



**ФОНД
ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**



Импульсные измерения кубитов

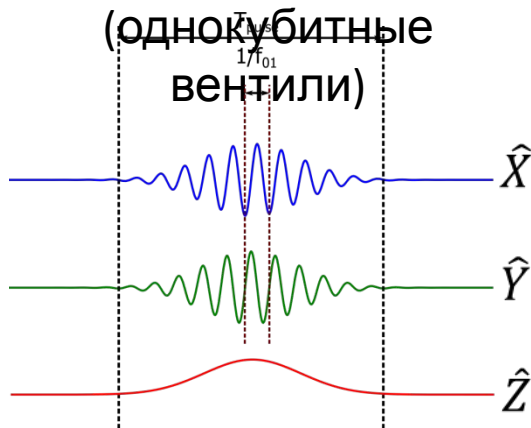
Беседин И., Шульга К., Абрамов
Н., Гусенкова Д., Аверкин А.,
Меренков А.

Введение

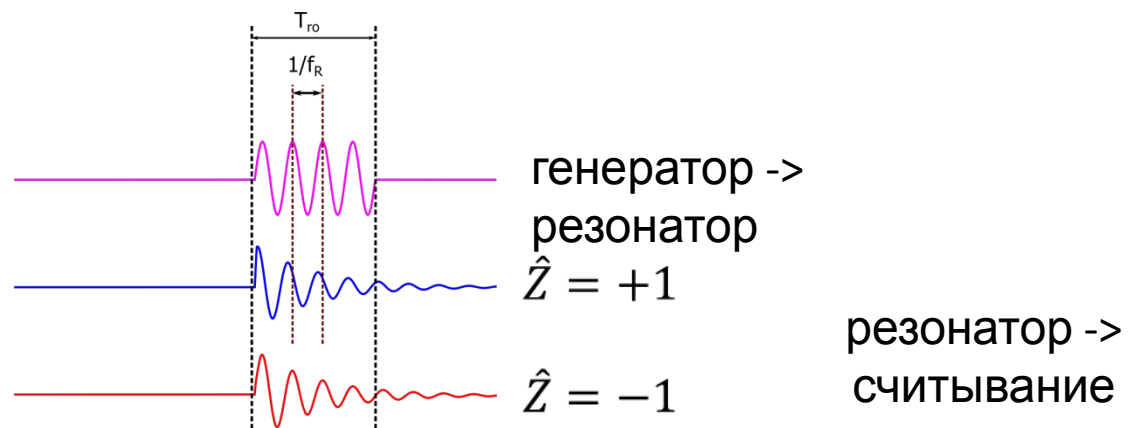
- Мотивация: универсальный квантовый компьютер оперирует гейтами (вентильями), которые на практике представляют собой микроволновые сигналы конечной (желательно - малой) длительности
- Дисперсионное считывание состояния кубита – с помощью микроволновых импульсов на частоте резонатора

Управляющие импульсы

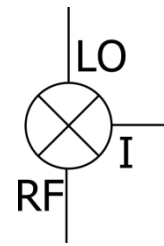
(однокубитные вентили)



Считывающие импульсы



СВЧ смесители



Идеальный смеситель:

$$A_{RF}(t) = LA_{LO}(t)A_I(t)$$

Опорная волна: $f \sim 6\text{ГГц}$

$$A_{LO}(t) = \sin(2\pi f_{LO}t)$$

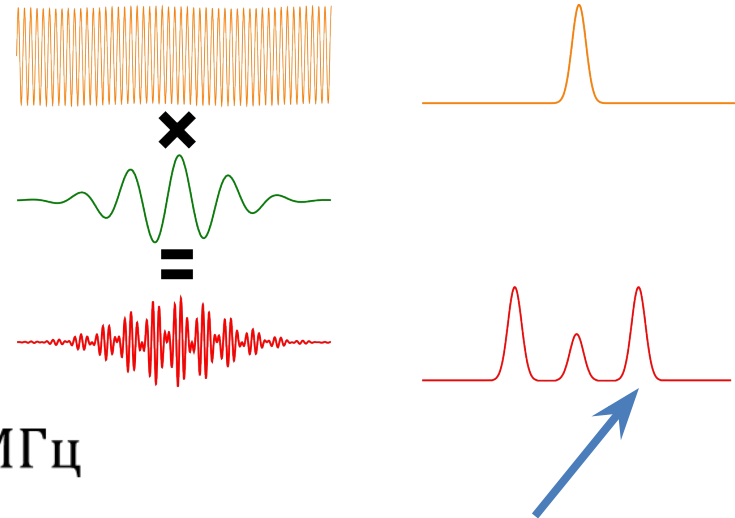
Гетеродинная схема:

$$A_I(t) = A(t) \sin(2\pi f_{IF}t) + O,$$

f_{IF} - «промежуточная частота», $f_{IF} \sim 60\text{МГц}$

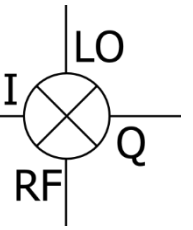
$A(t)$ медленная огибающая импульса

$$A_{RF}(t) = \frac{LA(t)}{2} (\cos 2\pi t(f_{IF} - f_{LO}) - \cos 2\pi t(f_{IF} + f_{LO})) + LO \sin(2\pi f_{LO}t)$$



Сигнал на этой частоте используется для измерений. Всё остальное только мешает

Квадратурные смесители



Два низкочастотных сигнала: I и Q модулируют опорный СВЧ сигнал с разными фазами

$$A_{RF}(t) = L_I A_{LO}(t) A_I(t) + L_Q A_{LO}(t + T_{LO}/4) A_Q(t)$$

$$A_I(t) = A(t) \sin(2\pi f_{IF} t + \varphi_{RF}) + O_I$$

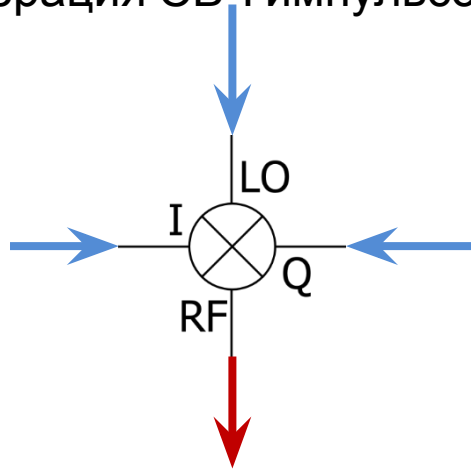
$$A_Q(t) = \alpha A(t) \cos(2\pi f_{IF} t + \varphi_{RF} + \varphi_B) + O_Q$$

- Избавиться от лишних сигналов на опорной и частоте изображения
- Генерировать импульсы на выбранном пике с наперёд заданной фазой φ_{RF}

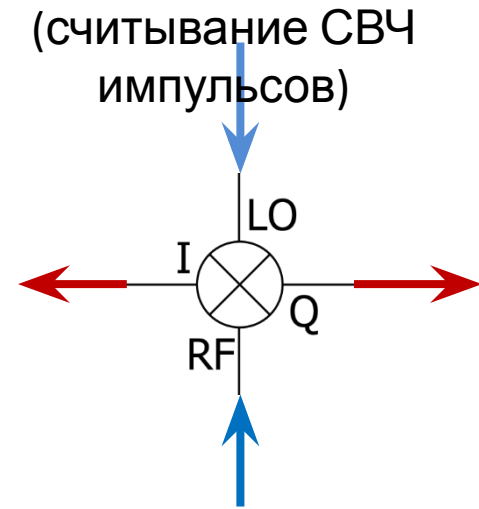
Идеально сбалансированных при всех f_{LO} сместилей не бывает: нужно подбирать α , φ_B , O_I , O_Q (калибровка миксеров)

Преобразование частоты вверх и вниз

Преобразование частоты
вверх
(генерация СВЧ импульсов)



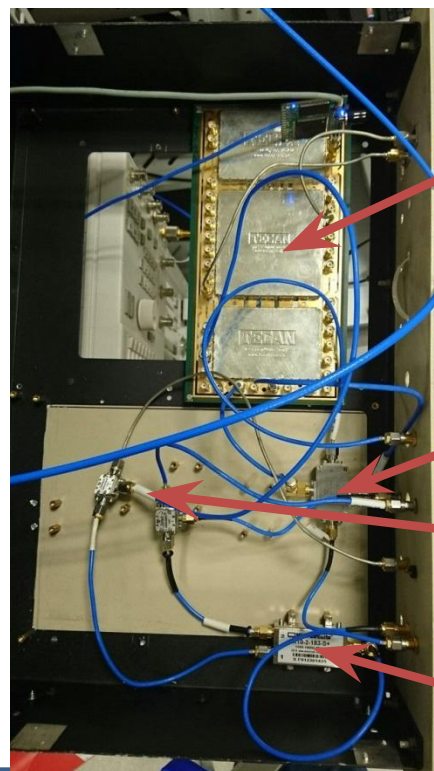
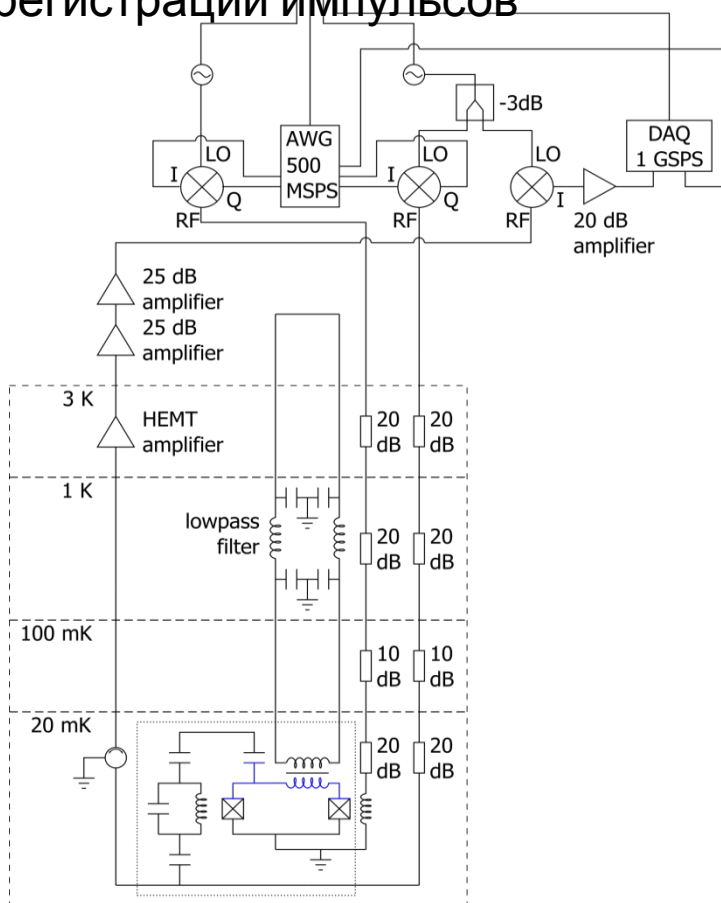
Преобразование частоты
вниз
(считывание СВЧ импульсов)



Один и тот же смеситель может работать и модулятором,
и демодулятором

Прототип установки для импульсного измерения кубитов

Гетеродинная схема генерации и регистрации импульсов



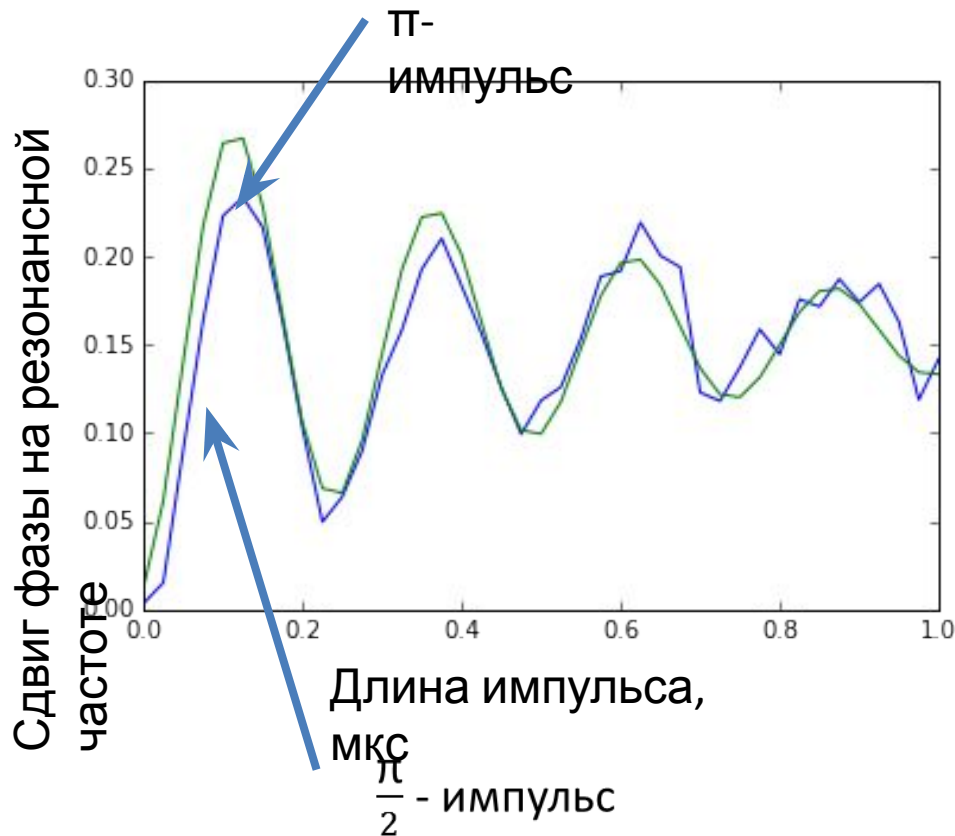
Awg-500
7
каналов,
500 MSPS
 $f < 100$ МГц

IQ-mixer
0618LXP
Marki Instruments

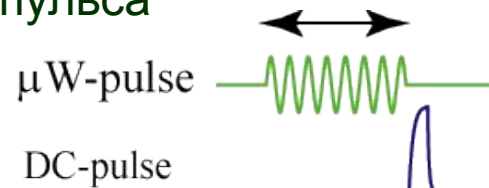
Mixers
Marki Instruments

Splitter
Marki Instruments

Осцилляции Раби



изменение длины микроволнового импульса

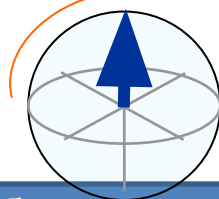
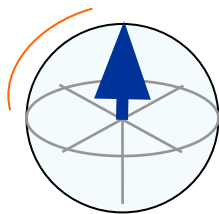


считывание импульсом на частоте резонатора длиной 50 ns

когерентные осцилляции затухают с характерным временем

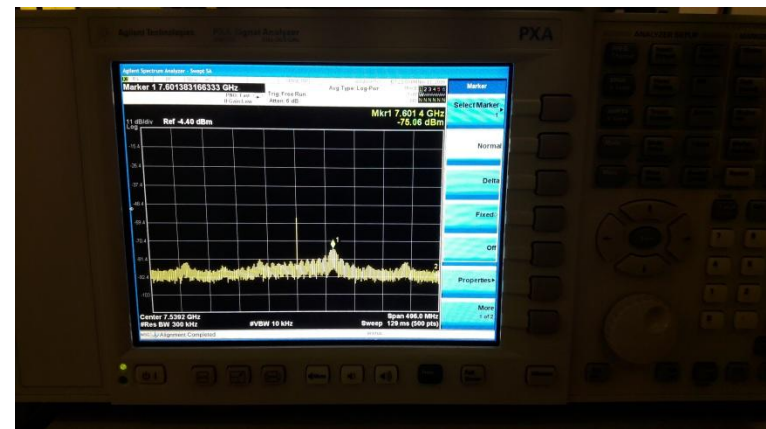
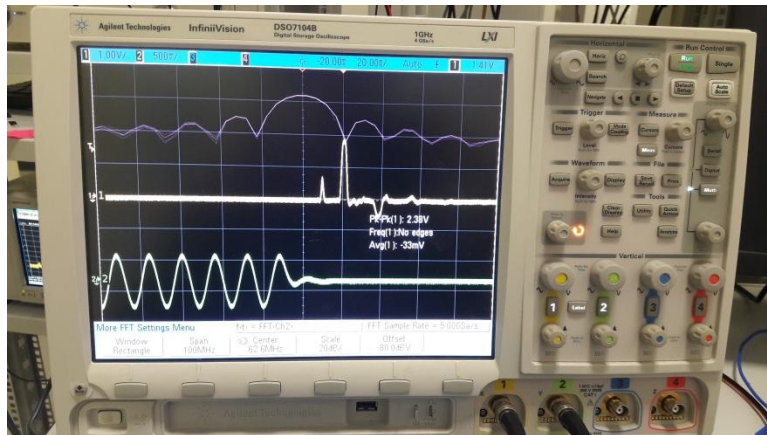
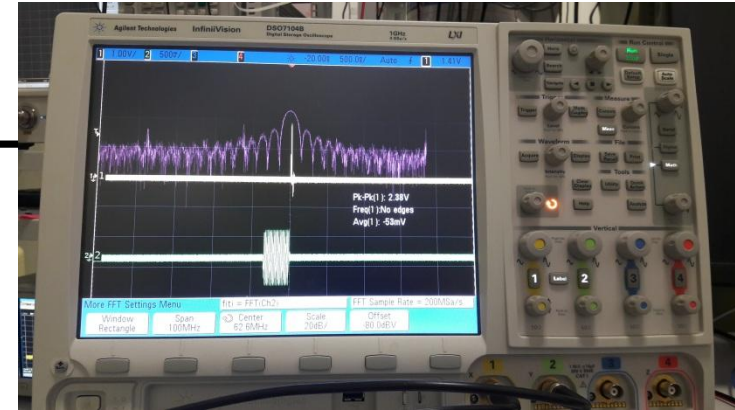
$$T_{\text{Rabi}} = 525 \text{ ns}$$

«Хороший» трансмон: $T_{\text{Rabi}} \sim 20 \mu\text{s}$



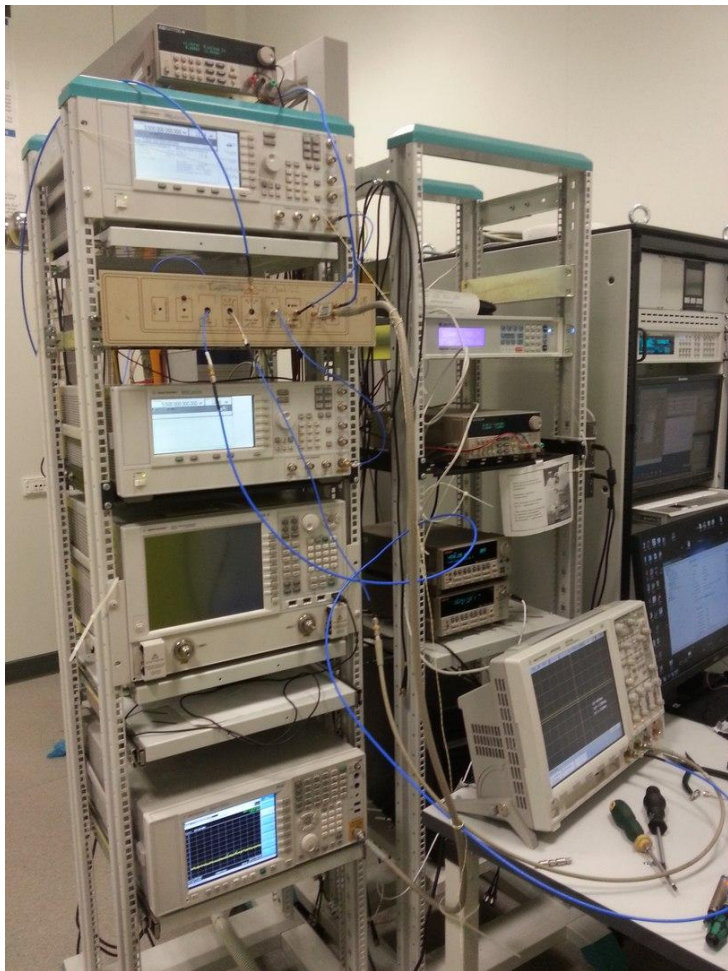
Технические сложности

- Синхронизация ЦАП и АЦП
- Калибровка миксеров
- Цифровые шумы ЦАП



- Промежуточная частота: пока только 62.5 МГц и это мало

Планы дальнейших измерений



- измерение времен релаксации и дефазировки T_1, T_2
- отладка алгоритмов калибровки микроволновых IQ-миксеров и обеспечение фазовой стабильности эксперимента
- использование σ_z -вращений состояния кубита с использованием коротких DC-импульсов
- исследование однокубитных микроволновых гейтов, эксперимент спинового-эха.
- проведение квантовой томографии состояния кубита.