

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ компании Pendulum

В.Тихонов

Шведская компания Pendulum Instruments, более со- рока лет активно работающая на рынке измеритель- ной техники, сосредоточилась начиная с 1999 года на выпуске приборов для комплексного анализа час- тотно-временных характеристик. Заказчики Pendulum – главным образом производители элек- тронных и телефонных систем, средств телекомму- никации и операторы связи – используют продукцию компании как в лабораториях калибровки, так и в ус- ловиях испытаний и эксплуатации. НПФ “Диполь” – эксклюзивный представитель компании Pendulum на территории России и стран СНГ – предлагает ее приборы высокого разрешения и быстродействия по невысоким ценам.

К наиболее распространенным радиоизмерительным приборам, как известно, относятся частотомеры, которые предназначены для измерения частоты и сопутствующих ей характеристик. В осно- ву работы частотомеров компании Pendulum Instruments положен известный калибровочный процесс, использующий сравнение па- раметра контролируемого прибора (с неизвестным значением) со стандартным (известного значения). При этом различаются два ос- новных метода калибровки частоты: непосредственный и сравне- ния фаз.

В первом случае контролируемый прибор непосредственно под- соединяется к уже прокалиброванному частотомеру, содержащему эталон частоты (генератор 10 МГц) и компаратор. Большинство час- тотометров могут быть приспособлены, если необходимо, и к внешнему источнику эталонной частоты (рис.1). Большое преимущ- ество метода – измерение любой частоты в диапазоне частото- мера (от единиц МГц до десятков ГГц); недостаток – в том, что точ- ность измерения практически ограничена десятью разрядами даже

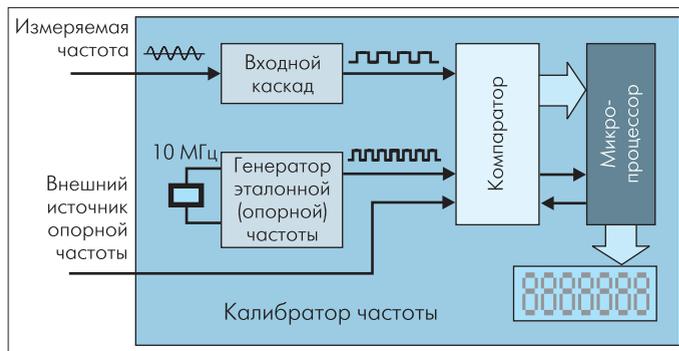


Рис.1. Блок-схема частотомера непосредственного измерения (ка- либратора частоты)



при использовании счетчика наивысшего разрешения со встроен- ным рубидиевым эталоном частоты (генератором эталонной час- тоты). Средний период измерения частоты обычно ограничен 10 с.

Второй метод заключается в измерении разности фаз или час- тоты биений между калибруемым источником и опорным, таким как цезиевый или рубидиевый стандарт, с использованием частото- мера высокого разрешения и представляет собой точный способ ка- либровки источника частоты. Одно из требований этого метода – источник и эталон должны иметь одну и ту же номинальную час- тоту. Измерение скорости изменения разности фаз позволяет оце- нить разность частот между сигналами.

Простейший способ оп- ределения разности фаз между эталонным и измеря- емым сигналами – это изме- рение временного интервала между моментами прохож- дения данных сигналов че- рез нуль с помощью тайме- ра/ счетчика (рис.2). Благо- даря измерению этого ин- тервала в двух местах, раз-

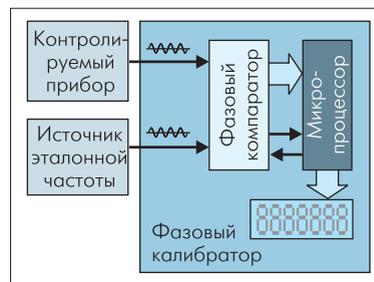


Рис.2. Блок-схема таймера/счетчика (фазового калибратора)

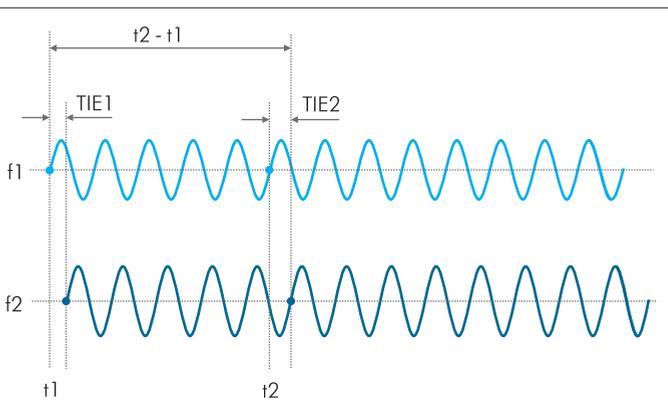


Рис.3. Определение разности частот сигналов с f1 и f2

деленных несколькими секундами, можно вычислить относительную разность частот (рис.3) из выражения $\Delta f/f = (TIE2 - TIE1)/(t2 - t1)$. Зная эту разность, нетрудно оценить неизвестную частоту докумен- тированием ее значения либо регулируя ее до снижения разности, если есть такие возможности. Точность измерения частоты при ру- бидиевом эталоне достигает 12 разрядов.

Частотомеры компании Pendulum относятся к этим двум катего- риям приборов.

ЧАСТОТОМЕРЫ СЕРИИ CNT-60

Последние модели данной серии – CNT-66 и CNT-69 – это переносные высококачественные, простые в управлении, недорогие приборы (рис.4). Обе модели используют принцип реверсивного счета, обуславливающий разрешение до 7–8 разрядов во всем частотном диапазоне (1,3 ГГц). Стабильность поставляемого по отдельному заказу генератора опорной частоты выше 1×10^{-7} /мес. Входные цепи приборов обеспечивают автоматический запуск измерения сигналов любого типа, а также регулировку чувствительности и ряд других функций по созданию помехозащищенности. Частотомеры заключены в прочный металлический кожух и характеризуются высокими показателями надежности и ЭМС (электромагнитной совместимости).



Рис.4. Частотомеры CNT-66 и CNT-69

Прибор CNT-66 оборудован большим ЖК-дисплеем и имеет удобное клавишное управление на лицевой панели, которое позволяет выбирать время измерения и функции прибора, фиксировать данные на дисплее, сбрасывать данные измерений, управлять подключениями сигналов и связью по переменному/постоянному току, настраивать уровень чувствительности (связь по переменному току) или уровень запуска (при связи по постоянному току), управлять положительной или отрицательной крутизной переднего или заднего фронтов импульсного сигнала.

Поставляемый по отдельному заказу интерфейс GPIB превращает CNT-66 в самый дешевый полностью программируемый прибор для данного класса частотомеров. С его использованием все функции частотомера, в том числе уровень запуска и установка чувствительности, управляются через этот интерфейс. Чувствительность по входу выбирается от 20 мВ до 1 В. На CNT-66 возможно измерение размаха напряжения входного сигнала для частот до 50 МГц. Прибор CNT-66 имеет следующие характеристики:

Режим измерения

Частота	
вход А	0,1 Гц–160 МГц
вход С	70 МГц–1,3 ГГц
разрешение	7 разрядов за 1 с
Период А	
диапазон	8 нс... 2×10^8 с
разрешение	100 нс (однократное измерение), 7 разрядов (среднее за 1 с)
Диапазон отношений А/В, С/В	0... 2×10^9 и 1×10^{-7} ... 2×10^9 (А/В), 0... 1×10^{15} (однократное, А/В), 8... 1×10^{10} (С/В)
Временной интервал (А–В)	100 нс... 2×10^8 с (однократное), 0 нс...20 с (среднее)
Диапазон суммирования А	0... 1×10^{15} (0–16 МГц)
Размах напряжения	
диапазон	(-5,1...+5,1) В/(-51...+51) В
частотный диапазон	постоянный ток, 100 Гц–50 МГц
разрешение	20 мВ/200 мВ

Вход А и В

Диапазон частот	0–160 МГц
Чувствительность	20 мВ эфф. (0–30 МГц), 40 мВ эфф. (30 МГц–120 МГц), 60 мВ эфф. (120 МГц–160 МГц)
Импеданс	1 МОм/35 пФ

Напряжение постоянного и переменного тока, макс. .350 В

Высокочастотный вход

Частотный диапазон	70 МГц–1,3 ГГц
Диапазон входного напряжения	10 мВ–12 В эфф. (70 МГц–900 МГц), 15 мВ–12 В эфф. (0,9 ГГц–1,1 ГГц), 40 мВ–12 В эфф. (1,1 ГГц–1,3 ГГц)
Импеданс	50 Ом, КСВН менее 2
Входное напряжение, макс.	12 В эфф.

Общие характеристики

Уровень безопасности	EN61010-1 (1990)+A1(1992)+ +A2(1995) CAT II
Стандарт по ЭМС	EN 55011 (1991) группа 1, класс В EN 50082-1 (1992)
Наработка на отказ	50 тыс. ч
Рабочая температура	0...+50°C
Электропитание	115 или 230 В эфф., 46–440 Гц (< 24 ВА)
Габаритные размеры	186x88x270 мм
Масса	2,4 кг
Стоимость	990 у.е.

Универсальное устройство CNT-69 осуществляет измерение частоты, периода, длительности импульсов, отношения или разности частот, а также суммирование (числа импульсов). Применяется как в лабораторных, так и в полевых условиях. На ЖК-дисплее выводятся результаты измерений и подсказки меню настройки. С панели также можно регулировать чувствительность прибора при выборе одного из двух диапазонов, подключать фильтр на 50 кГц через специальный вход, сбрасывать данные, выбирать время измерения, задавать функцию прибора, “замораживать” данные на дисплее, пропускать разряды, сдвигая одну цифру на дисплее справа налево при каждом нажатии специальной кнопки, управлять уровнем запуска.

На задней панели прибора расположены вход для подключения внешнего образцового генератора, переключатель для выбора диапазона напряжения, переключатель адреса и соединитель для подключения интерфейсной шины GPIB. Через эту шину управление практически всеми функциями частотомера CNT-69 может осуществляться при помощи компьютера. Исключение составляет лишь включение/выключение питания. Дополнительный микропроцессор, устанавливаемый на плате сопряжения, позволяет в приборе реализовать дополнительные функции: непрерывно изменяющееся время измерения, настройку шины, быстрый вывод данных и т. д. Однако доступ к этим функциям возможен только через программный интерфейс. Характеристики прибора CNT-69:

Режим измерения

Частота А и В, период А,	
суммирование А	те же, что для CNT-66
Длительность импульса А	100 нс... 2×10^8 с

Вход А

Диапазон частот	10 Гц–160 МГц
Чувствительность	10 мВ эфф. (10 Гц–120 МГц), 30 мВ эфф. (120–160 МГц)

Импеданс .1 МОм/30 пФ

Входное напряжение постоянного и переменного тока, макс. .350 В

Общие характеристики

Уровень безопасности	EN61010-1 (1990) + +A1 (дополнение 1)
Стандарт по ЭМС	тот же, что для CNT-66
Наработка на отказ	70 тыс. ч
Рабочая температура	0...+50°C
Электропитание	то же, что для CNT-66
Габаритные размеры	186x88x270 мм
Масса	2,1 кг
Стоимость	820 у.е.

Генератор опорной частоты представляет собой нетермостатированный кварцевый генератор с математически рассчитываемой температурной компенсацией (МТСХО). Генератор МТСХО позволяет достичь стабильности, сравнимой со стабильностью термостатированных кварцевых генераторов, но стоимость его значительно ниже. Поправочные коэффициенты, характеризующие температурную зависимость конкретного кварцевого резонатора, хранятся в энергонезависимой памяти и используются для коррекции результата измерения. В отличие от термостатированных генераторов МТСХО обеспечивает свои технические характеристики практически мгновенно, без длительного прогрева и стабилизации температуры. Калибровка прибора очень проста: к нему подключается стандарт частоты и нажимается соответствующая клавиша.

Технические характеристики стандартного кварцевого генератора и МТСХО приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики опорных генераторов

Характеристика	Стандартный генератор	МТСХО (опция 07)
Старение	Менее 5×10^{-7} /месяц, 5×10^{-6} /год	Менее 1×10^{-7} /месяц, 5×10^{-7} /год
Воздействие температуры в диапазоне 0–50°C	Менее 1×10^{-5}	Менее 2×10^{-7}
Суммарная погрешность (2σ)	Менее $1,2 \times 10^{-5}$ (за год), $1,5 \times 10^{-5}$ (за два года)	Менее 6×10^{-7} (за год), 1×10^{-6} (за два года)
Стоимость	В комплекте	280 у.е.

ЧАСТОТОМЕРЫ-КАЛИБРАТОРЫ СЕРИИ CNT-80

Частотомеры CNT-80 и CNT-85/85R (рис.5) представляют собой стандартные средства для измерения, анализа и калибровки частоты, временного интервала и фазы электрических сигналов. Эти приборы могут непосредственно измерять и калибровать любую определенную в приложении частоту вплоть до 2,7 ГГц. В частности, CNT-85 измеряет частоту, период, сумму и длительность импульсов и, кроме того, частоту модулированных АМ- и ЧМ-сигналов. Рубидиевый генератор частотомера CNT-85R позволяет ему производить поверку частоты даже самых стабильных генераторов. Фактически CNT-85R – образцовое средство измерения, где каждое индивидуальное односекундное измерение осуществляется с разрешением 5×10^{-11} . Встроенная статистическая функция обеспечивает еще большее разрешение прибора.

Прибор CNT-80 – высокоточный частотомер-анализатор, определяющий дополнительно временные интервалы и разность фаз. При измерении интервалов времени CNT-80 обеспечивает самые высокие характеристики благодаря быстрым (100 пс) однократным измерениям, выполняемым с очень высоким временным разрешением и высоким пусковым разрешением (1,25 мВ). Разность фаз электрических сигналов этот прибор измеряет в диапазоне частот до 160 МГц, причем в диапазоне до 30 МГц разрешение прибора не хуже 0,01°. Такое высокое разрешение обеспечивают самые точные операции типа настройки лазера или калибровки фазометра. Основные технические характеристики приборов серии CNT-80 приведены в табл.2.

Благодаря высокой скорости измерений приборы серии CNT-80 являются оптимальным средством для создания быст-



Рис.5. Частотомеры/калибраторы CNT-85 и CNT-85R

Таблица 2. Характеристики частотомеров серии CNT-80

Характеристика	CNT-80	CNT-85	CNT-85R
Измерение частоты, длительности коротких импульсов и периода	Да	Да	Да
Измерение временных интервалов и фазовых характеристик	Да	Нет	Нет
Диапазон частот (стандарт/опция), МГц	225/2700	300/2700	300/2700
Высокочастотный вход 2,7 ГГц	Опция 10	Опция 10	Опция 10
Частотное разрешение (время измерения 1 с), разряды	10	10	10
Разрешение временного интервала (единичное/среднее), пс	250 / 100	–	–
Разрешение размаха напряжения и пускового уровня, мВ	20 мВ	3 дБ (шаг)	3 дБ (шаг)
Удержание показаний	Да	Да	Да
Разрешение задержки, нс	100	–	–
Стабильность генератора, 1/месяц	3×10^{-9}	3×10^{-9}	5×10^{-11}
Выход опорного генератора 10 МГц	Да	Да	Да
Скорость измерения, измерение/с через GPIB-интерфейс	125	250	250
во внутреннюю память	2000	1600	1600
Стоимость, у.е.	2 050	1 775	11 450

родействующих измерительных систем. До 20 самых сложных пользовательских установок параметров измерений могут быть сохранены и немедленно вызваны из энергонезависимой памяти частотомеров. Это позволяет без задержек проводить качественно новые, но типовые измерения с очень высоким уровнем функциональности, причем полный цикл “установка–измерение–передача” в этом случае составляет менее 8 мс. Все частотомеры данной серии имеют превосходную электромагнитную защиту, что очень важно для измерительных систем.

Следует особо отметить, что приборы CNT-85 и CNT-85R пригодны для использования не только в лаборатории, но и в полевых условиях. Если многие частотомеры других компаний имеют очень большое время выхода на рабочий режим – до 2 ч и более, то приборам CNT-85 и CNT-85R достаточно для этого всего 10 мин, что позволяет использовать переносные источники питания.

Многие операторы GSM-телефонии выбирают приборы компании Pendulum при проведении ремонтных и пуско-наладочных работ, а также при создании быстродействующих испытательных систем для проведения НИОКР. Все частотомеры серии CNT-80 удовлетворяют требованиям SCPI, что облегчает обновление их аппаратных средств. Частотомеры сертифицированы Росстандартом и относятся к приборам европейского качества.

WM-10 – ПРИБОР ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕТЕЙ SDN

Некорректная синхронизация в цифровых сетях связи стандарта SDN приводит к очень серьезным проблемам передачи данных. Как следствие, можно ожидать, что ваш телефонный разговор будет разорван, факсы начнут печатать с ошибками, а передаваемые цифровые данные – целиком или частично потеряны. В любом случае работа в сети нарушится и резко возрастут затраты операторов на обслуживание.

Главная причина таких проблем – нестабильность временной синхронизации. А качественное управление ее параметрами требует мониторинга нестабильности в течение продолжительного периода времени (часов или даже дней), что возможно только при использовании сверхустойчивых генераторов времени.

Уникальный прибор для решения проблем синхронизации – портативный компаратор частоты Wandermeter WM-10 (рис.6), измеряющий отклонения временной синхронизации в телекоммуникационных, мобильных и смешанных сетях. WM-10 помещен в ко-



жух, защищенный от электромагнитного излучения. Малая масса делает его идеальным средством как для отладки, так и для профилактики в полевых условиях. Базовые особенности WM-10:



Рис.6. Прибор WM-10

- измерение нестабильности генераторов опорной частоты для сетей с полосой 2,048 МГц стандарта E1;
- режимы измерений MTIE и TDEV;
- наличие автокалибровки внутреннего рубидиевого опорного генератора.

Прибор предельно прост в эксплуатации даже для неквалифицированного персонала – стандартные измерения требуют нажатия всего нескольких клавиш. Автоматические измерения прекращаются по истечении установленного времени и могут быть запущены после заданной задержки. Контекстная система помощи делает ненужным использование каких-либо дополнительных руководств по эксплуатации прибора.

Рубидиевый опорный генератор и специальная измерительная схема собственной разработки для определения ошибки временного интервала (TIE) позволяют сравнивать фазы подключенных сигналов с рубидиевым стандартом. Внутренняя калибровка также производится в автоматическом режиме. Пользователю необходимо только подсоединить к WM-10 частотный калибратор и нажать соответствующую клавишу меню. Через несколько часов внутренние рубидиевые часы автоматически выставят номинальное значение частоты. Результаты измерений выводятся на графический ЖК-дисплей или на персональный компьютер через RS232-порт.

WM-10 может производить как абсолютные, так и относительные измерения. В первом случае измеряемый сигнал сравнивается с сигналом, задаваемым внутренним рубидиевым “атомным” генератором времени. Измерения отклонений проводятся на тактовой частоте E1 (2,048 МГц) или первичной скорости передачи данных (2 Мбит/с). Результаты сравниваются с наиболее общими масками, отвечающими стандарту ETSI. Новые маски могут загружаться в память прибора из ПК.

При относительных измерениях определяется разностная нестабильность двух сигналов, например входных и выходных сигналов E1-сетей. То есть измеряются различные отклонения между двумя существующими синхриимпульсами – входящим и исходящим импульсом 2,048 МГц в модуле синхронизации сети. Выход 2,048 МГц может быть использован как стимулирующий сигнал элемента сети при определении дефекта или как базовый в других измерительных инструментах или тестерах. Это дает возможность проверять, укладывается ли контролируемый сигнал в допуски на нестабильность, и определять количество “сверхнестабильных” сигналов, созданных проверяемым устройством за время тестирования.

Прибор WM-10 многофункционален. Он может быть использован в качестве: точного поверочного инструмента, соответствующего стандартам (ITU G811-813, ETS 300462) для операторов телефонных сетей; диагностического ремонтного инструмента на местных телефонных станциях в соответствии с европейскими стандартами на волоконно-оптические средства передачи данных SDH или PDH; средства оперативного поиска неисправностей в сетях стандартов SDH или PDH; рабочего инструмента проектировщика, разрабатывающего оборудование для элементов сетей стандартов SDH или PDH, телефонных систем для частного пользования, GSM-

телефонии, радиосвязи и т. п. Прибор могут использовать также операторы сетей, предоставляющие, например, услуги радиосвязи или мобильной GSM-телефонии.

Wandermeter работает в двух различных режимах. При работе в локальном режиме, являющемся стандартным, по мере проведения измерений, TIE-кривая, изображаемая на дисплее, непрерывно обновляется, что очень удобно при автоматическом диагностировании на месте. Скорость измерений – примерно 1 измерение/с. После завершения TIE-измерения на дисплей выводятся MTIE- или TDEV-кривые и сравниваются с сохраненными масками.

При удаленном режиме – с управлением от ПК со специальным ПО WanderView™ SW – WM-10 выступает в роли внешнего интерфейса к ПК, непрерывно перенося в него все TIE-значения. Локальный дисплей WM-10 в этом случае не обновляется. Скорость измерений может быть установлена в диапазоне до 30 TIE-значений/с в объемах, ограниченных только физическими возможностями ПК. Технические характеристики WM-10:

Режимы тестирования (MTIE и TDEV-маски)	
Черновой	нет масок
PRC	маска MG811-генератора времени (ETS300462-3)
SSU	маска 0812-генератора времени (ETS300462-3)
SEC	маска 0813-генератора времени (ETS300462-3)
SSU (закрытый режим)	маска G812-генератора времени (ETS 300 462-4)
SEC (закрытый режим)	маска 0813-генератора времени (ETS 300 462-5)
Дифференциальный	определение относительной нестабильности (TIE, MTIE и TDEV)
Входные характеристики сигнала	
Частота	2,048 МГц
Амплитуда	(-5...+5) В
Тип сигнала	симметричный импульс (часовой сигнал), HDB3-кодированные данные
Измерение TIE	
Системные часы	встроенный рубидиевый генератор или внешний 10-МГц сигнал
Время измерения	2 ч, 24 ч или непрерывно
Скорость обновления в локальном режиме:	
2 ч	примерно 1 измерение/с,
24 ч	примерно 0,2 измерение/с,
непрерывно	примерно 1 измерение/с,
Скорость обновления в удаленном режиме	до 30 измерение/с
Внутреннее сохранение данных... (16000 сохраненных TIE-значений)	
Тип	энергонезависимая память
Время измерений	
Время задержки	2 ч, 24 ч и непрерывное
Измеряемые параметры	
частота, размах напряжения, тип сигнала	
Входы А и В	
Диапазон напряжений	±5,0 В
Чувствительность	60 мВ
Импеданс	75 Ом, КСВН <2
Входное напряжение, макс.	12 В (2 МГц), до 6 В (10 МГц)
Стабильность временной базы	
Температурная	
20–26°C	< 2x10 ⁻¹¹
0–50°	< 3x10 ⁻¹⁰
Старение за месяц	< 5x10 ⁻¹¹
Общие характеристики	
Потребляемая мощность	(100–240) В ±10%, (47–63) Гц, < 60 Вт
Масса, нетто	5 кг
Габаритные размеры	342x177x305 мм
Рабочая температура	0–50°C
Уровень безопасности	EN61010-1:1997, CAT II
Стоимость	17 950 у.е.

pribor@dipaul.ru