Introduction to IVOLGA spectrometer for Indian Shukrayaan mission to Venus 2024

APPLIED INFRARED SPECTROSCOPY LABORATORY
ЛАБОРАТОРИЯ ПРИКЛАДНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
Газизов Искандер, Зеневич С. Г., Спиридонов М. В., Родин А. В.

Dolgoprudny, 2021

Lab team

МФТИ:

Родин Александр Вячеславович – руководитель IVOLGA
Зеневич Сергей Геннадьевич – общий облик IVOLGA
Газизов Искандер Шамилевич – электроника и ПО IVOLGA
Спиридонов Максим Владимирович – советник по IVOLGA

ИКИ:

Кораблёв Олег Игоревич – руководитель VIRAL
Трохимовский Александр – технический руководитель VIRAL

ISRO:

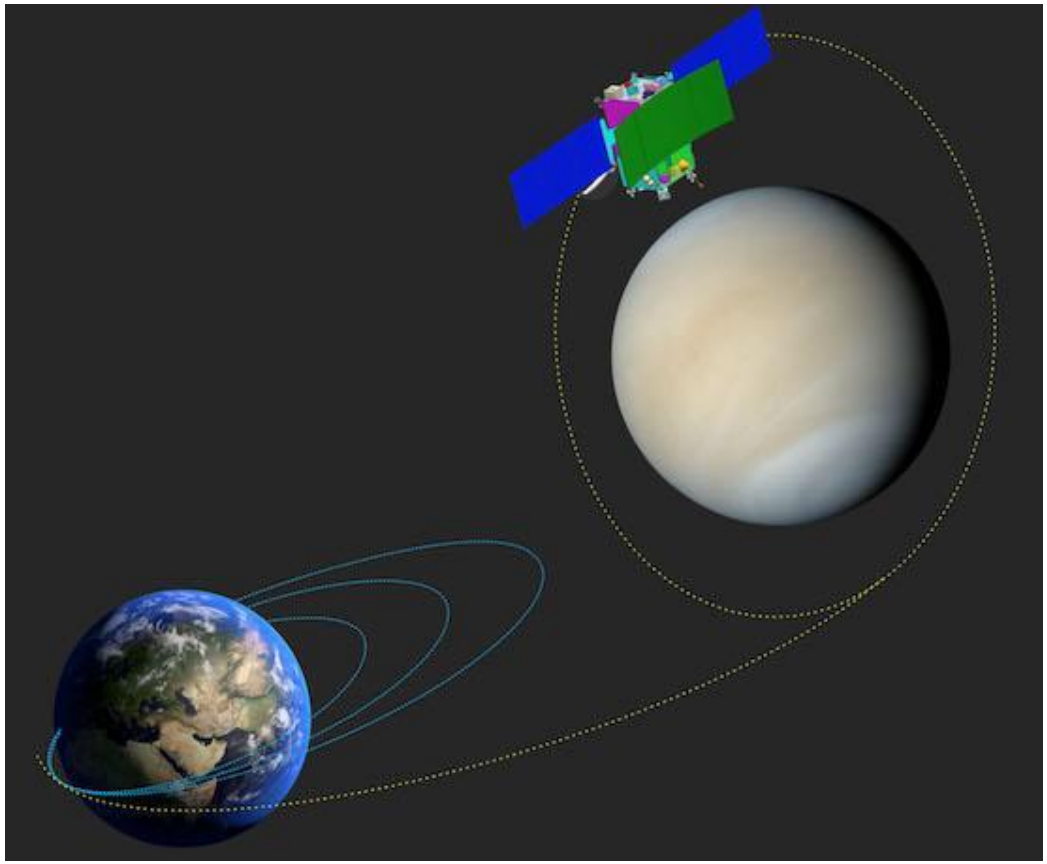
-

Shukrayaan mission overview

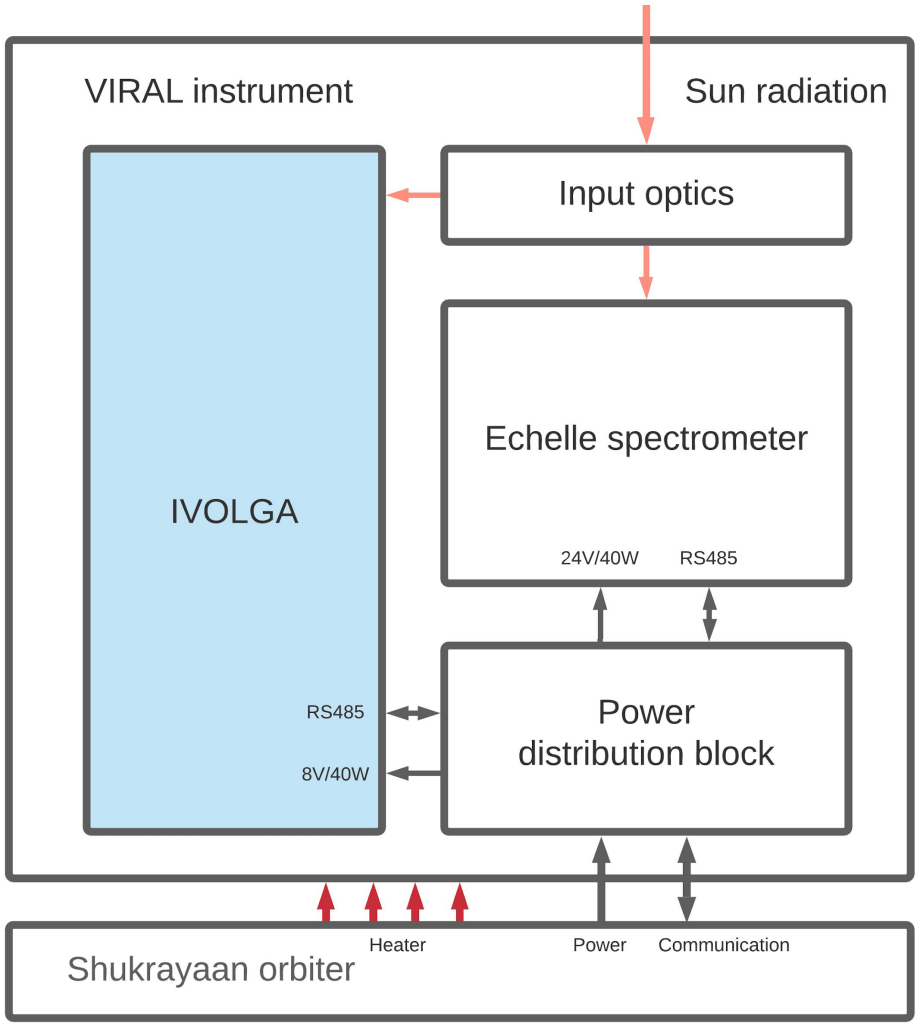
Shukrayaan – первая миссия Индии на Венеру. Основная задача – построение карты поверхности и изучение атмосферы, ее взаимодействие с солнечным ветром.

Продолжительность – 4 года.
Масса – 2500 кг
Масса ПН – 100 кг
Орбита – Полярная
500x60 000 км –> 200x600 км (за год)
Время полета – 5 месяцев

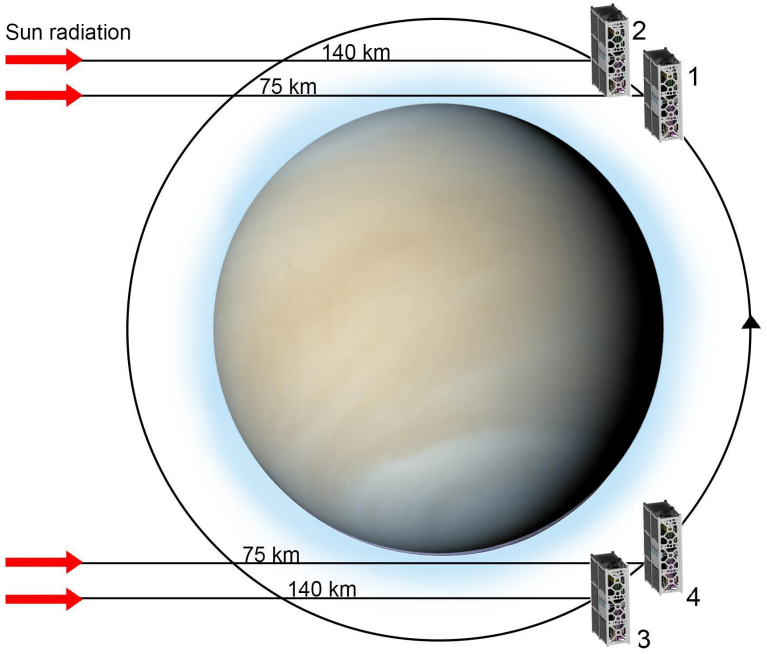
ТЗ от ISRO
нет



VIRAL instrument overview



VIRAL diagram

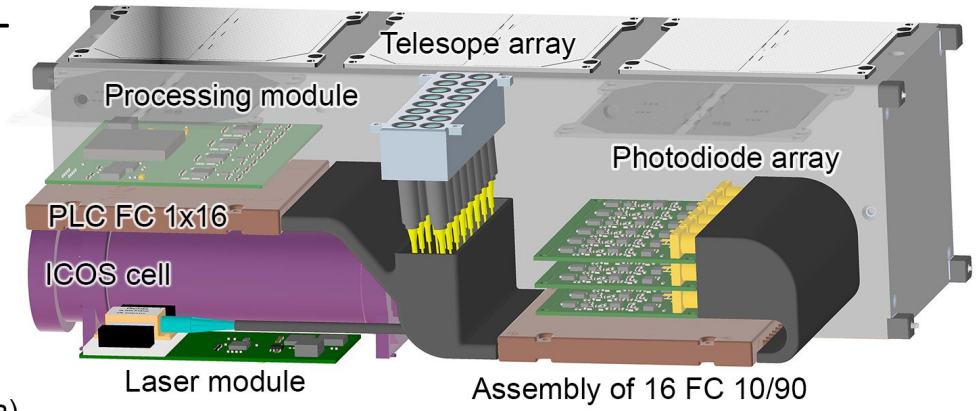


Principle of operation

IVOLGA instrument overview

IVOLGA - многоканальный лазерный гетеродинный спектрорадиометр для исследования структуры и динамики верхних слоев атмосферы Венеры в ближнем ИК диапазоне с высоким спектральным разрешением

Спектральное разрешение $\lambda/\delta\lambda$ – 10^7
Диапазон высот – 75-140 км
Масса – 4 кг
Потребление – 40 Вт
Размеры – 10x10x30 см
Бюджет миссии – 70 млн руб

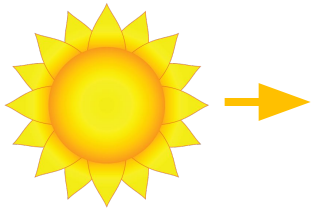


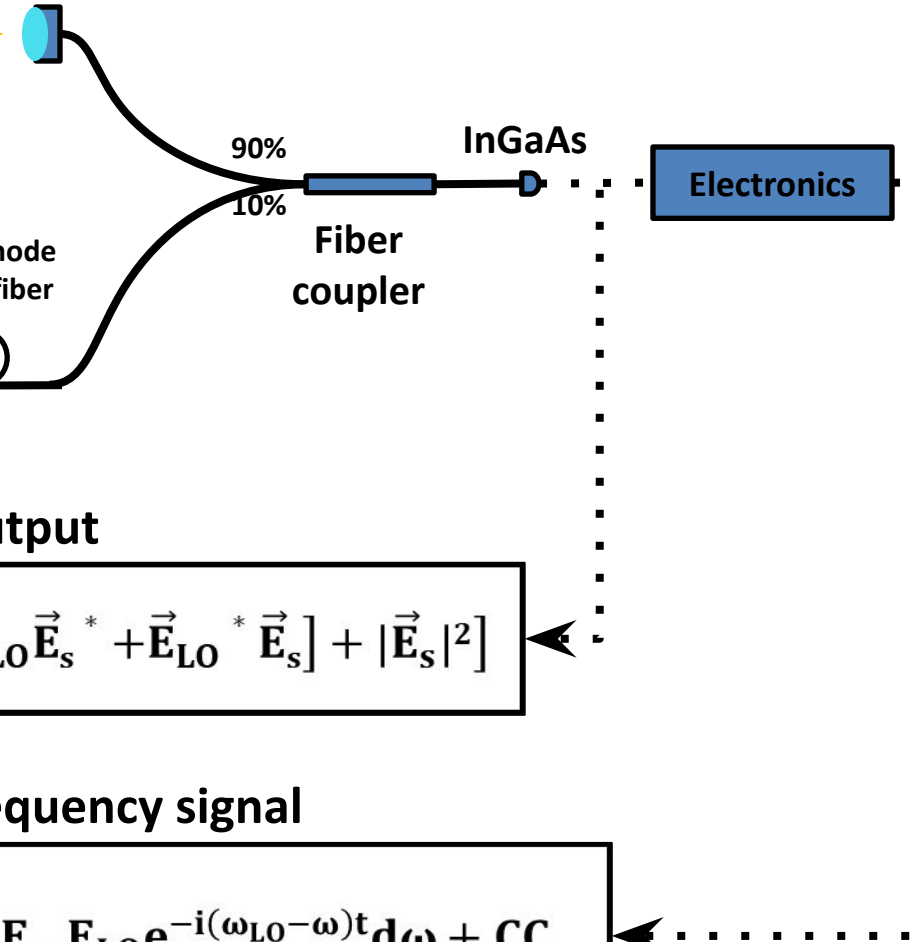
(a)

Heterodyne detection in the NIR

Signal

$$E_s = \int_0^{\infty} E_\omega e^{(-i\omega t)}\, d\omega$$





LO

$$E_{LO} = E_{LO} e^{(-i\omega_{LO} t)}$$

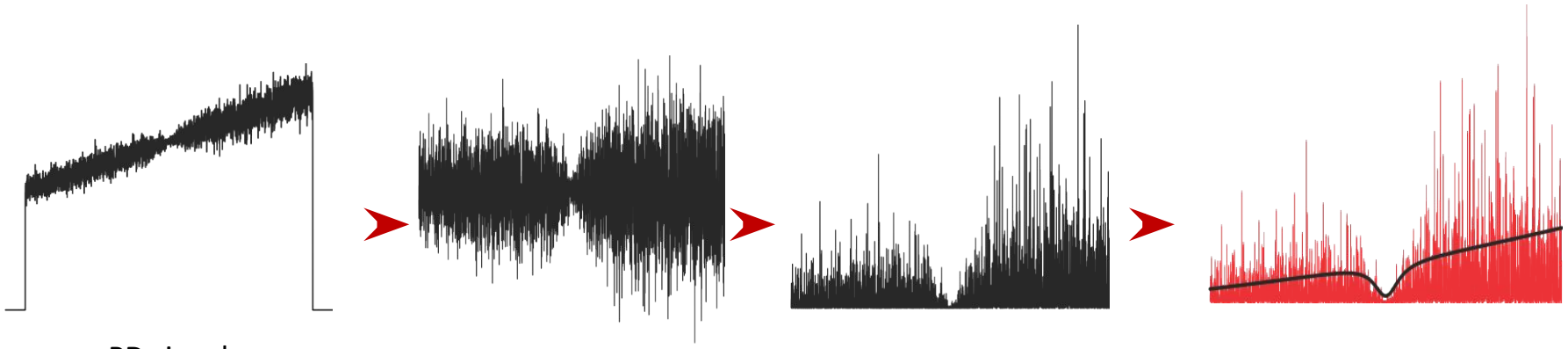
Photodiode output

$$i = K|\vec{E}_{LO} + \vec{E}_s|^2 = K\left[|\vec{E}_{LO}|^2 + 2\left[\vec{E}_{LO}\vec{E}_s^{\,*} + \vec{E}_{LO}^{\,*}\vec{E}_s\right] + |\vec{E}_s|^2\right]$$

Intermediate frequency signal

$$\left[\vec{E}_{LO}\vec{E}_s^{\,*} + \vec{E}_{LO}^{\,*}\vec{E}_s\right] = 2\int_0^{\infty} E_\omega E_{LO} e^{-i(\omega_{LO}-\omega)t} d\omega + CC$$

Signal processing

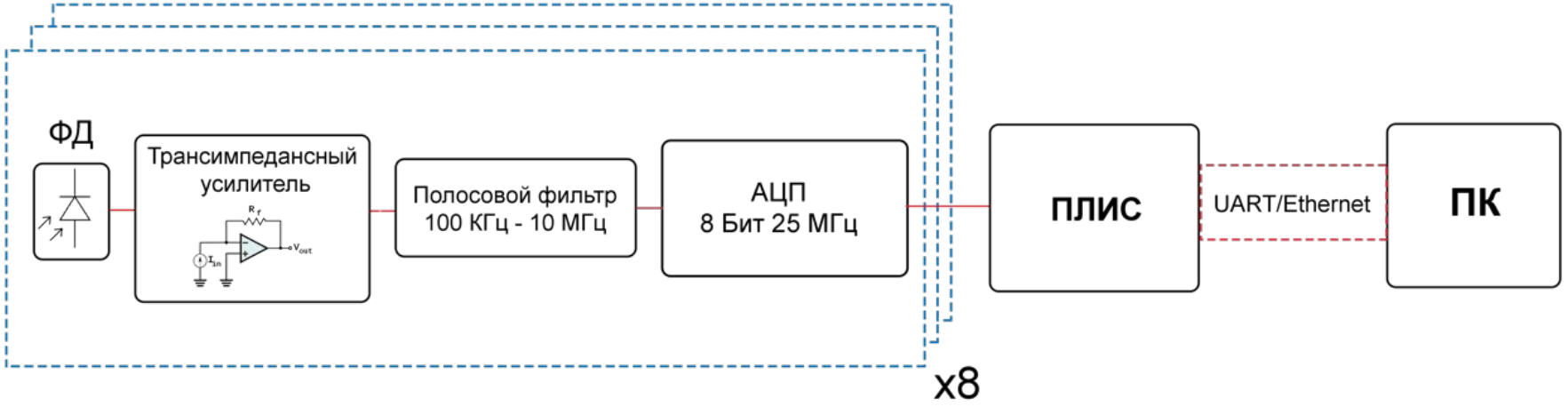


PD signal
(not in real scale)

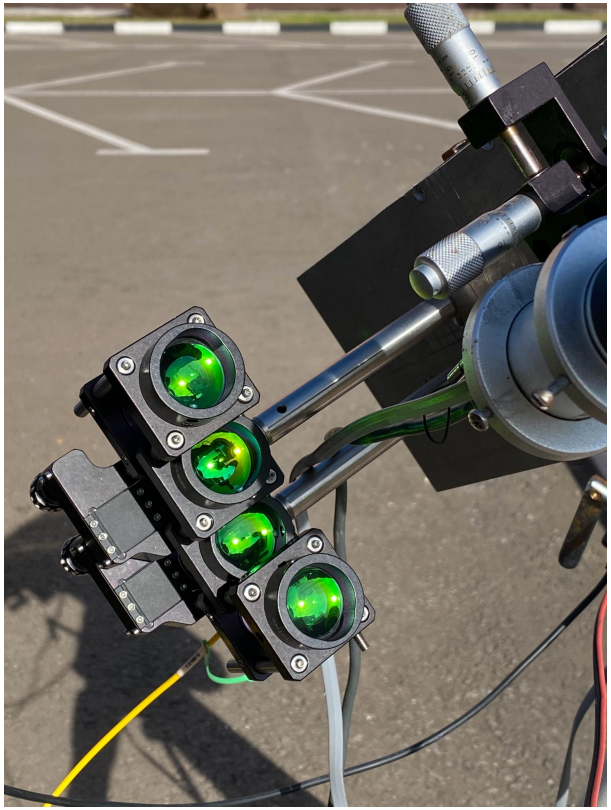
Bandpass filtering

Squaring

Averaging



Ground-based prototype

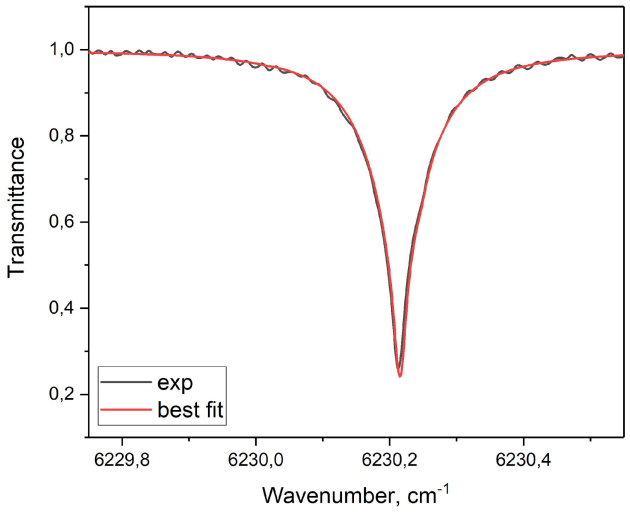


(a) (b)

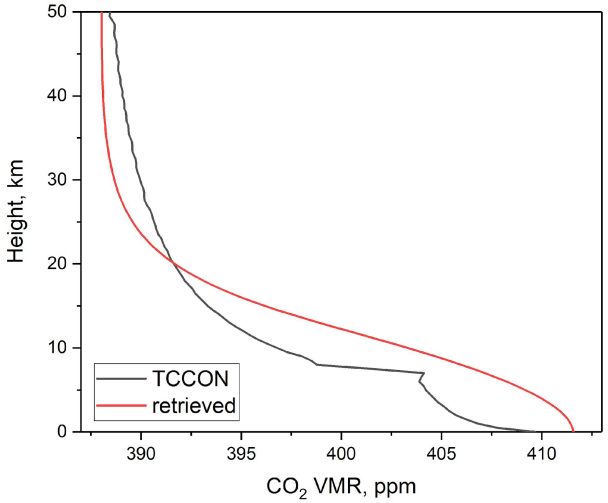
(a) - sun tracking system with multichannel telescope; (b) – MLHS in a natural form during spectra measurements.

Greenhouse gases retrieval

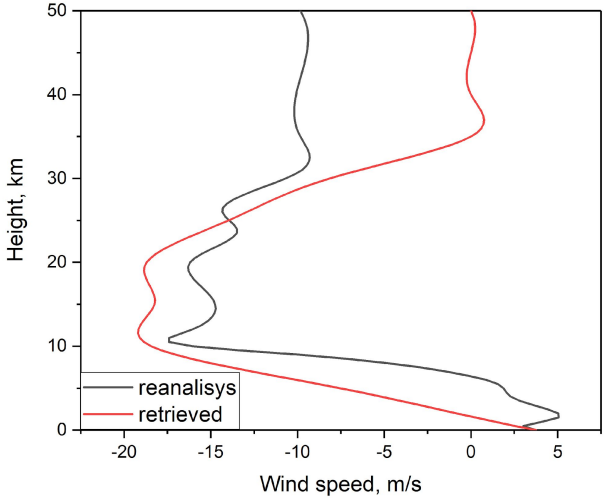
Measured CO_2 absorption line and its fitting**



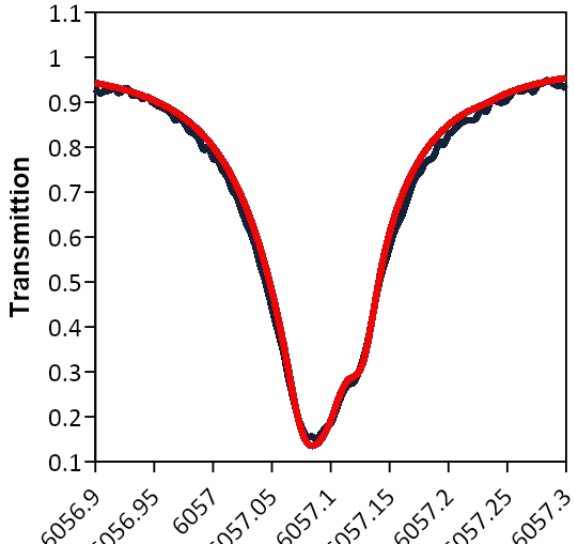
CO_2 concentration profile retrieved from the spectra

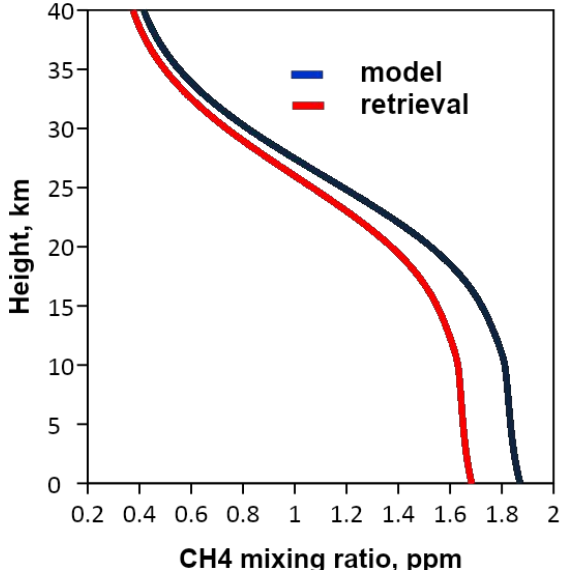


Wind profile retrieved from the CO_2 spectra*



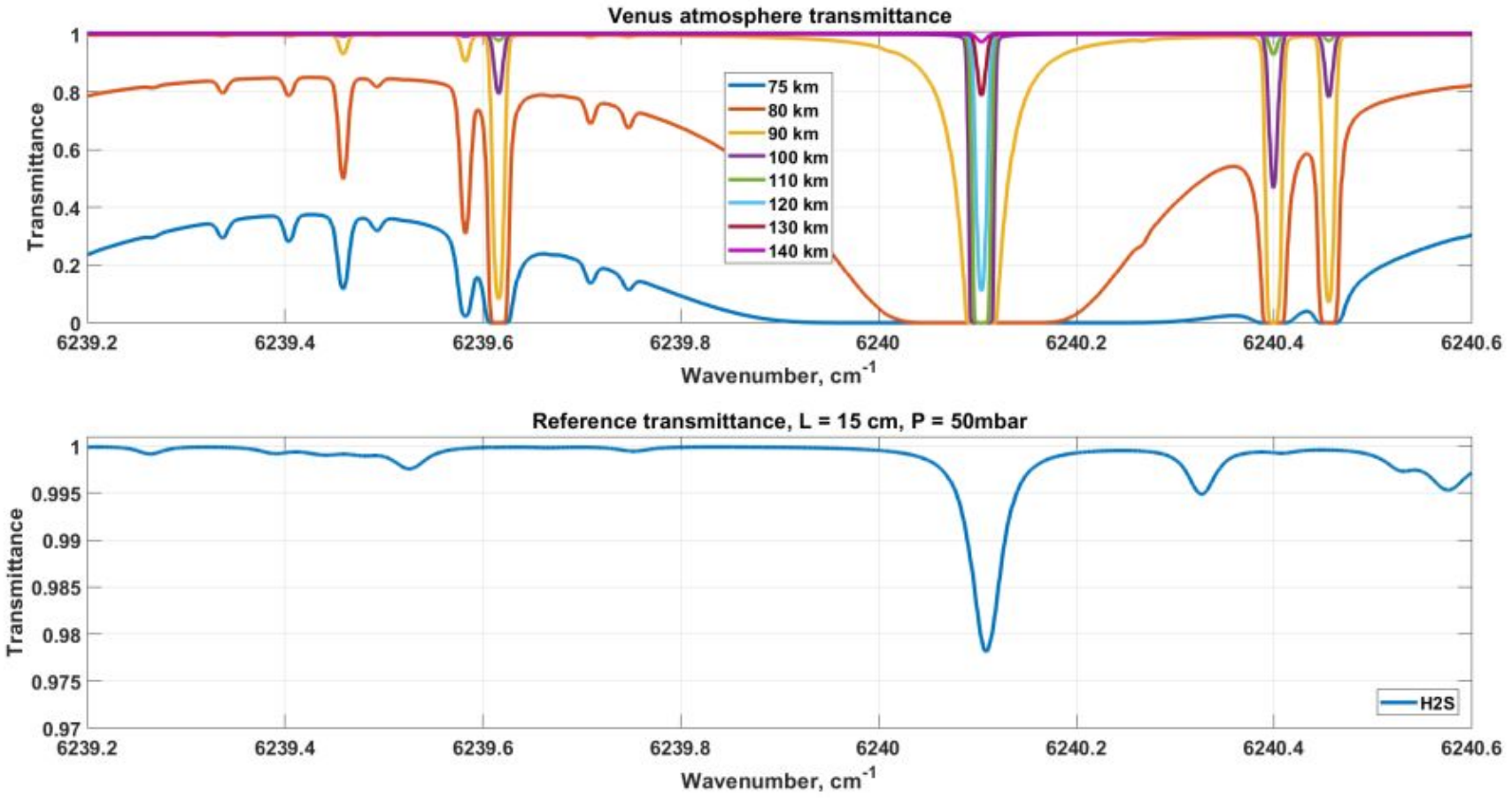
Measured CH_4 absorption line and its fitting**





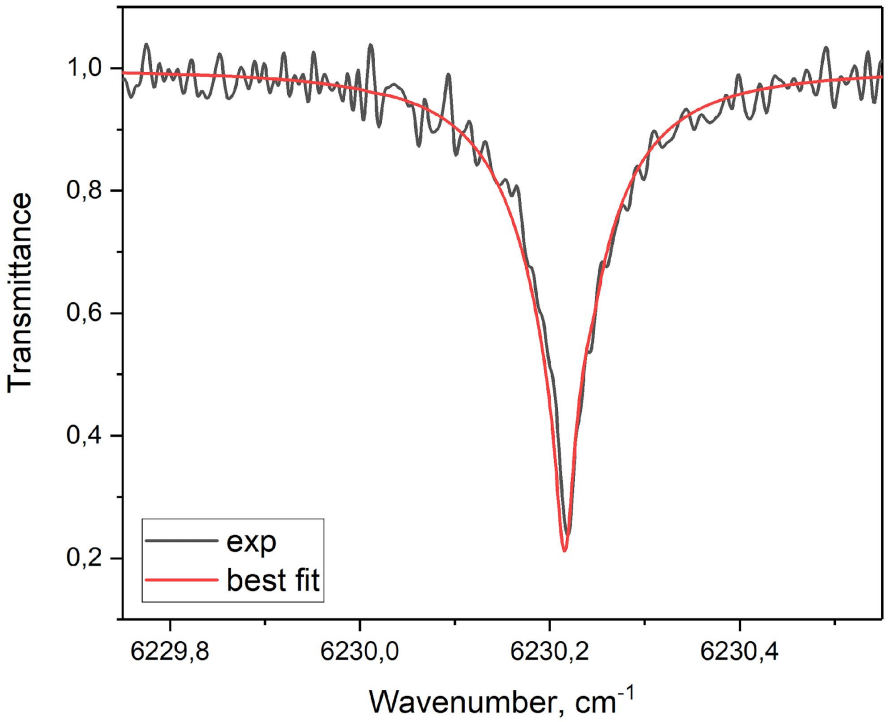
CH_4 concentration profile retrieved from the spectra

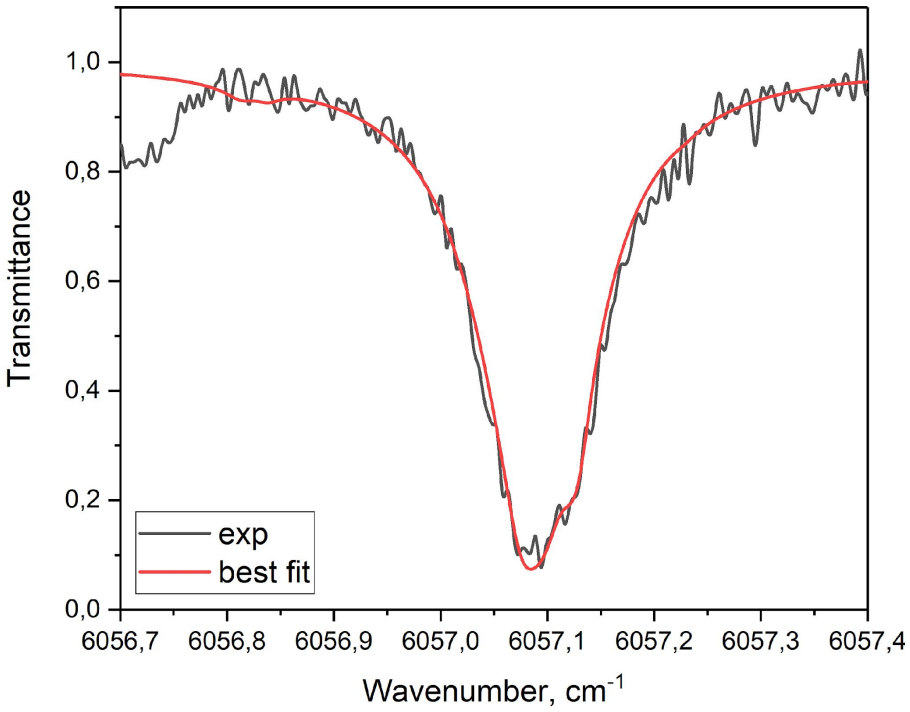
Spectral range

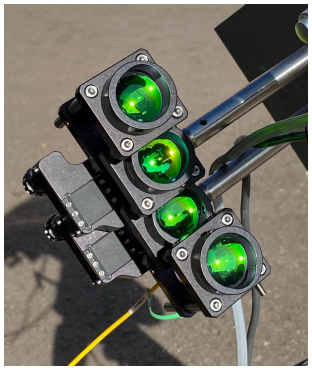


Simulation of IVOLGA data on Venus

One second of accumulation





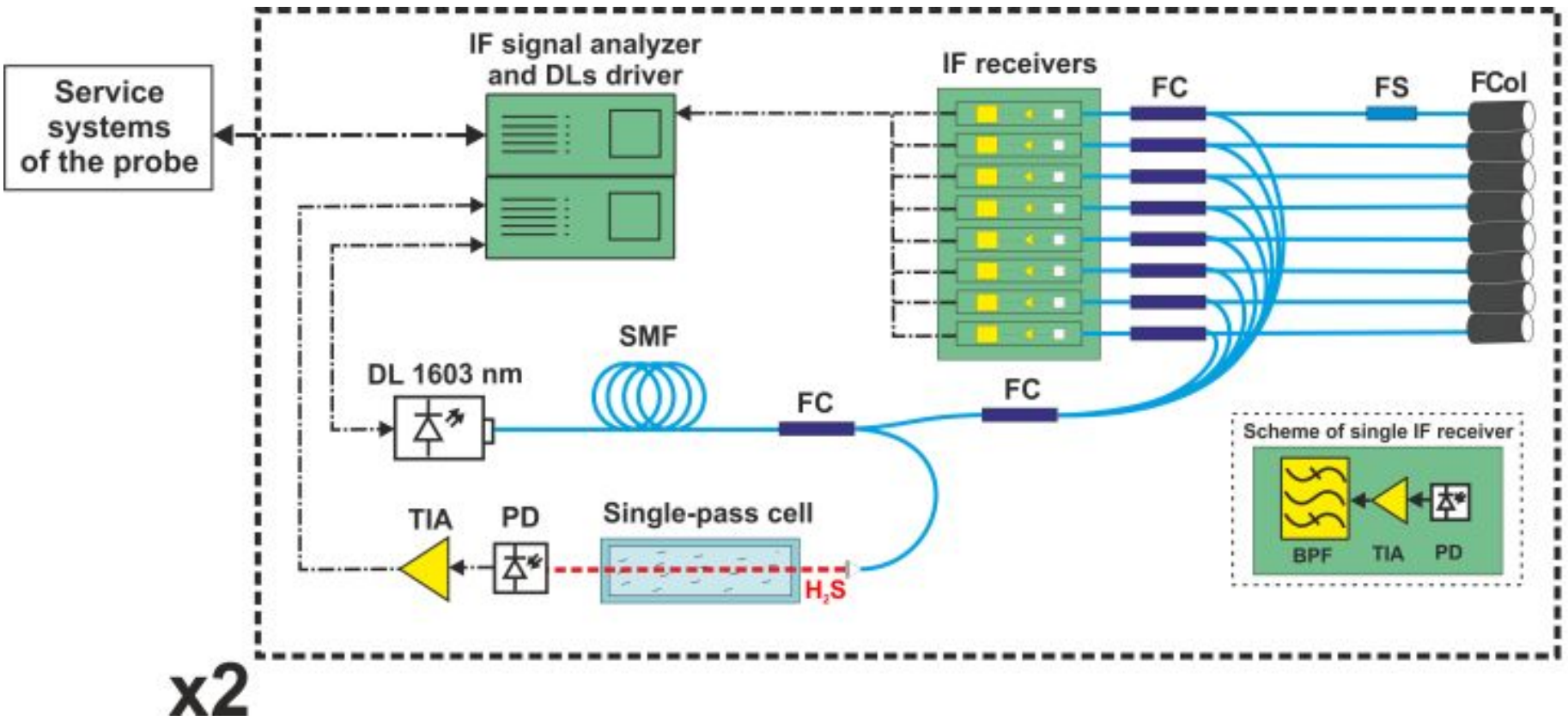


(a) (b)

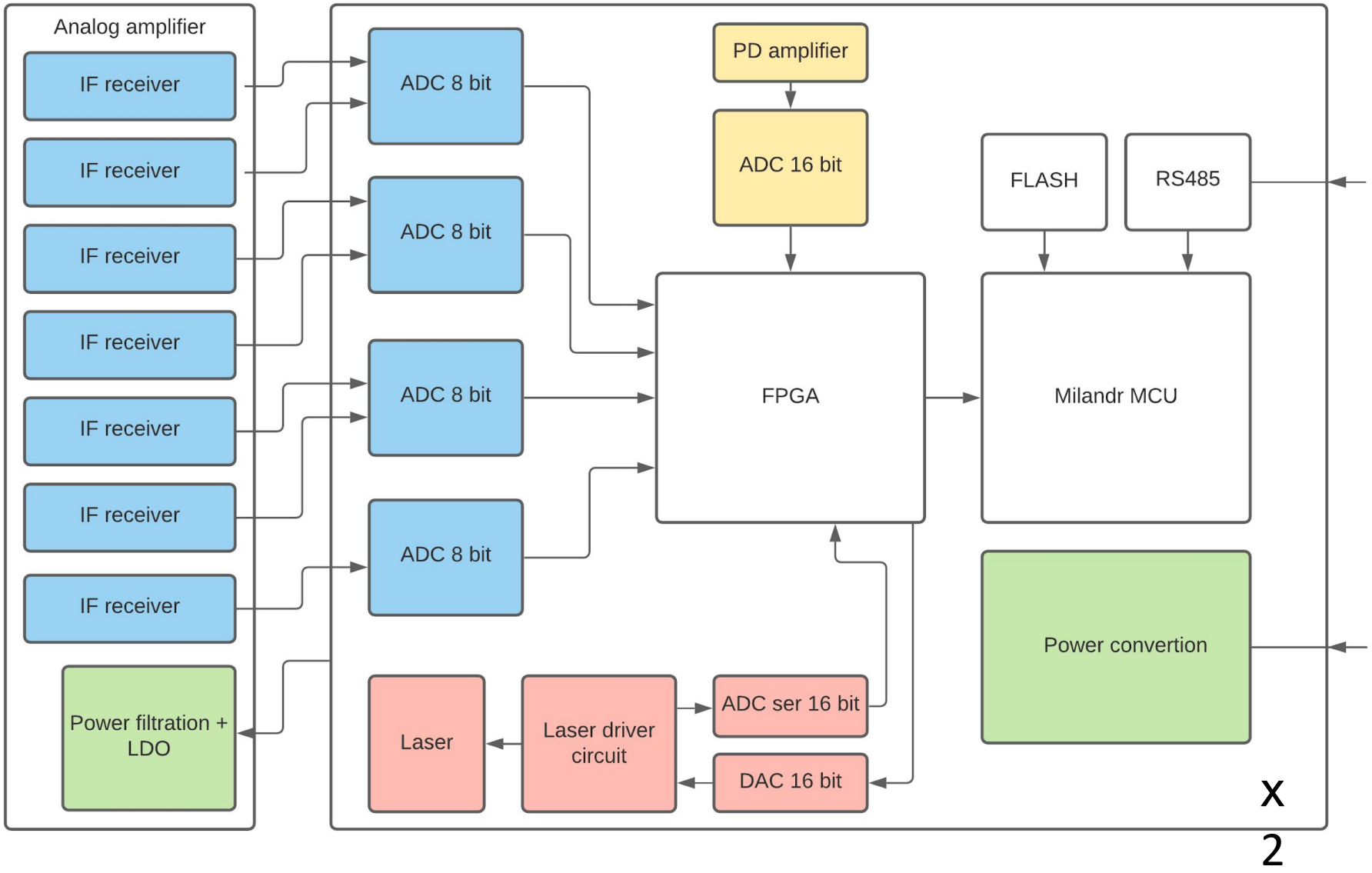
(a) Measured CO_2 line with SNR ~ 50 (black curve) with best fit synthetic spectra (red curve);
(b) Measured CH_4 line with SNR ~ 50 (black curve) with best fit synthetic spectra (red curve).

SNR of multichannel system: $SNR \sim \sqrt{N}$ $T_{integration} \sim \frac{1}{N}$

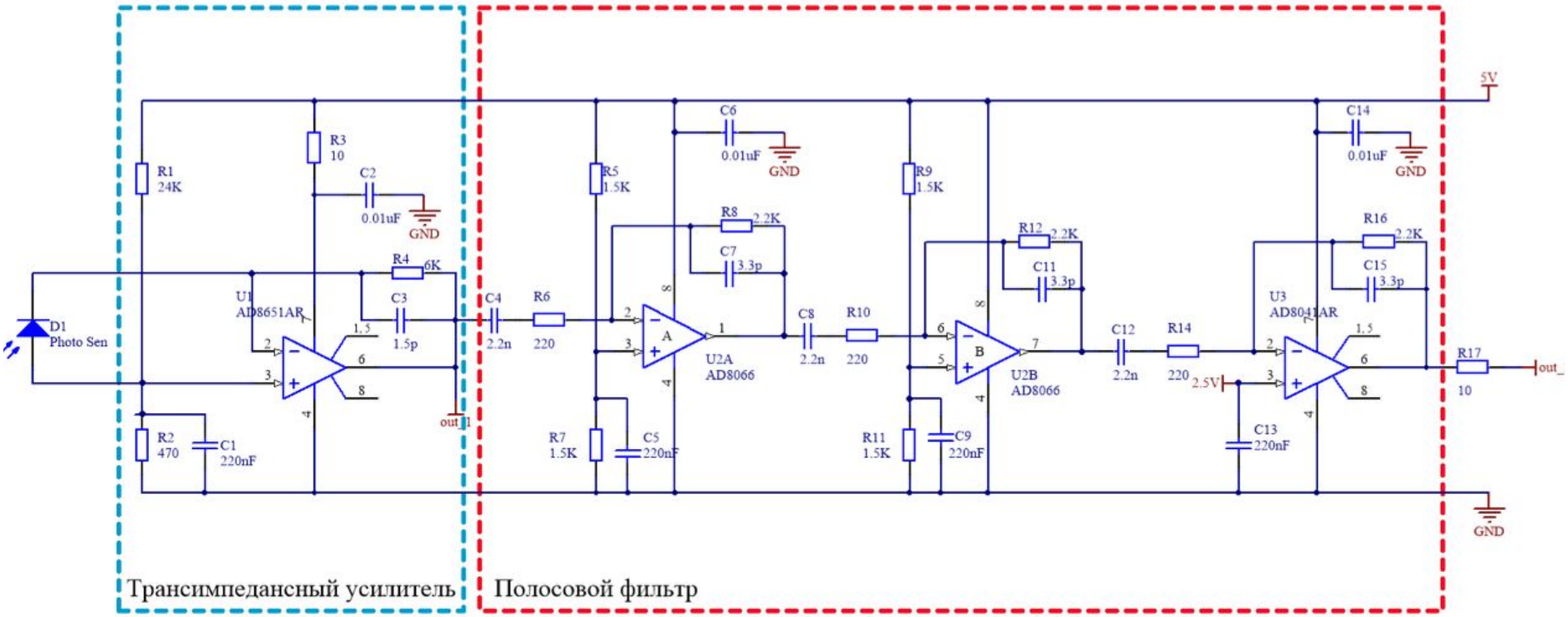
Instrument diagram



IVOLGA electronics diagram



Analog schematic



IC selection

DAC 16 bit par – 1 x AD9747, 23 pin (cmos+lvds)
ADC 16 bit ser – 1 x LTC2323, 5 pin
ADC 16 bit par –1 x AD9269, 27 pin
ADC 8 bit par – 4 x AD9288, 17 pin
FPGA-MCU link – 20 pin?
Disable pins ?

Total FPGA pin count – 140-160

Power consumption

Power:

Analog amplifier circuit (LDO) – 0.4A x 6V = 2.4W
Digital circuit (DC-DC) – 9W?
Laser driver circuit (DC-DC) – (0.4A – 1.4A) x 6V = 2.4-9W
DL only – 0.06A 6V
Analyzer (for now) – 1A 6V

Voltage:

Analog: 5V1, 5V2
Digital: 5V, 3.3V, 2.5V, 1.2V

План задач

1 этап:

1) Проработка отказоустойчивой архитектуры электроники

2) Выбор схемы питания (DC-DC преобразователи, LDO для аналоговой части, фильтрация)

2 этап:

3) Адаптация ПО ПЛИС (троирование ПО, связь ПЛИС-МК)

4) Адаптация ПО МК (Обновление ПО ПЛИС и МК, слежение за потреблением компонент)

Дополнительно:

5) Прохождение рад испытаний для тестирования компонент