

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА, ИСПОЛЬЗОВАВШАЯСЯ ПРИ РАДИОЛОКАЦИИ ВЕНЕРЫ В 1961 г.

*В. А. Котельников, Л. В. Апраксин, В. О. Войтов, М. Г. Голубцов,
В. М. Дубровин, Н. М. Зайцев, Е. Б. Коренберг, В. П. Минашин, В. А. Морозов,
Н. И. Никитский, Г. М. Петров, О. Н. Ржига, А. М. Шаховской*

Радиотехника и электроника, 1962, № 11

Кратко описываются основные узлы и принцип работы космического радиолокатора, использовавшегося при радиолокации планеты Венера в СССР в 1961 г.

1. Цели измерений

Институт радиотехники и электроники АН СССР совместно с рядом организаций создал специальную аппаратуру и провел в апреле 1961 г. радиолокацию планеты Венера [1, 2]. Целью этого эксперимента было измерение астрономической единицы (среднего расстояния от центра Солнца до центра тяжести системы Земля–Луна), оценка периода вращения Венеры и получение данных о ее поверхности.

До последнего времени астрономическая единица и определяемые через нее расстояния в солнечной системе были известны с ошибкой, как теперь выяснилось, порядка 10^{-3} . Такая точность совершенно недостаточна для вождения межпланетных космических кораблей. Надежных данных о поверхности и периоде вращения Венеры также не было — период оценивался величиной от 24 час до 225 суток.

Основные наблюдения проводились с 18 по 26 IV 1961 г. вблизи нижнего соединения (см. рис. 1), когда расстояние до Венеры было минимальным и составляло 43,5–47,5 млн км, т. е. примерно в 120 раз больше, чем расстояние до Луны.

2. Блок-схема и основные данные радиолокатора

Частота передатчика радиолокатора была около 700 МГц, плотность потока мощности — 250 МВт на стерадиан. На всю видимую поверхность Венеры попадало около 15 Вт. Поляризация излучаемых волн

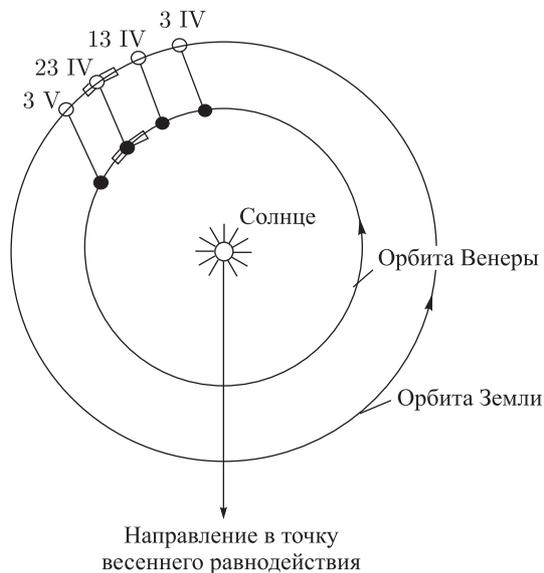


Рис. 1. Положение Земли и Венеры во время проведения радиолокации

была круговой. На приеме антенна имела линейную поляризацию, чем исключалось влияние вращения плоскости поляризации в ионосфере Земли и Венеры на уровень принятых сигналов.

Излучаемый сигнал имел вид телеграфных посылок и пауз длительностью по 128 или 64 мсек (АМ). Использовался также сигнал в виде чередующихся телеграфных посылок на двух частотах, смещенных на 420 Гц, каждая длительностью по 64 мсек (ЧМ).

Частоты передатчика, его манипуляции и гетеродинов приемника задавались прецизионным кварцевым генератором со стабильностью больше 10^{-9} . В частоты несущей сигнала и его манипуляции на передаче по расчетной программе вносились поправки на смещение из-за эффекта Доплера, вызванное изменением расстояния между Землей и Венерой и вращением Земли.

Упрощенная схема космического радиолокатора изображена на рис. 2. Амплитудная манипуляция сигнала производилась ключом K_1 , которым управляли колебания (с введенной поправкой на эффект Доплера) с выхода делителя D . Начало и конец передачи задавались хронизатором Xp . Подавая в момент начала передачи на вход делителя D колебания несущей при помощи ключа K_2 , это устройство осуществляло привязку начальной фазы манипуляции излучаемого сигнала к астрономическому времени.

Передача велась сеансами в течение времени прохождения сигнала от Земли до Венеры и обратно (около 5 мин). Затем при помощи механического коммутатора K_3 , управляемого хронизатором, антенна

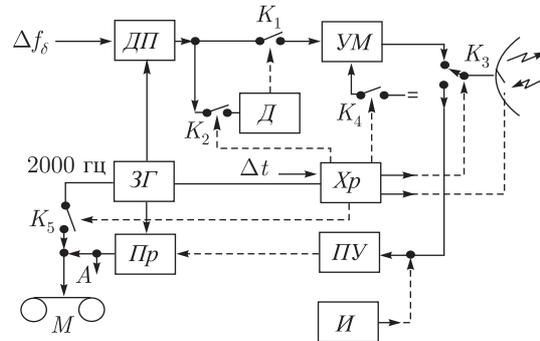


Рис. 2. Блок-схема космического радиолокатора: *ЗГ* — задающий генератор и преобразователи частоты; *ДП* — устройство, вносящее поправку на доплеровское смещение частоты Δf_d ; *УМ* — усилитель мощности; *Д* — делитель; *ПУ* — параметрический усилитель; *Пр* — приемник; *М* — магнитная запись; *Хр* — хронизатор; *И* — имитатор; K_1, K_2, K_4, K_5 — ключи; K_3 — механический коммутатор

подключалась к приемнику, поляризация антенны изменялась на линейную и в течение такого же отрезка времени осуществлялся прием. Для исключения помех со стороны передатчика питание усилителя мощности во время приема отключалось при помощи ключа K_4 .

Приходящие сигналы принимались супергетеродинным приемником с параметрическим усилителем *ПУ* на входе. На выходе приемника *Пр* отраженный сигнал должен был в отсутствие вращения Венеры иметь частоту около 700–750 Гц (в зависимости от величины астрономической единицы, принятой в расчетах доплеровской поправки). Этот сигнал вместе с шумами в полосе 420–1020 Гц записывался на магнитную ленту *М*. На эту же ленту записывалось также колебание частоты 2000 Гц, служившее масштабом времени и использовавшееся для контроля и поддержания скорости движения магнитной ленты при воспроизведении. Начало записи этого колебания задавалось хронизатором при помощи ключа K_5 и соответствовало расчетному моменту прихода 5-минутной серии отраженных сигналов с ошибкой, не превышавшей 1 мсек. Это давало возможность впоследствии судить, насколько фактическое время прохождения сигнала до Венеры и обратно отличалось от расчетного.

Для непрерывного контроля излучения служил специальный приемник, на вход которого все время подавался сигнал передатчика. На выходе этого приемника излучаемая частота снижалась до звуковой и контролировалась на слух и по экрану осциллографа. Работа приемного тракта проверялась при помощи имитатора *И*, подававшего на вход параметрического усилителя соответственно ослабленный зондирующий сигнал. Для контроля точности работы хронизатора *Хр* и делителя *Д* их импульсы записывались на шлейфовых осциллографах.

3. Анализ отраженных сигналов

Записанные на магнитной ленте колебания анализировались при помощи 10 фильтров, имевших полосы пропускания по 60 или по 4 Гц. При использовании фильтров с полосами по 60 Гц после каждого фильтра определялась разностная энергия

$$\Delta W_\tau = W' - W'', \quad (1)$$

где W' — суммарная энергия колебаний на выходе фильтра за заштрихованные один раз отрезки времени (см. рис. 3); W'' — аналогичная энергия за отрезки, заштрихованные дважды.

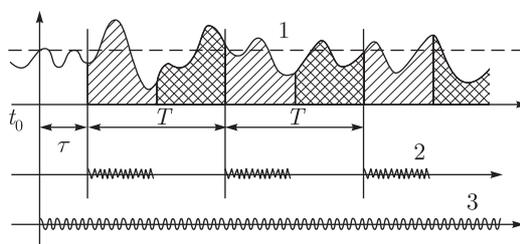


Рис. 3. Временная диаграмма работы анализатора: t_0 — расчетный момент времени прихода серии отраженных сигналов (момент начала записи колебания частоты 2000 Гц); T — период манипуляции сигнала (256 или 128 Мсек); τ — задержка, устанавливаемая по желанию; 1 — мгновенная мощность суммы отраженных сигналов и шума; 2 — фактически пришедший отраженный сигнал; 3 — колебание частоты 2000 Гц

В случае когда задержка τ (см. рис. 3) была такой, что момент $t_0 + \tau$ соответствовал фактическому моменту прихода серии отраженных сигналов (этот случай изображен на рисунке), энергия W' была равна энергии сигнала и шума, а энергия W'' — энергии только шума. В этом случае разность ΔW_τ была максимальной и в среднем равнялась энергии отраженных сигналов.

При изменении задержки τ разностная энергия сигнала менялась по пилообразному закону. При анализе делалось несколько проб при разных τ , на основании которых, учитывая зависимость разностной энергии сигнала от задержки, можно определить энергию сигнала и его запаздывание. Для устранения систематических ошибок фаза манипуляции передаваемых сигналов менялась через сеанс и соответственно менялся знак разности ΔW_τ .

Для анализа сигналов с фильтрами, имевшими полосы пропускания 60 Гц, использовалась схема, изображенная на рис. 4, а. Сигналы с магнитофона M поступали на 10 фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{10}$ (резонансных контуров), охватывающих диапазон частот от 420 до 1020 Гц, и с их выхода на пороговые устройства P . Если амплитуда напряжения на выходе фильтра была больше некоторого порога, это устройство про-

пускало подаваемые на него от делителя D , состоявшего из двоичных ячеек, импульсы на счетчики C и C'' . Если амплитуда была меньше этого порога, то импульсы не проходили. Число импульсов, подаваемых на пороговые устройства, составляло 1000 в секунду. В выбранном диапазоне амплитуд число импульсов на выходе порогового устройства связано линейной зависимостью с энергией колебаний W , прошедших через фильтры [4].

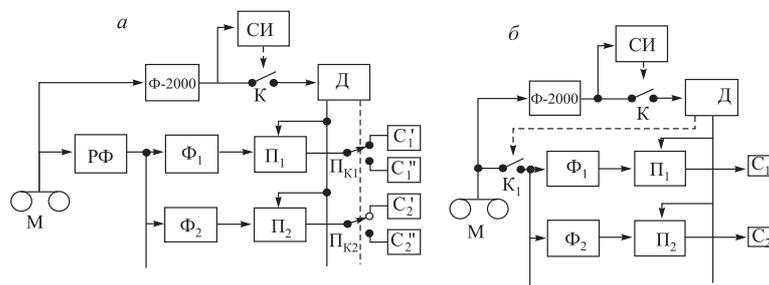


Рис. 4. Блок-схема анализатора при работе с фильтрами, полосы пропускания которых составляли 60 Гц (a) и 4 Гц (b): M — магнитная запись; Φ — фильтры; $P\Phi$ — режекторный фильтр для удаления узкополосной составляющей; Π — пороговые устройства; C — счетчики; $СИ$ — счетчик импульсов; D — делитель; Π_K — переключатели; K, K_1 — ключи

Записанное на ленту колебание частоты 2000 Гц выделялось фильтром $\Phi-2000$ и поступало на счетчик импульсов $СИ$, который, отсчитав заданное число периодов, соответствующее задержке τ , замыкал ключ K ; через этот ключ колебание частоты 2000 Гц поступало на делитель D . Этот делитель начинал выдавать импульсы на пороговые устройства Π и управляющие колебания на переключатели Π_K , которые работали с периодом манипуляции в 250 или 128 мсек. Эти переключатели подавали выходные импульсы пороговых устройств в одни отрезки времени (одиночная штриховка на рис. 3) на счетчики C' , показания которых определялись энергией W' , а в другие отрезки времени (двойная штриховка на рис. 3) — на счетчики C'' , показания которых определялись энергией W'' . Разность показаний этих счетчиков давала некоторую величину, пропорциональную разности энергии ΔW_τ на выходе каждого фильтра в удобной для дальнейшей обработки цифровой форме.

Для более детального анализа колебаний с магнитной записи в полосе 4 Гц использовалась схема, изображенная на рис. 4, b . Она отличается от схемы рис. 4, a следующим. Фильтры Φ_1, \dots, Φ_{10} были многосвязными, электромеханическими и имели полосу 4 Гц каждый. Счетчики C_1, \dots, C_{10} были подключены прямо к пороговым устройствам, а подаваемое на фильтры колебание прерывалось с периодом манипуляции сигнала ключом K_1 до фильтров. Последние изменения

были сделаны в связи с тем, что в данном случае время нестационарного процесса в фильтрах Φ_1, \dots, Φ_{10} было соизмеримо с периодом манипуляции.

При воспроизведении магнитных записей ключ K_1 замыкался в одни отрезки времени (одиночная штриховка на рис. 3), а в остальное время был разомкнут. Таким образом, счетчики C отсчитывали величину, определяемую энергией W' . Затем та же запись на магнитной ленте воспроизводилась второй раз, причем задержка τ увеличивалась на $T/2$. В этом случае ключ K_1 оказывался замкнутым на отрезки времени, заштрихованные дважды (см. рис. 3), и счетчики отсчитывали величину, определяемую энергией W'' . После этого определялась разность (1).

Если момент времени $t_0 + \tau$ соответствовал фактическому моменту прихода серии отраженных сигналов, то ключ в первом случае оказывался замкнутым во время прихода сигнала, и показания счетчиков C определялись суммарной энергией сигнала и шума. Во втором случае ключ оказывался замкнутым во время пауз, и сигнал на фильтры не поступал. Таким образом, показания счетчиков определялись энергией шума. Разность (1) при такой задержке τ была максимальна и равна энергии сигнала.

Чувствительность радиолокационной установки по потоку мощности при круговой поляризации сигнала в режиме амплитудной манипуляции, времени накопления 5 мин при отношении сигнал/шум на выходе анализатора, равном единице, составляла: с фильтрами 60 Гц $5 \cdot 10^{-23}$ Вт/м²; с фильтрами 4 Гц $1 \cdot 10^{-23}$ Вт/м².

Более подробное описание анализатора и его характеристики приведены в [4].

4. Ввод поправки на эффект Доплера

Ввод поправки на влияние эффекта Доплера осуществлялся вручную при помощи генератора колебаний низкой частоты типа 641. Этот генератор позволяет плавно менять частоту в пределах 0–5 кГц при точности лучше 1 Гц. Для перекрытия полного диапазона поправок Δf_d от –65 до +65 кГц служат «подставки», следующие через 5 кГц. Блок-схема получения подставок, сложения их с частотой плавного генератора и переноса на стабильную частоту, поступающую в передатчик, а также осуществления частотной манипуляции сигнала изображена на рис. 5.

Частотные подставки образуются путем фильтрации гармоник колебаний стабильной частоты 5 кГц. Как видно из рис. 5, ограничением и дифференцированием в блоках УО и ФЦ из этих колебаний формируются узкие однополярные импульсы с частотой повторения 5 кГц. Длительность импульсов выбрана около 5 мксек с тем, чтобы в диапазоне до 60 кГц амплитуда гармоник $5n$ кГц была примерно по-

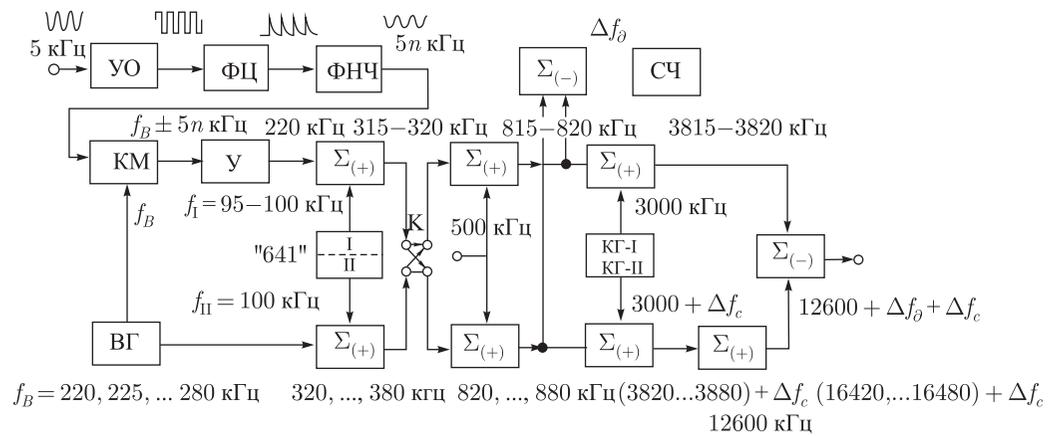


Рис. 5. Блок-схема устройства, вносящего поправку на эффект Доплера: УО — усилитель-ограничитель; ФЦ — формирующая цепь; ФНЧ — фильтр нижних частот; КМ — кольцевой модулятор; ВГ — вспомогательный гетеродин; У — узкополосный усилитель; КГ — генератор, стабилизированный кварцем; СЧ — счетчиковый частотомер; $\Sigma_{(+)}$ — смеситель с выделением верхней боковой полосы; $\Sigma_{(-)}$ — смеситель с выделением нижней боковой полосы; К — ключ

стоянной. Выше 60 кГц спектр импульсов срезается фильтром нижних частот (ФНЧ).

Фильтрация гармоник производилась по принципу супергетеродинного приема на постоянной частоте. Для этого колебания вспомогательного гетеродина $BГ$ модулировались в кольцевом модуляторе $КМ$ полученной последовательностью импульсов. С выхода кольцевого модулятора колебания поступали в узкополосный усилитель $У$ (ширина полосы пропускания около 1 кГц), настроенный на частоту 220 кГц. Изменяя параметры контура, можно было менять частоту гетеродина $BГ$ ступенями по 5 кГц в диапазоне 220–280 кГц. При этом в полосу пропускания узкополосного усилителя попадала одна из составляющих нижней боковой полосы модулированных колебаний, удовлетворяющая равенству $f_b(n) - 5n = 220$ кГц. Остальные составляющие на выходе усилителя в сильной мере ослаблялись. Ввиду того что частота вспомогательного гетеродина f_b в дальнейшем исключается, нестабильность его частоты в известных пределах не играла роли.

Низкочастотный генератор типа 641, примененный для плавного изменения частоты, использует принцип биений. Он состоит из двух генераторов; частота одного из них (I) изменяется в пределах $f_I = 95$ – 100 кГц, а второй (II) имеет постоянную настройку $f_{II} = 100$ кГц. Как показано на рис. 5, колебания генератора I смешиваются в смесителе Σ с колебаниями, поступающими с выхода узкополосного усилителя $У$, а колебания генератора II — с колебаниями вспомогательного гетеродина $BГ$. Разность частот колебаний на выходе смесителей равна величине поправки на эффект Доплера. Далее частота колебаний в обоих каналах последовательно повышалась на 500 и 3000 кГц. Колебания частоты 3000 кГц получались от двух независимых термостатированных генераторов $КГ-I$ и $КГ-II$, стабилизированных кварцем. При работе передатчика с частотной манипуляцией частота колебаний, добавляемых в нижний канал, периодически изменялась на $\Delta f_c = 420$ Гц. Частотная манипуляция осуществлялась при помощи полупроводникового диода, включенного последовательно с резонатором генератора $КГ-II$. Емкость этого диода зависит от величины запирающего напряжения, периодически изменяемого колебаниями делителя D (рис. 2).

После добавления в нижний канал стабильной частоты 12 600 кГц на выходе последнего смесителя образуется разность частот обоих каналов; при этом исключаются нестабильная частота гетеродина $BГ$, частота 500 кГц и общие значения частот генераторов 641 и $КГ-I$, $КГ-II$. Изменение знака поправки Δf_d на эффект Доплера производилось ключом K , который менял местами включение обоих каналов. На выходе схемы частота колебаний равна

$$12\,600\,000 \pm [5\,000n + (0 - 5000)] + (0 \text{ или } 420) \text{ Гц.} \quad (2)$$

Ряд дальнейших преобразований в передатчике позволил повышать это значение до частоты несущей.

Установленное значение поправки на эффект Доплера контролировалось при помощи электронного счетчикового частотомера *СЧ*, на который поступали колебания разностной частоты обоих каналов, как показано на рис. 5. Описанная система ввода поправки на эффект Доплера обеспечивала точность ввода до 1 Гц.

Все колебания, необходимые для формирования излучаемого сигнала, для ввода подставок через 5 кГц, а также для гетеродинов приемника, получались от высокостабильного эталонного генератора путем деления, умножения и смещения его основной частоты.

5. Приемное устройство и магнитная запись

Приемный тракт, блок-схема которого (без усилителя высокой частоты и первого преобразователя) изображена на рис. 6, имел постоянную настройку благодаря тому, что доплеровское смещение частоты компенсировалось при передаче. Основное усиление сигнала, частота которого после первого смесителя составляла $\sim 19,4$ МГц, велось при помощи коротковолнового приемника, к которому подводились стабильные частоты гетеродина. Далее следовали еще два преобразователя, после которых частота сигнала снижалась до 750 Гц. Ширина полосы пропускания приемника, определяемая полосовым фильтром *ПФ-II*, была около 700 Гц.

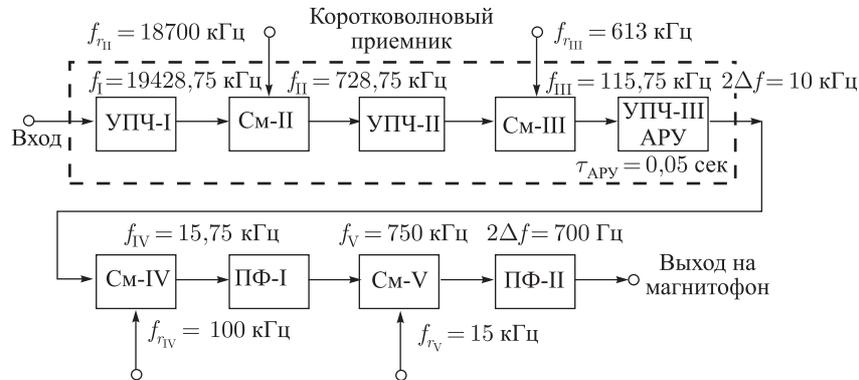


Рис. 6. Блок-схема приемного тракта: *УЧ* — усилитель промежуточной частоты; *См* — смеситель; *ПФ* — полосовой фильтр

Постоянный средний уровень шума на выходе, необходимый для нормальной работы анализатора, поддерживался при помощи автоматической регулировки усиления. Постоянная времени схемы АРУ была 0,05 сек. Чтобы действие схемы АРУ не вызывало демодуляции сигнала, полоса пропускания коротковолнового приемника до детектора АРУ была выбрана равной 10 кГц.

Для того чтобы гармоники гетеродинов не оказались в полосе частот, пропускаемых приемным трактом, частоты гетеродинов были выбраны кратными 1 кГц, тогда как значения частоты принимаемого сигнала и всех промежуточных частот оканчивались на 750 Гц. Благодаря такому выбору частот, несмотря на 5 частотных преобразований, в приемнике не потребовались какие-либо специальные меры борьбы с гармониками гетеродинных и других вспомогательных частот.

Ввиду того что полоса частот на выходе коротковолнового приемника получилась относительно широкой (от 400 до 1100 Гц) и гармоники составляющих шума из области нижних частот могли оказаться в пределах этой полосы, особое внимание было уделено линейности амплитудной характеристики последнего смесителя S_m-V , выполненного по кольцевой схеме, и следующего за ним тракта.

Сигналы с выхода коротковолнового приемника вместе с колебанием частоты 2000 Гц поступали на вход усилителя записи студийного магнитофона типа МЭЗ-28. Для питания ведущего синхронного электродвигателя магнитофона служил генератор, стабилизированный кварцем и имевший делитель частоты и усилитель мощности. В целях исключения погрешностей записи из-за растяжений магнитной ленты и т. д. скорость движения ее при воспроизведении можно было регулировать путем изменения частоты питающего напряжения ведущего электродвигателя. Для этого использовалось записанное на ленте колебание частоты 2000 Гц, которое сравнивалось с колебанием той же частоты от стабильного источника.

6. Работа хронизатора

Включение манипуляции при передаче, подача колебания частоты 2000 Гц на магнитную запись через определенный интервал времени, выключение передатчика и перевод антенны из режима передачи в режим приема производились при помощи хронизатора, блок-схема которого изображена на рис. 7. Основными элементами хронизатора являются счетчик числа секунд $СЧС$, шаговое реле $ШР$ и счетчик числа полумиллисекунд $СЧМ$. На хронизатор поступают короткие импульсы, следующие через 1 мин, 1 сек и 0,5 мсек. Передний фронт минутных, секундных и полумиллисекундных импульсов совпадает по времени и точно привязан к астрономическому времени.

Начало передачи происходит в момент, соответствующий определенной минуте. При нажатии кнопки $Кн$ пропускается ближайший минутный импульс, который замыкает ключи $К_6$ (рис. 7) и $К_2$ (рис. 2). Ключ $К_2$ включает делитель $Д$ колебания которого начинают манипулировать сигнал через ключ $К_1$ (рис. 2).

Через ключ $К_6$ и коммутатор $К_7$ секундные импульсы поступают на счетчик числа секунд $СЧС$, как показано на рис. 7. В качестве этого счетчика используется электромагнитное реле счета импульсов, которое позволяет отсчитывать любое число импульсов в пределах от 0

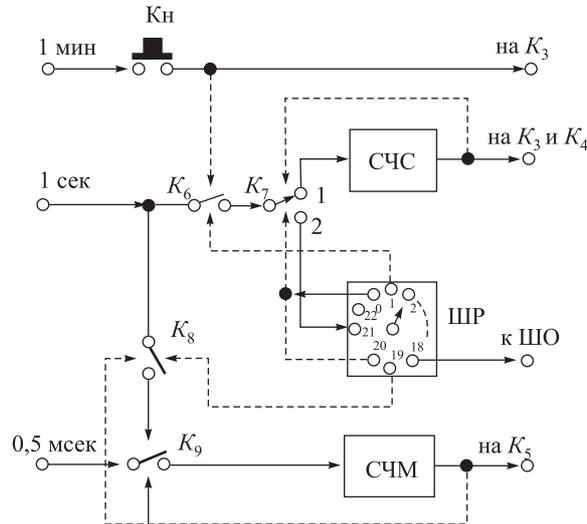


Рис. 7. Блок-схема хронизатора: СЧС — счетчик числа секунд; ШР — шаговое реле; СЧМ — счетчик числа полумиллисекунд; Кн — кнопка, при нажатии которой пропускается ближайший минутный импульс, включающий манипуляцию сигнала; К₆, К₈, К₉ — ключи; К₇ — коммутатор

до 675. Отсчитав заданное число секунд импульсов, счетчик выдает импульс, перебрасывающий коммутатор К₇ из положения 1 в положение 2, и возвращается в первоначальное положение. От этого же импульса выключается передатчик, антенна подключается к приемнику (ключи К₃, К₄, рис. 2) и изменяется поляризация.

Теперь секундные импульсы поступают на шаговое реле ШР, имеющее 24 положения. Спустя 19 сек после начала счета это реле выдает импульс, от которого замыкается ключ К₈, пропускающий следующий секундный импульс на реле, замыкающее ключ К₉. Число секунд импульсов, отсчитанных счетчиком числа секунд, и 20 сек, определяемых шаговым реле, составляют в сумме целое число секунд расчетного времени распространения сигнала от Земли до Венеры и обратно.

Последний секундный импульс, пройдя через ключ К₈, замыкает ключ К₉, пропускающий полумиллисекундные импульсы на счетчик числа полумиллисекунд СЧМ. Этот счетчик состоит из 12 двоичных ячеек и позволяет отсчитывать до 2048 импульсов. По окончании счета полумиллисекундных импульсов выдается импульс, от которого замыкается ключ К₅ (рис. 2), включающий колебание частоты 2000 Гц на магнитную запись, и размыкаются ключи К₈ и К₉, прекращающие подачу импульсов на счетчик СЧМ. Этот импульс соответствует расчетному моменту прихода отраженных сигналов и началу приема. Начало приема отделено от конца передачи паузой около 20 сек, определяемой временем работы шагового реле ШР.

Продолжая работать дальше, шаговое реле в положении 20 выдает импульс, подающий вновь секундные импульсы через коммутатор K_7 на счетчик $СЧС$, и в этом положении останавливается. Повторный счет секунд задает время приема. В конце повторного счета секунд коммутатор K_7 снова переключается в положение 2, а шаговое реле досчитывает число импульсов до 24. В положении 24 (нулевым) выдается импульс на ключ K_6 , прекращающий подачу секундных меток, а коммутатор K_7 возвращается в положение 1, и схема оказывается в первоначальном положении.

В положении 18 реле $ШР$ выдает импульс на включение шлейфового осциллографа $ШО$, регистрирующего момент подачи на магнитную запись колебания частоты 2000 Гц. Этот осциллограф имел скорость протяжки 250 мм/сек и включался на 6 сек. Для регистрации момента начала передачи и контроля работы делителя D (рис. 2) шлейфовый осциллограф включался также в начале сеанса (при нажатии кнопки $Кн$). Второй шлейфовый осциллограф работал непрерывно в течение всего сеанса при скорости протяжки 2 мм/сек. На нем записывались колебания, выдаваемые делителем D , и временные интервалы на время работы счетчика числа секунд.

7. Обработка результатов наблюдений

Предварительный анализ отраженных сигналов проводился во время приема. Анализирующее устройство подключалось непосредственно к выходу приемника (точка A , рис. 2), параллельно записи на магнитную ленту. При помощи анализатора с фильтрами, полоса пропускания которых равнялась 60 Гц, были обнаружены отраженные сигналы в широком спектре (несколько сот герц). По этому широкому спектру предварительно определялась астрономическая единица и оценивался период вращения Венеры. Результаты этого анализа были опубликованы в газетах [1].

Полный анализ сигналов, отраженных от Венеры, производился после окончания всех радиолокационных наблюдений с магнитных записей. Для этого анализа были отобраны сеансы, в которых вся аппаратура работала нормально. Проверка работы аппаратуры производилась по осциллограммам контроля точности работы аппаратуры во времени и по рабочим журналам операторов.

Результаты обработки радиолокационных наблюдений планеты Венеры приведены в статье [3].

Литература

1. Газеты «Правда» и «Известия» от 12 V 1961.
2. V. A. Kotelnikov, Radar contact with Venus, J. Brit. Instn Radio Engrs, 1961, 22, 4, 293.

3. В. А. Котельников, В. М. Дубровин, В. А. Морозов, Г. М. Петров, О. Н. Ржигина, З. Г. Трунова, А. М. Шаховской, Результаты радиолокации Венеры в 1961 г., Радиотехника и электроника, 1962, 7, 11, 1860.
4. В. А. Морозов, З. Г. Трунова, Анализатор слабых сигналов, использовавшийся при радиолокации Венеры в 1961 г., Радиотехника и электроника, 1962, 7, 11, 1882.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР

Поступила в редакцию 15 VI 1962