

УЛЬТРАСТАБИЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР (USO) ММ ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ФОБОС-ГРУНТ»

Косов А. С., Готлиб В. М., Зотов В. А.

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Профсоюзная ул. 84/32, Москва, 117997, Россия

Тел.: +7(495) 3332267; e-mail: akosov@ieee.org

Аннотация – Ультра стабильный осциллятор (USO) предназначен для изучения особенностей орбиты спутника Марса Фобоса в рамках проекта «Фобос-Грунт». Прибор USO предполагается доставить российским космическим аппаратом на Фобос. Прибор USO будет излучать непрерывные сигналы на двух гармонически связанных частотах: 33,6 ГГц и 8,4 ГГц. Предполагаемые мощности излучения порядка 1 Вт на каждой частоте.

I. Введение

Доставка прибора USO на спутник Марса Фобос открывает возможность для фундаментальных космических исследований.

Прибор USO состоит из двух передающих каналов. Каналы излучают сигналы на двух гармонически связанных частотах: 8,4 ГГц и 33,6 ГГц.

Сигналы формируются с использованием кварцевого опорного генератора, схемы ФАПЧ, удвоителя частоты, делителя частоты на 2 и усилителей мощности по каждому из каналов.

Прецизионный кварцевый генератор, производства «Морион» (Россия), определяет частотную стабильность прибора USO. Была реализована кратковременная нестабильность частоты менее 10^{-12} за 1 секунду (вариация Аллана). Выходная мощность по каждому из каналов была не менее 1 Вт.

II. Основная часть

A. Структура прибора USO.

Структура прибора USO изображена на Рис. 1.

Опорный генератор прибора состоит из ГУН на биполярном транзисторе с гетеропереходом и синтезатора на микросхеме ADF4107, производства Analog Devices, [1]. Частота опорного генератора была 16,8 ГГц. Частота опорного кварцевого генератора была 5 МГц. После умножения до 20 МГц сигнал кварцевого генератора использовался в качестве опорного для фазового детектора синтезатора частоты.

Предварительный усилитель на микросхеме AMMC5040 удваивал частоту и усиливал сигнал до уровня около 20 дБм. Выходной усилитель на микросхеме APH502 имел выходную мощность около 30 дБм на частоте 33,6 ГГц.

Частота сигнала второго канала была 8,4 ГГц. Сигнал формировался путем деления частоты задающего генератора на 2. По задачам эксперимента сигнал второго канала модулировался по фазе с помощью I-Q модулятора. После модулятора сигнал усиливался до уровня 2 Вт двухкаскадным усилителем мощности.

B. Опорный кварцевый генератор.

В качестве прецизионного опорного генератора использовался кварцевый генератор, ГК149-ТС, производства «Морион» (Россия).

Долговременная нестабильность данного кварцевого генератора не более $\pm 2 \cdot 10^{-10}$ за день, $\pm 3 \cdot 10^{-8}$ за год, $\pm 1.5 \cdot 10^{-7}$ за 10 лет.

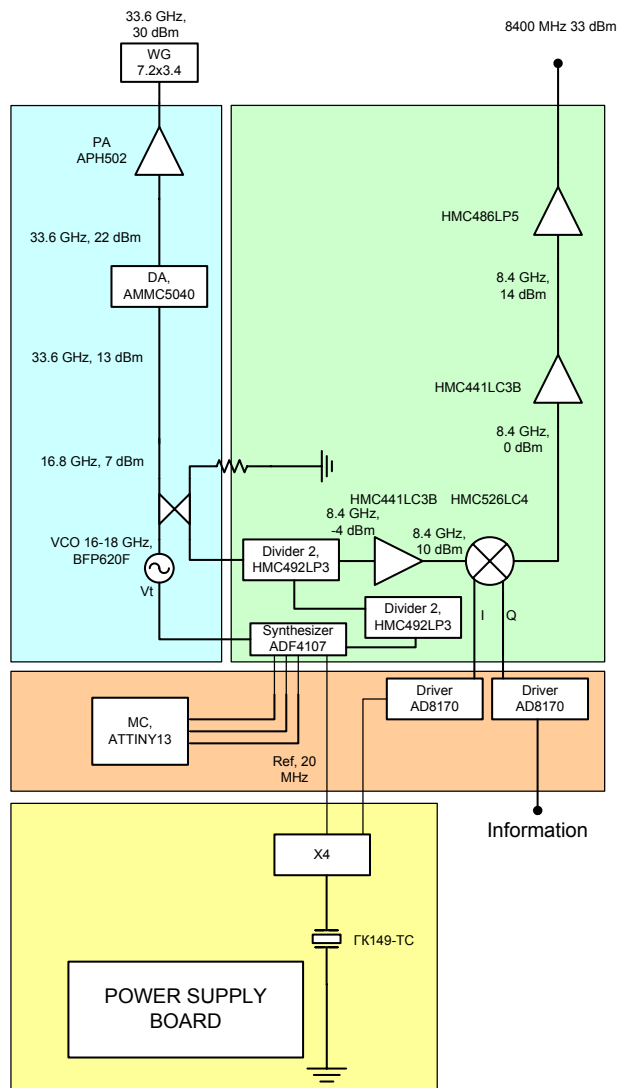


Рис. 1. Структура прибора USO.

Fig. 1. USO instrument structure

Кратковременная нестабильность частоты не более 10^{-12} за время 1 секунда.

C. Схема ФАПЧ

Наиболее существенной частью прибора является задающий генератор с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Генератор разрабатывался на частоту 16,8 ГГц. Для уменьшения фазовых шумов был применен генератор с диэлектрическим резонатором с варакторной перестройкой частоты. В качестве активного элемента был применен биполярный SiGe HBT BFP620F транзистор. Данный транзистор имеет высокую характерную частоту (65 ГГц) и низкий уровень фазовых шумов [2]. Нагруженная добротность генератора (Q_L) была около 3000, диапазон электронной перестройки около 5 МГц.

Частота задающего генератора захватывалась схемой ФАПЧ, выполненной на ADF4107 IC. Для петли был выбран пассивный фильтр второго порядка шириной полосы 2 кГц. Измерения величины фазовых шумов представлено на Рис. 2. Полученные данные хорошо совпадают с расчетом.

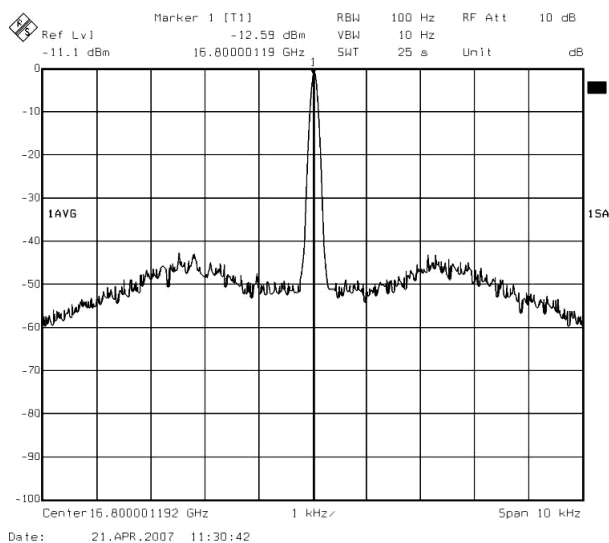


Рис.2. Фазовые шумы задающего генератора.

Fig. 2. Phase noises of a driving generator

III. Заключение

Бортовой двухканальный ультра стабильный генератор был разработан и исследован. Выходные частоты USO были 8,4 ГГц и 33,6 ГГц и захватывались схемой ФАПЧ прецизионным кварцевым генератором. Выходная мощность по каналу 33,6 ГГц была около 1 Вт, по каналу 8,4 ГГц около 2 Вт.

Долговременная нестабильность частоты не более $\pm 2 \cdot 10^{-10}$ за день, $\pm 3 \cdot 10^{-8}$ за год, $\pm 1.5 \cdot 10^{-7}$ за 10 лет. Кратковременная нестабильность частоты не более 10^{-12} за время 1 секунда.

IV. Список литературы

- [1] Kosov A. at al. "The Ka-band Voltage Control Oscillator with Linear Frequency Tuning," Proceeding of the *CrMiCo2004 Microwave Conference, Sevastopol, 13-17 September, 2004*, pp. 106-107.
- [2] Bart Van Haaren, Myriamne Regis, Olivier Llopis, Laurent Escotte, Andreas Gruhle, Claus M'ahner, Robert Plana, and Jacques Graffeuil. "Low-Frequency Noise Properties of SiGe HBT's and Application to Ultra-Low Phase-Noise Oscillators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, pp. 647-652, May 1998.
- [3] Kosov A. S., Vald-Perlov V. M., Zotov V. A., Skulachev D. P. "The Master Oscillator for Ka-band Communication Systems", Proceeding of the *CrMiCo-2004, Sevastopol, Sept. 13-17, 2004*, pp. 108-109.
- [4] Kosov A. S., Vald-Perlov V. M., Zotov V. A., Skulachev D. P. "The Local Oscillator for VLBI "Radioastron" Project Receiver" Proceeding of the *CrMiCo-2005, Sevastopol, Sept. 11-15, 2005*, pp. 123-124.

ULTRA STABLE MILLIMETER WAVE OSCILLATOR INTENDED FOR SPACE PROJECT "PHOBOS – GRUNT"

Kosov A. S., Gotlib V. M., Zotov V. A.
Space Research Institute Russian Academy of Sciences
 84/32 Profsovnaya Str., Moscow, 117997, Russia
 Ph.: +7(495) 3332267; e-mail: akosov@iee.ee.org

Abstract – The ultra stable oscillator (USO) is intended for Phobos (satellite of Mars) orbit investigation. The USO instrument would be delivered to Phobos by a Russian spacecraft. The USO instrument would irradiate signals at two harmonically related frequencies: 33.6 GHz and 8.4 GHz. The irradiated power would be about 1 W for each channel.

I. Introduction

The installation of USO instrument into Phobos (Mars satellite) surface opens the possibility for fundamental space research. The USO instrument consists of two transmitter channels. The channels irradiate signals at two harmonically related frequencies: 8.4 GHz and 33.6 GHz. The signals are created using precise reference quartz oscillator, PLL circuit, frequency multiplier, frequency divider and two power amplifiers.

The precise quartz reference oscillator manufactured by Morion Company (Russia) determines frequency stability of the USO instrument. The short term frequency instability would be less than 10^{-12} for 1 second (Allan variance). The output power for each channel would be no less than 1 W.

II. Main Part

The structure of the USO instrument is shown on Fig. 1.

There are GBJT master oscillator and PLL circuit based on ADF4107 IC (manufactured by Analog Devices). The frequency of the master oscillator was 16.8 GHz. The VCO of the master oscillator is described in [1]. The precise reference quartz oscillator has frequency 5 MHz. After multiplication up to 20 MHz the signal is used as a reference for a synthesizer's phase detector.

The MMIC AMMC5040 multiplies and amplifies the master oscillator signal. The output power amplifier APH502 amplifies the signal up to about 1 W at 33.6 GHz frequency.

The second channel signal frequency is 8.4 GHz. It is created by dividing the frequency of the master oscillator. For project purpose in the channel there is a phase I-Q modulator.

After a two-stage amplifier the output power of the 8.4 GHz channel will be about 2 W.

The oscillator GK149-TC, manufactured by Morion Company (Russia), was used in the USO instrument as a reference.

The long term frequency instability of the quartz oscillator is no more than $\pm 2 \cdot 10^{-10}$ per day; $\pm 3 \cdot 10^{-8}$ per year; $\pm 1.5 \cdot 10^{-7}$ per 10 years. The short term frequency instability of the USO instrument is less than 10^{-12} for integration time of 1 second.

The most critical part of the instrument is the master PLL oscillator. The master PLL oscillator was developed at 16800 MHz frequency. To minimize phase noise the dielectric resonator oscillator (DRO) with varactor tuning was used. As an active element the hetero junction bipolar SiGe HBT BFP620F transistor was used because of high transition frequency (65 GHz) and small flicker noise source [2]. The loaded quality factor (Q_L) of the master oscillator was about 3000. The frequency tuning range of the oscillator was about 5 MHz.

The frequency of master oscillator was locked by PLL circuit based on ADF4107 IC. The PLL bandwidth was chosen according to minimum phase fluctuation demands and it was 2 kHz. The passive second order loop filter was used in the PLL circuit.

The experimental values of phase noise of the locked oscillator are on Fig. 2.

III. Conclusion

The two channels ultra stable Ka-band and X-band oscillator has been developed and investigated. The PLL circuit locks the output frequencies to precise quartz reference oscillator. The signal frequencies were 33.6 GHz and 8.4 GHz. The output power for 33.6 GHz channel was about 1 W, the output power for 8.4 GHz channel was about 2 W. The long term frequency instability of the USO instrument depends on the instability of reference oscillator and was no more than $\pm 2 \cdot 10^{-10}$ per day; $\pm 3 \cdot 10^{-8}$ per year; $\pm 1.5 \cdot 10^{-7}$ per 10 years. The short term frequency instability (Allan variance) was less than 10^{-12} for one second integration time.