

КВАНТОВИЙ ДАВАЧ З ПОКРАЩЕНИМ ВІДНОШЕННЯМ ВЕЛИЧИНИ СИГНАЛ/ШУМ

Анотація. В роботі розглянуто квантовий давач з підвищеними метрологічними характеристиками для перетворювачів струму на базі електронного парамагнітного резонансу квантових систем. Запропоновано новий підхід до побудови квантових давачів, використовуючи оптичне накачування атомів цезію-133.

Ключові слова: квантовий давач, канал реєстрації і накачки, чвертьхвильовий фазообертач, комірнка поглинання.

In this paper a quantum sensor with increased metrological characteristics for current converters based on electron paramagnetic resonance of quantum systems is considered. A new approach to the construction of quantum sensors is proposed, using an optical pumping of cesium-133 atoms.

Key words: quantum sensor, registration and pump channel, quarter wave phase shifter, absorption cell.

В останній час в системах автоматики почали застосовуватися квантові перетворювачі постійного струму в частоту [1-4], одним з основних елементів яких є квантовий давач (КД). Останній використовує метод оптичного накачування і оптичну реєстрацію магнітного резонансу атомів лужних металів (Cs-133, Rb-87, K-39 та інш.).

В роботі приведена розроблена нами структурна схема КД (див. рисунок), яка має кращі метрологічні характеристики за рахунок використання двох каналів КД – каналу накачки і каналу реєстрації. До складу КД входять: спектральна лампа 1 з парами робочої речовини цезію-133, яку розміщено в котушці 2 коливального контуру височастотного генератора 3; контрольний фотодіод 4; фокусуючі лінзи 5; поляроїди 6; оптичні чвертьхвильові ($\lambda/4$) фазообертачі 7; комірнка поглинання 8; відбиваюче дзеркало 9; радіочастотна котушка 10; генератор переналаштовуємої частоти 11; призм (світловодів) 12; фотоприймач – фотодіода 13.

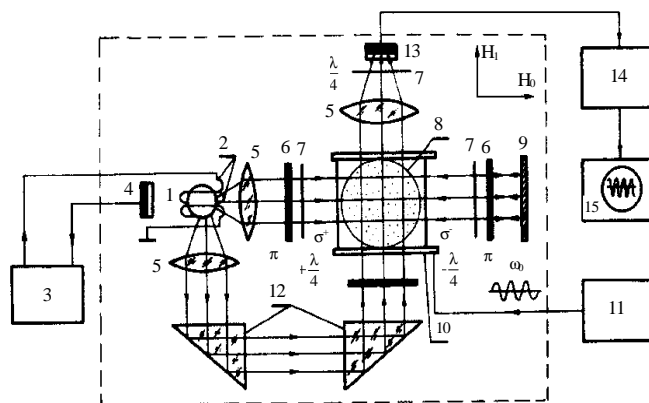


Рис. 1. Структурна схема квантового давача з оптичною накачкою

Особливістю розглядаемого давача є те, що в каналі накачки, після комірнки поглинання 8, він містить додатково такі елементи як: оптичний – $\lambda/4$ фазообертач 7 (якщо перед коміркою 8 розміщений фазообертач $+\lambda/4$), лінійний π -поляризатор 6 і відбиваюче дзеркало 9, які створюють відбитий пучок світла зі знаком поляризації σ^- відносно падаючого пучка світла з поляризацією σ^+ , а в каналі реєстрації лінійний поляризатор 6 просторово відділений від оптичного циркулярного $\lambda/4$ фазообертача 7 коміркою поглинання 8, тобто лінійний π -поляризатор 6 розміщений перед коміркою 8, а циркулярний $\lambda/4$ фазообертач 7 після комірнки перед фотодіодом 13.

Квантовий давач працює у такий спосіб.. Інтенсивність випромінення спектральної лампи 1, яка збуджується височастотним розрядом в котушці 2 коливального контуру генератора 3, проходячи через лінзу 5, поляроїд 6, оптичний $+\lambda/4$ фазообертач 7 набуває паралельності і

циркулярної поляризації σ^+ . При цьому циркулярно-поляризований пучок світла, який проходить паралельно постійному магнітному полю H_0 , створює в поглинаючій комірці 8 намагніченість $+M_z(\sigma^+)$. Після проходження комірки 8 пучок світла відбивається від дзеркальної поверхні 9 і в зворотному напрямку знову пронизує комірку 8. Для збільшення намагніченості $+M_z(\sigma^+)$ в комірці 8 відбитий пучок світла повинен пронизувати її з протилежним знаком циркулярної поляризації σ^- , відносно падаючого пучка σ^+ прямо. Це здійснюється тому, що відбитий від дзеркальної поверхні 9 пучок світла лінійно поляризується, проходячи через поляризатор 6, а потім набуває циркулярної поляризації σ^- завдяки фазообертаючій $-\lambda/4$ пластинці 7. Поширюючись в зворотному напрямку з поляризацією σ^- , пучок світла створює в комірці додаткову намагніченість $+M_z(\sigma^-)$. Така побудова каналу оптичного накачування дозволяє найбільш оптимально використовувати світловий пучок і створити в комірці 8 сумарну намагніченість $M_z=M_z(\sigma^+)+M_z(\sigma^-)$ від дії прямого і відбиваючих накачуючих пучків.

Фазування магнітних моментів атомів і виникнення поперечної компоненти намагніченості $M_{\perp}(x,y)$, яка осцилює на частоті Лармора $\omega_0=\gamma H_0$, забезпечуються опроміненням комірки 8 з допомогою котушки 10 резонансною енергією на частоті $f_0=\omega_0/(2\pi)$ від генератора 11.

Оптична реєстрація осцилюючої компоненти $M_{\perp}(x,y)$ на частоті Лармора ω_0 здійснюється допоміжним пучком світла. Він формується також від спектральної лампи 1 за допомогою лінзи 5, поляризаційного пристрою 6,7, призми 12 і фотодіода 13.

Електрична реєстрація сигналу прецесії здійснюється за рахунок підключення фотодіода 13 до підсилювача 14, з виходу якого сигнал у вигляді частоти прецесії виводиться на екран осцилографа 15 або на вхід частотно-цифрового приладу.

В каналі оптичної реєстрації елементи поляризаційного пристрою 6,7 розділені просторово коміркою поглинання 8, а саме: фазообертач $\lambda/4$ розташовується після комірки 8 перед фотодіодом 13. Послідовне розміщення поляроїда 6 і фазообертаючої $\lambda/4$ пластинки 7 в каналі реєстрації (як це здійснено в каналі накачки) призводить до утворення пучка світла з циркулярною поляризацією σ^+ або σ^- . Такий поперечний реєструючий пучок частково руйнує сумарну намагніченість M_z , а, значить, зменшує величину сигналу прецесії. Для того, щоб процес реєстрації не впливав на величину сигналу прецесії, необхідно зондувати комірку 8 пучком світла з лінійною π -поляризацією, а після комірки перед фотоприймачем розміщувати оптичний фазообертач $\lambda/4$ для виділення σ^+ або σ^- фотонів, які несуть інформацію про прецесію поперечної складової моменту $M_{\perp}(x,y)$.

Висновки. Застосування в каналі накачки додаткового поляроїдного пристрою і дзеркального відбивача після комірки поглинання, який веде до утворення відбиваючого пучка світла, та розміщення в каналі реєстрації фазообертаючої чвертьхвильової пластинки також після комірки перед фотодіодом, призводить до покращання метрологічних характеристик давача. Це проявляється у збільшенні відношення величини сигналу до шуму в $\sqrt{2}$ разів і збільшенні терміну служби спектральної лампи за рахунок зниження інтенсивності її газового розряду, внаслідок використання зустрічного світлового потоку в каналі накачування, відбитого від дзеркальної поверхні. Експериментальні дослідження запропонованого давача показали, що інтенсивність горіння СЛ знижується як мінімум на 20% відносно схеми (див. рис. 2, 3 [2]).

Література

1. Мокренко П.В. Квантові вимірвальні перетворювачі постійного струму – Львів, ПП «Арал», 1999. – 187 с.
2. Мокренко П.В. Квантовий перетворювач «струм – частота» (побудова, фізичні процеси, технічні характеристики) // Вісник НУ «Львівська політехніка» № 852 серія: «Автоматика, вимірювання та керування. – Львів, вид-во «Львівська політехніка», 2016. – С. 149-154.
3. Мокренко П.В., Стрепко І.Т. Дослідження моделі квантового перетворювача «струм-частота» з імпульсним збудженням. Збірник наукових праць «Компютерні технології друкарства», №1(35). - Львів, вид-во «УАД», 2016, -с. 64-78.
4. Померанцев Н. М., Рыжков В. М., Скроцкий Г. В. Физические основы квантовой магнитометрии. - М.: Наука, 1972. -448 с.