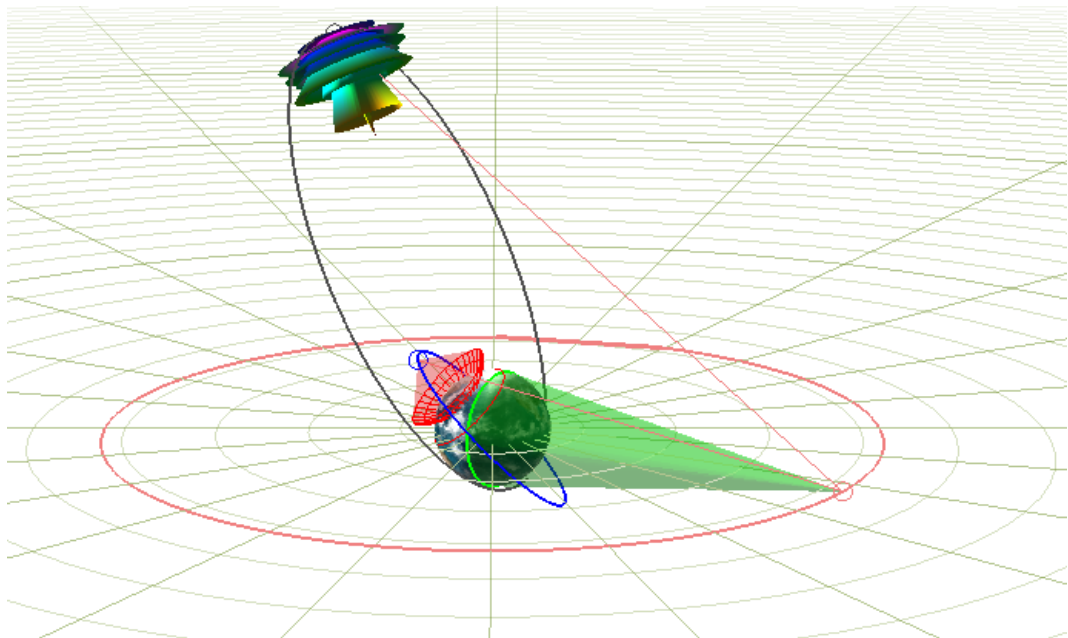


## Лабораторный практикум

### Космические радиотехнические системы

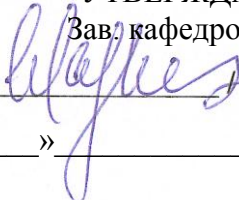


Томск

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем  
(РТС)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой РТС  
  
Шарьгин Г. С.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

**Изучение запросного измерения дальности в  
космических РТС**

Методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу «Космические системы» для студентов радиотехнических специальностей

Разработчик:  
доцент кафедры РТС  
А.А. Мещеряков

Томск 2011

## Содержание

1. Введение.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
2.1. Методы дальнометрии при непрерывном сигнале.....	4
2.2. Применение линейных рекуррентных цифровых последовательностей при фазовой манипуляции.....	6
3. Описание КИРС-12.....	8
3.1. Назначение.....	8
3.2. Технические данные.....	9
3.3. Состав.....	10
3.4. Принцип работы.....	13
3.5. Режимы измерения дальности.....	17
3.5.1. Режим измерения Д2 (стойка РУ150) .....	17
3.5.2. Режим измерения Д1 (стойка РУ029М) .....	23
3.6. Каналы измерения дальности в режиме Д1 (стойка РУ029) .....	27
3.6.1. Грубый канал измерения дальности .....	27
3.6.2. Точный канал измерения дальности.....	34
4. Контрольные вопросы.....	37
5. Задание на работу.....	38
6. Содержание отчета.....	39
Рекомендуемая литература.....	39

## 1. Введение

Лабораторная работа предназначена для студентов радиотехнических и направлена на изучение запросных методов измерения дальности в космических радиосистемах.

## 2. Теоретическая часть

### 2.1. Методы дальнометрии при непрерывном сигнале

Основным методом современной дальнометрии является метод, иногда называемый методом сжатия сигнала. Метод изначально был введен для импульсных сигналов и использовал два вида модуляции сигналов:

- внутриимпульсная ЧМ со сжатием сигнала на ПЧ или ВЧ;
- дискретная ФМ со сжатием импульса на ПЧ.

Для увеличения средней мощности излучения импульсы могут быть значительно расширены, в пределе сигнал может излучаться непрерывно, так что образуется дальномер с непрерывным излучением. В этом случае используется второй вариант модуляции сигналов, т.е. выполняется фазовая модуляция (манипуляция) повторяющейся кодовой последовательностью из  $N$  символов, а дальномер носит название дальномера с кодированными сигналами. Такой измеритель имеет большие пределы однозначного определения дальности в сочетании с высокой разрешающей способностью по дальности. Кроме того, эта система обладает большой средней мощностью излучения. К недостаткам радиодальномеров с кодированным сигналом относится большое необходимое время интегрирования сигнала, что делает их непригодными для работы в режиме поиска или в условиях, когда необходима большая скорость обзора.

Упрощенная функциональная схема радиодальномера с кодированными сигналами изображена на рис. 2.1. Хронизатор 1, определяющий частоты кодовых сигналов, возбуждает генераторы кода 2 и 3, в цепь одного из которых введен регулируемый фазовращатель 4. Сигналы генератора кода 2 подаются на фазовый модулятор 5, который модулирует сигнал генератора несущей частоты 6. Модулированный по фазе сигнал проходит через переключатель прием-передача 7 и излучается антенной 8.

Сигналы генератора опорного кода 3 вместе с маломощным сигналом несущей частоты от генератора 6 поступают на модулятор 9. Фазовращатель 4 осуществляет непрерывный поворот фазы и за один оборот вносит задержку в сигнал опорного генератора, равную длительности одного кодового знака.

Принятый сигнал и опорный сигнал с выхода модулятора 9 подаются на корреляционный приемник 10.

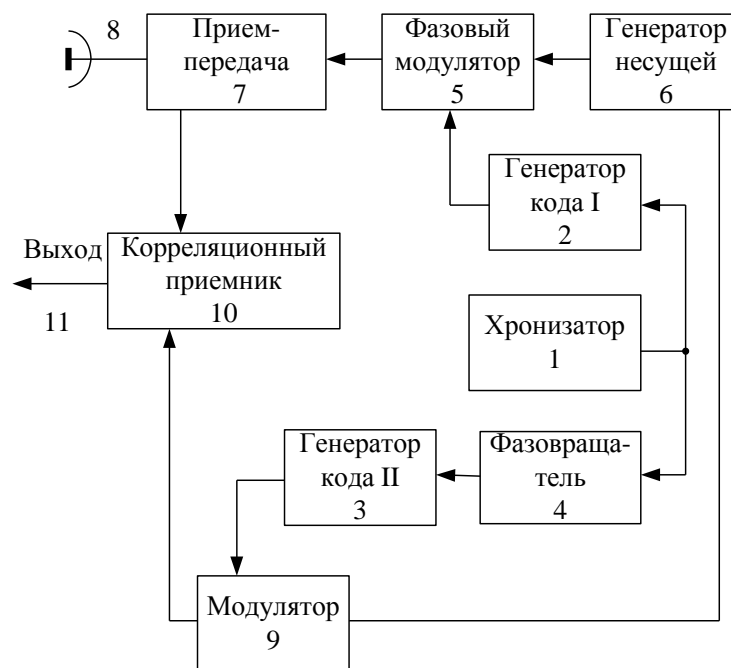


Рис. 2.1. Упрощенная функциональная схема дальномера с кодированными сигналами

Если опорная кодовая последовательность задержана точно на время, соответствующее времени распространения сигнала до цели и обратно, то сигнал на выходе корреляционного приемника будет представлять собой автокорреляционную функцию кода.

Желательно, чтобы автокорреляционная функция кода имела узкие, четко выраженные максимумы, а вне максимумов была близка к нулю. Кроме того, расстояние между соседними максимумами этой функции во времени должно соответствовать максимальной дальности действия дальномера.

Изучение функции неопределенности показало, что наилучшим видом сигнала являются псевдослучайные или псевдошумовые бинарные коды, образуемые последовательностью знаков «+1» и «0» или «+1» и «-1».

Формирование псевдослучайных последовательностей (ПСП) легко осуществить с помощью регистров сдвига, представляющих собой несколько двоичных запоминающих элементов или ряд схем с двумя устойчивыми состояниями. Регистр сдвига обладает способностью перемещать знак, запомненный в одном элементе, в соседнюю ячейку путем подачи сдвигового или тактового импульса. Схема цепей обратной связи рассчитывается таким образом, чтобы получить рекуррентную последовательность максимальной длины при данном числе  $m$  каскадов.

Вторым методом, пригодным при непрерывном сигналах, является фазовый метод с известными его достоинствами и недостатками.

## 2.2. Применение линейных рекуррентных цифровых последовательностей для фазовой манипуляции непрерывного сигнала

Фазовая манипуляция должна производиться по определенному правилу в соответствии с некоторой последовательностью цифр: двоичной (цифры  $q = 0, 1$ ), троичной (цифры  $q=0, 1, 2$ ), десятичной (цифры  $q = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ ) и в общем случае  $p$ -ричной (цифры  $q=0, 1, \dots, p-1$ ).

Каждой цифре  $q$  можно поставить в соответствие определенный сдвиг фазы  $\phi_q$ .

В частности, можно полагать, например

$$\phi_q = \frac{2\pi}{p} q. \quad (2.1)$$

При этом, если  $p = 2$ , то возможными фазовыми сдвигами будут, например, 0 и  $\pi$ , что эквивалентно умножению радиосигнала на «+1» или «-1».

Если  $p > 2$ , то манипуляция будет многофазной. Задача получения шумоподобного фазоманипулированного колебания сводится при этом к построению в достаточной мере хаотичной последовательности цифр  $q_j (j=1, 2, \dots)$ .

Цифровая последовательность называется рекуррентной, если по любым заданным  $m$  последовательным ее элементам можно найти следующий  $(m+1)$ -ый элемент, пользуясь одним и тем же правилом. Тогда это правило может быть последовательно (рекуррентно) использовано для получения  $(m+2)$ -го  $(m+3)$ -го и т.д. элементов последовательности.

Рекуррентная последовательность называется линейной, если для нахождения какого-либо ее элемента используются линейные операции сложения и умножения предыдущих цифр на постоянную величину. При этом операции сложения и умножения цифр ведутся «по модулю  $p$ », чтобы их результат содержал только одну цифру  $p$ -ричной системы единиц.

Последовательность цифр, заданная уравнением:

$$q_j = k_q \cdot q_{j-1} + k_q \cdot q_{j-1} + \dots + k_q \cdot q_{j-1} (\text{mod } p) \quad (2.2)$$

является линейной рекуррентной цифровой последовательностью. Получение этой последовательности может быть осуществлено по схеме (рис. 2.2), где изображена линия задержки с отводами (или соответствующий цифровой регистр), умножители «по модулю  $p$ », включенные в отводы, и сумматор «по модулю  $p$ ».

Если на вход линии подать сомкнутую последовательность видеоимпульсов, амплитуды которых соответствует цифрам  $q_1, q_2, \dots, q_m$ , а длительность импульсов  $\tau_0$  соответствует времени задержки между отводами, то в момент времени, когда все импульсы войдут в линию задержки, на выходе сумматора образуется импульс с

амплитудой  $q_{m+1}$ . Подсоединив выход сумматора к входу линии задержки, можно последовательно получить импульсы с амплитудами  $q_{m+2}$ ,  $q_{m+3}$  и т.д.

Если  $p = 2$ , то умножение на коэффициент  $k_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), т.е. на «0» или «1», означает отсутствие или наличие подключения  $i$ -го отвода к сумматору.

Поскольку число цифр и отводов ограничено, в процессе формирования последовательности наступает определенная повторяемость. В самом деле, число возможных вариантов цифр, поступающих на каждый умножитель, равно  $p$ . Значит число комбинаций этих цифр будет  $p^m$ . Из этого числа должна быть исключена чисто нулевая комбинация. Таким образом, максимальная длина неповторяющейся последовательности цифр (максимальный период последовательности) будет  $N = p^m - 1$ . В частности, при  $p = 2$  для  $m = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$  и т.д. соответственно  $N = 3, 7, 15, 31, 63, 127, 255, 511, 1023$  и т.д.

Максимальная длина последовательности обеспечивается при определенном подборе коэффициентов  $k_1, k_2, \dots, k_m$ .

Для двоичных последовательностей это означает лишь определенный порядок подключения отводов к сумматору.

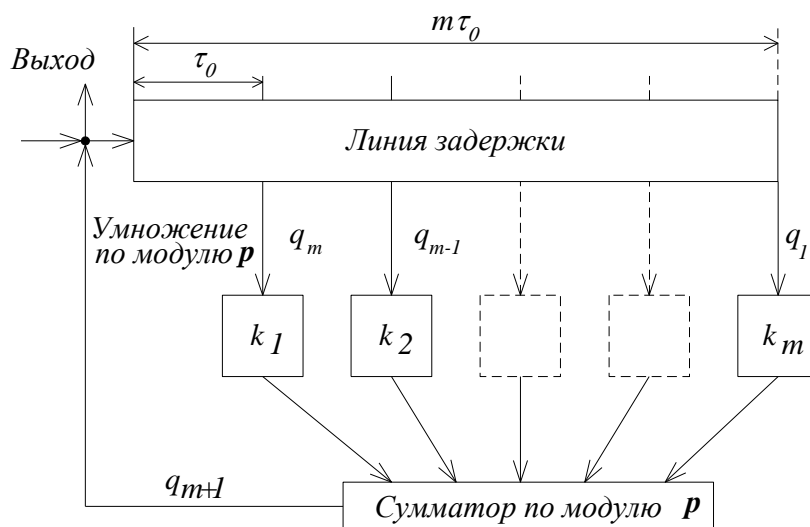


Рис. 2.2. Схема генерирования  $p$ -ричной рекуррентной последовательности

Ниже рассмотрим построение генератора двоичной рекуррентной последовательности при  $m = 5$ ,  $N = 31$ ,  $x = 6$ .

Для этой последовательности коэффициенты  $k_1, k_2, \dots, k_m$  выражаются комбинациями: 10010, 10111, 11011 и зеркальными им комбинациями. По схеме (рис. 2.3) нетрудно определить рекуррентную последовательность. Начальная комбинация цифр  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  может быть любой (но не чисто нулевой), поскольку в каждом периоде последовательности содержатся все возможные комбинации.

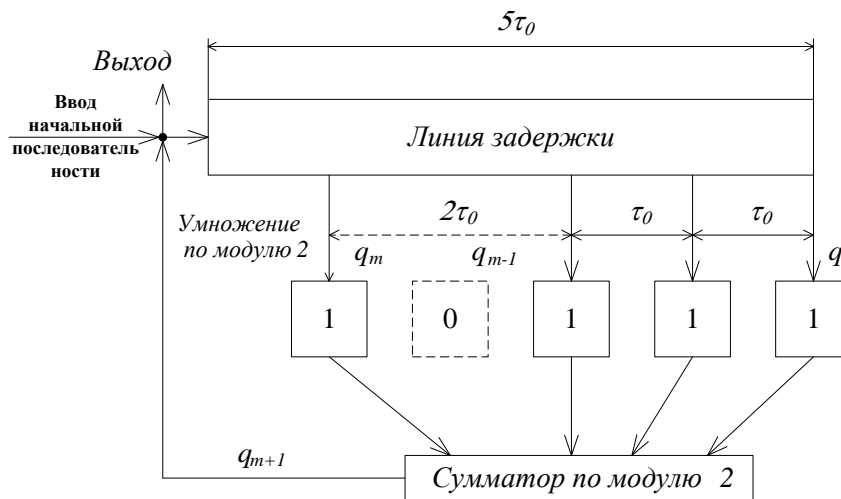


Рис. 2.3. Схема генерирования двоичной рекуррентной последовательности ( $m=5, N=31, x=6$ )

Допустим, начальная последовательность представляет собой «11111», тогда два периода нашей последовательности будут иметь вид:

...**11111**'01000'10010'10110'00011'10011'**011111**'01000'10010'10110'00011'10011'0...

Видим, что наш код действительно имеет период повторения равный 31 символу.

### 3. Описание контрольно-испытательной станции КИРС-12

#### Назначение

Контрольно-испытательная радиостанция КИРС-12 является универсальной аппаратурой, предназначенной для проведения автономных и комплексных испытаний бортовых приборов систем КИРС.

Под автономными проверками понимаются проверки как комплекта бортовых приборов КИС без взаимодействия их с другими системами, составляющими комплекс аппаратуры бортовых систем, так и отдельных частей комплекта.

Под комплексными проверками понимаются проверки комплекта бортовых приборов КИС при взаимодействии их с другими системами, как на расстыкованном, так и на состыкованном объекте.

КИРС-12 обеспечивает возможность проверки работы аппаратуры на всех поднесущих частотах.

Испытания бортовых приборов с помощью КИРС-12 могут производиться:

- а) На заводе-изготовителе бортовых приборов, как заключительная стадия проверок бортовых приборов;
- б) На заводе-изготовителе объекта, где проводятся, как автономные, так и комплексные испытания бортовых приборов, установленных на объект;



- в) На технической позиции при подготовке объекта к пуску;
- г) В хранилищах при периодических проверках приборов в процессе хранения.

### **3.2. Технические данные**

С помощью комплекта КИРС-12 возможно проведение следующих испытаний:

- проверка прохождения разовых команд при работе с бортовой аппаратурой 11P37;
- проверка прохождения разовых команд в открытом режиме с приборами РА104;
- закладка информации временной программы (ВП) с 11P37;
- закладка информации временной программы (ВП) без 11P37;
- проверка правильности воспроизведения заложенной информации;
- проверка работы бортовой аппаратуры на всех литерях несущих и модуляционных частот;
- проверка чувствительности бортового приемника;
- контроль над состоянием приборов бортовой аппаратуры;
- автоматическое режимное переключение приборов КИРС-12 по исполнению разовой команды;
- имитация системы БХВ (блок-хранитель времени) в части обеспечения необходимых сеток частот;
- частичная имитация телеметрической системы (в части проверки прохождения через радиоканал телеметрической информации);
- включение и выключение напряжения питания бортовых приборов;
- контроль величины бортового напряжения;
- проверка бортового программного устройства (ЮА020);
- работа в режиме измерения дальности.

Аппаратура КИРС-12 обеспечивает проверку работы всех входящих в ее состав приборов в режиме самопроверки.

Для оперативного определения неисправности бортовых приборов и для обеспечения работы без излучения в эфир в КИРС-12 предусмотрены следующие технологические режимы работы:

- Работа без передатчика КИРС-12 и приемника РА134 в режиме «ЗАПРОС1» и «ЗАПРОС2»;
- Работа без передатчика РА 135 и приемника КИРС-12.

### 3.3 . Состав

Аппаратура размещается в 20 стойках различного размера и веса и состоит из двух дублирующих полукомплектов как совмещенных в одной, так и разнесенных по нескольким стойкам. Схема штатного расположения стоек в рабочем помещении представлена на рис. 3.1, где обозначено:

- ◆ ДК-231 - пульт управления КИРС-12, рабочее место оператора;
- ◆ ДК-228 - запросный передатчик для комплексной проверки бортовой аппаратуры в сантиметровом диапазоне волн. В стойку входят:

блок ДК-228-01 - формирователь сигнала запросной и ответной частот,

блок ДК-228-02 - высоковольтное питание и контроль,

блок ДК-228-03 - блок питания,

блок ДК-228-04 - блок питания,

аттенюаторы,

полосовые фильтры,

высокочастотный (в/ч) разветвитель мощности (щелевой мост),

проходные фильтры;

- ◆ ДК-199 - полуподвижная рама для размещения приборов: в/ч комплекта (ДК-203), хронографа и самописца;

- ◆ ДК-229 - приемное устройство, шифратор и дешифратор запросных сигналов, измеритель. В стойку входят блоки, выполняющие следующие функции:

прием в/ч сигналов борта,

измерение индекса фазовой модуляции запросного и ответного сигналов,

формирование напряжения модуляции запросного сигнала,

формирование и анализ телеметрии (в режиме автономной проверки);

- ◆ РУ-051М - приемная стойка;

- ◆ РУ-150 - формирователь и анализатор сигналов псевдошумовой последовательности и измерения фазовой задержки по дальности в режиме Д2 в составе:

формирователь 9 ПСП (1023 символа, тактовая частота ~ 1 МГц),

коррелятор,

блок выделения информации о дальности;

- ◆ РУ-029М – низкочастотная (н/ч) часть приемного устройства для выделения сигнала, несущего информацию о дальности в режиме Д1. Стойка обеспечивает:

формирование запросного сигнала дальности путем фазовой модуляции поднесущей частоты,

автономную проверку блоков, входящих в состав канала измерения дальности,

контроль фазовых сдвигов в аппаратуре и флуктуации сигнала дальности;

◆ РУ-047 - хронизатор, синтезатор опорных частот и сигналов;

◆ РУ-130 - стойка питания прибора РУ047;

◆ ДК-176 - имитатор хронизатора (н/ч), формирование и выдача разовых команд (РК), коммутатор режимов работы других приборов;

◆ ДК-175 - стойка формирования, выдачи и анализа ВП;

◆ ДК-211 - стойка питания прибора ДК175;

◆ ДК-174 - стойка формирования кода времени, имитация временных уставок и их считывание;

◆ ДК-164 - стойка включения и питания приборов КИРС;

◆ ДК-198 - корпус для размещения приборов ДК232, ДК194, ЛЗ15-1, ДК195, ДК212 и рамы с бортовыми приборами при проведении автономных проверок:

ЛЗ15-1 - блок питания борта,

ДК-194 - фильтры бортового питания,

ДК-195 - высокочастотный коммутатор запросного и ответного тракта антенны,

ДК-212 - прибор для управления ДК195 (усилитель тока переключателей),

ДК-232 - выносной блок согласования НЧ сигналов КИРС-12 с объектом проверки (как переходная коробка);

◆ ДК-203 - высокочастотный переключатель;

◆ ДК-233 - комплект кабелей для соединения приборов станции КИРС-12 между собой и приборами объекта.

Кроме перечисленных стоек КИРС-12 комплектуется двумя стойками (ДК-244 и ДК-245) с некоторыми запасными блоками для всей аппаратуры.

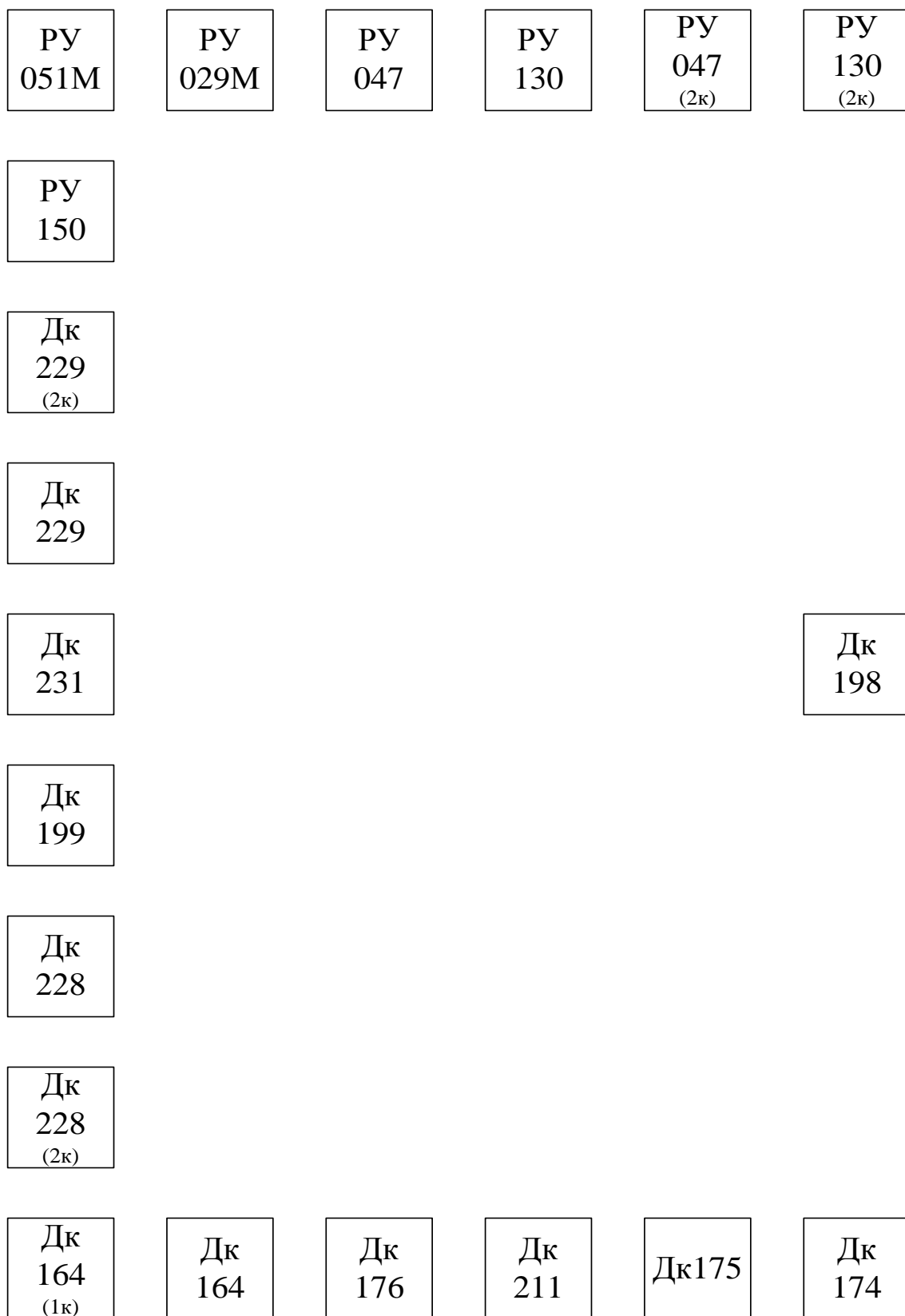


Рис. 3.1. Схема штатного расположения стоек аппаратуры КИРС-12

### 3.4. Принцип работы

Формирование опорных высокочастотных сигналов, необходимых для работы КИРС-12, происходит в приборе РУ047. Исходным сигналом является опорный сигнал с частотой  $\sim 6$  МГц, который поступает в прибор РУ047 с КИА-БХВ (контрольно-испытательная аппаратура блок-хранителя времени).

При отсутствии КИА-БХВ используется внутренний генератор стойки РУ047.

Стойка РУ047 обеспечивает выдачу сетки следующих опорных частот на всех литеррах:

$f_{on.zan}$  – сигнал опорной частоты для формирования выходного сигнала наземного радиопередающего устройства;

$f_{on.zem}$  – сигнал опорной частоты для формирования сигнала гетеродина наземного радиоприемного устройства.

В режиме самопроверки изменение литеры несущей частоты осуществляется непосредственно с пульта ДК231 на схему управления стойки ДК176.

Сформированный в приборе РУ047 сигнал  $f_{on.zan}$  поступает на блок ДК229-02. В блоке ДК229-02 этот сигнал размножается и поступает на стойку ДК228.

В стойке ДК228 сигнал  $f_{on.zan}$  разветвляется на формирование двух сигналов  $f_{zan}$  и  $f_{omv}$ . Для формирования  $f_{omv}$  сигнал  $f_{on.zan}$  поступает в умножитель на 3, далее проходит через фазовый модулятор ФМ1 и поступает в умножитель, где умножается 2 раза на 6. Далее в тракте стоят два фазовых модулятора на ферритах ФМ2 и ФМ3. С модулятора ФМ3 сигнал  $f_{zan}$  приходит на переключатель «РЕЖИМ» и далее на смеситель  $\Sigma$ . Кроме того, для формирования  $f_{omv}$  сигнал  $f_{on.zan}$  подается одновременно на умножители на 20 и на 24, после чего оба умноженных сигнала складываются в смесителе  $\Sigma^+$ . После этого суммированный сигнал подается на смеситель  $\Sigma$ , куда в режиме самопроверки приходит сигнал  $f_{zan}$ . Разностный сигнал с частотой  $f_{omv}$  измеряется прибором «УРФ $_{omv}$ » и подается на выход стойки ДК228. С выхода стойки ДК228 ответный сигнал  $f_{omv}=64f_{on.zan}$  через мост, направленный ответвитель, поступает в прибор ДК203. Из прибора ДК203 сигнал поступает в стойку ДК229 блок РУ036М-05 «Вход сигнала» на полосковый смеситель  $\Sigma$ , куда одновременно приходит сигнал гетеродина  $f_{zem1}=64f_{on.zem}$  и  $f_{on.zem}$ .

Сигнал  $f_{on.zem}$  со стойки РУ047 поступает на блок РУ036М-06 «Вход  $F_2$ ». В блоке РУ036М-06 частота сигнала  $f_{on.zem}$  умножается на 64 и с выхода блока «ГЕТЕРОДИН» поступает на смеситель  $\Sigma$  блока РУ036М-05 «ГЕТЕРОДИН». Разностный сигнал промежуточной частоты  $f_{np1}\sim 58\text{МГц}=58\text{МГц}=64(f_{on.zan}-f_{on.zem})=64\Delta$  после усиления его в УПЧ блока РУ036М-05 подается на блок ДК229-02. В блоке ДК229-02 сигнал  $f_{np1}$  размножается, один сигнал через разъем блока Ш2/Ш-2 и разъем стойки ДК229 Ш89

идет на стойку РУ051. Другой сигнал  $f_{np1}$  поступает на смеситель  $\Sigma$ , куда одновременно поступает сигнал  $f_{zem2}=60\Delta$ , сформированный следующим образом.

Сигнал  $f_{on.zem}$  приходит на смеситель блока ДК229-02 со стойки РУ047. На этот же смеситель приходит сигнал  $f_{on.zan}$  с Ш2/1-1. Разностная частота  $f\sim 1,2МГц=\Delta$  умножается на 4 и размножается на 2 канала. По одному каналу сигнал с частотой  $f\sim 4,8 МГц=4\Delta$  поступает на блок ДК229-02. По другому каналу сигнал с  $f=4,8 МГц$  поступает последовательно в умножители на 5 и на 3 и далее на смеситель. Сигнал второй промежуточной частоты  $f_{np2}=64\Delta-60\Delta=4\Delta$  после смесителя усиливается и подается на кварцевый фильтр. Выделенный с кварцевого фильтра сигнал  $f\sim 4,8МГц$  поступает параллельно на схему измерения индекса фазовой модуляции и на блок ДК229-02 и далее на блок ДК229-03, где подается на смеситель  $\Sigma_{cuz}$ . Одновременно на смеситель  $\Sigma_{cuz}$  подается сигнал с кварцевого генератора  $f_{кв}$ , который отличается от частоты сигнала на  $35кГц$ . Разностная частота сигнала  $f_{раз}=35кГц$  со смесителя  $\Sigma_{cuz}$  поступает на формирователь импульсов и через разъем Ш2/П-2 блока ДК229-03 приходит на центральный электрод электронно-лучевой трубки в блок ДК188-03.

В качестве опорного сигнала для определения когерентности используется напряжение с частотой  $(f_{on.zan}-f_{on.zem})\times 4=4,8МГц$ , получаемое с блока ДК 229-02. Этот сигнал поступает на опорный смеситель  $\Sigma_{on}$  с блока ДК229-03. На этот же смеситель подается напряжение с кварцевого генератора с частотой, отличающееся от опорной на  $35кГц$ . Разность напряжений с частотой  $35 кГц$  поступает на формирование круговой развертки ЭЛТ в блок ДК188-03. Этот сигнал в блоке ДК188-03 раздваивается на 2 сдвинутых фазосдвигающей цепочкой относительно друг друга на  $90^\circ$ , и подается на пластины трубки.

По величине размытости импульса на экране индикатора и определяется величина флюктуации сигнала и наличие когерентности.

Для быстрого вхождения в связь с бортовыми приборами в КИРС-12 предусмотрен режим поиска. При нажатии кнопки «ПОИСК ВКЛ.» на блоке ДК231-04 с блока ДК176-11 сетка импульсов с периодом 50 мс идет на стойку РУ047, где подстраиваются кварцевые генераторы. Когда передающая и приемная стойки выйдут в связь с бортом, на блоке РУ051-11 загораются лампочки « $f_{ном}$ », «ФАП», «СД». При этом с блока РУ051-11 на блок ДК176-11 приходит сигнал (корпус) останавливающий сетку импульсов 50 мс. В случае, если изменение частоты происходит не в нужную сторону нажимается кнопка «РЕВЕРС» на ДК231-04. При этом приборы стойки РУ047 меняют знак измерения частоты управляемых кварцевых гетеродинов на обратный, то есть,

если частота генераторов увеличивалась, то после нажатия кнопки «РЕВЕРС» она будет уменьшаться и, после вхождения аппаратуры в связь, поиск отключается.

Запросный сигнал, сформированный(как описано выше) в стойке ДК228 измеряется прибором «УР $F_{зан}$ » и через высокочастотный переключатель и аттенуатор поступает в прибор ДК203, в котором производится переключение в/ч сигналов 1 и 2 комплектов прибора ДК228. Далее сигнал по волноводному тракту поступает на высокочастотный коммутатор ДК195, расположенный непосредственно возле испытываемой бортовой аппаратуры. С ДК195 запросный сигнал идет на одну из двух антенн и с них на борт.

Ответный сигнал с борта с частотой  $f_{омв}$  приходит с антенн на ДК203 и далее на стойку ДК229 в блок РУ036М-05. Далее ответный сигнал проходит по тем же каналам, и проверка фазовых флюктуаций в/ч тракта происходит так же как описано выше.

Для проверки нормальной работы аппаратуры КИРС-12 в режиме самоконтроля используется команда ОРК-1. Для исключения из трактов прохождения сигналов информации «Земля-борт-Земля» приемо-передающей высокочастотной аппаратуры КИРС-12 существует режим прохождения разовых команд по каналам низкой частоты. В частности, имеется возможность исключить в запросном канале передающую часть аппаратуры КИРС-12 (приборы ДК228 и ДК229) и приемную аппаратуру борта (прибор РА134) - режим «Запрос 1 НЧ». Есть также возможность исключить из ответного канала приемную часть аппаратуры КИРС-12 (приборы РУ051 и РУ150) и передающую аппаратуру борта (прибор РА135) - режим «Ответ 1 НЧ».

Для проверки работоспособности бортового дешифратора разовых команд РА095 имеется возможность подавать импульсные сигналы запроса непосредственно на вход прибора РА095 - режим «Запрос 2 НЧ».

### **Работа КИРС-12 с бортовыми приборами в режиме ПШЗ (псевдошумовой запрос)**

В режиме ПШЗ на блоке ДК231-04 кнопками В16 набирается «код запроса ПШ» в зависимости от литеры проверяемой бортовой аппаратуры. Потенциальный сигнал, полученный при этом, поступает в блок РУ150-05 на коммутатор кода.

На блоке ДК189-07 набирается команда 55 или 56 (режим ПШЗ) при работе 1-го или 2-го комплекта бортовой аппаратуры. Разовая команда приходит на бортовой дешифратор.

Далее восьмиразрядный параллельный код команды приходит на бортовую матрицу, откуда поступает команда на включение приборов борта в режиме ПШЗ, а так

же по кабелю через прибор ДК232 на наземную матрицу ДК231-09. С матрицы потенциальный код исполнения передается на индикацию, и так же через блок ДК231-04 поступает на прибор РУ150. При этом в блоке РУ 150-01 сигнал  $\sim 2\text{МГц}$ , поступающий с прибора РУ051М, подается на генератор псевдошумовой последовательности «Генератор РН», куда одновременно поступает управляющий сигнал «код РН», приходящий с коммутатора кода блока РУ150-05. Сигнал «код РН» определяет порядок псевдошумовой последовательности «генератора РН», а также включает лампочки Л1÷Л9 транспаранта «код РН».

Сигнал с генератора поступает на линию задержки, где с помощью переключателей В1 «1 компл. ПРД» и В2 «2 компл. ПРД» выбирается разница в аппаратных задержках передающих устройств 1 или 2 комплектов. С блока РУ150-01 сигнал «ПШ 2МГц» поступает на фазовый модулятор ФМ2 прибора ДК228. По в/ч тракту сигнал запроса промодулированный ПШ поступает на борт, где псевдошумовая последовательность свертывается.

Дальнейшее прохождение сигнала по ответному каналу аналогично описанному выше.

#### **Работа КИРС-12 с бортовыми приборами в режиме ПШЗО (псевдошумовой запрос-ответ)**

В режиме ПШЗО на блоке ДК231-04 при нажатии кнопок переключателя В16 «КОД ЗАПРОСА ПШ» и переключателя В17 «КОД ОТВЕТ. ПШ», набранные коды запроса и ответа поступают в блок РУ150-05 на коммутатор кодов и далее соответственно в блоки РУ150-01 и РУ150-02. На блоке ДК189-07 набирается и выдается команда 57 (Режим ПШЗО).

Разовая команда, пришедшая на борт, переводит бортовые приборы в режим ПШЗО. При этом в бортовом приборе происходит свертка псевдошумовой последовательности запросного сигнала и модуляция ответного сигнала на борту кодом ответной ПШ.

С бортового дешифратора команда исполнения по кабелю через прибор ДК232 приходит на наземную матрицу, с которой выходит потенциальный код на стойку РУ150. На блоках РУ150-01 и РУ150-02 включаются генераторы ПШ.

Ответный сигнал после предварительного УПЧ блока РУ051М-01 приходит на блок РУ150-02, где работает генератор псевдошумов с кодом ответа.

Здесь происходит свертывание ответной псевдошумовой последовательности. Для выделения сигнала модулированного информацией в блок РУ150-02 приходит сигнал 2



гетеродина с прибора РУ051М-02, который одновременно приходит на смеситель РУ051М-01. В режиме ПШЗО выделенный после свертки сигнал поступает в блок РУ051М-01 на смеситель и далее (как описано выше). В режиме измерения Д2 ответный сигнал 2 МГц, выделенный после свертки ПШ поступает на смеситель блока РУ150-03, куда одновременно приходит сигнал 1 МГц, вырабатываемый в этом же блоке. Полученная разность напряжений с частотой  $f \cong 15$  кГц поступает на схему формирования импульсов. Сформированный импульс поступает на центральный электрод ЭЛТ, на экране трубки появляется ответный импульс. Для получения круговой развертки используется напряжение с такой же частотой получаемое из сигнала опоры  $\sim 2$  МГц. По размытости ответного импульса на экране определяется величина флюктуации фазы в/ч тракта, и по шкале трубки собственная фазовая задержка.

Аналогично происходит и измерение дальности в режиме Д1 (стойка РУ-029М), о чем подробнее написано ниже.

### **3.5. Режимы измерения дальности**

Как уже было сказано, аппаратура КИРС-12 обеспечивает работу в режиме измерения дальности. В системе предусмотрено два режима измерения: Д2 и Д1.

#### **3.5.1. Режим измерения Д2 (стойка РУ150)**

Режим измерения Д2 осуществляется в стойке РУ150, которая является частью приемного устройства РУ051-М и предназначена для:

а) формирования любого из 9 широкополосных псевдошумовых кодов длиной  $L = 1023$  символа (с тактовой частотой  $f_m = 2$  МГц) для манипуляции по фазе на  $180^\circ$  сигнала наземного передатчика;

б) корреляционной обработки по первой промежуточной частоте принятого широкополосного сигнала с псевдошумовой манипуляцией на  $180^\circ$  одним из девяти кодов ( $f_m = 2$  МГц;  $L = 1023$  символа);

в) выделения сигналов информации о наклонной дальности  $R$ ;

#### **Описание стойки РУ150**

**В описании приняты следующие обозначения физических величин:**

$PN$  – псевдошумовая последовательность;

$f_{22}$  – частота второго гетеродина

$f_{np1}$  – первая промежуточная частота;

$L$  – длина псевдошумовой последовательности;

$f_m$  – тактовая частота  $PN$  – кода;

$f_0$  – эталонная частота, равная  $\sim 7$  МГц;

$R_{gp}$  – сигнал, несущий информацию о дальности по грубой шкале;

$R_m$  – сигнал несущий информацию о дальности по точной шкале;

$R_{gp.on}$  – опорный сигнал грубой шкалы измерения дальности;

$R_{m.on}$  – опорный сигнал точной шкалы измерения дальности;

$N$  – число разрядов регистра сдвига PN – генератора;

$c$  – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве;

### **Составные части измерителя в режиме Д2:**

*РУ051-М* – наземное приемное устройство;

*ЮУ045* – устройство преобразования информации;

*РУ056* – пульт управления;

*ФАПЧ* – фазовая автоподстройка частоты;

*1к, 2к* – 1(2) комплект;

*РУ049* – имитатор ответного сигнала;

### **Прибор РУ150 позволяет осуществить:**

- а) выбор режимов работы запросной и ответной радиолинии с PN – манипуляцией или без нее;
- б) выбор любого из девяти возможных кодов для манипуляции в запросной и ответной радиолиниях;
- в) выбор комплектов прибора по запросной и ответной радиолиниям;
- г) юстировку задержки по двум комплектам ПРД;
- д) контроль смещения и флуктуации импульсов канала измерения дальности.

При неисправности выбранного комплекта прибора осуществляется автоматический переход на резервный комплект.

В приборе имеется функциональная цепь готовности прибора к работе.

Питание прибора РУ150 осуществляется от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 В.

Прибор нормально работает и обеспечивает указанные выше параметры при:

- а) изменении питающего напряжения  $380 \text{ В} \pm 10\%$ ;  $50 \pm 1$  Гц;
- б) непрерывной работе в течение 24 часов с последующим часовым перерывом;
- в) температуре окружающей среды от  $+5^\circ\text{C}$  до  $+40^\circ\text{C}$ ;
- г) относительной влажности до 95% при температуре  $+30^\circ\text{C}$ .

### **Состав прибора**

В состав прибора РУ150 входят следующие блоки:

РУ150-01 – блок формирования широкополосного PN-кода для манипуляции сигнала ПРД и формирования импульсов  $R_{зр.он}$ ;

РУ150-02 – блок поиска, слежения за задержкой и демодуляции псевдошумового сигнала по первой промежуточной частоте; в блоке формируются также импульсы  $R_{зр}$ ;

РУ150-03 – блок преобразования тактовой частоты запросного и ответного PN – генераторов; в блоке осуществляется также формирование импульсов дальности  $R_{m.он}$  и  $R_m$ ;

РУ150-04 – индикатор для визуального контроля импульсов дальности при юстировке;

РУ150-05 – блок анализа и коммутации режимов работы и комплектов прибора РУ150;

ЛУ028 – блок питания;

0314-5 – блок питания;

В целях повышения надежности работы в приборе РУ150 размещены два комплекта аппаратуры. Питание комплектов независимое и осуществляется от двух фидеров. В приборе имеется принудительная вентиляция от вентиляционной приставки.

Размещение блоков в корпусе прибора показано на рис. 3.2.

РУ150-05
РУ150-04 1к
РУ150-04 2к
РУ150-03 1к
РУ150-02 1к
РУ150-01 1к
РУ150-03 2к
РУ150-02 2к
РУ150-01 2к

Рис. 3.2. Размещение блоков в корпусе прибора РУ150.

### **Общие сведения об устройстве и принципе работы прибора РУ150**

Применение псевдошумовых сигналов позволяет получить высокое подавление активных гармонических помех и обеспечить одновременно большую точность измерения дальности и скорости, поскольку диаграмма неопределенности псевдошумовых сигналов практически оптимальна.

Генерация PN-кодов и корреляционная обработка принятого сигнала по 1-ой промежуточной частоте производится в приборе РУ150 совместно с прибором РУ051-М.

В результате слежения за задержкой PN-кода в приборе РУ150 происходит демодуляция («свертка») принятого сигнала по первой промежуточной частоте.

«Свернутый» сигнал возвращается на прибор РУ051-М, где с помощью второго следящего гетеродина происходит вхождение в связь по частоте. После вхождения в связь второго гетеродина с прибора РУ051-М на прибор РУ150 поступает сигнал отключения поиска по задержке PN-кода и частоте несущей.

По времени задержки между переданными и принятыми PN-кодами можно определить наклонную дальность до объекта.

Для уменьшения ошибки дискретности счета (частота заполнения в счетном устройстве равна 2 МГц) в приборе РУ150 используется двухшкальное измерение дальности.

На первой шкале производится непосредственное измерение задержки начала запросного и ответного PN-кодов.

На второй шкале измерение дальности осуществляется по фазовому сдвигу тактовых частот принятого и переданного кодов, причем фазы тактовых частот переносятся гетеродированием на частоту 16 кГц.

В приборе РУ150 предусмотрена генерация девяти различных PN-кодов одинаковой длины. Выбор запросного и ответного PN-кодов производится с пульта управления или непосредственно на приборе РУ150 (в режиме проверки).

Запросные PN-коды для манипуляции сигнала наземного ПРД на  $180^\circ$  формируются в блоке РУ150-01 с помощью десятиразрядного сдвигового регистра ( $m=10$ ) с переключаемыми обратными связями.

Длина PN-кода выбрана равной  $L=1023$  символа. Тактовая частота равна  $f_m=2$  МГц.

При такой длине модулирующего PN-кода и тактовой частоте максимальная однозначно измеряемая дальность получится равной

$$R_{\text{одн}} = c \cdot L / (2 \cdot f_T) = 3 \cdot 10^8 \cdot 1023 / (2 \cdot 10^6) = 153 \text{ км} \quad (3.1)$$

За условное начало PN-кода, необходимое для измерения времени задержки принятого PN-кода выбран момент времени, когда на всех разрядах регистра сдвига генератора кода записана единица. Из импульса со схемы совпадения «И», подключенной к выходам ячеек регистра сдвига, формируются импульсы  $R_{\text{зр.он}}$  для измерения дальности.

Принятый сигнал  $f_{\text{пр1}}$ , проманипулированный PN-кодом, поступает с прибора РУ051-М на блок РУ150-02. Здесь производится поиск по задержке PN-кода, вхождение в связь и слежение за задержкой ответного PN-кода, то есть производится его корреляционная обработка. В качестве опорного PN-кода используется сигнал, формируемый генератором PN-кода, аналогичным генератору кода в блоке РУ150-01.

«Свертка» и слежение за принятым PN-кодом производится следующим образом.

Принятый сигнал  $f_{np1}$  перемножается с напряжениями опорного генератора PN-кода, снятыми с 10, 9, 8 ячеек регистра.

Напряжение с выходов перемножителей (после преобразования на вторую промежуточную частоту) фильтруется, детектируется и поступает на схему сравнения, которая вырабатывает сигнал ошибки. Сигнал ошибки управляет двумя кварцевыми генераторами, разность частот которых равна  $f_m$ . После преобразования напряжения разности частоты  $f_m$  поступает на генератор опорного PN-кода. Получается схема следящего дискриминатора задержки принимаемого PN-кода. Напряжение с выхода перемножителя  $I$  поступает на РУ150-М для дальнейшей обработки.

Первоначальный ввод системы в синхронизм производится изменением (понижением) тактовой частоты относительно номинального значения ( $f_m \rightarrow 1 \text{ МГц}$ ), за счет этого происходит скольжение генерируемой последовательности относительно принимаемой, до совпадения кодов.

Также как и в блоке РУ150-01, из импульсов схемы совпадения в блоке РУ150-02 производится формирование импульсов  $R_{гр}$ , по сдвигу которых относительно импульсов  $R_{гр.оп}$  можно определить задержку между запросным и ответным PN-кодами.

Эта задержка зависит от наклонной дальности до объекта.

Так образуется грубая шкала измерения дальности с максимально измеряемой дальностью  $R_{одн}=153 \text{ км}$ . Формирование импульсов для измерения дальности по точной шкале ( $R_T$  и  $R_{T.оп}$ ) происходит в блоке РУ150-03.

Для уменьшения ошибки дискретности тактовые частоты запросного PN-кода (с блока РУ150-01) и ответного PN-кода (с блока РУ150-02) гетеродинируются до частоты 16 кГц. В качестве напряжения гетеродина используется синусоидальное напряжение с частотой  $f_{гет}=2 \text{ МГц}$ , полученное преобразованием напряжения поделенной на 6 опорной частоты  $f_{оп}=120 \text{ кГц}$  и напряжения  $f_T$ , поступающего с блока РУ150-01.

Напряжение разностной частоты 16 кГц опорного и сигнального каналов поступает на схему формирования импульсов, «привязанных» по фазе к нулю синусоидального напряжения.

Юстировка запросного канала вследствие различных задержек в трактах первого и второго комплектов ПРД производится следующим образом.

а) По грубой шкале.

В блоке РУ150-01 предусмотрена схема, обеспечивающая возможность сдвига импульсов  $R_{гр.оп}$  «точно» в пределах длительности импульсов «И» (1 мкс) с дискретностью 0,1 мкс для комплектов ПРД. Юстировка «грубо» осуществляется сдвигом запросного PN-кода относительно импульса  $R_{гр.оп}$  в пределах  $0 \div 10 \text{ мкс}$  дискретностью 1

мкс. Сдвиг «грубо» производится одновременно для двух комплектов ПРД путем съема кода для манипуляции с различных отводов регистра формирования PN-кода.

б) По точной шкале.

В блоке РУ150-03 установлены фазовращатели, обеспечивающие сдвиг первого фронта импульсов  $R_{m.оп}$  относительно опорного напряжения 16 кГц в пределах  $0 \div 360^\circ$  для обоих комплектов ПРД.

Для контроля наличия импульсов, флюктуаций и фазовых сдвигов их по грубой шкале и точной шкале в приборе РУ150 имеется индикаторный блок РУ150-04. Контроль производится визуально на экране ЭЛТ с круговой разверткой.

Круговая развертка образуется для грубой шкалы из импульсов  $R_{гр.оп}$  (с блока РУ150-01), а для точной шкалы – из опорного напряжения 16 кГц (с блока РУ150-03).

Импульсы  $R_{gp.on}$ ,  $R_{gp}$ ,  $R_{m.on}$ ,  $R_m$  подаются на центральный электрод трубки и видны на экране в виде радиальных всплесков.

Для грубой шкалы имеется две развертки: одна на  $360^\circ$  (153 км), а другая на  $18^\circ$  (7,65км).

Точная шкала имеет одну развертку на  $360^\circ$  (150 м).

#### **Цепь готовности.**

Цепь готовности как в первом, так и во втором комплектах прибора РУ150 замыкается, если:

а) все блоки вставлены в корпус прибора;

б) переключатель «КОД PN» на лицевой панели блока РУ150-01 находится в положении «ГОТОВ»;

в) переключатель «КОД PN» на лицевой панели блока РУ150-02 находится в положении «ГОТОВ»;

г) фазовращатели, расположенные на передней панели блока РУ150-03, находятся в положении «СТОПОР»;

д) переключатель, расположенный на передней панели блока РУ150-05, находится в положении «ГОТОВ»;

е) при подаче напряжения питания  $380 \pm 10\%$ , 50 Гц.

Сигнализация о готовности 1 (2-го) комплекта прибора РУ150 осуществляется путем замыкания контактов 1,38 (2,38) разъема ШЗ и поступает на пульт управления через контакты 1, 2, 38 разъема ШЗ.

### 3.5.2. Режим измерения Д1 (стойка РУ029М)

Режим измерения Д1 осуществляется в стойке РУ029М.

#### Описание стойки РУ029М

**В описании приняты следующие обозначения физических величин:**

$f_0$  - поднесущая частота запроса дальности;

$f_{0г}$  - частота гетеродина;

$f_{np}$  - поднесущая частота дальности принимаемого сигнала;

$f_{0гг}$  - опорное напряжение управляемого генератора;

$PN_{пер}$  - передаваемая псевдошумовая последовательность;

$PN_{пр}$  - принимаемая псевдошумовая последовательность;

$L$  - длина псевдошумовой последовательности;

$f_0 \times PN$  - запросный сигнал дальности;

$f_0 \times PN_{пр}$  - принимаемый сигнал дальности;

$F_T$  - тактовая частота кода;

$PN \times F_T$  - PN-код, умноженный на свою тактовую частоту;

$R_{гп}$  - сигнал, несущий информацию о дальности по грубой шкале;

$R_m$  - сигнал, несущий информацию о дальности по точной шкале;

$R_{гп.оп}$  - опорный сигнал грубой шкалы измерения дальности;

$R_{m.оп}$  - опорный сигнал точной шкалы измерения дальности;

$n$  - число разрядов регистра сдвига;

$F$  - частота повторения импульсов точного канала измерения дальности;

УГ - управляемый генератор;

ГОС - генератор опорных сигналов;

РУ051-М - наземное приемное устройство;

ФД - фазовый детектор;

ЮУ045 - устройство преобразования информации;

РУ056 - центральный пульт;

1к, 2к - 1 (2) комплект;

РУ049 - имитатор ответного сигнала ПЧ;

ФМ - фазовый манипулятор;

ФНЧ - фильтр нижних частот;

НИП - наземный измерительный пункт;

РУНО - приемное устройство ПСП.

## Назначение

1. Прибор РУ029М является низкочастотной частью приемного устройства и предназначен для выделения сигналов, несущих информацию о наклонной дальности ( $R$ ).

2. В приборе формируется запросный сигнал дальности путем фазовой манипуляции поднесущей частоты на угол  $0^\circ \div 120^\circ$  сигналом  $PN$ .

3. Прибор позволяет осуществить автономную проверку работы блоков, входящих в канал измерения дальности, и контролировать фазовые сдвиги и флуктуации сигналов дальности.

## Состав

В состав прибора РУ029М входят блоки:

РУ029-01 - блок формирования сигнала поднесущей частоты и когерентного ему сигнала местного гетеродина точного канала дальности;

РУ029-02 - блок формирования запросного сигнала дальности и опорных импульсов дальности грубой шкалы  $R_{зр.он}$ ;

РУ029-03 - блок выделения поднесущей частоты дальности  $f_{0np}$  и псевдошумовой последовательности  $PN_{np}$  из принимаемого сигнала  $f_0 \times PN_{np}$ ;

РУ029-04 - блок преобразования поднесущей частоты  $f_{0np}$  и формирования импульсов дальности точной шкалы  $R_{m.он}$ ,  $R_m$ ;

РУ029-05 - блок синхронизации принимаемого  $PN_{np}$  кода и формирования импульсов дальности грубой шкалы  $R_{зр}$ ;

ЛУ005 - блок питания;

РУ029-08 - индикатор канала дальности;

РУ029-09 - блок формирования напряжения 400 Гц, питающего мотор;

РУ029-11М - блок анализа и коммутации режимов работы и комплектов прибора РУ029М.

В целях повышения надежности работы в корпусе прибора РУ029М размещены 2 комплекта аппаратуры. Питание комплектов независимое и осуществляется от двух фидеров. Прибор РУ029 имеет 2 канала измерения дальности - точный канал ( $R_m$ ) и грубый канал ( $R_{зр}$ ).

Точное измерение дальности основано на фазовом методе.

### Точный канал имеет следующие основные параметры:

а) эквивалентная шумовая полоса узкополосного следящего устройства (ФАП) на поднесущей частоте  $f_0$  порядка 25 Гц;

б) флуктуации фазы напряжения в опорном канале  $\leq 0,5^\circ$ ;

в) флуктуации фазы напряжения в информационном канале  $2^\circ$ ;



г) для юстировки фаза опорного и сигнального напряжений может меняться с помощью фазовращателей в пределах  $0\div 360^\circ$ ;

д) для уменьшения начальной расстройки ФАП на частоте применена электромеханическая система ЧАП.

Грубое измерение дальности основано на корреляционном методе измерения с применением псевдошумовой последовательности PN.

**Грубый канал имеет следующие основные параметры:**

- а) флуктуации опорных импульсов относительно периода тактовой частоты, формирующей PN код  $\leq 0,5^\circ$ ;
- б) флуктуации сигнальных импульсов  $\leq 1^\circ$ ;
- в) время вхождения системы в синхронизм  $\leq 30$ с;
- г) точность синхронизации следящей системы составляет порядка  $1^\circ$  тактовой частоты, формирующей PN код;
- д) длина последовательности  $L=2^n-1=2^5-1=31$ ;
- е) для юстировки канала  $R_{cp}$  импульсы «начало отсчета» в передающем регистре сдвига могут задерживаться с помощью фазовращателя в пределах одного периода  $F_T$  (0-330 мкс) относительно запросного сигнала дальности  $f_0 \times PN$ .

Прибор РУ029М позволяет проводить следующие операции:

- а) юстировку по грубому и точному каналам измерения дальности с точностью порядка  $\sim 0,5^\circ$ ;
- б) контролировать в обоих каналах наличие и флуктуации импульсов сигнального и опорного каналов;
- в) проверить наличие синхронизма всех следящих устройств в канале измерения дальности.

При неисправности выбранного комплекта с помощью реле времени, расположенном в блоке РУ029-11М, через 35с осуществляется автоматический переход на резервный комплект.

В приборе имеется цепь готовности, обеспечивающая индикацию готовности прибора к работе. Питание прибора РУ029М осуществляется от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 380 В.

Прибор нормально работает и обеспечивает указанные выше параметры при:

- а) изменении питающего напряжения  $380 \text{ В} \pm 10\%$ ,  $50 \text{ Гц} \pm 2\%$ ;
- б) непрерывной работы в течение 24 часов с последующим часовым перерывом.

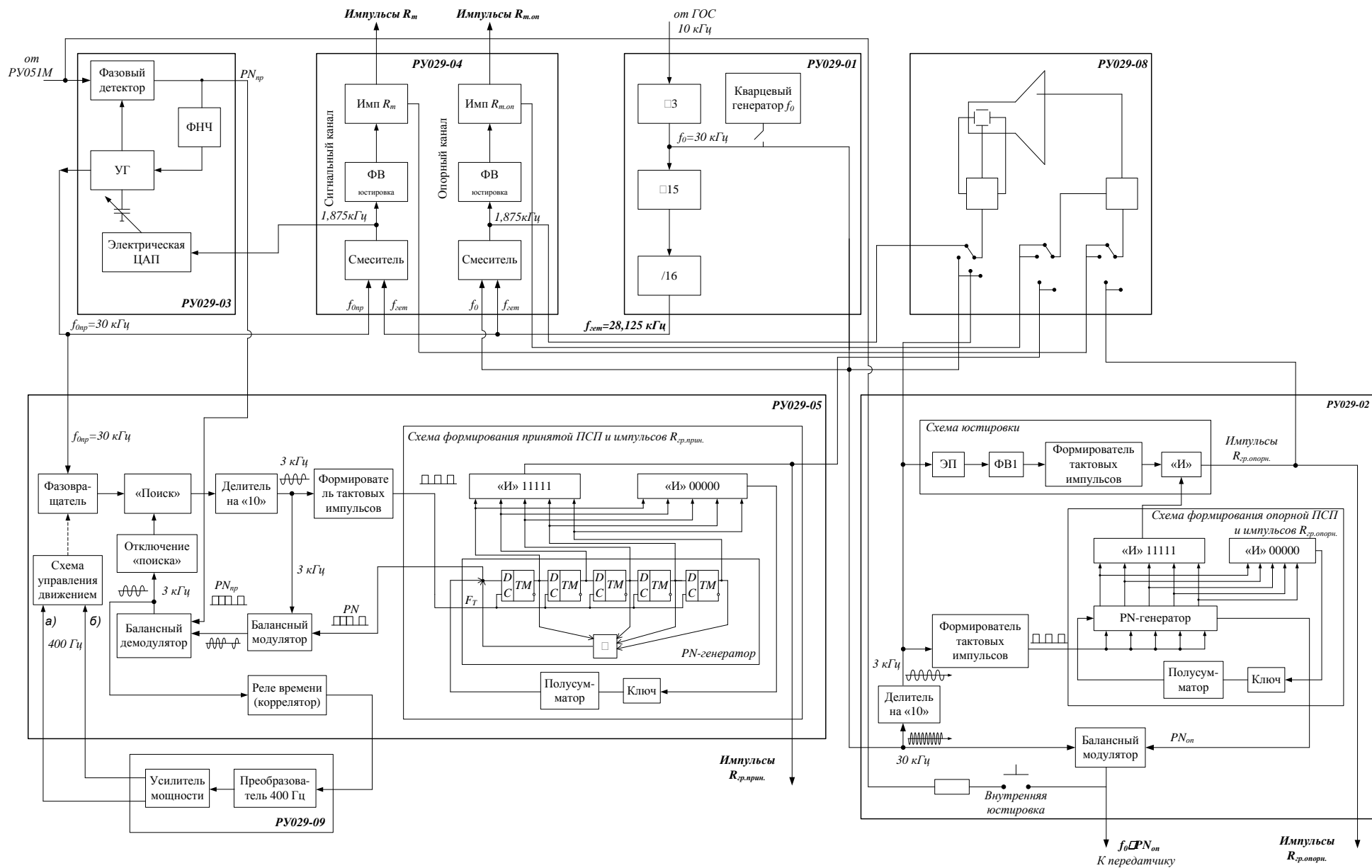


Рис. 3.3. Структурная схема стойки РУ029

### 3.6. Каналы измерения дальности в режиме Д1 (стойка РУ029)

#### 3.6.1 Грубый канал измерения дальности

##### Формирование опорной ПСП и опорных импульсов дальности грубого канала.

Опорная псевдослучайная последовательность генерируется в блоке РУ029-02 регистром сдвига, построенным определенным образом – отводы на сумматор для обеспечения максимальной длительности последовательности подаются с ячеек регистра в соответствии с коэффициентами  $k_1, k_2, \dots, k_m$  (10111). ПСП имеет период повторения:

$$T_{\text{пр}} = N \cdot \tau_{\text{эл}} = (2^m - 1) \cdot \tau_{\text{эл}} = 10,3 \text{ мс}, \quad (3.2)$$

$\tau_{\text{эл}} = 0,33 \text{ мс}$  – длительность одного элемента псевдослучайной последовательности;

$m=5$  – число ячеек в регистре сдвига;

$N=31$  – число элементов последовательности.

Поскольку ПСП периодична, то начальное состояние регистра нас не интересует (кроме чисто нулевого состояния), так как все комбинации  $m$  цифр перебираются в ПСП. Поэтому, возбуждая один и тот же генератор различными начальными комбинациями цифр  $q_1, q_2, \dots, q_m$  будем получать сдвинутые во времени последовательности одинаковой структуры.

Ниже (рис. 3.4) приведена схема формирования опорной (запросной) ПСП и стартовых импульсов грубого канала дальности  $R_{\text{сп.опн}}$ .

В состав блока входит «схема юстировки и формирования стартовых импульсов  $R_{\text{сп.опорн.}}$ , схема формирования опорной ПСП, формирователь тактовых импульсов, делитель на 10, балансный модулятор, а также схема внутренней юстировки запросного канала.

Схема работает следующим образом:

На вход с блока РУ029-01 подается сигнал частоты 30 кГц, который ответвляется на делитель на 10 и балансный модулятор. С делителя на 10 снимается сигнал тактовой частоты  $F_T = 3 \text{ кГц}$  и подается на формирователь тактовых импульсов и схему юстировки. Также сигнал частоты  $F_T = 3 \text{ кГц}$  подается на блок РУ029-08.

Тактовые импульсы с выхода формирователя запускают генератор ПСП (или РN-генератор). Для того чтобы генератор «включился» на вход должна поступить хотя бы одна «единица».

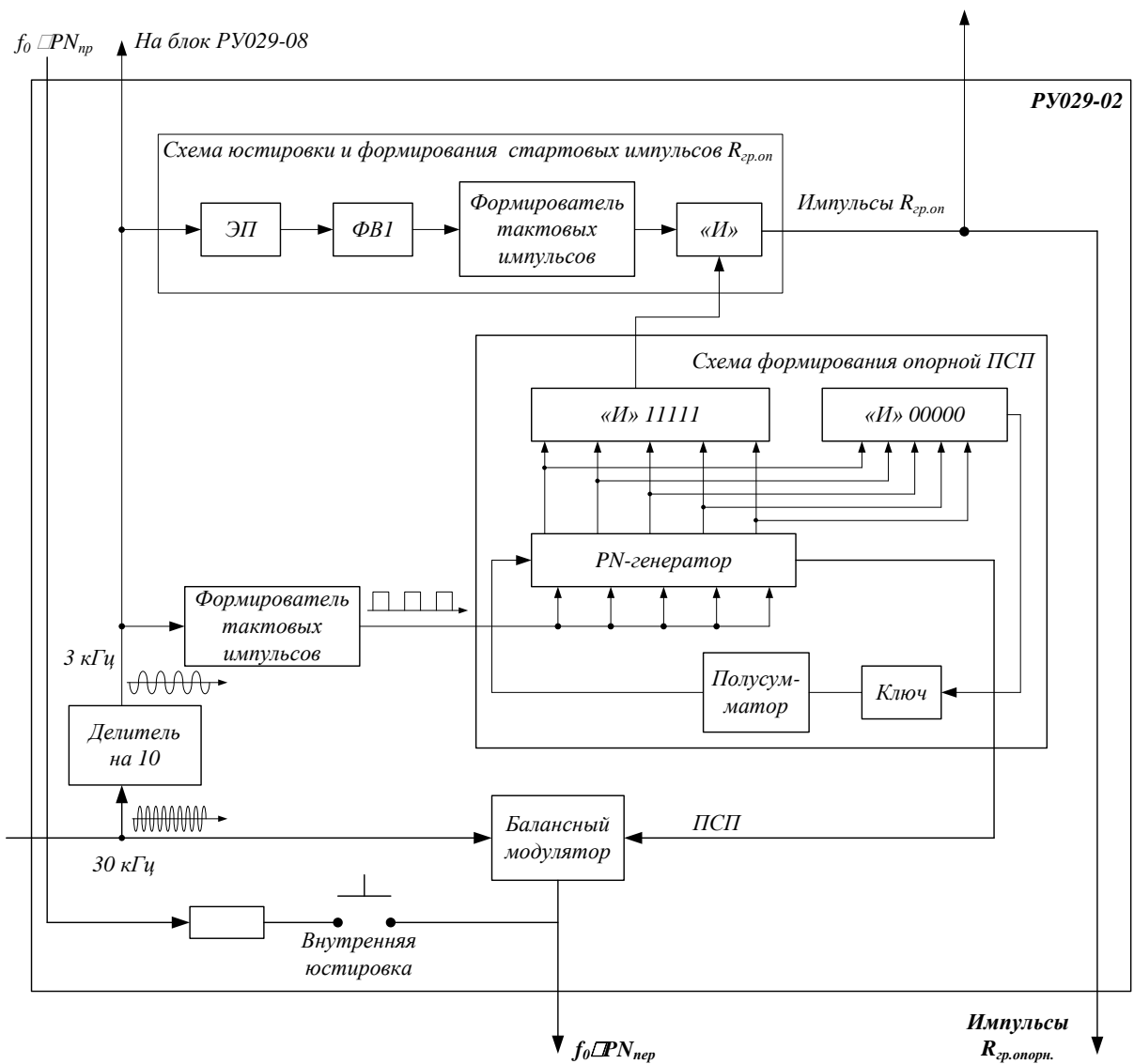


Рис. 3.4. Схема блока PY029-02

Допустим, в начальный момент времени все ячейки регистра сдвига находятся в нулевом состоянии. В таком случае срабатывает схема (блок) совпадения «И 00000» (схема проверки чисто нулевого состояния ячеек регистра, рис. 3.4), с выхода которой снимается импульс, который через «Ключ» и «Полусумматор» подается на вход регистра в виде «единицы». После этого генератор начинает формировать ПСП (табл. 3.1).

Затем, последовательность с выхода генератора поступает на балансный модулятор, где происходит формирование запросного сигнала дальности  $f_0 \times PN_{пер}$ , который идет на передатчик.

Генератор ПСП представляет собой сдвиговый регистр, построенный на 5 D-триггерах (рис.3.5). На вход «С» регистра подаются тактовые импульсы. На вход «D» подаются информационные импульсы. Форма сигналов в генераторе ПСП показана на

рис. 5.6. В табл. 3.1 показана работа генератора ПСП. Перезапись ячеек происходит при поступлении тактового импульса.

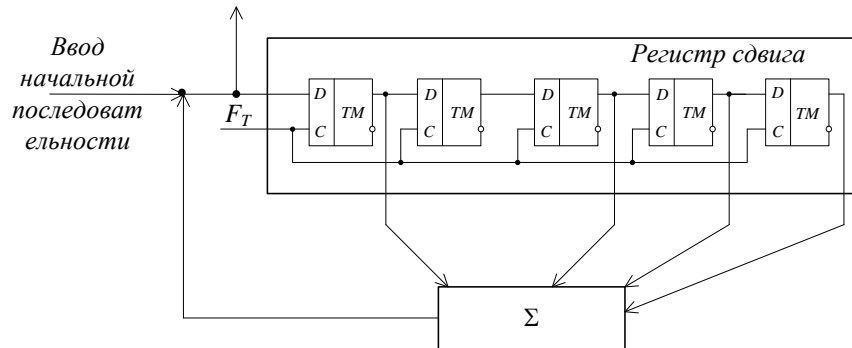


Рис. 3.5. Генератор псевдослучайной PN последовательности в блоке РУ029-02

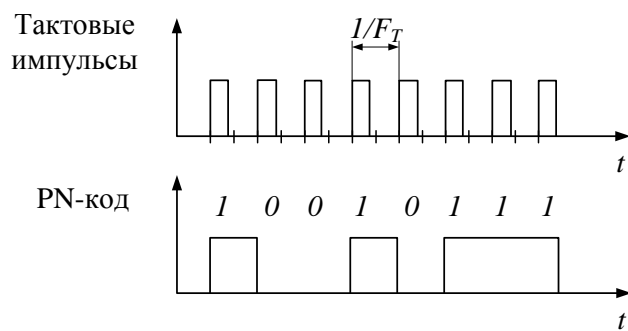


Рис. 3.6. Сигнал на входе генератора PN кода и PN код

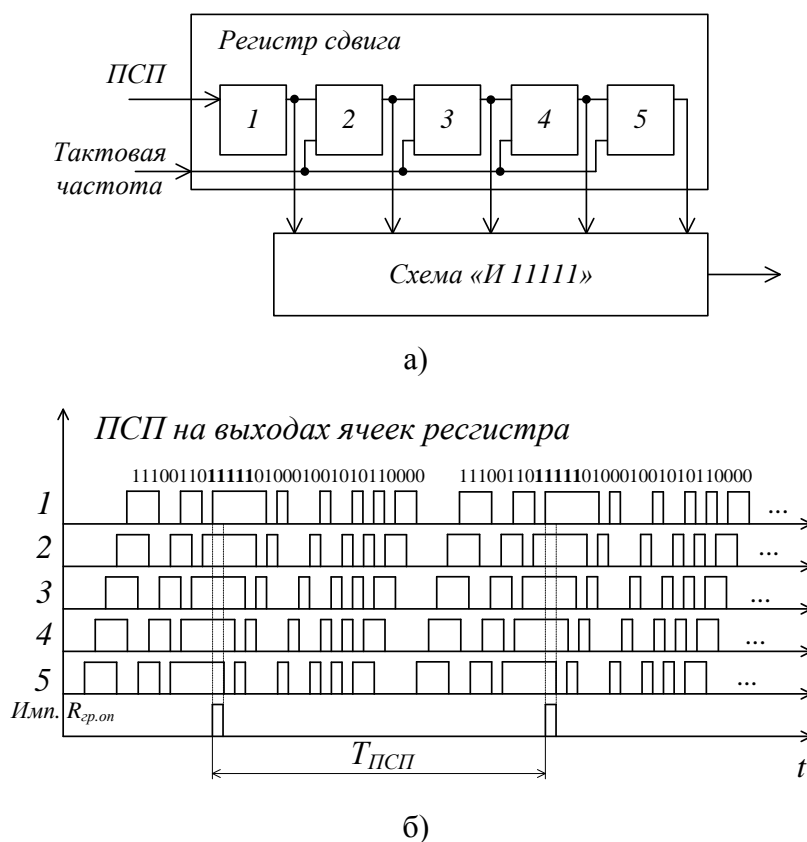
Таблица 3.1.

Работа генератора ПСП		
Такт	Состояние ячеек регистра	Примечание
0	00000	
1	10000	
2	11000	
3	11100	
4	01110	
5	00111	
6	10011	
7	11001	
8	01100	
9	10110	
10	11011	
11	11101	
12	11110	
13	<b>11111</b>	
14	01111	
15	10111	
16	01011	
17	00101	
18	00010	
19	10001	
20	01000	
21	00100	
22	10010	
23	01001	
24	10100	
25	01010	
26	10101	
27	11010	
28	01101	
29	00110	
30	00011	
31	00001	
Выход	111001101 <b>11111</b> 010001001010110000	Слово ПСП

Лишь один раз за период ПСП идут подряд  $m = 5$  символов, то есть образуется самый длинный импульс (в табл. 3.1, выделен жирным шрифтом). В момент времени, когда все разряды регистра сдвига устанавливаются в состояние «1» происходит формирование опорных импульсов дальности. Опорные (также и «принятые») импульсы формируются с помощью детектора ПСП (рис. 3.7, а). Эти импульсы соответствуют границам слов излученной (принятой) ПСП.

Поэтому, одновременно с началом формирования ПСП, сигналы с выхода каждой ячейки генератора поступают на блок совпадения «И 11111», который является составной частью детектора ПСП. Как только блок заполняется пятью единицами, на выход

поступает метка границы (импульс дальности), которая поступает на «схему юстировки и формирования опорных импульсов  $R_{гр.опорн.}$ ».



а) детектор ПСП; б) ПСП на входе схемы «И 11111» и метки (стартовые импульсы) на его выходе

Рис. 3.7. Схема и принцип работы детектора ПСП

### Формирование «принятых» импульсов дальности грубого канала

Синхронизация принимаемого  $PN_{пр}$  кода и формирование «принятых» импульсов дальности грубой шкалы  $R_{гр.прин}$  осуществляется в блоке РУ029-05, который представляет собой блок синхронизации принимаемого  $PN_{пр}$  кода и формирования импульсов дальности грубой шкалы  $R_{гр.прин}$ .

Сигнал, несущий информацию о дальности, при прохождении искажается и для того чтобы по ходу дальнейшей обработки не возникло проблем, в блоке РУ029-05 происходит замещение псевдослучайной последовательности на новую, синхронизированную с принятой (см. рис 3.8).

Формирование новой последовательности осуществляется PN-генератором аналогичным генератору для формирования опорных импульсов.

На блок приходит два сигнала с блока РУ029-05:

– сигнал поднесущей частоты  $f_{0пр} \sim 30$  кГц,

– принятая псевдослучайная последовательность  $PN_{пр}$ .

Сигнал частоты  $f_0 = 30$  кГц проходит через фазовращатель и схему «Поиска» и подается на делитель на «10». С делителя сигнал ответвляется на «балансный модулятор» и формирователь тактовых импульсов, которые запускают регистр, формирующий  $PN$ -код. Полученный код перемножается с тактовой частотой  $F_T = 3$  кГц на балансном модуляторе, и полученный сигнал сравнивается с принимаемым сигналом ( $PN_{пр}$ ) на балансном демодуляторе. Если последовательности отличаются между собой больше, чем на период тактовой частоты (1 элемент  $PN$  кода), то напряжение на выходе демодулятора не содержит гармонику тактовой частоты ( $F_T$ ). При этом напряжение на входе схемы «отключения поиска» равно 0, и блок находится в режиме поиска. Схема «Поиска» уменьшает количество импульсов 30 кГц сетки, подаваемых на делитель частоты на «10». Изменение числа импульсов достигается путем запирающего строб-импульсом, длительность которого равна или чуть больше периода частоты 30 кГц.

Фаза импульсов тактовой частоты  $F_T$  смещается скачками через  $36^\circ$  или  $72^\circ$ , и генерируемая последовательность начинает «скользить» относительно принимаемого сигнала ( $PN_{пр}$ ). В момент, когда последовательности совмещаются с точностью до элемента (отличаются между собой меньше, чем на 1 период тактовой частоты), на выходе демодулятора появляется напряжение тактовой частоты, амплитуда которого зависит от величины временного сдвига между последовательностями и определяется автокорреляционной функцией для  $PN$ -кода. При достижении напряжением порогового значения режим «поиска» отключается. Схема переключается в режим точного совмещения последовательности.

Постоянная составляющая на выходе коррелятора («Реле времени») определяется  $S$ -образной кросскорреляционной функцией и используется как сигнал ошибки для электромеханической системы автоподстройки. Напряжение сигнала ошибки преобразуется в переменное напряжение частоты 400 Гц, усиливается и подается на мотор. Мотор через редуктор связан с осью плавного фазовращателя. Схема обеспечивает сведение последовательностей с точностью порядка  $1^\circ$  градуса тактовой частоты, формирующей  $PN$ -код.



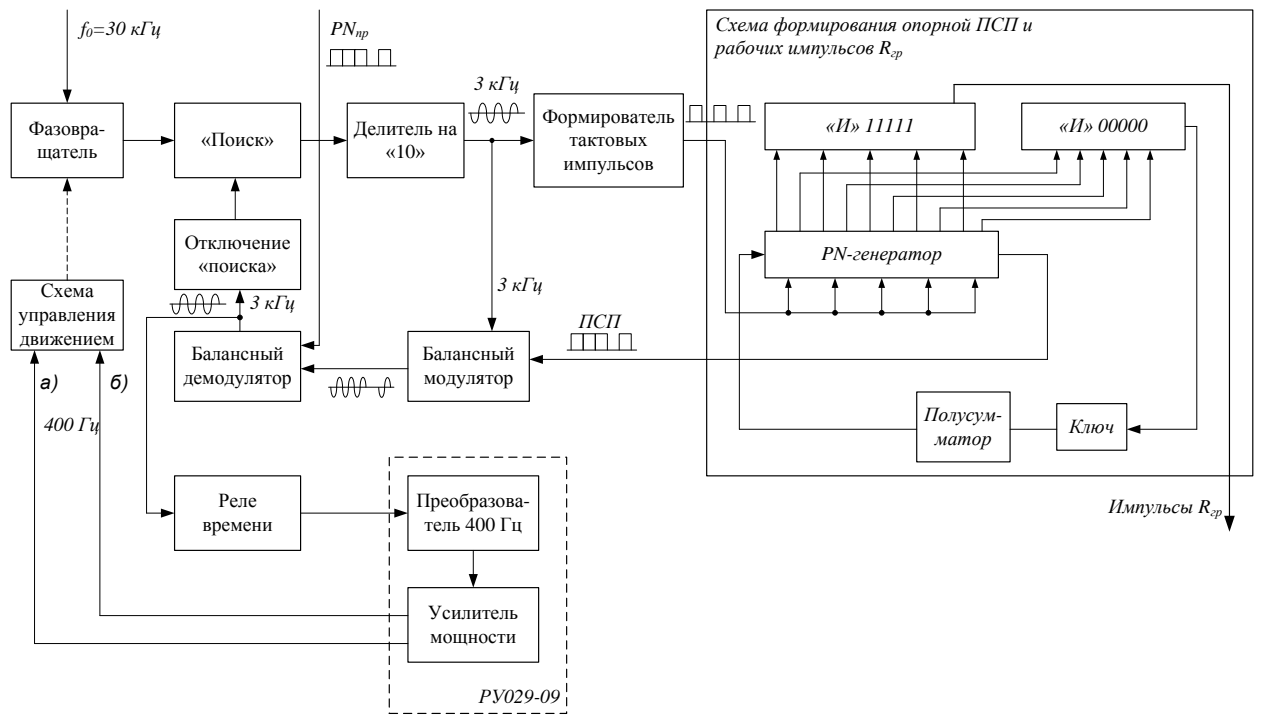


Рис. 3.8. Схема блока PY029-05

В балансном модуляторе гармонический сигнал частоты 3 кГц модулируется по закону псевдослучайной последовательности и поступает на вход балансного демодулятора, куда приходит принятая псевдослучайная последовательность.

В балансном демодуляторе принятая ПСП сравнивается с сигналом частоты 3 кГц, пришедшим с балансного модулятора. Если сигналы отличаются между собой меньше, чем на период тактовой частоты, на выходе образуется гармонический сигнал частотой 3 кГц. Этот сигнал управляет схемой «отключения поиска».

### Сигналы грубого канала дальности

Импульсы на выходе грубого канала измерения дальности  $R_{гр}$  изображены на рис.3.9, а параметры их приведены в табл.3.2.

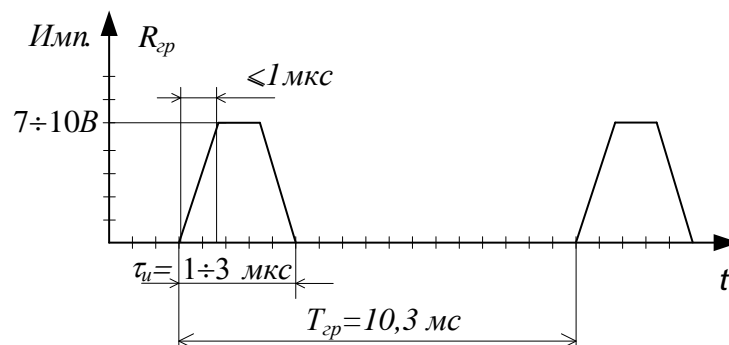


Рис. 3.9. Импульсы грубого канала дальности

Таблица 3.2.

Параметры выходных импульсов грубого канала

Параметр	Обозначение	Значение	Примечание
Длительность импульса	$\tau_{и.гр}$	1÷3 мкс	
Фронт импульса	$t_{фр.гр}$	≤1 мкс	
Амплитуда импульса	$U_{гр}$	7÷10 В	
Период следования импульсов	$T_{гр}$	10,3 мс ( $L \times 0,33 \text{ мс}$ )	Соответствует однозначно измеряемой дальности $R_{одн} = L \cdot c / 2F_T =$ $= (31 \cdot 3 \cdot 10^8) / (2 \cdot 3000) = 1550 \text{ км}$
Частота следования	$F_{гр}$	≈100 Гц	

### 3.6.2 Точный канал измерения дальности

Точное определение дальности производится фазовым методом, который сводится к измерению временных сдвигов между излученным и принятым сигналами. Временной сдвиг, отнесенный к периоду масштабной частоты, является фазовым сдвигом. Временной сдвиг в пределах одного периода измеряют как временной интервал между импульсными сигналами, сформированными с помощью устройства, изображенного на рис. 3.10. Это устройство создает импульсы в моменты пересечения напряжениями масштабной частоты нулевого уровня с положительной производной.

Формирование выходных импульсов точного канала происходит в блоке РУ029-04 (см. рис. 3.10). В блоке также происходит преобразование сигнала опорного и измерительного каналов. В качестве местного гетеродина используется сигнал частоты  $f_{гет} = 28,125 \text{ кГц}$ .

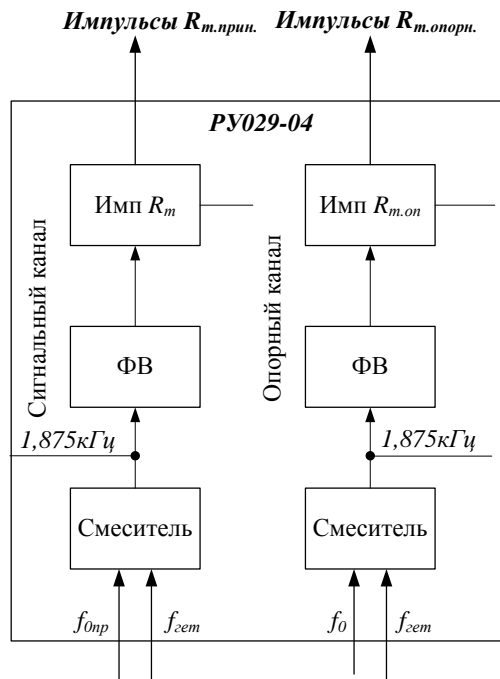


Рис. 3.10. Схема блок PY029-04

В состав формирователя импульсов точного канала входят компараторы, предназначенные для сравнения непрерывно изменяющихся сигналов.

Входные аналоговые сигналы компаратора:

$U_{вх}$  – анализируемый сигнал,

$U_{оп}$  – опорный сигнал сравнения,

$$U_{вых} = \begin{cases} 1, & U_{вх} - U_{оп} > 0; \\ 0, & U_{вх} - U_{оп} < 0. \end{cases}$$

Поскольку выходной сигнал воздействует на входы логических цепей, он должен согласовываться с ними по уровню и мощности. Таким образом, компаратор это элемент перехода от аналоговых сигналов к цифровым.

Вход для опорного сигнала «зануляем», а на первый вход подаем сигнал. При этом необходимо обеспечить минимальное время переключения (установления), через которое компаратор срабатывает.

Для уменьшения ошибки за счет дискретности принятый и опорный сигналы точного канала дальности переносятся с частоты  $f_0 = 30$  кГц на более низкую частоту 1,875 кГц в соответствии с рис. 3. 11:

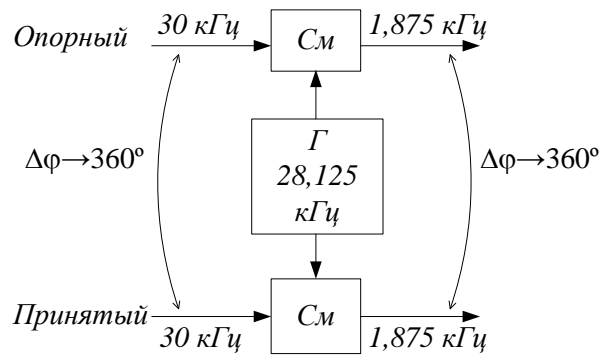


Рис. 3.11. Смена частот в фазовом канале

Форма сигналов после смены частот представлена на рис. 3.12 (после смены частоты период составляет  $T_{\text{точн}} = 0,53$  мс).

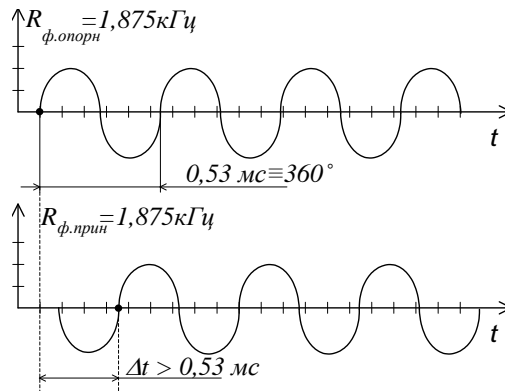


Рис. 3.12. Сигнал точного канала дальности после переноса на частоту  $f_{\text{точн}} = 1,875$  кГц

При этом следует помнить, что переносу подвергаются оба сигнала: излученный и принятый. С помощью общего гетеродина. Таким образом, соотношение фаз сигналов остается неизменным, и полный период сигнала частотой 1,875 кГц соответствует фазе в  $360^\circ$  так же, как и период сигнала частотой 30 кГц.

На выходе схемы формирования импульсов точного канала импульсы  $R_T$  имеют вид и параметры, представленные на рис. 3.13 и в табл.3.3, соответственно.

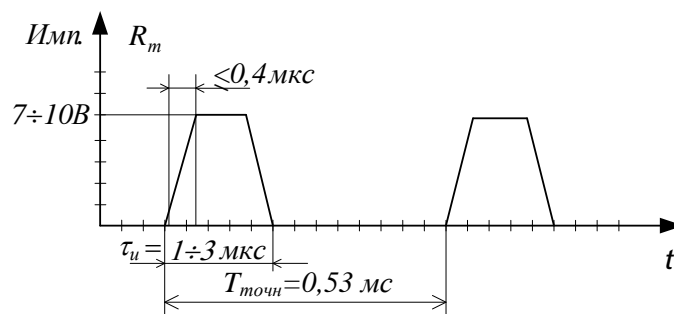


Рис. 3.13. Импульсы  $R_m$  на выходе точного канала

Таблица 3.3.

Параметры импульсов дальности точного канала,  $f_{\text{точн}}=1,875$  кГц

Параметр	Обозна-чение	Значение	Соответствует	
Длительность импульса	$\tau_{\text{и.т}}$	1÷3 мкс		
Фронт импульса	$t_{\text{фр.т}}$	≤0,4 мкс		
Амплитуда импульса	$U_m$	7÷10 В		
Частота	$f_{\text{точн}}$	1,875 кГц	Дальности 5 км	Фазе 360°
Период	$T_{\text{точн}}$	0,53 мс		

#### 4. Контрольные вопросы

1. Назовите особенности и характеристики полета ИСЗ.
2. Для чего необходимо измерение дальности.
3. Каковы состав и назначение аппаратуры измерения дальности.
4. Поясните принцип грубого измерения дальности.
5. Как формируется опорная ПСП и опорные импульсы дальности грубого канала.
6. Поясните принцип точного измерения дальности.
7. Для чего необходимо двухшкальное измерение дальности.
8. Дайте анализ точности измерения дальности до ИСЗ.
9. Поясните по функциональной схеме работу канала измерения дальности.
10. Укажите основные преимущества радиодальномеров непрерывного излучения с псевдослучайной модуляцией.
11. Как определяется максимальное значение дальности, определяемой однозначно в подобных дальномерам.
12. Каковы правила образования кода и как они реализуются в функциональной схеме генератора кода.

## 5. Задание на работу

В ходе лабораторной работы необходимо:

- 1) изучить принципы дальнометрии при непрерывном сигнале, на которых основано измерение дальности в аппаратуре КИРС-12;
- 2) изучить стойку дальности РУ029;
- 3) Выполнить проверку канала измерения дальности в режима Д1 со стойкой РУ029.

Проверка выполняется в следующей последовательности.

- На блоке ДК231-04 включить под надписью **РУ029М** кнопку I. Проверить загорание транспоранта «РУ029м-1» под надписью **ВКЛЮЧЕНИЕ** блока ДК231-01.

- На блоке ДК189-07 нажать кнопку «СБРОС», под надписью **РК** набрать команду 067, соответствующую включению канала измерения дальности прибора РА134 (бортовой ПРМ), затем кнопку «ВЫДАЧА». В этом режиме прохождение команды не сопровождается приходом квитанции, поэтому горит красный транспорант «РК НЕ ИСП». Цифровое табло на блоке ДК231-02 с надписью **КОМАНДА** отобразит набранную команду и загорятся транспоранты: «РК ВЫДАНА», «РК НЕ ИСП» и «СВЯЗЬ».

- На блоке ДК231-01 загорается транспорант «ОТКЛ  $f_{15}$ ».

- На стойке РУ029 (блок РУ029-11М) загораются лампочки «ЗАПРОС», «ФАП 30» и примерно через 2 минуты «РАБОТА».

- На индикаторе блока РУ029-08 с кольцевой разверткой виден опорный импульс (неподвижный) и ответный импульс, дрожащий по положению.

Если ответный импульс на индикаторе блока РУ029-08 с кольцевой разверткой производит круговое движение то необходимо провести дополнительную регулировку.

- Регулировка «ФД ФАП» под крышкой блока РУ029-03, и немного «СКОРОСТЬ ПОИСКА» и «ПОРОГ ОСТАНОВА ПОИСКА», что расположены под крышкой блока РУ029- 05 позволяют выполнить дополнительные регулировки для синхронизации импульсов.

Ручка «Анализ» под крышкой блока РУ029-03 влияет на лампочку «СВЯЗЬ», расположенную на том же блоке. *Загорание лампочки соответствует синхронизации импульсов.*

- По размытости ответного импульса на экране индикатора блока РУ029-08 с кольцевой разверткой определить величину флюктуации фазы в/ч тракта, а по шкале трубки собственную фазовую задержку.

Зарисовать и проанализировать спектр излученного сигнала, измеренного анализатором спектра СК4-27.

- На блоке ДК189-07 под надписью **РК** набрать команду 070, соответствующую отключению канала измерения дальности прибора РА134 (бортовой ПРМ). В этом режиме прохождение команды не сопровождается приходом квитанции, поэтому горит красный транспарант «РК НЕ ИСП». Цифровое табло на блоке ДК231-02 с надписью **КОМАНДА** отобразит набранную команду.

## **6. Содержание отчета**

Отчет должен включать следующие материалы.

1. Краткое описание системы.
2. Упрощенную функциональную схему.
3. Результаты проверки аппаратуры.

## **Рекомендуемая литература**

1. Дудко Б.П. Космические радиотехнические системы: учебное пособие. – Томск: Томский гос. университет систем управления и радиоэлектроники, 2007 г. –291 с.
2. Космические радиотехнические комплексы / под ред. С. И. Бычкова. — М. : Советское радио, 1967.
3. Радиосистемы управления : учеб. для вузов / под ред. В.А. Вейцеля. - М. : Дрофа, 2005.
4. Кащеев И.А. Радиотехнические средства управления космическими аппаратами : учеб. пособие / И.А. Кащеев. — М. : Моск. гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), 2005.