

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Шутко В.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ДИПЛОМНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

**Тема: «Оптимальна топологія підсилювача в схемах високочастотних генераторів»**

Виконавець

студент групи МН-206М

\_\_\_\_\_ Мякишев Ілля Костянтинович

Керівник

д.т.н., професор

Васильович

\_\_\_\_\_ Уланський Володимир

Консультант розділу

«Охорона праці»

асистент

\_\_\_\_\_ Козлітін С.М.

Консультант розділу

«Охорона навколишнього середовища»

д.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Маджд С.М.

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Сініцин Рустем Борисович

**КИЇВ 2020**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Спеціальність 171 «Електроніка»  
Освітньо-професійної програми «Електронні системи»  
Освітній ступінь «МАГІСТР»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Шутко В.М.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_

2020 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Мякишева Ілля Костянтиновича

- 1. Тема дипломної роботи :** «Оптимальна топологія підсилювача в схемах високочастотних генераторів»  
затверджена наказом ректора від «02» жовтня 2020 р. № 1900/ст
- 2. Термін виконання роботи :** з 5 жовтня 2020 року по 27 грудня 2020 року.
- 3. Вихідні дані до роботи :** напруга живлення 12 В, фазовий шум не більше - 150 дБ/Гц, споживана потужність не більше 75 мВт.
- 4. Зміст пояснювальної записки:** реферат, список скорочень, вступ, 7 розділів, висновки, список використаних джерел.
- 5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:** графічне представлення результатів дослідження.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Розробити деталізований зміст розділів диплому	10.10.2020-18.10.2020	
2	Опрацювати літературу по обраній темі	19.10.2020-29.10.2020	
3	Написання теоретичної частини диплому	30.10.2020-08.11.2020	
4	ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ, НАПИСАННЯ ПРАКТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИПЛОМУ	09.11.2020-19.11.2020	
5	Написання розділів по Охороні праці та Охороні навколишнього середовища	20.11.2020-27.11.2020	
6	Написання висновку до дипломної роботи, оформлення пояснювальної записки згідно вимог	28.11.2020-02.12.2020	
7	Усунення недоліків в пояснювальній записці до дипломної роботи	03.12.2020-06.12.2020	
8	Підготовка роздавального матеріалу, презентації, тез для доповіді	07.12.2020-15.12.2020	

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Старший викладач Козлітін Олексій Олександрович		
Охорона навколишнього середовища	Професор, д.т.н. Маджд Світлана Михайлівна		

8. Дата видачі завдання: «10» жовтня 2020 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Уланський В.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Мякишев І. К.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Оптимальна топологія підсилювача в схемах високочастотних генераторів» містить 94 сторінок, 31 рисуноків, 1 таблицю, 27 використаних джерел.

**Об'єкт роботи** – генератор Колпітца

**Тема роботи** - порівняння схем підсилювачів на базі яких будуються генератори.

**Мета роботи** - вибрати оптимальну топологію підсилювача в схемах високочастотних генераторів.

## Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ВСТУП .....	10
1.1. Передумови .....	10
1.1.1. Синусоїдальні генератори.....	10
1.2. Цілі .....	11
Висновки до розділу .....	13
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ІНДУКТИВНО-ЄМНІСНИХ ГЕНЕРАТОРІВ .....	14
2.1. Позитивний зворотній зв'язок в генераторах.....	14
2.2. Критерій самозбудження генераторів .....	15
2.3. Поняття негативного опору .....	17
Висновки до розділу .....	18
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГЕНЕРАТОРА КОЛПІТЦА З РІЗНИМИ ТОПОЛОГІЯМИ ПІДСИЛЮВАЧА.....	20
3.1. Генератор Колпітца з топологією підсилювача з загальним коллектором.....	20
3.2.1. Розрахунок вхідного імпедансу генератора Колпітца з загальним коллектором. Модель малого сигналу. ....	21
3.2. Генератор Колпітца з топологією підсилювача з загальним емітером .	26
3.2.1. Розрахунок вхідного імпедансу генератора Колпітца з загальним емітером. Модель малого сигналу. ....	27
3.3. Генератор Колпітца з топологією підсилювача з загальною базою .....	31
3.3.1. Розрахунок вхідного імпедансу генератора Колпітца з загальною базою. Модель малого сигналу. ....	32
3.4. Генератор Колпітца з каскодною топологією підсилювача.....	36
3.4.1. Модель малого сигналу.....	37
Висновки до розділу .....	41
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА КОЛПІТЦА З РІЗНИМИ ТОПОЛОГІЯМИ ПІДСИЛЮВАЧА .....	42
4.1. Проектування генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері .....	42
4.2. Проектування генератора Колпітца з підсилювачем на загальному клекторі.....	45
4.3. Проектування генератора Колпітца з підсилювачем на загальній базі .	48

4.4. Проектування генератора Колпітца з каскодним підсилювачем .....	51
Висновки до розділу .....	54
<b>РОЗДІЛ 5 ОПТИМІЗАЦІЯ ТОПОЛОГІЇ ГЕНЕРАТОРА КОЛПІТЦА .....</b>	<b>56</b>
5.1. Визначення показника ефективності генератора Колпітца .....	56
5.2. Ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері .....	57
5.3. Ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі.....	59
5.4. Ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальній базі ..	61
5.5. Ефективність генератора Колпітца з каскодним підсилювачем.....	63
5.6. Вибір оптимальної топології генератора Колпітца .....	64
Висновки до розділу .....	65
<b>РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>66</b>
6.1. Перелік небезпечних та шкідливих факторів у робочій зоні .....	67
6.2. Технічні та організаційні заходи щодо зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	69
6.2.1. Забезпечення освітлення робочої зони .....	69
6.3.1. Розробка інструкції з охорони праці .....	73
6.3.2. Вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки .....	74
6.3.3. Вимоги безпеки перед початком роботи.....	76
6.3.4. Вимоги безпеки під час виконання роботи.....	77
6.3.5. Вимоги безпеки після закінчення роботи .....	77
6.3.6. Вимоги безпеки під час аварійних ситуацій: .....	78
Висновки до розділу .....	78
<b>РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>79</b>
7.1. Основні засади охорони навколишнього середовища .....	79
7.2. Рекомендації щодо зниження негативних чинників .....	80
7.3. Утилізація електронного обладнання.....	84
7.4. Вплив шуму і вібрації .....	85
Висновки до розділу .....	87
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>89</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. 90</b>	

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

ПЗЗ - позитивний зворотній зв'язок.

АЕ – активний елемент.

КНС – коефіцієнт нелінійних спотворень.

НВЧ – надвисока частота.

ХХ – холостий хід.

ВАХ - вольт-амперна характеристика.

## 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 пропускна 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. Змн. Арк. № докум. Підпис Дата Арк. 12 ДЕ. 6.050802.051.18 ВДР Особливостями



вимірювальних генераторів цього типу є відносна простота електричної схеми але, водночас, складність механічних вузлів приладів. Так, як у вимірювальних НВЧ-генераторах зі зростанням частоти, зростає витік потужності, для коректної роботи їм необхідно забезпечити ретельне екранування. До джерел живлення також висуваються підвищені вимоги, бо активні елементи НВЧ-діапазону достатньо чутливі до нестабільності напруги живлення.

## РОЗДІЛ 1

### Вступ

#### 1.1. Передумови

У вимірювальній техніці застосовуються кілька основних типів таких джерел - генераторів синусоїдальної напруги:

- низькочастотні RC генератори;
- високочастотні LC генератори;
- генератори з п'єзокристаличними, кварцовими та електромеханічними резонаторами;
- генератори, що формують синусоїдальні сигнали з трикутних сигналів шляхом їх плавного обмеження;
- генератори, що реалізують цифрові методи синтезу синусоїдальних сигналів.

Аж до 60-х років минулого ХХ століття генератори синусоїдальної напруги вироблялися майже виключно перших трьох типів. Але потім розвиток мікроелектроніки та поява високоякісних аналогових компонентів (насамперед, інтегральних операційних підсилювачів) привело до широкого поширення функціональних генераторів, що склали основу генераторів четвертого типу. У 70-80-ті роки бурхливий розвиток цифрової та обчислювальної техніки привів до розробки і освоєння масового виробництва генераторів п'ятого типу, заснованих на цифрових методах: синусоїдальних і багатьох інших (в тому числі довільних) видів сигналів [4].

##### 1.1.1. Синусоїдальні генератори

Генератор синусоїдальних (гармонійних) коливань - називаються періодичні коливання сигналу залежно від часу, які відбуваються згідно із законами синуса або косинуса.

За принципом управління генератори розділяються на дві групи - генератори з самозбудженням (автогенератори) і генератори із зовнішнім

(незалежним) збудженням. Останні, по суті, є підсилювачами потужності високої частоти, що працюють на резонансну навантаження.

Схема автогенератора зазвичай містить підсилювач, охоплений зворотним зв'язком. Для побудови автогенератора синусоїдальних коливань елементи схем або підсилювача, або ЗЗ повинні мати явно вираженими частотними властивостями. Найбільш часто використовуються два типи підсилювальних схем - з резонансними (коливальними) контурами і з резистивної-ємнісними ланцюгами. Автогенератори, виконані на основі схеми резонансного підсилювача, часто називають автогенераторами типу LC, а автогенератори, побудовані на основі схеми підсилювача на RC ланцюгах, - автогенераторами типу RC або RC генератори. Генерування коливань з частотами менше 15 - 20 кГц на резонансних LC контурах утруднено і незручно через їх громіздкість. У низькочастотному діапазоні широко використовуються генератори типу RC. Вони можуть генерувати дуже стабільні синусоїдальні коливання в порівняно широкому діапазоні частот від часткою Герца до сотень кілогерц. Крім того, вони мають малі габарити і масу. Звичайно, найбільш повно переваги генераторів типу RC проявляються в області низьких частот.

## 1.2. Цілі

Мікрохвильові транзисторні генератори є ключовими схемами для будь-якої системи зв'язку, навігації, радарів або радіочастотних вимірювальних систем. Є кілька показників, що характеризують роботу мікрохвильових генераторів. Серед них найбільш важливими є фазовий шум, вихідна потужність, споживана потужність і THD. Як відомо [4], низькочастотний шум є обмежуючим фактором наближення до фазового шуму несучої в LC-генераторах НВЧ. Низькочастотний шум перетвориться у верхню і нижню бічні смуги шуму і з'являється як фазовий шум навколо несучої. Відомо кілька методів проектування НВЧ-генераторів. Однопортовий підхід до створення НВЧ-генераторів з негативним опором

описаний в [1]. Конструкція передбачає ретельний підбір значень ємності зворотного зв'язку для отримання оптимального фазового шуму. Один з найбільш популярних методів проектування полягає в поданні СВЧ-генератора у вигляді двухпортової мережі, в якій транзистор описується своїми малосигнальними S-параметрами [5 - 7]. Потім кінцеві і навантажувальні мережі проектуються таким чином, щоб відповідати умовам запуску. Однак цей метод не може точно передбачити робочі характеристики генератора, такі як частота коливань, фазовий шум і рівні гармонік. Метод побудови НВЧ-генератора з мінімальним фазовим шумом описаний в [8]. Ключовим моментом цього методу є максимізація енергії, запасеної в резонаторі, і її передача на вивід керуючого вхідного напруги транзистора. Цей метод заснований на мінімізації фазового шуму генератора, який може бути досягнутий за рахунок споживаної потужності або нелінійних спотворень. Оптимальні методи проектування НВЧ-генераторів з послідовною і паралельною зворотним зв'язком описані в [9]. Оптимізація забезпечує максимальну вихідну потужність розробленого генератора. Решта робочі характеристики генератора не розглядаються. Один з широко поширених методів конструювання мікрохвильових генераторів називається приладовим виміром на лінії [10,11]. Цей метод заснований на припущенні, що потужність, що передається не вагається елементом з негативним опором, така ж, як потужність, що подається коливальним елементом, коли напруга на ньому таке ж. Цей метод максимізує вихідну потужність генератора. Обмеження полягає в тому, що вплив імпедансу навантаження на частотах гармонік не враховується. Крім того, до уваги береться фазовий шум генератора. В [12] описаний підхід комп'ютерного проектування для оптимізації осцилятора на основі методу гармонійного балансу.

## **Висновки до розділу**

В даному розділі розглядався теоретичний матеріал для загального ознайомлення з генераторами сигналів. Спектр застосування генераторів сигналу доволі широкий, застосовується майже в кожному сучасному електронному приладі і навіть по декілька одиниць або десятків в одному приладі, від звичайного годинника до комп'ютера від простого до складного пристрою, але прогрес не стоїть на місці, тому в отриманні приладів наступного покоління які можуть мати менші габарити, низьке енергоспоживання і кращі характеристики є необхідність в удосконалюванні, модернізації існуючих технологій для отримання результатів.

## РОЗДІЛ 2

### Аналіз індуктивно-ємнісних генераторів

#### 2.1. Позитивний зворотній зв'язок в генераторах

Зворотній зв'язок в підсилювачі генератора це стан, коли частина вихідного сигналу з підсилювача надходить знову на вхід, щоб бути в фазі з вхідним, і за рахунок додавання вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку, амплітуда вхідного сигналу збільшується. Наприклад, підсилювач за схемою з загальним емітером створює фазовий зсув на  $180^\circ$  між його входом і виходом, тоді петля позитивного зворотного зв'язку повинна забезпечувати фазовий зсув вихідного сигналу, що надходить назад на вхід, так само в  $180^\circ$  для того, щоб схема позитивного зворотного зв'язку працювала. Результатом невеликої "кількості" ПЗЗ є зростаюче підсилення, що призводить до зростання шумів і спотворень. Якщо величина ПЗЗ досить велика, в результаті виходять коливання, де підсилювач видає свій власний сигнал. Коли підсилювач працює без зворотного зв'язку, то він знаходиться в режимі з "розімкнутої петлею". З зворотним зв'язком (позитивним, або негативним) підсилювач знаходиться в режимі з "замкнутої петлею". У звичайних підсилювачах негативний зворотний зв'язок використовується реалізації переваг щодо смуги пропускання, спотворень і генерації шумів, і в цих схемах посилення при замкнутої петлі зворотного зв'язку набагато менше, ніж посилення при розімкнутої петлі. Додатковий ефект від введення позитивного зворотного зв'язку це зменшення смуги пропускання (але це не суттєво для генераторів, що виробляють синусоїдальні коливання однієї частоти) і збільшення спотворень. В генераторах, що використовують позитивний зворотний зв'язок, дуже важливо те, що амплітуда сигналу на виході генератора залишається стабільною. Так що посилення замкнутої петлі зворотного зв'язку має дорівнювати одиниці. Іншими словами, коефіцієнт посилення підсилювача повинен відповідати ослаблення сигналу

в ланцюзі зворотного зв'язку. Таким чином, там не виникатиме ні збільшення, ні зменшення амплітуди вихідного сигналу.

## 2.2. Критерій самозбудження генераторів

Генератор буде генерувати постійні за амплітудою коливання при певних умовах. Перша з них полягає в тому, що напруга зворотного зв'язку на вході АЕ після її підсилення має бути достатньою для компенсації втрат у коливальній системі (баланс, рівність між енергією вимушених коливань і енергією, яка іде на втрати у контурі та навантаженні). Ця умова одержала назву балансу амплітуд.

Друга умова полягає в тому, що коло ЗЗ має викликати такі зсуви фаз, за яких в коливальну систему (резонатор) вноситься енергія в такт із власними коливаннями в ній, тобто повинні бути виконані певні фазові співвідношення. Ця умова одержала назву балансу фаз.

При розімкненому колі ЗЗ. (рис.2.1) коефіцієнт підсилення підсилювача

$$K_y = \dot{U}_{вих} / \dot{U}_{вх} = (U_{вих} / U_{вх}) e^{j\varphi_s} \quad (2.1)$$

де  $U_{вих} / U_{вх} = K_y$  - модуль коефіцієнта підсилення підсилювача;  $\varphi_s$  - зсув фаз між вхідною та вихідною напругами підсилювача.

При робочій частоті  $f_p \ll f_{зр}$  зсув фаз між  $U_{вх}$  та  $U_{вих}$   $\varphi_s = 180^\circ$ .

Якщо як резонатор використовують окремий коливальний контур, то вихідна напруга

$$U_{вих} \approx I_{вих1} Z_{екв} \quad (2.2)$$

де  $I_{вих1}$  - амплітуда першої гармоніки вихідного струму;  $Z_{екв}$  - модуль еквівалентного опору контура.

Якщо не враховувати реакцію вихідного кола, то

$$I_{вих} \approx S_{cp} U_{вих} \quad (2.3)$$

де  $S_{cp}$  - середня крутизна вольт-амперної характеристики активного елемента. Якщо підставити у рівняння (2.2) значення вихідного струму (2.3), одержимо:

$$U_{вих} = S_{cp} Z_{екв} U_{вих}$$

Підставимо значення  $U_{вих}$  у рівняння (2.1):

$$K_y = S_{cp} Z_{екв} e^{j\varphi_s}, \quad (2.4)$$

Комплексний коефіцієнт передачі кола 33 :

$$\dot{K}_{3в.3} = \dot{U}_{вих} / \dot{U}_{вх} = (U_{вих} / U_{вх}) e^{j\varphi_s} = K_{3в.3} e^{j\varphi_s}, \quad (2.5)$$

де  $K_{3в.3}$  - модуль коефіцієнта передачі кола 33;  $\varphi_k$  - зсув фаз у замкнутому колі 33. При замкнутому колі 33 результуючий коефіцієнт передачі

$$\dot{K} = \dot{K}_y \dot{K}_{3в.3} = (\dot{U}_{вих} / \dot{U}_{вх}) (\dot{U}_{вх} / \dot{U}_{вих}) = 1, \quad (2.6)$$

Підставимо у рівняння (2.6) значення коефіцієнтів:  $K_y$  і  $K_{3в.3}$  із виразу (2.5), одержимо

$$K = K_{3в.3} Z_{екв} S_{cp} e^{j(\varphi_s + \varphi_k)} = 1 \quad (2.7)$$

Одержане комплексне рівняння (2.7) розбивається на два речових:



$$K_{зв.з.} Z_{екв} S_{ср} = 1, \quad (2.8)$$

$$\varphi_s + \varphi_k = 2\pi n \quad (2.9)$$

Де  $n = 0; \pm 1; \pm 2$ .

Для простих АГ число  $n$  дорівнює нулю. Якщо в колі ЗЗ сигнал запізнюється на один чи кілька періодів, то це число вже буде відрізнятися від нуля.

Із рівняння (2.8) визначимо коефіцієнт ЗЗ:

$$K_{зв.з.} \geq \frac{1}{Z_{екв} S_{ср}}$$

Рівняння балансу амплітуд (2.8) визначає амплітуду коливань АГ, рівняння балансу фаз (2.9) частоту АГ

### 2.3. Поняття негативного опору

Негативним опором наприклад пояснюють відому особливість роботи чотириелектродної лампи (тетрода) в динатронному режимі. Ця особливість полягає в тому, що при напрузі на аноді, близьких до напруги на екранувальній сітці, збільшення анодної напруги викликає не зростання анодного струму лампи, а, навпаки, його зменшення. За прийнятим тлумаченням чинне в ланцюзі опір є негативним.

Насправді це пояснюється динатронним ефектом. Електрони, що утворюють анодний струм, вдаряючись об анод, вибивають з нього інші електрони, які називаються вторинними.

Вторинні електрони, отримавши в результаті удару деякий запас енергії, відлітають від анода у напрямку до екрануючої сітці і можуть

настільки наблизитися до неї, що притягує дію екрануючої сітки перевищить яке притягує дію анода.

Тому такі електрони летять до екрануючої сітки, утворюють в лампі струм, спрямований назустріч основному анодному струму, і зменшують його. Чинний анодний струм дорівнює різниці двох зазначених струмів.

При збільшенні анодної напруги електрони з більшою силою вдаряються об анод і вибивають з нього більше вторинних електронів, що вилітають із збільшеною швидкістю. Потік вторинних електронів непропорційно зростає - в результаті діючий анодний струм стає менше.

При подальшому збільшенні анодної напруги явище припиняється, тому що вибиті з анода електрони знову притягуються до нього і екрануюча сітка вже не може «перехопити» їх.

В даному випадку не можна углядіти присутності будь-якого опору, що володіє незвичайним властивістю. Суть явища полягає у виникненні другого потоку електронів, напрямом якого протилежно напрямку основного потоку.

Не менш часто поняття негативного опору використовується для пояснення роботи регенеративних приймачів, гетеродинів і т. П.

Це пояснення зводиться до того, що зворотний зв'язок вносить в коливальний контур негативне опір і цим зменшує його позитивне опір - опір втрат. Коли негативне опір за величиною стає рівним позитивного, чинне опір контуру робиться рівним нулю. При подальшому зростанні внесеного негативного опору загальний опір контуру стає негативним. Контур з негативним опором перетворюється в генератор і стає джерелом коливань.

У цьому випадку теж не можна говорити про негативний опір контуру, як про реально існуючому. Опір контуру руху електричних зарядів залишається незмінним при будь-якому значенні зворотного зв'язку.

### **Висновки до розділу**

В даному розділі розглянуто певні процеси та умови які необхідні для того щоб генератор почав генерувати постійні за амплітудою коливання.

Такий процес як зворотній зв'язок отримав назву балансу фаз, в підсилювачі необхідний для того щоб частина вихідного сигналу з підсилювача надходила знову на вхід в фазі з вхідним, і за рахунок додавання вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку, амплітуда вхідного сигналу збільшувалась.

Умова балансу амплітуд полягає в достатньому рівні напруги для компенсації втрат в коливальній системі, друга в налаштованому зворотному зв'язку

## РОЗДІЛ 3

### Теоретичний аналіз генератора Колпітца з різними топологіями підсилювача.

#### 3.1. Генератор Колпітца з топологією підсилювача з загальним колектором

Спрощена схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі на рис.3.1

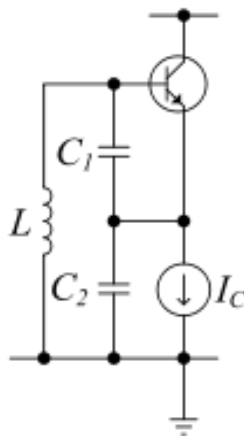


Рис.3.1 Спрощена принципова схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі.

Котушка індуктивності  $L$  і два конденсатора  $C_1$ ,  $C_2$  є коливальним контуром. Імпеданс  $Z_s$  може бути чисто резистивним або може включати резистор і котушку індуктивності. В останньому випадку індуктор використовується для збільшення амплітуди вихідного сигналу.

Конденсатор  $C_2$  забезпечує зворотний зв'язок. Частота коливань приблизно дорівнює резонансній частоті LC-контур, який представляє собою послідовну комбінацію двох конденсаторів, включених паралельно котушці індуктивності.

Фактична частота коливань буде трохи нижче через ємності переходу і резистивного навантаження транзистора.

Як і в випадку будь-якого генератора, підсилення АЕ має бути значно більше, ніж втрати ємнісного дільника напруги, щоб забезпечити стабільну роботу. Таким чином, генератор Колпітца, який використовується в якості генератора змінної частоти, працює найкраще, коли для налаштування використовується змінна індуктивність, а не для настройки одного з двох конденсаторів. Якщо потрібно налаштування за допомогою змінного конденсатора, вона повинна виконуватися за допомогою третього конденсатора, підключеного паралельно котушці індуктивності.

### 3.2.1. Розрахунок вхідного імпедансу генератора Колпітца з загальним колектором. Модель малого сигналу.

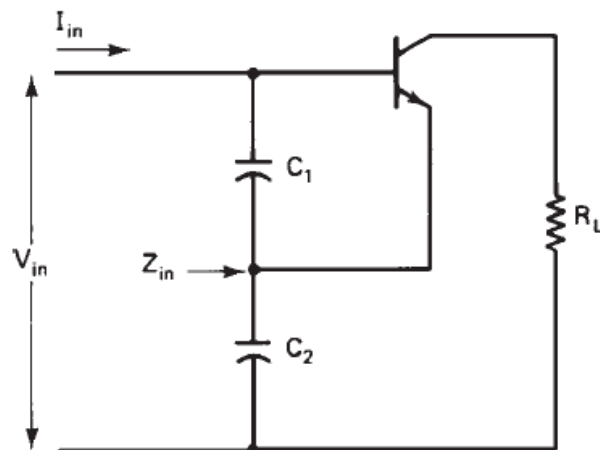


Рис. 3.2. Спрощена принципова схема, що показує частину підсилювача відображення генератора Колпітца. Конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  забезпечить позитивний зворотний зв'язок від емітера до бази.

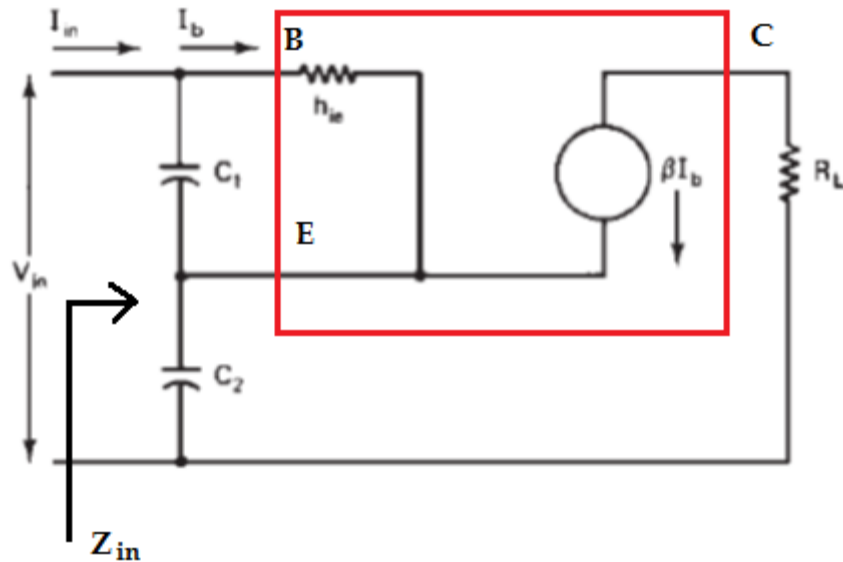


Рис.3.3 Еквівалентна схема моделі малого сигналу.

Щоб побачити, як реалізується негативний опір, обчислимо вхідний опір схеми на рисунку 3.2. На малюнку 3.3 показана еквівалентна схема малого сигналу малюнка 3.2. Отримаємо вхідний опір схеми, показаної на рис 3.3.

Застосовуючи KVL до вхідного циклу і циклу між базою і емітером, ми отримуємо

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - I_b(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) = \\
 &= 72\text{mA}(12 + 20) - 26\text{mA}(12 - 1.3 \cdot 20) = 2,26
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= -I_{in}(X_{C_1}) + I_b(X_{C_1} + h_{ie}) \\
 0 &= -0,0006
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Вивід і підстановка в рівняння 3.1 дає

$$I_b = \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} = \frac{72 \cdot 12}{(12 + 21)} = 26\text{mA} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \\
 &= 72\text{mA}(12 + 20) - \frac{72 \cdot 12}{(12 + 21)}(12 - 1.3 \cdot 20) = -0.845
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Множення,

$$V_{in} = I_{in} X_{C_1} + I_{in} X_{C_2} - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} X_{C_1} + \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \beta X_{C_2} = \quad (3.5)$$

$$= 72 \cdot 12 + 72 \cdot 20 - \frac{72 \cdot 12}{(12 + 21)} \cdot 12 + \frac{72 \cdot 12}{(12 + 21)} \cdot 1.3 \cdot 20 = 2.61$$

Перемноживши обидві сторони  $(X_{C_1} + h_{ie})$  приходить до

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_2} -$$

$$-(X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}\beta X_{C_2} \quad (3.6)$$

$$= (12 + 21) \cdot 72 \cdot 12 + (12 + 21) \cdot 7 \cdot 20 - (12 + 21) \frac{72 \cdot 12}{(12 + 21)} \cdot 12$$

$$+ (12 + 21) \cdot \frac{72 \cdot 12}{(12 + 21)} \cdot 1.3 \cdot 20 = 88.12$$

Знову перемножившись,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} X_{C_1}^2 + h_{ie} I_{in} X_{C_1} + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} + h_{ie} I_{in} X_{C_2} - I_{in} X_{C_1}^2 +$$

$$+ X_{C_1} I_{in} X_{C_2} \beta \quad (3.7)$$

$$= 72 \cdot 12^2 + 21 \cdot 72 \cdot 12 + 12 \cdot 72 \cdot 20 + 21 \cdot 72 \cdot 20 - 72 \cdot 12^2 +$$

$$+ 12 \cdot 72 \cdot 20 \cdot 1.3 = -66.16$$

Представити до  $I_{in}$ ,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} [h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + X_{C_1} X_{C_2} I_{in} (1 + \beta)] \quad (3.8)$$

$$= 72(21(12 + 20) + 12 \cdot 20 \cdot 72(1 + 1.3)) = 51.24$$

Після цього  $Z_{in}$  виходить як

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{(1 + \beta) X_{C_1} X_{C_2} + h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{X_{C_1} + h_{ie}} = \frac{51.24}{72} = 711 \quad (3.9)$$

Якщо припустити, що  $X_{C_1} \ll h_{ie}$  с

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie}(X_{C_1} + X_{C_2}) + (1+\beta)X_{C_1}X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.10)$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie}(X_{C_1} + X_{C_2})}{h_{ie}} + \frac{(1+\beta)X_{C_1}X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.11)$$

$$Z_{in} = X_{C_1} + X_{C_2} + \frac{(1+\beta)X_{C_1}X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.12)$$

Нехай  $g_m = \frac{(1+\beta)}{h_{ie}}$ , і збільшення реактивних опорів дає

$$Z_{in} = \left( g_m \frac{1}{j\omega C_1} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} \right) + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} \quad (3.13)$$

As  $j^2 = -1$ , тоді вхідний імпеданс

$$Z_{in} = -g_m \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega[C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} \quad (3.14)$$

Наведене вище рівняння описує вхідний імпеданс генератора як суму всіх резистивних елементів, де ліва частина рівняння це негативна резистивная частина а права частина рівняння - позитивна резистивная частина, яка представляє втрати в ланцюзі резонатора.

Таким чином, для початку і підтримання коливань негативна резистивная частина повинна компенсувати втрати в ланцюзі коливального контура, а сума всіх резистивних елементів повинна бути негативною.

Вхідний опір схеми, показаної на малюнку (3.2), являє собою негативний резистор

$$R = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.15)$$

послідовно з конденсатором,



$$C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3.16)$$

що представляє собою послідовну комбінацію двох конденсаторів. З дроселем L (з послідовним опором), підключеним до входу.

Зрозуміло, що умовою стійких коливань є

$$R_s = \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.17)$$

і частота коливань

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right]}} \quad (3.18)$$

Така інтерпретація коливального контуру дає кілька рекомендацій, які можна використовувати при проектуванні. По-перше, він повинен бути якомога більше, щоб

$$X_{C_1} \ll h_{ie} \quad (3.19)$$

і  $C_2$  бути більшим щоб

$$X_{C_1} \ll (1/h_{oe}) \quad (3.20)$$

коли ці два конденсатора великі, ємність транзистора база-емітер і колектор-емітер матимуть незначний вплив на характеристики схеми.

Однак рівняння. (3.5) обмежує максимальне значення ємностей, оскільки

$$r \leq \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \leq \frac{G}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.21)$$

де G - максимальне значення  $g_m$ . Для даного продукту  $C_1$  and  $C_2$ , послідовна місткість максимальна, коли  $C_1 = C_2 = C_s$

Таким чином, рівняння. (3.21) можна записати

$$\frac{1}{\omega C_s} > \sqrt{\frac{r}{G}} \quad (3.22)$$

Це рівняння важливо, оскільки воно показує, що для підтримки коливань мінімально допустимий реактивний опір ( $1 / \omega C_s$ ) є функцією опору котушки індуктивності і взаємної провідності транзистора.  $g_m$ .

### 3.2. Генератор Колпітца з топологією підсилювача з загальним емітером

Спрощена схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері на рис.3.4

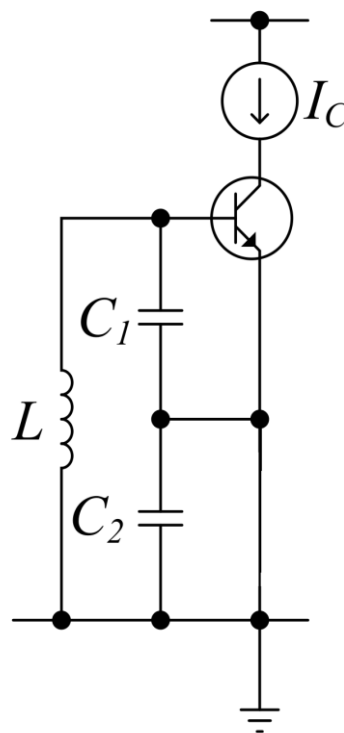


Рис.3.4 Спрощена принципова схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері.

Вивід емітера ефективно з'єднаний з вузлом з'єднання двох конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$ , які з'єднані послідовно і працюють як звичайний дільник напруги. В початковий момент підключення живлення,  $C_1$  і  $C_2$  спочатку заряджаються потім розряджаються через катушку  $L$ . Коливання на конденсаторах прикладається до переходу база-емітер і з'являються в

підсиленому вигляді на виході. Величина зворотного зв'язку визначається відношенням  $C_1$  і  $C_2$ .

### 3.2.1. Розрахунок вхідного імпедансу генератора Колпітца з загальним емітером. Модель малого сигналу.

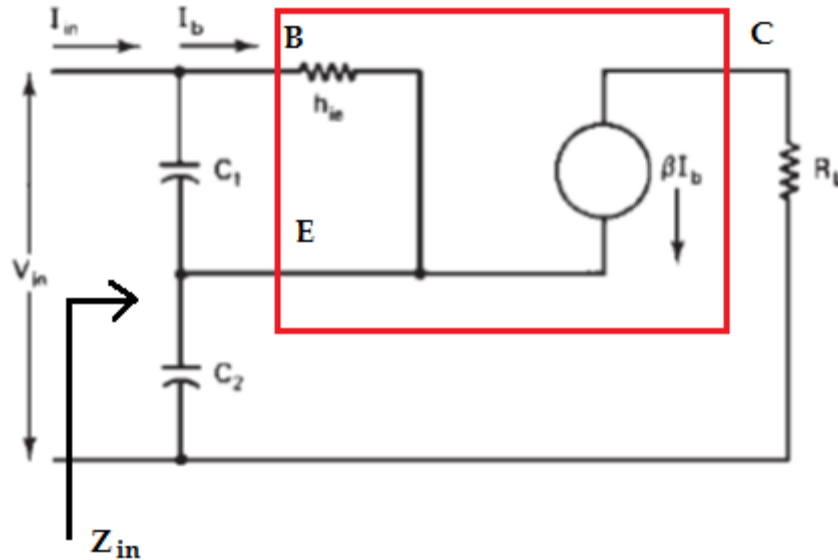


Рис.3.5 Еквівалентна схема моделі малого сигналу.

Застосовуючи KVL до вхідного циклу і циклу між базою і емітером, ми отримуємо

$$V_{in} = I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - I_b(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \quad (3.23)$$

$$0 = -I_{in}(X_{C_1}) + I_b(X_{C_1} + h_{ie}) \quad (3.24)$$

Вивід і підстановка в рівняння 3.1 дає

$$I_b = \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \quad (3.25)$$

$$V_{in} = I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \quad (3.26)$$

Множення,

$$V_{in} = I_{in} X_{C_1} + I_{in} X_{C_2} - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} X_{C_1} + \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \beta X_{C_2} \quad (3.27)$$

Перемноживши обидві сторони  $(X_{C_1} + h_{ie})$  призводить до

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_2} - (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}\beta X_{C_2} \quad (3.28)$$

Знову перемножившись,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} X_{C_1}^2 + h_{ie} I_{in} X_{C_1} + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} + h_{ie} I_{in} X_{C_2} - I_{in} X_{C_1}^2 + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} \beta \quad (3.29)$$

Представити до  $I_{in}$ ,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} [h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + X_{C_1} X_{C_2} I_{in}(1+\beta)] \quad (3.30)$$

Після цього  $Z_{in}$  виходить як

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2} + h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{X_{C_1} + h_{ie}} \quad (3.31)$$

Якщо припустити, що  $X_{C_1} \ll h_{ie}$  с

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + (1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.32)$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{h_{ie}} + \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.33)$$

$$Z_{in} = X_{C_1} + X_{C_2} + \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.34)$$

Нехай  $g_m = \frac{(1+\beta)}{h_{ie}}$ , і збільшення реактивних опорів дає

$$Z_{in} = \left( g_m \frac{1}{j\omega C_1} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} \right) + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} \quad (3.34)$$

As  $j^2 = -1$ , тоді вхідний імпеданс

$$Z_{in} = -g_m \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega[C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} \quad (3.35)$$

Наведене вище рівняння описує вхідний імпеданс генератора Колпітца як суму всіх резистивних елементів, де ліва частина рівняння це негативна резистивная частина а права частина рівняння - позитивна резистивная частина, яка представляє втрати в ланцюзі резонатора.

Таким чином, для початку і підтримання коливань негативна резистивная частина повинна компенсувати втрати в ланцюзі коливального контура, а сума всіх резистивних елементів повинна бути негативною.

Вхідний опір схеми, показаної на малюнку (3.5), являє собою негативний резистор

$$R = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.36)$$

послідовно з конденсатором,

$$C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3.37)$$

що представляє собою послідовну комбінацію двох конденсаторів. З дроселем L (з послідовним опором), підключеним до входу.

Зрозуміло, що умовою стійких коливань є

$$R_s = \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.38)$$

і частота коливань

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right]}} \quad (3.39)$$

Така інтерпретація коливального контуру дає кілька рекомендацій, які можна використовувати при проектуванні. По-перше, він повинен бути якомога більше, щоб

$$X_{C_1} \ll h_{ie} \quad (3.40)$$

і  $C_2$  бути більшим щоб

$$X_{C_1} \ll (1/h_{oe}) \quad (3.41)$$

коли ці два конденсатора великі, ємність транзистора база-емітер і колектор-емітер матимуть незначний вплив на характеристики схеми.

Однак рівняння. (3.5) обмежує максимальне значення ємностей, оскільки

$$r \leq \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \leq \frac{G}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.42)$$

де  $G$  - максимальне значення  $g_m$ . Для даного продукту  $C_1$  and  $C_2$ , послідовна місткість максимальна, коли  $C_1 = C_2 = C_S$

Таким чином, рівняння. (3.21) можна записати

$$\frac{1}{\omega C_S} > \sqrt{\frac{r}{G}} \quad (3.43)$$

Це рівняння важливо, оскільки воно показує, що для підтримки коливань мінімально допустимий реактивний опір ( $1 / \omega C_S$ ) є функцією опору котушки індуктивності і взаємної провідності транзистора.  $g_m$ .

### 3.3. Генератор Колпітца з топологією підсилювача з загальною базою

Спрощена схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальній базі на рис.3.1

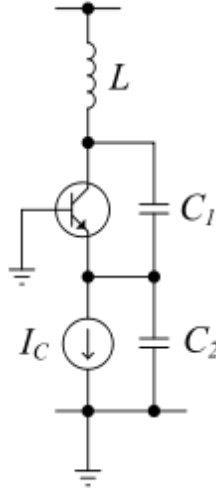


Рис.3.6 Схема з загальною базою.

На рис. 3.7 показана схема Колпітца із загальною базою.  $L$  і послідовна комбінація  $C_1$  і  $C_2$  утворюють паралельний резонансний коливальний контур, який визначає частоту генератора. Напряга на  $C_2$  подається на перехід база-емітер транзистора в якості зворотнього зв'язку для створення коливань.

### 3.3.1. Розрахунок вхідного імпедансу генератора Колпітца з загальною базою. Модель малого сигналу.

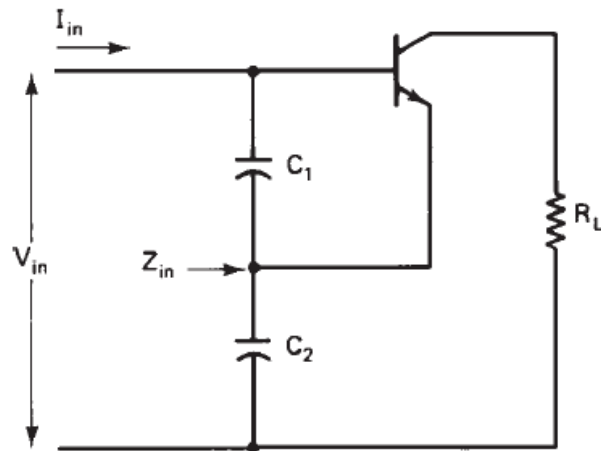


Рис. 3.7. Спрощена принципова схема, що показує частину підсилювача відображення генератора Колпітца. Конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  забезпечить позитивний зворотний зв'язок від емітера до бази.

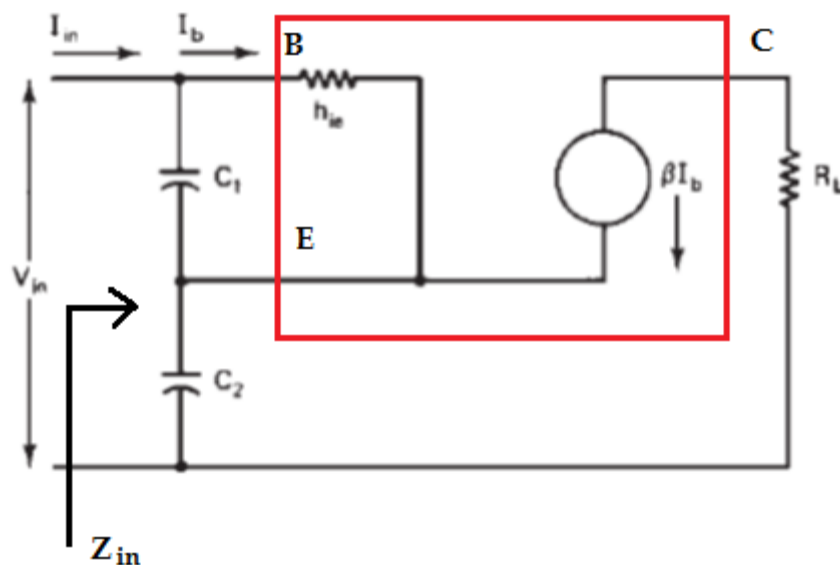


Рис.3.8 Еквівалентна схема моделі малого сигналу.

На малюнку 3.8 показана еквівалентна схема малого сигналу.

Застосовуючи KVL до вхідного циклу і циклу між базою і емітером, ми отримуємо



$$V_{in} = I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - I_b(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \quad (3.44)$$

$$0 = -I_{in}(X_{C_1}) + I_b(X_{C_1} + h_{ie}) \quad (3.45)$$

Вивід і підстановка в рівняння 3.1 дає

$$I_b = \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \quad (3.46)$$

$$V_{in} = I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \quad (3.47)$$

Множення,

$$V_{in} = I_{in} X_{C_1} + I_{in} X_{C_2} - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} X_{C_1} + \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \beta X_{C_2} \quad (3.48)$$

Перемноживши обидві сторони  $(X_{C_1} + h_{ie})$  призводить до

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_2} - (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}\beta X_{C_2} \quad (3.49)$$

Знову перемножившись,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} X_{C_1}^2 + h_{ie} I_{in} X_{C_1} + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} + h_{ie} I_{in} X_{C_2} - I_{in} X_{C_1}^2 + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} \beta \quad (3.50)$$

Представити до  $I_{in}$ ,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} [h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + X_{C_1} X_{C_2} I_{in}(1 + \beta)] \quad (3.51)$$

Після цього  $Z_{in}$  виходить як

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{(1 + \beta) X_{C_1} X_{C_2} + h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{X_{C_1} + h_{ie}} \quad (3.52)$$

Якщо припустити, що  $X_{C_1} \ll h_{ie}$  с

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + (1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.53)$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{h_{ie}} + \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.54)$$

$$Z_{in} = X_{C_1} + X_{C_2} + \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.55)$$

Нехай  $g_m = \frac{(1+\beta)}{h_{ie}}$ , і збільшення реактивних опорів дає

$$Z_{in} = \left( g_m \frac{1}{j\omega C_1} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} \right) + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} \quad (3.56)$$

As  $j^2 = -1$ , тоді вхідний імпеданс

$$Z_{in} = -g_m \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega [C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} \quad (3.57)$$

Наведене вище рівняння описує вхідний імпеданс генератора Колпітца як суму всіх резистивних елементів, де ліва частина рівняння це негативна резистивная частина а права частина рівняння - позитивна резистивная частина, яка представляє втрати в ланцюзі резонатора.

Таким чином, для початку і підтримання коливань негативна резистивная частина повинна компенсувати втрати в ланцюзі коливального контура, а сума всіх резистивних елементів повинна бути негативною.

Вхідний опір схеми, показаної на малюнку (3.8), являє собою негативний резистор

$$R = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.58)$$

послідовно з конденсатором,

$$C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3.59)$$

що представляє собою послідовну комбінацію двох конденсаторів. З дроселем  $L$  (з послідовним опором), підключеним до входу.

Зрозуміло, що умовою стійких коливань є

$$R_s = \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.60)$$

і частота коливань

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right]}} \quad (3.61)$$

Така інтерпретація коливального контуру дає кілька рекомендацій, які можна використовувати при проектуванні. По-перше, він повинен бути якомога більше, щоб

$$X_{C_1} \ll h_{ie} \quad (3.62)$$

і  $C_2$  бути більшим щоб

$$X_{C_1} \ll (1/h_{oe}) \quad (3.63)$$

коли ці два конденсатора великі, ємність транзистора база-емітер і колектор-емітер матимуть незначний вплив на характеристики схеми.

Однак рівняння. (3.63) обмежує максимальне значення ємностей, оскільки

$$r \leq \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \leq \frac{G}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.64)$$

де  $G$  - максимальне значення  $g_m$ . Для даного продукту  $C_1$  and  $C_2$ , послідовна місткість максимальна, коли  $C_1 = C_2 = C_s$

Таким чином, рівняння. (3.21) можна записати

$$\frac{1}{\omega C_s} > \sqrt{\frac{r}{G}} \quad (3.65)$$

Це рівняння важливо, оскільки воно показує, що для підтримки коливань мінімально допустимий реактивний опір ( $1 / \omega C_s$ ) є функцією опору котушки індуктивності і взаємної провідності транзистора.  $g_m$ .

### 3.4. Генератор Колпітца з каскодною топологією підсилювача

Спрощена схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі на рис.3.11

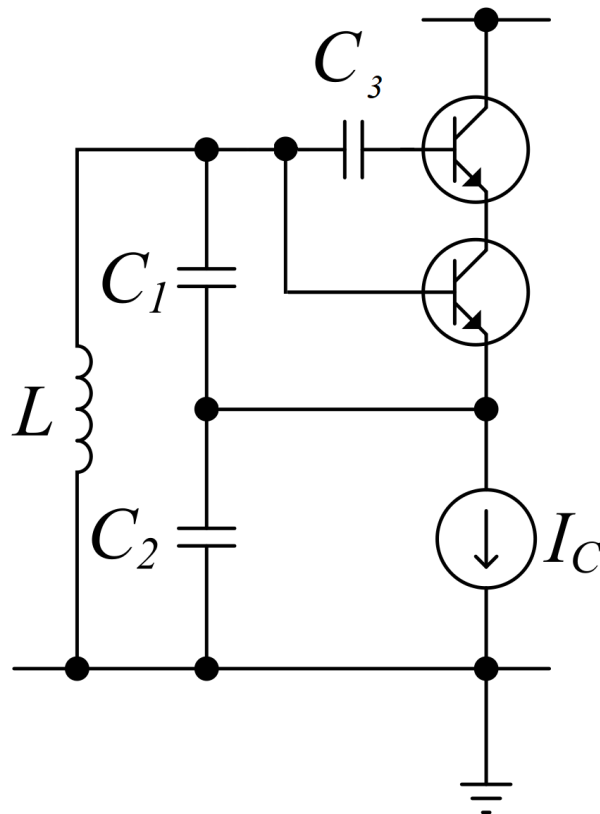


Рис.3.9 Спрощена принципова схема генератора Колпітца з каскодним підсилювачем.

Котушка індуктивності  $L$  і два конденсатора  $C_1$ ,  $C_2$  є коливальним контуром. Конденсатор  $C_2$  забезпечує зворотний зв'язок. Частота коливань приблизно дорівнює резонансній частоті LC-контура, який представляє собою послідовну комбінацію двох конденсаторів, включених паралельно

катушці індуктивності. Конденсатор  $C_3$  необхідний для зміщення фази сигналу.

### 3.4.1. Модель малого сигналу

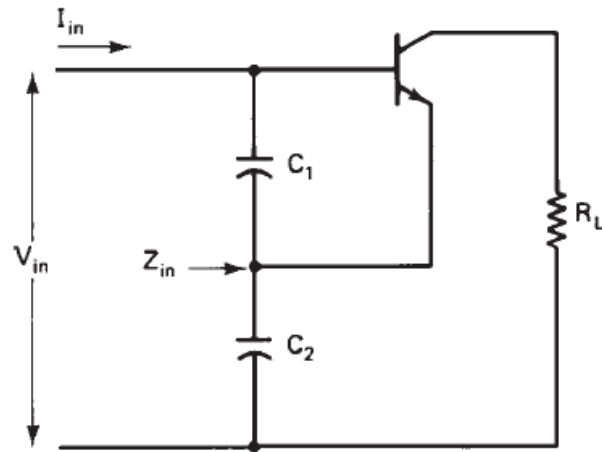


Рис. 3.10. Спрощена принципова схема, що показує частину підсилювача відображення генератора Колпітца. Конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  забезпечить позитивний зворотний зв'язок від емітера до бази.

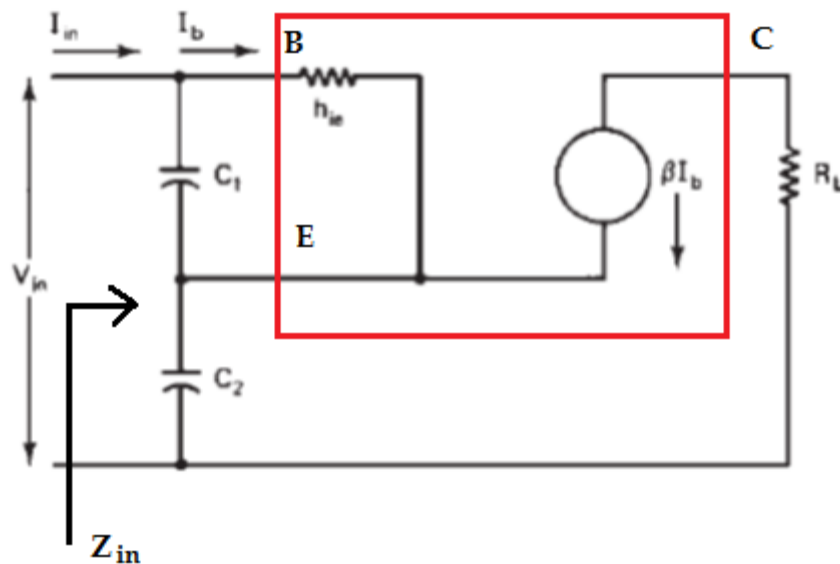


Рис.311 Еквівалентна схема моделі малого сигналу.

На малюнку 3.11 показана еквівалентна схема малого сигналу малюнка 3.10.

Застосовуючи KVL до вхідного циклу і циклу між базою і емітером, ми отримуємо

$$V_{in} = I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - I_b(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \quad (3.66)$$

$$0 = -I_{in}(X_{C_1}) + I_b(X_{C_1} + h_{ie}) \quad (3.67)$$

Вивід і підстановка в рівняння 3.1 дає

$$I_b = \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \quad (3.68)$$

$$V_{in} = I_{in}(X_{C_1} + X_{C_2}) - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}(X_{C_1} - \beta X_{C_2}) \quad (3.69)$$

Множення,

$$V_{in} = I_{in} X_{C_1} + I_{in} X_{C_2} - \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} X_{C_1} + \frac{I_{in} X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})} \beta X_{C_2} \quad (3.70)$$

Перемноживши обидві сторони  $(X_{C_1} + h_{ie})$  призводить до

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})I_{in}X_{C_2} - (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}X_{C_1} + (X_{C_1} + h_{ie})\frac{I_{in}X_{C_1}}{(X_{C_1} + h_{ie})}\beta X_{C_2} \quad (3.71)$$

Знову перемножившись,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} X_{C_1}^2 + h_{ie} I_{in} X_{C_1} + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} + h_{ie} I_{in} X_{C_2} - I_{in} X_{C_1}^2 + X_{C_1} I_{in} X_{C_2} \beta \quad (3.72)$$

Представити до  $I_{in}$ ,

$$V_{in}(X_{C_1} + h_{ie}) = I_{in} [h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + X_{C_1} X_{C_2} I_{in} (1 + \beta)] \quad (3.73)$$

Після цього  $Z_{in}$  виходить як

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{(1 + \beta) X_{C_1} X_{C_2} + h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{X_{C_1} + h_{ie}} \quad (3.74)$$

Якщо припустити, що  $X_{C_1} \ll h_{ie}$  с

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2}) + (1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.75)$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{h_{ie} (X_{C_1} + X_{C_2})}{h_{ie}} + \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.76)$$

$$Z_{in} = X_{C_1} + X_{C_2} + \frac{(1+\beta) X_{C_1} X_{C_2}}{h_{ie}} \quad (3.77)$$

Нехай  $g_m = \frac{(1+\beta)}{h_{ie}}$ , і збільшення реактивних опорів дає

$$Z_{in} = \left( g_m \frac{1}{j\omega C_1} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} \right) + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} \quad (3.78)$$

As  $j^2 = -1$ , тоді вхідний імпеданс

$$Z_{in} = -g_m \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega [C_1 C_2 / (C_1 + C_2)]} \quad (3.79)$$

Наведене вище рівняння описує вхідний імпеданс генератора Колпітца із загальним колектором як суму всіх резистивних елементів, де ліва частина рівняння це негативна резистивная частина а права частина рівняння - позитивна резистивная частина, яка представляє втрати в ланцюзі резонатора.

Таким чином, для початку і підтримання коливань негативна резистивная частина повинна компенсувати втрати в ланцюзі коливального контура, а сума всіх резистивних елементів повинна бути негативною.

Вхідний опір схеми, показаної на малюнку (3.11), являє собою негативний резистор

$$R = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.80)$$

послідовно з конденсатором,

$$C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3.81)$$

що представляє собою послідовну комбінацію двох конденсаторів. З дроселем  $L$  (з послідовним опором), підключеним до входу.

Зрозуміло, що умовою стійких коливань є

$$R_s = \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.82)$$

і частота коливань

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right]}} \quad (3.83)$$

Така інтерпретація коливального контуру дає кілька рекомендацій, які можна використовувати при проектуванні. По-перше, він повинен бути якомога більше, щоб

$$X_{C_1} \ll h_{ie} \quad (3.84)$$

і  $C_2$  бути більшим щоб

$$X_{C_1} \ll (1/h_{oe}) \quad (3.85)$$

коли ці два конденсатора великі, ємність транзистора база-емітер і колектор-емітер матимуть незначний вплив на характеристики схеми.

Однак рівняння. (3.85) обмежує максимальне значення ємностей, оскільки

$$r \leq \frac{g_m}{\omega^2 C_1 C_2} \leq \frac{G}{\omega^2 C_1 C_2} \quad (3.86)$$



де  $G$  - максимальне значення  $g_m$ . Для даного продукту  $C_1$  and  $C_2$ , послідовна місткість максимальна, коли  $C_1 = C_2 = C_S$

Таким чином, рівняння. (3.21) можна записати

$$\frac{1}{\omega C_S} > \sqrt{\frac{r}{G}} \quad (3.87)$$

Це рівняння важливо, оскільки воно показує, що для підтримки коливань мінімально допустимий реактивний опір ( $1 / \omega C_S$ ) є функцією опору котушки індуктивності і взаємної провідності транзистора.  $g_m$ .

### Висновки до розділу

Введення імпедансу дозволяє описувати поведінку двухполюсника з реактивними властивостями при впливі на нього гармонійного сигналу. Крім того, в разі негармонічного сигналу імпеданс застосовується так само успішно. Для цього сигнал розкладається на спектральні компоненти за допомогою ряду Фур'є або перетворення Фур'є і розглядається вплив кожної спектральної компоненти. Внаслідок лінійності двухполюсника сума відгуків на спектральні компоненти дорівнює відгуку на вихідний негармонічний сигнал.

## РОЗДІЛ 4

### Моделювання характеристик генератора Колпітца з різними топологіями підсилювача

#### 4.1. Проектування генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері

Щоб спроектувати генератор Колпітца з топологією підсилювача на загальному емітері, процедура проектування зазвичай виконується у відповідності з наступними кроками нижче:

Крок 1:

Спочатку ми вибираємо характеристичний імпеданс коливального контура, який є відношенням  $\sqrt{\frac{L}{C_s}}$ , де  $C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ .

На практиці, щоб почати коливання, характеристичний опір ланцюга резервуара повинно бути між 100 Ом і 200 Ом, тобто  $100\Omega \leq \sqrt{\frac{L}{C_s}} \leq 200\Omega$ .

Крок 2:

$$L = \frac{a}{2\pi f} = \frac{200}{2\pi \cdot (450 \times 10^6)} \quad (4.1)$$

$$L \approx 70 \mu\text{кН}$$

Крок 3:

$$C_{in} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot a} = \frac{1}{2\pi \cdot (450 \times 10^6) \cdot (200)} \quad (4.2)$$

$$C_{in} \approx 2 \text{ пФ}$$

Крок 4:

Обираємо наступний варіант,

$$b = \frac{C_1}{C_2} = 1 \quad (4.3)$$

$$C_1 = C_2 = 2C_{in} = 2(2 \text{ пФ})$$

$$C_1 = C_2 = 4 \text{ pF}$$

Крок 5:

Розраховуємо значення

$$h_{ib} = \frac{1.5V}{I_E} = \frac{1.5V}{60 \text{ mA}} = 25 \Omega \quad (4.4)$$

$$g_m = \frac{1}{h_{ib}} = \frac{1}{25} = 40 \text{ mS} \quad (4.5)$$

$$r_{neg} = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} = \frac{-40 \times 10^{-3}}{(2\pi \times 450 \times 10^6)^2 (4 \times 10^{-12})^2} = -312 \Omega \quad (4.6)$$

Отже, для стійкої генерації опір змінного струму обраного індуктора має бути менше 312 Ом,

$$r_L < |r_{neg}| = 312 \Omega \quad (4.7)$$

Створений генератор моделювався за допомогою середовища MULTISIM 14. Змодельована схема показана на малюнку (4.1).

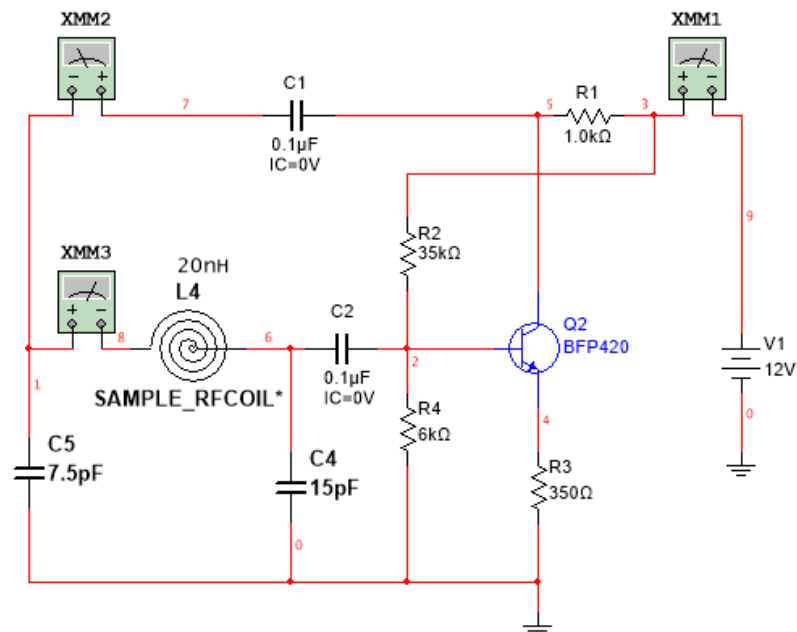


Рис 4.1 схема генератора

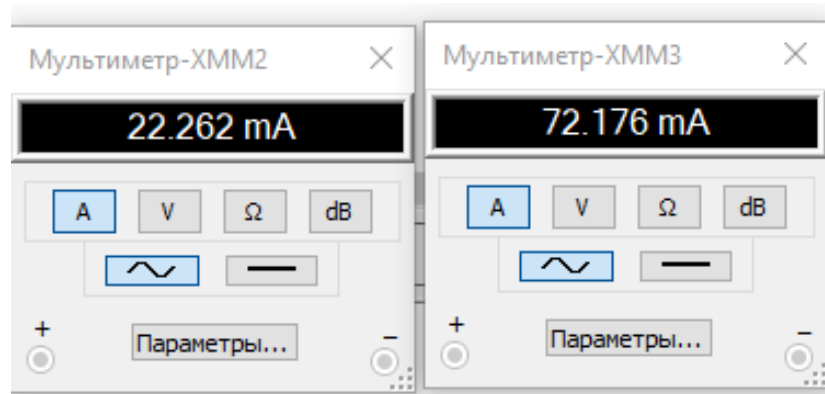


Рис.4.5 Струм внутрішнього і зовнішнього кола

На малюнку (4.6) нижче показана змодельована форма вихідного сигналу.

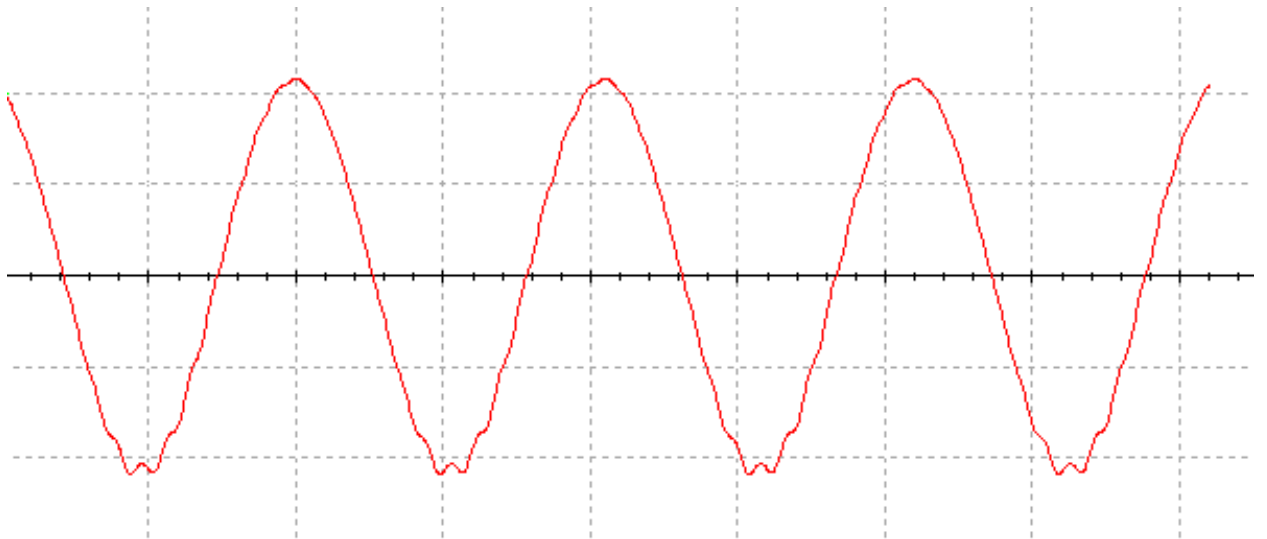


Рис.4.6 Форма вихідного сигналу

Спектр розробленого генератора показаний на малюнку (4.7) нижче.

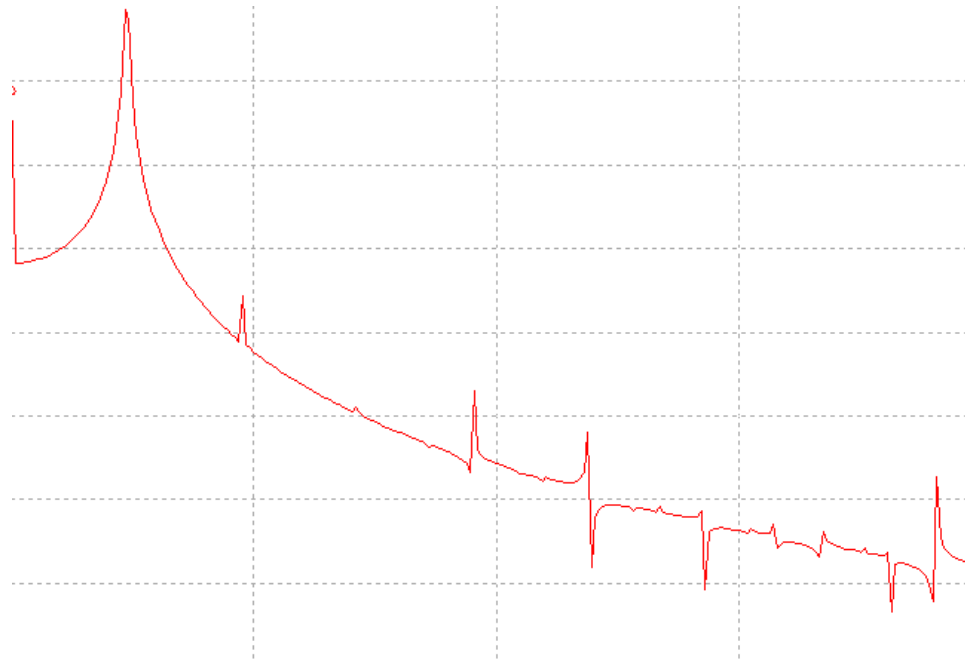


Рис.4.7 Спектр розробленого генератора

## 4.2. Проектування генератора Колпітца з підсилювачем на загальному клекторі

Щоб спроектувати генератор Колпітца з топологією підсилювача на загальному клекторі, процедура проектування зазвичай виконується у відповідності з наступними кроками нижче:

Крок 1:

Спочатку ми вибираємо характеристичний імпеданс коливального контура, який є відношенням  $\sqrt{\frac{L}{C_S}}$ , де  $C_S = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ .

На практиці, щоб почати коливання, характеристичний опір ланцюга резервуара повинно бути між 100 Ом і 200 Ом, тобто  $100\Omega \leq \sqrt{\frac{L}{C_S}} \leq 200\Omega$ .

Крок 2:

$$L = \frac{a}{2\pi f} = \frac{200}{2\pi \cdot (450 \times 10^6)} \quad (4.8)$$

$$L \approx 70 \mu kH$$

Крок 3:

$$C_{in} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot a} = \frac{1}{2\pi(450 \times 10^6) \cdot (200)} \quad (4.9)$$

$$C_{in} \approx 2 \text{ pF}$$

Крок 4:

Обираємо наступний варіант,

$$b = \frac{C_1}{C_2} = 1 \quad (4.10)$$

$$C_1 = C_2 = 2C_{in} = 2(2 \text{ pF})$$

$$C_1 = C_2 = 4 \text{ pF}$$

Крок 5:

Розраховуємо значення

$$h_{ib} = \frac{1.5V}{I_E} = \frac{1.5V}{60 \text{ mA}} = 25 \Omega \quad (4.11)$$

$$g_m = \frac{1}{h_{ib}} = \frac{1}{25} = 40 \text{ mS} \quad (4.12)$$

$$r_{neg} = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} = \frac{-40 \times 10^{-3}}{(2\pi \times 450 \times 10^6)^2 (4 \times 10^{-12})^2} = -312 \Omega \quad (4.13)$$

Отже, для стійкої генерації опір змінного струму обраного індуктора 3,2 мкГн має бути менше 312 Ом,

$$r_L < |r_{neg}| = 312 \Omega \quad (4.14)$$

Створений генератор моделювався за допомогою середовища MULTISIM 14. Змодельована схема показана на малюнку (4.8).

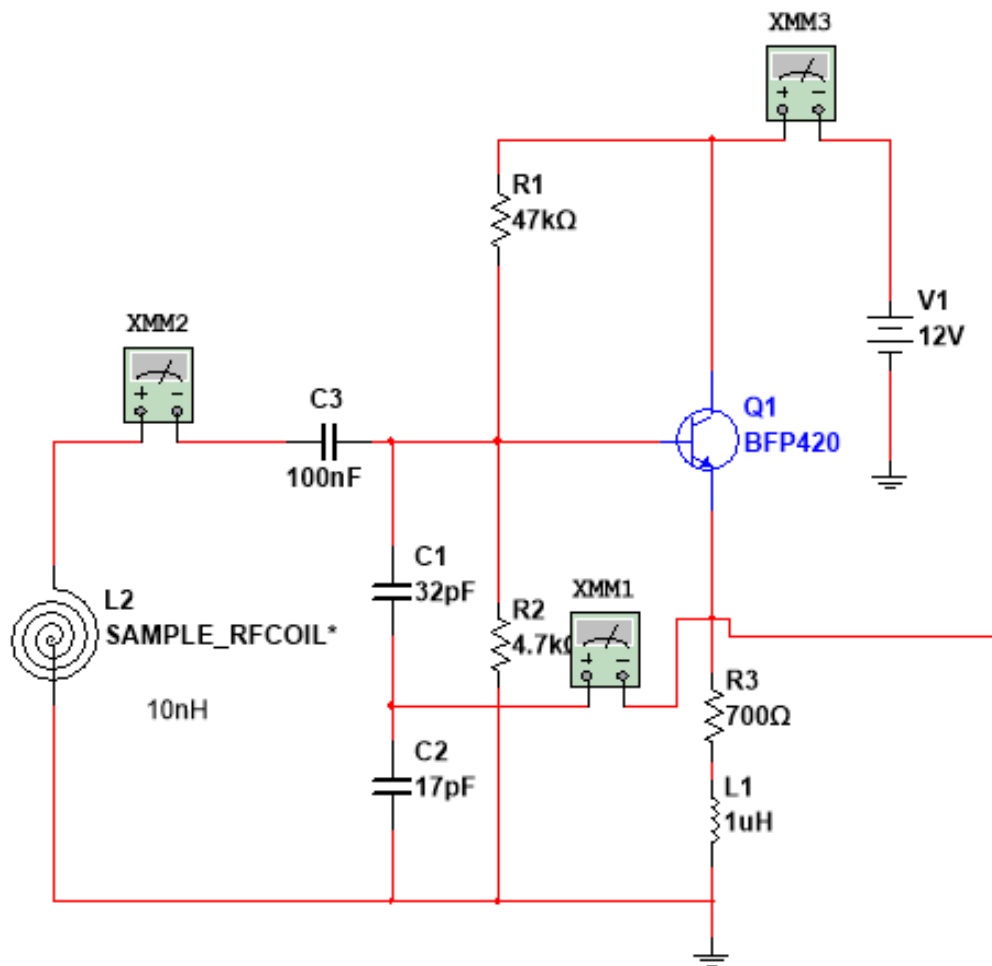


Рис 4.8 Схема генератора

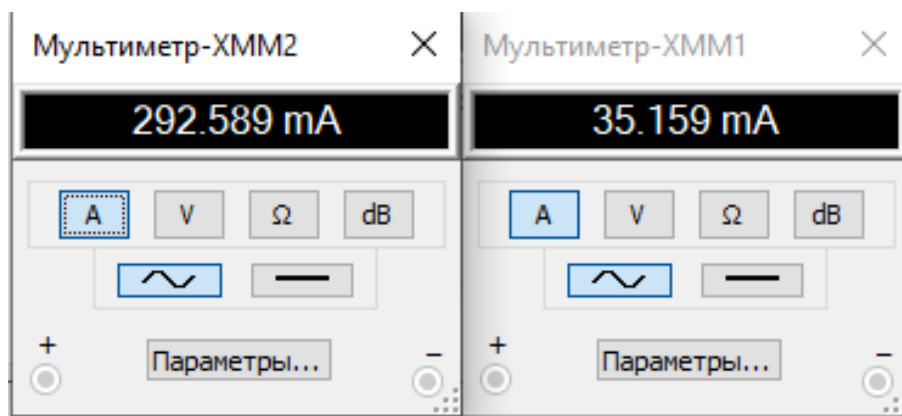


Рис.4.9 Струм внутрішнього і зовнішнього кола

На малюнку (4.10) нижче показана змодельована форма вихідного сигналу.



Рис.4.10 Форма вихідного сигналу

Спектр розробленого генератора показаний на малюнку (4.11) нижче.

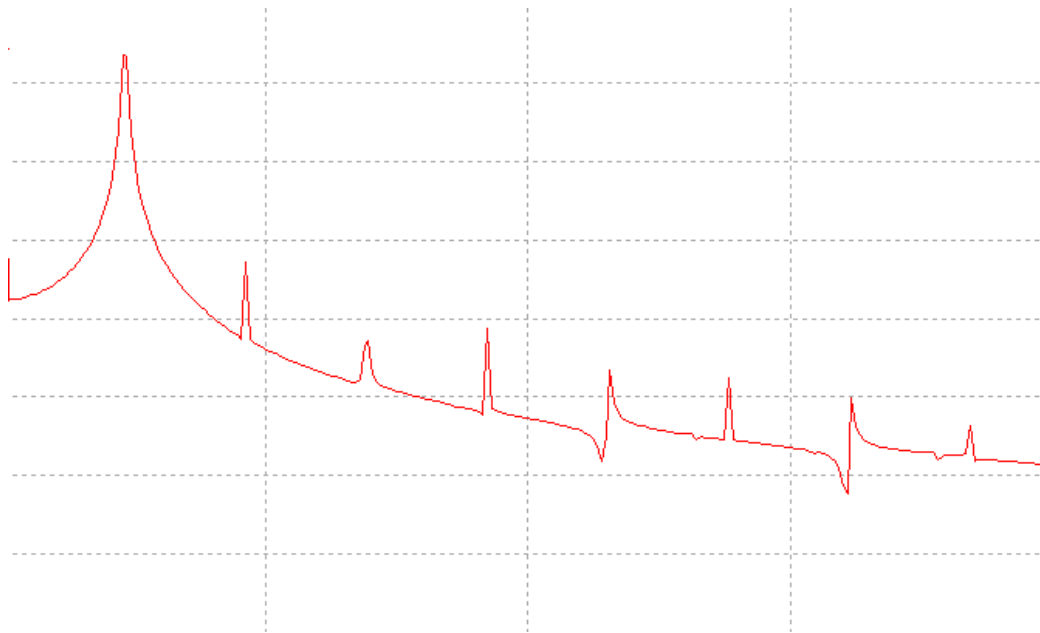


Рис.4.11 Спектр розробленого генератора

### 4.3. Проектування генератора Колпітца з підсилювачем на загальній базі

Щоб спроектувати генератор Колпітца з топологією підсилювача на загальному клекторі, процедура проектування зазвичай виконується у відповідності з наступними кроками нижче:

Крок 1:



Спочатку ми вибираємо характеристичний імпеданс коливального контура, який є відношенням  $\sqrt{\frac{L}{C_s}}$ , де  $C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ .

На практиці, щоб почати коливання, характеристичний опір ланцюга резервуара повинно бути між 100 Ом і 200 Ом, тобто  $100\Omega \leq \sqrt{\frac{L}{C_s}} \leq 200\Omega$ .

Крок 2:

$$L = \frac{a}{2\pi f} = \frac{200}{2\pi \cdot (450 \times 10^6)} \quad (4.15)$$

$$L \approx 70 \mu kH$$

Крок 3:

$$C_{in} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot a} = \frac{1}{2\pi \cdot (450 \times 10^6) \cdot (200)} \quad (4.16)$$

$$C_{in} \approx 2 pF$$

Крок 4:

Обираємо наступний варіант,

$$b = \frac{C_1}{C_2} = 1 \quad (4.17)$$

$$C_1 = C_2 = 2C_{in} = 2(2 pF)$$

$$C_1 = C_2 = 4 pF$$

Крок 5:

Розраховуємо значення

$$h_{ib} = \frac{1.5V}{I_E} = \frac{1.5V}{60 mA} = 25 \Omega \quad (4.18)$$

$$g_m = \frac{1}{h_{ib}} = \frac{1}{25} = 40 mS \quad (4.19)$$

$$r_{neg} = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} = \frac{-40 \times 10^{-3}}{(2\pi \times 450 \times 10^6)^2 (4 \times 10^{-12})^2} = -312 \Omega \quad (4.20)$$

Отже, для стійкої генерації опір змінного струму обраного індуктора 3,2 мкГн має бути менше 312 Ом,

$$r_L < |r_{neg}| = 312 \Omega \quad (4.21)$$

Створений генератор моделювався за допомогою середовища MULTISIM 14. Змодельована схема показана на малюнку (4.12).

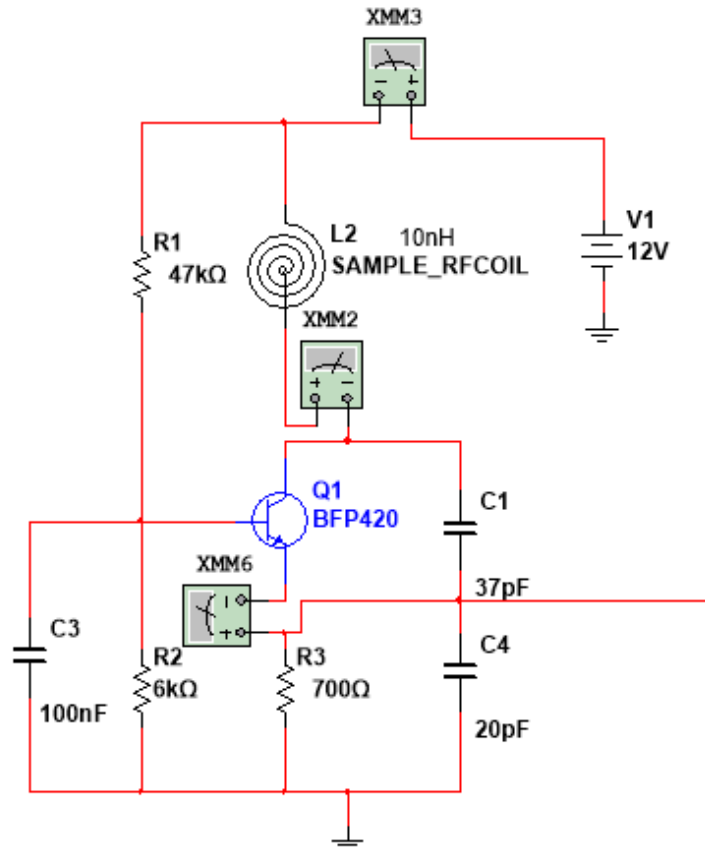


Рис 4.12 схема генератора

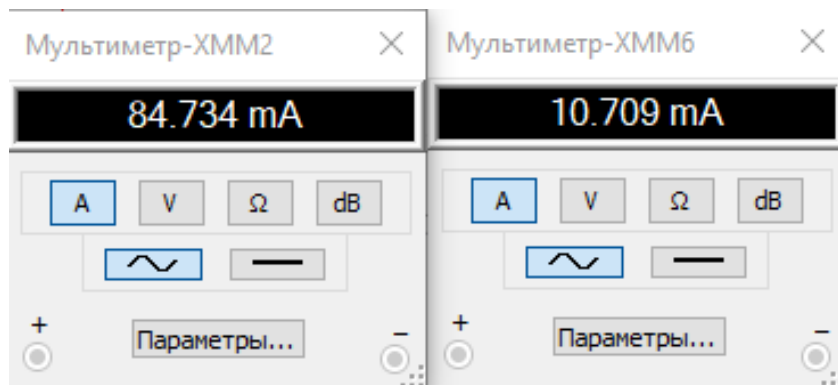


Рис.4.13 Струм внутрішнього і зовнішнього кола

На малюнку (4.14) нижче показана змодельована форма вихідного сигналу.

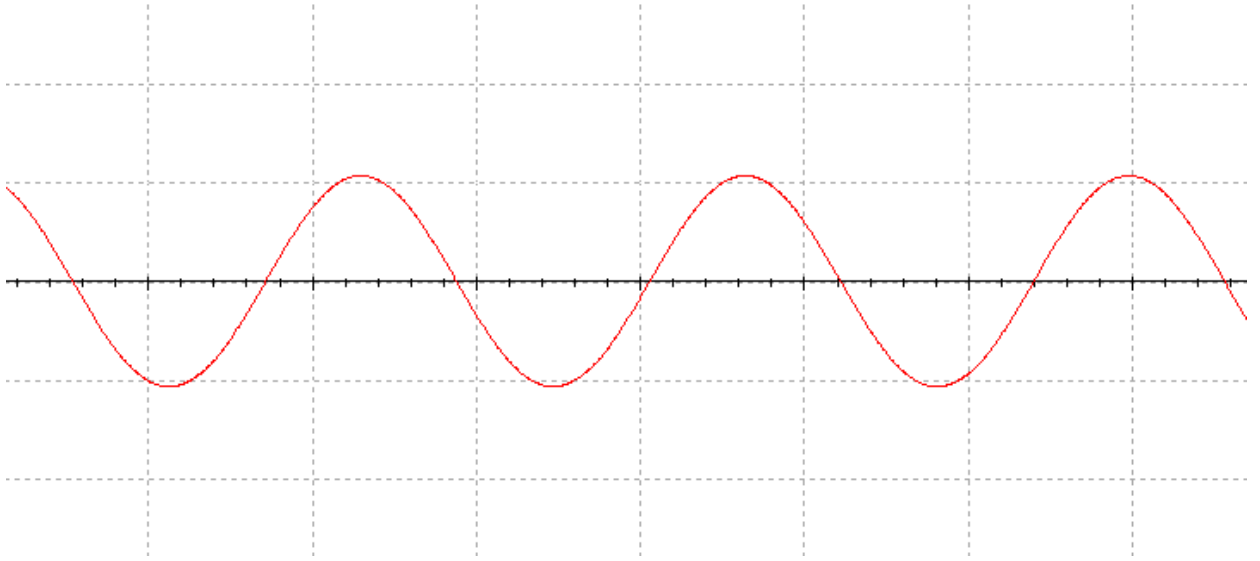


Рис.4.14 Форма вихідного сигналу

Спектр розробленого генератора показаний на малюнку (4.15) нижче.

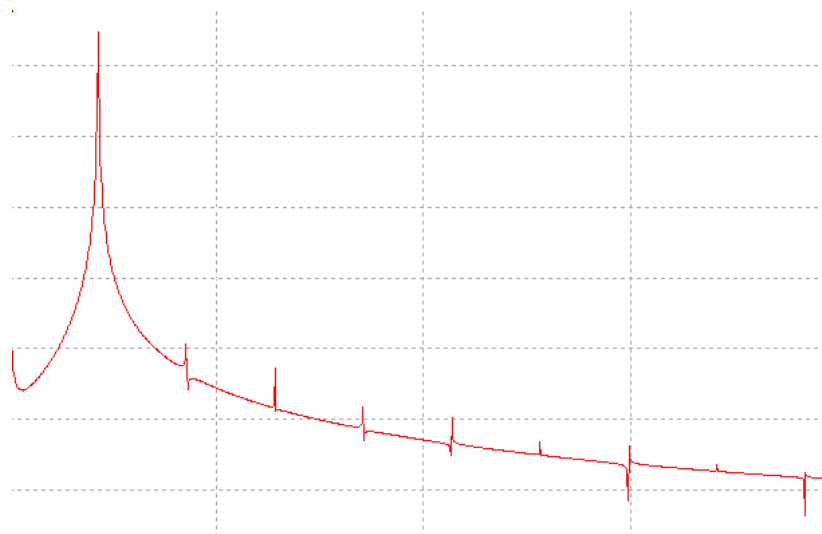


Рис.4.15 Спектр розробленого генератора

#### **4.4. Проектування генератора Колпітца з каскодним підсилювачем**

Щоб спроектувати генератор Колпітца з топологією підсилювача на загальному клекторі, процедура проектування зазвичай виконується у відповідності з наступними кроками нижче:

Крок 1:

Спочатку ми вибираємо характеристичний імпеданс коливального контура, який є відношенням  $\sqrt{\frac{L}{C_s}}$ , де  $C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ .

На практиці, щоб почати коливання, характеристичний опір ланцюга резервуара повинно бути між 100 Ом і 200 Ом, тобто  $100\Omega \leq \sqrt{\frac{L}{C_s}} \leq 200\Omega$ .

Крок 2:

$$L = \frac{a}{2\pi f} = \frac{200}{2\pi \cdot (450 \times 10^6)} \quad (4.22)$$

$$L \approx 70 \mu kH$$

Крок 3:

$$C_{in} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot a} = \frac{1}{2\pi \cdot (450 \times 10^6) \cdot (200)} \quad (4.23)$$

$$C_{in} \approx 2 pF$$

Крок 4:

Обираємо наступний варіант,

$$b = \frac{C_1}{C_2} = 1 \quad (4.24)$$

$$C_1 = C_2 = 2C_{in} = 2(2 pF)$$

$$C_1 = C_2 = 4 pF$$

Крок 5:

Розраховуємо значення

$$h_{ib} = \frac{1.5V}{I_E} = \frac{1.5V}{60 mA} = 25 \Omega \quad (4.25)$$

$$g_m = \frac{1}{h_{ib}} = \frac{1}{25} = 40 mS \quad (4.26)$$

$$r_{neg} = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} = \frac{-40 \times 10^{-3}}{(2\pi \times 450 \times 10^6)^2 (4 \times 10^{-12})^2} = -312 \Omega \quad (4.27)$$

Отже, для стійкої генерації опір змінного струму обраного індуктора 3,2 мкГн має бути менше 312 Ом,

$$r_L < |r_{neg}| = 312 \Omega \quad (4.28)$$

Створений генератор моделювався за допомогою середовища MULTISIM 14. Змодельована схема показана на малюнку (4.16).

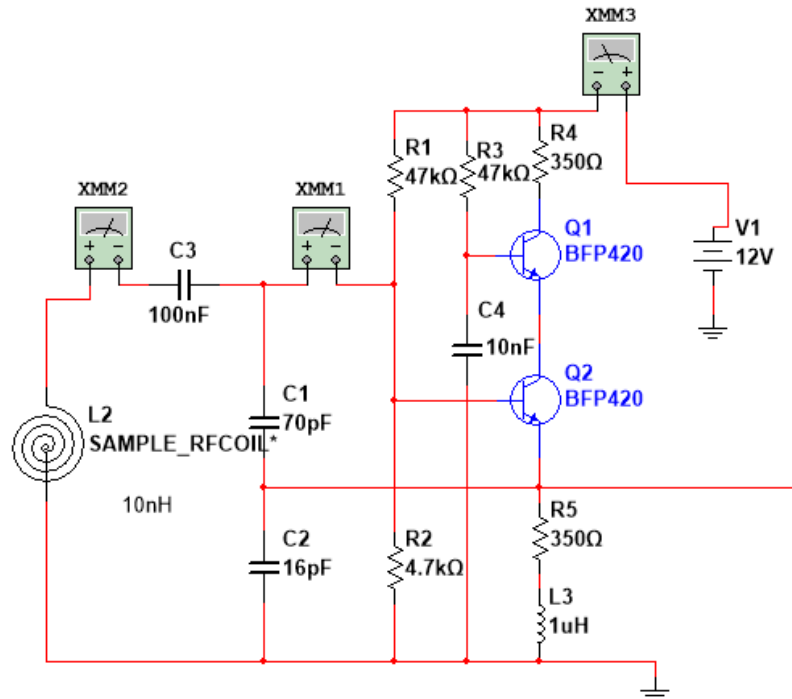


Рис 4.16 схема генератора

..

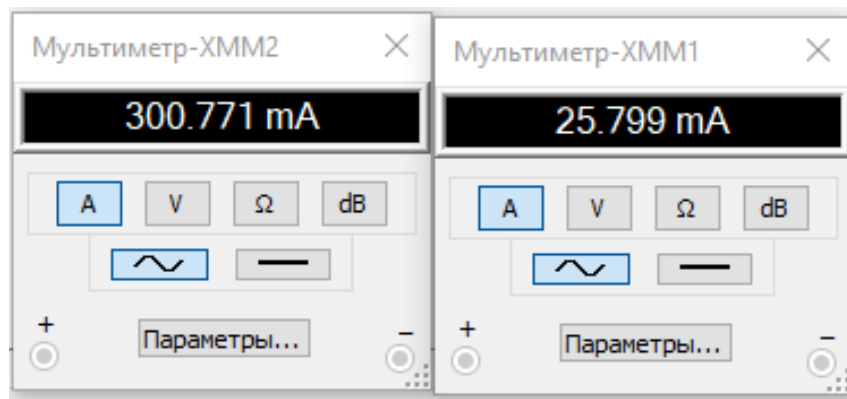


Рис.4.17 Струм внутрішнього і зовнішнього кола

На малюнку (4.18) нижче показана змодельована форма вихідного сигналу ..

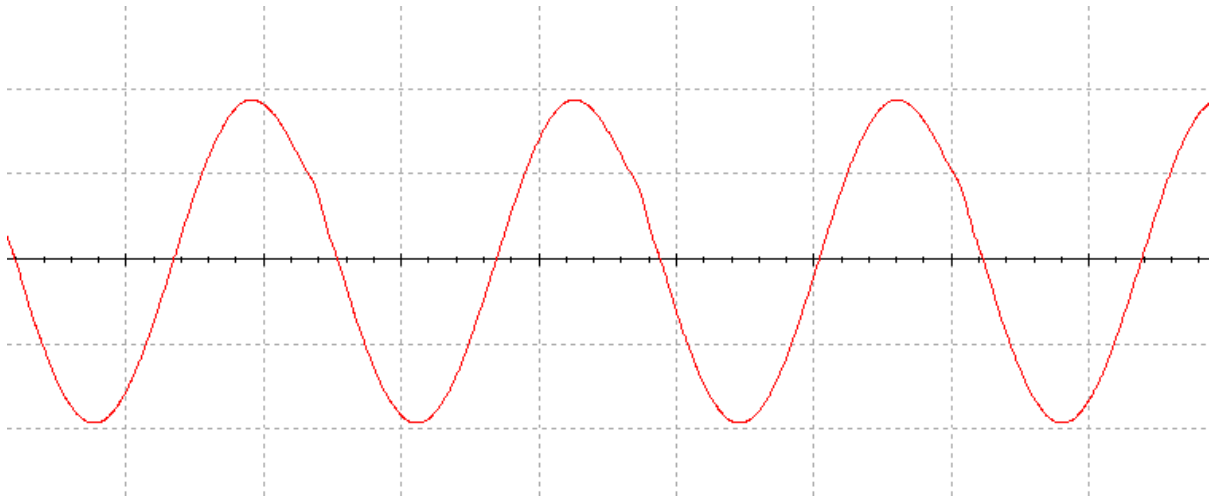


Рис.4.18 Форма вихідного сигналу

Спектр розробленого генератора показаний на малюнку (7) нижче.

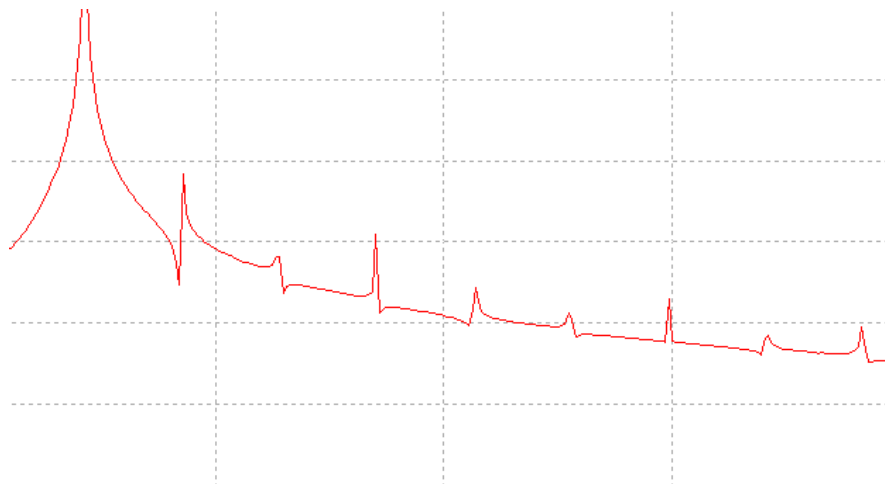


Рис.4.19 Спектр розробленого генератора

### **Висновки до розділу**

Описано метод створення генератора Колпітца на біполярному транзисторі. Метод заснований на використанні певних залежностей фазового шуму, повного гармонійного спотворення і характеристичного імпедансу від співвідношення ємностей резервуарної ланцюга. Генератор Колпітца розроблений відповідно до запропонованого методом, досягає

зазвичай використовуваного показника якості  $-205$  дбн / Гц, що робить його конструкцію конкурентоспроможною з сучасними конструкціями. Змодельована схема генератора Колпітца підтверджує ефективність запропонованого методу проектування.

## РОЗДІЛ 5

### Оптимізація топології генератора Колпітса

#### 5.1. Визначення показника ефективності генератора Колпітца

Методика оцінки ефективності генератора полягає в визначенні наступних параметрів:

- Коефіцієнт якості під навантаженням  $Q_L$ , для його визначення використовується властивість паралельних кіл генератора – струм, який проходить в колі генератора,  $I_{\text{tank}}$  в  $Q_L$  разів більше ніж струм в загальному колі  $I_{\text{res}}$ [2,с.911];

$$Q_L = \frac{I_{\text{tank}}}{I_{\text{res}}} \quad (5.1)$$

- Фазовий шум  $PN(f_m)$ , для розрахунку фазового шуму використано покращену формулу Лисона[1, с.128]:

$$PN(f_m) = 10 \log \left\{ \frac{FkT}{2P_{\text{out}}} \left[ \frac{f_{\text{fun}}^2 \cdot f_c}{f^3} + \left( \frac{f_{\text{fun}}}{2Q_L \cdot f_m} \right)^2 + \left( 1 + \frac{f_c}{f_m} \right) \right] \right\} \quad (5.2)$$

Фазовий шум це частотна стабільність генератора, яка є якісним показником того, наскільки точно даний генератор може відтворювати одну і ту ж вихідну частоту в заданому часовому інтервалі.

де  $PN$  - фазовий шум (дБн / Гц),  $F$  - коефіцієнт шуму активного пристрою генератора (дБ),  $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$  - постійна Больцмана (Дж / К),  $T$  - температура (Кельвін),  $P_{\text{out}}$  - вихідна потужність генератора,  $f_{\text{fun}}$  - частота коливань (Гц),  $f_c$  – частота зрізу  $1 / f$  активного пристрою (Гц), а  $f_m$  - частота зміщення (Гц).



- Коефіцієнт якості FoM, включає в себе фазовий шум (PN), відношення  $f_{\text{fun}}$  до  $f_m$  та споживану потужність ( $P_c$ )[3]

$$FoM(f_m) = PN(f_m)_{dBc} - 20 \log\left(\frac{f_{\text{fun}}}{f_m}\right) + 10 \log\left(\frac{P_c}{1mW}\right) \quad (5.3)$$

В даному рівнянні (5.3) друга складова дозволяє порівнювати фазовий шум генераторів, визначених на різних частотах і з різними частотними зсувами, третя складова має позитивний знак, якщо  $P_c > 1$  мВт, і негативний, якщо  $P_c < 1$  мВт. Таким чином, чим менше значення FoM, тим вище ефективність генератора.

## 5.2. Ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері

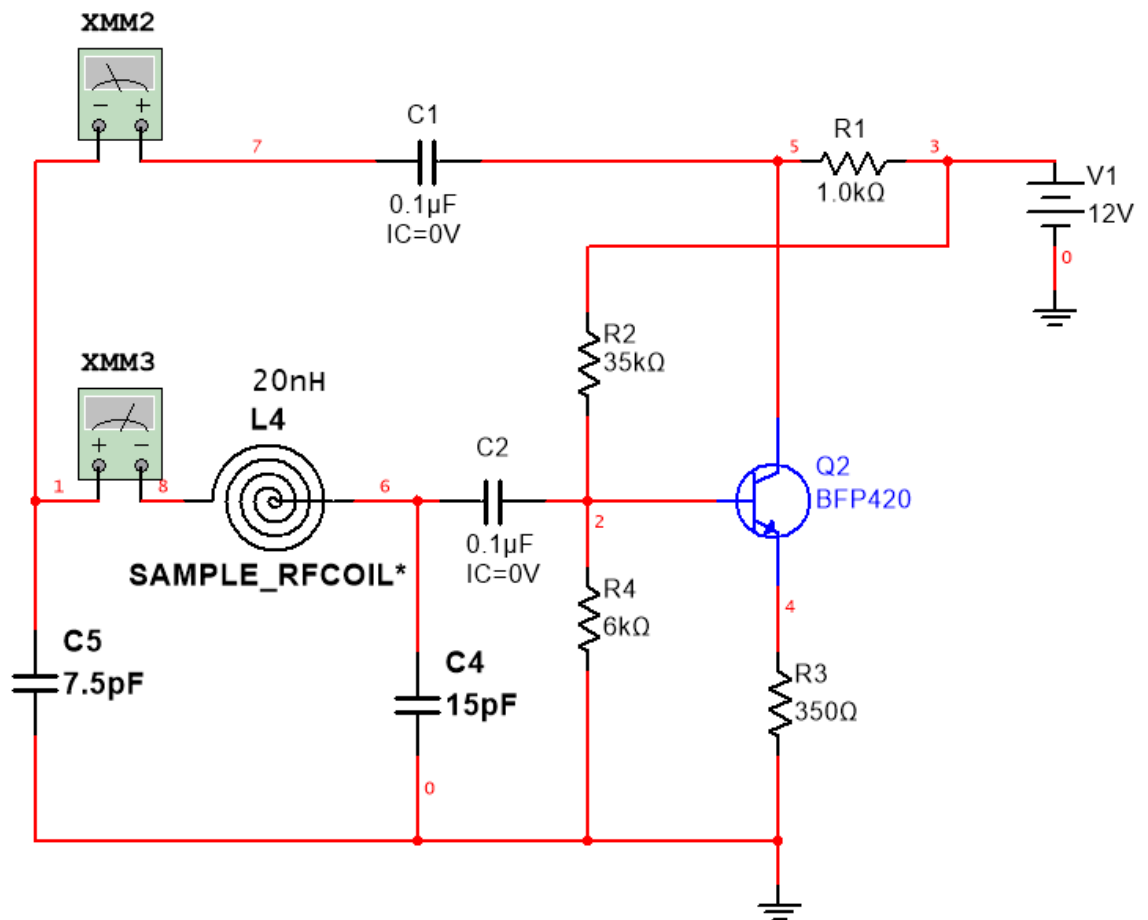


Рис. 5.1 Схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері.

Визначимо ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному емітері за допомогою методики вказаною в підрозділі 4.2.

Знаходимо коефіцієнт якості під навантаженням  $Q_L$ . Шляхом моделювання знаходимо  $I_{\text{tank}} = 72\text{mA}$  і  $I_{\text{res}} = 22\text{mA}$

$$Q_L = \frac{72}{22} = 3,27 \quad (5.4)$$

Знаходимо фазовий шум  $PN(f_m)$  за формулою (5.3), де:

- $F = 1.4\text{dB}$  взятий з електричних характеристик активного елемента;
- $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$  - постійна Больцмана (Дж / К);
- $T$  - температура 290К (Кельвін) умовно прийнята для моделювання;
- $P_{\text{out}} = 8\text{dBm}$ , вихідна потужність генератора, знайдена шляхом моделювання;
- $f_{\text{fun}} = 462$  МГц частота коливань, знайдена шляхом моделювання;
- $f_c = 0$  МГц частота зрізу  $1/f$  активного пристрою;
- $Q_L = 3,27$  Коефіцієнт якості під навантаженням;
- $f_m = 100\text{кГц}$  частота зміщення, умовно прийнята для моделювання;

Дані були занесені в програму маткад і обраховані в ній, отриманий результат:

$$P(f_m) := \log(10) \left[ \frac{F \cdot k \cdot T}{2P_{\text{out}}} \left[ \frac{f_{\text{fun}}^2 \cdot f_c}{f_m^3 \cdot (4Q_L)^2} + \left( \frac{f_{\text{fun}}}{2Q_L \cdot f_m} \right)^2 + \left( 1 + \frac{f_c}{f_m} \right) \right] \right] \quad (5.5)$$

$$PN(f_m) = -157 \frac{\text{dBc}}{\text{Hz}} \quad (5.6)$$

Знайдемо коефіцієнт якості FoM за формулою (5.3) який включає в себе попередні два параметри

де  $P_c$  – 39мВт споживана потужність, отримана шляхом моделювання

$$FoM(fm) := PN(fm) - 20 \cdot \log\left(\frac{ffun}{fm}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{P_c}{1 \cdot 10^{-3}}\right) \quad (5.7)$$

$$FoM(fm) = -212 \frac{dBc}{Hz} \quad (5.8)$$

### 5.3. Ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі

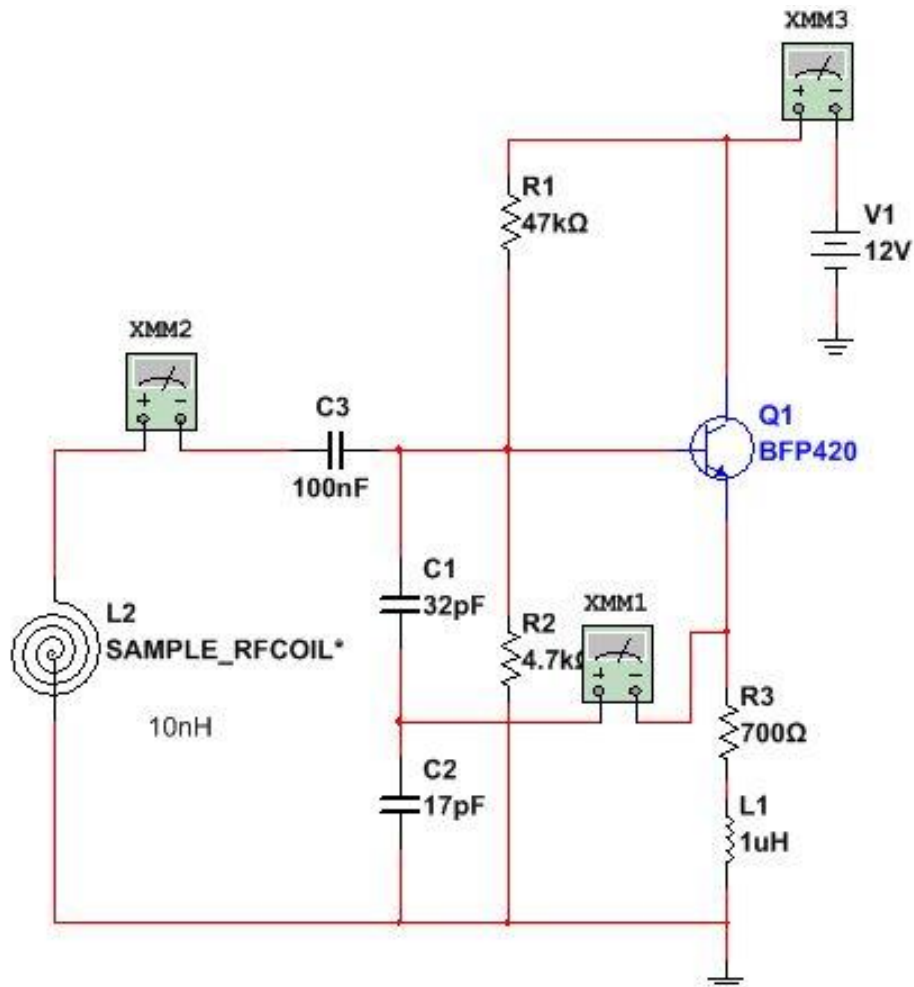


Рис. 5.2 Схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі.

Визначимо ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі за допомогою методики вказаною в підрозділі 5.2.

Знаходимо коефіцієнт якості під навантаженням  $Q_L$ . Шляхом моделювання знаходимо  $I_{\text{tank}} = 292\text{mA}$  і  $I_{\text{res}} = 34\text{ mA}$

$$Q_L = \frac{72}{22} = 8,5 \quad (5.9)$$

Знаходимо фазовий шум  $PN(f_m)$  за формулою (4.3), де:

- $F = 1.4\text{dB}$  взятий з електричних характеристик активного елемента;
- $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$  - постійна Больцмана (Дж / К);
- $T$  - температура  $290\text{K}$  (Кельвін) умовно прийнята для моделювання;
- $P_{\text{out}} = 13\text{dBm}$ , вихідна потужність генератора, знайдена шляхом моделювання;
- $f_{\text{fun}} = 462\text{ МГц}$  частота коливань, знайдена шляхом моделювання;
- $f_c = 5\text{ кГц}$  частота зрізу  $1/f$  активного пристрою;
- $Q_L = 8,5$  Коефіцієнт якості під навантаженням;
- $f_m = 100\text{кГц}$  частота зміщення, умовно прийнята для моделювання;

Дані були занесені в програму маткад і обраховані в ній, отриманий результат:

$$PN(f_m) = -168 \frac{\text{dBc}}{\text{Hz}} \quad (4.10)$$

Знайдемо коефіцієнт якості  $FoM$  за формулою (5.3) який включає в себе попередні два параметри

де  $P_c = 72\text{mW}$  споживана потужність, отримана шляхом моделювання

$$FoM(fm) = -223 \frac{dBc}{Hz} \quad (5.11)$$

#### 5.4. Ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальній базі

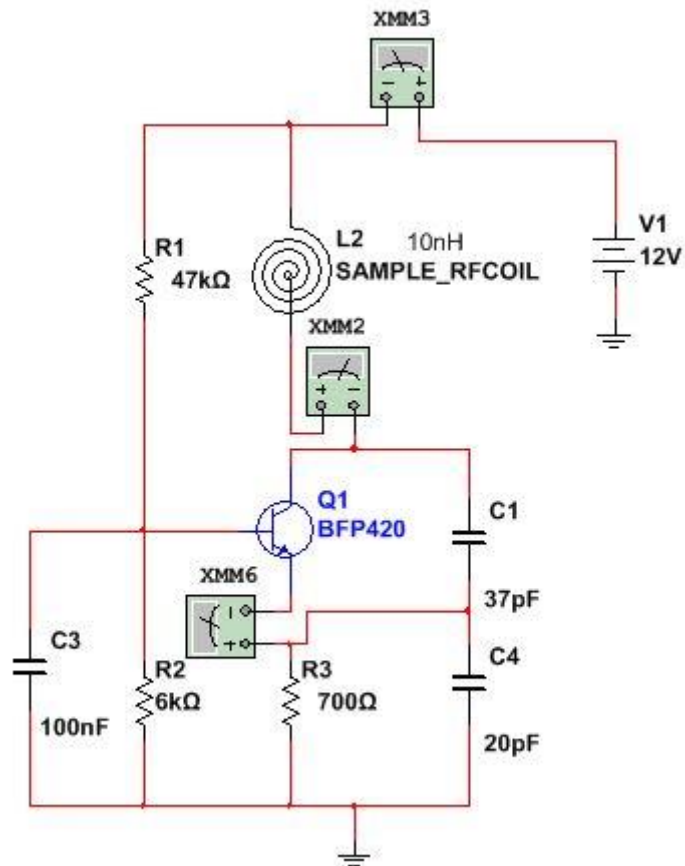


Рис. 4.3 Схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі.

Визначимо ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі за допомогою методики вказаною в підрозділі 5.2.

Знаходимо коефіцієнт якості під навантаженням  $Q_L$ . Шляхом моделювання знаходимо  $I_{\text{tank}} = 84\text{mA}$  і  $I_{\text{res}} = 11\text{mA}$

$$Q_L = \frac{84}{11} = 7.5 \quad (5.12)$$

Знаходимо фазовий шум  $PN(f_m)$  за формулою (5.3), де:

- $F = 1.4\text{dB}$  взятий з електричних характеристик активного елемента;
- $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$  - постійна Больцмана (Дж / К);
- $T$  - температура 290К (Кельвін) умовно прийнята для моделювання;
- $P_{out} = 5\text{dBm}$ , вихідна потужність генератора, знайдена шляхом моделювання;
- $f_{fun} = 429$  МГц частота коливань, знайдена шляхом моделювання;
- $f_c = 5$  кГц частота зрізу  $1/f$  активного пристрою;
- $Q_L = 7$  Коефіцієнт якості під навантаженням;
- $f_m = 100$ кГц частота зміщення, умовно прийнята для моделювання;

Дані були занесені в програму маткад і обраховані в ній, отриманий результат:

$$PN(fm) = -163 \frac{\text{dBc}}{\text{Hz}} \quad (5.14)$$

Знайдемо коефіцієнт якості FoM за формулою (5.3) який включає в себе попередні два параметри

де  $P_c = 45\text{mW}$  споживана потужність, отримана шляхом моделювання

$$FoM(fm) = -219 \frac{\text{dBc}}{\text{Hz}} \quad (5.14)$$

## 5.5. Ефективність генератора Колпітца з каскодним підсилювачем

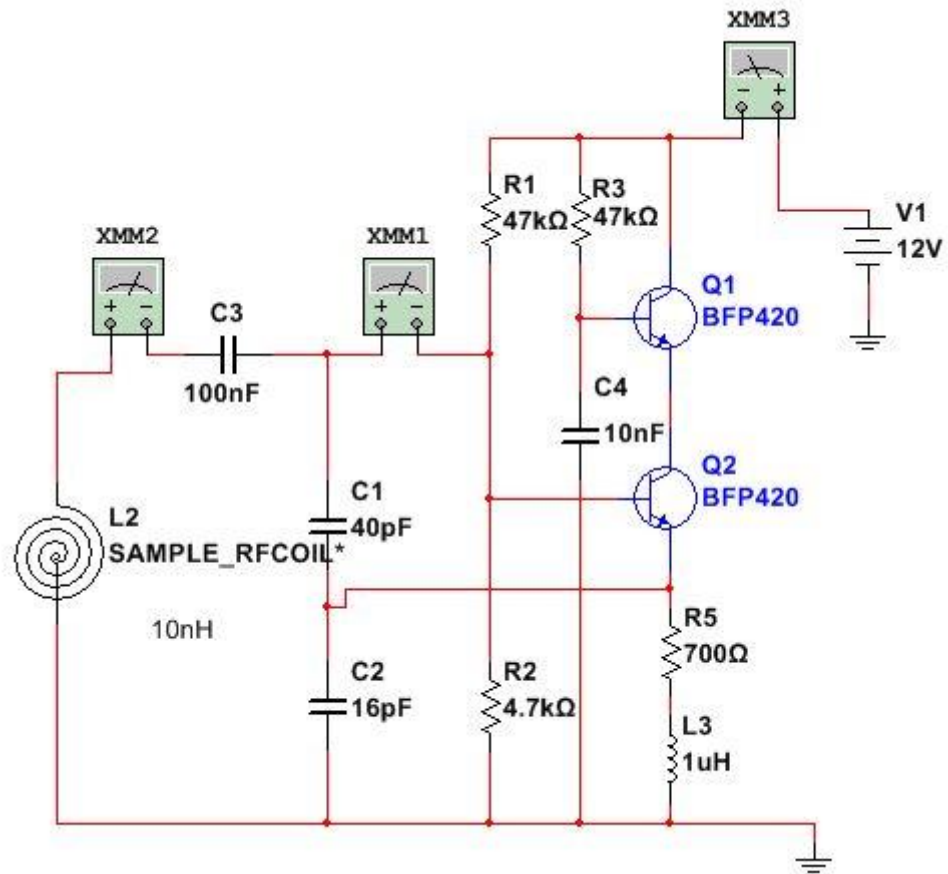


Рис. 4.4 Схема генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі.

Визначимо ефективність генератора Колпітца з підсилювачем на загальному колекторі за допомогою методики вказаною в підрозділі 5.2.

Знаходимо коефіцієнт якості під навантаженням  $Q_L$ . Шляхом моделювання знаходимо  $I_{\text{tank}} = 273\text{mA}$  і  $I_{\text{res}} = 18\text{mA}$

$$Q_L = \frac{273}{18} = 15 \quad (5.15)$$

Знаходимо фазовий шум  $PN(f_m)$  за формулою (5.3), де:

- $F = 1.4\text{dB}$  взятий з електричних характеристик активного елемента;
- $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$  - постійна Больцмана (Дж / К);

- $T$  - температура 290К (Кельвін) умовно прийнята для моделювання;
- $P_{out} - 16 \text{ dBm}$ , вихідна потужність генератора, знайдена шляхом моделювання;
- $f_{fun} - 452 \text{ МГц}$  частота коливань, знайдена шляхом моделювання;
- $f_c - 5 \text{ кГц}$  частота зрізу  $1 / f$  активного пристрою;
- $Q_L - 7$  Коефіцієнт якості під навантаженням;
- $f_m - 100 \text{ кГц}$  частота зміщення, умовно прийнята для моделювання;

Дані були занесені в програму маткад і обраховані в ній, отриманий результат:

$$PN(fm) = -176 \frac{\text{dBc}}{\text{Hz}} \quad (5.16)$$

Знайдемо коефіцієнт якості FoM за формулою (4.3) який включає в себе попередні два параметри

де  $P_c - 55 \text{ мВт}$  споживана потужність, отримана шляхом моделювання

$$FoM(fm) = -231 \frac{\text{dBc}}{\text{Hz}} \quad (5.17)$$

## 5.6. Вибір оптимальної топології генератора Колпітца

Для порівняння характеристик генераторів з різними підсилювачами, на основі отриманих результатів ефективності з попередніх підрозділів, занесемо їх в наступну таблицю.



## Порівняння отриманих результатів

Тип підсилювача	Споживана потужність(мВт)	Фазовий шум	FoM дБн/Гц
Загальний емітер	39	-157	-212
Загальний колектор	72	-168	-223
Спільна база	45	-164	-220
Каскодна	47	-176	-231

З таблиці 5.1 видно що генератор з каскодним підсилювачем, має найкращий FoM серед генераторів, також самий низький фазовий шум і відносно не високу споживану потужність.

**Висновки до розділу**

З таблиці 5.1 видно, що розроблений генератора Колпітца з каскодним підсилювачем розроблений має кращий FoM серед інших генераторів, виготовлених на основі генератора Колпітца, де в цілому споживана потужність досить висока але не сама найбільша. Крім того вибрана схема має найнижчий фазовий шум що являється одним з найважливіших критеріїв оцінки частотної стабільності будь-якого генератора сигналу.

## РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці являється системою законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на створення безпечних умов, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Складовими охорони праці є законодавство про працю, виробнича санітарія і безпека застосування різних технічних засобів на виробничих процесах включаючи пожежну безпеку.

Трудове законодавство регламентується законодавчими актами, основними з яких є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України „Про охорону праці”.

Конституційне право громадян нашої держави на охорону їх життя і здоров'я у процесі їх трудової діяльності відображено у Законі України, прийнятому Верховною Радою України 14 жовтня 1992 р. Дія закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності і виду їх діяльності, на всіх працюючих незалежно від їх посади і рівня кваліфікації.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. У державному стандарті України ДСТУ 2293-99 "Система стандартів безпеки праці. Охорона праці. Терміни та визначення" встановлені терміни і визначення основних понять з охорони праці. Наведемо деякі з них:

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних або лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці;

Шкідливий (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я та зниження працездатності працівника;

Небезпечний (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого в певних умовах може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника;

Нещасний випадок на виробництві – раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого фактора чи середовища, внаслідок яких заподіяна шкода здоров'ю або наступила смерть;

Виробнича травма – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок впливу виробничих факторів;

Виробниче середовище – сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних факторів, що діють на людину в процесі трудової діяльності;

Міжгалузеві і галузеві акти з охорони праці – закони, міжгалузеві і галузеві стандарти, норми, правила, положення, інструкції та інші документи з охорони праці, яким надається сила правових норм обов'язкових для виконання;

Нагляд за охороною праці – одна з форм діяльності державних органів по дотриманню вимог законів та інших нормативних актів з охорони праці встановлених державною владою.

Виходячи з теми даної дипломної роботи суб'єктом охорони праці є інженер з електронної техніки, тож в наступних підрозділах цього розділу буде проаналізовано умови праці інженера, можливі шкідливі та небезпечні чинники, що впливають чи можуть вплинути на нього, їх небезпечну дію та заходи для зниження їх впливу.

### **6.1. Перелік небезпечних та шкідливих факторів у робочій зоні**

В процесі праці, на інженера згідно ГОСТу 12.0.003-74 впливають наступні небезпечні та шкідливі фактори [4]:

- несприятливий мікроклімат;

Згідно ГОСТу 12.1.005–88 про «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» в виробничих приміщеннях при виконанні робіт пов'язаних з нервово-емоційною напругою, повинні дотримуватися оптимальні величини температури повітря 22-24 ° С, при його відносній вологості 60-40% і

швидкості руху (не більше 0,1 м / с) [26].

➤ запиленість робочої зони;

Основним параметром складу повітряного середовища є запиленість. Пил у робочому приміщенні являє собою аерозоль дезінтеграції, утворену в результаті механічного здрібнювання часток ґрунту, що заносять у приміщення на взутті й одязі. Запиленість повітря в приміщенні не перевищує 0.1 мг/м<sup>2</sup> при розмірах часток не більше 3 мкм, що відповідає нормі. Зменшувати рівень запиленості потрібно вологим прибиранням приміщення.

➤ виробничі випромінювання;

При роботі з ПЕОМ інфрачервоним, ультрафіолетовим й іншим видами випромінювань, опромінюється до 50% поверхні тіла користувача ПЕОМ, згідно ГОСТу 12.1.005-88 інтенсивність теплового випромінювання повинна становити не більше 70 Вт/ м<sup>2</sup>. [25]

➤ підвищений рівень шуму, що створюється технічним оснащенням;

Основні характеристики і допустимі рівні шуму на робочих місцях визначаються згідно ДСН 3.3.6.037-99 "ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки.". Допустимі рівні звукового тиску звуку для аналітичних та вимірювальних робіт – 60 ДБА [4].

➤ недостатня освітленість робочої зони .

## **6.2. Технічні та організаційні заходи щодо зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

Перераховані вище небезпечні та шкідливі фактори в тій чи іншій мірі впливають на самопочуття людини, що призводить до зниження працездатності і продуктивності праці. Заходи, що до зменшення впливу шкідливих факторів:

- дотримання норм і правил згідно ГОСТу 12.1.005-88 про «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»;
- вологе прибирання приміщення;
- забезпечення від інфрачервоних випромінювань: огорожувальними, герметизуючими, теплоізолюючими пристроями, знаками безпеки, дистанційним управлінням;
- раціоналізація режимів праці та відпочинку (додаткові перерви);
- зменшення шуму на шляху поширення (за рахунок місцевої та загальної звукоізоляції, шумовловлюючих екранів, поглинаючих фільтрів).

### **6.2.1. Забезпечення освітлення робочої зони**

Вимоги до освітлення наведені у ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Збереження зору людини, стан його центральної нервової системи значною мірою залежить від освітлення [17].

Розрахунок освітленості робочого місця зводиться до вибору системи освітлення, визначенню необхідного числа світильників, їхнього типу й розміщення. У приміщенні використовується система загального штучного освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення. Як світильники загального освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛП071-4x18-571/Мілано із індексом передачі

кольору не менш 70 ( $R \geq 70$ ), як світильники - установки типу УСП-35-4x18 з можливістю плавного регулювання яскравістю.

Нормативними документами встановлено вимоги освітлення робочого місця інженера, так як рекомендована освітленість на поверхні столу в зоні розміщення робочого документу 300 - 500 лк. Місцеве освітлення не повинно створювати відблисків на поверхні екрану і збільшувати освітленість екрана понад 300 лк.

Джерелами штучного світла є люмінесцентні лампи. Їх перевагами є: економічність, великий термін служби, рівномірне освітлення в полі зору, спектр випромінювання близький до спектру природного кольору.

У приміщенні, де знаходиться робоче місце інженера використовується змішане освітлення, тобто сполучення природного і штучного освітлення. У якості природного бічне освітлення через вікна. Штучне освітлення використовується при недостатньому природному освітленні. Тип світильника: підвісний растровий світильник для громадських приміщень ЛП071-4x18-571/Мілано з умовним номером групи 1.

Для проектування системи штучного освітлення скористаємося методом світлового потоку, оскільки будемо розраховувати рівномірне загальне освітлення приміщення при освітленості тільки в горизонтальній площині. Висота приміщення:

$$H = 3\text{ м};$$

Висота робочої поверхні столу:

$$h_p = 0.8\text{ м};$$

Висота зв'язу світильника від стелі:

$$h_z = 0.1\text{ м};$$

Визначаємо висоту зв'язу світильника над робочою поверхнею:

$$b = H - h_p - h_s \quad (6.1)$$

$$b = 3 - 0,8 - 0,1 = 2,1\text{м}$$

Ширина приміщення:

$$A = 4 \text{ м};$$

Довжина приміщення:

$$B = 8 \text{ м};$$

Визначаємо освітлювану площу приміщення:

$$S = A \cdot B \quad (6.2)$$

$$S = 4 \cdot 8 = 32\text{м}^2$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} \quad (6.3)$$

$$i = \frac{32}{2,1 \cdot (4 + 8)} = 1,26$$

Коефіцієнти відбиття від стелі 70%, від стін – 50%, від підлоги – 10%.

Вибираємо характеристики, що відповідають типу лампи – ЛЕЦ(754) напруга 110 +/- 11В, тривалість горіння – 5200 годин, світловий потік після 100 годин горіння 4000 лм.

Характеристики вибраного світильника:

$$\text{довжина } D_{cv} = 625\text{мм}$$

$$\text{ширина } Ш_{cv} = 625\text{мм}$$

$$\text{висота } B_{cv} = 100\text{мм}$$

чотири лампи типу ЛЕЦ(754) потужністю по 18 Вт кожна. Таким чином, світловий потік:

$$\Phi = 4000 \text{ лм};$$

З урахуванням індексу приміщення, коефіцієнтів відбиття стелі, стін, підлоги і типу обраного світильника визначаємо коефіцієнт світлового потоку:

$$\eta = 40;$$

Коефіцієнт затінення:

$$K_z = 1,4;$$

Коефіцієнт затінення для даного приміщення з фіксованим положенням інженера-програміста:

$$K_\gamma = 0,9;$$

Коефіцієнт нерівномірності освітлення:

$$Z = 1,3;$$

Кількість люмінесцентних ламп в світильнику:

$$n = 4;$$

Освітленість

$$E = 300 \text{лк};$$

Розраховуємо потрібну кількість світильників:

$$N_c = \frac{100 \cdot E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n_i \cdot \Phi \cdot \eta \cdot K_\gamma} \quad (6.4)$$

$$N_c = \frac{100 \cdot 300 \cdot 32 \cdot 1,4 \cdot 1,3}{4 \cdot 4000 \cdot 40 \cdot 0,9} = 3,97$$



З розрахунків видно, що для даного приміщення з ПЕОМ потрібно N=4 світильників типу ЛГ1071-4x18-57.

При розміщенні світильників з люмінесцентними лампами, останні розміщуються рядами – паралельно рядам обладнання або віконним рамам. Перед проектуванням системи штучного освітлення потрібно перевірити фактичну освітленість у приміщенні при числі світильників 4:

$$E_{\phi} = \frac{N_c \cdot n_i \cdot \Phi \cdot \eta \cdot K_{\gamma}}{100 \cdot S \cdot K_z \cdot Z} \quad (6.5)$$

$$E_{\phi} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 3000 \cdot 40 \cdot 0.9}{100 \cdot 32 \cdot 1.4 \cdot 1.3} \approx 340_{лк}$$

отримана фактична освітленість приміщення забезпечує рекомендовану освітленість приміщення.

### **6.3. Інструкція з техніки безпеки, пожежної та вибухової безпеки**

#### **6.3.1. Розробка інструкції з охорони праці**

Інструкція з техніки пожежної та вибухової безпеки згідно з вимогами НПАОП 0.00-6.03-93 „Порядок опрацювання і затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві”, затвердженим Держнаглядом охорони праці (наказ від 21 грудня 1993 р. № 132) та НПАОП 0.00-4.15-98 „Положення про розробку інструкцій з охорони праці”, затвердженим Держнаглядом охорони праці (наказ від 29 січня 1998 р. № 9) [19].  
Загальні вимоги:

1) До роботи з приладом допускаються інженери, що вивчили проектний відділ, інструкцію з технічної експлуатації, діючу інструкцію, а також склали залік з техніки безпеки та пожежної безпеки;

2) Налагоджувально-ремонтні роботи виконує інженер – електронщик. Інструмент повинен бути справним, джерело живлення відключеним;

3) Для забезпечення заходів безпеки і виключення можливості ураження електричним струмом оператор повинен:

а) не порушувати порядок роботи з приладом, встановлений інструкцією з технічної експлуатації приладу;

б) підключати прилад до джерела живлення тільки при надітому корпусі;

в) перед підключенням приладу до джерела живлення перевірити візуально стан шнурів та кабелів;

г) з'єднувати і роз'єднувати кабельні та інші роз'єми тільки при виключеному живленні [27].

### **6.3.2. Вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки**

Приміщення, в якому розміщене робоче місце інженера відноситься до категорії категорії В, що характеризується наявністю твердих горючих і слабо горючих речовин і матеріалів, а також легкозаймистих матеріалів.

#### ***Пожежна безпека забезпечується:***

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Можливими причинами пожежі можуть бути різноманітні неполадки в електромережі, перевантаження електромережі при включенні в ланцюг (у холодний час року) великих електрообігрівальних потужностей.

***Передбачено наступні міри, спрямовані на мінімізацію ризику виникнення пожежі:***

- проводиться періодичний огляд електричної техніки на предмет несправностей в електричних ланцюгах;
- у кожному комп'ютері передбачені плавкі запобіжники для захисту від короткого замикання;
- вхідний електричний щит має автоматичний вимикач (знижує ризик виникнення перевантажень і коротких замикань);
- конструкцією електричної приладів передбачена наявність плавких запобіжників;
- опір ізоляції контролюється 2 рази на рік;
- світильники, проводка, встановлене устаткування періодично (2 рази на місяць) очищаються від пилу відповідно до вимог;
- 1 раз у 3 місяці проводиться очищення від пилу усіх вузлів і агрегатів встановленого устаткування;
- розподільна мережа напругою (380/220) виконана проводами у вінілопластикових трубах, прокладених приховано в стінах і підлоги (ГОСТ 12.1.004-85);
- не застосовуються проводи і кабелі з ізоляцією з вулканізованої гуми й інших сірко утримуючих матеріалів (ГОСТ 12.1.004-85).

Технічні рішення системи протипожежного захисту на робочому місці інженера спрямовані на обмеження поширення пожежі, захист людей і матеріальних цінностей від впливу шкідливих і небезпечних наслідків пожежі, на створення умов ліквідації пожежі.

***По пожежному захисту передбачено:***

- приміщення забезпечене системою виявлення пожежі, що реагує на появу диму (з тепловим датчиком);

- приміщення обладнане засобами первинного пожежогасіння вогнегасниками вуглекислотними ВВК-2 і порошковими ВП-2(М);
- приміщення обладнане протипожежним водопроводом, що живиться від водопроводу;
- приміщення підключене до загальної системи ручного протипожежного повідомлення;
- у приміщенні є евакуаційні виходи (2 на поверсі).

***Проводяться наступні організаційні міри по забезпеченню пожежної безпеки:***

- негайне відключення несправного устаткування;
  - знеструмлення всіх приладів по закінченні роботи;
  - відповідний інструктаж персоналу;
  - плакат з зображенням плану евакуації персоналу;
  - приміщення має у своєму розпорядженні запасний вихід;
  - розроблено план дій на випадок евакуації людей із приміщення;
  - не допускається застосування електричних обігрівачів і кип'ятильників.
- відстань від робочого місця інженера до евакуаційного виходу не перевищує норми в 70 метрів.

### **6.3.3. Вимоги безпеки перед початком роботи**

До роботи з приладом допускається оператор, що вивчив об'єкт, інструкцію з технічної експлуатації, діючу інструкцію, а також склав залік з техніки безпеки та пожежної безпеки. Перед початком роботи необхідно:

- 5.3.3.1 Пересвідчитися, що прилад правильно підключений;
- 5.3.4.2 Пересвідчитися, що у робочій зоні немає зайвих предметів;
- 5.3.3.3 Оглянути з'єднувальні ланцюги і кабелі, місця рознімання і пересвідчитися, що вони справні;

5.3.3.4 У разі виявлення несправності приладу чи інструмента, яким користуються під час роботи, повідомити керівника роботи.

#### **6.3.4. Вимоги безпеки під час виконання роботи**

Під час виконання роботи необхідно:

6.3.4.1 Використовувати тільки справний термометр і тільки за призначенням;

6.3.4.2 Замінювати запобіжник тільки за номінальним струмом і тільки при вимкненому приладі;

6.3.4.3 При появі іскріння, короткого замикання, запаху гарі, диму, прилад негайно відключити та виявити причин можливого виникнення пожежі;

6.3.4.4 Періодично проводити перевірку електричної схеми приладу для виявлення причин, які можуть призвести до виникнення пожежі;

6.3.4.5 Прибрати з робочого місця зайві речі, які відволікають від роботи і можуть привести до ушкоджень інженера.

#### **6.3.5. Вимоги безпеки після закінчення роботи**

Після закінчення роботи необхідно:

6.3.5.1 Вимкнути прилад, коли оператор чи інженерно-технічний склад працівників залишають свої робочі місця;

6.3.5.2 Прибрати своє робоче місце;

6.3.5.3 Дотримуватись санітарних норм і правил особистої гігієни;

6.3.5.4 Повідомити керівника робіт про виявлені недоліки в роботі приладу.

### **6.3.6. Вимоги безпеки під час аварійних ситуацій:**

6.3.6.1 В разі аварії негайно вимкнути всі електроспоживаючі прилади від електромережі не допускати сторонніх осіб в небезпечну зону; повідомити керівника робіт про те, що сталося.

6.3.6.2 У випадку виникнення пожежі негайно викликати пожежну команду. До її приїзду приступити до тушіння пожежі своїми силами, а також спасінню людей та надання їм допомоги;

6.3.6.3 При виникненні пожежі слід знеструмити прилад;

6.3.6.4 В обов'язковому порядку в приміщені повинні бути засоби пожежегасіння;

### **Висновки до розділу**

В даному розділі дипломної роботи наведено основні питання з техніки безпеки і організації умов праці, проведено аналіз і розрахунок шкідливих виробничих факторів, відповідно до ДСТУ. Дана оцінка і характеристика з охорони праці і пожежної безпеки приміщень і середовища в яких експлуатується пристрій. Відповідно до прийнятих норм необхідно забезпечити відповідний мікроклімат, мінімальний рівень шуму, зручне і з правильною ергономікою робоче місце.

У процесі роботи одним з найважливіших факторів, що впливають на продуктивність при тривалому часі роботи є достатня освітленість робочого місця, що досягається за рахунок правильного освітлення, і регламентований графік робіт для зменшення втомлюваності працівника.

## **РОЗДІЛ 7**

### **ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

#### **7.1. Основні засади охорони навколишнього середовища**

Завданням охорони навколишнього природного середовища є вирішення питань у галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною.

Державній охороні і регулюванню використання на території України підлягають: навколишнє природне середовище як сукупність природних і природно-соціальних умов та процесів, природні ресурси, як залучені в господарський обіг, так і невикористовуванні в народному господарстві в даний період (земля, надра, води, атмосферне повітря, ліс та інша рослинність, тваринний світ), ландшафти та інші природні комплекси. Особливій державній охороні підлягають території та об'єкти природно-заповідного фонду України й інші території та об'єкти, визначені відповідно до законодавства України.

Державній охороні від негативного впливу несприятливої екологічної обстановки підлягають також здоров'я і життя людей.

Охорона навколишнього середовища складається з:

- правової охорони, що формулює наукові екологічні принципи;
- матеріального стимулювання природоохоронної діяльності, прагнучого зробити її екологічно вигідною для підприємств;
- інженерної охорони, розробляючи природоохоронну і ресурсозберігаючу технологію і техніку.

В цьому розділі дипломної роботи буде проводитись аналіз робочого місця інженера з електронної техніки який працює з комп'ютерною технікою для обробки інформації. В приміщенні окрім іншої електронної апаратури знаходиться і комп'ютер. За прогнозами різних екологічних організацій комп'ютерна техніка і телекомунікації залишатимуться однією з галузей світової індустрії, що найбільш розвиватиметься, ще принаймні протягом 10 - 15 років. А тому перед екологами поставатимуть все нові завдання, що стосуються організації безпечних і комфортних умов для людей, що працюють з комп'ютерами. [21]

Екологічний фактор – будь-який елемент середовища, що здатен чинити прямий чи опосередкований вплив на живі організми.

Для нормального існування організму потрібен певний набір факторів.

Кожний організм існує тільки при певних умовах, тобто йому потрібен той склад повітря, води, температури, тиску, те середовище в якому він може природно розвиватися. Зміна будь-якого фактора може призвести до змін у організмі чи зовсім до знищення.

## **7.2. Рекомендації щодо зниження негативних чинників**

Немалий вплив представляють електромагнітні поля, що випромінюються комп'ютером. У процесі життєдіяльності людина постійно знаходиться в зоні дії електромагнітного поля Землі. Таке поле є природним, воно назване фоном, вважається нормальним і не наносить здоров'ю людей ніякої шкоди.

Ступінь і характер впливу електромагнітного поля на організм людини залежать: від інтенсивності випромінювання; частоти коливань; площі поверхні тіла, що опромінюється; індивідуальних особливостей організму; режиму опромінення (безперервний чи переривчастий); тривалості впливу; комбінованої дії інших факторів навколишнього середовища. У діапазонах промислової частоти, радіочастот, інфрачервоного і частково



ультрафіолетового світла (до частоти  $3 \cdot 10^{16}$  Гц) електромагнітні поля чинять тепловий вплив. У діапазоні частот рентгенівського спектра і вище електромагнітного поля настільки змінюють енергію атомів, що їх називають іонізуючими.

Тепловий вплив електромагнітного поля пояснюється наступним чином. Як відомо тіло людини складається з клітин, що містять рідину (протоплазма, кров, лімфа та ін.), яка є електролітом. Під дією зовнішнього постійного електричного поля тканини живого організму поляризуються. Дипольні молекули (наприклад води) та іони, що містяться у рідкому середовищі, переміщуються й орієнтуються за напрямком силових ліній зовнішнього поля. У змінному електромагнітному полі електричні властивості живих клітин залежать від частоти випромінювання, і в міру її збільшення вони набувають властивостей провідників. Крім струмів провідності, змінне електромагнітного поле призводить до змінної поляризації діелектричних складових організму (сухожилля, хрящі тощо). При цьому найбільш небезпечними для організму людини є частоти близькі до 7 Гц, оскільки вони збігаються з частотами енергетичних центрів.

Вплив ЕМП на біологічний об'єкт оцінюється кількістю електромагнітної енергії  $W_{\text{погл}}$  (Вт), яка поглинеться цим об'єктом при перебуванні його в полі:  $W_{\text{погл}} = \sigma \cdot S_{\text{еф}}$ , де  $\sigma$  – густина потоку потужності випромінювання електромагнітної енергії, Вт/м<sup>2</sup>,  $S_{\text{еф}}$  – ефективна поглинаюча поверхня тіла людини, м<sup>2</sup>.

Унаслідок поглинання людиною енергії електромагнітного поля відбувається нагрівання тканин організму тим більше, чим вищою є напруженість поля і довшим час впливу. Зайва теплота відводиться до деякої межі шляхом збільшення навантаження на механізм терморегуляції. Однак починаючи зі значення інтенсивності випромінювання  $I_{\text{пор}} = 10 \text{ мВт/см}^2$  (100 Вт/м<sup>2</sup>), яка називається тепловим порогом, організм не справляється з відведенням теплоти, і температура тіла підвищується.

При загальному опроміненні підвищення температури тіла більше ніж на 1°C неприпустиме. Може спостерігатися локальне нагрівання тканин. Перегрівання особливо шкідливим є для тканин зі слаборозвиненою судинною системою (очі, мозок, нирки, шлунок, жовчний і сечовий міхури), тому що кровообіг відіграє роль водяного охолодження.

Тепловий ефект є найбільшим в зоні надвисоких частот. Так, дія електромагнітного поля частотою  $3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$  Гц викликає катаракту очей (помутніння хрусталика), а опромінення електромагнітного полем великої інтенсивності призводить до руйнівних змін у тканинах та органах, опіків, омертвіння тканин організму. Катарактоутворення пояснюється не тільки тепловою дією, воно залежить також і від ряду інших не повністю встановлених чинників. Значну роль можуть відігравати концентрація поля у середовищах з окремими діелектричними властивостями та об'ємні резонансні ефекти

Крім теплового ефекту, біологічна дія електромагнітного поля виявляється в зміні орієнтації клітин та молекул відповідно до напрямку силових ліній поля, в ослабленні біохімічної активності білкових молекул; зміні структури клітин крові (її складу), впливі на ендокринну систему та обмін речовин. Тому систематичний або тривалий вплив електромагнітного поля навіть невеликої інтенсивності (нижче теплового порога) призводить до різних нервових і серцево-судинних розладів – головного болю, підвищеної стомлюваності, порушення сну, зміни кров'яного тиску, уповільнення пульсу, болю в ділянці серця й аритмії, випадання волосся, ламкості нігтів і т.д.

Вважається, що особливо чутливі до впливу електромагнітного поля кора головного мозку і проміжний мозок. Їхнє ураження викликає порушення процесів регуляції функцій організму з боку центральної нервової системи. На ранніх стадіях ці порушення стану здоров'я носять оборотний характер. Сумісну дію випромінювань широкого діапазону можна класифікувати як окрему радіохвильову хворобу. Тяжкість її наслідків знаходиться у прямій

залежності від напруженості електромагнітного поля, тривалості впливу, фізичних особливостей різних діапазонів частот, умов зовнішнього середовища, а також від функціонального стану організму, його стійкості до впливу різних чинників, можливостей адаптації.

Проблема електромагнітного випромінювання, що виходить від персональних комп'ютерів, встає досить гостро по декільком причинам:

- комп'ютер має відразу два джерела випромінювання (монітор і системний блок);
- користувач комп'ютером практично позбавлений можливості працювати на відстані;
- дуже тривалий час впливу.

Не слід забувати і про електростатичне поле, яке створює устаткування кабінету. Сильне електростатичне поле шкідливе для людського організму. Правда, на відстані 50-60 см від устаткування його вплив значно знижується. Застосування спеціальних фільтрів, що прикривають екран, взагалі дозволяє звести його до нуля. Варто звернути увагу ще і на те, що при роботі монітора електризується не тільки його екран, але і повітря в приміщенні. Причому він приймає позитивний заряд. Позитивно наелектризована молекула кисню не сприймається організмом як кисень, що викликає у користувача кисневе голодування. [22]

В даний час всі монітори повинні відповідати стандарту MPRII, що обмежує випромінювання моніторів в діапазоні у край низьких частот .

Випромінювання екранів моніторів відповідає міжнародним стандартам на радіоактивне випромінювання МРК 1990:10, електромагнітне випромінювання TCO-92, TCO-01, TCO-03.

Підприємства і організації охочі запобігти забрудненню навколишнього середовища і забезпечити її охорону, збалансувати свою діяльність з соціально-економічними принципами підприємства, повинні використовувати стандарти серії ISO 14000 зі створення системи екологічного менеджменту, як методичні вказівки по виконанню таких робіт.

### 7.3. Утилізація електронного обладнання

Складність утилізації електронного обладнання полягає в тому, що подібного роду техніка містить в собі такі неорганічні складові, як різного типу пластик та матеріали, які зроблені на основі полівінілхлориду і фенолформальдегідів. А також майже повний набір металів. Ці компоненти в цілому не представляють небезпеки для здоров'я людини і навколишнього середовища в процесі експлуатації приладу. Але зовсім інша справа, коли постає питання утилізації такого виробу. До складу електронних компонентів комп'ютерів, принтерів і електронної техніки входять такі хімічні елементи, як свинець, ртуть, кадмій, миш'як.

На відміну від органічних відходів, електронне сміття неможливо утилізувати, використовуючи природні процеси регенерації.

При захороненні електронного обладнання на звалищі отруйні хімічні сполуки протягом довгого часу вимиваються з електронних компонентів і друкованих плат в навколишнє середовище або випаровуються в атмосферу.

При спалюванні в атмосферу викидаються важкі метали: свинець, ртуть, і кадмій. Ртуть розповсюджується по харчових ланцюгах і накопичується в живих організмах, найчастіше в рибі. Якщо вироби містять ПВХ, при їх спалюванні в атмосферу викидаються також діоксин і бромовані антипірени.

Причому у сучасної електроніки є своя специфіка – вона в переважній більшості складається з неліквідних матеріалів.

Окрема проблема утилізації комп'ютерної техніки — кінескопи моніторів, оскільки вони містять специфічні отруйні речовини і їх не можна розбирати, їх слід тільки ховати в спеціальних захороненнях. Те ж саме відноситься і до батарей живлення і акумуляторів, що містять такі метали, як свинець, кадмій, цинк і нікель.

Процес утилізації включає демонтаж технічних вузлів, сортування і розділення матеріалів конструкції. А також збір і сортування електронного

лому, який оформляється згідно нормативно-технічної документації, що діє, по переробці матеріалів і виробів які містять дорогоцінні метали. Після цього компоненти виробу, що виготовленні або містять такі матеріали, як золото, срібло, кольорові метали (алюміній, мідь), чорний метал, полімери, використовуються для переробки. [21]

Фахівці корпорації NEC і її японської дочірньої компанії NEC Tohoku спільно розробили нову систему переробки корисних компонентів друкованих плат. Що особливо важливе, дана система переробка є стовідсотково повною. Процес, названий “EcoSeparation System”, складається з двох основних етапів: EcoRemover, в ході якого видаляються змонтовані на платі електронні компоненти, і EcoSeparation, що полягає в подрібненні плат і розділенні отриманої суміші матеріалів.

На першому етапі, EcoRemover, проводиться нагрівання до температури плавлення припою, рідкий припій знімається, і встановлені на платі компоненти відділяються від неї із застосуванням невеликого зовнішнього зусилля. Згідно заявам представників NEC, в ході випробувань був продемонстрований збір 95% припою і відділення майже всіх компонентів без їх пошкодження. Таким чином, на другий етап переходить гола друкарська плата.

В результаті здійснення процесу EcoSeparation вона подрібнюється в порошок, який потім розділяється із застосуванням двох методів: у повітряній центрифугі і на електростатичному високовольтному фільтрі. Вдається виділити більше 98% міді, що містилася в друкарській платі. Майже 100% скловолокна і синтетичних смол, підлягає повторному використанню.

#### **7.4. Вплив шуму і вібрації**

Під шумом в екології розуміють будь-який звук, що сприймається живим організмом, та порушує тишу й перешкоджає нормальній життєдіяльності цього живого організму.

На робочому місці інженера з електронної техніки, джерелом шуму

такими технічними засобами є — комп'ютер, принтер, вентиляційне устаткування, а також зовнішній шум.

Діючи на орган слуху, центральну і вегетативну нервові системи, а через них на внутрішні органи, шум є причиною розвитку хвороби, спричиненої шумом. Знижуючи загальну опірність організму, він сприяє розвитку інфекційних захворювань. При роботі за умов шуму спостерігаються підвищена стомлюваність і зниження працездатності, погіршуються увага і мовна комутація, створюються передумови до помилкових дій. Внаслідок цього шум може спричинити зниження рівня безпеки праці. Будучи причиною головного болю, дратівливості, невірноваженого емоційного стану, шум створює передумови до погіршення психологічного стану.

Прояви хвороби, викликані шумом, підрозділяються на специфічні, виникають в периферичній частині слухової системи людини, і неспецифічні, характерні для інших органів і систем організму людини.

Під впливом шуму відбувається зниження слухової чутливості. Чим значніший шум, тим вище його інтенсивність і експозиція. Стійка втрата слуху настає через п'ять – вісім років роботи за умов, що характеризуються високими рівнями шуму. Акустична енергія звукових хвиль при рівнях шуму понад 125 дБ і частоті 250-1000 Гц настільки велика, що звук здатний викликати тотальний струс тіла людини (повітряні вібрації). У цьому випадку підвищується роль проходження звуку до внутрішнього вуха, по кісткам, і захист тільки привушних областей виявляється недостатнім. Чим відповідальніші функції виконує яка-небудь зона центральної нервової системи і чим складніше вона організована, тим більше вона страждає від впливу шуму. Шум змінює функціональний стан багатьох систем і органів людини внаслідок їхньої взаємодії через центральну нервову систему. Такий взаємозв'язок призводить до впливу шуму на органи зору людини, вестибулярний апарат і рухові функції, зокрема, до зниження м'язової працездатності.

Розглядаючи тіло людини з погляду механіки, його можна при низьких частотах і рівнях вібрації приблизно апроксимувати лінійною системою із зосередженими параметрами. Однією з основних ланок цієї системи є грудиночеревна порожнина, резонансні частоти якої лежать у діапазоні 3-6 Гц. Ще один резонансний ефект знаходиться у смузі частот 20-30 Гц, він відноситься до ланки голова – шия – плече. У діапазоні частот 60-90 Гц виявляються резонансні явища очного яблука, а при частоті 100-200 Гц ці явища охоплюють нижню щелепу – черепну коробку. Частоти резонансу, власне черепної коробки, лежать у межах 300-400 Гц для основної форми коливань і 600-900 Гц – для вищих форм. У виробничій вібрації найбільш важливий діапазон низьких частот.

У результаті впливу вібрації може розвинутихся вібраційна хвороба. У людини, що піддається впливу могутньої загальної вертикальної вібрації, можуть ушкоджуватися судини головного мозку й оболонки, а також порушуватися циркуляція крові. Вібрації від ручного віброінструмента можуть спричинити ушкодження дрібних кровоносних судин і нервових закінчень у м'язах та в шкірі кінцівок. Характер впливу вібрації – загальна чи місцева визначає три форми вібраційної хвороби: периферичну, церебральну і центрально-периферичну.

Першим симптомом периферичної форми захворювання є почуття оніміння в кистях рук, передпліччях. Хворий відчуває печіння, ломоту в руках, ногах. При церебральній формі хвороби першими ознаками є головний біль, почуття тяжкості і шуму в голові. Бувають короткочасні запаморочення, а іноді й втрата свідомості. У робітника з'являється дратівливість, порушується сон, виникають спазми судин. У результаті розвивається гіпертонія, загальна слабкість, тремтіння рук.[27]

### **Висновки до розділу**

При роботі комп'ютером та іншим електронним обладнання інженер потрапляє під дію електромагнітного поля і зазнає впливу шуму і вібрації.

Проблема вирішення дії електромагнітного поля на організм людини ускладнюється тривалим часом впливу і відсутністю можливості працювати на відстані від комп'ютера і електронного обладнання, що його створює. Окрім електромагнітного поля, що характеризуються тепловою і біологічною дією на організм людини, електронне обладнання створює електростатичне поле.

Шум викликаний роботою комп'ютера і іншого обладнання кабінету лікаря може бути причиною розвитку хвороб, що виникають в периферичній частині слухової системи людини або характерних для інших органів і систем організму людини.

До складу електронних компонентів комп'ютерів, принтерів і іншої оргтехніки входять такі хімічні елементи, які під впливом зовнішніх умов середовища можуть стати вельми сильними і небезпечними отрутами. А при відкритому спалюванні таких матеріалів утворюються найнебезпечніші для життя речовини і з'єднання. Отже переробка застарілої електроніки вимагає значних зусиль і є чималою проблемою для екології.



## ВИСНОВКИ

Спектр застосування генераторів сигналу доволі широкий, застосовується майже в кожному сучасному електронному приладі і навіть по декілька одиниць або десятків може і сотень в одному приладі, від простого годинника до такого складного пристрою як комп'ютер, але прогрес не стоїть на місці, тому в отриманні приладів наступного покоління які можуть мати менші габарити, низьке енергоспоживання і кращі характеристики є доцільність в удосконалюванні, модернізації існуючих технологій для отримання кращих результатів. В даній дипломній роботі вдалося досягти і перевищити очікувані результати проівнюючі вихідні умови і отримані дані.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rohde, U.L.; Poddar, A.K.; Bock, G. *The Design of Modern Microwave Oscillators for Wireless Applications: Theory and Optimization*; John Wiley & Sons, Inc.: New Jersey, NJ, USA, 2005. [[CrossRef](#)].
2. Boylestad, R.L. *Introductory Circuit Analysis*, 10th ed.; Pearson Education: London, UK, 2002.
3. Hegazi, E.; Sjoland, H.; Abidi, A. A filtering technique to lower LC oscillator phase noise. *IEEE J. Sol.-St. Circ.* **2001**, *36*, 1921–1930.
4. Siweris H. J., Schiek B. Analysis of noise up-conversion in microwave FET oscillators// *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-33, no. 3, March 1985, pp. 233-242
5. Gonzalez G. *Foundations of oscillator circuit design*. – Boston: Artech House, 2007. – 422 p.
6. Vendelin G. D., Pavidio A. M., Rohde U. L. *Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques*. - 2<sup>nd</sup> ed. – New York: John Willey & Sons Ltd., 2005. – 1058p.
7. *Microwave oscillator design*. Application note A008. – Hewlett-Packard Co. - 1998. – 8 p.
8. Prigent M., Camiade M., Nallatamby J. C., Guittard J., and Obregon J. An efficient design method of microwave oscillator circuits for minimum phase noise// *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 47, no. 7, July 1999, pp. 1122- 1125.
9. Grebennikov A. *RF and microwave transistor oscillator design*. – New York: John Willey & Sons Ltd., 2007. – 440 p.
10. Maas S. A. *Nonlinear microwave and RF circuits*. – Boston: Artech House, 2<sup>nd</sup> ed., 2003. – 578 p.
11. Maas S. A. *Designing oscillators with VoltaireXL*. - Applied Wave

- Research, Inc., 1999. – 10 p.
12. Rizzoli V., Costanzo A., Caposciutti M. Computer-aided design of multiple-varactor broadband VCO`s by a novel optimization algorithm// Proc. of 5<sup>th</sup> European Gallium Arsenide Symp., Bologna, pp. 201 - 204. - 1997.
  13. Дьяконов В. П. Генерация и генераторы сигналов / В. П. Дьяконов. — М. : ДМК Пресс, 2009. — 384 с
  14. ГОСТ 12.0.003-74. "ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация".
  15. ГОСТ 12.1.003–76 “Шум. Загальні вимоги безпеки”.
  16. ГОСТ 12.1.029–80 “Засоби та методи захисту від шуму”.
  17. СНІП II-4-79 "Природне і штучне освітлення. Норми проектування".
  18. ГОСТ 12.1.005–88 про «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».
  19. НПАОП 0.00-4.15-98 „Положення про розробку інструкцій з охорони праці”.
  20. НПАОП 0.00-6.03-93 „Порядок опрацювання і затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві”.
  21. Савицький В.М., Хільчевський В.К., Чунарьов О.В., Яцюк М.В. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
  22. ІСАЄНКО В. М., КРИВОРОТЬКО В. М., ФРАНЧУК Г. М. Екологія та охорона навколишнього середовища. Дипломне проектування: Навч. посіб. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 192с.

23. Постанова Кабінету Міністрів України від 28 червня 1997р. №668  
«Про програму використання відходів виробництва і споживання на  
період до 2005 року».
24. Закон України «Про охорону навколишнього природного  
середовища» ВВР, 1991, № 41.
25. Закон України «Про відходи» ВВР, 1998, № 36-37.
26. Постанова Кабінету Міністрів України від 31 серпня 1998 р. №  
1360 «Про затвердження Порядку ведення реєстру об'єктів  
утворення, оброблення та утилізації відходів».
27. Законів України «Про забезпечення санітарного та  
епідеміологічного благополуччя населення».