

АППАРАТУРА ПРИВЯЗКИ ЭТАЛОНОВ ВРЕМЕНИ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ МЕТЕОРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

За последнее время в связи с техническим прогрессом повысились требования к службе времени в различных областях науки и техники: космонавтике, навигации, различных метрологических измерениях и в ряде других случаев. Если раньше удовлетворяла точность сличения часов в различных пунктах порядка 1 мс, то в настоящее время предъявляется требование к точности сличения эталонов менее 1 мкс. Перспективными методами в этой области являются широкополосные системы телевизионных (радиорелейных) и метеорных линий связи. Как показали ранее проведенные эксперименты [2, 3], использование метеорного распространения радиоволн может обеспечить точность привязки разнесенных эталонов порядка 0,3—0,5 мкс.

Исследование метеоров радиометодом показало, что ионизированные следы отражают радиоволны метрового диапазона по законам геометрической оптики, т. е. отражение сигнала носит зеркальный характер. Это позволяет осуществить прерывистую метеорную связь на УКВ. Трассы метеорного распространения радиоволн характеризуются высокой стабильностью пути пробега. Метеорная радиосвязь имеет полосу пропускания несколько МГц, дальность до 2 тыс. км, длительность сеанса связи с помощью одного метеорного следа обычно составляет доли секунды, некоторые следы позволяют поддерживать связь до десятков секунд. В энергетическом отношении метеорная радиосвязь весьма выгодна [1]. Все указанное выше способствовало тому, что метеорная радиосвязь начала применяться для передачи на расстояние сотен километров синхронизирующих сигналов. Таким образом, метеоры являются средством увеличения дальности распространения УКВ-сигналов, способных нести в себе информацию о моментах времени с весьма высокой точностью ввиду большой полосы метеорного радиоканала.

Использование метеорного распространения радиоволн связано с необходимостью учета следующих условий: невозможности прогнозирования момента возникновения метеора (поэтому аппаратура хотя бы одного из пунктов должна непрерывно излучать зондирующие сигналы в ожидании появления подходящего для связи метеорного следа); кратковременности существования метеорного ионизированного следа, в связи с чем представляется возможность использовать для привязки такую шкалу времени, период меток которой много меньше средней продолжительности существования метеорного радиоотражения, а для однозначности определения момента появления сигнала

в пунктах синхронизации период меток шкалы времени должен быть больше двойного времени распространения радиосигнала между пунктами привязки, т. е.

$$2t_p < T_s \ll t_m. \quad (1)$$

Для метеорной радиолинии ХГНИИМ — ВНИИФТРИ удобно пользоваться шкалой времени с частотой повторения меток 100 Гц.

Наиболее оперативно привязку шкал времени можно осуществить дуплексной передачей сигналов времени T_A , T_B и ретрансляцией их затем в исходные пункты. Сущность этого метода легко выяснить, обращаясь к рис. 1. Этот метод позволяет

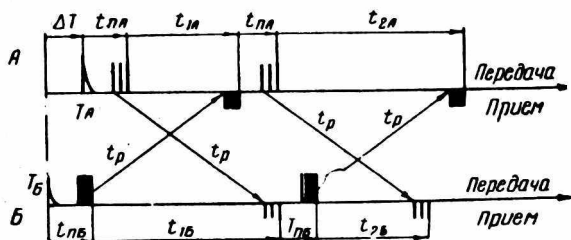


Рис. 1. Схема временной расстановки сигналов метода дуплексной ретрансляции.

самостоятельно в каждом пункте получать информацию о расхождении шкал времени:

$$\Delta T = \frac{t_{2A} - t_{1A}}{2} = \frac{t_{1B} - t_{2B}}{2}. \quad (2)$$

Как указывалось ранее [2], это выражение будет справедливым, если задержки сигналов в аппаратуре пункта А и пункта Б будут одинаковые, так как время этих задержек входит в t_{1A} , t_{2A} и t_{1B} , t_{2B} . Задержка в запуске передатчика и измерителя интервалов времени ($t_{пА}$, $t_{пБ}$) в (2) не входит, она необходима в силу следующих обстоятельств:

а) при работе обоих пунктов на одной несущей частоте невозможно одновременно принимать сигнал и генерировать радиопульс: это будет пагубно воздействовать на принимаемый сигнал;

б) наличие задержки между приемом и излучением позволяет использовать один и тот же измеритель интервалов времени (ИИВ), потому что между моментами команд «Стоп» по интервалу t_1 , «Старт» по интервалу t_2 существует временной интервал, позволяющий разделить эти каналы;

в) эта задержка также позволяет осуществить процесс запоминания результата измерения t_1 с тем, чтобы при использовании низкоскоростного цифроречитывающего механизма (ЦПМ-1)

осуществить запись двух интервалов t_1 и t_2 , измеренных в течение нескольких десятков миллисекунд.

Как следует из сказанного выше, аппаратура должна удовлетворять следующим требованиям: автоматическим поиском подходящего метеорного следа и вхождением в связь; достаточной помехозащищенностью от импульсных помех; высокой чувствительностью приемника; в связи с точностью привязки шкал времени менее 1 мкс разрешающая способность ИИВ должна быть на порядок выше, стабильность переднего фронта зондирующих импульсов и положения импульсов в пачке также должна быть порядка 0,1 мкс; антенна должна быть направленной и ориентирована в обоих пунктах на одну и ту же область метеорной зоны; аппаратура должна обрабатывать только сигналы противоположного пункта и не реагировать на собственные радиосигналы, отраженные метеорным следом назад; задержки в аппаратуре обоих пунктов должны быть одинаковые.

Аппаратура, удовлетворяющая этим требованиям, изготовлена в НИЛ кафедры ОРТ Харьковского института радиоэлектроники.

В состав аппаратуры входит:

1. Антенно-фидерное устройство. Антенна представляет собой решетку из двух синфазных пятиэлементных антенн типа «волновой канал» с шириной диаграммы направленности в горизонтальной плоскости $\approx 30^\circ$ на уровне половинной мощности. В комплексе используется одна антенна для приема и передачи, соединена она с комплексом через антенный переключатель, в котором используется свойство резонансных юзрезков кабеля.

2. Передающее устройство. Передатчик предназначен для преобразования импульсов запуска кодирующего устройства в высокостабильные электрические колебания в виде коротких прямоугольных радиоимпульсов. Несущая частота $f = 72 \text{ МГц}$, импульсная мощность 45 кВт; длительность генерируемого радиоимпульса 4 мкс, задающий генератор собран по схеме Шембея. Для беспойскового вхождения в связь в задающем генераторе предусмотрена кварцевая стабилизация частоты.

3. Приемное устройство. Приемник предназначен для выделения сигналов по несущей частоте и неискаженного усиления их до уровня, необходимого для нормальной работы амплитудного дискриминатора в условиях действия шумов; полоса пропускания приемника $2\Delta f = 800 \text{ кГц}$ обусловлена высокой требовательностью к длительности переднего фронта импульса, равного 0,5 мкс; чувствительность приемника 2 мкВ при отношении сигнал/шум, равном двум.

4. Блок буферной памяти предназначен для реализации возможности последовательного измерения интервалов t_1 и t_2 за время существования короткого отражения (0,1—0,2 сек) и печати их низкоскоростным цифрорпечатающим механизмом (время печати обоих интервалов $\geq 1 \text{ сек}$).

5. Измеритель интервалов времени предназначен для измерения интервалов t_1 и t_2 ; в качестве ИИВ используется промышленный частотомер ЧЗ-9 с дискретностью счета 0,1 мкс, что удовлетворяет предъявленным к аппаратуре требованиям.

6. Блок защиты от помех и синхронизации включает в себя:

а) плату частот, вырабатывающую ряд стабильных опорных частот, предназначенных для запитки: прецизионного кодирующего устройства (10 МГц), схемы проверки по периоду (1 МГц), счетчика реального времени (100 Гц), иммитатора (100 кГц, 10 кГц);

б) кодирующее устройство (КУ) предназначено для выработки кодовой пачки импульсов запуска передатчика, формируемых по сигналам запуска КУ, которые вырабатывает схема синхронизации, а также для формирования сигнала «Запуск счетчика», определяющего момент старта ИИВ; КУ должно обеспечить стабильность положения импульсов в кодовой пачке и задержку в запуске передатчика не хуже 0,1 мкс, что достигается запиткой его высокостабильной частотой 10 МГц; КУ формирует код в режиме «Запрос» три импульса с интервалом 20 мкс между импульсами, в режиме «Ответ» — пять импульсов с интервалом 10 мкс;

в) плату селекции по длительности (t_n) и коду импульсов (t_k), предназначенную для защиты регистрирующего блока от сигналов помехи, для селекции рабочего кода импульсов по амплитуде, по длительности импульсов и по коду, и выработки из них нескольких серий импульсов, необходимых для работы блока; схема допускает отклонение от номинала длительности импульса 20%, а отклонение от кодировки 0,5%;

г) плату проверки по периоду, входящую в систему защиты от помех приемно-регистрирующей стойки; плата осуществляет контроль сигналов, обработанных схемой селекции по длительности и коду импульсов, по периоду их повторения, который строго определен частотой посылок зондов и равен 10 мс; в блоке регистрации имеется две платы проверки по периоду: одна — для проверки сигналов под стробом С1, другая — для проверки сигналов под стробом С2;

д) плату синхронизации, предназначенную для синхронизации работы блока регистрации и выработки основных команд для ИИВ и ББП; в схеме по 100 Гц меткам вырабатываются стробы обзора (С1, С2), которые могут плавно перемещаться на временной оси в пределах 10 мс, длительность стробов обзора составляет 700 мкс; схема формирует сигнал «Старт» по переднему фронту последнего импульса излучаемой пачки, сигнал «Стоп» — по переднему фронту последнего импульса принимаемой пачки, сигнал «Задержанный стоп», формируемый из сигнала «Стоп» под стробом С1, необходимый для логической работы устройства управления ББП;

е) плату фазирования, предназначенную для выработки строго определенной последовательности поступления сигналов

«Старт», «Стоп» и «Задержанный стоп» в блоки ИИВ и ББП при вхождении системы в связь и при связи на длительном метеоре; исходя из стабильности запуска ИИВ импульсы «Старт» и «Стоп» формируются схемой фазирования с достаточно крутыми фронтами $\leq 0,1$ мкс;

ж) счетчик реального времени (часы), предназначенный для

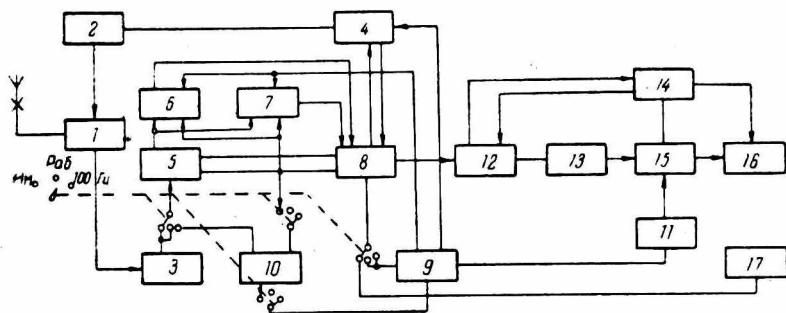


Рис. 2. Функциональная схема аппаратуры пункта метеорной привязки эталонов времени:

1 — антенный переключатель; 2 — передатчик; 3 — приемник; 4 — кодирующее устройство; 5 — селектор по t_1 ; 6 — селектор по периоду T_2 ; 7 — имитатор; 8 — синхронизатор; 9 — плата частот; 10 — имитатор; 11 — счетчик реального времени; 12 — плата фазирования; 13 — измеритель интервалов времени (ЧЗ-9); 14 — устройство управления ББП; 15 — блок буферной памяти (ББП); 16 — цифропечатающий механизм; 17 — эталон.

хранения текущего времени и используемый при автоматической регистрации времени установления радиосвязи; дискретность отсчета 10 сек; счетными являются импульсы 100 Гц, поступающие из платы частот; начальная установка времени производится с помощью кнопок на передней панели блока защиты от помех и синхронизации;

з) имитатор, предназначенный для проверки работоспособности регистрирующей части системы и передатчика, для этого схемой имитатора формируется соответствующий код пачки импульсов (код зависит от режима, в котором находится приемная стойка) под стробами С1 и С2; имитатор позволяет изменять длительность импульса в коде на $\pm 50\%$.

7. Блок питания выдает в приемно-регистрирующую стойку стабилизированные напряжения $+150$ В для ББП, $+6$ и $-12,6$ В для блока защиты от помех и синхронизации, $6,3$ В для накала ламп ББП.

8. Цифропечатающий механизм (ЦПМ-1) предназначен для регистрации на бумажной ленте интервалов времени t_1 и t_2 , а также времени установления метеорной радиосвязи.

Оба пункта привязки времени комплектуются одинаковой аппаратурой. Функциональная схема аппаратуры одного пункта привязки приведена на рис. 2. Аппаратура может работать в двух режимах: «Запрос» и «Ответ». На радиолинии оба пункта долж-

ны работать в различных режимах, например, пункт А — в режиме «Запрос», а пункт Б — в режиме «Ответ», или наоборот (аппаратура безразлично). Отличие в режимах работы состоит в том, что в исходном состоянии аппаратура пункта «Ответ»

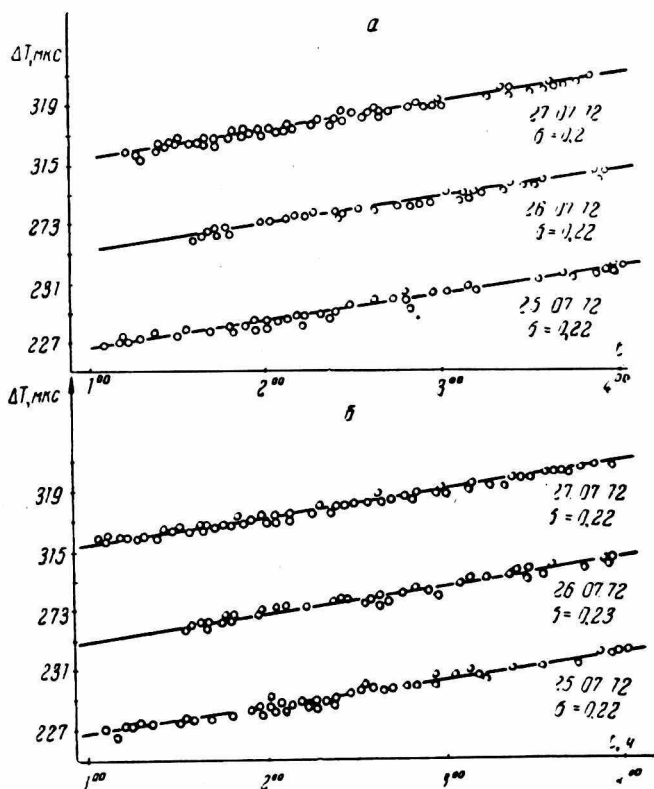


Рис. 3. Результаты сличения эталонов:
а — ХГНИИМ; б — ВНИИФТРИ.

полностью готова к работе, но не излучает радиоимпульсов, тогда как аппаратура пункта «Запрос» генерирует зондирующие импульсы по меткам 100 гц эталона времени. Передатчик пункта «Запрос» генерирует пачку из трех импульсов, а передатчик пункта «Ответ» — пачку из пяти импульсов. Различие в кодах необходимо для защиты аппаратуры от своих же сигналов, т. е. сигналов, отраженных метеорным следом назад. При наличии подходящего метеорного следа пункт «Ответ» начинает принимать сигналы, посланные пунктом «Запрос» по меткам эталона времени, после проверки этого сигнала по длительности импульса и коду запускается схема проверки по периоду, при работе схемы проверки по периоду под стробом С1 разрешается запуск передатчика пункта «Ответ» кодирующим устройством по меткам 100 гц местного эталона.

С окончанием процесса проверки по периоду под стробом С1 в момент появления переднего фронта последнего импульса пачки вырабатывается импульс запуска КУ, т. е. происходит переизлучение принятого сигнала. Сигналы, соответствующие меткам времени пункта «Ответ» и переизлученные сигналы меток

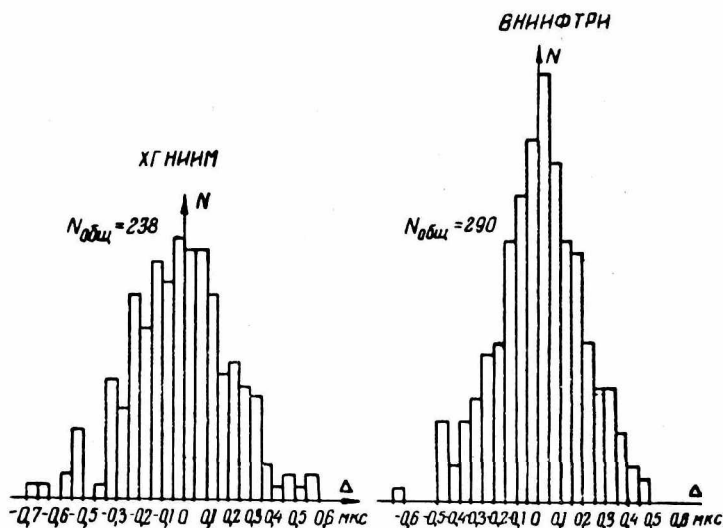


Рис. 4. Гистограммы распределения ошибок.

времени пункта «Запрос» принимаются в пункте «Запрос», где они также проверяются по длительности импульса, коду и периоду повторения. После осуществления проверок в пунктах происходит отсчет интервалов времени t_1 , t_2 , значения которых через ББП с ИИВ последовательно выдаются на ЦПМ.

Описанный комплекс предназначен для работы на радиолнии Москва — Харьков, для привязки вторичного эталона времени ХГНИИМ и Государственного эталона времени и частоты.

Характер помех и их распределение в конечных пунктах теорной радиолнии накладывает свои условия на время работы комплекса. Наиболее благоприятным временем для измерений является промежуток с 1.00 до 4.00 московского времени, когда не работают радиопередающие станции АМ- и ЧМ-колебаний, создающие значительный фон помех.

На данной аппаратуре 20—28 июля 1972 г. проводились эксперименты по сличению часов на указанной трассе. Было проведено шесть сеансов привязки. В результате получили взаимный суточный ход эталонов $\approx 44,5$ мкс. На одном из пунктов (ВНИИФТРИ) в работе участвовал фазовращатель, позволяющий сдвигать эталонную шкалу. Нестабильность сдвига шкалы, контролируемая частотомером, составляла 0,5 мкс. Результаты

привязок за последние три дня измерений приведены на рис. 3 (а — результаты привязок в ХГНИИМ, б — результаты привязок во ВНИИФТРИ).

Множество единичных измерений за один сеанс было аппроксимировано прямой линией для получения наиболее вероятных значений отклонений шкал времени за данный сеанс связи. Мерой точности сличения часов может служить среднее квадратическое значение отклонений экспериментальных точек от расчетной прямой.

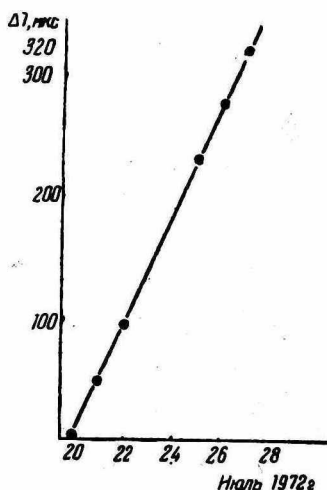


Рис. 5. Взаимный ход эталонов ХГНИИМ и ВНИИФТРИ, полученных по результатам привязки на метеорной радиодлинии в июле 1972 года.

Обработка результатов измерений показала, что аппаратура позволяет получить среднее квадратическое отклонение единичного измерения от расчетной прямой порядка $\sigma = 0,20 - 0,23$ мкс для обоих пунктов привязок (ХГНИИМ, ВНИИФТРИ). Такой же результат получается при оценке σ из гистограмм, приведенных на рис. 4, из которых видно, что совокупность ошибок относительно вероятного значения ΔT подчиняется нормальному закону распределения. Результаты привязок шкал, приведенные к 2.30 московского времени для проведенных сеансов связи, помещены на рис. 5. Линейность графика указывает на то, что за время приведенного эксперимента не удалось выявить заметной неста-

бильности взаимного хода эталонов.

Описанная аппаратура передана институтам ХГНИИМ и ВНИИФТРИ для осуществления регулярных привязок вторичного эталона ХГНИИМ к Государственному эталону [4].

ВЫВОДЫ

1. Настоящая аппаратура привязки шкал времени с помощью метеорной радиосвязи обеспечивает надежную привязку шкалы времени вторичного эталона ХГНИИМ к Государственному эталону времени и частоты.

2. Полученное среднее квадратическое отклонение привязки шкал времени составляет $0,20 - 0,23$ мкс.

3. Разработанная система селекции сигнала и логика работы комплекса позволяют получать привязку шкал времени в условиях действия импульсных помех искрового характера (атмосферных, промышленных) с указанной выше точностью.

4. Испытанная аппаратура может быть использована для регулярных привязок вторичного эталона к шкале ГЭВЧ.

5. Полученная на аппаратуре численность (30 метеоров в час) позволяет осуществить привязку вторичного эталона, аналогичного часам ХГНИИМ, в течение 20—30 мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь Б. Г., Кашеев Б. Л. Метеорная связь. Киев, «Техніка», 1967. 118 с.
2. Использование метеорного распространения радиоволн для привязки часов пунктов службы времени и частоты. — «Измерительная техника», 1971, № 12, с. 38—42. Авт.: Дудник Б. С., Кашеев Б. Л., Лейкин А. Я. и др.
3. Дудник Б. С., Кашеев Б. Л., Смирнов А. Н. О привязке эталонов времени с использованием метеорных следов. — «Вестн. Харьк. политехн. ин-та, Радиотехника», 1971, вып. 3, № 54, с. 29—34.
4. Экспериментальное исследование привязки шкал времени на двух метеорных каналах. — «Измерительная техника», 1972, № 12, с. 46—48. Авт.: Дудник Б. С., Кашеев Б. Л., Лейкин А. Я. и др.