

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.Д. Писаренко

“ ___ ” _____ 201__ р.

Дипломна робота

освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»

(назва ОКР)

з спеціальності : **6.050802 - Електронні пристрої та системи**

Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**

на тему: Генераторний модуль надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях

Виконав:

студент IV курсу, гр. ДЕ-51

_____ Ступак Станіслав Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник звідувач кафедри, проф. Писаренко Л.Д. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

Нормоконтроль _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет Е л е к т р о н і к и
Кафедра Електронні прилади та пристрої
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр
Спеціальність: 6.050802 - Електронні пристрої та системи
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.
_____ Л.Д.Писаренко
« ____ » _____ 20119 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту
Ступак Станіслав Олександрович

1. Тема проекту «Генераторний модуль надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях»

і керівник проекту Писаренко Леонід Дмитрович, завідувач кафедри, проф.

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2019 р., № _____

2. Строк подання студентом проекту « ____ » грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: Параметри генераторного блоку: Звукопровід із кварцу ST-зрізу, товщиною 1,0 мм; амплітуда сигналу на виході не менше 1,4 В; Еквідистантний ЗШП з 38 електродами; 7-ми секційний ЗШП з 19 електродами у кожній секції; Розміри корпусу генераторного блоку 80 x 75 x 15 мм; центральна частота досліджуваного генератору 70,64 МГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Анотація; вступ; огляд науковотехнічної літератури по автогенераторам на поверхневих акустичних хвилях; Розробка структурної схеми генератору; розробка та дослідження фізикоматематичної моделі одноканального зустрічно штирьового перетворювача; розробка складального креслення зустрічно штирьового претворювача; висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу: Структурна схема автогенераторного блоку; Креслення одноканального зустрічно-штирьового перетворювача; плакати з рисунками, графіками та формулами.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по автогенераторам на ЗШП	20.01.2019– 15.02.2019	
2	Дослідження фізичних основ та методів збудження ПАХ	16.02.2019– 14.03.2019	
3	Дослідження та порівняння автогенераторів на одноканальних резонаторах	15.03.2019– 26.04.2019	
4	Розрахунок характеристик одноканального резонатора на ПАХ	27.04.2019– 17.05.2019	
5	Математичне моделювання лінії затримки на ПАХ	18.05.2019– 22.05.2019	
6	Розробка складального креслення і деталювання	22.05.2019– 01.06.2019	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2019– 07.06.2019	
8	Креслення плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	08.06.2019– 10.06.2019	

Студент гр. ДЕ-51 _____ Ступак С.О.

Керівник проекту _____ Писаренко Л.Д.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему: «Генераторний модуль надвисоких частот на поверхневих акустичних

хвилях»

Київ – 2019

РЕФЕРАТ

Електронна система моніторингу життєвих показників людини

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 6.050802 – Електронні пристрої та системи, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Ступак Станіслав Олександрович. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-51. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

Ключові слова: Зустрічно-штирвовий перетворювач, поверхневі акустичні хвилі, надвисокочастотний генератор, лінія затримки.

Короткий зміст роботи: Дана дипломна робота присвячена дослідженню фізико-математичної моделі генераторного модулю НВЧ на ПАХ та його компонентів, в ній представлено результати інженерних розрахунків одноканального зустрічно-штирвового перетворювача у складі автогенератора надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях.

У вступі сформульована головна задача роботи і показана її актуальність. В аналізі літератури представлений огляд наукової літератури по генераторам поверхневих акустичних хвиль та їх компонентам, досліджено їх основні параметри та характеристики, та підтверджена перспективність їх розробки. В теоретичній частині приведені основні існуючі види автогенераторів, принципи їх роботи та приведено їх порівняння. В розділі розрахунків приведені методики та результати розрахунку параметрів зустрічно-штирвового перетворювача у складі автогенератора надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях.

АНОТАЦІЯ

У даній дипломній роботі головним завданням є моделювання та дослідження фізико-математичної моделі генераторного модулю НВЧ на ПАХ та його компонентів, в ній представлено результати інженерних розрахунків одноканального резонатора ПАХ у складі автогенератора надвисоких частот.

Робота складається із вступу, аналізу літератури, теоретичної частини, математичного моделювання та висновків. У вступі сформульована головна задача роботи і показана її актуальність. В аналізі літератури представлений огляд пристроїв на поверхневих акустичних хвилях, їх основні параметри та характеристики, та підтверджена перспективність їх розробки. В теоретичній частині приведені основні існуючі види автогенераторів, їх порівняння, та принцип роботи. В розділі інженерних розрахунків приведені методики та результати розрахунку параметрів одноканального зустрічно-штирьового перетворювача у складі автогенератора надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях.

Параметри генераторного модулю:

- Звукопровід із кварцу ST-зрізу, товщиною 1,0 мм;
- центральна частота досліджуваного генератору 70,64 МГц.
- амплітуда сигналу на виході не менше 1,4 В

S U M M A R Y

In this thesis, the main task is to model and study the physical and mathematical model of the microwave generator module on SAW and its components. In this work the results of engineering calculations of a single-channel resonator on SAW in the composition of the autogenerator of ultrahigh frequencies are presented.

The work consists of introduction, analysis of literature, theoretical part, mathematical modeling and conclusions. The introduction formulated the main task of the work and shown its relevance. The analysis of literature presents an overview of devices on surface acoustic waves, their main parameters and characteristics. In the theoretical part are given the main existing types of autogenerators, their comparison, and the principle of work. In the section of engineering calculations, the methods and results of calculating the parameters of a single-channel interdigital transducer in the composition of the super-high frequency autogenerator on surface acoustic waves are presented.

Parameters of the generator module:

- Sound lead from ST-cut quartz, 1.0 mm thick;
- The central frequency of the investigated generator is 70.64 MHz.
- The amplitude of the signal at the output is not less than 1.4 V.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП.....	11
1 ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО АВТОГЕНЕРАТОРАМ НА ПАХ.....	16
1.1 Фізичні основи та методи збудження поверхнево акустичних хвиль	16
1.2 Прилади на поверхневих акустичних хвилях	19
1.3 Стабільність ПАХ генераторів	32
Висновки до розділу 1	36
2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	37
2.1. Автогенератори на одноканальних резонаторах.....	37
2.2. Порівняння автогенераторів та їх характеристик	38
Висновки до розділу 2	60
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАТОРА ПАХ НА ЗШП	62
3.1. Проектування автогенератора НВЧ коливача.....	62
3.2. Розрахунок характеристик одноканального резонатора ПАХ	63
3.3. Математичне моделювання зустрічно штир'яного перетворювача на ПАХ	63
Висновки до розділу 3	82
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	84
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	92
Додаток	

					БР.6.050802.051.018 ВДП							
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Піппис</i>	<i>Дата</i>	Генераторний модуль надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архівів</i>		
<i>Розроб</i>	Ступак С.									10	66	
<i>Певевіп</i>	Писаренко Л.							«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51				
<i>Реценз.</i>												
<i>Н. Контр.</i>												
<i>Затверд.</i>	Писаренко Л.											

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПАХ – поверхневі акустичні хвилі

ЗШП – зустрічно-штирбовий перетворювач;

ЛЗ – лінія затримки;

φ – нахил фазової характеристики;

Q – добротність;

ω_0 – частота автоколивань;

M – відносна акустична довжина ЛЗ ПАХ;

$Y_{вх}$ – вхідна провідність відбивних ґраток;

ρ_0 – коефіцієнт відбиття ґраток;

Ψ – фаза;

					ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР	Анк
Змн.	Адж.	№ докum.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

Автогенератор - один з найголовніших пристроїв в радіоелектроніці, він є джерелом всіх сигналів в радіоелектронних пристроях. Найбільш поширеним видом передачі інформації є мікрохвильовий зв'язок. Поширеність даного виду зв'язку, зумовлює досить велика кількість факторів, основними з яких являються гнучкість, мобільність і порівняно велика пропускну здатність.

У сучасних електронних системах в якості джерел високочастотних коливань найбільш широко використовуються три типи автогенераторів. Автогенератори з коливальними системами що побудовані на LC-елементах, кварцові автогенератори і автогенератори що використовують поверхневі акустичні хвилі (ПАХ).

Маючи на увазі широке використання генераторів частоти, сфера електроніки до якої вони належать досить швидко розвивається і постійно являється актуальною. Генератори частоти постійно вдосконалюються, розвивається елементна база, і отримуються нові знання та практичні навички їх використання в різних сферах електроніки.

Завдяки роботі на надвисоких частотах буде досягнута висока точність електронних приладів що використовують даний генератор надвисоких частот.

Генератори надвисоких частот (НВЧ-генератори) працюють в діапазоні частот (1 ... 40) ГГц. По типу вихідного з'єднувача з досліджуваної схемою дані генератори поділяють на коаксіальні та хвилеводні, причому останні являються більш високочастотними.

Для генераторів надвисоких частот характерною є однодіапазонна побудова, з невеликим перекриттям по частоті (приблизно в 2 рази). Некалібрована вихідна потужність вимірювального НВЧ-генератора лежить в межах кількох Вт, а калібрована досягає кількох мкВт.

Генератори надвисоких частот широко використовуються для вимірювання параметрів антен, систем космічного зв'язку, налаштування радіоприймальних пристроїв, радіонавігаційних і радіолокаційних станцій, і т. і.

									Анк
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				11

Особливостями вимірювальних генераторів цього типу є відносна простота електричної схеми але, водночас, складність механічних вузлів приладів.

Так, як у вимірювальних СВЧ-генераторах зі зростанням частоти, зростає витік потужності, для коректної роботи їм необхідно забезпечити ретельне екранування. До джерел живлення також висувуються підвищені вимоги, бо активні елементи НВЧ-діапазону достатньо чутливі до нестабільності напруги живлення.

У даній дипломній роботі необхідно змодельювати характеристики генератору надвисоких частот (НВЧ) на ПАХ і дослідити способи підвищення його ефективності.

Пристрої на поверхнево акустичних хвилях широко використовуються в побутовій, промисловій та військовій галузях. Це пов'язано з їх унікальними властивостями - малими розмірами і вагою, низькою ціною, високою надійністю і стабільністю в часі. Через їх унікальні властивості, у деяких пристроях вони не можуть бути замінені іншими елементами. ПАХ-резонатор використовує поверхнево і може застосовуватися в високочастотних ланцюгах, де відсутні звичайні кристалічні, керамічні резонатори, оскільки ПАХ-резонатор стійко коливається в своєму основному режимі в діапазоні частот від 50 МГц до близько 1,5 ГГц.

Завданнями даної бакалаврської роботи являється:

- Проаналізувати матеріал, в областях теоретичної та практичної розробки генераторів надвисоких частот на поверхневих акустичних хвилях, проаналізувати недоліки та переваги даних генераторів і знайти області, в яких вони можуть бути покращені;
- Розрахувати та дослідити параметри і характеристики генератору надвисоких частот на ПАХ.
- Дослідити вплив зміни певних параметрів роботи генератора на ефективність його роботи.

									Анк
									12
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				

РОЗДІЛ I. ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО АВТОГЕНЕРАТОРАМ НА ПАХ

1.1. Фізичні основи та методи збудження поверхнево акустичних хвиль

Поверхнева акустична хвиля - це акустична хвиля, що розповсюджується вздовж поверхні пружного матеріалу, з амплітудою, яка зазвичай експоненціально загасає з глибиною в матеріалі.

ПАХ вперше були пояснені в 1885 році лордом Релеєм, який описав поверхневий акустичний спосіб поширення хвиль. Ці хвилі бувають двох типів: з вертикальною поляризацією, у яких вектор коливального зміщення частинок середовища в хвилі розташований в площині, перпендикулярній до граничної поверхні, і з горизонтальною поляризацією, у яких вектор зміщення частинок середовища паралельний до граничної поверхні і перпендикулярний до напрямку поширення хвилі.

ПАХ на сьогодні знаходять все більше застосування. Назва пояснюється тим, що компоненти подібних хвиль різко згасають зі збільшенням відстані від поверхні п'єзокристалу, це призводить до того що основна частина енергії ультразвукових хвиль поширюється у вузькому поверхневому шарі товщиною близько довжини хвилі. Поширення ПАХ з вільної поверхні п'єзокристалу відбувається бездисперсійно до дуже високих частот. Однак при наявності плівок на поверхні, з'являється дисперсія, величина якої прямо пропорційна товщині плівки і частоті коливань ПАХ. Суттєвою особливістю ПАХ є також і те, що внаслідок анізотропії п'єзокристал характеристики цих хвиль (швидкість, загасання) значно залежать від напрямку її поширення по відношенню до осей кристалу.

Найширшого використання здобули найпростіші ПАХ з вертикальною поляризацією – хвилі Релея. Названі на честь свого першовідкривача, дані хвилі мають поздовжній і вертикальний зсувні компоненти, які можуть з'єднуватися з будь-якими середовищами, що контактують з поверхнею. Цей зв'язок сильно впливає на амплітуду і швидкість хвилі, дозволяючи датчикам ПАХ безпосередньо визначати масу і механічні властивості.

									Анк
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				13

Хвилі Релея, можуть існувати в твердому тілі поблизу його вільної поверхні, що межує з вакуумом або дуже розрідженим газовим середовищем. Фазова швидкість таких хвиль спрямована паралельно поверхні, а частки середовища що коливаються поблизу неї мають як поперечну, так і подовжню складову вектору зміщення. Ці частинки описують при своїх коливаннях еліптичні траєкторії в площині, перпендикулярній поверхні що також проходить через напрямок фазової швидкості. Зазначена площину називається сагітальною. Амплітуди подовжніх і поперечних коливань зменшуються в міру віддалення від поверхні вглиб середовища по експоненціальним законами з різними коефіцієнтами загасання. Це призводить до того, що еліпс деформується і поляризація далеко від поверхні може стати лінійної. Проникнення хвилі Релея в глибину звукопроводу становить величину порядку довжини поверхневої хвилі. Якщо хвиля Релея збуджена в п'єзоелектрику, то як всередині нього, так і над його поверхнею у вакуумі буде існувати повільна хвиля електричного поля, викликана прямим п'єзоефектом.

Фазова швидкість хвиль Релея $c_k \approx 0,9c_t$, де c_t - фазова швидкість плоскої поперечної хвилі.

Якщо тверде тіло межує з рідиною і швидкість звуку в рідині менше швидкості c_k в твердому тілі (це справедливо майже для всіх реальних середовищ), то на границі твердого тіла і рідини можливе поширення загасаючої хвилі релеєвського типу. Ця хвиля при поширенні безперервно випромінює енергію в рідину, утворюючи в ній неоднорідну хвилю що відходить від границі. Фазова швидкість цієї ПАХ з точністю до відсотків дорівнює c_k , а коефіцієнт загасання на довжині хвилі приблизно рівний 0,1, тобто на відстані 10λ хвиля загасає приблизно в 10 разів.

В задачі Релея маємо плоску межу вакуум-ізоопне тверде середовище. Границя розділу збігається з площиною xy , вісь z спрямована вглиб твердої середовища. Вихідними для вирішення завдання є хвильові рівняння для вектору зміщення частинок середовища твердого тіла

$$\nabla^2 \vec{u}_l + k_l^2 \vec{u}_l = 0, \quad (1.1)$$

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Адж</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адж.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

$$\nabla^2 \vec{u}_t + k_t^2 \vec{u}_t = 0$$

При вирішенні використовується гранична умова, що полягає в тому, що на границі з вакуумом напруга повинна бути відсутньою.

Рішення шукаємо у вигляді плоских гармонічних хвиль, що біжать уздовж осі x в твердому півпросторі. З урахуванням того, що енергія поверхневої хвилі зосереджена поблизу границі твердого тіла з вакуумом, амплітуда зміщення частинок середовища, збуджених цією хвилею, повинна експоненціально спадати з ростом координати z .

Хвиля Релея являє собою складну акустичну хвилю. Рішення рівнянь (1.1) для зміщення частинок в поверхневій хвилі Релея маємо в наступному вигляді:

$$\dot{u}_x = A \left[e^{-qz} + \frac{2qs}{(k_R^2 + s^2)} e^{-sz} \right] e^{j(\omega t - k_R x)}, \quad (1.2)$$

$$\dot{u}_z = -A \frac{jq}{k_R} \left[e^{-qz} - \frac{2k_R^2}{(k_R^2 + s^2)} e^{-sz} \right] e^{j(\omega t - k_R x)}, \quad (1.3)$$

$$\dot{u}_y = 0 \quad (1.4)$$

Де параметри $q = \sqrt{k_R^2 - k_l^2}$ і $s = \sqrt{k_R^2 - k_t^2}$ залежать від хвильових чисел:

$$k_l = \frac{\omega}{V_l}, \quad k_t = \frac{\omega}{V_t}, \quad k_R = \frac{\omega}{V_R}.$$

V_l, V_t, V_R – швидкість поширення поздовжньої, зміщеної і поверхневої хвилі в даному середовищі. З рішень (1.2), (1.3) видно експоненціальний закон затухання амплітуди зміщень при віддаленні точки спостереження від границі, всередину твердого тіла (рис.1.1). Товщина локалізації хвилі Релея складає 1-2 довжини хвилі λ_R . На глибині λ_R щільність енергії в хвилі становить приблизно 5% від щільності у поверхні.

						<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Анк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	
						15

навантаження переважно не чинять впливу, то загасання хвилі Релея в більшості матеріалів має той же порядок, що і загасання зсувної хвилі.

Крім R -хвиль, існує цілий ряд інших типів поверхневих акустичних хвиль: поверхневі хвилі в твердому шарі, що лежить у твердому пружному півпросторі (хвилі Лява), хвилі в пластинках (хвилі Лемба), хвилі на викривлених твердих поверхнях, клинові хвилі і т. і.

Найпоширенішими джерелами акустичних хвиль є коливальні тіла. Коливальні тіла (наприклад, мембрана) переміщують частки газу або рідини що прилягають до них, «виштовхуючи» їх в навколишнє середовище у додатній напівперіод коливання і «втягуючи» їх з навколишнього середовища у від'ємний напівперіод коливань. При повільних коливаннях тіл цим визначається майже все. Однак навіть при порівняно повільних коливаннях тіла (дуже низьких частотах) частина енергії йде на випромінювання звуку, тобто на здійснення стискань і розтискань, на зміну густини середовища завдяки її стисливості. Ці зміни щільності «відокремлюються» від тіла, що коливається і поширюються далі у вигляді пружних хвиль. З підвищенням частоти ефективність випромінювання звуку збільшується, в той час як ефект «виштовхування» і «втягування» частинок середовища слабшає. При певних умовах більша частина механічної енергії тіла, що коливається перетворюється в енергію розповсюджується звукової хвилі. Цю властивість і використовують прилади на поверхневих акустичних хвилях.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Анк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

1.2. Прилади на поверхневих акустичних хвилях

У сучасній радіоелектроніці широко застосовуються прилади, засновані на порушенні ультразвукових хвиль в пружних п'єзокристалічних середовищах. Головною причиною цього є те, що швидкість поширення подібних хвиль на п'ять порядків менше за швидкість електромагнітних хвиль в тому ж середовищі. Завдяки цьому прилади мають малі розміри та малу масу. Друга причина їх широкого застосування полягає у високій стабільності параметрів ряду п'єзокристал, що дає можливість будувати на їх основі стабільні за характеристиками пристрої. Збудження поверхнево акустичних хвиль, на явищі п'єзоефекту, це найважливіше завдання при створенні пристроїв на поверхнево акустичних хвилях але воно досить складне з точки зору опису фізичного процесу.

Ряд важливих характеристик приладів на ПАХ визначається величиною загасання даних хвиль. Вона залежить від нерівності поверхні п'єзоматеріалу, його опору, тиску навколишнього газового середовища і т.і.

Загасання через нерівності поверхні п'єзоматеріалу сильно зростає, якщо характерний розмір нерівностей перевищує $0,0\lambda$, де λ - довжина ПАХ. Це призводить до того, що більшості радіотехнічних приладів на поверхнево акустичних хвилях повинні використовувати п'єзоматеріали, поверхня яких повинна бути не лише відшліфована, а й відполірована з високим рівнем точності. Крім того, для зменшення втрат іноді проводять вакуумування кристалів, а також ретельно вирівнюють кристалографічні осі і напрямок поширення ПАХ. Останнє пояснюється тим, що відхилення від норми через анізотропні властивості п'єзокристалу веде до відхилення потоку енергії ПАХ відносно осей випромінювачів а, отже, збільшує еквівалентні втрати пристрою на цих хвилях. Всі ці заходи призводять до того, що на сьогодні пристрої на ПАХ мають втрати менш 20 дБ в діапазоні частот до 1 ГГц.

Насьогодні в приладах на ПАХ, що застосовуються в генераторних системах, для прийому і збудження акустичних хвиль використовують, в основному, електродні типи перетворювачів (рис. 1.1). При цьому на робочій

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Адж</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адж.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>18</i>

поверхні п'єзокристалу створюється жорстко з'єднана з нею ґрати штирів з провідного матеріалу. Зазвичай це досягається вакуумним напиленням металу в спеціальних установках. При подачі на подібні електродні системи електричних коливань за рахунок п'єзоєфекту матеріалу підкладки виникають механічні деформації її поверхні, що в свою чергу веде до порушення акустичної поверхневої хвилі.

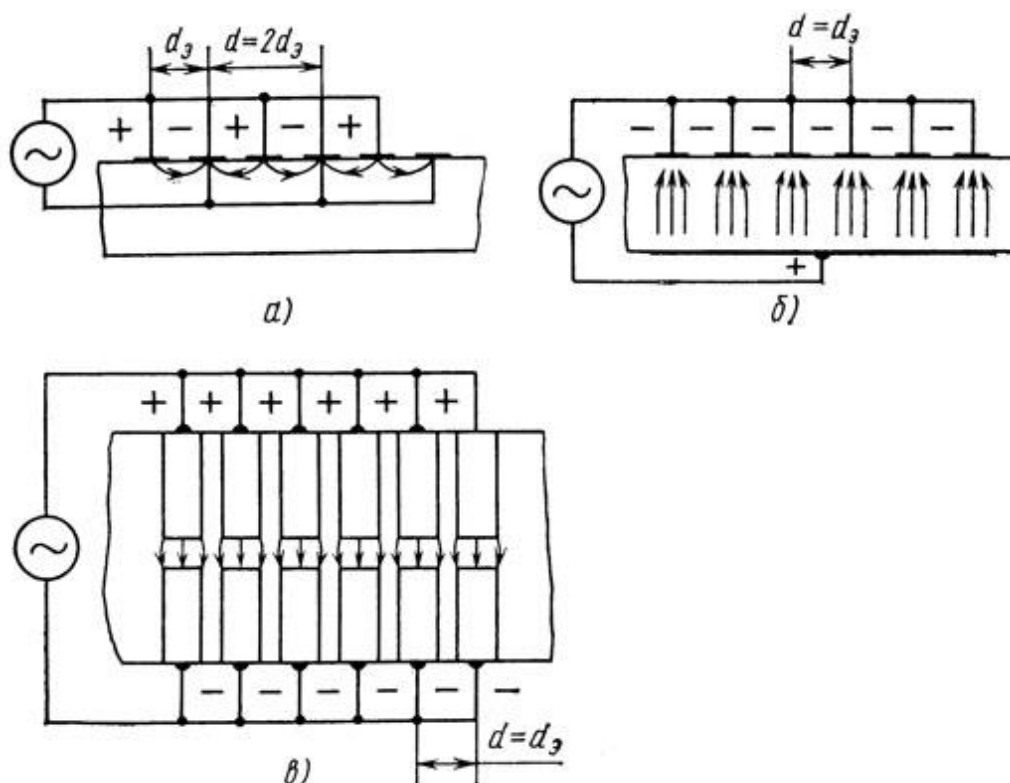


Рис. 1.2. Основні типи електродних перетворювачів ПАХ: а) зустрічно-штирьовий, б) однофазний, в) торцевий

Як видно з рис. 1.1, ґратчасті перетворювачі подібні антенним решіткам. Це також характерно і для принципу їх дії.

Так, ґратчастий перетворювач ПАХ найбільш ефективно працює тоді, коли поверхневі акустичні хвилі, збуджувані окремими електродами перетворювача, складаються синфазно.

Основним типом перетворювачів ПАХ що застосовуються сьогодні є зустрічно-штирьовий перетворювач (ЗШП) який представляє собою ґратку з металевих електродів, нанесену на поверхню п'єзоелектрику. Він являється найважливішим елементом побудови ряду приладів на ПАХ - це пристрій, що

						Анк
					ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР	19
Змн.	Адж.	№ док.	Підпис	Дата		

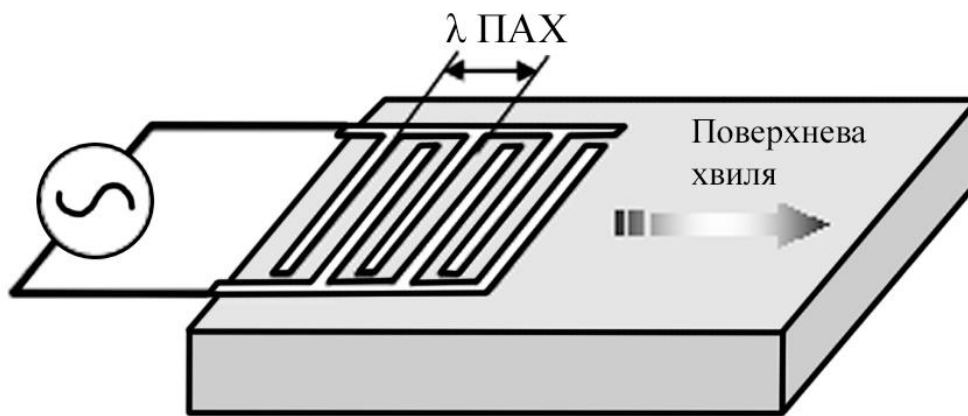


Рис. 1.3. Зустрічно-штирьовий перетворювач

Незважаючи на простоту зустрічно-штирьового перетворювача, математично строгого рішення задачі про збудження акустичних хвиль на поверхні п'єзокристалу за допомогою ЗШП не існує. Також точно не вирішена задача про знаходження зовнішніх електричних характеристик перетворювачів: вхідного опору, імпульсного відгуку та ін. Це пов'язано з тим, що досить складно знайти розподіл полів у системі п'єзокристал-перетворювач. Проте існують деякі спрощені моделі за якими проводиться дослідження важливих особливостей роботи перетворювачів ПАХ і дослідження методів їх конструювання.

Міжелектродні відстані по довжині всього ЗШП залишаються однаковими і рівними p_e . На так званій основній центральній частоті перетворювача ω_c , при якій довжина хвилі λ ПАХ дорівнює періоду ґратки p , поверхневі акустичні хвилі, порушені окремими електродами, складаються синфазно і перетворювач працює найбільш ефективно. Ця частота визначається ефективною швидкістю розповсюдження поверхневої хвилі під електродною структурою v_0 і просторовим періодом ґратки p :

$$\omega_c = 2\pi v_0/p \quad (1.7)$$

Синфазне або близьке до нього складання поверхневих акустичних хвиль а отже і ефективна робота перетворювача, можлива лише в деякій смузі частот поблизу ω_a . Ширина цієї смуги обернено пропорційна кількості електродів в перетворювачі. Наслідком ґратчастої структури перетворювачів є також те, що за відсутності дисперсії парні гармоніки основної поверхневої акустичної хвилі складаються протифазно і не поширюються по поверхні п'єзопластини.

									Анк
Змн.	Адж.	№ докум.	Підпис	Дата					21

На частотах, близьких до ω_a , активна складова провідності випромінювання перетворювача дорівнює:

$$G_a(\omega) = 8k^2 C_s f_0 N^2 \sin^2(X)/X^2 = G_0 \left(\frac{\sin(X)}{X}\right)^2 \quad (1.8)$$

Де $G_a(\omega) = 8k^2 C_s f_0 N^2$ активна складова провідності ВШП на центральній частоті, $X = \pi N_p (\omega - \omega_c) / \omega_c$; N_p – число періодів. Реактивна складова провідності випромінювання поблизу ω_c визначається виразом:





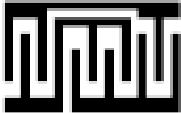

$$B_a(\omega) = G_0(\omega_c) \frac{(\sin(2X) - 2X)}{2X^2} \quad (1.9)$$

Результуюча реактивна складова провідності перетворювача дорівнює $\omega C_t + B_a(\omega)$, де C_t - ємність перетворювача. Ємнісна складова зазвичай набагато перевищує $G_a(\omega_c)$. Величина $G_a(\omega)$ максимальна при $\omega = \omega_c$, а $B_a(\omega_c)$ дорівнює нулю. Тому в більшості практичних випадків реактивну складову акустичної провідності $B_a(\omega)$ можна не враховувати.

Як впливає з (1.7), при однаковій міжелектродній відстані p_e основна центральна частота у однофазного і торцевого перетворювачів в 2 рази вище, ніж у зустрічно-штирьового. Однак останній має істотно більшу ефективність акустичного перетворення і менший рівень збудження паразитних об'ємних хвиль. Тому однофазний і торцевий перетворювачі використовуються в основному лише в діапазоні частот вище 1 ГГц, де зростаючі вимоги на точність виготовлення електродної системи ускладнюють застосування зустрічно-штирьових перетворювачів. На більш низьких частотах в більшості випадків застосовуються зустрічно-штирові перетворювачі. Основні типи конструкцій ЗШП і їх порівняльні характеристики наведені в табл. 1

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	Анк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.1. Типи конструкцій ЗШП і їх порівняльні характеристики

Тип ЗШП	Конструкція	Переваги	Недоліки	Смуга пропускання Δf_z , дБ	Ослаблення сигналу дБ
Неаподизований еквідистантний з одинарними електродами		Легкість розрахунку	Низька прямокутність, високий рівень бічних пелюсток	1,0–50,0	6–40
Неаподизований еквідистантний з розщепленими електродами		Малий коефіцієнт відображення	Велика вірогідність дефектів при виготовленні	1,0–50,0	6–40
ЗШП зі зважуванням коефіцієнту металізації		Однорідність фазового фронту по апертурі	Обмежений вибір АЧХ для реалізації. Великий рівень бічних пелюсток АЧХ	1,0–10,0	6–20
ЗШП зі зважуванням і вибірковою видаленням електродів		Зниження фазових спотворень фронту і дифракції	Наявність ангармонічних відгуків в смузі режекції	0,2–3,0	5–10
ЗШП з емнісним зважуванням		Зниження фазових спотворень фронту і дифракції	Обмежений вибір АЧХ для реалізації.	5,0–20,0	4–15
Віальний неаподизований		Високий коефіцієнт прямокутності	Високий рівень бічних пелюсток АЧХ	3,0–30,0	10–20

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР

Арк

23

при їх електричному збудженні вони випромінюють в обидва боки вздовж поздовжньої осі перетворювача. Це є наслідком їх симетрії.

Властивість двобічного випромінювання є недоліком, якщо подібні перетворювачі використовуються, наприклад, в лініях затримки ПАХ. У цьому випадку двобічне випромінювання перетворювачів сильно збільшує втрати лінії затримки і стає необхідним застосовувати спеціальні заходи щодо зменшення впливу випромінювання перетворювачів в непотрібному напрямку. Інакше в робочому просторі лінії затримки з'являються хвилі, відбиті від кінців п'єзопластини, і це в свою чергу сильно погіршує характеристики пристрою.

Двонаправленість випромінювання перетворювача, що використовується в резонаторі на поверхнево акустичних хвилях, зовсім не погіршує характеристик останнього. Це пояснюється тим, що в резонаторах однаково ефективно використовується як пряме, так і зворотне збудження хвиль перетворювачами ПАХ.

Одним з головних елементів будь-якого акустoeлектронного приладу є п'єзоелектрична підкладка, її фізичні властивості значною мірою визначають основні параметри пристрою: ширину смуги пропускання, вносиме згасання, загасання в смузі загородження, рівень хибних сигналів, температурну та часову стабільність, розмір п'єзоелементу, вартість, тощо. Найбільш важливими характеристиками матеріалу є коефіцієнт п'єзоелектричного зв'язку k^2 і температурний коефіцієнт частоти (ТКЧ). При виборі оптимального п'єзоелектричного матеріалу для оцінки відносної ширини смуги пропускання можна скористатися простим співвідношенням:

$$\frac{f_3}{f_0} \leq \sqrt{\frac{4k^2}{\pi}} \quad (1.10)$$

де f_0 - центральна частота; f_3 - абсолютна смуга пропускання по рівню 3дБ; k^2 - коефіцієнт електромеханічного зв'язку ПАХ в п'єзоелектрику.

Рівняння визначає максимальне значення f_3/f_0 для ЗШП в даному матеріалі, що забезпечує мінімальне внесене згасання. Розширення смуги пропускання понад цієї величини призводить до зростання внесеного загасання, а

									Апк
Змн.	Апк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				25

поглинати ПАХ. Крім цього, у тих же цілях п'єзопластини можуть робити у формі трапеції (пунктирна лінія на рис. 1.2). Це призводить до того, що відбиті від скошеного кінця підкладки хвилі виходять з активної зони лінії затримки і не повертаються на перетворювачі.

Основним елементом резонаторів на ПАХ являються відбивні решітки. Вони утворюються періодичними порушеннями структури поверхні п'єзокристалу і представляють собою розподілений відбивач з просторовим періодом, рівним зазвичай половині робочої довжини поверхневої акустичної хвилі. Кожен з елементів відбивача відображає лиш невелику частину падаючої на нього акустичної хвилі. Проте за рахунок синфазного складання великого числа відбитих часткових хвиль загальний коефіцієнт відображення на робочій частоті виходить близьким до одиниці, але в той же час суттєво залежить від частоти, тому що синфазне складання можливо лише поблизу робочої частоти решітки.

Для утворення відображають решіток, необхідні неоднорідності структури поверхні п'єзокристалу. Вони можуть бути створені декількома способами, наприклад, нанесенням на його поверхню провідних або непровідних доріжок. У першому випадку провідні доріжки закорочують електричне поле в тій частині поверхні п'єзокристалу, де вони були нанесені, це зазвичай і є причиною локальної зміни швидкості ПАХ. У іншому випадку неоднорідність створюється за рахунок внесення додаткового масового навантаження на поверхню п'єзокристалу. Порушення структури поверхні може бути також створено шляхом травлення або фрезерування канавок. Іноді для тих же цілей використовують іонну імплантацію або дифузію металу.

Принцип дії відбивних решіток ПАХ багато в чому аналогічний принципу дії звичайних відбивних антенних решіток. Але їх характерною особливістю є велика кількість відображуючих елементів (кілька сотень) і дуже малий коефіцієнт відображення кожного елемента решітки (менше одного відсотка).

Резонатор ПАХ являється п'єзозвукопроводом, на кінцях якого розташовуються дві зазвичай однакові відображаючі решітки (рис. 1.3). Решітки

									АПК
Змн.	АПК	№ док.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				27

Як і в резонаторах на об'ємних акустичних хвилях, моди з непарними номерами n відповідають асиметричним типам стоячих хвиль, а з парними номерами - симетричним (рис. 1.4).

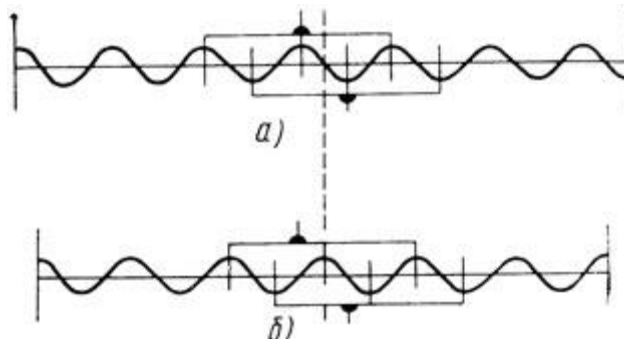


Рис. 1.4. Збудження асиметричних і симетричних стоячих хвиль в резонаторі ПАХ: а - асиметрична мода, б - симетрична мода

В резонаторах що використовують об'ємні акустичні хвилі, металеві електроди наносяться на гранях резонансної порожнини, тому прикладена до цих електродів напруга збуджує тільки несиметричні типи стоячих хвиль. У одноканальному резонаторі ПАХ перетворювач розміщений всередині порожнини резонатора і в залежності від відповідності між розподілом електричних полів перетворювача і типу стоячій хвилі може збуджувати симетричний, або асиметричний тип стоячій хвилі. Наприклад, якщо центр порожнини резонатора розташовується посередині між двома сусідніми електродами перетворювача, то будуть ефективно збуджуватися хвилі асиметричного типу. Якщо ж центр резонансної порожнини збігається з центром одного з електродів, то буде збуджуватися стояча хвиля симетричного типу.

						Анк
					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	29
Змн.	Адж.	№ докum.	Підпис	Дата		

1.3 Стабільність ПАХ генераторів

Стабільність частоти є однією з головних характеристик генераторів, і багато в чому визначає перспективи їх практичного використання.

Розрізняють:

- короткочасну стабільність - зміна частоти за період часу порядку декількох секунд;
- середньочасову стабільність - зміна частоти за час порядку годин або температурну чутливість;
- довготривалу стабільність - за період часу порядку року або старіння.

Короткочасна стабільність (шумові характеристики) ПАХ-генераторів з одного боку визначається швидкими змінами в елементах генератора а з іншого ефективною добротністю стабілізуючого елемента (резонатора або лінії затримки). Добротність стабілізуючого елемента залежить від нахилу його фазової характеристики, тобто від затримки. Крім того, шумові характеристики ПАХ-генератора залежать від внесених втрат стабілізуючого елемента, шумового спектра і вихідної потужності підсилювача. ПАХ-резонатори можуть мати добротність до 10 000. Тому для отримання кращої короткочасної стабільності краще застосовувати ПАХ-резонатори, ніж лінії затримки.[5]

Середньочасова стабільність ПАХ-генераторів визначається головним чином температурними залежностями властивостей матеріалу звукопроводу. З традиційних матеріалів найкращим є кварц, що має нульовий температурний коефіцієнт затримки при температурі близько 25 ° С. Температурна залежність робочої частоти генератора з відбивними структурами на частоту 97 МГц приведена на рис 1.5. Його спектральна характеристика зображена на рис. 1.6.

Довготривала стабільність (старіння) ПАХ-генераторів пов'язана з повільними змінами частоти, які відбуваються з багатьох причин. Найбільш характерними є зміни робочої поверхні звукопроводу, релаксаційні ефекти, зміни в металізації.

									Анк
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				30

РОЗДІЛ II. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

У даній дипломній роботі вивчається та розглядається доцільність та переваги конструкції і роботи 3-х частотного генераторного модулю, що складається з 3-х ПАХ-генераторів. Метою є вивчення роботи приладу на певній частоті, і дослідження вплив зміни деяких параметрів приладу на ефективність його роботи.

Даний прилад має працювати в діапазоні частот 1 – 40 ГГц.

Насьогодні дуже швидко зростають вимоги до автогенераторів, такі як збільшення ефективності їх роботи і поліпшення технічних характеристик, і одночасно зменшення фізичних розмірів.

При розгляді існуючих на сьогодні конструкцій генераторних модулів, приймаємо рішення реалізувати генераторний модуль, частотна генерація у якому буде формуватися за допомогою лінії затримки з секційним ЗШП.

Основними компонентами приладів на ПАХ є п'єзоелектричний звукопровід, та зустрічно-штирові перетворювачі.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Анк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

2.1. Автогенератори на одноканальних резонаторах

Як зазначено в огляді науково-технічної літератури, частотні властивості одноканальних резонаторів на ПАХ багато в чому співпадають з частотними властивостям кварцових резонаторів на об'ємних акустичних хвилях. Це означає що ми можемо користуватися схемами традиційних кварцових генераторів при побудові автогенераторів на одноканальних резонаторах ПАХ.

Кварцові генератори по принципу своєї будови можна розподілити на дві великі групи. До першої групи відносяться триточкові схеми, у яких кварцовий резонатор виступає в ролі індуктивного плеча контуру. В той час, як до другої групи генераторів відносяться автогенератори, в яких резонатор ПАХ використовується в ролі послідовного контуру.

Практичні варіанти автогенераторів першої групи з одноканальними резонаторами ПАХ показано на рис. 2.2

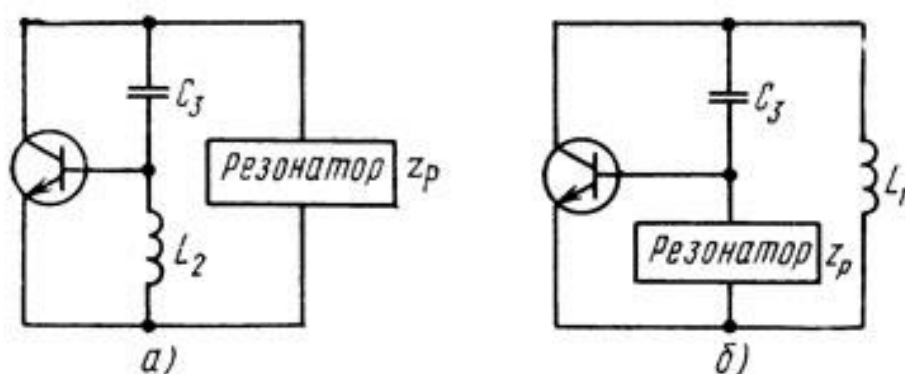


Рис. 2.2. Схеми автогенераторів з одноканальними резонаторами ПАХ

Автогенератор з резонатором ПАХ, який підключено між колектором і емітером транзистора (рис. 2.2, а), та резонатором, який підключено між базою і емітером (рис. 2.2, б), виконані за схемою індуктивної триточки. Автогенератор з резонатором між колектором і базою, виконаний за схемою ємнісної триточки. Робочий діапазон частоти, а отже, і діапазон перебудови схем, у яких резонатор ПАХ грає роль індуктивного елемента, в основному лежить між частотами паралельного та послідовного резонансів. Відносна різниця між цими частотами навіть для такого сильного п'єзоелектрика як ніобат літію, становить лише 0,1-

									Анк	
Змн.	Адж.	№ док.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР					33

індуктивним елементом. При цьому з технологічної точки зору виробництво генератора погіршується і ускладнюється.

Відзначимо, що на відміну від кварцових резонаторів на об'ємних типах акустичних коливань, в яких на основній частоті гармонікам відповідають загасання, які близькі до загасань на основній частоті, в резонаторах поверхневих акустичних хвиль, загасання на гармоніках основної частоти набагато більші за загасання на основній частоті. Це має сенс принаймні для відповідних конструкцій резонаторів поверхневих акустичних хвиль. Тому при розрахунку автогенераторів на одноканальних резонаторах ПАХ можна не враховувати резонанси на гармоніках основної частоти.

Схема автогенератора другої групи, у якому резонатор поверхнево акустичних хвиль виступає в ролі послідовного контуру показана на рис. 2.4. Автогенератор зібраний по триточковій схемі. Ланцюг зворотного зв'язку даного генератора має ділник, який складається з кварцового резонатора і резистора R_d .

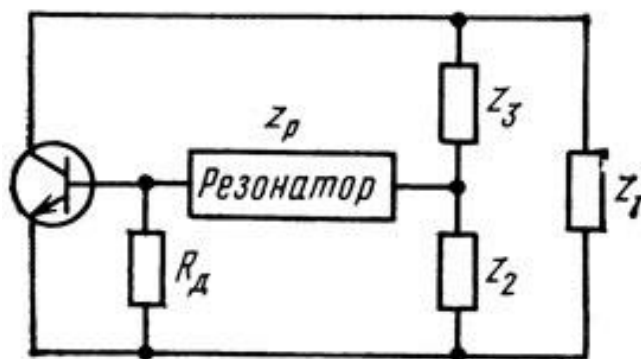


Рис. 2.4. Схема автогенератора з одноканальним резонатором ПАХ в колі зворотного зв'язку

Частота коливань автогенератора визначається, в основному, резонатором поверхневих акустичних хвиль і знаходиться в межах частоти послідовного резонансу. Чим більше опір резистора R_d , тим менша стабільність частоти коливань, хоча і тим більше коефіцієнт зворотного зв'язку автогенератора, і навпаки. Зазначимо також, що при досить великих R_d у схемі можуть виникнути паразитні коливання.

Для компенсації впливу статичної ємності резонаторів поверхневих

									Анк
Змн.	Адж.	№ док.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				35

2.2. Порівняння автогенераторів та їх характеристик

Якщо автогенератори будуються на основі ЛЗ ПАХ і двоканальних резонаторів то ці компоненти вмикають в ланцюг зворотного зв'язку активного елемента автогенератора. Сигнал, що проходить з входу на вихід ланок на ПАХ, істотно запізнюється. Це все вказує на те, що автогенератори що досліджуються є автогенераторами з запізненим зворотним зв'язком.

Як ЛЗ ПАХ так і резонатори ПАХ мають вузьку смугу пропускання і їх параметри істотно змінюються в межах цієї смуги. Фізичні особливості роботи цих пристроїв, в основному визначаються ефектами збудження, поширення і відображення ПАХ. Це призводить до того, що крім затримки, вони мають специфічні частотні залежності вхідних і взаємних провідностей. При цьому досить не точно зображувати їх за допомогою моделі на зосереджених елементах R , L і C або в вигляді широкосмугового ЛЗ і зовнішньої виборчого ланцюгу у вигляді LC-контур.

Схеми автогенераторів на одноканальних резонаторах ПАХ багато в чому аналогічні схемам відповідних автогенераторів ПАХ на звичайних кварцових резонаторах. Тому, нехтуючи рядом особливостей, можна вважати, що результати дослідження традиційних кварцових генераторів справедливі для автогенераторів на одноканальних резонаторах ПАХ.

Важливою перевагою автогенераторів на пристроях на ПАР є те, що вони можуть бути зроблені в мікроелектронному виконанні. Найпростіше це досягається при відмові від додаткових індуктивних елементів, що підключаються до входу і виходу ЛЗ ПАХ, це пояснюється деякими труднощами, що зустрічаються у виробництві індуктивних елементів в плівкових мікросхемах. Відмова від компенсуючих індуктивностей супроводжується істотним зниженням коефіцієнтів передачі пристрою на ПАХ по напрузі і струму, що в подальшому веде до необхідності більшого посилення в активній частині автогенератора. Пристрої на ПАХ без компенсуючих індуктивностей називають неузгодженими пристроями на ПАХ.

									Анк
Змн.	Анк.	№ док.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				38

Для одноконтурних LC-генераторів нахил φ фазової характеристики визначається добротністю резонансної системи Q і частотою автоколивань:

$$\varphi = \frac{2Q}{\omega_0} = T$$

(2.1)

де T - постійна часу контуру.

Для автогенератора с ЛЗ ПАВ справедливе наступне рівняння:

$$\varphi = \frac{2\pi M}{\omega_0}$$

(2.2)

де $M = \frac{L f_0}{V}$ - відносна акустична довжина ЛЗ ПАХ.

З цього випливає, що добротність резонансної системи автогенератора на ЛЗ ПАХ може бути визначена наступним чином: $Q = 2\pi M$.

З (2.2) видно, що нахил фазової характеристики коливальної системи генератора на ЛЗ ПАХ визначається величиною M , максимальне значення якої обмежене технологічними можливостями вирощування п'єзокристалу, швидкістю ПАХ, а також робочою частотою, яку можна досягнути.

По значенню добротності, яку реалізовано автогенератори з ЛЗ ПАХ займають проміжне положення між кварцовими і LC-генераторами. Багато в чому аналогічні міркування можна провести для автогенераторів на резонаторах ПАР.

Порівняльні характеристики автогенераторів на ПАХ, LC-резонаторах і їх еквівалентах, а також на кварцових об'ємних резонаторах наводяться в табл. 2.1

З табл. 2.1 робимо висновок, що автогенератори, які мають у своїй основі пристрої на ПАХ незамінні там, де потрібно одночасно добра стабільність частоти і велика частотна перебудова. При цьому необхідна добротність резонансної системи забезпечується вибором акустичної довжини лінії затримки ПАХ. [2]

									Анк
									39
Змн.	Адж.	№ докum.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				

Таблиця 2.1. Порівняльні характеристики автогенераторів

Тип генератора	Добротність резонансної системи	Максимальна девіація частоти, %	Температурний коефіцієнт частоти на 1°C (-30 - +70°C)	Робочий діапазон частот, Гц
Кварцовий LC типу	$5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^{-6}$	± 0.05	Менше ніж 10^{-6}	$2 \cdot 10^3 - 10^8$
На об'ємних резонаторах	$10 - 10^3$	± 30	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^3 - 10^{11}$
На ПАХ	$10^2 - 10^4$	± 10	10^{-6}	$10^3 - 10^{11}$

Стабільність частот в генераторах на ЛЗ ПАХ дорівнює приблизно $2 \cdot 10^{-10} - 5 \cdot 10^{-10}$ за 1 секунду. На рис. 2.7 показана типова одностороння характеристика фазових шумів генератора на поверхневих акустичних хвилях.

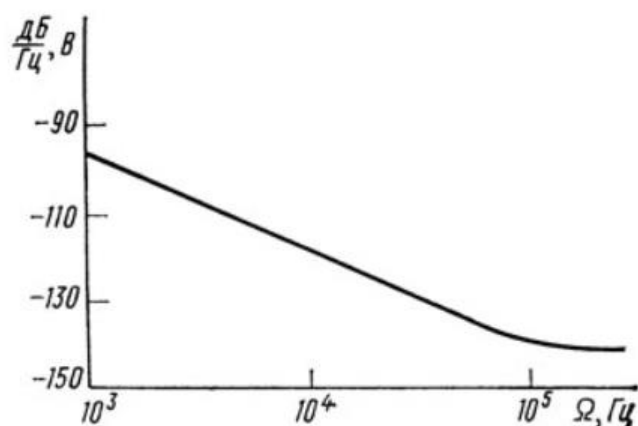


Рис. 2.7. Залежність приглушення В від основної частоти

Температурна стабільність цих автогенераторів сягає 10^{-6} на 1 ° С. У генераторах, в основі яких об'ємні кварцові резонатори температурна стабільність зазвичай є меншою.

Стабільність автогенераторів з пристроями на поверхнево акустичних хвилях за довгий час наближається до такої стабільності у кварцових генераторах. Стабільність протягом довгого часу у генераторів на ПАХ становить $20 \cdot 10^{-6}$ в рік (коли в кварцових автогенераторів $6 \cdot 10^{-6}$ за рік) і є простір для поліпшення в 2-4 рази. Нестабільність частоти автогенераторів на поверхнево акустичних

									Арк	
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>					40

хвилях від напруги живлення становить $1 \cdot 10^{-6} - 10^{-4}$ на вольт.

ПАХ генератори в діапазоні частоти близько декількох гігагерц мають шумові характеристики, які уже можливо порівнювати з характеристиками задаючих генераторів з множенням частоти опорного кварцового генератора.

Пристрої на поверхневих акустичних хвилях зазвичай виготовляють за тим же методом, за яким виробляють інтегральні мікросхем, завдяки цьому вони досить легко можуть бути об'єднані з мікроінтегральними підсилювачами. На відміну від пристроїв на поверхневих акустичних хвилях, кварцовий резонатор неможна прикріпити до корпусу приладу однією з його поверхонь. Хоча, це можна без проблем зробити з пристроями на ПАХ, конструкції яких являються планарними, і це дозволяє використовувати поверхню кристала що не задіяна у генерації, для того щоб механічно закріпитися до корпусу приладу або для створення на ній інтегральної мікросхеми, яка працюватиме абсолютно незалежно. Дані переваги в технології роблять можливими малі габарити і масу генераторів у пристроях на ПАХ, також це дає даним пристроям підвищену надійність та відносну дешевизну при виробництві.

Лінії затримки і двоканальні резонатори поверхневих акустичних хвиль вмикаються у ланцюг зворотного зв'язку автогенератора. Дані пристрої на принципово ПАХ являються чотиріполосниками, а це означає, що вони можуть бути використані лише в схемах автогенераторів з триполосними активними елементами, наприклад з транзисторами. А використання двоканальних резонаторів і особливо ліній затримки в діодних автогенераторах на практично досить складно реалізувати. Одноканальні резонатори можуть бути використані і в діодних, і в транзисторних схемах автогенераторів. І можна помітити, що вони багато в чому схожі на об'ємні кварцові резонатори.

З використанням ліній затримки поверхневих акустичних хвиль в автогенераторах з'являються дуже великі втрати. Зазвичай ці втрати знаходяться в районі 20 дБ, хоча у резонаторах ПАХ ці втрати можуть знаходитись в межах 1-5 дБ. З цього випливає, що в схемах з двоканальними резонаторами потрібно мати лише одностранзисторний підсилювач, коли в схемах на ЛЗ ПАХ даний

									Арк
									41
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР				

підсилювач як правило повинен містити не менше двох транзисторів. Це в свою чергу призводить до ускладнення схеми автогенератора. Тобто це все загалом приведе до збільшення вартості схем, а також через присутність великої кількості нестабільних елементів знизиться стабільність частоти коливань.

застосування одноканальних резонаторів в схемі генератору обмежена великою входною ємністю (в основному статичною ємністю перетворювача резонатора поверхнево акустичних хвиль). В результаті на тих частотах, що істотно відрізняються від резонансних, опір одноканального резонатора ПАХ значно менший за опір LC-резонатору що має таку ж добротність і таку ж резонансну частоту. При цьому утворюються необхідні умови для виникнення паразитних автоколивань. При цьому істотно проявляється те що частоти послідовного і паралельного резонансів відносно близькі між собою. Різниця між цими частотами становить приблизно 0,1-0,3%. Це в свою чергу сприяє виникненню паразитних коливань. Для того щоб уникнути утворення паразитних коливань зазвичай використовується підключення до входу одноканального резонатора індуктивного елементу. При цьому частоти послідовного і паралельного резонансів вдається розвести до кількох відсотків.

У автогенераторах на лінії затримки ПАХ також в деяких випадках підключають схожі індуктивності до входу і виходу лінії затримки. За рахунок цього збільшується коефіцієнт передачі лінії затримки. Проте застосовувати індуктивні елементи у схемах автогенераторів з точки зору технології інтегральних мікросхем дуже погана ідея. Бо застосування додаткових індуктивних елементів в свою чергу знижує і стабільність частоти коливань.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

2.3. Висновки до розділу 2

В даному розділі було оглянуто та проаналізовано компоненти, параметри, характеристики та схеми автогенераторів. При аналізі можливих компонентів автогенератора було прийнято рішення використовувати ЛЗ на ПАХ, бо вона пропонує високу стабільність частоти, що наближається до стабільності кварцових кристалів. Передачу за допомогою ПАХ було вибрано через дуже велику швидкість передачі на відміну від швидкості передачі електромагнітних хвиль що дасть можливість зробити генератор компактнішим.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

РОЗДІЛ ІІІ. МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАТОРА ПАХ НА ЗШП

Для кожного конкретного пристрою на ПАХ повинен бути свій підхід при розрахунку автогенератора, з урахуванням конкретної специфіки даного пристрою. Проте досить суттєвою перешкодою на шляху розробки надійних розрахункових методик є відносно слабе експериментальне дослідження генераторних пристроїв на ПАХ. Відкритим залишається питання про взаємозв'язок між потужністю що розсіюється в пристроях на ПАХ і стабільністю коливань.

В даному розділі досліджуються характеристики однієї частоти у складі трьохчастотного генеру, що працює з використанням трьох генераторів ПАХ. В якості елементів, які задають частоту даного приладу, використовуються лінії затримки з секційним зустрічно-штировим перетворювачем, Це призводить до збільшення стабільності коливань, що генеруються, та робить можливим більш точний вибір робочої частоти, що й дозволяє нам досліджувати та покращувати прилад в досить вузькому діапазоні. Визідний сигнал даного трьохчастотного генератора являє собою суперпозицію трьох хвиль з частотами: $f_1 = 70,5$ МГц, $f_2 = f_1(1 - \delta_2)$, $f_3 = f_1(1 - \delta_3)$, де $\delta_2 = \frac{1}{64}$ а $\delta_3 = \frac{31}{2048}$

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	Анк
Змн.	Адж.	№ доквм.	Підпис	Дата		44

3.1. Проектування автогенератора НВЧ коливань

Існують два різні підходи до задачі про проектування конкретних автогенераторів з пристроями на ПАХ. Зазвичай на практиці розробляють автогенератор під конкретний пристрій на ПАХ, яке вже є в наявності у розробника. У цьому випадку активний елемент і всі інші елементи схеми підбирають і розраховують під цей пристрій. Подібний розрахунок (особливо це стосується одноканальних резонаторів ПАХ) дуже подібний до розрахунку звичайних кварцових генераторів. Проте на сьогодні набирає популярність створення пристрою на ПАХ з заданими електричними і механічними властивостями якими буде володіти автогенератор, що розробляється. Це можна пояснити тим, що такий підхід може дати суттєве поліпшення параметрів автогенератора без застосування складних узгоджувальних ланцюгів. У той же час простота створення потрібної топології електричної частини пристрою на ПАХ дає можливість запроваджувати використання даного пристрою в рамках підрозділів, що займаються розробкою автогенераторів в цілому.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>АПК</i>
<i>Змн.</i>	<i>АПК</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

3.2 Розрахунок характеристик одноканального резонатора ПАХ

Розглянемо безпосередньо еквівалентні схемами резонаторів поверхневих акустичних хвиль. Розглянемо одноканальний резонатор. Даний резонатор може бути представлений наступною еквівалентною електричною схемою (рис. 3.1). На цій схемі зустрічно-штирьовий перетворювач представлений еквівалентної триполюсною електричною схемою. Акустично входи перетворювача через відрізки звукопроводу навантажені на вхідні провідності відбивних ґрат Y_{p1} та Y_{p2} .

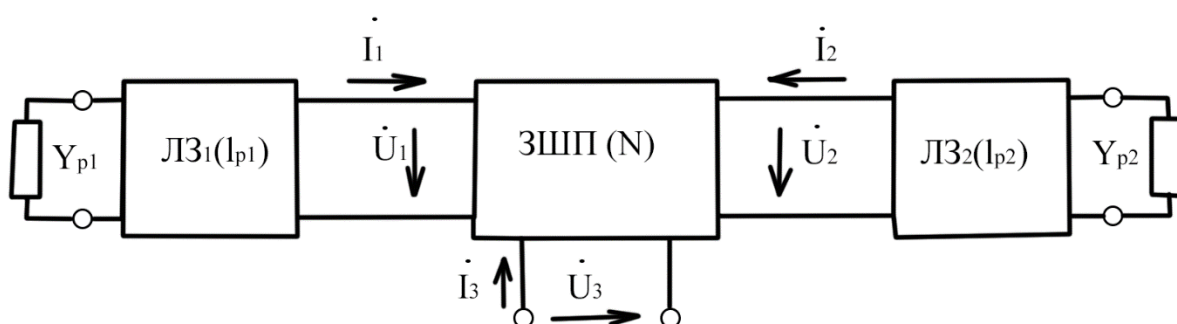


рис. 3.1 Еквівалентна електрична схема одноканального резонатора ПАХ

Звукопровід між перетворювачем і ґратками на рис. 3.1 відбивається включенням між Y_{p1} або Y_{p2} і перетворювачем електричного аналога звукопроводу, який являється відрізком довгої лінії з характеристичним опором z_0 і довжиною l_{p1} або l_{p2} . Вхідна провідність відбивних решіток до Y_{p1} і Y_{p2} досить нескладно визначається за допомогою відомого коефіцієнту відображення.

$$Y_{pi} = G_0(1 - \bar{\rho}_{pi}) / (1 + \bar{\rho}_{pi}), \quad (3.1)$$

Де $G = 1/z_0$; $\bar{\rho}_{pi}$ – комплексний коефіцієнт відображення i -тої відображаючої ґратки.

Використовуючи еквівалентну схему на рис. 3.1, ми можемо досить легко отримати вираз для вхідної провідності резонатора ПАХ:

$$Y_{вх} = Y_{33} - Y_{13}^2 \frac{2(Y_{11} + Y_{12}) + Y_{t1} + Y_{t2}}{(Y_{11} + Y_{t1})(Y_{11} + Y_{t2}) - Y_{12}^2}, \quad (3.2)$$

Де Y_{33} , Y_{11} , Y_{13} і Y_{12} - елементи матриці Y -параметрів зустрічно штирьового перетворювача; $Y_{pi} = G_0 (1 - \bar{\rho}_{pi}) / (1 + \bar{\rho}_{pi})$ - вхідна провідність i -тої відбивної ґратки з урахуванням відрізка звукопроводу, який безпосередньо навантажує i -тий акустичний вхід зустрічно штирьового перетворювача;

$\bar{\rho}_i = \bar{\rho}_{pi} \exp(-j2kl_{pi})$ - комплексний коефіцієнт відбиття ґратки з урахуванням відрізка звукопроводу; $k = 2\pi / \lambda$ - хвильове число; $i = 1, 2$.

Як правило одноканальні резонатори симетричні, тобто $L_{p1} = L_{p2} = L_{p3}$ і $N_{01} = N_{02} = N_0$. Крім цього, їх частотні властивості (як зазначалося раніше) визначаються в більшості резонансною порожниною і відбивними ґратками, які мають набагато вужчі смуги відображення порівняно з пропускною здатністю перетворювача. З цього робимо висновок, що ЗШП резонатора працює точно на частоті акустоелектричного синхронізму.

Скористаємося моделлю перетворювача з поперечним розподілом поля. При цьому з урахуванням вище зазначеного вираз для $Y_{вх}$ (3.2) спрощується і набуває вигляду:

$$Y_{вх} = j\omega_a C_T \hat{G} \frac{1 - \rho \exp(-j\eta)}{1 + \rho \exp(-j\eta)} \quad (3.3)$$

Де ρ - модуль коефіцієнта відбиття; η - повний набіг фази поверхневої акустичної хвилі при поширенні від перетворювача до решітки і назад з урахуванням втрати фази при відображенні; $\eta = 2kl_p - \Phi = 2kl_e = 4\pi \omega / \omega_c M_e$; M_e - кількість довжини хвиль частоти ω_c , які укладаються на $l_e = l_p - \Phi / 2k$ - еквівалентній відстані від відбивної ґратки до перетворювача з урахуванням фази відображення.

Поділимо вираз (3.3) на дійсну і уявну частини і отримаємо:

$$Y_{вх} = \hat{G} \frac{1 - \rho^2}{1 + \rho^2 + 2\rho \cos \eta} + j(\omega_a C_T + \hat{G} \frac{2\rho \sin \eta}{1 + \rho^2 + 2\rho \cos \eta}) \quad (3.4)$$

Залежності активної і реактивної складових вхідної провідності одноканального резонатора від частоти приведені на рис. 3.2, з якого видно, що залежність вхідної провідності резонатора від частоти має період $\Delta\omega_{пер} / \omega_c = 1 / 2M_e$. Резонансні властивості резонатора ПАХ виражені тим сильніше, чим ближче до 1 модуль коефіцієнта відображення ρ_0 (тобто чим більше число

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Адж</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адж.</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

відбивачів N_0 у гратці) і чим менше Q_r (тобто, чим більше число пар електродів N в перетворювачі).

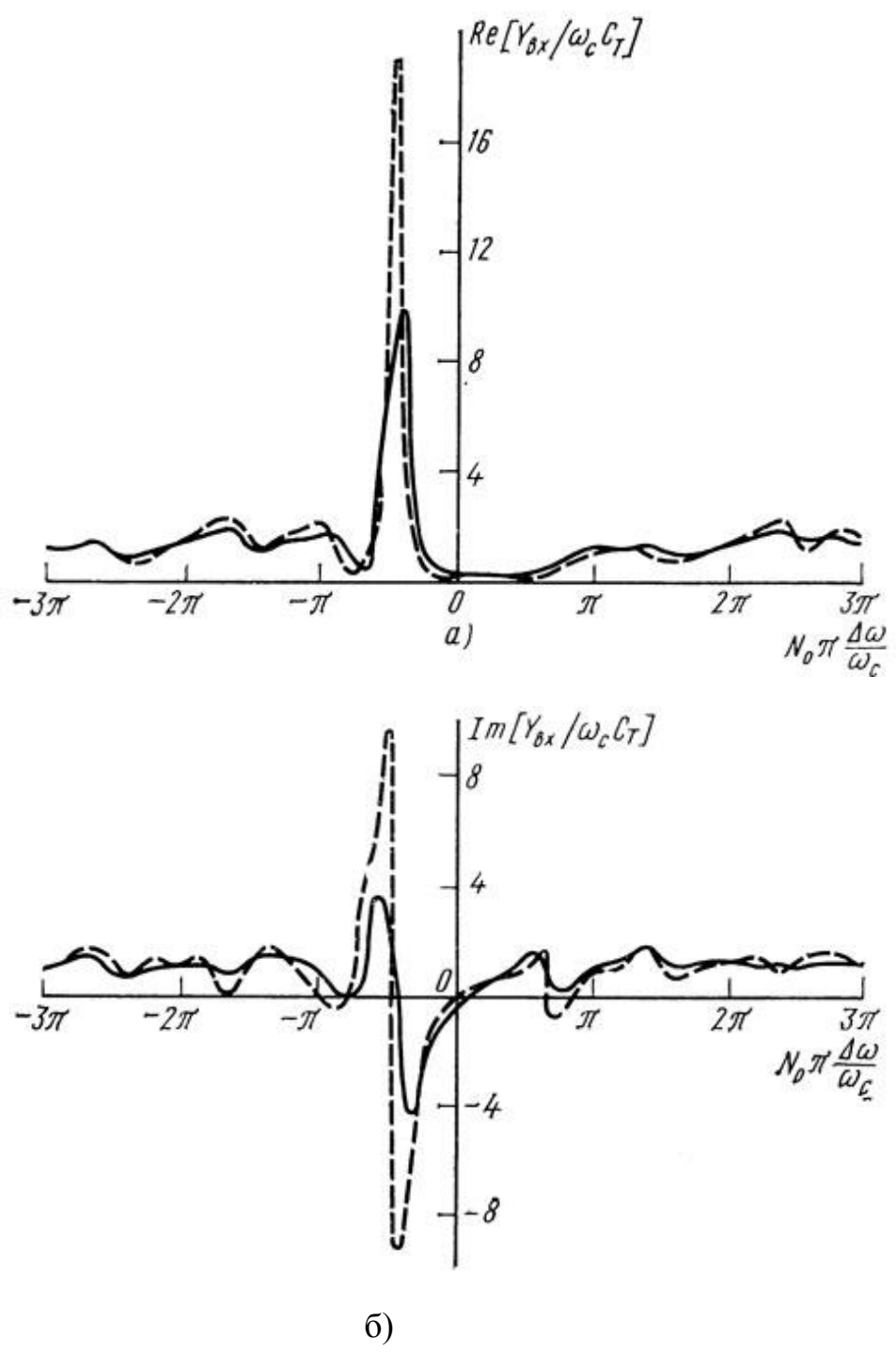


Рис. 3.2. Залежність активної (а) і реактивної (б) складових вхідної провідності одноканального резонатору ПАХ (матеріал підкладки LiNbO3) від частоти при $N_0 = 400$, $N = 22$, $l_p = 27,875\lambda_c$, $k_m^2 = 0,0482$: ----- $\epsilon = 0,003$; - - - $\epsilon = 0,004$

Для ніобата літію при тих же умовах необхідно виконати умови, при яких $N \geq 1$. Частоти паралельного і послідовного резонансів можна визначити з рішення виразу (3.5), яке можна записати у такому вигляді:

$$\cos(\eta - \varphi) = -\sqrt{\frac{Q_r^2}{1+Q_r^2} + \frac{1+\rho_0^2}{2\rho_0}} \quad (3.7)$$

де

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{Q_r}$$

З виразу (3.7) визначаємо $\eta_{\text{пар}}$ і $\eta_{\text{посл}}$:

$$\eta_{\text{пар}} = \varphi + 2\pi n - \arccos\left(-\sqrt{\frac{Q_r^2}{1+Q_r^2} + \frac{1+\rho_0^2}{2\rho_0}}\right) \quad (3.8)$$

$$\eta_{\text{посл}} = \varphi + 2\pi n + \arccos\left(-\sqrt{\frac{Q_r^2}{1+Q_r^2} + \frac{1+\rho_0^2}{2\rho_0}}\right)$$

також визначимо відносну різницю по частоті між паралельним і послідовним резонансами:

$$\frac{\omega_{P2} - \omega_{P1}}{\omega_c} = \frac{\arccos\left(-\sqrt{\frac{Q_r^2}{1+Q_r^2} + \frac{1+\rho_0^2}{2\rho_0}}\right)}{2\pi M_e} \quad (3.9)$$

Де $M_e = l_e \lambda$ – кількість довжин хвиль, що укладаються на частоті ω_c на еквівалентній довжині l_e .

З виразу (3.9) випливає, що частоти послідовного і паралельного резонансів відстають одна від одної тим більше, чим менше M_e і чим довше перетворювач (тобто чим Q_r менше). Різницю між частотами резонансів визначаємо:

$$\frac{\omega_{P2} - \omega_{P1}}{\omega_c} = \frac{1}{4} M_e$$

Максимальна різниця між частотами буде досягнута, коли Q_r буде прямувати до 0, тобто коли $k_m^2 N$ буде прямувати до нескінченності.

Вираз (3.9) отримано при умові, що ρ і M_e не залежить від частоти. Проте це несправедливо для реальних резонаторів поверхневих акустичних хвиль, і тому його потрібно розглядати лише як оцінку відносної різниці між частотами

						ДЛК
						51
Змн.	ДЛК	№ докum.	Підпис	Дата		

ДЛ. 6.050802.051.18 ВДР

віддалені від резонансної частоти резонатора. Для прикладу, навіть у звичайному

LC-контурі провідність далеко віддалена від резонансної частоти суттєво перевищує його провідність в смузі пропускання. Цим забезпечується краща в порівнянні з одноканальним резонатором фільтрацію далеко віддалених від резонансної частоти складових коливання і перешкоджає виникненню паразитних коливань. З цієї точки зору більш доцільним вбачається застосування одноканального резонатора ПАХ поблизу частоти послідовного резонансу.

Порівняємо частотні залежності одноканальних резонаторів ПАХ з такими ж залежностями звичайних кварцових резонаторів на об'ємних типах коливань. Можна виділити наступні особливості. У резонаторах ПАХ смуги пропускання паралельного і послідовного резонансів перекриваються, це дає можливість розглядати смугу пропускання резонатора ПАХ, в якій розташована частота послідовного і паралельного резонансів. На відміну від цього у більш традиційних кварцових резонаторах через їх набагато вищу добротність ці смуги рознесені далеко одна від одної і не перекриваються, хоча відношення різниці частот послідовного і паралельного резонансів до їх середнього значення, у відсотках, як для резонаторів ПАХ, так і для звичайних кварцових резонаторів приблизно однакові і становлять десяті частки відсотка.

Ще однією суттєвою особливістю одноканальних резонаторів ПАХ являється те, що в межах смуги пропускання їх активні компоненти вхідної провідності і вхідного опору досить сильно залежать від частоти. У кварцового резонатора на об'ємних типах коливань ця залежність істотно менша.

Розглянемо фазову характеристику одноканального резонатора рис. 1.3:

$$\Psi_{\text{вх}} = \arctg \frac{Q_r(1+\rho^2)+2\rho\sqrt{1+Q_r^2}\cos(\eta-\varphi)}{1-\rho^2} \quad (3.11)$$

Бачимо, що максимальне і мінімальне значення фаза буде приймати при:

$$\eta_{\text{макс}} = \arctg \frac{1}{Q_r} + 2\pi n$$

$$\eta_{\text{мін}} = \arctg \frac{1}{Q_r} + 2\pi(n-1)$$

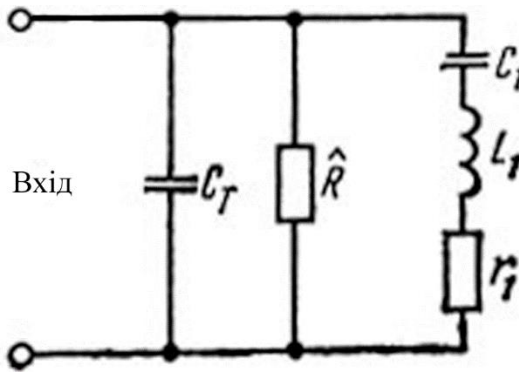


Рис. 3.5. Еквівалентна електрична схема заміщення резонатора ПАХ поблизу частоти послідовного резонансу

На цьому рисунку C_T - статична ємність перетворювача, $R = 1 / G$ - опір випромінювання ЗШП на частоті акустoeлектричного синхронізму. Послідовний контур, утворений L_1 , C_1 і r_1 , відображає властивості резонатора поблизу частоти послідовного резонансу ω_{P1} . Параметри цього контуру рівні:

$$r_1 = \frac{1 - \rho_0}{1 + \rho_0} \hat{R}, \quad L_1 = \frac{4\pi \widetilde{M}_e}{(1 + \rho_0)^2 \omega_{P1}} \hat{R},$$

$$C_1 = \frac{1}{L_1 (\omega_{P1})^2}$$

3.3 Математичне моделювання зустрічно штирвого перетворювача на ПАХ

Завданням є розрахунок амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик одноканального ЗШП, та визначення впливу параметрів ЗШП на ці характеристики.

У більшості випадків, для визначення характеристик зустрічно штирвого перетворювача, використовується метод дискретних джерел. Це дозволяє проводити розрахунки за різної конфігурації штирів та з різним матеріалом звукопроводу.

За методом дискретних джерел, кожену пару електродів представляємо приймачем, чи генератором нескінченно коротких у часі акустичних коливань, що розміщуються на краях кожного електрода. Пара джерел однакової полярності, які знаходяться на одному електроді, можна об'єднати в одне і розташувати в центрі даного електрода, це робиться для того, щоб полегшити розрахунки. На практиці, те яка складова переважає у п'єзоелектрику – тангенціальна чи нормальна, визначається значенням коефіцієнту електромагнітного зв'язку. З цього випливає, що ПАХ, яка розповсюджується у п'єзоелектрику із сильним зв'язком, збуджується за допомогою джерел, які знаходяться в центрах електродів ЗШП, а ПАХ яка розповсюджується у п'єзоелектрику із слабким зв'язком, збуджується за допомогою джерел, які знаходяться в центрах зазорів ЗШП.

Для математичного зображення імпульсної характеристики ЗШП представимо її як суму функцій Дірака:

$$h(t) = \sum_k s_k A_k \delta(t - t_k), \quad (3.14)$$

де $s_k = (-1)^k$ – слугує для врахування зміни знаку електричного поля на кожному електроді.

Частотна характеристика ЗШП буде мати вигляд:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad (3.15)$$

та визначається співвідношенням:

$$H(f) = \sum_k s_k A_k \exp(-j\omega t_k). \quad (3.16)$$

						Анк
					ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР	
Змн.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата		56

Звідси можемо отримати комплексний коефіцієнт передачі вхідного ЗШП:

$$\vec{K}_1(\delta) = \gamma_1 \sum_{k=0}^{N_1-1} \exp(jk\pi\delta) = K_1(\delta) \exp[j\Psi_1(\delta)], \quad (3.17)$$

де γ_1 – коефіцієнт електромеханічного перетворення вхідного ЗШП.

$K_1(\delta)$ – амплітудно-частотна характеристика; $\Psi_1(\delta)$ – фазочастотна характеристика вхідного ЗШП. Дані характеристики визначаються співвідношеннями:

$$K_1(\delta) = \gamma_1 \frac{\sin(0,5N_1\pi\delta)}{\sin(0,5\pi\delta)}; \quad (3.18)$$

$$\Psi_1(\delta) = 0,5(N_1 - 1)\pi\delta,$$

(3.19)

де N_1 – кількість електродів вхідного ЗШП; $\delta = (f - f_0)/f_0$.

Комплексний коефіцієнт передачі поверхневої акустичної хвилі між вхідним та вихідним зустрічно штирьовим перетворювачем, представляється у вигляді:

$$\vec{K}_z(\delta) = -\alpha_0 Z_0 \exp(-j2\pi\beta(1 - \delta)), \quad (3.20)$$

Де α_0 – це коефіцієнт загасання поверхневої акустичної хвилі на поверхні звукопроводу; $Z_0 = \frac{L_c - l_1}{2}$ – відстань між вхідним та вихідним ЗШП; $\beta = \frac{L_c - l_1}{2\lambda}$ –

нормова відстань між ЗШП (рис. 3.6).

Можемо записати комплексний коефіцієнт передачі зустрічно-штирьового перетворювача, як:

$$\vec{K}_2(\delta) = \vec{F}_a(\delta) \vec{F}_b(\delta) = K_2(\delta) \exp[j\Psi_2(\delta)], \quad (3.21)$$

де $\vec{F}_a(\delta) = \gamma_2 \sum_{k=0}^{N_2-1} \exp(jk\pi\delta) = \frac{\sin(0,5N_2\pi\delta)}{\sin(0,5\pi\delta)} \exp[j0,5(N_2 - 1)\pi\delta]; \quad (3.22)$

$$\begin{aligned} \vec{F}_b(\delta) &= \gamma_2 \sum_{p=0}^{P-1} \exp(-jPN_2\pi\delta) = \\ &= \frac{\sin[PN_2\pi(1+\delta)]}{\sin[N_2\pi(1+\delta)]} \exp[-j(P - 1)N_2\pi(1 + \delta)]. \end{aligned} \quad (3.23)$$

$K_2(\delta)$ та $\Psi_2(\delta)$ – амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики аподизованого ЗШП.

Ці характеристики визначаються співвідношеннями:

$$K_2(\delta) = \gamma_2 \frac{\sin(0,5N_2\pi\delta) \sin[PN_2\pi(1+\delta)]}{\sin(0,5\pi\delta) \sin[N_2\pi(1+\delta)]}, \quad (3.24)$$

						Анк
Змн.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР	
						57

$$\Psi_2(\delta) = 0,5(N_1 - 1)\pi\delta - (P - 1)N_2\pi(1 + \delta),$$

(3.25)

де γ_2 – коефіцієнт електромеханічного перетворення вихідного ЗШП; N_2 – кількість електродів в одній секції вихідного ЗШП; P – кількість секцій вихідного ЗШП.

Щоб знайти комплексний коефіцієнт передачі ЛЗ ПАХ із секційним ЗШП, використаємо співвідношення (3.17), (3.20) та (3.21):

$$\vec{K}(\delta) = \vec{K}_1(\delta) \cdot \vec{K}_z(\delta) \cdot \vec{K}_2(\delta) = K(\delta) \cdot \exp[j\Psi(\delta)],$$

(3.26)

де $K(\delta)$ та $j\Psi(\delta)$ – відповідно амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики ЛЗ на ПАХ із секційним ЗШП. Дані характеристики описуються співвідношеннями:

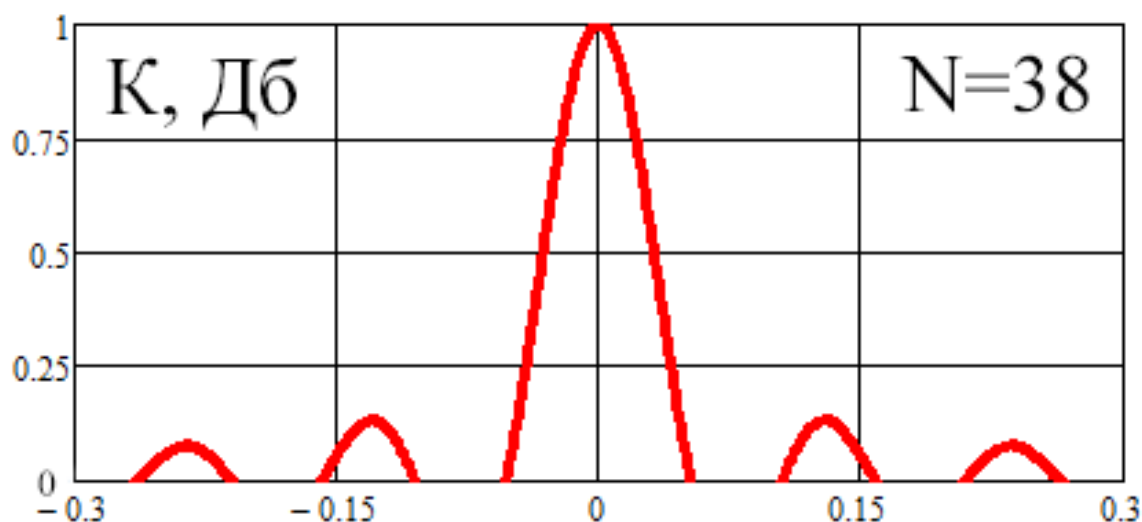
$$K(\delta) = \gamma_1\gamma_2 \exp(-\alpha_0 Z_0) \frac{\sin(0,5N_1\pi\delta)}{\sin(0,5\pi\delta)} \frac{\sin(0,5N_2\pi\delta)}{\sin(0,5\pi\delta)} \frac{\sin[PN_2\pi(1+\delta)]}{\sin[N_2\pi(1+\delta)]}, \quad (3.27)$$

$$\Psi(\delta) = 0,5(N_1 - 1)\pi\delta + 2\pi\beta(1 + \delta) + 0,5(N_2 - 1)\pi\delta - (P - 1)N_2\pi(1 + \delta).$$

(3.28)

На рис. 3.7 зображена розрахована амплітудно-частотна характеристика одноканального ЗШП.

На рис. 3.8 зображена розрахована функціональна характеристика одноканального ЗШП.



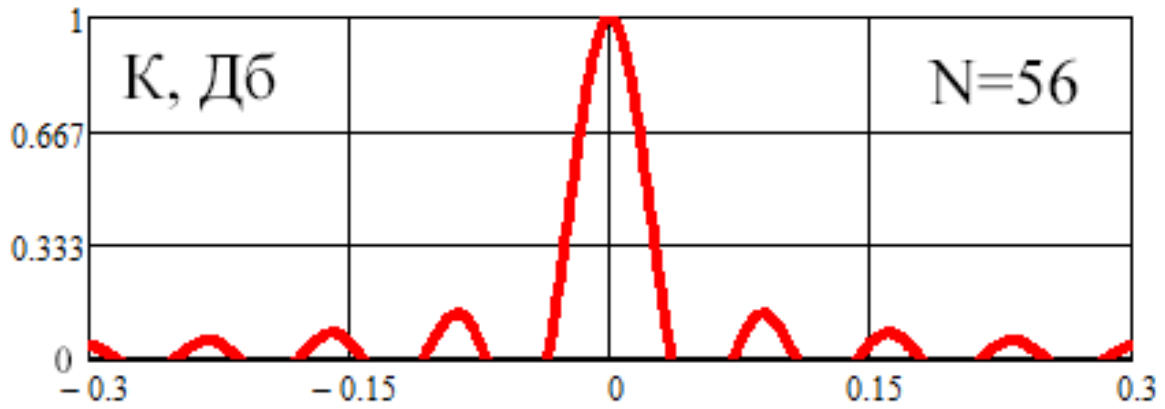
а)

Змн.	Адж.	№ докum.	Підпис	Дата

ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР

Адж

58



б)

Рис. 3.7. Амплітудно-частотна характеристика одноканального ЗШП з кількістю штирів а) $N=38$ б) $N=56$

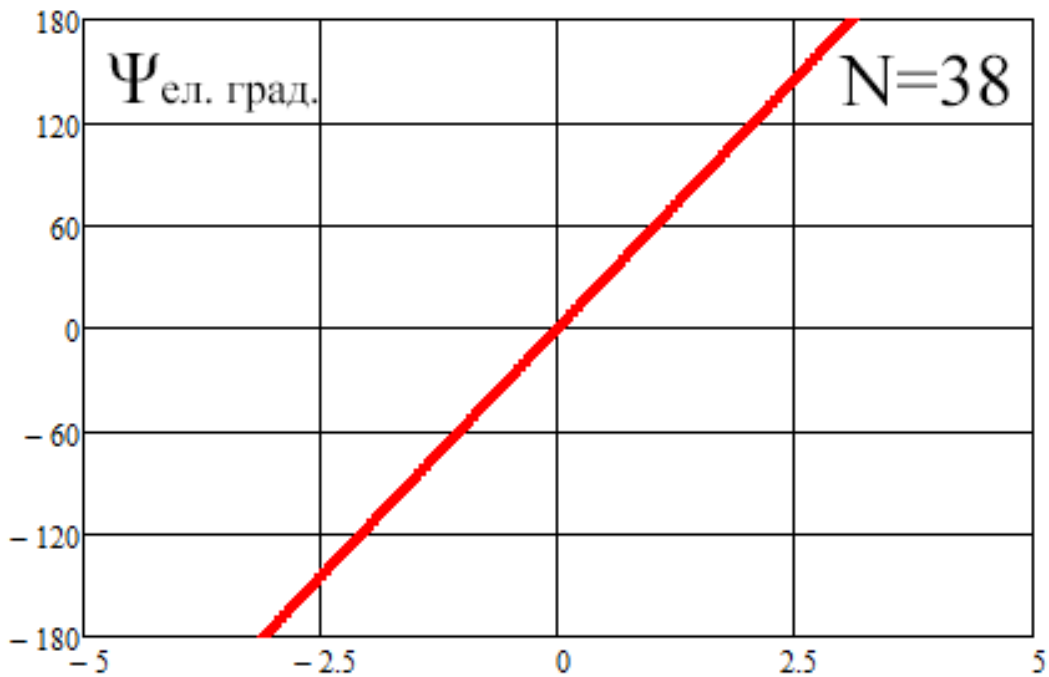


Рис. 3.8. функціональна характеристика одноканального ЗШП.

З рис 3.7 бачимо, що при збільшенні акустичної довжини лінії затримки, збільшується стабільність частоти, спектральна частота виділяється більш чітко, і значно зменшується генерація на інших частотах.

АЧХ має досить сильну залежність від відстані між центрами сусідніх секцій

А також від акустичної довжини перетворювача в цілому. При чому акустичною довжиною визначається смуга пропускання ЗШП. Нулі АЧХ

перетворювача чергуються через інтервал $\Delta f_1 = V/l_1$ де V – швидкість розповсюдження ПАХ, а l_1 – довжина ЗШП.

Можна побачити, що при $l_1 = l_c$, будуть придушуватися всі моди, окрім основної. Де l_c – це відстань, якою визначається період повторення максимумів АЧХ $\Delta f_n = V/l_c$.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було досліджено основні методи розрахунку характеристик зустрічно-штирьового перетворювача, а також змодельовано та розраховано даний прилад. Було знайдено його амплітудно-частотну характеристику, та фазову характеристику. Було отримано, що АЧХ залежить від відстаней між сусідніми секціями ЗШП. Проблемою даного приладу є наявність генерації на частотах окрім основної. Було визначено, що збільшення кількості штирів у ЗШП, значно зменшує цю проблему, і підвищує стабільність основної частоти.

Дані дослідження підтверджують доцільність подальших розрахунків та створення різних конфігурацій зустрічно штирьових перетворювачів у складі лінії затримки НВЧ автогенератора.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Анк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі була розглянута література по автогенераторам на поверхневих акустичних хвилях, де були розглянуті основні параметри та особливості даних приладів. Розроблено структурну схему генератору. Розроблено та досліджено фізикоматематичну модель одноканального зустрічно-штирьового перетворювача. У роботі було порівняно різні типи автогенераторів та доведено перспективність дослідження автогенераторів на ПАХ.

Змодельовано та досліджено одноканальний зустрічно-штирьовий перетворювач на кварцовому звукопроводі ST-зрізу, товщиною 1,0 мм.

В результаті проведеного моделювання отримано амплітудно-частотну та фазову характеристику. Було отримано метод покращення стабільності основної частоти перетворювача.

Досліджені параметри показують доцільність подальшого дослідження та розробки конфігурації ЗШП у складі лінії затримки, для покращення характеристик НВЧ автогенераторів, що мають в своїй основі ці прилади.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Анк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>61</i>

22. Лепих Я. И. Датчик угла поворота генераторного типа с элементом на поверхностных акустических волнах / Я. И. Лепих // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009.

					<i>ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64