

Н. С. КОКОВИН

РАДИОТЕЛЕМЕТРИЯ  
ЗОНДИРОВАНИЯ  
АТМОСФЕРЫ

24044

БИБЛИОТЕКА  
Ленинского  
Гидрометеорологического  
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД · 1966

УДК 551.508.822+551.501.81

Отв. редактор ПАВЛОВ Н. Ф.

В монографии систематизированно излагаются принципы построения телеметрических каналов электронных приборов разового действия (радиозондов) и наземных установок. Рассматриваются перспективы повышения надежности аппаратуры радиотелеметрических систем, а также некоторые вопросы использования электронных вычислительных машин для обработки данных комплексного зондирования атмосферы при автоматизации аэрологической сети.

Монография рассчитана на специалистов-аэрологов, инженерно-технических работников гидрометеорологической службы, радиоспециалистов смежных служб, эксплуатирующих радиолокационные станции со счетно-решающими блоками и др.

Книга может быть использована студентами высших и средних учебных заведений, занимающимися изучением технических средств зондирования атмосферы.

The monograph presents a systematized description of the structure of telemetering channels of electronic single instruments (radio-sondes) and ground installations. Promising increase in reliability of the radiotelemetering instruments are considered as well as the use of electronic computers for processing data of complex sounding of the atmosphere.

We hope this monograph will prove useful to: aerologists, engineers and technicians of hydrometeorological service, radiospecialists in related fields dealing with the maintenance of radars and computers, and other specialists. It is intended as a manual for students of higher and secondary educational institutions engaged in technical means of sounding of the atmosphere.

## ВВЕДЕНИЕ

Радиотелеметрией называется раздел радиотехники, охватывающий методы и средства передачи по радио результатов измерений.

За последние десятилетия радиотелеметрия нашла широкое применение в народном хозяйстве. Радиотелеметрические системы с успехом используются при научных исследованиях всей толщи атмосферы и космического пространства с помощью радиозондов, ракет и искусственных спутников Земли. Зарождение радиотелеметрии тесно связано с метеорологией. Первым в мире радиотелеметрическим прибором был радиозонд Молчанова, выпущенный в свободный полет в СССР 30 января 1930 г.

С развитием радиоэлектроники совершенствовались методы и средства зондирования атмосферы. Импульсная и сверхвысокочастотная техника позволили создать аппаратуру для определения ветровых характеристик. Зондирование атмосферы стало комплексным или температурно-ветровым.

Одновременно с усовершенствованием радиозондов в настоящее время разрабатываются устройства для автоматической регистрации и расшифровки сигналов радиозондов с помощью наземной приемной и электронно-вычислительной аппаратуры. Подобная аппаратура в принципе носит универсальный характер, что позволяет использовать ее для приема и обработки информации не только от радиозонда, но и от других средств зондирования атмосферы.

Применение метеорологических ракет значительно увеличивает высоту зондирования и, как правило, увеличивает число измеряемых параметров.

Еще большие перспективы зондирования атмосферы в глобальных масштабах намечаются благодаря использованию метеорологических искусственных спутников Земли. Однако ракетное зондирование, так же как и спутниковое, — особая область телеизмерений.

Настоящая монография посвящена в основном радиотелеметрии температурно-ветрового зондирования; данные же из

области ракетного зондирования привлекаются лишь для иллюстрации того общего, что имеется между этими видами телеизмерений.

Содержание книги рассчитано на аэрологов сети ГУГМС, осваивающих новые приборы и оборудование комплексного зондирования атмосферы, работников заводов гидрометеоприборов и учащихся гидрометеорологических техникумов.

В монографии в доступной форме излагаются вопросы об устройстве, принципе работы и надежности приборов разового действия (радиозондов). Одновременно рассматриваются основные телеметрические каналы наземных измерительных установок комплексного зондирования атмосферы.

По материалам отечественной и иностранной литературы излагаются перспективы использования счетно-решающих и автоматических устройств для комплексной автоматизации аэрологической сети.

Автор выражает глубокую благодарность М. В. Кречмеру и канд. техн. наук Н. Ф. Павлову, взявшим на себя труд рецензирования рукописи и давшим ряд ценных советов по ее улучшению.

## Глава 1

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

#### § 1. Структурно-функциональная схема радиотелеметрического канала

В настоящее время в метеорологической службе применяется большое количество технических средств зондирования атмосферы, различающихся по принципу действия, способу применения и конструкциям.

Общее представление о работе и устройстве технических средств зондирования можно получить из структурно-функциональной схемы.

Структурно-функциональная схема любого аэрологического прибора, будь то радиозонд, аппаратура метеорологической ракеты или искусственного спутника Земли, по существу представляет собой функциональную схему радиотелеметрической системы (РТС). Радиотелеметрическая система состоит из передающей установки (зонд, ракета), канала связи и наземной установки (радиостанция, радиолокатор).

Структурная схема передающей установки (рис. 1.1) состоит из измерительных звеньев, выполняющих функции датчиков измеряемых величин  $A_1, A_2, A_3$ , датчика контрольного параметра, преобразователя (шифратора) и радиопередатчика. Датчики представляют собой устройство, воспринимающее измеряемые величины и преобразующее их в электрические сигналы. Примером датчиков измеряемых величин могут служить датчики температуры. В качестве датчиков температуры в современных радиозондах используются терморезисторы (термисторы), биметаллические термометры (радиозонд А-22-IV); в метеорологических ракетах применяются термометры сопротивления.

Помимо датчиков измеряемых величин, имеется датчик так называемого контрольного параметра  $S_K$ . Параметр  $S_K$  может принимать одно-два заранее заданных значения или более. С помощью параметра  $S_K$  расшифровываются результаты телеизмерений.

Датчиком контрольного параметра в радиозонде А-22-VI является устройство для относительно длительного замыкания цепи модуляции радиопередатчика (контактная система разделительного типа). В радиозонде РКЗ-1 датчиком контрольного параметра является опорное сопротивление, а в метеорологической ракете типа МР-1 в качестве контрольного параметра периодически передаются значения контрольных напряжений.

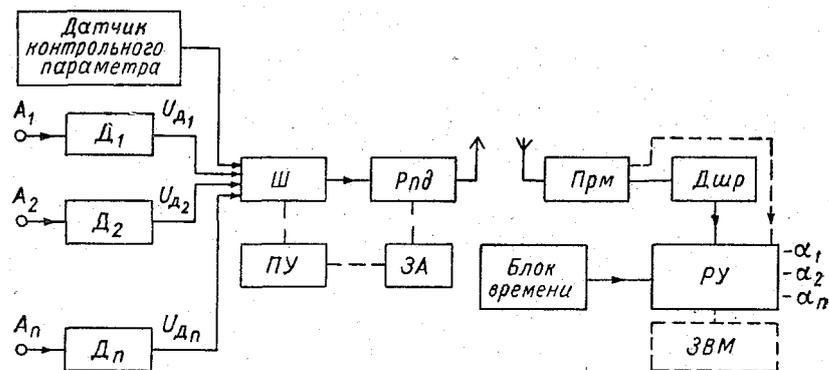


Рис. 1.1. Структурно-функциональная схема РТС зондирования атмосферы.

Датчиком контрольного параметра в радиозонде РЗ-049 является звездочка «позывного».

Сигналы, отображающие измеряемые величины с датчиков, поступают в звено шифратора, где они кодируются. Сущность кодирования состоит в преобразовании величин, отображающих значения измеряемых параметров, в определенную форму, удобную для последующего обращения с этими величинами. В состав шифраторов обычно входят коммутаторы, генераторы электрических колебаний различных типов, суммирующие устройства и т. д.

В качестве преобразователей (шифраторов) используются разнообразные схемы механических преобразователей типа кодового барабана (радиозонд А-22-IV), электронных преобразователей типа генераторов поднесущих частот, модулирующих несущую частоту радиопередатчика (радиозонд РКЗ-1) и др.

В РТС комплексного зондирования атмосферы в основном применяется временное разделение каналов. При этом последовательность передачи измеряемых параметров обеспечивается программными механизмами.

Так, в радиозонде А-22-III роль программного механизма выполняет вертушка, обеспечивающая вращение кодового барабана. В радиозонде А-22-IV в качестве программного механизма используется микродвигатель, выполняющий ту же роль;

в радиозонде РКЗ-1 очередность передаваемой информации определяется работой баропереклювателя. Заполняющие устройства ЗА применяются обычно в ИСЗ, в серийных радиозондах этих блоков нет.

В качестве радиопередатчиков применяются малогабаритные маломощные ультракоротковолновые радиопередачи, работающие в метровом и дециметровом диапазонах. Радиосигналы, выработанные передатчиком, излучаются передающей антенной.

В наземной установке принятые сигналы усиливаются и детектируются, так что на выходе приемника образуется напряжение подобное модулирующему напряжению передатчика. Это напряжение подается в дешифратор, основной задачей которого является декодирование сигналов и их преобразование в форму, удобную для регистраций. Результаты телеизмерений записываются с помощью регистрирующего устройства. Для записи результатов используются регистраторы, печатающие информацию на бумажной ленте, различного рода осциллографы с фотоприставками и стрелочные самописцы. Помимо средств записи, регистрирующее устройство наземной установки обычно включает приборы, позволяющие контролировать и визуально наблюдать за характером изменения измеряемых величин в процессе зондирования.

Структурная схема наземной установки, предназначенной для приема и регистрации информации, передаваемой по каналу связи, состоит из радиоприемника *Прм*, дешифратора *Дшр*, регистрирующего устройства *РУ* и блока времени.

При зондировании атмосферы комплексом радиозонд А-22-IV — теодолит «Малахит» функцию приемника выполняет блок приемника радиотеодолита, функцию дешифратора — блок автоматического регистратора ПР-19, функцию регистрирующего устройства — полуавтоматический регистратор ПР-4 и, наконец, функцию блока времени — реле времени ПР-9.

Результаты измерений, зарегистрированные наземной установкой, подвергаются обработке. Путем анализа записанных сигналов измеряемых величин и контрольного параметра определяются значения каждой измеряемой величины в отдельные моменты времени.

Для привязки измеряемых величин к определенным моментам времени, что особенно важно при комплексном температурно-ветровом зондировании атмосферы, на ту же бумажную ленту или фотопленку, на которой проводится запись, наносятся так называемые метки времени. Расстояния между метками обозначают определенный временной интервал (в ПР-4 он равен 1 мин., на ленте РКЗ-1 — 30 сек.).

Блок времени, как правило, является составной частью приемной установки, однако он может придаваться к регистратору в виде отдельного устройства.

Радиотехнические наземные установки типа радиотеодолитов и радиолокаторов, предназначенные для наблюдения за поднимаемыми приборами и регистрации результатов комплексного зондирования, широко распространены не только в СССР. Наибольшее развитие радиоветровое зондирование получило в период Международного геофизического года, когда в ряде стран были сконструированы специальные радиопеленгационные установки.

Так, например, в США широкое распространение получил радиотеодолит AN/GMD-1 и более поздний вариант его AN/GMD-2, работающий на частоте 1680 Мгц. Особенностью этих устройств является наличие систем автоматического сопровождения радиозонда и регистрации угловых координат с одновременной регистрацией давления, температуры и влажности без дальнейшей обработки информации.

Более совершенной является новая американская метеорологическая система зондирования атмосферы AN/TMQ-7, включающая в комплект наземную радиолокационную станцию со счетно-решающей приставкой AN/TMQ-19 и метеорологические зонды AN/AMQ-23 и AN/AMQ-22, сконструированные по низкочастотному способу [84]. Вся система работает в Мгц-диапазоне на одном из 19 каналов, чем обеспечивается повышенная надежность и помехозащищенность.

Система обеспечивает зондирование атмосферы снизу вверх и сверху вниз.

Радиозонд AN/AMQ-23 — восходящий. Он поднимается на шаропилотной оболочке до 30 км в течение часа.

Радиозонд AN/AMQ-22 — нисходящий. Он поднимается на ракете типа «Локи» на заданную высоту и после отделения от ракеты опускается на парашюте. Каждый зонд, кроме радиоаппаратуры, передающей информацию о телеметрируемых параметрах атмосферы и сигналы дальности, имеет пассивный радиолокационный отражатель, предназначенный для ветровых измерений при выходе из строя радиоаппаратуры. Уголкового отражателя представляет собой легкий складывающийся четырехгранный отражатель, обеспечивающий сопровождение по дальности восходящего зонда до 160 км, сбрасываемого до 50 км. Значительная дальность сопровождения обеспечивается за счет использования параметрического усилителя системы приема.

Для стабилизации скорости подъема и спуска зондов к ним добавляются тормозные устройства. Для нисходящего зонда это устройство представляет собой резиновую оболочку, наполняемую воздухом в момент отделения зонда от ракеты. Тормозное устройство восходящего зонда представляет собой бумажный парашют, стабилизирующий подъем и используемый после разрыва оболочки для спуска.

Во Франции и ряде других стран [8, 25, 58, 75] применяются радиотеодолиты «Метокс», с несущей частотой 390—470 Мгц. Особенностью этого радиотеодолита является наличие плоскостной синфазной антенны, заменяющей параболоид. Прототипом радиотеодолита «Метокс» является американский радиотеодолит SCR-658.

Наконец, в Линденбергской аэрологической обсерватории (ГДР) в 1951 г. был сконструирован радиотеодолит, работающий в диапазоне частот 400—420 Мгц. Указанный радиотеодолит позволяет осуществлять комплексное температурно-ветровое зондирование атмосферы с автоматической регистрацией в процессе наблюдения угловых координат и метеорологической информации радиозонда. Пеленгование зонда ведется методом равносигнальной зоны при коническом разворачивании диаграммы направленности. Ширина диаграммы направленности антенны равна  $18^\circ$ , точность измерения угловых координат в диапазоне от  $10^\circ$  вертикального угла составляет  $\pm 0,15^\circ$ . Дальность действия радиотеодолита составляет 150 км.

Определение наклонной дальности до радиозонда определяется с помощью радиолокаторов.

С точки зрения принципа определения наклонной дальности до сопровождаемого зонда все радиолокаторы делятся на два класса.

К первому классу относятся радиолокаторы, измеряющие наклонную дальность фазовым методом, а ко второму — радиолокаторы, измеряющие расстояние импульсным способом, т. е. по времени прохождения зондирующим импульсом пути от локатора до цели и обратно.

К первому классу можно отнести радиолокационные установки, применявшиеся в Германии во время второй мировой войны типа Flegertmaus, работающие в комплексе с радиопередатчиком зонда типа WSE-2 (Mücke). Принцип действия указанной системы основан на измерении фаз двух одинаковых частот: частоты запроса радиолокатора и частоты ответчика радиозонда.

Разница в фазах тем больше, чем больше расстояние между объектами. Сравнение фаз позволяет измерить это расстояние. В частности, в данной системе изменение фазы на  $360^\circ$  соответствует расстоянию до зонда, равному 20 км.

В настоящее время этот метод широкого применения не нашел.

Ко второму классу относятся радиолокаторы типа Wurzburg-Rise, Wurzburg-D и Freya, также применявшиеся в Германии во время второй мировой войны.

В США широко применяется локатор CR-584, а в Англии — GL-III и др.

В последние годы большой известностью пользуется

английский радиолокатор для измерения ветровых характеристик KW-1, который при потребляемой мощности 1,5 квт имеет мощность в импульсе 20 квт.

Радиолокатор «Декка» предназначен только для ветрового зондирования. Ветровые характеристики рассчитываются по угловым координатам и наклонной дальности.

В настоящее время разработана станция KW-2 с мощностью в импульсе 300 квт.

Что касается РЛС типа Wurzburg-Rise, то для работы с ней в качестве пассивного отражателя используется мишень в виде 300 капроновых лент, простеганных металлическими нитями. Диаметр мишени 2,5 м при длине лент 2,6 м. Громоздкость мишени затрудняет производство срочных ветровых зондирований атмосферы. Замена пассивной мишени активным ответчиком радиозонда типа Biene увеличивает дальность действия в 6 раз, и поэтому ответчик находит более широкое применение.

При разработке комплексов зондирования радиозонд (ракета) — наземная установка к ним предъявляется ряд общих требований, основное из которых заключается в том, что система должна обеспечить заданную точность измерений в диапазоне измеряемых величин. Погрешность измерения оценивается максимальной или среднеквадратической ошибкой.

Неодинаковый ход метеозлементов по высоте приводит к тому, что не все величины нужно передавать и регистрировать с одинаковой точностью и частотой. Для монотонно изменяющихся величин частота регистрации может быть уменьшена. В тех случаях, когда требуется получить качественные данные об исследуемых величинах, погрешность может составлять 10—30% (измерение влажности РЗ-049). Для получения количественных данных точность должна достигать 0,1—0,5% измеряемой величины.

Другими общими требованиями к комплексам зондирования являются: многоканальность, надежность работы, малогабаритность (особенно малый вес передающей установки), стабильность работы, помехоустойчивость, простота эксплуатации, получение данных в форме, удобной для обработки, быстрота обработки зарегистрированной информации, работоспособность системы при большом диапазоне изменений давления, температуры и влажности окружающей среды. Число измеряемых параметров в системе температурно-ветрового или ракетного зондирования атмосферы определяет требуемое количество каналов радиотелеметрической системы.

Под многоканальностью при временном разделении каналов понимают передачу нескольких сообщений на одной несущей частоте. Применительно к радиотелеметрии комплексов зондирования это означает, что сигналы нескольких датчиков передаются с помощью одного радиопередатчика, принимаются и

усиливаются приемником наземной установки, после чего по отдельности записываются регистратором.

По способам формирования и передачи сигналов отдельных каналов многоканальные радиотелеметрические системы зондирования подразделяются на три типа.

К первому из них относятся системы с кодовым разделением, когда сигналы о значении измеряемых величин отличаются друг от друга кодовыми комбинациями.

Ко второму типу относятся системы с временным разделением, когда сигналы, соответствующие различным значениям измеряемых величин, отличаются друг от друга временным интервалом между двумя импульсами (опорным и сигнальным).

К третьему типу относятся системы с частотным разделением, когда сигналы отличаются друг от друга по частоте.

Таким образом, характерным для РТС комплексного зондирования является то, что сигналы от различных групп датчиков смещены во времени, а внутри каждой группы отличаются друг от друга либо кодовыми комбинациями, либо частотами, либо временными интервалами, т. е. налицо комбинированное разделение сигналов.

В перечисленных радиотелеметрических системах могут применяться различные виды модуляции.

По методам регистрации радиотелеметрические системы зондирования разделены на следующие виды: с непрерывной регистрацией дискретной и смешанной.

По способу обработки информации измерительные системы подразделяются на автоматические и на полуавтоматические.

## **§ 2. Классификация радиозондов и требования к телеметрическому каналу**

За последние годы во многих странах мира появилось множество различных конструкций радиозондов.

По своему назначению все существующие радиозонды целесообразно разделить на серийные, используемые для систематического зондирования на станциях аэрологической сети, и радиозонды специального назначения, используемые периодически для специальных измерений в некоторых обсерваториях [75, 80].

К серийным относятся практически все радиозонды комплексного зондирования.

К радиозондам специального назначения относятся радиозонды для актинометрических измерений в свободной атмосфере; радиометрические радиозонды для измерения интенсивности космической радиации; радиозонды для электростатических измерений в свободной атмосфере, измеряющие потенциал электрического поля и его градиент; озонметрические радио-

зонды, измеряющие распределение озона в атмосфере по вертикали; приземные радиозонды для градиентных измерений метеоэлементов и другие радиозонды, используемые для научных исследований. По методу использования все радиозонды делятся на восходящие, предназначенные для зондирования атмосферы снизу вверх, на нисходящие, предназначенные для зондирования атмосферы сверху вниз, а также на уравновешенные, используемые для измерений на определенном уровне, и увлекаемые потоком.

В первом случае зонды поднимаются на шарах-пилотах, во втором случае они сбрасываются на парашютах с различных носителей (самолетов, аэростатов и ракет). Уравновешенные зонды предполагается использовать на автоматических аэростатах.

В основу классификации радиозондов положены диапазон волн, род излучаемых колебаний и др. Однако наиболее важным признаком, характеризующим радиозонд как радиотелеметрический прибор, является тот параметр, которым передается значение измеряемой величины по каналу связи.

Анализ конструкций радиозондов, известных к настоящему времени, показывает, что в радиозондировании используются все основные типы телеизмерительных устройств: кодовый, временной, частотный и смешанный.

Частотный способ в свою очередь подразделяется на числовой, низкочастотный и высокочастотный.

**Кодовый способ.** Кодами называют системы условных комбинаций сигналов или элементарных знаков, употребляемые для передачи информации.

Сущность кодового метода в многоканальных радиотелеметрических системах типа радиозонд сводится к тому, что в каждом из каналов используется периодическая последовательность групп импульсов, называемых кодовыми группами. Чаще всего эти группы импульсов соответствуют сигналам азбуки Морзе. Обязательными признаками каждого кода являются краткость и четкость составляющих его знаков и однозначность содержания.

Указанная особенность кодового способа обеспечивает высокую скорость передачи данных. По сравнению с ним все другие способы телеизмерений в радиозондировании в процессе приема сигналов требуют вспомогательных измерений или счета с затратой времени. Кодовый способ телеизмерений позволяет обходиться маломощными малогабаритными передатчиками, так как прием кодовых сигналов возможен даже при наличии помех и замирания слышимости. При приеме сигналов на слух смысловой характер кодового сигнала в большинстве случаев улавливается не по подсчету коротких и длинных сигналов, а по ритму мелодии звучания.

В кодовом способе процесс измерения того или иного параметра отделен от процесса передачи информации, так как в данном случае радиопередатчик предназначен только для передачи сформированного сигнала, а несущая частота играет лишь роль переносчика сигнала. Во всех других способах процесс передачи оказывает влияние на сигнал и может привести к увеличению общей погрешности и к искажению информации.

В радиозондах, сконструированных по кодовому принципу, обычно используются датчики деформационного типа. Преобразование деформации датчиков в кодовую комбинацию импульсов осуществляется с помощью кодовых дисков или барабанов, на внешней поверхности которых нанесены контакты в виде кодового орнамента, соответствующие различной комбинации знаков. При вращении барабана к его поверхности прижимается контактная стрелка, выполняющая роль ключа для каждого датчика.

В зависимости от положения контактной стрелки того или иного датчика на поверхности вращающегося барабана происходит замыкание и размыкание электрической цепи радиопередатчика, т. е. получаются сигналы, определяющие значение метеозлемента. Двигателем кодового барабана обычно служит либо пропеллер (вертушка), либо часовой механизм, либо малогабаритный электромотор.

Замыкание и размыкание электрической цепи радиопередатчика (анодной или сеточной) приводит к получению импульсов высокой (несущей) частоты, что называется кодово-импульсной манипуляцией (КИМ). В связи с этим описываемый метод часто называют кодово-импульсным. К радиозондам с кодово-импульсной манипуляцией относятся серийные отечественные радиозонды А-22-III, А-22-IV и А-22-VI. Конструкция радиозонда А-22-IV иллюстрируется на рис. 1.2.

Отмечая положительные особенности кодового способа, нельзя не отметить и существенный недостаток, заключающийся в дискретности получаемых данных. При кодовом способе фактически производится поочередно два вида телеизмерений: менее точные и более точные.

Менее точные измерения получают в периоды ожидания изменений в сигналах. В моменты смены сигналов точность измерений резко возрастает и измерение величины метеозлемента обеспечивается с минимальной погрешностью.

При ожидании смены сигналов степень точности ограничивается ценой деления ступенчатой шкалы датчика.

При смене сигналов точность измерений определяется порогом чувствительности датчика<sup>1</sup>, данными его тарировки, качеством выдержки, влиянием гистерезиса и т. д.

<sup>1</sup> Порогом чувствительности принято называть то минимальное изменение наблюдаемой величины, которое еще может быть достаточно отчетливо зарегистрировано.

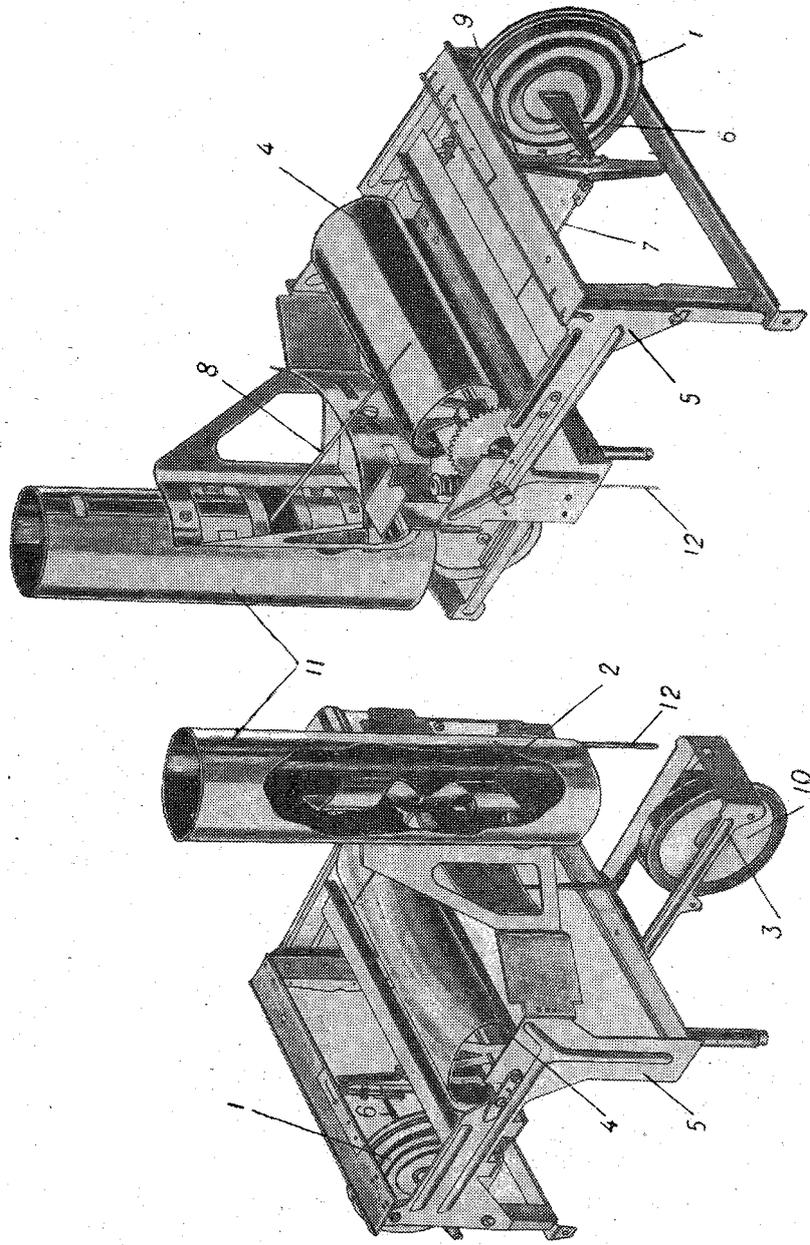


Рис. 1.2. Конструкция радиозонда А-22-III.

1 — Узел давления, 2 — узел температуры, 3 — узел влажности, 4 — коловый барабан, 5 — щетки рамы, 6 — пружинный кронштейн, 7 — контактная стрелка мембранных коробок, 8 — контактная стрелка узла температуры, 9 — биметаллический термокомпенсатор, 10 — мембранный приемник влажности, 11 — радиационная защита, 12 — ось вертушки.

Другими недостатками кодового способа, и в частности при использовании кода Морзе, являются:

а) трудность автоматизации процесса приема, так как устройство декодирования должно иметь сложную логическую систему смысловой оценки принятой информации,

б) неравномерность кода Морзе, затрудняющее декодирование,

в) возможность искажения целой группы информации за счет искажения любой посылки в элементе кода,

г) относительно небольшая скорость передачи.

Особенности кодово-импульсного способа определяют область его применения в радиозондировании. Этот способ наиболее пригоден для измерения монотонно изменяющихся параметров, например для измерения давления, так как оно закономерно изменяется с высотой. Однако он менее пригоден для передачи информации о влажности. Поэтому в радиозонде системы Молчанова для повышения точности не случайно использовались два способа: кодовый и числовой. Кодовый способ использовался для передачи информации о давлении и температуре, числовой — для передачи сигналов о влажности.

**Временной способ.** Временной способ телеизмерений основан на том, что положение указателей датчиков характеризуется промежутком времени между начальным (контрольным) сигналом и рабочим сигналом, момент наступления которого зависит от положения указателей. Изменению параметров измеряемых элементов соответствует изменение временного интервала между контрольным и рабочим сигналами. По этому методу кодирование осуществляется с помощью шифратора путем замыкания электрической цепи передатчика в моменты, соответствующие начальному и рабочему сигналу, или же паузой в работе передатчика (рис. 1.3).

Шифратор, применяющийся при этом методе, может представлять собой диск с контактной стрелкой *K*, вращающейся с помощью часового механизма или синхронного мотора. Стрелка входит в соприкосновение с постоянными контактами, которые считаются контрольными, и с указателем датчиков метеоэлементов. При этом каждый раз стрелка *K* замыкает (или размыкает) цепь передатчика. Под воздействием метеоэлементов датчики деформируются, а указатели их смещаются на определенную угловую величину, изменяя тем самым временной интервал прохождения контактной стрелки между контрольным контактом данного сектора и указателем. Таким образом, интервал времени между контрольным (начальным) и рабочим сигналами становится функцией измеряемой величины, что позволяет, пользуясь данными поверки прибора, определить по ленте регистратора значение измеряемого элемента. По этому принципу, известному в литературе как принцип Олланда [8, 25],

сконструированы швейцарские, индийские, немецкие и другие радиозонды. Прием информации подобных радиозондов производится с помощью автоматического регистратора, обеспечивающего масштабное развертывание сигналов во времени с одновременной регистрацией информационных и контрольных сигналов на ленте. Такая запись позволяет легко производить расшифровку информации.

**Числовой способ.** В числовом способе используется амплитудная модуляция, обеспечивающая импульсный режим работы радиопередатчика, поэтому часто этот метод называют число-



Рис. 1.3. Схема шифратора радиозонда временного способа телеизмерений.

импульсным и объединяют с кодовым, так как у данного способа передача всех значений измеряемых величин может быть только дискретной. Однако между числовым и кодовым способами имеются различия, которые заключаются в следующем.

В числовом способе процесс приема информации содержит в себе элементы измерения или счета, которых в кодовом способе в случае приема сигнала на слух нет.

При кодовом способе передача измеряемых величин ведется быстро. В числовом способе тре-

буется определенная затрата времени на передачу большого числа знаков. Прием сигналов на слух при числовом способе практически невозможен.

Коренным отличительным признаком числового способа является необходимость иметь обязательный начальный и отсчетный сигналы, между которыми передаются равнопериодные кодовые сочетания или какие-либо сигналы, которые можно считать. Иными словами, принцип числового способа заключается в преобразовании измеряемой величины в пропорциональное ей число однотипных сигналов, подсчитываемых в наземной установке телеметрического канала.

Величина измеряемого параметра с помощью тарировочного графика или таблицы определяется по принятому числу сигналов.

Одним из примеров числового способа телеизмерения может служить способ телеизмерения влажности, применяемый в гребенчатом радиозонде системы Молчанова.

Коммутатор влажности этого радиозонда устроен таким образом, что в зависимости от положения стрелки на зубцах гре-

се 0802

бенки влажности изменяется длительность интервала между начальным сигналом (позывным влажности) и отсчетным сигналом. Между названными сигналами происходит передача сигналов температуры. Положение стрелки влажности определяется простым подсчетом числа температурных сигналов в указанном интервале. Правда, температурные сигналы неоднотипны, но период их одинаков. Число таких сигналов и определяет фактически значение измеряемой величины.

Поскольку в данном радиозонде количество сигналов невелико, то прием их производился на слух путем счета в уме без дополнительных технических приспособлений. Пожалуй, это единственный случай, когда регистрация телеметрируемых сигналов при числовом способе не требовала автоматического частотомера.

**Высокочастотный способ.** РТС комплексного зондирования, построенные по высокочастотному способу, представляют собой системы с частотной модуляцией (ЧМ) и устроены таким образом, что модуляция может происходить в самом задающем генераторе, причем воздействие сигналов датчика сводится к изменению собственной частоты колебательного контура передатчика. Это приводит к тому, что при использовании высокочастотного способа передача информации о значении метеоэлементов осуществляется изменением несущей частоты радиопередатчика. Иными словами, высокочастотный способ основан на том, что при изменении метеоэлемента тот или другой датчик воздействует на один из параметров колебательного контура генератора, изменяя при этом несущую частоту радиопередатчика.

Радиозонды указанной конструкции обычно ведут передачу в виде циклов различных частот. Большая часть из них передает информацию об изменении метеоэлементов, а меньшая часть является сигналами датчика контрольного параметра, т. е. опорными точками, позволяющими проверять настройку, исправлять результаты телеизмерений и производить расшифровку. Прием осуществляется на супергетеродинный приемник методом нулевых биений. Регистрация может быть полуавтоматической и автоматической.

При автоматической регистрации запись относительного изменения метеоэлементов происходит на ленте в виде последовательного нанесения импульсных точек в функции времени или высоты.

По высокочастотному принципу сконструирован радиоблок советской метеорологической ракеты МР-1, запись передаваемой информации которого, развернутая во времени, приведена на рис. 1.4. [8, 25, 75]. К этому же способу телеизмерений относятся финский радиозонд «Вайсала» и японские радиозонды.

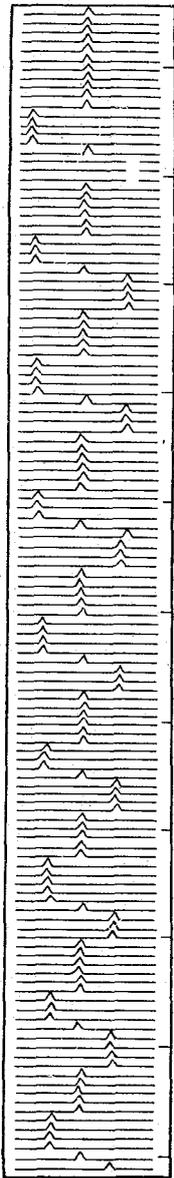


Рис. 1.4. Запись информации метеорологической ракеты МР-1 на киноплёнке.

Преимуществом высокочастотного способа телеизмерения является возможность применения очень простых датчиков и больших скоростей регистрации метеозаписей.

Недостаток высокочастотного способа заключается в том, что на точность измерений метеозаписей могут оказывать влияние дестабилизирующие факторы среды, воздействующие на параметры контуров передатчика и изменяющие несущую частоту.

**Низкочастотный способ.** В радиозондах, сконструированных по низкочастотному принципу, переносчиком значений измеряемых величин является низкочастотный сигнал, периодически срывающийся несущую частоту передатчика.

Для этой цели в современных радиозондах данного типа чаще всего используют низкочастотный генератор прямоугольных импульсов, частота которых управляется измерительными датчиками. Импульсы генератора имеют отрицательную полярность, что обеспечивает срыв несущей частоты радиопередатчика на период действия импульса. Такой вид модуляции в радиотехнике называется автомодуляцией со срывом. При этом частота образовавшихся пауз становится функцией измеряемого параметра  $F = \varphi(A)$ .

В настоящее время низкочастотный способ широко используется в конструкциях отечественного радиозонда РКЗ-1, а также в конструкциях радиозондов США и Англии.

Этот способ телеизмерений позволяет в некоторых случаях исключить влияние дестабилизирующих факторов, что повышает точность измерений.

Перечислив все основные способы телеизмерения, обратимся к табл. 1, позволяющей классифицировать различные типы серийных радиозондов.

Из всего многообразия радиозондов в последнее время систематически применяются 17 различных по устройству конструкций. В большинстве из них для передачи данных о метеорологических элементах используются различные способы телеизмерений. В табл. 1 приведены конструкции радиозондов и указаны способы формирования сигналов давления  $p$ , температуры  $t$  и влажности  $U$ .

Таблица 1

## Классификация отечественных и зарубежных серийных радиозондов

Марка радиозонда	Способы разделения телеметрических каналов по методу кодирования				
	кодовый	временной	числовой	высоко-частотный	низко-частотный
Отечественные радиозонды					
РЗ-049	$p, t$	—	$U$	—	—
А-22-III (А-33-IV)	$p, t, U$	—	—	—	—
РКЗ-1, РКЗ-1А	$p$	—	—	—	$t, U$
А-13	$p, t, U$	—	—	—	—
Зарубежные радиозонды					
Финский «Вайсала»	—	—	$p, t, U$	—	—
Японский I	—	—	$p, t, U$	—	—
Японский II	$p, t, U$	—	—	—	—
ГДР «Фрайберг»	—	$p, t, U$	—	—	—
Индийский I	—	$p, t, U$	—	—	—
Индийский II	—	—	$p, t, U$	—	—
Швейцарский	—	$p, t, U$	—	—	—
Французский	—	—	$p, t, U$	—	—
ФРГ (Н-50)	$p, t, U$	—	—	—	—
Английский (Кью)	—	—	—	—	$p, t, U$
Голландский	—	—	—	—	$p, t, U$
США (AN/AMT-12)	$p$	—	—	—	$t, U$
AN/AMQ-23	$p$	—	—	—	$t, U$

Данные таблицы говорят о том, что кодовому способу телеизмерений при конструировании радиозондов (как отечественных, так и зарубежных) отдается предпочтение.

В специализированных радиозондах используются различные методы разделения телеметрических каналов и способы формирования сигналов. В некоторых системах находят место не один, а два метода, поэтому их следует отнести к смешанным. Однако встречаются конструкции, аналогичные серийным радиозондам.

### § 3. Интерпретация теоремы Котельникова применительно к радиозондам комплексного зондирования

Любые физические величины, в том числе и метеорологические, могут быть выражены числом. Для этого они сравниваются с выбранной единицей измерения, в результате чего получается число, имеющее размерность измеряемой физической величины [44, 51]. Это позволяет использовать число в качестве

универсальной характеристики сигналов и информации, которую они содержат. В самом деле, информация об измеряемых параметрах в радиозондах типа А-22-III (А-22-IV) выражается номером дорожек кодового барабана, которые с помощью сертификата переводятся в значения измеряемого параметра.

Информация об измеряемой температуре и влажности в радиозондах типа РКЗ-1А выражается в частотах или в величинах безразмерного параметра  $Y$ , которые представляют собой числовые значения и которые легко переводятся в значения температуры и влажности. Иными словами, все преобразования неэлектрических величин в электрические сигналы и расширение этих сигналов, которые совершаются в телеметрических каналах радиозондирования, можно представить в виде действий над некоторыми числами, производимых по определенным правилам.

Измеряемые физические параметры в виде непрерывных функций времени с ограниченным частотным спектром также могут быть представлены конечной последовательностью чисел. Для этой цели используется квантование во времени, т. е. представление непрерывной функции путем задания ряда ее дискретных значений, позволяющих с определенной степенью точности восстановить временной ход непрерывной функции.

Под апертурой электрической цепи по какому-либо измеряемому параметру обычно понимают протяженность интервала неразличимости структуры сигнала. Так, например, апертюра преобразователя радиозонда, очевидно, определяется инерцией датчиков. Однако для неискаженной передачи информации необходимо согласовать апертюру электрической цепи с параметрами сигнала в частности, со скоростью изменения его во времени. В радиотелеметрии допустимая дискретность определяется теоремой В. А. Котельникова, которая является важнейшим теоретическим положением в современной радиосвязи.

Сущность теоремы Котельникова заключается в том, что при замене непрерывной функции  $S(t)$ , описывающей какой-либо процесс на конечном интервале времени посредством  $n$  дискретных ее значений, возникает вопрос, как велико должно быть это число  $n$ , чтобы аппроксимация была точной.

Теорема устанавливает, что любая функция времени  $S(t)$ , имеющая определенный спектр частот, наивысшая из которых  $f_c$ , полностью определяется последовательностью своих мгновенных значений по минимальному числу  $n$

$$n = 2f_c T, \quad (1.1)$$

где  $T$  — интервал времени воспроизведения функции или время анализа.

Таким образом, по теореме Котельникова процесс передачи непрерывных неэлектрических величин посредством дискретных

электрических сигналов сводится к преобразованию измеряемой функции  $S(t)$  в дискретные сигналы, равноотстоящие друг от друга на интервал времени, определяемый удвоенной наивысшей частотой спектра. Исходя из этого, становится очевидно, что данная теорема может быть применена не только для функций, зависящих от времени, но и для функций других аргументов, например для высоты в случае радиозондирования атмосферы.

Однако для непрерывной функции измеряемого параметра  $A(h)$ , описывающей распределение метеорологических элементов по высоте, применимость теоремы Котельникова осложняется тем, что функция распределения метеорологических элементов по высоте является нестационарной. Кроме того, последовательные измерения по мере продолжительного подъема радиозонда или его спуска приводят к тому, что измеряемый параметр, кроме высоты, зависит еще и от времени, т. е. измеряемая функция зависит от двух аргументов.

Если бы функция зависела от одного аргумента, то задача определения числа  $n$  для точного воспроизведения непрерывной функции сводилась бы к определению наивысшей частоты ее спектра, т. е. к определению величины  $f_c$ . Для неслучайных функций эта задача решается методом гармонического анализа, позволяющим путем разложения представить функцию в виде суммы гармоник различной частоты и амплитуды.

В нашем случае необходимо сделать ряд допущений, без которых вряд ли возможно воспользоваться теоремой Котельникова.

Во-первых, учитывая то обстоятельство, что время зондирования мало по сравнению с макромасштабными процессами, происходящими в атмосфере, можно допустить, что функция распределения метеоэлементов по высоте зависит только от одного аргумента  $A(h)$ .

Во-вторых, без больших погрешностей можно пренебречь микромасштабными колебаниями измеряемых параметров, т. е. пульсациями во времени значений измеряемого параметра.

В-третьих, если ограничить пределы изменения измеряемого параметра, то нестационарную случайную функцию можно с определенной степенью точности считать стационарной.

Принятые допущения позволяют к случайной функции  $A(h)$  также применить метод спектрального разложения и по ней найти значение граничной частоты  $f_c$ , которую можно считать максимальной. Граничная частота позволяет воспроизвести функцию  $A(h)$  с заданной точностью.

Для иллюстрации приведем пример.

Радиозонд РКЗ-1 поднимается на оболочке № 150 со средней скоростью 5—6 м/сек. Коэффициент инерции терморезистора ММТ-1, служащего датчиком температуры, равен 5—6 сек. Это означает, что за более короткий временной интервал термистор

не воспримет температуру окружающей среды. За время инерции датчика температуры зонд поднимается на 30—40 м. Если нет изотермии или сильных инверсий, то изменения температуры по высоте не превзойдут точности измерения, поскольку  $f_c$  обратно пропорционально периоду изменения измеряемого параметра, а так как минимальный период изменения определяется коэффициентом инерции, который равен 5 сек., то это дает основание считать наивысшей спектральной частотой измеряемого параметра  $f_c = 0,2$  гц. Если регистрация метеоинформации радиозондом РКЗ-1 происходит через 5 сек., то, применив формулу Котельникова, получим необходимое минимальное число сигналов  $n$  для воспроизведения заданного параметра  $A(h)$

$$n = 2 \cdot 0,2 \cdot 5 = 2. \quad (1.2)$$

Поскольку начало и конец пятисекундного интервала определяют значения температурных или опорных частот, то очевидно, что это условие выполняется.

Необходимо отметить, что сокращение временного интервала регистрации информации при данном датчике температуры не может повысить точность воспроизведения хода измеряемого параметра с высотой. Для этой цели необходим менее инерционный датчик.

Следствием теоремы Котельникова является требование к длительности цикла коммутации  $T_c$  для многоканальных систем

$$T_c = mNT_a, \quad (1.3)$$

где  $m$  — число каналов,  $N$  — число измерений,  $T_a$  — время анализа.

Так, для радиозондов типа А-22-III (IV) можно рассчитать оптимальную скорость вращения кодового барабана, определяемую требуемой частотой измерения метеозлемента.

Частота измерений определяется характером изменения измеряемой величины. Для монотонно изменяющихся параметров частота измерений может быть реже; при резком изменении параметра частота измерений должна определяться высшей частотой спектра, т. е.  $f_c$ . Как и в рассмотренном ранее примере, для радиозонда РКЗ-1 верхний предел частоты измерений будет определяться не только значением высшей частоты спектра, но и инерционностью датчиков. В большинстве случаев эти параметры согласуются. Если измеряемым параметром является температура, то, согласно данным Л. Т. Матвеева, при наиболее часто встречающихся значениях давления и температуры влажноадиабатический градиент равен 0,6—0,7 град/100 м. В этом случае оптимальная частота измерений полностью определяется коэффициентом инерции датчика температуры, который составляет для нормальных значений давления и скорости обдува

около 7—8 сек. Нетрудно видеть, что эта величина согласуется с теоремой Котельникова, по которой период коммутации  $T_c$  равен 8 сек.

Действительно, для четырехканальной системы ( $m=4$ ), какой является радиозонд А-22-III (IV) (поскольку он за один цикл передает информацию о трех метеозементах и разделительный сигнал), при однократном измерении каждого параметра за один цикл  $N=1$  и времени анализа каждого сигнала порядка 2 сек. ( $T_a=2$  сек.) получим

$$T_c = 4 \cdot 1 \cdot 2 = 8 \text{ сек.} \quad (1.4)$$

Если длительность цикла коммутации равна 8 сек., то, очевидно, скорость вращения кодового барабана должна быть равна примерно 7,5 оборотам в минуту, что соответствует действительности.

Однако коэффициент инерции датчика температуры радиозонда величина не постоянная и, по данным Шметера, увеличивается с высотой, достигая на высоте 25 км 1,4 мин. Это, естественно, приводит к определенным погрешностям, но, учитывая стратосферную изотермию, величина  $f_c$  резко убывает. Поэтому и в этом случае согласование не нарушается.

Аналогичные примеры можно было бы привести и для других датчиков.

В заключение необходимо заметить, что при конструировании радиозондов типа А-22-III (IV) обычно задаются относительным диапазоном изменения скорости вращения кодового барабана  $S$  [20, 41], выраженным в длительностях циклов коммутации  $T_c$

$$S = \frac{T_{c, \text{ макс}}}{T_{c, \text{ мин}}}. \quad (1.5)$$

Для радиозонда А-22-III, где вращение кодового барабана осуществляется вертушкой, величина  $S$  достигает 8, а для радиозонда А-22-IV с микроэлектродвигателем  $S$  равно 2,5.

#### § 4. Уравнение шкалы и оценка точности

Если каждый из каналов радиотелеметрической системы зондирования атмосферы представить как измерительный прибор, то производимые измерения можно рассматривать как процесс преобразования измеряемого параметра в сигнал, удобный для наблюдения и отсчета. Известно, что элементы прибора, участвующие в процессе измерений и осуществляющие преобразование измеряемой величины, называются измерительными звеньями.

В рассмотренных РТС к измерительным звеньям следует отнести прежде всего датчики, воспринимающие значение

измеряемого параметра и преобразующие его в однородную или неоднородную величину.

Измерительные звенья, преобразующие механические деформации датчиков в механическую величину, носят название кинематических или передаточно-множительных механизмов. Эти звенья также хорошо известны в радиозондах.

Измерительные звенья, преобразующие неэлектрическую величину в электрическую или наоборот, обычно носят название преобразователей.

Наконец, измерительные звенья, преобразующие одну электрическую величину в другую, называются электроизмерительными схемами или электрическими преобразователями. К последним звеньям в рассматриваемых РТС следует отнести весь информационный канал, начиная от преобразователя радиозонда до регистратора наземной установки, принимающей информацию. Нетрудно видеть, что любой радиозонд в совокупности с наземной установкой может быть изображен в виде цепочки измерительных звеньев, представляющей структурную схему прибора. Из рис. 1.1 следует, что измеряемый параметр  $A$  претерпевает целый ряд преобразований в измерительных звеньях и регистрируется в виде  $\alpha$  на выходе цепочки.

Если решить системы дифференциальных уравнений, используя передаточные функции и характеристики отдельных звеньев, то можно получить зависимость конечной выходной величины  $\alpha$  от начальной величины  $A$  измеряемого параметра. Эта зависимость носит название уравнения шкалы и в неявном виде может быть записана как

$$\alpha = f(A). \quad (1.6)$$

Действительно, зная вид функций  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , можно найти

$$\begin{aligned} A_1 &= f_1(A), \\ A_2 &= f_2(A_1) = f_2[f_1(A)], \\ A_3 &= f_3(A_2) = f_3\{f_2[f_1(A)]\}, \\ A_n &= \alpha = f_n\{f_{n-1} \dots f_1(A)\} = f(A), \end{aligned} \quad (1.7)$$

откуда

$$\alpha = f(A).$$

Вид уравнения шкалы зависит от характера преобразований физической величины. Уравнение шкалы телеметрического канала РТС зондирования атмосферы является основной статической характеристикой РТС.

Из уравнения шкалы можно определить диапазон измерения

по данному каналу. Если решить уравнение шкалы при  $\alpha=0$ , то находится нижний предел измерения

$$\alpha_0 = f(A_{\text{мин}}), \quad (1.8)$$

где  $A_{\text{мин}}$  есть нижний предел измерения.

При  $\alpha_{\text{макс}}$  находится верхний предел

$$\alpha_{\text{макс}} = f(A_{\text{макс}}). \quad (1.9)$$

Пределы измерений, в свою очередь, ограничивают диапазон измерений, определяемый разностью  $A_{\text{макс}} - A_{\text{мин}}$ .

Важной физической характеристикой РТС зондирования является чувствительность каждого канала. Обычно под чувствительностью измерительного прибора понимают число делений шкалы, приходящихся на единицу измеряемой величины.

В нашем случае под чувствительностью  $S$  следует понимать отношение приращения выходного сигнала  $d\alpha$  к изменению измеряемой величины  $dA$ , вызывающей это приращение, т. е.

$$S = \frac{d\alpha}{dA}. \quad (1.10)$$

При этом необходимо помнить, что наименьшее изменение значения измеряемой величины, способное вызвать приращение выходного сигнала, представляет собой порог чувствительности.

В качестве технической характеристики современных радио зондов часто используется коэффициент чувствительности  $K$ , представляющий собой величину, обратную  $S$ ,

$$K = \frac{dA}{d\alpha}. \quad (1.11)$$

Кроме того, в технических заданиях на изготовление радио зондов обычно указывается значение цены деления телеметрической системы. Если под делением шкалы понимать участок между двумя воспринимаемыми раздельно сигналами, то цена деления будет определяться приращением измеряемой величины, соответствующим одному делению.

При линейном уравнении шкалы цена деления  $\Delta\alpha$  определяется отношением диапазона измеряемой величины к числу делений  $n$

$$\Delta\alpha = \frac{A_{\text{макс}} - A_{\text{мин}}}{n}. \quad (1.12)$$

Воспользовавшись основным выражением, определим цену деления телеметрического канала РТС зондирования атмосферы для рассмотренных способов телепередачи информации.

Наиболее просто цена деления определяется для кодового метода

$$\Delta\alpha_k = \frac{A_2 - A_1}{n}, \quad (1.13)$$

где  $A_2 - A_1$  — диапазон измеряемых величин,  $n$  — число сигналов-переносчиков информации.

Например, в радиозонде А-22-III(IV) по каналу температуры в диапазоне измеряемых величин от  $+40$  до  $-75^\circ$  используется около 230 дорожек кодового барабана, что соответствует 230 сигналам-переносчикам. В этом случае

$$\Delta\alpha_k = \frac{115}{230} = 0,5 \text{ град/дорожка.}$$

Аналогично рассчитывается цена деления и для других каналов.

Для числового метода цена деления  $\Delta\alpha_{\text{ч}}$  определяется аналогичной формулой

$$\Delta\alpha_{\text{ч}} = \frac{A_2 - A_1}{n}. \quad (1.14)$$

В данном случае под  $n$  понимается число равнопериодных сигналов, соответствующих возможному диапазону измеряемой величины. В качестве примера можно привести цену деления канала влажности гребенчатого радиозонда системы Молчанова, где для измерения относительной влажности в диапазоне от 20 до 100% используется 10 равнопериодных сигналов, что определяет  $\Delta\alpha_{\text{ч}} = 8\%$ /зубец.

Цена деления для временного метода может быть определена из следующих соображений.

Известно, что в часовых механизмах в качестве спускового устройства применяется колеблющийся маятник или баланс. Одному полному периоду баланса  $T$  соответствуют два частичных поворота анкерного колеса, сопровождаемых поворотами контактной стрелки шифрующего диска на малые углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , неравные друг другу, например,  $\varphi_2 > \varphi_1$ .

Если период прохождения контактной стрелки  $K$  по сектору одного из каналов шифрующего диска обозначить через  $T_0$ , как период повторяемости по одному измеряемому параметру (см. рис. 1.3), а время, которое затрачено на прохождение стрелкой  $K$  расстояния от контрольного контакта данного сектора до указателя датчика при измерении им  $A_{\text{макс}}$ , обозначить через  $T_1$ , то при измерении в диапазоне  $A_2 - A_1$  цена деления выражается

$$\Delta\alpha_{\text{в}} = (A_2 - A_1) \frac{T_0}{T_1} \cdot \frac{\varphi_2}{2\pi}. \quad (1.15)$$

Величину  $\frac{T_0}{T_1}$  обычно называют коэффициентом использования одного цикла по данному элементу. Нетрудно видеть, что цена деления при временном способе телеизмерений прямо пропорциональна диапазону передаваемых значений  $(A_2 - A_1)$  и углу поворота контактной стрелки шифратора  $\varphi_2$ , выраженному в долях полного оборота  $\left(\frac{\varphi_2}{2\pi}\right)$ .

Из формулы следует, что для повышения точности измерений полный диапазон измеряемой величины полезно разбивать на ряд смежных участков (поддиапазонов). Отношение  $\frac{T_0}{T_1}$  следует брать близким к единице и стремиться к возможно меньшему значению  $\varphi_2$ .

Для определения цены деления РТС при использовании высокочастотного метода необходимо учитывать способ регистрации частотно модулированных сигналов по методу нулевых биений.

В данном случае несущая частота выбирается в диапазоне десятков мегагерц. Применение меньшей несущей частоты неудобно из-за того, что возникает необходимость при измерениях увеличивать вариации параметров контура, а это сделать трудно. Более высокие частоты приводят к нестабильности в работе передатчика, что может привести к потере слышимости. Поэтому уменьшение или увеличение несущей частоты нежелательно.

При данном методе имеет место изменение частоты несущей  $f_2 - f_1$ , определяемое единицами мегагерц.

В современных супергетеродинных приемниках совокупность частот, которые могут быть измерены методом нулевых биений внутри полосы  $f_2 - f_1$ , определяет собой число сигналов-переносчиков информации

$$n = \frac{f_2 - f_1}{2F}, \quad (1.16)$$

где  $F$  — средняя частота нулевых биений.

Учитывая это, цена деления телеметрического канала данного метода определяется

$$\Delta\alpha_{н.ч} = (A_2 - A_1) \frac{2F}{f_2 - f_1}. \quad (1.17)$$

Для низкочастотного способа также может быть рассчитана цена деления телеметрической шкалы как функция минимального отклонения частоты модуляции  $\Delta F$ , которая еще может быть измерена с помощью измерительной аппаратуры.

Если границы измеряемых величин  $A_1$  и  $A_2$ , а соответствующие им частоты модуляции  $F_1$  и  $F_2$ , то выражение для цены

деления низкочастотного способа записывается в следующем виде

$$\Delta\alpha_{н.ч} = (A_2 - A_1) \frac{\Delta F}{F_2 - F_1}. \quad (1.18)$$

Для иллюстрации приведем численный пример цены деления телеметрической шкалы радиозонда РКЗ-1 по одному из каналов.

Так, для канала температуры в диапазоне измерений от +50 до -80°С используются частоты модуляции от 100 до 1900 гц. Приняв  $\Delta F$  равным 1 гц, получим значение цены деления порядка 0,07 град/гц. Этот пример говорит о том, что данный метод может обеспечить очень высокую разрешающую способность по любому измеряемому параметру.

К сожалению, цена деления телеметрической шкалы еще не определяет собой точность метода.

Метод радиозондов позволяет определить измеряемые параметры среды и распределение их по высоте с некоторой степенью точности, зависящей от целого ряда погрешностей.

Суммарная погрешность в указанных телеметрических измерениях складывается из погрешностей, источниками которых являются сам прибор, метод поверки, внешняя среда, и из погрешностей телеметрического канала, метода регистрации и обработки информации.

Погрешности радиозонда обычно включают в себя погрешности, обусловленные датчиками метеоэлементов и преобразовательно-кодирующими устройствами. Такие погрешности обычно называют инструментальными.

Погрешности метода поверки, связанные с тарировкой, поверкой и выдержкой радиозондов, называются вариационными.

Инструментальные и вариационные погрешности радиозондирования часто называют погрешностями первого рода.

Погрешности, возникающие за счет воздействия внешней среды, и, в частности, за счет влияния солнечной радиации и скорости обдува, носят название систематических погрешностей. К систематическим относят и погрешности, обусловленные телеметрическим каналом.

Погрешности метода обработки чаще всего носят название методических погрешностей. Систематические погрешности, связанные с телеметрическим каналом, с методом регистрации и обработки информации, иногда называют погрешностями второго рода.

Погрешности, обусловленные датчиками измеряемых параметров, тоже носят различный характер и по своей природе могут быть отнесены к систематическим и случайным.

Систематические погрешности могут быть исключены с помощью введения соответствующих поправок.

Ошибки случайного характера, возникающие, например, за счет трения в кинематическом звене, дискретности коэффициента инерции, помех среды и т. д., имеют нормальное распределение вероятностей и трудно поддаются учету.

К указанному виду погрешностей следует отнести случайные погрешности преобразовательного звена для кодовых и временных РТС и погрешности канала связи для радиозондов низкочастотного и высокочастотного методов разделения каналов.

Для пояснения можно привести примеры случайных погрешностей, возникающих в радиозонде А-22-III за счет неравномерного вращения вертушкой кодового барабана. В радиозонде А-22-IV величина этой погрешности уменьшена за счет исполь-

Таблица 2

Оценка точности измерения метеозлементов радиозондами

Тип радиозонда	Метеозлемент	Диапазон измеряемых параметров	Случайные средние квадратические ошибки для высот (км)		Систематические радиационные ошибки для высот (км) подъемов радиозонда		
			0—8	8—20	15	20	25
РЗ-049	$p$ мб	$1050 \pm 20$	5	4	1,6—6,9	2,4—10,6	4—18,1
	$t^\circ$	+40, —70	0,8	0,9			
	$U$ %	$20 \div 100$	5	5			
А-22-III	$p$ мб	$1050 \pm 10$	3,3	0,5	1,03	1,05	2,5
	$t^\circ$	+40, —75	0,7	0,8			
	$U$ %	$15 \div 100$	5	—			
РКЗ-1А	$p$ мб	$1060 \pm 5$	8	7	1,75	2,00	2,20
	$t^\circ$	+50, —80	0,9	0,9			
	$U$ %	$10 \div 100$	6	10			
РКЗ-1А с шахтой на датчик температуры	$p$ мб	$1060 \pm 5$	8	7	1,27	1,59	1,8
	$t^\circ$	+50, —80	0,9	0,9			
	$U$ %	$10 \div 100$	6	10			
АН/АМТ-2 (США)	$p$ мб	$1060 \pm 2$	4	2			
	$t^\circ$	+60, —90	0,5	0,1			
	$U$ %	$15 \div 100$	$\pm 5$	$\pm 5$			

Примечания. 1. Крайние значения радиационных ошибок в зависимости от  $h_0$  для РЗ-049 вычислены по данным, взятым из Методических указаний ЦАО, вып. 25, 1960, средние значения радиационных ошибок для А-22-III и РКЗ-1А взяты из [36], а для РКЗ-1А с шахтой на датчике вычислены по данным, взятым из [69].

2. Требуемая точность измерения метеозлементов при радиозондировании атмосферы по данным ВМО (Всемирной метеорологической организации).  $\Delta p = 0,1$  мб,  $\Delta t = 0,2^\circ$ ,  $\Delta U = 0,5\%$ .

зования микроэлектродвигателя [40, 41]. В радиозонде РКЗ-1 замирание сигналов приводит к ложному подсчету числа пауз опорной и температурной частот. Для исключения возможных ошибок приходится прибегать к запирающему каналу приемного устройства на период замирания сигнала [16].

Инструментальные погрешности чувствительных элементов радиозондов возникают в процессе сборки приборов в результате отклонения отдельных технических характеристик чувствительных элементов от установленных допусков. Указанные погрешности выявляются в процессе тарировки зондов. Они устраняются путем соответствующих регулировок или определяют собой брак изготовления.

Однако инструментальные ошибки могут возникнуть и в доброкачественных зондах, например, при неосторожном обращении, плохом хранении и транспортировке. В последнем случае инструментальные ошибки выявляются при поверках и выдержках радиозондов. Они, как правило, увеличивают вариационные отклонения до максимальных, по которым определяется пригодность зонда к выпуску.

Таким образом, инструментальные погрешности обычно исключаются, а если и учитываются, то вместе с вариационными погрешностями, выявленными при проверках зондов перед выпуском в пунктах зондирования.

Данные табл. 2 позволяют оценить точность измерения метеоэлементов радиозондами различных систем (по данным ЦАО).

## Глава 2

### ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОЗОНДОВ

#### § 5. Измерительные датчики

В данном параграфе рассматриваются измерительные датчики, нашедшие широкое применение в серийных радиозондах различных систем, и некоторые наиболее интересные варианты датчиков, используемых в специализированных радиозондах.

Датчики являются начальными измерительными звеньями любых каналов РТС. Будучи первичными преобразователями измеряемого параметра (как правило, неэлектрического) в электрическую величину, все они должны отвечать определенным техническим требованиям, важнейшим из которых независимо от типа датчика является коэффициент передачи  $K$  [4, 5, 22, 44].

Этот коэффициент определяется отношением приращения выходной величины датчика  $\Delta M$  к соответствующему приращению измеряемого параметра  $\Delta A$ .

$$K = \frac{\Delta M}{\Delta A}. \quad (2.1)$$

Зависимость между выходной величиной и измеряемым параметром определяется типом датчика.

Выполняя основную функцию преобразования измеряемого параметра в заданном диапазоне его изменения, любой датчик должен обеспечивать согласование с шифратором передающего устройства. Одновременно датчик должен обеспечить возможность получения непрерывной зависимости выходного сигнала от измеряемого параметра (для дискретной системы преобразования это требование не обязательно). При этом датчик не должен оказывать влияния на поле измеряемого параметра, так же как последующие измерительные звенья не должны воздействовать на датчик.

Конструкции датчиков, используемых в современных РТС зондирования атмосферы, весьма разнообразны.

В данном параграфе мы остановимся только на тех из них, которые наиболее широко применяются в серийных радиозондах.

Обычно выбор датчика определяется параметром, подлежащим измерению, и принципом работы радиотелеметрической системы. В то же время тип датчика зависит от диапазона измеряемого параметра. Так, например, особенностью измерения давления при зондировании атмосферы с помощью радиозондов и метеорологических ракет является очень большой диапазон параметра, от  $10^3$  до  $10^{-9}$  мм рт. ст.

Такой широкий диапазон измерений, естественно, накладывает отпечаток как на измерительную аппаратуру, так и на методику измерений. Этот диапазон можно условно разделить на три части (слоя). В основу деления положено соотношение между средней длиной пути свободного пробега молекул  $\bar{l}$  и характерными размерами обтекаемого тела датчика  $L$ .

В первом слое длина пути свободного пробега молекул много меньше характерных размеров тела  $\bar{l} \ll L$ . Этот слой охватывает нижние слои атмосферы до 60—70 км.

Для измерения давления в диапазоне от  $10^3$  до 40 мб обычно используются различные типы мембранных датчиков. В диапазоне давлений от 40 до 3 мб применяются гипсометры. Для измерения более низких давлений от 3 до  $10^{-3}$  мб широко используются тепловые манометры, включенные в мостовую схему.

Во втором слое длина пути свободного пробега молекул соизмерима с характерными размерами тела  $\bar{l} = L$ . Эта область в газовой динамике называется слипом. В ней, согласно Максвеллу, наблюдается течение со скольжением. Второй слой простирается от 60—80 до 200 км. Для измерения давлений в этом слое применяются тепловые манометры, а в диапазоне от  $10^{-3}$  до  $10^{-7}$  мб используются магнитные электроразрядные манометры.

В третьем слое длина пути свободного пробега молекул много больше характерных размеров тела  $\bar{l} \gg L$ . Этот слой располагается выше 200 км, где дискретность строения среды выражается особенно ярко. При вычислении давления в этом слое число соударений молекул между собой обычно пренебрегают и учитывают только изменение их количества движения за счет ударов о поверхность тела. Третий слой называется областью свободного молекулярного течения. Частицы в ней распределяются по скоростям в соответствии с равновесным законом Максвелла. Для измерения давления в этой области применяются ионизационные манометры, которые могут использоваться в широком диапазоне, от  $10^{-3}$  до  $10^{-9}$  мб.

На геофизических ракетах для измерения давления обычно устанавливаются все виды манометров.

На метеорологических ракетах, как правило, устанавливаются мембранные датчики и тепловые манометры. Что же касается современных серийных радиозондов, то в качестве датчика давления используется деформационный датчик в виде блока из одной-двух барокоробок (анероидных коробок) [2, 8, 25, 26, 47, 53].

Рассмотрим конструкцию датчика давления радиозонда А-22-III (IV). Чувствительным элементом датчика являются две анероидные коробки, закрепленные на каркасе. Анероидные коробки с помощью пружинного кронштейна связаны со скобой, которая может поворачиваться вокруг натянутой струны. Конец пружинного кронштейна закреплен на середине гибкой металлической ленты, натянутой на растяжке. Последняя соединена наглухо с концом биметаллического термокомпенсатора.

Биметаллический термокомпенсатор с помощью подвижного зажима-регулятора прикрепляется к скобе, нанизанной на струну. К середине этой скобы прикреплена контактная стрелка. Таким образом, пружинный кронштейн анероидных коробок, биметаллический термокомпенсатор, подвижный зажим-регулятор и скоба образуют кривошип. Зажим-регулятор может перемещаться вдоль биметалла и закрепляться в любом положении (рис. 2.1).

Перемещение подвижного центра блока барокоробок при изменении атмосферного давления передается с помощью кронштейна скобе, поворачивающейся вокруг струны. При этом натянутая на растяжку металлическая лента закручивается. Компенсация прогиба мембран блока барокоробок при изменении температуры осуществляется за счет деформации биметаллического термокомпенсатора: биметаллическая пластинка, изгибаясь, изменяет длину плеча (расстояние от оси вращения

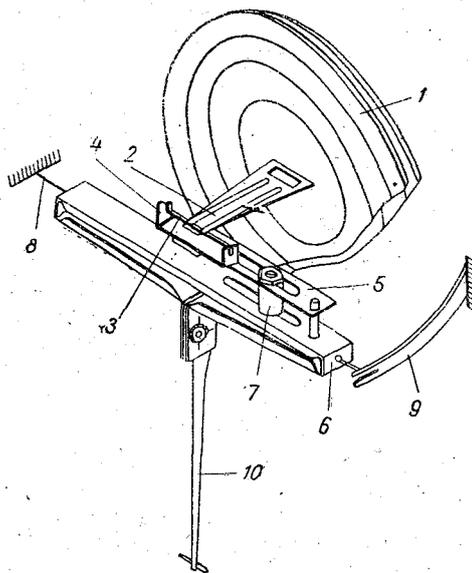


Рис. 2.1. Конструкция узла давления с термокомпенсатором.

1 — анероидная коробка, 2 — пружинный кронштейн, 3 — гибкая металлическая лента, 4 — пружинная скоба, 5 — биметаллический термокомпенсатор второго рода, 6 — скоба кривошипа, 7 — зажим-регулятор, 8 — струна, 9 — натяжная пружина, 10 — контактная стрелка.

стрелки до пружинного кронштейна) и тем самым изменяет чувствительность узла давления. На рис. 2.2 приведены характеристики барокоробки  $p=f(N)$  для различных температур (точка пересечения характеристик соответствует газовой компенсации).

При настройке термокомпенсатора с помощью зажима-регулятора подбирают такую длину свободного конца термометалла  $L$ , величина прогиба которой  $\Delta a$  компенсирует в заданных пределах деформацию барокоробок при изменении температуры.

Для измерения температуры среды в современных радиозондах в качестве измерительных датчиков широко распространены

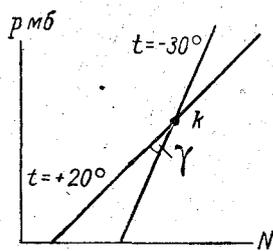


Рис. 2.2. Характеристика барокоробки.

биметаллические датчики и полупроводниковые терморезисторы. В метеорологических ракетах для измерения температуры среды применяются вольфрамовые термометры сопротивления, включенные в мостовую измерительную схему, и в последнее время бусиновые терморезисторы.

В качестве примера биметаллического датчика можно рассмотреть чувствительный элемент температурного узла радиозонда А-22-III (IV), выполненный в виде биметаллической спирали с противоположными навивками. Концы спирали

прикреплены к жесткому каркасу. К середине биметаллической спирали прикреплена контактная стрелка. При изменении температуры изменяется кривизна биметаллической спирали и происходит поворот стрелки. Чувствительный элемент узла температуры защищен от действия солнечной радиации тонкой съемной цилиндрической шахтой с зачерненной внутренней поверхностью.

Подобный деформационный датчик используется обычно в радиозондах с кодовым способом передачи.

С появлением миниатюрных полупроводников оказалось возможным использовать их в качестве измерительных датчиков РТС с низкочастотным способом передачи. Температурная зависимость сопротивления у полупроводников колеблется в широких пределах и многие из них обладают отрицательным температурным коэффициентом, достигающим до 3—6% на 1°С. Подобные полупроводники называют терморезисторами (старое название термисторы).

Так, в радиозонде РКЗ-1 в качестве датчика температуры использован серийный терморезистор ММТ-1 с номинальным сопротивлением 10 ком, температурным коэффициентом 2,3—3,3% на 1°С и коэффициентом инерции 5—6 сек. при скорости обдува 6 м/сек.

Связь между сопротивлением терморезистора  $R$  и темпера-

турой окружающей среды, в которую он помещен, выражается уравнением

$$R = Ae^{\frac{a}{T}}, \quad (2.2)$$

где  $A$  — величина, зависящая от удельного сопротивления и геометрических размеров терморезистора,  $a$  — постоянная, характеризующая данный терморезистор,  $T$  — абсолютная температура.

Для выяснения того, что представляет собой постоянная величина  $a$ , обратимся к понятию температурного коэффициента  $\alpha$ , которым принято характеризовать зависимость проводимости терморезистора от температуры

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}. \quad (2.3)$$

Продифференцировав выражение (2.2) по  $T$  и подставив  $\frac{dR}{dT}$  в уравнение для температурного коэффициента, получим

$$\alpha = -\frac{a}{T^2}, \quad (2.4)$$

из которого следует, что постоянная  $a$  характеризует собой температурный коэффициент терморезистора.

Высокое удельное сопротивление терморезисторов делает их удобными для использования в качестве датчиков температуры при совместном использовании с электронными схемами. Однако большой разброс сопротивлений, достигающих до 20%, является их существенным недостатком.

Датчики температуры в виде вольфрамовых термометров сопротивления используются при зондировании атмосферы метеорологическими ракетами типа МР-1. Этот метод непосредственного измерения температуры, разработанный в Советском Союзе Г. А. Кокиным, М. Н. Изаковым и др., основан на использовании измерительной схемы неравновесного моста, одним плечом которого является термометр сопротивления. Напряжение разбаланса моста в измерительной диагонали характеризует изменение сопротивления измерительного плеча при изменении температуры

$$R_t = R_0(1 + \alpha t). \quad (2.5)$$

К сожалению, простота конструкции этого датчика частично проигрывает из-за весьма сложной методики обработки результатов измерений путем введения различного рода поправок. Однако этот недостаток может быть исключен, когда будет осуществлена машинная обработка результатов измерений.

Измерение влажности в атмосфере сопряжено с большими трудностями. В качестве датчиков этого параметра долгое время использовался человеческий волос, обладающий свойством

изменять свою длину при изменении влажности. По данным ряда исследователей, точность измерения влажности волосом очень мала.

В последнее время в качестве датчиков влажности в радиозондах СССР, Англии, Франции и других стран все чаще применяют органические гигроскопические пленки в виде парфюмерной лайки, изготавливаемой из серозных оболочек следа или слепой кишки крупного рогатого скота [10, 49, 65]. Особенность конструкций таких датчиков можно проиллюстрировать на примере датчика влажности радиозондов А-22-III (IV) и РКЗ-1А.

В радиозонде А-22-III (IV) в качестве чувствительного элемента влажности впервые вместо волоса применена животная пленка, выполненная в виде круглой мембраны, наклеенной на кольцо (см. рис. 1.2). Кольцо закреплено на жестком каркасе. Центр мембраны с помощью гибкой тяги связан с рычагом и стрелкой, которая закреплена на тонкой пружинной ленте, натянутой между стенками каркаса. Пружинная лента поддерживает центр мембраны в постоянно натянутом состоянии.

При изменении влажности изменяется прогиб мембраны. Перемещение ее центра преобразуется с помощью гибкой тяги и рычага в поворот стрелки.

Сравнительные испытания показали превосходство приемников влажности из животной пленки. Это превосходство заключается: в высокой чувствительности к влажности ( $\lambda = 3,5$  % относительной деформации / % относительной влажности) и в хорошей влажностной характеристике  $\delta = f(U)$  ( $\delta$  — относительная деформация,  $U$  — относительная влажность). В интервале влажности от 100 до 30% незначительное изменение  $U$  ведет к значительной деформации животной пленки.

Животная пленка имеет небольшой температурный коэффициент  $\alpha^\circ \text{C}^{-1} \cdot 10^5$  за счет небольшой длины образующего конуса мембраны (около 9 мм).

Приемник влажности из животной пленки обладает вполне удовлетворительными механическими свойствами.

Следует отметить, что мембрана приемника влажности радиозонда А-22-III (IV) имеет форму неправильного усеченного конуса. Причина образования соска заключается в наличии напряжений около жесткого центра мембраны, более значительных по величине, чем напряжения по ее краям. Такая форма мембраны обеспечивает при высоких влажностях спрямление логарифмической характеристики изменения стрелы прогиба с возрастанием влажности. При повышении влажности мембрана принимает форму, более близкую к правильному усеченному конусу, за счет чего происходит некоторое добавление к изменению стрелы прогиба. Испытания на Рижском заводе ГМП показали, что наилучшей прямолинейной характеристикой и наименьшим гистерезисом обладает массивированный приемник

с начальным прогибом 8 мм и диаметром 45 мм. Коэффициент инерции такого приемника примерно в 5 раз меньше, чем для волоса.

Для измерения влажности в радиозонде РКЗ-1А используется комбинированный датчик, в котором влажность превращается в электрический сигнал путем двукратного преобразования (рис. 2.3). Элементом датчика, осуществляющим первое

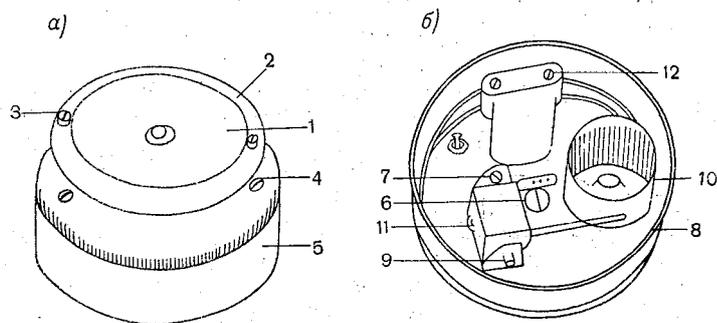


Рис. 2.3. Датчик влажности РКЗ-1А.

1 — пленочная мембрана, 2 — оправа мембраны, 3 и 4 — винты, 5 и 8 — корпус датчика, 6 — отверстие в корпусе, 7 — крепежный винт, 9 — ось потенциометра, 10 — потенциометр, 11 — скоба движка потенциометра, 12 — клемма.

преобразование измеряемого параметра в механическое перемещение, является мембрана из животной пленки, аналогичная датчику радиозонда А-22-III (IV). Второе преобразование (механическое перемещение подвижного центра мембраны в электрическое напряжение) осуществляется с помощью потенциометра. При постоянной плотности намотки потенциометра все вторичные преобразования имеют почти линейный характер. Подобные датчики известны под названием мембранно-реостатных.

В последнее время появились сведения о датчиках влажности для радиозондов, выполненных из неорганических материалов: угольных (применяется в США) и полупроводниковых. Однако широкого распространения они еще не получили. Поэтому конструкции датчиков влажности современных серийных радиозондов практически ограничиваются рассмотренными типами.

В специализированных радиозондах тип датчика определяется назначением радиозонда и способом телепередачи.

Так, например, в радиозондах-облакомерах в качестве измерительного датчика используются фотоэлементы, реагирующие на рассеяние светового луча лампочки накаливания частичками облака. Эту же функцию может выполнять адсорбционно-электrolитический чувствительный элемент, выполненный в виде

проволочной катушки, на которую нанесен шунтирующий слой хлористого лития, изменяющий проводимость под действием водяного пара.

В радиозондах, предназначенных для актинометрических измерений, широко применяются балометры и термоэлектрические датчики (термопары).

Отечественный серийный актинометрический радиозонд разработан в ЦАО на основе радиозонда РК-1 путем добавления датчика, воспринимающего с помощью терморезисторов ММТ-1 температуру потоков длинноволновой радиации (сверху и снизу).

В радиозондах, предназначенных для измерения вертикального градиента электрического потенциала, в качестве измерительных датчиков используются коллекторы с усилителем напряжения.

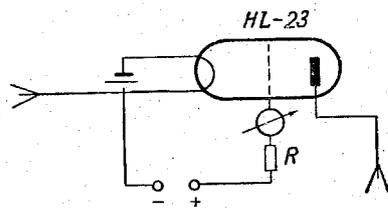


Рис. 2.4. Принципиальная схема специального радиозонда для измерения вертикального градиента электрического потенциала.

Довольно оригинальной конструкцией датчика для аналогичных целей является устройство в виде лампового вольтметра, схема которого представлена на рис. 2.4.

Датчик представляет собой триод, к аноду и катоду которого прикреплены двухметровые отрезки проводника. На сетку подается от батареи положительное напряжение от 2 до 6 в. Ток сетки будет изменяться в зависимости от разности потенциалов между катодом и анодом, которая в свою очередь будет зависеть от градиента электрического потенциала в свободной атмосфере. Таким образом, величина сеточного тока определяет собой значение градиента электрического потенциала в данной точке пространства.

В литературных источниках встречаются ссылки на возможность использования описанного датчика с английскими радиозондами Kew и Diamond [70, 75, 80].

Наконец, для измерения интенсивности потока космических лучей в свободной атмосфере применяются радиометрические радиозонды, в которых в качестве датчиков жестких излучений могут быть использованы ионизационные камеры, счетчики Гейгера-Мюллера, газовые счетчики, сцинтилляционные счетчики и др.

Установлено, что для случая передачи результатов измерений по телеметрическому каналу датчик в виде ионизационной камеры мало пригоден, так как ионизационный ток оказывается слишком мал. В этом отношении более надежным оказывается счетчик Гейгера-Мюллера.

Одним из интересных вариантов использования счетчика Гейгера-Мюллера с усилителем в качестве измерительного датчика, обеспечивающим формирование импульса для модуляции несущей частоты радиопередатчика, является схема зонда, предложенная авторами [75].

На рис. 2.5 приведена схема усилителя с выпрямителем и интегрирующего контура с электронным счетчиком этого радиозонда. Импульсы с выхода гейгеровского счетчика усиливаются и интегрируются конденсатором  $C_4$ . Когда потенциал заряда  $C_4$  достигает величины зажигания неоновой лампочки, с выхода схемы снимается сигнал, который передается радиопередатчиком зонда (на рисунке схема передатчика не показана). Импульсы

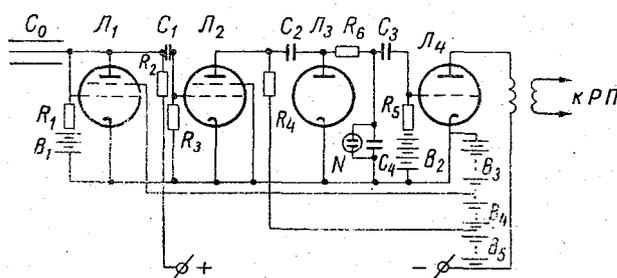


Рис. 2.5. Принципиальная схема специального радиозонда для измерения интенсивности космической радиации.

зажигания неоновой лампочки за счет разряда  $C_4$  могут быть зафиксированы счетчиком, а число их зависит от измеряемой интенсивности космической радиации. С помощью такого интегрирования и подсчета числа импульсов осуществляется передача и регистрация информации об интенсивности космических лучей.

В радиометрическом радиозонде РК, разработанном в ЦАО, в качестве датчика интенсивности космического излучения используются газовые счетчики.

Рассмотрев измерительные датчики серийных радиозондов и познакомившись с некоторыми типами датчиков специализированных радиозондов, перейдем к рассмотрению следующих измерительных звеньев структурной схемы телеметрического канала.

## § 6. Шифраторы и программные устройства

В зависимости от типа радиотелеметрической системы и способа передачи информации в качестве шифраторов и программных устройств в радиотелеметрических системах могут

использоваться: коммутаторы, генераторы электрических колебаний различных типов, суммирующие схемы и др. Все перечисленные устройства, являясь преобразующими измерительными звеньями структурной схемы РТС, осуществляют два типа преобразований.

Преобразование в шифраторе является первичным. Сигнал с выхода шифратора осуществляет модуляцию передатчика СВЧ. Эта модуляция несущей частоты называется вторичной.

Наиболее распространенными и простыми шифраторами являются кодовые барабаны, которые позволяют деформацию датчика преобразовать в серию электрических импульсов, представляющих собой сочетание кодовых элементов азбуки Морзе.

В качестве примера приведем конструкцию кодового шифратора, используемого в серийных радиозондах.

В радиозондах А-22-III и А-22-IV кодовый барабан является основным элементом прибора, с помощью которого обеспечиваются определенные сочетания замыканий цепи радиопередатчика. Кодовая пластина представляет собой тонкий металлический полуцилиндр фасонного профиля с рифленой поверхностью (путем вальцевания на поверхность нанесено 300 дорожек). Шаг дорожки кодовой пластины, т. е. расстояние между соседними выступами или впадинами, составляет 0,25 мм. Рабочая часть наружной поверхности посеребрена и на нее фотохимическим способом нанесена система кодовых знаков, в результате чего определенные участки рифленой поверхности остаются оголенными, а остальные покрыты токонепроводящим слоем (см. рис. 1.2).

При прохождении острия стрелки вдоль дорожки кодового поля возникают определенные сочетания замыканий и размыканий электрической цепи радиопередатчика, представляющие собой сигналы азбуки Морзе в виде двух букв. Первая буква определяет номер десятка дорожек; вторая — номер единиц в данном десятке. Это позволяет с помощью 10 букв однозначно передать 100 различных значений, определяющих положение острия стрелки на кодовой пластине. Буквам, которые используются для передачи сигналов радиозонда, присваиваются следующие цифры:

Буквы	Т	А	У	Р	Ф	Л	Д	Н	С	И
Цифры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Такая оцифровка позволяет расшифровать посылку сигналов любого метеоэлемента в виде двубуквенного сочетания двузначным числом, определяющим положение острия стрелки на дорожке кодового барабана.

Например, если сигнал давления принят в виде сочетания букв УД, то это означает, что контакт стрелки блока давления находился в этот момент на 26-й дорожке кодового барабана.

Так как передача сигналов производится в виде последовательных циклов давления, влажности и температуры, то для обозначения начала передачи каждого цикла сигналов метеорологических элементов имеется контактная пружина, создающая длительный сигнал при прохождении кодовым сектором пустого квадранта от стрелки термометра до стрелки бароблока (рис. 2.6).

В РТС с частотным способом передачи в качестве шифраторов используют генераторы поднесущих частот (измерительные генераторы). В большинстве случаев измерительные датчики являются составными элементами таких генераторов, образуя с ними единое целое.

Такие схемы обеспечивают почти линейную зависимость изменения частоты измерительного генератора от величины измеряемых параметров и практически полностью исключают трансформацию сигналов.

В конструкциях радиозондов с низкочастотным способом передачи в настоящее время широко применяются управляемые транзистронные генераторы, мультивибраторы и фантастроны.

Рассмотрим принципиальную схему измерительного генератора в виде транзистронного генератора, использованную в серийном радиозонде РКЗ-1 (рис. 2.7).

Измерительный генератор, смонтированный на лампе 2П29П, представляет собой сочетание транзитрона, интегратора и фантастроны. Он предназначен для генерирования импульсов, которые срывают генерацию передатчика СВЧ.

Измерительный генератор формирует импульсы отрицательной полярности, которые возникают благодаря периодическому заряду и разряду конденсатора  $C_1$ . Заряд конденсатора  $C_1$  происходит от источников питания при закрытой лампе, а разряд — при открытой.

Для того, чтобы перевести схему в динамический режим, т. е. в режим периодического заряда и разряда конденсатора, используется так называемый транзитронный эффект. Сущность его состоит в том, что при наличии отрицательной обратной связи между защитной и экранной сетками лампы (при соответствующем подборе ее режима и параметров схемы) может быть

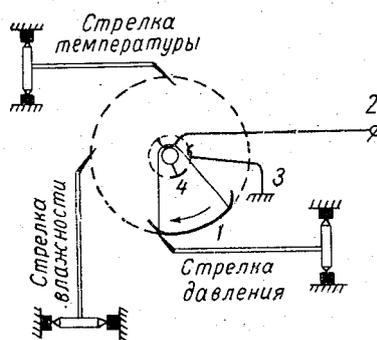


Рис. 2.6. Последовательность цикла кодирования в радиозонде А-22-III (IV).

1 — кодовый сектор (профиль кодового барабана), 2 — контакт подключения кодового сектора к схеме, 3 — контакт продолжительного сигнала начала цикла, 4 — ламмель для замыкания контакта 3.

получена падающая зависимость между напряжением и током экранной сетки (рис. 2.8).

Зависимость, при которой с возрастанием напряжения величина тока уменьшается, эквивалентна наличию в цепи отрицательного сопротивления. Поясним это.

Допустим, что в момент включения анодного питания лампы  $\mathcal{L}_1$  закрыта ( $I_a=0$ ), напряжение на аноде максимально

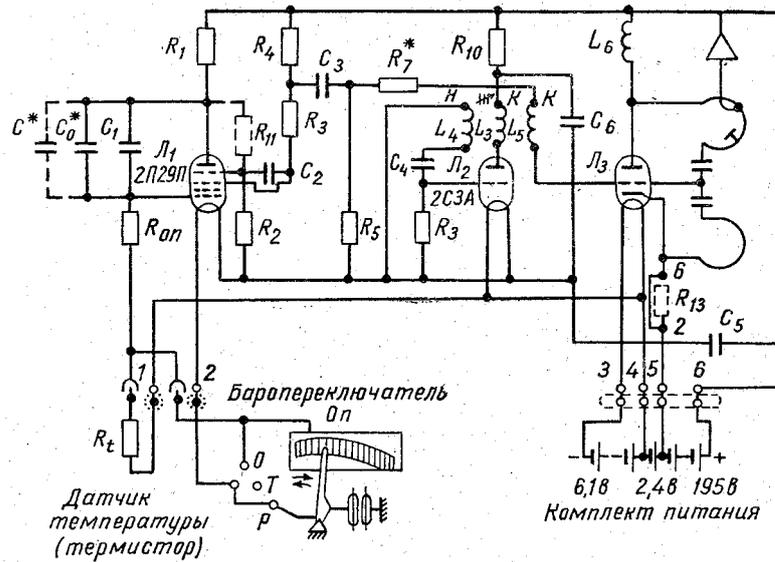


Рис. 2.7. Принципиальная схема измерительного генератора РКЗ-1 с модулятором и генератором СВЧ.

( $U_a=E_a$ ). Ток экранной сетки  $I_2$  и управляющей сетки  $I_1$  достигает максимального значения. При закрытой лампе происходит заряд конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ .

Рассмотренное состояние схемы не является устойчивым, так как конденсатор  $C_2$ , осуществляющий отрицательную связь между экранной и защитной сетками, начинает разряжаться. В этот момент в схеме возникает лавинообразный процесс перераспределения тока эмиссии лампы. Разряд конденсатора  $C_2$  вызывает резкое уменьшение тока экранной и управляющей сеток и способствует появлению анодного тока. В результате этого лампа  $\mathcal{L}_1$  открывается и конденсатор  $C_1$  начинает медленно разряжаться через лампу и сопротивления  $R_{он}$  или  $R_{он} + R_t$ .

Одновременно продолжает разряжаться и конденсатор  $C_2$  по цепи: сопротивление  $R_2$ , сопротивление экранная сетка—катод.

Разряд конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на аноде  $U_a$  не снизится настолько, что анодный ток прекратится. В момент прекращения анодного тока происходит повторение процесса заряда  $C_1$  и  $C_2$ .

Конденсатор  $C_1$  с последовательно подключенным сопротивлением  $R_{оп}$  или  $R_{оп} + R_t$  представляет собой интегрирующую цепочку, управляющую работой транзитронного генератора, постоянная времени  $\tau$  которой равна

$$\tau = RC_1. \quad (2.6)$$

Если бы емкость  $C_1$  разряжалась от максимального значения напряжения ( $U_{c_1} = E_a$ ) до нуля ( $U_{c_1} = 0$ ), то частота повторения

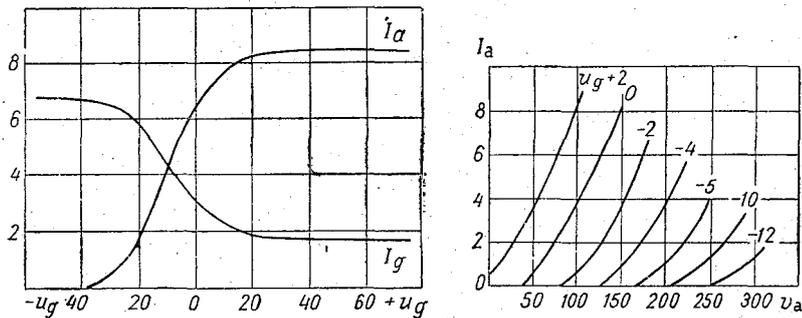


Рис. 2.8. Падающая зависимость между напряжением и током экранирующей сетки и анодные характеристики лампы  $L_1$ .

генерируемых импульсов транзитронного генератора  $F$  была бы равна обратной величине постоянной времени

$$F = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC_1}. \quad (2.7)$$

Однако разряд емкости  $C_1$  при открытой лампе происходит фактически не до нуля, а до некоторой величины  $U_a'$ , соответствующей потенциалу запираения лампы, когда разряд емкости  $C_1$  прекращается и снова начинается процесс заряда.

Совершенно очевидно (рис. 2.8), что постоянная времени  $\tau$  процесса полного заряда (разряда) не равна постоянной времени  $\tau'$ , потребной для частичного заряда (разряда). А поскольку это так, то частота генерирования транзитронного генератора будет определяться не  $\tau$ , а  $\tau'$ ; при этом  $\tau' < \tau$ .

Потенциал анода, при котором происходит запираение лампы, можно определить по семейству анодных характеристик данного пентода (рис. 2.8). Из рисунка следует, что анодный потенциал запираения лампы  $U_a'$  зависит от величины смещения, подаваемого на управляющую сетку, т. е. от  $U_g$ . Чем больше

отрицательное смещение, тем при большем значении анодного потенциала произойдет запираание лампы.

Исходя из сказанного, видно, что анодный потенциал запираания лампы  $U_a'$  можно регулировать путем изменения напряжения смещения  $U_g$ .

Увеличение отрицательного смещения приведет к повышению анодного потенциала запираания  $U_a'$ , при котором происходит прекращение анодного тока. Уменьшение отрицательного смещения уменьшит потенциал запираания  $U_a'$ . Путем подачи на сетку лампы транзитронного генератора управляющего напряжения можно управлять частотой повторения генерируемых импульсов, так как чем выше будет потенциал запираания  $U_a'$ , тем меньший отрезок времени будет разряжаться конденсатор интегрирующей цепочки  $C_1$ , что соответствует в конечном итоге увеличению частоты  $F$ .

Управление генерированием транзитронного генератора путем подачи на сетку лампы управляющего напряжения было использовано в разработке первоначального варианта радиозонда РКЗ-1, в схеме которого имелся усилитель постоянного тока.

Управление может осуществляться не только введением в цепь управляющей сетки меняющегося напряжения, но и изменением величины сопротивления  $R$ , включенного между сеткой и катодом.

Как видно из схемы, к управляющей сетке лампы подключено опорное сопротивление  $R_{оп} = 27 \div 29$  ком, последовательно с которым подключается либо датчик температуры  $R_t$ , либо потенциометр  $R = f(U)$ , связанный с датчиком влажности (см. рис. 2.18). При перемещении по шкале стрелка баропереключателе периодически закорачивает датчик  $R_t$  и в цепи сетки остается только опорное сопротивление  $R_{оп}$ . При переходе стрелки с контакта на изоляционный промежуток сеточное сопротивление оказывается равным

$$R = R_{оп} + R_t. \quad (2.8)$$

При соприкосновении стрелки баропереключателе с одним из контактов влажности (см. рис. 2.18) последовательно к опорному сопротивлению подключается потенциометр влажности  $R_U$ . Одновременно происходит отключение  $R_t$ . При этом сеточное сопротивление оказывается равным

$$R = R_{оп} + R_U. \quad (2.9)$$

Если  $R = R_{оп}$ , генератор вырабатывает опорные высокочастотные импульсы с частотой повторения  $F_{оп}$ . Когда  $R = R_{оп} + R_t$ , генерируются импульсы, частота повторения которых  $F_t = f(t)$ .

Если в цепь сетки включается сопротивление  $R_U$ , управление частотой переносится на датчик влажности.

Импульсы, вырабатываемые измерительным генератором, снимаются с экранной сетки, точнее со средней точки делителя, образованного сопротивлениями  $R_3$  и  $R_4$ . Через дифференцирующую цепочку  $R_5C_3$  импульсы отрицательной полярности подаются на сетку триода 6С11Д для модуляции генератора СВЧ. Эти импульсы на короткие промежутки времени (50—200 мксек.) срывают излучение передатчика, образуя в нем паузы (рис. 2.9). Поскольку частота повторения импульсов, вырабатываемых измерительным генератором, является условной мерой значений

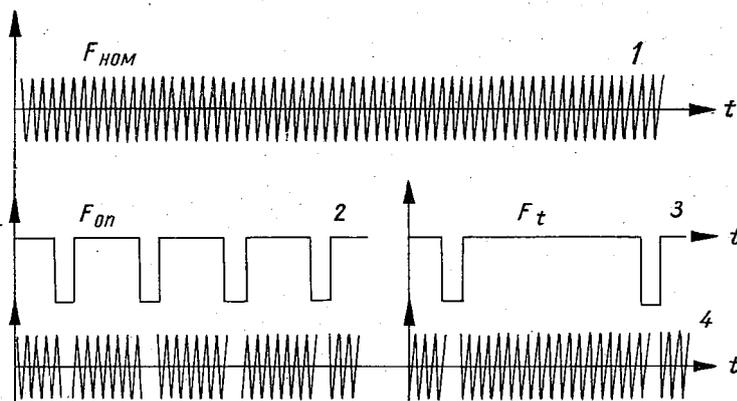


Рис. 2.9. Формирование импульсов отрицательной полярности и автомодуляция ими несущей частоты зонда.  
1 — несущая частота СВЧ, 2 — опорная частота, 3 — частота температуры, 4 — импульсно-модулированный сигнал.

измеряемых метеозлементов, то по частоте пауз можно определить значения температуры  $t$  и влажности  $U$ .

Датчики  $t$  и  $U$  периодически выключаются из цепи измерительного генератора и в ней остается включенным только высокостабильное опорное сопротивление  $R_{оп}$ , которое определяет величину опорной частоты  $F_{оп}$  и используется для повышения точности измерения метеозлементов. Это достигается применением безразмерного параметра

$$Y = \frac{F_t}{F_{оп}}. \quad (2.10)$$

Поясним это более подробно.

Частота повторения импульсов, вырабатываемых измерительным генератором, зависит от ряда условий. В частности, она зависит от изменения величины напряжений источников питания, температуры деталей генератора и ряда других дестабилизирующих факторов. Для уменьшения влияния этих факторов на

точность измерения температуры измерительный генератор периодически вырабатывает импульсы опорной (эталонной) частоты, величина которой может изменяться только от влияния дестабилизирующих факторов.

Отношение частот взаимно компенсирует указанные факторы, вследствие чего использование параметра  $Y$  повышает точность.

Если предположить, что за малый промежуток времени (между передачами частот  $F_t$  и  $F_{оп}$ ) условия работы измерительного генератора не меняются, то можно записать

$$F = \frac{k_i (U_a, I_a, U_n, t)}{R}, \quad (2.11)$$

где  $k_i$  — коэффициент, зависящий от схемы и ее параметров, или иначе

$$F_{оп} = \frac{k_i}{R_{оп}}, \quad F_t = \frac{k_i}{R_{оп} + R_t}, \quad (2.12)$$

откуда безразмерный параметр  $Y$  будет определен, как отношение

$$Y = \frac{F_t}{F_{оп}} = \frac{R_{оп}}{R_{оп} + R_t}. \quad (2.13)$$

Таким образом, поскольку  $R_{оп}$  можно считать высокостабильным постоянным сопротивлением ( $R_{оп} = \text{const}$ ), то частота повторения импульсов измерительного генератора будет зависеть только от величины сопротивления датчика температуры

$$Y = f(R_t), \quad R_t = f(t). \quad (2.14)$$

Схема измерительного генератора на пентоде обладает высокой стабильностью, технологичностью монтажа и отсутствием паразитных генераций.

Для повышения надежности и стабилизации работы измерительного генератора транзитронный генератор может быть заменен мультивибратором.

Мультивибратором называется ламповая схема, предназначенная для генерирования колебаний, по форме близких к прямоугольным. Схема мультивибратора собирается на двух лампах и представляет собой двухламповый усилитель с положительной обратной связью. Существует много разновидностей схем этого класса. Все мультивибраторы принято делить на симметричные и несимметричные, самовозбуждающиеся и ждущие.

В радиоблоке радиозонда РКЗ-1 может использоваться схема несимметричного самовозбуждающегося мультивибратора (рис. 2.10).

В симметричном мультивибраторе электрические параметры всех элементов (емкости и сопротивления) одной половины

схемы соответственно равны электрическим параметрам другой половины, при этом лампы в обеих половинах имеют одинаковые параметры. Изменение одного из параметров превращает схему в несимметричную.

Несимметричный самовозбуждающийся мультивибратор радиоблока РКЗ-1 собран на лампах  $L_1$  (2С3А) и  $L_2$  (2П29П). Экранная сетка  $L_2$  используется в качестве анода. Применение двух различных ламп уже делает схему несимметричной.

Возможность изменять степень несимметрии в широких пределах (от 100 до 2100 имп/сек.) реализуется в схеме путем

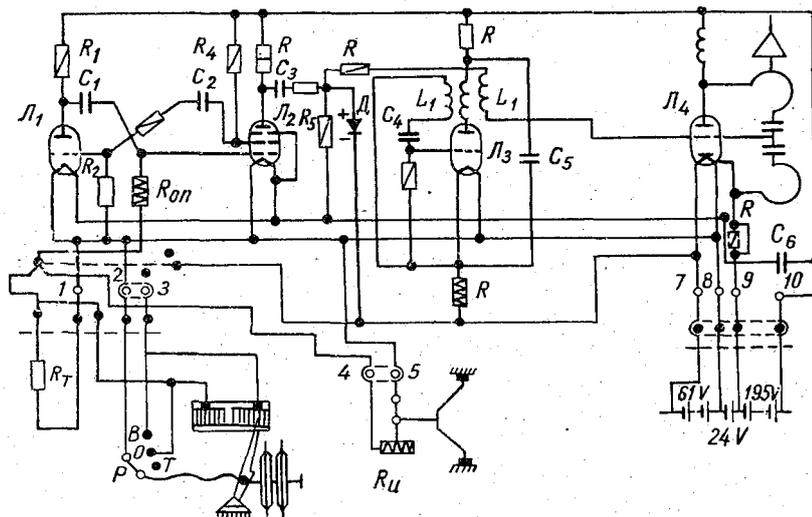


Рис. 2.10. Принципиальная схема РКЗ-1 с измерительным генератором в виде мультивибратора.

подключения к опорному сопротивлению  $R_{оп}$  сопротивления терморезистора  $R_t$  или сопротивления потенциометра датчика влажности  $R_u$ .

Для уяснения работы мультивибратора в качестве измерительного генератора РКЗ предположим, что схема симметрична. Суть работы ее в этом случае будет заключаться в попеременном запирании одной лампы и открытии второй, в результате чего в анодной и сеточной цепях создаются колебания напряжения, близкие к прямоугольным.

Запирание ламп осуществляется за счет подачи на сетку отрицательного (по отношению к катоду) потенциала, снимаемого с соответствующих сопротивлений  $R_2$  и  $R_{оп}$ . В работе схемы основную роль играют процессы заряда конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . При заряде конденсатора  $C_1$  (или  $C_2$ ) лампа  $L_2$  (или  $L_1$ ) отпирается, при разряде конденсатора она запирается.

Допустим, что в какой-то момент времени  $t_0$  лампа  $L_1$  закрыта, а лампа  $L_2$  начинает открываться. Поскольку схема подключена к источникам питания, то конденсатор  $C_1$  будет заряжаться до значения, близкого к потенциалу источника  $E_a$  по цепи: плюс анодной батареи, сопротивление  $R_1$ , емкость  $C_1$ , сопротивление  $R_{оп}$ , минус анодной батареи. (Датчики температуры и влажности отключены).

Зарядный ток конденсатора создаст на сопротивлении положительное относительно катода падение напряжения, которое приложено в сетке лампы  $L_2$ , вследствие чего анодный ток лампы  $L_2$  будет расти.

Увеличению анодного тока соответствует уменьшение потенциала второй сетки, используемой в качестве анода, в результате чего конденсатор  $C_2$  разряжается через сопротивление  $R_2$  и лампу  $L_2$ . Разрядный ток конденсатора  $C_2$  создает на сопротивлении  $R_2$  отрицательное падение напряжения, приложенное минусом к сетке, которое запирает лампу  $L_1$ . По мере уменьшения разрядного тока падение напряжения на сопротивлении  $R_2$  уменьшается и, наконец, достигает значения, при котором происходит отпирание лампы. В лампе  $L_1$  возникает анодный ток, что приводит к уменьшению потенциала анода и к разряду конденсатора  $C_1$  через  $L_1$  и  $R_{оп}$ .

Направление разрядного тока конденсатора  $C_1$  обратно зарядному, в силу чего на сопротивлении  $R_{оп}$  будет создаваться отрицательное падение напряжения. В результате этого лампа  $L_2$  окажется запертой. Таким образом, лампы  $L_1$  и  $L_2$  поменялись ролями.

Длительность цикла заряд-разряд  $C_1$  (или  $C_2$ ) определяется постоянной времени  $\tau$ , которая зависит от значения электрических величин  $C$  и  $R$  и примерно равна произведению  $CR$ .

Период времени, в течение которого лампы  $L_1$  и  $L_2$  меняются ролями (т. е. промежуток времени между двумя моментами отпирания или запираания лампы), обозначается  $T$ . В симметричном режиме длительность периода равна двум циклам (положительный полупериод равен отрицательному полупериоду).

Симметрия схемы мультивибратора нарушается за счет изменения величин сопротивлений при подключении к  $R_{оп}$  датчиков температуры и влажности. При этом изменяется как длительность цикла  $\tau$  [16, 48, 58], так и период колебаний мультивибратора (рис. 2.10). Режим становится несимметричным, так как длительность разряда конденсатора  $C_1$  не равна длительности разряда конденсатора  $C_2$ , поскольку сопротивления цепи разряда  $R_2 \neq R_{оп} + R_t$ .

Постоянная времени  $\tau_2$  для цепи  $C_2R_2$  определяется так:  $\tau_2 = C_2(R_{л_2} + R_2)$ , а так как внутреннее сопротивление лампы  $L_2$   $R_{л_2} \ll R_2$ , то  $\tau_2 \simeq C_2R_2$ .

Максимальное напряжение, которое образуется на сопротивлении  $R_2$ , равно напряжению на конденсаторе  $C_2$ , т. е.  $U_{g_1} = E_a - U_{a_2}$ , где  $U_{a_2}$  — потенциал анода  $\mathcal{L}_2$ . Напряжение  $U_{g_1}$  уменьшается до значения запирающего лампы  $U_{g_1} = U_{\text{зап}}$ . Учитывая, что уменьшение напряжения происходит по экспоненциальному закону, длительность цикла разряда можно определить выражением

$$\tau_2 = C_2 R_2 \ln \frac{E_a - U_{a_2}}{U_{\text{зап}}}. \quad (2.15)$$

По аналогии запишем выражение постоянной времени  $\tau_1$  для трех возможных случаев:

$$\tau_1 \approx C_1 R_{\text{оп}}, \quad \tau_1 \approx C_1 (R_{\text{оп}} + R_t), \quad \tau_1 \approx C_1 (R_{\text{оп}} + R_U),$$

или

$$\begin{aligned} \tau_1 &= C_1 R_{\text{оп}} \ln \frac{E_a - U_{a_1}}{U_{\text{зап}}}, \\ \tau_1 &= C_1 (R_{\text{оп}} + R_t) \ln \frac{E_a - U_{a_1}}{U_{\text{зап}}}, \\ \tau_1 &= C_1 (R_{\text{оп}} + R_U) \ln \frac{E_a - U_{a_1}}{U_{\text{зап}}}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Таким образом, длительность циклов  $\tau$  в конечном счете будет зависеть от сопротивлений терморезистора или переменного сопротивления датчика влажности. Колебания напряжения прямоугольной формы в цепи второй сетки лампы  $\mathcal{L}_2$  создадут в цепи анода  $\mathcal{L}_2$  аналогичные колебания, поскольку между второй сеткой и анодом имеется электронная связь. В цепи анода  $\mathcal{L}_2$  в качестве нагрузки поставлено сопротивление  $R_5$  и параллельно ему диод  $D$  (для фиксации уровня постоянного напряжения). Импульсы с анодной цепи  $\mathcal{L}_2$  дифференцируются, положительные выбросы напряжения шунтируются тем же диодом, а отрицательные снимаются с сопротивления и подаются на сетку генераторной лампы  $\mathcal{L}_4$  (6С11Д) для осуществления срыва генерации аналогично тому, как это происходило в предыдущих схемах (рис. 2.10).

Для преобразования сигналов от датчиков в частотно модулированные высокочастотные сигналы в радиотелеметрии обычно используются реактивные лампы. В простейшем случае в качестве реактивной лампы используется триод или тетрод (рис. 2.11). Входной сигнал от первичного измерительного прибора (в данном случае с измерительной диагонали моста термометра сопротивления) подается на управляющую сетку лампы. Реактивная лампа через разделительный конденсатор  $C_2$  подключается параллельно колебательному контуру задающего генератора радиопередатчика. Между катодом и анодом реактивной

лампы поставлена так называемая фазосдвигающая цепочка  $RC$ , конденсатор  $C$  которой осуществляет между сеткой и анодом лампы реактивную обратную связь.

Для осуществления частотной модуляции в фазосдвигающей цепочке  $RC$  должно выполняться следующее условие: активное сопротивление  $R$  должно быть во много раз меньше реактивного сопротивления конденсатора

$$R \ll \frac{1}{\omega C}.$$

При выполнении этого условия высокочастотная составляющая напряжения на сетке лампы оказывается сдвинутой по фазе относительно анодного напряжения на  $90^\circ$ . Это приводит к тому, что переменная составляющая анодного тока будет сдвинута по

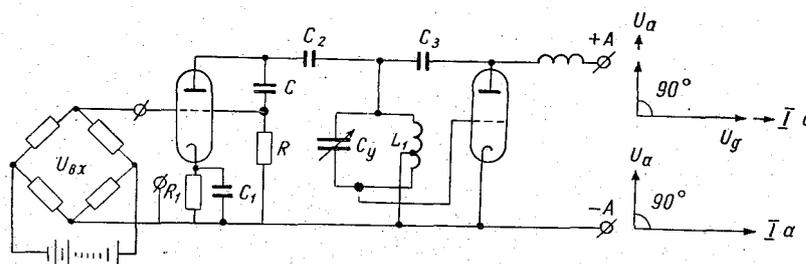


Рис. 2.11 Схема применения реактивной лампы для частотной модуляции.

фазе относительно анодного напряжения тоже на  $90^\circ$ , что свидетельствует о реактивном характере сопротивления цепи, шунтирующей колебательный контур. Иными словами, при соблюдении указанного условия реактивная лампа, подключенная параллельно к колебательному контуру передатчика, ведет себя как шунтирующая емкость, равная (по модулю) произведению  $RC$  на крутизну характеристики лампы  $S$ . Обычно лампа ставится в такой режим работы, чтобы при всех возможных изменениях входного сигнала рабочая точка находилась на криволинейном участке характеристики. В этом случае изменение амплитуды входного сигнала вызовет изменение крутизны в рабочей точке (так как  $I = S U_g$ ), а следовательно, и изменение емкости, шунтирующей контур. Изменение шунтирующей емкости вызывает изменение собственной частоты колебательного контура, то есть частотную модуляцию сигнала.

В конкретной схеме телеметрии  $MP-1$  напряжение на входе реактивной лампы может изменяться в пределах от  $-100$  до  $+100$  мв. Такое изменение напряжения обеспечивает изменение частоты передатчика в пределах  $\pm 50$  кГц.

Передача сигналов, несущих информацию об измеряемых метеозементах, осуществляется дискретно путем последовательного циклического подключения измерительных диагоналей мостов на вход реактивной лампы. Для этого используется механический коммутатор, напряжение с ламмелей которого снимается с помощью вращающейся системы щеток.

Рассмотренные варианты преобразователей (шифраторов) могут использоваться как в серийных радиозондах различных конструкций, так и в специализированных радиозондах, на устройстве которых ограниченный объем книги не позволяет останавливаться.

Для управления циклическостью работы телеметрических каналов в современных радиозондах используются программные устройства в виде часовых механизмов, микроэлектродвигателей и баропереклюкателей [8, 24, 27, 28, 40, 65].

Независимо от принципа работы любой программный механизм определяет очередность передаваемой информации и обычно выдает ключ к расшифровке сигналов, принятых наземными установками.

Кроме того, введение программного механизма в конструкцию радиозонда обеспечивает возможность автоматизации процесса приема. Так, например, вращение кодового барабана радиозонда А-22-III с помощью вертушки позволяло регистрировать информацию только на регистраторе ПР-4, в то время как микроэлектродвигатель, приводящий во вращение кодовый барабан радиозонда А-22-IV с относительно постоянной скоростью, обеспечивает регистрацию информации с помощью автоматического регистратора ПР-16.

Познакомимся с конструкцией микроэлектродвигателя.

Микроэлектродвигатель, предназначенный для привода во вращение кодового барабана, состоит из ротора с постоянным магнитом, который вращается в двух пластмассовых подшипниках, платы, крышки с токосъемником, двух пакетных статорных пластин, статорной обмотки и редуктора (рис. 2.12).

Напряжение питания подводится к специальному контакту на оси редуктора с помощью двух пружинных щеток, прикрепленных с внутренней стороны крышки на текстолитовой колодочке. Редуктор для передачи вращения от оси микродвигателя к оси кодового барабана имеет передаточное число 660.

Для уменьшения искрения щеток микродвигателя, создающих радиопомехи, параллельно щеткам поставлен конденсатор емкостью 0,05 мкф.

Средняя точка обмотки катушки микродвигателя подключается к источнику питания, а концы обмоток к щеткам. Электрический ток при работе микроэлектродвигателя протекает от средней точки статорной обмотки через ту или иную половину обмотки (в зависимости от соприкосновения щетки с контактом

оси ротора) и далее по оси ротора через токосъемник замыкается на корпус микроэлектродвигателя.

Работа микроэлектродвигателя происходит так. При отсутствии тока в обмотке статорной катушки в начальный момент постоянный магнит, взаимодействуя с переменным зазором статора, устанавливается в таком положении, что контакт на оси ротора обязательно коснется одной из щеток.

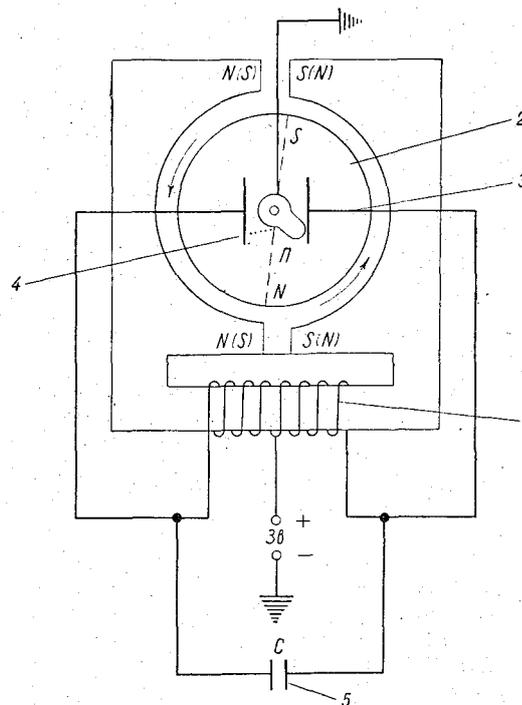


Рис. 2.12. Схема микроэлектродвигателя радиозонда А-22-IV.

1 — статорная обмотка, 2 — постоянный магнит,  
3 — пружинные щетки, 4 — контакт на оси редуктора,  
5 — шунтирующий конденсатор.

При подключении источника питания электрический ток начинает протекать через одну из половин обмотки статорной катушки. При этом статор намагничивается. В результате взаимодействия двух магнитных полей (ротора и статора) ось микроэлектродвигателя приходит во вращение.

По мере поворота оси контакт ротора отойдет от щетки и электрическая цепь разомкнется. Однако постоянный магнит ротора в этот момент будет занимать такое положение, при кото-

ром он будет стремиться повернуться далее в том же направлении, и ось двигателя будет продолжать вращаться до очередного замыкания контакта ротора со следующей щеткой. Движение ротора при разрыве электрической цепи объясняется взаимодействием магнитного поля ротора с переменным зазором статора.

При соприкосновении контакта на оси ротора со второй щеткой статор снова намагнитится, но уже с противоположной полярностью. В результате взаимодействия магнитных полей ось двигателя будет продолжать вращаться. Далее процесс вращения повторяется в указанной последовательности.

Своеобразным полуавтоматическим программирующим устройством является баропереключателъ, используемый в различных системах радиозондов, в том числе и в радиозондах РКЗ-1.

В связи с тем, что давление с высотой изменяется по логарифмическому закону, возникает возможность осуществить закономерную коммутацию измерительных цепей телеметрических каналов или, иными словами, опрос датчиков. Это обеспечивается с помощью анероидной коробки, деформация подвижного центра которой, по мере подъема радиозонда, перемещает стрелку по контактной шкале.

Баропереключателъ собран на дюралевом каркасе. Он состоит из одной или двух анероидных коробок и коммутирующего устройства.

Между стрелкой баропереключателъ и блоком анероидных коробок включен кинематический термокомпенсатор первого рода, который настраивается так, чтобы уменьшить влияние температуры на положение стрелки баропереключателъ.

Контактная шкала баропереключателъ (рис. 2.13) изготовлена из органического стекла, на котором фотохимическим способом напечатаны либо две изолированные друг от друга шкалы металлических контактов (шкала опорной частоты и шкала влажности для радиозонда с датчиком влажности), либо одна шкала контактов опорной частоты. Для перемещения шкалы и ее начальной установки перед выпуском радиозонда в баропереключателе имеется гайка, удерживаемая от самопроизвольного вращения фиксатором. К одной из щечек каркаса баропереключателъ старого варианта прикреплен дублер, имеющий поводок для переключений, имитирующих положение стрелки на шкале. В новом варианте баропереключателъ вместо каркаса используется штампованный корпус, к которому крепится дублер.

К радиоблоку баропереключателъ подключается при помощи двух вилок. Для предохранения шкалы и стрелки при транспортировке последняя арретируется, при этом арретир размыкает стрелку со шкалой и термокомпенсатором.

Интересно отметить, что баропереключитель, предназначенный для последовательного коммутирования измерительных цепей, может одновременно выполнять функцию датчика давления,

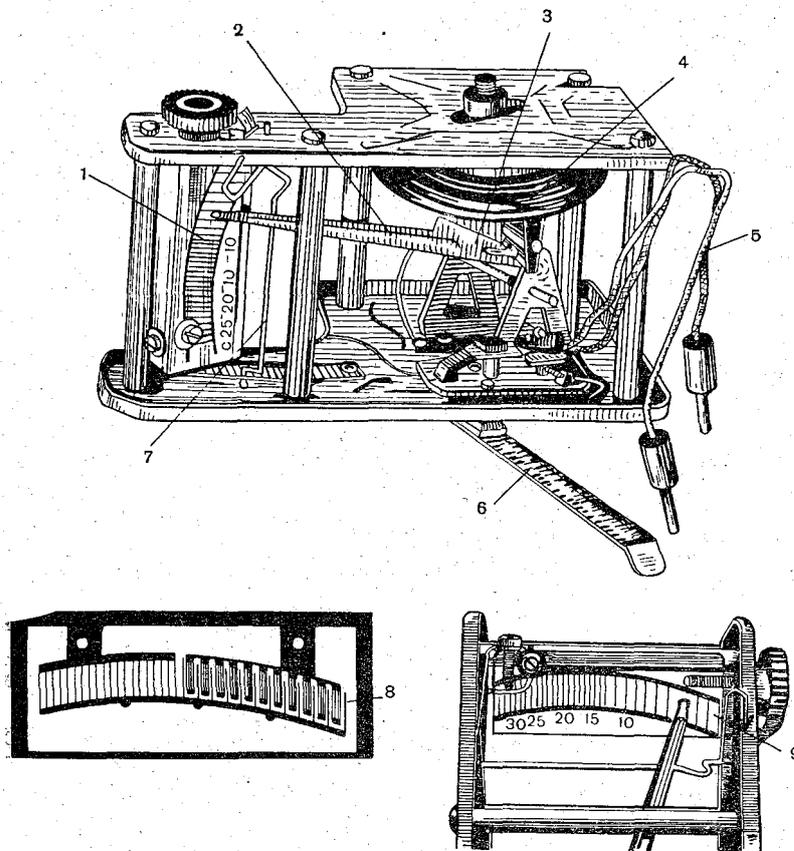


Рис. 2.13. Баропереключитель РКЗ-1 и его шкалы.

1 — шкала, 2 — контактная стрелка, 3 — термокомпенсатор, 4 — анероидная коробка, 5 — соединительные провода с вилками, 6 — дублер, 7 — стопорная скоба, 8 — шкала для РКЗ-1 с датчиком влажности, 9 — шкала для РКЗ-1 без датчика влажности.

так как моменты переключения измерительных цепей соответствуют определенным значениям давления атмосферы, которые легко определяются по поверочному графику.

В комплексе с шифраторами программирующие устройства обеспечивают управление работой радиопередатчиков зондов, особенностям конструкции которых и принципу действия посвящается следующий параграф. Запоминающие устройства ЗА (см. рис. 1.1) в современных радиозондах не применяются.

## § 7. Передатчики радиозондов

Радиопередатчики современных радиозондов представляют собой генераторы СВЧ. Некоторые из них построены по принципу сверхрегенераторов, что позволяет изменять режим регенерации под действием запросных сигналов, приходящих от наземных установок. Такое изменение регенерации (сигнал ответа) позволяет измерять наклонную дальность.

Требования, предъявляемые к радиопередатчикам, определяются структурой выходных сигналов шифратора, условиями работы передатчика и техническими характеристиками приемных устройств наземных установок.

К радиопередатчикам современных радиозондов предъявляются определенные требования, которые относятся к электрическим системам, к конструкции приборов, а также к их эксплуатации.

Требования к электрическим системам в основном относятся к величине и стабильности несущей частоты и диапазону ее изменения; к мощности передатчика, так как она определяет собой дальность действия и надежность радиотелеметрического канала; к коэффициенту полезного действия  $\eta$ , под которым понимается отношение излучаемой мощности  $P_{\text{и}}$  ко всей потребляемой мощности  $P_{\text{п}}$ ,

$$\eta = \frac{P_{\text{и}}}{P_{\text{п}}}. \quad (2.17)$$

Коэффициент полезного действия является важной характеристикой, определяющей требуемую емкость источников питания и связанную с ней продолжительность работы передатчиков.

Требования к конструкции радиопередатчиков радиозондов в основном сводятся к определению допустимого веса, габаритов, тепло- и влагоизоляции и в отдельных случаях (для сбрасываемых радиозондов)  $g$ -устойчивости.

К эксплуатационным требованиям относятся требования к проверкам, к надежности работы приборов с минимальным числом отказов, к способности их к длительному хранению и к транспортировке.

Специальные требования могут быть электрическими, определяющими режим работы схемы передатчика, конструктивными, определяющими особенности монтажа, и эксплуатационными, определяющими повышение надежности [73, 75].

Не имея возможности рассмотреть радиопередатчики всех известных радиозондов, остановимся на особенностях радиопередатчиков отечественных серийных радиозондов комплексного зондирования с кодовым и низкочастотным способами передачи информации.

Для совместной работы с радиозондами А-22-III и А-22-IV в аэрологической сети использовались четыре типа радиопере-

датчиков, конструктивно оформленных в виде отдельных радиоблоков (пеленгуемые радиоблоки ПРБ-1,5, А-36, А-43 и передатчики-ответчики А-35 и А-35-1).

В настоящее время на сети аэрологических станций не применяются радиопередатчики А-36, А-43 и А-35-1. Однако их схемы представляют интерес.

Радиоблоки ПРБ-1,5 и А-36 предназначены для работы с радиотеодолитом «Малахит», не имеющим дальномерной приставки. Передатчик А-43 предназначен для работы с радиотеодолитом «Малахит» главным образом при автоматической регистрации сигналов.

Передатчики-ответчики А-35 и А-35-1 используются при работе с радиотеодолитом «Малахит», оборудованным дальномерной приставкой. Рассмотрим принципиальные схемы радиоблоков и познакомимся с их работой [8, 22, 27, 28, 31, 55, 56, 64, 65].

**Передатчик ПРБ-1,5.** Радиоблок ПРБ-1,5, разработанный М. В. Кречмером, собран на лампе 2С3А по схеме самовозбуждающегося генератора, работающего в режиме автомодуляции на частоте 216 Мгц. Принципиальная схема ПРБ-1,5 представлена на рис. 2.14 а.

Необходимая для генерации обратная связь обеспечивается междуэлектродными емкостями лампы, представляющей собой специальный малогабаритный бесцокольный триод.

Колебательным контуром передатчика является длинная линия с проходными емкостями лампы. Подстройка частоты производится дугообразным реохордом из медной проволоки, являющейся продолжением сеточного провода к длинной линии. По реохорду перемещается движок, соединенный с сеткой лампы. В зависимости от положения движка меняются параметры длинной линии, а следовательно, изменяется и частота передатчика, что вытекает из формулы Томсона

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (2.18)$$

Реохорд позволяет изменять несущую частоту на 10—12 Мгц.

Познакомимся с назначением некоторых деталей и режимом работы передатчика.

Конденсатор  $C$  является разделительным. Он замыкает линию по высокой частоте и разделяет по постоянному току сеточную и анодную цепи. Дроссель  $Dr_1$  носит название заградительного. Совместно с конденсатором  $C_3$  он образует фильтрующую ячейку в анодной цепи. Дроссель  $Dr_2$  служит для замыкания сеточной цепи по постоянному току.

Процесс, происходящий при автоматической модуляции, заключается в следующем. После подключения к генератору питания генератор начинает генерировать синусоидальные колебания, амплитуда которых резко возрастает. При этом на емкости



благодаря чему отрицательное напряжение смещения уменьшается. Когда уменьшающееся напряжение смещения достигает уровня отпирания лампы, колебания в генераторе возникнут вновь.

Для нашего случая, когда частота генерации  $f$  много больше частоты автомодуляции, имеет место следующее приближительное равенство:

$$T \approx RC \ln \frac{U_2}{U_1}, \quad (2.19)$$

где  $U_2$  — значение потенциала сетки при возникновении колебаний СВЧ,  $U_1$  — значение потенциала сетки при запираии лампы.

Из приведенной формулы видно, что период автомодуляции пропорционален  $R$  и  $C$ . Исходя из этого, частоту автомодуляции можно изменять в значительных пределах при изменении емкости сеточной цепи.

Величина  $C_1$  может скачкообразно изменяться путем параллельного подключения к  $C_1$  емкости  $C_2$ . Это действие обычно осуществляется коммутатором радиозонда, который замыкает или размыкает цепь манипуляции.

При разомкнутой цепи передатчик работает с относительно высокой частотой посылок импульсов (от 2500 до 6000 имп/сек.).

Когда цепь манипуляции замкнута, постоянная времени в цепи резко увеличивается, что вызывает уменьшение частоты следования импульсов до 400—1200 импульсов в секунду.

Импульсы с низкой частотой следования используются для передачи сигналов радиозонда, а импульсы с относительно высокой частотой следования соответствуют паузам между сигналами.

Мощность передатчика в импульсе в конце 100-й минуты срока работы составляет не менее 0,1 вт.

Поскольку несущая частота радиоимпульсов, длинного и короткого, практически постоянна ( $f=216$  Мгц), пеленгование радиозонда с целью определения его угловых координат производится при обеих частотах следования.

Высокочастотная энергия передается в антенну с помощью длинной линии, которая индуктивно связана с контуром передатчика. Антенна представляет собой петлевой вибратор Пистолькорса.

При подъеме радиозонда с передатчиком ПРБ-1,5 на радиотеодолите «Малахит» принимают как рабочие сигналы, характер и продолжительность которых зависят от значений метеорологических элементов, так и сигналы, соответствующие паузам между рабочими сигналами.

**Радиопередатчик А-43.** Радиопередатчик А-43 предназначен для передачи сигналов радиозонда А-22-IV и работает совместно

с радиотеодолитом «Малахит» при автоматической или полуавтоматической регистрации сигналов.

Принципиальная схема А-43 представлена на рис. 2.14 б. Радиопередатчик А-43 представляет собой двухчастотный автогенератор, собранный на лампе 2С3А.

Передатчик имеет две колебательные системы: ультракоротковолновую и низкочастотную. При самовозбуждении автогенератора колебания высокой частоты модулируются импульсами низкочастотного генератора.

Радиоимпульсы, образованные в высокочастотном контуре и излучаемые передатчиком, имеют две частоты посылок. Частота посылок скачкообразно меняется при замыкании стрелки на кодовой пластине барабана и при размыкании. Такой скачкообразный переход от одной частоты следования к другой обеспечивается подключением или отключением дополнительного конденсатора  $C_1$  к низкочастотному контуру. При замыкании стрелки частота следования импульсов (частота нажатия) колеблется в пределах 2000—2300 гц, а при размыкании стрелки частота следования импульсов (частота отжатия) изменяется в пределах 2900—3200 гц.

Монтаж радиопередатчика А-43 выполнен на картонной плате, на которой жестко укреплены все детали схемы. Высокочастотный контур передатчика А-43 представляет собой медный бугель, по которому перемещается движок для подстройки несущей частоты радиопередатчика.

Низкочастотный контур состоит из катушки индуктивности (обмотка трансформатора  $Tr$ ) и емкостей  $C_1$  и  $C_2$ . Радиопередатчик помещается в отдельную картонную коробку со щелями для антенных диполей, которая прикрепляется к кожуху радиозонда А-22-IV.

Антенна представляет собой два диполя из алюминиевой проволоки, длина каждого соответствует половине длины волны. Диполи просовываются в отверстия коробки под прямым углом друг к другу.

**Передатчик А-35.** Принципиальная схема передатчика-ответчика А-35 разработана в Центральной аэрологической лаборатории С. Ф. Калачинским и В. С. Хахалиным в связи с появлением дальномерной приставки к радиотеодолиту «Малахит» (рис. 2.15 а).

Передатчик состоит из генератора высокочастотных колебаний, вспомогательного генератора синусоидального напряжения, собранного по трехточечной схеме тоже на лампе 2С3А и модулирующего генератора релаксационного типа на неоновой лампе.

Колебания СВЧ модулируются дважды: из-за сильной обратной связи между катушками  $L_1$  и  $L_2$  осуществляется глубокая амплитудная модуляция сигналами вспомогательного генератора синусоидальных колебаний, а с помощью релаксационного

генератора модулирующие колебания периодически срываются, в то время как колебания СВЧ продолжают существовать. При этом частота срывов определяется либо сигналами, либо паузами между ними.

Генератор высокочастотных колебаний генерирует колебания несущей частоты 216 Мгц. Частота сигналов генератора вспомогательного синусоидального напряжения определяется собственной частотой контура, образованного индуктивностью  $L_1$ , межвитковой емкостью и емкостью монтажа. Она равна примерно 400 кгц.

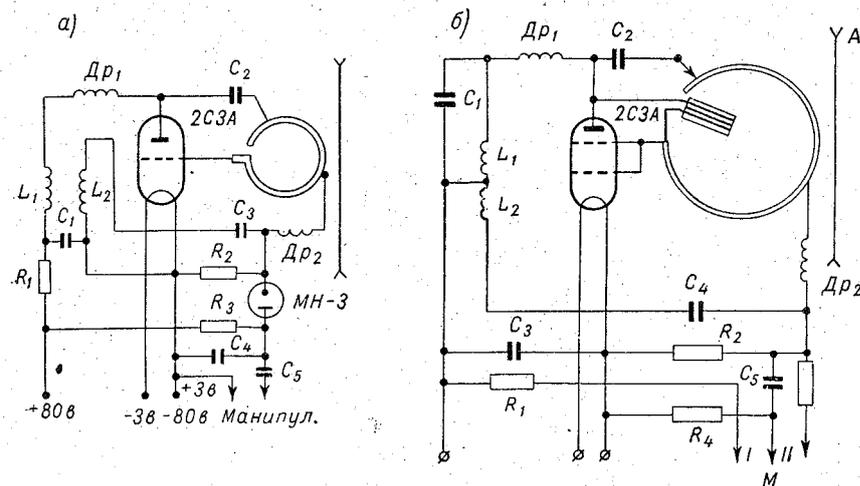


Рис. 2.15. Принципиальные схемы радиопередатчиков-ответчиков.  
а — А-35, б — А-35-1.

Генератор вспомогательного синусоидального напряжения введен в схему для облегчения режима генерирования высокочастотного генератора при периодическом запираии лампы, что будет показано на примере формирования ответного сигнала. В схеме передатчика он определяет частоту повторения импульсов (частоту суперирования), заполненных колебаниями несущей частоты 216 Мгц, и обеспечивает формирование ответного сигнала.

Релаксационный генератор предназначен для передачи сигналов радиозонда. Частота колебаний этого генератора при замыкании контактных стрелок с кодовым барабаном радиозонда составляет примерно 500 гц, а при размыкании 2000 гц. Генератор работает таким образом, что он периодически срывает синусоидальные колебания вспомогательного генератора. На это время передатчик переходит в непрерывный режим генерирования. На рис. 2.16 а изображено излучение передатчика при

паузе, когда контактные стрелки разомкнуты с кодовым полем. В этом случае излучаются пачки коротких радиоимпульсов с частотой повторения пачек 2000 гц и длительностью около

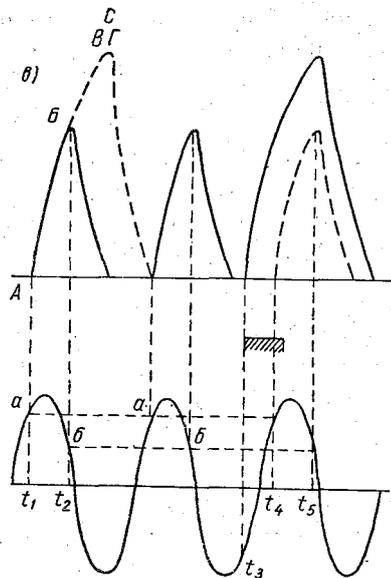
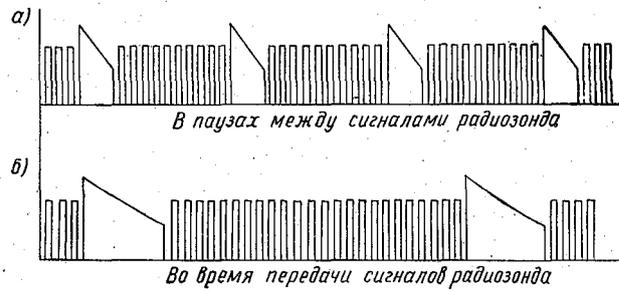


Рис. 2.16. Излучения передатчика А-35.  
 а — образование импульсов линейного режима, б — излучение при разомкнутых манипуляционных проводах, в — излучение при замкнутых манипуляционных проводах.

10 мксек., как бы состоящие из радиоимпульсов длительностью 1 мксек. при частоте следования 2400 кгц.

При замыкании стрелок с кодовым полем происходит увеличение емкости за счет параллельного присоединения к  $C_4$  конденсатора  $C_5$ , в связи с чем изменяется постоянная времени

заряда и разряда емкости, шунтирующей на неоновую лампу, и в излучении передатчика, кроме основных пачек импульсов, образуются широкие пачки длительностью 80—120 мксек., следующие с частотой повторения 300—800 гц (рис. 2.16 б).

За время длительности пачек импульсов передатчик как бы переходит в режим работы ответчика. Поступающий на сетку лампы запросный сигнал приводит к увеличению амплитуды излучения в течение длительности запросного сигнала.

Рассмотрим процесс образования импульсов на графике (рис. 2.16 в). Допустим, что в некоторый момент времени  $t_1$  вспомогательное напряжение достигло значения  $a$  и в этот момент начинается возбуждение генератора. Если бы напряжение вспомогательного генератора в точке  $a$  оставалось постоянным, то генератор СВЧ работал бы в режиме сверхрегенератора, напряжение которого, постепенно возрастая, достигло бы своего максимума в точке  $c$ , и после заряда конденсаторов в сеточной цепи произошел бы срыв колебаний.

Но вспомогательное напряжение непостоянно, а изменяется по синусоидальному закону. Достигнув точки  $a$ , оно некоторое время увеличивается, а затем уменьшается. В связи с этим импульс сверхрегенератора, не достигнув максимума, срывается в точке  $b$ .

Теперь предположим, что в момент времени  $t_2$  поступает мощный запросный импульс. Из графика видно, что генерирование сверхрегенеративного импульса в этом случае начнется не в момент  $t_4$ , определяемый значением точки  $a$  вспомогательного напряжения, а в момент  $t_3$ , и ко времени срыва  $t_5$  амплитуда сверхрегенеративного импульса успеет достигнуть максимального значения, превысив уровень амплитуд всех других импульсов сверхрегенератора.

Сборка, настройка и проверка рассмотренных радиопередатчиков производится в строгой последовательности, изложенной в Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 4, часть VI, 1960 г.

Прием сигналов пеленгуемых радиопередатчиков производится наземным комплексом радиотеодолита «Малахит», а регистрация информации осуществляется либо полуавтоматически (полуавтоматическим регистратором ПР-4), либо автоматически (автоматическим регистратором ПР-16).

Для удешевления передатчиков-ответчиков и расширения возможностей их применения принципиальная схема А-35 была несколько видоизменена (рис. 2.15 б). С 1963 г. в аэрологическую сеть ГУГМС СССР внедряется передатчик-ответчик А-35-1.

Схема А-35-1 обеспечивает пеленгование, измерение наклонной дальности и передачу кодированной информации радиозондов А-22-III и А-22-IV как для записи ее на автоматическом

регистраторе ПР-16, так и для регистрации методом слухового приема на ПР-4.

Работа передатчика-ответчика А-35-1 складывается из «режима ответа» (при разомкнутой цепи манипуляции) и «режима метеоинформации» (при замкнутой цепи манипуляции контактной системой радиозонда). При разомкнутой цепи манипуляции передатчик А-35-1 фактически переходит в режим работы высокочувствительного приемника с выдачей ответного импульса, совпадающего по времени с запросным.

В это время его работа не отличается от описанной выше по рис. 2.16 в.

При замкнутой цепи манипуляции передатчик работает подобно передатчику ПРБ-1,5. Частота посылок импульсов в этом режиме зависит от способа приема информации, т. е. от того, какая цепь манипуляции включена.

Замыкание первой цепи манипуляции используется для автоматической записи сигналов на ПР-16. Замыкание второй цепи манипуляции используется при слуховом методе приема сигналов. Режим передачи сигнала нарушает способность передатчика отвечать, однако это не мешает вести его пеленгование по угловым координатам и наклонной дальности. Последняя определяется в момент разомкнутого состояния контакта барабан—стрелка.

**Передатчик РКЗ.** Радиопередатчик радиозонда РКЗ-1 в виде автогенератора СВЧ входит составным элементом в радиоблок зонда и неотделим от него. В связи с этим целесообразно рассмотреть принципиальную схему всего радиоблока, остановившись преимущественно на различных вариантах модификации.

В настоящее время встречаются различные варианты конструкций радиозонда РКЗ-1 (рис. 2.17): Одни из них не имеют датчика влажности. Другие варианты их имеют. Однако и между ними имеются различия. Современные радиозонды типа РКЗ-1 в качестве датчика влажности имеют органическую пленку, которая, деформируясь, перемещает ползунок потенциометра. Ранее в качестве датчика влажности использовались сопротивления  $R=f(U)$ , связанные с измерительным генератором через усилитель постоянного тока (УПТ).

В блок-схему радиозонда входят: измерительный генератор, модулятор, передатчик СВЧ, измерительные датчики, датчик опорной частоты, баропереключитель и комплект питания.

В радиозонде РКЗ-1, как говорилось выше, принят низкочастотный способ передачи сведений о метеоэлементах, при котором показанию того или иного датчика соответствует определенная частота повторения импульсов, вырабатываемых измерительным генератором.

Датчик температуры и датчик опорной частоты поочередно подключаются к измерительному генератору при помощи

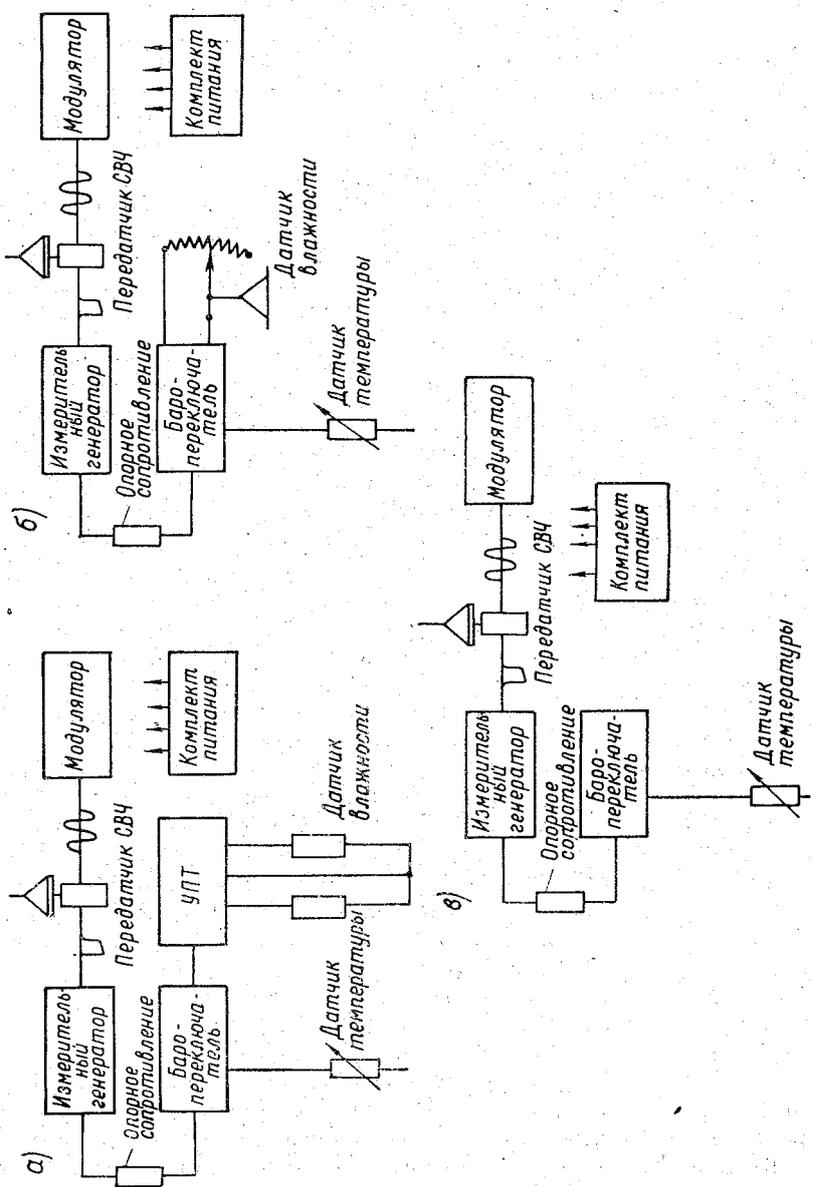


Рис. 2.17. Блок-схемы различных вариантов радиозонда РКЗ-1.  
 а — схема с датчиком влажности и УПТ, б — схема с датчиком влажности без УПТ, в — схема без датчика влажности.

баропереклювателя (при движении контакта стрелки по шкале баропереклювателя в процессе подъема радиозонда).

Баропереклюватель поочередно замыкает через определенные интервалы давления (высоты подъема радиозонда) измерительные схемы для измерения температуры и для измерения опорной частоты (при использовании датчика влажности замыкается цепь измерения влажности).

Датчики подключаются к сеточной цепи измерительного генератора, вырабатывающего импульсы напряжений отрицательной полярности. Частота повторения этих импульсов является условной мерой величины измеряемого параметра.

Измерительный генератор управляет работой сверхвысокочастотного передатчика (передатчика СВЧ) радиозонда. Импульсы от измерительного генератора поступают на сетку лампы передатчика СВЧ, срывают на короткие промежутки времени (50—300 мксек.) генерацию передатчика и образуют тем самым паузы в излучении. По частоте пауз в излучении передатчика радиозонда определяют измеряемые величины метеорологических элементов и опорную частоту.

Передатчик СВЧ управляется измерительным генератором радиозонда, выполняющим роль шифратора, и специальным модулятором.

Модулятор обеспечивает особый (сверхрегенеративный) режим работы передатчика. В этом режиме передатчик СВЧ выполняет функции не только передатчика сведений о величине температурной и опорной частот, но и радиолокационного ответчика, реагирующего на импульсные сигналы запроса, посылаемые радиолокационной станцией. По времени между посылкой импульса запроса станцией и получением ответного сигнала от радиозонда измеряется расстояние до радиозонда (наклонная дальность).

Для защиты деталей и соединительных проводов от влаги и механических повреждений радиоблок зонда помещается в целлулоидный футляр.

Принципиальная схема радиоблока РКЗ-1А с пленочным датчиком влажности приведена на рис. 2.18.

В данном варианте в качестве измерительного генератора используется транзитронный генератор, принцип работы которого нами уже рассмотрен, поэтому рассмотрим только особенности принципиальной схемы модулятора и передатчика СВЧ.

Модулятор выполнен на лампе 2С3А по схеме автогенератора с автоматическим смещением. Он предназначен для создания вспомогательных синусоидальных колебаний  $F_M = 800$  кГц, которые модулируют несущую частоту передатчика СВЧ (рис. 2.19).

Особенностью генератора является конструкция его контуров (без сосредоточенных емкостей). Емкости контуров образуются

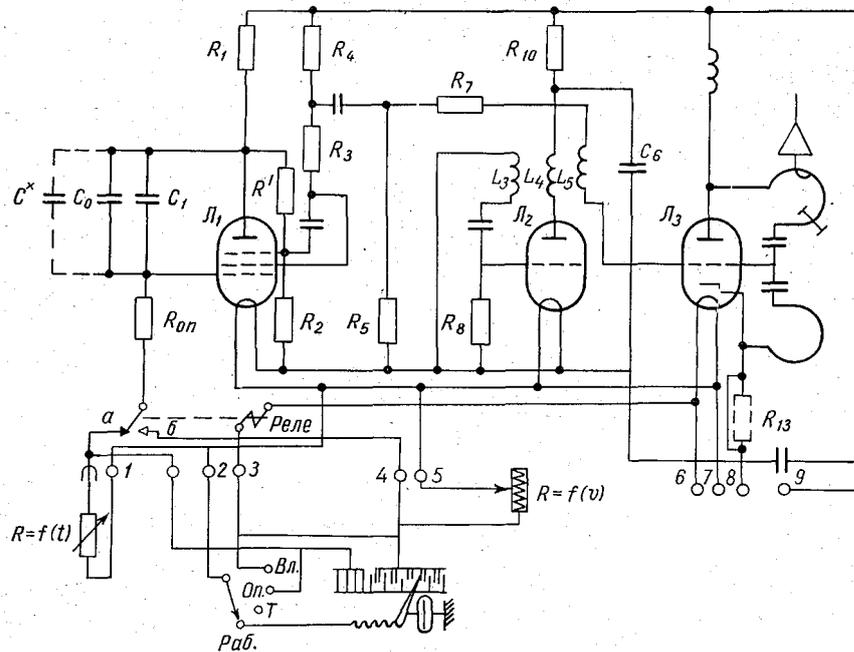


Рис. 2.18. Принципиальная схема радиоблока РКЗ-А с пленочным датчиком влажности.

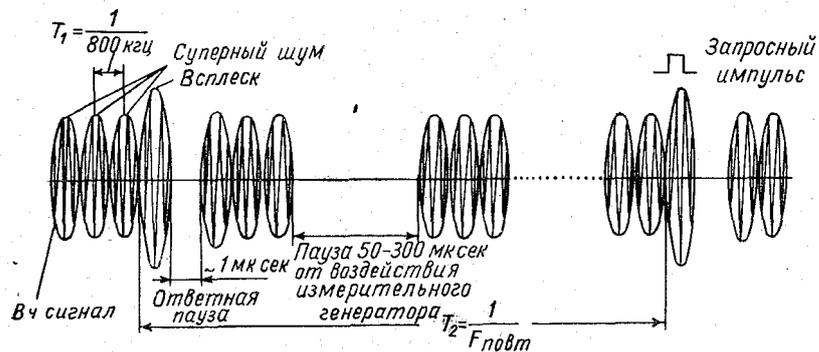


Рис. 2.19. Амплитудная модуляция СВЧ и процесс формирования ответного сигнала.

Сигнал от датчика влажности  
подается на вход измерительного  
генератора.

собственными междувитковыми емкостями катушек  $L_3$  и  $L_4$ .

Обратная связь в генераторе создается за счет индуктивно-емкостной связи между анодной и сеточной катушками генератора.

В анодной цепи модулятора установлен фильтр  $R_{10}C_6$ , сопротивление которого 12—22 ком одновременно используется для снижения анодного напряжения генератора до 145—150 в.

Выходное синусоидальное напряжение модулятора снимается с катушки связи  $L_5$  и поступает на сетку лампы 6С11Д.

Передатчик СВЧ (дециметрового диапазона) собран на лампе 6С11Д. Анодный и сеточный контуры передатчика представляют собой коаксиальные резонаторы. С помощью полупеременного конденсатора (триммера) предусмотрена незначительная перестройка контура относительно номинальной частоты. Антенная система передатчика состоит из штырька длиной около одной четверти длины волны и конического противовеса (рис. 2.18). Штырь и противовес образуют вертикально ориентированный вибратор.

Связь анодного контура с антенной осуществляется введением в полость анодного объемного резонатора витка связи.

На сетку лампы передатчика подаются два вида управляющих напряжений: одно напряжение от измерительного генератора в виде отрицательных импульсов с длительностью  $\tau$ , равной от 50 до 200 мксек. и с частотой повторения от 100 до 2200 имп/сек., другое напряжение от модулятора в виде синусоиды частоты 800 кгц. В соответствии с этим, кроме частоты генерации, в излучении передатчика присутствуют обе составляющие (рис. 2.19).

В результате модуляции синусоидальным напряжением 800 кгц образуются радиоимпульсы частоты 800 кгц, представляющие основное поле излучения передатчика, так называемое поле сверхрегенеративных шумов. Это поле деформируется как под воздействием сигналов от генератора управляющих напряжений, так и под воздействием запросных импульсов от наземной станции.

Когда на передатчик поступает импульс запроса, генератор СВЧ вырабатывает ответный сигнал. Процесс формирования ответного сигнала пояснен на рис. 2.19. Процесс возникновения ответного сигнала можно представить, исходя из следующих соображений.

Наличие в сеточной цепи генератора СВЧ сопротивления  $R$  и конденсатора  $C$  позволяет осуществить сеточное детектирование запросного импульса, поступившего из антенны в сеточный контур сверхрегенератора. Запросные импульсы имеют форму, близкую к прямоугольной. Будучи протектированным, напряжение прямоугольного импульса запроса будет складываться с напряжением сеточной цепи лампы 6С11Д и изменять

излучение передатчика. При этом на время воздействия запросного импульса происходит некоторое увеличение амплитуды сверхрегенеративных шумов над средним уровнем с последующим прекращением генерации на короткий период (0,5—1,5 мксек.).

Формирование ответного сигнала в виде превышения над средним уровнем сверхрегенеративных шумов идентично появлению ответа радиопередатчика А-35.

Для обеспечения срыва генерации (запирания лампы СВЧ) после действия сигнала запроса подбираются емкости и сопротивления в цепи сетки лампы 6С11Д. В отличие от пауз метеоданных паузы ответа в десятки раз короче и не оказывают влияния на результаты измерения температурной и опорной частот.

### § 8. Надежность радиозондов

Проблема комплексной автоматизации метеорологической сети с применением сложной радиоэлектронной аппаратуры ставит вопрос об экономичности и надежности систем зондирования атмосферы.

Особое внимание, с нашей точки зрения, следует уделить вопросу надежности приборов разового действия, какими являются радиозонды, и в особенности надежности радиопередатчиков. Под термином «надежность» следует понимать способность системы (устройства) сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях эксплуатации [45].

Применительно к радиозондам работоспособность определяет такое состояние радиозонда, при котором все его параметры не выходят за пределы установленных допусков.

Использование основных положений теории надежности, устанавливающей закономерности возникновения отказов за счет внешних и внутренних факторов, дает возможность получить количественную оценку работоспособности радиозондов. Эта оценка, с одной стороны, является решающей при проектировании и модернизации зондов, с другой стороны, она определяет собой меры поддержания работоспособности при хранении и эксплуатации аппаратуры.

Критерии, которые могут быть применены для количественной оценки надежности современных радиозондов, можно разделить на две группы: 1) временные характеристики и 2) коэффициенты надежности.

Первая группа является основной, поскольку она применима для решения целого ряда практических задач. Вторая группа носит вспомогательный характер и может быть использована при проектировании аппаратуры разового действия.

В связи с тем, что радиозонд как телеметрический прибор разового действия после выпуска не поддается регулированию,

то основной характеристикой является время, в течение которого радиозонд должен находиться в работоспособном состоянии.

Поскольку процесс современного зондирования атмосферы в среднем продолжается 120 минут, то совершенно очевидно, что время  $\tau$  с момента включения аппаратуры до первого возможного отказа должно быть не менее всего периода зондирования  $T_3$ .

$$\tau \geq T_3.$$

Значительное увеличение  $\tau$  по отношению к  $T_3$  нецелесообразно, так как это удорожает прибор. Однако если  $\tau < T_3$ , то снижается средняя высота зондирования.

В радиоэлектронной аппаратуре типа радиозонда, работающей в весьма тяжелых эксплуатационных условиях, определяемых резкими перепадами и большим диапазоном измеряемых параметров, на продолжительность срока службы отдельных элементов влияет большое число разнообразных факторов: конструктивных, производственных и эксплуатационных. Это приводит к определенному разбросу основных параметров, а при неправильном проектировании — к нарушению тарировок и отказам. Опытные данные говорят о том, что срок службы каждого отдельного элемента в аппаратуре носит случайный характер.

Для характеристики случайной величины  $\tau$  целесообразно использовать дифференциальный закон распределения, т. е. зависимость плотности вероятности распределения  $\omega(\tau)$  от ее значения  $\tau$ . В этом случае вероятность отказа элемента аппаратуры на данном заданном интервале времени, определяемом периодом зондирования  $T_3$ , определяется как

$$Q(T_3) = \int_0^{T_3} \omega(\tau) d\tau. \quad (2.20)$$

За основную числовую характеристику надежности радиозонда следует принять вероятность безотказной работы при определенной длительности периода зондирования атмосферы  $P(T_3)$ .

Исходя из элементарных соображений, можно написать

$$P(T_3) = 1 - Q(T_3), \quad (2.21)$$

где  $P(T_3)$  — вероятность безотказной работы в течение периода зондирования  $T_3$ .

Сделав соответствующую подстановку, получим

$$P(T_3) = 1 - \int_0^{T_3} \omega(\tau) d\tau \quad (2.22)$$

или

$$P(T_3) = \int_{T_3}^{\infty} \omega(\tau) d\tau, \quad (2.23)$$

поскольку

$$\int_0^{T_3} \omega(\tau) d\tau = 1 - \int_{T_3}^{\infty} \omega(\tau) d\tau. \quad (2.24)$$

Таким образом, вероятность безотказной работы является функцией требуемого времени работы. Поэтому зависимость вероятности безотказной работы от интервала времени зондирования  $T_3$  называется функцией надежности.

При проектировании радиоэлектронной аппаратуры широко применяется величина интенсивности отказов. Применительно к радиозондам интенсивность отказов представляет собой отношение числа систем (блоков, элементов), отказавших в течение рассматриваемого периода  $\Delta\tau$ , к произведению числа систем (блоков, элементов), работоспособных к началу этого промежутка времени, на его продолжительность

$$\Lambda = \frac{P_{\text{отк}}}{N_{\text{и}} \Delta\tau}, \quad (2.25)$$

где  $P_{\text{отк}}$  — число отказавших систем или элементов за время  $\Delta\tau$ ,  $N_{\text{и}}$  — число систем, исправных в момент начала интервала времени  $\Delta\tau$ .

Поскольку серийные радиозонды изготавливаются в массовом количестве (для удовлетворения пунктов зондирования аэрологической сети на длительное время), то одной из важнейших характеристик критерия надежности является вероятность исправного состояния радиозонда после определенного срока хранения или вероятность безотказной работы  $P_{\text{хр}}(t_{\text{хр}})$ . В общем случае эта величина зависит как от условий хранения, так и от времени хранения. В процессе хранения на аппаратуру действуют как условия среды (температура, влажность, солнечная радиация), так и механические перегрузки, особенно при транспортировках. Поэтому изготавливаемая продукция перед выпуском в серию подвергается климатическим и серийным испытаниям, устанавливающим надежность и степень сохранения работоспособности. Работоспособность радиозондов и радиопередатчиков к ним в процессе хранения можно оценить интенсивностью отказов при хранении  $\lambda_{\text{хр}}$  и удельной интенсивностью отказов при хранении  $\lambda'_{\text{хр}}$ . Интенсивность отказов при хранении  $\lambda_{\text{хр}}$  может быть вычислена по следующей формуле

$$\lambda_{\text{хр}} = \frac{n_{\text{хр}i}}{n_{\text{э}i} t_{\text{хр}}}, \quad (2.26)$$

где  $n_{xp_i}$  — число отказов  $i$ -го элемента при хранении,  $n_{\Sigma_i}$  — число элементов (составные части зонда),  $t_{xp}$  — время хранения.

Величина удельной интенсивности отказов  $\lambda_{xp}$  может быть вычислена по формуле

$$\Lambda'_{xp} = \frac{n_{xp}}{N_0 t_{xp}}, \quad (2.27)$$

где  $n_{xp}$  — полное число отказов аппаратуры за время хранения  $t_{xp}$ ,  $N_0$  — число типовых элементов в аппаратуре.

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны соотношением

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (2.28)$$

Нетрудно видеть, что при  $\lambda = \text{const}$   $P(t) = e^{-\lambda t}$ . Приведенные выражения позволяют вычислить процент годности аппаратуры и процент отказа от различных причин. Так, по данным ЦАО, процент отказа радиозондов РКЗ-1 в результате выхода из строя радиоблока в 1961 г. составлял 19,8%, а выход из строя зонда за счет баропереклювателя из-за деформации шкалы из органического стекла и окисления контактов составлял 10%. Аналогичные данные можно было бы привести и для других радиозондов.

Одним из возможных методов повышения надежности с одновременным удешевлением производства и упрощения технологии изготовления радиозонда РКЗ-1 является метод изготовления панельного радиозонда.

До настоящего времени в серийных радиозондах РКЗ-1 вся электрическая схема выполняется на одной гетинаксовой панели. Это приводит к тому, что при выходе из строя одного из элементов электрической схемы или при отсутствии контакта на пунктах зондирования бракуется весь радиоблок. То же самое делается с радиозондами при отклонении величин отдельных элементов схемы сверх допусков (например, при расхождении фактической опорной частоты по сравнению с записанной в сертификате и т. п.). Брак радиоблоков РКЗ-1 за счет выхода из строя отдельных элементов может достигать в радиозондах 20%. Это бесспорно наносит большой материальный ущерб, поскольку стоимость радиозонда еще высока.

Панельный вариант РКЗ-1 позволяет свести до минимума брак и поверочные потери на местах.

Модернизации существующей конструкции РКЗ-1 и ее замена панельной конструкции способствует сама электрическая схема зонда, которую можно представить в виде набора панелей: панели измерительного генератора, модулятора и передатчика с антенной системой.

Полная конструкция РКЗ-1 собирается путем стыковки этих панелей. Схема каждого узла может собираться на гетинаксовой

панели любой формы с использованием печатной схемы. Панели могут быть литыми с токопроводами внутри.

При налаживании производства панельных радиозондов на пункты зондирования должны поступать комплекты радиозондов в виде набора панелей, к которым отдельно прилагаются терморезисторы с поверочными графиками в виде сертификата.

Сборка предлагаемого радиозонда, естественно, должна производиться на пунктах зондирования с последующей тарировкой, которая складывается из нескольких этапов.

Прежде всего производится проверка работоспособности отдельных панелей и всего радиозонда в собранном виде. Для этого каждый пункт зондирования должен быть оснащен элементарным оборудованием в виде контрольного РКЗ-1. Контрольный зонд должен представлять собой испытательную панель, на которой смонтирована схема РКЗ-1, обеспечивающая проверку панелей методом исключения участков схемы контрольного зонда, соответствующими испытываемыми панелями.

Аналогичную проверку можно производить с помощью осциллографа (СИ-1), частотомера (ЧЗ-3, ЧЗ-4) и волномера (РВД). Методика такой проверки для РКЗ-1 изложена в соответствующем наставлении. К проверенной панели пристыкуются последовательно последующие панели, которые затем проверяются аналогичным образом.

Неисправные панели, обнаруженные в процессе проверки, заменяются запасными. При наличии на пункте зондирования запасного комплекта ламп, емкостей, сопротивлений неисправная панель подвергается ремонту. Несложность такого ремонта обуславливается тем, что на отдельной панели легче обнаружить неисправность и устранить ее.

Следующим этапом является тарировка собранного зонда. Для тарировки зонда должен быть магазин сопротивлений, состоящий из 16—18 эталонных сопротивлений типа контрольных сопротивлений КС (20—200 ком).

Контрольные сопротивления поочередно включаются вместо терморезистора с одновременным замером частоты либо вышеперечисленными приборами СИ-1, ЧЗ-4, либо счетчиком наземной станции.

По результатам измерения частот, полученных при подключении к радиозонду контрольных сопротивлений и терморезистора, рассчитывается безразмерный параметр  $Y$ .

Построение тарировочной кривой  $Y=f(t)$  производится на стандартном бланке сертификата по  $Y$  и  $t$ .

Тарировка зонда перед выпуском заменяет его проверку. Проверенные и протарированные зонды можно откладывать в число готовых к выпуску, а непосредственно перед выпуском проверять по обычной методике. Выпуск панельного зонда, прием его информации и методика обработки результатов

наблюдений не изменяются. Разработанная методика тарировки панельного зонда позволяет: сократить технологический процесс тарирования радиозондов на заводе-изготовителе, полнее использовать радиозондировочное оборудование, повысить точность зондирования путем уменьшения вариационных погрешностей за счет приближения тарировки зонда к его выпуску.

#### **§ 9. Отражающие мишени. Измерения ветровых характеристик**

Измерение ветровых характеристик радиотехническими станциями комплексного зондирования осуществляется путем пеленгования радиозонда или уголкового отражателя, свободно уносимого воздушным потоком, а потому имеющего скорость потока.

В аэрологии широко известны радиопеленгационный и радиолокационный методы измерения ветра на различных высотах.

Первый из них основан только на пеленговании радиозонда и на определении его угловых координат радиотеодолитами. При этом третья координата зонда (высота) обычно вычисляется.

Второй метод основан на пеленговании и измерении дальности до уголкового отражателя или радиозонда, работающего в режиме ответчика, радиолокационными станциями, позволяющими определить положение цели в пространстве по трем координатам: азимуту, углу места и наклонной дальности.

Второй метод (пассивной мишени) был разработан в ЦАО и внедрен в оперативную практику во время Великой Отечественной войны под названием радиопилотного метода [8, 24].

Основное достоинство радиопилотного метода заключалось в том, что он оказался применимым в любое время суток и практически в любых метеорологических условиях, причем точность метода оказалась не ниже точности определения ветра базисными наблюдениями.

Однако сразу же выявились и недостатки, заключающиеся в ограниченных возможностях измерения дальности и в небольшом потолке зондирования, а также в невозможности измерения ветровых характеристик в радиусе «мертвой зоны» РЛС, т. е. при расстояниях, меньших минимальной дальности обнаружения.

Для увеличения дальности действия радиопилотного метода и повышения потолка зондирования вместо пассивной мишени был предложен метод пеленгования передатчика радиозонда, который впоследствии был дополнен измерением наклонной дальности с помощью ответчика (метод запроса и ответа).

Поскольку каналы сопровождения цели наземными установками в одинаковой мере используются при измерении ветровых характеристик обоими методами, рассмотрим особенности радиопилотного метода с применением уголкового отражателя.

При сопровождении радиопилота, т. е. шаропилотной оболочки с уголковым отражателем, оператор РЛС имеет

возможность в срочные минуты определить положение в пространстве радиопилота по полярным координатам (азимуту, углу места и наклонной дальности) и по этим данным вычислить скорость и направление ветра в свободной атмосфере.

Поскольку для измерения скорости и направления ветра требуется очень высокая точность определения координат радиопилота, то не всякие типы радиолокационных станций могут применяться для ветрового зондирования.

Для указанной цели могут использоваться РЛС с точностью измерения угловых координат порядка нескольких минут и наклонной дальности — 10—20 м.

Кроме того, чувствительность приемных устройств должна обеспечивать прием и усиление слабых сигналов, отраженных от уголкового отражателя, чем определяется дальность пеленгования радиопилота. При этом мощность в импульсе РЛС обычно измеряется десятками и сотнями киловатт.

Однако диапазон дальности измерений ветровых характеристик определяется не только техническими параметрами РЛС, а и отражающими свойствами мишени (уголкового отражателя), характеризующейся эффективной поверхностью рассеяния  $\sigma$  (эффективная площадь). Величина  $\sigma$  зависит от размеров и формы мишени, ориентировки относительно фронта облучающей волны и, наконец, от поляризации волны.

Понятием «эффективная площадь» удобно пользоваться для сравнения различных отражающих поверхностей сложной геометрической формы.

Эффективная поверхность рассеяния мишени определяется только ее отражающими свойствами и не зависит от технических характеристик станции и параметров облучающей волны (зависит только от длины волны  $\lambda$  и поляризации). Она представляет собой отношение

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{P_2}{P_1}, \quad (2.29)$$

где  $P_1$  — плотность потока мощности, создаваемой передатчиком РЛС в точке расположения мишени,  $P_2$  — плотность потока мощности, создаваемой мишенью в точке приема.

Для металлической сферы с радиусом  $a$  много большим длины облучающей волны  $\lambda$  эффективная поверхность рассеяния численно равна площади большого круга (миделеву сечению)

$$\sigma = \pi a^2. \quad (2.30)$$

Простейшая радиопилотная мишень представляет собой три металлические взаимно перпендикулярные грани (трехгранный уголкового отражатель). Ее особенность заключается в том, что при любом угле падения отражение электромагнитных волн происходит строго в обратном направлении. Следует отметить,

что  $\sigma_{\text{макс}}$  трехгранного уголка лежит в направлении оси симметрии уголкового отражателя. По мере отклонения лучей от этой оси значение  $\sigma$  уменьшается. Уголкового отражателя с квадратными гранями имеет большую величину  $\sigma$ , чем отражатель с треугольными гранями.

В реальных условиях подъема возможно раскачивание и вращение мишени, поэтому ей придают форму сложного уголкового отражателя, состоящую из нескольких уголков.

Уголкового отражатели для радиопилотов обычно изготавливают из металлизированного картона, неотожженной алюминиевой фольги, металлической сетки или жести с ячейками 10—20 мм.

В том случае, когда для радиопилотных наблюдений используются РЛС, работающие в метровом диапазоне волн, мишени (отражатели) делают из металлических проволочных отрезков длиной  $\frac{\lambda}{2}$  (вибраторов).

Если падающая энергия волны поляризована в горизонтальной плоскости, мишень-отражатель делают из двух металлических вибраторов, расположенных горизонтально, в качестве которых используют оголенную медную или алюминиевую проволоку диаметром 4—5 мм.

В том случае, когда падающая волна поляризована в вертикальной плоскости, применяют цепочку, состоящую из нескольких вибраторов.

Для иллюстрации приведем несколько типов отражателей и формулы для расчета их  $\sigma$  (табл. 3).

Обычно параметры мишени  $a$  и  $l$  рассчитываются путем совместного решения расчетной формулы, заданной дальности и основного уравнения радиолокации, которое ввиду ограниченного объема книги приводим без вывода.

Основное уравнение радиолокации устанавливает зависимость между техническими параметрами станции, мощностью отраженного сигнала  $P$ , поступившего на приемник РЛС, эффективной отражающей поверхностью цели  $\sigma$  и расстоянием  $D$

$$P = \frac{P_0 A^2 \sigma}{4\pi D^4 \lambda^2}, \quad (2.31)$$

где  $P_0$  — мощность зондирующего импульса,  $A$  — эффективная поверхность приемной антенны, которая составляет примерно  $\frac{2}{3}$  апертуры (площади раскрыва).

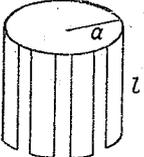
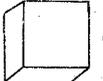
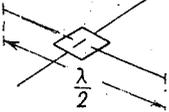
Если эффективную поверхность приемной антенны выразить через апертуру, то основное уравнение радиолокации записывается в виде

$$P = \frac{P_0 A_p^2 \sigma}{9\pi D^4 \lambda^2}, \quad (2.32)$$

где  $A_p$  — апертура антенны.

Таблица 3

Мишени-отражатели и формулы для расчета  $\sigma$ 

Мишень		Расчетные формулы
название	форма	
Металлический шар		$\sigma = \pi a^2$ при $\frac{a}{\lambda} \geq 1,6$
Металлический цилиндр		$\sigma = 2\pi a \frac{l^2}{\lambda}$ при $a \gg \lambda$ и $l \gg \lambda$
Угловый отражатель с треугольными гранями		$\sigma_{\text{макс}} = \frac{4}{3} \pi \frac{a^4}{\lambda^2}$
Угловый отражатель с квадратными гранями		$\sigma_{\text{макс}} = 12\pi \frac{a^4}{\lambda^2}$
Полуволновый вибратор		$\sigma = 0,86\lambda^2 \cos^4 \theta$

Часто к основному уравнению радиолокации добавляют коэффициенты, учитывающие затухание электромагнитной энергии:

Дальность цели, от которой мощность принятого сигнала  $P$  уменьшается до порогового значения  $P_{\text{мин}}$  (т. е. до чувствительности приемника), является максимальной дальностью действия РЛС

$$D_{\text{макс}} = \sqrt[4]{\frac{P_0 A_p^2 \sigma}{P_{\text{мин}} 9\pi \lambda^2}} \quad (2.33)$$

Приведенное выражение дальности может быть использовано для оценки различных типов радиолокационных систем, используемых для радиопилотных измерений.

При сопровождении радиозонда с передатчиком-ответчиком дальность действия радиолокационной системы определяется

как дальностью связи по линии РЛС—ответчик, так и дальностью связи по линии ответчик—РЛС.

Если чувствительность ответчика радиозонда обозначить  $P'_{\text{мин}}$ , то максимальная дальность связи по линии РЛС—радиозонд определяется формулой

$$D_{1 \text{ макс}} = \sqrt{\frac{P_0}{P'_{\text{мин}}} \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2} GG'}, \quad (2.34)$$

где  $G$  — коэффициент направленного действия антенны РЛС в направлении на радиозонд,  $G'$  — коэффициент направленного действия антенны передатчика-ответчика радиозонда в направлении на РЛС.

Аналогично записывается дальность связи по линии радиозонд (ответчик) — РЛС

$$D_{2 \text{ макс}} = \sqrt{\frac{P'}{P'_{\text{мин}}} \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2} GG'}, \quad (2.35)$$

где  $P'$  — мощность ответного сигнала, излучаемого передатчиком радиозонда,  $P'_{\text{мин}}$  — чувствительность приемника РЛС.

Совершенно очевидно, что при дальности  $D > D_{1 \text{ макс}}$  сигналы РЛС не смогут запустить передатчик-ответчик, а в случае  $D > D_{2 \text{ макс}}$  ответный сигнал не будет воспринят системой приема РЛС, т. е. ответный сигнал не может быть выделен на фоне флюктуационных шумов.

В связи с этим при проектировании радиолокационных систем для комплексного зондирования атмосферы с активным ответом необходимо добиваться равенства дальностей связи по линиям РЛС—радиозонд и радиозонд—РЛС, когда

$$D_{1 \text{ макс}} = D_{2 \text{ макс}} = D_{\text{макс}}. \quad (2.36)$$

В энергетическом отношении такая система будет наиболее экономичной.

Условие, при котором выполняется указанное соотношение, легко получить, приравняв значения для  $D_{1 \text{ макс}}$  и  $D_{2 \text{ макс}}$ . Тогда

$$P_0 P'_{\text{мин}} = P' P'_{\text{мин}}. \quad (2.37)$$

Приведенное уравнение позволяет правильно выбрать номинальные мощности передатчика РЛС и чувствительность ответчика.

Кроме импульсного метода измерения дальности до цели, в радиолокационных методах обзора пространства используются

и другие методы, в числе которых наиболее перспективным является фазовый метод [13]. С фазовым методом следует познакомиться, так как на его основе разработан новый координатно-доплеровский метод измерения ветровых характеристик.

Фаза отраженного или когерентно переизлученного сигнала связана со временем запаздывания приходящей волны относительно излучаемой. Поскольку время запаздывания определяется дальностью до цели  $D$ , то фаза принимаемого сигнала тоже зависит от дальности до цели и может быть использована для ее измерения.

Для неподвижной цели текущая фаза излучаемых колебаний равна  $\omega_0 t$ , фаза принимаемого сигнала равна  $\omega_0 \left( t - \frac{2D}{c} \right)$ . Между принятыми и излученными колебаниями возникает в данном случае постоянный фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$ , равный

$$\Delta\varphi = \omega_0 \frac{2D}{c} \quad \text{или} \quad \Delta\varphi = 2\pi \frac{D}{\lambda}, \quad (2.38)$$

где  $c$  — скорость электромагнитных волн, а  $\lambda$  — длина волны.

Путем сравнения фаз, принимаемых и излучаемых сигналов можно выделить информацию о дальности до цели, так как

$$D = \frac{c\Delta\varphi}{2\omega_0}. \quad (2.39)$$

Для движущейся цели (радиопилота, уголкового отражателя и др.) частота отраженного сигнала (скорость изменения его фазы) несет информацию о радиальной скорости цели  $v_r$ , так как благодаря эффекту Доплера сигнал от цели имеет частоту  $f$  ( $\omega = 2\pi f$ ), отличающуюся от излучаемой частоты  $f_0$  на величину  $F_d$ , называемую доплеровским сдвигом частоты радиолокационного сигнала, обусловленную движением цели.

Действительно, в случае движущейся цели частота принимаемого сигнала  $\omega$  отличается от частоты излучаемых колебаний  $\omega_0$ . Продифференцировав фазу принимаемого сигнала  $\omega_0 \left( t - \frac{2D}{c} \right)$  по времени, получим

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 \frac{2v_r}{c}, \quad (2.40)$$

где  $v_r = \frac{dD}{dt}$  — радиальная скорость цели.

Нетрудно видеть, что разность частот принимаемого и излучаемого колебаний, представляющая собой доплеровский сдвиг, пропорциональна радиальной скорости,

$$\frac{\omega - \omega_0}{2\pi} = F_d \quad \text{или} \quad F_d = \frac{\omega_0}{2\pi} \cdot \frac{2v_r}{c} = \frac{2v_r}{\lambda}, \quad (2.41)$$

откуда

$$v_r = \frac{\lambda F_d}{2}. \quad (2.42)$$

Радиолокационная станция непрерывного излучения, предназначенная для измерения радиальной составляющей скорости движущейся цели, представлена блок-схемой на рис. 2.20.

Принцип ее действия заключается в том, что излучаемые колебания, поступающие в приемник через аттенюатор, образуют в смесителе биения с принимаемым сигналом, частота которых равна доплеровской частоте  $F_d$ . С помощью фильтра происходит выделение колебаний частоты  $F_d$ , которые усиливаются

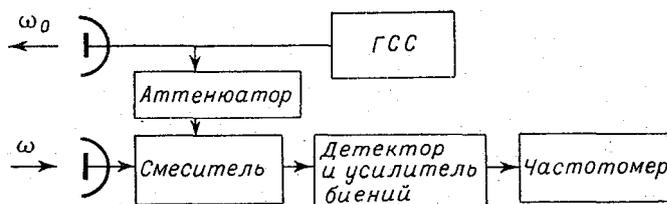


Рис. 2.20. Блок-схема РЛС, измеряющей радиальную скорость цели фазовым методом.

в усилителе биений и измеряются частотомером, шкала которого может быть отградуирована в единицах скорости  $v_r$ .

Для изучения турбулентности и некоторых других параметров, характеризующих профиль ветра, можно было бы ограничиться измерением радиальной составляющей цели (углового отражателя или радиопилота), которая в данном методе может измеряться с высокой степенью точности (до 1,5 см/сек. в диапазоне  $\lambda = 3$  см). Для определения вектора ветра доплеровские измерения должны быть дополнены обычными координатными измерениями. Конечно, такое дополнение вносит ошибки, присущие координатным данным, однако использование систем с высокой разрешающей способностью по угловым координатам значительно уменьшает погрешности.

В 1963 г. А. Г. Горелик, В. В. Костарев и А. А. Черников разработали и предложили координатно-доплеровский метод ветровых наблюдений, открывающий новые перспективы в области зондирования атмосферы.

Для реализации метода указанными авторами использована импульсно-когерентная радиолокационная станция, снабженная дополнительными устройствами, позволяющими регистрировать доплеровский сдвиг частоты (с постоянной времени, равной 1 сек.) и осуществить компенсацию доплеровского сдвига для

расширения диапазона однозначного измерения скорости цели при одновременном измерении интенсивности отраженных сигналов.

При сопровождении уголкового отражателя на ленте самописца станции непрерывно регистрируются величина доплеровского смещения частоты и координаты цели (азимут, угол места, наклонная дальность) через равные промежутки времени.

Основное преимущество измерения ветровых характеристик координатно-доплеровским методом перед обычным координатным заключается в том, что доплеровские измерения радиальной составляющей скорости  $v_r$  позволяют благодаря высокой точности проанализировать микрозавихрения, что невозможно обычным координатным методом [13].

Таким образом, с внедрением координатно-доплеровского метода система температурно-ветрового зондирования, существующая в настоящее время в СССР, может существенно измениться. По-видимому, это приведет к разделению каналов ветра и телеметрии радиозонда. Благодаря этому телеметрию радиозондов можно будет качественно улучшить, и она сможет работать на частотах около 400 Мгц, которые удобны с точки зрения снижения стоимости радиопередатчиков радиозондов.

Ветровой канал такой системы дает возможность получить наиболее подробные и точные данные о ветре, что при учащенном зондировании позволит получить сведения о вертикальных размерах и интенсивности неоднородностей поля ветра, их временной и пространственной изменчивости.

Повышение точности определения координат цели, возможное при разумном укорачивании длины волны (так как угловые ошибки убывают пропорционально  $\lambda^{-1}$ ), позволит, очевидно, отказаться от узла давления в радиозондах. Давление будет вычисляться по данным радиолокатора для всего интервала высот зондирования.

Что же касается трудностей сопровождения отражателя на начальном участке траектории из-за помех от местных предметов, то это легко устранить путем включения в наземную установку радиотеодолита, работающего на частоте радиозонда.

Таким образом, координатно-доплеровский метод ветровых наблюдений является весьма перспективным и заслуживает самого серьезного внимания.

Познакомившись с общими вопросами радиопилотных измерений, перейдем к рассмотрению каналов наземных установок, обеспечивающих сопровождение цели по угловым координатам и наклонной дальности.

### Глава 3

## ОСНОВНЫЕ КАНАЛЫ НАЗЕМНЫХ УСТАНОВОК

### § 10. Информационный канал

Согласно структурно-функциональной схеме, информационный канал наземных установок включает в себя приемное устройство, дешифратор и регистратор с блоком времени. Особенностью приемного устройства станций комплексного зондирования атмосферы является то, что, кроме приема преобразования и усиления сигналов радиозонда, оно используется одновременно для формирования сигналов, обеспечивающих сопровождение цели по угловым координатам, а иногда и по наклонной дальности. Иными словами, приемные системы предусматривают после усиления принятого сигнала по высокой и промежуточной частоте возможность разделения каналов, один из которых обеспечивает формирование видеосигналов для целей пеленгования зонда, другие — обеспечивают работу дешифратора с регистратором или позволяют осуществлять прием на слух.

Приемные устройства современных систем комплексного зондирования должны обладать малым уровнем собственных шумов и высокой степенью помехоустойчивости по отношению к внешним помехам.

В схемах современных супергетеродинных приемников влияние внешних шумов ослабляется за счет применения узкополосных сигналов.

Однако реальный приемник всегда обладает внутренними шумами, основными источниками которых являются входные каскады (УВЧ, смесители, предварительные усилители промежуточной частоты). С целью ослабления шумов весьма перспективным в этом направлении следует считать применение в качестве УВЧ молекулярных усилителей и других малошумящих устройств [84].

Шумы в приемных системах проявляются в виде помех, искажающих сигналы радиозонда (информационный сигнал) и приводящих как к ложной информации об измеряемых параметрах, так и к фоновой засветке видеосигнала. Фоновая засветка

приводит к тому, что полезный сигнал маскируется шумовым фоном, в результате чего затрудняется пеленгование и сопровождение.

Для количественной оценки и сравнения приемных устройств пользуются коэффициентом шума и чувствительностью приемника.

Под коэффициентом шума приемника понимают отношение

$$\frac{(\text{сигнал/шум}) \text{ на выходе}}{(\text{сигнал/шум}) \text{ на входе}}$$

или

$$\eta = \frac{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{вых}}}{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{вх}}} \quad (3.1)$$

Коэффициент шума показывает, во сколько раз приемник ухудшает соотношение сигнал/шум при прохождении принятого сигнала и внешних шумов через приемное устройство, т.е. характеризует шумовые свойства приемника.

В свою очередь чувствительностью приемника называется та минимальная мощность сигнала на выходе приемника, при которой еще возможен прием информации.

Приемные устройства информационных каналов установок комплексного зондирования обычно дополняются схемами автоматической регулировки усиления (АРУ) и автоматической подстройки частоты (АПЧ).

Схемы автоматической регулировки усиления обеспечивают стабилизацию уровня сигнала на выходе приемника при значительных изменениях сигнала на входе. Чаще всего схема АРУ охватывает ряд каскадов усилителя промежуточной частоты. Схемы АРУ могут использоваться не только для стабилизации выходного сигнала, но и для отключения регистратора при замирании сигналов радиозонда, что уменьшает вероятность получения ложной информации. Кроме того, в схемах приемников предусматривают возможность ручной регулировки усиления (РРУ) [11, 16, 42].

Для стабилизации промежуточной частоты в приемных устройствах используется автоматическая подстройка частоты, которая, как правило, дополняется ручной подстройкой частоты. Ручная регулировка используется при приеме сигналов от углового отражателя.

При сопровождении радиозонда с ответчиком возможны отклонения несущей частоты ответных сигналов от запросных. В связи с этим возникает необходимость применения автоматической подстройки частоты, обеспечивающей стабилизацию про-

межуточной частоты (разности между частотой гетеродина и несущей частотой радиозонда). Это осуществляется автоматической регулировкой напряжения на отражателе клистрона гетеродина с помощью схемы АПЧ [16, 42, 43].

Имеется еще одна особенность, характерная для всех приемных устройств наземных установок комплексного зондирования. Она состоит в противоречивых требованиях к полосе пропускания. С одной стороны, для сохранения неискаженной формы полезного сигнала полоса пропускания приемника должна быть широкой. С другой стороны, сужение полосы пропускания позволяет снизить уровень шумов. Выбор оптимальной полосы пропускания зависит от конкретной задачи, решаемой наземной установкой. Обычно для приемных устройств радиолокационного типа выбирают оптимальную полосу пропускания  $\Delta f$

$$\Delta f = \frac{1,2 + 1,5}{\tau}, \quad (3.2)$$

где  $\tau$  — длительность импульса.

Рассмотрим функциональную схему приемника радиотеодолита «Малахит», приведенную на рис. 3.1.

Приемная система радиотеодолита представляет собой супергетеродинный приемник с двумя разделенными каналами на выходе: видеоканалом, служащим для пеленгования радиозонда по угловым координатам, и звуковым каналом, обеспечивающим прием и регистрацию информации радиозонда.

Приемник включает в себя два каскада УВЧ, смеситель с гетеродином, восемь каскадов УПЧ, детектор, 3-каскадный видеоусилитель, схемы АРУ и РРУ, трехкаскадный усилитель звуковой частоты и выносной щиток.

Высокочастотный сигнал пеленгуемого передатчика радиозонда с антенно-фидерной системы (АФС) поступает на вход высокочастотного блока, где происходит усиление и преобразование высокочастотного сигнала в сигналы промежуточной частоты. Напряжение промежуточной частоты с выхода смесителя поступает на восьмикаскадный усилитель промежуточной частоты, в котором происходит основное усиление сигналов и осуществляются автоматическая и ручная регулировка усиления. С выхода УПЧ сигнал поступает на детектор, где подвергается детектированию.

Импульсы напряжения положительной полярности с нагрузки детектора поступают на видеоусилитель, предназначенный для усиления этих импульсов до амплитуды, обеспечивающей нормальную работу индикатора угловых координат. Часть выходного напряжения последнего каскада видеоусилителя (представляющего собой катодный повторитель) поступает на схему АРУ и на вход усилителя звуковой частоты. АРУ, охватывая четыре

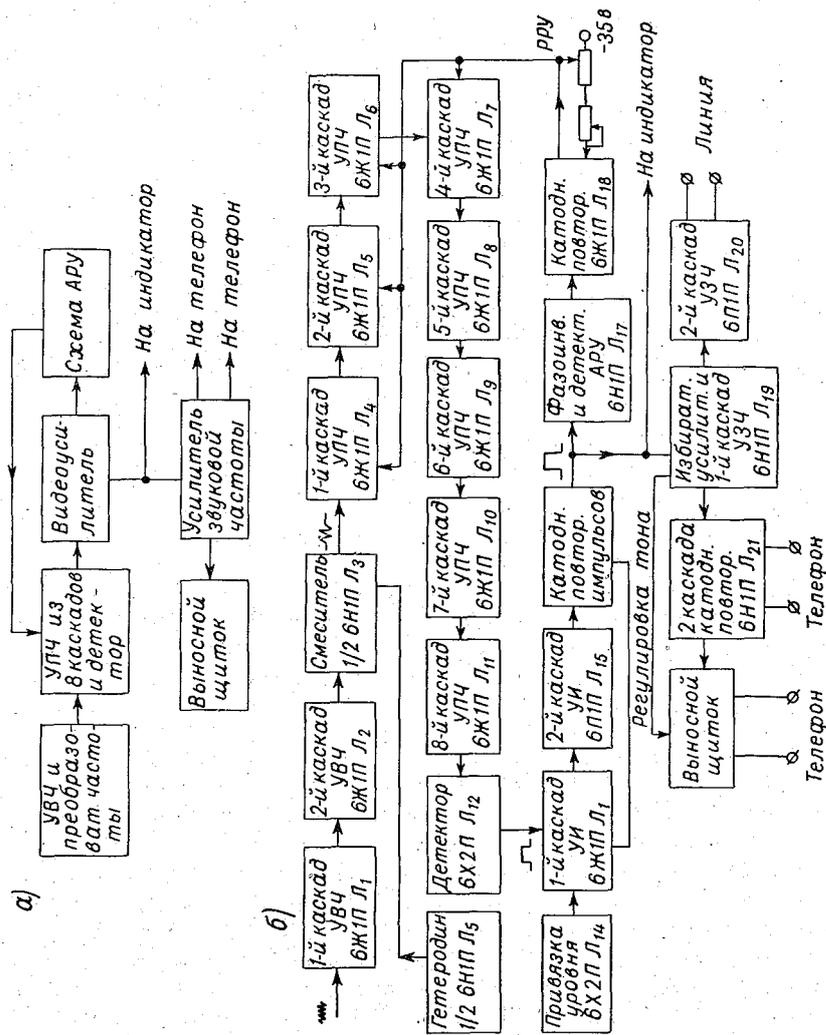


Рис. 3.1. Приемник радиотеледолога «Малахит». а — блок-схема, б — функциональная схема.

каскада УПЧ, практически обеспечивает постоянный уровень сигнала на выходе приемника.

Усилитель звуковой частоты с фильтрами предназначен не только для усиления звуковых сигналов (порядка 200 гц), но и для выделения сигналов звуковой частоты 200 гц (частоты нажатия), соответствующей замыканию манипуляционной цепи передатчика радиозонда в режиме метеоинформации. При этом сигналы звуковой частоты 1500—2000 гц (частоты отжатия) оказываются за полосой пропускания фильтра. Выполняя роль фильтра и усилителя, усилитель звуковой частоты обеспечивает нормальную работу головных телефонов операторов и передачу сигналов по линии связи для автоматической или полуавтоматической регистрации.

До недавнего времени роль дешифратора информационного канала выполнял оператор, принимая на слух информацию радиозонда и записывая ее в протокол выпуска. Так осуществлялись прием и регистрация сигналов радиозонда системы Молчана и других радиозондов.

При приеме информации радиозонда А-22-III прием сигналов в виде десяти букв азбуки Морзе также производился оператором на слух, однако регистрация сигналов облегчалась путем использования полуавтоматического регистратора ПР-4, обеспечивающего запись значения измеряемого параметра в виде точки на диаграммной ленте [8, 24, 27]. Однако и в этом случае оператор выполнял роль дешифратора, определяя цикличность передаваемой информации, дешифрируя кодовые элементы в виде точек, тире и пауз в значения букв, соответствующих дорожкам кодового барабана, и печатая двухбуквенные комбинации с помощью полуавтоматического регистратора ПР-4.

При приеме информации радиозонда А-22-IV процесс полностью автоматизирован. В данном случае в качестве дешифратора используется один из блоков автоматического регистратора ПР-16, особенности конструкции которого будут изложены в главе 4.

Принцип автоматического дешифрирования кодовой информации заключается в автоматической селекции кодовых элементов по их длительности. Для этой цели можно воспользоваться свойством конденсатора накапливать заряд, в связи с чем напряжение на конденсаторе  $U_C$  оказывается пропорциональным интегралу от протекающего через конденсатор тока за некоторый интервал времени  $\tau$ ,

$$U_C = \frac{1}{C} \int_0^{\tau} i(\tau) d\tau. \quad (3.3)$$

Поскольку длительность кодовых элементов радиозонда А-22-III (А-22-IV) различна (длительность тире примерно

в 5 раз больше длительности точки), то подключение накопительной емкости к источнику тока на интервалы времени, равные длительностям кодовых элементов, обеспечит заряд конденсатора до различного потенциала.

Если параллельно емкости подключить спусковую схему (кипп-реле), рассчитанную на срабатывание при строго определенном значении потенциала, накопленного конденсатором, то возможность селекции кодовых элементов становится очевидной.

Для расшифровки всех элементов кода достаточно иметь несколько таких устройств.

Однако относительная простота дешифрирования налагает жесткие условия на стабилизацию длительностей кодовых элементов, которая определяется постоянством скорости вращения кодового барабана.

Относительный диапазон изменения скорости  $S$ , выраженный в периодах полных циклов, рассчитывается путем нахождения отношения максимальной длительности цикла  $T_{ц. макс}$  к минимальной  $T_{ц. мин}$

$$S = \frac{T_{ц. макс}}{T_{ц. мин}}. \quad (3.4)$$

Величина  $S$  характеризует непостоянство скорости передачи, т. е. непостоянство длительности кодовых элементов. Для радиозонда А-22-III, где вращение кодового барабана нестабильно за счет вертушки,  $S=8$ . Для радиозонда А-22-IV величина  $S=2,5$  (за счет применения микроэлектродвигателя).

Возможность селекции кодовой информации определяется не только относительным диапазоном изменения  $S$ , но и коэффициентами неравномерности относительного укорочения ( $A$ ) и удлинения ( $B$ ) кодовых элементов

$$A = B + \frac{b}{k}, \quad (3.5)$$

где  $b$  — длительность однократного разрыва кодового элемента,  $k$  — отношение длительностей кодовых элементов,

$$k = \frac{\tau_{тире}}{\tau_{точки}} = 5. \quad (3.6)$$

Указанные коэффициенты позволяют задать технические требования к дешифратору кодовой информации и определить потребное количество его поддиапазонов, обеспечивающих перекрытие величины  $S$ .

Полуавтоматический регистратор ПР-4 является электромеханическим прибором, состоящим из регистрирующего устройства и лентопротяжного механизма (рис. 3.2). Лентопротяжный

механизм служит для перемещения диаграммной ленты со скоростью 20 мм в минуту. Регистрирующее устройство служит для регистрации на ленте сигналов радиозонда А-22-III или А-22-IV.

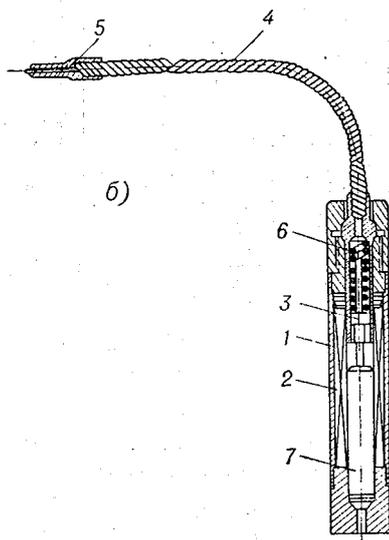
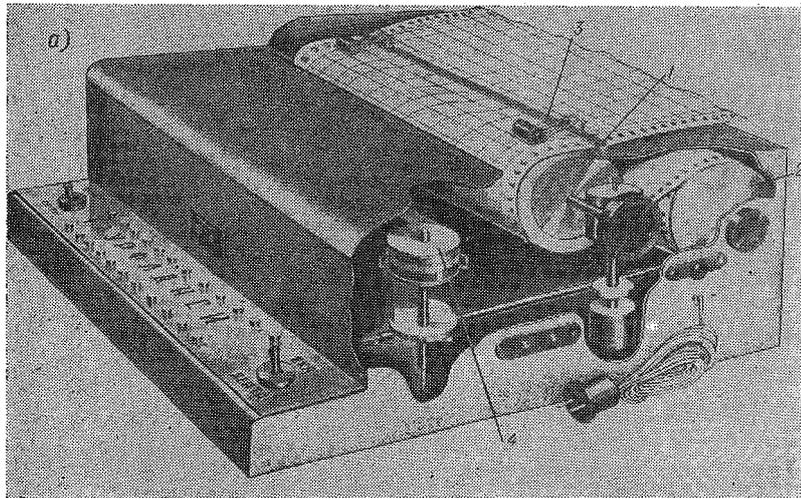


Рис. 3.2. Общий вид полуавтоматического регистратора ПР-4 (а) в разрезе и его ударный механизм (б).

а) 1 — ведущий барабан, 2 — рулон диаграммной ленты, 3 — прижимные ролики, 4 — катушка трехцветной копировальной ленты; б) 1 — обмотка электромагнита, 2 — шток гибкого тросика, 3 — гибкая оплетка тросика, 4 — плунжер, 5 — печатающая игла, 6 — пружина возврата, 7 — пуансон.

Принципиальная электрическая схема ПР-4 приведена на рис. 3.3.

Регистрирующее устройство имеет 100 электромагнитов одинаковой конструкции. Начала обмоток электромагнитов через

развязывающие диоды соединены между собой в 10 групп. Любая из этих групп может подключаться к отрицательному полюсу источника питания через соответствующее реле (PCM-1), имеющее две пары нормально разомкнутых контактов. Одна пара контактов служит для самоблокировки реле, т. е. для замыкания цепи после отпущания кнопки.

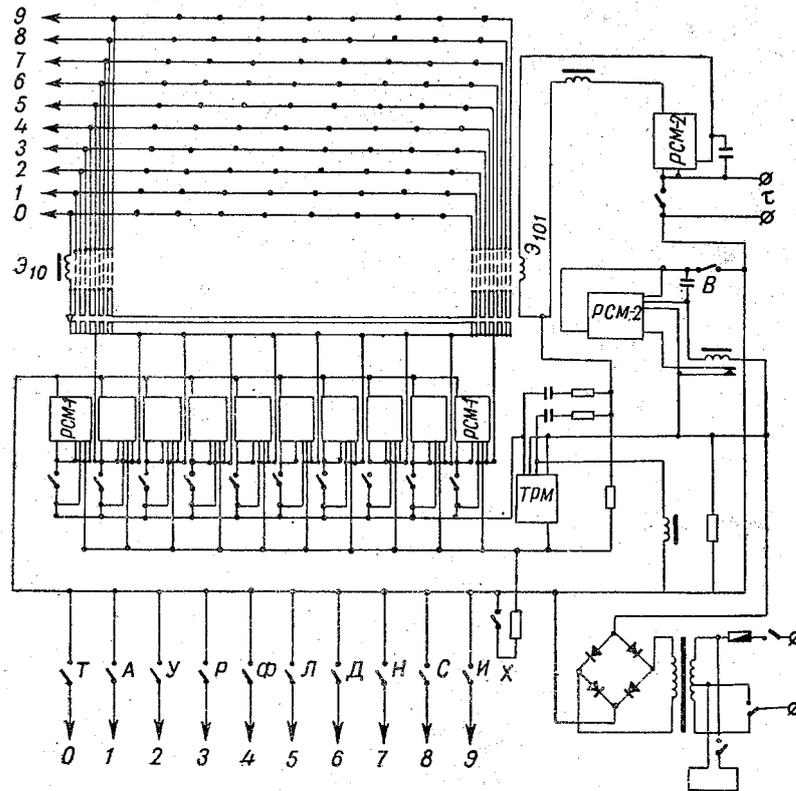


Рис. 3.3. Принципиальная электрическая схема ПР-4.

При приеме первой буквы кода оператор нажимает на соответствующую кнопку верхнего ряда, обозначенных буквами Т, А, У, Р, Ф, Л, Д, Н, С, И. При нажатии кнопки реле (PCM-1), включенное в ее цепь, срабатывает и своей второй парой контактов подключает данный десяток электромагнитов к источнику питания. Поскольку блокировочные контакты (первая пара) также замыкаются, то после отпущания кнопки цепь питания сработавшего реле не разрывается. Что же касается электромагнитов, то они еще не срабатывают, так как концы их

обмоток оказываются не присоединенными к положительному полюсу источника питания.

При приеме второй буквы оператор нажимает на соответствующую кнопку, расположенную в нижнем ряду. Контакты кнопки замыкаются, благодаря этому концы подключаются к положительному полюсу источника питания. Срабатывает электромагнит из того десятка, начало обмотки которого было подключено к отрицательному полюсу (при нажатии первой буквы). Электромагнит вызывает срабатывание ударного механизма (рис. 3.2), который ставит точку на определенном участке диаграммной ленты. Электрический ток, вызывающий срабатывание электромагнита, одновременно протекает через обмотку поляризованного реле, которое разрывает цепь питания РСМ-1. Таким образом, схема автоматически переходит в исходное состояние и подготавливается к приему сигналов следующего метеоэлемента.

Поскольку во время приема могут встречаться неразборчивые сигналы, в схеме предусмотрена кнопка «Х». При нажатии ее электрический ток протекает через нагрузочное сопротивление и вызывает срабатывание поляризованного реле. В результате этого запись на ленте не производится.

Для синхронизации данных температурного зондирования с данными радиотеодолита на краю диаграммной ленты делаются отметки времени. Для этой цели в регистраторе установлен 101-й электромагнит, приводимый в действие нажатием кнопки «т» или срабатывающий автоматически в случае подключения к регистратору реле времени ПР-9. Кнопка «т» установлена на передней панели регистратора, а для присоединения реле времени предусмотрены гнезда штепсельного разъема на боковой стенке прибора.

В регистраторе, кроме того, имеется устройство для смены цвета записи, которое работает по принципу перемещения по вертикали трехцветной копировальной ленты, установленной между бумагой и печатающими иглами ударного механизма.

Известно, что в каждом цикле сигналов радиозонда А-22-III имеются три посылки двухбуквенных сигналов, характеризующих значения измеряемых метеоэлементов и длинное разделительное тире. В соответствии с этим перемещение трехцветной ленты осуществляется следующим образом. При приеме разделительного тире оператор нажатием электрической кнопки «В» приводит в действие механизм перемещения копировальной ленты и она смещается в верхнее крайнее положение. Это перемещение осуществляется электромагнитом. При перемещении ленты часть энергии электромагнита затрачивается на растягивание пружины, которая стремится переместить ленту в крайнее нижнее положение. Однако этому препятствует спусковое

устройство. Спусковое устройство сделано таким образом, что вслед за записью сигналов радиозонда, характеризующих значение одного метеоэлемента, происходит срабатывание спускового механизма и трехцветная лента под действием натянутой пружины опускается вниз на  $\frac{1}{3}$  своей ширины. Таким образом, для записи следующего сигнала подготавливается новый цвет. Обычно давление записывается фиолетовым цветом, влажность — красным, температура — зеленым.

При приеме и регистрации второй посылки из данного цикла сигналов трехцветная лента снова опускается. После записи значения третьего метеоэлемента спусковой механизм срабатывает, но лента вниз не опускается, так как она дошла до упора. После приема разделительного тире весь цикл повторяется снова.

Запись на ПР-4 производится на перфорированную бумажную диаграммную ленту, разделенную на 100 дорожек 101 линией. Каждая 10-я линия нанесена жирной чертой, а каждая 20-я оцифрована. Линии, нанесенные поперек ленты, называются линиями времени, расстояние между которыми соответствует одной минуте полета радиозонда.

Перед выпуском радиозонда сигналы передатчика прослушиваются и записываются на ленту. Диаграммная лента на ПР-4 устанавливается в такое положение, чтобы сигналы, принятые в момент выпуска, находились на линии времени, у которой на полях ленты слева делается пометка «0» (начало выпуска). В момент выпуска (пуска) включаются механизм лентопротяжки ПР-4, реле времени и отмечается время начала выпуска по часам. После окончания приема сигналов радиозонда диаграммная лента обрезается, подвергается анализу и обработке.

Дешифратором информационного канала, воспринимающим информацию радиозондов при числовом и низкочастотном методах, может быть частотомер, обеспечивающий подсчет информационных импульсов за определенный интервал времени методом измерения числа единичных приращений. Блок-схема, поясняющая принцип действия такого устройства, приведена на рис. 3.4.

Импульсы, частота которых зависит от измеряемого (или контрольного) параметра с выхода приемника, поступают на селектор, который нормально закрыт и открывается лишь на интервал времени подсчета информационных импульсов.

Импульс, соответствующий началу временного интервала, и импульс, соответствующий концу интервала, вырабатываются пусковой схемой в виде триггера.

Потенциал на выходе пусковой схемы открывает вентиль при совпадении считаемых импульсов с импульсом интервала времени счета. В результате чего считаемые импульсы поступают

на счетчик и подсчитываются им только за интервал времени, определяемый пусковой схемой.

Продолжительность интервала определяет собой режим счета. Если интервал равен 1 сек., то счет носит название абсолютного; если интервал времени отличается от 1 сек., то он носит название относительного.

Для ускорения обработки информации РКЗ-1 о температуре и влажности методической комиссией ЦАО рекомендовано производить зондирование атмосферы в режиме относительного времени счета, когда активные паузы зонда подсчитываются не за

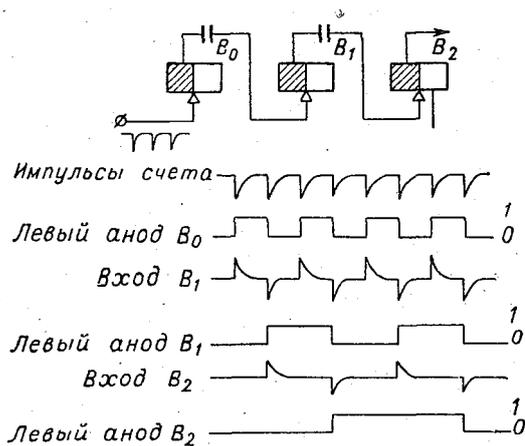


Рис. 3.4. Блок-схема подсчета информационных импульсов.

1 сек., а за некоторый интервал времени, регулируемый от 1,03 до 1,128 сек. [65].

Предлагаемая методика производства наблюдений позволяет без вычисления отношения частот, т. е. безразмерного параметра  $Y$ , находить значения температуры и влажности по частотам, зафиксированным регистратором. При этом счетчик информационного канала переводится в режим переменного (относительного) времени счета. В указанном режиме регистрируемая опорная частота не соответствует опорной частоте зонда, записанной в сертификате, а путем регулировки станции в течение всего подъема зонда поддерживается либо равной 2200 гц, либо 2300 гц с минимальными отклонениями, не превышающими нескольких единиц герц. Опорная частота зонда, записанная на ленте, в этом случае именуется относительной опорной частотой, а частоты температуры и влажности — их относительными частотами.

Для обработки результатов зондирования в режиме относительного времени счета необходимо иметь специальный график

поверки (сертификат), в котором по оси ординат вместо отношения частот отложены значения относительной частоты температуры (влажности) при данном постоянном значении относительной опорной частоты.

Если радиозонд специальным графиком поверки не укомплектован, обычный поверочный график пересчитывается. Для этой цели численное значение безразмерного параметра  $Y$ , которыми оцифрована ось ординат, умножаются на выбранную относительную опорную частоту. Значения новой оцифровки шкалы на графиках поверки температуры и влажности приведены в табл. (4), заимствованной из «Руководства по зондированию атмосферы радиозондом РКЗ-1А». В этом случае, один и тот же график поверки с двойной оцифровкой может быть использован как для обычной обработки в режиме абсолютного счета, так и для обработки в режиме относительного счета.

При переоцифровке сертификата выбор относительной опорной частоты зависит от технических характеристик зонда. Если опорная частота радиозонда, записанная на сертификате, лежит в пределах 1965—2010 гц, то рекомендуется использовать относительную частоту 2200 гц. Если опорная частота зонда заключена в пределах от 2011 до 2215 гц, то выбирают частоту 2300 гц. Практика показала, что в большинстве случаев приходится пользоваться относительной опорной частотой 2300 гц. Для оцифровки каждого деления шкалы табличные данные интерполируются.

В некоторых случаях переоцифрованная шкала сертификата переносится на бумажную миллиметровую ленту, на которой против относительных значений частот записываются величины метеоэлементов. Полученная линейка еще более ускоряет процесс обработки, так как значение метеоэлемента определяется путем прикладывания соответствующего участка ее к бумажной ленте регистратора и отсчета данных против базисного штриха.

Подсчет и регистрация информационных частот радиозонда РКЗ-1 производится в десятично-позиционной системе счисления, в которой любое значение частоты может быть записано с помощью десяти цифр: 0, 1, 2, ..., 9, значения которых зависят от занимаемой позиции.

Так, например, опорная частота, равная 2100 гц, может быть расшифрована как сумма, состоящая из поля единиц  $0 \cdot 10^0$ , поля десятков  $0 \cdot 10$ , единиц сотен  $1 \cdot 10^2$  и единиц тысяч  $2 \cdot 10^3$ .

Таким образом, любое целое число  $N$ , характеризующее информационную частоту РКЗ-1, в десятично-позиционной системе счисления представляется в виде суммы произведений различных степеней числа 10 на коэффициенты, принимающие одно из возможных значений от 0 до 9.

## Значение оцифровки шкалы отношений частот (V) графиков поверки

## а) Для температуры

Оцифровка для абсолютной частоты . . . . .	0,850	0,800	0,750	0,700	0,650	0,600	0,550	0,500	0,450	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
Оцифровка для относительных частот:																
$F_{оп} = 2200$ гц . . . . .	1870	1760	1650	1540	1430	1320	1210	1100	990	880	700	660	550	440	330	220
$F_{оп} = 2300$ гц . . . . .	1955	1840	1725	1610	1495	1380	1265	1150	1035	920	805	690	575	460	345	230

## б) Для влажности

Оцифровка для абсолютной частоты . . . . .	1,00	0,980	0,960	0,940	0,920	0,900	0,880	0,860	0,840	0,820	0,800	0,780	0,760	0,740	0,720	0,700	0,630
Оцифровка для относительных частот:																	
$F_{оп} = 2200$ гц . . . . .	2200	2156	2112	2068	2024	1980	1936	1892	1848	1804	1760	1716	1672	1628	1584	1540	1496
$F_{оп} = 2300$ гц . . . . .	2300	2254	2208	2162	2116	2070	2024	1978	1932	1886	1840	1794	1748	1702	1656	1610	1564

Сокращенно это можно записать в виде формулы

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \cdot 10^{i-1}, \quad (3.7)$$

где  $k_i$  — коэффициент, принимающий значение от 0 до 9,  $n$  — количество десятичных разрядов в числе.

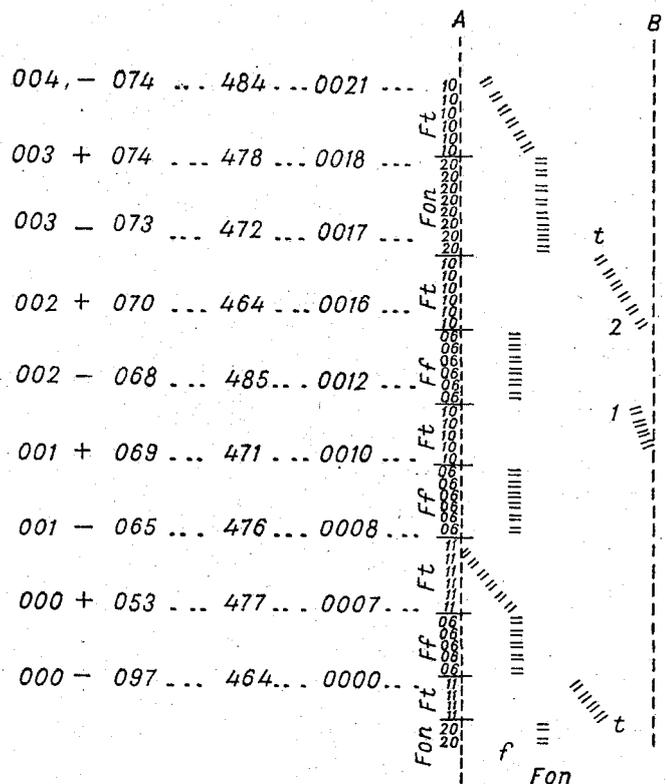


Рис. 3.5. Регистрация информации РКЗ-1 на бумажной ленте.

На бумажной ленте регистратора (рис. 3.5) запись информационных частот радиозонда производится с помощью двух цифр, соответствующих тысячам и сотням герц, и ординатной отметки между двумя базисными линиями. Расстояние в миллиметрах между левой базисной линией и ординатным штрихом соответствует численному значению десятков и единиц герц. Это говорит о том, что указанная регистрация производится в десятично-позиционной системе счисления и может осуществляться автоматическим частотомером.

В качестве примера рассмотрим частотомер триггерного типа, состоящий из элементарных ячеек.

При выбранном основании системы счисления ( $a=10$ ) и количестве разрядов числа, определяющего значение частоты  $n$ , общее количество элементарных ячеек будет

$$N = a^n. \quad (3.8)$$

При этом наибольшее число импульсов, которое может подсчитать подобный счетчик, будет

$$M = a^n. \quad (3.9)$$

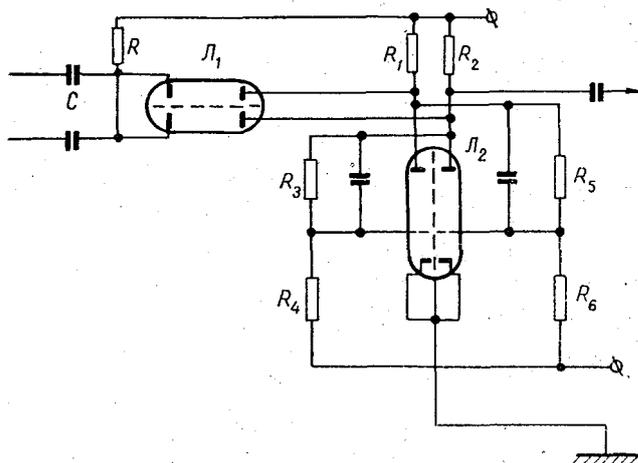


Рис. 3.6. Схема триггерной ячейки с коммутирующим вентилем в виде диода.

Приведенные формулы позволяют определить минимальное количество элементарных ячеек  $N$  для подсчета числа  $M$ . Если прологарифмировать формулу для  $M$  и значение  $n$  подставить в выражение для  $N$ , то получим

$$N = a \frac{\lg M}{\lg a}. \quad (3.10)$$

Если в выбранной десятичной системе счисления задаться величиной  $M$  порядка 1000, то  $N=30$ .

В принципе счетчик может состоять из меньшего числа элементов.

Поскольку элементарная ячейка в виде триггера является делителем на два, то путем последовательного соединения некоторого количества триггеров, каждый из которых запускается импульсом с выхода предыдущего, при симметричном управлении удастся строить двоичные счетчики, коэффициент пересчета

которых равен  $2^m$  ( $m$  — число элементарных ячеек [32, 38]. Подбор числа и использование обратных связей позволяют иметь десятичный коэффициент пересчета. Поэтому наиболее экономичным счетчиком является двоично-десятичный, так как он может иметь меньшее число ячеек.

При симметричном управлении триггера, которое в отечественной литературе принято называть запуском по счетному входу, возникает возможность путем использования коммутирующих диодов сделать триггер чувствительным только к импульсам определенной полярности. При такой дискриминации коммутирующие диоды играют двойную роль: они, во-первых, не пропускают положительные импульсы, во-вторых, направляют отрицательные импульсы к сетке проводящей лампы. На рис. 3.6 представлена принципиальная схема триггера с коммутирующим диодом, которая является элементарной пересчетной ячейкой с коэффициентом деления  $k=2$ .

#### § 11. Канал сопровождения по угловым координатам

Метод комплексного зондирования атмосферы предусматривает получение одновременно с информацией о распределении по высоте давления, влажности и температуры также и ветровых характеристик. Это осуществляется путем измерения текущих координат радиозонда. Процесс непрерывного измерения текущих координат носит название сопровождения, которое может быть ручным или автоматическим. Оба режима широко применяются в наземных установках комплексного зондирования.

Способы определения угловых координат наземными установками метрового диапазона отличаются от способов, используемых в радиолокаторах дециметрового и сантиметрового диапазонов. В первом случае каждая угловая координата (азимут или угол места) определяется методом равносигнальной зоны, образуемой скачкообразно перемещающимися диаграммами направленности антенной системы, состоящей из двух идентичных волновых каналов директорного типа [3, 14, 16, 64].

Во втором случае угловые координаты также определяются методом равносигнальной зоны, однако сама диаграмма перемещается непрерывно путем конического развертывания. В первом случае сигнал ошибки имеет примерно прямоугольную форму, во втором случае — синусоидальную. В диапазоне сантиметровых и не очень больших дециметровых волн в качестве приемной и передающей антенны обычно используется параболический, в фокусе которого помещается излучатель с контррефлектором.

Оба перечисленных метода относятся к амплитудным методам сопровождения по угловым координатам.

Кроме амплитудных, применяются еще фазовые методы, основанные на сравнении фаз сигналов, поступающих одновре-

менно от одной и той же цели на две рядом расположенные антенны. Несмотря на то что этот метод еще не получил широкого распространения в метеорологии, его следует считать весьма перспективным, так как он обладает высокой точностью.

В данном параграфе будут рассмотрены главным образом амплитудные методы пеленгации как наиболее широко распространенные в настоящее время в наземных установках комплексного зондирования.

Антенная система в виде двух волновых каналов директорного типа по каждой координате используется для пеленгования радиозонда радиотеодолитом «Малахит» (рис. 3.7), радиолокатором «Нептун» и другими станциями метрового диапазона. Применение в качестве активного излучателя шлейф-вибратора А. А. Пистолькорса значительно повышает направленность канала. Что же касается ширины диаграммы направленности, то она в конечном итоге определяется числом директоров.

Поскольку каждая антенна имеет свою диаграмму направленности, то поочередное использование направленного действия двух антенн позволяет измерять направление методом равносигнальной зоны. Точка пересечения диаграммы соответствует равенству сигналов, принятых от двух антенн, которое возможно только при нахождении цели на равносигнальном направлении. Пеленгование цели методом равносигнальной зоны облегчается тем, что в обе стороны от равносигнальной зоны разность сигналов соответствующих диаграмм резко возрастает. Знак разности определяет направление отклонения цели от равносигнальной зоны.

Точность пеленга методом равносигнальной зоны значительно выше точности пеленгования по максимуму с использованием одной направленной антенны. Однако данный метод имеет и недостаток, заключающийся в меньшем коэффициенте использования мощности передатчика.

Поочередное использование направленного действия двух антенн, обеспечивающее создание равносигнальной зоны, осуществляется с помощью фазирующих систем и антенного коммутатора, с работой которых целесообразно познакомиться на примере антенно-фидерной системы радиотеодолита «Малахит».

В радиотеодолите «Малахит» применена система четырех волновых каналов. Два волновых канала используются для определения азимута пеленгуемого передатчика, два других используются для определения вертикального угла. При этом функции антенного коммутатора с фазирующими системами сводятся в основном к циклическим переключениям на входе приемника симметрично расположенных приемных антенн, вследствие чего диаграммы направленности вертикальной и горизонтальной пар антенн как бы перемещаются в пространстве.

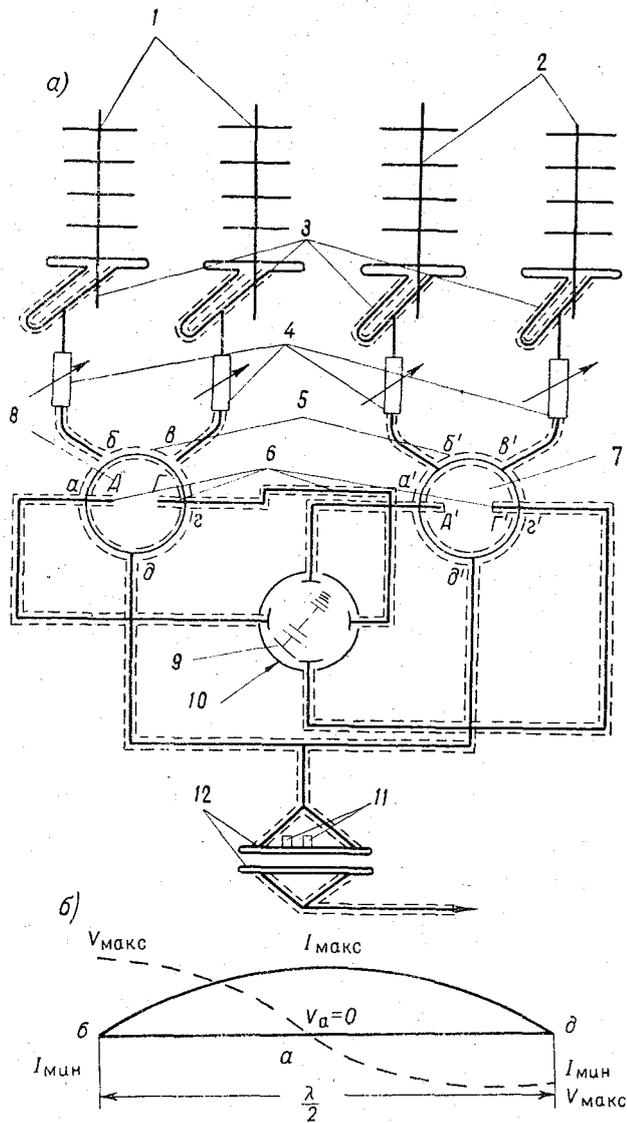


Рис. 3.7. Функциональная схема АФС с фазирющей системой (а) и график распределения тока и напряжения на четвертьволновых участках фазирющего кольца (б).  
 1 — антенны азимута, 2 — антенны угла места, 3 — петлеобразные вибраторы, 4 — юстираторы, 5 — фазосдвигающие отрезки, 6 — компенсационные шлейфы, 7 — угломестное фазирющее кольцо, 8 — азимутальное фазирющее кольцо, 9 — ротор ВЧ секции антенного коммутатора, 10 — антенный коммутатор, 11 — шлейфы, 12 — токосъемник высокой частоты.

При переключении вертикальной пары антенн к выходу приемника подключается индикатор угла места, а при переключении горизонтальной пары антенн — индикатор азимута. Указанные перемещения осуществляются с помощью антенного коммутатора.

Антенный коммутатор собран на литом шасси, на котором смонтированы: блок вращающихся конденсаторов, разделенный на две секции (высокочастотную и низкочастотную), генератор управляющих напряжений, кабели фазирующей системы, юстираторы, синхронный электродвигатель.

Синхронный электродвигатель служит не только для изменения положения диаграммы направленности антенной системы в пространстве, но и для управления электронным лучом в индикаторе.

Общий вид антенного коммутатора представлен на рис. 3.8.

Антенный коммутатор является коммутатором бесконтактного типа. Изменение положения диаграмм направленности антенны в пространстве и управление электронным лучом индикатора происходит за счет синхронного изменения величин переменных емкостей в высокочастотной и низкочастотной секциях.

Обе секции представляют собой вращающиеся переменные конденсаторы специальной конструкции. Они вращаются синхронным мотором, обороты которого определяются частотой сети и практически достаточно стабильны.

Через высокочастотные разъемы к статорным пластинам высокочастотной секции подключены соответствующие точки фазирующей системы. Фазирующие системы с антенным коммутатором обеспечивают создание равносигнальной зоны путем поочередного включения пары антенн, диаграммы направленности которых смещены на некоторый угол.

Фазирующая система состоит из двух фазирующих колец: азимутального кольца, создающего качание диаграммы направленности по азимуту, и угломестного кольца, создающего качание диаграммы направленности по углу места (см. рис. 3.7).

Каждое фазирующее кольцо состоит из четырех четвертьволновых отрезков  $ab$ ,  $ad$ ,  $вг$ ,  $гд$  и фазирующего отрезка  $бв$ . Рассмотрим работу одного фазирующего кольца, например азимутального, на передачу, что согласно теореме о взаимности эквивалентно работе на прием.

В некоторый момент времени роторная пластина высокочастотной секции коммутатора пройдет возле статорной пластины, соединенной посредством высокочастотного разъема с точкой  $a$  фазирующей системы. Поскольку ротор закорочен на массу, то в точке  $a$  фазирующей системы получается короткое замыкание, при котором разность потенциалов точки  $a$  равна нулю, а ток  $I$  достигает максимального значения (рис. 3.7).

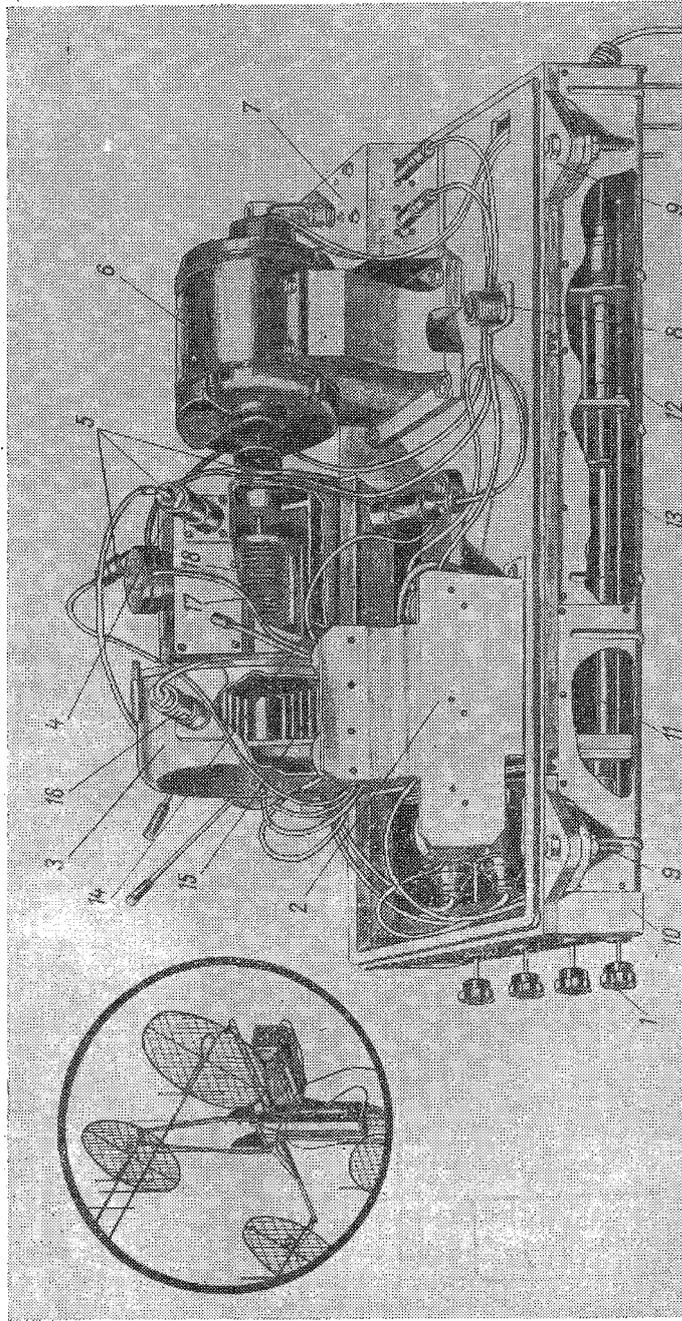


Рис. 3.8. Общий вид антенного коммутатора радиотелодолита «Малахит».

1 — ручки регулировки юстираторов, 2 — фазирующие системы, 3 — корпус низкочастотной секции, 4 — корпус высокочастотной секции, 5 — высокочастотный разъем статорных пластин, 6 — мотор вращения ротора, 7 — генератор управляющих напряжений, 8 — входной высокочастотный разъем, 9 — амортизатор, 10 — основание, 11 — неподвижная часть юстиратора, 12 — подвижная часть юстиратора, 13 — шток с червяком, 14 — статорные пластины ВЧ секции, 15 — роторные пластины НЧ секции, 16 — НЧ разъем, 17 — пластины статора ВЧ секции, 18 — ротор ВЧ секции; вверху слева показано размещение антенного коммутатора на антенной крестовине.

Поскольку длина отрезков фазирующего кольца  $ab$  и  $ad$  равна четверти длины волны, то в точках  $b$  и  $d$  возникают пучности напряжения или узлы тока, в которых ток будет равен нулю. В этих точках создается бесконечно большое сопротивление, в результате чего на этом участке может возникнуть только стоячая волна и передача энергии по этому участку невозможна.

В связи с этим энергия, подводимая от токосъемника к точке  $d$ , проходит только по отрезку  $dv$ . Таким образом, высокочастотная энергия подводится сначала к левой антенне, запитывая ее и создавая излучение, а затем к правой.

Поскольку отрезок  $bv$  имеет определенную длину, то запитывание правой антенны, естественно, происходит с некоторым запаздыванием по фазе; иными словами, азимутальные антенны запитываются со сдвигом фазы, обусловленным длиной фазосдвигающего отрезка  $bv$ .

Поскольку фаза питания левой антенны опережает фазу питания правой, то диаграмма направленности поворачивается влево. Аналогичным образом при прохождении роторных пластин четвертой статорной пластины диаграмма направленности поворачивается вправо. Угломестное фазирующее кольцо работает совершенно аналогично.

При работе на прием энергия высокой частоты поступает от антенн к токосъемнику, т. е. в обратном направлении. При этом работа фазирующей системы эквивалентна работе на передачу. Отметим некоторую конструктивную особенность фазирующей системы, которая заключается в том, что для компенсации начальных емкостей антенного коммутатора фазирующие кольца имеют компенсационные шлейфы  $Aa$ ,  $Gg$ ,  $A'a'$ ,  $G'g'$ , длина которых подбирается при настройке антенного коммутатора с фазирующей системой.

В нижнем отсеке шасси антенного коммутатора смонтированы четыре юстиратора, предназначенные для корректировки станции, т. е. для совмещения электрической оси антенной системы с ее геометрической осью. Юстираторы представляют собой отрезки жесткой коаксиальной линии переменной длины с малыми потерями. Каждый из юстираторов имеет подвижную и неподвижную части. Подвижная часть жестко связана с ходовой гайкой. При вращении ручки ходового винта подвижная часть юстиратора перемещается вместе с ходовой гайкой. При этом геометрическая, а следовательно, и электрическая длина юстиратора изменяется. Поскольку юстиратор включен последовательно в кабель питания волнового канала, изменение его длины приводит к изменению фазы питания соответствующего волнового канала. В связи с этим при корректировках представляется возможным смещать диаграмму направленности антенны радиотеходолита в пространстве на угол в пределах  $\pm 1,5^\circ$ .

Высокочастотные кабели марки РК-3, связывающие антенный коммутатор с вибраторами и с токосъемником, предназначены для передачи энергии с минимальными потерями. Для согласования входного сопротивления волнового канала с волновым сопротивлением кабеля конец кабеля, идущего от юстиратора, оканчивается V-образным коленом. Кроме согласования сопротивления, V-образное колено обеспечивает возможность подключения несимметричного (относительно земли) кабеля к симметричному петлевому вибратору.

Токосъемник высокой частоты предназначен для передачи электромагнитной энергии от фазирующей системы с антенным коммутатором, установленном на подвижной части привода антенны, к приемнику радиотеодолита при любом азимуте антенной системы.

Коническое развертывание в значительной степени повышает точность измерения угловых координат, обеспечивая двухмерный обзор пространства.

Для осуществления конического развертывания ось диаграммы направленности антенны смещена относительно оси симметрии параболоида на некоторый угол. Это достигается либо смещением облучателя относительно фокуса параболоида, либо введением несимметричного контррефлектора, прикрывающего облучатель [14, 16, 42, 76].

Контррефлектор выполнен в виде цилиндрической крышки, в боковой поверхности которой несимметрично оси прорезаны узкие щели.

При неподвижном контррефлекторе электромагнитная энергия, излучаемая вибратором, распространяется как в сторону параболического отражателя, так и в сторону контррефлектора. Для высокой частоты щели контррефлектора представляют собой колебательные контуры, в которых возбуждаются колебания с частотой вибратора-излучателя. Энергия этих колебаний направляется в сторону параболического отражателя, где складывается с энергией вибратора.

Поскольку щели контррефлектора расположены несимметрично, интерференция колебаний приводит к сдвигу максимума энергии излучения относительно геометрической оси параболоида на некоторый угол. При вращении облучателя или контррефлектора с некоторой постоянной частотой ось диаграммы описывает в пространстве коническую поверхность. Таким образом, коническое развертывание заключается в таком вращении главного лепестка диаграммы, при котором каждая точка описывает в пространстве окружность со скоростью вращения контррефлектора. При этом равносигнальная зона, образованная лепестком при прохождении им левого и правого крайних положений, используется для определения азимута, а равносигнальная зона, создаваемая при прохождении верхнего и ниж-

него крайних положений, — для определения угла места. Ось развертывания луча обычно совпадает с геометрической осью симметрии антенного параболоида. Если перпендикулярно к оси поставить плоскость, которую принято называть картинной плоскостью, то ось луча при своем вращении, последовательно

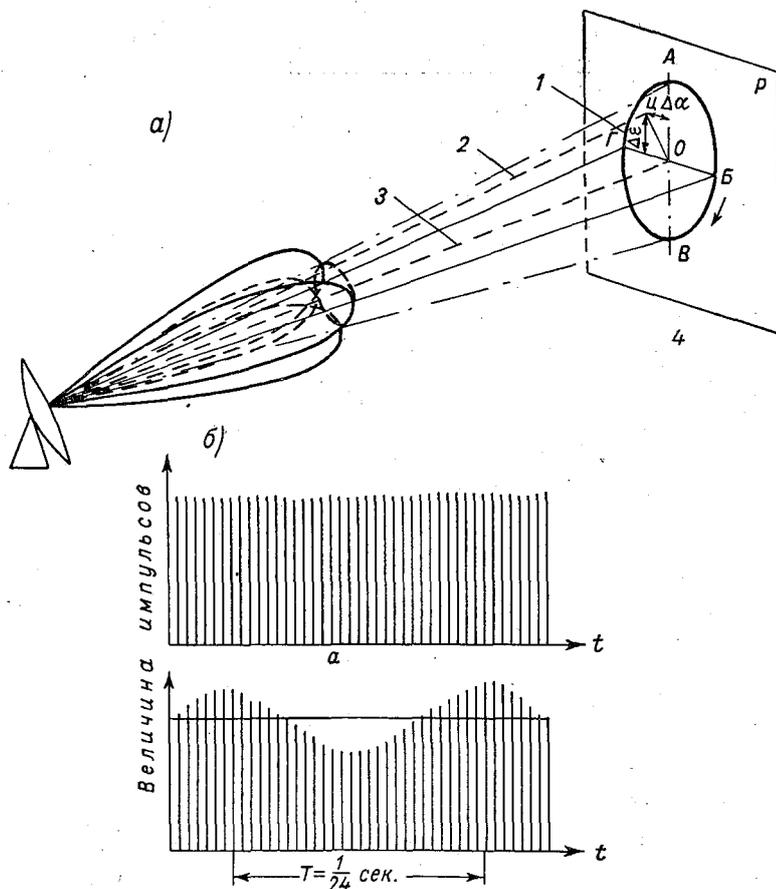


Рис. 3.9. Коническое развертывание луча (а) и формирование сигнала ошибки (б).

1 — след точки пересечения оси диаграммы направленности с картинной плоскостью, 2 — направление на цель, 3 — электрическая ось антенны, 4 — картинная плоскость.

занимая положения А, Б, В, Г (рис. 3.9), опишет окружность, центр которой совпадет с геометрической осью симметрии.

Когда пеленгуемая цель (радиозонд или уголкового отражатель) находится по направлению оси симметрии равносигнальной зоны, при правильной настройке системы, совпадающей

с осью параболоида, отраженный сигнал постоянен, и мощность принятых сигналов составляет около 65—80% максимальной мощности при любом положении луча диаграммы направленности. Всякое асимметричное положение объекта относительно электрической оси симметрии приводит к непостоянству отраженного сигнала, что проявится в виде синусоидальной модуляции с частотой вращения облучателя или контррефлектора.

Огибающая изменения интенсивности принятого сигнала может быть описана следующим выражением:

$$U(t) = U_0(R\sigma_{\Pi}) [1 + m \cos(\Omega t - \varphi)], \quad (3.11)$$

где  $U_0$  — амплитуда принимаемого сигнала на равносигнальном направлении, зависящая от  $R$  и  $\sigma_{\Pi}$ ,  $\Omega$  — круговая частота вращения луча,  $m$  — коэффициент амплитудной модуляции,  $\varphi$  — фаза огибающей, зависящая от направления отклонения цели от горизонтальной плоскости.

Если цель находится в точке  $\Pi$ , а ось диаграммы направлена в точку  $A$  (рис. 3.9), амплитуда отраженного сигнала максимальна, если ось направлена в точку  $B$ , сигнал минимален. Изменение амплитуды пропорционально изменению угла между направлением на цель и осью антенны. Чем больше угол, тем больше глубина модуляции отраженных сигналов. При больших отклонениях цели от направления равносигнальной зоны модуляция сигнала может отличаться от синусоиды и появляются гармоники. Выделение основной частоты обычно производится с помощью пикового детектора и резонансных фильтров, настроенных на частоту вращения луча.

Фаза огибающей определяется положением цели в пространстве. Отклонения цели от центра картинной плоскости  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\epsilon$  определяют собой сигналы ошибок по азимуту и углу места, которые используются для сопровождения объекта по угловым координатам и точного определения азимута и угла места.

Антенный параболоид в данном случае предназначен для фокусировки электромагнитной энергии, излучаемой вибратором, и отражения ее в пространство в виде узкого сигарообразного лепестка. При пеленговании объекта параболоид воспринимает отраженный сигнал и фокусирует его в точку расположения излучателя.

Поскольку радиолокационные станции с коническим развертыванием имеют общую антенну на прием и передачу, то возникает необходимость в антенном переключателе, с помощью которого происходит подключение антенны то к передатчику, то к приемнику.

Антенные переключатели имеют самые различные конструкции, однако все они выполняют одну и ту же функцию, заключающуюся в том, чтобы во время работы передатчика шунтировать приемник, обеспечивая канализацию энергии к облучателю

антенны. Для этого используются резонансные камеры с газовыми разрядниками, обладающими свойством изменять свое сопротивление между электродами от бесконечно большого до минимального в момент разряда (рис. 3.10).

Во время генерирования магнетрона в зазоре разрядника возникает большая напряженность поля, газоразрядная лампа пробивается и в полости резонатора образуется короткое замыкание. Плечо тройника, равное четверти длины волны, при коротком замыкании образует короткозамкнутую четвертьволновую линию, обладающую весьма значительным сопротивлением.

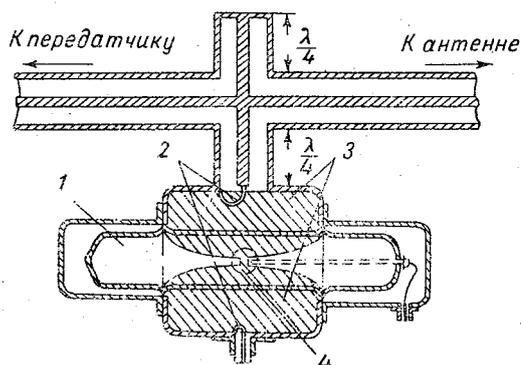


Рис. 3.10. Конструкция антенного переключателя.

1 — стеклянный баллон, 2 — входные петли связи, 3 — объемные резонаторы, 4 — искровой промежуток.

Вследствие этого происходит закорачивание входа в систему приема, так как ответвления энергии в сторону приемного тракта не происходит и вся энергия магнетрона направляется к излучателю АФС. Во время приема, когда из антенны по волноводу передается весьма малая энергия и напряженность поля мала, разрядник пробиваться не будет. Что же касается передатчика, то его выходное сопротивление достаточно велико. Такую же величину оно имеет в точках волновода, кратных целому числу полуволн. В связи с этим во время приема вся энергия принятых сигналов устремится через резонансную камеру ко входу системы приема. Таким образом, антенный переключатель выполняет роль автомата, поочередно подключающего антенну то к передающей системе, то к приемной. Перемещение антенных систем в горизонтальной и вертикальной плоскостях для наведения антенны на пеленгуемый радиозонд производится либо с помощью кинематического привода ручного управления, либо с помощью исполнительных двигателей и следящих систем с сельсинным управлением [11, 14, 16, 44]. Кинематический

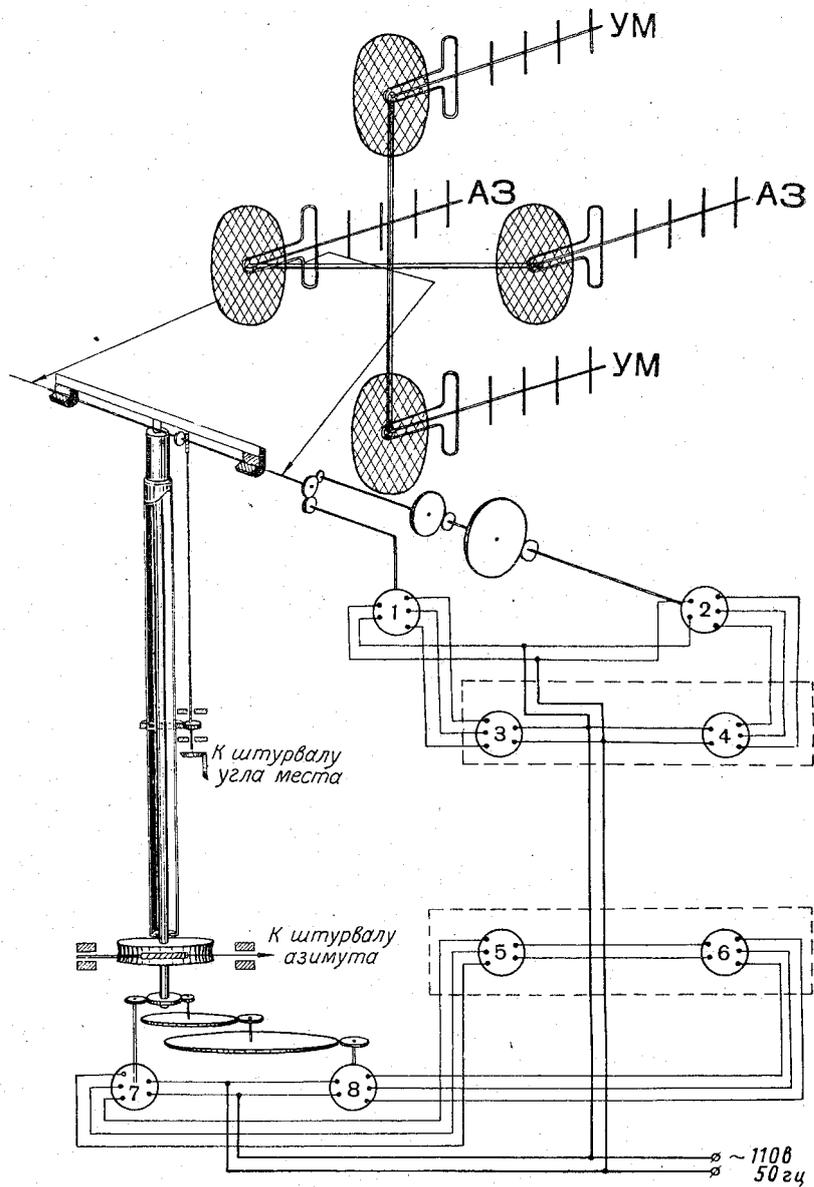


Рис. 3.11. Кинематический привод антенны радиотеодолита «Малахит».

Сельсины-датчики: грубого отсчета угла места (1), точного отсчета угла места (2), грубого отсчета азимута (7), точного отсчета азимута (8); сельсины-приемники: грубого отсчета угла места (3), точного отсчета угла места (4), грубого отсчета азимута (5), точного отсчета азимута (6).

привод, используемый в радиотеодолите «Малахит», радиолокаторе «Нептун» и других наземных установках, обеспечивает быстрое или медленное вращение антенной системы путем ручного вращения штурвалов азимута и угла места (рис. 3.11). При этом угловые координаты передаются с помощью грубого и точного сельсинов бесконтактного типа, работающих в индикаторном режиме. Индикаторный режим характеризуется возникновением крутящего момента на оси ротора приемника при рассогласовании ее с осью ротора датчика. Обычно ротор грубого датчика жестко связан с антенной системой, а ротор приемника — с отсчетной шкалой.

Передаточное отношение к роторам сельсинов-датчиков выбрано таким, чтобы за один оборот азимутального или угломестного штурвала сельсин-датчик грубого отсчета делал также один оборот, а сельсин-датчик точного отсчета делал  $n$  оборотов.

Рассмотренный кинематический привод перемещения антенной системы применим только для относительно легких антенн типа «волновой канал». Поэтому в современных радиолокационных станциях отдают предпочтение сервосистемам с применением ручного и автоматического сопровождения радиозонда по угловым координатам. При этом способе кинематическая связь штурвалов с параболоидом заменена электрической связью, включающей в себя специальный сельсин, следящую систему и исполнительный двигатель (рис. 3.12).

Приведенная схема сервосистемы обеспечивает работу в двух режимах: трансформаторном и индикаторном, для чего на роторе сельсина-датчика имеются две взаимно перпендикулярные обмотки. На одну из обмоток подается питание в индикаторном режиме, на другую — в трансформаторном.

Ручное управление антенной по азимуту осуществляется по сельсинно-трансформаторной схеме.

В отличие от индикаторного режима, при котором на оси ротора приемного сельсина создается крутящий момент, в трансформаторном режиме назначение сельсина состоит в том, чтобы создать напряжение, зависящее от рассогласования между осями ротора датчика и приемника.

При этом в роторной обмотке сельсина-трансформатора возникает сигнал рассогласования или сигнал ошибки. Этот сигнал

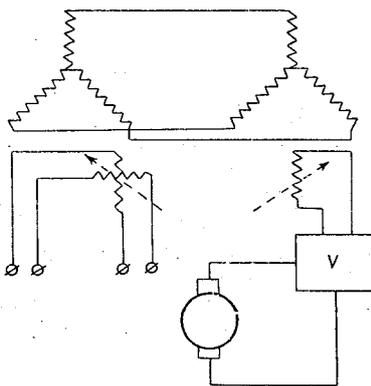


Рис. 3.12. Сервосистема для вращения антенны.

усиливается и затем поступает на исполнительный двигатель. Исполнительный двигатель канала азимута или угла места поворачивает вместе с антенной ротор специального сельсина-датчика до тех пор, пока сигнал рассогласования не будет равен нулю.

В режиме автоматического сопровождения сельсины включены по индикаторной схеме. В этом случае роторы сельсинов-приемников осуществляют подслеживание за положением роторов специальных сельсинов-датчиков.

Для передачи значений угловых координат в блок регистрации, как правило, используются сельсинные следящие системы, обеспечивающие передачу значений координат как в режиме автоматического, так и в режиме ручного сопровождения.

Для повышения точности передачи координат и исключения случаев ложной синхронизации в указанных следящих системах используются схемы грубого и точного сельсинов.

Принципиальная схема сельсинов-датчиков грубого и точного отсчетов представлена на рис. 3.13. С ведущей осью антенной колонки связаны два сельсина-датчика: грубый и точный. Ось ротора грубого сельсина непосредственно связана с ведущей осью, а ось точного сельсина соединена с ней через повышающий редуктор с передаточным числом  $i=n$ .

К приемной оси системы стрелочного прибора или механического регистратора присоединены роторы грубого и точного сельсинов-трансформаторов, причем ротор грубого сельсина-трансформатора присоединен непосредственно к оси, а ротор точного — через редуктор с передаточным числом  $i=1:n$ . Выходные сигналы рассогласования сельсинов-трансформаторов усиливаются и подаются на исполнительный двигатель, который обрабатывает угол рассогласования и одновременно поворачивает либо указатель индикатора, либо наборный механизм соответствующих координат.

При наличии значительного рассогласования между осями на вход усилителя подается суммарный сигнал от роторов грубого и точного сельсинов-трансформаторов, при этом исполнительный двигатель поворачивает приемную ось до тех пор, пока рассогласование между осями не станет равным углу  $\varphi$ . При достижении такого рассогласования переключатель суммирующего устройства  $\Pi_1$  отключает выход грубого сельсина-трансформатора от входа усилителя, а выход точного сельсина-трансформатора остается подключенным.

После усиления суммарный сигнал рассогласования подается на вход исполнительного двигателя. Совершенно очевидно, что для уменьшения погрешности в передаче угла достаточно было бы использовать только точные сельсины, так как при рассогласовании роторов точных сельсинов на  $\varphi$  между

приемной и задающей осями будет возникать рассогласование  $\frac{\varphi}{n}$ .

Однако если ограничиться только использованием точных сельсинов, то на каждый оборот задающей и приемной осей

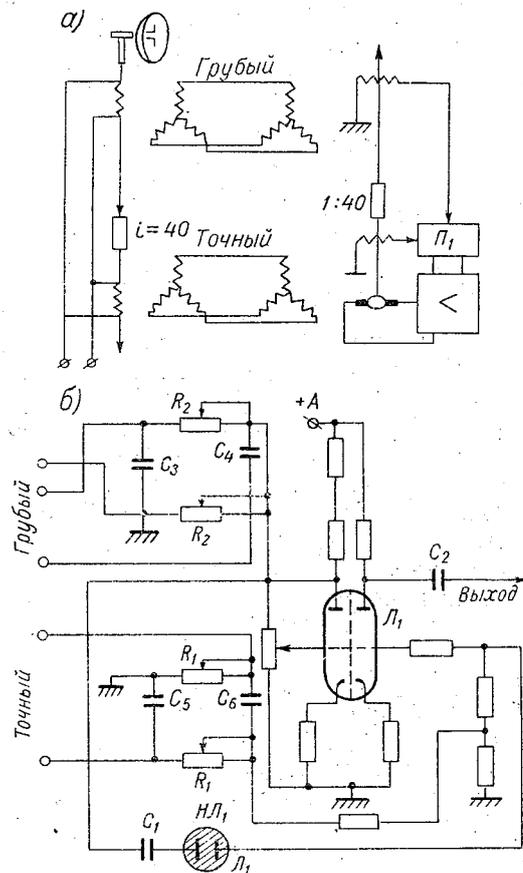


Рис. 3.13. Сельсинная передача.

а — схема применения грубого и точного сельсинов,  
б — схема суммарного усилителя датчиков.

будет приходится  $n$  оборотов роторов сельсинов и, следовательно,  $n - 1$  ложное согласование роторов, что приводит к ложным результатам измерения. Для устранения этого и служат грубые сельсины, роторы которых закреплены непосредственно на ведущей и приемной осях. На один оборот осей они могут иметь только одно согласование. В простейшем случае усилитель,

предназначенный для суммирования сигналов рассогласования, поступающих от роторов грубого и точного сельсинов-трансформаторов, может быть представлен в виде двойного триода.

Сигнал от ротора сельсина точного отсчета поступает на управляющую сетку правой половины лампы  $L_1$ , где происходит усиление сигнала. Усиленный сигнал точного сельсина через разделительный конденсатор  $C_2$  поступает на выход суммирующего усилителя.

Сигнал от сельсина-трансформатора грубого отсчета поступает на управляющую сетку левой половины лампы  $L_1$ .

При резком рассогласовании роторов сельсинов-датчиков и сельсинов-трансформаторов грубого отсчета амплитуда напряжения на управляющей сетке левой половины лампы увеличивается настолько, что за счет возрастания анодного тока происходит зажигание неоновой лампы  $НЛ_1$ , которая и является переключателем  $P_1$ . В момент зажигания неоновой лампы ее сопротивление резко падает, в результате чего сигнал рассогласования грубых сельсинов, кроме левой половины, поступает также на сетку правой половины лампы  $L_1$ .

Параметры схем подобраны так, чтобы зажигание неоновой лампы происходило при рассогласовании сельсинов в пределах угла  $\varphi$ . Таким образом, при углах рассогласования сельсинов больших  $\varphi$  с выхода усилителя подается суммарное напряжение от сельсинов точного и грубого отсчетов. Однако в этом случае сигнал, поступающий от сельсина точного отсчета, не оказывает существенного влияния на выходной сигнал, так как величина его значительно меньше сигнала сельсина грубого отсчета.

Если приемная ось сельсина связана со шкалой или стрелками индикатора, то значение угловых координат при пеленге производится оператором путем простого отсчета с последующей записью. Обычно координаты регистрируются на бумажной ленте (радиолокатор AN/GMD-1) или определяются визуально (радиотеодолит «Малахит», радиолокатор SCR-658 и др.). В исследовательских целях, когда необходимо определить точность измерения станцией координат, регистрация угловых координат осуществляется путем фотографии шкал стрелочных индикаторов с помощью кинокамеры. Например, индикаторы SCR-658 фотографируются кинокамерой Volex H-16 с использованием электрического хронометра [80—82].

При коническом развертывании принимаемые сигналы несут в себе суммарный сигнал ошибки, пропорциональный отклонению цели от пеленга как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

В подобных системах для автоматического сопровождения радиозонда по направлению с помощью исполнительных двигателей осуществляется поворот антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для этого суммарный сигнал ошибки

разлагается на ортогональные составляющие, пропорциональные отклонению цели по азимуту и углу места. После соответствующего усиления составляющие сигнала ошибки обеспечивают отработку ошибки соответствующими исполнительными двигателями (угломестным и азимутальным).

Разложение сигнала ошибки на составляющие в вертикальной и горизонтальной плоскостях осуществляется с помощью фазовых детекторов или демодуляторов. В радиолокационной технике используется большое количество различных схем

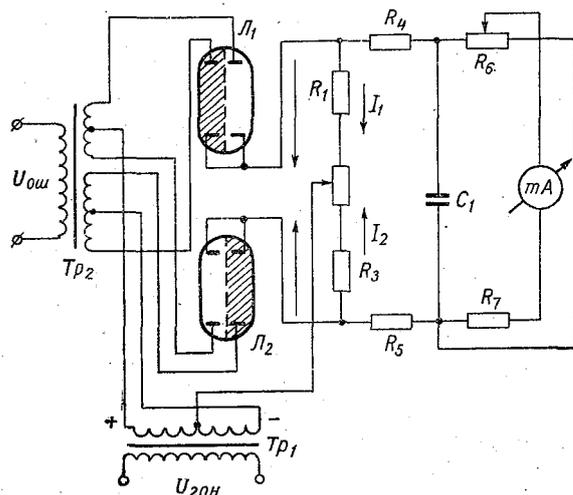


Рис. 3.14. Принципиальная схема фазового детектора.

фазовых детекторов, однако по принципу действия все они обеспечивают синхронное и синфазное изменение коэффициента усиления каскада с частотой опорного напряжения. Это равносильно умножению сигнала ошибки, проходящего через фазовый детектор, на коэффициент усиления.

Широко распространены фазовые детекторы на двойных триодах или диодах [14, 16, 76]. В первом случае сигнал ошибки подается на управляющие сетки триодов, во втором (рис. 3.14) — напряжение сигнала ошибки с вторичной обмотки трансформатора  $Tr_2$  подается на аноды диодов, изменяя анодный ток.

Что же касается опорного напряжения, то оно представляет собой переменное напряжение прямоугольной или синусоидальной формы, период которого равен времени полного оборота контррефлектора антенного излучателя.

Генератор опорных напряжений (ГОН) обычно имеет две взаимно перпендикулярные статорные обмотки, что позволяет иметь два опорных напряжения, фазы которых сдвинуты друг

относительно друга на  $90^\circ$ . Поскольку для разложения суммарного сигнала ошибки используются две идентичные схемы фазовых детекторов, то опорные напряжения их будут сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ , так как они снимаются с разных статорных обмоток генератора опорных напряжений и подаются на аноды фазового детектора. Для уяснения работы фазового детектора обратимся к одной из возможных принципиальных схем рис. 3.14.

Фазовый детектор (или демодулятор) представляет собой фазочувствительный двухполупериодный выпрямитель на двух двойных диодах, реагирующий на расхождение фазы напряжений, сигналов ошибок относительно фазы опорного напряжения.

Сигнал ошибки, поступающий на вход схемы, содержит две синусоидальные составляющие (по азимуту и углу места), сдвинутые по фазе друг относительно друга на  $90^\circ$ . Их амплитуды, как нам уже известно, пропорциональны величине отклонения цели от геометрической оси антенны по азимуту и углу места. Одновременно с сигналом ошибки на первичную обмотку  $Tr_1$  поступают опорные напряжения с двух взаимно перпендикулярных статорных обмоток ГОН, которые в силу указанной причины сдвинуты по фазе друг относительно друга на  $90^\circ$ . Вторичная обмотка  $Tr_2$  подключена к вторичной обмотке  $Tr_2$ . Таким образом, на вход демодулятора подаются два напряжения.

При работе выпрямителя к электродам каждого диода через соответствующие плечи нагрузок приложена сумма ЭДС, возникающих во вторичных обмотках  $Tr_1$  и  $Tr_2$ . Амплитуда опорной ЭДС с ГОН и  $Tr_1$  всегда значительно больше ЭДС сигнала ошибки с  $Tr_2$ , поэтому в каждый полупериод опорной частоты одна из половин ламп  $L_1$  и  $L_2$  оказывается открытой, другая закрытой.

Поскольку лампы включены встречно, в противоположные плечи симметричной нагрузки, то напряжение, снимаемое с нагрузки, будет зависеть от соотношения амплитуд напряжений, приложенных к одновременно отпертым диодам. При отсутствии напряжения сигнала ошибки токи, протекающие через каждую половину нагрузки, направлены встречно и равны друг другу  $I_1 = I_2$ . А так как величины сопротивлений каждой половины нагрузки равны между собой, то потенциалы точек на концах нагрузки также будут равны между собой, и сигнала на выходе фазового выпрямителя не будет.

Когда на вход фазочувствительного выпрямителя подан сигнал ошибки, напряжение на выходе будет зависеть от сдвига фаз между ним и опорным напряжением. Если напряжение сигнала ошибки находится в фазе с одним из опорных напряжений, то ток через одно плечо фазочувствительного выпрямителя увеличится, а через другое — уменьшится и на выходе получится управляющее напряжение определенной полярности, амплитуда которого будет пропорциональна напряжению ошибки.

При сдвиге сигнала ошибки по фазе на  $180^\circ$  произойдет увеличение тока через второе плечо и уменьшение через первое. При этом выходное напряжение будет иметь противоположный знак. При сдвиге фаз между опорным напряжением и напряжением сигнала ошибки на  $90^\circ$  управляющее напряжение на выходе выпрямителя будет равно нулю, так как в течение каждого полупериода опорного напряжения ток в каждом плече изменится от максимума до минимума (рис. 3.15).

В случае синусоидального опорного напряжения выходные сигналы фазовых детекторов канала азимута и канала угла места выражаются как

$$U_\alpha = k_p U_{\text{опт}} \cos(\Omega t - \varphi) U_0 \cos \Omega t, \quad (3.12)$$

$$U_\varepsilon = k_0 U_{\text{ош}} \cos(\Omega t - \varphi) U_0 \sin \Omega t, \quad (3.13)$$

где  $k_p$  — коэффициент передачи фазового различителя,  $V_0 \cos \Omega t$  — опорное напряжение канала азимута,  $V_0 \sin \Omega t$  — опорное напряжение канала угла места.

Постоянные составляющие выходных напряжений фазовых детекторов оказываются пропорциональными ошибкам сопровождения в соответствующих плоскостях, т. е.

$$U_\alpha = \frac{4k_0 U_{\text{ош}}}{\pi} \cos \varphi, \quad (3.14)$$

$$U_\varepsilon = \frac{4k_0 U_{\text{ош}}}{\pi} \sin \varphi. \quad (3.15)$$

Приведенные формулы показывают, что при  $\varphi$ , равном 0 или  $180^\circ$ ,  $U_\alpha$  максимально, в то время как  $U_\varepsilon = 0$ ; при  $\varphi = 90^\circ$   $U_\varepsilon$  максимально, а  $U_\alpha = 0$ .

Таким образом, выделение сигнала ошибки по азимуту происходит тогда, когда сигнал ошибки по азимуту совпадает по фазе с одним из опорных напряжений ГОНа или будет с ним в противофазе. Выделение ошибки по углу места происходит в том случае, когда сигнал ошибки по углу места совпадает по фазе с опорным напряжением ГОНа или будет с ним в противофазе.

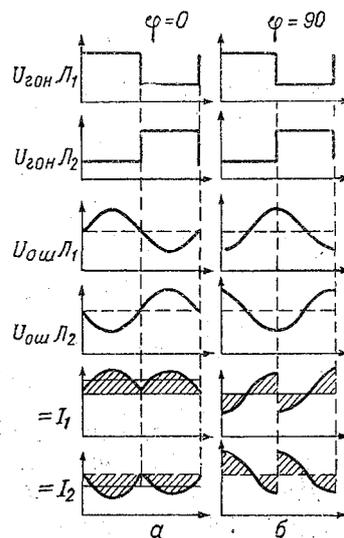


Рис. 3.15. Диаграмма работы фазового детектора.

*a* — фазы сигнала ошибки и опорного напряжения совпадают, *б* — фазы сдвинуты на  $90^\circ$ .

Совершенно очевидно, что ошибка по азимуту, если не учитывать нелинейные эффекты, не может повлиять на сигнал ошибки по углу места, так как между ними имеет место сдвиг фаз, равный  $90^\circ$ , при котором управляющее напряжение выхода демодулятора равно нулю.

На выходе фазовых детекторов, как правило, ставят фильтры низких частот или корректирующие цепочки, которые не пропускают компоненты, содержащие частоту  $\Omega$ . Это повышает надежность работы последующих каскадов, предназначенных для усиления сигнала ошибки по данной координате. Усиление сигнала ошибки до величины, обеспечивающей надежное срабатывание исполнительных двигателей, чаще всего производится усилителями постоянного тока и магнитными усилителями [11, 14, 16, 22].

Магнитные усилители (МУ) представляют собой электромагнитные устройства, которые статическим образом, т. е. без движущихся частей, усиливают электрические сигналы как по мощности, так и по напряжению. При всем многообразии схем магнитных усилителей все они построены на одном и том же физическом принципе, который заключается в использовании нелинейного характера кривой намагничивания ферромагнитных материалов, вследствие которого индуктивное сопротивление катушки с ферромагнитным сердечником зависит от подмагничивания сердечника постоянным током.

Для иллюстрации приведем кривую намагничивания для ферромагнитного материала (рис. 3.16).

На приведенном графике наглядно видно, что если при неизменном значении переменной составляющей индукции  $B_{\sim}$ , увеличивать постоянные составляющие  $B_{=}$ , что осуществляется изменением подмагничивания постоянным током и ведет к смещению рабочей точки на кривой намагничивания, то по мере перехода в область насыщения кривая напряженности поля  $H$  будет резко возрастать по амплитуде.

По принципу построения магнитные усилители делятся на две большие группы:

- 1) усилители дроссельного типа;
- 2) усилители мостикового, дифференциального и трансформаторного типа.

Дроссельный магнитный усилитель имеет три обмотки: рабочую, управляющую и обмотку обратной связи.

В таком усилителе выпрямленный ток нагрузки частично пропускается через дополнительную обмотку подмагничивания. Введение обратной связи увеличивает начальный ток, протекающий в нагрузке, и резко повышает крутизну характеристики. Однако такая схема обладает крупным недостатком, который заключается в том, что нельзя менять фазу выходного тока в соответствии с полярностью входного сигнала.

Для изменения фазы выходного сигнала, что необходимо для обеспечивающего реверса исполнительного двигателя, применяется дифференциальная схема включения дроссельных усилителей. Схема состоит из двух дроссельных магнитных усилителей

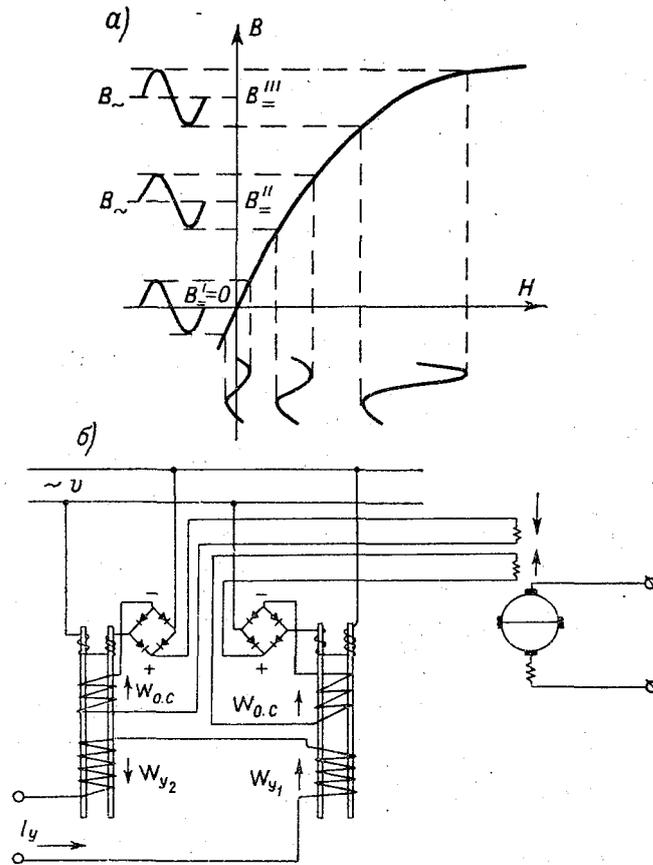


Рис. 3.16. Принцип работы магнитного усилителя.  
 а — кривая намагничивания, б — схема включения дроссельных магнитных усилителей.

с обратной связью, работающих на нагрузку, которой является одна или две управляемые обмотки двигателя (рис. 3.16).

Для того чтобы при появлении сигнала ток одного дроссельного усилителя возрастал, а второго убывал, управляющие обмотки обоих дросселей включены по-разному: в одной из них — согласованно с обмоткой обратной связи, а в другой — несогласованно. В том случае, когда нагрузкой является одна

управляемая обмотка двигателя, схема незначительно изменяется.

Реверс двигателя осуществляется благодаря изменению направления тока в управляемой обмотке МУ. Если в  $W_{y_1}$  ток больше, чем в  $W_{y_2}$  и имеет обратное направление, то первый сердечник подмагничивается, а второй размагничивается. При подмагничивании возрастает индуктивное сопротивление, которое препятствует прохождению тока по рабочей обмотке. Там, где происходит намагничивание, повышается индуктивность и ток пойдет по обмотке исполнительного двигателя в одну сторону. Если в  $W_{y_1}$  ток меньше, чем в  $W_{y_2}$ , то происходит изменение подмагничивания (первый сердечник размагничивается, а второй подмагничивается). В результате переменный ток в управляемой обмотке исполнительного двигателя меняет свое направление и двигатель начинает вращаться в другую сторону.

Реверс исполнительного двигателя обеспечивает обработку сигнала ошибки, что равносильно наведению антенной системы на цель, и удерживание цели в равносигнальной зоне.

Автоматическое сопровождение исключает субъективные ошибки, вносимые оператором при ручном управлении, и, обеспечивая непрерывный отсчет координат, значительно повышает точность пеленга.

Однако при автоматическом сопровождении радиозонда по угловым координатам благодаря большому значению сигнала ошибки могут возникнуть качания антенны, которые называют рысканием. Для устранения подобных качаний предусматривают демпфирование, т. е. обратную связь с исполнительных двигателей на усилители сигналов ошибки. Обратная связь обеспечивает замедление хода моторов при подходе антенны в положение точного направления на радиозонд. Для этой цели исполнительные двигатели имеют тахометрические обмотки или спариваются с тахогенераторами, с которых снимается напряжение сигнала обратной связи. Напряжение обратной связи подается на демодулятор обратной связи, представляющий собой фазовый детектор. Выходное напряжение с фазового детектора суммируется с сигналом ошибки в усилителе и устраняет рыскание путем замедления хода исполнительных двигателей.<sup>1</sup>

Кроме предотвращения рыскания, следящая система автоматического сопровождения имеет устройство для ограничения момента вращения. Такое ограничение необходимо для предотвращения возможного повреждения механической системы вращения параболоида, особенно по углу места в моменты очень

<sup>1</sup> Следует сделать оговорку о том, что рыскание устраняется не только замедлением хода исполнительных двигателей, но и за счет сопровождения цели по сигналам ошибки и по ее производным.

сильного отклонения объекта пеленгирования от центра картинной плоскости.

Электронные индикаторы канала сопровождения по угловым координатам наземных установок станций зондирования атмосферы чаще всего используются не для отсчета угловых смещений, а для визуального определения момента пеленга.

Из всего многообразия индикаторных устройств для решения указанной задачи используются электро-механические (стрелочные) индикаторы и амплитудные осциллографические.

В стрелочных индикаторах используется чувствительный прибор постоянного тока типа нульгальванометра, который включается на выходе фазового выпрямителя каждого канала сопровождения. Это обеспечивает визуальный контроль величины и знака сигнала ошибки, особенно при ручном сопровождении радиозонда. Индикаторы такого рода используются в радиолокационных станциях с коническим развертыванием.

Осциллографические индикаторы (типа А) применяются для визуального определения момента точного направления на радиозонд как по азимуту, так и по углу места. В качестве примера рассмотрим индикатор радиотеодолита «Малахит».

Индикация пеленга по азимуту и углу места осуществляется на одной электронно-лучевой трубке с амплитудной разверткой, причем на экране трубки оператор видит одновременно две пары импульсов. Одна пара импульсов соответствует углу места, вторая пара — азимуту (рис. 3.17).

Момент пеленга по данной координате соответствует равенству амплитуд соседних импульсов на экране электронно-лучевой трубки индикатора. Распределение местоположения импульсов на экране индикатора производится с помощью генератора управляющих напряжений, который, периодически запирая трубку путем подачи отрицательного напряжения на управляющую сетку, гасит электронный луч. Таким образом, непрерывная развертка на индикаторе превращается в развертку, состоящую из четырех частей. Совершенно очевидно, что моменты возникновения точек должны соответствовать моментам «стабилизации» диаграммы направленности для каждого волнового канала, а моменты гашения луча должны быть синхронны моментам переключения диаграмм направленности.

Поскольку роторные пластины высокочастотной секции антенного коммутатора и низкочастотной секции располагаются на одной оси, то синхронно с вращением ротора высокочастотной секции ротор низкочастотной секции будет модулировать по амплитуде подводимое к статорным пластинам синусоидальное напряжение.

Таким образом, напряжение управляющего генератора синхронно модулируется с перемещением в пространстве диаграммы направленности антенной системы радиотеодолита.

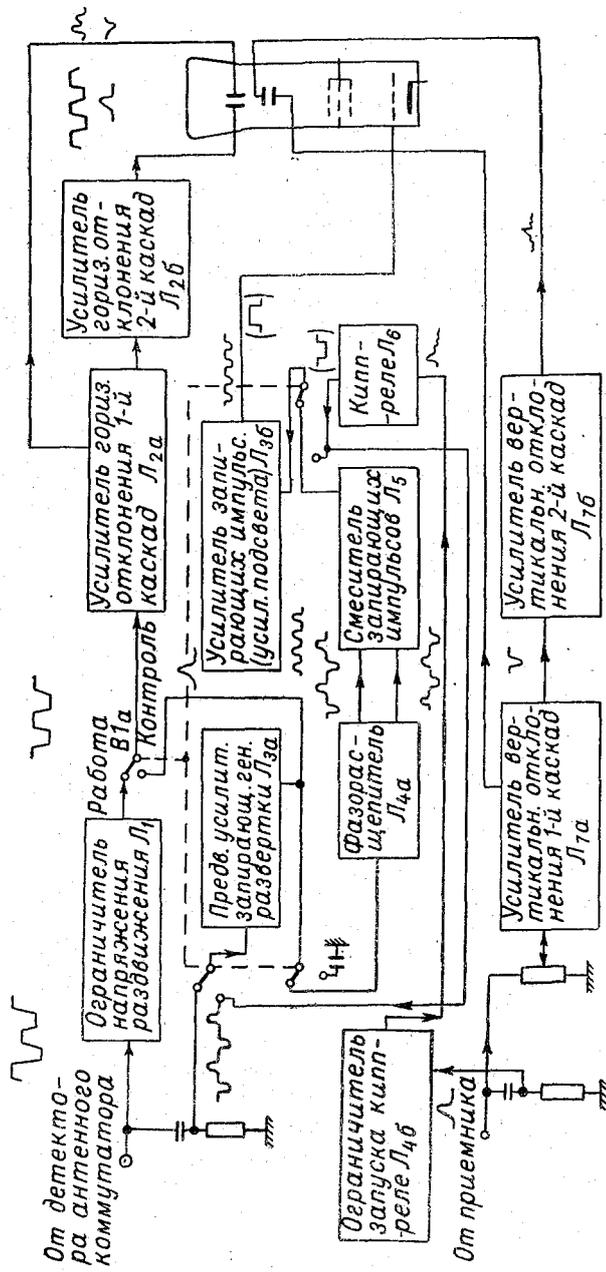


Рис. 3.17. Индикатор координат радиогодолига «Малахит».

За один оборот антенного коммутатора диаграмма направленности занимает в пространстве поочередно четыре положения: левое, верхнее, правое и нижнее. В соответствии с этим напряжение от генератора управляющих напряжений модулируется в низкочастотной секции антенного коммутатора так, чтобы электронный луч на экране трубки, образуя прерывистую развертку, занимал следующие положения: крайнее левое в левой паре импульсов, крайнее левое в правой паре импульсов, крайнее правое в левой паре импульсов, крайнее правое в правой паре импульсов.

Промодулированное управляющее напряжение снимается с выходной секции статора и снова направляется к блоку генератора, в котором собран каскад детектора, и где оно подвергается детектированию.

С выхода фильтра низкочастотная огибающая этого напряжения подается на вход индикатора, функциональная схема которого приведена на рис. 3.17.

Работа отдельных блоков индикатора зависит от режимов работы индикатора («Работа» и «Контроль»). В связи с этим узлы индикатора образуют три канала: канал раздвижения импульсов, канал гашения электронного луча трубки и канал контроля.

В режиме «Работа» канал контроля в индикаторе не работает, а функционируют только канал раздвижения импульсов и канал гашения луча.

Канал раздвижения импульсов выполняет роль формирователя горизонтальной развертки электронно-лучевой трубки индикатора. На вход канала подается огибающая управляющего напряжения, которая с помощью двухстороннего диодного ограничителя ограничивается по амплитуде.

После ограничения напряжение раздвижения подается на двухкаскадный усилитель горизонтального отклонения. С выходов первого и второго каскадов усилителя напряжение раздвижения подается в противоположной полярности на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки, создавая горизонтальную развертку.

Канал гашения луча служит для периодического запирания трубки (гашения развертки), что позволяет на экране одной электронно-лучевой трубки объединить индикацию пеленга по азимуту и углу места. Канал гашения луча запускается также огибающей управляющего напряжения, но в отличие от предыдущего канала огибающая управляющего напряжения дополнительно не ограничивается, а дифференцируется с помощью цепочки RC, с выхода которой снимаются импульсы положительной и отрицательной полярности. Длительность их соответствует длительности перепадов огибающей, т. е. полупериоду модуляции низкочастотной секции антенного коммутатора. Что же

касается амплитуды, то она определяется амплитудой соответствующего перепада.

Продифференцированные импульсы поступают на вход предварительного усилителя канала гашения, где они усиливаются до величины, обеспечивающей нормальную работу фазорасщепителя.

Фазорасщепитель представляет собой ламповую схему с анодной и катодной нагрузками. Поскольку лампа работает в режиме усиления, то полярность импульсов, снятая с анодной нагрузки, изменится на обратную, а полярность импульсов, снятая с катодной нагрузки, так же как в катодном повторителе, останется такой же, как на входе. С обеих нагрузок фазорасщепителя импульсы противоположных полярностей поступают на аноды диодного смесителя с общей катодной нагрузкой, который работает в режиме двухполупериодного выпрямления.

В катодной нагрузке смесителя потечет выпрямленный ток лишь в те моменты, когда открыт один из диодов, т. е. когда к аноду диода приложено положительное напряжение. Поскольку на смеситель подаются импульсы обратной полярности, то на катодной нагрузке выделяются положительные импульсы удвоенной частоты. С катодной нагрузки смесителя импульсы напряжения положительной полярности подаются на усилитель запирающих импульсов, где они усиливаются по амплитуде. На сетку электронно-лучевой трубки будут поступать импульсы отрицательной полярности, запирающие трубку и гасящие развертку в момент перехода электронного луча из одного рабочего состояния в другое.

Таким образом, развертка на экране электронно-лучевой трубки из непрерывной линии превращается в четыре светящиеся точки. Одновременно с этим с выхода приемника видеосигналы подаются на парафазный усилитель вертикального отклонения, где они усиливаются по амплитуде. Усиленные видеосигналы подаются на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки, в результате чего на экране появляются две пары импульсов различной амплитуды. Расстояние между каждой парой равно 12—14 мм. Равенство амплитуд импульсов, осуществляемое вращением штурвалов азимута и угла места, а вместе с этим и поворотом антенной системы, определяет собой момент точного пеленга радиопередатчика зонда.

Канал контроля состоит из дифференцирующей цепочки, куда поступают видеосигналы от приемника, ограничителя запуска кипп-реле и самого кипп-реле. Перечисленные узлы работают только в режиме работы «Контроль».

Видеосигналы с выхода видеусилителя приемника поступают на дифференцирующую цепочку, где дифференцируются и затем направляются в блок ограничителя запуска кипп-реле. В указанном блоке происходит ограничение амплитуды. Ограни-

ченные импульсы запускают кипп-реле, которое вырабатывает импульсы отрицательной полярности длительностью 100 мксек., частота которых соответствует частоте пеленгуемого передатчика. Импульсы кипп-реле в режиме «Контроль» запускают генератор развертки. Напряжение развертки подается на двухкаскадный усилитель горизонтального отклонения и создает горизонтальную развертку. Каскады ограничителя напряжения раздвижения, дифференцирующая цепь и смеситель запирающих импульсов, а также фазорасщепитель в режиме «Контроль» не работают.

В режиме «Контроль» имеется возможность проверить режим работы передатчика зонда, подготовленного к выпуску. При отсутствии шумов импульсы работающего передатчика будут прерывать линию развертки при уменьшении амплитуды импульса на экране до 10—15 мм.

При замкнутой манипуляционной цепи передатчика ширина импульса, видимая на экране трубки индикатора, примерно равна 50—70 мм. При размыкании ширина импульса уменьшается в 5—7 раз.

## § 12. Электронные дальномеры

Для определения местоположения радиозонда в пространстве в наземных установках радиопеленгаторного типа, таких как радиотеодолит «Малахит», без дальномерной приставки, информация об угловых координатах дополняется расчетом высоты радиозонда. Высота рассчитывается по данным давления и температуры, полученным в информационном канале, для чего используется известная формула барометрической ступени

$$z = 18\,422 \ln \frac{p_1}{p_2} (1 + \alpha t), \quad (3.16)$$

где  $z$  — высота слоя в метрах,  $p_1$  и  $p_2$  — давление на нижнем и верхнем уровнях в миллибарах,  $\alpha$  — коэффициент, равный  $1/273$ ,  $t$  — температура в градусах Цельсия.

Из формулы следует, что относительная погрешность измерения высоты зависит от погрешностей измерения давления и температуры. Таким образом, ошибки информационного канала оказывают влияние на точность расчета третьей координаты, определяющей местоположение зонда в пространстве.

Радиолокационные наземные установки позволяют исключить влияние информационного канала на точность определения местоположения зонда в пространстве. В них определение расстояния до радиозонда, т. е. измерение наклонной дальности до измеряемого объекта, производится путем измерения временного интервала  $\tau$ , в течение которого зондирующий импульс

достигнет цели и, отразившись от нее, вернется обратно. В этом случае расстояние  $D$  определяется по формуле

$$D = \frac{c\tau}{2}. \quad (3.17)$$

При этом точность измерения третьей координаты будет в первом приближении зависеть от точности измерения временного интервала

$$\Delta D = \frac{c}{2} \Delta \tau. \quad (3.18)$$

В данном случае точность определения местоположения цели в пространстве значительно возрастает, так как современные электронные дальномеры позволяют с весьма высокой точностью (сотые доли микросекунд) измерять временной интервал  $\tau$ .

Для повышения точности и автоматизации измерений в некоторых устройствах измеряемый интервал времени преобразуют в числовой код. Для этой цели интервал времени  $\tau$  между зондирующим и отраженным импульсами (под отраженными импульсами следует понимать и ответные сигналы радиозонда), заполняется подсчитываемыми затем импульсами, вырабатываемыми генератором стандартных сигналов. При изменении временного интервала число импульсов соответственно изменяется. Преобразование такого рода возможно с помощью простой схемы, которая с успехом используется фирмой Didgicky [11]. В такой преобразовательной схеме точность измерения определяется частотой генератора стандартных сигналов и практически может быть очень высокой, если моменты начала и конца интервала счета фиксируются правильно.

Наклонная дальность в современных радиолокационных установках комплексного зондирования, как правило, не только измеряется, но и регистрируется. Регистрация производится как при ручном, так и при автоматическом сопровождении цели.

Описание сопровождения цели по дальности начнем с метода «плавающего нуля».

Предположим, что радиолокационная станция и радиозонд разнесены друг от друга на максимальный радиус действия. В качестве индикатора используется трубка типа А, развертка которой в определенном масштабе определяет радиус действия. В данном случае начало развертки совпадает с моментом излучения зондирующего импульса, а конец с местоположением радиозонда. Если бы радиозонд находился на меньшем расстоянии, то отрезок развертки от ее начала до отраженного импульса позволил бы определить это расстояние. Точность измерения в этом случае будет невелика. Кроме того, измерения небольших удалений зонда при этом способе практически исключается, так как отраженный сигнал может совпадать с зон-

дирующим или находится от него в непосредственной близости, когда трудно сделать замер.

Для исключения этого прибегают к методу задержки запуска передатчика по отношению к запуску развертки. Это позволяет электронному лучу, формирующему развертку, начать движение раньше, чем будет запущен магнетрон передатчика РЛС. Тогда отраженный импульс даже от близкой цели будет появляться где-то в центральной части развертки, но никак не в начальной точке. Для повышения точности вся дистанция наклонной дальности разбивается на равные отрезки, которые просматриваются по мере удаления радиозонда, что позволяет укрупнить масштаб развертки.

Перемещение отраженного импульса вдоль развертки позволяет производить только визуальный отсчет расстояния, что мало удобно и невозможно при автоматическом сопровождении цели по дальности. В большинстве современных электронных дальномерах РЛС предпочитают перемещать развертку относительно отраженного импульса, что позволяет иметь импульс постоянно в поле зрения (при правильно выбранном масштабе в средней части развертки). Для этой цели необходимо осуществить плавную и линейную задержку запуска развертки по отношению к запуску передатчика. Такая задержка может осуществляться с помощью электронных схем санатрон, санофат, фантастрон и др. [16, 33, 42]. В указанных схемах может применяться электромеханическое устройство типа потенциометра, что обеспечивает возможность одновременно с регулировкой задержки запуска развертки получать вращение шкалы дальности или сельсинов-датчиков. Задержка запуска развертки равносильна перемещению ее во времени относительно отраженного импульса, при этом смещающийся импульс от радиозонда может быть всегда совмещен с центром развертки, обозначенным либо рискушкой на светоплане индикатора, либо визиром в виде участка развертки повышенной яркости, либо затененным сектором (провалом яркости развертки). Одновременно происходит поворот шкалы дальности или отработка сельсинов. Обычно электронные дальномеры имеют грубые и точные каналы измерения дальности. В некоторых установках переход с грубого канала на точный осуществляется переключением масштабов развертки, при этом отраженный сигнал, находящийся в центре мелкомасштабной развертки, обязательно попадает в поле зрения крупномасштабной развертки. Подобное совпадение может быть достигнуто в том случае, если запуск мелкомасштабной развертки осуществляется передним фронтом строба, ширина которого примерно составляет половину мелкомасштабной развертки. Запуск же крупномасштабной развертки производится задним фронтом этого строба. В некоторых схемах, как, например, в дальномерной приставке «Малахит», используется

двухлучевая трубка, позволяющая иметь сразу две развертки: грубую и точную.

Для отсчета дальности на грубую развертку подается импульс, создающий на ней трехкилометровый участок повышенной яркости, служащий грубым визиром. Визир может перемещаться по развертке. Перемещение визира, осуществляемое путем регулировки задержки, о которой будет сказано ниже, связано с отсчетным механизмом дальности, что обеспечивает соответствие каждому положению визира на линии развертки строго определенного значения дальности на шкале.

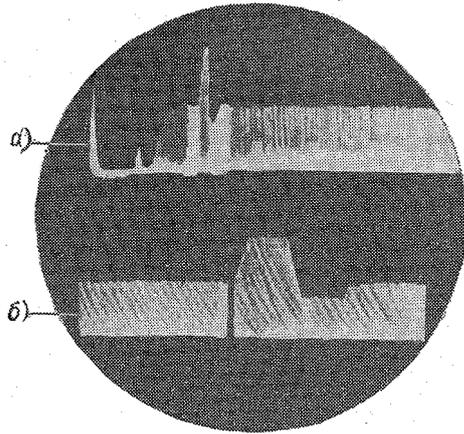


Рис. 3.18. Индикатор дальности радиотеодолита «Малахит».

Затененный участок, являющийся визиром точной развертки, перемещается синхронно с грубым визиром по всей дистанции, что обеспечивает отсчет дальности в любой точке, поскольку механизм электронного перемещения визиров связан с точной шкалой измерения дальности.

На рис. 3.18 показана форма сигнала индикатора дальномерной приставки радиотеодолита «Малахит».

Поскольку сопровождение цели по дальности обеспечивается путем задержки запуска развертки по отношению к запуску передатчика или временных задержек импульсов, формирующих визир, целесообразно рассмотреть принцип работы одной из широко распространенных схем плавной и линейной задержки (санатрон), используемой в электронных дальномерах. Точность временной задержки санатронов на порядок выше, чем фантастических схем. Кроме того, статическая характеристика их имеет хорошую линейность (отклонение характеристики от прямой не превышает 0,05%).

Санатрон представляет собой схему генератора линейно падающего напряжения, обеспечивающую формирование импульсов, задержка которых по отношению к импульсу запуска с высокой степенью точности пропорциональна значению управляющего напряжения. В простейшем случае схема состоит из двух триодов  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 3.19).

В начальный момент времени, когда на вход ничего не подается, лампа  $L_1$  закрыта, а  $L_2$  открыта. Благодаря этому про-

исходит заряд накопительного конденсатора  $C$  по цепи: плюс анодной батареи, сопротивление  $R_a$ , промежуток цепи сетка—катод лампы  $L_2$ , сопротивление  $R_k$ , общий минус источника.

Импульс запуска (положительной полярности), поданный на сетку лампы  $L_1$ , открывает лампу, в результате чего начинается разряд конденсатора  $C$  через открытую лампу  $L_1$ , сопротивление  $R_k$  и потенциометр  $R_d$ , при этом на сетку лампы  $L_2$  подается минус и лампа  $L_2$  резко запирается. Поскольку разряд конденсатора  $C$  происходит по экспоненте, постоянная времени которой  $\tau$  определяется произведением

$$\tau = R_d C, \quad (3.19)$$

то отрицательное напряжение на сетке постепенно уменьшается, и как только оно достигнет величины отпирания, лампа  $L_2$  отпирается и схема возвращается в исходное положение. При этом задний фронт импульса запаздывает относительно импульса запуска на интервал времени  $\tau$ , который можно изменять путем изменения управляющего напряжения перемещением движка потенциометра, поскольку

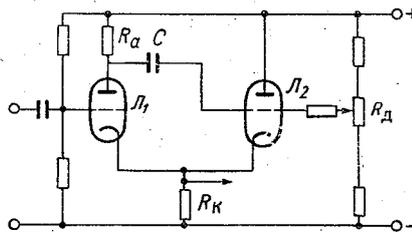


Рис. 3.19. Схема плавной и линейной задержки санатрон.

$$\Delta\tau = c\Delta R_d. \quad (3.20)$$

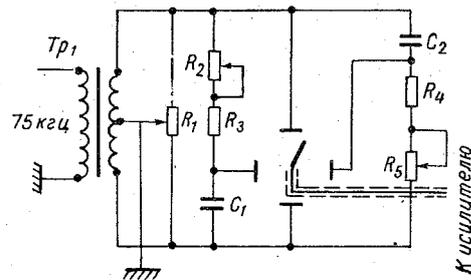
Однако зависимость длительности задержки импульса санатрона от управляющего напряжения может оказаться нелинейной, если не принять необходимых мер. Поэтому рассмотренная принципиальная схема обычно несколько усложняется рядом корректирующих звеньев.

Так, например, с помощью диода стабилизируют напряжение на аноде фантастрона в период заряда накопительной емкости  $C$ . Вместо управляющего триода используют диод сравнения, потенциал катода которого определяется напряжением разряда конденсатора  $C$ , а регулируемое напряжение на аноде позволяет изменять интервалы времени задержки отпирания диода. Для возвращения схемы в исходное положение часто используют развязывающий каскад или блокинг-генератор.

При решении ряда задач сопровождения радиозонда по дальности, особенно при автоматическом сопровождении, возникает необходимость не только в задержках импульсов во времени, но и в опережении их, что равноценно сдвигу импульсов по временной шкале в ту или другую сторону. Для решения указанной задачи в современных электронных дальномерах нашли широкое

распространение фазорасщепляющие мосты с фазовращателями [16, 59]. Фазорасщепляющие мосты с фазовращателями позволяют осуществить точное измерение длительностей в пределах нескольких микросекунд методом измерения фазы. Чаще всего используются емкостные фазовращатели (рис. 3.20), в которых фазовый сдвиг выходного сигнала пропорционален углу поворота ротора. В приведенной схеме время задержки выходного сигнала  $\tau_3$  относительно опорного сигнала определяется соотношением

$$\tau_3 = \frac{\varphi}{2\pi} T_0, \quad (3.21)$$



где  $\varphi$  — сдвиг фазы колебания в фазовращателе (в радианах),  $T_0$  — период колебания генератора опорного синусоидального напряжения.

Работа схемы фазосдвигающего устройства заключается в следующем.

Рис. 3.20. Принцип устройства емкостного фазовращателя.

Синусоидальное опорное напряжение от генератора частоты поступает на вход фазорасщепляющего моста, вырабатывающего четыре синусоидальные напряжения, фазы которых при прохождении ротора около каждой статорной пластины сдвинуты друг относительно друга на  $90^\circ$ . Вход моста подключен к трансформатору  $Tr_1$ . Напряжение 75 кГц поступает на его первичную обмотку. Схема моста состоит из одного переменного сопротивления  $R_1$  и двух параллельных ветвей:  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_1$  и  $C_2$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ .

Движок потенциометра  $R_1$  соединен со средней точкой вторичной обмотки  $Tr_1$  и корпусом. В результате такого соединения между концами вторичной обмотки трансформатора и корпусом действуют синусоидальные переменные напряжения, равные по амплитуде, но сдвинутые по фазе на  $180^\circ$ . Выравнивание амплитуд осуществляется перемещением ползунка  $R_1$  (баланс).

При равенстве активного и реактивного сопротивлений в ветвях моста обеспечиваются одинаковые амплитуды напряжений, образующихся на емкости и сопротивлениях каждой ветви.

Для выравнивания амплитуд используются потенциометры  $R_2$  и  $R_5$ . Если мост сбалансирован, фазы напряжений, действующих между каждой обкладкой конденсаторов ( $C_1$  и  $C_2$ ) и корпусом, оказываются сдвинутыми относительно друг друга на  $90^\circ$ . Напряжение с выводов конденсаторов моста подается на емкостный фазовращатель. Вращение ротора фазовращателя произ-

водится либо двигателем, либо штурвалом дальности. При своем вращении ротор осуществляет поочередную емкостную связь с первой, второй, третьей и четвертой статорными пластинами, соединение которых с точками мостовой схемы таково, что снимаемые напряжения будут сдвинуты друг относительно друга по фазе на  $90^\circ$ .

В связи с этим за один оборот ротора фазовращателя фаза выходного напряжения 75 кгц меняется на  $360^\circ$ . Обычно это соответствует перемещению импульса на развертке на 1—2 км. Изменение фазы выходного напряжения на любую величину в пределах  $360^\circ$  вызывает пропорциональное перемещение импульсов в пределах участка развертки 1—2 км.

Рассмотренная схема используется не только для перемещения визиров по грубой и точной разверткам индикатора дальномерной приставки радиотеодолита «Малахит», но с успехом применяется и в схемах автоматического сопровождения по дальности.

Важнейшим элементом схем автоматического сопровождения цели по дальности являются дискриминатор, обеспечивающий выделение сигнала ошибки по дальности, и следящая система, обрабатывающая сигнал ошибки.

Дискриминатор дальномера представляет собой устройство, реагирующее на временное положение принятого сигнала относительно стыка двух селекторных импульсов, обычно именуемых полустробами (рис. 3.21) [16, 33, 59].

Стык заднего фронта первого полустроба с передним фронтом второго полустроба возникает благодаря их последовательному формированию, так как второй полустроб запускается задним фронтом первого. Схемы формирования полустробов выполняются в виде ждущих мультивибраторов, на вход которых поступают импульсы с фазосдвигающего устройства, что обеспечивает сдвиг обоих полустробов вправо и влево относительно начального положения. Для придания импульсам прямоугольной формы они ограничиваются по амплитуде. Принятый сигнал через катодный повторитель  $L_1$  подается на аноды дискриминатора  $L_2$ , в то время как полустробы подаются на управляющие

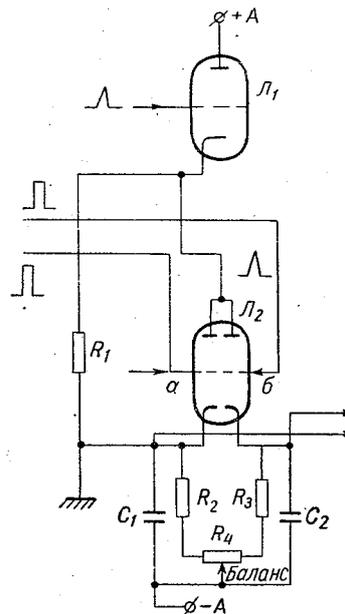


Рис. 3.21. Принципиальная схема дискриминатора.

сетки. При отсутствии полустроби лампы заперты отрицательным смещением.

Во время действия полустроби, подаваемых на сетки дискриминатора, но при отсутствии отраженного сигнала, в лампе  $L_{2a, \delta}$  протекают импульсы токов, заряжающие конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  до одинакового потенциала, величина которого зависит от уровня шумов  $U_{C_1} = U_{C_2}$ . Балансировка дискриминатора при отсутствии сигнала осуществляется потенциометром (баланс  $R_4$ ).

При подаче на аноды лампы  $L_2$  отраженного сигнала, совпадающего по времени с полустроби, равенство потенциалов катодов оказывается возможным лишь в том случае, если центр отраженного сигнала по времени совпадает со стыком двух полустроби. В противном случае через обе половины лампы  $L_1$  потекут разные токи и конденсаторы зарядятся до различных потенциалов. При этом схема вырабатывает сигнал ошибки, условный знак которого определяется расположением центра отраженного сигнала относительно стыка полустроби.

Величина сигнала ошибки определяется отклонением во времени сигнала относительно стыка полустроби и пропорциональна разности напряжения на конденсаторах  $\Delta U = U_{C_1} - U_{C_2}$ . При  $U_{C_1} > U_{C_2}$  сигнал ошибки  $\Delta U$  имеет знак плюс, при  $U_{C_1} < U_{C_2}$  сигнал ошибки  $\Delta U$  отрицателен.

С выхода дискриминатора сигнал ошибки поступает в следующую систему, состоящую из усилителей постоянного тока, магнитных усилителей и реверсивного двигателя, ось которого кинематически связана с движком фазовращателя. Поворот двигателя в ту или другую сторону на некоторый угол  $\varphi$  вызывает изменение фазы выходного напряжения относительно опорного, что приводит к сдвигу полустроби, который происходит до тех пор, пока сигнал ошибки не будет равен нулю. С движком фазовращателя обычно связана шкала дальности или сельсин-регистратора.

В следующей системе, обеспечивающей автоматическую обработку сигнала ошибки, важную роль выполняет магнитный усилитель.

В режиме ручного сопровождения движок фазовращателя перемещается вручную путем поворота штурвала дальности. Этот режим, как правило, предшествует автоматическому сопровождению, так как является режимом поиска цели. В режиме поиска выбирается масштаб развертки, интервал дальности и перемещение селекторных импульсов в некоторый участок рабочего диапазона, где появился отраженный сигнал.

При появлении в пределах зоны поиска импульса радиозонда и при совпадении с ним селекторных импульсов на выходе дискриминатора появляется сигнал, обеспечивающий работу следующей системы автоматического сопровождения [59, 64].

## Глава 4

### СЧЕТНО-РЕШАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВА ДАЛЬНЕЙШЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

#### § 13. Автоматические регистраторы кодо-импульсной информации

Современные автоматические регистраторы информации радиозондов, к которым следует отнести и автоматический регистратор сигналов радиозонда А-22-IV типа ПР-16, представляют собой электронную вычислительную машину с постоянной программой. Это автоматическое устройство, включающее в себя все принципиальные элементы ЭВМ, обеспечивает ввод сигналов кодо-импульсной информации, их дешифровку, запоминание в двоично-десятичном коде и, наконец, выдачу команды для записи на регистраторе ПР-4 [8, 24, 31, 63].

Для уяснения принципа действия преобразователя схемы селекции, схемы сдвига, диодной матрицы и запоминающего устройства обратимся к функциональной схеме автоматического регистратора ПР-16, представленной на рис. 4.1, и рассмотрим прохождение сигналов по каналам преобразователя, блока управления и блока памяти.

Сигнал звуковой частоты в виде частотно-манипулированных импульсов различной продолжительности с выхода звукового канала радиотеодолита поступает на вход преобразователя. Через помехозащитный фильтр  $\Phi_1$ , ограничивающий полосу частот в пределах спектра частот сигналов зонда, сигнал поступает в канал ограничения, состоящий из диодного ограничителя и из двух усилителей низкой частоты (УНЧ-1 и УНЧ-2).

В этом канале происходит усиление сигнала по амплитуде и ограничение сверху и снизу, в результате чего форма сигнала приближается к прямоугольной.

С выхода ограничителя сигнал поступает на сетку частотного детектора (лампа  $L_4$ , полосовые фильтры  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ ,

диодный выпрямитель  $L_5$  с фильтрами низкой частоты  $\Phi_4$  и  $\Phi_5$ ). Участок схемы, начиная с лампы  $L_4$ , представляет собой схему симметричного частотного детектора, обладающего большой помехоустойчивостью.

Полосовые фильтры  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ , включенные в анодные цепи  $L_4$ , выделяют частоты нажатия и отжатия, т. е. частоты сигнала и паузы. Раздельно они поступают на две половины диодного выпрямителя, где детектируются и благодаря наличию фильтров низкой частоты  $\Phi_4$  и  $\Phi_5$  сглаживаются.

Выходное напряжение частотного детектора является разностью напряжений обеих половин выпрямителя, включенных навстречу друг другу. При этом полярность выходного сигнала зависит от того, в каком из полосовых фильтров  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$  сигнал имеет большую величину. При равенстве уровней сигналов в обоих фильтрах выходное напряжение равно нулю.

Таким образом, частотный детектор превращает частотно-манипулированные сигналы в положительные и отрицательные посылки постоянного тока, повторяющие комбинации кодовых элементов. Полученные импульсы усиливаются каскадом УПТ, с выхода которого сигналы поступают на сетку выходной лампы. В цепь катода выходной лампы включена обмотка реле дешифратора  $R$ . При его срабатывании подключается схема селекции блока управления, с работой которой мы познакомимся несколько позднее.

Итак, с помощью блока преобразователя сигналы радиозонда превращаются в посылки постоянного тока, воспроизводящие форму кодированного сообщения.

Для контроля частот нажатия и отжатия в схеме преобразователя имеется контрольное устройство в виде дискриминатора и прибора постоянного тока. Для этого сигнал с выхода УНЧ-2 через делитель с двумя контурами, настроенными на частоту нажатия, подается на сетки двойного триода, в анодные цепи которого включены первичные обмотки трансформаторов  $Tr-1$  и  $Tr-2$ . Вторичные обмотки трансформаторов являются элементами мостовой схемы, в измерительную диагональ которой включен прибор  $P$ . Показания прибора зависят от разностей уровня входного сигнала. Низкочастотный сигнал в виде импульсов постоянного тока, соответствующий частоте нажатия, с УПТ подается на сетку катодного повторителя, на выходе которого подключается телефон, используемый для контроля выхода.

Перейдем к рассмотрению прохождения сигналов по каналам блока управления. Главными узлами, выполняющими основную функцию блока управления, будут схема селекции, схема сдвига и триггерная схема с полупроводниковой схемой совпадения. Схема заполнения и схема устранения разрывов являются вспомогательными элементами, поэтому принцип их действия рассмотрим в последнюю очередь.

С выхода преобразователя импульсные посылки постоянного тока поступают в схему селекции, которая служит для разделения кодовых элементов (точек, тире, пауз, разделительного тире), отличающихся друг от друга как длительностью, так и полярностью.

В схеме селекции для различения кодовых элементов использованы интегрирующие цепи с конденсаторами, для заряда которых до одинаковой величины требуется различная длительность действия входного напряжения. Это достигается соответствующим подбором постоянных времени интегрирующих цепей (емкостей  $C_1, C_2, C_3, C_4$ ).

Входом схемы селекции является обмотка реле. При отсутствии сигнала или при паузе лампа  $L_1$ , а также левые половины ламп  $L_2$  и  $L_3$  открыты. При поступлении сигнала на сетки этих ламп подается отрицательное напряжение, в результате чего лампы запираются на промежуток времени, примерно равный длительности кодовых элементов (точек, тире и т. д.).

В анодных цепях  $L_1$  и  $L_2$  имеются интегрирующие конденсаторы, которые при закрытых лампах заряжаются, а при открытых — разряжаются. В данном случае в момент подачи отрицательного напряжения на  $L_1$  и левую половину  $L_2$  происходит заряд конденсаторов  $C_1, C_2, C_3$  и разряд конденсатора  $C_4$ , так как последний включен в анодную цепь правой половины  $L_2$ , оставшейся открытой.

В цепь разряда каждого из конденсаторов, начинающегося по окончании соответствующего сигнала, включены катодные нагрузки спусковых схем (кипп-реле), т. е. подключены  $C_1$  к  $L_{11}$ ,  $C_2$  к  $L_{10}$ ,  $C_3$  к  $L_8$ , которые срабатывают только в том случае, если напряжение, накопленное на соответствующем конденсаторе, достаточно для их запуска.

Параметры интегрирующих емкостей и кипп-реле подобраны так, что кипп-реле  $L_8$  срабатывает при подаче на вход системы точки и любых других длительностях кодовых элементов, определяющих заряд интегрирующих емкостей (тире, разделительное тире).

Кипп-реле  $L_{10}$  срабатывает только от тире и разделительного сигнала, а кипп-реле  $L_{11}$  срабатывает лишь от разделительного тире. Что касается кипп-реле  $L_4$ , то оно срабатывает только от паузы между буквами. Выделение пауз осуществляется с помощью интегрирующего конденсатора  $C_4$  и правой половины лампы  $L_2$ .

При отсутствии сигнала на входе, в то время, когда конденсаторы  $C_1, C_2$  и  $C_3$ , накопившие заряд, разряжаются, правая половина лампы  $L_2$  закрыта, и конденсатор  $C_4$  заряжается. В момент срабатывания реле  $P$  и запираения лампы  $L_1$  и левой половины лампы  $L_2$  правая половина лампы  $L_2$  отпирается, в результате чего происходит разряд конденсатора  $C_4$ .

Срабатывание кипп-реле  $L_4$  происходит только при заряде  $C_4$  за период паузы между буквами или разделительным тире.

Связь каждого из перечисленных кипп-реле ( $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{10}$ ) с последующими каналами блока управления осуществляется через катодные повторители. Так, положительный импульс с кипп-реле  $L_8$  через правую половину  $L_7$ , работающую в качестве катодного повторителя, поступает на левую половину вентильной схемы. Этот импульс соответствует «точке».

Импульс отрицательной полярности, полученный дифференцированием импульса с выхода кипп-реле  $L_8$ , через левую половину лампы  $L_7$  поступает на общий вход тиратронной части схемы сдвига и именуется «задержанная точка», которая используется как пауза между кодовыми элементами одной буквы.

Положительный импульс с выхода кипп-реле  $L_{10}$  через правую половину лампы  $L_9$  (катодный повторитель) поступает на правую половину вентильной схемы и соответствует «тире».

Положительный импульс с выхода кипп-реле  $L_4$  через катодный повторитель (левая половина лампы  $L_6$ ) в виде «считывающего импульса» поступает на вход полупроводниковой схемы совпадения. Импульс отрицательной полярности, полученный дифференцированием этого импульса, запускает кипп-реле  $L_5$ , образуя импульсный сигнал «малый сброс». Этот сигнал является паузой, разделяющей буквы и синхроимпульс. Через катодный повторитель (правая половина лампы  $L_6$ ) сигнал «малый сброс» в виде импульса положительной полярности поступает на сетки левых половин триггерной схемы, а также на вход первого тиратрона схемы сдвига, устанавливая триггерную схему и схему сдвига в исходное состояние, когда левые половины ламп триггеров открыты, а первый тиратрон схемы сдвига зажжен.

При срабатывании кипп-реле  $L_5$  (малый сброс) импульс с правой половины лампы  $L_5$  поступает на катодный повторитель (левая половина лампы  $L_7$ ), запирая его, в результате чего на вход схемы сдвига задержанная точка не поступает.

Разряд конденсатора  $C_1$ , заряженного за интервал времени, равный длительности разделительного тире, вызывает срабатывание кипп-реле  $L_{11}$ , которое вырабатывает синхроимпульс, запускающий кипп-реле  $L_5$ , поджигающий тиратрон  $L_{16}$  схемы устранения разрывов (СУР) и дает сигнал на каскад взвода цветов (ВЦ) блока памяти, работающий параллельно с кнопкой «В», расположенной в ПР-4.

Если бы сигналы зонда были стабильны и обеспечивали отсутствие непредусмотренных кодовых комбинаций, то схему блока управления можно было бы ограничить рассмотренным каналом селекции. Однако различные причины, вызывающие возникновение ложных импульсов, нарушающих содержание

сигнала, приводит к необходимости ввода вспомогательных устройств, которые усложняют схему блока управления. Такими вспомогательными устройствами являются схема заполнения, служащая для заполнения в блоке памяти ложного сигнала, и схема устранения разрывов разделительного тире.

Схема заполнения состоит из катодного повторителя  $L_{15}$ , кипп-реле  $L_{14}$ , выходного катодного повторителя с регулирующим каскадом  $L_{13}$  и управляющего триггера  $L_{12}$ . Наличие схемы заполнения в блоке управления усложняет работу схемы сдвига, так как если первым элементом кодовой комбинации будет точка, то при зажженном первом тиратроне схемы сдвига с выхода левой половины вентильной схемы она, минуя триггерную схему, попадает на схему заполнения. Иными словами, в конструкции диодной матрицы приходится учитывать отсутствие первой точки в предусмотренной кодовой комбинации.

Точка любой кодовой комбинации в начале малого цикла поступает на вход схемы заполнения  $L_{15}$  в виде импульса. Этот импульс после дифференцирования и ограничения запускает кипп-реле  $L_{14}$ , импульс выхода с которого поступает на сетку выходного катодного повторителя  $L_{13}$ , катод которого соединен с сетками ложных тиратронов блока памяти, а потенциал сетки зависит от электрического состояния триггера  $L_{12}$ . В исходном состоянии правая половина лампы  $L_{12}$  закрыта, благодаря чему создаются условия для прохождения импульса заполнения на вход катодного повторителя и на вход ложных тиратронов схемы памяти.

Если точка является сигналом предусмотренной кодовой комбинации, схема памяти вырабатывает сигнал оповещения (о нем речь пойдет несколько позже). Сигнал оповещения устанавливает триггер  $L_{12}$  в такое положение, при котором лампа  $L_{13}$  закрыта. В этом случае сигнал точки дальше схемы заполнения не пойдет, а триггер  $L_{12}$  возвращается в исходное состояние.

Схема заполнения, к сожалению, не может обеспечить исключение возможных ложных сигналов за счет разрывов разделительного тире. Устранение этого дефекта в информационном цикле радиозонда выполняет схема СУР. В нормальных условиях, т. е. при сплошном разделительном тире, вслед за ним идет пауза, длительность которой примерно равна длительности тире, после чего следуют кодовые элементы. При наличии разрыва указанная последовательность нарушается и отсеченный участок разделительного тире превращается в паразитный кодовый элемент.

Схема СУР обеспечивает стирание этого паразитного элемента путем вызова импульса «малый сброс». Схема СУР очень похожа на часть схемы сдвига, так как состоит из двух тиратронов ( $L_{16}$  и  $L_{17}$ ) и диода. На вход схемы поступают: импульс паузы (с  $L_4$  на  $L_{17}$ ), синхроимпульс (с  $L_{11}$  на  $L_{16}$ )

и импульсный сигнал (с левой половины ячейки схемы сдвига через  $L_3$  на  $L_{16}$ ).

Если первому импульсному сигналу, следующему после разделительного тире, не предшествовал сигнал паузы установленной длительности (с кпп-реле  $L_4$ ), поджигающий тиратрон  $L_{17}$ , то на выходе схемы появляется сигнал, вызывающий срабатывание кпп-реле  $L_5$  (импульс малого сброса).

Во всех остальных случаях сигнал на выход схемы не идет, так как по окончании разделительного тире синхроимпульс с  $L_{11}$  поджигает тиратрон  $L_{16}$  и запирает диод. Таким образом, импульсом малого сброса стирается паразитный сигнал, нарушающий правильность расшифровки кодовой комбинации.

Для временного запоминания кодовых элементов, выделенных в схеме селекции, и образования из них буквенного сочетания, которое считывается в блок памяти, используется матричное запоминающее устройство с электронным коммутатором в виде триггеров и схема сдвига. Диодная матрица представляет собой схему, образованную пересекающимися рядами проводников-шин, соединенных между собой в нужных точках через вентили, в качестве которых использованы полупроводниковые диоды. Схема сдвига осуществляет поочередное подключение входа триггерной схемы к выходу «точек» и «тире» канала селекции. Она состоит из четырех тиратронов и вентильной схемы, на диодах.

Каждая тиратронная ячейка имеет два входа: импульсный и потенциальный. На импульсный вход первого тиратрона после окончания каждого малого цикла подается импульс «малый сброс». На импульсные входы второго, третьего и четвертого тиратронов подается импульс «задержанная точка».

Потенциальный вход каждой тиратронной ячейки подключен к выходу предыдущей. Это приводит к тому, что импульс «задержанная точка» поджигает только тот тиратрон, на сетку которого с катода проводящего тиратрона подан управляющий потенциал.

Из четырех тиратронов в зажженном состоянии может быть только один, причем первый тиратрон подготавливает к зажиганию второй, второй—третий и т. д.

Вентильная схема состоит из семи вентильных ячеек. Левая половина схемы включает в себя четыре ячейки, правая половина — только три. Катоды диодов первых трех ячеек (левой и правой половин) попарно соединены между собой и подключены к одному из катодов тиратронов. Если один из тиратронов находится в зажженном состоянии, то катоды соответствующей пары вентиля будут находиться под высоким положительным потенциалом, т. е. в непроводящем состоянии.

Остальные вентили в это время находятся в проводящем состоянии. Поэтому импульсные сигналы (точки и тире), подан-

ные на входы левой и правой половин вентильной схемы, поступают на выход только той ячейки, которая подключена к зажженному тиратрону. В остальных ячейках благодаря проводящему состоянию вентилей сигналы точки и тире замкнутся на массу и на выход не поступят.

Таким образом, если первый элемент кодовой комбинации точка, то импульс появится только на выходе первого вентиля, если первым элементом является тире, то импульс появляется одновременно на выходе обоих вентилях.

Для запоминания элементов кода и их комбинаций, составляющих одну букву, используется триггерная схема, состоящая из шести триггеров.

В исходном состоянии, т. е. перед началом ввода очередной буквы, левые половины всех триггеров открыты, а правые закрыты. Ввод каждого кодового элемента приводит к срабатыванию одного из триггеров (т. е. закрытая и открытая лампы меняются местами). Это достигается тем, что правые сетки каждой триггерной ячейки подключены к импульсным выходам вентильной схемы в определенной последовательности. Сетки правых половин нечетных триггеров (1, 3, 5) подключены к импульсным выходам вентильных ячеек правой половины схемы сдвига. Сетки правых половин четных триггеров (2, 4, 6) подключены к импульсным выходам вентильных ячеек левой половины схемы сдвига.

Срабатывание каждого триггера сигнализируется зажиганием неоновой лампочки. В исходное состояние триггерная схема приводится импульсом «малый сброс», который подается на сетки левых половин ламп всех триггеров после ввода очередной буквы в блок памяти.

Все аноды триггерной схемы с помощью диодов, включенных в определенном порядке, соединены с десятью входными шинами диодной матрицы, которую часто называют диодной схемой совпадений. Эта схема совпадений обеспечивает считывание набранной буквы и ввод ее в виде одного импульса в блок памяти. Схема совпадений имеет один импульсный вход, на который подается считывающий импульс, шесть пар потенциальных входов, связанных с анодами триггеров, и десять выходов. Параметры схемы выбраны таким образом, что диоды, катоды которых имеют низкий потенциал, находятся в проводящем состоянии, а диоды, катоды которых имеют высокий потенциал, — в непроводящем состоянии.

Для того, чтобы какая-либо из шин оказалась не закороченной, необходимо, чтобы катоды всех соединенных с ней диодов находились под потенциалом высокого уровня, что в конечном счете определяется электрическим состоянием триггерных ячеек. Закрытой триггерной ячейке будет соответствовать положительный перепад напряжения, открытой — отрицательный.

В начале паузы, т. е. по окончании ввода в триггерную схему комбинации кодовых элементов, составляющих букву, на входных шинах устанавливается определенное сочетание потенциалов высокого и низкого уровней. Диодная матрица сконструирована так, что при этом девять выходных шин из десяти окажутся закороченными вследствие того, что хотя бы один из диодов, подключенных к каждой из этих шин, будет находиться в проводящем состоянии. Незакороченной остается только одна шина, соответствующая букве, введенной в триггерную схему. По этой незамкнутой шине и пройдет считывающий импульс в конце паузы в блок памяти.

Рассмотрим функциональную схему блока памяти. Этот блок предназначен для хранения двухбуквенных комбинаций, несущих информацию о значении метеоэлемента, для ввода их в полуавтоматический регистратор ПР-4 и для подачи в него ряда командных сигналов.

Блок памяти состоит из следующих составных частей:

- 1) схемы памяти в виде двухразрядного десятичного регистра (1—22) с управляющим каскадом;
- 2) схемы оповещения, состоящей из управляющего каскада, собирательного каскада и кипп-реле;
- 3) схемы сброса и печати, включающей в себя катодный повторитель *I*, кипп-реле и катодный повторитель *II*,
- 4) каскада взвода цветов *ВЦ*.

Схема памяти представляет собой двухразрядный регистр параллельного действия на тиратронах. Каждый регистр включает 11 тиратронных ячеек, десять из которых (1—10 или 12—21) служат для хранения цифр от 0 до 9, а одна пара (11, 22) — для приема ложной буквы. Входы одноименных кодовых ячеек попарно соединены между собой и подключены к соответствующим шинам диодной схемы совпадений блока управления. Объединенные входы ложных ячеек соединены с выходным катодным повторителем схемы заполнения.

В анодные цепи тиратронов кодовых ячеек включены реле *P*, нормально разомкнутые контакты которых присоединены параллельно к контактам клавишей ПР-4 и дублируют их.

В исходном состоянии, т. е. перед вводом первого сигнала двухбуквенной комбинации, все тиратроны находятся в закрытом состоянии (не горят), правая половина лампы управляющего каскада закрыта, а левая открыта, и с нее на сетки тиратронов разряда единиц подается большое отрицательное напряжение, запрещающее их поджиг. В то же время напряжение на сетках тиратронов разряда десятков достаточно высоко, так как на них подается положительный перепад напряжения с правой половины (на чертеже нижняя половина) лампы управляющего каскада.

После ввода первого сигнала (первой буквы) происходит

срабатывание одного из тиратронов разряда десятков, в то время как все остальные оказываются заблокированными. Одновременно правая половина лампы управляющего каскада отпирается, в результате чего напряжение на сетках разряда единиц повышается. Второй сигнал вызывает срабатывание одного из тиратронов разряда единиц. Поджиг любого тиратрона кодовой ячейки влечет за собой замыкание контактов соответствующего реле и ввод нужной буквы в полуавтоматический регистратор ПР-4.

Ложные тиратроны реле не имеют и их поджиг не влечет за собой срабатывания регистратора ПР-4.

Схема оповещения вырабатывает импульсы, сигнализирующие о срабатывании разряда десятков, разряда единиц и о прохождении разделительного тире. Импульс оповещения о срабатывании разряда десятков с левой половины лампы управляющего каскада подается на правую сетку лампы собирательного каскада. При срабатывании одного из тиратронов разряда единиц или при срабатывании каскада взвод цветов (за счет синхроимпульса), запускается кипп-реле. В этом случае импульс оповещения подается на левую сетку лампы собирательного каскада.

С выхода собирательного каскада импульс оповещения во всех перечисленных случаях попадает на правую сетку триггера  $L_{12}$  схемы заполнения, запирая ее выход.

Схема сброса и печати предназначена для возвращения схемы памяти в исходное состояние после ввода двух цифр в ПР-4 и для подачи напряжения печати на соответствующий электромагнит ПР-4. Схема состоит из кипп-реле и двух катодных повторителей. Кипп-реле запускается импульсом оповещения о срабатывании разряда единиц и синхроимпульсом в момент поступления его на каскад взвода цветов. Запуск кипп-реле влечет за собой срабатывание реле  $P_1$  и катодного повторителя  $I$ . Замыкание одной пары контактов этого реле подает напряжение печати в ПР-4, а размыкание другой пары ведет к запрещению срабатывания реле  $P_2$  в цепи катода второго катодного повторителя (во время печати). По окончании печати, т. е. после срабатывания реле  $P_1$ , срабатывает реле  $P_2$ , контакты которого разрывают цепь анодного питания тиратронов регистра, стирая хранившуюся информацию и переводя схему памяти в исходное состояние.

Каскад взвода цветов представляет собой обычный катодный повторитель с катодной нагрузкой в виде реле обмотки  $P_3$ . На вход каскада подается синхроимпульс с блока управления при вводе в него разделительного тире. Каскад управляет взводом трехцветной копировальной ленты полуавтоматического регистратора ПР-4, за счет контактов реле  $P_3$ , подключенных параллельно кнопке «В» на панели управления ПР-4 (см. рис. 3.3).

Функциональные схемы блоков питания, которые обеспечивают стабильным напряжением анодные и сеточные цепи, не отличаются от общеизвестных и на них останавливаться не будут.

Таким образом, ПР-16 является сложным автоматическим устройством, в котором наряду с электронными элементами применяется значительное число электромагнитных элементов.

Применение тиратронов и реле делает дешифратор ПР-19 наиболее ненадежным устройством из всего комплекса ПР-16.

Это связано с тем, что при изменении параметров тиратронов в процессе эксплуатации происходит нарушение последовательности срабатывания схемы сдвига, а вместе с ней и всего дешифрующего канала. Кроме того, изменение длительности кодовых элементов и интервалов между кодовыми комбинациями приводит к нарушению автоматической регистрации.

Некоторое улучшение в работе автоматического регистратора наблюдается в том случае, когда между радиотеодолитом «Малахит» и преобразователем ПР-18 ставят катодный повторитель ПР-21, который обеспечивает получение на выходе максимальной, не искаженной амплитуды напряжения частотно-манипулированного сигнала [66, 67].

Поиски новых методов дешифровки сигналов радиозонда с применением полупроводниковых и ферритовых элементов могут привести к упрощению конструкции и повышению надежности автоматического регистратора.

В этом отношении представляет интерес изобретение Ю. И. Соломина [30], реализованное в виде приставки к ПР-4. В приставке к выходу преобразователя подключены элементы набора и анализа, выполненные на бесконтактных элементах, в качестве которых использованы полупроводниковые триоды. Беспauseный метод анализа сложных кодовых комбинаций, т. е. букв *Ф*, *Л*, *Д*, повышает надежность работы и точность регистрации, что подтверждено экспериментальной проверкой.

#### § 14. Серийные и специализированные ЭВМ

Процесс современного радиозондирования атмосферы включает в себя формирование, передачу и расшифровку информации о распределении метеоэлементов по высоте. Поэтому он должен базироваться на достижениях кибернетики — науки о процессах управления, передачи, хранения и преобразования информации.

До недавнего времени сигналы радиозондов, принятые наземными установками, полуавтоматически или автоматически записывались на ленту и после окончания зондирования (или в процессе зондирования) обрабатывались вручную.

Процесс ручной обработки продолжается около двух часов и включает большое количество графоаналитических операций, которые, как известно, выполняются в быстром темпе и без какого-либо контроля. Результаты такой обработки информации содержат субъективные ошибки, которые снижают качество метеорологической информации, а значительная длительность сроков получения данных мешает оперативно использовать сведения радиозондирования.

Развитие кибернетической теории, важнейшими частями которой являются теория информации и теория автоматов, и проникновение кибернетики в область аэрологии, направили усилия на создание различных приставок и устройств, устраняющих субъективные ошибки, повышающих качество хранения и преобразования информации и ускоряющих оперативность получения данных.

Подобные устройства, основанные на различных принципах, в целом решают следующие задачи:

а) получение данных о температуре, давлении и влажности путем преобразования информации радиозонда;

б) определение высоты по вычисленным значениям координат или по температуре и давлению;

в) определение особых точек путем логического анализа хода кривой изменения метеоэлементов;

г) определение скорости и направления ветра на стандартных уровнях и на высотах главных изобарических поверхностей путем преобразования информации об угловых координатах и наклонной дальности [18, 29, 33, 63].

По своей специфике указанные устройства подразделяются на приставки непрерывного (аналогового) и дискретного действия.

В приставках непрерывного действия преобразование и обработка текущей информации в процессе зондирования производится с помощью аналоговых устройств (без квантования).

Приставки или устройства дискретного действия обрабатывают информацию с помощью использования элементов дискретной техники. Несмотря на принципиальные различия, работа указанных устройств может быть характеризована блок-схемой, которая приводится на рис. 4.2. По своему принципу действия оба типа приставок являются счетно-решающими машинами.

Основными узлами таких счетных машин, согласно схеме, являются: арифметическое устройство (эквивалентное арифмометру); запоминающее устройство, в котором запоминаются элементы информации и программа вычислений; устройство управления, связывающее запоминающее устройство с арифметическим в процессе решения задачи преобразования информации, и, наконец, выходное устройство, представляющее раскодированную информацию в виде телеграммы.



рологического агентства в Токио располагает электронной вычислительной машиной IBM-704. По принципиальному устройству эти приставки ничем не отличаются от электронных вычислительных машин дискретного действия. Однако малые габариты наложили определенный отпечаток на конструкцию основных блоков и устройств.

Каждое из основных устройств электронно-вычислительной приставки (арифметическое, управления и т. п.) состоит из отдельных соединенных между собой типовых ячеек, которые часто называют модулями.

Каждый из типовых модулей выполняет определенную функцию: усиливает или запоминает поданный импульс, передает импульсы с одних ячеек в другие прямо или со сдвигом, пропускает или не пропускает импульс в зависимости от наличия другого управляющего импульса, задерживает прохождение импульса и т. п.

Для выполнения вышеперечисленных функций, присущих любой современной вычислительной машине, ячейки, основным элементом которых служит радиолампа или полупроводниковый транзистор, соединяются в схемы сдвига, триггеров и регистров.

Полупроводниковые элементы ячеек (модулей) по сравнению с радиолампами обладают рядом положительных свойств (малогабаритностью и долговечностью), однако они обладают значительным температурным коэффициентом, что снижает стабильность работы и делает всю установку зависимой от температурных условий работы.

Наиболее перспективным элементом электронно-вычислительных приставок, заменяющим собой работу триггера, является феррит-транзисторная ячейка [32, 38].

Феррит-транзисторная ячейка включает феррит с четырьмя обмотками и полупроводниковый триод. Триод в ячейке может быть включен по одной из трех известных схем. Однако наибольшее распространение получили ячейки, у которых триод включен по схеме с заземленным эмиттером, так как такая схема обладает наибольшим усилением по мощности. Рассмотрим принцип работы феррит-транзисторной ячейки с заземленным эмиттером (рис. 4.3).

Магнитный сердечник имеет четыре обмотки: входную  $W_{вх}$ , тактовую  $W_{т}$ , базовую  $W_{б}$  и коллекторную  $W_{к}$ . Стрелками показано направление токов в обмотках. На входную обмотку подаются импульсы, устанавливающие феррит в положение 1. Тактовая обмотка служит для переброса феррита из состояния 1 в состояние 0. В данном случае состоянию 1 соответствует намагниченность сердечника, характеризуемая точкой  $-B_r$  (рис. 4.3 б), а состоянию 0 — намагниченность сердечника, характеризуемая точкой  $+B_r$ .

Предполагается, что триод нормально находится в закрытом состоянии. Подключение цепей триода к обмоткам феррита обеспечивает положительную обратную связь, вследствие чего работа ячейки во многом сходна с работой блокинг-генератора.

Пусть сердечник находится в положении  $-B_r$ , отвечающем коду 1. Так как триод заперт, то это положение будет сохраняться неопределенно долго. Если теперь в тактовую  $W_T$  обмотку подать небольшой импульс тока, то он переместит рабочую точку сердечника из точки  $-B_r$  в точку  $M$ , т. е. за загиб криволинейного участка петли гистерезиса. В результате изме-

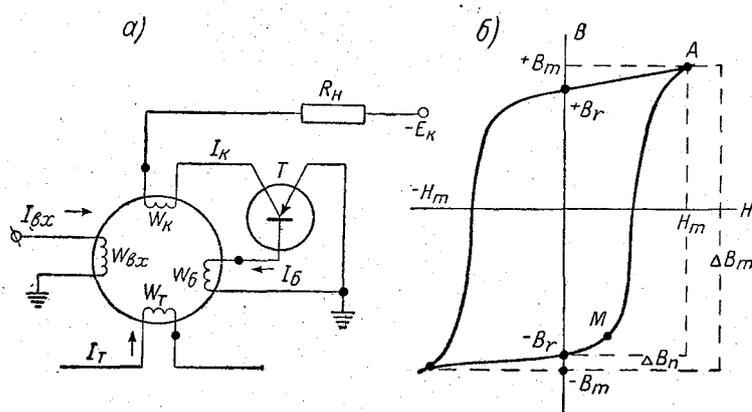


Рис. 4.3. Принцип устройства ферритовой ячейки.  
 а — принципиальная схема феррит-транзисторной ячейки, б — гистерезисная петля намагничивания ферритового кольца.

нения магнитного потока в базовой обмотке  $W_B$  возникнет напряжение, приложенное отрицательным полюсом к основанию (базе) триода, а положительным к эмиттеру. Это напряжение открывает триод и через обмотку  $W_K$  начнет проходить коллекторный ток, который еще дальше сдвинет рабочую точку феррита. Это еще больше увеличивает отрицательное напряжение на базе триода, что в свою очередь приводит к возрастанию коллекторного тока и т. д. В результате действия этой обратной связи процесс нарастает лавинообразно и продолжается до тех пор, пока феррит не перебросится в состояние, соответствующее остаточной магнитной индукции  $+B_r$ . После этого триод снова закрывается. Конечным результатом такого быстрого перемагничивания ферритового сердечника является то, что через нагрузку  $R_H$ , включенную последовательно с коллекторной обмоткой, пройдет большой импульс тока.

Если в тактовую обмотку подать точно такой же импульс в то время, когда сердечник находится в положении  $+B_r$ , то рабочая точка сдвигается вправо вдоль горизонтального участка

петли гистерезиса в точку  $A$ . При этом происходит малое изменение магнитного состояния сердечника и триод остается закрытым, а сердечник после окончания действия тактового импульса возвращается в состояние  $+B_r$ .

Для того, чтобы снова установить сердечник в положение 1, необходимо подать импульс тока во входную обмотку.

Для перемагничивания сердечника во входную обмотку необходимо подать импульс значительно большей мощности, чем в тактовую обмотку. При установке сердечника в положение  $-B_r$ , импульс на нагрузочном сопротивлении не возникает, так как индуктируемое при этом в обмотке  $W_6$  напряжение положительным полюсом приложено к основанию триода, а отрицательным полюсом — к эмиттеру, в этом случае триод еще больше заперется. Таким образом, в феррит-транзисторной ячейке запоминающим элементом является не транзистор, а феррит, так как значение остаточной индукции определяет содержание кода 1 и 0.

Каждая феррит-транзисторная ячейка служит для запоминания одного двоичного разряда. Для запоминания большего числа в двоичной системе феррит-транзисторные ячейки соединяются в регистры. Импульс переноса с нагрузки  $R_n$  можно подавать на входную обмотку следующей ячейки. Соединив таким образом несколько ферриттранзисторных ячеек в цепочку, получим, двоичный счетчик, который способен сосчитать число импульсов, поданных во входную обмотку «младшей» правой ячейки.

На рис. 4.4 показано состояние цепочки ячеек после прихода на входную обмотку правой ячейки одного, двух, трех и четырех импульсов.

Если подсчитываемые импульсы будут подаваться не только на вход «младшей» ячейки, а на все входные обмотки одновременно, как на регистр при запоминании числа, то такой счетчик может сбиться, так как на вход одной ячейки могут прийти сразу два импульса. Чтобы этого не случилось, в цепочку передачи импульсов переноса включаются линии задержки, состоящие из емкостей и индуктивностей и способные задерживать прохождение импульса на несколько миллионных долей секунды. Этого времени оказывается достаточно для того, чтобы феррит-транзисторная ячейка сначала среагировала на основной импульс и затем была готова к приему импульса переноса.

Автоматизация аэрологической сети путем оснащения каждого пункта зондирования электронной вычислительной машиной, предназначенной для обработки информации, была бы явно неверной, поскольку стоимость ЭВМ очень высока. Наиболее разумным путем является создание вычислительно-телеметрической системы типа «Атмосфера» [18, 33], состоящей из ряда вычислительных центров, куда стекается информация с периферийных

пунктов радиозондирования. В каждом вычислительном центре должен производиться автоматический прием и разносторонняя обработка на ЭВМ сведений, поступающих по каналам связи от нескольких десятков пунктов зондирования. Для оперативной обработки такая информация должна передаваться в сжатом виде и ускоренным методом, так как это делается

с использованием «Бодофона» в США, ФРГ. Действительно, информация радиозонда РКЗ-1 только за один выпуск составляет 30 000 двоичных знаков. Число сигналов, характеризующих измеряемые параметры, у радиозондов А-22-III и А-22-IV будет несколько меньше, но тоже очень велико. Введение всех сигналов в оперативную память ЭВМ совершенно необоснованно удлинит бы их передачу и загрузит бы канал связи.

Для сокращения времени передачи производится сжатие телеграммы до предела, не нарушающего определенную степень достоверности.

Теория информации говорит о том, что любая информация может быть либо категорической, либо статистической. Категорическая информация  $q_k$  представляет подробное сообщение, а поэтому она, кроме полезных данных, содержит ряд уточняющих подробностей, засоряющих и удлиняющих передачу.

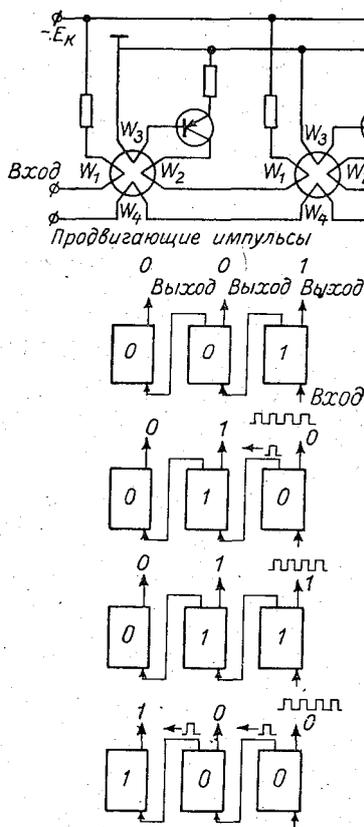


Рис. 4.4. Блок-схема регистра и его работа.

При сжатии телеграммы пользуются уже статистической информацией  $q_c$ , которая отличается от категорической на некоторую степень неопределенности, которую принято называть энтропией и обозначать  $B$

$$q_k = q_c + B. \quad (4.1)$$

При равенстве  $q_k$  и  $q_c$  энтропия равна нулю.

Статистическая информация позволяет значительно сжать телеграмму, не теряя ее смысла.

Аналогичная картина происходит и в преобразовательно-кодирующем устройстве при приеме сигналов, несущих информацию о распределении метеозлементов. Так, например, при монотонном ходе кривой нет необходимости передавать несколько точек, достаточно ограничиться лишь характерными. Естественно, категорическая информация в данном случае совсем необоснованно удлинит бы передачу. Опытами установлено, что наименьшее число сигналов, сохраняющих содержание информации радиозонда, равно 1500. При этом, конечно, возникает некоторая степень неопределенности.

Сжатие информации, к сожалению, чревато опасными последствиями. Случайная ошибка может полностью исказить телеграмму. Для уменьшения ошибок используют увеличение времени передачи (повторения). При обработке информации радиозонда А-22-III (А-22-IV) используется метод разности, позволяющий проверить качество информации путем сравнения разности между смежными сигналами с ее известным предельным значением.

Быстродействие ЭВМ, исчисляемое десятками тысяч операций в секунду, позволяет за короткий срок обработать информацию десятков радиозондов.

Для этой цели в оперативной памяти машины должна быть заложена определенная программа в виде алгоритма, обуславливающая последовательность операций при обработке поступающей информации.

Кроме того, в оперативную память машины должен быть введен сертификат данного зонда в виде уравнения кривой или в виде коэффициентов, так как только с помощью сертификата можно осуществить расшифровку сигнала и получить значение измеряемого параметра.

Для автоматической обработки ветровых характеристик сертификат не требуется, но вместо него необходимы координаты наземной установки и другие данные.

В связи с этим информация, вводимая в ЭВМ, делится на две части: служебную, включающую в себя сведения, необходимые для обработки, и оперативную в виде сигналов зонда, подлежащих обработке.

В качестве примера приведем разработанный М. В. Кречмером один из возможных вариантов обработки на ЭВМ информации радиозонда А-22-III (А-22-IV).

Принцип шифровки измеряемых параметров дискретными номерами дорожек кодового барабана, используемый в данном радиозонде, приводит к тому, что малые приращения измеряемой величины не фиксируются и могут быть обнаружены лишь после их накопления, достаточного для изменения номера

дорожки. В связи с этим обработка сигналов радиозонда, введенных в ЭВМ, должна начинаться с предварительной отбраковки ложных сигналов. Отбраковка производится методом сравнения смежных сигналов или последовательных отклонений. Каждый сигнал давления или температуры, отличающийся от предшествующего или последующего более чем на максимально возможное значение, должен считаться недостоверным и, очевидно, заменяться пропуском. Далее, предварительно отбракованные сигналы, выраженные в номерах дорожек кодового барабана, подлежат анализу в ЭВМ для выявления устойчивой комбинации или сравнения модуля с некоторыми критериями. Устойчивая комбинация позволяет из всего многообразия сигналов выбрать лишь отдельные из них, которые, характеризуя ход измеряемого параметра с высотой, могут использоваться в дальнейшей обработке.

Сравнение модулей последовательных отклонений с критериями, заложенными в оперативную память ЭВМ, позволяет выявить точки излома температурной кривой и кривой влажности, которые с помощью сертификата переводятся из номеров дорожек в градусы и проценты.

Для пояснения процесса выявления устойчивой комбинации рассмотрим два участка диаграммной ленты с зафиксированными сигналами давления (рис. 4.5).

Анализ хода сигналов показывает, что каждую точку вводить в обработку нецелесообразно. При определенных условиях оказывается достаточно выдавать только пары точек, обведенные пунктиром.

Для выявления устойчивой комбинации прежде всего вычисляются приращения значений давления за один цикл

$$\delta_{i+1} = p_{i+1} - p_i, \quad (4.2)$$

где  $i$  равно 0, 1, 2, ... ( $i=0$  соответствует наземному давлению).

Затем для последовательных значений сигналов давления вычисляются вторые разности

$$\Delta_{i+2} = \delta_{i+2} - \delta_{i+1}. \quad (4.3)$$

Пары точек  $p_i, p_{i+1}$ , обведенные на рисунке пунктиром, характеризуются наличием четверки вторых разностей

$$\Delta_i = 0, \quad \Delta_{i+1} = \pm 1, \quad \Delta_{i+2} = \mp 1, \quad \Delta_{i+3} = 0.$$

Появление трех таких четверок на протяжении не более 6 мин. принимается за признак устойчивости, позволяющий в дальнейшем выдавать лишь отмеченные пары значений давления. Такие три четверки вторых разностей именуется

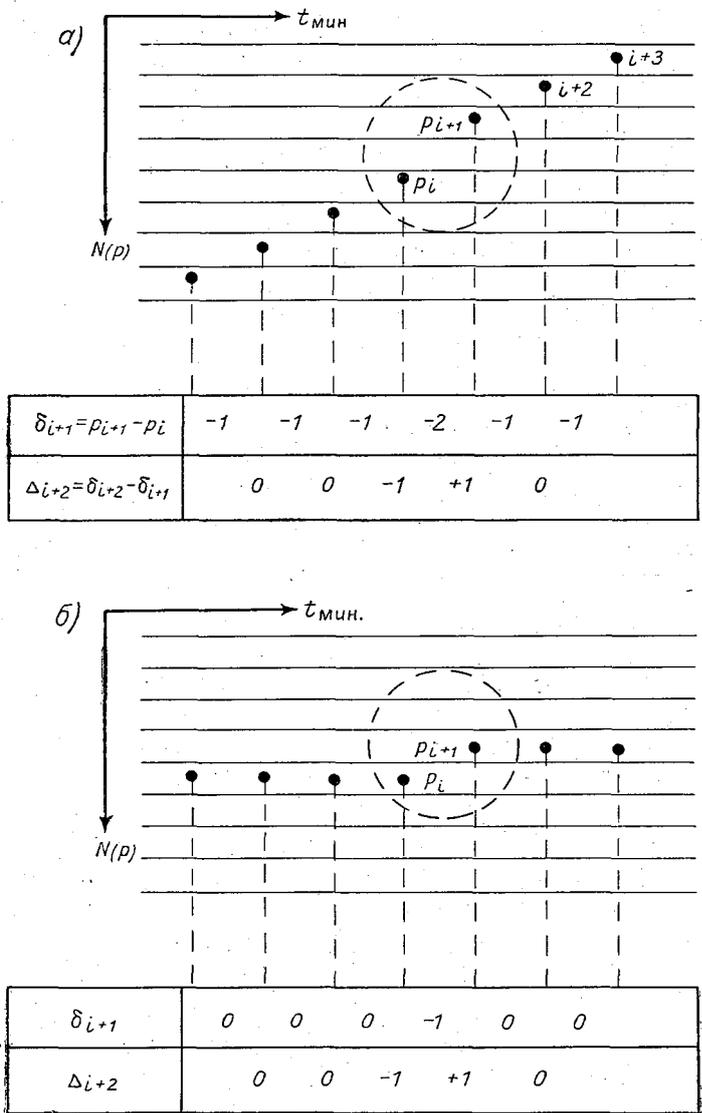


Рис. 4.5. Два участка диаграммной ленты.

устойчивой комбинацией. Поэтому, начиная с нулевого цикла, отыскивается первая устойчивая комбинация, имеющая вид

$$\begin{array}{cccc} \Delta_i \Delta_{i+1} \Delta_{i+2} \Delta_{i+3}, \dots, \Delta_k \Delta_{k+1} \Delta_{k+2} \Delta_{k+3}, \dots, \Delta_s \Delta_{s+1} \Delta_{s+2} \Delta_{s+3} \\ 0 \pm 1 \mp 1 0 & 0 \pm 1 \mp 1 0 & 0 \pm 1 \mp 1 0 & \end{array} \quad (4.4)$$

В этой комбинации в промежутках между четверками  $0, \pm 1, \mp 1, 0$  могут появиться любые значения.

С некоторого значения второй разности  $\Delta_i$ , с которого начинается устойчивая комбинация, все циклы подвергаются анализу на выявление комбинации указанного типа

$$\Delta_i = 0, \quad \Delta_{i+1} = \pm 1, \quad \Delta_{i+2} = \mp 1, \quad \Delta_{i+3} = 0.$$

При наличии этих комбинаций только точки с номерами  $p_i$  и  $p_{i+1}$  следует использовать для дальнейшей обработки.

Значения давления для полученных точек с помощью сертификата, введенного уравнением или таблицей в оперативную память машины, переводятся из номеров дорожек в миллибары.

Полученные точки по диапазонам давления разбиваются на группы, в каждой из которых давление может быть представлено степенным рядом вида

$$p(\tau) = a + b\tau + c\tau^2, \quad (4.5)$$

где  $\tau$  — время,  $a, b, c$  — коэффициенты, характерные для данного зонда.

Приведенное уравнение представляет собой уравнение дуги второго порядка.

Полученная кривая  $p=p(\tau)$  [затем  $p=p(H)$ ] может быть использована для дальнейшей обработки (например, для вычисления высоты особой точки и др.).

Иллюстрация критериального сравнения может быть сделана либо для сигналов влажности, либо для сигналов температуры.

Обработка этих данных должна начинаться также отбраковкой ложной информации, для чего вычисляются последовательные отклонения в виде разности  $\Delta T_N$  или аналогично  $\Delta U_N$ .

Эта величина представляет собой разность между суммой средних значений сигналов для  $N$  циклов и произведением среднего значения сигналов в  $N$  циклах на текущий номер цикла.

Для сигналов температуры подобная разность выразится в виде следующей формулы:

$$\Delta T_N = \left[ \sum_1^N \frac{T_i + T_{i+1}}{2} - \frac{T_N + T_0}{2} N \right], \quad (4.6)$$

где  $T_i$  — значение сигнала температуры, выраженного в номере дорожки кодового барабана для  $i$ -того цикла ( $i=0$  соответствует

начальному циклу, т. е. циклу момента выпуска зонда);  $N$  — текущий номер цикла ( $N$  равно 1, 2, 3, ... и т. д.).

После расчета последовательного отклонения  $\Delta T_N$  производится отбраковка ложной информации методом сравнения с некоторыми критериями:

первый критерий

$$|\Delta T_N| < 2,5,$$

второй критерий

$$\left( \frac{\Delta T_{N+1} + \Delta T_{N-1}}{2} - 1 \right) < \Delta T_N < \left( \frac{\Delta T_{N+1} + \Delta T_{N-1}}{2} + 1 \right). \quad (4.7)$$

Если первый и второй критерии не выполняются, то значение температурного сигнала  $\Delta T_N$  считается браком и заменяется пропуском.

Для выявления точек излома температурной кривой модули последовательных отклонений  $\Delta T_N$  сравниваются с тремя критериями

$$|\Delta T_N| > 2,5; \quad |\Delta T_{N+1}| > 2,5; \quad |\Delta T_N + \Delta T_{N+1}| > 6. \quad (4.8)$$

В том случае, если вычисленные значения  $\Delta T_N$  и  $\Delta T_{N+1}$  удовлетворяют всем трем критериям, это означает, что точка излома уже пройдена. Тогда для ее нахождения последовательно анализируются  $\Delta T_{N-1}$  и  $\Delta T_{N-2}$  до некоторого значения  $\Delta T_k$ , когда  $|\Delta T_k| < 1$ . Точка  $k$  и будет точкой излома.

Если указанные критерии не выполняются, то производится сдвиг номера температурного сигнала на единицу и действия продолжают в прежней последовательности.

Выделенные точки изломов (в простейшем случае с помощью сертификата, введенного в оперативную память машины) переводятся из номеров дорожек в градусы. При последующей обработке значения температуры между двумя соседними выделенными точками находятся линейным интерполированием по времени.

Предварительная обработка сигналов влажности и критерийные сравнения производятся аналогично обработке сигналов температуры, только с другими критериями.

Рассмотрим один из возможных вариантов автоматической обработки результатов комплексного зондирования атмосферы радиозондом РКЗ-1 с помощью современной электронной вычислительной машины типа «Минск-14» или специальной приставки.

Исходными данными для ввода в машину будут:

1) полярные координаты зонда (наклонная дальность  $D$ , азимут  $\alpha$ , угол места  $\delta$ ),

2) безразмерный параметр  $Y$ , равный  $\frac{F_t}{F_{\text{он}}}$ ,

- 3) время с момента выпуска  $T$ ,
- 4) наземная температура воздуха  $t_0$ ,
- 5) наземное атмосферное давление  $p_0$ .

Если точка выпуска РКЗ-1 удалена на значительное расстояние от наземной установки, то сообщаются дальность  $D_0$  и азимут  $\alpha_0$  точки выпуска.

Величины  $t_0$ ,  $p_0$ ,  $D_0$  и  $\alpha_0$  вводятся в оперативную память машины перед началом работы.

Величина  $Y = \frac{F_t}{F_{\text{оп}}}$  вводится дискретно. Вместо величины  $Y$  могут быть заведены раздельно величины частот  $F_t$  и  $F_{\text{оп}}$ .

Все вышеперечисленные данные позволяют по соответствующим алгоритмам быстро рассчитать действительные характеристики атмосферы, под которыми следует понимать величину и направление вектора скорости ветра, величину температуры и давления воздуха и т. д.

Для определения действительных характеристик ветра полярные координаты цели пересчитываются в прямоугольные по следующим формулам:

$$\begin{aligned} x_i &= D_i \cos \delta_i \cos \alpha_i; \\ y_i &= D_i \cos \delta_i \sin \alpha_i, \end{aligned} \quad (4.9)$$

где  $\alpha$  — азимут,  $\delta$  — угол места,  $D$  — наклонная дальность.

Высота для  $i$ -той точки определяется по формуле

$$H_i = D \sin \delta + \frac{(D_i \cos \delta_i)^2}{R_{\text{эф}}}, \quad (4.10)$$

где  $R_{\text{эф}} = \frac{4}{3} R$  (эффективный радиус Земли).

Второе слагаемое правой части формулы представляет поправку к высоте на кривизну земной поверхности и рефракцию радиоволн.

Для расчета средней скорости ветра в слое атмосферы сначала находят составляющие ветра по осям  $x$  и  $y$ , т. е.  $v_{x_i}$  и  $v_{y_i}$ ,

$$\begin{aligned} v_{x_i} &= \frac{x_{i+1} - x_i}{T_{i+1} - T_i}; \\ v_{y_i} &= \frac{y_{i+1} - y_i}{T_{i+1} - T_i}. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Алгоритм для расчета средней скорости ветра будет формула решения прямоугольного треугольника

$$v_i = \sqrt{v_{x_i}^2 + v_{y_i}^2}, \quad (4.12)$$

Направление вектора ветра определяется формулой

$$d = \arctg \frac{v_{y_i}}{v_{x_i}} + 180^\circ. \quad (4.13)$$

Наибольший интерес представляет расчет температурных характеристик атмосферы по безразмерному параметру  $Y$  [28, 29, 65].

Известно, что в обычных условиях температура воздуха по данным зондирования РКЗ-1 определяется по сертификату, который представляет собой график зависимости температуры от безразмерного параметра  $Y$ . Зависимость эта нелинейна, однако для спрямления кривой масштабы осей взяты неравномерные. В результате кривая линия превращается в прямую, которую легко аппроксимировать каноническим уравнением прямой, не проходящей через начало координат

$$f(t) = A_1 \varphi(Y) + B_1, \quad (4.14)$$

где  $f(t)$  — масштабная функция температуры (в миллиметрах на графике),  $\varphi(Y)$  — масштабная функция отношений частот  $\frac{F_t}{F_{on}}$  (в миллиметрах на графике),  $A_1$  — тангенс угла наклона прямолинейного участка графика поверки РКЗ-1 по температуре,  $B_1$  — постоянная величина для данного прямолинейного участка графика поверки.

Если бы тарировка всех радиозондов была одинаковой, то для обработки было бы достаточно использовать сертификат, единый для всех радиозондов. Однако каждый радиозонд имеет свой поверочный график, который отличается от других зависимостью  $f(t) = f[\varphi(Y)]$ . Это отличие выражается тем, что линии прямолинейных участков даже одного графика могут иметь различные коэффициенты  $A_1$  и  $B_1$ , поскольку их наклон к оси абсцисс неодинаков. Поэтому для обработки информации зонда с помощью сертификата, заданного каноническим уравнением прямой, необходимо знать эти коэффициенты и при вводе исходных данных в оперативную память машины учитывать их наравне с  $t_0$ ,  $p_0$  и т. д.

Постоянные коэффициенты  $A_1$  и  $B_1$  должны указываться на сертификате выпускаемых в настоящее время РКЗ-1 вместе с данными  $F_{20}$  и  $F_{200}$ . Если значения коэффициентов не указаны, то они могут быть легко вычислены с помощью сертификата.

Для этой цели берется сертификат, на линии которого выбирается прямолинейный участок. Далее, на прямолинейном участке намечаются две достаточно удаленные точки, которые обозначаются буквами  $i$  и  $k$ . Для выбранных точек по координатной сетке графика отсчитываются числовые значения  $t_i$ ,  $t_k$  и  $Y_i$ ,  $Y_k$ . Каждым числовым значениям соответствуют масштабные функции  $f(t_i)$ ,  $f(t_k)$ ,  $\varphi(Y_i)$ ,  $\varphi(Y_k)$ .

Масштабные функции  $\varphi(Y)$  и  $f(t)$  могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$\varphi(Y) = A(Y - a)^4 + B(Y - a)^3 + C(Y - a)^2 + D(Y - a) + E. \quad (4.15)$$

где  $Y = \frac{F_t}{F_{оп}}$  (снят с графика).

Коэффициенты  $A, B, C, D, E$  и  $a$  зависят от диапазона изменения  $Y$ , могут быть заранее рассчитаны и табулированы.

Масштабная функция  $f(t)$  также берется из таблицы, рассчитанной по формуле степенного ряда  $f(t)$

$$t = A_0 - A_1 f(t) + A_2 f(t)^2 - A_3 f(t)^3 + \dots \quad (4.16)$$

В упрощенном варианте можно считать, что масштабные функции есть не что иное, как расстояние в мм от точки начала координат до замеренных значений  $t_i, t_k, Y_i, Y_k$ , взятое в мм.

Определив частные числовые значения функций  $f(t_i), \varphi(Y_i), f(t_k), \varphi(Y_k)$ , составляется система из двух уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} f(t_i) &= A_1 \varphi(Y_i) + B_1; \\ f(t_k) &= A_1 \varphi(Y_k) + B_1. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Данная система уравнений решается относительно  $A_1$  и  $B_1$ . В результате решения будем иметь:

$$A_1 = \frac{f(t_i) - f(t_k)}{\varphi(Y_i) - \varphi(Y_k)}; \quad (4.18)$$

$$B_1 = f(t_i) - \frac{f(t_i) - f(t_k)}{\varphi(Y_i) - \varphi(Y_k)} \varphi(Y_i). \quad (4.19)$$

Постоянный коэффициент  $A_1$  для данного радиозонда может быть также определен графическим способом как тангенс острого угла между линией прямолинейного участка графика и линиями сетки ( $\text{tg } \alpha$ ). В последнем случае постоянный коэффициент  $B_1$  этого же участка подсчитывается по формуле

$$B_1 = f(t_i) - \text{tg } \alpha \varphi(Y_i). \quad (4.20)$$

Значения коэффициентов  $A_1$  и  $B_1$  для данного прямолинейного участка сертификата радиозонда дают возможность ввести сертификат в оперативную память машины в виде указанного уравнения прямой, которая позволяет по заданной масштабной функции  $\varphi(Y)$ , рассчитанной машиной по отношению частот, найти  $f(t)$  и далее по формуле определить действительную температуру для данной точки.

## § 15. Использование ЭВМ для автоматизации аэрологической сети

Автоматизация процесса сбора и обработка информации с пунктов зондирования атмосферы являются единственным средством дальнейшего развития аэрологии.

Первым шагом в этом направлении является разработанная в ЦАО и внедренная в виде опытного образца централизованно-кустовая система «Атмосфера» [18, 33, 63].

Система «Атмосфера» представляет собой вычислительно-телеметрическую систему, состоящую из комплексов аппаратуры двух уровней: периферийного и центрального, которые объединены существующими каналами связи.

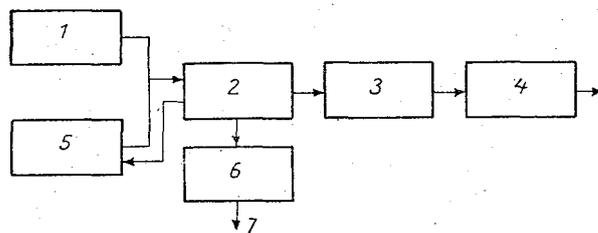


Рис. 4.6. Блок-схема аппаратуры «Агат».

1 — радиотеодолит «Малахит», 2 — входное устройство, 3 — вычислительное устройство, 4 — выходное устройство, 5 — дополнительная аппаратура, 6 — автоматический регистратор, 7 — диаграммная лента.

Периферийная аппаратура размещается на станциях зондирования, оснащенных радиотеодолитом «Малахит».

Основным оборудованием кустового центра является универсальная цифровая вычислительная машина «Урал-4».

Аппаратура станций зондирования, условно именуемая «Агат» [18] (рис. 4.6), включает в себя радиотеодолит «Малахит», входное, вычислительное и выходное устройства, автоматический регистратор и дополнительные блоки.

Аппаратура «Агат» автоматически регистрирует сигналы радиозонда А-22-III, поступающие от радиотеодолита «Малахит», и одновременно преобразует их путем исключения части избыточной информации и кодирования по специальному коду. Одновременно предусмотрена автоматическая выдача контрольных материалов, необходимых для проверки правильности работы устройств, а также сохранения первичных документов выпуска, зарегистрированных на диаграммной ленте. Дополнительная аппаратура обеспечивает считывание полярных или сферических координат, получаемых в процессе сопровождения радиозонда, которые необходимы для расчета ветровых характеристик.

Сопряжение аппаратуры «Агат» с линиями связи осуществляется с помощью выходного устройства. Это устройство используется также для ввода в вычислительное устройство начальных данных зонда и программы первоначальной обработки, рассмотренной нами в § 14. По мере обработки и кодирования информация записывается выходным перфоратором на телеграфную ленту.

Благодаря наличию запоминающегося устройства передача информации с периферии в вычислительный центр возможна либо одновременно с их записью в реальном масштабе времени, либо после окончания выпуска с повышенной скоростью.

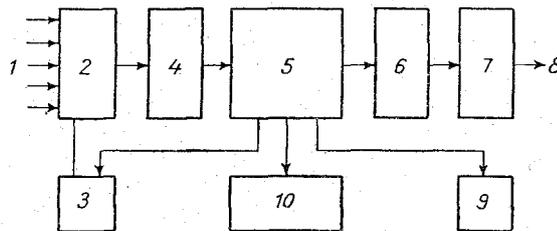


Рис. 4.7. Блок-схема аппаратуры вычислительного центра.

1 — входные линии связи, 2 — входное устройство с ответчиком, 3 — контрольно-связной пульт, 4 — считывающее устройство, 5 — ЭЦВМ «Урал-4», 6 — выходной перфоратор, 7 — рулонный телеграфный аппарат, 8 — выходные линии связи, 9 — перфоратор для перфокарт, 10 — алфавитно-цифровое вычислительное устройство «Урал-4».

Последнее обстоятельство обеспечивает возможность сбора и обработки в вычислительном центре информации от нескольких десятков пунктов зондирования.

Аппаратура кустового вычислительного центра состоит из серийной быстродействующей универсальной цифровой вычислительной машины «Урал-4» с подключенными к ней, специально разработанными для этой системы дополнительными устройствами, сопряженными с линиями связи (рис. 4.7).

Входное устройство с ответчиком и контрольно-связной пульт служат для вступления в связь центральной аппаратуры с одним из очередных периферийных абонентов. Для этой цели входное устройство имеет два ответчика, которые автоматически обмениваются с абонентом служебными сигналами. При поступлении сигнала (позывного) со станции зондирования первый автоответчик условным сигналом запрашивает: «Кто там?» Если ответ верен, т. е. вступает в связь очередной абонент, то срабатывает второй автоответчик, который с помощью реле подает информацию на радиоперфоратор считывающего устройства.

Контрольно-связной пульт предназначен для централизованной световой и звуковой индикации процесса приема телеграмм с целью оперативного контроля и коммутации каналов связи.

Программа обработки информации ЭВМ «Урал-4» предусматривает: 1) контроль ввода информации путем подсчета контрольных сумм; 2) декодирование вводимой информации с одновременным восстановлением пропущенных данных, а также распределение информации по соответствующим смысловым группам; 3) обработку декодированной информации по заданному алгоритму.

Обработанная информация регистрируется с помощью алфавитно-цифрового вычислительного устройства, входящего в комплект «Урал-4», перфоратора для перфокарт и выходного перфоратора, связанного с рулонным телеграфным аппаратом.

Наличие нескольких перфораторов объясняется тем, что в вычислительном центре производится разносторонняя оперативная и статистическая обработка информации с целью получения метеобюллетеней и аэрологических макетов, а также вычисления данных для последующей климатологической обработки.

Опытный образец системы «Атмосфера» показал высокую точность обработки данных зондирования и хорошую работоспособность.

С точки зрения перспектив автоматизации аэрологической сети в глобальных масштабах весьма интересно предложение Чапнеу (Массачусетский технологический институт), которое является частью международной метеорологической программы [72, 77].

Исследуя возможности зондирования атмосферы в глобальных масштабах с применением новейших достижений науки и техники, автор предлагает использовать метод уравновешенных радиозондов, опрос которых производится искусственным спутником Земли с последующим запоминанием данных и ретрансляцией их в виде экспресс-информации к наземной установке (рис. 4.8).

Для этой цели предлагаемая система должна состоять из наземной приемо-передающей станции с электронно-вычислительным устройством и линиями связи для распространения результатов зондирования; связного ИСЗ, принимающего команды в виде адресованных программ от наземной установки и передающего их для опроса очередного зонда, а также ретранслирующего телеметрическую информацию зонда и данные о его координатах; аэростатов, оборудованных электронной аппаратурой для ответа на запрос ИСЗ и датчиками для измерения метеорологических элементов.

Система предусматривает наличие одного ИСЗ, способного опросить сколько угодно аэростатов, дрейфующих на различных высотах, но передающего результаты опроса только одной

наземной установке, которая по результатам обработки предыдущих данных передает на ИСЗ команду в виде адресованных программ для опроса зондов следующей орбиты.

Для уточнения принципа действия предлагаемой системы глобального зондирования атмосферы познакомимся с блок-схемой

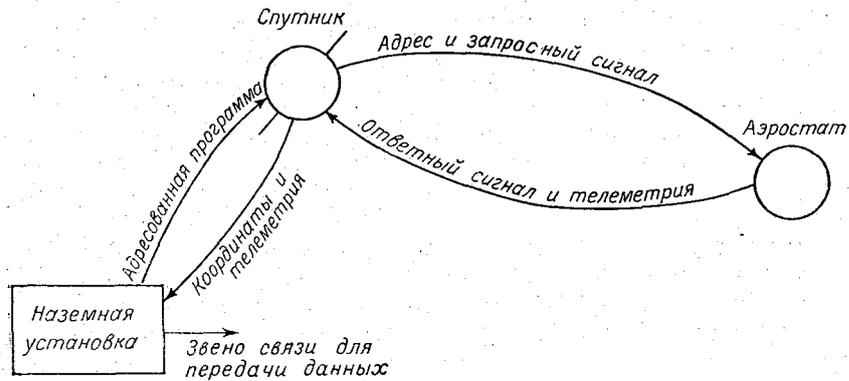


Рис. 4.8. Блок-схема глобальной системы зондирования атмосферы.

мами наземной установки, ИСЗ и аэростата (рис. 4.8, 4.9, 4.10, 4.11).

Наземная установка представляет собой кустовой центр с линиями связи для передачи информации. Она состоит из ав-

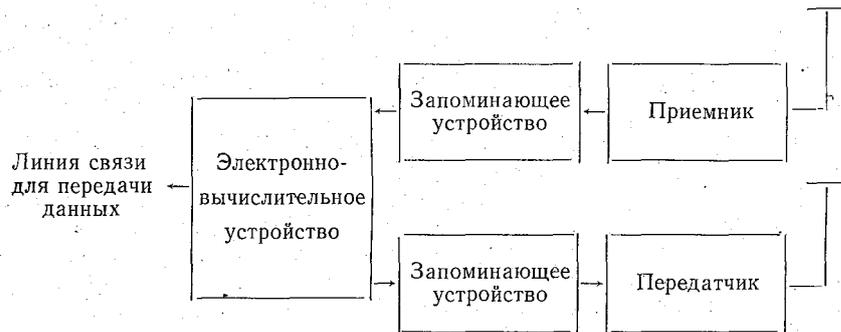


Рис. 4.9. Блок-схема наземной установки.

томных систем передачи и приема с запоминающими устройствами и быстродействующей электронной вычислительной машины, выполняющей следующие операции.

По параметрам очередной орбиты ИСЗ, времени опроса аэростата и координатам его относительно ИСЗ, ЭВМ вычисляет местоположение аэростата и его смещение относительно преды-

дущего момента опроса, что дает возможность определить скорость и направление ветра на высоте дрейфа. Далее, ЭВМ обрабатывает телеметрическую информацию о температуре, давлении, влажности воздуха для различных высот дрейфа и по ним рассчитывает распределение метеозлементов по высотам, необходимое для передачи данных, позволяющих составить карты барической топографии.

По обработанным данным координат и ветровым характеристикам аэростатов ЭВМ прогнозирует местонахождение обрабатываемых аэростатов и подготавливает адресованную программу для следующей орбиты ИСЗ.

Два независимых друг от друга запоминающих устройства позволяют, с одной стороны, запоминать экспресс-информацию, переданную ИСЗ, с другой стороны, запоминать очередные адресованные команды для передачи их на ИСЗ.

Электронное устройство ИСЗ, блок-схема которого приведена на рис. 4.10, включает в себя два приема-передатчика, обеспечивающие прием и ретрансляцию адресованных программ и телеметрической информации с данными координат.

Антенные переключатели обеспечивают коммутацию антенн к системам передачи и приема.

По данным Lally оптимальная частота для обеспечения связи между ИСЗ и аэростатом должна быть в пределах 100—200 Мгц. Меньшая частота подвержена более сильному поглощению в слоях ионосферы, что неизбежно вызовет необходимость увеличения мощности передатчиков как на ИСЗ, так и на аэростате, что нецелесообразно. Большие частоты уменьшают стабильность работы транзисторных схем. А так как электроника ИСЗ проектируется с использованием микромодулей, то повышение частоты тем более нежелательно.

Для определения координат аэростата предлагается доплеровский метод, позволяющий путем сравнения фазы запросного импульса, переданного передатчиком очередному аэростату с фазой ответного сигнала, определить расстояние с большой точностью. Для повышения точности определения расстояния и контроля работы в блок-схему электронной аппаратуры ИСЗ введен генератор стандартных сигналов, вырабатывающий опорную частоту, обеспечивающую синхронизацию работы передатчика для связи с аэростатом и работу преобразователя дальности в числовой код. Преобразователи дальности и телеметрической информации формируют данные о координатах аэростата и об измеренных параметрах, которые в виде двоичных чисел запоминаются для передачи в качестве экспресс-информации.

Для связи с очередным аэростатом, предусмотренной адресованной программой и запомненной в соответствующем устройстве ИСЗ, в блоке кодирования адреса производится формирование кодированного числа адресата по методу телефонного

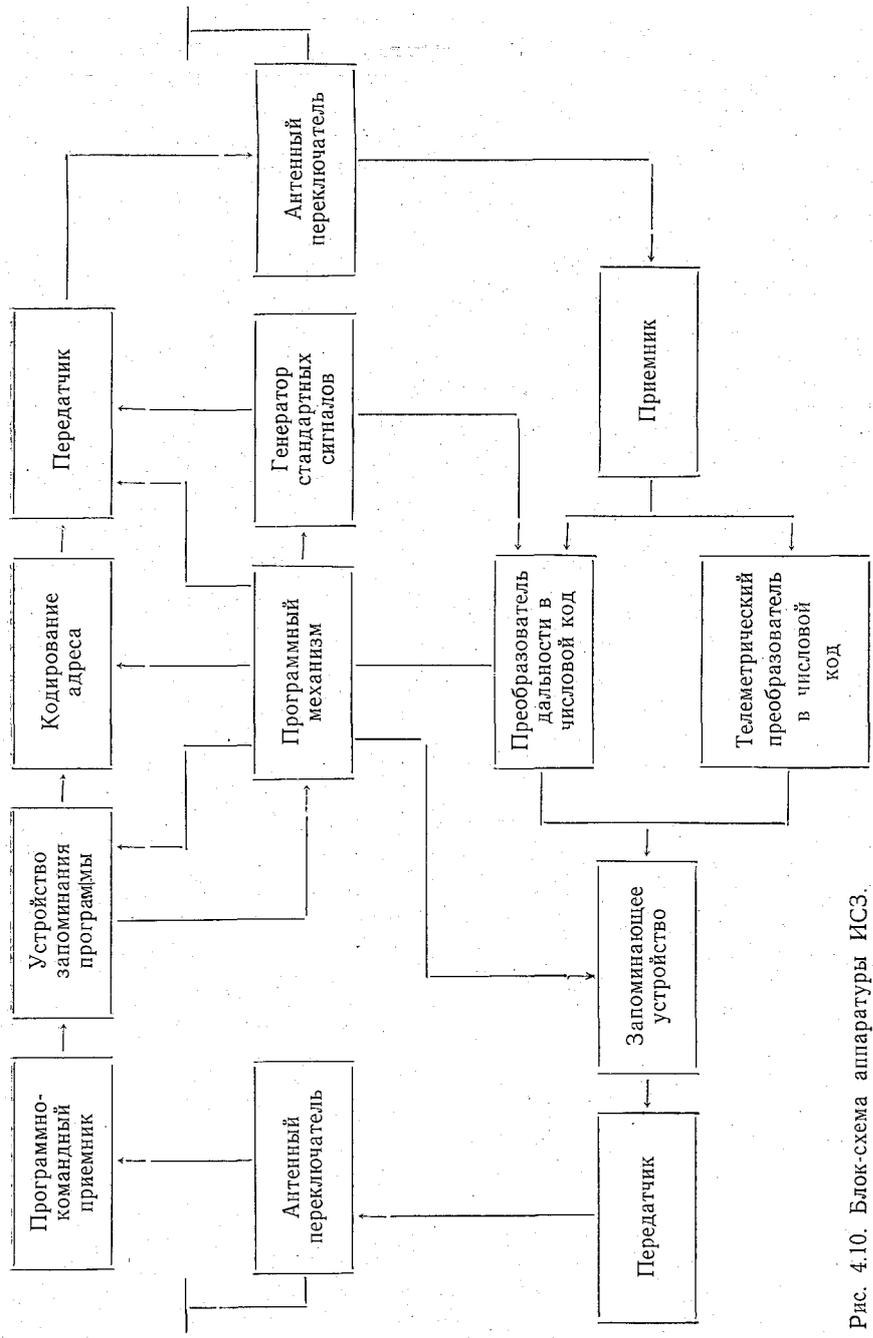


Рис. 4.10. Блок-схема аппаратуры ИСЗ.

наборника с использованием триггерных устройств, обеспечивающих частотно-кодированный запрос адреса. Программный механизм синхронизирует работу всех блоков и устанавливает последовательность их работы.

Блок-схема электронного устройства аэростата (рис. 4.11) включает в себя приемник, распознаватель адреса с временным программным устройством, передатчик с селектором и преобразователь, преобразующий показания датчиков в кодированные сигналы.



Рис. 4.11. Блок-схема телеметрической аппаратуры дрейфующего аэростата.

Если адресованный запрос от ИСЗ относится к данному аэростату, то селектор подготавливается для включения передатчика, передающего ответный сигнал. Одновременно блок распознавателя адреса включает временное устройство, которое в определенной последовательности включает преобразователь, открывает селектор, включает передатчик и подготавливает схему к очередному сеансу связи.

Рассмотренная система измерения метеоэлементов и ветровых характеристик в глобальном масштабе особенно заманчива для получения информации с акваторий океанов и с труднодоступных участков земной поверхности.

Данная система может обеспечиваться ИСЗ «Нимбус». При этом опрос аэростатов не должен сокращать обычную программу измерения облачных полей и других параметров, выполняемую аэростатами и ИСЗ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров С. Г., Федоров Р. Е. Советские спутники и космические корабли. Издательство АН СССР, М., 1961.
2. Алексеев П. П. и др. Ракетные исследования атмосферы. Метеорология и гидрология, № 8, 1957.
3. Артамонов В. М. Электроавтоматика судовых и самолетных радиолокационных станций. Судпромгиз, Л., 1962.
4. Барсуков Ф. И. Радиотелемеханика. Госэнергоиздат, 1962.
5. Барсуков Ф. И., Максимов М. В. Радиотелеметрия. Воениздат, М., 1962.
6. Благовещенский В. П., Сидоренко В. В. Измерения в импульсной радиосаппаратуре. Судпромгиз, Л., 1957.
7. Бонд Р. Л., Ситон М. Дж. Ракетные исследования верхней атмосферы. ИЛ, М., 1957.
8. Белинский В. А., Побияхо В. Аэрология. Гидрометеоздат, Л., 1962.
9. Буга Н. Н. Информация и электрические сигналы. Изд. ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, 1960.
10. Ворженевский Н. С. Пленочные датчики влажности. Труды НИИ ГМП, вып. 5, 1957.
11. Гитис Э. И. Электрорадиоавтоматика. Госэнергоиздат М., 1959.
12. Гольцман М. И. Основы методики аэрологических измерений, 1950.
13. Горелик А. Г., Костарев В. В., Черников А. А. Координатно-доплеровский метод ветровых наблюдений и некоторые результаты исследования неоднородностей поля ветра в атмосфере. Метеорология и гидрология, № 10, 1965.
14. Горин Б. Ш., Спивак П. У. Индикаторы направления. Воениздат, М., 1960.
15. Дроздов Е. А. и др. Основы вычислительной техники. Гостехиздат, М., 1961.
16. Дулевич В. Е. и др. Теоретические основы радиолокации. Изд-во «Советское радио», М., 1964.
17. Денисов Ю. С. Радиотехника в артиллерийской метеорологии. Воениздат, М., 1958.
18. Ефимов П. Л. Централизованно-кустовая вычислительная телеметрическая система «Атмосфера» для обработки результатов радиозондирования. Метеорология и гидрология, № 4, 1965.
19. Зайчиков П. Ф. Предварительные результаты обработки материалов наблюдений 2-го Международного соревнования радиозондов. Труды ЦАО, вып. 22, 1957.
20. Златин А. Л. Селекция элементов кода Морзе изменяющейся скорости передачи информации. Труды НИИ ГМП, вып. 13, 1965.
21. Зиньковский А. И. Радиотехника и космические полеты. Госэнергоиздат, Л., 1960.
22. Качурин Л. Г. Электрические измерения аэрофизических величин. Изд. ЛГУ, 1962.
23. Кондратьев К. Я. Метеорологические исследования с помощью ракет и спутников. Гидрометеоздат, Л., 1962.
24. Кондратьев К. Я. О состоянии метеорологии в Японии. Метеорология и гидрология, № 7, 1965.
25. Калиновский А. Б., Пинус Н. З. Аэрология. Гидрометеоздат, Л., 1961.
26. Кмито А. А. Методы исследования атмосферы с использованием ракет и спутников. Гидрометеоздат, 1966 г.
27. Коквин Н. С. Метод радиозондов, радиозонд А-22-III. Изд. ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, Л., 1960.

28. Коковин Н. С. Комплексное зондирование атмосферы, радиозонд РКЗ-1, ч. 1. Изд. ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, Л., 1961.
29. Коковин Н. С. Применение электронно-счетных машин для обработки данных радиозондирования. Изд. ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, Л., 1961.
30. Коковин Н. С., Соломин Ю. С. Автоматизация приема кодоимпульсной информации радиозонда. Сб. тр. ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, вып. 33, 1962.
31. Коковин Н. С. и др. Руководство к лабораторным работам по зондированию атмосферы. Изд. ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, Л., 1962.
32. Крайзмер Л. П. Запоминающие устройства. Изд. «Энергия», М., 1965.
33. Кречмер М. В. Опыт обработки результатов аэрологических наблюдений с помощью электронных счетно-решающих устройств. Труды ВММС, том 9, 1963.
34. Ленди Р., Девис Д., Альбрехт А. Справочник радиоинженера. Госэнергоиздат, Л., 1961.
35. Лебедев Б. М. Развитие радиозондирования в США. Метеорология и гидрология, № 7—9, 1939.
36. Марфенко О. В. Точность температурно-ветрового зондирования атмосферы. Тезисы докладов на ВММС, 1961.
37. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеиздат, Л., 1965.
38. Наслэн П. Основы цифровой вычислительной техники. Госэнергоиздат, М., 1962.
39. Непомнящий С. И. Самолетный сбрасываемый радиозонд. Труды НИИ ГМП, вып. 5, 1957.
40. Непомнящий С. И. Электродвигатель для радиозондов. Труды НИИ ГМП, вып. 6, 1958.
41. Непомнящий С. И. Некоторые результаты исследований микроэлектродвигателя для радиозондов. Труды НИИ ГМП, вып. 13, 1965.
42. Нелепец В. С., Белоцерковский Г. Б. Основы радиолокации. Оборонгиз, М., 1954.
43. Нелепец В. С., Степаненко В. Д. Радиолокационные методы метеорологических наблюдений. Гидрометеиздат, Л., 1961.
44. Никольс М. Х., Раух Л. Л. Радиотелеметрия. Пер. с англ., ИЛ, М., 1958.
45. Пароль Н. В. Надежность приемо-усилительных ламп. Изд. «Советское радио», М., 1964.
46. Побяхо В. А. Зондирование атмосферы радиозондом А-22-III. Метеорология и гидрология, № 8, 1959.
47. Розенберг Г. Измерения давления и температуры в высоких слоях атмосферы. Успехи физических наук, т. XXXIV, вып. 3, 1948.
48. Самойлов В. Ф., Макоев В. Г. Импульсная техника. Изд-во «Связь», 1964.
49. Соколовская Л. Я., Папед Г. Э. Деформационные приемники влажности. Научно-технический сб. по приборостроению, вып. 1. Изд. Латвийского республиканского правления НГО, 1958.
50. Смирнов А. Д. Современные математические машины. Физматгиз, М., 1959.
51. Тарасенко Ф. П. Введение в курс теории информации. Изд. Томского ун-та, 1964.
52. Тихменев С. С. Элементы точных приборов. Оборонгиз, М., 1956.
53. Усольцев В. А., Мануилов К. Н. Основные особенности радиозонда А-22-III. Труды НИИ ГМП, вып. 5, 1957.
54. Федосьев В. И., Синярев Г. Б. Введение в ракетную технику. Оборонгиз, М., 1961.

55. Хахалин В. С. Радиотехника в аэрологии. Гидрометеиздат, Л., 1957.
56. Хахалин В. С. Современные радиозонды. Госэнергоиздат, Л., 1959.
57. Харкевич А. А. и др. Очерки общей теории связи. Физматгиз, М., 1956.
58. Хесин А. Я. Импульсная техника. Изд-во «Энергия», М., 1965.
59. Цивлин И. П. Электронный дальномер с двумя интеграторами. Изд. «Советское радио», М., 1964.
60. Швидковский Е. Г. Ракетные метеорологические измерения. Труды ЦАО, вып. 29, 1960.
61. Теория и техника радиолокации. Под ред. Н. Н. Шамшурова. Воениздат, М., 1947.
62. Шметер С. М. Инерционные ошибки в измерении температуры воздуха с помощью радиозондов. Труды ЦАО, вып. 13, 1954.
63. Юдин М. И., Заварина М. В. Счетные машины в метеорологии. Гидрометеиздат, 1963.
64. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 4, часть VI. Гидрометеиздат, 1960.
65. Руководство по зондированию атмосферы радиозондом РКЗ-1А. Гидрометеиздат, 1962.
66. Методические указания ЦАО, вып. 27, 1961.
67. Методические указания ЦАО, вып. 28, 1962.
68. Методические указания ЦАО, вып. 29, 1963.
69. Методические указания ЦАО, вып. 32, 1964.
70. Вауг F. Linkes meteorologisches Taschenbuch neue Ausgabe III. Herausgegeben. Akademische verlagsgesellschaft. Geest Portig K. G., Leipzig, 1957.
71. Brailsford H. A new code transmitting sonde. J. Meteorol. Vol. 6, N 10, 1949.
72. Charney J. G. The feasibility of a Global observation System. Report of Panel on International Meteorological Programs. Committee of Atmospheric Sciences, 1965.
73. Ference M. Instruments and Techniques for Meteorol. Measurements. Compendium of Meteorology, Boston, 1951.
74. Goddard N. E., Dell H. A. Eine Anlage für meteorologische Beobachtungen mit einer Radarsonde Philip's technische Rundschau, Jahrgang 19, N 10, 1957—58.
75. Hesse W. Handbuch der Aerologie. Akademische Verlagsgesellschaft. Geest Portig K. G., Leipzig, 1961.
76. Kirkman R. Meteorological radio direction finding for measurement of upper winds. J. Meteor. Vol. 5, N 2, 1948.
77. Lally V. E. Satellite satellites-a conjecture on future atmospheric sounding system. Bull. Am. Meteor. Society 41(8), 1960.
78. Nupen N. Selective Annotated Bibliography on Radar as applied to Meteorology. Bull. Am. Met. Soc. Vol. 32, 1951.
79. Spilhaus A. Recent Developments in Meteorological Equipment. Bull. Am. Met. Soc., Sep. 1946.
80. Meteorologische Abhandlungen, Bd XXI, H. 1.
81. Meteorologische Abhandlungen Bd VII, H. 4.
82. Meteorologische Abhandlungen. Bd XXII, H. 1.
83. Meteorologische Abhandlungen. Bd XXXIII, H. 4.
84. I. A. Siderman, A. C. Peterson and R. L. Robbiani. An Army Atmospheric Sounding System. IEEE Transactions on Military Electronics, 1965.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение . . . . .	3
<i>Глава 1.</i> Общие сведения о технических средствах зондирования атмосферы . . . . .	5
§ 1. Структурно-функциональная схема радиотелеметрического канала . . . . .	—
§ 2. Классификация радиозондов и требования к телеметрическому каналу . . . . .	11
§ 3. Интерпретация теоремы Котельникова применительно к радиозондам комплексного зондирования . . . . .	19
§ 4. Уравнение шкалы и оценка точности . . . . .	23
<i>Глава 2.</i> Элементы радиозондов . . . . .	31
§ 5. Измерительные датчики . . . . .	—
§ 6. Шифраторы и программные устройства . . . . .	39
§ 7. Передатчики радиозондов . . . . .	55
§ 8. Надежность радиозондов . . . . .	68
§ 9. Отражающие мишени. Измерения ветровых характеристик . . . . .	73
<i>Глава 3.</i> Основные каналы наземных установок . . . . .	81
§ 10. Информационный канал . . . . .	—
§ 11. Канал сопровождения по угловым координатам . . . . .	96
§ 12. Электронные дальномеры . . . . .	121
<i>Глава 4.</i> Счетно-решающие устройства и перспектива дальнейшей автоматизации зондирования атмосферы . . . . .	129
§ 13. Автоматические регистраторы кодо-импульсной информации . . . . .	—
§ 14. Серийные и специализированные ЭВМ . . . . .	138
§ 15. Использование ЭВМ для автоматизации аэрологической сети . . . . .	153
Литература . . . . .	160

*Коковин Николай Сергеевич*

Радиотелеметрия зондирования атмосферы

Редактор *Л. И. Штанникова*

Художник *Н. Ф. Жербин*

Худож. редактор *В. А. Евстигнев*

Техн. редактор *М. И. Брайнина*

Корректор *Т. В. Алексеева*

---

Сдано в набор 22/VII 1966 г. Подписано  
к печати 25/XI 1966 г. Бумага 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бум. л. 5,125+1 вкл. Печ. л. 10,5. Уч.-изд. л.  
10,85. Тираж 1260 экз. М-19369. Индекс МЛ 271.  
Гидрометеорологическое издательство.  
Ленинград, В-53, 2-я линия, д. № 23.  
Заказ № 539 Цена 68 коп.

---

Ленинградская типография № 8  
Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров  
СССР  
Ленинград, Прачечный пер., д. 6