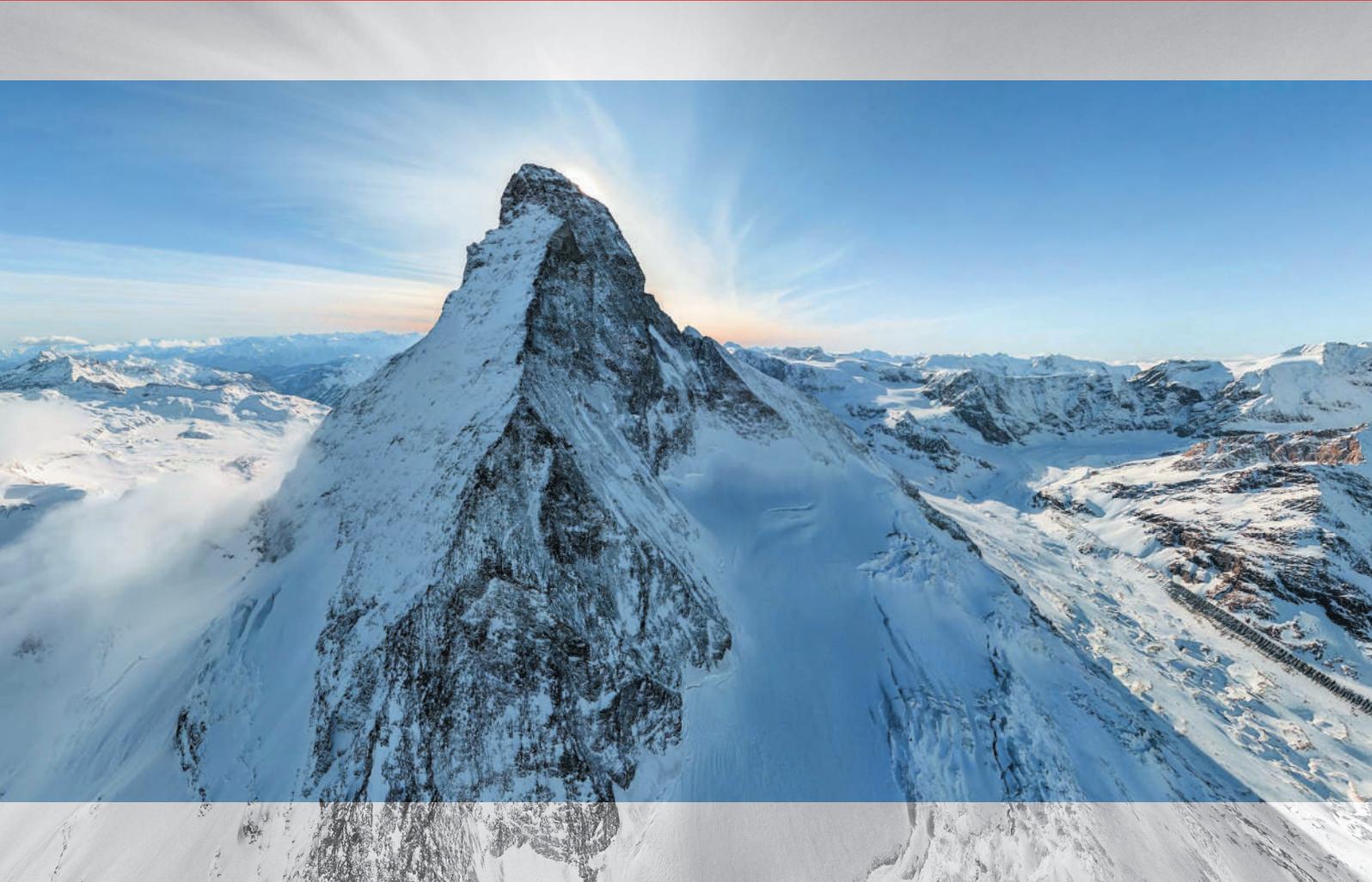


# ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭМС ПРИЛОЖЕНИЙ И АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ



# СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение
2. Таблица стандартов ЭМС и тип генераторов
3. Генераторы сигналов AnaPico RFSG серии
4. Генераторы серии RFSU и синтезаторы RFS40 до 40 ГГц
5. Практические приложения
  - 5.1 Измерения экранировки помещения
  - 5.2 Восприимчивость к излучаемому радиочастотному электрическому полю
6. Антенные измерения: Формирование луча ДН антенной решетки
7. Многоканальные генераторы серии MCSG
8. Специальные предложения от AnaPico в России



AnaPico - Швейцарский производитель-сертифицированная по стандарту ISO9001: 2015 лидер в разработке, производстве и поставке контрольно-измерительных приборов ВЧ и СВЧ диапазона для широкого спектра гражданских и государственных приложений.



Аналоговые генераторы сигналов для задач ЭМС – это сердце всего испытательного комплекса. Несмотря на то, что особо жестких требований к выходному сигналу с генератора не предъявляется, необходимо учитывать ряд факторов.

Частотный диапазон работы, очевидно, должен соответствовать требованиям планируемых к закрытию регламентов, однако, стоит учесть, что возможность аппаратного расширения полосы, чтобы учитывать потенциал развития лаборатории.

Стандарты ЭМС описывают непрерывные, амплитудно- (АМ) или импульсно-модулированные (ИМ) сигналы.

Несмотря на то, что особое влияние на уровень гармоник сигнала, строго лимитированному требованиям стандартов, вносит усилитель, генератор сигналов должен обеспечивать малые уровни гармонических составляющих и чистый синусоидальный сигнал на выходе.

Наконец, наличие цифровых интерфейсов дистанционного управления также является необходимостью в современных ЭМС системах.

Основанная в 2005 году в Цюрихе, Швейцария, AnaPico активно инвестирует в исследования и разработки и занимается созданием и постоянное совершенствованием своих инновационных и экономически-эффективных контрольно-измерительные приборы с лучшими в своем классе характеристиками и уникальными функциями.

**Вся продукция AnaPico производится и протестирована на 100% в Швейцарии.**

Наше текущее предложение продуктов состоит из следующего:

**Генераторы ВЧ и СВЧ сигналов до 50 ГГц**

- аналоговые и векторные генераторы сигналов с низким фазовым шумом – сверхбыстрой перестройки частоты

Диапазон частот до 2, 4, 6, 12, 20, 26, 33, 40 или 50 ГГц

**Фазово-когерентные многоканальные генераторы MCSG**

Диапазон частот до 6, 12, 20, 33, 40 ГГц-

- Межканальная когерентность 3 мрад

Модели от 2-х до 4-х каналов

**Синтезаторы частот**

- широкополосный от 8 кГц до 43 ГГц
- сверхкомпактный с интерфейсами USB / LAN / FCP - самый быстрый (<5 мкс)

# ВВЕДЕНИЕ:

В АнаРисо мы создаем инструменты швейцарского производства с уникальные характеристиками.

- Ⓜ Высокая надежность, превосходная производительность. Время наработки на отказ более 10 000 часов.
- Ⓜ Инструменты с низкой стоимостью владения.
- Ⓜ Быстрые сроки выполнения заказов и обслуживания, средний срок поставки 2-3 недели.
- Ⓜ Быстрая и грамотная послепродажная поддержка, прямая связь с производителем оборудования, сервисный центр в РФ.

Сервисный центр АнаРисо

ООО «АнаПико РУС» является официальный сервисный центр на территории Российской Федерации, предоставляет сервисные услуги:

- Ⓜ Диагностика
  - Ⓜ Ремонт (гарантийный и постгарантийный)
  - Ⓜ Модернизация
  - Ⓜ Предоставление дополнительной гарантии.
- Сервисный центр проводит гарантийный и постгарантийный ремонт оборудования, в том числе снятого с производства. Ремонт проводится на модульном уровне. Ремонт большинства типов оборудования осуществляется без вывоза из РФ.



## ТАБЛИЦА СТАНДАРТОВ ЭМС И ПОДХОДЯЩАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА ANAPICO

ГОСТ	Международный стандарт	Название	Раздел	Требования к генератору	Генератор AnaPico
30804.4.3-2013	IEC 61000-4-3:2006	Совместимость технических средств электромагнитная <b>УСТОЙЧИВОСТЬ К РАДИОЧАСТОТНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ</b>	весь стандарт	Частота сигнала: 80 МГц-6 ГГц Модуляция: АМ сигналом 1 кГц глубиной 80%	RFSG6 или RFSG6 с опцией PE3
-	IEC 61000-4-20:2010		весь стандарт	Частота сигнала: 80 МГц-6 ГГц Модуляция: АМ сигналом 1 кГц глубиной 80%	RFSG6 или RFSG6 с опцией PE3
-	IEC 61000-4-21:2011		весь стандарт	Частота сигнала: 80 МГц-6 ГГц Модуляция: АМ сигналом 1 кГц глубиной 80%	RFSG6 или RFSG6 с опцией PE3
-	IEC 61000-4-22:2010		весь стандарт	Частота сигнала: 80 МГц-6 ГГц Модуляция: АМ сигналом 1 кГц глубиной 80%	RFSG6 или RFSG6 с опцией PE3
IEC 61000-4-39 - 2019	IEC 61000-4-39:2017	ИЗЛУЧАЕМЫЕ ПОЛЯ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ Испытание на помехоустойчивость	весь стандарт	Частота сигнала: 9 кГц - 8 ГГц Модуляция: ИМ с частотой 1 Гц/2 кГц и кз 50% Возможно применение другого режима модуляции	RFSG12 или RFSG12 с опциями HP, PE3
P ИСО 7176-21-2015	ISO 7176-21:2009	Кресла-коляски. Часть 21. Требования и методы испытаний для обеспечения электромагнитной совместимости кресел-колясок с электроприводом и скутеров с зарядными устройствами	5.2.3	Частота сигнала: 26 МГц - 2,5 ГГц Модуляция: АМ сигналом 1 кГц глубиной 80%	RFSG2 или RFSG2 с опцией PE3
P 51317.4.6-99	IEC 61000-4-6:2013	Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний	весь стандарт	Частота сигнала: 150 кГц - 80 (230) МГц Модуляция: АМ 1 кГц глубиной 80%	RFSG2 или RFSG2 с опцией PE3
IEC 61000-4-31-2019	IEC 61000-4-31:2016	Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к широкополосным кондуктивным помехам, воздействующим на порты электропитания переменного тока (с Поправкой)	весь стандарт	Частота сигнала: 150 кГц - 80 (230) МГц Модуляция: Амплитудная сигналом 1 кГц глубиной 80%	RFSG2 или RFSG2 с опцией PE3
KT-160D	DO-160 (G)	КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования Требования, нормы и методы испытаний	Раздел 20	Частота сигнала: 10 кГц - 18 ГГц Модуляция: АМ и ИМ в зависимости от режима.	RFSG20 или RFSG20 с опциями HP, PE3
PB 6601-001-2008	MIL-461(G)	ОБОРУДОВАНИЕ БОРТОВОЕ АВИАЦИОННОЕ Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерения	ВП2	Частота сигнала: 10 кГц - 200 МГц Модуляция: Импульсная модуляция с частотой 1 кГц и кз 50%	RFSG20 или RFSG20 с опциями HP, PE3
PB 6601-001-2008	MIL-461(G)		ВИ1	Частота сигнала: 1 МГц - 18 ГГц Модуляция: Импульсная модуляция с частотой 1 кГц и кз 50%	
30373-95/50414-92	-	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ. КАМЕРЫ ЭКРАНИРОВАННЫЕ Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний	весь стандарт	Частота сигнала: 10 кГц - (37,5) ГГц В стандарте приводится методика, частоты зависят от задачи	RFSG40 с опцией 8K

# ГЕНЕРАТОРЫ ANAPICO

## RFSG серии

### ОПИСАНИЕ

#### Модели RFSG2, RFSG4, RFSG6

От 9 кГц до 2000 МГц, 4000 МГц или 6100 МГц  
Генераторы сигналов

Модели RFSG2, RFSG4, RFSG6 это компактные, портативные аналоговые генераторы сигналов до 6100 МГц.

#### Модели RFSG12, RFSG20, RFSG26 до 12, 20 или 26.5 ГГц

9 кГц (с опцией 9К) до 12, 20 или 26.5 ГГц  
Генераторы сигналов

Модели RFSG12, RFSG20, RFSG26 это компактные, портативные аналоговые генераторы СВЧ сигналов до 26 ГГц.

Основным их преимуществом является сочетание высокого качества сигнала, быстрой перестройки частоты и высокой мощности. Все это обуславливает их широкий спектр применения. Опционально приборы могут работать от внутренней аккумуляторной батареи.



### МОДЕЛИ

РЧ: RFSG2, RFSG4, RFSG6

СВЧ: RFSG12, RFSG20, RFSG26

Номер в ГРСИ РФ: 67514-17

### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

	ВЧ	СВЧ
Модели	RFSG2, RFSG4, RFSG6	RFSG12, RFSG20, RFSG26
Диапазон частот	от 9 кГц до 2, 4 или 6.1 ГГц	от 100 кГц до 12, 20 или 26.5 ГГц
Разрешение установки частоты	0.001 Гц	0.001 Гц
Диапазон устанавливаемых значений	от -30 до +20 дБм	от -20 до +15 дБм
Разрешение установки частоты	от -120 до +17 дБм (с опцией PE3) 0.01 дБ	от -90 до +25 дБм (с опцией PE3 / HP) 0.01 дБ
Скорость перестройки частоты	400 мкс	400 мкс (<30 мкс с опцией FS)
Фазовый шум на 1 ГГц на отстройке	на 10 Гц: -80 дБн/Гц на 1 кГц: -117 дБн/Гц на 100 кГц: -130 дБн/Гц на 10 МГц: -150 дБн/Гц	на 10 Гц: -80 дБн/Гц на 1 кГц: -117 дБн/Гц на 100 кГц: -130 дБн/Гц на 10 МГц: -150 дБн/Гц
Интерфейсы дистанционного программирования	Ethernet, USB, GPIB (SCPI v1999)	
Модуляция	АМ, ЧМ, ФМ, ИМ, ЛЧМ	
Сви́пирование	По списку, частота, мощность	
Размеры (Ш x Д x В), Вес	173.6 x 270.7 x 116.9 мм 2.5 кг	173.6 x 261.7 x 116.9 мм 2.5 кг

## КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Большая выходная мощность, низкий уровень фазового шума

Комплексная АМ, низкие искажения, широкополосная ЧМ, высокая скорость перестройка частоты, импульсная модуляция

Широкие возможности запуска и режимы свипирования

Работа от внутренней аккумуляторной батареи

Генератор сигналов общего назначения

## ПРИМЕНЕНИЕ

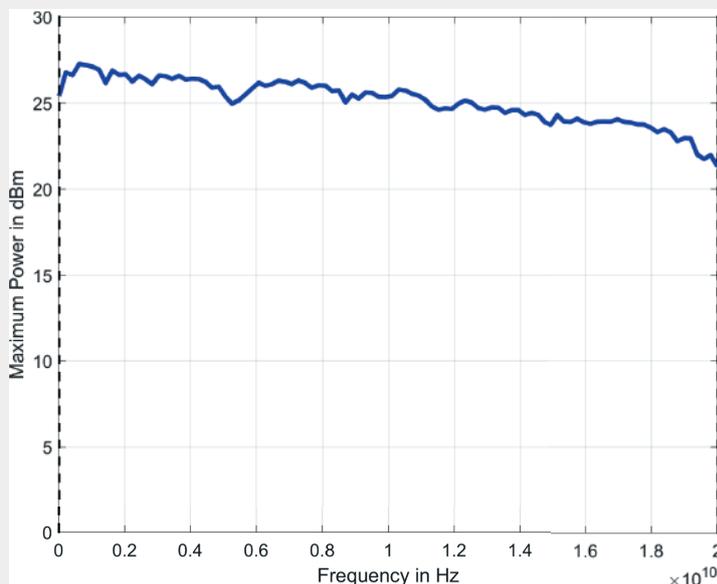
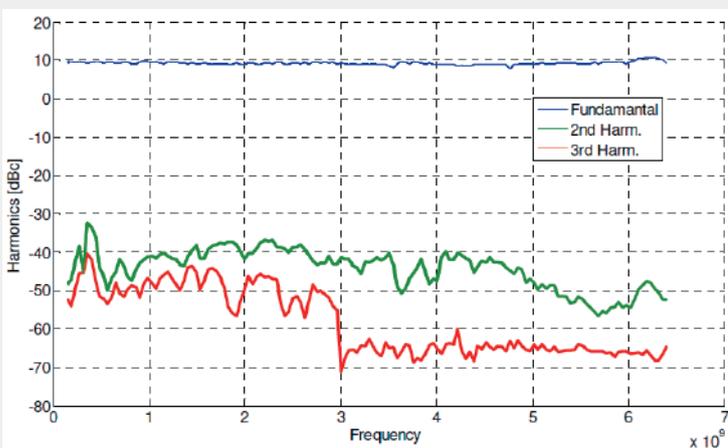
Сервис и поверка

Портативное исполнение, работа от аккумуляторной батареи в полевых условиях.

## ДОСТУПНЫЕ РАСШИРЕНИЯ (ОПЦИИ)

ДОСТУПНЫЕ РАСШИРЕНИЯ (ОПЦИИ)		RFSG2 RFSG4 RFSG6	RFSG12 RFSG20 RFSG26
9K	Опция расширения частотного диапазона вниз до 9 кГц (RFSG12/ RFSG20)	–	✓
HP	Высокая выходная мощность	–	✓
PE3	Опция расширения динамического диапазона до -90 дБм	✓	✓
NM	Убрать модуляции (RFSG20 / RFSG26)	–	✓
FS	Опция сверхбыстрая перестройка частоты	–	✓
B3	Опция внутренняя аккумуляторная батарея	✓	✓
GPIB	Опция подключения GPIB	✓	✓
AVIO	Опция модуляция сигналов аэронавигационных систем, имитация сигналов все- направленных маяков VOR, имитация сигналов системы захода на посадку само- лета ILS. (VOR / ILS)	✓	–
1URM	Опция исполнение прибора в корпусе для монтажа в стойку, 19 дюймов	✓	✓
TP	Опция подключения цветного сенсорного дисплея	–	✓
REAR	Опция установки коннектора на заднюю панель	✓	✓
OEM	OEM Исполнение генератора	✓	✓
ReCal	Калибровка (рекомендуемый цикл калибровки 2 года)	✓	✓

## ГРАФИКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ



# АНАЛОГОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ HI-END модели до 40 ГГц

## ОПИСАНИЕ

**RFSU Серия аналоговых генераторов сигналов со сверхнизким уровнем фазового шума и быстрой перестройкой частоты, высокой мощности, работающие в диапазоне частот от 100 кГц до 6, 12, 75, 20, 26 и 40 ГГц, разрешение установки частоты 0,001 Гц.**

Серия аналоговых генераторов RFSU обеспечивает аналоговое и цифровое свипирование, включая свипирование по списку, что позволяет устанавливать частоту, мощность и время выдержки индивидуально. Гибкие возможности запуска упрощают интеграцию с системами тестирования.



## МОДЕЛИ

RFSU6, RFSU12, RFSU20, RFSU26, RFSU40

## ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диапазон частот	от 100 кГц до 6, 12.75, 20, 26, или 40 ГГц 0.001 Гц
Диапазон устанавливаемых значений	от -20 до +25 дБм / от -80 до +25 дБм (с опцией PE4)
Скорость перестройки частоты	500 мкс (20 мкс опцией FS)
Фазовый шум на 1 ГГц на отстройке	на 10 Гц: -87 дБн/Гц (-100 дБн/Гц с опцией LN) на 1 кГц: -130 дБн/Гц на 20 кГц: -145 дБн/Гц на 100 кГц: -150 дБн/Гц
Интерфейсы дистанционного программирования	Ethernet, USB, GPIB (SCPI v1999)
Модуляция	ИМ, АМ, ЧМ, ФМ
Свипирование	Список, Частота, Мощность
Размеры (Ш x Д x В), Вес	173.6 x 291.7 x 116.9 мм, 2.5 кг

## КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Превосходное качество сигнала: ультра-низкий фазовый шум и паразитные составляющие

Комбинация высочайшей выходной мощности и быстрой перестройки частоты

Мощный и удобный в использовании сенсорный дисплей

Портативный, работает от внешней источника питания постоянного тока 24

Удобство управления с помощью Labview драйверов, API библиотека, поддержка VISA

Лучшая производительность в своем классе, низкие издержки на использование

## ПРИМЕНЕНИЕ

Автоматическое тестирование

Использование генератора в качестве гетеродина

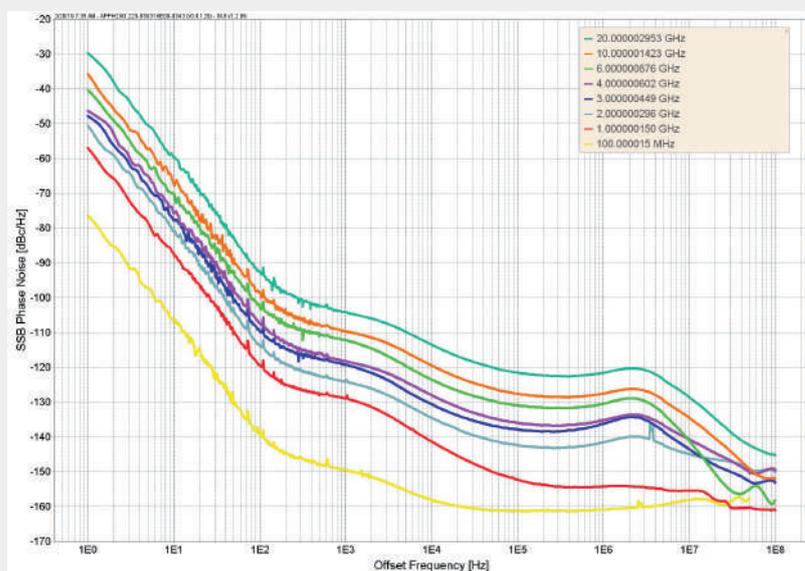
Спутниковая связь

Использование в качестве гетеродина или источника сигналов с низкий джиттеров для тестирования АЦП

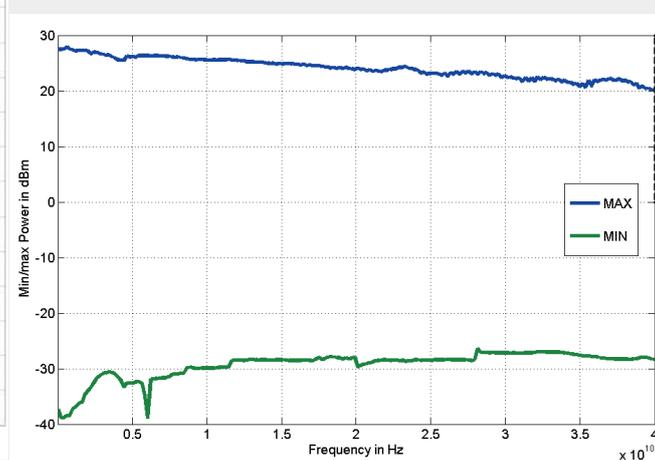
## ДОСТУПНЫЕ РАСШИРЕНИЯ (ОПЦИИ)

<b>ULN</b>	Опция ультранизкий уровень фазового шума	<b>PE4-40</b>	Электронный аттенюатор для расширения диапазона выходной мощности (версия 40 ГГц)
<b>FS</b>	Опция сверхбыстрая перестройка частоты	<b>EB</b>	Внешний аккумулятор питания
<b>MOD</b>	Установка аналоговой модуляции	<b>GPIB</b>	Подключение интерфейса GPIB
<b>VREF</b>	Программируемый вход для опорного генератора	<b>1URM</b>	Опция исполнения прибора в корпусе для монтажа в 19 дюймовую стойку
<b>PE4-6/12</b>	Электронный аттенюатор для расширения диапазона выходной мощности (версии 6 & 12 ГГц)	<b>REAR</b>	Опция перенос ВЧ-выхода на заднюю панель
<b>PE4-20/26</b>	Электронный аттенюатор для расширения диапазона выходной мощности (версия 20 & 26 ГГц)		

## ГРАФИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК



RFSU: Уровень фазового шума с опцией LN



RFSU40: Минимальная / Максимальная выходная мощность

# СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТЫ

## модели до 43.5 ГГц

## СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТЫ С НИЗКИМ УРОВНЕМ ФАЗОВОГО ШУМА

### ОПИСАНИЕ

Серия приборов RFS это синтезаторы частоты до 40 ГГц. Разрешение по установке частоты мили Гц (0.001Гц), модули используют внутренний высокостабильный опорный генератор. Синтезатор может работать как от внутреннего опорного генератора, так и от программируемого внешнего генератора. Модули обладают USB и LAN интерфейсом и могут управляться при

помощи набора команд SCPI 1999. Работая от внешнего источника питания постоянного тока, потребляемая мощность не более 10 Вт. В линейке продукции AnaPico также есть многоканальные фазо-когерентные синтезаторы серии RFS40-х с синхронизированными по фазе каналами, количество независимых каналов до 4-х.



### МОДЕЛИ

RFS40, RFS20, RFS40-X

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

	RFS40	RFS40-X
Число каналов	1	1, 2, 3, 4
Диапазон рабочих частот	8 кГц to 40 ГГц	8 кГц to 40 ГГц
Разрешение установки частоты	0.001 Гц	0.001 Гц
Точность	0.1 ppm	0.1 ppm
Диапазон установки уровня мощности	-10 to +25 дБм	-10 to +25 дБм
Скорость перестройки частоты	500 мкс (20 мкс с опцией FS, <5 мкс опцией BCD)	500 мкс (25 мкс с опцией FS)
Фазовый шум на 1 ГГц на отстройке	10 Гц: -100 дБн/Гц 1 кГц: -134 дБн/Гц 100 кГц: -150 дБн/Гц 10 МГц: -155 дБн/Гц	10 Гц: -100 дБн/Гц 1 кГц: -134 дБн/Гц 100 кГц: -150 дБн/Гц 10 МГц: -155 дБн/Гц
Интерфейсы дистанционного программирования	Ethernet, USB (SCPI v1999)	Ethernet, USB (SCPI v1999)
Модуляция	ФМ, ЧМ, ИМ	ЧМ/ФМ, ИМ
Свиппирование	По списку, частотное	По списку, частотное
Уровень гармоник	-60 дБн (тип.)	-60 дБн (тип.)
Размеры(Ш x Д x В), Вес	270 x 105 x 60 мм < 1.0 кг	430 x 460 x 43 мм < 1.0 кг

## КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

	RFS40	RFS20	RFS40-X
Ультра-низкий уровень шума	✓	–	✓
Фазо-Когерентная перестройка частоты, синхронизированные выходы	–	–	✓
Быстрая перестройка частоты 20 $\mu$ s	✓	✓	✓
Импульсная модуляция	✓	✓	✓
ЛЧМ модуляция	–	✓	–
ЧМ, ФМ модуляция	✓	✓	✓
Внутренний ОСХО, внешний опорный генератор	✓	✓	✓
Питание от DC	✓	✓	✓

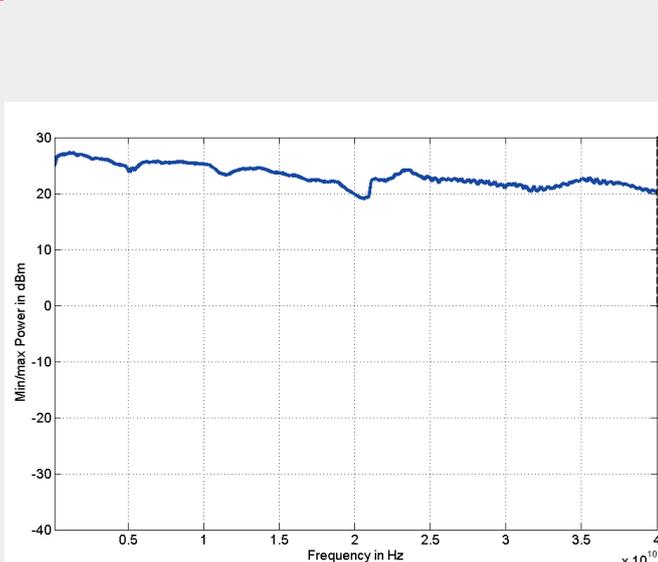
## ПРИМЕНЕНИЕ

	RFS40	RFS20	RFS40-X
Автоматизированное тестирование	✓	✓	✓
Использование в качестве гетеродина	✓	✓	✓
Беспроводная инфраструктура	✓	✓	✓
Военно-космическая отрасль	✓	✓	✓

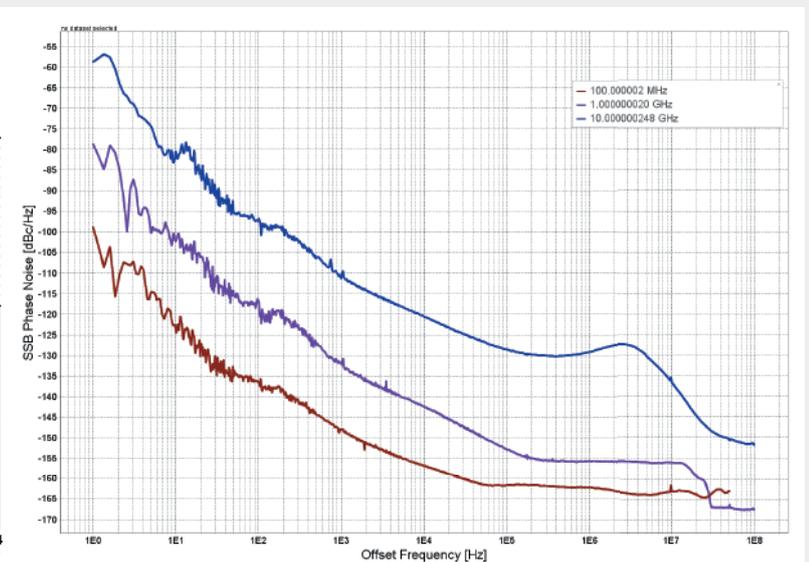
## ДОСТУПНЫЕ РАСШИРЕНИЯ (ОПЦИИ)

	RFS40	RFS20	RFS40-X	
LN	Опция улучшенное значение уровня фазового шума	✓	–	✓
FS	Опция сверхбыстрая перестройка частоты	✓	✓	✓
VREF	Программируемый вход для опорного генератора	✓	✓	✓
GPIO	Установка интерфейса GPIO	–	–	✓

## ГРАФИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК



RFS40: Максимальная выходная мощность



Однополосный уровень фазового шума

# ИЗМЕРЕНИЯ ЭКРАНИРОВКИ ПОМЕЩЕНИЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Экранированные помещения требуются всё чаще для проведения измерений или испытаний, для защиты людей от электромагнитного излучения, для защиты информации. В зависимости от задачи разнятся требования к помещениям, методы экранирования, применяемые материалы и методы тестирования.

В данной статье мы рассмотрим проверку экранирования в частотах от килогерц до десятков гигагерц по электрическому и магнитному полям. Это актуально для радиочастотных экранированных камер, камер для антенных измерений и испытаний на электромагнитную совместимость, а также для экранирования помещений с МРТ.

За основу по нормативной базе возьмём ГОСТ 30373-95 (также известный как ГОСТ Р 50414-92), в нём дана как теоретическая основа, так и методика проведения испытаний. Можно применять и любые другие стандарты, главное – понимать физику процесса чтобы избежать серьёзных ошибок.

Предварительно желательно оценить максимальную эффективность экранирования, которую можно будет установить. Для этого ГОСТ приводит сложную на первый взгляд формулу определения мощности генератора в зависимости от предположительной эффективности экранирования.

$$U_{\text{ген}} = \frac{U_{\text{пр}} 4\pi R}{\sqrt{G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \lambda}} \cdot 10^{\frac{Q+A_{\phi}}{20}}$$

$$P_{\text{ген}} = \frac{P_{\text{пр}}(4\pi R)^2}{G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \lambda} \cdot 10^{\frac{Q+A_{\phi}}{10}}$$

На практике можно исходить из того, что при выходной мощности генератора 15 дБм и чувствительности анализатора -130 дБ уже

можно измерять эффективность экранирования от 100 дБ во всём диапазоне частот (с 9 кГц до ГГц). Это означает, что при выборе оборудования характеристики отходят на второй план, а на первый выходит удобство использования. Таким образом эффективность экранирования можно вычислить без сложных формул, проведя два измерения с приёмной и передающей антенной установленными на расстоянии друг от друга. Первое измерение проводится без экрана, для второго передающая антенна ставится вне экранированного помещения, а принимающая внутри. Разность показаний анализатора при этих измерениях (выраженная в дБм) и даст искомую эффективность экранирования.

Одну формулу применять всё же необходимо, это формула вычисления границы дальней зоны (ДЗ) для антенны на определённой частоте. Дальняя зона – граница, за которой напряженность электрического поля (в дБ) падает линейно пропорционально расстоянию. Это означает, что формально антенны должны быть удалены друг от друга на расстояние не ниже удвоенного расстояния до границы ДЗ, иначе проведённые измерения не корректны. На практике соблюдение этого правила не всегда возможно, особенно если стены экранированного помещения расположены близко к несущим конструкциям (скажем, потолок экранированной камеры на минимальном расстоянии от потолка помещения).

$$r \leq 2 \frac{D^2}{\lambda}$$

В формуле D – максимальные размеры антенны, а  $\lambda$  – длина волны для данной частоты.

Оборудование для измерения эффективности экранирования и критерии подбора.

**При выборе генератора есть несколько важных параметров.**

**Наличие описания типа** (внесение в государственный реестр средств измерения) может быть необходимо в зависимости от того, с какой целью проводятся измерения. Если планируется аттестация экранированных помещений, то необходимо, чтобы прибор был внесён в реестр.

**Выходная мощность.** Чем выше выходная мощность генератора, тем удобней с ним работать. Дело не только в том, какую эффективность экранирования можно будет установить. Зачастую бывает необходимо поменять местами приёмную и передающую антенну в случае, если существует сильная внешняя помеха рядом с экранированным помещением. Также это позволит увеличить расстояние между антеннами или работать при повреждении одного из кабелей. Система с запасом по мощности всегда более надёжна и важно не ограничиваться достаточной расчетной мощностью.

**Мобильность.** Важный параметр, когда идёт речь о десятках измерений в разных местах. Длинные кабели могут быть повреждены и вносят больше потери, поэтому генератор приходится постоянно перемещать. **Компактный и легкий прибор с автономным питанием облегчит проведение испытаний.**

**Простота.** Каждое испытание подразумевает десятки измерений, необходимо постоянно перестраивать рабочую частоту. Чем проще это делается, тем меньше затрачивается времени.

**При выборе анализатора спектра важны следующие параметры.**

**Описание типа.** Аналогично генератору.

**Чувствительность.** Как и выходная мощность генератора, позволяет расширить измеряемый диапазон и общую надёжность системы.

**Быстродействие и удобство.** Как правило, анализатор находится внутри камеры и его не приходится часто перемещать. Поэтому

мобильность отходит на второй план и важной становится скорость работы с прибором, возможность быстро перестраиваться по сетке частот, автоматизировать процесс измерений.

**При выборе приемной и передающей антенн важны:**

**Описание типа.** А также проверка совместно с антенным кабелем.

**Максимальный габарит антенны.** Чем меньше антенна, тем меньше допустимое расстояние до экрана. Часто физически нет возможности промерить экранирование в узком зазоре между экраном и стеной или потолком. Небольшие антенны позволяют проводить испытания без отступлений от правил.

**Коэффициент усиления.** Работает аналогично выходной мощности генератора и чувствительности анализатора. Антенна может дополнительно усилить передаваемый сигнал и расширить диапазон измерения, а также повысить надёжность всего комплекта оборудования.

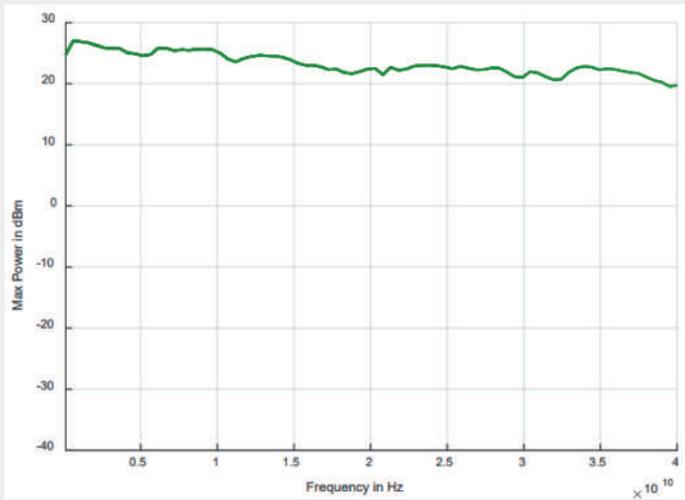
**Широкополосность.** Чем шире захватываемая антенной полоса, тем меньше антенн понадобится для полного цикла измерений. На практике количество антенн сводится к 2-3 в зависимости от требуемого диапазона. При необходимости внесения антенн в реестр СИ выбор ещё сужается.

Также необходимо подобрать антенные штативы или мачты, которые позволят без лишних усилий регулировать высоту передающей и принимающей антенн. В идеале штативы должны иметь градуировку установки высоты, позволять просто менять поляризацию антенны, надёжно фиксироваться и легко перемещаться.

При подборе антенных кабелей необходимо выбрать баланс между надёжностью и малыми потерями. Хорошо дополнительно армировать кабели во избежание повреждения, вполне вероятного при десятках перемещений антенн их замены

# ПРЕДЛОЖЕНИЕ ОТ ANAPICO

Синтезатор частоты RFS40 идеально подходит для задач измерения экранирования, это сочетание широкого диапазона частот от **8 кГц до 43.5 ГГц**, быстрой перестройки частоты **500 мкс**, компактного дизайна с возможностью работать без сети питания и высокой мощности. Сенсорный интуитивно-понятный интерфейс позволяет работать с прибором эргономично и без временных затрат. Наличие оборудования в Госреестре СИ снимает вопросы единства измерения.



Кол-во каналов	1
Частота	<b>Диапазон:</b> 8 кГц — 40 ГГц <b>Разрешение:</b> 0.001 Гц <b>Точность:</b> 0.1 ppm
Выходная мощность	+20 дБм
Уровень гармоник	<b>-60 дБн</b>
Скорость переключения	500 мкс (20 мкс с опцией FS)
Фазовый шум на 1 ГГц	<b>отстройка 1 кГц:</b> -132 дБн/Гц <b>отстройка 20 кГц:</b> -145 дБн/Гц <b>отстройка 10 МГц:</b> -155 дБн/Гц
Управление	Ethernet, USB (SCPI v1999)
Модуляции	ЧМ/ФМ, Импульсная
Sweeps	List, Frequency
Размеры (W x L x H), Вес	270 x 105 x 60 мм < 1.0 кг

Прибор может работать от внешнего аккумулятора и весит всего 2.5 кг что позволяет проводить испытания без сети питания и без необходимости переносить тяжелое оборудование.

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОМПЛЕКТАЦИИ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЭМС В ЧАСТИ ВОСПРИИМЧИВОСТИ К ИЗЛУЧАЕМОМУ РАДИОЧАСТОТНОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ПОЛЮ

Самым затратным мероприятием для любой лаборатории, работающей в области испытаний радиоэлектронной продукции на соответствие регламентам электромагнитной совместимости, является создание или модернизация площадки для тестирования оборудования на восприимчивость к излучаемым помехам.

Данный тип испытаний имеет высокий «порог входа», поскольку подразумевает наличие безэховой экранированной камеры (БЭК) или открытого испытательного полигона для удовлетворения всем предъявленным требованиям.

При создании лаборатории для сертификационных испытаний в подавляющем большинстве случаев переоборудовать имеющиеся испытательные комнаты, использовавшиеся ранее для предварительных испытаний, под полное соответствие требованиям того или иного стандарта, не представляется возможным. В таких случаях требуется проектировка отдельной камеры, а, в некоторых случаях, и возведение под эти цели отдельного здания.

Базовая схема комплексами для испытаний излучаемыми электрическим полями, она включает:

безэховую или полубезэховую камеру для обеспечения экранирования и плоскости однородного поля вследствие снижения переотражений излучаемых волн,

- генератор сигналов, выступающий в качестве источника синусоидального непрерывного, аналого- или импульсно-модулированного сигнала,
- усилитель мощности, обеспечивающий достаточную мощность для формирования электрического поля заданной напряженности в плоскости испытываемого устройства,
- излучающую антенну, являющуюся источником электрического поля,

- пробник электрического поля, обеспечивающий калибровку уровня напряженности в плоскости испытываемого оборудования.
- монитор поля или компьютер для обработки измеренных пробником поля значений напряженности,
- штативы для пространственного размещения антенны и пробника электрического поля в объеме испытательной камеры,
- соединительные коаксиальные кабели или волноводные тракты для передачи РЧ-энергии на антенну,
- интерфейсные кабели для передачи информации с пробника электрического поля и регулировки источника сигнала.

### Генераторы сигналов

Аналоговые генераторы сигналов для задач ЭМС – это сердце всего испытательного комплекса. Несмотря на то, что особо жестких требований к выходному сигналу с генератора не предъявляется, необходимо учитывать ряд факторов.

Частотный диапазон работы, очевидно, должен соответствовать требованиям планируемых к закрытию регламентов, однако, стоит учесть, что возможность аппаратного расширения полосы хоть и анонсируется рядом производителей, но по факту является нерентабельной, потому при закупке следует руководствоваться потенциалом развития лаборатории. К примеру, при выборе генератора под стандарт МЭК 61000-4-3 нет обоснований ограничиваться диапазоном менее 6 ГГц, поскольку, даже если для текущих испытательных задач достаточно полосы в 2,7 ГГц, в обозримом будущем непременно появится потребность в расширении до 6 ГГц, что приведет к необходимости приобретения нового генератора.

# ПРЕДЛОЖЕНИЕ ОТ ANAPICO

Стандарты ЭМС описывают непрерывные, амплитудно- (АМ) или импульсно-модулированные (ИМ) сигналы. В современных генераторах возможности аналоговой модуляции обычно предоставляются в виде программных опций под ту или иную обработку. Аналогично, даже при работе по коммерческим стандартам, регламентирующим АМ с глубиной 80%, следует оценить возможности будущего программного расширения прибора.

Несмотря на то, что особое влияние на уровень гармоник сигнала, строго лимитированному требованиям стандартов, вносит усилитель, генератор сигналов должен обеспечивать малые уровни гармонических составляющих и чистый синусоидальный сигнал на выходе.

Наконец, наличие цифровых интерфейсов дистанционного управления также является

необходимостью в современных ЭМС системах. Примером аналогового генератора сигналов для установки в испытательной комплекс согласно МЭК 61000-4-3 является модель RFSG6 производство AnaPico (Швейцария, Рис.3). Генератор представляет собой компактное решение с полосой частот от 9 кГц до 6.1 ГГц, аналоговой модуляцией (АМ, ЧМ, ФМ, ИМ, ЛЧМ) в стандартной комплектации, высокой выходной мощностью (до +17 дБм), а также низкими значениями гармонических искажений (40 дБн тип.) и фазовых шумов (-130 дБн/Гц на частоте 1 ГГц). Прибор оснащен современными интерфейсами связи и внесен в Госреестр СИ, а его исполнение позволяет существенно сэкономить средства в сравнении с традиционными решениями на рынке.



<b>Частота</b>	<b>Диапазон:</b> 9 кГц до 6.1 ГГц <b>Разрешение:</b> 0.001 Гц
<b>Выходная Мощность</b>	<b>Диапазон:</b> от -120 до +17 дБм PEЗ от -30 до +18 дБм <b>Разрешение:</b> 0.01 дБ
<b>Скорость перестройки частоты</b>	400 мкс
<b>Фазовый шум 1 ГГц</b>	<b>10 Гц:</b> -80 дБн/Гц <b>1 кГц:</b> -117 дБн/Гц <b>100 кГц:</b> -130 дБн/Гц <b>10 МГц:</b> -150 дБн/Гц
<b>Удаленный доступ</b>	Ethernet, USB, GPIB (SCPI v1999)
<b>Модуляции</b>	АМ, ЧМ, ФМ, ИМ, ЛЧМ (стандартная комплектация)
<b>Свиппирование</b>	По списку, Частоте, Мощности
<b>Размеры (Ш x Д x В), Вес</b>	173.6 x 270.7 x 116.9 мм 2.5 кг

## ФОРМИРОВАНИЕ ЛУЧА ДН АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Практически все антенные системы современных радиолокаторов – это **фазированная антенная решетка (ФАР)**.

В общем случае ФАР состоит из полотна излучателей и системы распределения фаз и амплитуд. Разработка антенной решетки является трудоемким процессом, который обычно проводится математическими методами. После расчета математической модели и изготовления на ее основе макета, необходимо провести измерения решетки или ее фрагмента. Чтобы подать на каждый антенный элемент сигнал с точно заданным распределением фазы и амплитуды, требуется система питания с фазовращателями. Однако на этапе макетирования антенной решетки можно воспользоваться многоканальным фазовокогерентным генератором, который позволит с высокой точностью установить необходимые значения фазы и амплитуды на каждом канале для формирования диаграммы направленности решетки и управления ею. Благодаря возможности подобрать амплитуду и фазу по каждому каналу можно точно скорректировать параметры системы питания антенной решетки с учетом реальных измерений. Важными характеристиками многоканальных генераторов является разброс фаз и амплитуд от канала к каналу. Данные соотношения влияют на итоговую диаграмму направленности антенной решетки.

Известно, что за формирование диаграммы направленности отвечают такие факторы как: количество элементов ФАР, их пространственное расположение, а также распределение фаз и амплитуд токов в элементах решетки.

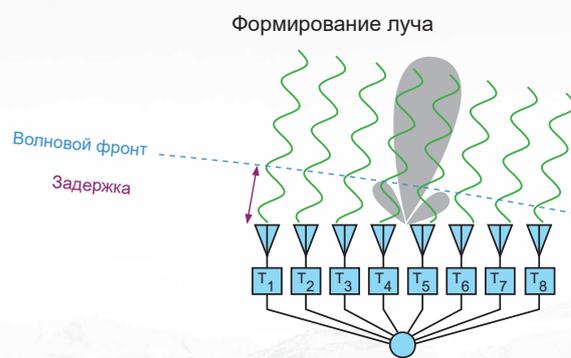


Рисунок 1: Формирование луча ДН АФАР

Количество элементов ФАР и их расположение являются факторами, обеспечиваемые конструктивом решетки. Поэтому эти параметры являются стабильными величинами. Однако, фазово-амплитудные распределения токов будут зависеть от качества цепи питания ФАР, а в случае запитывания ФАР от многоканальных генераторов – от точности установки фаз и амплитуд на каждом канале.

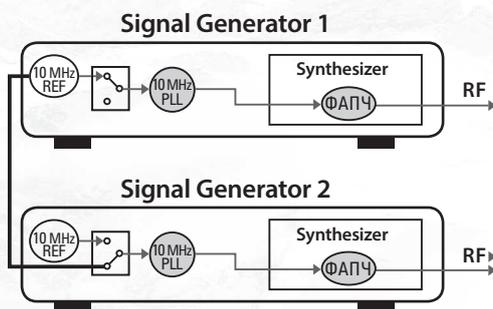
Изменение фазовых соотношений на элементах антенной решетки позволяет управлять лучом, то есть проводить сканирование. В зависимости от сектора сканирования фазовое управление лучом антенной решетки позволяет отказаться от механических приводов, необходимых для обзора пространства.

Фазовое сканирование осуществляется с использованием различных фазовращателей, включенных в цепь питания антенной решетки. В случае использования многоканальных генераторов фазовращатели не требуются, так как управлять фазой можно на выходе каждого из каналов генератора. Но, в данном случае должна быть обеспечена фазокогерентность каналов, чтобы избежать случайной фазовой ошибки, что может вызвать искажение диаграммы направленности, например, случайное отклонение главного максимума.

# ПРЕДЛОЖЕНИЕ ОТ ANAPICO

**Основной вывод из сказанного выше:**  
при тестировании антенных решеток с помощью многоканальных генераторов предъявляются жесткие требования к фазовой и амплитудной стабильности каналов генерации.

Классическая схема реализации многоканального фазово-когерентного генератора представлена на рисунке 2. Для этого используются несколько одноканальных генераторов, объединенных в единый комплекс.



**Рисунок 2: Синхронизация частот посредством общего опорного генератора**

После объединения генераторов воедино потребуется калибровка их фаз. Для этого необходимо достаточно дорогостоящее оборудование, например, осциллограф с синхронизированными по времени каналами.

Иной подход в многоканальной генерации предлагает швейцарская компания Anapico. В ассортименте ее продукции есть трех-, четырех-фазово-когерентные генераторы. Каждый генератор (рисунок 3) представляет собой единый компактный прибор, габаритами не более стандартного одноканального генератора иного производителя.

Так как рассчитывается, что данные генераторы будут работать в системах с большим количеством каналов, то для удобства монтажа их в одну стойку предусмотрена возможность исполнения данных генераторов в стоечном виде (рисунок 3).



**Рисунок 3. Четырехканальный генератор Anapico в стоечном исполнении.**

Из ассортимента компании Anapico можно подобрать многоканальный генератор под конкретные задачи тестирования. Генераторы различаются по частотному диапазону, количеству

каналов, а также набору опций. Сводная таблица многоканальных генераторов Anapico приведена в таблице 1.

<b>Количество каналов</b>	2, 3, 4
<b>Межканальная когерентность</b>	3 мрад между каналами генератора 5 мрад между каналами соседних генераторов
<b>Возможность объединения каналов</b>	количество каналов не ограничено
<b>Диапазон частот</b>	300 кГц до 6, 12, 20, 33 до 40 ГГц
<b>Разрешение установки частоты</b>	0.001 Гц
<b>Диапазон мощности</b>	-20 до +25 дБм, -80 до +25 дБм (с опцией PE4)
<b>Скорость перестройки частоты</b>	500 мкс (25 мкс с опцией FS)
<b>Фазовый шум 1 ГГц: 10 Гц</b>	-87 дБн/Гц (-100 дБн/Гц с опцией LN)
<b>Фазовый шум 1 ГГц 100 кГц</b>	-150 дБн/Гц
<b>Управление</b>	Ethernet, GPIB (SCPI v1990), USB
<b>Модуляции</b>	AM, FM, PM, Pulse
<b>Свиппирование</b>	Frequency, List, Phase, Power
<b>Размеры (Ш x Д x В), Вес</b>	426 x 460 x 43 мм, 10 кг

Таблица 1. Многоканальные генераторы Anapico.

Использование многоканальных генераторов для тестирования ФАР дает такие преимущества, как:

- ➊ максимальная оптимизация времени тестирования;
- ➋ оптимизация цены, низкая стоимость владения;
- ➌ минимизация человеческого фактора;
- ➍ минимизация вероятных отказов в кабельных соединениях
- ➎ минимальные сроки разработки и внедрения ФАР;
- ➏ высокая эргономика рабочего места;

Важным моментом является то, что многоканальные генераторы Anapico внесены в Госреестр СИ и являются полноценным средством измерения

Многоканальные генераторы сигналов Anapico MCSG6, MCSG12, MCSG20, MCSG33, MCSG40 обеспечивают:

Неограниченное количество фазово- когерентных каналов

- ➊ Фазово-непрерывный сигналы
- ➋ Сигналы с фазово-когерентной перестройкой частоты
- ➌ Сигналы с памятью фазы

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ФАЗОВО-СТАБИЛЬНЫЙ СИГНАЛ, ФАЗОВО-КОГЕРЕНТНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ, СИГНАЛ С ПАМЯТЬЮ ФАЗЫ

**Фазово-непрерывный сигнал:** Сигнал называется непрерывным по фазе, если после переключения его частоты фаза сигнала такая же, как и до переключения. Это означает, что в точке переключения частоты нет прерывистости сигнала, пример рисунок 1.

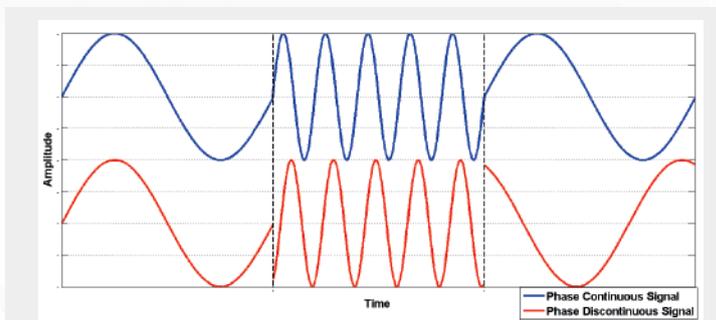


Рисунок 1: Фазово-непрерывный сигнал (синий), сигнал прерывается по фазе (красный).

**Фазово-когерентная перестройка частоты:** данный термин определяет соотношения фаз, как только процесс перестройки частоты завершен.

Чтобы проиллюстрировать это, давайте рассмотрим два фазово-когерентных сигнала, Сигнал 1 и Сигнал 2 на частоте  $f_1$  с относительной фазой  $\Delta\phi$ . Если сигнал 2 был переключен на частоту  $f_2$ , а затем обратно к частоте  $f_1$ , относительная фаза между двумя сигналами снова будет  $\Delta\phi$ , если генератор обладает фазово-когерентной перестройкой частоты.

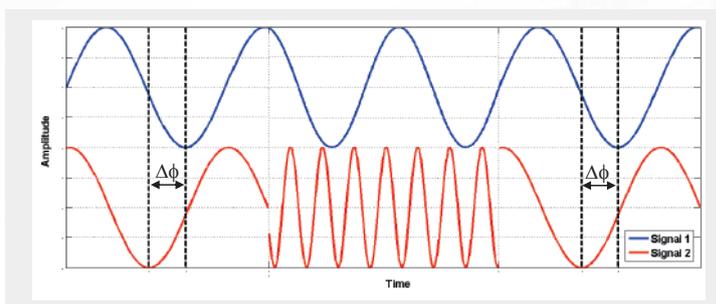


Рисунок 2: Относительная фаза между сигнала сохраняется, когда они имеют одинаковую частоту.

**Сигнал с памятью фазы:** Способность генератора выполнить перестройку частоты, с частоты  $f_1$  на частоту  $f_2$  и обратно на частоту  $f_1$ , сохранив значение мгновенной фазы как будто сигнал не перестраивался по частоте. Пример рисунок 3.

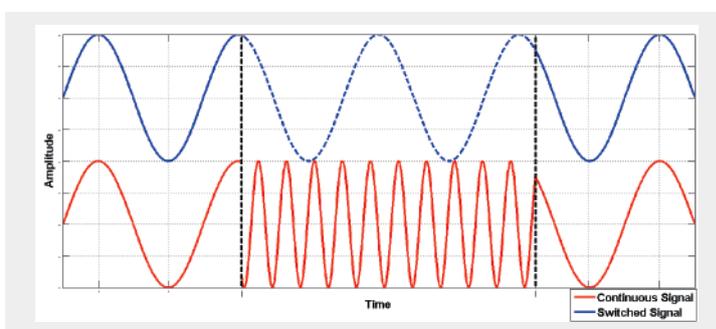


Рисунок 3: Сигнал с памятью фазы

## Выводы:

Существует четко определенная терминология для описания различных характеристик фазово-когерентных сигналов. Эта терминология иногда используется взаимозаменяемо; однако важно понимать тонкие различия, которые существуют между описанными явлениями.

# МНОГОКАНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДО 40 ГГц

## ОПИСАНИЕ

MCSG серия фазо-когерентных многоканальных генераторов (1, 2, 3 или 4), высокой мощности с сверхбыстрой перестройкой частоты и низким уровнем фазового шума доступны в диапазоне частот от 300 кГц до 6, 12, 20, 33 или 40 ГГц. Что идеально подходит для широкого спектра применения, где требуется хорошее качество сигнала, точная установка высокой выходной мощности. Низкий фазовый шум сочетается с низкими значениями частотных искажений, гармонических искажений, скорость перестройки частоты 25 мкс (с опцией FS), что делает серию AnaPico MCSGxx лидером класса. Высокостабильный термостатированный генератор обеспечивает высокую точность установки и долговременную стабильность частоты. Допускается использовать внешние опорные сигналы для синхронизации 10, 100М Гц и 1 ГГц синхронизации, а также для случая специальных требований имеется вход опорных сигналов 1-250 МГц. Кроме того, серия MCS-

Gxx имеет два специфических высокочастотных порта 3 ГГц Sysref (один вход и один выход), что позволяет обеспечить превосходную синхронизацию фаз между выходами из нескольких модулей MCSGxx.

Модель серии MCSGxx поставляется в стандартный 19 дюймовом исполнении высотой 1u (до 4-х каналов в одном приборе), форма модуля подходит для монтажа в стойку и предлагает различные интерфейсы управления, такие как USB, LAN или GPIB. Каждый интерфейс позволяет легко и быстро взаимодействовать с помощью набора команд SCPI 1999. Дистанционное управление прибором может быть быстро достигнуто из любой хост-системы. Интерфейс прикладного программирования (API) или примеры программирования для MATLAB, LabVIEW, C++ и других коммерчески доступных инструментов делают управление прибором очень доступным.



## МОДЕЛИ

MCSG6-x, MCSG12-x, MCSG20-x, MCSG33-x, MCSG40-x

## ХАРАКТЕРИСТИКИ

Число каналов	2, 3, 4
Диапазон частот	от 300 кГц до 6, 12, 20, 33 или 40 ГГц
Разрешение установки частоты	0.001 Гц
Диапазон устанавливаемых значений	от -20 до +25 дБм / от -80 до +25 дБм (с опцией PE4)
Скорость переключения	500 мкс (25 мкс с опцией FS)
Фазовый шум на 1 ГГц на отстройке	на 10 Гц: -100 дБн/Гц на 1 кГц: -130 дБн/Гц на 20 кГц: -145 дБн/Гц на 100 кГц: -150 дБн/Гц
Интерфейсы дистанционного программирования	Ethernet, USB, GPIB (SCPI v1999)
Модуляция	Pulse, AM, FM, PM
Сви́пирование	List, Frequency, Power, Phase
Размеры (Ш x Д x В), Вес	19" 1HE корпус: 426 x 460 x 43 мм, 10 кг

## КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Ультра низкий уровень шума  
 Быстрая перестройка частоты  
 Фазокогерентное переключение частоты  
 2, 3 или 4 когерентных СВЧ выхода

## ПРИМЕНЕНИЕ

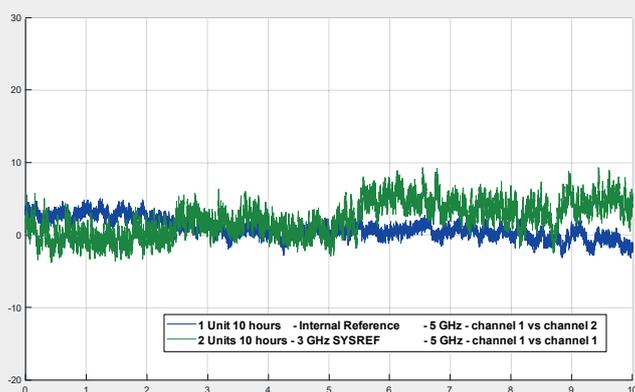
Симуляция сигналов Радара  
 Квантовые вычисления  
 Промышленное тестирование / тестирование АФАР / формирование луча  
 Радиоэлектронная борьба

## ДОСТУПНЫЕ РАСШИРЕНИЯ (ОПЦИИ)

PHS	Фазокогерентное переключение частоты
FS	Опция быстрого переключения частоты
VREF	Вход опорной частоты от 1 до 250 МГц
MOD	Установка AM, PM, FM модуляций
PE4-12	Электронный аттенюатор для расширения диапазона выходной мощности (версии 6 & 12 ГГц)

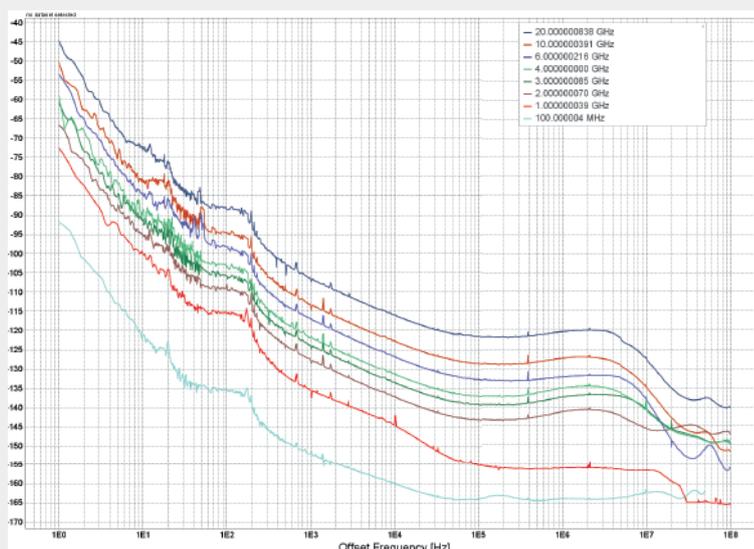
PE4-20	Электронный аттенюатор для расширения диапазона выходной мощности (версия 20 ГГц)
PE4-40	Электронный аттенюатор для расширения диапазона выходной мощности (версии 33 ГГц & 40 ГГц)
GPiB	IEEE-488, 2.1987, интерфейс программирования

## ГРАФИКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ



MCSG межканальная стабильность фазы 5 ГГц.  
 Между каналами генератора (Синий)  
 Между генераторами (зеленый)

MCSG 5 ГГц нестабильность фазы  
 между каналами



Уровень однополосного фазового шума MCSG  
 с опцией ULN

# СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ОТ ANAPICO В РОССИИ

## AnaPico Selection

**AnaPico Selection** - это оборудование AnaPico, которое использовалось самим производителем при дизайне, производстве и разработке. Возраст приборов не более 5 лет, средний возврат 1.5 года. Выигрыш в цене от 40% до 70%.

Существует множество причин остановить свой выбор на оборудовании AnaPico Selection. Одной из них, является спокойствие заказчика. Вам просто не о чем волноваться — ведь выбирая любой из вариантов, представленных на нашем сайте возрастом до 5 лет, Вы можете быть уверены — Ваш прибор будет в самом лучшем состоянии обладать рядом преимуществ и проверенной историей эксплуатации.

### **Оборудование AnaPico Selection имеет гарантийную поддержку 12 месяцев**

Приборы по программе AnaPico Selection проходят тщательную проверку у производителя, выполняется калибровка прибора, устанавливается последняя версия прошивки и программного обеспечения.

### **Предпродажная подготовка прибора**

Перед отправкой заказчику, прибор помещают в новый корпус, устанавливают полностью новые кнопки и детали механического интерфейса, а также устанавливают абсолютно новые разъёмы на переднюю и заднюю панель. Прибор комплектуется абсолютно новыми аксессуарами из комплекта поставки. Как следствие, заказчик получает прибор внешне не отличимый от нового прибора.

### **Проверенная история прибора**

Так как оборудование AnaPico Selection использовалось на рабочих местах разработчиков AnaPico или других сотрудников производителя, это исключает некорректное использование прибора, нарушение режима эксплуатации.

### **Существенная скидка на прибор!**

Скидки на оборудование от 30% до 70% в зависимости от конкретного оборудования!

## Акции и спецпредложения

Компания AnaPico периодически предлагает акции и пакетные предложения с скидкой по приобретению пакета опций.

Подробнее: <https://anapico-russia.com/anapico-special-sale/>

## Модернизация оборудования AnaPico

AnaPico может приложить немного больше, пользователь может дооснастить свое оборудование расширив диапазон частот в пределах серии генераторов, а также установить любую опцию на прибор в сервисном центре.

