

## ФАЗОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ МЕТЕОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И. Д. ЗОЛОТАРЕВ

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Измерение разности хода между сигналами метеорных радиоотражений, принятыми на разнесенные антенны, позволяет определить некоторые существенные характеристики метеора [4]. Поскольку разность хода между сигналами, принятыми на разнесенные антенны, пропорциональна разности фаз между ними, измерение разности хода может быть выполнено с помощью многоканальных фазометрических устройств.

Совокупность следующих исходных требований, явившихся определяющими при разработке фазометров, обусловила серьезные трудности в практическом осуществлении их.

1. Требуется обеспечить измерение сдвига фаз между высокочастотными заполнениями коротких импульсов сигнала (длительность импульсов сигнала  $\tau = 5$  мксек).

2. Принятые на разнесенные антенны сигналы сравнимы с шумами (для среднего фиксируемого сигнала отношение  $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} \approx 3$ ).

3. Для уверенного определения разности фаз необходимо обеспечить достаточно большое число периодов высокочастотного заполнения импульсов сигнала. Опытом установлено, что вполне надежное определение разности фаз может быть получено уже при десяти периодах высокочастотного заполнения в импульсе, что при длительности импульса сигнала  $\tau = 5$  мксек соответствует частоте в ч. заполнения 2 мгц.

Следовательно, выбранная схема фазометра должна иметь достаточно высокий (порядка мегагерц) верхний предел рабочих частот.

4. Для увеличения точности определения разности хода при одной и той же инструментальной точности фазометра применен нониусный метод измерения сдвига фаз с использованием двухбазисной антенной системы.

Выбранные величины баз составили: малая база —  $a_m = \frac{\lambda}{2} = 5$  м, большая база —  $a_b = 12\lambda = 120$  м, где  $\lambda$  — длина волны.

Из выбранной величины малой базы следует, что фазометр должен обеспечивать однозначное измерение разности фаз в пределах  $0 \div 2\pi$ .

5. Уровень амплитуды сигнала может изменяться в больших пределах и подвергаться значительным флюктуациям даже при отражении от одного и того же метеорного следа. Кроме того, в связи с принципиальной невозможностью создать как одинаковые антенны, так и одинаковые условия работы для них, амплитуды сигналов, принятых каждой из разнесенных антенн, могут отличаться между собой по величине.

Отсюда показания фазометра не должны зависеть от изменения амплитуд принятых сигналов.

6. Для накопления научной документации с последующей обработкой ее необходимо, учитывая кратковременность существования метеора, обеспечить фотографирование экранов индикаторов фазометра.

Ниже рассматриваются две последовательные разработки многоканальных фазометрических устройств, обеспечившие измерение сдвига фаз между высокочастотными заполнениями импульсов сигнала при поставленных условиях.

#### Многоканальное фазометрическое устройство, реализующее метод измерения разности фаз с кольцевой разверткой

Из проведенного анализа методов измерения разности фаз и экспериментальной работы при разработке схемы фазометрического устройства был выбран метод с кольцевой разверткой<sup>1)</sup>. Для обеспечения точности измерения сдвига фаз порядка  $3^{\circ}$  разработана специальная формирующая схема, вырабатывающая импульсы длительностью порядка  $10^{-8}$  сек, при частоте следования  $2 \cdot 10^6$  имп/сек. Испытания работы фазометра с кольцевой разверткой дали вполне удовлетворительные результаты, изложенные в работе [1].

Суммарная длительность воздействия импульсов фазовых отметок на модулирующий электрод электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) индикатора фазометра при экспозиции метеорного отражения в 1 сек составит примерно 0,1 мсек, что в случае применения обычных ЭЛТ не может обеспечить достаточной яркости фазовых отметок как для фотографической, так и для визуальной регистрации метеорных отражений. Поэтому в индикаторах фазометра используются высоковольтные электронно-лучевые трубки 13ЛО7А с повышенной яркостью пятна. Вследствие малой чувствительности к отклонению трубок 13ЛО7А разработаны мощные развертывающие устройства, соответственно потребляющие и большие мощности от источника питания фазометра. Кроме того, схема формирования коротких импульсов высокой частоты повторения, где для генерации импульсов используются мощные лампы ГУ-29, также требует наличия источников питания большой мощности.

При большом числе независимых каналов указанные обстоятельства весьма существенно отразились на конструкции фазометрического устройства и потребляемой им суммарной мощности, составившей примерно 10 квт.

В состав многоканального фазометра входит:

1. Антенная система, состоящая из шести разнесенных в направлениях север — юг и восток — запад антенн — трех антенн ( $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ ) малой базы и трех антенн ( $A_4$ ,  $A_5$  и  $A_6$ ) большой базы.

<sup>1)</sup> В действительности, поскольку сдвиг фазы измеряется между радиоимпульсами, развертка будет спиралеобразная.

2. Антенные приставки, позволяющие улучшить качество настройки антенны и уменьшить вредное влияние потерь в кабеле, соединяющем антенны с приемными устройствами.

3. Шкаф, где размещается основная аппаратура, состоящая из двух трехканальных фазометров, выполненных идентично, и вспомогательных блоков. Каждый из трехканальных фазометров обеспечивает измерение сдвига фаз между сигналами, принятыми антеннами малой и большой базы соответственно.

Упрощенная блок-схема фазометрического устройства показана на рис. 1. Взаимодействие элементов блок-схемы фазометра состоит в следующем.

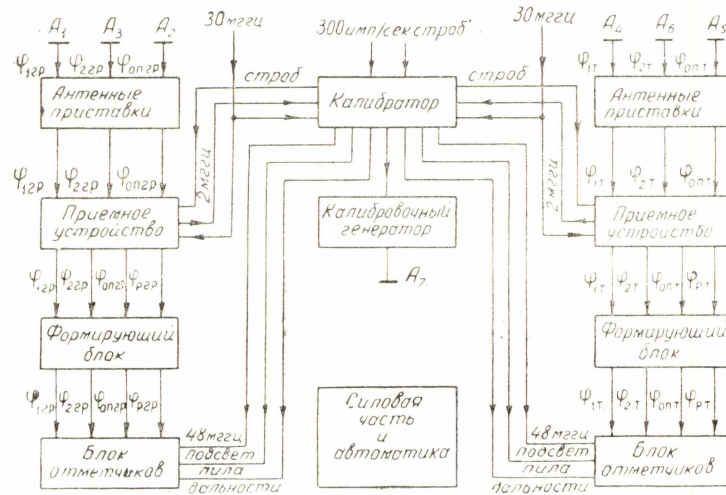


Рис. 1. Блок-схема фазометрического устройства.

Сигналы с антенн поступают непосредственно на антенные приставки, откуда по кабелям подаются на входы приемных устройств. Фазовые сдвиги между сигналами, принятыми на разнесенные антенны, измеряются относительно фазовых углов „опорных“ сигналов, принятых опорными антеннами малой и большой баз.

В приемных устройствах „опорный“ канал раздваивается на собственно „опорный“, напряжение сигнала с которого используется для формирования импульсов „опорной“ фазовой отметки, и канал разверток, напряжение с которого используется для запуска разверток в фазовых отметчиках. После усиления и преобразования напряжения сигналов частоты 2 мГц подаются с выходов приемных устройств на входы формирующих блоков, где из них формируются короткие импульсы фазовых отметок. Полученные напряжения с выходов формирующих блоков поступают на входы отсчетчиков, в каждый из которых входит три индикатора фазометра. Два из них предназначены для считывания разностей фаз  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  (разность фаз  $\varphi_1$  определяется между сигналами, принятыми антеннами, разнесенными в направлении север—юг,  $\varphi_2$  — между сигналами, принятыми антеннами, разнесенными в направлении восток — запад), третий — трехмерный отметчик, позволяет считывать оба фазовых угла в функции от наклонной дальности. Это обеспечивает различие сигналов от нескольких метеоров, существующих одновременно на разных наклонных дальностях.

Калибратор является синхронизирующим блоком многоканального фазометрического устройства и обеспечивает работу шкафа в трех режимах: а) режим непрерывной работы; б) режим непрерывной ра-

боты и периодической калибровки; в) режим непрерывной калибровки.

Помимо этого, калибратор является основным связывающим звеном между другими шкафами станции и шкафом фазометра. На вход калибратора поступают напряжения.

1. Со шкафа дальномера — импульсы запуска развертки дальности трехмерного индикатора, частота следования которых составляет  $300 \text{ имп/сек}$ ; строб записания приемных устройств на время излучения зондирующего импульса передающим устройством.

2. С передатчика — незатухающий сигнал частоты  $30 \text{ мггц}$ , из которого формируются радиоимпульсы калибровки. Эти радиоимпульсы излучаются антенной, установленной в выбранной точке полигона, чем и достигается контроль работы всего тракта каждого из каналов фазометра.

3. С приемных устройств фазометра на калибратор подаются напряжения, полученные преобразованием напряжения с передатчика частоты  $30 \text{ мггц}$  до  $2 \text{ мггц}$ . Из этого напряжения в калибраторе путем последовательного умножения частоты вырабатывается напряжение частоты  $48 \text{ мггц}$  для нанесения фазовой калибровочной сетки на экранах индикаторов фазометра.

С выхода калибратора напряжения поступают на соответствующие блоки шкафа для обеспечения выбранных режимов работы.

Общий вид шкафа многоканального фазометра представлен на рис. 2.

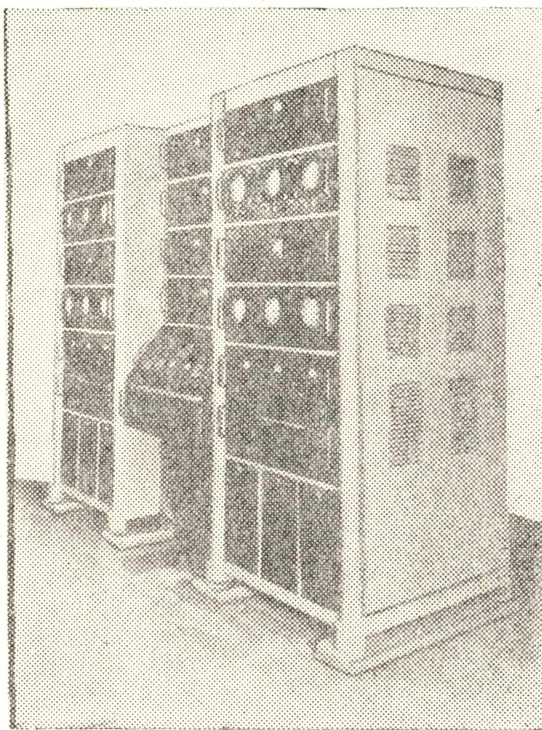


Рис. 2. Вид шкафа многоканального фазометра.

### Усовершенствованная фазометрическая аппаратура для исследования метеорных следов

В процессе эксплуатации первого образца фазометрического устройства выявились некоторые недостатки его, состоящие в следующем.

1. Сложность аппаратуры требовала привлечения к эксплуатации ее высококвалифицированного состава.

2. Затруднялась обработка результатов наблюдений в связи с необходимостью совмещения большого числа пленок, заснятых с каждого из индикаторов.

3. Отсутствие резервных фазометрических каналов не обеспечивало достаточной надежности работы аппаратуры.

К разработке новой аппаратуры целесообразно было приступить при условии разработки нового „компактного“ метода измерения разности фаз, обеспечивающего измерение разности фаз в пределах

$0 \div 2\pi$  между высокочастотными заполнениями коротких импульсов сигнала, сравнимого с шумом.

При этом относительные флюктуации сигнала по амплитуде как на данном канале, так и между каналами могут составлять значительную величину.

Мы остановили свой выбор на принципе двойной кольцевой развертки. Этот способ обеспечивает измерение разности фаз в пределах  $0 \div 2\pi$  и допускает флюктуации уровней сигналов на входе фазометра, чем частично удовлетворял поставленным требованиям [2, 3, 5].

Однако нам известны были разработки метода измерения сдвига фаз с двойной кольцевой разверткой, позволяющие измерять фазовый угол на высоких частотах при импульсном сигнале, сравнимом с шумом.

Эксперименты, проведенные с разработанной схемой импульсного фазометра, реализующего метод двойной кольцевой развертки, дали хорошие результаты.

Новая разработка фазометра „канал регистрации углов (круг)“ содержит девять идентичных фазометрических каналов; десять приемных устройств, из которых одно опорное.

Все десять электронно-лучевых трубок (девять индикаторов фазометра и одна дальности) фотографируются на один кадр. На этот же кадр фотографируются часы, дата, номер кадра, наносятся примечания о роде работы. Это обеспечивает максимальное удобство при обработке пленки и надежность в сохранении полной информации о проведенных наблюдениях.

Резервные фазометрические каналы обеспечивают повышенную надежность работы „круга“.

Упрощенная блок-схема шкафа канала регистрации углов (здесь показан один фазометрический канал) представлена на рис. 3.

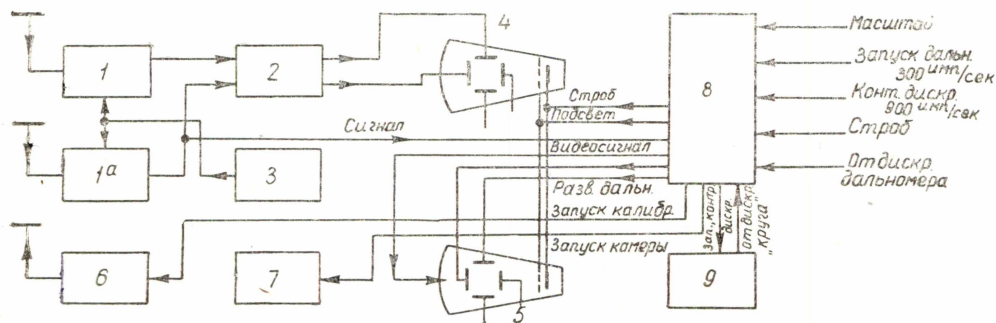


Рис. 3. Упрощенная блок-схема „круга“. 1 — приемные устройства; 2 — фазовые развертки; 3 — гетеродин; 4 — электронно-лучевые трубки фазометра (8ЛО-29); 5 — электронно-лучевая трубка дальнотмера (8ЛО-30); 6 — фоторегистрирующая камера КС-50Б; 7 — передатчик сигналов калибровки; 8 — синхронизирующий блок шкафа; 9 — дискриминатор.

Взаимодействие элементов блок-схемы шкафа следующее.

Сигналы с разнесенных антенн частоты  $30 \text{ мггц}$  поступают на входы приемных устройств (1, 1-а). Напряжение гетеродина (3) частоты  $f_2 = 28 \text{ мггц}$  подается на буферные каскады всех приемников.

С выхода приемников напряжение сигнала промежуточной частоты  $f_{пр} = 2 \text{ мггц}$  поступает на соответствующие входы фазовых разверток (2), причем с выхода приемного устройства опорного канала (1-а) напряжение поступает на вторые входы разверток фазомет-

ров, включенные параллельно<sup>1)</sup>). С развертывающих устройств отклоняющие напряжения подаются на пластины электронно-лучевых трубок фазометров (4).

Синхроблок шкафа „канала регистрации углов“ (8) обеспечивает синхронную работу всех узлов шкафа, а также является связывающим звеном шкафа „круга“ со шкафом дальности. На вход синхроблока поступают: 1) масштабные метки дальности; 2) импульсы для настройки дискриминатора; 3) стробирующий импульс; 4) импульсы для запуска развертки дальности; 5) импульс запуска (при наличии метеорных отражений) от дискриминатора „круга“ или дискриминатора дальномера; 6) напряжение сигнала с опорного приемника, из которого вырабатываются импульсы подсвета и импульсы запуска дискриминатора.

В синхроблоке вырабатываются напряжения: 1) запуска кинескопной камеры (7); 2) запуска передатчика калибровки (6); 3) импульсы, стробирующие гетеродин (3) и электронно-лучевые трубки (4, 5) на время излучения зондирующих импульсов передающим устройствам; 4) напряжение подсветки сигналом, поступающее на модулирующие электроды трубок (4, 5); 5) напряжение развертки дальности, которое подается на отклоняющие пластины трубки дальности (5); 6) напряжение сигнала и масштабных меток, поступающее на центральный отклоняющий электрод трубки дальности (5); 7) напряжение для контроля и настройки дискриминатора (9).

Конструктивно шкаф выполнен в виде двух стоек, в которых размещены: 1) блок отметчиков, где смонтированы десять электронно-лучевых трубок, вкладыш с часами, календарем и счетчиком кадров; 2) шасси девяти фазовых разверток с вертикально расположенным монтажом; 3) синхроблок, монтаж которого также размещен на вертикальной панели; 4) приемные устройства, размещенные под столиками шкафа; 5) силовые блоки, находящиеся в нижней части шкафа.

В шкафу легко обеспечивается доступ к любым элементам схемы. Все идентичные узлы шкафа выполнены взаимозаменяемыми.

Включение соответствующих элементов шкафа осуществляется тумблерами, расположенными под крышкой на панели управления шкафа. Общая потребляемая шкафом мощность составляет 1 квт по сравнению с 10 квт, потребляемыми первым фазометрическим устройством. Вид шкафа показан на рис. 4.

Первые испытания шкафа, проведенные по потоку Лирид в период 22—24 апреля 1959 г., показали, что при значительно более простой и удобной эксплуатации, по

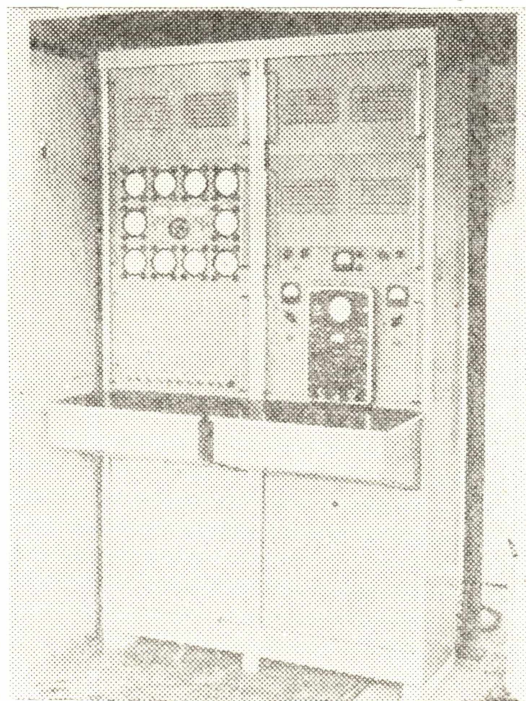


Рис. 4. Общий вид шкафа „круга“.

<sup>1)</sup> Ко времени ввода „круга“ в эксплуатацию был произведен переход на работу от общей опорной антенны для малой и большой баз.

вышенной надежности работы, малой потребляемой мощности и существенном упрощении обработки наблюдений по качеству работы новая фазометрическая аппаратура не уступает предыдущей разработке.

Фото с экранов индикаторов, полученное во время потока Персеид в 1959 г., показано на рис. 5.

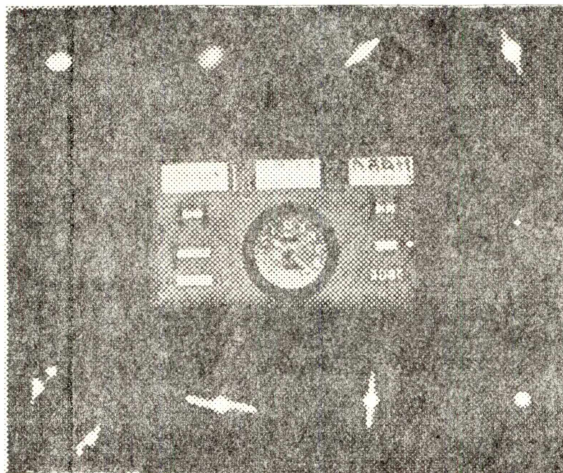


Рис. 5. Снимок сигнала от метеора, полученный на „круге“ во время наблюдений метеорного потока Персеид 13 августа 1959 года.

Распределение фазовых отметок по антеннам отмечается в светлом прямоугольнике над часами. Отсчет разности фаз проводится по наклону большой оси эллипса. Отметчик дальности расположен в нижнем правом углу.

В настоящее время шкаф канала регистрации углов находится в эксплуатации и обеспечивает фиксацию в среднем около 500 метеоров за сутки наблюдений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Золотарев И. Д., Денисов В. П., Измерение разности фаз в импульсном режиме методом кольцевой развертки. Статья помещена в этом сборнике.
2. Щеголев Е. Я., О разности фаз периодических процессов с рациональным отношением частот и об измерении ее при помощи катодного осциллографа. ЖТФ, т. IV, вып. 1, 1934.
3. Валихан Л. А., Развитие техники фазовых измерений (обзор) вып. 2, НТООИ НИИ, 1958.
4. Robertson D. S., Liddy D. T., Elford W. G. Measurements of winds in the upper atmosphere by means of drifting meteor trails. I - II. J. Atm. Terr. Phys., № 4 - 5, 1954.
5. Sonon H., Cathode-ray-tube protractor or sinchroscope, Electrical Engineering vol. 73, № 3, 1954.