

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 249

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ  
РАДИОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ  
НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА  
В ПРОЕКТЕ "РАДИОАСТРОН"

Б.Н. Липатов

А.С. Сизов

Горький 1988

Л и п а т о в Б.Н., С и з о в А.С.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ  
НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА В ПРОЕКТЕ "РАДИОАСТРОН"//  
Препринт № 249. - Горький: НИРФИ. - 1988. - 20 с.

УДК 520.27+520.874

В работе описаны цели и принципы построения системы контроля и калибровки параметров радиочастотных трактов радиоинтерферометрической системы для проекта "РАДИОАСТРОН", посвященного реализации наземно-космического радиоинтерферометра со сверхдлинной базой, когда один из приемных пунктов находится на Земле, а другой - на высокоорбитальном космическом аппарате "Спектр-Р", несущем на борту космический радиотелескоп диаметром 10 м.

Успешная работа в режиме интерферометра двух разнесенных на тысячи километров радиотелескопов, а в случае космического радиотелескопа /КРТ/ один из приемных пунктов находится вообще вне Земли,<sup>\*)</sup> предполагает полную уверенность в работоспособности всех систем интерферометрического комплекса и прежде всего приемных систем. Поэтому становится понятна необходимость использования таких мер контроля, причем особенно важна роль автономных методов, которые позволяли бы с уверенностью судить о пригодности каждой приемной системы к интерферометрическим измерениям и определяли бы, какая точность в интерферометрических данных может быть гарантирована приемной системой в каждом приемном пункте. Здесь и везде далее подразумевается, что в состав приемных систем включены также цепи когерентного преобразования частоты.

Уровень шумовой температуры приемных систем характеризует энергетическую чувствительность и в значительной степени точность радиоинтерферометрических измерений. Шумовая температура, как и нестабильность усиления приемников, должна быть подвергнута текущему контролю по традиционной радиоастрономической методике путем подачи на входы калибровочных шумовых сигналов. Такой контроль будет свидетельствовать о работе приемных систем в радиометрическом режиме, однако при нормальной работе в этом режиме еще отнюдь нет гарантии того, что контролируемая приемная система может обеспечить нормальную работу в режиме интерферометра. Поэтому в РСДБ, в том числе и в варианте с КРТ, необходимы еще и другие, основные для радиоинтерферометра виды проверок.

<sup>\*)</sup> Проект "РАДИОАСТРОН", см., напр., Андреев В.В., Кардашев Н.С. // Космические исследования. - 1981. - Т. 19, № 5. - С. 763

## 1. КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА НА ЗАДАННОЕ ВРЕМЯ КОГЕРЕНТНОГО НАКОПЛЕНИЯ

Прежде всего такие проверки должны показать, обеспечат ли при наблюдениях собственно приемные системы /без стандартов частоты/ и конкретно каждая из них необходимую продолжительность времени когерентного накопления принимаемого сигнала от исследуемого радиосточника. Причем, эти проверки необходимы как до начала всего цикла работ с КРТ, то есть еще в наземных условиях перед запуском космического аппарата, если речь идет о проверке бортового комплекта приемников, так и в процессе работы с КРТ, что немаловажно, учитывая достаточную продолжительность общего функционирования космического радиоинтерферометра и существенные изменения внешних условий работы. Наблюдатель в любой необходимый ему момент времени должен знать о том, с какой максимальной продолжительностью времени когерентного накопления может быть получено интерференционное колебание при работе с данной приемной системой. Или, другими словами, на спектральном языке, на какое качество по чистоте спектральной линии интерференционного колебания наблюдатель может рассчитывать в процессе экспериментов. Именно так ставится вопрос о необходимости текущих проверок, выполняемых оперативно в процессе наблюдения и автономно на каждом приемном пункте, в астрометрическом РСДБ НИРФИ [1], для чего были разработаны специальные методики и соответствующая аппаратура [2, 3].

В приемных системах, например, в цепях формирования гетеродинных сигналов, смесителях, усилителях и т.д., могут возникать частотно-фазовые флуктуации, которые приводят к уширению и искажению спектральной линии интерференционного колебания. Подобные дефекты могут быть связаны с конструктивными особенностями схем формирования гетеродинных сигналов, наличием каких-либо паразитных сигналов, наводок от других систем, которые могут присутствовать как в исходном опорном сигнале, из которого формируются гетеродинные сигналы, так и вноситься в последующих каскадах умножителей частоты. Приобретая в дальнейшем мультипликативный характер, подобные помехи будут расти по мощности как  $n^2$ , где  $n$  — общий коэффициент умножения, что может приводить в конечном

счете к "расщеплению" или "размытию" спектральной линии интерференционного колебания. Искажения спектральной линии могут быть связаны и с температурными дрейфами некоторых узлов приемника.

Искажения спектральной линии интерференционного колебания ведут, в частности, к увеличению ошибок отсчета амплитуды интерференционного колебания и снижению в конечном счете качества и достоверности получаемого радиоизображения источника. Так, сильное "размытие" по частоте спектральной линии интерференционного колебания может привести к тому, что результирующий интерференционный отклик будет вообще не виден на фоне шумов. Это обстоятельство в случае отсутствия контроля сделает невозможным верный выбор между двумя вариантами: 1 - на данной базе исследуемый радиоисточник разрешен, и от него интерференция не должна наблюдаться; 2 - имеет место неисправность в приемной системе. Оперативный контроль позволит устранить подобную неоднозначность.

В случае отсутствия частотно-фазовых возмущений в системе при времени когерентного накопления полезного сигнала  $T$ , спектральная линия интерференционного колебания должна иметь одну компоненту с шириной спектра  $\Delta f \approx 1/T$  (типичное время для  $T$  не менее нескольких сотен секунд, так, для  $T = 100$  с,  $\Delta f = 0,01$  Гц). Основная идея контроля на пригодность приемной системы к интерферометрическим измерениям в соответствии с указанным критерием и осуществляемого автономно, то есть без задействования всего аппаратного комплекса радиоинтерферометра и без приема сигналов от космического радиоисточника, основана на формировании специального контрольного когерентного сигнала, пропускании его через весь приемный тракт, перемножении выходного контрольного сигнала с другим сформированным сигналом, когерентным с входным контрольным, и с частотой второго контрольного сигнала, близкой к частоте выходного контрольного сигнала, и последующим Фурье-анализом в реальном времени результата перемножения с необходимым спектральным разрешением  $\Delta f$  [3].

Контроль интерферометрического комплекса при приеме космического радиоисточника в стандартном режиме работы интерферометра оказывается значительно более сложным, поскольку необ-

ходим поиск на фоне шумов слабого сигнала при больших интервалах неопределенности по задержке и частоте интерференции, требующий оперативной переработки больших массивов информации, наведения антенн на контрольный источник, и к тому же, имеет неопределенность в выяснении, в каком из приемных пунктов имеется неисправность.

Предлагаемый автономный оперативный контроль не требует непосредственно прямых измерений флуктуаций фазы во времени, так как получаемые контрольные спектрограммы однозначно характеризуют состояние приемных систем и дают при этом объективную оценку именно в том виде, который фактически и требуется для практики в конечном счете, то есть в форме спектральной линии.

Автономный метод контроля и специально разработанная аппаратура показали высокую эффективность в РСДБ-экспериментах НИРФИ. На рис.1, взятом из [2], даны примеры контрольных спектрограмм, полученных на приемных пунктах с целью выявления пригодности конкретных приемных систем к РСДБ-наблюдениям с  $T = 100$  с: а - система не пригодна к наблюдениям с  $T = 100$  с, поскольку спектральная линия сильно искажена; б - система пригодна к наблюдениям с  $T = 100$  с. В обоих случаях спектральное разрешение 0,01 Гц. На рис.2 в качестве примера показана спектрограмма интерференционного колебания от радиоисточника ЗС 273, полученная в РСДБ-эксперименте на длине базы 1200 км (время когерентного накопления  $T = 100$  с, соответственно, спектральное разрешение Фурье-анализа 0,01 Гц), подтверждающая своей чистой формой спектральной линии хорошую работу систем когерентного преобразования и эффективность автономного контроля.

Следует отметить, что если обе приемные системы радиointерферометра находятся в одном месте, например, в лаборатории разработчика, они могут быть совместно проверены на предмет сохранения в сигналах на их выходах взаимной когерентности от поступающих на их входы сигналов по традиционной для радиointерферометрии методике проверки. Суть такой проверки, использовавшейся еще со времен разработки первых РСДБ-систем НИРФИ [4] и описанной, например, достаточно подробно с анализом выявляемых при этом некоторых дефектов в [5], заключается в том, что на оба входа приемных систем подается один общий сигнал, затем выходные сигналы коррелируются и результат подвергается Фурье-анализу с необходимым спектральным разрешением.

## 2. КОНТРОЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ФАЗИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ МЕЖДУ КАНАЛАМИ СИНТЕЗА ШИРОКОЙ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ ДЛЯ ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАДЕРЖКИ

Второе важное направление контроля аппаратурного приемного комплекса интерферометра необходимо при проведении астрометрических измерений. Исходными экспериментальными данными в таких измерениях служат задержка  $\tau$  и частота интерференции  $f_{\text{к}}$  между принимаемыми антеннами интерферометра сигналами радиоисточников. Высокая потенциальная точность их измерения может быть обеспечена только в том случае, если аппаратурный интерферометрический комплекс не вносит искажений в измеряемые значения  $\tau$  и  $f_{\text{к}}$ . При проведении измерений необходимо знать, какие погрешности в отсчеты  $\tau$  и  $f_{\text{к}}$  в каждом конкретном случае вносит аппаратурный комплекс и какие при этом точности могут быть гарантированы.

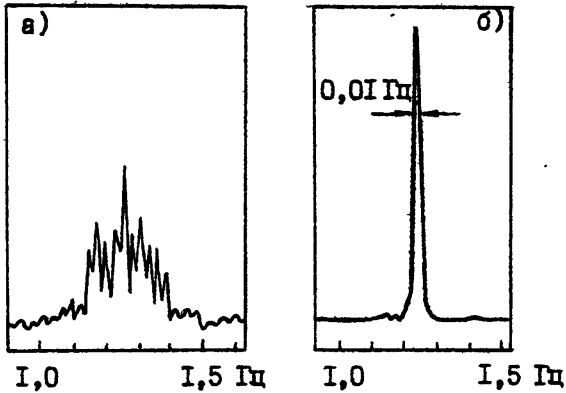
Отвлекаясь от долговременных нестабильностей стандартов частоты, аппаратурную погрешность измерения задержки  $\sigma_{\tau}$  и частоты интерференции  $\sigma_{f_{\text{к}}}$  можно оценить как

$$\sigma_{\tau}^2 = (N^{-1} \tau_{\text{к}})^2 + \sigma_{\Delta\phi}^2,$$

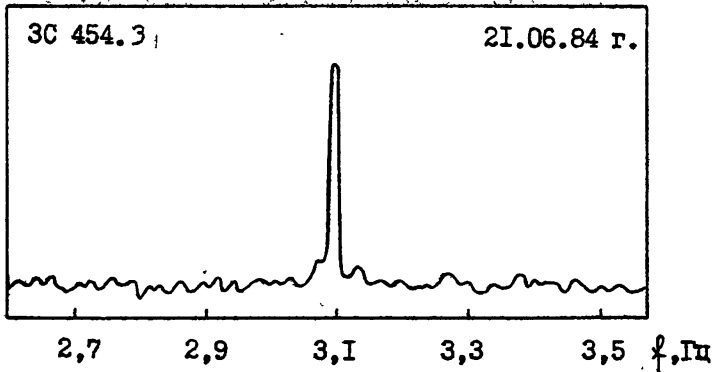
$$\sigma_{f_{\text{к}}}^2 = (N^{-1} \Delta f)^2,$$

где  $\tau_{\text{к}}$  - время корреляции принимаемого и регистрируемого на приемных пунктах излучения от космического радиоисточника,  $N$  - отношение сигнала к шуму в выходном интерференционном сигнале,  $\sigma_{\Delta\phi}$  - вносимая приемными системами погрешность в измерение задержки.

Важнейшим параметром, определяющим точность измерения  $\tau$ , служит время корреляции  $\tau_{\text{к}}$ , которое обратно пропорционально полосе частот регистрируемого излучения. В [6, 7] был предложен радикальный путь резкого повышения точности измерения  $\tau$  за счет уменьшения  $\tau_{\text{к}}$  при помощи многоканального частотного синтеза в широкой эффективной полосе частот, которая может многократно превышать энергетическую полосу частот, определяемую быстродействием регистрирующей аппаратуры. Первые варианты аппаратуры многоканального широкополосного синтеза, использующиеся в РСДБ-экспериментах, были даны в [8, 9], они имеют неко-



Р и с. 1. Автономный контроль интерферометрического приемника на пригодность к РСДБ наблюдениям с  $T = 100$  с  
а) не пригоден, б) пригоден



Р и с. 2. Спектрограмма интерференционного колебания от радиосточника 3С454.3 на РСДБ эксперимента на базе 1200 км. Время когерентного накопления  $T = 100$  с.



торые структурные различия и отражают разные подходы при реализации многоканального частотного синтеза.

В результате синтеза должно быть обеспечено получение интерференционного сигнала с корреляционной огибающей по задержке расчетной формы с одним узким главным максимумом. Для этого необходимо исключить относительные фазовые искажения, вносимые в сигналы из каждого частотного канала по мере прохождения принятого сигнала через тракты приемных систем, включая соединительные кабели, а также в связи с возможными неопределенными начальными фазами сигналов сетки гетеродинных частот, с помощью которых осуществляется широкополосный синтез. При расфазировке сигналов из разных каналов синтеза положение главного максимума корреляционной огибающей смещается по оси задержек на случайную величину, а в случае больших фазовых искажений ( $\sim \pi$ ) будут возникать побочные максимумы, приводящие к аномально большим ошибкам отсчета задержки. Отсюда понятна принципиальная необходимость фазового контроля и регулярная калибровка аппаратного комплекса астрометрического радиоинтерферометра. Основная идея такого фазового контроля связана с пропусканием через весь тракт приемной системы специального контрольного сигнала, представляющего собой периодическую последовательность коротких импульсов, в спектре которых содержатся сфазированные гармонические составляющие с частотами, совпадающими с частотами каналов синтеза [8, 9]. Контрольные сигналы от каждого приемного пункта могут быть записаны на магнитные ленты аналогично информативным сигналам от радиисточника, и после совместной корреляционной обработки лент разных приемных пунктов выявлены относительные фазовые искажения между разными каналами. Следует отметить, что в случае построения систем синтеза по принципу [9] и используемому в НИРФИ, выявление относительных фазовых искажений и их коррекция могут проводиться, кроме того, и автономно для каждого приемного пункта в процессе наблюдений радиисточников.

На рис. 3, взятом из [1, 2], график рис. 3а представляет результат восьмиканального синтеза корреляционной огибающей по  $\tau$  от контрольного сигнала до фазовых коррекций, где видно, что корреляционная огибающая в результате сильных фазовых искажений не имеет одного четко выраженного главного максимума. На рис. 3б приведена кривая корреляционной огибающей от того же сигнала,

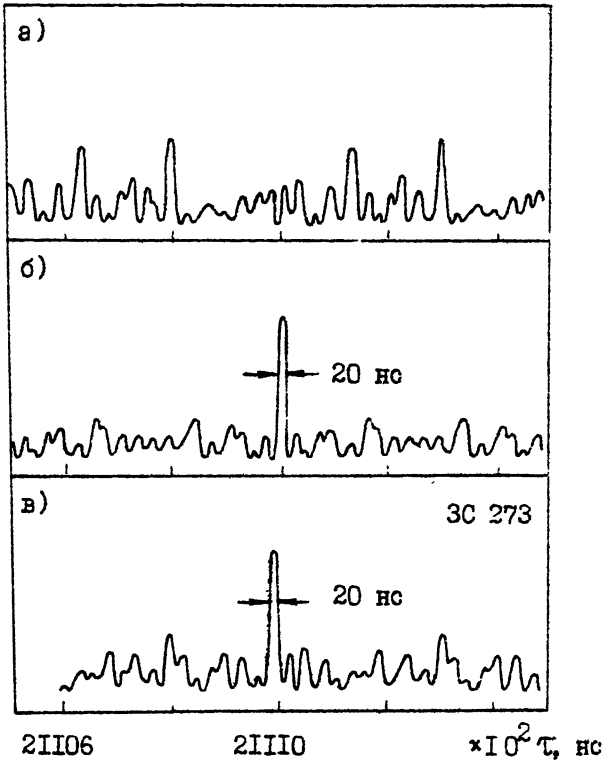


Рис. 3. Восьмиканальный синтез полосы частот 50 МГц [1,9].  
 а), б) - контрольный сигнал, в) - результат синтеза  
 корреляционной огибающей в РСДБ эксперименте на базе  
 1 200 км.

но уже с учетом фазовых коррекций и представляет, следовательно, теоретическую расчетную зависимость, а на рис. 3в показан синтез по радиоисточнику ЗС 273 из РСДБ-эксперимента на длине базы 1200 км, осуществленный с учетом выявленных при контроле фазовых искажений. Эти результаты показывают высокую эффективность контроля и используемых при этом технических принципов.

Из вышесказанного ясно, насколько важно иметь системы контроля состояния интерферометрического аппаратного комплекса. Проводимые при этом проверки в значительной степени повышают надежность и достоверность радиоинтерферометрических измерений со сверхдлинными базами.

### 3. ФОРМИРОВАТЕЛЬ КОНТРОЛЬНОГО СИГНАЛА

В практике РСДБ-экспериментов НИРФИ для описанных двух видов фазового контроля используется в каждом из приемных пунктов один общий источник формирующий импульсные контрольные сигналы в обоих случаях, что упрощает процедуру контроля и аппаратное обеспечение. Формирователь импульсного сигнала контроля должен формировать периодический импульсный сигнал с частотой следования импульсов, равной частотному дискрету сетки частотного синтеза, и обеспечивать присутствие сфазированных гармоник на частоте приема. Структурная схема формирователя сигнала контроля представлена на рис. 4. Сигнал опорной частоты поступает на делитель частоты, который формирует синусоидальный сигнал частоты 1 МГц, из которого с помощью транзисторного умножителя формируется сигнал с частотой 2 МГц. Этот сигнал после прохождения через усилитель мощности поступает на генератор гармоник. Генератор гармоник выполнен на диоде с накоплением заряда (ДНЗ), в качестве которого можно использовать параметрический диод типа ГА 402 В. Этот ДНЗ образует периодическую последовательность импульсов длительностью  $\sim 0,1$  нс с частотой повторения задающего сигнала 2 МГц. Согласованной нагрузкой генератора гармоник является полосовой фильтр. Например, для диапазона  $\lambda \sim 5$  см таким фильтром может быть фильтр на встречных стержнях с линейной фазовой характеристикой и полосой частот пропускания  $\sim 300$  МГц. Центральная частота фильтра настроена на среднюю частоту приема. В полученном таким образом сигнале контроля содержатся сфазированные гармонические составляющие, совпадающие в том числе

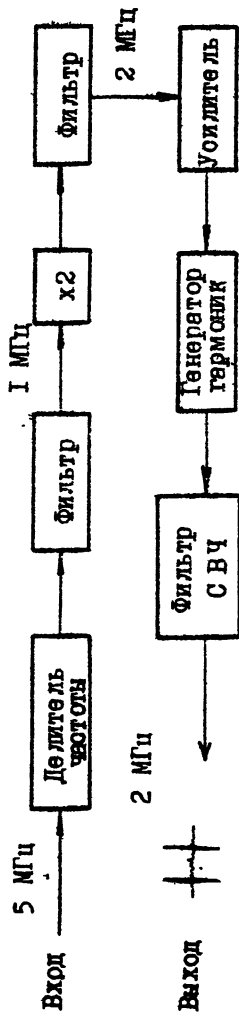


Рис. 4. Структурная схема формирования сигнала фазового контроля

#### Команды управления

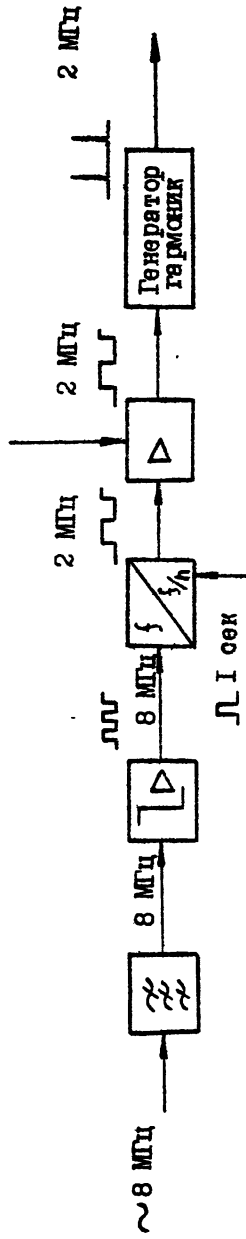
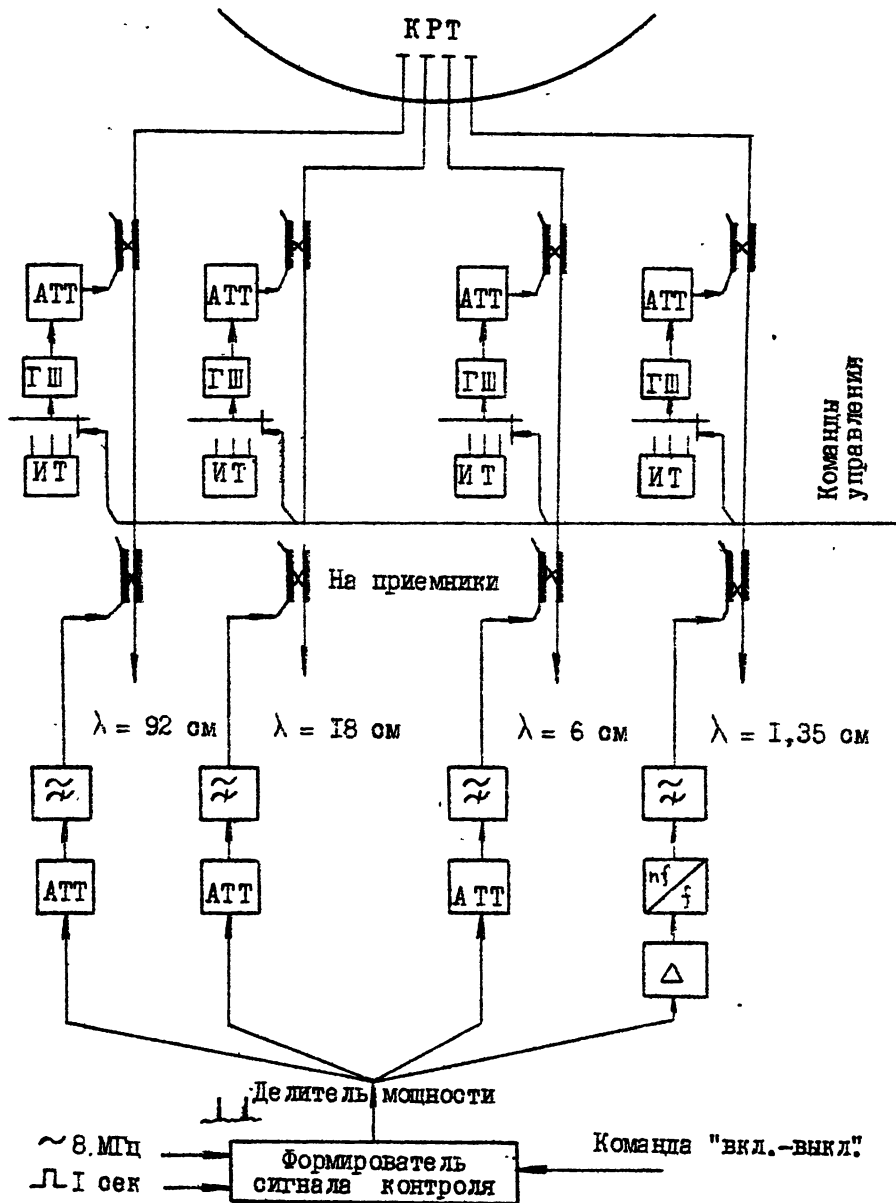


Рис. 5. Структурная схема бортового формирователя сигнала контроля

с частотами каналов синтеза и когерентные с сигналом опорной частоты. Блок формирователя сигнала контроля располагается рядом с приемной системой и соединен через кабель с ее входом посредством направленного ответвителя с развязкой и во время контрольной процедуры выходной сигнал с него поступает на приемник. Выполненный для РСДБ НИРФИ без особого стремления к компактности блок формирователя контрольного сигнала имеет размеры  $250 \times 80 \times 40$  мм, вес около 1 кг, потребляемую мощность не более 8-9 Вт. Интенсивность контрольного сигнала достаточно иметь небольшой, удобно иметь уровень порядка  $2 T_{\text{ш}}$  усилителя высокой частоты в полосе частот одного канала (порядка 120-130 дБ/Вт) или меньше, если использовать специальную фильтрацию контрольного сигнала на выходе приемника. Электропитание формирователя осуществляется от двух источников стабилизированного напряжения +12,6 В, 0,6 А и -12,6 В, 0,25 А.

На рис.5 приведен вариант структурной схемы бортового формирователя сигнала контроля (ФСК) для объекта "Спектр-Р", а на рис.6 показано его место в структуре бортовой части системы контроля. Исходным опорным сигналом является синусоидальный сигнал 8 МГц, сформированный из сигнала бортового стандарта частоты или ретранслированного с Земли сигнала наземного стандарта. Сигнал 8 МГц проходит через буферный узкополосный усилитель-ограничитель и затем делится по частоте до 2 МГц. Начальная установка делителя частоты производится секундными метками бортовой шкалы времени. Это позволяет привязать по фазе контрольный сигнал к шкале времени.

Сигнал частоты 2 МГц в виде "меандра" проходит через широкополосный (импульсный) усилитель мощности, в котором происходит укорочение фронтов "меандра" до величины  $\sim 1$  нс, и поступает на формирователь импульсов на основе ДНЗ, который из положительных перепадов "меандра" формирует импульсы длительностью  $\leq 0,15$  нс и амплитудой  $\sim 0,5$  В. Выходной контрольный сигнал поступает, как показано на рис.6, на делитель мощности, где разветвляется на четыре линии, соответствующие четырем рабочим диапазонам длин волн наземно-космического интерферометра. Для диапазонов длин волн 92; 18 и 6 см полученный контрольный сигнал используется непосредственно. Он подается в сигнальные тракты через направленные ответвители со слабой



Р и с. 6. Структурная схема бортовой части системы контроля параметров приемных трактов, ГШ - генератор шума, ИТ - источник тока, АТТ - аттенюатор

связью (-25 дБ), пройдя предварительно через отдельные для каждого канала фильтры (полосовые или высокочастотные) и аттенюаторы, задающие оптимальные величины контрольного сигнала на входах приемных трактов.

Формирование контрольного сигнала, содержащего большое число гармонических составляющих достаточной мощности в диапазоне волн 1,35 см, является проблематичным, и этот вопрос требует дополнительной проработки в связи с выбором подходящей элементной базы для формирования коротких импульсов. Контрольный сигнал, способ формирования которого показан на рис.6, представляет собой синусоиду с частотой, соответствующей средней частоте канала на волну 1,35 см. Этот сигнал может быть использован только для контроля когерентности приемного тракта, и с помощью его нельзя производить относительную фазировку 4-мегагерцовых частотных каналов. Этот контрольный сигнал, как показано на рис.6, формируется из выходного сигнала ФСК с помощью дополнительного умножителя частоты.

Управление работой ФСК осуществляется с помощью команды "ВКЛ-ВЫКЛ", управляющей подачей питающего напряжения на последний каскад усилителя мощности (рис.6). Остальная часть схемы в период проведения цикла радиоинтерферометрических измерений должна поддерживаться в прогретом состоянии (время прогрева 1 час).

#### 4. ГЕНЕРАТОРЫ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ

Формирование калибровочных шумовых сигналов для всех рабочих диапазонов длин волн объекта "Спектр-Р" предполагается осуществить по известному принципу - с помощью полупроводниковых СВЧ-диодов, смещенных в обратном направлении до состояния "пробоя" (могут быть использованы диоды ГА 405, АА 112, КД 514 и др.). Необходимая величина напряжения смещения может достигать величины 27 В. Конструктивно шумовые головки предполагается сделать в коаксиальном исполнении 7/3.

Как показано на рис.6, шумовые сигналы подаются в приемные тракты (облучатели антенны) через ограничивающие аттенюаторы и направленные ответвители со слабой связью (-20 дБ). Питание генераторов шума осуществляется от отдельных для каждого рабочего диапазона источников тока, имеющих каждый три возможные градации величины тока, обеспечивающие получение приращения шумовой

температуры в каждом приемном тракте на 3, 30 и 100°К. Управление ГШ осуществляется с помощью команд типа "ВКЛ-ВЫКЛ", производящих соответствующие коммутации в источниках тока. Ориентировочная суммарная потребляемая мощность всех ГШ от источников питания 27 В не более 2 Вт.

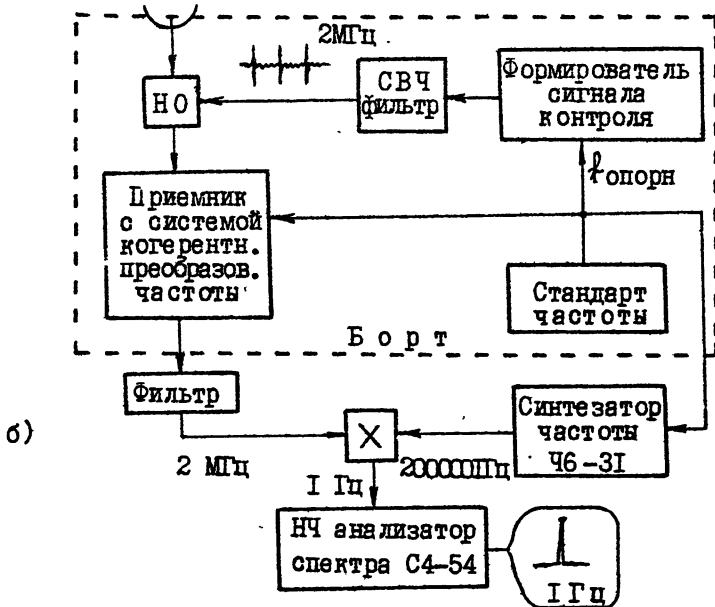
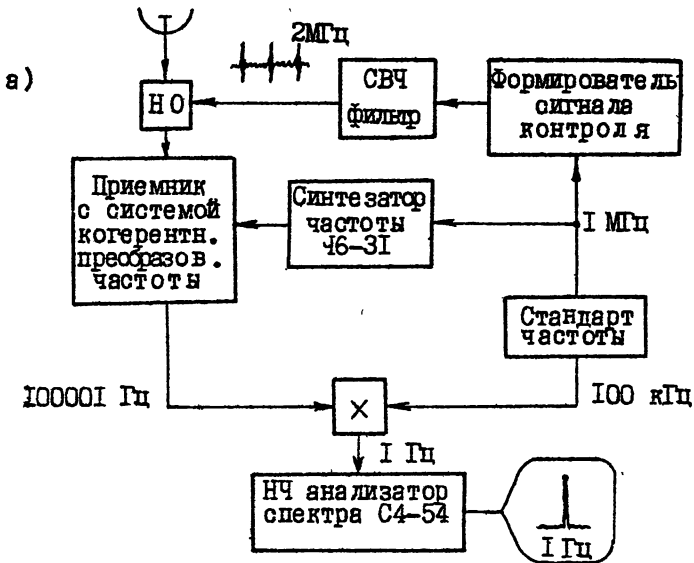
## 5. ПРОЦЕДУРА ФАЗОВОГО КОНТРОЛЯ ПРИЕМНОЙ БОРТОВОЙ И НАЗЕМНОЙ АППАРАТУРЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Общая схема контроля наземного и бортового комплекта приемников в наземных условиях на пригодность к наблюдениям с заданным временем когерентного накопления в соответствии с описанной выше процедурой, приведена на рис.7. Рассмотрим один из возможных вариантов, причем, будем исходить из предположения, что перестраиваемого по частоте гетеродинного сигнала в бортовом приемнике не формируется, но там имеется стандарт частоты. Перестройка по частоте в целях компенсации дифференциального доплеровского сдвига частот происходит только в приемнике наземного пункта.

а. Контроль наземного комплекса (рис.7а). С помощью перестраиваемых по частоте синтезаторов 46-31, участвующих в формировании сигнала гетеродина, производится сдвиг частоты приема таким образом, чтобы на выходе видеотракта наблюдался синусоидальный сигнал расчетной частоты, например 100 001 Гц. Этот контрольный сигнал подается на один из входов коррелятора, а на второй из его входов подается сигнал 100 кГц от стандарта частоты. Выходной сигнал коррелятора подвергается спектральному анализу в реальном масштабе времени с помощью анализатора спектра С4-54 с соответствующим спектральным разрешением (например, 0,01 Гц для  $T = 100$  с). При нормальной работе приемного тракта на экране анализатора спектра должна наблюдаться узкая спектральная линия шириной 0,01 Гц на расчетной частоте расстройки 1 Гц. Заметим, что в случае подачи опорного сигнала на формирователь гетеродинного сигнала приемника от одного стандарта частоты, а на схему формирования контрольного сигнала от другого стандарта, то будет возможность проверки взаимной нестабильности частоты стандартов и разность номиналов их частот.

б. Контроль бортового комплекта в наземных условиях (рис.7б). Гетеродинные сигналы приемника и схема формирователя сигнала контроля формируется от сигнала опорной частоты стандарта на





Р и с. 7. Фазовый контроль приемных систем: а) контроль взаимного комплекта приемников, б) взаимный контроль бортового комплекта приемников перед стартом

борту. Пусть ширина полосы фильтра видеовыхода равна 4 МГц. Тогда формирователь сигнала контроля должен формировать последовательность импульсов с частотой повторения, например, 2 МГц, чтобы на выходе приемника наблюдалась контрольная гармоника. Профильтрованный сигнал 2 МГц подается на коррелятор. На другой его вход поступает сигнал от синтезатора частоты 46-31, имеющего определенную расстройку по частоте, например, выставлена частота 2 000 001 Гц. Результат после коррелятора подвергается спектральному анализу на С4-54. В случае нормальной работы контрольная спектрограмма должна наблюдаться на частоте 1 Гц.

в. Контроль бортового комплекта в условиях полета (рис.8). Контрольный сигнал частоты 2 МГц, переданный в составе ретранслируемого в цифровой форме на Землю информативного сигнала одного из частотных каналов интерферометра, выделяется в наземном приемном пункте и подается в масштабе времени наземного стандарта частоты на один из входов цифрового коррелятора. На второй вход коррелятора поступает сигнал частоты 2 000 001 Гц от синтезатора частоты 46-31, засинхронизированного от того же стандарта частоты. Результат перемножения анализируется на С4-54. Расчетное положение линии интерференционного сигнала, соответствующее нормальной работе приемной системы, равно 1 Гц.

г. Контроль относительной фазировки частотных каналов. Принимаемые на Земле контрольные сигналы всех частотных каналов синтеза широкой полосы частот для выбранного рабочего диапазона длин волн имеют по-прежнему частоту 2 МГц в каждом частотном канале. Соответствующие им контрольные сигналы наземного приемного пункта интерферометра сдвинуты с помощью перестраиваемых по частоте гетеродинов приемника на 1 Гц относительно величины 2 МГц.

Обработка контрольных сигналов производится с помощью штатной системы обработки наземно-космического интерферометра, заключается в выявлении относительных фазовых сдвигов между сигналами одноименных частотных каналов. Отсчет искомым фазовых сдвигов производится в максимумах спектральных линий интерференционных колебаний, полученных при взаимно-корреляционной обработке контрольных сигналов, на частоте расстройки 1 Гц. Выявленные фазовые сдвиги вводятся затем с противоположным знаком в сигналы соответствующих частотных каналов при обработке сигналов космических радиисточников.

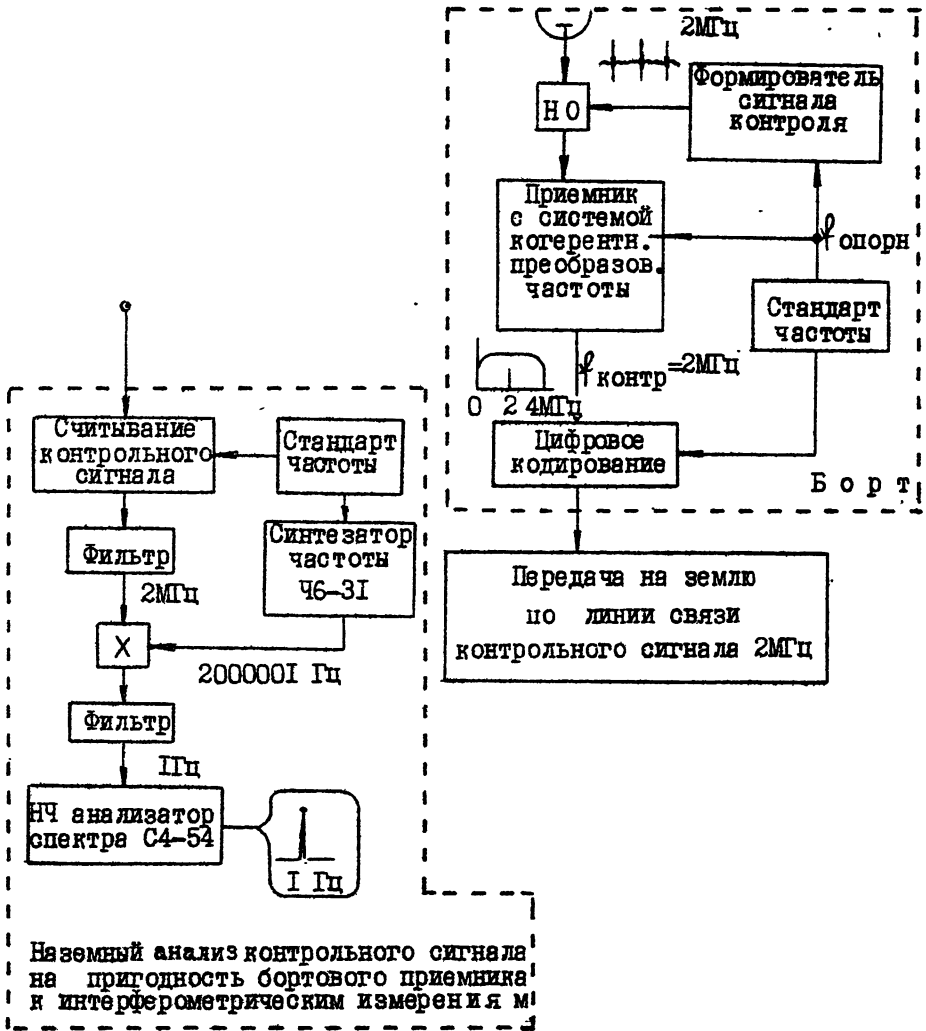


Рис. 8. Фазовый контроль бортовых прикладных систем в условиях полета

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.А.Алексеев и др. Радиоастрометрический интерферометр НИРФИ. Препринт НИРФИ № 206, Горький, 1986.
2. Б.Н.Липатов, А.С.Сизов. Система базового контроля аппаратурного комплекса астрометрического РСДБ НИРФИ. Тез.докл. XVIII конф. по радиоастр. Иркутск, 1986, ч.1, с.119.
3. Б.Н.Липатов, А.С.Сизов. Способ контроля работоспособности приемных систем радиointерферометров со сверхдлинной базой. - Заявка на а.с. № 4108168.
4. В.А.Алексеев и др., Интерференционный коррелометр с применением ЭШМ. - Радиотехника и электроника, 1972, т.XVII, № 2, с.332.
5. Б.Н.Липатов, А.С.Сизов. Система когерентного преобразования сигналов астрономического РСДБ НИРФИ сантиметрового диапазона. - Изв. ВУЗов, Радиобизика, 1984, т.XXVII, № 2, с.131.
6. А.Е.Е. Rogers. - Radio science, 1970, v.5, № 10, p.1239.
7. В.А.Алексеев. Диссертация, ГГУ, Горький, 1970.
8. A.R.Whitney et al. - Radio science, 1976, v.11, № 5, p.421.
9. Б.Н.Липатов, А.С.Сизов. Устройство синтеза широкой полосы частот в радиointерферометре с длинной базой /РСДБ/. - Тез.докл. XI конф. по радиоастрономии. Ереван, 1978, с.244.

Дата поступления статьи

30 ноября 1987 г.

Борис Николаевич Липатов  
Александр Сергеевич Сизов

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ  
НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА В ПРОЕКТЕ "РАДИОАСТРОН"

Подписано в печать 08.02.88 г. МЦ 00700. Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.  
Печать офсетная. Объем 1,98 усл. печ. л. Тираж 120. Заказ 4659. Б е с л а т н о

Отпечатано на роталитре НИРФИ