

## **Возможность применения сверхбыстрых логических микросхем в системе фазовой калибровки РСДБ радиотелескопа**

© А. В. Вытнов, Д. В. Иванов, П. В. Зиновьев, А. С. Карпичев

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В системе фазовой калибровки комплекса «Квазар-КВО» традиционно применяются генераторы пикосекундных импульсов (ГПИ) на диодах с накоплением заряда (ДНЗ). Другой подход к формированию импульсов пикосекундной длительности состоит в использовании сверхбыстрых логических микросхем. В ИПА РАН ведутся работы по созданию ГПИ на базе сверхбыстрой логики с возможностью дистанционного изменения частоты следования импульсов и их длительности. В статье представлены основные результаты работы.

**Ключевые слова:** фазовая калибровка, синтез, генератор импульсов пикосекундной длительности, сверхбыстрая логика, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами.

### **Введение**

Применение систем фазовой калибровки в радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами обусловлено необходимостью синтеза сигналов в широкой полосе частот. На этапе обработки сигналов информация, полученная при выделении импульсов фазовой калибровки, используется для измерения фазовых характеристик приёмных каналов радиотелескопа. Во время проведения профилактических мероприятий, сигналы фазовой калибровки используются для диагностических целей и оценки стабильности приемного оборудования.

Спектр сигнала фазовой калибровки должен быть достаточно широким и равномерным, чтобы охватить весь диапазон принимаемых частот. Для формирования такого сигнала используется генератор импульсов пикосекундной длительности. Стабилизация температурных характеристик генератора ГПИ обеспечивается термостатом, поддерживающим необходимый рабочий режим.

В системе фазовой калибровки комплекса «Квазар-КВО» традиционно применяются ГПИ на диодах с накоплением заряда (ДНЗ) [1]. Достоинством таких схем является стабильность параметров на длительных интервалах времени. К недостаткам относится разброс параметров образцов ДНЗ и как следствие необходимость длительной настройки каждого отдельного образца ГПИ. Кроме того, временные параметры формирователя высокочастотного импульса имеют явную зависимость от температуры и требуют дополнительного термостатирования. Для обеспечения необходимой фазовой стабильности генератора менее пикосекунды на градус Цельсия для частот Ка-диапазона (от 28 до 34 ГГц) точность поддержания температуры должна быть на уровне десятой доли градуса.

### **Генератор импульсов фазовой калибровки на сверхбыстрой логике**

Другой подход к формированию импульсов пикосекундной длительности состоит в использовании сверхбыстрых логических микросхем [2, 3]. К достоинствам построения генераторов на их основе можно отнести лучшую температурную стабильность фазы (доли пикосекунды на градус Цельсия).

В ИПА РАН ведутся работы по созданию ГПИ на базе сверхбыстрой логики с возможностью дистанционного изменения частоты следования импульсов и их длительности. К настоящему моменту изготовлены макеты формирователей пикосекундных импульсов на базе микросхем Analog Devices HMC744 (PECL-буфер), HMC746 (PECL-логика) и HMC672 (NECL-логика), используемой в зарубежных аналогах.

Фотографии изготовленных макетных образцов формирователей пикосекундных импульсов, показаны на рис. 1.

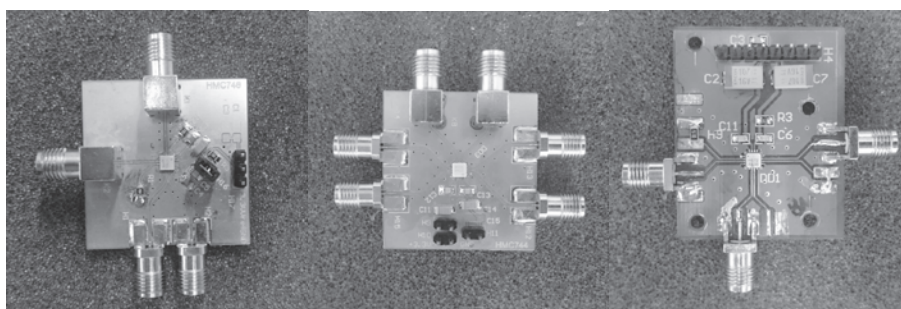


Рис. 1. Макеты ГПИ на базе микросхем HMC746 (слева), HMC744 и HMC672 (справа)

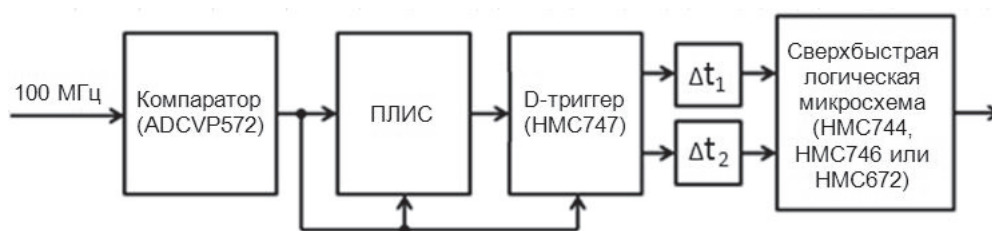


Рис. 2. Структурная схема ГПИ на базе сверхбыстрых логических микросхем

Структурная схема ГПИ, создаваемого в ИПА РАН на базе описанных микросхем, показана на рис. 2.

Компаратор на входе преобразует опорный гармонический сигнал в меандр той же частоты, использующийся в качестве синхросигнала для всей остальной части устройства.

Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) формирует запускающий импульс необходимой длительности и частоты путем целочисленного деления опорного сигнала. Параметры запускающего импульса могут изменяться дистанционно в случае необходимости. Например, если надо привязать сигнал фазовой калибровки к какому-то другому сигналу (это часто необходимо при диагностических работах для синхронизации ГПИ с измерительными приборами) или изменить частоту следования импульсов, что может понадобиться при использовании цифровых систем регистрации для минимизации негативного влияния эффекта наложения на сигнал фазовой калибровки.

Сверхбыстрый D-триггер Analog Devices HMC747 используется в схеме ГПИ для уменьшения джиттера, вносимого ПЛИС. Длительность выходного импульса определяется задержкой между входными импульсами сверхбыстрой логики и её скоростью переключения. Для ее реализации применяются линии задержки  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ . Задержка может быть реализована прямо на печатной плате в виде проводников различной длины или в виде отдельных микросхем — перестраиваемой линии задержки Hittite HMC856, позволяющей изменять задержку в пределах 100 пс с шагом 3 пс. Применение регулируемой линии задержки позволяет дистанционно управлять спектром сигнала фазовой калибровки, программно изменяя длительность импульса.

### **Возможность перестройки частоты**

Преимуществом ГПИ на сверхбыстрой логике по сравнению с традиционными решениями является стабильная работа рассматриваемых микросхем на частоте следования импульсов вплоть до 10–15 ГГц,

в то время как для традиционных решений характерна работа на фиксированных частотах, под которые производилась настройка прибора. Так, например, в системах фазовой калибровки радиотелескопов сети «Квазар-КВО» частота следования импульсов равна 1 МГц и 2 МГц, а на частотах, отличающихся от номинальной, наблюдается ухудшение основных характеристик сигнала фазовой калибровки.

На радиотелескопах «РТ-13» комплекса «Квазар-КВО» широкополосная система преобразования сигналов (ШСПС) оцифровывает сигнал промежуточной частоты от 1024 до 1536 МГц находящийся в 3-й зоне Найквиста.

Сигналы, расположенные в первой и второй зоне Найквиста, также переносятся в рабочую полосу с коэффициентом ослабления фильтра установленного на входе АЦП. Для сигнала фазовой калибровки, следующего с частотой 1 МГц, частоты в спектре сигнала для разных зон Найквиста совпадают. Поэтому после оцифровки каждая гармоника ГПИ представляет собой сумму гармоник, лежащих в полосе полезного сигнала, и ослабленных «побочных» гармоник из соседних зон Найквиста. Это приводит к искажению фазы гармоник ГПИ в полученных данных и ухудшает точность фазовой калибровки вблизи краёв полосы фильтра.

Если повысить частоту следования импульсов, например, до 10 МГц или 100 МГц, то «паразитные» гармоники из соседних зон Найквиста не будут накладываться на гармоники сигнала фазовой калибровки в основной полосе частот, что должно привести к увеличению точности фазовой калибровки.

### **Результаты**

На рис. 3 представлена осциллограмма импульса, полученная с выхода макета на микросхеме НМС746.

Фронт полученного импульса (от уровня 0.1 до уровня 0.9) составляет порядка 52 пс, а длительность импульса (по уровню 0.5) не превышает 100 пс. Длительность и фронт импульса определяет пригодную для использования полосу спектра и ограничены параметрами логической схемы.

Рис. 4 показывает измеренные спектры сигналов, полученные на макете с микросхемой НМС746, при различных частотах запускающих импульсов — от 1 МГц до 100 МГц.

Гармоники сигнала читаются на частотах до 35 ГГц, что делает возможным применения ГПИ на сверхбыстрой логике и в Ка-диапазоне.

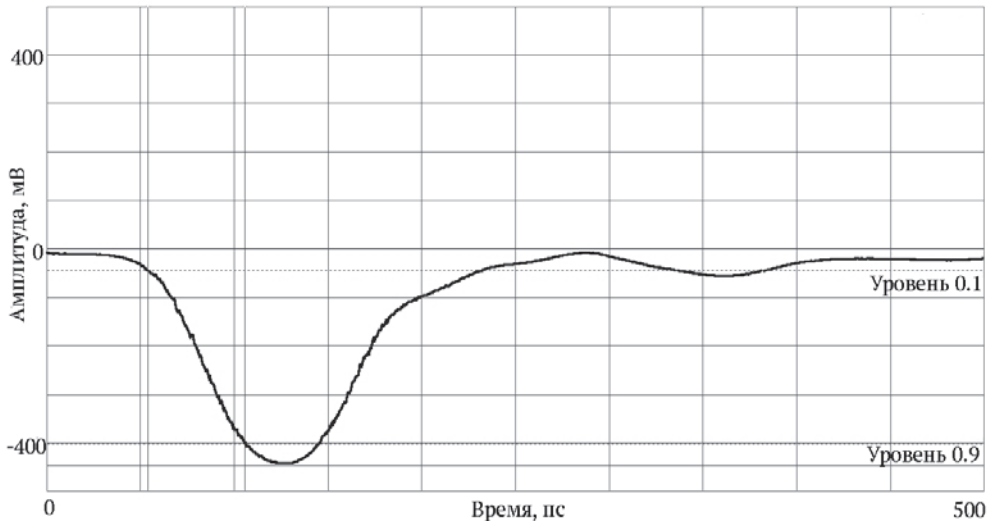


Рис. 3. Осциллограмма импульса макета на микросхеме НМС746. Цена деления по вертикали — 100 мВ. Цена деления по горизонтали — 50 пс

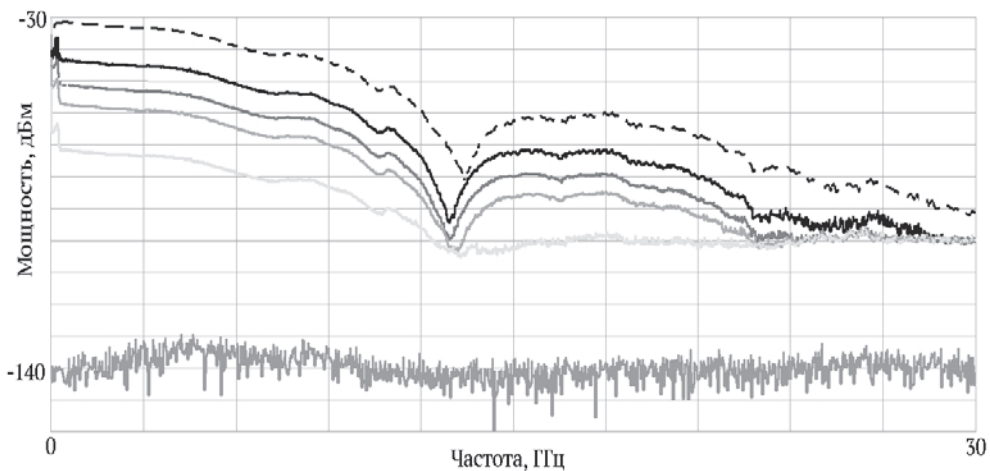


Рис. 4. Спектры импульсов макета на микросхеме НМС746 при различных частотах запускающих импульсов (сверху вниз): 100 МГц (пунктиром), 25 МГц, 10 МГц, 5 МГц, 1 МГц. Нижняя кривая — уровень шумов макета. Цена деления по вертикали — 10 дБм. Цена деления по горизонтали — 3 ГГц

## **Заключение**

В ходе работы был создан макет генератора пикосекундных импульсов, построенного по схеме, позволяющей дистанционно изменять частоту следования импульсов, а также ширину импульса фазовой калибровки.

Применение сверхбыстрых логических микросхем позволяет создать универсальную систему фазовой калибровки, работающую не только в диапазонах «S» и «X», но и в диапазоне «Ka» (от 28 до 34 ГГц). Универсальная фазовая калибровка совместима, как с широкополосной, так и с узкополосной системами приёма и преобразования сигналов на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО».

Возможность выбора оптимальной частоты следования импульсов позволяет оптимизировать сигнал фазовой калибровки под частотные полосы систем приёма и преобразования сигналов, как следствие минимизировать негативное влияние эффекта суммирования гармоник при оцифровке сигнала.

Вышеперечисленные способы улучшения точности определения фазы отдельных гармоник позволят повысить точность определения групповой задержки и частоты интерференции при синтезе полосы частот.

## **Литература**

1. *Витнов А. В., Иванов Д. В., Карпичев А. С.* Средства контроля фазовой стабильности в радиоинтерферометрических экспериментах // Приборы и техника эксперимента, 2013. — № 2. — С. 54–57.
2. *Rogers A. E. E.* Massachusetts Institute of Technology // BBDEV.MEMO #023. Haystack Observatory 2009.
3. *Kodet J., Schreiber K. U., Plötz Ch., Kronschnabl G., Prochazka I.* The New Phase-calibration System of the Geodetic Observatory Wettzell // IVS 2014 General Meeting Proceedings. — 2014. — P. 122–125.

### **Possibility to Use Ultrafast Logic Microchips in a VLBI Radio Telescope Phase Calibration System**

**A. V. Vytnov, D. V. Ivanov, P. V. Zinovev, A. S. Karpichev**

The “Quasar” system traditionally uses Comb generators for its phase calibration. These generators are based on step recovery diodes generating frequency combs. Another approach is to use ultrafast logic integrated

circuits. IAA RAS is working currently to create the Comb generator based on ultrafast logic which can give an opportunity to change the pulse repetition rate and the impulse duration remotely. This article presents our main results.

**Keywords:** phase calibration, synthesis, comb generator, ultrafast logic, very long baseline radio interferometry.