

УДК 621.317

**ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
РЕЗОНАНСОВ В СТАНДАРТАХ ЧАСТОТЫ
НА КПН-ЭФФЕКТЕ ОТ ВЕЛИЧИНЫ
ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

М.П. Малах

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия,
malakh@vniiftri.ru*

Аннотация. Выполнен анализ зависимости сдвига частоты стандарта частоты на КПН-эффекте от внешнего магнитного поля. Приведён график зависимости сдвига частоты от внешнего магнитного поля. Разработана модель макета квантового дискриминатора, зависящего от внешнего магнитного поля, для электронной части стандарта частоты на КПН-эффекте.

Ключевые слова: стандарт частоты, магниточувствительный резонанс, внешнее магнитное поле, квантовый дискриминатор, сдвиг частоты, КПН-эффект.

**DEPENDENCE OF MAGNETOSENSITIVE RESONANCES IN
FREQUENCY STANDARDS ON THE CPT EFFECT
ON THE VALUE OF THE EXTERNAL MAGNETIC FIELD**

M.P. Malakh

*FSUE «VNIIFTRI», Mendeleevo, Moscow region, Russia,
malakh@vniiftri.ru*

Annotation. The analysis of the dependence of the frequency shift of the frequency standard based on the CPT effect on the external magnetic field is carried out. A dependence diagram of the frequency shift on the external magnetic field is shown. A model of a mock-up of a quantum discriminator depending on an external magnetic field for the electronic part of the frequency standard based on the CPT effect has been developed.

Key words: frequency standard, magnetosensitive resonance, external magnetic field, quantum discriminator, frequency shift, CPT effect.

Введение

Квантовые стандарты частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей (КПН) обладают сопоставимыми метрологическими характеристиками, такими как нестабильность частоты и отклонение действительного значения частоты, с рубидиевыми стандартами частоты и при этом обладают меньшими габаритными размерами и меньшим энергопотреблением.

Одной из основных задач при разработке квантовых стандартов частоты на основе эффекта когерентного пленения населённостей является изоляция квантового дискриминатора от внешнего магнитного поля. Внешнее магнитное поле оказывает значимое влияние на сдвиг частоты КПН-резонанса.

Миниатюрный квантовый стандарт частоты на основе КПН-эффекта

Миниатюрный квантовый стандарт частоты на основе КПН-эффекта разработан во ФГУП «ВНИИФТРИ» в рамках опытно-конструкторской работы и представляет собой квантовый дискриминатор и систему электроники стандарта частоты. Основные узлы квантового дискриминатора: ячейка, содержащая капли или пары атомов щелочного металла (рубидия) и буферный газ; лазер и фотоприёмник. Кроме этого, квантовый дискриминатор содержит катушки Гельмгольца для создания постоянного магнитного поля, элемент Пельтье для стабилизации температуры лазера и термодатчик для контроля температуры ячейки. Электроника стандарта частоты состоит из стабилизируемого по частоте генератора, синтезатора, обеспечивающего связь стабилизируемой частоты и выходного сигнала, и вспомогательной электроники управления стандартом частоты.

Принцип работы высокостабильного квантового стандарта частоты основан на подстройке менее стабильной частоты кварцевого генератора по высокостабильной частоте энергетического перехода между двумя состояниями атомов рубидия ^{87}Rb .

Изображение миниатюрного квантового стандарта частоты на основе КПН-эффекта показано на рис. 1.



Рис. 1. Миниатюрный квантовый стандарт частоты на основе КПН-эффекта

Зависимость магниточувствительных резонансов от величины внешнего магнитного поля

Как было сказано ранее, внешнее магнитное поле оказывает влияние на сдвиг частоты КПН-резонанса. С помощью оценки величины сдвига относительно величины магнитного поля можно использовать полученные результаты в целях дальнейшего изучения этой зависимости и разработки приборов измерения магнитного поля.

Проведены исследования на экспериментальной установке, в основе которой квантовый дискриминатор миниатюрного квантового стандарта частоты и электроника, управляемая квантовым дискриминатором. При изменении величины постоянного магнитного поля внутри квантового дискриминатора с помощью катушек Гельмгольца наблюдался сдвиг частоты КПН-резонанса.

Эксперимент по определению зависимости сдвига частоты «левого» и «правого» КПН-резонансов от величины постоянного магнитного поля, создаваемого катушками Гельмгольца, показал следующий результат (рис. 2).

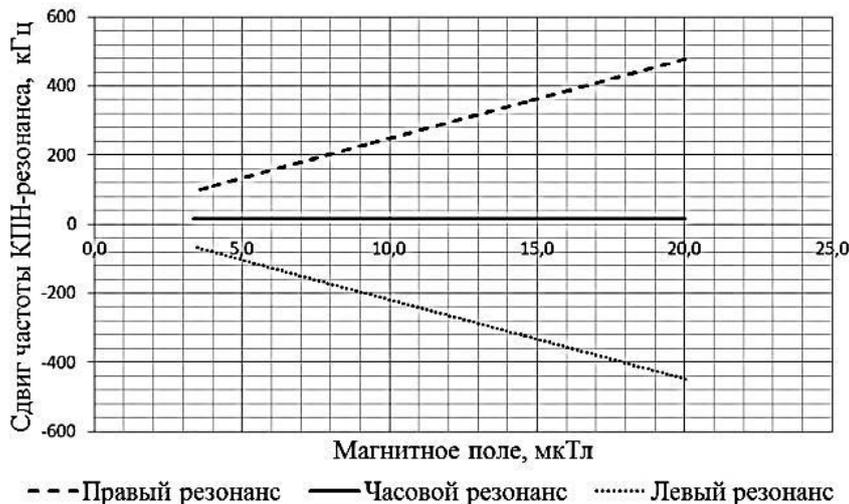


Рис. 2. Зависимость сдвига частоты КПН-резонанса от магнитного поля для магнитоинвариантных резонансов и «часового» резонанса

Модель датчика измерения величины магнитного поля

Изучив зависимость сдвига частоты КПН-резонанса от величины постоянного магнитного поля, можно воспользоваться результатами с целью разработки датчика измерения величины магнитного поля.

Квантовый дискриминатор миниатюрного квантового стандарта частоты, как было сказано ранее в статье, состоит из основных узлов, которые расположены в двух корпусах цилиндрической формы, которые ослабляют магнитное поле.

Корпуса у датчика измерения величины магнитного поля должны также ослаблять магнитное поле, но требуют изменения материала деталей по направлению излучения лазера. Направление излучения лазера будет являться осью датчика, через которую должно проходить магнитное поле. Торцы цилиндрических корпусов заменены на металл — титан, который не ослабляет магнитное поле, а пропускает. Цилиндрические корпуса вокруг направления излучения лазера продолжают ослаблять магнитное поле.

Таким образом, магнитное поле будет проникать по направлению излучения лазера квантового дискриминатора и сдвигать частоту КПН-резонанса. В зависимости от изменения сдвига частоты КПН-резонанса можно будет определять величину магнитного поля.

3D-модель датчика измерения величины магнитного поля на основе КПН-эффекта показана на рис. 3.

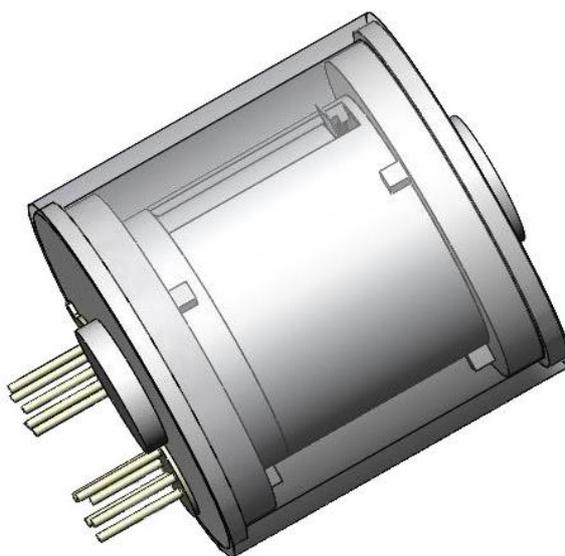


Рис. 3. 3D-модель макета датчика измерения величины магнитного поля на основе КПН-эффекта

После изготовления в дальнейшем макета датчика измерения величины магнитного поля на основе КПН-эффекта и проведения эксперимента на макете с электроникой от миниатюрного квантового стандарта частоты можно будет получить результаты практических измерений и проводить доработку.

Список литературы

Зибров С.А., Величанский В.Л., Зибров А.С., Тайченачев А.В., Юдин В.И., Экспериментальное исследование тёмного псевдорезонанса на D1 линии ^{87}Rb при возбуждении линейно поляризованным полем // Письма в ЖЭТФ. — 2005. — Т. 82. — Вып. 8. — С. 534–538.

Статья поступила в редакцию: 28.10.2021 г.

Статья прошла рецензирование: 04.11.2021 г.

Статья принята в работу: 07.11.2021 г.