

И. И. КРИВАЛЬ, А. И. СКРИПНЮК, В. А. ПРОЦЕНКО,
А. В. МАРЬЕНКО

Украина, г. Киев, ОАО «Меридиан» им. С. П. Королева.
E-mail: Feedback@meridian.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
18.08 2009 г.

Оппонент А. Г. ЯЦУНЕНКО
(ИТМ, г. Днепропетровск)

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ЧАСТОТОМЕРЫ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Рассмотрен принцип действия, области применения, краткие технические и метрологические характеристики серийно выпускаемых ОАО «Меридиан» СВЧ-частотометров.

Непременным условием развития науки, техники и производства является опережающее развитие современной контрольно-измерительной аппаратуры и средств метрологического обеспечения.

Среди них важное место занимают частотометры — приборы для измерения частоты синусоидальных сигналов и несущей частоты радиоимпульсных сигналов, которые широко применяются в таких областях техники как связь, телевидение, радиолокация, радионавигация, а также на предприятиях радиоэлектронного профиля.

В последние годы ОАО «Меридиан» им. С. П. Королева, которое имеет более чем сорокалетний опыт работы в этой области, разработало и серийно выпускает ряд частотометров, перекрывающих частотный диапазон от долей герца до 40 ГГц.

В линейке предлагаемых частотометров представлены такие модели как UA ЧЗ-63/3, UA ЧЗ-79М, UA ЧЗ-101, позволяющие максимально охватить спектр возможных применений.

Частотометр UA ЧЗ-63/3 удобно использовать при работе как с синусоидальными, так и с импульсными сигналами в жестких условиях эксплуатации.

Частотометр UA ЧЗ-79М незаменим при измерении частоты сигналов в широком диапазоне частот от звуковых до 18 ГГц и там, где необходима высокая чувствительность прибора и точность измерений.

Частотометр UA ЧЗ-101 найдет широкое применение у потребителей, которые работают в 8-миллиметровом диапазоне волн с радиоимпульсными сигналами.

Единственный частотометр из числа выпускаемых в странах СНГ, который позволяет производить точные измерения несущей частоты радиоимпульсных сигналов наносекундной длительности с высокой точностью — UA ЧЗ-101.

Рассмотрим частотометр UA ЧЗ-63/3. Принцип его действия основан на счетно-импульсном методе, заключающемся в том, что счетный блок подсчитывает количество поступающих на его вход импульсов опорной частоты, сформированных из входного сиг-

нала за определенный интервал времени. Частотометр многофункционален и предназначен для:

- автоматического измерения частоты синусоидальных сигналов и частоты следования импульсных сигналов;
- измерения периода синусоидальных и периода следования импульсных сигналов;
- измерения длительности импульсов;
- измерения отношения частот;
- суммирования числа электрических колебаний.

Прибор принят к эксплуатации Министерством обороны, выгодно отличается от своих аналогов малой потребляемой мощностью (25 В·А), рабочими условиями эксплуатации (от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$), наличием интерфейсов канала общего пользования (КОП) и RS-232, высокой верхней частотой измерения (3,2 ГГц).

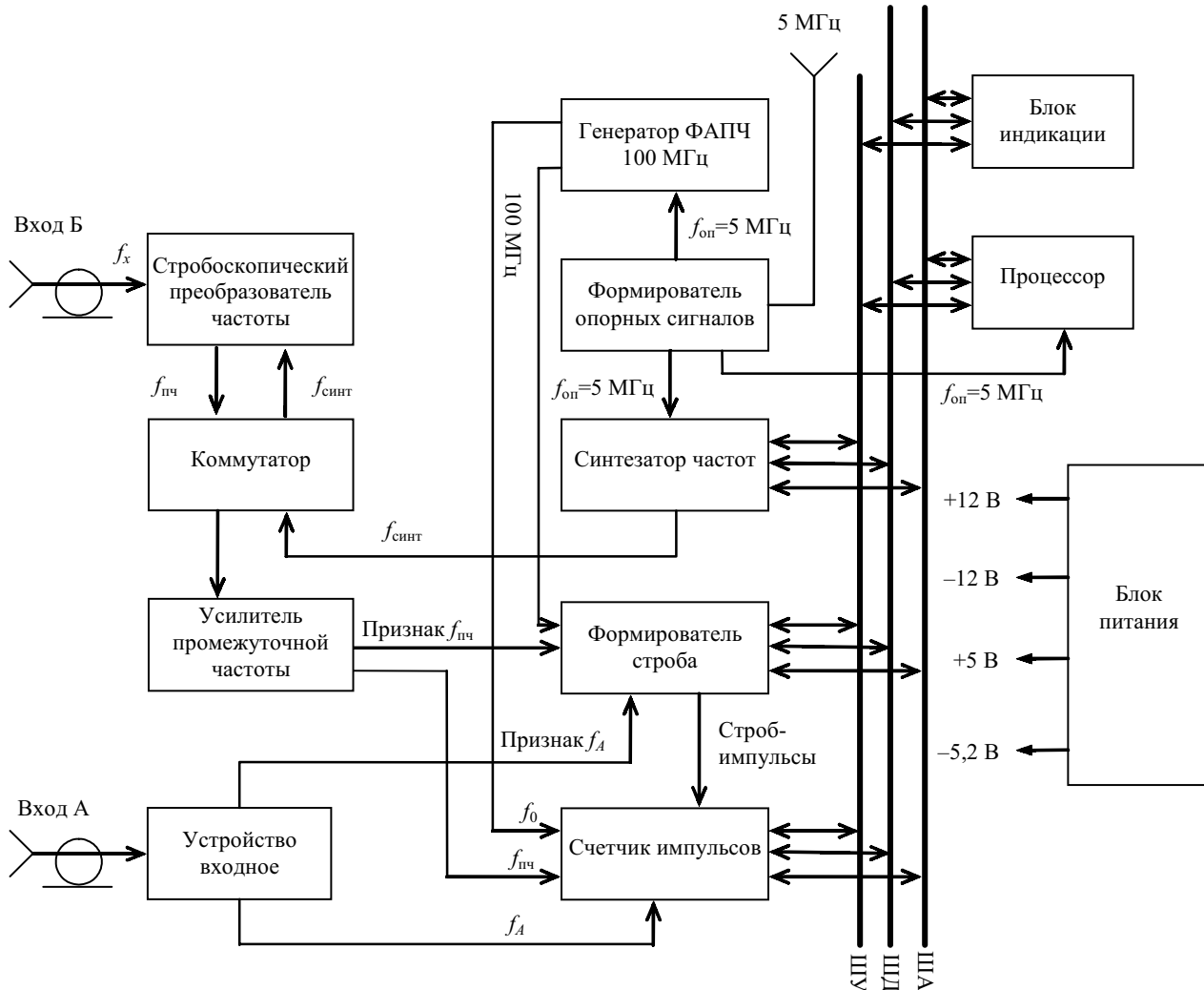
Принцип действия частотометра UA ЧЗ-79М в диапазоне частот до 330 МГц основан на прямом счете, а в диапазоне частот от 0,33 до 18 ГГц — на преобразовании частоты входного сигнала в частоту прямого счета частотометра. Структурная схема прибора приведена на рисунке.

В режиме измерения частоты в диапазоне до 330 МГц измеряемый сигнал поступает на входное устройство, которое состоит из двух усилителей. Один из них работает в диапазоне частот от 10 Гц до 100 МГц, другой — от 100 до 330 МГц. Переключение входов усилителей осуществляется сигналами управления.

Усиленный и сформированный цифровой сигнал поступает на счетчик, а признак наличия промежуточной частоты (признак $f_{\text{пч}}$) — на формирователь строба. Код входа поступает на адресные входы схемы выбора канала с шины данных по команде с процессора. Дальше сигнал поступает на селектор в счетчике, на другой вход которого поступают стробирующие импульсы с формирователя строба.

В формирователе происходит формирование стробирующих импульсов с использованием признака наличия сигнала промежуточной частоты (ПЧ) и опорного сигнала частотой 100 МГц.

В счетчике импульсов происходит суммирование периодов до получения заданной длительности строба, которая представляет собой время счета и может принимать значения от 10 до 10^{-7} с.



Структурная схема прибора УАЧЗ-79М

Пачка импульсов, сформированная из измеряемого сигнала в селекторе за время, равное длительности строба, поступает сначала на делитель частоты на 8, а дальше — на многоразрядный двоичный счетчик. Счетчик подсчитывает количество поступающих импульсов, а результат измерения по шине данных поступает на табло прибора.

В режиме измерения частоты в следующем диапазоне — от 0,33 до 18 ГГц — измеряемый сигнал с частотой f_x поступает на вход стробоскопического преобразователя частоты, на другой вход которого через коммутатор поступает сигнал от синтезатора частоты.

Синтезатор частоты перестраивается по команде с микропроцессора в диапазоне от 329 до 476 МГц. Шаг перестройки составляет 200 кГц.

Коммутатор служит для коммутации сигналов промежуточной частоты $f_{пч}$ и частоты синтезатора $f_{синт}$.

В процессе перестройки синтезатора в стробоскопическом преобразователе происходит преобразование сигнала входной измеряемой частоты на частотах синтезатора. Продуктом преобразования является промежуточная частота $f_{пч}$. Однокольцевой синтезатор частоты выполнен по методу косвенного син-

теза с использованием делителя частоты с переменным коэффициентом деления в цепи обратной связи системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и состоит из перестраиваемого генератора устройства ФАПЧ и делителя частоты с переменным коэффициентом деления. Выходная частота синтезатора задается кодами, поступающими по шине данных из микропроцессора. В качестве опорного в устройстве ФАПЧ используется сигнал частотой 5 МГц.

Сигнал промежуточной частоты $f_{пч}$ с выхода преобразователя частоты через коммутатор поступает на усилитель ПЧ. Дальше сигнал поступает на счетчик, где происходит измерение $f_{пч}$.

В усилителе промежуточной частоты также происходит формирование признака $f_{пч}$. Наличие признака $f_{пч}$ (сигнал логической «1») говорит о том, что промежуточная частота находится в диапазоне от 40 до 130 МГц.

Сигнал признака поступает на формирователь строба и участвует в формировании импульсов строба во время действия сигнала огибающей.

Частота входного сигнала вычисляется по формуле

$$f_x = N f_{\text{синт}} \pm f_{\text{пч}}, \quad (1)$$

где N — номер гармоники частоты синтезатора, на которой произошло преобразование частоты входного сигнала. Номер гармоники N , а также знак приращения $f_{\text{пч}}$ (плюс или минус) определяются путем пятикратного изменения частоты синтезатора с последующим измерением величины промежуточной частоты, соответствующей частоте синтезатора. Определение номера гармоники синтезатора происходит при фиксированном времени счета (1 мс).

Рассмотрим алгоритм работы прибора в режиме измерения частоты входного сигнала. Кодом с шины данных (ШД) устанавливается верхняя частота синтезатора 476 МГц. Затем следует пошаговая перестройка частоты синтезатора, который находится в режиме синхронизации, до появления сигнала промежуточной частоты (наличие признака $f_{\text{пч}}$).

При получении признака $f_{\text{пч}}$ перестройка прекращается. В этот момент происходит вычисление и запоминание частоты синтезатора $f_{\text{синт1}}$ и измерение промежуточной частоты $f_{\text{пч1}}$. По команде с процессора, частота синтезатора увеличивается на 1600 кГц, и снова происходит вычисление и запоминание частоты синтезатора ($f_{\text{синт2}}$) и измерение промежуточной

частоты ($f_{\text{пч2}}$). После этого вычисляется и запоминается номер гармоники

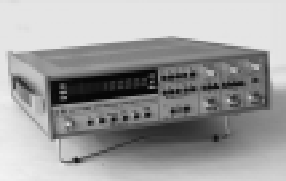
$$N_1 = \frac{|f_{\text{пч2}} - f_{\text{пч1}}|}{|f_{\text{синт2}} - f_{\text{синт1}}|}. \quad (2)$$

По следующей команде с процессора частота синтезатора уменьшается на 1600 кГц и происходит измерение и запоминание номера гармоники N_2 . Процедура повторяется пятикратно, измеренные значения гармоник (N_1 — N_5) округляются до двух значащих цифр и сравниваются. При их равенстве номер гармоники заносится в память прибора, где происходит вычисление измеряемой частоты по формуле (1). Следует учесть, что если $f_{\text{пч2}} > f_{\text{пч1}}$, то приращение $f_{\text{пч}}$ имеет знак «минус», а если $f_{\text{пч2}} < f_{\text{пч1}}$ — то знак «плюс».

Принцип действия **частотомера UA ЧЗ-101** в диапазоне частот до 18 ГГц такой же, как и у рассмотренного выше частотомера UA ЧЗ-79М.

В диапазоне частот до 40 ГГц измеряемый сигнал подается на выносные волноводные стробоскопические преобразователи частоты, работающие в поддиапазоне частот от 17,44 до 25,95 и от 25,95 до 40 ГГц. Сечение каналов волноводов этих преобразователей 11×5,5 и 7,2×5,4 мм, соответственно. В про-

Краткие технические характеристики частотомеров

	UA ЧЗ-63/3	UA ЧЗ-79М	UA ЧЗ-101
			
Диапазон частот	0,1 Гц — 3,2 ГГц	10 Гц — 18 ГГц	10 Гц — 40 ГГц
Минимальный уровень входного сигнала	30 мВ, 100 мВ, 15 мкВт, 50 мкВт, 100 мкВт	50 мВ, 20 мкВт, 100 мкВт	50 мВ, 20 мкВт, 100 мкВт
Максимальный уровень	20 мВт	5 мВт	5 мВт
Стабильность частоты опорного генератора за 30 сут 12 мес	$\pm 10^{-7}$ $\pm 2 \cdot 10^{-7}$	$\pm 10^{-7}$ $\pm 2 \cdot 10^{-7}$	$\pm 10^{-7}$ $\pm 2 \cdot 10^{-7}$
Разрешающая способность	1 Гц/с	1 Гц/с	1 Гц/с
Потребляемая мощность	25 В·А	45 В·А	45 В·А
Питание прибора	220±22 В, 50 Гц 220±11 В или 115±5,75 В, 400 Гц	220±22 В, 50 Гц	220±22 В, 50 Гц
Условия эксплуатации	–30...+50°C	–10...+50°C	–10...+50°C
Масса	4,5 кг	5 кг	5 кг
Габариты	312×95×342 мм	307×115×312 мм	307×115×312 мм
Интерфейс	КОП, RS-232	КОП, RS-232	КОП, RS-232

цессе измерения входной частоты смещение частоты синтезатора равно 1200 или 800 кГц.

Особенностью частотомера UA ЧЗ-101 является более широкий диапазон измеряемой частоты и возможность автоматического измерения несущей частоты радиоимпульсных сигналов в диапазоне от 100 МГц до 40 ГГц. Алгоритм измерения среднего значения несущей частоты радиоимпульсных сигналов аналогичен алгоритму измерения частоты гармонических сигналов, описанному выше.

Отличие состоит в формировании импульса стро-ба (времени счета), который в этом случае состоит из суммы отдельных импульсов, суммарное время которых будет равно установленному времени счета. Это связано с тем, что каждая отдельная составляющая стро-ба будет иметь место только в момент наличия огибающей радиоимпульса, другими словами — в момент действия радиоимпульса.

Для примера рассмотрим радиоимпульсы длительностью 300 нс с частотой заполнения, равной промежуточной частоте $f_{пч} = 100$ МГц, полученной в результате стробоскопического преобразования входного сигнала СВЧ. Огибающая радиоимпульса будет иметь длительность порядка 250 нс, т. е. будет короче длительности реального радиоимпульса на 50 нс.

Формирование отдельной составляющей стро-ба происходит за счет заполнения огибающей импульсами опорной частоты $f_{оп} = 100$ МГц.

Для получения стро-ба длительностью 10 мс необходимо 10^6 периодов опорной частоты ($10^6 = 10 \cdot 10^{-3} / 10^{-8}$), этот строб будет состоять из суммы n отдельных пачек импульсов, где $n = 10 \text{ мс} / 250 \text{ нс} = 40000$ пачек импульсов.

Использование в качестве преобразователей частоты стробоскопических преобразователей частоты позволило максимально упростить схему измерения, т. е. использовать одно СВЧ-устройство, что способствовало получению высоких эксплуатационных и метрологических характеристик. В частотомерах UA ЧЗ-79М и UA ЧЗ-101 для диапазона частот до 18 ГГц стробоскопический преобразователь выполнен в микрополосковом исполнении и встроен в прибор, а в приборе UA ЧЗ-101 для диапазона частот до 40 ГГц — в волноводном исполнении и конструктивно выполнен как выносной, что создает большие удобства при измерении.

Современная элементная база приборов обеспечивает высокие параметры надежности.

Частотомеры UA ЧЗ-63/3, UA ЧЗ-79М, UA ЧЗ-101 имеют малогабаритные переносные корпуса, эргономичны и просты в управлении.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

По многочисленным просьбам Российских предприятий компания JTAG Technologies выпустила «Руководство по тестопригодному проектированию печатных плат» на русском языке.

Брошюра содержит рекомендации для разработчиков цифровой техники, выполнение которых позволит сделать тестирование плат при помощи технологии периферийного (граничного) сканирования более эффективным. Как известно из различных публикаций, для реализации данной технологии необходимо, чтобы хотя бы одна микросхема на проектируемой плате соответствовала стандарту IEEE 1149.1 (JTAG). Это требование зачастую уже выполнено, если устройство содержит в своем составе современные процессоры, микроконтроллеры и ПЛИС, и тестирование и диагностика таких плат при помощи JTAG осуществима без дополнительных мероприятий. Однако следование рекомендациям по тестопригодному проектированию позволяет добиться максимального тестового покрытия платы и возможных неисправностей.

Брошюра также содержит некоторые советы по оптимизации скорости программирования микросхем флэш-памяти на смонтированных платах, что может оказаться важным при крупносерийном производстве.

Брошюру в печатном виде можно заказать бесплатно на сайте JTAG Technologies www.jtag-technologies.ru или у официального дистрибьютора компании — Предприятия Остек.

Продукция компании JTAG Technologies широко используется для тестирования плат и диагностики дефектов при разработке, опытном и серийном производстве, а также сервисном обслуживании электронных изделий.

