

ЧАСТОТНИЙ МОДУЛЯТОР ДЛЯ КВАНТОВОГО МАГНІТОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З S_z СИГНАЛОМ

Запропоновано схему та результати дослідження частотного модулятора для квантового магнітометричного перетворювача з S_z сигналом.

The paper proposed scheme and the results of the frequency modulator for quantum magnetic transducer with S_z signal.

1. ВСТУП

Вимірвальні перетворювачі постійного струму (ВППС) та стабілізатори струму побудовані з використанням квантових магнітометричних перетворювачів (КМП) потенційно мають високі метрологічні характеристики. [2,3]

Аналіз принципів побудови (КМП) з оптичною орієнтацією атомів робочої речовини та результати експериментальних досліджень показують, що мінімальну похибку мають перетворювачі з S_z -сигналом та робочою речовиною He^4 .

Для спостереження S_z -сигналу в КМП на постійне магнітне поле значення якого перетворюють в частоту накладають змінне магнітне поле, що приводить в межах резонансної характеристики до періодичного проходження резонансу з частотою змінного поля. Такої ж мети можна досягнути якщо періодично, з частотою модуляції, змінювати значення резонансної частоти - f_p радіополя. . Такої ж мети можна досягнути якщо періодично, з частотою модуляції, змінювати значення резонансної частоти - f_p радіополя.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Необхідне значення девіації частоти радіополя Δf визначається з виразу $2\Delta f \leq \Delta f_p$ де Δf_p – ширина резонансної характеристики яка визначається робочою речовиною, значеннями інтенсивностей радіополя та оптичної орієнтації. Причому частотна модуляція повинна здійснюватися в часі по гармонійному закону. При цьому миттєве значення модульованої частоти визначається співвідношенням:

$$f = f_0 + \Delta f(t), \quad (1)$$

¹Національний університет «Львівська політехніка»

Тут f_0 – середнє значення частоти генератора радіополя, а $\Delta f(t) = \Delta f_{\max} \sin(2\pi f_{\text{мод}} t)$.

де $f_{\text{мод}}$ – частота модуляції середнього значення частоти,

Δf_{\max} – максимальна зміна середнього значення частоти.

Щоб отримати необхідну девіацію частоти, необхідно змінити фазу:

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = \Delta\omega(t) = 2\pi\Delta f(t), \quad (2)$$

Підставивши (1) в (2),

$$\int_{\varphi_{\text{п}}}^{\varphi} d\varphi(t) = \int_{t_{\text{п}}}^t 2\pi\Delta f_{\max} \sin(2\pi f_{\text{мод}} t) dt, \quad \text{після інтегрування, отри-}$$

маємо:

$$\varphi - \varphi_{\text{п}} = -\frac{2\pi\Delta f_{\max}}{2\pi f_{\text{мод}}} [\cos(2\pi f_{\text{мод}} t) - \cos(2\pi f_{\text{мод}} t_{\text{п}})], \quad (3)$$

Звідси, вважаючи, що $t_{\text{п}}=0$; $\varphi_{\text{п}} = 0$, отримуємо значення фази в процесі модуляції:

$$\varphi = \frac{\Delta f_{\max}}{f_{\text{мод}}} [1 - \cos(2\pi f_{\text{мод}} t_{\text{п}})] \quad (4)$$

Максимальне значення фазового зсуву, яке повинна забезпечувати схема фазоповертача, має вигляд:

$$\varphi_{\max} = \pm \frac{\Delta f_{\max}}{f_{\text{мод}}}, \quad (5)$$

$$\text{або } \varphi_{\max} = 2 \frac{\Delta f_{\max}}{f_{\text{мод}}}, \quad \text{для } \delta \dot{\omega}. \quad (6)$$

Приведений частотний модулятор (ЧМ) можна використати в ВППС де девіація частоти з умови мінімальної ширини резонансної характеристики мінімальна. В випадку використання (ЧМ) в стабілізаторі струму на основі КМП де ставляться особливі вимоги до глибини та закону зміни резонансної частоти, при застосуванні варікапа в якості керуючого елемента фазоповертача, неможливо отримати зміну частоти в широких межах по близькому до гармонійного закону, оскільки залежність ємності варікапа від напруги ,що прикладається нелінійна.

При роботі на найбільш лінійній ділянці характеристики ємність варіація змінюється мало, а відповідно і фаза буде змінюватися незначно.

Для отримання значної зміни фази в схемі застосований метод підсилення фазового зсуву. Це можливо оскільки в стабілізаторі струму середнє значення резонансної частоти визначає струм стабілізації і повинно бути стабільним. При використанні цього методу фаза вихідної напруги пристрою змінюється більш інтенсивно, ніж фаза вхідної напруги, відповідно закону:

$$\varphi_{\text{вих}} = K \varphi_{\text{вх}}, \quad (7)$$

Де $\varphi_{\text{вих}}$ – фаза вектора вихідної напруги по відношенню до деякого нерухомого вектора; $\varphi_{\text{вх}}$ – фаза вектора вхідної напруги по відношенню до того ж нерухомого вектора напруги; K – коефіцієнт фазового підсилення, будь-яке позитивне число.

Суть методу фазового підсилення полягає в наступному. Нехай \vec{b} – деякий незмінний вектор напруги, \vec{a} – вектор напруги, що складає з вектором \vec{b} кут β , що є кутом, який підсилюється. Умовою нормальної роботи буде $|\vec{b}| > |\vec{a}|$ або $|\vec{b}| < |\vec{a}|$, що робить неможливим зведення модуля вектору \vec{c} до нуля. При малих значеннях β залежність між α і β є лінійною і має вигляд:

$$\alpha = \frac{\frac{|\vec{a}|}{|\vec{b}|}}{1 - \frac{|\vec{a}|}{|\vec{b}|}} \beta, \quad (8)$$

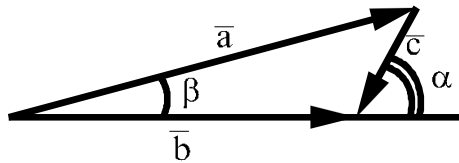


Рис. 1. Векторна діаграма напруг

Оскільки метод підсилення фазового зсуву теж призводить до певної амплітудної модуляції, пропорційної коефіцієнту фазового підсилення, подальше підсилення фази здійснюється методом множення частоти.

З Метою експериментальної перевірки можливості застосування методу множення частоти спільно з методом підсилення фазового зсуву був досліджений модулятор, що використовується в КМП, структурна схема якого наведена на рис. 2.

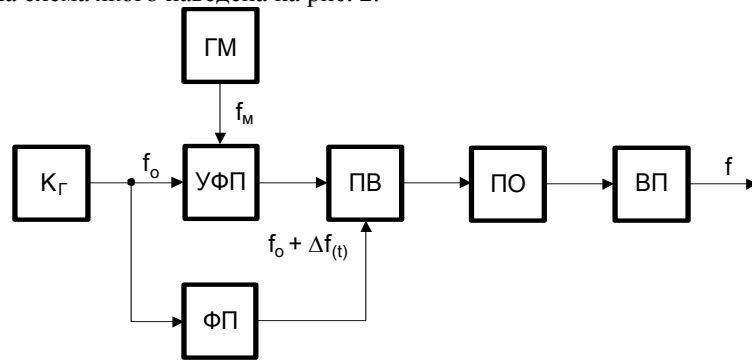


Рис. 2. Структурна схема частотного модулятора

При зростанні номера вищої гармоніки, що виділяється, підвищуються вимоги до добротності контурів.

Якщо один резонансний каскад не забезпечує необхідного розпізнавання, в цьому випадку використовують два або декілька резонансних каскади з наступною групою розстроєних фільтрів для забезпечення необхідної смуги рівномірного пропускання. Частотна характеристика такої групи резонансних каскадів, звичайно, одержується з провалами. В цьому випадку також створюється паразитна амплітудна модуляція, рівень якої збільшується зі зростанням порядкового номера вищої гармоніки.

Застосуємо метод множення частоти спільно з методом підсилення фазового зсуву. При цьому номер вищої гармоніки, що виділяється, зменшується в K раз, що дозволяє зменшити як рівень паразитної амплітудної модуляції, так і вимоги до добротності контурів.

Напруга кварцового генератора КГ з фіксованою частотою f_0 подається на два фазоповертачі, один з яких УФП керується генератором ГМ частоти модуляції $f_{\text{мод}}$, а другий фазоповертач ФП створює постійний фазовий зсув, рівний фазовому зсуву, створюваному УФП у випадку відсутності напруги ГМ.

Різницевий сигнал вихідних напруг фазоповертачів отримуємо пристроєм віднімання ПВ, на виході якого одержується сигнал з посиленою в K раз фазовою модуляцією, що надходить на вхід підсилювача обмежувача ПО. Далі сигнал надходить на вхід вибірного підсилювача ВП, що виділяє n -гармоніку сигналу.

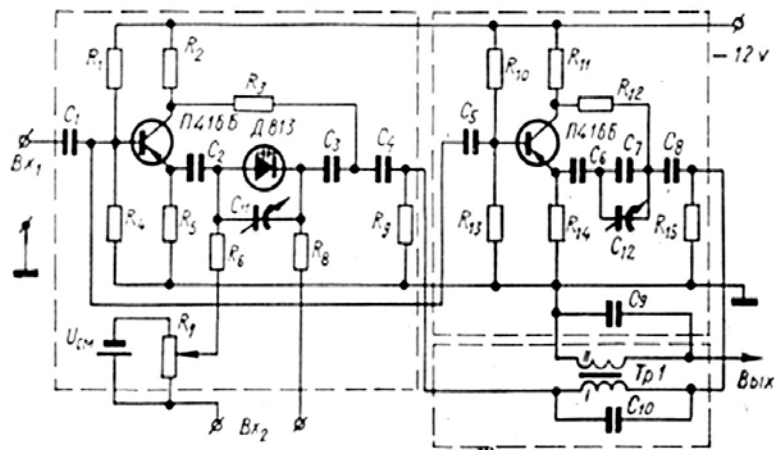


Рис. 3. Принципова схема частотного модулятора

На рис. 3. наведена принципова схема фазовертачів і елементів виділення різницевого вектора. Сигнал КГ з частотою $f_0 = 200$ кГц і відносною нестабільністю порядку 10^{-6} надходить на входи фазовертачів. В якості ємності, що керується УФП використаний кремнієвий стабілітрон типу Д813, робоча точка якого вибирається на лінійній ділянці характеристики, що має найбільшу крутизну, а задається напругою джерела зміщення $U_{зм}$. Окрім цього, на варікап подається напруга генератора модулюючої частоти $f_{мод}$.

Різницевий вектор виділяється на трансформаторі Tr1. Дані трансформатора наступні: I-160 витків ПЭЛ 0.1, II-100 витків ПЭЛ 0.12, сердечник типу СБ5 а.

3. ВИСНОВКИ

Наведена схема дозволяє отримати при виділенні 5-ї гармоніки девіацію частоти $\Delta f = \pm 1,5$ кГц, при несучій 1мГц і амплітудній модуляції не більш 1%.

Результати проведених досліджень дозволяють зробити висновок про доцільність застосування частотної модуляції при побудові ВППС та стабілізаторів струму на основі КМП. Це дозволяє уникнути магнітної системи для створення модулюючого магнітного поля.

1. Гаранюк І. П. Динамічна модель квантового стабілізатора струму. //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. – Львів, вип. 2. - 1998. - С. 205-209. 2. Гаранюк І. П. Функціональні схеми кванто-

вих магнітометричних давачів на основі оптичної орієнтації атомів та їх аналіз. //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. - 1999. - Львів, вип 3.- С. 294 - 302. 3. Гаранюк І. П. Відтворення одиниці сили постійного струму з використанням квантового магнітометричного перетворювача. //Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. - 2005. - Львів, вип. 13. 4. Наумов А.П. Автоматическая подстройка частоты в пароцелочном магнитометре. – «Труды метрологических институтов СССР», 1971,вып 113. 5. Померанцев Н.М., Рыжков В.М., Скроцкий Г.В. Физические основы квантовой магнитометрии. М., «Наука», 1972. – 242 с.