

Импульсный измеритель разности фаз

Д.А. Лякин

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

Описываемое устройство служит для измерения разности фаз между несущими частотами двух импульсных ВЧ-сигналов, что необходимо, в частности, в устройствах автоматической регулировки частоты резонансных ускорителей заряженных частиц. В большинстве случаев для этой цели используются аналоговые фазовые детекторы с фазовращателем в одном из сигнальных каналов. Применение таких датчиков связано с необходимостью их настройки — установки нулевой разности фаз, затрудняющей автоматизацию и дистанционное управление системой, кроме того, стабильный полнодиапазонный фазовращатель значительно повышает стоимость системы. Рассматриваемое ниже устройство позволяет измерять разность фаз между 15-мкс сигналами с частотой заполнения 285-315 МГц (для данной реализации) в диапазоне 0–360 градусов с точностью не хуже 0,3% и не требует предварительной установки нуля.

В основе принципа действия устройства лежит метод преобразования частоты измеряемого сигнала (гетеродинирование) в диапазон 100 кГц, где разность фаз определяется способом электронного счета. Трудность состоит в том, что частота гетеродина при одностадийном преобразовании должна отличаться от частоты измеряемого сигнала на 100 кГц, что составляет $3 \cdot 10^4$ от несущей частоты 300 МГц. Нестабильность генератора при этом не должна превышать 1 ppm , что является достаточно высоким требованием для кварцевых генераторов с приемлемой ценой. Более того, схема с кварцованным гетеродином вообще не применима для систем с автогенерацией.

Вышеназванным требованиям могла бы удовлетворять система с ФАПЧ, но помимо излишней сложности система ФАПЧ с единственным контуром требует много времени на завершение переходного процесса. Выбранный способ формирования частоты гетеродина обеспечивает высокое соответствие его частоты частоте измеряемого сигнала в широкой полосе частот и гарантирует минимальную протяженность переходных процессов [1].

Блок-схема высокочастотной части устройства показана на рис. 1. Частота гетеродина формируется смещением частоты опорного сигнала на 100 кГц. Применение частотных фильтров для отделения частотных составляющих $f_{\text{оп}}+100$ кГц и $f_{\text{оп}}-100$ кГц практически невозможно без применения активных узкополосных следящих фильтров, поэтому для обеспечения монохромности результирующего сигнала реализована схема смесителя с подавлением зеркального канала. В основе лежит комбинирование сигналов, предварительно смешанных с расщепленным на квадратурные составляющие выходом низкочастотного ге-

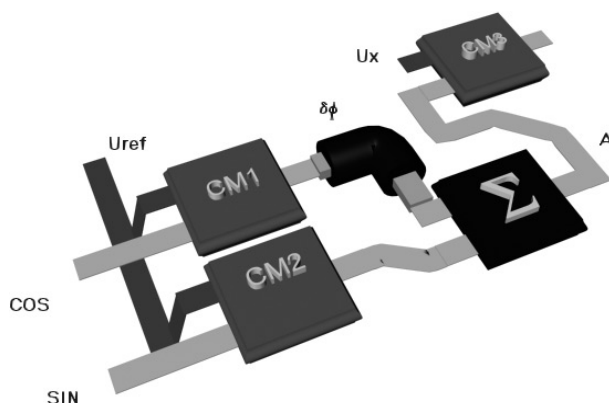


Рис. 1: Высокочастотная часть измерителя.

нератора. Тестирование схемы показало, что при применении высококачественных смесителей высокого уровня мощности [2] (с $P_{\text{out}} = 20$ дБм), динамический диапазон входного сигнала, при котором относительная суммарная мощность побочных частот не превышает величину 0,001 от мощности полезного сигнала, составляет 8 дБ.

Таким образом, в точке А на входе смесителя СМЗ присутствует сигнал с частотой, на 100 кГц отличающейся от частоты сигнала на втором входе, а на выходе — низкочастотный сигнал со сдвигом фазы, соответствующим искомой разности фаз высокочастотных сигналов.

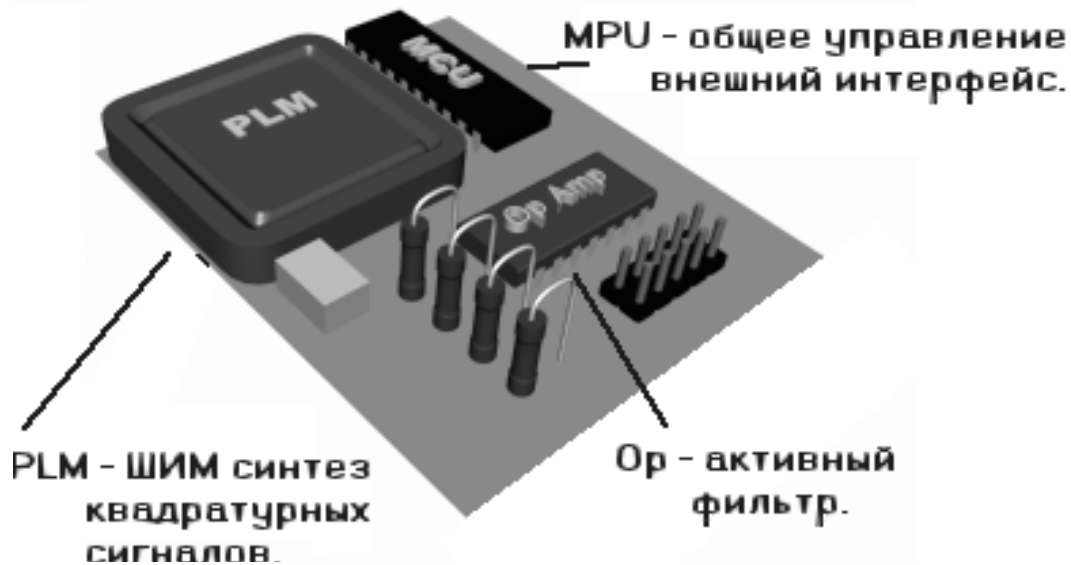


Рис. 2: Структура интерфейсной части.

Интерфейсная часть схемы состоит из реализованного на базе PLM цифрового синтезатора квадратурного сигнала и низкочастотного фазометра, а также из микропроцессорного устройства, осуществляющего функции управления схемой и передачи результатов измерений контрольной ЭВМ или системе автоматической регулировки. Синусоида синтезируется последовательностью промодулированных по длительности импульсов с последующей фильтрацией с помощью активного НЧ-фильтра. ШИМ сигнал на выходе PLM оптимизирован таким образом, что ни одна из гармоник, со второй до четырнадцатой, не превышает уровня -60 дБ от уровня основного колебания.

Для получения оптимального спектра выходного сигнала использовалась специальная программа, подбирающая реализуемые параметры модуляции, минимизирующие заданную целевую функцию. Целевая функция данной задачи представляла собой относительную суммарную мощность всех гармоник сигнала, кроме первой и нулевой. Результат оптимизации был затем использован в качестве исходных данных для программы синтеза программируемой логики MAX II Plus фирмы Altera. В результате величина максимальной мощности на гармонику соответствует частоте дискретизации ШИМ сигнала, однако эта частота значительно превышает частоту среза НЧ-фильтра, что обуславливает ее эффективное подавление. Цифровой способ формирования сигналов с тактированием от кварцевого генератора обеспечивает высокую стабильность и гарантированную ортогональность синусоид.

Кроме функции синтезатора PLM реализует функцию измерения фазы методом электронного счета. Девятиразрядный счетчик, тактируемый тем же генератором, что и синтезатор, фиксирует интервал времени между пересечением нуля опорным и измеряемым

сигналом. Результат счета заносится в выходной регистр, откуда он считывается микропроцессором. Программа, записанная во Flash память MPU, обеспечивает связь устройства по последовательному протоколу (протоколу последовательного порта IBM PC) и протоколу — разновидностью I2C.

Идеология взаимодействия MPU с внешними устройствами соответствует принятой на ускорителе Истра36 тенденции, описанной, в частности в [3]. Возможность программирования MPU 'в системе' позволяет легко реализовывать самые различные алгоритмы работы устройства вплоть до замыкания на себя контура автоматического регулирования.

Список литературы

- [1] Манассевич В. Синтезаторы частот. – М.: Связь, 1979.
- [2] Ред Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике. – М.: Мир, 1990.
- [3] Лякин Д.А., Барабин С.В. Семейство контроллеров для применения в системах линейного ускорителя. Вопросы атомной науки и техники. Вып. 4,5 т.2. с.87, Харьков, 1997.
- [4] Лякин Д.А., Стасевич Ю.Б. Программно-аппаратный комплекс для измерения энергетического спектра пучка заряженных частиц на выходе линейного ускорителя. Вопросы атомной науки и техники. Вып. 4,5 т.2. с.70, Харьков, 1997.