



# Квантовые компьютеры QC. Применение решений АнаPico



Общество с ограниченной ответственностью "Америт"  
603087, Россия, Нижний Новгород, Казанское шоссе, д.16, корпус 1;  
Тел: (+7-831) 831 257-78-52 (51, 54), факс: (+7-831) 257 78 53  
<http://www.amerit.nnov.ru>; e-mail: [amerit@c.nnov.ru](mailto:amerit@c.nnov.ru)

Сопутствующие продукты AnaPico Products: [MCSG-ULN](#), [RFVSG-X](#), [RFSYN20-X](#)

В Интернете есть множество учебных материалов для краткого понимания квантовых вычислений (КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ QC). (Для тех, кто заинтересован в более подробном списке, мы указываем список из документов в конце этого документа.)

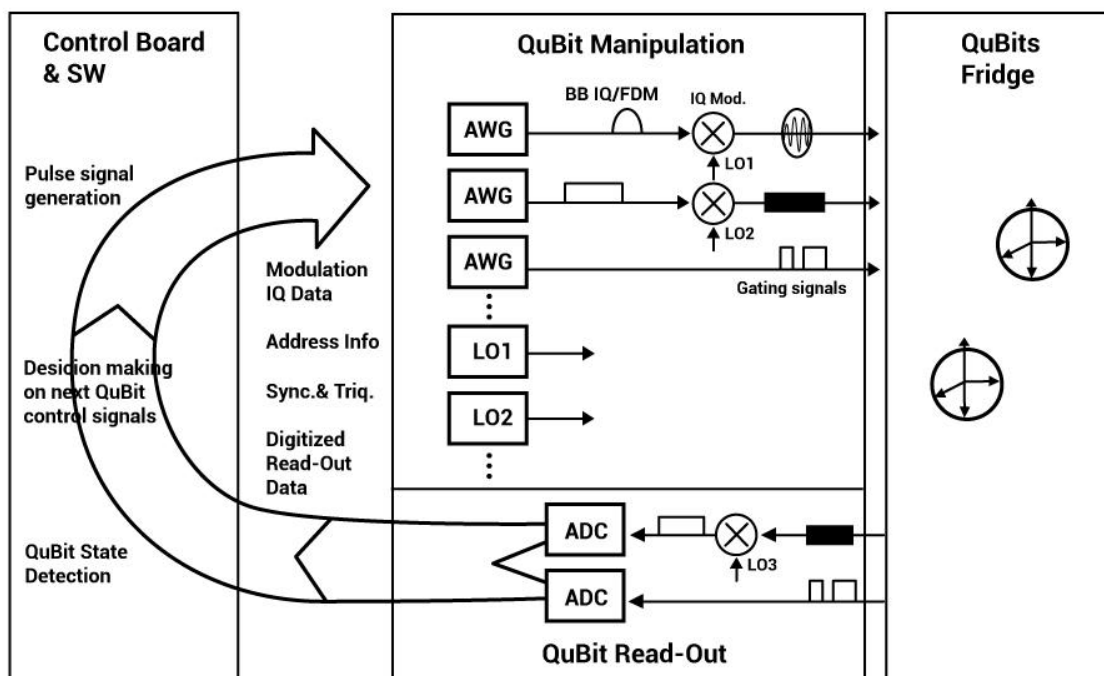
В этой статье мы будем повторять обзор, а начнем с экспериментальных / измерительных систем, которые создают наши целевые клиенты, и выясним, какие продукты AnaPico подходят и привлекательны в качестве средств измерений в экспериментальных системах контроля квантовых компьютеров.

## Экспериментальные системы контроля качества и основные технические требования к приборам.

Технология контроля качества сегодня все еще находится на начальном уровне. Ученые всего мира создают экспериментальные системы, позволяющие подтвердить концепцию и понимание фундаментального механизма. Большинство исследовательских групп по разработке квантовых компьютеров сегодня создают системы, включающие несколько QuBit (Кубит), и планируют расширить системы для поддержки десятков QuBits (Кубит). Типичная экспериментальная система контроля качества (КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ QC) показана ниже. С точки зрения требований к оборудованию есть следующие основные компоненты:

- Холодильник / Криостат (QuBits Fridge/ Cryostat) QuBits: контейнер с очень низкой и стабильной температурой (около 0 Кельвина) внутри, в котором размещены QuBits. Сегодня существуют десятки физических методов / технологий реализации QuBit, таких как TRANSMONS, TRAPPED ION и т. Д. Для получения дополнительной информации, пожалуйста ознакомьтесь: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_computing)
- Для управления / манипулирования QuBits (изменение квантовых состояний QuBits, 0, 1, суперпозиция) необходимы три различных типа сигналов
  - Узкополосные импульсные сигналы, модулированные на РЧ / СВЧ-частоте.
  - Сигналы промежуточной частоты (ПЧ), модулированные (той же) несущей ВЧ/СВЧ частотой.
  - Импульсные сигналы постоянного тока для функции стробирования / переключения.
- Для считывания состояний QuBits сигналы от QuBits Fridge преобразуются с понижением частоты в полосу частот модулирующего сигнала и в цифровую область. Перед отправкой информации о состоянии QuBits на плату управления и программное обеспечение (квантовый алгоритм) цифровые сигналы часто предварительно обрабатываются в максимально возможной степени, что снижает нагрузку обработки данных на плату управления.

- Плата управления (Control Board) принимает и далее анализирует обнаруженные сигналы состояния QuBits и дает команды приборам для изменения состояния QuBits в следующем шаге.



Таким образом, экспериментальные системы контроля качества работают по такому механизму замкнутого цикла: генерация сигналов модуляции и управления → применение модулированных и управляющих сигналов на QuBits внутри холодильника → постоянное считывание статуса QuBits → анализ считываемых сигналов и принятие решения какие сигналы модуляции и управления применять дальше → и так далее.

(В зависимости от методов реализации QuBit, конечно, существуют разные способы управления и считывания QuBit. В этом документе мы кратко описываем только наиболее актуальную концепцию, которая включает в себя наши инструменты для тестирования и измерения.)

Ученые занимающиеся исследованием и разработкой КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ QC, обычно используют все / большую часть аппаратного оборудования. Очевидно, что сегодня AnaPico может внести существенный вклад в работу с QuBits. Общие технические **требования к формированию управляющего сигнала следующие:**

- Низкая задержка цикла (от считывания статуса до подачи управляющих сигналов на QuBits) должна быть менее 1 мкс. (Срок службы QuBits в холодильнике составляет около 100 мкс.)

Это жесткое требование. Следовательно, заказчик требует, чтобы каждый прибор/функциональный блок в контуре работал как можно быстрее.

- Ширина импульса модуляции должна быть близка / меньше 10 нс. Следовательно, из-за дополнительного механизма формирования импульсов требуемая частота дискретизации для генерации импульсов должна превышать 1 Гвыб/с.
- Частота ПЧ обычно ниже 100 МГц.

Частота ВЧ/СВЧ сигналов гетеродина в основном находится в диапазоне до 12/20 ГГц. С квантово-физической точки зрения: чем выше частота, тем больше различий состояний QuBit, но, к сожалению, тем дороже экспериментальные системы. Для обнаружения состояний с низким уровнем ошибок необходимы высокая спектральная чистота и низкий фазовый шум. Фазовая когерентность между колебательными сигналами, а также функции регулировки фазы очень важны, поскольку это значительно помогает поддерживать низкую задержку контура.

Обобщив технические требования выше, текущее состояние исследовательской работы, однако, таково, что большинство исследовательских групп / экспериментальных систем еще не могут поддерживать все желаемые функции и уровень производительности, учитывая всегда ограниченный доступный бюджет. Большинство экспериментальных систем все еще работают в режиме разомкнутого цикла. Для начала экспериментов делается много компромиссов. Исследователи индустрии квантовых компьютеров QC и поставщики инструментов все еще работают над этим набором требований.

## Подходящие продукты AnaPico для экспериментальных систем контроля качества

[MCSG-ULN](#) и [RFSYN20-X](#) как источники фазово-когерентных колебаний.

В последние несколько лет серия многоканальных генераторов сигнала от AnaPico MCSG-ULN была выбрана десятками лабораторий по контролю качества по всему миру в качестве гетеродинов в экспериментальных системах контроля качества. Причины этого успеха следующие.



[Аналоговый генератор  
MMSG40-3-ULN, 300 кГц — 40  
Гц, 3 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MMSG40-4-ULN, 300 кГц — 40  
Гц, 4 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MMSG40-2-ULN, 300 кГц — 40  
Гц, 2 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MMSG33-4-ULN, 300 кГц — 33  
Гц, 4 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MMSG33-2-ULN, 300 кГц — 33  
Гц, 2 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MMSG20-4, 300 кГц — 20 ГГц,  
4 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MCSG20-2, 300 кГц — 20 ГГц,  
2 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MCSG12-4, 300 кГц — 12.5  
ГГц, 4 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)



[Аналоговый генератор  
MCSG12-2, 300 кГц — 12.5  
ГГц, 2 канала](#)

Цена по запросу

[Подробнее](#)

## MCSG-ULN привлекательны по следующим причинам:

- Стабильный и приемлемый уровень цен
- Отличная фазовая когерентность, очень низкий фазовый шум (Змрад, 1 ГГц 20 кГц отстройка -145 дБн/Гц)
- Возможность регулировки фазы каждого канала
- Высокая выходная мощность, поддерживающая широкий спектр I / Q смесителей
- Механизм синхронизации на базе 3 ГГц между монтируемыми в стойку модулями, обеспечивающий лучшую в своем классе фазовую когерентность среди каналов сигнала гетеродина.
- Компактный размер, низкое энергопотребление (это большой положительный момент для пользователей, имеющих в виду более крупную систему)
- Большое число положительных отзывов заказчиков.

Многоканальные генераторы сигналов серии [MCSG-ULN](#) до сих пор являются предпочтительными гетеродинами, особенно для малых и средних систем контроля качества. Заказчики, создающие крупномасштабные системы с десятками QuBit, могут также использовать нашу серию

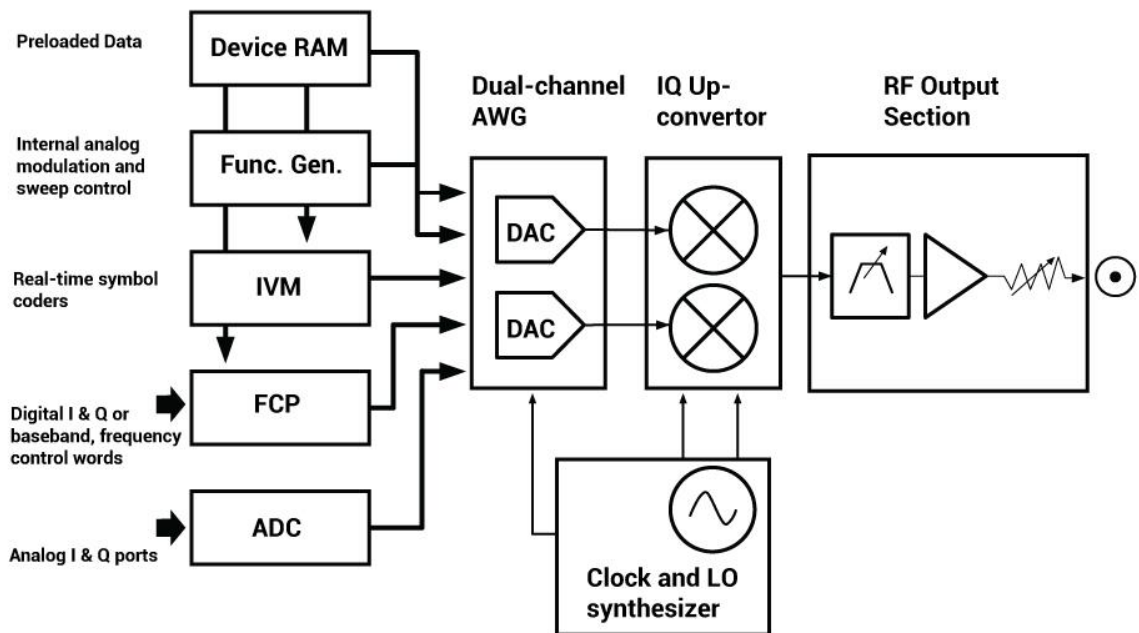
многоканальных синтезаторов частоты [RFSYN20-X](#), чтобы сократить вложения в приборную часть. RFSYN20-X дешевле, чем MCSG-ULN, но с более низким уровнем производительности, чем MCSG-ULN (фазовая когерентность, фазовый шум и т. д.).

#### [RFVSG-X](#) для манипулирования QuBits

Наша новая серия векторных генераторов сигналов RFVSG (также доступны многоканальные модели) имеют встроенные функции AWG, LO, I / Q микширование и т. Д., Которые необходимы в экспериментальных системах контроля качества. Они хороши для групп контроля качества, начинающих создавать экспериментальные системы с самого начала и не имеющих многих других инструментов, таких как AWG, I/Q модуляторы и т. Д. Экономическая эффективность в сочетании с хорошими функциями, такими как оперативная гибкость, фазовая-когерентность, чистота сигнала и т. д. предоставляют клиентам (КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ QC) экономичным способом.



Рисунок 1. 4-х канальный векторный генератор RFVSG до 40 ГГц



RFVSG имеет несколько режимов работы / модуляции, два из которых потенциально подходят для приложений контроля качества (КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ QC):

- Пользователи могут скомпилировать необходимые сегменты данных I / Q (импульсные сигналы в форме основной полосы) и предварительно сохранить их во внутренней памяти RFVSG, имеющей размер 512 МБайт, каждый с 32 битами (2×16 бит для I и Q). С сегодняшней точки зрения, часто используемые сегменты I / Q меньше 100 МБ, каждый из которых имеет длину <30 нс. В процессе работы пользователь отправляет команду на RFVSG с адресом сегмента данных I/Q через FCP, а RFVSG будет на лету использовать правильный сегмент и модулировать сигнал LO для генерации необходимого управляющего сигнала. Операция с адреса, доступного для генерации управляющего сигнала, займет всего.

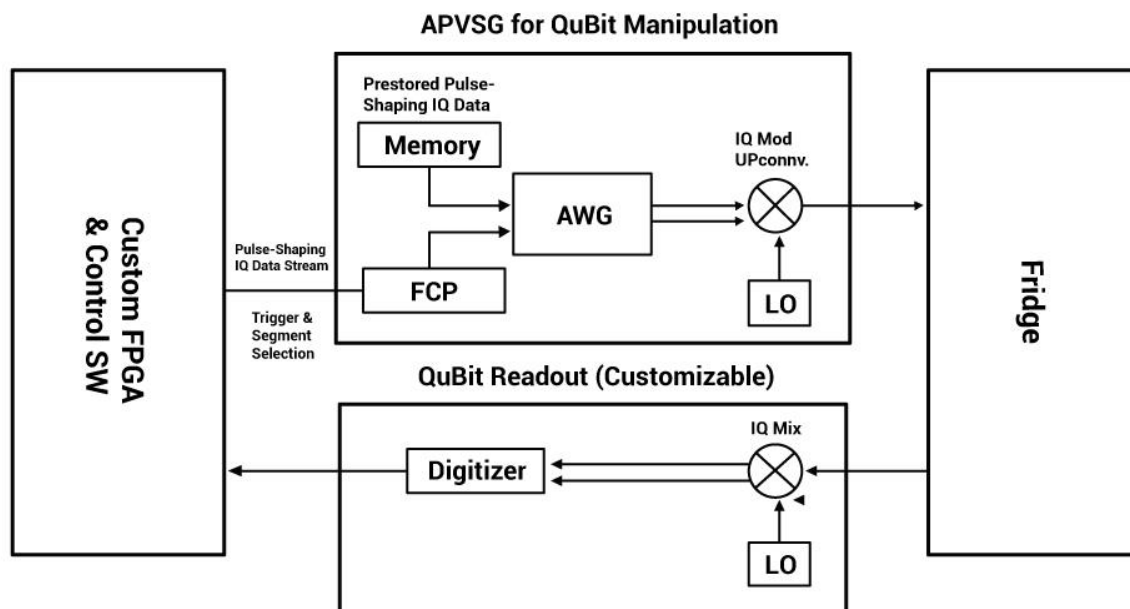
Время <200 нс.

- Плата клиента (ПЛИС) будет предоставлять сегмент данных I / Q во время работы системы контроля качества и передавать его через FCP в механизм RFVSG. Остальное затем аналогично описанному выше процессу.

Другие режимы компиляции и ввода данных модуляции либо неприменимы (MOD, IVM), либо медленны для работы с замкнутым контуром (AIQ), и поэтому не так актуальны. (Системы контроля



качества, работающие по механизму разомкнутого контура, поскольку задержка канала еще не критична, могут по-прежнему использовать AIQ для ввода аналогового I / Q-сигнала.)



Наше текущее поколение RFVSG имеет полосу цифровой модуляции 400 МГц, максимальную частоту дискретизации 500 Мвыб / с, скорость передачи цифровых I / Q-данных (при FCP) до 250 Мвыб / с. Для многих исходных экспериментальных систем контроля качества этого достаточно. Другие особенности RFVSG, способствующие пригодности для приложений КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ QC, — это очень низкий фазовый шум, фазовая когерентность в многоканальной версии, индивидуальная регулировка фазы, отличная чистота сигнала (гармоники, негармоники, стабильность мощности несущей, подавление спуров) и т. Д. RFVSG следующего поколения будет иметь более широкую полосу модуляции, более высокую частоту дискретизации и т. д. И, таким образом, также будет отвечать строгим требованиям к манипулированию QuBits.

# ОТЗЫВЫ КЛИЕНТОВ

(Неполный список из-за NDA с AnaPico. Эти компании приобрели наши MCSG-ULN для фазовой когерентной генерации в качестве гетеродинов. Некоторые из них также использовали наши RFSYN20-X и RFVSG-X.)

## Соединенные Штаты Америки

- IBM
- Массачусетский университет
- Возможность регулировки фазы каждого канала
- Google

## Европа

- Оксфордский университет, Великобритания
- Oxford Quantum Circuits, Великобритания
- Университет Чалмерса, Швеция
- Венский университет, Австрия
- Технологический институт Карлсруэ, Германия
- EPFL, Швейцария
- MiraEx, Швейцария

## Азиатско-Тихоокеанский регион

- Университет Цинхуа, Китай
- Пекинский университет, Китай
- Чжэцзянский университет, Китай
- Китайская академия наук
- Университет наук и технологий, Китай
- Институт микросистем Китайской академии наук
- Токийский университет науки, Япония
- Нагойский университет, Япония

- NTT, Япония
- AIST, Япония
- RIKEN, Япония
- NICT, Япония
- ETRI, Корея
- Сиднейский технологический университет, Австралия



**Общество с ограниченной ответственностью “Америт”**  
603087, Россия, Нижний Новгород, Казанское шоссе, д.16, корпус 1;  
Тел: (+7-831) 831 257-78-52 (51, 54), факс: (+7-831) 257 78 53  
<http://www.amerit.nnov.ru>; e-mail: [amerit@c.nnov.ru](mailto:amerit@c.nnov.ru)