращателей напряжения управления фазовращателями. Требуемый разряд включается при подаче напряжения +1В, а выключается - при подачи напряжения -6В.

В режиме передачи сигнал от возбудителя поступает на вход блока. В этом случае платы $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ работают как делители. В делителях сигнал разветвляется на 8 каналов. В каждом из 8 каналов сигнал проходит через управляемые фазовращатели (микросборки ФВ1 и ФВ2), получает необходимый фазовый сдвиг и поступает на выход канала.

В режиме приема сигнал принятый одной парой вибраторов после усиления в модуле ППМ поступает на вход соответствующего канала, где он, также как при передаче, получают необходимый фазовый сдвиг и, далее суммируется с сигналами других каналов блока. Полученный на выходе блока суммарный сигнал подается на один из входов блока сумматора-манипулятора (АСМ).

Фазовращатели ФВ1 и ФВ2 представляют собой микрополосковую линию с подключенными разомкнутыми шлейфами. Каждому разряду соответствует шлейф, длина которого определяет дискрет этого разряда. Все шлейфы подключены к линии через обратно включенные р-і-п диоды. При подачи на диод со стороны шлейфа управляющего напряжения +1В, диод смещается в прямом направлении и подключает свой шлейф. Если подается управляющее напряжение -6В, диод запирается и отключает шлейф.

Одновременно подключенные все шлейфы увеличивают фазу проходящего сигнала на 337,5°, при этом ослабление в канала будет максимальное (но, не более 3дб). Наибольший разброс фаз между каналами при включении всех 4-х разрядов составляет: не более 5° на частоте $f_0 = 1,68$ ГГц и не более 8° при изменении частоты на 10 МГц от частоты f_0 в ту или другую сторону.

Конструктивно блок представляет собой фрезерованный корпус, в котором размещаются микросборки фазовращателей ФВ1 и ФВ2, платы сумматоров $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ и плата управления А1. Платы $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ и платы микросборок ФВ1 и

ФВ2 выполнены по тонкопленочной технологии на поликорковых подложках толщиной 1 мм. В фазовращателях ФВ1 и ФВ2 используются р-і-п диоды типа 2A547A-3.

2.3.3. Манипулятор квадрантного сканирования

Манипулятор служит для дискретного изменения фазы любой из пар подрешеток станции с $\varphi_0 = 0^\circ$ на $\varphi_0 = 90^\circ$ для создания квадрантного сканирования. Структурная схема устройства ФМ показана на рис.2.8. Устройство содержит 4 схемы сдвига фазы $0-\pi/2$ (ФМ) и 7 делителей-сумматоров (D-C), выполненных в виде микрополосковых линий на одной печатной плате.

Принятый сигнал от каждой подрешетки поступает на входы XW1-XW2, XW3-XW4, XW5-XW6 и XW7-XW8 и суммируется в D-C1, D-C2, D-C6, D-C7. С выходов сумматоров сигналы поступают на соответствующий каждой подрешетке фазовый манипулятор (ФМ), управляемый кодом манипуляции через плату управления. С выходов схем манипуляторов сигналы со своими фазами последовательно суммируются тремя делителями-сумматорами D-C3, D-C4, D-C5 и поступают на выход XW9 и далее на вход блока ПП.

На время передачи запросного сигнала импульсом Имп 1мкс все фазовые манипуляторы обнуляются и сканирование диаграммы направленности в течении действия управляющего импульса приостанавливается.

Потери одного делителя-сумматора составляют 0,25-0,35 дБ, фазового манипулятора -0,7-0,8 дБ.

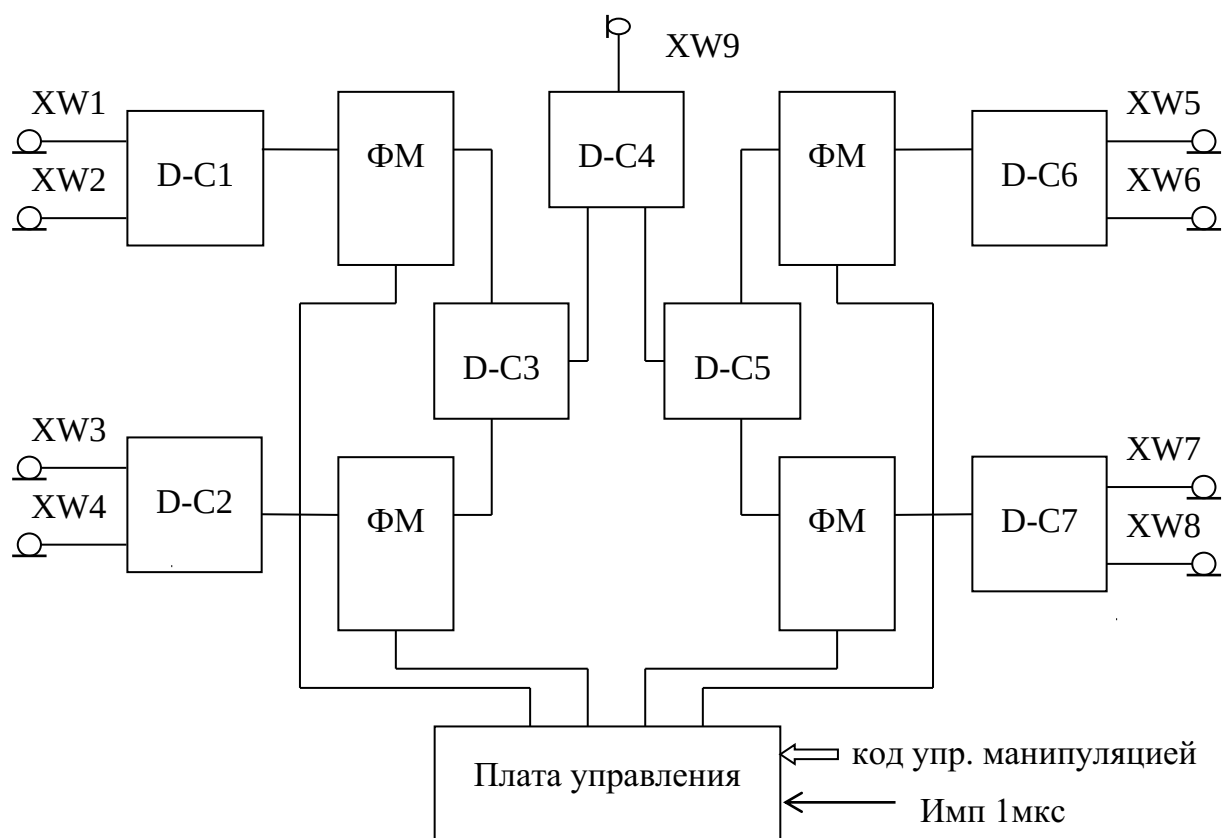


Рис.2.8. Структурная схема фазового манипулятора квадрантного сканирования

2.3.4. Блок приемника (ПП)

2.3.4.1. СВЧ-тракт блок приемника (ПП)

Структурная схема блока ПП приведена на рис.2.9. В состав блока входят следующие схемы: два генератора на 1482мгц и 1682мгц, три усилителя, СВЧ-переключатель (ключ ПП1 – прием/передача), смеситель приемного канала, аттенюатор.

Генераторы 1482мгц и 1682мгц выполнены по схеме с использованием однокристалльного синтезатора частоты с цифровым управлением. Генератор 1482мгц имеет внешнее управление от микро-ЭВМ по 12-разрядной цифровой шине. В генераторе 1682мгц устанавливается фиксированная частота 1682мгц

В режиме "прием" сигнал от зонда через полосно-пропускающий фильтр (ППФ) и ключ ПП1 поступает на МШУ, усиливается по напряжению и через управляемый аттенюатор подается на смеситель "вниз". С выхода смесителя сигнал промежуточной частоты $U_{пч} = 200\text{МГц}$ подается на низкочастотную часть приемного тракта.

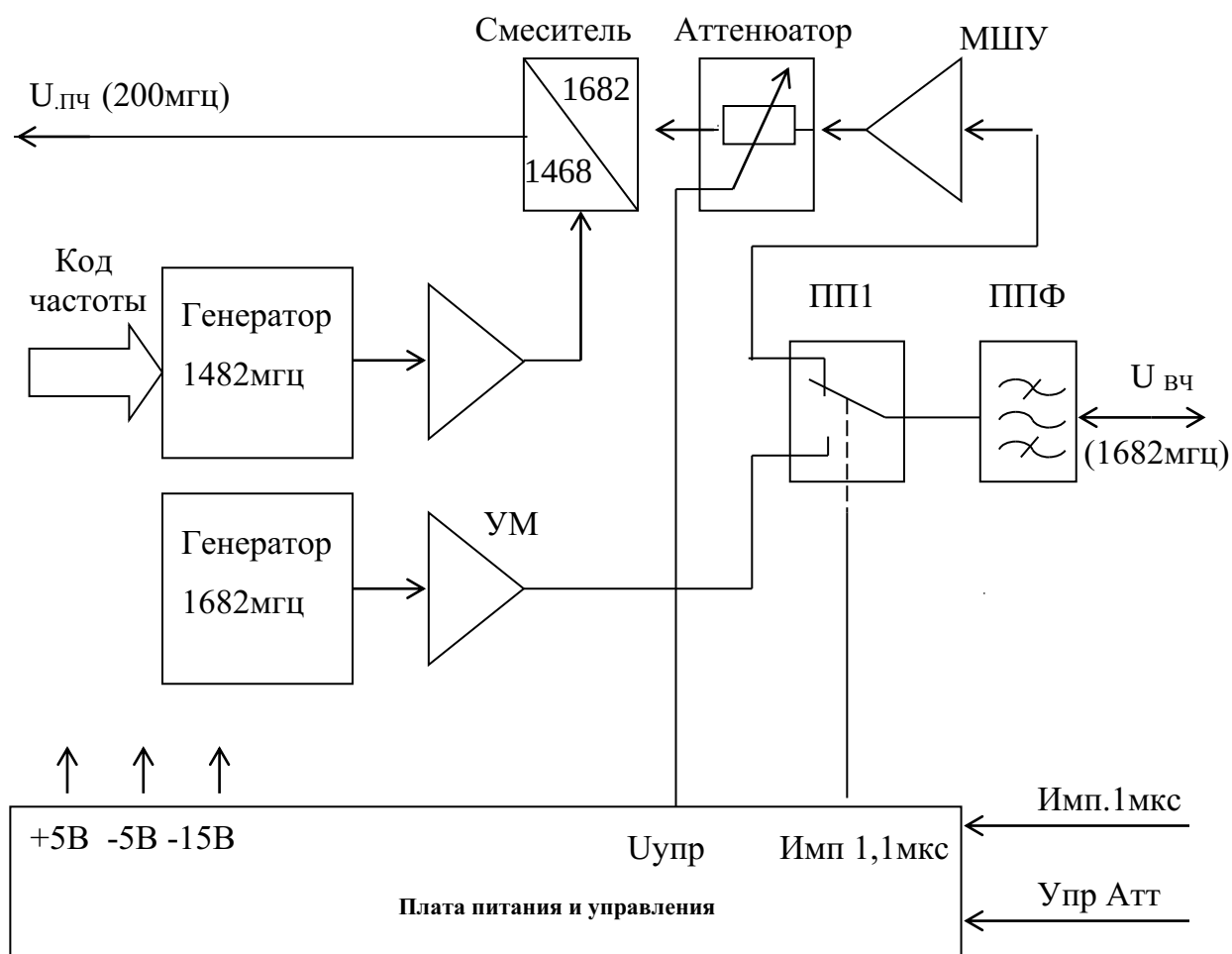


Рис.2.9. Структурная схема СВЧ-тракта блок приемника

ППФ в полосе пропускания $f_{\text{пр}} = 1680 \pm 15$ МГц имеет ослабление порядка -3 дБ, и подавляет боковые частоты не хуже -30 дБ (на $f_{\text{бок}} = 1480$ МГц).

Усилитель МШУ имеет коэффициент шума $K_{\text{ш}} = 2,2$ дБ и коэффициент усиления $K = 13$ дБ. Он служит для компенсации ослабления, вносимого пассивными схемами фильтра и переключателя.

В режиме "передача" выходной сигнал генератора с частотой $f_{\text{пер}} = 1682$ МГц усиливается по мощности в усилителе УМ и через ключ ПП1 "прием-передача" и фильтр ППФ поступает на выход блока ПП. Ключ ПП1 управляется импульсом 1,1 мкс и только во время действия импульса ключ пропускает сигнал. В результате образуется СВЧ-импульс с частотой заполнения 1682 мГц и длительностью 1,1 мкс.

Мощность СВЧ-импульса на выходе усилителя мощности (УМ) составляет $P_{\text{вых.1,68}} \approx 1,0-1,2$ Вт в импульсе, а на выходе блока ПП с учетом потерь в ключе и фильтре $P_{\text{вых.ФЧ}} \approx 0,5-0,6$ Вт.

Управляемый аттенуатор служит для поддержания уровня входного сигнала, необходимого для неискаженной работы смесителя при большой мощности входного сигнала на малых расстояниях между станцией и зондом. При изменении управляющего напряжения $U_{\text{упр}}$, подаваемого с платы питания и управления, от -12 В до -2 В входной сигнал в аттенуаторе ослабляется от -3 дБ до -40 дБ. Спектральный состав промежуточной частоты наилучший, когда уровень сигнала зонда P_c , подаваемого на вход смесителя, не превышает 1-1,5 мкВт. С ростом P_c на выходе смесителя вместе с $f_{\text{пч}} = 200$ МГц появляются различные комбинационные составляющие. В этом случае применение аттенуатора становится необходимым и позволяет существенно избежать искажений промежуточной частоты.

2.3.4.2. ПЧ-тракт блок приемника (ПП)

Основное назначение тракта – дальнейшее усиление принятого сигнала, выделение и обработка огибающей сигнала. Упрощенная функциональная схема тракта приемника ПЧ приведена на рис. 2.10. В тракт входят: усилитель частоты 200 мГц, логарифмический усилитель (ЛУ), схема формирования сигналов ошибки пеленга.

Промежуточная частота 200 мГц после фильтрации и усиления на 20 дБ в усилителе (U_c 200 мГц) подается на логарифмический усилитель (ЛУ). Применение логарифмического усилителя обусловлено тем, что ЛУ выполняет сразу несколько функций по преобразованию и обработке сигнала. Во-первых, ЛУ является усилителем сигнала промежуточной частоты. Во-вторых, с выхода ЛУ снимается огибающая сигнала и ЛУ выполняет функцию детектирования и, в-третьих, ЛУ обладает свойством компрессии сигнала и сужает динамический диапазон сигнала (проявляет себя как усилитель с глубокой отрицательной обратной связью).

Логарифмический усилитель выполнен на микросхеме AD8307. Работает в диапазоне частот от 0 до 500 мГц и на частоте усиливаемого сигнала (200 мГц)

имеет коэффициент усиления 11,5дБ при динамическом диапазоне входного сигнала 93дБ. ЛУ имеет логарифмическую зависимость коэффициента усиления от уровня входного сигнала, что создает неравномерное усиление по принципу: слабый сигнал усиливается сильно, сильный сигнал усиливается слабо. Это свойство позволяет иметь переменную составляющую выходного сигнала 800кГц, практически, постоянного уровня вне зависимости от колебаний уровня входного сигнала. Однако, постоянная составляющая выходного сигнала находится в прямой линейной зависимости от уровня входного сигнала и растет вместе с ним до величин ограниченных только напряжением питания ЛУ.

С выхода ЛУ огибающая сигнала радиозонда 800кГц подается в схему угловых дискриминаторов и, также через усилитель в радиоканал для передачи сигнала 800кГц в блок Поста Оператора для дальнейшей его обработки.

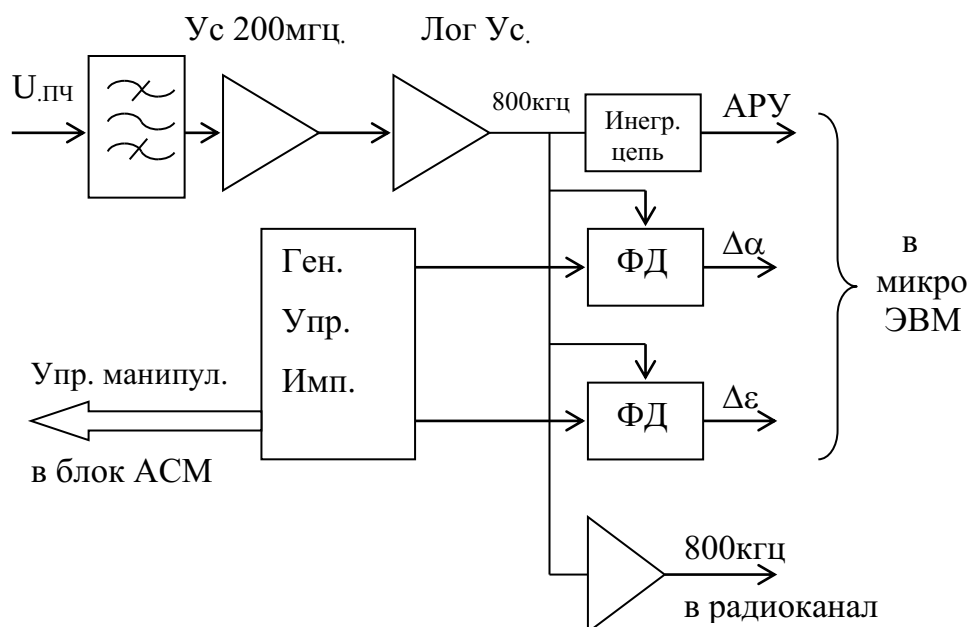


Рис.2.10. Структурная схема ПЧ-тракта блок приемника

Схема угловых дискриминаторов содержит генератор управляющих импульсов, который вырабатывает как сигналы кодов управления манипулятором квадрантного сканирования, так и опорные напряжения фазовых детекторов (ФД) каналов рассогласования по азимуту и углу места. Двухполярные напряжения рассогласования с выходов фазовых детекторов подаются в микро-ЭВМ с целью обеспечения процесса слежения за изменениями угловых координат радиозонда.

Выходной сигнал ЛУ так же подается на интегрирующую цепочку и на ней выделяется постоянная составляющая сигнала 800кГц. Постоянная составляющая однозначно характеризует уровень принимаемого сигнала или степень настройки приемника на частоту принимаемого сигнала и используется (под условным названием АРУ) в индикаторе уровня сигнала на панели оператора и в системе автоподстройки частоты приемника.

На частоту принимаемого сигнала приемник МАРЛ может настраиваться двумя способами: вручную с панели оператора, либо автоматически при включении режима АПЧ. В обоих режимах управление частотой генератора 1482мгц, выполняющего роль гетеродина приемника, осуществляется микро-ЭВМ, которая формирует 12-разрядный код частоты (см. рис. 2.9.). В ручном режиме команда на изменение частоты с указанием направления изменения (уменьшения или увеличения) поступает с ПЭВМ, а в автоматическом режиме Микро-ЭВМ самостоятельно производится качание частоты, циклично меняя частоту так, чтобы производилась расстройка приемника на 0,5мгц. В результате в выходном сигнале приемного тракта появляется амплитудная модуляция с периодом 1сек, которая на работу систем локатора отрицательного влияния не оказывает, но регистрируется через изменения в сигнале АРУ микро-ЭВМ. Программа автоподстройки в микро-ЭВМ анализирует, какому отклонению частоты соответствует большая амплитуда сигнала АРУ, и в этом направлении сдвигает центральную частоту качания. Таким образом, осуществляется непрерывное слежение частоты настройки приемника за частотой несущей радиозонда в пределах 15мгц.

2.4. Схема управления приводом

Схема предназначена для управления исполнительным электродвигателем привода механизма поворота полотна АФАР. Структурная схема управления приводом показана на рис.2.11. В состав схемы входят: ПЭВМ, подключенная через последовательный порт COM 3, адаптер RS 232/485, преобразователь MITSUBISHI и исполнительный электродвигатель.

Исполнительный двигатель трехфазный 220в 50гц 1квт связан с механизмом поворота АФАР при помощи червячного редуктора передаточным соотношением 1/400. Двигатель подключен к выходу транзисторного преобразователя, который предназначен для преобразования питающего однофазного напряжения 220в 50гц в трехфазное управляющее напряжение, и исполнения команд программы управления приводом, подаваемых с ПЭВМ. Преобразователь работает по принципу ШИМ-преобразования управляющего напряжения (см. рис. 2.12.). При ШИМ- преобразовании выходное напряжение получается из выпрямленного входного 220в 50гц методом нарезания с постоянной частотой (возможная установка от 2 кгц до 15кгц) разнополярных импульсов амплитудой 220в переменной скважности. Под воздействием таких импульсов в обмотке двигателя будет протекать переменный ток (см. рис.2.12) заданной частоты и величины.

В преобразователе имеется встроенный процессор с собственным набором команд (в преобразователе они называются параметры и их около 250), которые могут задаваться, или от внешнего компьютера через порт RS-485, или с пульта управления вручную. Для связи ПЭВМ и преобразователя используется автономный адаптер для перехода с канала связи RS-232 на канал RS-485 (канал промышленного стандарта).

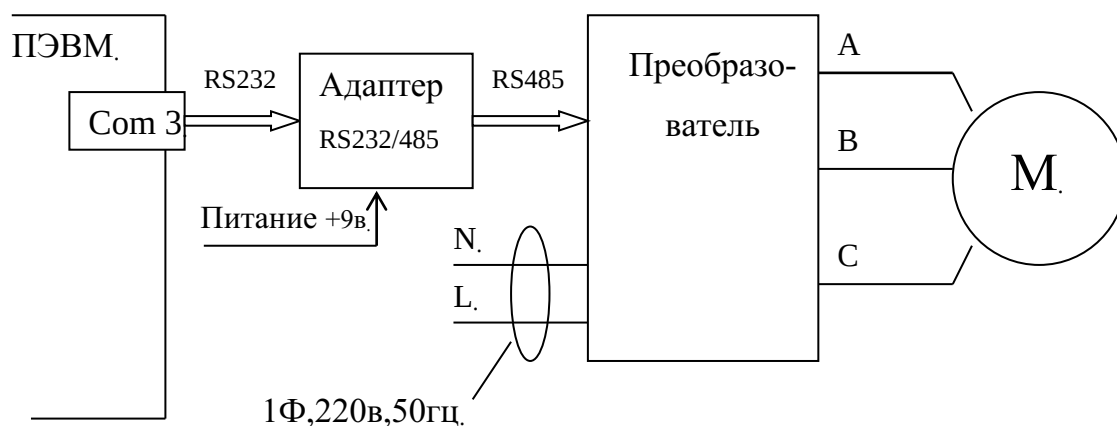


Рис.2.11. Структурная схема управления приводом

В процессе работы привода применяются два режима управления двигателем: режим быстрого вращения и режим медленного вращения. Быстрое вращение, обеспечивает скорость вращения полотна АФАР семь оборотов в минуту, и применяется при пуске с автопоиском, когда антенна непрерывно вращается по кругу, а также при доворотах в ручном режиме управления антенной. Медленное вращение применяется при автосопровождении радиозонда. Оно включается в те моменты, когда в азимутальной плоскости диаграмма направленности электронным способом отклоняется на максимальный угол и требуется дальнейшее отклонение, но уже механическое. Такое механическое отклонение (поворот) антенного полотна производится со скоростью в сто раз меньше быстрого вращения и, при отклонении на 1 градус управление приводом, прекращается.

Имп. напряжения
на выходе преоб-
разователя при
ШИМ-
преобразовании



Действующее
значение тока в
обмотке двигате-
ля

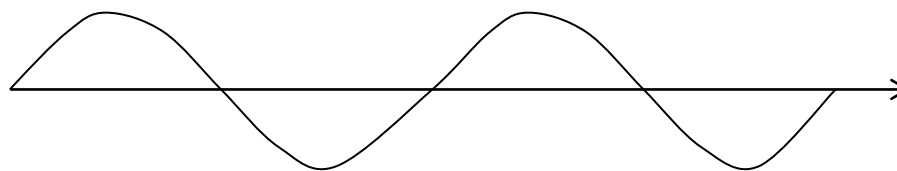


Рис.2.12. Диаграммы, поясняющие принцип ШИМ-преобразования

Ниже показан пример набора значений основных параметров, устанавливающих быстрое и медленное вращение. Быстрое вращение: Номинальное напряжение – 220в; Номинальная частота – 50Гц; Время разгона – 0,2сек; Время торможения - 0,5сек. Медленное вращение: Номинальное напряжение – 100в;

Номинальная частота – 0,5гц; Время разгона – 0,1сек; Время торможения - 0,1сек.

2.5. Управляющая микро-ЭВМ

Основная цель включения в состав оборудования дополнительной, помимо ПЭВМ, микро-ЭВМ – это расчет фазового распределения и управление фазовращателями. Функция расчета фазового распределения требует больших вычислительных ресурсов, и реализовать ее вместе с другими программами управления и обработки в одной, даже очень производительной ПЭВМ, невозможно.

Микро-ЭВМ построена на комплекте стандартных модулей в промышленного исполнения фирмы Octagon Systems (Micro-PC). Функциональная схема микро-ЭВМ приведена на рис. 2.13.

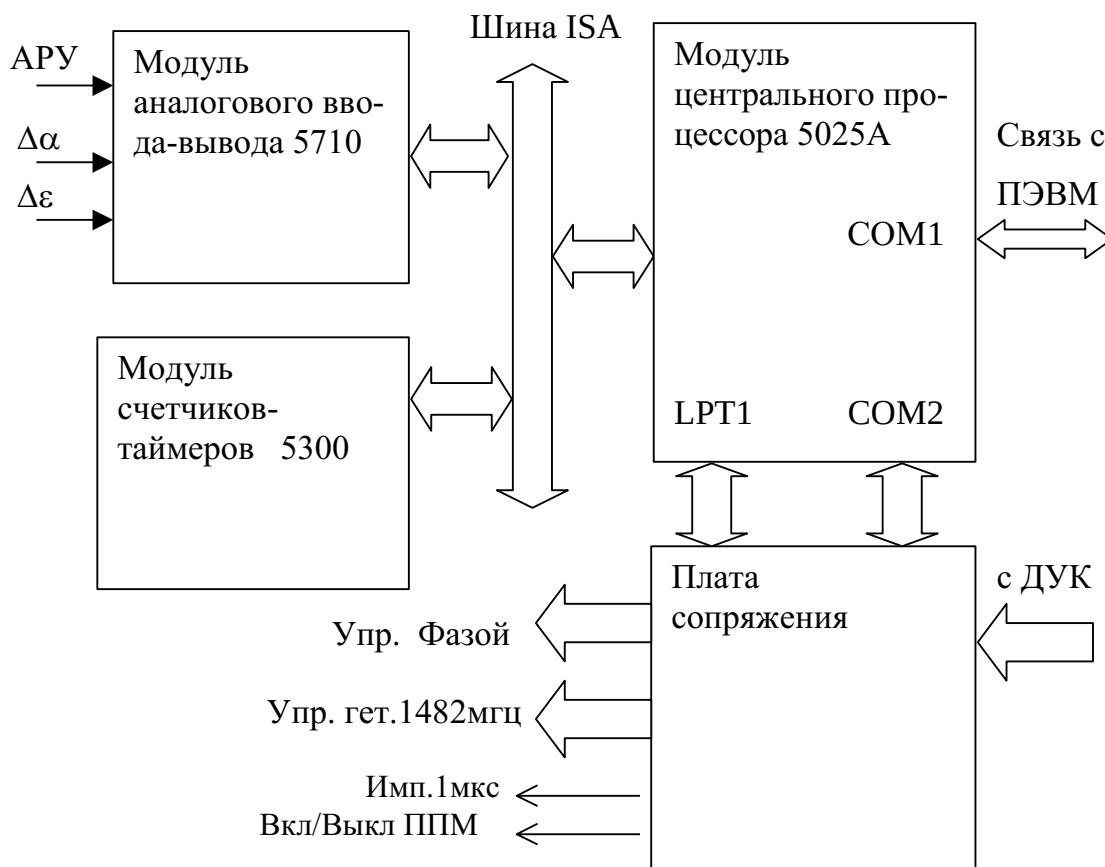


Рис. 2.13. Функциональная схема микро-ЭВМ

В состав микро-ЭВМ входят:

- модуль центрального процессора 5024А;
- модуль аналогового ввода-вывода 5710;

модуль счетчиков-таймеров 5300;
плата сопряжения.

Модуль центрального процессора 506024А использует процессор типа 386SX с тактовой частотой 25 МГц и имеет три банка памяти – УФ-РПЗУ объемом 512 кбайт, в котором хранится система BIOS, DOS. Также имеется Flash РПЗУ объемом 1 Мбайт для размещения программ пользователя и ОЗУ объемом 1 Мбайт. На плате установлена универсальная шина ввода-вывода ISA, через которую подключаются другие модули, а также стандартные порты COM1, COM2, LPT1. Через последовательный порт COM1 осуществляется обмен данными и прием команд от ПЭВМ.

Модуль аналогового ввода-вывода 5710 имеет в своем составе 16-канальный аналоговый коммутатор входных сигналов и 12-разрядный АЦП с частотой выборки до 100 кГц, а также двухканальный 12-разрядный ЦАП. Модуль служит для обработки аналоговых сигналов с выхода приемника (уровня АРУ и сигналов ошибки пленки по азимуту и углу места).

Модуль счетчиков-таймеров 5300 имеет в своем составе 6 16-разрядных программируемых счетчиков-таймеров с максимальной частотой счета 8 МГц и используется для создания всех импульсных управляющих сигналов.

Модули и платы соединены через объединительную шину ISA на несущей плате каркаса, а также плоскими шлейфами через разъемы ввода-вывода на печатных платах модулей.

Нестандартная плата сопряжения служит для обмена с другими устройствами МАРЛ-А – датчиком угол-код (ДУК), блоками фазирования и суммирования всех подрешеток (АСФ), управлением синтезатором частоты в генераторе 1482мгц. Для связи платы с центральным процессором используются стандартные порты ввода-вывода COM2, LPT1.

2.6. ПЭВМ оператора

Особенностью локатора МАРЛ является то, что в нем реализован принцип виртуального управления оборудованием станции. Для этого на мониторе создается панель оператора и через нее при помощи мыши или клавиатуры осуществляются все действия, требуемые при работе на локаторе по управлению, контролю и подстройке параметров.

В качестве ПЭВМ используется стандартный офисный компьютер со следующими минимальными требованиями к конфигурации: Pentium-4, процессор 1.2ггц, оперативная память 512 мбт, жесткий диск 80гбт. В компьютер также входят нестандартные устройства: плата расширения СОМ-портов и плата сопроцессора L-783. Плата расширения увеличивает общее количество СОМ-портов в компьютере, а сопроцессор обеспечивает обработку сигнала Видео для измерения дальности.

В состав сопроцессора входят сверхбыстродействующий АЦП и процессор, который обрабатывает результаты преобразования. Работа по преобразованию сигнала Видео в цифровое представление начинается с приходом заднего фронта импульса дальности, по времени совпадающего с отметкой «нуля» дальности. Сигнал Видео преобразуется по мере его поступления во всем диапазоне

дальности, то есть в интервале до следующего импульса дальности. Результат преобразования сохраняется в памяти и затем обрабатывается с целью нахождения ответной паузы и определения по ней дальности. При таком методе определения дальности отсутствует процесс слежения за дальностью, поэтому, при наличии распознаваемой ответной паузы, невозможна ее потеря и срыв автосопровождения радиозонда по дальности. Для обработки метеочастоты используется стандартный линейный вход звуковой карты, которая в своем составе имеет достаточно мощный АЦП. При поступлении метеочастоты АЦП оцифровывает импульсный сигнал, и затем значения периода и длительности импульса этого сигнала в цифровом коде передает соответствующей программе для пересчета в метеопараметры.

Для связи с микро-ЭВМ, управления имитатором радиозонда и управления приводом задействованы три последовательных порта передачи данных COM1, COM2 и COM3 соответственно. Связь между ПЭВМ и микро-ЭВМ осуществляется посредством передачи пакетов информации с периодичностью 18 пакетов в секунду. В состав пакета, который передает микро-ЭВМ, входят следующие данные: коды электронных углов угла места и азимута, механический угол, величины уровней сигналов ошибки пеленга по азимуту и углу места, частота настройки приемника; уровень сигнала АРУ.

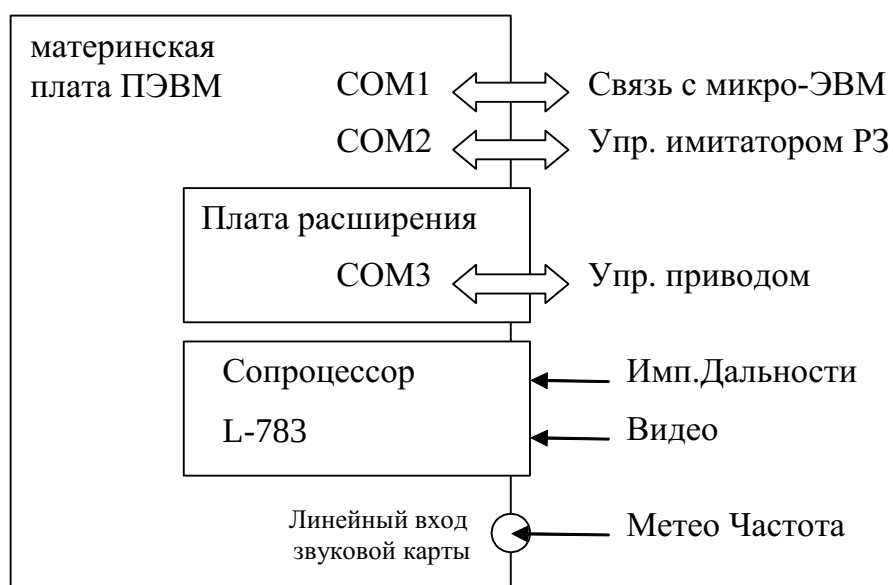


Рис. 2.13. Схема подключения ПЭВМ к локатору МАРЛ

. Все перечисленные данные используются только для индикации на панели оператора положения луча диаграммы направленности, ошибки пеленга, шкалы настройки приемника и индикатора уровня сигнала.

В состав пакета, который передает ПЭВМ, входят следующие данные: углы азимута и угла места, команда на изменение частоты настройки приемника, команда включения аттенюатора, команда переключения в ближнюю зону. Перечисленные данные необходимы для наведения антенны в ручном режиме, для

ручной установки частоты настройки приемника и исполнения соответствующих команд.

2.7. Система электропитания

Многообразие входящих в МАРЛ-А различных систем, узлов и блоков, размещенных в трех различных местах (антенный пост, пост оператора и имитатор) и на подвижной и неподвижной частях антенного поста обуславливают достаточно сложную систему электропитания всей станции.

Функциональная схема системы электропитания приведена на рис. 2.14.

Напряжение первичной сети переменного тока 220 В/50 Гц поступает на источник бесперебойного питания (ИБП) типа UPS-1200, который выполняет функцию фильтрации и стабилизации напряжения сети, а при сбоях в первичной сети обеспечивает питание МАРЛ в течение некоторого времени (порядка получаса).

От ИБП питается ПЭВМ оператора, первичный преобразователь питания сети переменного тока в постоянное напряжение 48 В и блок управления двигателем в антенного привода.

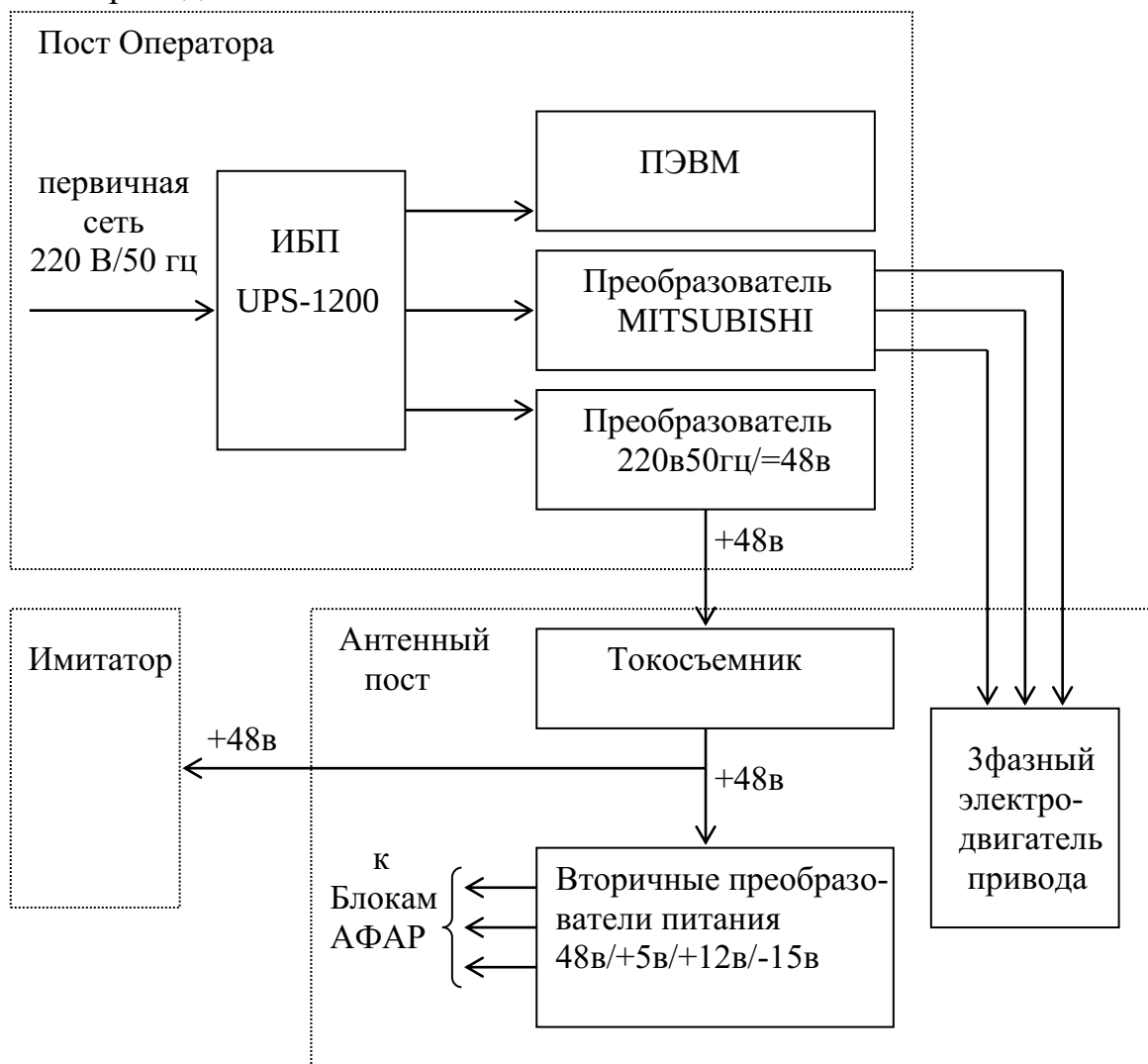


Рис. 2.14. Система электропитания МАРЛ

В качестве первичного преобразователя применен модуль питания KL200A-220S48 фирмы Alexander Electric, обеспечивающий стабильное напряжение постоянного тока 48 В при токе нагрузки до 4,5 А. Это напряжение используется для питания имитатора, а также передается через щеточный токосъемник вращающегося сочленения на подвижную раму АФАР. В АФАР размещен блок вторичных преобразователей питания +5 В, +12 В, -15 В. В качестве вторичных преобразователей питания применены модули питания фирмы Artesyn типа ВХВ50-48S с выходной мощностью 50 Вт, выдерживающие заданные для антенного поста условия эксплуатации (широкий диапазон рабочих температур, повышенная влажность).

Глава 3. конструкция марл

3.1. Состав МАРЛ

В состав станции МАРЛ-А входят три разнесенных в пространстве поста:

- 1) антенный пост;
- 2) пост оператора;
- 3) имитатор радиозонда.
- 4)

3.1.1. Антенный пост

Антенный пост включает в себя основную аппаратную часть радиолокационной станции МАРЛ-А, расположенную на открытом воздухе и защищенную радиопрозрачным обтекателем (см. рис. 3.1.) Аппаратура антенного поста размещена на двух связанных платформах – неподвижном основании и подвижной – АФАР. Неподвижное основание служит несущей конструкцией всей аппаратуры антенного поста. На нем размещены электромеханический привод с редуктором и блоком управления двигателем, блок связи с постом оператора, средства горизонтирования станции и вращающееся сочленение с подвижной АФАР. Электромеханический привод обеспечивает вращение АФАР по азимуту в пределах 360^0 относительно неподвижного основания.

АФАР обеспечивает электронное управление положением луча диаграммы направленности (электронное сканирование) по азимуту и углу места. В азимутальной плоскости применяется еще и комбинированное электронное и механическое сканирование луча. Это позволяет минимально использовать механику в локаторе и существенно снизить требования по точности изготовления механического привода и точности съема информации с датчика угол-код за счет того, что конечная установка луча ($\pm 0,05^0$) обеспечивается электронным способом, а задача механического привода – лишь удерживать цель в главном максимуме диаграммы направленности антенного полотна. При этом требования по точности установки механического привода снижаются до $\pm 0,5^0$.

Используемые принципы управления лучом позволяют снизить до минимума эксплуатационные требования, при которых локатор МАРЛ может характеризоваться как необслуживаемое оборудование не требующее в течение длительного срока профилактических работ, обычно связанных со сложной механической частью.

Использование электронного сканирования, также позволило реализовывать режим поиска цели в пространстве в первые пять минут сопровождения радиозонда, что невозможно для систем слежения с механическим приводом антенны, обладающих большой инерцией. Управление лучом в МАРЛ позволяет проходить один шаг сканирования (луч – вверх, вниз и поворот) за одну сотую секунды, а все пространство по кругу проходить за 10сек (ограничение связано с пределом скорости вращения антенного полотна по кругу - 7 оборотов в минуту). Режим поиска может включаться по усмотрению оператора, в тех случаях, когда наблюдаются неблагоприятные условия выпуска радиозонда.

3.1.2. Пост оператора

Пост оператора (см. рис. 3.2.) включает в себя персональный компьютер оператора (ПЭВМ), систему бесперебойного питания и распределительный щит включения питания и связи с антенным постом и имитатором радиозонда. Аппаратура поста оператора связана с антенным постом 30 метровым кабелем.

3.1.3. Имитатор радиозонда

Имитатор радиозонда служит для автоматического контроля исправности МАРЛ-А после включения станции и располагается стационарно на территории обсерватории в зоне прямой видимости на расстоянии порядка 50-100 м от антенного поста. Имитатор представляет собой такой же передатчик, как в штатном радиозонде и плату формирования телеметрического сигнала с калиброванными параметрами температуры и влажности.

Рис. 3.1. Антенный пост

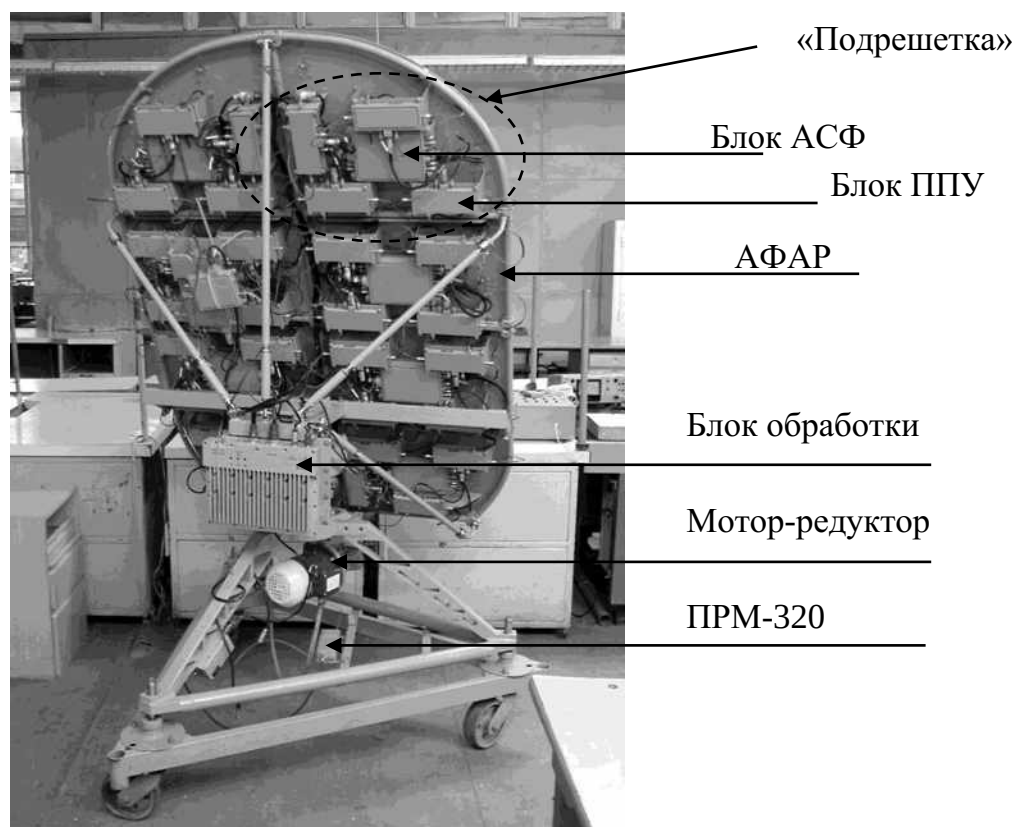
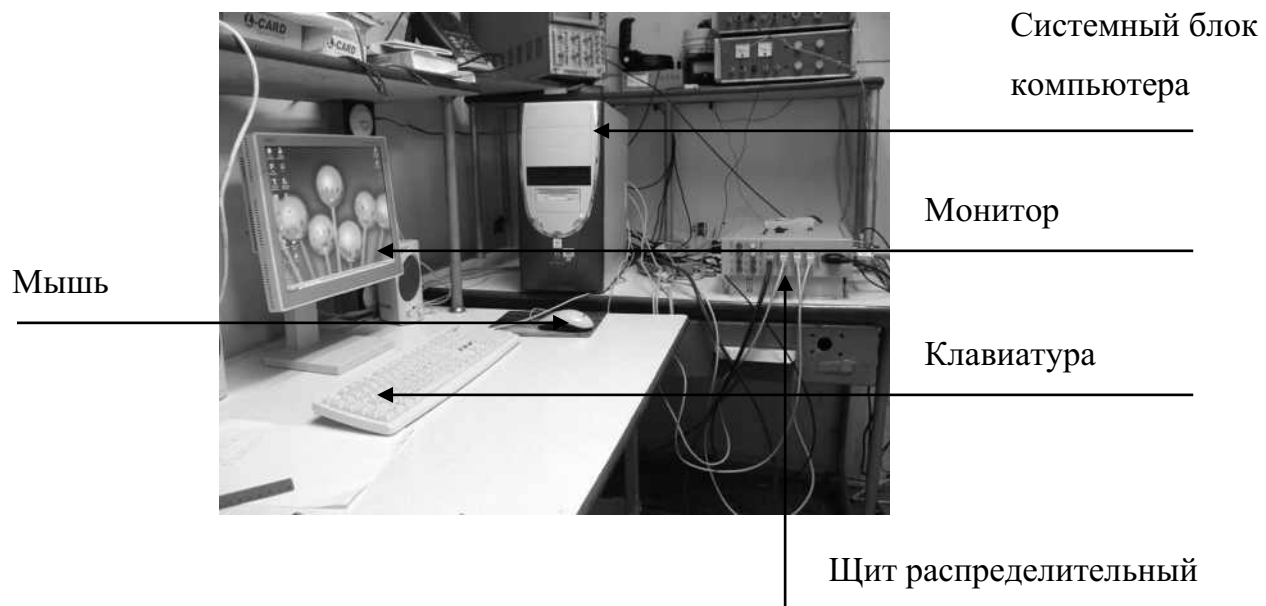
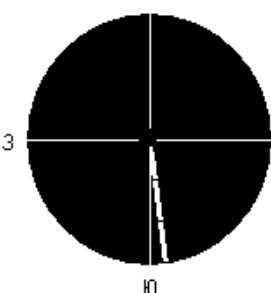


Рис.3.2. Пост оператора



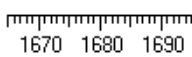
Установки и пуск		Температура/Влажность		Ветер	
Приземные метеоданные T: 6 P: 1008 H: 50 Ветер: 248 Скорость: 2 Облач.: 8////			Параметры станции Индекс: 12345 Долгота: 37.6 Широта: 55.7 Высота: 150 Параметры p-зонда A (7) 0.05857 B (8) 4658.5 C (9) 97.15 R1 (1) 29.846 R2 (2) 29.867 K (10) 111.7 N (11) -7.8 M (12) 0.033		
Место пуска Азимут: 180 Угол места: 10 Расстояние: 150 Координаты Солнца Азимут: 181.66 Угол-места: 44.75			☒ Автопоиск при пуске Изменить данные Пуск Автопоиск		

28.71 172.23 1.74 10.47




Управление локатором
 << < || > >>
 ^
 v
☐ Ближняя зона
☐ Аттенюатор
 Захват

Дальность, м.: 14440
 Высота, м.: 150
 Вертикаль. скор.: /////
 Опорная частота: 626
 Температура, С: -43.3
 Влажность, %: 3
 Давление, мб: 1008

Настройка частоты
 1681.00


АПЧ




☐ Необработанный сигнал Окно 0

Рис. 3.3. Пульта оператора