ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В МИНИАТЮРНОМ КВАНТОВОМ СТАНДАРТЕ ЧАСТОТЫ АО «РИРВ»

FUTURE-TECHNOLOGY APPLICATION OF MICROELECTRONIC INTEGRATED DESIGN APPROACHES IN MINIATURE QUANTUM FREQUENCY STANDARD OF "RIRT" JSC

УДК 627.317.3, 621.373

ОСПЕННИКОВ АРКАДИЙ МИХАЙЛОВИЧ

ospennikov_adi@mail.ru

OSPENNIKOV ARKADI M.

ospennikov_adi@mail.ru

ЕРМАК СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

ERMAK SERGEY V.

ПЕТРЕНКО МИХАИЛ ВАЛЕРЬЕВИЧ

PETRENKO MIKHAIL V.

*АО «Российский институт радионавигации и времени»
192012, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны,
120, лит. ЕЦ*

*"Russian Institute of Radionavigation and Time" JSC
120/EC Obukhovskoy Oborony Ave., St. Petersburg, 192012,
Russia*

В докладе представлены основные результаты работы, проведенной АО «РИРВ», по созданию миниатюрного квантового стандарта частоты на эффекте когерентного пленения населенностей. Разработаны образцы лазеров с вертикальным резонатором и интегральных ячеек, созданных с применением МЭМС технологий, характеристики которых соответствуют оценке относительной кратковременной нестабильности КСЧ порядка 10^{-11} . Параметры физического и электронных блоков созданного макета миниатюрного КСЧ позволили выработать основные технические требования к элементам КСЧ и определить перспективу применения в устройстве интегрированных микроэлектронных узлов отечественного производства.

Ключевые слова: квантовый стандарт частоты; когерентное пленение населенностей; микроэлектронные генераторы СВЧ; синтезаторы частоты.

This report presents the main results of the work carried out by "Russian Institute of Radionavigation and Time" JSC to create a miniature quantum frequency standard using the effect of coherent population trapping. Samples of vertical cavity surface emitting lasers and integral cells created using MEMS technologies have been developed whose characteristics correspond to an estimate of the relative short-term instability of the order of 10^{-11} . The parameters of the physical and electronic blocks of the created model of the miniature quantum frequency standard have made it possible to develop the basic technical requirements for the frequency standard elements and to determine the prospect of using integrated microelectronic units of domestic production in the device.

Keywords: quantum frequency standard; coherent population trapping; microelectronic UHF generators; frequency synthesizers.

В 2010 г. в АО «РИРВ» были инициированы работы по созданию миниатюрного квантового стандарта частоты для мобильных приложений в телекоммуникации и навигации. Физической основой создаваемого КСЧ стал эффект когерентного пленения населенностей [1], позволяющий отказаться от микроволнового резонатора, препятствующего миниатюризации устройства. Созданные за рубежом серийные образцы подобных устройств обеспечивают относительную нестабильность частоты на уровне $10^{-11} \tau^{-1/2}$, имеют объем менее 50 см³, массу менее 100 г, энергопотребление менее 150 мВт и хорошо адаптированы к механическим воздействиям (удары до 1000 g).

На первом этапе работ по созданию миниатюрного КСЧ совместно с партнерами (СПбПУ Петра Великого и ФТИ им. А. Ф. Иоффе) были разработаны образцы лазеров с вертикальным резонатором и миниатюрные газовые ячейки в интегральном исполнении, являющиеся основными элементами

физического блока миниатюрного КСЧ [2, 3]. Проведенные исследования содержащих атомы рубидия-87 малогабаритных и миниатюрных газовых ячеек при накачке лазером с внешним резонатором и внешним оптическим модулятором, а также при накачке модулированным по току лазером с вертикальным резонатором позволили прогнозировать стабильность частоты КСЧ на уровне 10^{-11} за 100 с.

На втором этапе работ был создан малогабаритный макет миниатюрного КСЧ, включающий физический и электронные блоки КСЧ. Физический блок включал большинство отечественных комплектующих. Исследование характеристик макета КСЧ позволило выработать ряд технических требований к блокам КСЧ. В частности, были выработаны требования к блоку опорного генератора, блоку синтезатора частоты, аналого-цифровому блоку и блоку микроконтроллера. Были определены их основные характеристики, в частности:

- 1) опорный генератор — генератор, управляемый напряжением, частоты 250–500 МГц (вариант 1), 3,417 ГГц (вариант 2);
- 2) синтезатор частоты — формирование сигналов на частотах 3,417 ГГц и 5 (10) МГц;
- 3) аналого-цифровой блок — разрядность АЦП/ЦАП 14–18 разрядов;
- 4) микроконтроллер — 16–32-разрядные вычисления, частота синхронизации от 50 МГц, ток потребления 20 мА при питании 3,3 В.

1. Миниатюрный квантовый стандарт частоты на эффекте когерентного пленения населенностей [1]. Ожидаемые технические характеристики.
2. Физический блок АО «РИРВ» в интегральном исполнении. Конструктивные элементы физического блока [2, 3]. Требования к управляющим сигналам. Описание выходных сигналов.
3. В настоящее время разработаны блоки управляющей электроники на дискретной элементной базе.
4. Требование миниатюризации электроники в интегральном исполнении:

- а) генератор, управляемый напряжением (ГУН) на частоту 250–500 МГц;
- б) синтезатор частот на 3,417 ГГц и 5 (10) МГц;
- в) ЦАП-АЦП (14–18 разрядов);
- г) управляющий микроконтроллер (16–32-разрядная математика, возможность встроенного ЦАП-АЦП).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жолнеров В. С., Харчев О. П. Квантовый стандарт частоты на эффекте когерентного пленения населенностей // Патент РФ № 2529756.
2. Малеев Н. А. и др. Пространственно-одномодовые поляризационно-стабильные вертикально-излучающие лазеры с ромбовидной формой токовой апертуры // 11-й Белорусско-российский семинар «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе», Минск, Беларусь, 22–16 мая 2017 г.
3. Ермак С. В. и др. Изготовление и исследование интегральных ячеек для малогабаритного стандарта частоты на эффекте когерентного пленения населенности // НТВ СПбГПУ. Физико-математические науки, 1 (213), 2015. — 61 с.

NANOINDUSTRY

НАНОИНДУСТРИЯ

<http://www.nanoindustry.ru/>

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издатель — АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

«НАНОИНДУСТРИЯ» — это публикации о создании и использовании наноматериалов, наноразмерных устройств и иных технических инноваций для электроники, медицины, строительства, топливной и нефтяной промышленности.

Тираж — 4000 экземпляров.

Издается на 2-х языках (русском и английском).

Периодичность — 8 номеров в год.

Журнал включен в ВАК, Российский индекс научного цитирования и в базу RSCI на международной платформе Web of Science.

Тел. +7 (495) 234-01-10, Факс +7 (495) 956-33-46

E-mail: nano@technosphere.ru www.nanoindustry.ru