

Почему аналоговый генератор сигналов компании **AnaPico?** не имеет аналогов? ■



Текст: Арсений Подолько



Радиолокация – одно из основных направлений военно-промышленного комплекса. Радиолокационные станции (РЛС) составляют основу противовоздушной обороны любой страны, поэтому поддержание в работоспособном состоянии действующих РЛС и создание новых, обладающих улучшенными характеристиками, представляет собой важную задачу. Развитие технологий малозаметности подвижных объектов, а также рост их скоростей предъявляют к радиолокаторам повышенные требования по точности и дальности.

Генераторы сигналов СВЧ/ВЧ-диапазона широко используются в электронике, особенно в приложениях аэрокосмической и оборонной промышленности, а также на предприятиях, где требуется тестировать и разрабатывать устройства связи и радиотехнические устройства. Генератор сигналов должен обеспечивать высокостабильный тестовый сигнал заданной мощности и поддерживать модуляцию сигналов с требуемой точностью. А поскольку каждое радиотехническое устройство участвует в преобразовании радиотехнических сигналов, генератор сигналов – это незаменимое измерительное оборудование в каждой лаборатории. Однако несмотря на массовое применение данного оборудования до недавнего времени в применении этих устройств оставались нерешенные проблемы:

- не существовало оптимального решения по многоканальным фазокогерентным генераторам сигналов, выполненных в одном корпусе, до 20 ГГц с низким уровнем фазовых шумов каждого канала в отдельности, а предлагаемые решения по синхронизации нескольких генераторов были громоздкими и дорогостоящими;
- известные производители не предлагали на выбор заказчику варианты портативного, стоечного и лабораторного исполнения, в результате чего заказчик переплачивал за генераторы сигналов лабораторного исполнения, которые в полевых реальных условиях не могли работать, например, от батарейного питания;
- согласно многим методикам поверки генераторов для проведения работ по поверке необходимы такие средства измерения, которые являются эталонами или существуют в нескольких экземплярах. Это делает невозможным проведение работ по поверке прибора на самом предприятии заказчика;
- для оборонной и аэрокосмической промышленности требуются генераторы сигналов с ультранизким уровнем фазовых шумов и возможностью модулирования сигналов короткими импульсами с быстрой перестройкой частоты. Зачастую поставка таких приборов сильно осложнена санкционной ситуацией, в которой оказались большинство стран-экспортеров подобного оборудования.

Каждый производитель стремится не только добиться высоких измерительных характеристик своих генераторов, но и решить перечисленные проблемы. На сегодняшний день полностью выполнить эту задачу смогла только швейцарская компания AnaPico со штаб-квартирой в городе Цюрих (рис. 1). AnaPico производит контрольно-измерительное оборудование для широкого круга задач по измерениям в ВЧ- и СВЧ-диапазонах частот. Компания постоянно развивается, вкладывая значительные ресурсы в создание лучшей в своем классе



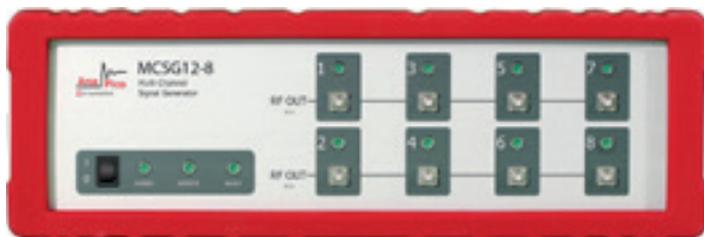
1

Штаб-квартира AnaPico в городе Цюрих, Швейцария

производительности, стремится диверсифицироваться в наиболее важных функциях и поставлять заказчикам надежные решения. Именно поэтому на все приборы распространяется 5-летняя гарантия, тем самым производитель полностью подтверждает надежность своего оборудования. Производство и тестирование оборудования осуществляется непосредственно в Швейцарии. Высокие стандарты качества, которые является основополагающими для компании, позволяют ей достигать высокой производительности и обеспечивать конкурентоспособные характеристики производимых приборов.

Многоканальные и одноканальные системы AnaPico

Компания предлагает одноканальные **T 1** и многоканальные системы генерации сигналов до 8 каналов. Многоканальные системы (рис. 2) обладают высокой межканальной фазовой стабильностью и, одновременно, выгодны для использования в интеграции, так как высокая производительность системы сочетается с приемлемой ценой за каждый канал системы **T 2**.



2

Многоканальный генератор сигналов MMSG12-8 AnaPico

Выбор корпусного исполнения генераторов AnaPico

Форм-факторы генераторов сигналов AnaPico:

- Компактный, легковесный и портативный модуль (режим работы от внутреннего аккумулятора). Такой модуль можно использовать в полевых испытаниях, а также при дистанционном управлении по месту эксплуатации (рис. 3).



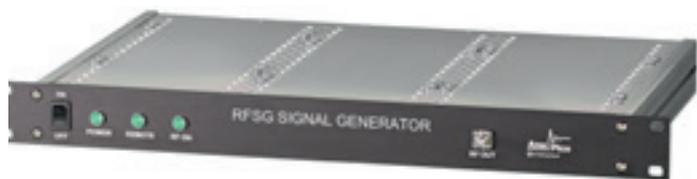
3

Генератор сигналов AnaPico в портативном исполнении. Потребляемая мощность 15 Вт, вес 2,5 кг, есть возможность работы от внутреннего аккумулятора до 8 часов, предусмотрено стандартное питание от сети

T 1

Сравнительные характеристики одноканальных генераторов сигналов AnaPico

	RFSG12	RFSG20	RFSG26
Количество каналов	1	1	1
Частота			
Диапазон частот	100 кГц – 12,0 ГГц	100 кГц – 20,0 ГГц	100 кГц – 26,5 ГГц
Разрешение по частоте	0,001 Гц	0,001 Гц	0,001 Гц
Скорость переключения частоты	0,4 мс	0,4 мс	0,3 мс
Опция FS	0,03 мс	0,03 мс	0,03 мс
Уровень			
Динамический диапазон (опция HP, PE3)	-90 до +25 дБм	-20 до +15 дБм	-20 до +15 дБм
Абсолютная погрешность установки уровня	0,3 дБ	0,3 дБ	0,3 дБ
Чистота спектра	-40 дБн	-40 дБн	-40 дБн
Гармоники			
Фазовый шум на несущей 1 ГГц	-80 дБн/Гц	-80 дБн/Гц	-80 дБн/Гц
Отстройка 10 Гц			
Отстройка 20 кГц	-128 дБн/Гц	-128 дБн/Гц	-128 дБн/Гц
Опция LN	-70 дБн/Гц	-70 дБн/Гц	-70 дБн/Гц
Отстройка 1 Гц			
Отстройка 100 кГц	-140 дБн/Гц	-140 дБн/Гц	-140 дБн/Гц
АМ/ЧМ/ФМ/ИМ- и ЛЧМ-модуляция			
Параметры импульсной модуляции			
Соотношение уровней	70 дБ	70 дБ	70 дБ
Частота повторение уровней	DC до 10 МГц	DC до 10 МГц	DC до 10 МГц
Ширина импульса	30 нс до 100 мкс	30 нс до 100 мкс	30 нс до 100 мкс
Время нарастания/спада	7 нс (тип.)	7 нс (тип.)	7 нс (тип.)



4 Генератор сигналов AnaPico в стоечном исполнении

- Стандартизированный корпус для монтажа в 19-дюймовую стойку высотой 1U. Корпус в данном исполнении используется в стоечных решениях в задачах с высокой пропускной способностью, когда пространство под приборы ограничено (рис. 4).



5 Генератор сигналов AnaPico в лабораторном исполнении

- Настольное исполнение прибора с сенсорным экраном для быстрого и удобного управления устройством в лаборатории (рис. 5).

Т 2 Сравнительные характеристики многоканальных генераторов AnaPico

МОДЕЛЬ	MCSG3	MCSG6-2 MCSG6-3 MCSG6-4 MCSG6-8	MCSG12-2 MCSG12-3 MCSG12-4 MCSG12-8	MCSG20-4
Количество каналов	3	2/3/4/8	2/3/4/6/8	4
Частота				
Диапазон частот	9 кГц до 3 ГГц	10 МГц – 6,2 ГГц	10 МГц – 12,5 ГГц	10 МГц – 20 ГГц
Разрешение по частоте	1 Гц	0,1 Гц	0,1 Гц	0,1 Гц
Скорость переключения частоты	0,5 мс	0,05 мс	0,05 мс	0,05 мс
Уровень				
Динамический диапазон	-30 до +15 дБм	-20 до +18 дБм	-20 до +15 дБм	-20 до +18 дБм
Абсолютная погрешность установки уровня	0,25 дБ	0,25 дБ	0,25 дБ	0,25 дБ
Чистота спектра Гармоники	-30 дБн	-35 дБн	-35 дБн	-35 дБн
Фазовый шум на несущей 1 ГГц				
Отстройка 20 кГц	-120 дБн/Гц	-135 дБн/Гц	-135 дБн/Гц	-135 дБн/Гц
АМ/ИМ Модуляция	АМ/ИМ	ИМ	ИМ	ИМ
Параметры импульсной модуляции				
Частота повторения уровней	0,1 Гц до 500 кГц	0,1 Гц до 20 МГц	0,1 Гц до 20 МГц	0,1 Гц до 20 МГц
Минимальная ширина импульса	50 нс	50 нс	50 нс	50 нс
Время нарастания/спада	10 нс (тип.)	10 нс (тип.)	10 нс (тип.)	10 нс (тип.)

Заказчик может выбрать корпус прибора в момент формирования заказа, достаточно указать соответствующий артикул: например, опция 1URM означает изготовление прибора в стоечном исполнении, опция TP (Touch Panel) – прибор в лабораторном исполнении.

Поверка генераторов сигналов AnaPico

Все генераторы сигналов AnaPico прошли испытания по утверждению типа во ФГУП «ВНИИФТРИ» (Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений»). ВНИИФТРИ – крупнейший научный метрологический институт, именно там хранится первичный государственный эталон времени.

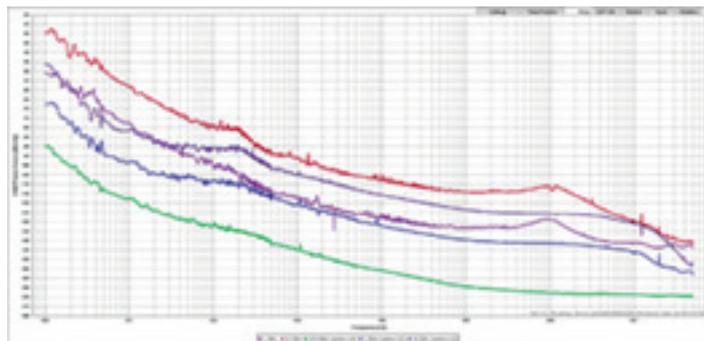
Важно, что в методике поверки указаны стандартные средства измерения, т.е. поверка может осуществляться на базе известного и доступного зарубежного или отечественного оборудования. Большинство крупных предприятий оборудованы собственными метрологическими лабораториями, что позволяет проводить работы по поверке приборов на месте, сокращая тем самым дополнительные расходы. При необходимости можно запросить методику поверки на оборудование AnaPico у специалистов ООО «Остек-Электро».

Производительность генераторов сигналов AnaPico

Генераторы сигналов AnaPico обладают образцово-показательными характеристиками в своем классе и могут применяться как в полевых условиях, так и на рабочем месте в лабораториях. Модельный ряд начинается от 9 кГц и объединяет высокую выходную мощность, исключительные характеристики уровня фазовых шумов и быструю скорость переключения частоты. Со стороны производителя нет никаких ограничений по продаже и распространению приборов AnaPico на территории РФ, также производитель предоставляет стандартную 5-летнюю гарантию на приборы для России и для стран таможенного союза.

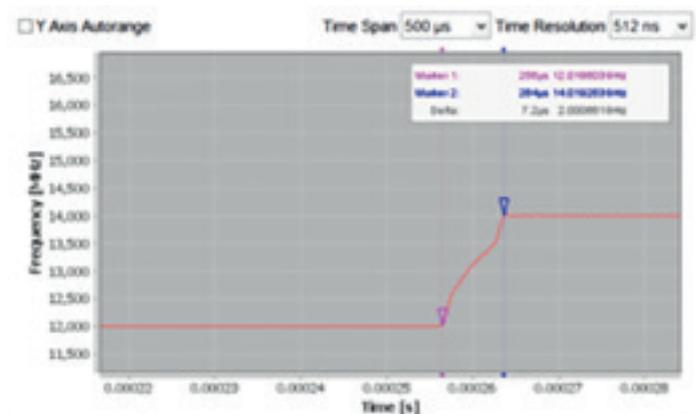
Основные технические характеристики генераторов сигналов AnaPico:

- ультранизкий уровень фазовых шумов -138 дБн/Гц (1 ГГц отстройка 20 кГц);
- возможность работы от встроенного аккумулятора в полевых условиях;
- высочайшая скорость перестройки частоты 30 мкс;
- уровень выходной мощности до +27 дБм;
- три варианта корпусного исполнения (портативный, стоечный 1U 19*, лабораторный);
- АМ/ЧМ/ФМ/ИМ- и ЛЧМ-модуляция;
- одноканальные и многоканальные модели (до 8 каналов).



6

Однополосный фазовый шум



7

Измеренная скорость перестройки частоты генератора сигналов AnaPico RFSG20 7 мкс

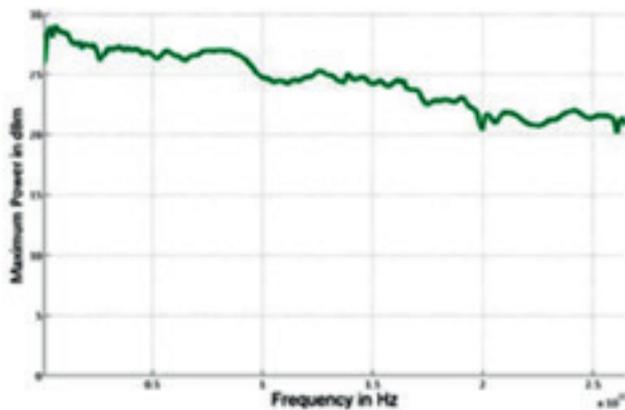
Генераторы сигналов AnaPico обладают образцово-показательными характеристиками в своем классе и могут применяться как в полевых условиях, так и на рабочем месте в лабораториях.

Низкое значение джиттера и однополосного уровня фазовых шумов являются стандартом качества для генераторов сигналов AnaPico (рис. 6). При более высоких требованиях к данным параметрам, например, в задачах по тестированию или измерению чувствительности приемника, для генераторов сигнала доступна опция «Ультранизкий уровень фазовых шумов».

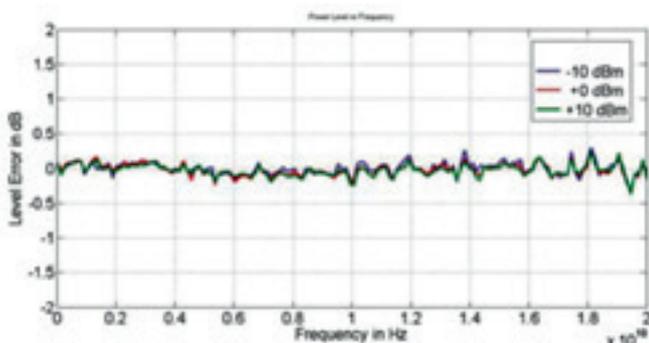
Точное представление об уровне фазовых шумов прибора позволяет получать надежные результаты при тестировании радиоприемников и радиопередатчиков. В большинстве задач есть требования к уровню фазовых шумов при отстройке от 10 до 100 кГц. Но также стоит обращать внимание на уровень фазовых шумов при низких отстройках, так как это значительно ухудшает джиттер сигнала. В 2017 году компания AnaPico планирует улучшить уровень фазовых шумов на 10-12 дБ.

Уровень негармонических составляющих генераторов сигнала AnaPico составляет -90 дБн (тип) при несущей до 5 ГГц и отстройках до 3 кГц. Время установки частоты и уровня генераторов до 30 мкс – это решающий параметр, обеспечивающий максимальную пропускную способность. Благодаря времени установки частоты и уровня менее 200 мкс в обычном режиме и 30 мкс в режиме работы по списку генераторы сигналов идеально подходят для задач, где требуется скачкообразная перестройка частоты, а также для задач по тестированию полупроводниковых приборов. Особенно актуальна скорость перестройки частоты в радиолокационных приложениях: на графике (рис. 7), представлено замеренное значение скорости перестройки частоты на генераторе AnaPico RFSG20 в 7 мкс. В настоящее время большинство производителей могут предложить только 3 мс или 5 мс в стандартных комплектациях прибора.

Генераторы сигналов AnaPico обладают выходной мощностью до +27 дБм, при этом может быть установлено разрешение по амплитуде 0,01 дБ. Динамический диапазон выбранных моделей может быть расширен вниз (опция) с помощью шагового аттенюатора до -130 дБм. Требования к повышенной мощности особенно важны при использовании генератора сигналов в качестве сигнала гетеродина или при тестировании высокоомощных усилителей. На рис. 8 и 9 представлены графики измеренных значений выходной мощности генераторов AnaPico и погрешности установки уровня мощности.



8 Максимальная выходная мощность генераторов AnaPico



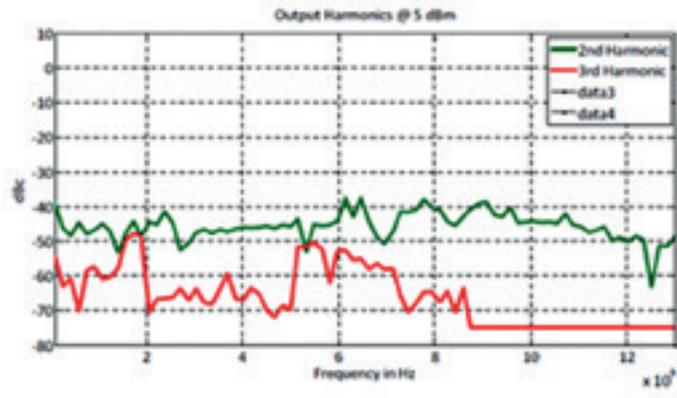
9 Погрешность установки уровня мощности генераторов AnaPico

Внутренний импульсный модулятор генераторов AnaPico со встроенным внутренним генератором импульсов позволяет генерировать сигналы ИМ с быстрым временем нарастания и высоким отношением уровня мощности в состояниях включено-выключено

Примечательно, что несмотря на высокий уровень максимальной выходной мощности погрешность установки уровня мощности у генераторов AnaPico соответствует классу передовых производителей приборов. Говоря об уровне сигнала, всегда следует приводить данные уровня гармоник сигнала, поскольку заявленная большая мощность чаще всего будет неэффективна при большом уровне гармонических сигналов. На рис. 10 представлены измеренные значения гармоник генератора сигналов AnaPico.

Типовое значение гармоник – минус 40 дБн. Если требуется улучшить этот показатель до минус 60 дБн, рекомендуется поставить фильтр нижних частот на выходе генератора сигналов. При выборе генератора сигналов нужно ориентироваться на показатель уровня гармоник, поскольку модели с лучшим показателем уровня гармоник стоят почти в 2 раза дороже, а приобретение фильтра нижних частот с первоклассными характеристиками обойдется всего в 200-300 \$. Решение рекомендуется принимать методом альтернативных издержек: приобретая модель генератора в 2 раза дороже (где уровень гармоник: -60 дБн), вы отказываетесь от приобретения еще одного генератора сигнала в базовой конфигурации или другого измерительного оборудования за ту же стоимость, а рамках ОКР вы жертвуете потенциальным фондом заработной платы, приобретая более дорогие основные средства. Так как у каждой задачи есть множество особенностей, выбор между моделью генератора со сверхнизкими гармониками в -60 дБн или с фильтром нижних частот остается за пользователем.

С помощью трех внутренних источников модуляции и нескольких входов для внешней модуляции можно учесть требования по созданию сигналов со сложным типом модуляции. Внутренний импульсный модулятор генераторов AnaPico со встроенным внутренним генератором импульсов позволяет генерировать сигналы ИМ с быстрым временем нарастания и высоким отношением уровня мощности в состояниях включено-выключено, что наиболее востребовано при тестировании сигналов РЛС на несущей и промежуточной частоте, а также при тестировании на электромагнитную совме-



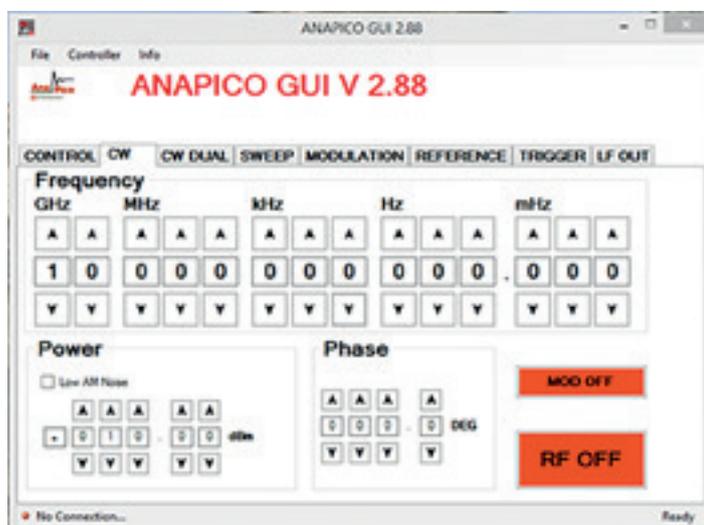
10

Значение гармоник генератора сигналов AnaPico RFSG20

стимость и задачах радиоэлектронного взаимодействия. Обширный режим свипирования обеспечивает цифровое свипирование несущей частоты и уровня мощности сигнала дискретными шагами. Пользователь может установить точку старта, остановки, количество точек (или величину шага), а также время удержания в каждой точке, максимальное количество точек – 65536. Сигнал управления свипированием может подаваться через BNC-вход на задней панели для запуска, остановки и задания величины шага.

Все виды модуляции сигналов, в том числе ЛЧМ, включены в стандартную комплектацию.

Помимо управления прибором с помощью кнопок на передней панели в комплекте поставки к каждому генератору сигналов AnaPico идет CD-диск с программным обеспечением. Интуитивно понятный графический интерфейс позволяет легко управлять оборудованием. Программное обеспечение может устанавливаться на любую операционную систему Windows™. После загрузки GUI автоматически обнаружит все подключенные приборы AnaPico к компьютеру через интерфейсы GPIB, LAN или GPIB (рис. 11).



11

Графический интерфейс пользователя генератора AnaPico

Выбор генератора включает несколько этапов. Необходимо определить области решаемых задач, а затем – решающие параметры для выполнения задачи

Как выбрать генератор сигналов ВЧ/СВЧ-диапазона

Выбор генератора включает несколько этапов. Сначала необходимо определить области решаемых задач: симулирование сигналов из внешней среды, использование в качестве передатчика при тестировании антенн, работа вместо гетеродина при тестировании радиоприемника/передатчика, подача сигнала стимула для радиотехнического устройства.

Далее нужно определить решающие параметры для выполнения задачи. Среди них могут быть: диапазон рабочих частот, уровень выходной мощности, уровень гармоник, уровень фазовых шумов, время установки частоты и уровня, погрешность установки уровня, требования к модуляции.

Сопоставление моделей генератора

Сопоставления технических характеристик моделей недостаточно, чтобы сделать окончательный выбор, так как часть характеристик одного прибора может быть лучше или хуже, чем у другой модели.

При выборе важно учитывать срок гарантийного обслуживания. Если производитель не дает гарантию больше определенного периода бесплатно, то согласно МСФО (IAS 37) «Резервы, условные обязательства и условные активы» это означает, что производитель предполагает выход из строя оборудования или его составных частей с высокой вероятностью. Поэтому рекомендуется брать расширенную гарантию или узнавать стоимость ремонта после завершения гарантийного периода. Производитель ведет статистику поломки приборов в вероятностном отношении на каждую модель. Это означает, что приборы нужно сравнивать по цене при равном сроке гарантии. Например, в случае предложения трех приборов со сроками гарантии 5 лет, 3 года и 1 год необходимо расширить гарантию до 5 лет в двух других приборах и повторить сравнение по цене.

ТЗ

Преимущества генераторов AnaPico при решении некоторых типовых задач

ЗАДАЧА	СПИСОК РЕШАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ, (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ)	ПРЕИМУЩЕСТВА ВЫБОРА ГЕНЕРАТОРА ANAPICO
Имитация сигналов внешней среды, сигналов РЛС	Диапазон рабочих частот Параметры импульсной модуляции Уровень фазовых шумов	<ul style="list-style-type: none"> ■ Возможность работы в полевых условиях от аккумулятора ■ Все виды модуляции сигналов в стандартной комплектации, в том числе ЛЧМ ■ Высокие технические характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ■ уровень фазовых шумов -138 дБн/Гц; ■ максимальная выходная мощность +27 дБн; ■ время нарастания сигналов с ИМ от 7 нс. ■ Уровень цен на 30-50 % ниже, чем у представленных на рынке аналогов
Использование генератора сигналов в качестве генеродина	Диапазон рабочих частот Погрешность установки частоты Выходная мощность Уровень фазовых шумов Скорость перестройки частоты	<ul style="list-style-type: none"> ■ Возможность работы в полевых условиях от аккумулятора ■ Высокие технические характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ■ уровень фазовых шумов -138 дБн/Гц; ■ максимальная выходная мощность +27 дБн; ■ время нарастания сигналов с ИМ от 7 нс; ■ скорость перестройки частоты 30 мкс; ■ погрешность установки уровня 0,3-0,6 дБ. ■ Уровень цен на 30-40 % ниже, чем у представленных на рынке аналогов
Использование генератора сигналов при тестировании нелинейных искажений	Диапазон рабочих частот Динамический диапазон Уровень гармонических искажений Погрешность установки частоты Погрешность установки уровня	<ul style="list-style-type: none"> ■ Возможность работы в полевых условиях от аккумулятора ■ Модели двух-, четырехканальных генераторов сигнала, что позволяет измерять интермодуляционные искажения, используя один прибор вместо двух ■ Высокие технические характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ■ уровень гармоник -40 дБн; ■ уровень негармонических составляющих -30 дБн; ■ максимальная выходная мощность +27 дБн; ■ погрешность установки уровня 0,3-0,6 дБ. ■ Уровень цен на 40-50 % ниже, чем у представленных на рынке аналогов
Построение фазокогерентных многоканальных систем		<p>Модели генераторов двух-, четырех- и восьмиканальные. Все каналы независимые. Компактное решение в одном корпусе и с единым пользовательским интерфейсом.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Высокие технические характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ■ уровень фазовых шумов -135 дБн/Гц; ■ импульсная модуляция в стандартной комплектации; ■ высокая выходная мощность +18 дБм; ■ межканальный джиттер 100 фс.

Также важна возможность поверки в собственной метрологической службе. Если такая возможность исключается, необходимо иметь подменную модель на время периодической поверки минимум на 2 недели испытаний без учета логистики. Стоимость работ поверки приборов некоторых производителей может достигать до 80 000 рублей за прибор.

Сравнение решения по цене: выбирается самое дорогое предложение и сравнивается, за какие технические характеристики предлагается платить больше, чем у моделей другого производителя. Бывают ситуации, когда один прибор лучше другого по одной характеристике, но в то же время хуже по другой и при этом дороже в 1,5 раза! И здесь решение принимается в зависимости от приоритетов задачи.

Существует еще одно альтернативное решение: необходимо сравнить разницу стоимостей приборов и определить, какое еще оборудование можно приобрести за эту сумму.

Для выбора решения по нескольким типовым задачам можно воспользоваться **ТЗ**.

В настоящей статье были рассмотрены решения по генерированию сигналов и предложен алгоритм выбора генераторов сигнала. Сегодня на рынке в этой области представлено большое количество производителей: технические характеристики их моделей, условия гарантии, а также уровень цен значительно варьируются. Используя материалы статьи, можно составить для себя перечень приоритетов и выбрать действительно нужное решение среди многообразия поставщиков. 