

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ О.М. Тачиніна
« ___ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

**Тема: «Вимірювання кута обертання інтегруючим МЕМС гіроскопом з
віртуальним обертанням стоячої хвилі»**

Виконавець: студентка групи ФАЕТ-602 Дукаценко Юлія Станіславівна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: професор Чіковані Валерій Валеріанович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

«Охорона праці»: _____ Козлітін О.О.
(підпис) (П.І.Б.)

«Охорона навколишнього середовища»: _____ Фролов В.Ф.
(підпис) (П.І.Б.)

Нормоконтролер: _____ Дивнич М.П.
(підпис) (П.І.Б.)

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Напрямок: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.М. Тачиніна

«___» _____ 2020 р

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Дукаценко Юлія Станіславівна

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи: «Вимірювання кута обертання інтегруючим МЕМС гіроскопом з віртуальним обертанням стоячої хвилі» затверджена наказом ректора від «08» жовтня 2020 р. №1944/ст.
2. Термін виконання роботи: з 1.09.2020 по 20.12.2020
3. Вихідні дані роботи: Добротність резонатора $Q=22000$, різнодобротність $\Delta Q=1000$, резонансна частота $f_r=4$ кГц, різночастотність $\Delta f=0.03$ Гц. Швидкість віртуального обертання стоячої хвилі 375 град/с.
4. Зміст пояснювальної записки: мікромеханічні гіроскопи, неідеальності резонатора та їх зв'язок з похибками КВГ, матлаб-симулінк модель інтегруючого режиму роботи КВГ, результати моделювання, висновки, охорона праці, охорона навколишнього середовища.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки, презентація результатів роботи в PowerPoint
6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Мікромеханічні гіроскопи	30.09.2020 р	
2	Неідеальності резонатора та їх зв'язок з похибками КВГ	20.10.2020 р	
3	Матлаб-Симулінк модель інтегруючого режиму роботи КВГ	5.11.2020 р	
4	Результати моделювання	9.12.2020 р	
5	Висновки	10.12.2020 р	
5	Охорона навколишнього середовища	14.12.2020 р.	
6	Охорона праці	18.12.2020 р.	

7. Консультація з окремих розділів:

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Козлітін О.О.		
Охорона навколишнього середовища	Фролов В.Ф.		

8. Дата видачі завдання: «10.09.2020»

Керівник дипломної роботи (проекту): _____ Чіковані В.В.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____ Дукаценко Ю.С.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Вимірювання кута обертання інтегруючим МЕМС гіроскопом з віртуальним обертанням стоячої хвилі» містить: 95 с., 54 рис., 1 табл. та 26 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – вібраційні гіроскопи.

Предмет дослідження – вплив примусового обертання хвилі на нечутливість резонатора до малих швидкостей.

Мета дипломної роботи – дослідити та визначити, як віртуальне обертання стоячої хвилі покращує визначення кута повороту.

Методи дослідження – теоретичні розрахунки, моделювання в Matlab/Simulink, обробка результатів чисельних експериментів, побудова графіків похибок та виміряних кутів.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що віртуальне обертання стоячої хвилі компенсує похибку нечутливості до малих швидкостей та сприяє реальним показам кута повороту.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати в навчальному процесі, при проектуванні вібраційних гіроскопів та під час їх експлуатації.

Ключові слова: МАСШТАБНИЙ КОЕФІЦІЄНТ, РЕЗОНАТОР, РІЗНОЧАСТОТНІСТЬ, РІЗНОДОБРОТНІСТЬ, МОДА, СТОЯЧА ХВИЛЯ, ІНТЕГРУЮЧИЙ РЕЖИМ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. МІКРОМЕХАНІЧНІ ГІРОСКОПИ.....	10
1.1 Принцип роботи мікромеханічних гіроскопів	12
1.1.1 Принцип роботи гіроскопа коливального типу	14
1.1.2 Принцип роботи мікромеханічного гіроскопа-акселерометра	16
1.1.3 Принцип роботи мікрогіроскопа, який має незалежні консолі для режимів управління і вимірювання.....	18
1.1.4 Принцип роботи мікрогіроскопа коливального типу з обертальними коливаннями маси.....	21
1.2 Типи мікромеханічних гіроскопів.....	23
1.2.1 ММГ RL-типу (гіроскоп камертонний, ГК).....	24
1.2.2 ММГ RR- типу (гіроскоп з карданним підвісом)	26
1.2.3 ММГ LL- типу (гіроскоп з зосередженої масою).....	28
1.3 Фото зрaskів гіроскопів.....	30
1.4 ВИСНОВКИ	31
РОЗДІЛ 2. НЕІДЕАЛЬНОСТІ РЕЗОНАТОРА ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ПОХИБКАМИ КВГ	33
2.1 Різномачотність	33
2.2 Різномобротність	36
2.3 Узагальнена динамічна модель коливань резонатора.....	37
2.4. Робота вібраційного гіроскопа в режимі датчика кута	39
2.5 ВИСНОВКИ	44
РОЗДІЛ 3. МАТЛАБ-СИМУЛІНК МОДЕЛЬ ФІНТЕГРУЮЧОГО РЕЖИМУ РОБОТИ КВГ	46
3.1. Симулінк модель інтегруючого режиму з віртуальним обортанням хвилі.....	46
3.2. Моделювання траєкторії руху точки на ободі резонатора.....	49
3.3 ВИСНОВКИ	54

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	55
4.1 Вимірювання масштабного коефіцієнту інтегруючого КВГ та оцінка порогової кутової швидкості мертвої зони.....	55
4.2 ВИСНОВКИ	67
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	69
5.1 Вплив комп'ютерних технологій на екологію людини.....	69
5.1.1 Комп'ютерний зоровий синдром	69
5.1.2 Вплив комп'ютера на м'язи і суглоби	70
5.1.3 Вплив електромагнітного випромінювання на організм людини	71
5.1.4 Робота на комп'ютері і пов'язані при цьому види стресів.....	72
5.2 Вплив комп'ютерних технологій на навколишнє середовище.....	73
5.3 Рекомендації щодо поліпшення здоров'я людини	75
5.4 ВИСНОВКИ	77
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	79
6.1 Аналіз умов праці.....	79
6.2 Організація робочого місця	79
6.2.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників.....	80
6.2.2 Мікроклімат робочого місця.....	81
6.2.3 Шкідливі речовини в повітрі	83
6.2.4 Електромагнітні випромінювання.....	84
6.2.5 Освітлення на робочому місці	84
6.2.6 Виробничий шум.....	85
6.2.7 Вібрація на робочому місці	85
6.2.8 Електробезпека.....	86
6.3 Розробка заходів з охорони праці.....	86
6.4 Пожежна безпека.....	87
6.5 Розрахунок потрібного повітрообміну під час вступу шкідливих речовин у повітря робочої зони.....	88
6.6 ВИСНОВКИ	89
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	92

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- КВГ – коріолісовий вібраційний гіроскоп
- МЕМС – мікроелектромеханічні системи
- ММГ – мікромеханічні гіроскопи
- ВДКШ – вібраційний датчик кутової швидкості
- ДКШ – датчик кутової швидкості
- МК – масштабний коефіцієнт
- ММГ – мікромеханічний гіроскоп

ВСТУП

Застосування сучасних технологій мікроелектроніки для масового виробництва мікро-електромеханічних систем дозволив створювати мініатюрні датчики кутових швидкостей та застосовувати їх у багатьох областях, де використання гіроскопів вважалося неефективним як з економічної точки зору, так і з точки зору масових та габаритних обмежень. Із врахуванням особливостей технологій виробництва, практично необмеженому потенціалу щодо мініатюризації, відносній простоті конструкцій їх чутливих елементів, переважна більшість сучасних мініатюрних датчиків кутової швидкості побудовано на основі використання ефекту Коріоліса для вимірювання кутової швидкості обертання. Такі датчики отримали назву коріолісових вібраційних гіроскопів (КВГ).

КВГ може працювати в двох режимах: як датчик кутової швидкості, який вимірює зовнішню кутову швидкість, і в інтегруючому режимі, що продукує, в дійсності, кут обертання, який є проінтегрованою кутовою швидкістю. Останнього можна досягти або спеціальною конструкцією чутливого елемента, що призводить до незначного демпфування, або за допомогою особливого конструювання системи керування із зворотним зв'язком.

У вібраційному датчику кутової швидкості (ВДКШ), у якому сила Коріоліса не компенсується, сигнал квадратури є єдиним, що компенсується у цьому режимі для зменшення похибок датчика кутової швидкості (ДКШ). У результаті дії сили Коріоліса стояча хвиля обертається відносно віброуючої структури і кут її обертання є пропорційний куту обертання ДКШ відносно інерціальної системи координат. Коефіцієнт пропорційності між кутом повороту ДКШ в інерціальному просторі і кутом повороту стоячої хвилі відносно ДКШ носить назву коефіцієнт Брайана. Цей режим обертання стоячої хвилі можливо інтерпретувати так, що сили Коріоліса забезпечують перетворення енергії вібрації від первинної до вторинної стоячої хвилі і навпаки.

Режим інтегруючого ДКШ має надзвичайно високий динамічний діапазон, високу смугу пропускання та дуже стабільний масштабний коефіцієнт, але має підвищену чутливість до похибок виготовлення чутливого елемента.

При вимірі більших кутових швидкостей треба переключитися дорежиму інтегруючого ДКШ, так як похибка $\Delta\Omega$ виміру більшої кутової швидкості в основному визначається похибкою ΔK масштабного коефіцієнта $\Delta\Omega = \Delta K * \Omega$, який для інтегруючого ДКШ є стабільною константою (коефіцієнт Брайана залежить від робочої моди коливань і геометрії резонатора, які не змінюються). Як приклад можливо вказати, що навіть для дешевих ДКШ стабільність масштабного коефіцієнта в діапазоні температур $[-40 + 85]$ °C може досягати 0.01% без використання корекції, а діапазон вимірювання $\pm 7 * 10^3$ град/с. [1]

Актуальність роботи: Гіроскопи мають широкий спектр застосування: автомобілі, літальні апарати, системи стабілізації, супутникові навігаційні системи, мобільні телефони та багато іншого. Вимірювання кута повороту необхідне для точного визначення положення системи в просторі. Мікромеханічні гіроскопи характеризуються високою точністю, але після процесу балансування чутливих елементів в них виникає похибка нечутливості до малих швидкостей. Це означає, що виміряти кут повороту стає неможливим, що значно впливає на правильність показів гіроскопа та на подальшу роботу прилада або системи, частиною яких є гіроскоп. Віртуальне обертання стоячої хвилі може компенсувати цю похибку та підвищити точність показів, що вплине на визначення координат системи. Таким чином можна запобігти багатьом авіа- та авто-катастрофам, збільшити точність стабілізації.

РОЗДІЛ 1. МІКРОМЕХАНІЧНІ ГІРОСКОПИ

Мікроелектромеханічні системи (МЕМС) зазвичай являють собою інтегровані пристрої, виконані на напівпровідниковій (найчастіше кремнієвій) підкладці і містять механічні елементи, сенсори, актуатори і електронні компоненти. Типові розміри мікромеханічних елементів (компонент системи) лежать в діапазоні від 1 до 100 мікрон, тоді як розміри кристала МЕМС-мікросхеми досягають величин від 20 мікрометрів до одного міліметра.

Для формування механічних та електромеханічних елементів при виготовленні МЕМС використовуються сумісні процеси мікрообробки, що дозволяють селективно витравляти елементи кремнієвої підкладки або додавати нові структурні шари.

В даний час МЕМС-технології, завдяки надзвичайно малому розміру створених з її допомогою пристроїв, вже застосовуються для виготовлення різних приладів; нижче наведені деякі найбільш поширені приклади.

1. Акселерометри - пристрої для вимірювання прискорень. Застосовуються в датчиках, контролюючих спрацьовування автомобільних подушок безпеки.

2. Digital Micromirror Device (DMD) - оптичний модулятор, що складається з масиву мікродзеркал. Принцип дії DMD полягає у формуванні зображення шляхом послідовного перемикання мікродзеркал в положення ON-OFF, і, відповідно, відображення падаючого випромінювання в проекційну оптичну систему (ON) або поглинач (OFF).

3. Гіроскоп - пристрій, здатний реагувати на зміну кутів орієнтації тіла, на якому воно встановлено, щодо інерціальної системи відліку. [2]

Кафедра АКСУ				НАУ 20 04 77 000 ПЗ			
Виконав	Дукаценко Ю.С.			Мікромеханічні гіроскопи	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чиковані В.В.					10	93
Консульт.	Чиковані В.В.				602 151		
Н. контр.	Дивич М.П.						10
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

Область низьких точностей забезпечують мікромеханічні гіроскопи, активну роботу над якими з початку 80-х років ведуть такі відомі зарубіжні фірми як Лабораторія ім. Ч. Дрейпера, Systron Donner, British Aerospace System & Equipment, Analog Devices, Murata і ряд інших.

Мікромеханічними гіроскопами (ММГ) є одновісні гіроскопи вібраційного типу, сконструйовані у вигляді електронного чіпа з кварцовою підкладкою площею в кілька квадратних міліметрів (рис. 1.1). Принциповою особливістю цих датчиків є використання при їх виробництві матеріалів і технологій сучасної твердотільної мікроелектроніки (фотолитографії, травлення, іонної імплантації і т.д.) і високодобротних неметалічних

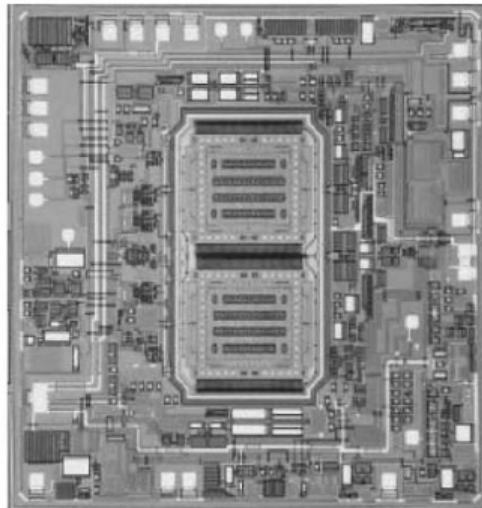


Рис. 1.1 Мікромеханічний гіроскоп

матеріалів (монокристалічний кремній, плавлений кварц і т.п.). Мікромеханічні гіроскопи мають вбудовані засоби управління і обробки інформації, малу масу і габарити, низьке енергоспоживання, високу стійкість до зовнішніх збурень.

В даний час мікромеханічні гіроскопи знайшли застосування в інтегрованих навігаційних системах, які використовують показання супутникових навігаційних систем типу ГЛОНАСС і NAVSTAR. У цих навігаційних системах довгострокова точність забезпечується точносними характеристиками супутникових навігаційних систем, похибка яких не накопичується з часом. Вимірювання швидкозмінних параметрів руху і збереження навігаційної інформації при втраті сигналу від супутникової навігаційної системи забезпечується мікромеханічними датчиками, які при роботі супутникового каналу постійно калібруються, що забезпечує необхідну точність нетривалої автономної навігації.[3]

Також вони широко використовуються в літальних апаратах для орієнтації в просторі, але це в основному механічні гіроскопи. Подібні гіроскопи можна виготовити і за технологією напівпровідникових інтегральних схем .

Мікромеханічні гіроскопи, виготовлені з використанням досягнень напівпровідникової кремнієвої технології, мають більші перспективи для різних областей застосування і суттєві резерви в зменшенні розмірів, поліпшення параметрів і зниження витрат на їх виробництво.

1.1 Принцип роботи мікромеханічних гіроскопів

Існує велика різноманітність конструкцій мікрогіроскопов. Всі вони містять кілька рухомих механічних систем, котори можуть коливатися у взаємно перпендикулярних площинах. Коливання в одній площині є вимушеними, в іншій площині з'являються тоді, коли мікрогіроскоп повертається.

Загальний принцип роботи мікромеханічного гіроскопа полягає в створенні щодо корпусу знакозмінного поступального або обертального руху чутливого елемента по одній з ступенів свободи і вимірі переміщень по іншому ступені свободи, що виникають під дією коріолісових сил або гіроскопічних моментів при наявності переносної кутової швидкості корпусу. На рис. 1.2 показана реалізація принципу на прикладі двоступеневого

пружного підвісу з поступальними переміщеннями чутливого елементу. При наявності знакозмінної відносної лінійної швидкості V вздовж осі OX і переносної кутової швидкості Ω навколо осі OZ з'являються знакозмінні прискорення Коріоліса W_k і відповідна йому сила F_k уздовж осі OY . Амплітуда y переміщення ЧЕ уздовж осі Y за однакової кількості власних частот по обом ступеням свободи для випадку резонансу визначається наступним співвідношенням:

$$y = \frac{F_k}{c} Q \Omega = \frac{2mv}{c} Q \Omega, \quad (1.1)$$

де C , Q - відповідно жорсткість і добротність пружного підвісу;
 m – маса чутливого елемента.

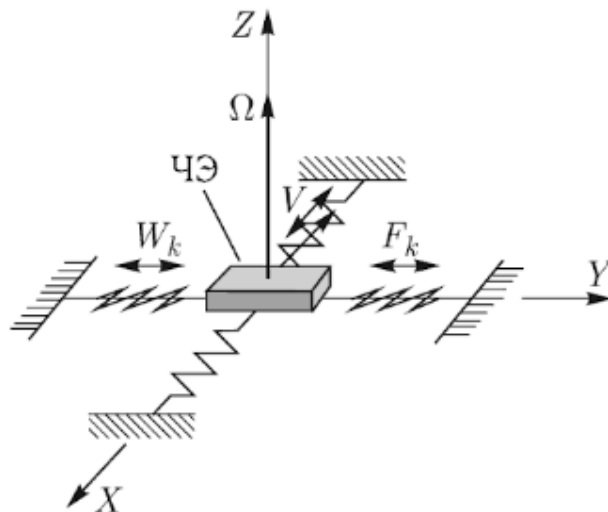


Рис. 1.2 Принцип роботи мікромеханічного гіроскопа

Амплітуда y , яка визначається в (1.1), несе інформацію про вимірювану кутову швидкість Ω . [3]

Розглянемо докладніше принципи роботи деяких гіроскопів.

1.1.1 Принцип роботи гіроскопа коливального типу

Структурна схема мікрогіроскопа представлена на рис. 1.3. Вона містить внутрішню коливальну систему (ВКС) 1 і зовнішні рамки (ЗР) 2. Між собою ВКС і ЗР з'єднані за допомогою пружних торсіонів 3. Зовнішня рамка з'єднана з нерухомою підставкою шляхом аналогічних пружних торсіонів 4. Зовнішня рамка і внутрішня коливальна система електрично з'єднані між

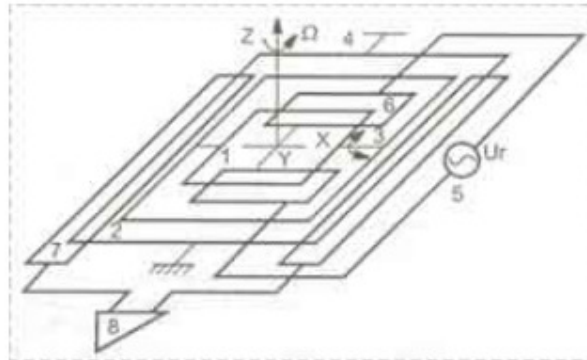


Рис. 1.3 Структурна схема мікрогіроскопа коливального типу

собою і підключені до нульової шини.

ВКС може здійснювати вимушені коливання щодо осі під дією генератора гармонійних коливань 5 системи обкладок 6, які спільно з ВКС утворюють плоский конденсатор. У разі обертання системи навколо осі зовнішня рамка буде здійснювати коливання щодо осі. Амплітуда коливань є функцією кутової швидкості і частоти коливань. Інформація про кутову швидкість знімається за допомогою системи обкладок 7 (утворюють з зовнішньою рамкою плоский конденсатор) і пристрої обробки інформації.

Для збудження коливань і зняття інформації про кутову швидкість краще використовувати конденсатори типу метал-діелектрик-напівпровідник. При цьому всі рухливі частини мікроколивальної системи необхідно підключити до нульової шини. Це означає, що матеріал коливальних систем повинен бути провідним. Як видно з рис. 1.3, підключення нульової шини внутрішньої коливальної системи і зовнішньої рамки забезпечується через торсіони.

Недоліком такого способу збудження коливань і зняття корисної інформації є необхідність в прецизійному виготовленні зазору в МОП-конденсаторах. В більшості випадків це досягається методами прецизійного травлення і посадки коливальних систем в спеціальні посадочні місця.

Для ефективної роботи мікрогіроскопа необхідно забезпечити однакову власну частоту коливань внутрішньої системи і зовнішньої рамки. Одним з найбільш ефективних способів підстроювання власних частот коливань внутрішньої коливальної системи і зовнішньої рамки є зміна довжини торсіона і / або маси системи.

Уникнути прецизійної посадки можна шляхом формування коливальні системи на багат шарових структурах (типу структура кремній на ізоляторі - КНІ), що мають строго певну товщину монокристалічного кремнію і проміжного шару діелектрик (SiO_2 або багатокomпонентного скла) на спеціальній підставі. Технологія отримання подібних структур включає операції прецизійно хіміко-механічної обробки пластин кремнію, формування рельєфу методами травлення (зазвичай рідинного анізотропного і / або плазмохімічного), нарощування допоміжних і конструкційних шарів, зрощування кремнієвих пластин. Повторні операції хіміко механічної обробки, травлення і нарощування дозволяють формувати необхідну багат шарову структуру.

Конструкція мікрогіроскопа представлена на рис. 1.4.

Її основу складає коливальна система у вигляді центральної рамки, прикріпленою двома торсіонами до зовнішньої рамці, яка, в свою чергу, прикріплена торсіонами (розташованими перпендикулярно напрямку тріснув центральної рамки) до основи. Генерація і вимір параметрів коливань

здійснюється за допомогою ємнісної схеми, розташованої на несучій підкладці.[4]

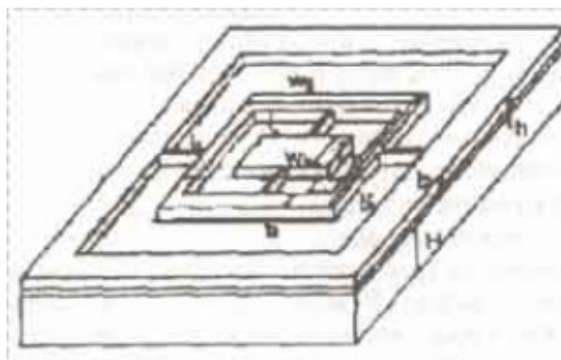


Рис. 1.4 Конструкція мікрогіроскопа

1.1.2 Принцип роботи мікромеханічного гіроскопа-акселерометра

Мікромеханічний гіроскоп-акселерометр (рис. 1.5) містить плату з кристала на основі діелектрика 3 (скло, ситалл, сапфір, кремній), на якій розміщені елементи електроніки і складання вузла чутливого елемента 2.

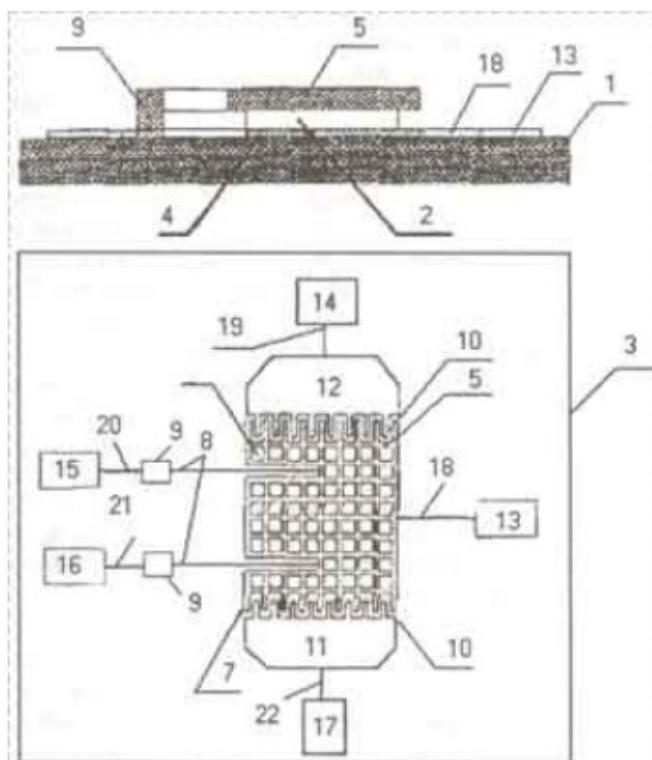


Рис. 1.5 Загальний вигляд чутливого елемента мікромеханічного гіроскопа-акселерометра

Інерційний вузол чутливого елемента консольного типу складається з пластини 5 формі квадрата (на основі кремнію або металу), на поверхні якого рівномірний розподілені наскрізні отвори 6, виконані у формі багатокутника. Бічні сторони пластини 5 виконані у вигляді гребінчастих зубців 7.

Елементи підвісу інерційної маси являють собою дві паралельні пружні консолі 8, жорстко закріплені з одного боку на опорах 9, підстави яких жорстко закріплені на платі 1. З іншого боку консолі 8 з'єднані з пластиною. З'єднання виконано на лінії геометричного центру пластини інерційної маси, а самі консолі розташовуються в паралельних прорізах пластини.

Консоль з поперечним перерізом в формі квадрата є оптимальною з точки зору технологічності виготовлення та налаштування вимірювальних характеристик пристрою. Нерухомі електроди 10 електростатичного системи збудження розташовані на опорах 11 і 12, які закріплені на платі 1.

На платі 1 сформовані електроди 4 датчика кута і моменту і п'ять контактні майданчиків 13-17, з'єднаних за допомогою п'яти струмопровідних доріжок 18-22 з електродами датчика кута і датчика моменту, електродами електростатичного системи збудження 11 і 1 і електродами інерційної маси 5. Розміри кристала одного з варіантів виконаних плати становлять $1,8 \times 1,8 \times 1,15$ мм, пластини інерційної маси - $0,308 \times 0,308$ мм при зазор між пластиною і платою від 2 до 5 мкм.

Мікромеханічний вібраційний гіроскоп-акселерометр працює наступним чином. При ввімкненому харчуванні під впливом електростатичних сил в зазорі гребінчастих зубців на частоті джерела живлення пластина 5 здійснює бічні зворотно поступальні рухи. Коли щодо напрямлення, паралельного напрямку консолей 8 пружного підвісу, діє кутова швидкість, на тій же частоті в напрямку ортогональному площини пластини 5, виникають коріолісову сили, які призводять до коливань рух цю пластину. В результат змінюються зазор і сміність між електродами датчика рогу. На його виході виникає змінний сигнал (напруга), амплітуда якого пропорційна вимірюваної кутової швидкості. При дії лінійного прискорення в напрямку,

ортогональному площині пластини 5, міжелектродна ємність і сигнал датчика кут будуть змінюватися за законом діючого прискорення.

Вихідний сигнал приладу буде містити періодичну складову, амплітуда якої пропорційна вхідній кутовій швидкості підстави, і постійну складову, пропорційну його лінійного прискорення. Це дозволяє забезпечувати одночасно вимір кутової швидкості і лінійного прискорення за допомогою одного приладу. Поділ сигналів по каналах гіроскопа і акселерометр проводиться по частотному ознакою з використанням фільтрації [4].

1.1.3 Принцип роботи мікрогіроскопа, який має незалежні консолі для режимів управління і вимірювання

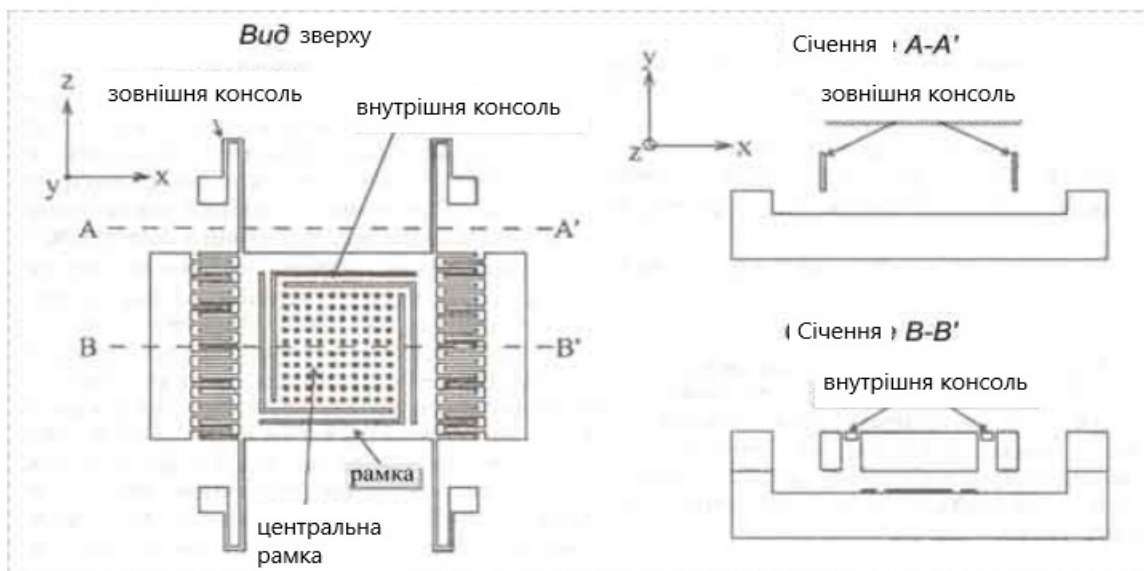


Рис. 1.6 Вид зверху та поперечний переріз мікрогіроскопа

Такі прилади розроблені для того, щоб зменшити взаємовплив режимів управління і вимірювання.

Коливальна маса переміщається горизонтально уздовж осі за допомогою електростатичних сил. Вертикальні коливання під дією сили Коріоліса (при кутовому обертанні навколо осі) визначаються шляхом вимірювання ємності між хитаючою пластинною вимірювальним електродом.

За відсутності сили Коріоліса рух коливальної маси є горизонтальним. Однак в дійсності цей рух не строго горизонтально, внаслідок механічної напруги в структурі, що виникли в процесі виготовлення мікрогіроскопа.

Структура має незалежні пари балок для режимів управління і вимірювання. Маса осцилятора з'єднана з рамкою, котра підтримується чотирма балками, закріпленими на підкладці. Осцилятор має розміри $800 \times 1200 \times 50$ мкм. Внутрішні балки - ширина 20 мкм і висотою 10 мкм, а зовнішні балки - шириною 5 мкм і висотою 50 мкм. Гіроскоп управляється гребінчастими електродами. за коливальною масою є два електроди для визначення кутової швидкості. У керуючому режимі зовнішні консолі відхиляються у напрямку X, але є лише невелике відхилення внутрішніх консолей. У режимі вимірювання внутрішні консолі відхиляються у напрямку Y, але є лише невелике відхилення зовнішніх консолей.

Це означає, що дві пари консолей рухаються незалежно в двох режимах і взаємовплив між двома режимами буде дуже слабким. В якості вихідних підкладок для виготовлення мікрогіроскопа використовується SOI (кремній на ізоляторі), пластина (200 мкм - базовий Si, 4 мкм - оксид і 50 мкм - верхній Si) і скляна підкладка. Щоб зробити внутрішні балки, які рухаються в напрямку, трукують близько 40 мкм верхнього кремнію за допомогою реактивного іонного травлення. Щоб зробити зазор між двома електродами і кремнієвими масами, скляну підкладку трукують на 2 мкм в HF.

Останні осадження шарів Au і Cr на скляній підкладці за допомогою рідинного травлення формують два електроди. Потім пластина SOI скляна пластина з'єднуються разом за допомогою анодного з'єднання. Базовий кремній і ізоляційні шари видаляють рідинним травленням в TMAH і HF відповідно. В кінці реактивним іонним травленням знімається верхній шар

кремнію на скляну підкладку для формування осцилятора. РЕМ-фотографія виготовленого мікрогіроскопа представлена на рис. 1.7.

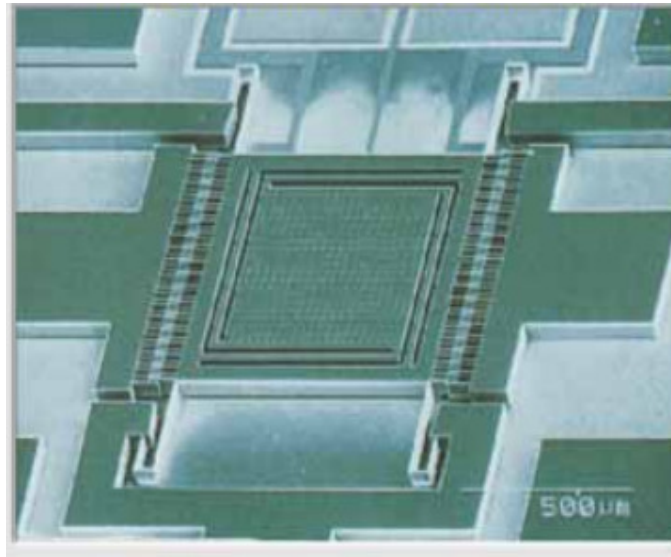


Рис. 1.7 РЕМ-фотографія мекрогіроскопа

Резонансні частоти і амплітуда коливань були виміряні за допомогою вимірника з двовимірним зміщенням лазера. При вимірюванні мікрогіроскопа його поміщали у вакуумну камеру, яка зменшує загасання коливань в повітрі. Тиск в камері було нижче 100 Па.

Структурна схема обробки сигналу для гіроскопа показана на рис. 1.8.

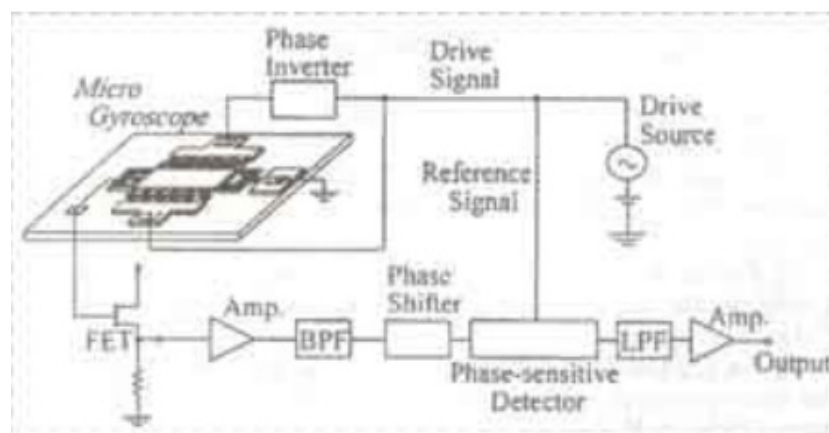


Рис. 1.8 Структурна схема обробки сигналу гіроскопа

Зміна ємності між вимірюваним електродом і масою осцилятора визначається за допомогою МОП-транзистора (FET), які на функціонує як C-V перетворювачі. Вихідний сигнал гіроскопів вимірювався шляхом підстроювання частоти коливань за допомогою джерело постійної напруги. Дозвіл гіроскопа склало $0,07^\circ / \text{с}$ при ширині зони 10 Гц. [4]

1.1.4 Принцип роботи мікрогіроскопа коливального типу з обертальними коливаннями маси

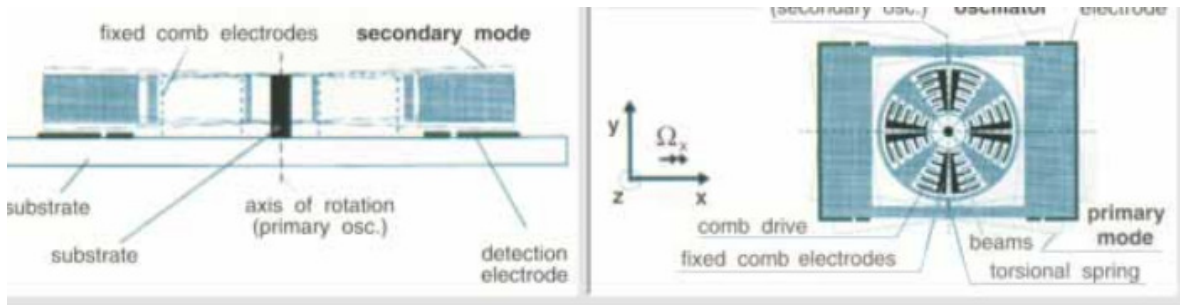


Рис. 1.9 Схематичний вигляд мікрогіроскопа

Механічний сенсорний елемент складається з гребінчастих приводів, які утворюють спиці внутрішнього колеса, і зовні прямокутної структури, званої вторинним осцилятором. Вся рухома структура електростатично приводиться в вращательно коливання навколо осі Z чотирма гребінчастими приводами (первинні коливання). Залишаються чотири гребінчастих конденсатор використовуються, щоб визначити первинні коливання. Коли пристрій обертається навколо осі X, виникають сили Коріоліса, які викликають обертальні коливання навколо осі Y (вторинні коливання).

В цьому напрямку висока жорсткість променевого підвісу переважна коливання внутрішнього колеса. Тільки прямокутна структура може слідувати силам Коріоліса, тому що вона відокремлена від внутрішнього колеса консолями. Коливання вторинного осцилятора навколо осі Y визначаються зі зміни ємності між вторинної коливальною системою і електродами підкладки.

Придушення руху внутрішнього колеса поза площиною запобігає будь-яка зміна в перекритті гребенів в напрямку. Таким чином, придушуються

небажані зміни приводить сили, які підвищували б нелінійність вихідних характеристик.

Цей мікрогіроскоп був виготовлений за технологією поверхневої мікромеханіки. Як структуроформуючого шару використовується полікремній товщиною 10,3 мкм. Велика товщина досягається використанням епітаксійного осадження полікремнію. В доповненні до функціонального шару полікремнію внизу є другий тонкий шар полікремнію, який служить в якості межз'єднань.

Компліментарні несучі сигнали генеруються бістабільною схемою. Коли вторинний осцилятор не вагається навколо осі, вторинні конденсатори збалансовані і на виході сигнал відсутній. Коли вторинний осцилятор приводиться в рух силам Коріоліса, його конденсатори стають розбалансованими. Далі вихідний сигнал надходить на схему обробки сигналу.

Тести були проведені з сенсором, поміщеним в вакуумну камеру, при тиску 10^4 Па. Обертається столик всередині камери з'єднаний із зовнішнім двигуном феррорідкісним міжшаровим з'єднанням. Електричні сигнали передаються легкими кільцями. Середній квадратичний шум на вході при нульовій швидкості, виміряний за допомогою високочастотного фільтра (ВЧФ) першого порядку частотою 50 Гц, відповідає вирішенню $0,05^\circ / \text{с}$. З включеним двигуном значення чинного шуму сенсора одно $0,15-0,20^\circ / \text{с}$.

Чутливість сенсора приблизно дорівнює $8 \text{ мВ} / \text{г}$ ($\text{рад} / \text{с}$) з вихідним сигналом сенсора $2,5 \text{ В}$ при нульовій швидкості на вході. Нелінійність вихідного сигналу на повній шкалі часу склала менше, ніж $0,3\%$.

Як уже згадувалося, зазначені вище вимірювання були проведені при тиску 10^{-2} мбар (1 Па) .

Подальше зниження тиску призводить до більш високого фактору якості і меншого броунівського шуму. В принципі, це дає можливість поліпшити робочі характеристики сенсора або дозволяє мати такі ж характеристики при менших розмірах сенсора Амплітуда первинних коливань

гіроскопа обмежена стопером до 1° , що використовується як захист від перевантаження і для управління амплітудою вібрації без електричної керуючої схеми. При приводному напрузі, що дорівнює 10 В, досягається максимальне відхилення для тиску приблизно 10^2 Па.

При збільшенні тиску амплітуда вібрації і чутливість зменшуються, приводячи до гіршого вирішення. У діапазон $10^2 \dots 10^3$ Па швидкісний еквівалент шуму збільшується від $0,05$ до $0,5^\circ$. При тиску $1 \cdot 10^5$ Па його значення $\sim 7^\circ / \text{с}$. Залежність від тиску показує, що навіть при помірному вакуумі виходить високий дозвіл, яке може бути важливим у відношенні надійності вакуумного корпусування гіроскопа. У порівнянні з іншими мікромеханічними гіроскопами можливі високі тиски, тому що у мності порівняно великі маса і момент інерції, які зберігають броунівський шум маленьким. [4]

1.2 Типи мікромеханічних гіроскопів

За принципом побудови пружного підвісу всі відомі типи мікромеханічних гіроскопів можна класифікувати відповідно до схеми на рис. 1.10.

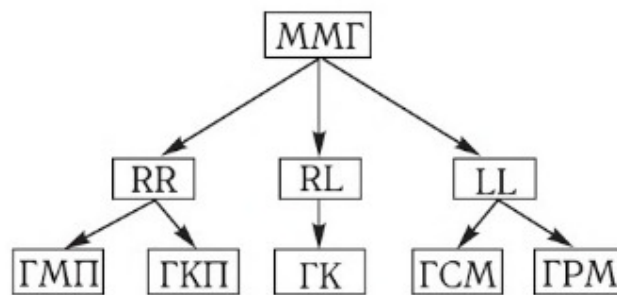


Рис. 1.10 Класифікація типів мікромеханічних гіроскопів

Залежно від типу руху чутливого елемента в підвісі, мікромеханічні гіроскопи можна розділити на три групи:

1. ММГ RR-типу - з обертовим рухом чутливого елемента по обом ступеням свободи;

2. ММГ RL-типу - з обертовим рухом по одній ступені свободи і з поступальним по іншій;
3. LL-типу - з поступальними рухами по обом ступеням свободи;

У кожній з виділених груп кількість можливих варіантів схем мікромеханічних гіроскопів може бути дуже велике. На схемі вказані найбільш відомі і в тій чи іншій мірі реалізовані варіанти ММГ:

- ГМП – гіроскоп з маятниковим підвісом;
- ДКП - гіроскоп з карданним підвісом;
- ГК - гіроскоп камертонний;
- ПММ - гіроскоп з зосередженої масою;
- ГРМ - гіроскоп з розподіленою масою.

Розглянемо далі більш детально головні типи мікромеханічних гіроскопів. [3]

1.2.1 ММГ RL-типу (гіроскоп камертонний, ГК)

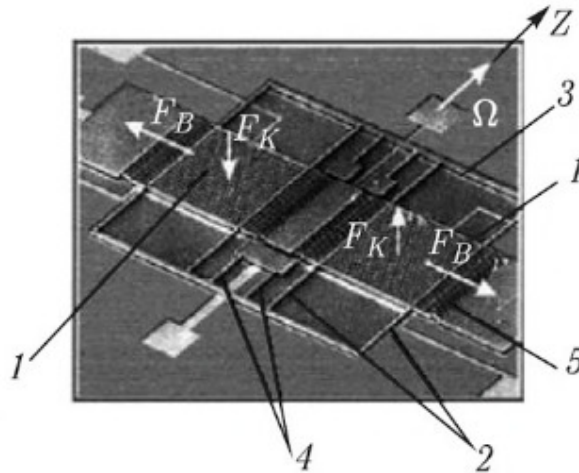


Рис. 1.11 Конструкція мікромеханічного гіроскопа RL - типу

Конструкція ММГ камертоного типу, розроблена лабораторією Ч. Дрейпера, представлена на рис. 1.11. У цьому гіроскопі вимушене рух чутливого елемента, що забезпечується вібраційним двигуном, є поступальним; інший рух, що є інформаційним - обертальним. Конструкція виконана з монокристалічного кремнію і являє собою камертон, реалізований у вигляді двох інерційних мас, закріплених за допомогою пружних елементів

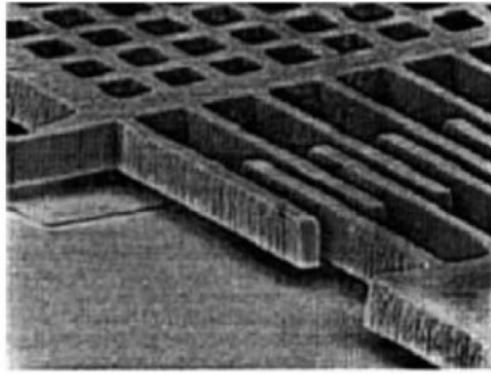


Рис. 1.12 «Гребінчата» структура електростатичного вібраційного

2 у зовнішній рамці 3. Рамка пов'язана із основою також через пружні елементи 4, які забезпечують їй обертальний рух навколо осі Z . За допомогою електростатичного вібраційного двигуна, виконаного у вигляді «Гребінчатої» структури (рис. 1.12), силами F_b збуджуються протифазні поступальні коливання мас. При наявності вимірюваної кутової швидкості підстави Ω , вектор якої збігається з віссю обертання рамки Z , виникають сили Кориоліса K , які створюють змінний момент сил, який породжує кутові коливання рамки навколо осі Z з частотою, рівній частоті двигуна. Амплітуда коливань рамки є мірою вимірюваної кутової швидкості. Вимірювання коливань рамки здійснюється за допомогою ємнісного датчика, електроди якого розташовані на підкладці під інерційними масами. Номінальна величина ємностей між електродами і інерційної масою ~ 1 пФ. Характерний розмір інерційної маси в плані ~ 1 мм. Товщина підвісу з метою збільшення жорсткості його конструкції і збільшення чутливості ММГ доведена до 400 мкм. Добротність підвісу по осі збудження - 40000, по вимірювальної осі - 5000 при рівні вакууму в підвісі - 100 Торр. Менша величина добротності по осі вимірювання визначається малою величиною зазору між інерційними масами і підкладкою, а також щодо великої величини площі інерційних мас. Для зниження коефіцієнта демпфірування в розрядженому газовому середовищі маси виконані перфорованими. Для забезпечення потрібної частотної смуги пропускання в режимі прямого виміру підвіс має расстройку між власними частотами коливань мас і рамки. Одна з основних похибок ММГ -

квадратурна, породжувана вібраційних двигуном через неперпендикулярності осі збудження і вимірювальної осі. [3]

1.2.2 ММГ RR- типу (гіроскоп з карданним підвісом)

В конструкціях ММГ ДКП, вперше розроблених також в лабораторії ім. Ч. Дрейпера, реалізований пружний карданний підвіс чутливого елемента.

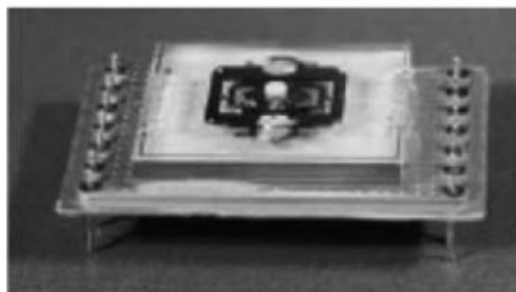


Рис. 1.13 ММГ з зовнішнім пружним карданним підвісом

В першому варіанті ММГ використовується зовнішній двухрамочний карданний підвіс чутливого елемента ξ , розташованого симетрично відносно площини механічної структури. Навколо осі внутрішньої рамки за допомогою електростатичного вібраційного двигуна, реалізованого у вигляді пари електродів, розташованих на діелектричній підкладці під пружним карданним підвісом внутрішньої рамки, створюються кутові коливання чутливого елемента і тим самим - кінетичний момент чутливого елемента по цій осі. При появі кутової швидкості, перпендикулярній площині механічної структури підвісу, виникає змінний гіроскопічний момент, що приводить до коливань зовнішньої рамки. Амплітуда її коливань пропорційна вимірюваній кутовій швидкості. Знімання коливань здійснюється за допомогою ємнісного датчика, пара електродів якого розташована під зовнішньої рамкою. На рис. 1.13 представлений виконаний за подібною схемою один з варіантів ММГ. В іншому варіанті ММГ використовується внутрішній пружний карданний підвіс чутливого елемента - дискового ротора (рис. 1.14), здійснюючого за допомогою вібраційного електростатичного двигуна 2 з «Гребенчатой»

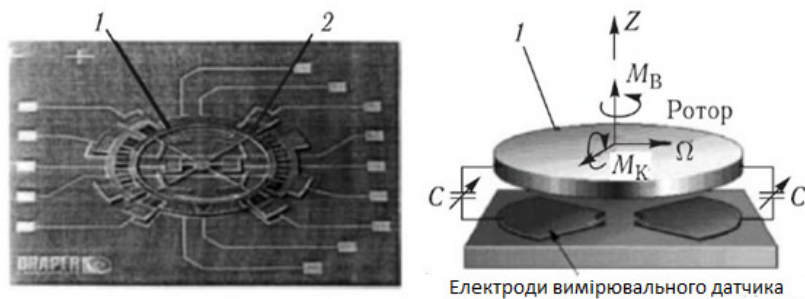


Рис. 1.14 ММГ з внутрішнім пружним карданим підвісом

структурою під дією моменту M_B кутові коливання на власній частоті навколо осі збудження Z , перпендикулярної площині підкладки.

При наявності вимірюваної кутової швидкості Ω виникає змінний гіроскопический момент M_K , що викликає коливання ротора навколо осі, перпендикулярній площині, утвореної вектором вимірюваної кутової швидкості і віссю збудження. Знімання інформації проводиться за диференціальної схемою за допомогою ємнісних датчиків переміщень C . Одну з обкладок ємнісного датчика складає ротор, а другу - електрод у вигляді металевої плівки, напильний на діелектричне підставу.

У ММГ може бути реалізований компенсаційний режим вимірювання зі зворотним зв'язком по моменту за допомогою електростатичного датчика моменту. На рис. 1.15 показаний ще один варіант конструкції ММГ з внутрішнім пружним карданим підвісом, розроблений в ЦНДІ

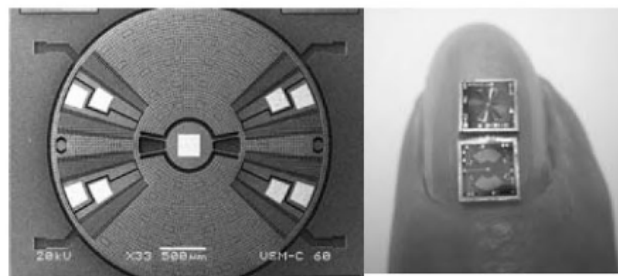


Рис. 1.15 ММГ з внутрішнім пружним карданим підвісом

«Електроприлад». [3]

1.2.3 ММГ LL- типу (гіроскоп з зосередженої масою)

Компанія Analog Devices Inc. одна з перших застосувала технології MEMS для створення мікромеханічних акселерометрів і мікромеханічних гіроскопів LL-типу. В основу конструктивної схеми покладено виконаний з полікристалічного кремнію пружний підвіс чутливого елементу з двома ступенями свободи поступального руху в площині підвісу. На рис. 1.16 показаний варіант конструктивної схеми ММГ з ЧЕ у вигляді зосередженої маси.

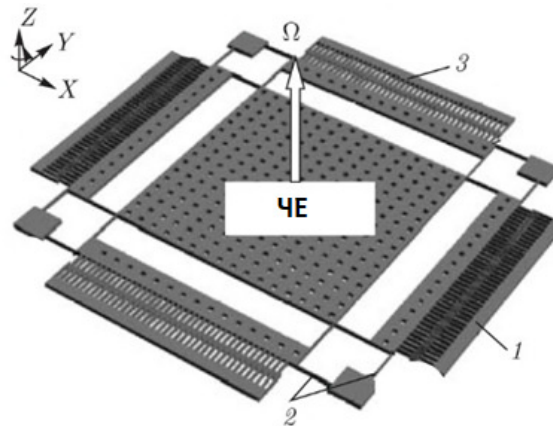


Рис. 1.16 ММГ LL-типу з зосередженою масою

За допомогою гребінчастого електростатичного вібраційного двигуна 1 забезпечується коливальний рух ЧЕ (інерційної маси) уздовж осі X в пружному-підвісі 2. При наявності Ω виникає за рахунок сил Коріоліса переміщення ЧЕ по осі Y є мірою вимірюваної кутової швидкості Ω і визначається за допомогою ємнісного датчика 3.

В іншій конструкції гіроскопа цього типу (рис. 1.17) використовуються два незалежних пружних підвісу двох чутливих елементів на одній підкладці,

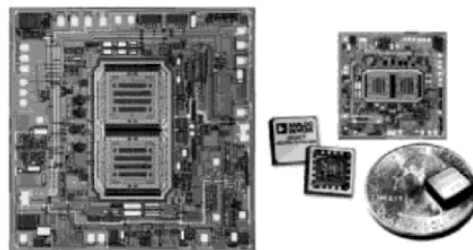


Рис. 1.17 ММГ компанії Analog Devices

об'єднаних диференціальної системою ємнісного знімання, утвореної кожним з чутливих елементів його системою гребінчастих електродів, а також системою електродів, розташованих на підкладці.

Така конструкція ММГ забезпечує зниження похибки гіроскопа від лінійних прискорень, а також від ударів і лінійних вібрацій підстави. Товщина механічної структури підвісу - бмкм. Корпус ММГ не вакуумують, тому, незважаючи на невисоку жорсткість підвісу через його малої товщини і відносно великій площі, достатня стійкість до впливу ударів і вібрацій в напрямку, перпендикулярному площині підкладки, забезпечується повітряною «подушкою», що виникає в зазорі між підкладкою і поверхнею чутливого елемента. Добротність підвісу по робочим ступеням свободи внаслідок повітряного демпфірування невисока (~ 45), однак ця обставина дозволяє реалізувати в ММГ просту схему прямого вимірювання шляхом введення досить великої величини розладу (~ 300 Гц) власних частот коливань чутливого елемента по робочим і інформаційним ступеням свободи. Власна частота підвісу ~ 15 КГц. Для роботи двигуна використовується напруга з амплітудою 12В, яка забезпечує в режимі резонансу амплітуду коливань чутливого елемента 10 мкм, стабілізуємого за допомогою контуру зворотного зв'язку. Для реєстрації надзвичайно малих, внаслідок невеликої добротності підвісу, переміщень розроблена високочутлива місткість система знімання сигналу, що дозволяє при номінальній величині переміщення чутливого елемента порядку 10^{-10} См вимірювати його з похибкою близько $16 \cdot 10^{-15}$ м. Прилад розміщується в керамічному корпусі розміром 7 x 7 x 3 мм і має масу менше 1 м.

Перевагою цього ММГ є розташування сервісної електроніки в інтегральному виконанні на одній підкладці з механічною структурою в одному чіпі, що істотно знижує рівень паразитних і шумових сигналів в системі знімання. В якості гідності ММГ слід також відзначити відсутність необхідності вакуумування корпусу гіроскопа. [3]

1.3 Фото зразків гіроскопів

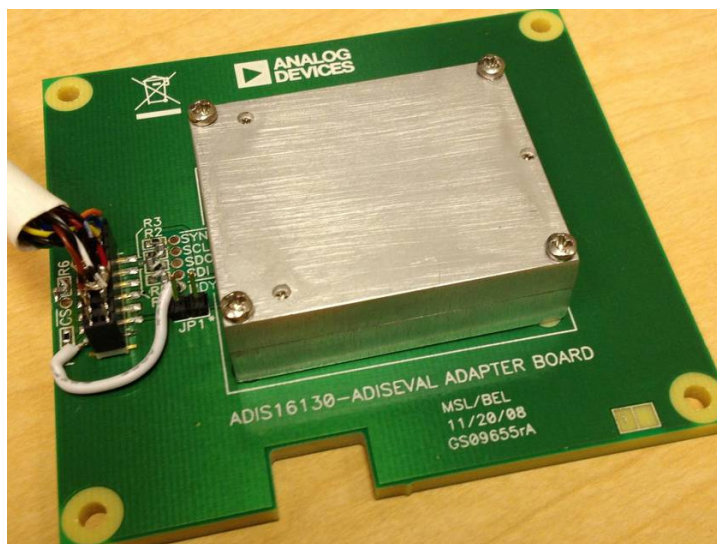


Рис. 1.18 Analog Devices ADIS16130[5]



Рис. 1.19 BAE Systems - SIRSS01[**Error!**
Reference source not found.]

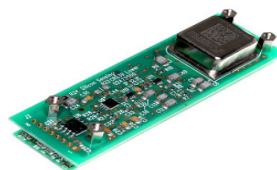


Рис. 1.20 Silicon Sensing – CRS39[6]



Рис. 1.21 BOSCH Sensortec – BMG250[7]

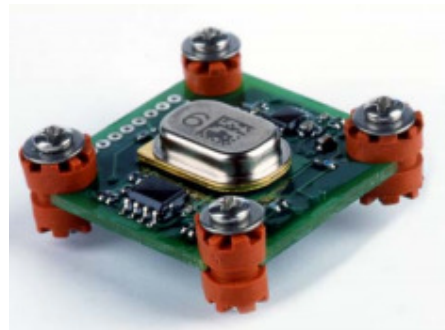


Рис. 1.22 Systron Donner Inertial - LCG50[8]

1.4 ВИСНОВКИ

Загальною конструктивною ознакою мікромеханічних гіроскопів - вібраційних датчиків кутової швидкості, є використання в них різних за конфігурацією двоступеневих пружних підвісів чутливого елемента. Принцип роботи ММГ полягає в створенні щодо корпусу знакозмінного поступального або обертового руху ЧЕ по одній з ступенів свободи і вимірі переміщень по іншій мірі свободи, що виникають під дією коріолісових сил або гіроскопічних моментів при наявності переносної кутової швидкості корпусу.

Залежно від типу руху ЧЕ в підвісі, ММГ можна розділити на три групи:

- ММГ RR-типу - з обертовим рухом ЧЕ по обидвом ступеням свободи;

- ММГ RL-типу - з обертовим рухом по одній ступені свободи і з поступальним - по іншій;

- ММГ LL-типу - з поступальною ходою по обом ступеням свободи.

У кожній з виділених груп кількість можливих варіантів схем ММГ може бути дуже велике. Вони можуть бути наступними:

- ГМП — гіроскоп з маятниковим підвісом;
- ГКП — гіроскоп з карданим підвісом;
- ГК — гіроскоп камертоний;
- ГСМ — гіроскоп зосередженою масою;
- ГРМ — гіроскоп з розподіленою масою. [9]

РОЗДІЛ 2. НЕІДЕАЛЬНОСТІ РЕЗОНАТОРА ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ПОХИБКАМИ КВГ

2.1 Різномодальність

Як вказувалося вище основною причиною похибок КВГ є технологічні похибки виробництва резонаторів і неоднорідність матеріалу. Найбільш істотний вплив на похибку КВГ має неоднорідність розподілу маси по окружній координаті резонатора, що виникає в результаті різниці в товщині оболонки. Як показує аналіз Фур'є, різниця в товщині напівсферичної оболонки вздовж окружної координати, для другої робочої моди ($n = 2$) коливань, коли є чотири вузли та пучності вздовж периметра резонатора, максимальний вплив на похибку КВГ має четверта гармоніка масового дебалансу. У результаті наявності таких дефектів, власна частота коливань резонатора розщеплюється на дві частоти. Четверта гармоніка розподілу маси вздовж обода резонатора дає наступні значення розщеплення частот: $\Delta\omega$ рис. 5.1 показує простий розподіл товщини оболонки з великою компонентою на 4-й гармоніці, при якому товщина оболонки на чотирьох однаково дистанційованих точках більше, ніж в інших точках.

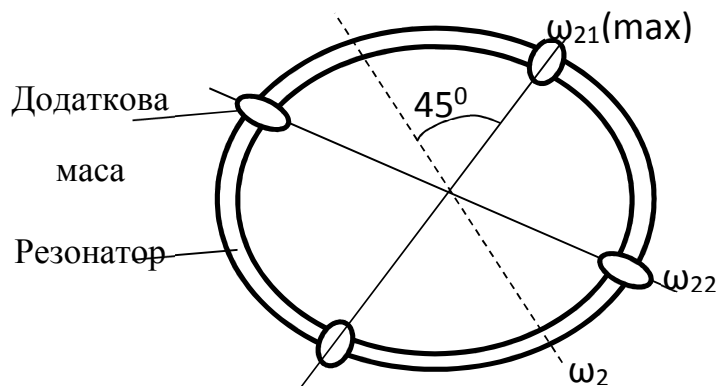


Рис.2.1. Розташування осей жорсткості у резонаторі

Кафедра АКСУ				НАУ 20 04 77 000 ПЗ			
Виконав	Дукаєнко Ю.С.			Неідеальності резонатора та їх зв'язок з похибками КВГ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чіковані В.В.					33	93
Консульт.	Чіковані В.В.				602 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.						
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

Напівсферична оболонка, як правило, згладжує локальні жорсткості (або пружності), через варіації товщини, основний внесок дається четвертою гармонікою варіації маси. Тому, якщо стояча хвиля розташована з вузлами вздовж суцільної осі (див. рис. 2.1), а резонатор розглядається як лінійна коливальна система другого порядку, має приблизно однаковий коефіцієнт жорсткості, але трохи більше ваги, то резонансна частота коливань хвилі, пучності якої встановлюються вздовж пунктирних осей трохи вище, ніж частота другій моди $n = 2$. Дві різні частоти нормальних мод, кожна з яких відповідає зокрема розташуванню стоячій хвилі, що призводить до стоячої хвилі, створений так, що її пучності розташовуються десь між нормальними осями, між якими кут $\theta = 45^\circ$ для номера моди $n = 2$.

Для визначення результуючого руху хвилі, необхідно розкласти хвилю на компоненти вздовж нормальних осей. Оскільки ці компоненти коливаються з різними частотами, спочатку складена стояча хвиля перестає бути стоячою хвилею; розвивається компонента бігучої хвилі. Це також можна пояснити тим, що створюється квадратурна компонента вторинної хвилі, пучності якої збігаються з вузлами первинної хвилі, що коливається з квадратурною фазою (тобто з фазою 90 град) по відношенню до первинної хвилі. Швидкість дрейфу визначається наступним виразом [10]:

$$\theta = \frac{1}{8} (\Delta\omega)^2 t \sin 4\varphi_0, \quad (2.1)$$

де φ_0 є кут між напрямком коливань і одним з власних осей резонатора (наприклад, осі з мінімальною частотою коливань), $\Delta\omega = \omega_{21} - \omega_{22}$ є розщеплення власної частоти резонатора. З виразу (5.1) можна бачити, що при резонатора, але немає дрейфу хвилі, а коливання представлені чистою стоячою хвилею (без бігучої компоненти). Слід зазначити, що для другої гармоніки резонатора дефект щільності матеріалу визначається виразом:

$$\rho = \rho \quad (2.2)$$

Оцінка значення різночастотності резонатора визначається виразом:

$$\Delta \omega = \frac{8}{5} \varepsilon_2^2 \omega_2 \quad (2.3)$$

Як ми бачимо з цього виразу величини частоти розщеплення є другого порядку малості щодо другої гармоніки дефекту. Слід зазначити, що частота розщеплення через першу і третю гармоніки дефекту також дають величину другого порядку малості. Таким чином, при виготовленні резонатора необхідно звернути особливу увагу на четверту гармоніку дефекту, тому що ця гармоніка набагато більше впливає на похибки КВГ, ніж інші.

Для зменшення цієї похибки як правило використовують балансування мас резонатора. Методика балансування передбачає ітеративний покроковий процес усунення маси з певних місць резонатора (його ободу), вимірювання двох частот і визначення різночастотності. Процедура балансування є найважливішою операцією регулювання приладу, від якої багато в чому залежить його точність. Необхідність балансування резонаторів пов'язана з технологічними відхиленнями їх геометрії від ідеальної осесиметричної форми і з виникненням масового дисбалансу, який призводить до появи розщеплення власної частоти резонатора і зниження його добротності за рахунок розсіювання енергії коливань в опорах. Звідси впливає, що балансування масового дефекту по четвертій гармоніці, також призводить і до зменшення, можливо незначного, різнодобротності.

Механічне балансування резонатора виконується до збірки приладу з використанням спеціального балансувального обладнання. При статичному балансуванні процедура видалення невірноваженої маси повинна бути такою, щоб центр мас резонатора лежав на осі його симетрії з необхідною точністю. Це досягається конструктивною осесиметричністю резонатора і його кріплення до корпусу приладу.

Динамічне балансування повинне бути проведеним таким чином, щоб не порушувати статичного балансування. Звідси впливає умова симетрії розташування мас, що видаляються на кромці резонатора. Необхідна точність

динамічного балансування визначається розщепленням частоти, яке зазвичай досягає 0.01-0.03 Гц. Мінімальна залишкова розщеплення частоти після проведення динамічного балансування визначається температурною залежністю розщеплення частоти.

2.2 Різнодобротність

Іншим важливим джерелом дрейфу КВГ є нерівномірний розподіл джерел демпфування (загасання) коливань в резонаторі. Як і у випадку варіації товщини оболонки, що призводить до розщеплення частоти, що вже говорилося раніше, це четверта гармоніка розподілу джерел демпфування по окружній координаті, виробляє ефект. Рис.2.2 показує спрощений розподіл

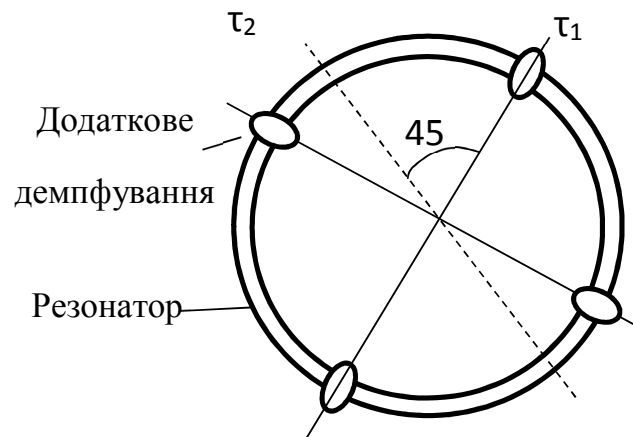


Рис.2.2. Розташування осей демпфування джерел демпфування з більшої четвертої гармонікою. Демпфуючий матеріал володіє тим властивістю, що він гальмує коливання резонатора пропорційно радіальній швидкості оболонки в напрямку де є джерело демпфування, тоді стояча хвиля з її пучністю розташованої в місцях джерела демпфування буде мати нижчу добротність Q (нижче час τ загасання амплітуди коливань в $e \approx 2.7$ разів) ніж стоячій хвилі, вузли якої лежать на місцях розташування джерел демпфування. Для того щоб зрозуміти характер дрейфу стоячої хвилі, розкладемо стоячу хвилю на складові вздовж двох головних осей демпфування (суцільна і пунктирна осі на рис. 2.2) [11].

Амплітуди цих двох компонентів демпфування загасають зі швидкістю

швидкістю, а амплітуда контуру управління підтримує квадратний корінь з суми квадратів амплітуд двох хвиль на заданій величині, компоненти з більш низькою постійною часу демпфірування повністю загасають, і стояча хвиля зрештою встановлюється по осі найменшою постійною часу τ .

На рис. 2.3 наведено графік дрейфу стоячій хвилі в залежності від кута хвилі θ . Це синусоїдальна крива в піковому значенні пропорційній різниці: $1/\tau_1 - \tau_2$, де $\tau_1 < \tau_2$. Так як добротність $Q = \omega\tau/2$, тоді можна записати:

$$\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2} = \frac{\omega_1}{2Q_1} - \frac{\omega_2}{2Q_2} \quad (2.4)$$

Тобто синусоїдальний дрейф КВГ залежить як від різночастотності, так і від різнодобротності.

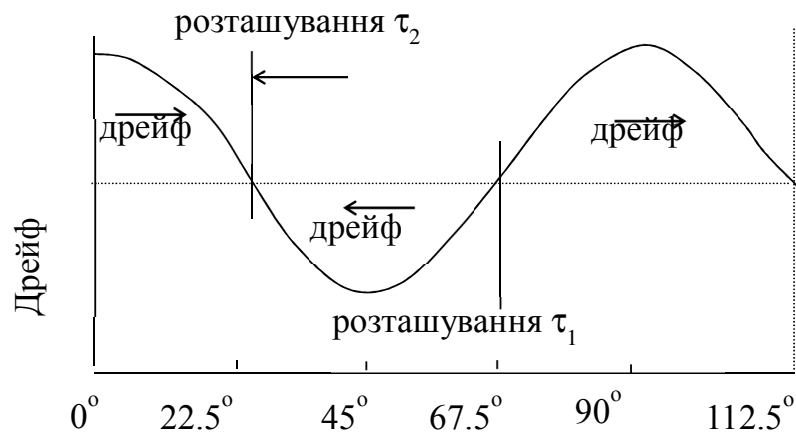


Рис2.3. Синусоїдальний дрейф КВГ, що залежить від кута θ орієнтації хвилі відносно його корпусу.

2.3 Узагальнена динамічна модель коливань резонатора

Модель двовимірного маятника

Для того, щоб забезпечити адекватну базу для аналізу всіх МЕМС і не-МЕМС КВГ, треба записати рівняння, що узагальнюють похибки та які визначають демпфування, різні резонансні частоти та коефіцієнти демпфування двох мод коливань. Виведення таких узагальнених двовимірних

рівнянь осцилятора виконується в роботі [12] для моди $n = 2$. Ці рівняння мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} - k(2\Omega\dot{y} + \dot{\Omega}y) + \frac{2}{\tau}\dot{x} + \Delta\left(\frac{1}{\tau}\right)(\dot{x}\cos 2\theta_\tau + \dot{y}\sin 2\theta_\tau) + \\
 (\omega^2 - k\Omega^2)x - \omega\Delta\omega(x\cos 2\theta_\omega + y\sin 2\theta_\omega) &= f_x; \\
 \ddot{y} + k(2\Omega\dot{x} + \dot{\Omega}x) + \frac{2}{\tau}\dot{y} + \Delta\left(\frac{1}{\tau}\right)(-\dot{x}\sin 2\theta_\tau + \dot{y}\cos 2\theta_\tau) + \\
 (\omega^2 - k\Omega^2)y - \omega\Delta\omega(x\sin 2\theta_\omega + y\cos 2\theta_\omega) &= f_y; \tag{2.5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega^2 &= \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2}; \quad \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}\right); \quad \dots \quad \omega\Delta\omega = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2}; \quad \frac{1}{\tau} \\
 &= \frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2};
 \end{aligned}$$

Параметри рівняння (2.5) роз'яснюються на рис. 2.4.

Маса m на рис.2.4 представляє елемент маси на ободі резонатора, що коливається. Рівняння (2.5) нормовані на масу, що коливається, тому права і ліва частини рівняння мають розмірність лінійного прискорення, а сили у правих частинах є ті, які припадають на одиницю маси. Ці рівняння, що описують коливання первинної моди по осі X і вторинної моди по осі Y , називаються рівняннями в швидких змінних, так як відхилення від рівноважного положення маси резонатора по обох координатах відбуваються з частотою близькою до резонансної. У цих рівняннях враховано, що в резонаторі є дві осі з максимальною ω_1 і мінімальною ω_2 резонансними частотами коливань. Також є дві осі з мінімальним τ_1 і максимальним τ_2 часом загасання вільних коливань, що еквівалентно мінімальній Q_1 і максимальній Q_2 добротності резонатора, так як $Q = \omega * \tau/2$. Причому, вісь мінімальної резонансної частоти має кут θ_ω з напрямком первинних коливань, а вісь мінімальної добротності становить кут θ_τ з напрямком первинних коливань, як показано на рис.2.4.

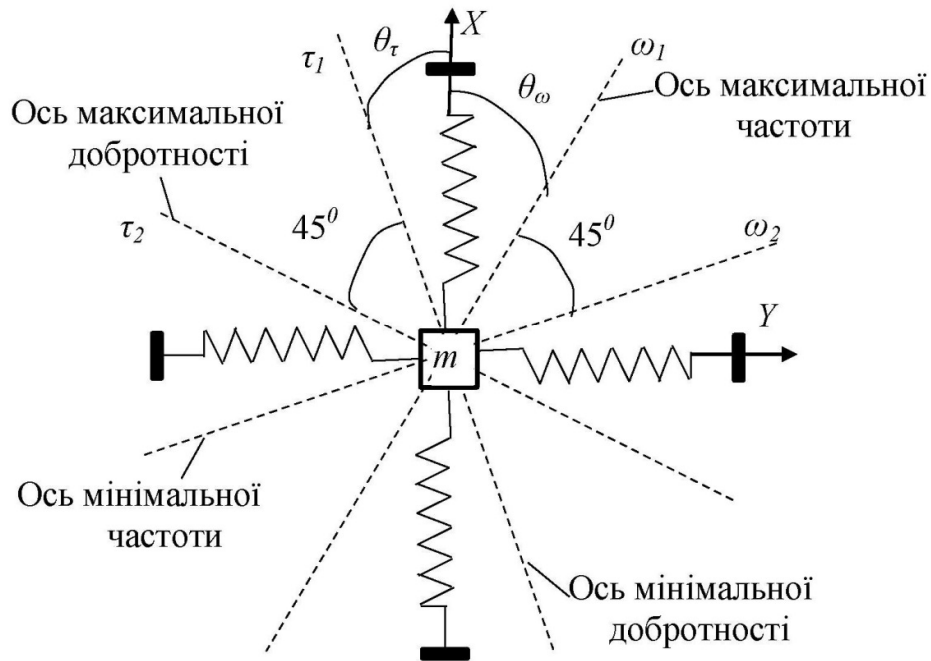


Рис 2.4. До моделі двомірного маятника

Крім того, враховуються члени, обумовлені наявністю кутового прискорення $\dot{\Omega}$ і доцентрового прискорення Ω^2 , які в подальшому не братимуться до уваги в зв'язку з їх не значним розміром. Дійсно, $x\dot{\Omega}$ менше, ніж Ωx в стільки разів, у скільки резонансна частота більше максимальної частоти зміни вимірюваної кутової швидкості, це зазвичай приблизно 40 – 50 разів. Максимальне значення Ω^2 при більшості застосувань менше ω^2 приблизно в 10^4 разів.

2.4. Робота вібраційного гіроскопа в режимі датчика кута

В режимі датчика кута, який також називають інтегруючим режимом, сила Коріоліса не компенсується, в результаті чого стояча хвиля обертається. Кут повороту хвилі є пропорційний куту повороту гіроскопа в інерційному просторі. Коефіцієнт пропорційності між цими двома кутами обертання, тобто масштабний коефіцієнт інтегруючого КВГ, що носить також назву коефіцієнт Брайана k або коефіцієнт посилення кута.

$$\theta(t) = -k\alpha(t); \alpha(t) = \int_0^t \Omega(\tau) d\tau; \quad (2.6)$$

де $\theta(t)$ є кут повороту стоячої хвилі відносно КВГ; $\alpha(t)$ - кут повороту КВГ відносно інерційного простору (віддалених зірок).

При відсутності повороту гіроскопа траєкторії руху елементарних мас резонатору являє собою еліпсом, що показаний на рис.2.5.

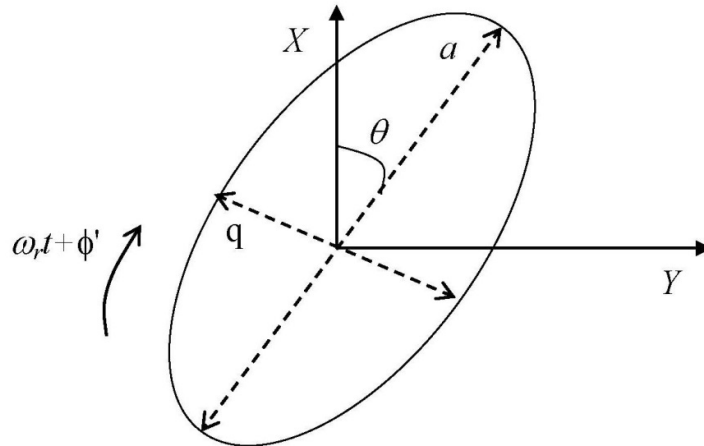


Рис.2.5. Траєкторія руху елементарних мас резонатора у процесі вібрацій

Параметри еліпсу позначаються таким чином: a - амплітуда коливань; q - амплітуда квадратурної компоненти; ω_r - резонансна частота; ϕ' - фаза вібрації; θ є кут повороту стоячої хвилі відносно осі X (електроду збудження).

При повороті гіроскопа еліпс повертається з коефіцієнтом затримки, що дорівнює коефіцієнту Брайана k . Для циліндричного резонатора коефіцієнт Брайана k можна розрахувати за допомогою виразу [13]:

$$k = \frac{n}{n^3 + 1 + \frac{3}{n^2} \left(\frac{r}{h}\right)^2} \quad (2.7)$$

де n є номер моди коливань ($n = 2$); r є радіус циліндру; h є висота циліндру.

Наприклад, для розміру циліндра: $r = 12.5$ мм та $h = 20$ мм, $k = 0.366$. Так, якщо кут повороту КВГ щодо інерційного простору становить 90° , кут повороту стоячої хвилі відносно електроду збудження резонатора КВГ становить $\theta = -0,366 * 90^\circ = -32.91$. Розрахунки, що проведені в роботі показали, що коефіцієнт Брайана для напівсферичного резонатора дорівнює $k = 0.277$.

Недосконалість виготовлення резонатора та дії зовнішніх сил призводять до того, що параметри α, q, ϕ' та θ змінюються з часом. Вони

змінюються значно повільніше, ніж період вібрації $T = \frac{2\pi}{\omega_r}$. Для того, щоб обчислити параметри α, q, ϕ' та θ , демодуляція повинна бути використана на основі змішування сигналів $X_{out}(t)$ і $Y_{out}(t)$ з опорними сигналами $\sin\omega_r t$ і $\cos\omega_r t$ і фільтрацією подвійної резонансної частоти для отримання чотирьох демодульованих змінних C_x, S_x, C_y, S_y , як показано на рис.2.6.

Параметри α, q, ϕ' та θ обчислюються за такими виразами [14]:

$$\begin{aligned} \alpha &= \sqrt{\frac{1}{2}(E + \sqrt{E^2 - P^2})}; q = \sqrt{\frac{1}{2}(E - \sqrt{E^2 - P^2})}; \\ E &= C_x^2 + S_x^2 + C_y^2 + S_y^2; P = 2(C_x S_y - C_y S_x); \\ \theta &= \frac{1}{2} \arctan \frac{2(C_x C_y + S_x S_y)}{C_x^2 + S_x^2 - C_y^2 - S_y^2}; \\ \phi' &= \frac{1}{2} \arctan \frac{2(C_x S_x + C_y S_y)}{C_x^2 - S_x^2 + C_y^2 - S_y^2}; \end{aligned} \quad (2.8)$$

Метою системи керування КВГ, працюючою в інтегруючому режимі є утримання параметрів стоячої хвилі під час роботи на наступних значеннях:

$$P = 0 \rightarrow q = 0, \alpha^2 = E = const, \phi' = 0; \quad (2.9)$$

Таким чином, при роботі КВГ в інтегруючому режимі, сигнал квадратури q треба компенсувати до нуля, шляхом компенсації параметра P , треба також стабілізувати квадрат амплітуди коливань (тобто енергію коливань) на постійному заздалегідь обраному значенні, і компенсувати фазу вібрації ϕ' , що призводить до того, що збудження відбувається на резонансній частоті.

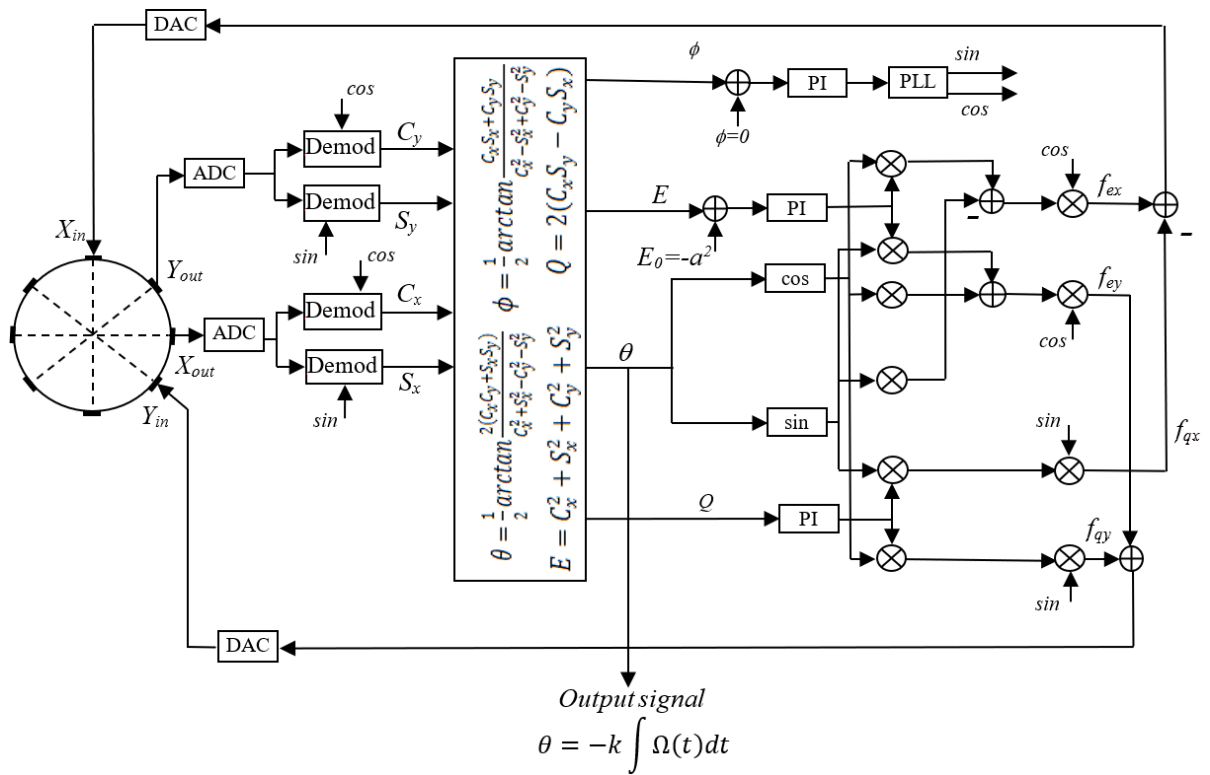


Рис.2.6. Структурна схема КВГ працюючого в режимі виміру кута повороту

Структурна схема системи управління, яка забезпечує виконання співвідношень (2.4) для параметрів стоячої хвилі, представлена на рис.2.6. Вихідним сигналом КВГ, працюючим в інтегруючому режимі, є кут повороту $\theta(t)$ стоячої хвилі. Для розрахунку кута повороту КВГ в інерціальному просторі треба вихідний сигнал $\theta(t)$ поділити на масштабний коефіцієнт інтегруючого режиму КВГ, тобто на коефіцієнт Брайана k . Для зменшення похибок вимірювання квадратурна компонента компенсується $q \rightarrow 0$ системою управління КВГ.

Коли КВГ працює в режимі інтегрування швидкості, тобто виміру кута повороту, залишкова (після процедури балансування) різнодобротність ΔQ призводить до нечутливості КВГ до малих кутових швидкостях через синхронізацію первинного та вторинного мод коливань (за аналогією з кільцевим лазерним гіроскопом). Поріг нечутливості або так званої мертвої зони Ω_m визначається наступним виразом [15]:

$$\Omega_{thr} \approx \frac{1}{2k} \left| \Delta \left(\frac{1}{\tau} \right) \right| + \frac{1}{k} \frac{q}{a} |\Delta \omega|, \quad (2.10)$$

де q - амплітуда квадратури, a - амплітуда вібрації (див. розділ 2).

Як правило, $\Delta\omega$ близький до нуля після процедури балансування та компенсації за допомогою системи управління з негативним зворотним зв'язком. Таким чином, поріг мертвої зони, в основному, визначається першим доданком виразу (2.11), який пропорційний різнодобротності ΔQ :

$$\tau = 1\tau_1 - 1\tau_2 \approx \Delta Q Q_1 \tau . \quad (2.11)$$

Ця помилка не може бути компенсована за допомогою негативного контуру зворотного зв'язку, оскільки вона має таку ж частоту і фазу, що і кутова швидкість, що вимірюється.

Поведінка вихідної характеристики інтегруючого КВГ представлена на рис. 2.7 [10]. З малюнка видно, що коли $\Omega < \Omega_{thr}$, відсутнє обертання стоячої хвилі (мертва зона), коли $\Omega > \Omega_{thr}$ вихідна характеристика нелінійна.

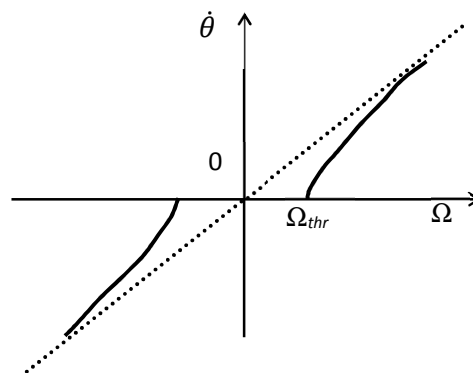


Рис. 2.7. Зона нечутливості у інтегруючому КВГ

Лише коли $\Omega \gg \Omega_{thr}$ кутова швидкість повороту стоячої хвилі лінійно залежить від кутової швидкості КВГ.

Один з можливих методів для подолання мертвої зони є віртуальне обертання стоячої хвилі з кутової швидкістю, що значно перевищує Ω_{thr} та виводить КВГ у зону лінійності вихідної характеристики.

На рис. 2.8 представлений вихідний сигнал інтегруючого КВГ при вимірюванні постійної кутової швидкості 90 град/с. Періодичність вихідного сигналу обумовлена тим, що кут θ визначається функцією \arctg (див. вираз для кута θ в (2.3)), яка повторюється на кожному інтервалі $\left[-\frac{\pi}{2}j; \frac{\pi}{2}j\right]$, де j є ціле число.

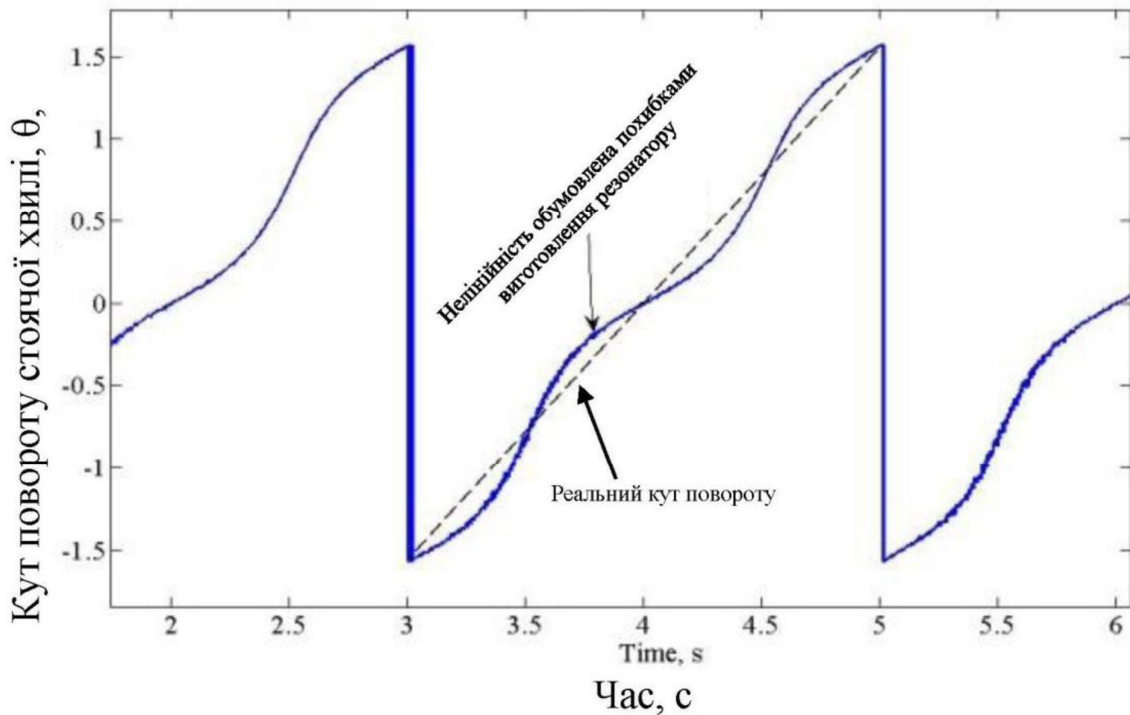


Рис.2.8. Вихідної сигнал інтегруючого КВГ при вимірюванні постійної кутової швидкості 90 град/с

2.5 ВИСНОВКИ

В режимі датчика кута, який також називають інтегруючим режимом, сила Коріоліса не компенсується, в результаті чого стояча хвиля обертається. В цей час можуть виникати похибки, які викликані або недосконалістю виготовлення, різнодобротність та різночастотність, або зовнішніми чинниками.

Метою системи керування КВГ в інтегруючому режимі є утримання параметрів стоячої хвилі під час роботи на наступних значеннях:

$$P = 0 \rightarrow q = 0, \alpha^2 = E = const, \phi' = 0$$

В режимі інтегрування швидкості залишкова (після процедури балансування) різнодобротність ΔQ призводить до нечутливості КВГ до

малих кутових швидкостей через синхронізацію первинної та вторинної мод коливань. Поріг нечутливості або так званої мертвої зони Ω_m визначається наступним виразом [15]:

$$\Omega_{thr} \approx \frac{1}{2k} \left| \Delta \left(\frac{1}{\tau} \right) \right| + \frac{1}{k} \frac{q}{a} |\Delta\omega|, \quad (2.10)$$

де q - амплітуда квадратури, a - амплітуда вібрації (див. розділ 2).

Компенсувати цю похибку можна лише віртуальним обертанням стоячої хвилі з кутової швидкістю, що значно перевищує кутову швидкість КВГ та виводить його у зону лінійності вихідної характеристики.

РОЗДІЛ 3. МАТЛАБ-СИМУЛІНК МОДЕЛЬ ФНТЕГРУЮЧОГО РЕЖИМУ РОБОТИ КВГ

3.1. Симулінк модель інтегруючого режиму з віртуальним обертанням хвилі

На основі узагальненої динамічної моделі коливань двовимірного маятника, що представлена в п.2.4 була розроблена матлаб-симулінк модель

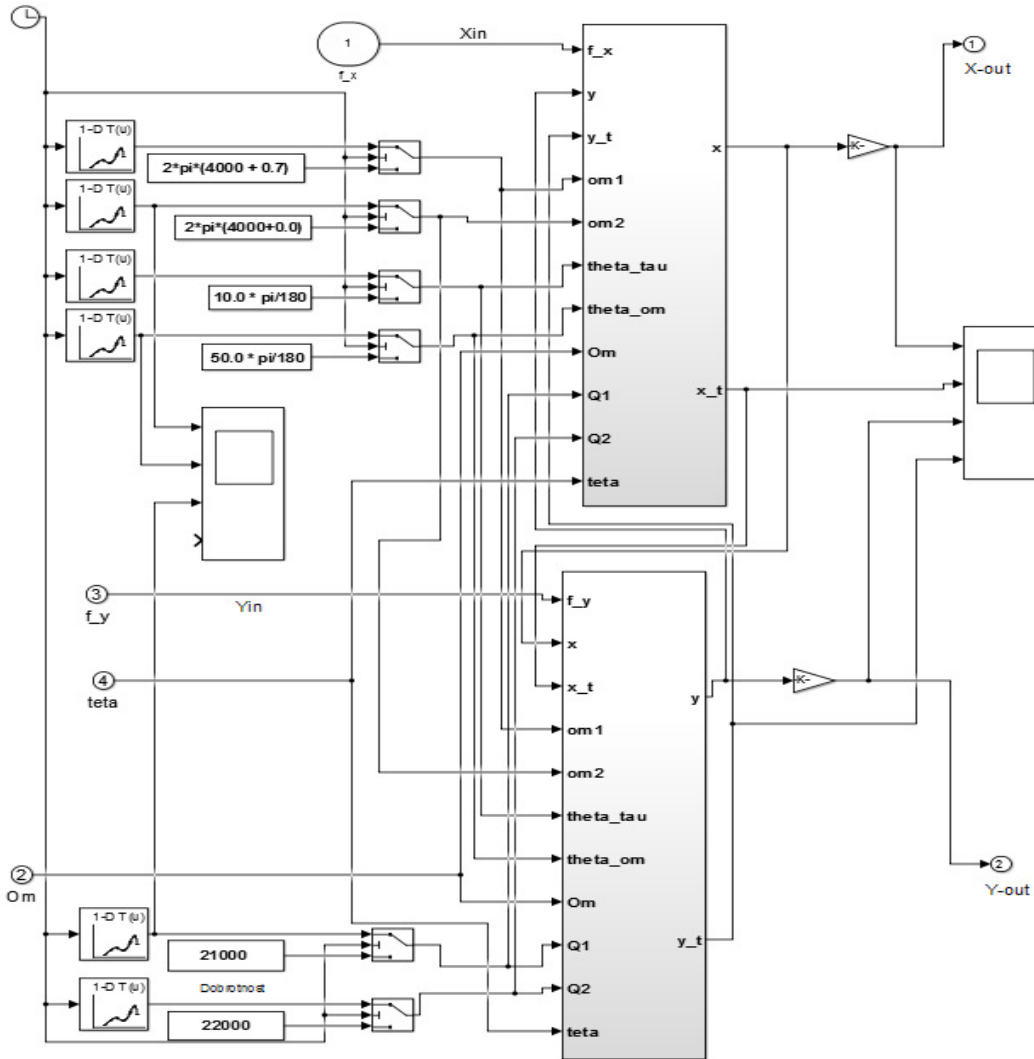


Рис. 3.1. Симулінк модель чутливого елемента КВГ

Кафедра АКСУ			НАУ 20 04 77 000 ПЗ			
Виконав	Дукаценко Ю.С.		Матлаб-Симулінк модель інтегруючого режиму роботи КВГ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чиковані В.В.				46	93
Консульт.	Чиковані В.В.			602 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.			46		
Зав. каф.	Тачиніна О.М.					

чутливого елементу МЕМС КВГ, з урахуванням наявності електродів з різними параметрами, які в результаті призводять до різних коефіцієнтам перетворення деформації в напругу і напруги в деформацію по осях X і Y збудження коливань і знімання інформації, як це закладено в практичних приладах [10].

У цій моделі можна встановлювати кути осей максимальною і мінімальною частоти (жорсткості) і добротності (демпфірування), а також величини різночастотності і різнодобротності. На представленій схемі встановлені наступні параметри резонатора: резонансна частота 4000 Гц, різночастотність 0.07 Гц, добротність 21000, різнодобротність 1000. Металеві резонатори як правило мають низьку добротність, однак, віброюча маса у них висока і, як результат, мають високу чутливість до малих кутових швидкостей при малій добротності.

Верхній блок реалізує коливання уздовж осі X. Симулінк схема цього блоку представлена на рис.3.2, а нижній блок реалізує коливання уздовж осі Y.

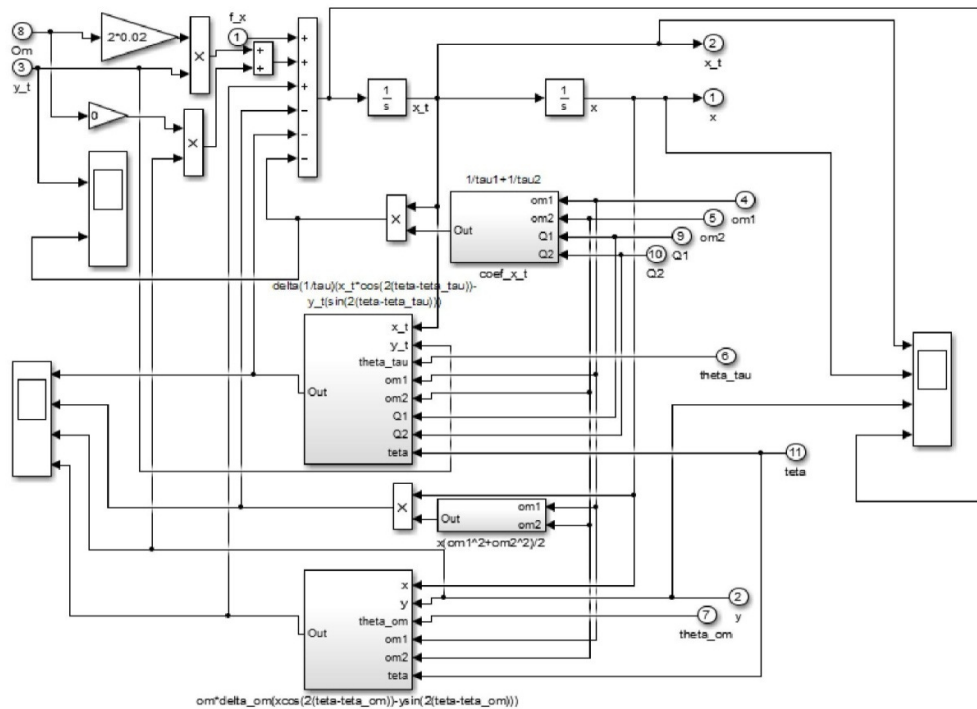


Рис.3.2. Блок, що описує коливання вздовж осі X

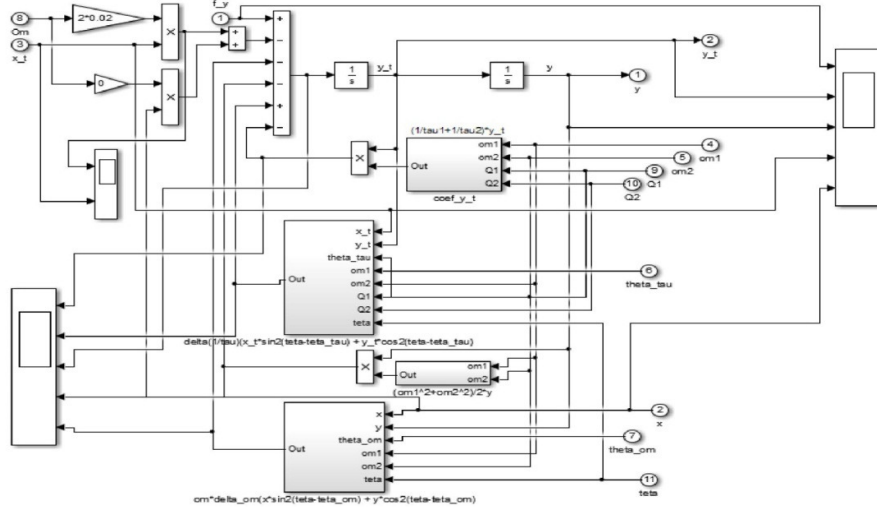


Рис.3.3. Блок, що описує коливання вздовж осі Y

Блок схема системи управління та обробки інформації КВГ працюючого у режимі датчика кута представлена на рис.3.4. Його симулінк модель з блоками, що генерують віртуальне обертання стоячій хвилі і віднімають створене штучним чином обертання з сумарного сигналу реального обертання і віртуального обертання для отримання реального кута повороту гіроскопа, позначена пунктирними колами на рис.3.4.

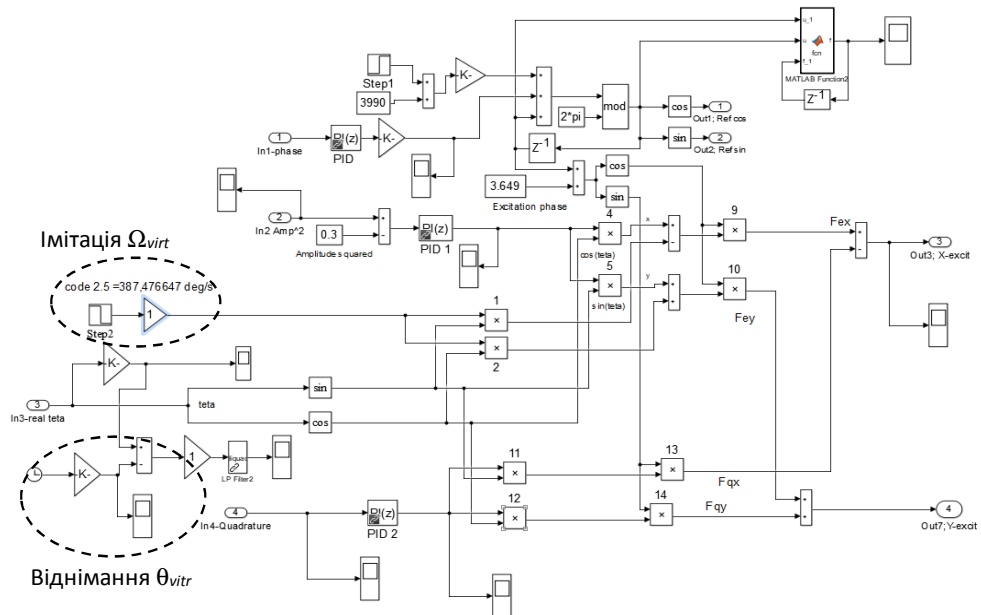


Рис.3.4. Симулінк схема блоку управління з віртуальним обертанням

Результуюча Simulink модель повної нелінійної моделі вібраційного гіроскопа працюючого в інтегруючому режимі представлена на рис. 3.5.

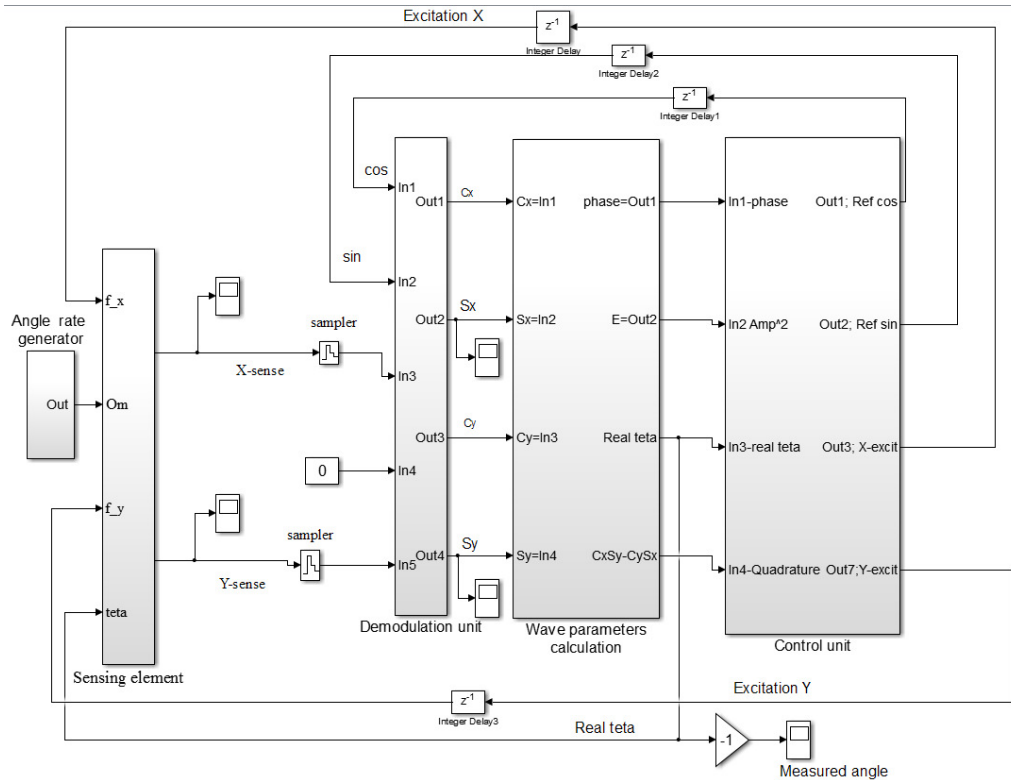


Рис. 3.5. Повна нелінійна модель КВГ працюючого в інтегруючому режимі

3.2. Моделювання траєкторії руху точки на ободі резонатора

На рис.3.6 представлена траєкторія руху точкової маси на ободі резонатора для ідеально виготовленого резонатора, тобто різночастотність дорівнює нулю ($\Delta F=0$) і різнодобротність також дорівнює нулю ($\Delta Q=0$). З рисунку бачимо, що траєкторія є пряма лінія (немає еліпсу), напрямком коливань уздовж якої обертається по окружному куту θ .

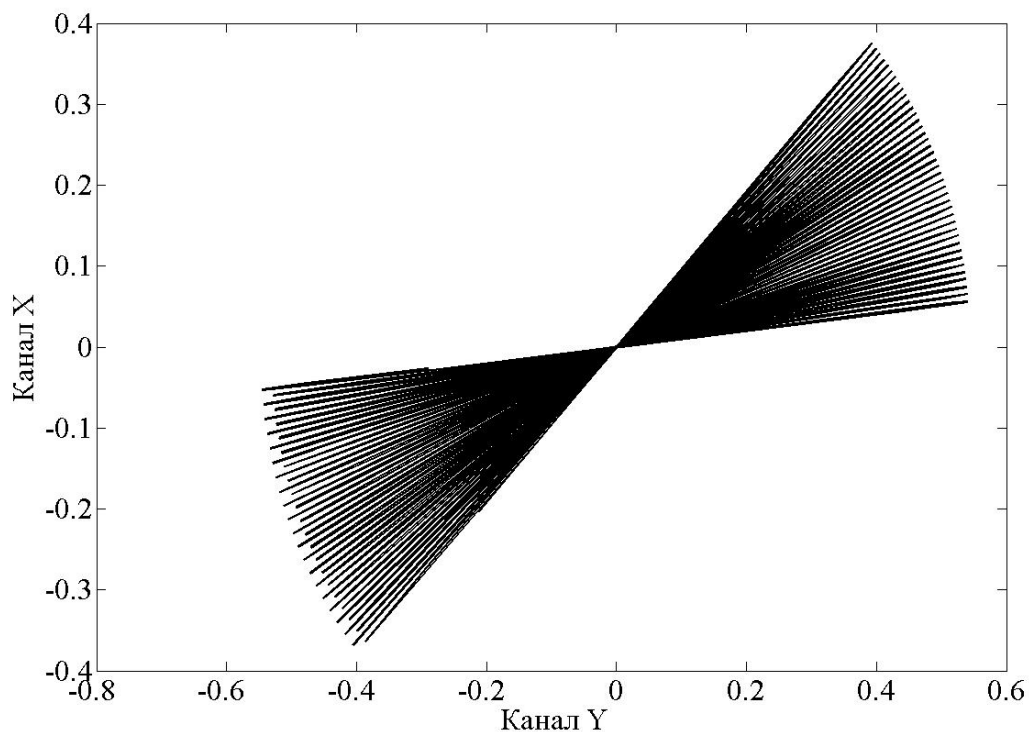


Рис.3.6. Траєкторія руху точкової маси на ободі ідеального резонатора коли $\Delta F=0$ і $\Delta Q=0$

Рис. 3.7 показує траєкторію руху точкової маси на ободі резонатора для не ідеального резонатора, коли він має різночастотність $\Delta F=5$ Гц, обумовлену дебалансом мас резонатора, але різнодобротність дорівнює нулю. Як бачимо траєкторія має еліптичність, проте точки перетину нейтрального положення, коли резонатор не є деформований, не розмиті, тобто також як у ідеального резонатора.

На рис.3.8 представлена траєкторія руху точкової маси на ободі резонатора для не ідеального резонатора, коли він немає різночастотності ($\Delta F=0$), однак має різнодобротність, що дорівнює $\Delta Q=1000$, обумовлену залежністю коефіцієнта демпфування резонатора від кута стоячої хвилі θ .

Як бачимо траєкторія також має еліптичність, проте точки перетину нейтрального положення, коли резонатор не є деформований, розмиті. Різнодобротність у вібраційних гіроскопах створюють значно більше проблем при проектуванні КВГ в порівнянні з різночастотністю і, як ми показали вище, головна проблема це є зона нечутливості до малих кутовим швидкостям.

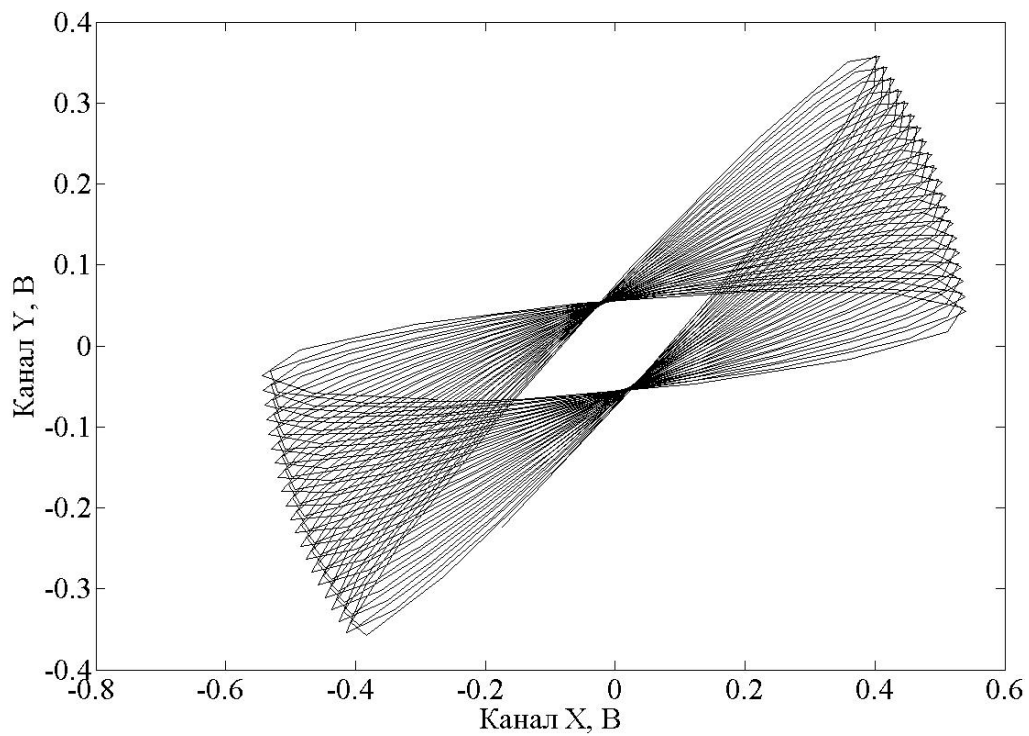


Рис.3.7. Траєкторія руху точкової маси на ободі не ідеального резонатора коли $\Delta F=5$ Гц і $\Delta Q=0$

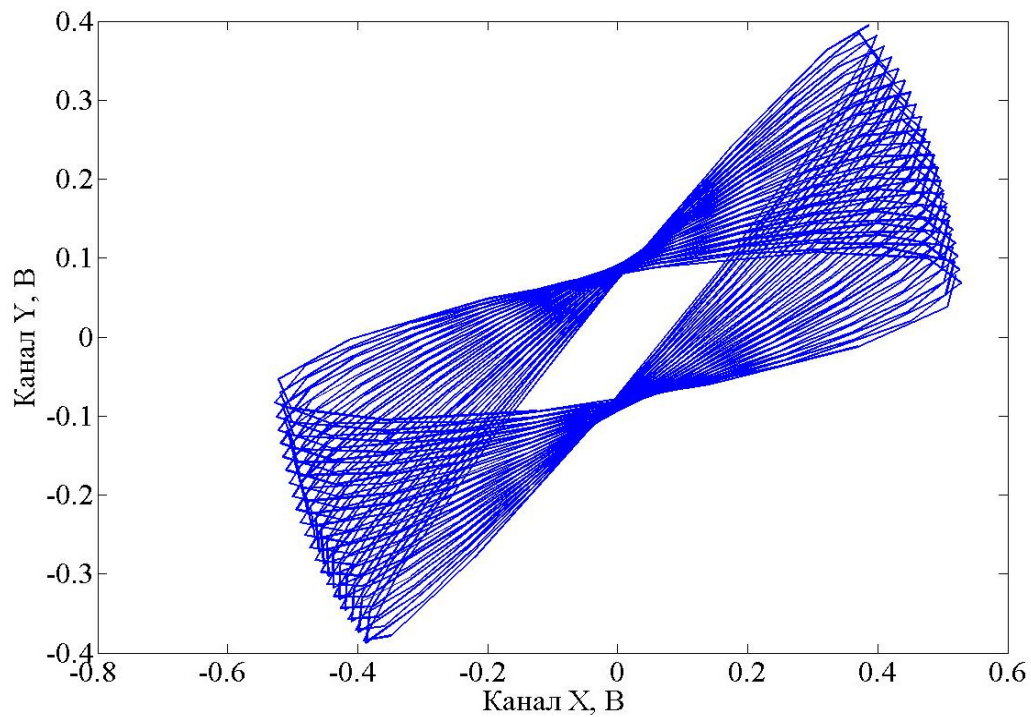


Рис.3.8. Траєкторія руху точкової маси на ободі не ідеального резонатора, коли $\Delta F=0$ Гц і $\Delta Q=1000$

На рис.3.9 представлена траекторія руху точкової маси на ободі резонатора для не ідеального резонатора, коли він має і різночастотність, що дорівнює 5 Гц ($\Delta F=5$ Гц), і має різнодобротність, що дорівнює $\Delta Q=1000$. Тобто і жорсткість (маса) і джерела демпфування у матеріалі резонатора розподілені не рівномірно по окружному кутку.

З рисунку бачимо, що траекторія точкової маси перетинаються, формуючи складну поверхню. Це говорить про те, що для отримання максимальної точності вимірів кута повороту бажано, щоб різнодобротність та різночастотність були мінімальні.

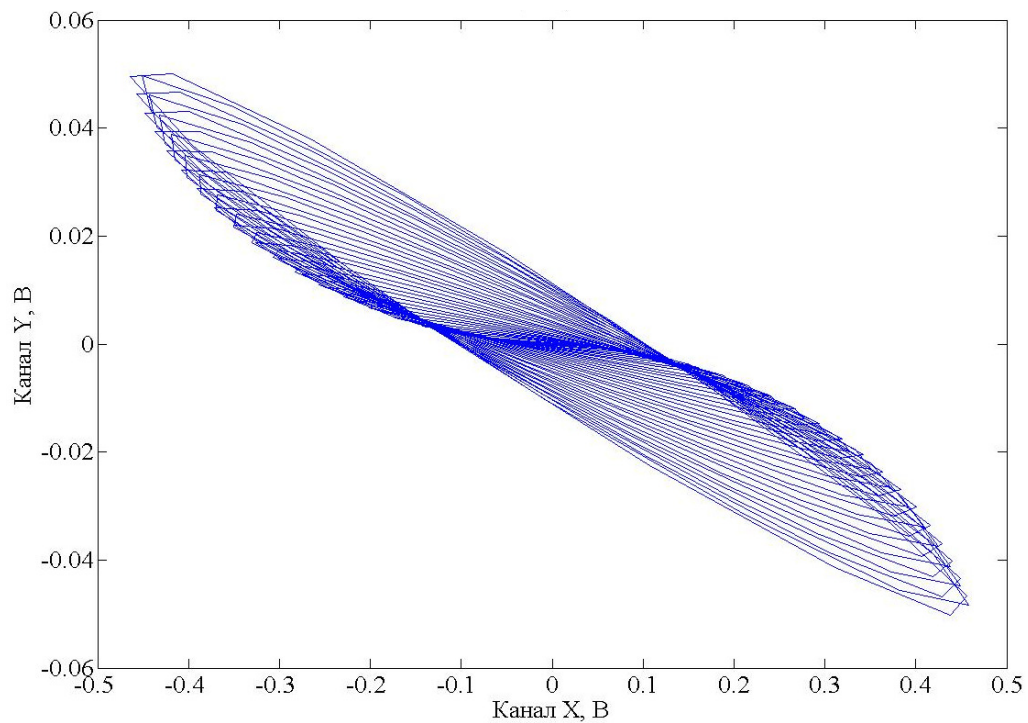


Рис.3.9. Траекторія руху точкової маси на ободі ідеального резонатора коли $\Delta F=5$ Гц і $\Delta Q=1000$

На рис.3.10 представлена траекторія руху точкової маси на ободі резонатора, коли він немає дуже велику різночастотність, що дорівнює 20 Гц ($\Delta F=20$ Гц), і не має різнодобротність $\Delta Q=0$.

На рис.3.11 представлена траєкторія руху точкової маси на ободі резонатора, коли він немає дуже велику різнодобротність, що дорівнює 7000 ($\Delta Q = 7000$), і не має різночастотності $\Delta F=0$.

Як бачимо порівнюючі ці два рисунку різнодобротність більше суттєво впливає на точність виміру кута обертання ніж різночастотність.

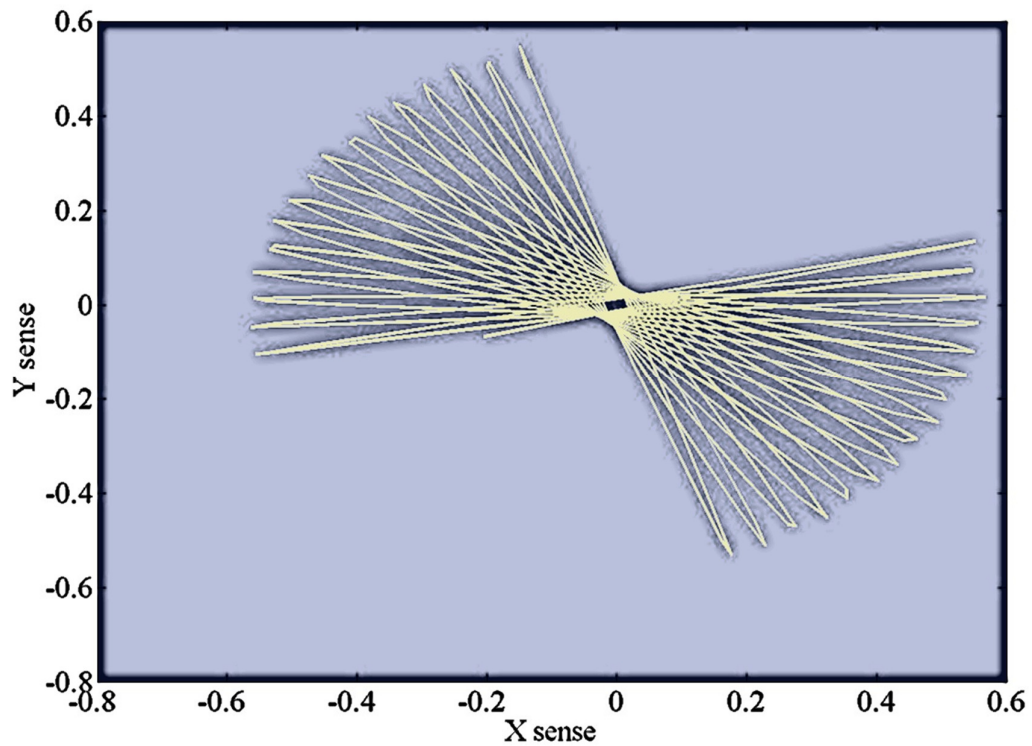


Рис.3.10. Траєкторія руху точкової маси на ободі не ідеального резонатора коли $\Delta F=20$ Гц і $\Delta Q=0$

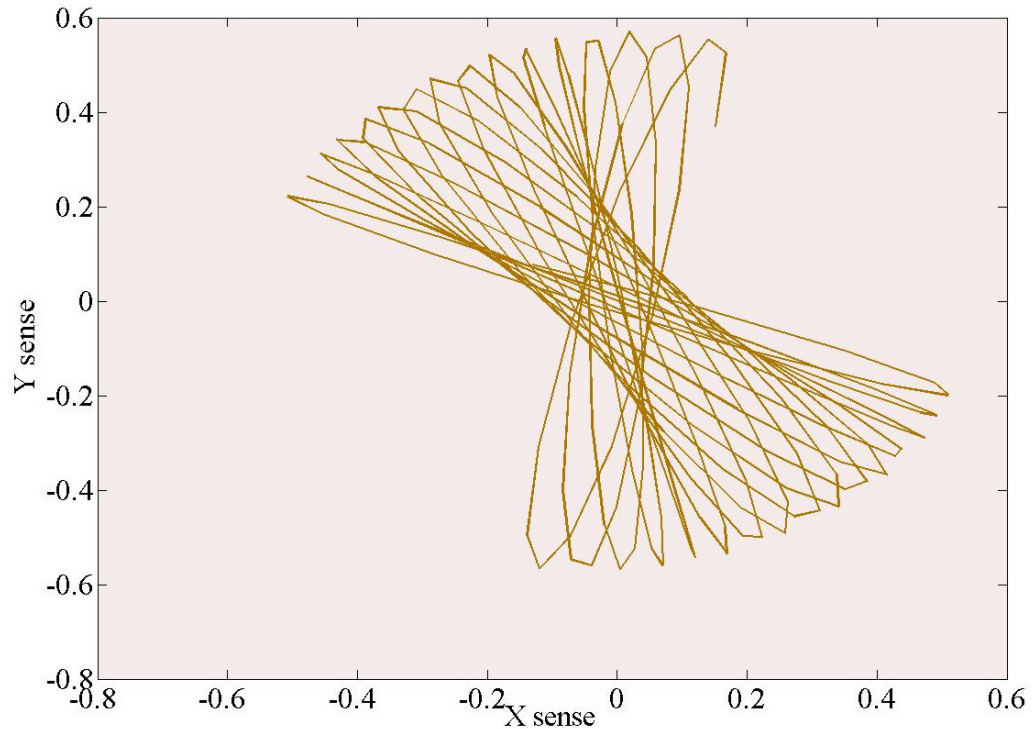


Рис.3.11. Траекторія руху точкової маси на ободі не ідеального резонатора коли $\Delta F=0$ Гц і $\Delta Q=7000$

3.3 ВИСНОВКИ

На основі узагальненої динамічної моделі коливань двовимірного маятника, що представлена в п.2.4 була розроблена матлаб-симулінк модель чутливого елемента МЕМС КВГ та встановлені наступні параметри резонатора: резонансна частота 4000 Гц, різночастотність 0.07 Гц, добротність 21000, різнодобротність 1000.

Змінюючи початкові дані було змодельовано траекторії руху точки на ободі резонатора, щоб порівняти вплив різнодобротності та різночастотності на покази гіроскопа.

З рисунків, зокрема рис 3.10 та рис. 3.11, можна зробити висновок про те, що різнодобротність має більший вплив на точність вимірів кута повороту.

Для отримання максимальної точності вимірів кута повороту бажано, щоб різнодобротність та різночастотність були мінімальні.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Вимірювання масштабного коефіцієнту інтегруючого КВГ та оцінка порогової кутової швидкості мертвої зони

Один з найпростіших способів подолання зони нечутливості до малих кутовим швидкостям є примусове обертання хвилі з кутовий швидкістю Ω_{virt} , швидкістю, що значно перевищує порогову $\Omega_{thr} \approx \frac{1}{2k} \left| \Delta \left(\frac{1}{\tau} \right) \right|$, тобто $\Omega_{virt} \gg \Omega_{thr}$ [15]. Цю спеціально створену електронним способом кутову швидкість хвилі назвемо віртуальної (імітаційної) тому, що фізично кутової швидкості обертання гіроскопа не існує. При цьому, в вихідному вимірюваному сигналі кут повороту $\theta_{virt} = \Omega_{virt} t$, обумовлений цієї спеціально створеною кутовою швидкістю, слід відняти від показань КВГ, щоб залишити тільки істинний (фізично існуючий) кут повороту хвилі пропорційний куту повороту гіроскопа. Симуляція модель з блоками, що генерують віртуальне обертання стоячій хвилі і віднімають створене штучним чином обертання з сумарного сигналу реального обертання і віртуального обертання для отримання реального кута повороту гіроскопа, позначена пунктирними колами на рис.3.4 розділу 3.

Перш за все слід визначити код, який імітує кутову швидкість $\Omega_{virt} \gg \Omega_{thr}$. Це робиться шляхом підбору, для моделі код 2.5 (постійна величина) імітує кутову швидкість 6.762743 рад / с (387.476647 град / с) [15]. Це значення досить велике, щоб можна було вимірювати кути повороту в діапазоні кутових швидкостей ± 200 град/с. Тепер, слід визначити масштабний коефіцієнт k інтегруючого КВГ. Для цього у відсутності примусового обертання повернемо гіроскоп, зі швидкістю -6 рад / с, наприклад, на кут -3 рад за годинниковою стрілкою (за 0.5 сек) і зі швидкістю 6 рад / с на 3 рад проти годинникової стрілки (за 0.5 сек) і виміряємо

Кафедра АКСУ				НАУ 20 04 77 000 ПЗ			
Виконав	Дукаценко Ю.С.			Результати моделювання	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чиковані В.В.					55	93
Консульт.	Чиковані В.В.				602 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.				55		
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

повороти стоячій хвилі θ^+ и θ^- .

Графік вимірів показаний на рис.4.1. Так як на початку руху хвилі і при перемиканні швидкості з плюса на мінус йдуть перехідні процеси, то розрахунок кута слід проводити після закінчення перехідних процесів, наприклад, від 0.1 с до 0.5 с для негативної швидкості і від 0.6 с до 1 с для позитивної швидкості. Таким чином справжні кути повороту рівні -2.4 рад і 2.4 рад. Розрахунок МК інтегруючого гіроскопа визначається за формулою:

$$MK = k = -\frac{\theta^+ - \theta^-}{2 \cdot 2.4} = -\frac{-0.302175 - 0.335193}{4.8} \frac{\text{рад}}{\text{рад}} = 0.132785. \quad (4.1)$$

Як видно з (4.1) МК інтегруючого КВГ безрозмірний.

За цими даними вимірів можна також розрахувати зміщення нуля інтегруючого КВГ:

$$B = \frac{\theta^+ + \theta^-}{2} = -\frac{-0.302175 + 0.335193}{2} = -0.01651 \text{ рад}. \quad (4.2)$$

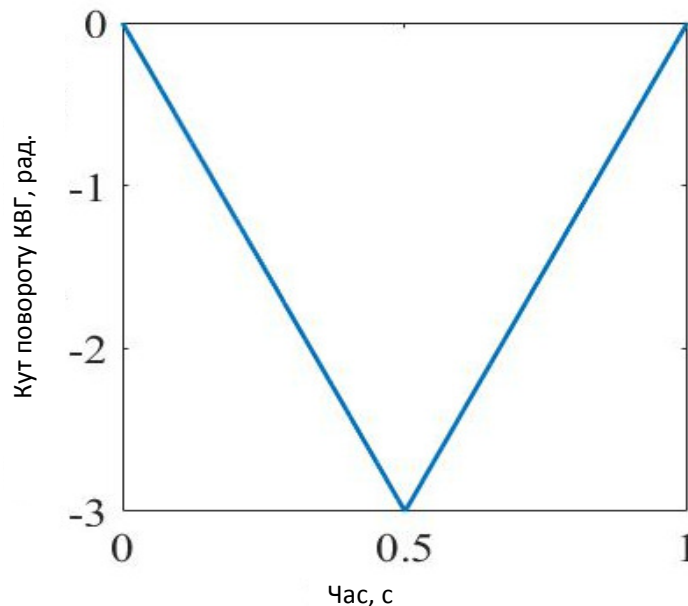


Рис.4.1. Визначення МК інтегруючого КВГ

Знаючи МК інтегруючого гіроскопа k , порогову кутову швидкість мертвої зони Ω_{thr} можна обчислити за виразом (2.4) (розділ 2) з урахуванням наближення (2.5) (розділ 2) та нехтуючи другим членом суми, бо $\Delta\omega \ll 1$ балансування, для наступних параметрів резонатора, $F_1=4000$ Гц, $F_2=$

4000.1Гц, $Q_1=22000$, $Q_2=21000$, тобто $\Delta Q= 1000$, $\Delta F=0.1$ Гц, що прийняти у моделі, можна отримати оцінку:

$$\Omega_{thr} \approx \frac{1}{2k} \left| \Delta \left(\frac{1}{\tau} \right) \right| \approx \frac{1}{2k} \frac{1}{\tau} \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{1000}{2 * 0.13517 * 1.75 * 22000} \approx 0.096 \text{ Hz} \approx 34.5 \text{ deg/s} \quad (4.3)$$

Слід зазначити, що через великі кути повороту на графіку не видна періодична похибка (рис. 2.3, розділ 2), що обумовлена похибками виготовлення резонатора, а саме, різнодобротністю і різночастотністю.

Для того, щоб побачити цю похибку потрібно відняти вимірюваний кут, наприклад, провести пряму методом найменших квадратів за вимірюваннями і відняти цю пряму з вимірів КВГ. Результат такої процедури представлений на рис. 4.2.

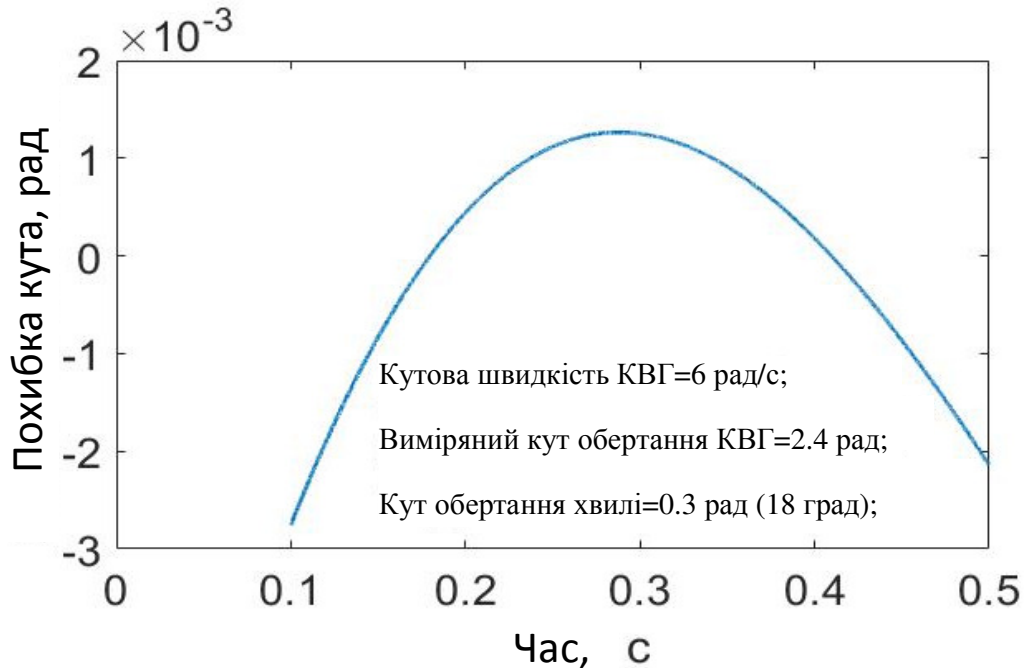


Рис.4.2. Похибка вимірювання кута інтегруючим КВГ

Максимальна похибка вимірювання кута 2.4 рад (137.5 град) дорівнює: $1.26 * 10^{-3} / 0.132785 = 9.5 * 10^{-3}$ рад (0.54 град), тобто 0.95%.

За цим графіком не видно, що похибка періодично змінюється тому, що кут повороту хвилі в $1 / 0.133785 \approx 7.5$ разів менше, ніж кут повороту гіроскопа, тобто кут повороту хвилі дорівнює приблизно 0.3 рад., а повний період похибки приблизно дорівнює π рад.

Для того щоб показати періодичність похибки збільшимо швидкість обертання так, щоб стояча хвиля за час 0.4 с повернулась на кілька оборотів. Встановимо швидкість обертання ± 100 рад / с. Кут повороту, в цьому випадку, за 0.4 с дорівнюватиме ± 40 рад.

Похибка вимірювання кута 40 рад представлена на рис.4.3.

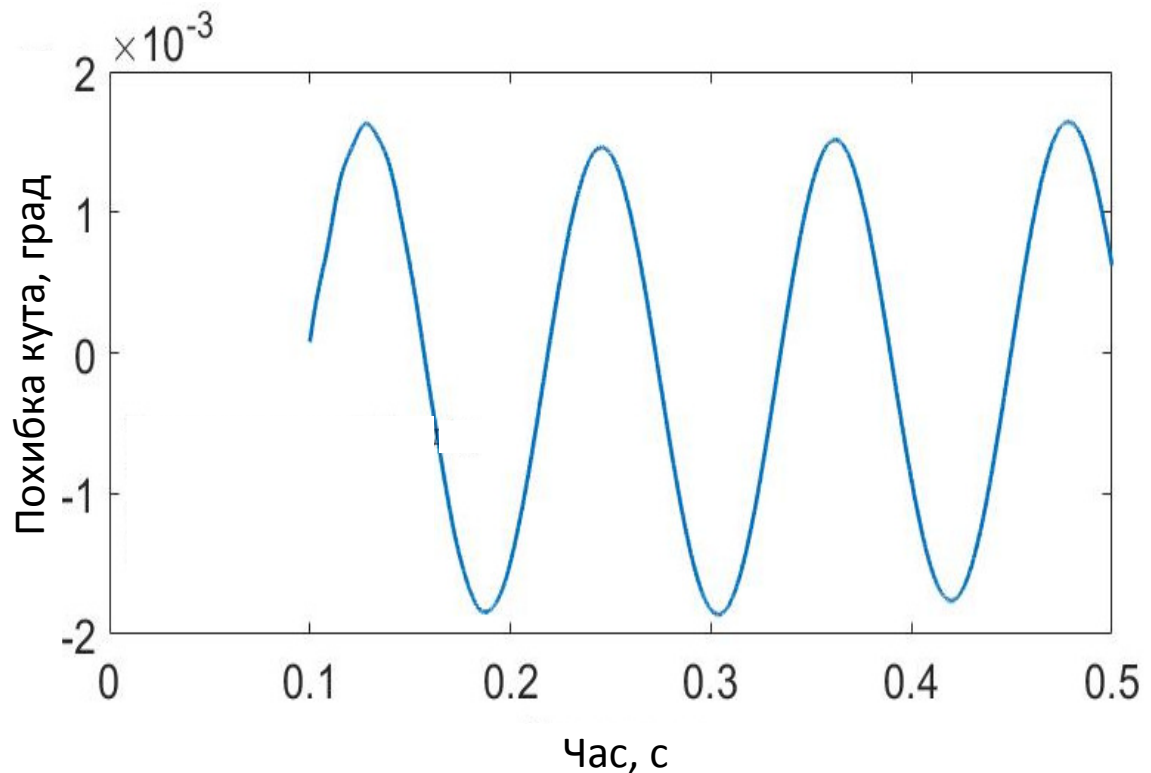


Рис.4.3. Похибка вимірювання кута 40 рад інтегруючим КВГ

З рис.4.3 явно видно періодичність похибки вимірювання кута інтегруючим гіроскопом. Максимальне значення похибки вимірювання повороту хвилі одно $1.64 \cdot 10^{-3}$ рад, максимальне значення похибки повороту гіроскопа дорівнює $1.64 \cdot 10^{-3} / k = 1.2 \cdot 10^{-2}$ рад (0.69 град), так як вимірюваний кут повороту гіроскопа дорівнює 40 рад (2291.8 град), то відносна похибка становить 0.03%.

З наведених оцінок видно, що похибка вимірювання кута інтегруючим КВГ слабо залежить як від швидкості обертання, так і від величини кута повороту. Швидкість обертання і кут повороту КВГ були збільшені більш, ніж

16 разів, а максимальна похибка вимірювання кута збільшилася всього лише на $(0.69 / 0.54) * 100\% = 1.3\%$.

Періодична похибка вимірювання кута не дає можливості точно визначити значення МК інтегруючого гіроскопа. Щоб зменшити вплив цієї похибки на точність калібрування МК потрібно, щоб час вимірювання кута якомога точніше збігся з цілим числом періодів коливань похибки, тоді при інтегруванні кутової швидкості періодична похибка само-компенсується.

Альтернативно, можна збільшити точність калібрування МК також збільшенням значення вимірюваного кута. Це можна зробити, без збільшення швидкості обертання КВГ, шляхом тривалого обертання за годинниковою стрілкою і проти. Однак, кутова швидкість має бути значно більше, ніж Ω_{thr} , або треба використовувати віртуальне обертання, як обговорювали вище.

Наприклад, при обертанні КВГ в одну сторону 10 хв зі швидкістю 100 град / с, кут обертання дорівнюватиме $600 \text{ с} * 100 \text{ град} / \text{с} = 60000 \text{ град} \approx 1000 \text{ рад}$. За результатами оцінок, отриманих вище, слід, що при збільшенні кута повороту з 2.4 радий до 40 рад, тобто майже в 16 разів, відносна похибка вимірювання МК зменшилася з 1.3% до 0.03%, тобто майже в 40 разів, то при збільшенні вимірюваного кута з 40 рад до 1000 рад, тобто в 25 разів, відносна похибка визначення при калібруванні МК зменшиться в $40 * 25/16 = 62.5$ рази і буде дорівнює $0.03 / 62.5 = 0.0005\%$. Отже, $\Delta \text{МК} / \text{МК} = 0.0005\% = 5 \text{ ppm}$.

Слід зазначити, що ця похибка обумовлена тільки періодичної складової похибки інтегруючого гіроскопа. Тут не враховується внесок від шуму, дрейфу і ін.

Однак, при вимірюванні малих кутів повороту близьких до максимальної похибки, представленій на рис.4.3, відносна похибка вимірювання кута буде зростати. Ясно, що при вимірюванні кута повороту КВГ 0.69 град, можна отримати відносну похибку 100%.

На рис.4.4 представлений графік вимірювання кута повороту КВГ, що дорівнює -0.85 рад. (-48.7 град).

Щоб виключити похибку, пов'язану з перехідним процесом в момент початку примусового (віртуального) обертання хвилі, реальне обертання КВГ починалося через 0.1 сек, після початку віртуального обертання.

Кутова швидкість віртуального обертання дорівнює 6.762743 рад / с, яка віднімалася з вимірів КВГ. Кутова швидкість реального обертання КВГ дорівнює -9.7 град/с, що значно менше порогового значення мертвої зони $\Omega_{thr} \approx 34.5$ град/с. Реальний кут повороту КВГ накопичений за 5 сек дорівнює - 0.85 рад (-48.7 град). Кут повороту хвилі дорівнює 0.113912 рад (6.53 град). Вимірний кут повороту КВГ дорівнює $-0.113912 / \text{МК} = -0.113912 / 0.132785 = -0.8423$ рад. Похибка вимірювання дорівнює $\Delta\alpha = -0.85 + 0.8423 = -0.0077$ радий (-0.44 град). Відносна похибка $\Delta\alpha/\alpha = (0.0077 / 0.85) * 100\% = 0.9\%$.

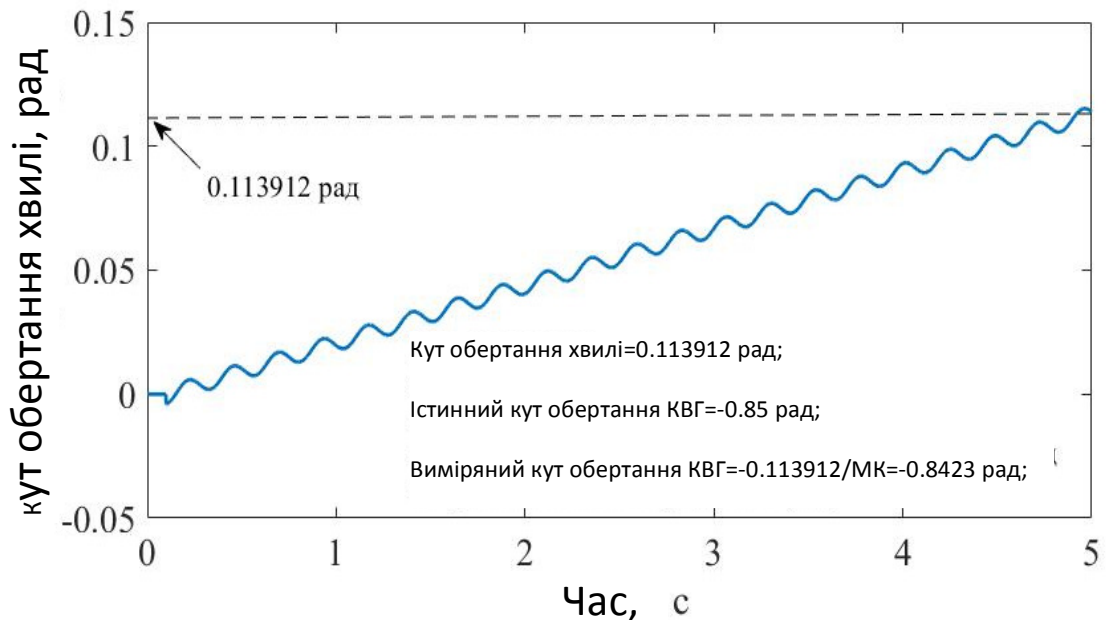


Рис.4.4. Вимірювання кута -48.7 град інтегруючим КВГ

Вимірювання накопиченого кута при обертанні КВГ з тією ж кутовою швидкістю протягом 3 сек дає результат, представлений на рис.4.5. Вимірюваний кут повороту КВГ дорівнює -0.493 радий (-28.2 град). Кут повороту хвилі дорівнює 0.066806 радий, вимірний кут повороту КВГ дорівнює $-0.066806 / 0.132785 = -0.494$ радий. Похибка вимірювання дорівнює $\Delta\alpha = -0.493 + 0.494 = 0.001$ рад (0.06 град). Відносна похибка дорівнює $\Delta\alpha/\alpha = (0.001 / 0.493) * 100\% = 0.2\%$.

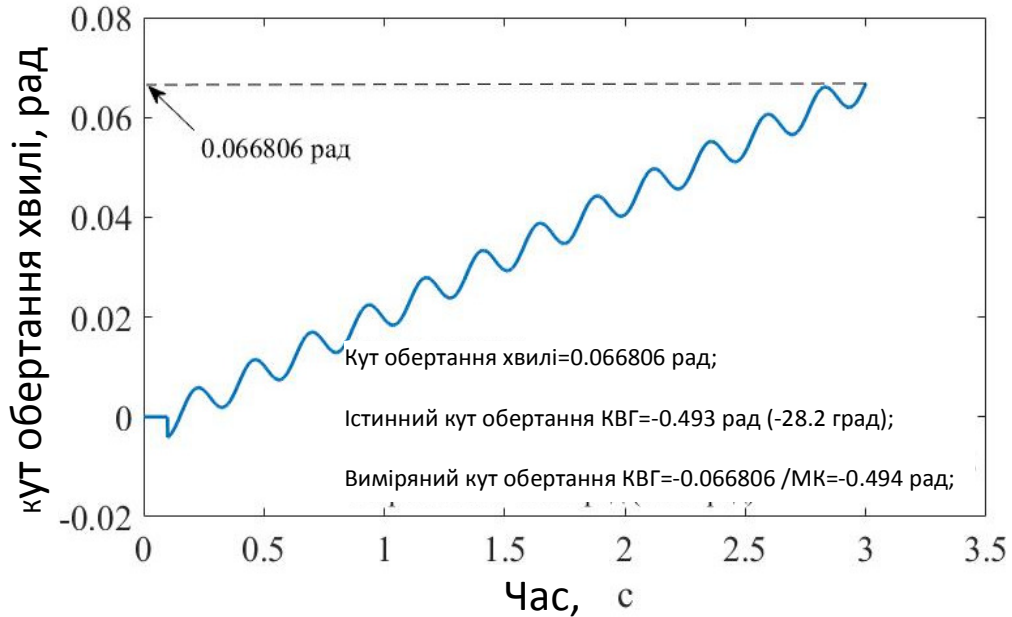


Рис.4.5. Вимірювання кута -28.2 град інтегруючим КВГ

Абсолютна і відносна похибка при вимірюванні меншого кута, в даному випадку, вийшла менше, ніж похибка вимірювання більшого кута (в першому випадку). Ясно, що ці похибки будуть періодично змінюватися в залежності від того, в який момент (в якій точці на синусоїді) завершиться процес вимірювання кута.

На рис. 4.6 представлений графік вимірювання в разі, коли реальна кутова швидкість КВГ зменшилася в 17 разів і стала рівною -0.01 рад / с. Аналогічні розрахунки, представлені на графіку показують, що абсолютна похибка вимірювання кута повороту КВГ дорівнює 0.017 рад (0.98 град) при вимірюванні істинного кута -0.05 рад, а відносна похибка дорівнює $(0.017 / 0.05) * 100\% = 34\%$.

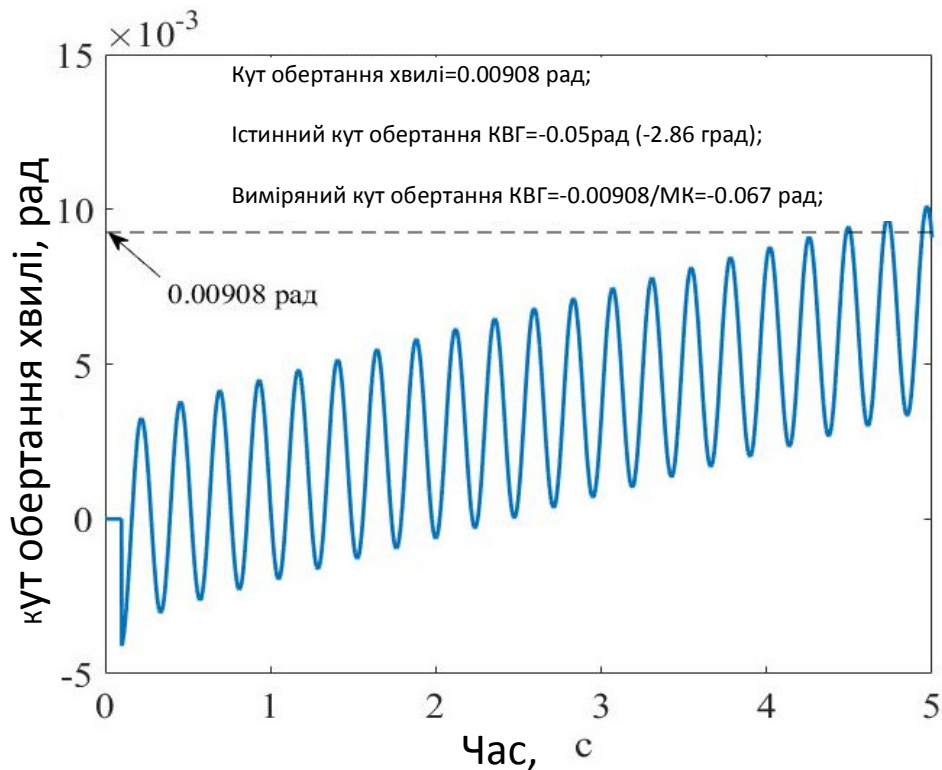


Рис.4.6. Вимірювання кута -2.86 град інтегруючим КВГ

На рис.4.7 представлені похибки вимірювання кута інтегруючим КВГ з віртуальним обертанням хвилі, коли кутова швидкість постійна і синусоїдально змінюється, відповідно, з врахуванням вимірюваних кутів. Це робиться для порівняння похибок при дії істотно різних кутових швидкостей.

Постійна кутова швидкість мала параметри, які представлені на рис.4.7. Синусоїдальна швидкість мала наступні параметри: амплітуда 1 рад / с, фаза 0, а частота 1 Гц.

Як видно з порівняння похибок, представлених на рис.4.7 вони майже однакові, максимальне відхилення становлять близько 10% амплітуди коливань похибки. Це означає, що похибка інтегруючого КВГ, обумовлена не ідеально виготовлення резонатора, майже не залежить від вимірюваної кутової швидкості і кута повороту, а отже, може коригуватися на підприємстві виробника з метою збільшення точності вимірювань малих кутів.

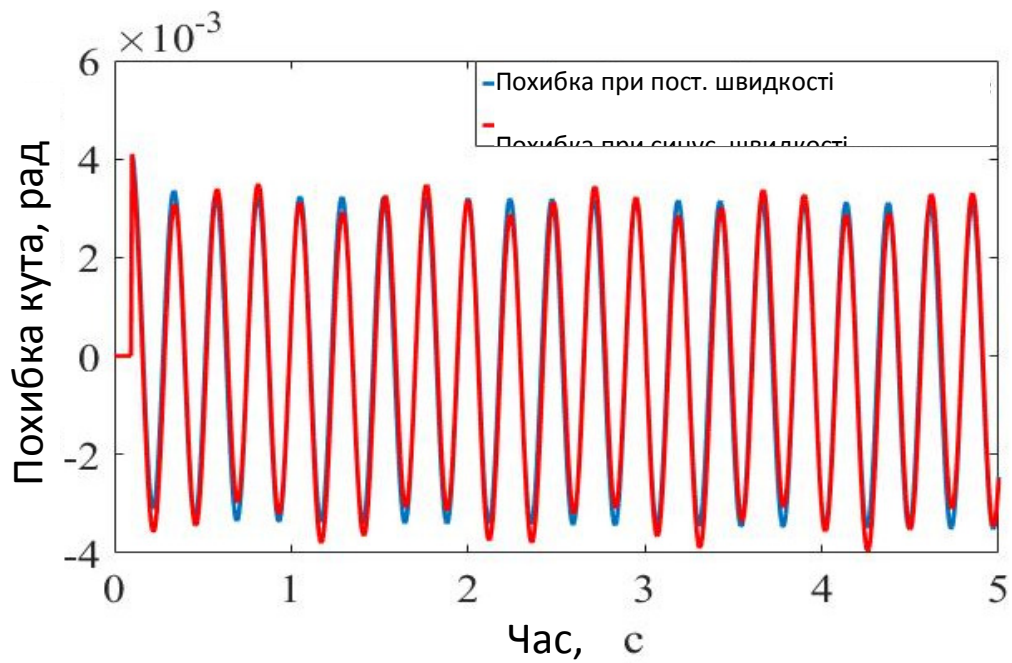


Рис.4.7. Порівняння залежностей похибок вимірювання кута повороту від часу інтегруючим КВГ при постійній і синусоїдальній швидкості обертання

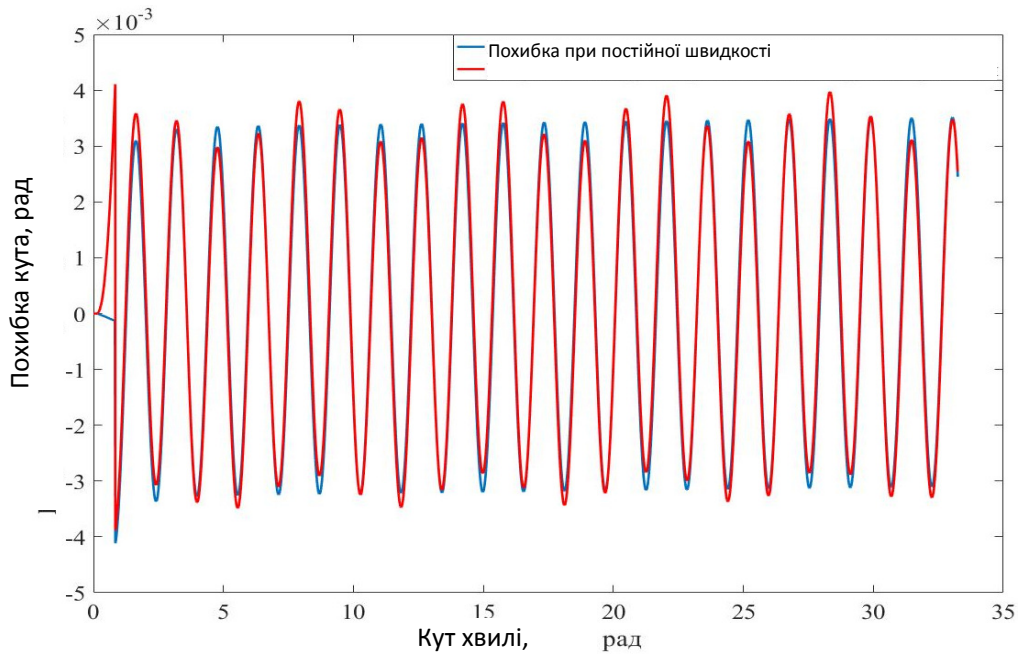


Рис.4.8. Порівняння залежностей похибок від кута хвилі

Корекцію слід робити не за часом, а за кутом хвилі, яка вимірюється і відома в кожен момент часу. Залежність похибки вимірювання кута хвилі від

положення хвилі представлена на рис. 4.8. Як бачимо, закономірність зміни похибки збереглася.

На рис.4.9 показано кут вимірювання, коли швидкість кута становить 0.5 град/с. Фактичне обертання починається через 1 с після віртуального обертання. Хвильовість прямої лінії на фіг.4.9 показує періодичний дрейф, залежний від кута хвилі, обумовлений різнодобротністю ΔQ . Похибка вимірювання кута 2 град становить 0.0087 град [17].

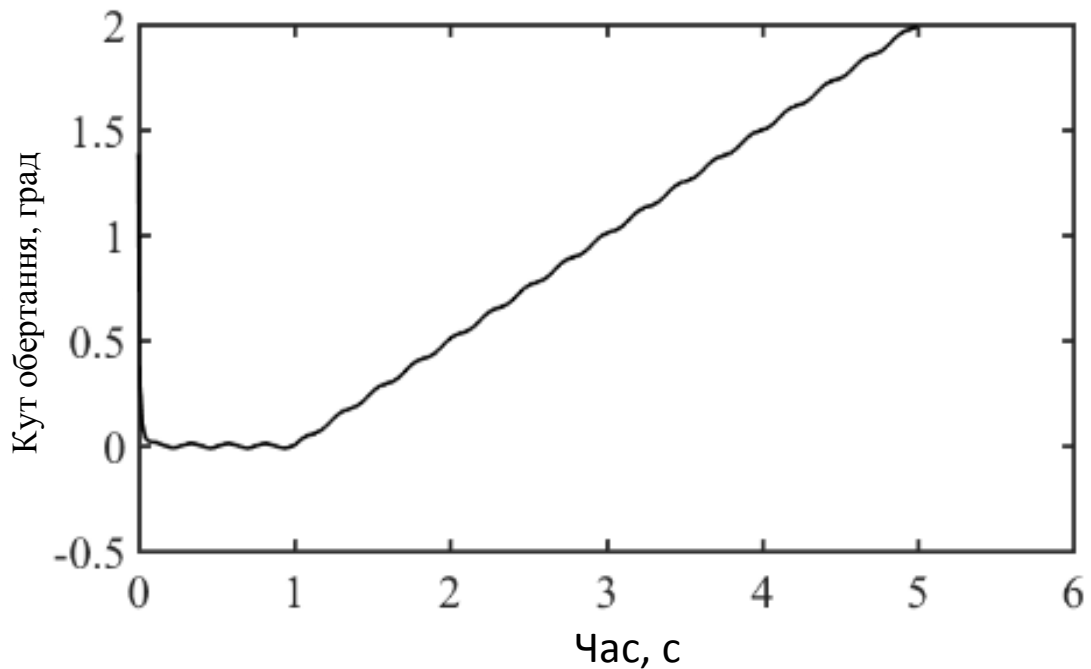
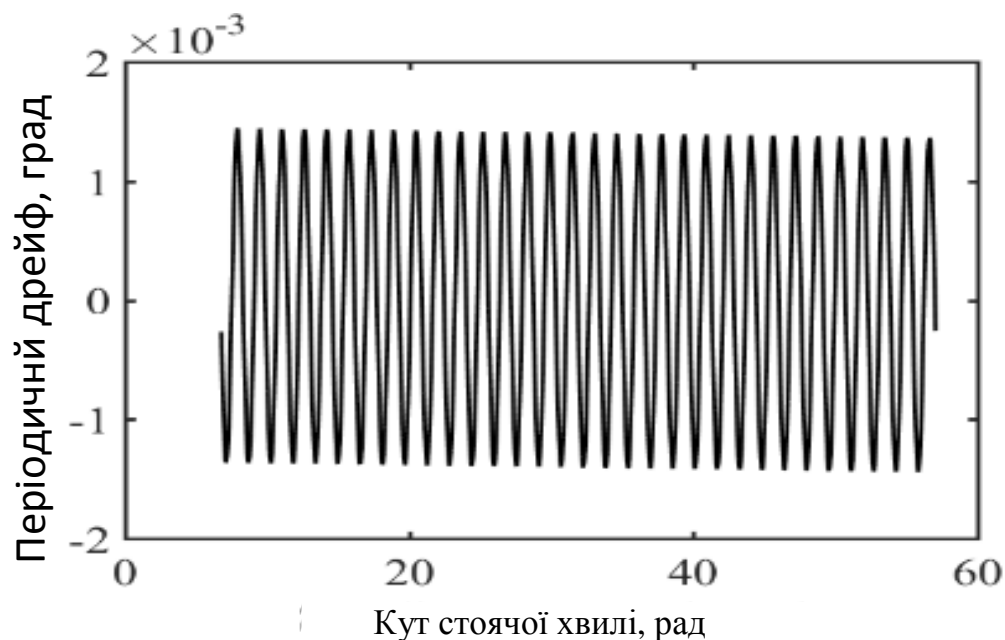


Рис.4.9. Вимірювання кута при кутовий швидкості значно менше порогового значення Ω_{thr} за допомогою віртуального обертання

На рис.4.10 показано витяг з вимірювання періодичного дрейфу. Як видно з цього рисунку, амплітуда періодичного дрейфу менша, ніж отримана кутова похибка. Це означає, що існують інші похибки, які збільшують результуючу похибку вимірювання кута, такі, наприклад, як залишкова похибка від віднімання віртуального кута повороту, невелика перехідний процес після початку фактичного обертання тощо.

Цей дрейф, залежний від кута, має чотири періоди за один оборот хвилі



навколо окружної координати резонатора. Цю похибку можна змоделювати та вилучити з вимірювань.

Рис.4.10. Дрейф інтегруючого КВГ, залежний від кута хвилі θ

Модель періодичного дрейфу, що залежить від кута, по вимірам, що представлені на рис. 4.10, апроксимується методом найменших квадратів наступним виразом:

$$d(t) = 0.001402852\sin(4\theta(t) + 1.29725) . \quad (4.4)$$

У цьому виразі амплітуда та фаза представлені в радіанах.

На рис.4.11 показані графіки двох вимірювань без і з корекцією змодельованої похибки $d(t)$. Після корекції залежного від кута дрейфу, похибка вимірювання зменшується до 0.0012 град.

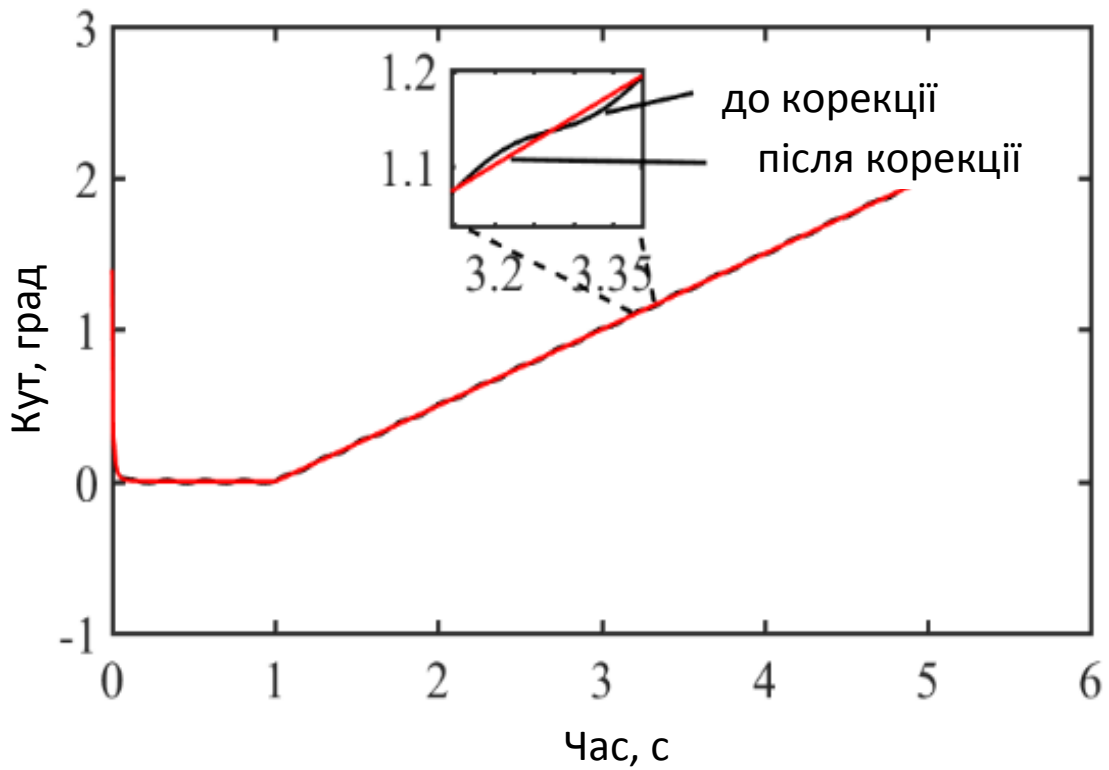


Рис. 4.11. Корекція періодичного дрейфу

На рис.4.12 показаний графік вимірювань кута без корекції періодичного дрейфу при періодичній кутовий швидкості $\Omega=3\sin(2*\pi*5*t)$ та дійсний кут, накладений на нього.

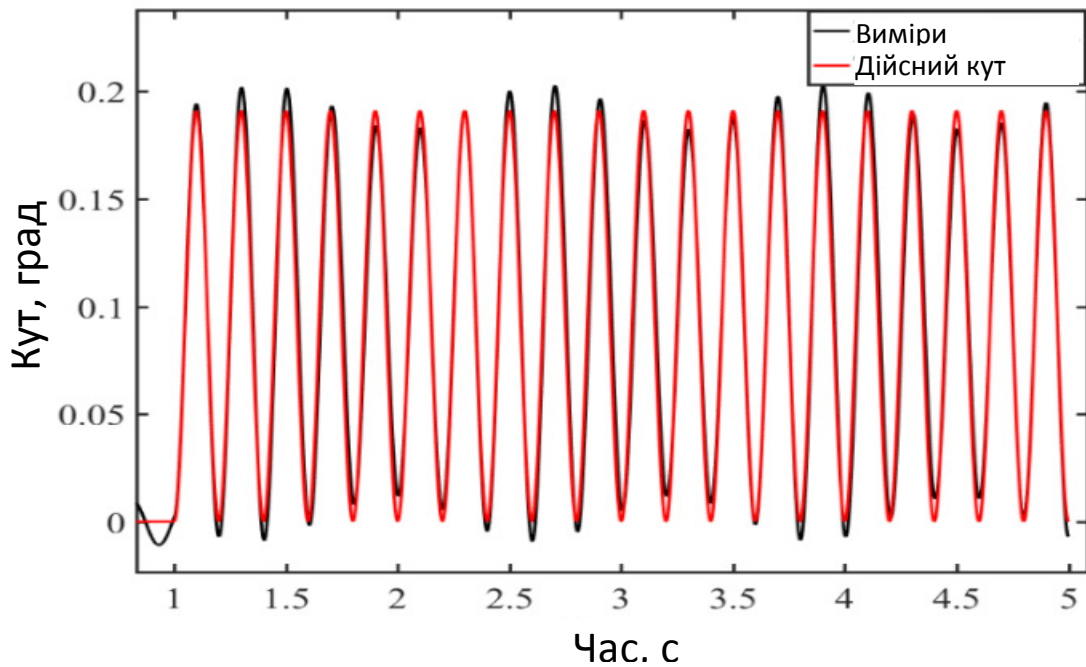


Рис.4.12. Виміри кута при періодичній кутовий швидкості без корекції дрейфу

Похибки вимірювання кута при періодичній кутовий швидкості з корекцією за моделлю, представленою в (4.5), і без неї представлені на рис.4.13. Це показує, що корекція періодичного дрейфу зменшує похибку вимірювання приблизно в два рази.

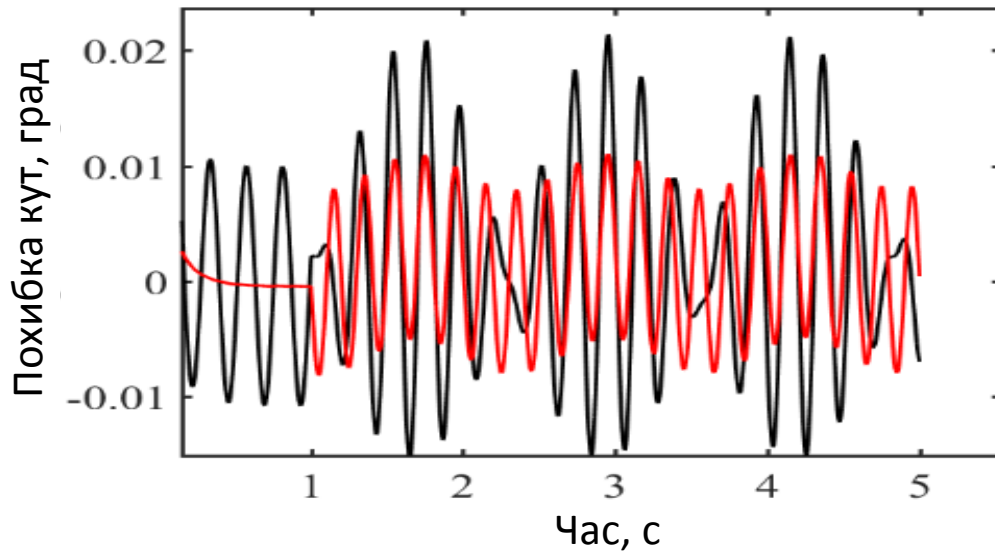


Рис.4.13. Похибки вимірювання кута з корекцією дрейфу та без

4.2 ВИСНОВКИ

Було вираховано коефіцієнт затримки або масштабний коефіцієнт, який дорівнює:

$$MK = k = -\frac{\theta^+ - \theta^-}{2 \cdot 2.4} = -\frac{-0.302175 - 0.335193}{4.8} \frac{\text{рад}}{\text{рад}} = 0.132785,$$

Та обраховано порогову кутову швидкість мертвої зони Ω_{thr} з урахуванням наближення, для наступних параметрів резонатору, $F_1=4000$ Гц, $F_2= 4000.1$ Гц, $Q_1=22000$, $Q_2=21000$, тобто $\Delta Q= 1000$, $\Delta F=0.1$ Гц, що прийняті у моделі:

$$\Omega_{thr} \approx \frac{1}{2k} \left| \Delta \left(\frac{1}{\tau} \right) \right| \approx \frac{1}{2k} \frac{1}{\tau} \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{1000}{2 \cdot 0.13517 \cdot 1.75 \cdot 22000} \approx 0.096 \text{ Hz} \approx$$

$$34.5 \text{ deg/s} \quad (4.3)$$

На розрахунки впливає періодична похибка, яка не дає можливості точно визначити значення МК інтегруючого гіроскопа. Щоб зменшити вплив цієї похибки на точність калібрування МК потрібно, щоб час вимірювання

кута якомога точніше збіглося з цілим числом періодів коливань похибки, тоді при інтегруванні кутової швидкості періодична похибка само-компенсується.

Алтернативно, можна збільшити точність калібрування МК також збільшенням значення вимірюваного кута. Це можна зробити, без збільшення швидкості обертання КВГ, шляхом тривалого обертання за годинниковою стрілкою і проти.

Ця похибка обумовлена тільки періодичною складовою похибки інтегруючого гіроскопа.

Було проведене моделювання зі збільшення та зменшення кутової швидкості, та зменшення часу моделювання для того, щоб визначити, від чого залежить періодична похибка та як її можна компенсувати. З отриманих рисунків, а саме рис. 4.7 та 4.8, можемо робити висновок, що похибка інтегруючого КВГ, обумовлена не ідеально виготовлення резонатора, майже не залежить від вимірюваної кутової швидкості і кута повороту, а отже, може коригуватися на підприємстві виробника з метою збільшення точності вимірювань малих кутів.

На правильність вимірювань також впливає синусоїдальний дрейф. Його можна виміряти та відняти від початкових показів, що і було зроблено. З рис. 4.13 можна робити висновок, що корекція періодичного дрейфу зменшує похибку вимірювання приблизно в два рази.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Вплив комп'ютерних технологій на екологію людини

Екологія людини або антропоекологія виступає як міждисциплінарна область знань, що охоплює медико-біологічні, еколого-токсикологічні, гігієнічні, психологічні та соціальні аспекти життєдіяльності людини.

В дипломній роботі розглядалось віртуальне обертання стоячої хвилі, що має на увазі збільшення роботи біля комп'ютера для людини. Адже усі розрахунки, моделювання та змінення параметрів будуть відбуватись у програмному середовищі. Тому розглянемо вплив комп'ютерних технологій на життєдіяльність людини.

До основних шкідливих факторів при роботі за комп'ютером відносять: сидяче положення протягом тривалого часу, вплив електромагнітного випромінювання монітора, навантаження на зір, перевантаження суглобів кистей, порушення нормального перебігу вагітності, стреси різного генезу, захворювання органів дихання, алергії.

5.1.1 Комп'ютерний зоровий синдром

Очі реєструють найдрібнішу вібрацію тексту або картинки, а тим більше мерехтіння екрану. У зв'язку з тим, що монітор перебувати на близькій відстані, м'язи очі керуючі кришталиком знаходяться в постійній напрузі. Перевантаження очей призводить до втрати гостроти зору. Погано позначаються на зорі невдалий підбір кольору, шрифтів, компоновки вікон у використовуваних вами програмах, неправильне розташування екрана.

Зорова система людини погано пристосована до розглядання зображення на екрані монітора. Суть роботи на комп'ютері - ввести або прочитати текст, намалювати або вивчити деталі креслення.

Кафедра АКСУ				НАУ 20 04 77 000 ПЗ			
Виконав	Дукаценко Ю.С.			Охорона навколишнього середовища	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чіковані В.В.					69	93
Консульт.	Фролов В.Ф.				602 151		
Н. контр.	Дивич М.П.				69		
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

А це - величезне навантаження на очі, адже зображення на екрані дисплея складається не з безперервних ліній, як на папері, а з окремих точок, до того ж які світяться і мерехтять. В результаті робота на комп'ютері серйозно перевантажує наші очі.

Якщо до того ж монітор невисокої якості і інтерфейс використовуваних програм невдалий, то наслідки не змусять себе чекати. У користувача погіршується зір, очі починають слізотитися, з'являється головний біль, втома, двоїння зображення. Це явище отримало назву "комп'ютерний зоровий синдром".

5.1.2 Вплив комп'ютера на м'язи і суглоби

Здавалося б, за комп'ютером людина сидить в розслабленій позі, однак вона є для організму вимушеною і неприємною: напружені шия, м'язи голови, руки і плечі, звідси остеохондроз, а у дітей - сколіоз. У тих, хто багато сидить, між сидінням стільця й тілом утворюється тепловий компрес, що веде до застою крові в тазових органах, як наслідок - простатит і геморої. Крім того, малорухливий спосіб життя часто призводить до ожиріння.

Остеохондрозом називають захворювання, при якому відбувається руйнування міжхребцевих дисків, яке може привести до грижі диска (випинання його в якусь сторону). Остеохондроз може почати розвиватися як в юності так і в більш пізньому віці, хоча частіше вражає людей похилого віку. Однією з основних причин розвитку остеохондрозу є недостатнє харчування міжхребцевих дисків, це може бути викликано різними причинами, однак головна з них - дистрофія м'язів спини, за допомогою яких і здійснюється обмін речовин в дисках.

Таким чином, людина провідний в основному сидячий спосіб життя, і ні як не зміцнює м'язи спини, цілком може вже мати остеохондроз. Ознаками наявності цього захворювання можуть бути: були або відчуття дискомфорту в спині, болі в голові, кінцівках або порушення роботи внутрішніх органів.

Нервові закінчення подушечок пальців як би розбиваються від постійних ударів по клавішах, виникають оніміння, слабкість, в подушечках

бігають мурашки. Це може привести до пошкодження суглобового і зв'язкового апарату кисті, а надалі захворювання кисті можуть стати хронічними. Для роботи з комп'ютером, в основному використовується миша і клавіатура, однак ці пристрої змушують людину здійснювати тисячі одноманітних рухів, саме це, в сукупності з постійною напругою м'язів руки, призводить до затискання нерва в зап'ястному каналі і надалі до болю в зап'ясті. Крім цього, як і інші електроприлади, миша і клавіатура випускають електромагнітне випромінювання, причому в даному випадку відстань між джерелом випромінювання і об'єктом (рукою) мінімальне і хоча про вплив електромагнітного випромінювання на організм людини відомо не багато, все-таки це може бути причиною яких або розладів. [18]

5.1.3 Вплив електромагнітного випромінювання на організм людини

Електромагнітне поле - особливий вид матерії, за допомогою якого електричні заряджені частинки починають взаємодіяти між собою. Працююче електричне обладнання, надає руху молекули, електрони, іони і атоми. З огляду на, що клітини людського організму складаються з молекул, сильне електромагнітне поле викликає їх коливання. Це призводить до негативних змін в організмі.

У повсякденному житті ми не помічаємо, якої шкоди нашому організму наносять електричні пристрої, що використовуються в побуті. Електромагнітні хвилі присутні в кожному будинку, офісі, тобто, скрізь, де живе і працює людина. Електромагнітні хвилі випромінюють телевізор, праску, холодильник, мікрохвильова піч, пилосос, комп'ютер, телефон і інша побутова техніка.

Хвилі наносять дуже велику шкоду організму. Результати біологічних і медичних досліджень показують, що електромагнітні хвилі негативно впливають на нервову систему, внутрішні органи і фізіологічний розвиток людини.

Під впливом електромагнітних хвиль виникає безліч захворювань. Вони впливають на розумову діяльність людини, порушують пам'ять. Існують

норми електромагнітного випромінювання електричних пристроїв, деякі з них представлені в таблиці 5.1. [19]

Джерело електромагнітних хвиль	Покази випромінювання (мкТл)	Перевищення норми
Комп'ютер	1-100	5-500
Мобільний телефон	40	200
Холодильник	1	5
Електричний чайник	10	50
Мікрохвильова піч	8-100	40-500
Фен	15-17	75-85
Трамвай та тролейбус	150	750
Метро	300	1500

Таблиця 5.1 Норми електромагнітного випромінювання

5.1.4 Робота на комп'ютері і пов'язані при цьому види стресів

Робота на комп'ютері додає в наше життя ряд специфічних саме для неї стрессорів. Попри всю різноманітність переживань і шоківих ситуацій, що трапляються в нашому житті, реакція організму на будь-який стрес по суті однакова. В організмі запускаються вироблені багато століть назад біохімічні процеси, призначення яких - впоратися з екстремальною ситуацією. Наслідки для здоров'я і психологічного стану.

Шоківі ситуації, переживання викликають в організмі значні зрушення, в більшості своїй негативні. Захворювання органів дихання, що розвиваються через довготривалу роботи з комп'ютером, мають в основному алергічний характер. Це пов'язано з тим, що під час довгої роботи комп'ютера

корпус монітора і плати в системному блоці нагріваються і виділяють в повітря шкідливі речовини, особливо якщо комп'ютер новий.

Крім виділення шкідливих речовин, комп'ютер створює навколо себе електростатичне поле яке притягує пил і відповідно вона осідає у вас в легенях, в той же час працює комп'ютер деонізує навколишнє середовище, і зменшує вологість повітря. Кожен з цих факторів згубно впливає як на легкі, так і на весь організм в цілому.

5.2 Вплив комп'ютерних технологій на навколишнє середовище

За деякими даними дослідників ООН, щоб створити один середньостатистичний персональний комп'ютер, потрібно в 10 разів більше хімічних речовин і палива, ніж вага кінцевого винаходи. Багато сировина, яка використовується в збірці комп'ютерів, є токсичним. Викопне паливо лише посилює невирішену проблему глобального потепління.

Відходи виробництва також не зникають, перетворюючись на звалища, або переробляються, надаючи поганий вплив на екологію.

На даний момент найбільш суворим з існуючих світових стандартів екологічності для комп'ютерної техніки є стандарт TCO99. У порівнянні з попередніми він містить додаткові обмеження по частині екології, ергономіки, енергоспоживання і емісії пристроїв. Найбільш значимі ярлики, такі як «Блакитний ангел», що видається Німецькою сертифікаційною організацією як знак відповідності екологічним стандартам, є великою рідкістю в сфері електроніки. навпаки, широке поширення отримав логотип «Energy Star», якого удостоюються енергозберігаючі пристрої.

Однак у випадку з ним проблема полягає в тому, що кожен виробник має право самостійно маркувати свою продукцію, не проходячи при цьому перевірок. З огляду на те що дана емблема не несе ніяких відомостей про дійсний енергоспоживання пристроїв, її цілком можна ігнорувати.

ЖК-екрани - один з джерел парникових газів, які набагато шкідливіше діоксиду вуглецю. Рідкокристалічні монітори швидко знайшли популярність, прийшовши на зміну громіздким ЕПТ-моделями. І це не дивно, адже вони

мають тонкими корпусами і споживають значно менше електроенергії. За іншим аспектам екологічної безпеки дисплеї на основі рідких кристалів також вважалися проривом, тому що в них не використовувався газ, що містить свинець. Досить довго ніхто не звертав уваги на застосовуваний для чищення РК-панелей трохфтористий азот (NF₃), і тільки в середині 2008 року вченими було доведено наявність даного хімічної речовини в атмосфері. Відкриття було вражаючим: порівняно з діоксидом вуглецю (CO₂) NF₃ є в 17 000 разів більше активним парниковим газом, а його атмосферний час напіврозпаду може складати від 550 до 740 світлових років (у CO₂ - від 30 до 40 років). Закону, який обмежував би рівень викиду NF₃, поки не існує.

Виявлення енерговитрат є таким же проблематичним процесом, як і визначення кількості матеріалів, придатних для вторинної переробки, і важких металів, що містяться в пристроях. дивовижний результат був отриманий організацією Greenpeace в ході порівняльного аналізу декількох моделей ідентичних ноутбуків з різних країн. У тачпаде Dell Vostro V13, доступного на китайському ринку, були виявлені сліди бромю. В моделі з Німеччини ця речовина теж присутнє, тільки не в тачпаде, а кнопках.

Видобувні виробництва руйнують поверхню Землі і часто забруднюють навколишнє повітря і воду. Видобуток рідкоземельних мінералів неможлива або нерентабельна без використання процесів, які завдають серйозної шкоди навколишньому середовищу.

Полівінілхлорид, що позначається зазвичай аббревіатурою ПВХ, - це різновид пластику, що застосовується в самих різних цілях. З нього зроблена зовнішня оболонка кабелів, якими з'єднуються пристрої, він оточує електричний провід портативного комп'ютера. ПВХ присутній в музичній колекції любителів вінілових платівок. З нього роблять труби і одяг. Це дешевий, міцний і вельми поширений матеріал.

Полівінілхлорид практично неможливо правильно утилізувати. Внаслідок старий матеріал виявляється зазвичай на звалищі з відходами або, того гірше, спалюється з метою вилучення мідних жил і інших цінних

компонентів. При його згорянні утворюється вкрай шкідливий канцерогенний діоксин. Звалища і хімічні поховання забруднюють джерела води. Єдиний спосіб правильно утилізувати ПВХ полягає в тому, щоб відправити його в центр небезпечних відходів. [20]

5.3 Рекомендації щодо поліпшення здоров'я людини

1. Лікувальна гімнастика. Для розвитку м'язів спини існує безліч вправ, в основному це нахили в різні боки. Дуже корисне плавання і вправи на турніку. У тому випадку, якщо ви працюєте в офісі, намагайтеся частіше ходити за чаєм, потягуйтеся і взагалі, робіть якомога більше рухів, навіть без потреби.

2. Спеціальне харчування для очей. Людям з ослабленим зором потрібно вживати продукти, які зміцнюють судини сітківки ока: чорницю, чорну смородину, моркву. У раціоні короткозорих має бути присутня печінка тріски, зелень: петрушка, салат, кріп, зелена цибуля. При дистрофії сітківки допомагає шипшина (настій, відвар), журавлина.

Крім того, існують препарати, здатні поліпшити зір. Корисні для очей вітаміни (особливо комплексні полівітаміни, в яких вітаміни поєднуються з мікроелементами: цинком, кальцієм), всі препарати на основі чорниці. При захворюваннях очей варто раз на рік приймати курс риб'ячого жиру.

Найбільшу користь гімнастика для очей приносить для профілактики і на перших стадіях ослаблення зору. Бажано виконувати "очний" комплекс вправ і тим, хто працює за комп'ютером, і тим, чийі очі схильні до перевтоми. Гімнастика для очей зазвичай займає не більше п'яти хвилин.

Зняти втому, запобігти хворобам очей допомагають компреси, промивання очей чорним і зеленим чаєм, теплі примочки на закриті очі з відвару ромашки. Потрібно берегти очі від ультрафіолетового впливу сонячних променів.

3. Щоб тривала робота на комп'ютері не привела до виникнення синдрому зап'ястного каналу, достатньо виконувати нескладні рекомендації

по організації свого робочого місця і режиму роботи, щогодини робити короткі перерви, під час яких виконати кілька вправ для кистей рук.

4. Правильне положення рук.

При роботі з клавіатурою, кут згину руки в лікті повинен бути прямим (90 градусів).

При роботі з мишкою кисть повинна бути прямою, і лежати на столі якнайдалі від краю.

Стілець або крісло повинно бути з підлокітниками, так само бажано наявність спеціальної опуклості для зап'ястя (килимок для миші, спеціальної форми клавіатура або комп'ютерний стіл з такими виступами).

5. Способи зменшення впливу електромагнітних випромінювань від екрану комп'ютера.

У процесі роботи необхідно кожну годину влаштовувати перерву і виконувати розминочні вправи. Не можна використовувати ноутбук, поставивши його на коліна. Є ймовірність потрапити під вплив сильної радіації. При роботі на комп'ютері або ноутбуці рекомендується одягати захисні окуляри для очей. Вибираючи монітор, віддайте перевагу жидкокристаллическому варіанту з написом «Low Radiation», що свідчить про низький рівень випромінюваної радіації.

Не рекомендується ставити системний блок комп'ютера на стіл, а також сидіти біля задньої сторони монітора - в цих місцях радіація має найбільшу силу випромінювання. При установці монітора, його задню частину слід розгорнути до вікна або стіни.

Від комп'ютера і ноутбука виходить тепло, з цієї причини в організмі користувача зменшується кількість кальцію, внаслідок чого у людини погіршується стан нігтів і волосся.

6. Профілактика стресових ситуацій.

Повністю виключити з життя стресові ситуації неможливо, але можна жити і працювати так, щоб отримувати більше приємних емоцій і переживань і звести до мінімуму кількість неприємних.

Правильна організація робочого місця і правильна поза при роботі, збалансоване, повноцінне харчування значно знижують ризик виникнення стресових ситуацій.

Режим роботи і відпочинку. Постарайтеся обмежити до мінімуму час перебування біля комп'ютера. Щогодини робіть 15-хвилинні перерви в роботі, під час цих перерв обов'язково встаньте, потягніться, походите, виконаєте кілька легких фізичних вправ (нахили і повороти голови, вправи для кистей рук, потягування). Дуже корисно під час перерви вийти з приміщення, подихати свіжим повітрям. А під час роботи якнайчастіше, кожні 10-15 хвилин, міняйте позу, рухайте плечима, ногами, головою.

7. Профілактика захворювань органів дихання.

Як можна частіше робіть вологе прибирання приміщення і провітрюйте його.

Для збільшення вологості можна ставити відкриту ємність з водою. Наприклад: акваріум з рибками (по-перше збільшує вологість, по-друге рибки заспокоюють нерви), декоративні водоспади (знову ж, підвищують вологість, а падаюча вода є природним іонізатором повітря, хоча звичайно ефекту як після дощу з грозою не буде, але все ж). [18]

5.4 ВИСНОВКИ

Часткова автоматизація трудових функцій, що виражається в автоматичному виконанні окремих прийомів обладнанням, усуває зі змісту трудового процесу частину циклічно повторюваних елементів роботи, спрощує трудове утримання технологічних операцій і призводить до зниження змістовності праці робітників, безпосередній про здійснюють виробничий процес.

З боку покращення показів гіроскопів та зменшення його похибок – віртуальне моделювання це дуже добре рішення. Адже при найменших затратах можна досягти точних параметрів та змоделювати реальну ситуацію. Для цього вже не потрібна велика лабораторія, декілька інженерів та багато супутних

приладів. Усе, що необхідно – це компютер з порібним програмним забезпеченням, в данному випадку Matlab.

Але це в свою чергу збільшується вплив комп'ютеризовних технологій на людини, адже для виконання роботи необхідно більше часу проводити за компютером ніж зазвичай.

В наш час ми майже не можемо повністю уникнути роботи з комп'ютерами. Недарма 21 століття – століття технологій. Але ми в свою чергу можемо зменшити їх вплив на наше здоров'я. Необхідно притримуватись рекомендацій наведених у пункті 5.7 та збільшувати час, проведений на свіжому повітрі.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз умов праці

На робочому місці повинні бути передбачені заходи захисту від можливого впливу небезпечних і шкідливих факторів виробництва. Рівні цих факторів не повинні перевищувати граничних значень, обумовлених правовими, технічними і санітарно-технічними нормами. Ці нормативні документи зобов'язують до створення на робочому місці умов праці, при яких вплив небезпечних і шкідливих чинників на працюючих або усунуто зовсім, або знаходиться в допустимих межах.[21]

В дипломній роботі було визначено процес автоматизації визначення кута поровоту мікромеханічним гіроскопом.

Цим процесом займаються інженері. В свою чергу робочим місцем інженера буде лабораторія.

6.2 Організація робочого місця

Робоче місце інженера - це частина простору, в якому працівник здійснює трудову діяльність, і проводить велику частину робочого часу. Робоче місце, добре пристосоване до трудової діяльності працівника, правильно і доцільно організоване, у відношенні простору, форми, розміру забезпечує йому зручне положення при роботі і високу продуктивність праці при найменшому фізичному і психічному напрузі. При правильній організації робочого місця продуктивність праці працівника зростає з 8 до 20 відсотків. [21]

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера, має наступні характеристики:

- - довжина - 5 м;
- - ширина - 4 м;

Кафедра АКСУ				НАУ 20 04 77 000 ПЗ			
Виконав	ДукаценкоЮ.С			Охорона навколишнього середовища	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чіковані В.В.					79	93
Консульт.	Козліпін О.О.				602 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.				79		
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

- - висота - 4 м;
- - число вікон - 2;
- - число робочих місць - 4;
- - освітлення - природне (через бічні вікна) і загальне штучне;

Робоче місце інженера складається з:

- a) простору, займаного обладнанням;
- b) простору необхідного для технічного обслуговування і ремонту;
- c) зони проходів, що забезпечує нормальне функціонування обладнання;
- d) сенсомоторного простору (частини простору робочого місця, в якій здійснюється рухова та сенсорна робота людини).
- e) З необхідних для роботи пристроїв:
- f) Пристрої відображення інформації (монітор);
- g) стіл;
- h) крісло;
- i) пристрої управління і введення інформації (миша, клавіатура і т.п.);
- j) пристрої виведення інформації (принтер, плоттер). [22]

6.2.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників

Всі види негативних впливів, що формуються в процесі трудової діяльності, поділяють на чотири основні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні (соціальні).

Фізичні фактори - підвищені рівні шуму і вібрацій; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів; електромагнітні та іонізуючі випромінювання, недостатня освітленість, підвищений рівень статичної електрики, підвищене значення напруги в електричному ланцюзі і інші. Хімічні фактори - речовини і сполуки, різні за агрегатним станом і володіють токсичною, дратівливим, сенсibiliзуючим, канцерогенну і мутагенну впливом на організм людини і впливають на його репродуктивну функцію.

Біологічні фактори - патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші та ін.) І продукти їх життєдіяльності; а також макроорганізми (тварини та рослини).

Психофізіологічні чинники - за характером дії поділяються на фізичні і нервово-психічні перевантаження. Фізичні перевантаження підрозділяються на статичні і динамічні, а нервово-психічні - на розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. [23]

6.2.2 Мікроклімат робочого місця

Мікрокліматом визначається поєднанням декількох параметрів: тим, як впливає на організм людини температура повітря і поверхонь, вологість повітря і швидкість його руху (рухливість).

Фактори мікроклімату впливають і на стан здоров'я людини, і на його працездатність. Зокрема, високі температури призводять до теплових ударів, підвищення тиску, низькі - до простудних захворювань, переохолодження, низька вологість провокує пересихання слизових оболонок дихальних шляхів. Все це може привести і до професійних захворювань. В рамках принципів охорони праці першорядним заходом вважається забезпечення правильного мікроклімату робочого місця.

Мікроклімат визначається за такими параметрами:

1. температура;
2. вологість;
3. рухливість повітря;
4. чистота повітря.

1. Температура

Теплообмін і механізми терморегуляції в організмі людини впливають на його самопочуття і працездатність. Нормами передбачається дотримання певних температурних меж на робочому місці в залежності від приміщення. Якщо забезпечити температурні норми неможливо (таке буває, наприклад, на

робочих місцях в гірничодобувній галузі і в інших сферах діяльності людини), то необхідно захистити співробітників від перегріву або переохолодження.

Зокрема, при температурі нижче 16 градусів працівники повинні отримувати спецодяг та взуття з теплозахистом і вологозахистом, а також їх повинні забезпечити приміщеннями для того, щоб зігрітися. Якщо на робочому місці температура виходить за рамки +26 градусів і знизити її неможливо, роботодавець зобов'язаний оснастити приміщення системою кондиціонування, а працівники повинні бути забезпечені ЗІЗ (засобами індивідуального захисту), які сприяють охолодженню.

2. Вологість

Співвідношення водяної пари до граничного його кількості в повітрі при конкретній температурі називається відносною вологістю. Для забезпечення правильного мікроклімату в приміщенні, повітря потрібно насичувати киснем. У цьому випадку або провітрюють приміщення, або знову ж оснащують системою клімат-контролю.

Найкомфортнішим показником вологості повітря вважається 40-60%, допустимий діапазон - від 30% до 70%. Критичні рівні, що викликають дискомфорт: до 30% і вище 70%). При низькій вологості у людини виникає сухість слизових оболонок дихальних шляхів і шкіри, при високій вологості стає душно, підвищується потовиділення. Також підвищена вологість впливає і на стан меблів в приміщенні.
Рухливість (швидкість) повітря

Повітря в приміщенні повинен бути свіжим. Це визначається його рухливістю, досягається вентиляванням приміщень. Якщо в приміщеннях слабкий потік повітря, то він застоюється. Несвіже повітря негативно впливає на здоров'я людини.

3. Чистота повітря

Забруднене повітря, насичене частинками пилу, може становити небезпеку для здоров'я людини. На виробництві пил, з точки зору її походження, може бути органічною, неорганічною та змішаною, і різної за

розміром частинок - видимої (більше 10 мкм), мікроскопічної (0,25-10 мкм) і ультрамікроскопічних (менше 0,25 мкм). Саме цей пил і засмічує повітря.

Вдихання забрудненого повітря може викликати професійні захворювання легень, бронхіти, токсично, канцерогенну дію, а також впливати на репродуктивну функцію (в разі насичення повітря отруйними парами).

Щоб підтримувати необхідні параметри мікроклімату, роботодавець зобов'язаний автоматизувати робочі процеси, захищати робочі місця від джерел випромінювання тепла, забезпечувати їх системами вентиляції, кондиціонування повітря і опалення.

Оптимальні параметри мікроклімату на робочому місці

Щоб робочі умови були комфортними, потрібно забезпечити правильне поєднання температури, вологості повітря і швидкості повітряних потоків на робочому місці.

Оптимальними метеоумовами вважаються: температура + 20 ° С, вологість повітря 40-60%, швидкість повітря 0,1-0,5 м / с, тиск повітря - 760 мм ртутного стовпа

Заміри мікроклімату справляють на постійному робочому місці. Оптимальні параметри виведені для робочої зони, в якій співробітник знаходиться більше 50% свого робочого часу або більше 2 годин безперервно.

6.2.3 Шкідливі речовини в повітрі

Повітря виробничого середовища постійно піддається впливу небезпечних і шкідливих факторів, що формуються протікають в цьому середовищі технологічними процесами. До цих факторів належать виділення пилу, рідких і газоподібних хімічних речовин, надлишок вологи, тепла або холоду, переміщення повітряних мас .

Всі зазначені фактори змінюють якість повітря робочої зони, роблячи його несприятливим для протікання трудової діяльності, і можуть при певних кількісних показниках негативно впливати на здоров'я людини. [21]

6.2.4 Електромагнітні випромінювання

При роботі на персональному комп'ютері найбільш важка ситуація пов'язана з полями випромінювань дуже низьких частот, які здатні викликати біологічні ефекти при впливі на живі організми. Виявлено що поля з частотою близько 60 Гц можуть ініціювати зміни в клітинах тварин (аж до порушення синтезу ДНК). Тому для захисту від цього виду випромінювань використовуються такі рекомендації: - застосовуються відеоадаптери з високим дозволом і частотою оновлення екрану не нижче 70-72 Гц; - застосовуються монітори відповідні стандарту MPR II, а також ТСО-92. [21]

6.2.5 Освітлення на робочому місці

Важливою умовою високопродуктивної праці інженера-розробника є раціональне освітлення його робочого місця. Пояснюється це тим, що за допомогою зорового апарату людина отримує близько 90% інформації з навколишнього світу, її надходження багато в чому залежить від якості освітлення.

Несприятливими факторами для професійної діяльності інженера-розробника, негативно впливають на зір, є:

- знижений рівень освітленості, що приводить до перенапруження очей і, як наслідок - до швидкої втоми.
- надмірно висока освітленість також є причиною швидкої стомлюваності, приводячи до подразнення і різі в очах;

Одна з важливих компонент, необхідних для освітлення приміщень - природне світло.

Природне освітлення - освітлення приміщень світлом неба (прямим або відбитим), що проникає через світлові прорізи в стінах будівлі або через прозорі покриття одноповерхових приміщень. Бічні отвори обладнані заскленними рамами, а прозорі частини покриттів зазвичай виготовляються з стеклобетона.

Добре проникає в приміщення природне світло сприятливо діє на психіку людини, викликаючи позитивні емоції, забезпечуючи хороші

гігієнічні умови роботи. За рахунок природного освітлення стимулюється обмін речовин, кровообіг, дихання, діяльність центральної нервової системи, що в свою чергу, забезпечує високу продуктивність праці.

Другою не менш важливою складовою освітлення робочих приміщень є штучне освітлення, в більшості випадків - електричне. Штучне освітлення використовується в тому випадку, якщо природне є недостатнім за санітарними нормами проектування (в разі темного часу доби, в приміщеннях, де немає природного освітлення). [22]

6.2.6 Виробничий шум

Шумом називають всякий небажаний звук. Тривала дія інтенсивного шуму (вище 80 дБА) на людину призводить до часткової або повної втрати слуху. Залежно від тривалості та інтенсивності впливу шуму відбувається більший або менший зниження чутливості органів слуху

Для профілактичної роботи щодо забезпечення безпечних умов праці по шумовому фактору, служить аудіометричний контроль (аудіометрія) працюють, проводиться для оцінки стану органів слуху. При цьому стан слухової функції оцінюють як середньоарифметичне значення зниження слухової чутливості в діапазоні мовних частот (500-2000 Гц) і на частоті 4000 Гц. [24]

6.2.7 Вібрація на робочому місці

Вібрація являє собою процес поширення механічних коливань у твердому тілі. Вона характеризується частотою і амплітудою зміщення, швидкістю і прискоренням. Вібрації можуть бути ненавмисними (наприклад, через погану балансування і центрування обертових частин машини і обладнання, роботи перфоратора і ін.) І спеціально використовувані в технологічних процесах (вібропогрузителі палів, спеціальне обладнання для прискорення хімічних реакцій і ін.).

Надмірна вібрація веде до розвитку професійної вібраційної хвороби. Особливо шкідливі вібрації з вимушеною частотою, що збігається з частотою власних коливань тіла людини або його окремих органів (для тіла людини 6..9

Гц, голови 6 Гц, шлунка 8 Гц, інших органів в межах 25 Гц). При частоті коливань робочих місць, близькою до власних частотах внутрішніх органів, можливі механічні пошкодження або навіть розриви.

Основним видом вібрації в даному випадку є - технологічна, яка виникає при роботі стаціонарних машин або передається на робочі місця, які не мають джерел вібрації (наприклад, від роботи холодильних, фасувально-пакувальних машин). [26]

6.2.8 Електробезпека

Ураження електричним струмом може відбутися при дотику до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, на яких залишився заряд або з'явилося напруга в результаті випадкового включення в мережу, до неструмоведучих частин, виконаним з проводить електричний струм матеріалу, після переходу на них напруги з струмоведучих частин.

Гранично допустимі напруги дотику і струми для людини встановлюються ГОСТ 12.1.038-82 (таблиця 1) при аварійному режимі роботи електроустановок постійного струму частотою 50 і 400 Гц. Для змінного струму частотою 50 Гц допустиме значення напруги дотику становить 2 В, а сили струму - 0,3 мА, для струму частотою 400 Гц відповідно - 2 В і 0,4 мА; для постійного струму - 8 В і 1 мА. Вказівка дані наведені для тривалості впливу струму не більше 10 хв на добу.

6.3 Розробка заходів з охорони праці

Основною ціллю дотримання норм освітлення є покращення умов споглядання на об'єкт праці. Щоб забезпечити ці умови необхідно дотримуватись наступного:

Слід обмежувати пряму блескость від джерел освітлення, при цьому яскравість світяться поверхонь (вікна, світильники тощо.), Що знаходяться в полі зору, частка бути не більше 200 кд / кв.м.

Слід обмежувати відбиту блескость на робочих поверхнях (екран, стіл, клавіатура та ін.) За рахунок правильного вибору типів світильників і

розташування робочих місць по відношенню до джерел природного та штучного освітлення.

Слід обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору користувача монітора і ПЕОМ, при цьому співвідношення яскравості між робочими поверхнями не повинно перевищувати 3: 1-5: 1, а між робочими поверхнями і поверхнями стін і устаткування - 10: 1.

Як джерела світла при штучному освітленні повинні застосовуватися переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Загальне освітлення слід виконувати у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць, паралельно лінії зору користувача при розташуванні моніторів рядами. [25]

6.4 Пожежна безпека

У робочих приміщеннях є велика кількість легкозаймистих матеріалів. За пожежної безпеки такі приміщення відносяться до категорії "В" (СНиП - 2 - М2 - 72).

Пожежна безпека забезпечується:

- системою запобігання пожежі;
- системою пожежного захисту;

Джерелом виникнення пожежі в відділі може бути несправність електромережі. Для запобігання пожежі необхідно застосовувати обладнання, яке відповідає вимогам пожежної безпеки.

Всі приміщення відділу повинні бути 1-2 ступеня вогнестійкості (СН-245- 71). Матеріали, що застосовуються для огорожувальних конструкцій та оздоблення повинні бути вогнестійкими. Для виготовлення огорожувальних конструкцій зазвичай використовуються цегла, залізобетон, скло і т. Д. Застосування дерева має бути обмежена, а в разі його використання, воно просочується вогнезахисною сумішшю.

Промивання деталей легкозаймистими рідинами (бензин, ацетон, спирт) повинна проводитися в спеціальних приміщеннях і при включеній вентиляції. У приміщеннях проходячі коридори і робочі місця, не слід

захарашувати різними предметами: папером, обладнанням і т.д. Всі відходи паперу від друкуючих пристроїв і іншу непотрібну папір необхідно своєчасно прибирати. У відділі можна використовувати установки для гасіння пожежі з застосуванням води, піни, сухих хімічних порошоків.

Для боротьби з невеликими локальними спалахами слід застосовувати вуглекислі вогнегасники, які повинні розташовуватися в легко доступних місцях.

Основним засобом гасіння пожежі є переносні гасників і стандартні вуглекислотні установки ОУ-2 та ОУ-5. Перевагою вуглекислотних засобів гасіння пожежі є те, що вони мають високу ефективність гасіння і не пошкоджують електронного обладнання.

Крім того, вуглекислий газ не є провідником електрики, що важливо при гасінні пожежі в приміщенні, де встановлено обладнання, яке споживає електроенергію. Переносні вуглекислотні вогнегасники встановлюються в приміщеннях з обчислювальним обладнанням з розрахунку один вогнегасник на 40 - 50 кв. м., але не менше двох в приміщенні (ГОСТ - 12.1 - 004 - 76).

Засобом виявлення та оповіщення при пожежі є датчики, які встановлюються в витяжних повітроводах, в підпільному просторі, в сховищах носіїв інформації та інших приміщеннях. [27]

6.5 Розрахунок потрібного повітрообміну під час вступу шкідливих речовин у повітря робочої зони.

У приміщеннях, забруднених шкідливими парами, пилом, кількість повітря G, м³/год, необхідного для розведення концентрації шкідливих речовин до допустимих, розраховують за формулою:

$$G = \frac{K \cdot B}{q_2 - q_1}, \text{де}$$

B - кількість шкідливих речовин, що виділяються в приміщенні за 1 годину, мг / год;

q₁ - концентрація шкідливих речовин в припливно повітрі, мг/м³;

q₂ - концентрація шкідливих речовин в повітрі, що видаляється, мг/м³.

K - 1,2 .

Концентрація q_2 приймається рівної гранично допустимої для даного шкідливої речовини, в даному випадку це речовина CO_2 (двоокис вуглецю, що виділяється людиною).

$$q_2 = 30000 \text{ мг/ м}^3 = 30 \text{ г/ м}^3;$$

$$q_1 = 30\% (q_2) \text{ мг/ м}^3 = 9000 \text{ мг/ м}^3 = 9 \text{ г/ м}^3.$$

Кількість шкідливих речовин, що виділяються в приміщенні, визначається за формулою:

$$V = n \cdot b_1, \text{ де}$$

n - кількість осіб, які перебувають в приміщенні (4);

b_1 - кількість двоокису вуглецю, що виділяється людиною.

b_1 - при розумовій роботі $b_1 = 45 \text{ г/ год}$. Звідси

$$V = n \cdot b_1 = 180 \text{ г/ год}.$$

$$G = \frac{K \cdot V}{q_2 - q_1} = \frac{1,5 \cdot 180}{30 - 9} = 12,85 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже у випадку приміщення, в якому знаходиться 4 інженера, необхідно 12,85 м³/год чистого повітря аби концентрація шкідливих речовин не перевищувала норми.

При одночасному виділенні шкідливих речовин, тепла і вологи порівнюються відповідні повітрообміни, потрібні для їх видалення, і вибирається з них найбільший. В даному випадку найбільший повітрообмін потрібно для видалення тепла з виробничого приміщення.

Система вентиляції буває двох видів - природна (аерація) і механічна. З огляду на, що потрібно в основному видалення надлишків тепла, вибираємо природну вентиляцію. При цьому рух повітря здійснюється під дією різниці тиску зовнішнього і внутрішнього повітря за рахунок різниці температур зовні і всередині приміщення (теплова аерація). При загальнообмінної вентиляції приплив повітря повинен проводитися в робочу зону, а витяжка - з верхньої зони приміщення.

6.6 ВИСНОВКИ

Дотримання науково обгрунтованих норм техніки безпеки санітарні та гігієнічні заходи з охорони праці, правильний вибір вентиляції приміщень дає

можливість зробити роботу більш продуктивною, зменшити небезпеку виникнення професійних захворювань, знизити стомлюваність працівників. Тому було розраховано необхідну на 1 м³ кількість чистого повітря та вибрано оптимальну систему вентиляції. Звідси можна робити висновок, що суб'єкт дипломної роботи не порушує норми охорони праці.

ВИСНОВКИ

1. Масштабний коефіцієнт інтегруючого КВГ стабільна величина, що залежить від робочої моди коливань і геометрії резонатора, і слабо залежить від температури.

2. Для високоточною калібрування МК інтегруючого КВГ його слід обертати на великі кути. Чим менше швидкість обертання, тим довше повинно бути обертання по і проти годинникової стрілки.

3. Похибка вимірювання кута інтегруючим КВГ є періодичною функцією кута хвилі, амплітуда якої пропорційна різнодобротності і різночастотності. При балансуванні різночастотності до малих величин, амплітуда похибки пропорційна різнодобротності, а саме, різниці зворотних значень постійних часу загасання хвилі $\Delta(1/\tau)=1/\tau_1-1/\tau_2$.

4. Інтегруючий КВГ має зону нечутливості до малих кутових швидкостей. Граничне значення зони нечутливості дорівнює $\Omega_{thr}=0.5*\Delta(1/\tau)$.

5. Вимірювання кутів при малих кутових швидкостях, для гіроскопів з не збалансованою різнодобротністю можливо шляхом створення примусового обертання хвилі, яка імітує віртуальну кутову швидкість Ω_{virt} , що значно перевищує порогове значення Ω_{thr} при діапазоні нечутливості, $\Omega_{virt} \gg \Omega_{thr}$.

6. Похибка вимірювання малих кутів в основному залежить від амплітуди періодичної похибки пропорційної різнодобротності.

7. Періодична похибка практично не залежить від вимірюваної кутової швидкості і, отже, її можна коригувати на стендах підприємства виготовлювача на основі, наприклад, побудови математичної моделі цієї похибки від кута хвилі і, можливо, від температури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://nau.edu.ua/site/variables/news/2019/5/disert%20Tsiruk.pdf>
2. <https://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1195>
3. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов -Дмитрий Козорез, Михаил Красильщиков, Константин Веремеенко, Герман Себряков, Кирилл Сыпало, Александр Черноморский, Николай Ким, Сергей
4. Е.С.Горнев, Н.А.Зайцев, М.Ф.Равилов, И.М.Романов, С.О.Ранчин, “НИИМЭ и Микрон” Обзор микрогироскопов, сформированных по теории поверхностной иио объемной микромеханики
5. <https://wiki.analog.com/detail/resources/eval/user-guides/inertial-mems/gyroscopes/adis16130-screws.jpg?id=resources%3Aeval%3Auser-guides%3Ainertial-mems%3Agyroscopes%3Aadis16130-eval-adis>
6. <https://www.siliconsensing.com/products/gyroscopes/crs39/>
7. https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/motion/gyroscope/overview_gyroscopesensors
8. <https://ray-q.ro/pdf/LCG50-00500-100.pdf>
9. https://olegkop.ucoz.com/InfIzmYstr/lekcija_11.pdf
10. В.А. Матвеев, Б.С. Лунин, М.А. Басараб «Навигационные системы на волновых твердотельных гироскопах».- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008г., 240с.
11. V. V. Chikovani ”Basics of manufacturing technologies of the devices for on-board control systems”.- Manual (Навчальний посібник), К. НАУ-ДРУК, 2013 – 176с.
12. D. D. Lynch, “Coriolis Vibratory Gyros”. Simposium Gyro Technology, Germany, Stuttgart, Sept. 21-23, 1998, pp. 3.1-3.14
13. Матвеев В.А., Ліпатніков В.І., Алехин А.В. “Проектирование волнового твердотельного гироскопа”// М., МГТУ ім Н. Е. Баумана, 1997.
14. D. Lynch “Vibratory Gyro Analysis by the Method of Averaging”, Proc. 2nd St. Petersburg Conf. on Gyroscopic Technology and Navigation, St.Petersburg, Russia, May 24-25, 1995, pp.26-34.

15. I. P. Prikhodko, S. A. Zotov, A. A. Trusov, A. M. Shkel “Foucault pendulum on a chip: Rate integrating silicon MEMS gyroscope”// Sensors and Actuators A: Physical, 177 (2012) pp. 67– 78. doi:10.1016/j.sna.2012.01.029.
16. V. V. Chikovani, H. V. Tsiрук “Digital Rate MEMS Vibratory Gyroscope Modeling, Tuning and Simulation Results”.- An International Journal of Computing Science and Applications (Computación y Sistemas), v. 21, No. 1, 2017, pp. 147- 159, doi: 10.13053/CyS-21-1-2497.
17. V.V. Chikovani, V. M. Azarskov, C. V. Golovach Whole Angle Mode for Low Q-factor Vibratory Gyroscopes// V.V. Chikovani. - 2020. - The Ninth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY". - September, 22-24, Kyiv, Ukraine.
18. <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tehnicheskoe-tvorchestvo/2020/02/07/vliyanie-kompyutera-na-zdorove->
19. <https://www.opiq.kz/kit/16/chapter/810>
20. Влияние компьютерной техники на окружающую среду - Волков Н.В.
21. https://knowledge.allbest.ru/life/3c0b65635a3ac69b4d53b89421306d27_0.html
22. <https://gigabaza.ru/doc/1943.html>
23. <http://reshebniki-online.com/node/200433>
24. <https://mir-klimata.info/mikroklimat-na-rabochem-meste-ot-kakih-parametrov-on-zavisit-kategorii-optimalnye-znacheniya-dlya-raznyh-obektov/>
25. https://knowledge.allbest.ru/life/3c0b65635a3ac69b4d53b89421306d27_0.html
26. https://studbooks.net/1417085/bzhd/proizvodstvennaya_vibratsiya
27. <https://works.doklad.ru/view/0iWwVHxu6VQ/all.html>