

**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

_____ В. М. Шутко

“ _____ ” _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ «ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ ТА ПРИСТРОЇ»**

Тема: _____ «Вимірювач напруженості поля для мобільних систем»

Виконавець: _____ Лабунець Д.Ю.

Керівник: _____ О.А. Щербина

Консультант розділу «Охорона праці» _____ О.О.Козлікін

**Консультант розділу «Охорона
навколишнього середовища» _____ С.М. Маджд**

Нормоконтролер: _____ Р.Б. Сініцин

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей
Освітньо-професійна програма «Електронні пристрої та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В.М. Шутко
« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання дипломної роботи (проекту)

Лабунець Денис Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи (проекту): «Вимірювач напруженості поля для мобільних систем» затверджена наказом ректора від «02» жовтня 2020 р. № 1900/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): принцип побудови вимірювачів параметрів електромагнітного поля та кільцевих вимірювальних антен.
4. Зміст пояснювальної записки: огляд методів вимірювання напруженості поля; детальний опис вимірювачів параметрів електромагнітного поля колової поляризації; розрахунок вимірювальної антени вимірювача напруженості поля.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Огляд методів вимірювання напруженості поля	05.10-12.10	Виконано
2	Вимірювач параметрів електромагнітного поля колової поляризації	13.10-05.11	Виконано
3	Розрахунок вимірювальної антени вимірювача напруженості поля	06.11-20.11	Виконано
4	Охорона праці	21.11-28.11	Виконано
5	Охорона навколишнього середовища	29.11-06.12	Виконано
6	Висновки	07.12-10.12	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	11.12-15.12.2020	Виконано

7. Консультація з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	ст. в. Козлікін О.О.		
Охорона навколишнього середовища	доц. Маджд С.М.		

8. Дата видачі завдання: “ 05 ” жовтня 2020 р

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Щербина О.А.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Лабунець Д.Ю.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “Вимірювач напруженості поля для мобільних систем”: сторінок – 109, рисунків – 30, таблиць – 5, джерел посилань – 45.

Об'єкт дослідження: процес конструювання антенної решітки вимірювальної антени вимірювача напруженості поля.

Мета роботи: дослідження методів вимірювання напруженості поля та моделювання елементів вимірювальної антенної решітки вимірювальної антени.

Проведена робота по моделюванню елементів вимірювальної антенної решітки.

Ключові слова: антени мобільних систем радіомоніторингу, вимірювач напруженості поля, колова поляризація, кільцева вимірювальна антенна система, антенна решітка, діаграма спрямованості, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт спрямованої дії

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ	9
1.1. Вимоги до рівнів напруженості поля випромінювання.....	9
1.2. Методи вимірювання параметрів поля випромінювання.....	16
1.3. Засоби вимірювання напруженості поля.....	26
1.4. Антени для мобільних систем радіомоніторингу.....	32
РОЗДІЛ 2. ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ КОЛОВОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ	42
2.1. Теоретичні засади побудови вимірювача напруженості поля.....	43
2.2. Структурна схема кільцевої вимірювальної антенної системи.....	48
2.3. Структурна схема двокільцевої вимірювальної антенної системи.....	54
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АНТЕНИ ВИМІРЮВАЧА НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ	62
3.1. Огляд програмних продуктів для моделювання антенних систем.....	62
3.2. Моделювання елементів вимірювальної антенної решітки.....	64
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	73
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	85
ВИСНОВКИ	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЖЕРЕЛ	104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- ГДР – граничнодопустимий рівень;
- НЧ – низькі частоти;
- СЧ – середні частоти;
- ВЧ – високі частоти;
- ДВЧ – дуже високі частоти;
- УВЧ – ультра високі частоти;
- НВЧ – надвисокі частоти;
- ЕМП – електромагнітне поле;
- ПЧ – підсилювач частоти;
- ПВЧ – підсилювач високої частоти;
- ЕРС – електрорушійна сила;
- АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;
- КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі;
- АР – антенна решітка;
- ДС – діаграма спрямованості;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- КП – коефіцієнт підсилення;
- КСД – коефіцієнта спрямованої дії;

ВСТУП

Розпочавшись ще у дев'ятнадцятому столітті вимірювання постійних та низькочастотних електромагнітних полів застосовувались при кліматичних дослідженнях, геологічних, атмосферних, системах захисту від розряду у промисловості. І незважаючи на настільки архаїчну історію та різноманіття застосувань електростатичні вимірювання не забезпечені в повній мірі пристроями та стандартами.

Учені ще з давніших часів розпочали цікавитися вимірюванням електромагнітних полів в атмосфері. Зокрема застосовуючи механічні електроскопи такими вимірюваннями займалися М.В. Ломоносов та Г.В. Ріхман. В атмосфері виникають явища, що викликають поділ електричних зарядів внаслідок зміни метеорологічних умов – хмар, опадів, туманів тощо. В результаті чого в атмосфері з'являється позитивний об'ємний заряд, на поверхні Землі – негативний [1]. Тобто, електричне поле Землі спрямоване приблизно вертикально: напруженість його становить в середньому $130 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$.

При вимірюваннях напруженості електромагнітних полів в атмосфері було встановлено, що це значення залежить не тільки від часу вимірювання (дня чи ночі) чи висоти над землею а і від місця на земному шарі де це здійснюється. Проблема вимірювання електромагнітного поля з'являється в різних напрямках промисловості зокрема з застосуванням ненатуральних матеріалів де може накопичуватися електричний заряд, що може привести до непередбачуваних наслідків. На деяких об'єктах, приміром на літаках під час польоту, електричні поля можуть становити небезпечних значень при наближенні літака до землі чи до іншого об'єкта з протилежним зарядом [3]. Останнім часом це почало хвилювати і космічну галузь через небезпечність електричних полів в місцях запуску ракет. Також через блискавичний ріст появи ліній електропередачі, на яких рівні передач напруги можуть сягати 1000 кВ, привело до закономірності вивчення впливу низькочастотних полів як на людей так і на довкілля.

Підприємства, що займаються виробництвом промислових виробів, телекомунікаційні споруди і подібні до них об'єкти є джерелами декількох типів випромінювань, серед яких електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону [2]. У випадку з різними випромінювачами діапазон випускаються радіочастот електромагнітних хвиль може помітно відрізнятися і перебувати в інтервалі від 3 кГц до 3000 ГГц, при цьому так само суттєво може відрізнятися і їх довжина, яка знаходиться в інтервалі від 100 тисяч метрів до 0,1 міліметра.

У випадку, якщо частота і довжина хвиль досягають дуже великих значень, вони можуть завдавати серйозної шкоди здоров'ю населення, яке вимушене підкорятися їх впливу. У зв'язку з цим законодавчі акти, що діють у нашій країні, утверджують максимальні допустимі величини нормативів щодо впливу кожного виду випромінювання [1]. При цьому всі власники будь-яких індустриальних, телекомунікаційних та інших об'єктів повинні виконувати ці приписи, в іншому випадку до їхнього підприємства можуть бути застосовані різноманітні санкції.

Внаслідок того, що ці поля нероздільно пов'язані між собою, тому і отримали загальну назву – електромагнітні. В теперішній час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, чий вплив на людину і довкілля з року в рік зростає [1].

Тривалий безперервний вплив електромагнітного поля високої інтенсивності на організм людини може викликати різноманітні серйозні порушення, які згодом практично не піддаються коригуванню навіть після припинення впливу негативних факторів. Найбільш вразливою в цій ситуації стає центральна нервова система і серцево-судинна система [2]. У свою чергу, проблеми в цих областях проявляються симптомами різного ступеня інтенсивності - від підвищеного ступеня стомлюваності і частих головних болів до порушення координації, ослаблення пам'яті, порушення кровообігу та інших серйозних неприємностей.

Створення побічного електромагнітного випромінювання від електронних засобів пов'язано зі зміною струму і напруги в електричних ланцюгах при перемиканні елементів [2]. У даній проблемі виділяються три аспекти: конструктивна електромагнітна сумісність; захист інформації; біологічна

електромагнітна сумісність. Існуючі наближені формули дозволяють оцінювати рівень випромінювання від окремих елементів, що призводить до істотних погрешностей у порівнянні з реальними вимірами. До того ж, існуючі моделі прогнозування побічного електромагнітного випромінювання від електронних засобів та їх компонентів спираються на те, що відомі і враховуються всі параметри досліджуваного об'єкта, що найчастіше на практиці не можна досягти. Тому основним підходом для дослідження електромагнітного випромінювання від електронних засобів є експериментальний підхід [1]. Основна складність реалізації експериментальних вимірювань побічного електромагнітного випромінювання від електронних засобів полягає в необхідності його проведення на спеціальних відкритих майданчиках, де оцінюється абсолютне значення напруженості електричного поля від досліджуваного об'єкта.

Метою даної роботи є розробка елементів вимірювальної антенної решітки для вимірювальної антени вимірювача напруженості поля.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ

1.1 Вимоги до рівнів напруженості поля випромінювання

Тяжко представити сьогоденне життя без електрики і працюючих від нього побутових приладів. Саме електрика значиться, як один з найбільш значних винаходів людства. І дійсно: повсякдень ми застосовуємо електричні прилади - ми готуємо зранку сніданок на електроплиті, робочі дні або час відпочинку проводимо за персональним комп'ютером, нас оточують лінії електропередачі і електрощитові, кожен день ми використовуємо мобільні телефони. Для того щоб встановити рівень впливу радіомагнітних хвиль на людину, необхідні фахові прилади для вимірювання електромагнітних полів та випромінювань [1].

Як було проговорено вище, з джерелами електромагнітного випромінювання будь-яка людина контактує повсякденно. Джерел випромінювання маса, ось кілька гідних прикладів джерел, які породжують електромагнітне випромінювання (електричну енергію):

- лінії електропередач (ЛЕП);
- електропроводка;
- телекомунікаційний пристрої;
- комп'ютери і мобільні телефони;
- будь-які електричні побутові прилади;
- пристрою для теле- і радіомовлення;
- прилади радіозв'язку і т.д.

Отже, електромагнітні випромінювання від самих різноманітних джерел переслідують нас повсюди: як вдома і на відпочинку, так і на робочому місці.

Граничнодопустимий рівень - напруженість ЕМП на робочому місці, яка при буденній роботі не визватиме у робітників захворювань або патологій у стані здоров'я, що підкреслюють сучасні методи дослідження в ході професійної практики або у віддалені терміни.

За ГДР прийняті такі значення напруженості ЕП:

- всередині житлових будинків - 0.5 кВ/м;
- на території зони житлової забудови - 1 кВ/м;
- у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови (землі в межах міста з врахуванням далекосяжного розвитку на 10 років, приміські та зелені зони, курорти, землі селищ міського типу, в межах селищної місцевості і сільських населених пунктів, в межах цих пунктів), а також на просторі городів і садів - 5 кВ/м;
- на ділянках перетину ПЛ з автомобільними дорогами I - IV категорій - 10 кВ/м;
- у ненаселеній місцевості (незабудована територія, в якій бувають люди, доступна для транспорту, та аграрні угіддя) - 15 кВ/м;
- у важкодоступній місцевості (не прохідній для транспорту та сільськогосподарських автомобілів) та на площах, навмисне відгороджених для виключення доступу населення - 20 кВ/м.

Граничнодопустимі рівні встановлені для ЕП, не викривленого присутністю людини. Напруженість ЕП з'ясовується на висоті 1,8 м від рівня ґрунту, для приміщень - від рівня підлоги [5].

Для задоволення високої якості життя і аналізу електромагнітної обстановки потрібно обчислити інтенсивність ЕМП.

Вимірювання електромагнітного поля має розраховуватись акредитованою лабораторією, яка має належну галузь акредитації та приладовий парк. Приладовий парк випробувального центру зобов'язаний систематично перевірятися в спеціалізованих організаціях для запевнення точності вимірювань.

Важливо, що електричне поле не є чимось віддаленим для кожного живого організму. Живе тіло складається з атомів (іонів), кожен з яких має свій

електричний заряд. При русі атомів в клітинах, органах і в тілі в цілому з'являється електричний струм [2].

Само собою, потік електрично заряджених частинок в організмі індивіда дуже сильно різниться від потоку тих же частинок по нашим домашнім розеткам і побутових пристроям, але якийсь рівень напруженості електромагнітного поля виникає і всередині нас. Принцип впливу електромагнітних полів на індивіда (як і на будь-який інший предмет) полягає в тому, що електричний струм проходить через наш організм і йде в поверхню, на якій ми стоїмо. При стабільному впливі ЕМП величезне значення має інтенсивність випромінювання (потужність випромінювання). Саме інтенсивністю впливу ЕМП знаходяться ті біологічні переміни, яким підлягає людський організм при випромінюванні.

Електромагнітне випромінювання того рівня, з яким контактує людина повсякденно (рівень в низькому діапазоні частот), не робить негативного впливу на організм людини: не відгукується на процеси життєдіяльності, працездатність органів, не передається потомству [1]. Це аргументовано масою експериментів, які вдало проведені ученими.

А якщо говорити про дію високочастотних електромагнітних випромінювань, то його дія на людський організм очевидна:

- блискучі іскри можуть стати причиною виникнення хвороб, пов'язаних з погіршенням зору;

- шум від електричних пристроїв може шкідливо сказатися на слух, нервову систему;

- вплив електромагнітного випромінювання може бути основою надлишкового нагріву внутрішніх органів, що так само ускладнить їх роботу, може викликати виникнення серйозних захворювань і тому подібне.

Але слід зазначити, то електромагнітне випромінювання, яке діє на людину повсякдень в природних умовах, надто мале, щоб спричинити шкідливий вплив на життя і здоров'я.

Якщо ж ви вимушено піддаєтеся впливу високочастотних електромагнітних полів, зокрема, на робочому місці на промисловому підприємстві, варто

додержуватися правил техніки безпеки і використовувати засобами особистого захисту.

Методи вимірювання ЕМП викладені в спеціалізованій технічній документації.

Інструментальні виміри електромагнітних випромінювань відбуваються шляхом установки спеціальних пристроїв на висотах 0,5 м, 1,0 м і 1,7 м від поверхні землі, підлоги приміщення, де розташоване обладнання. При цьому вимірювання параметрів електричного і магнітного поля відбуваються на відстані 0,5 м від обладнання, що значиться джерелом електромагнітного випромінювання.

Якщо визначення інтенсивності ЕМП варто проводити в цілях виконання правил охорони праці, то електромагнітне випромінювання вимірюється безпосередньо на робочому місці службовця, який за результатами особливої оцінки умов праці підлягає впливу ЕМП.

В якості вимірювача напруженості електромагнітних випромінювань застосовується високоточна техніка ненаправленого прийому, яка оснащена ізотропними датчиками з дозволеною відносною похибкою $\pm 20\%$ [4].

Одержані величини інтенсивності електромагнітного випромінювання не мають переважати встановлених законодавством санітарно-гігієнічних нормативів.

Граничнодопустимі рівні (далі - ГДР) напруженості електричного поля, що виражається середньоквадратичним значенням, і рівень поверхневої густини потоку енергії (далі - ГПЕ), який виражається середнім значенням, розраховуються залежно від частоти і режиму випромінювання [3]. Граничнодопустимі рівні електромагнітного поля (далі - ЕМП), які утворюють радіостанції (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція), визначаються за таблицею.

Таблиця 1.1

Граничнодопустимі рівні електромагнітного випромінювання

N діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти*	Довжини хвиль	ГДР
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30 - 300 КГц	10 - 1 км	25 В/м
6	Гектометрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3 - 3 МГц	1 - 0,1 км	15 В/м
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3 - 30 МГц	100 - 10 м	$31g\lambda$ В/м
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30 - 300 МГц	10 - 1 м	3 В/м
9	Дециметрові хвилі (ультрависокі частоти, УВЧ)	300 - 3000 МГц	1 - 0,1 м	2,5 мкВт/см ²
10	Сантиметрові хвилі (надвисокі частоти, НВЧ)	3 - 30 ГГц	10 - 1 см	
11	Міліметрові хвилі (надзвичайно високі частоти, НЗВЧ)	30 - 300 ГГц	1 - 0,1 см	

Граничнодопустимі рівні ЕМП, які створюють телевізійні і радіостанції в діапазоні частот від 48 до 1000 МГц, знаходяться за формулою:

$$E_{ГДР} = 21 \cdot f^{-0,37},$$

де $E_{ГДР}$ - граничнодопустимий рівень ЕМП, В/м;

f - несуча частота оцінюваного каналу зображення або звукового супроводу, МГц.

Обчислення електричної складової електромагнітного поля, що створюється кожною з антен, визначаються за формулою:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot \eta}}{R} \cdot K_{\phi} \cdot F(\varphi) \cdot F(\alpha) \cdot K_{\Gamma},$$

де P - потужність на вході фідерного тракту, Вт;

G - коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропного випромінювача;

η - коефіцієнт втрат в антенно-фідерному тракті;

R - відстань від геометричного центру антени до розрахункової точки;

K_{ϕ} - коефіцієнт, що враховує вплив відбиваючих поверхонь в умовах міської забудови (прийнято $K_{\phi} = 1,25$);

$F(\varphi)$ - значення нормованої діаграми спрямованості антени у вертикальній площині. Для антени, для якої розраховується, і для антен, дія яких враховується, $F(\varphi)$ характеризується на підставі діаграми спрямованості у вертикальній площині відповідних антен;

$F(\alpha)$ - значення нормованої діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині. Для антени, для якої розраховується, $F(\alpha) = 1$. Для антен, дія яких враховується, $F(\alpha)$ сформулюється на підставі діаграми спрямованості у горизонтальній площині;

K_{Γ} - коефіцієнт, що враховує нерівномірність діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині (прийнято $K_{\Gamma} = 1,0$) [2].

Густина потоку енергії, що створює антена, рахується за формулою:

$$ГПЕ = E^2/3,77.$$

За присутності декількох джерел випромінювання, які роблять у радіочастотних діапазонах 5 - 8, наведених у таблиці, і мають однаковий ГДР, напруженість ЕМП, що формується всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, має відповідати такому співвідношенню:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i)^2} = E_{\text{ГДР}},$$

де E_i – напруженість електричного поля, створюваного i -антенною;

$E_{\text{ГДР}}$ – граничнодопустиме значення напруженості поля для всіх антен цього діапазону.

За присутності декількох джерел випромінювання, які працюють у радіочастотних діапазонах 9 - 11, наведених у таблиці, і мають однаковий ГДР, поверхнева густина потоку енергії, що формується всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинна відповідати такому співвідношенню:

$$\text{ГПЕ} = \sum_{i=1}^n \text{ГПЕ}_i = \text{ГПЕ}_{\text{ГДР}},$$

де ГПЕ_i – густина потоку енергії, створюваного i -антенною;

$\text{ГПЕ}_{\text{ГДР}}$ – граничнодопустиме значення густини потоку енергії для всіх антен цього діапазону [3].

За присутності декількох джерел випромінювання, які працюють у радіочастотних діапазонах 5 - 11, наведених у таблиці, і мають різні ГДР, відносний рівень ЕМП, що твориться всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинен відповідати такій умові:

$$S_{\text{вiдн}} = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{E_i}{E_{\text{ГДР}i}} \right)^2 + \frac{\text{ГПЕ}_i}{\text{ГПЕ}_{\text{ГДР}i}} \right) = 1,$$

де E_i - напруженість електричного поля, створюваного i -антенною;

$E_{\text{ГДР}i}$ - граничнодопустиме значення напруженості поля для цього діапазону;

ГПЕ_i - густина потоку енергії, створюваного i -антенною;

$\text{ГПЕ}_{\text{ГДР}i}$ - граничнодопустиме значення густини потоку енергії для цього діапазону [3].

1.2 Методи вимірювання параметрів поля випромінювання

Електромагнітне поле – це вичерпне фізичне поле, яке взаємодіє з електрично зарядженими тілами, а також з тілами, що мають власні дипольні і мультипольні електричні і магнітні моменти [9]. Виявляє собою сукупність електричного і магнітного полів, які вміють, за деяких умов, генерувати один одного, а по суті, однією сутністю [9].

ЕМП характеризуються такими параметрами:

1. Період і частота. Періодом T електромагнітного коливання характеризують найменший проміжок часу, після завершення якого повторюються значення всіх величин, що визначають коливання [9]. Число повних коливань за одиницю часу T визначається частотою f електромагнітних коливань [9]:

$$f = 1/T$$

Частота електромагнітного коливання (частота змінного ЕМП) має розмірність герц (Гц). Кратними одиницями кГц, МГц і ГГц [9].

Круговою частотою ω змінного ЕМП характеризують число коливань, які виникають за 2π одиниць часу [9]:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi/T.$$

В техніці найчастіше застосовують електротехнічну шкалу джерел ЕМП:

- низькочастотні (НЧ) від 0 до 60 Гц;
- середньочастотні (СЧ) від 60 Гц до 10 кГц;
- високочастотні (ВЧ) від 10 кГц до 300 МГц;
- надвисокочастотні (НВЧ) від 300 МГц до 300 ГГц [9].

2. Швидкість і довжина хвилі. Електромагнітною хвилею називають хвилю що поширює в просторі (або середовищі) змінне електромагнітне поле [9].

Швидкість (м/с), розповсюдження електромагнітної хвилі визначається особливостями середовища [9]:

$$v = 1/\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}$$

де ε - абсолютна діелектрична проникність середовища, що має розмірність Фарада на метр (Ф/м) [9];

μ - абсолютна магнітна проникність середовища, що має розмірність Генрі на метр (Гн/м) [9].

Довжиною хвилі визначається відстань, на яку розповсюджується фронт електромагнітної хвилі за час T , що рівняється періоду коливань в джерелі (довжину хвилі можемо також характеризувати [9], як найближча відстань між точками ЕМП з однаковими фазами, м):

$$\lambda = v/f$$

3.Інтенсивність. E - середньоквадратичне значення напруженості електричного поля, що має розмірність в вольтах на метр (В/м); H - середньоквадратичне значення напруженості магнітного поля [9], що виражається в ампер на метр (А/м), або B -магнітна індукція, з розмірністю в тесла (Тл).

У повітрі на відстанях від джерела, великі довжини хвилі (в далекій зоні), напруженості E і H пов'язані простим рівнянням:

$$\frac{E}{H} = Z_0,$$

де Z_0 - хвилевий опір вільного простору, рівний 377 Ом.

У діапазоні частот 300 МГц...300 ГГц інтенсивність ЕМП характеризується S - щільністю потоку енергії, яка має розмірність в ватах на квадратний метр (Вт/м²) [9].

Для далекої зони правдиве співвідношення [10]:

$$S = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2.$$

Простір навколо джерела (випромінювача) ЕМП схематично ділять на ближню (індукції) і далеку (випромінювання) зони впливу [10].

Ближня зона (зона індукції). Під ближньою зоною впливу розуміють зону, в якій електромагнітне (хвильовий) поле ще не сформовано на певній відстані від випромінювача [10]; як результат, одна зі складових поля набагато менша за інші. У ближній зоні одна зі складових (E, B) поля слабо виражена. У таких джерел ЕМП при впливі на навколишнє середовище слабо виражена магнітна складова напруженості [10]. Ближня зона (зона індукції) обмежена сферою радіусом $r=\lambda/6$, в якій випромінювач перебуває у центрі. У ближній зоні ЕМП визначається електричною складовою поля E (В/м).

У разі паралельної роботи декількох джерел в даній зоні братиметься сумарне значення квадратів напруженості поля [9]:

$$E_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^N E_i^2 ,$$

де E_i - напруженість електричного поля i -го джерела в точці вимірювання.

Дальня зона (зона випромінювання). У дальній зоні на відстанях фігурує і розповсюджується електромагнітне поле, і в ньому виражені обидві його складові - електрична і магнітна, тому в діапазонах 9 ... 11 частот ЕМП оцінюється поверхневою щільністю потоку енергії, яка має розмірність в ватах на квадратний метр - Вт /м² [10].

4. Поляризація електромагнітних хвиль. Поляризація електромагнітних хвиль характеризується поведінкою вектора напруженості електричного поля хвилі [10].

Види поляризації:

- Лінійна поляризація;
- Кругова;
- Еліптична.

Особливості поляризації електромагнітних хвиль, зокрема світла, виявляються експериментально за допомогою пропускання досліджуваного світла через різні тіла і вимірювання інтенсивності минулого тіла через тіло світла [10].

Вид поляризації електромагнітних хвиль характеризується конструкцією передавальної антени. Антени з вертикальних провідників (наприклад, вертикальний вібратор) випромінюють вертикально поляризовані хвилі, з горизонтальних провідників - горизонтально поляризовані [10].

Напруженість поля варто вимірювати для розрахунку діаграм спрямованості антен, дальності дії радіостанцій і ретрансляторів [10], наявності паразитних випромінювань, якості екранування пристроїв та інших складових, що визначають якість радіозв'язку, телебачення, радіомовлення і телефонного зв'язку [10].

Напруженість електромагнітного поля (ЕМП) характеризується векторами:

- $\vec{\Pi}$ - щільність потоку енергії (вектор Умова-Пойнтінга) (Вт/м²);
- \vec{E} - напруженість електричного поля (В/м);
- \vec{H} - напруженість магнітного поля (А/м).

Ці вектори перпендикулярні один одному і пов'язані між собою формулами [11]:

$$\vec{\Pi} = \vec{E} \cdot \vec{H}$$

$$\frac{\vec{E}}{\vec{H}} = W = \sqrt{\mu/\epsilon}$$

Для повітряного простору хвильовий опір середовища (W) рівняється [11]:

$$W = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 120 \cdot \pi = \frac{E}{H},$$

$$\Pi = \frac{E^2}{120\pi} = H^2 \cdot 120\pi.$$

З формули бачимо, що для розрахунку інтенсивності поля можна вимірювати будь-який з трьох векторів [10].

Ще однією характеристикою поля є щільність потоку потужності, що проходить через поверхню площею S , яка визначається за формулою:

$$P = \Pi \cdot S.$$

Напруженість E можна вирахувати за результатами вимірювання потужності з формули:

$$E = \sqrt{\frac{120\pi \cdot \mathcal{D}}{S_{\text{еф.}}}},$$

де $S_{\text{еф.}}$ - ефективна площа антени.

Для вимірювання інтенсивності ЕМП застосовують два методи:

- 1) метод еталонної антени;
- 2) метод порівняння.

При вимірі векторів \vec{E} і \vec{H} велику вагомість має орієнтація їх в просторі, що характеризує площину поляризації ЕМП, яка може бути лінійної, кругової і еліптичної [11].

По відношенню до земної поверхні існує дві лінійні поляризації:

- 1) вертикальна;
- 2) горизонтальна.

1.2.1 Метод порівняння. Вимірювальні приймачі і вимірювачі напруженості поля

Метод порівняння використовується для вимірювання слабких полів і здійснюється на практиці за допомогою вимірювальних пристроїв типу П5 і вимірників напруженості поля і щільності потоку потужності типу ПЗ [11].

Вимірювальний приймач репрезентує собою високочутливий гетеродинний радіоприймач з електронним вольтметром на виході. Якщо ж він комплектується вимірювальними антенами, то він являє собою вимірювач напруженості поля.

Процес вимірювання напруженості поля містить три етапи:

- 1) попередня настройка;
- 2) калібрування;
- 3) вимір.

При підготовчому налаштуванні до входу вимірювача підключають одну з вимірювальних антен (в залежності від частоти джерела поля) і настраюють її на частоту джерела, напруженість якого вимірюється. Налаштування реалізують зміною частоти гетеродина по максимальному значенню вольтметра при довільних положеннях атенюаторів (вхідного і ПЧ) [11].

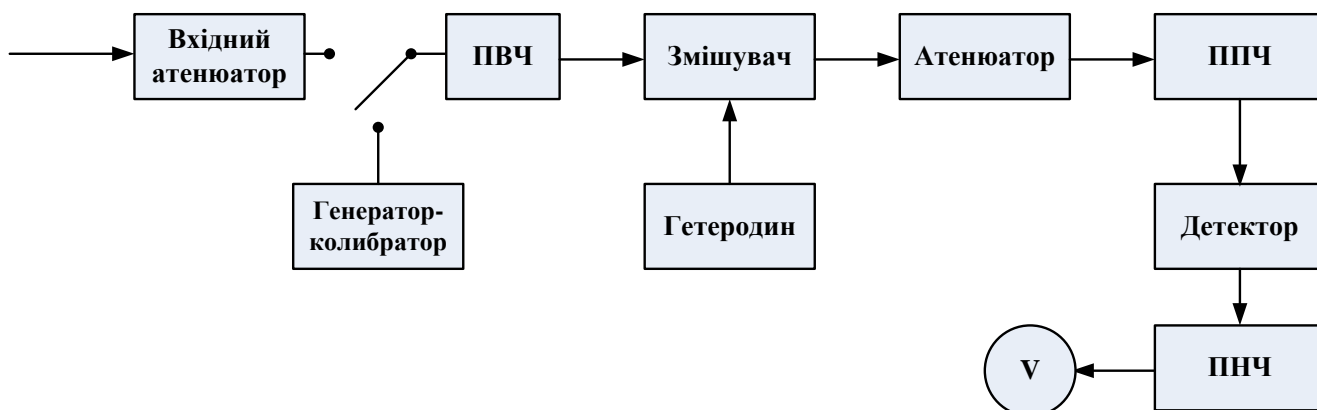


Рис. 1.1. Структурна схема вимірювального приймача

При калібруванні до входу ПВЧ надають відому напругу від генератора-калібратора і, змінюючи посилення ПВЧ, установлюють стрілку вольтметра на певне значення. Заздалегідь на атенюатор ПЧ установлюють задане значення ослаблення. В наслідку посилення всього вимірювача наводиться до заданого і відомого значення К.

При вимірах перемикач перекидають в положення «1» і регулюючи ослаблення установлюють стрілку вольтметра в будь-яке зручне для відліку положення [11].

Шкала вольтметра проградуєвана в значеннях входної напруги ПВЧ і його показання вираховуються виразом:

$$U = E \cdot h_d \cdot \alpha_{\text{ВХ}} \cdot \alpha_{\text{ПЧ}}$$

з котрого можемо знайти значення E:

$$E = \frac{U}{h_d \cdot \alpha_{\text{ВХ}} \cdot \alpha_{\text{ПЧ}}}$$

Межі зміни напруженості поля цими пристроями складають від часток мкВ/м до сотень мВ/м, а щільності потоку потужності - від сотих часток мкВт/см² до десятків мВт/см² [11].

Похибка вимірювання розраховується похибкою застосованої вимірювальної антени, неточністю її орієнтування, неузгодженості, похибкою атенюатора і вольтметра. Сумарна похибка досягає значення $\pm 30\%$.

1.2.2 Метод вимірювання напруженості поля за принципом еталонної антени

Якщо вимірювальну антену розташувати в ЕМП в площині, паралельній поляризації хвилі, то в ній буде індукувати ЕРС [12]:

$$\varepsilon = A \cdot h_a,$$

де h_a - діюча висота антени.

Вона завжди визначена, так як при вимірах застосовуються вимірювальні антени типу П6 з відомими параметрами. Значення ЕРС визначається вольтметром.

Цей метод використовується для визначення напруженості сильних полів близько джерел випромінювання і на практиці виконується за допомогою простих вимірювальних приладів індикаторів поля виду П2 [12].

Вимірювання напруженості електричного поля електромагнітного випромінювання за сприянням вимірювального радіоприймача або аналізатора спектра відбувається прямим методом. Вимірювання напруженості електричного поля електромагнітного випромінювання відбувається за принципом еталонної антени. Зміст цього принципу полягає у тому, що значення напруженості електричного поля електромагнітного випромінювання знаходиться шляхом вимірювання напруги радіочастотного сигналу на виході еталонної приймальної антени та наступного перерахунку в автоматичному режимі у напруженість електричного поля з врахуванням коефіцієнтів перерахунку, які внесені до електронної пам'яті вимірювального обладнання [12].

Напруженість електричного поля електромагнітного випромінювання визначається за напругою u , або за потужністю сигналу p , на виході кабелю каліброваної приймальної вимірювальної антени та значенням коефіцієнта перерахунку k напруги u (або потужності сигналу p) на виході кабелю до напруженості електричного поля з врахуванням втрат у кабелі [13].

У першому випадку визначення здійснюється за формулою:

$$e[\text{мкВ/м}] = u[\text{мкВ}] \cdot k[1/\text{м}],$$

де e – напруженість електричного поля електромагнітного випромінювання в одиницях мкВ/м;

u – напруга сигналу на виході кабелю каліброваної приймальної вимірювальної антени в одиницях мкВ;

k – коефіцієнт перерахунку в одиницях 1/м.

У другому випадку, зважаючи співвідношення між потужністю сигналу та напругою:

$$p = u^2 / r,$$

за умови хвильового опору $r=50$ Ом напруженість електричного поля електромагнітного випромінювання знаходиться як:

$$e[\text{мкВ/м}] = 4.9 \cdot 10^{10} \cdot p[\text{мВт}] \cdot k[1/\text{м}].$$

В дійсності в радіотехніці для розрахунків частіше застосовують більш зручні, логарифмічні одиниці, наприклад [13]:

- дБмкВ/м – для формулювання рівня напруженості електричного поля електромагнітного випромінювання;
- дБмВ – для формулювання рівня напруги радіочастотного сигналу;
- дБ·1/м – для формулювання значення коефіцієнта перерахунку.

Беручи до уваги співвідношення одиниць вимірювань [13]:

$$P[\text{дБмВт}] = 10 \cdot \log p[\text{мВт}], \quad p[\text{мВт}] = 10^{\frac{P[\text{дБмВт}]}{10}},$$

$$U[\text{дБмкВ}] = 20 \cdot \log u[\text{мкВ}], \quad u[\text{мкВ}] = 10^{\frac{U[\text{дБмкВ}]}{20}},$$

$$E[\text{дБмкВ/м}] = 20 \cdot \log e[\text{мкВ/м}], \quad e[\text{мкВ/м}] = 10^{\frac{E[\text{дБмкВ/м}]}{20}},$$

з урахуванням цих трьох формул можемо занотувати нову формулу у вигляді:

$$E[\text{дБмкВ/м}] = U[\text{дБмкВ}] + K[\text{дБ} \cdot 1/\text{м}],$$

де E – рівень напруженості електричної складової електромагнітного поля в одиницях вимірювання дБмкВ/м;

U – рівень напруги сигналу на виході кабелю каліброваної приймальної вимірювальної антени в одиницях вимірювання дБмкВ;

K – коефіцієнт перерахунку в одиницях дБ 1/м.

У разі перерахуванні через потужність сигналу рівень напруженості електричного поля електромагнітного випромінювання знаходиться за формулою [13]:

$$E[\text{дБмкВ/м}] = P[\text{дБмВт}] + K[\text{дБ} \cdot 1/\text{м}] + 106.9 \text{ дБ} .$$

Значення коефіцієнта перерахунку k характеризується як:

$$k = k_{\text{ант.}} + L_{\text{каб.}} ,$$

де $k_{\text{ант.}}$ – антенний фактор, який залежить від частоти f і коефіцієнту підсилення антени G_i і за умови вхідного опору 50 Ом розраховується у вигляді:

$$K = 20 \cdot \log_{10}(f) - G_i - 29.774 ,$$

де f – частота в МГц;

G_i – коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропного випромінювача (дБ) [13].

Затухання в кабелі $L_{\text{каб.}}$ знаходиться за формулою:

$$L_{\text{каб.}} = \gamma \cdot l ,$$

де γ – питоме затухання в кабелі в одиницях дБ/м;

l – довжина кабелю.

У поголовному випадку коефіцієнт перерахунку розраховується за формулою:

$$K = 20 \cdot \log_{10}(f) - G_i - 29.774 + L_{\text{каб.}} .$$

Значення антенного фактору і затухання в антені також може бути визначено експериментальним шляхом за допомогою вимірювання в безлунній камері [13].

1.3 Засоби вимірювання напруженості поля

В ході еволюції біосфера безперервно перебувала і перебуває під впливом електромагнітного поля (ЕМП) природного походження: електричне і магнітне поле Землі, космічні електромагнітні випромінювання, в першу чергу ті, що генеруються Сонцем. Природа електромагнітного випромінювання поєднана з вихровими електричними і магнітними полями [15].

В результаті того, що ці поля неподільно пов'язані між собою, тому вони отримали загальну назву – електромагнітні. В нинішній час ЕМП антропогенного походження сильно перевищують природний фон і є тим незручним чинником, чия дія на людину і довкілля з року в рік більшає [15].

Джерелами, що породжують ЕМП антропогенного походження є [15]:

- лінії електропередач (ЛЕП) надвисокої напруги;
 - телевізійні та радіотрансляційні станції;
 - електростанції;
 - радіолокаційні та радіонавігаційні станції;
 - пристрої, що забезпечують мобільний та сотовий телефонні зв'язки та ін.
- [15];

Електричне поле – часткова форма виявлення (нарівні з магнітним полем) електромагнітного поля, яка характеризує дію на електричний заряд (з боку поля) сили, що не залежить від швидкості руху заряду. Визначальною кількісною характеристикою електричного поля є напруженість електричного поля [15].

В тропосфері здійснюються явища, що викликають поділ електричних зарядів в результаті зміни метеорологічних умов – хмар, опадів, туманів тощо [15]. В результаті чого в атмосфері з'являється позитивний об'ємний заряд, на поверхні Землі – негативний. Отже, електричне поле Землі цілеспрямоване

приблизно вертикально: напруженість його являє собою в середньому $130 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$ [15].

Магнітне поле визначається його дією на заряджену частинку, що рухається з силою, пропорційною заряду та її швидкості. Дію магнітного поля на рухомий заряд визначають магнітною індукцією. Магнітне поле характеризується також вектором напруженості магнітного поля, який пов'язаний з вектором магнітної індукції [15]:

$$\vec{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{H},$$

де: μ – магнітна проникність речовини, що визначає зміну магнітної індукції середовища під впливом магнітного поля; μ_0 – магнітна стала ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$) [15].

Для повітря, вакууму та немагнітних матеріалів $\mu = 1$. Одиницею магнітної індукції є одна тесла (Тл). $1 \text{ Тл} = 10^4 \text{ Г}$. Одиницею напруженості магнітного поля є один ерстед (Е). $1 \text{ Е} = 79,5775 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$. Середня величина магнітної індукції неподалеку земної поверхні становить $\approx 5 \cdot 10^5 \text{ Тл}$, а напруженість магнітного поля складає від магнітних полюсів ($55,7 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$) до магнітного екватора ($33,4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$) [15].

Для розрахунку параметрів електричного й магнітного полів використовують пристрій “В&Е – метр” типу А002м (рис.1.2.). Пристрій призначений для проведення експрес-вимірювань середньоквадратичного значення осциляції електричної й магнітної складової електромагнітного поля в житлових і робочих приміщеннях [17]. Пристрій можемо застосувати для проведення санітарно-гігієнічного обслідування приміщень з електрообладнанням, а також для аналізу електромагнітного фону джерел інтенсивного електромагнітного випромінювання [16].



Рис. 1.2. Загальний вигляд пристрою “В&Е – метр”.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики “В&Е – метр”

Межі вимірювання електричного поля в діапазоні частот 5 Гц-2 кГц	2-500 В/м
Межі вимірювання електричного поля в діапазоні частот 2 кГц - 400 кГц	0.2 - 50 В/м
Межі вимірювання магнітного поля в діапазоні частот 5 Гц-2 кГц	0.04 - 5 мкТл
Межі вимірювання магнітного поля в діапазоні частот 2 кГц - 400 кГц	5 - 500 нТл
Нерівномірність АЧХ в зазначених діапазонах не більше, дБ	3
Основна похибка вимірювання	10%
Тривалість непр. роботи приладу без підзарядки акумуля. батареї, ч, не менше	15
Габарити датчика-вимірювача, мм	210x100x60
Вага, г	450

З ціллю апаратурного задоволення санітарно-гігієнічних вимог контролю за здійсненням «Санітарних Правил и Норм 2.2.2.542-96» амплітудні і частотні

діапазони вимірювань вибрані у відповідності з вказаними документі дозволеними значеннями параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань [17]. Пристрій виготовлений за багатоканальною схемою, що допускає одночасне проведення вимірювання електричної і магнітної складової електромагнітного поля. Обробка результатів вимірювань відбувається з вбудованим в прилад мікропроцесором [16]. Це дозволяє автоматизувати процес вимірювання .

Вимірювач напруженості електромагнітного поля (ВНП) «ПЗ-21» призначений для вимірювання середньо-квадратичних значень напруженості електричної та магнітної складової електромагнітного поля в режимах неперервної генерації, амплітудної, частотної і імпульсної модуляції [16]. Вимірювач ВНП «ПЗ-21» застосовується для просторового обслідування інтенсивності ВЧ-випромінювань в широкій смузі частот, для контролю небезпечних рівнів ВЧ-випромінювань на практичних місцях колективу, обслуговуючих радіотехнічне обладнання і системи, які випромінюють ЕМП [17]. На рис. 1.3. показано загальний вигляд приладу «ПЗ-21», а в таблиці 1.2. наведено його технічні характеристики.

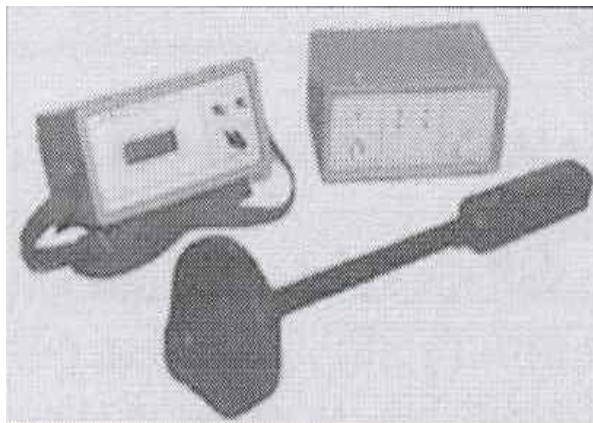


Рис. 1.3. Загальний вигляд приладу «ПЗ-21».

Технічні характеристики «ПЗ-21»

Діапазон частот за електричною складовою ЕМП, Гц	$10^5 - 3 \cdot 10^8$
Діапазон частот за магнітною складовою ЕМП, Гц	$10^5 - 3 \cdot 10^7$
Границя вимірювання середньоквадратичних значень: електричної складової, $V \cdot m^{-1}$ магнітної складової, $A \cdot m^{-1}$	1-1000 0,5-16
Основна похибка вимірювання напруженості ЕМП, %	$\pm 2,5$
Похибка, обумовлена відхиленням від ізотропної діаграми направленості АП при частоті більш ніж 10^5 Гц, дБ	не більше 1,5
Додаткова похибка вимірювача, обумовлена відхиленням температури оточуючого від нормальної на кожні $10^\circ C$, дБ	не більше $\pm 1,0$

Пристрої “Wandel & Goltermann” EMR-20, EMR-30 призначені для ізотропного вимірювання рівнів високочастотних електричних полів, народжених різними джерелами: телевізійними передавачами, медичним обладнанням, радарам, передавачами систем, радіо- і сотового зв'язку, мікрохвильовими печами і т.п. [16] В таблиці 1.4 наведені технічні характеристики приладу EMR-30.

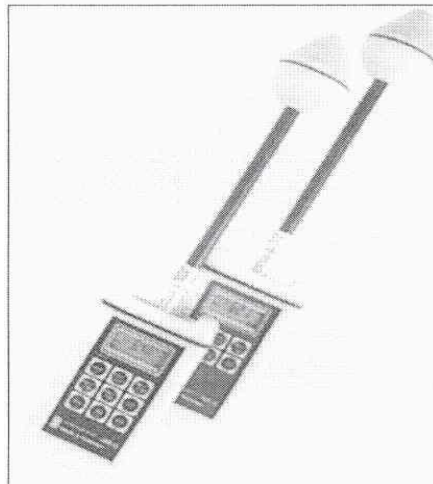


Рис. 1.4. Загальний вигляд пристрою EMR-30.

В пристрій вмонтований мікропроцесорний прилад для обрахування результатів вимірювань, пам'ять мікропроцесорного приладу здатна запам'ятовувати 1500 результатів [17]. В пристрої завбачений оптичний модуль інтерфейсу V.24 (RS 232). Вимоги експлуатації: температура оточуючого середовища, °С – від 0 до 50; відносна вологість, % – від 25 до 75 [17].

Обробка наданих результатів відбувається за допомогою широко доступних програм (наприклад, Microsoft ® Excel) [17].

Таблиця 1.4

Технічні характеристики приладу EMR-30

Діапазон частот	від 100 кГц до 3 ГГц
Діапазон вимірювання середньоквадратичного значення напруженості змінного електричного поля	від 1 до 800 В·м ⁻¹
Діапазон вимірювання середнього значення щільності потоку енергії	від 0,27 до 170000 мкВт·см ⁻²
Приведена похибка вимірювання	±1дБ
Габаритні розміри (з датчиком)	96×64×465 мм
Вага (з елементами живлення)	450 г

Аналізатор спроможний на: автоматичне проведення вимірювань терміном до 24 години; запам'ятовування 4095 результатів вимірювань (EFA-2, EFA-3); фільтрування сигналів (за допомогою смугових фільтрів) всіх промислових частот та їх гармонік. Аналізатор містить частотомір [17].

1.4. Антени для мобільних систем радіомоніторингу

Для антен станцій радіомоніторингу виставляють дуже жорсткі вимоги до експлуатаційних та технічних параметрів, а також до конструкції та надійності. В загальному випадку у складі антен систем радіомоніторингу часто застосовуються такі самі антенні елементи, що й в антенах телекомунікаційних систем [22].

За функціональним призначенням антени систем радіомоніторингу можна поділити на такі основні групи :

- антени виявлення;
- вимірювальні антени;
- пеленгаторні антени й антенні комплекси.

Наведений поділ є відносним, адже калібровані контрольні антени дозволено використовувати як вимірювальні, а вимірювальні направлені антени у разі застосування в режимі обертання в азимутальній площині можуть слугувати як пеленгаторні [22]. Стаціонарні пеленгаторні антени у цілому конструктивно виконуються як антенні комплекси.

Важливою відмінністю моніторингових антен від телекомунікаційних, є те, що вони працюють лише в режимі приймання.

Зважаючи на особливості конструктивного виконання і розбіжність властивостей розповсюдження радіохвиль антенних систем і високочастотних ВЧ приймальних трактів спорядження в різних діапазонах радіохвиль, в основному станції радіоконтролю реалізуються окремо для ВЧ діапазону та для ДВЧ або НВЧ діапазонів.

У зв'язку з великими габаритами та жорсткими вимогами до вибору місць розміщення антенних систем станції радіоконтролю короткохвильового (КХ)

діапазону розкриваються вдалині від населених пунктів (наприклад, для розкривання пеленгаторної антенної системи, щоб одержати спрямовані пеленги залежно від смуги робочих частот потрібна платформа діаметром від 50 до 300 метрів) [22]. Всупереч, до ДВЧ та НВЧ станцій радіоконтролю виставляються більш жорсткі вимоги з точки зору електромагнітної сумісності (ЕМС). Візьмемо для прикладу, щоб отримати велику розв'язку між ВЧ передавачем з вихідною потужністю понад 1 кВт дистанція між ним і стаціонарною ВЧ станцією радіоконтролю має бути щонайменше 5-10 км.

Взагалі, комплект антен стаціонарної КХ станції радіоконтролю містить у собі [20]:

- один рамковий радіопеленгатор, який обертається, для смуги частот до (2-3) МГц;
- одну пеленгаторну антену з апертурою до 300 метрів;
- одну ненаправлену антену для смуги частот від 2 МГц до 30 МГц;
- одну гостроспрямовану антенну систему для отримання прямо поляризованих хвиль;
- одну гостро направлену антенну систему для одержання горизонтально поляризованих хвиль.

Набір антен ДВЧ або НВЧ станції радіоконтролю може містити від 2 до 10 антен різного призначення для відмінних діапазонів частот [22].

Розподіл антен на контрольні та вимірювальні зумовлений потребою виставлення нещадніших вимог до параметрів антен, які застосовуються для вимірювання параметрів радіовипромінювань. Вимоги до параметрів випромінювання роз'яснюються тим, що на досвіді радіоконтроль здійснюється в умовах впливу множинних чужорідних радіовипромінювань (це може бути будь-які види шумів індустриальні і атмосферні, або шуми передавачів тощо), які працюють як радіозавади [23]. Сильніше того, рівень їх дії міняється з часом, що так само не дає можливості враховувати їх радіовипромінювання, насамперед під час проведення вимірювань, і це ніяк не слугує отриманню об'єктивних результатів.

Головною різницею антен, що застосовуються як контрольні (або антени виявлення), від вимірювальних антен є відсутність калібрування (за цим мірилом з огляду на неспроможність проведення калібрування та неможливість характеризування й вимірювання діаграми спрямованості пеленгаторні антени також потрібно зарахувати до антен виявлення) [22]. Те, що пеленгаторні антени застосовують як вимірювальні, дає спроможність застосовувати ці антени в дуже широкій смузі частот, не зважаючи на нерівномірність їх амплітудно-частотної характеристики (АЧХ).

Неодноразово для розкриття радіовипромінювання застосовують одноелементні ненаправлені антени на основі симетричних чи несиметричних вібраторів. В поодиначних інцидентах як антени виявлення так само можуть бути і направлені антени [23].

Для вимірювання рівнів напруженості поля застосовують приймальні антени з завчасно відомими даними ефективності їх роботи. До загальних ознак вимірювальних антен, які нормовані, відносяться такі:

- діапазон робочих частот;
- діаграма спрямованості;
- допустимий коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ);
- рівень бічних пелюсток діаграми спрямованості;
- ефективна поверхня або діюча висота та їх похибка;
- коефіцієнт підсилення антени (на деяких частотах або в деякій смузі частот) .

Зокрема стаціонарних станцій, радіомоніторинг також реалізується із використанням мобільних станцій. До конструкції антен, що застосовуються в мобільних станціях, виставляються спеціальні критерії, з одного боку, щодо задоволення необхідних технічних характеристик, а з другого боку мінімізація розмірів, ваги та збільшення вимог щодо їх вібростійкості [22].

На рис. 1.5. відображено стислу широкосмугову не спрямовану високочутливу антену R&S®HF907OM з діапазоном робочих частот від 800 МГц до 26,5 ГГц у оборонному радіо прозорому кожусі. Головним призначенням

антени є отримання, виявлення та вимірювання GSM- сигналів і радіохвиль у НВЧ діапазоні. Коефіцієнт підсилення змінюється від 1 дБі до 5 дБі (в діапазоні частот).



Рис. 1.5. Антена HF9070M.

На рис. 1.6. бачимо зовнішній вигляд і ХС широкосмугової логоперіодичної антени з лінійною поляризацією HL050 для діапазону частот 850 МГц – 26,5 ГГц, яка в основному застосовується як окрема вимірювальна антена, також і як опромінювач для дзеркальної антени AC008 (рис. 1.7.) [22].



Рис. 1.6. Зовнішній вигляд та ХС антени HL050.

Для вимірювання параметрів радіосигналів у НВЧ/ВВЧ діапазонах застосовуються широкосмугові антенні системи у подібні напрямлених

рефлекторних антен з винесеним опромінювачем [23]. Рефлектор реалізується у вигляді вирізки з параболоїда обертання, як опромінювачі може застосовувати рупорні хвилеводи, а також аналізовані вище компактні НВЧ/ВВЧ логоперіодичні направлені антени.



Рис. 1.7. Антенна система AC008.

Перевагами цих антен є те, що вони можуть використовуватись в поєднанні як із стаціонарними станціями, так і з портативними.

За винятком стаціонарних і мобільних станцій для проведення радіоконтролю(вимірювання параметрів) випромінювань (радіоелектронних засобів) РЕЗ так само використовують портативні засоби, до яких неодмінно входять вимірювальний пристрій, калібрована вимірювальна антена та ВЧ кабель.

Як вимірювальний пристрій в основному застосовують вимірювальні або моніторингові радіоприймачі або аналізатори спектра [23]. Часом для вимірювання параметрів і з'ясування характеристик радіосигналів можна застосовувати аналізатори сигналів.

Порівнюючи з КХ діапазоном, калібрування антенно-фідерного тракту вДВЧ/НВЧ діапазоні є необхідним, що пов'язане зі чималим затуханням радіосигналів у цих діапазонах [23].

Великий вибір вимірювальних антен для ДВЧ/НВЧ діапазонів репрезентований антенами компанії "Rohde&Schwarz ". Антена R&S®HE200

формується із рукоятки та набору з 4-ох змінних модулів, які перекривають діапазон робочих частот від 10 кГц до 3 ГГц [23].

В рукоятку вбудовано підсилювач з перемикачем активного/пасивного режимів, реле перемикачання режимів і компас. Антени гарантують вимірювання параметрів радіохвиль як у вертикальному так і горизонтальному стані при обертанні антена 90°. Рамкові антени для смуг частот 20 МГц - 200 МГц і 200 МГц - 500 МГц утворюють кардіоїдні ДС, антени для смуги частот 500 МГц - 3 ГГц утворює чітко виражену ДС [23]. КСХ антен не перевищує 2,5 (ном.). Дякуючи можливості використання двох режимів – активного та пасивного антена має широкий динамічний діапазон.

Активний режим застосовується коли вивчаються малопотужні сигнали, пасивний – для радіоконтролю недалеко потужних радіопередавачів.

Ще одна із популярних доступних антен - широкопasmова активна направлена антена R&S-HE300, яка разом з місткими приймачами (наприклад, PR100 чи EB200) є бездоганним інструментом для локалізації ДРВ в діапазоні частот від 9 кГц до 7,5 ГГц [22]. Окрім розв'язання завдань із виявлення та вимірювання параметрів радіосигналів і радіозавод антена HE300 застосовується для пеленгування (джерел радіовипромінювань) ДРВ [22].

Напрямок характеризується за найбільшим рівнем сигналу при обертанні антени в азимутальній площині. Діапазон частот від 9 кГц до 7,5 ГГц надолужується 4-ма змінними широкопasmовими антенними модулями, кожен із яких має виразно виражену ДС [23]. Антенні модулі для смуг частот 20 МГц - 200 МГц і 200 МГц - 500 МГц зроблені у вигляді навантажених рамкових антен з широкопasmовими кардіоїдними ДС, для діапазону 500 МГц - 7,5 ГГц - як логоперіодична дипольна антена, ДС якої майже незмінна у всьому діапазоні частот [22].

Зміна кутового положення антени можна застосовувати для радіоконтролю як вертикально, так і горизонтально поляризованих радіохвиль.

Зовнішній вигляд антени HE300 з чотирма модулями наведений на рис.1.8.:

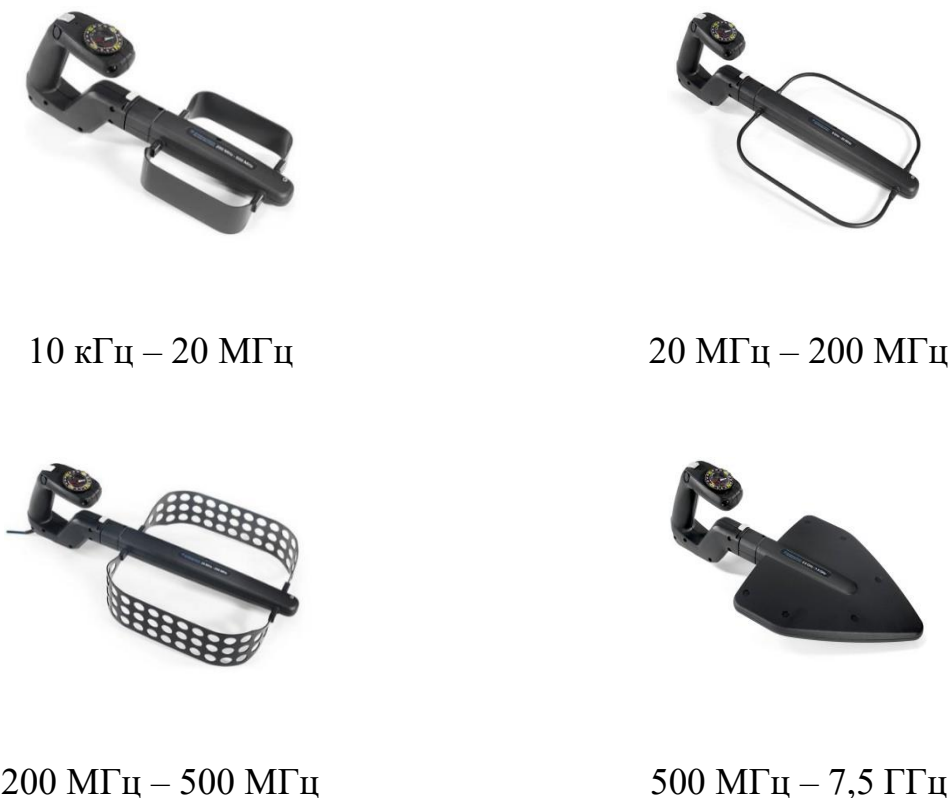


Рис.1.8. Вимірювальні антени R&SHE300

Теж, в якості містких засобів радіомоніторингу застосовують орієнтовані логоперіодичні антени HyperLOG 6080, HyperLOG 60100, HyperLOG 60180 компанії Aaronia визначені для роботи в діапазонах частот [23]:

- модель HyperLOG 6080 – 680 МГц – 8 ГГц;
- модель HyperLOG60100 – 680 МГц – 10 ГГц;
- модель HyperLOG 60180 – 680 МГц – 18 ГГц.

Коефіцієнт підсилення становить 5 дБі[20].

Направлені антени HyperLOG 4025X(рис.1.9.), HyperLOG 4040X, HyperLOG 4060X призначені для роботи в діапазонах частот [23]:

- модель HyperLOG 4025X – 400 МГц – 2,5 ГГц;
- модель HyperLOG 4040X – 400 МГц – 4 ГГц;
- модель HyperLOG 4060X – 400 МГц – 6 ГГц.

Коефіцієнт підсилення складає 44 дБі.



Рис.1.9. HyperLOG 4025X

Логоперіодична антена Hyperlog 7025 на рис.1.10.:



Рис.1.10. Hyperlog 7025

Характеристики цієї антени наведені в таблиці 1.5:

Таблиця 1.5

Характеристики логоперіодичної антени Hyperlog 7025

Діапазон частот	700 МГц – 2,5 ГГц
Максимальна потужність передачі	100 Вт
Імпеданс	50 Ом
WSVR	<1:2
Коефіцієнт підсилення	4 дБі
Антенна фактор	23 – 34 дБ/м
Розміри	340 x 200 x 25 мм

На рис. 1.11. і рис. 1.12. зображено зразок застосування містких вимірювальних комплексів радіомоніторингу та пеленгування АРК-НК4И і АРК-

НКЗИ, створених компанією «ИРКОС» (Росія), для діапазонів частот 25 МГц – 3 ГГц (у початковій комплектації) та 25 МГц – 18 ГГц – у повній комплектації [24]. Для вимірювання застосовується комплект вимірювальних антен.



Рис.1.11. АРК-НК4И



Рис.1.12. АРК-НКЗИ

Висновок

Отже, проаналізувавши види антен станцій радіомоніторингу, можемо зробити висновок, що найбільш ефективними є портативні антени. Вони гарантують широкий динамічний діапазон, завдяки вимірюванню сигналів в двох режимах : активний та пасивний. Заразом вимірювання в горизонтальному або вертикальному положенні. Використання цих антен дозволяє одержати більш

імовірні результати вимірювання радіосигналів. Тому що їх можна розставляти на різних відстанях, застосовуючи в якості антен різних станцій радіомоніторингу, розставляти в складно доступних місцях. Ці антени утворюють розбірливо виражену діаграму спрямованості, мають більш високе узгодження з фідерним трактом, а так само достатньо великий коефіцієнт підсилення, в зіставленні з антенами інших станцій радіомоніторингу.

Як правило, стаціонарним антенам характерні великі габарити та маса, великий коефіцієнт підсилення. Найчастіше для портативних станцій застосовують спрямовані антени, прирівнюючи із стаціонарними та мобільними. Спрямовані антени застосовують в тих випадках, коли потрібна найбільша дальність зв'язку в певному напрямку та у випадках, коли потрібно зменшити завади іншим системам зв'язку. Такі антени є дуже дорогими, тому їх застосовують там, де чинники дальності та достовірності передачі інформації є пріоритетними, а тобто для моніторингу.

Для встановлення більшого коефіцієнту підсилення можливо використання здвоєних спрямованих антен, увімкнених паралельно. Тобто досить важливою задачею є моделювання і конструювання широкосмугової портативної антени.

РОЗДІЛ 2

ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ КОЛОВОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ

В діапазоні НВЧ найбільш розповсюдженні антенні системи із застосуванням симетричних вібраторів, або рупорів, мають визначальний недолік, який зводиться к тому, що вимірювання параметрів поляризації визначається чималими похибками, зумовленими конструктивними особливостями випромінювачів.

В діапазонах НВЧ і ДВЧ компактним випромінювачем з коловою поляризацією є кільцева антена. Зрозуміло, що кільцева антена може розділити будь-яку електромагнітну хвилю в коловому ортогональному поляризаційному базисі. Також на відміну від симетричного вібратора досить одного випромінювача, що не диктує суміщення фазових центрів випромінювачів в антені, яка формується з декількох елементів. Тобто, кільцева антена в цьому перевершує рупорні і турнікетні антени. Також, кільцева антена має менші габарити, ніж рупорні і турнікетні антени, і досить жорстоку конструкцію. При обтіканні кільця хвилею струму T_1 [24] антена випромінює електромагнітні хвилі з обертовою поляризацією. В напрямі осі кільця поляризація електромагнітної хвилі стає коловою. Тобто, кільцева антена з відповідним навантаженням при довжині провідника антени близькій або рівній довжині хвилі і при падінні радіохвилі в напрямі осі розділятиме її в ортогональному коловому поляризаційному базисі. Питання полягає в тому, щоб із розмаїття ЕРС, які спрямовуються електромагнітними хвилями правого і лівого обертання, відокремити відповідні їм напруги. Для цього потрібно обміркувати процеси створення ЕРС на затискачах кільцевої антени [24].

2.1. Теоретичні засади побудови вимірювача напруженості поля

Кільцева антена (рис. 2.1) репрезентує собою металеве коло радіуса a з одним розривом між точками 1-2. Точки 1-2 є затискачами антени. Якщо антена застосовується як передавальна, то до точок 1-2 підводиться струм, у приймальній антені з точок 1-2 знімають напругу, яка спрямовується в провіднику кільцевої форми [24].

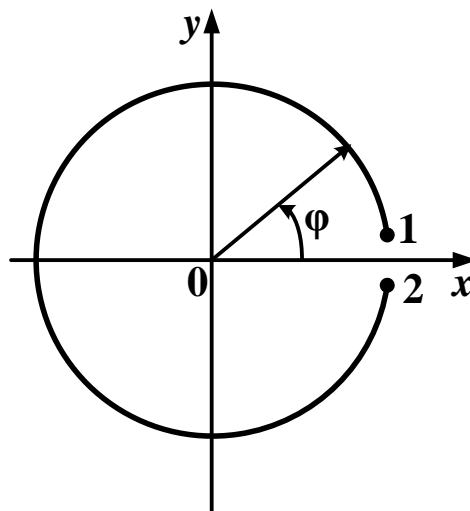


Рис. 2.1. Кільцева антена.

Проаналізуємо функціонування антени в режимі приймання радіохвиль. В полярній системі координат вектор напруженості електричного поля в ортогональному коловому поляризаційному базисі фіксується у вигляді [24]:

$$\vec{e}(t) = \begin{cases} \vec{\rho}_0 \cdot E_1 + \vec{\varphi}_0 \cdot (\omega t + \phi_1); \\ \vec{\rho}_0 \cdot E_2 + \vec{\varphi}_0 \cdot (-\omega t + \phi_2), \end{cases} \quad (2.1)$$

де $\vec{\rho}_0, \vec{\varphi}_0$ – орти полярної системи координат; ω – колова частота обертання вектора напруженості електричного поля; t – момент часу; E_1, E_2 – амплітуди напруженості поля хвиль колової поляризації правого і лівого напрямку обертання; ϕ_1, ϕ_2 – початкові фази вектора $\vec{\varphi}_0$ в момент часу $t = 0$, які характеризують

початкові положення векторів E_1 і E_2 в полярній системі координат відносно полярної осі $0x$ [25].

У прямокутній системі координат той самий вектор \vec{e} нотується як [24]:

$$\vec{e} = \vec{x}_0 \cdot \dot{E}_x + \vec{y}_0 \cdot \dot{E}_y, \quad (2.2,a)$$

або у часовій площині:

$$\vec{e}(t) = \vec{x}_0 \cdot E_x \cdot \cos(\omega t) + \vec{y}_0 \cdot E_y \cdot \cos(\omega t + \psi), \quad (2.2,b)$$

де \vec{x}_0, \vec{y}_0 – орти прямокутної системи координат, ψ – фазовий зсув складової E_y відносно E_x .

Застосовуючи ортогональний коловий поляризаційний базис, вираз (2.2,b) репрезентуємо таким чином [25]:

$$\left. \begin{aligned} \vec{e}_x &= \left\{ \begin{aligned} \vec{e}_{\text{np}}^x &= \vec{x}_0 \cdot \frac{E_x}{2} \cdot \cos(\omega t) + \vec{y}_0 \cdot \frac{E_x}{2} \cdot \sin(\omega t); \\ \vec{e}_{\text{лів}}^x &= \vec{x}_0 \cdot \frac{E_x}{2} \cdot \cos(\omega t) - \vec{y}_0 \cdot \frac{E_x}{2} \cdot \sin(\omega t). \end{aligned} \right. \\ \vec{e}_y = \vec{y}_0 \cdot E_y \cdot \cos(\omega t + \psi) &= \left\{ \begin{aligned} \vec{e}_{\text{np}}^y &= -\vec{x}_0 \cdot \frac{E_y}{2} \cdot \sin(\omega t + \psi) + \vec{y}_0 \cdot \frac{E_y}{2} \cdot \cos(\omega t + \psi); \\ \vec{e}_{\text{лів}}^y &= -\vec{x}_0 \cdot \frac{E_y}{2} \cdot \sin(\omega t + \psi) + \vec{y}_0 \cdot \frac{E_y}{2} \cdot \cos(\omega t + \psi). \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Запровадимо такі позначення:

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{E_y}{E_x}; \\ b_1 &= \sqrt{1 - 2 \cdot m \cdot \sin(\psi + m^2)}; \\ b_2 &= \sqrt{1 + 2 \cdot m \cdot \sin(\psi + m^2)}; \\ \sin(\psi_1) &= \frac{m \cdot \cos(\psi)}{b_1}; \cos(\psi_1) = \frac{1 - m \cdot \sin(\psi)}{b_1}; \\ \sin(\psi_2) &= \frac{m \cdot \cos(\psi)}{b_2}; \cos(\psi_2) = \frac{1 + m \cdot \sin(\psi)}{b_2}; \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

За допомогою позначень (2.4) з виразів (2.3) знаходимо вектори напруженості електричного поля правого і лівого обертання [25]:

$$\left. \begin{aligned} \vec{e}_{\text{пр}} &= \vec{e}_{\text{пр}}^x + \vec{e}_{\text{пр}}^y = E_1 \cdot [\vec{x}_0 \cdot \cos(\omega t + \phi_1) + \vec{y}_0 \cdot \sin(\omega t + \phi_1)]; \\ \vec{e}_{\text{лів}} &= \vec{e}_{\text{лів}}^x + \vec{e}_{\text{лів}}^y = E_2 \cdot [\vec{x}_0 \cdot \cos(-\omega t + \phi_2) + \vec{y}_0 \cdot \sin(-\omega t + \phi_2)], \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

де

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \frac{E_x \cdot b_1}{2}; \\ E_2 &= \frac{E_x \cdot b_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Зрівнюючи вирази (2.1) і (2.5), можемо підвести підсумок, що це тотожні значення векторів $\vec{e}_{\text{пр}}$ і $\vec{e}_{\text{лів}}$, але зафіксовані в різних системах координат [25].

Для переходу від напруженості електричного поля хвилі, що припадає на антену, до напруги на затискачах антени, потрібно знайти діючу довжину кільця. Приймаємо, що на кільцеву антену падає в напрямі осі хвиля з коловою поляризацією [24]. В такому разі напруга на затискачах кільця визначатиметься як скалярний добуток вектора напруженості поля $\vec{e}_{\text{пр}}$ і вектора діючої довжини кільця:

$$U_{\text{пр}} = (\vec{e}_{\text{пр}}, \vec{l}_d^k). \quad (2.7)$$

Математичний суть діючої довжини кільця у виразі (2.7) збігається з формулюванням діючої довжини приймальної антени [24]. Але діючу довжину будь-якої антени уподібнюють з довжиною вібратора з рівномірним розподілом струму, який формує в напрямі максимального випромінювання ту ж напруженість електричного поля, що і практична антена за умови однакових струмів на затискачах [25]. Через те що кільце підпорядковується принципу взаємності, то таке формулювання є справедливим і для приймальної антени.

Тобто, діюча довжина є параметр, який у доцільності до основного формулювання може характеризувати антену лише для складових, одержаних при розкладанні хвилі довільної поляризації у лінійному ортогональному поляризаційному базисі [25].

Застосовуючи праву частину першого рівняння системи (2.5), вираз (2.7) напишемо у вигляді [25]:

$$U_{\text{пр}} = E_1 \cdot [\vec{x}_0 \cdot \cos(\omega t + \phi_1) + \vec{y}_0 \cdot \sin(\omega t + \phi_1)], \vec{l}_d^k. \quad (2.8)$$

З виразу (2.8) витікає, що при лінійній поляризації $\vec{l}_d^k = \vec{x}_0 \cdot l_d$ або $\vec{l}_d^k = \vec{y}_0 \cdot l_d$, де l_d – діюча довжина кільця за умови, що хвиля, яка падає на антену, лінійно поляризована [25]. Якщо ж поляризація колова, то діюча довжина кільця визначається як:

$$\vec{l}_d^k = \vec{x}_0 \cdot l_d + \vec{y}_0 \cdot l_d = l_d \cdot (\vec{x}_0 + \vec{y}_0). \quad (2.9)$$

Приставляючи значення l_d^k з (2.9) у вираз (2.8), знайдемо напругу на затискачах антени польової поляризації при прийманні хвилі правої поляризації:

$$U_{\text{пр}} = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot l_d \cdot \cos(\omega t + \phi_1 - \frac{\pi}{4}). \quad (2.10)$$

При прийманні антеною хвилі лівої поляризації:

$$U_{\text{лів}} = \sqrt{2} \cdot E_2 \cdot l_d \cdot \cos(\omega t - \phi_1 + \frac{\pi}{4}). \quad (2.11)$$

З формул (2.8), (2.10) і (2.11) бачимо, що кільцева антена у порівнянні з симетричним вібратором, діюча довжина якого l_d , створює напругу на затискачах в $\sqrt{2}$ разів більшу [25].

З рівняння (2.1) бачимо що в деякі моменти часу вектори напруженості електричного поля правого і лівого обертання будуть збігатися. Зрозуміло, що в ці моменти часу кутові координати векторів дорівнюватимуть одному і тому ж куті інакше кажучи [25]:

$$\left. \begin{aligned} \omega t_s + \phi_1 - 2 \cdot \pi \cdot s &= \gamma; \\ -\omega t_s + \phi_1 + 2 \cdot \pi \cdot s &= \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

де $t_s = t_1 + (s - 1)T$, $s = \overline{1, \infty}$, t_1 – перший момент часу, при якому реалізуються рівняння (2.12), T – період електромагнітних коливань (час, за який вектор $\vec{e}(t)$ обходить поляризаційний еліпс), γ – кут, який відраховується від осі Ox і при якому модуль вектора $\vec{e}(t)$ здобуває максимального значення. Тобто, в моменти часу t_s вектори $\vec{e}_{\text{пр}}(t)$ і $\vec{e}_{\text{лів}}(t)$ розміщуються на великій пів-осі поляризаційного еліпса [25]. З виразів (2.12) випливає, що кут нахилу великої осі поляризаційного еліпса визначається як [25]:

$$\gamma = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}. \quad (2.13)$$

Зсув фаз ϕ напруг правого (2.10) і лівого (2.11) напрямку обертання дорівнюватиме:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 - \frac{\pi}{2}. \quad (2.14)$$

Зрівнюючи вирази (2.13) і (2.14), виявляємо, що

$$\gamma = \frac{\phi + \frac{\pi}{2}}{2}. \quad (2.15)$$

Залишок параметрів поляризаційного еліпса знаходимо таким чином. Велика піввісь поляризаційного еліпса $a_B = E_1 + E_2$, а мала піввісь – $b_B = E_1 - E_2$. Тобто, знак і величина коефіцієнта еліптичності виявляється так [25]:

$$K_B = \frac{b_B}{a_B} = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}. \quad (2.16)$$

Через те що амплітуди напруг (2.10) і (2.11) однозначно залежать від напруженостей полів E_1 і E_2 [26]:

$$\begin{aligned} U_{\text{пр}}^A &= \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot l_d; \\ U_{\text{лів}}^A &= \sqrt{2} \cdot E_2 \cdot l_d, \end{aligned} \quad (2.17)$$

то коефіцієнт еліптичності можемо порахувати і за амплітудами напруг на затискачах антени [26]:

$$K_B = \frac{U_{\text{пр}}^A - U_{\text{лів}}^A}{U_{\text{пр}}^A + U_{\text{лів}}^A}. \quad (2.18)$$

Вирази (2.15) і (2.18) обґрунтовують, що всі параметри поляризаційного еліпса однозначно можна порахувати за напругами на затискачах кільцевої антени [26].

2.2. Структурна схема кільцевої вимірювальної антенної системи.

Проблема створення вимірювальної антени у вигляді провідника, вигнутого по колу, зводиться до виокремлення напруг (струмів) правого і лівого обертання векторів напруженостей електричного поля. На затискачах 1 і 2 кільця (рис. 2.2.) спрямовується напруга, яка являє собою суму напруг хвиль правої і лівої колової поляризації [28]. З огляду на напруги $U_{\text{пр}}$ і $U_{\text{лів}}$ не мають ніяких ознак, за якими їх

дозволено було б розподілити, то потрібно роздивитися, яким чином створюються ці напруги.

З виразів (2.1) з'ясуємо, що електромагнітна хвиля обертової поляризації в провіднику кільцевої форми буде спрямовувати розподілені ЕРС, під впливом яких буде проходити хвиля електричного струму. Зрозуміло, що при відповідному навантаженні хвиля струму правого обертання буде проходити по колу від затискача 1 до затискача 2. Хвиля струму лівого обертання проходитиме від затискача 2 до затискача 1. Застосовуючи цей електричний процес, можемо відокремити і напруги на затискачах антени. З цією метою, мабуть, раціонально було б застосувати спрямовані відгалужувачі [28]. Але тут з'являються певні ускладнення, через те що кільце має симетричний вихід і не має точок кондуктивного зв'язку з елементами системи обробки сигналів, що виявляються під нульовим потенціалом. Це зумовлюватиме розмикання кіл електричного струму.

Більш необхідними пристроями для виокремлення струмів правого і лівого напрямку є циркулятори. Схема розділення сигналів кільцевої антени на циркуляторах (рис. 2.2.) досить нескладна.

Нехай циркулятори працюють таким способом, щоб хвиля електричного струму, яка прибуває в плече 1 проходила в плече 2, з плеча 2 проходила лише в плече 3, а із плеча 3 тільки в плече 1. Такі шестиполюсні У-циркулятори будують в мікросмушковому виконанні на феритах [2,3]. Роблять вони в діапазонах частот від 20-30 МГц до 30 ГГц, тобто вони потрібні для антен дуже високих, ультрависоких і надвисоких частот. При правому напрямі розповсюдження хвилі струму шлях тягнеться від затискача 1 кільця до затискача 2. Звідти струм $I_{\text{пр}}$ приходить до плеча 1 циркулятора Ц2 і проходить через плече 2 та приєднаний до нього опір R_4 . Через те що всі опори одним кінцем сполучені між собою, то струм $I_{\text{пр}}$ через опір R_2 і циркулятор Ц1 прибуває до затискача 1. Тобто, таким чином контур струму $I_{\text{пр}}$ замкнутий і, що дуже важливо, не дає можливості струму проходити іншими шляхами. Аналогічно і струм лівого обертання $I_{\text{лів}}$ проходить через кільце від затискача 2 до затискача 1 за сприянням циркулятора Ц1

направляється у навантаження плеча 2 – опір R_1 , через шини нульового потенціалу, опір R_3 плеча 3 циркулятора Ц2 повертається до затискача 2 [29].

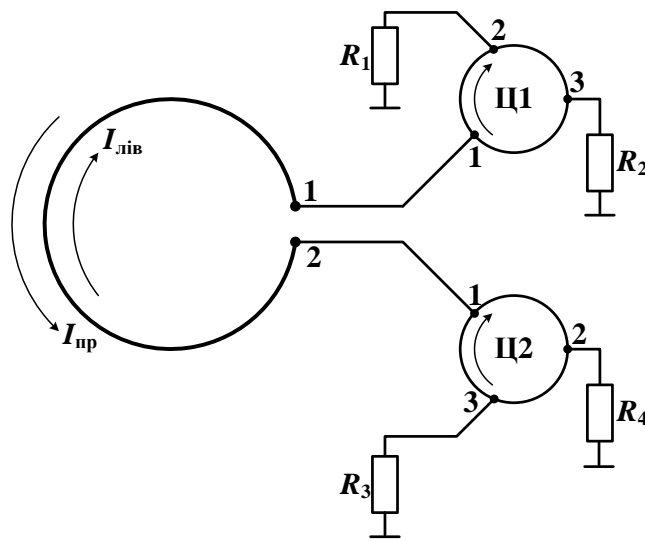


Рис. 2.2. Схема розділення сигналів кільцевої антени на циркуляторах.

Тобто, схема (рис. 2.2.) надає можливість розподілити хвилі струму і напруг правого і лівого обертання. Зрозуміло, що навантаження на кільцеву антену мусить узгоджуватись із вхідним опором, тобто опором випромінювання R_{Σ} . Відрізки з'єднувальних ліній потрібно реалізувати так, щоб їх хвильовий опір дорівнював $W_{\text{лп}} = R_{\Sigma}/2$. Циркулятори роблять так, щоб їх вхідні опори плечей також дорівнювали $R_{\Sigma}/2$, а всі опори, що навантажують плечі циркуляторів, мають бути рівними за величиною і дорівнювати також $R_{\Sigma}/2$. За цих умов всі елементи структурної схеми будуть відповідними між собою і в теорії досягається повний розподіл хвиль правого і лівого обертання [29].

Наступна обробка сигналів може задовольнити вимірювання всіх необхідних величин. Повна структурна схема такої антени наведена на рис. 2.3.

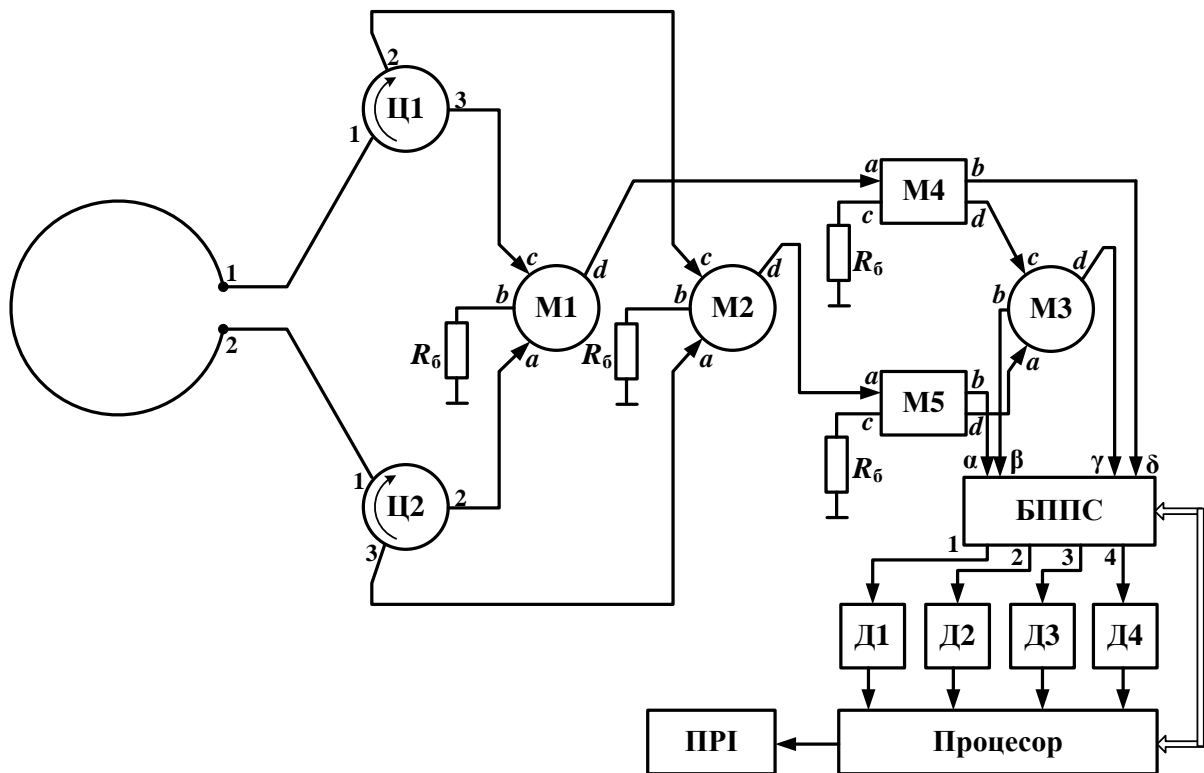


Рис. 2.3. Структурна схема вимірювача параметрів електромагнітного поля на кільцевій антені.

У зіставленні із схемою, зображеною на рис. 2.2., у повній схемі додатково встроєні три кільцевих моста М1, М2 і М3, два квадратних моста М4 і М5, чотири детекторних секції Д1-Д4, чотири баластних опори R_6 , процесор і пристрій реєстрації та індикації результатів вимірювань (ПРІ). Функції опорів $R_1 - R_4$ попередньої схеми здійснюють входні опори мостів М1 і М2. Напруги правого обертання на виході 3 циркулятора Ц1 і на виході 2 циркулятора Ц2 виявляються у протифазі. Тому в плечі d кільцевого моста М1 сформується ціле значення напруги, а в плечі b виникне різниця напруг. Аналогічно і в плечі d моста М2 виникне повна напруга лівого обертання [28].

Оскільки стосовно горизонтальної осі (осі Ox) і антена і схема обробки сигналів симетричні, то значення амплітуд напруг на входах а і с мостів М1 і М2 однакові, а їх різниця (сума протифазних напруг) в плечах b кільцевих мостів дорівнюватиме нулю. Тобто, в принципі через балансні опори R_6 струм не проходитиме.

Для знаходження фазового зсуву ϕ потужності хвиль правого і лівого обертання мостами М4 і М5 поділяються на дві рівні частини. Одна з цих частин, а саме з виходів b , застосовується для створення сигналів з напругами правого і лівого обертання. Інші частини потужностей хвиль надходять на входи a і b кільцевого моста М3 [28]. Потрібною умовою точного вимірювання фази є задоволення однакових довжин шляхів струмів від затискачів 1 і 2 кільцевої антени до плечей a і c кільцевого моста М3. На виході плеча b М3 створиться сума високочастотних напруг $\dot{U}_{\text{пр}} + \dot{U}_{\text{лів}}$ з точністю до множника $1/\sqrt{2}$, а в плечі d – різниця напруг з тим же коефіцієнтом пропорційності.

Для препарування сигналів в процесорі високочастотні напруги зазнають частотного перетворення і підсилення у блоці перетворення і підсилення сигналів (БППС).

Структурна схема БППС у своєму складі має чотири канали перетворення напруг і кола корекції їх коефіцієнтів передач (рис. 2.4.).

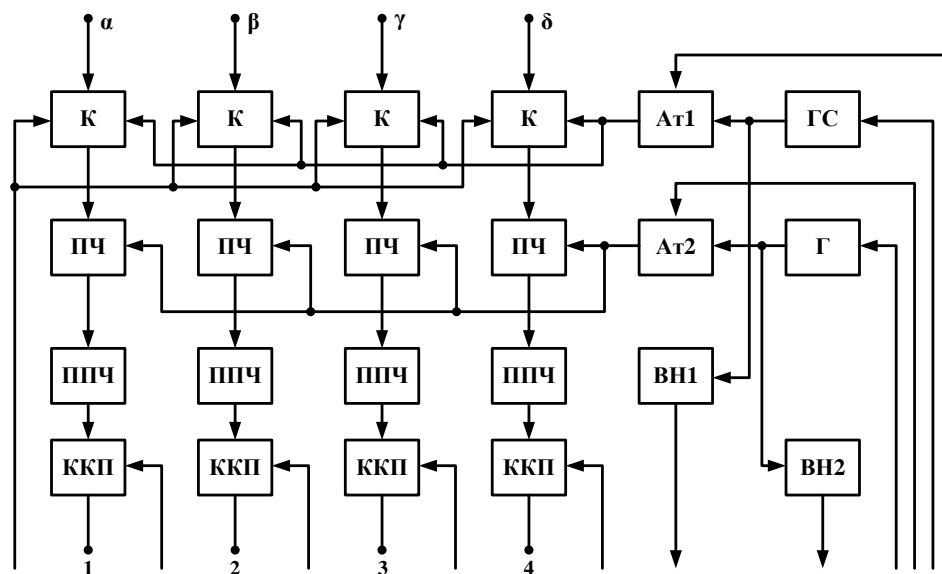


Рис. 2.4. Структурна схема блока перетворення і підсилення сигналів.

На вході БППС α , β , γ , δ надходять сигнали з мостів М3, М4 і М5. Однотипні комутатори K в режимі «Вимірювання» об'єднують входи БППС з входами перетворювачів частоти ПЧ, які працюють з одним і тим самим гетеродином Γ ,

що гарантує збереження фазових співвідношень напруг [29]. Атенюатором АТ2 процесор піддержує стабільну напругу гетеродина, яка вимірюється вимірювачем напруг ВН2. Інформація з виходу ВН2 прибуває до процесора і застосовується для встановлення необхідного коефіцієнта атенюації.

Перетворені за частотою напруги підсилюються підсилювачами проміжної частоти (ППЧ) і через коректори коефіцієнтів передач (ККП) каналів прибувають на виходи 1,2,3 і 4 БППС [28].

Щоб задовольнити однакові значення коефіцієнтів передач у кожному каналі застосовується генератор контрольного сигналу (ГС), атенюатор АТ1 і вимірювач напруги ВН1. В режимі «Контроль» процесор відмикає входи БППС від перетворювачів частоти за допомогою комутаторів. Вмикає ГС і керує атенюатором встановлює потрібний рівень напруги узгоджено з даними вимірювача ВН1. Вихідні напруги кожного каналу після детектування детекторами Д1-Д4 (рис. 2.3.) прирівнюються між собою і заздалегідь заданим рівнем у процесорі. У наслідок такого аналізу приводяться в дію коректори ККП і досягається потрібний рівень коефіцієнта передач кожного каналу [29].

Тобто, в режимі «Вимірювання» на входах детекторів Д1-Д4 появляються високочастотні напруги. Через те що мостами М4 і М5 потужності хвиль струму діляться надвоє, то значення випрямлених напруг після детекторів будуть розходитися з значеннями [29]. З виходу детектора Д1 на вході процесора буде діяти напруга:

$$U'_{\text{лів}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_{\text{лів}}^A = E_2 \cdot I_{\text{д}}.$$

На виході детектора Д2 появиться напруга:

$$U'_{\Sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot |U_{\text{пр}} + U_{\text{лів}}| = \sqrt{(U'_{\text{пр}})^2 + (U'_{\text{лів}})^2 + 2 \cdot U'_{\text{пр}} \cdot U'_{\text{лів}} \cdot \cos(\phi)}.$$

На виході детектора Д3 - амплітуда різниці високочастотних напруг:

$$U'_{-} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot |U_{\text{пр}} - U_{\text{лів}}| = \sqrt{(U'_{\text{пр}})^2 + (U'_{\text{лів}})^2 - 2 \cdot U'_{\text{пр}} \cdot U'_{\text{лів}} \cdot \cos(\phi)}.$$

На виході детектора Д4 – напруга, пропорційна напруженості поля правого обертання:

$$U'_{\text{пр}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U^A_{\text{пр}} = E_1 \cdot l_{\text{д}}.$$

Фазовий зсув за результатами амплітудних вимірювань обчислюємо як:

$$\cos(\phi) = \frac{(U'_{\Sigma})^2 - (U'_{-})^2}{4 \cdot U'_{\text{пр}} \cdot U'_{\text{лів}}}.$$

Коефіцієнт еліптичності і його знак виявляються за формулою (2.18).

2.3. Структурна схема двокільцевої вимірювальної антенної системи

Вимірювання азимуту напряму розповсюдження радіохвиль зобов'язує застосування або гостронапрявленої антени, або декількох приймальних антен. Через те що кільцева антена є слабонапрявленою, то потрібно виконувати пеленгацію джерел випромінювання системою кільцевих антен [30]. На рис. 2.5. відображена функціональна схема антенної системи, за сприяння якої можемо з'ясувати як параметри електромагнітного поля, так і напрям приходу електромагнітних хвиль.

З двох кільцевих антен АК₁ і АК₂ через блоки формування напруг БФН₁ і БФН₂ струми приходять до трьох кільцевих мостів КМ₁, КМ₂ і КМ₃. Зрозуміло, що через вхідні плечі кожного моста 1 та 3 проходять струми від першого і другого кільця і будуть пропорційні відповідно модулям векторів напруженості

електричного поля правого та лівого обертання, а також сумарному вектору напруженості [30]. Тобто, на виході 2 кільцевого моста КМ₁ з'явиться напруга:

$$\dot{U}'_{\text{пр}} = \dot{U}'_{\text{пр1}} + \dot{U}'_{\text{пр2}},$$

а на виході 4:

$$\dot{U}''_{\text{пр}} = \dot{U}_{\text{пр1}} + \dot{U}_{\text{пр2}},$$

де $\dot{U}'_{\text{пр1}}$ – напруга на виході блока формування напруг антени АК₁; $\dot{U}'_{\text{пр2}}$ – напруга на виході БФН₂ антени АК₂.

На виходах моста КМ₂ виникнуть напруги:

$$\dot{U}'_{\text{пр}} = \dot{U}_{\text{лів1}} + \dot{U}_{\text{лів2}};$$

$$\dot{U}''_{\text{лів}} = \dot{U}_{\text{лів1}} - \dot{U}_{\text{лів2}}.$$

На виходах 2 і 4 моста КМ₃ створяться такі напруги:

$$\dot{U}'_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma1} + \dot{U}_{\Sigma2};$$

$$\dot{U}''_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma1} - \dot{U}_{\Sigma2}.$$

Сумарні і різницеві напруги приходять на входи комутатора К, за допомогою якого утрамбовується лінія передачі, що складається з конвертера Кн., перетворювача частоти ПЧ, підсилювача проміжної частоти ППЧ і блока виокремлення каналів БВК. Дякуючи такому способу обробки сигналів можна з більшою точністю зберегти всі амплітудні співвідношення між прийнятими антенами сигналами [31]. Після відокремлення сигналів перетворені за частотою і ідентично підсилені напруги приходять до блоку детекторів (БД), на виході якого

одержимо постійні напруги пропорційні амплітудам високочастотних напруг $\dot{U}'_{пр}$, $\dot{U}''_{пр}$, $\dot{U}'_{лів}$, $\dot{U}''_{лів}$, \dot{U}'_{Σ} та \dot{U}''_{Σ} .

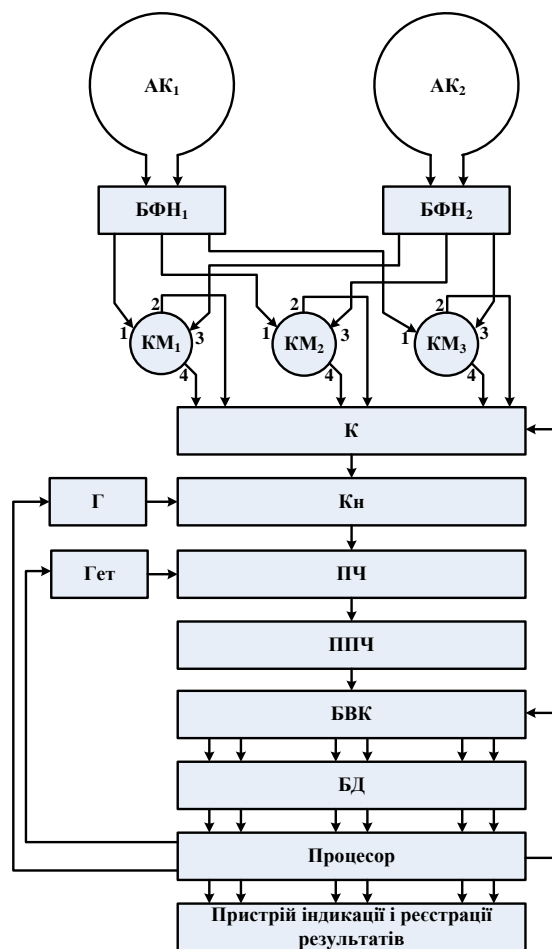


Рис. 2.5. Функціональна схема антенної системи.

В процесорі обраховується значення напруженості електричного поля (модуль векторів) $E_{пр}$, $E_{лів}$, E_{Σ} ; параметрів поляризації ($\pm K_e$, γ) і напрям приходу хвилі (азимутальний кут φ). Наслідок обчислень виводяться на екран пристрою індикації, а за потрібністю, можуть бути зареєстрованими.

Програми обробки сигналів ґрунтуються на таких твердженнях. Нехай відстань між випромінювачами AK_1 і AK_2 дорівнює d . Якщо хвиля падає на антенну систему під кутом φ до перпендикуляра, проведеного в горизонтальній площині відносно прямої, що з'єднує центри кілець AK_1 і AK_2 [31], то на затискачах створюються напруги:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{\text{пр}1} &= \dot{U}_{\text{пр}.m1} \cdot e^{ik\frac{d}{2}\sin(\varphi)}; \\ \dot{U}_{\text{пр}2} &= \dot{U}_{\text{пр}.m2} \cdot e^{-ik\frac{d}{2}\sin(\varphi)} \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

де прийнято, що джерело електромагнітних хвиль знаходиться зліва відносно антени (рис.2.5.), $\dot{U}_{\text{пр}.m1}$, $\dot{U}_{\text{пр}.m2}$ – комплексні амплітуди напруг на затискачах. Приймаємо, що фронт хвилі в місці розташування антенної системи локально плоский. Тоді:

$$\dot{U}_{\text{пр}.m1} = \dot{U}_{\text{пр}.m2} = \dot{U}_{\text{пр}.m}. \quad (2.20)$$

Враховуючі рівняння (2.20) і значення напруг (2.19), розраховуємо суму напруг:

$$\dot{U}'_{\text{пр}} = 2 \cdot \dot{U}'_{\text{пр}.m} \cdot \cos\left(k\frac{d}{2}\sin\varphi\right), \quad (2.21)$$

та їх різницю:

$$\dot{U}''_{\text{пр}} = i \cdot 2 \cdot \dot{U}_{\text{пр}.m} \cdot \sin\left(k\frac{d}{2}\sin\varphi\right). \quad (2.22)$$

На виході блоку детекторів одержуємо модулі виразів (2.21) і (2.22):

$$\left. \begin{aligned} U'_{\text{пр}} &= 2 \cdot U_{\text{пр}.m} \cdot \cos\left(k\frac{d}{2}\sin\varphi\right); \\ U''_{\text{пр}} &= 2 \cdot U_{\text{пр}.m} \cdot \sin\left(k\frac{d}{2}\sin\varphi\right). \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Процесор обраховує за величинами (2.23) напруженість електричного поля з коловою поляризацією правого напрямку обертання:

$$E_{\text{пр}} = K_{o.c} \cdot U_{\text{пр.т}} = K_{o.c} \cdot \frac{\sqrt{(U'_{\text{пр}})^2 + (U''_{\text{пр}})^2}}{2}, \quad (2.24)$$

де $K_{o.c}$ – коефіцієнт пропорційності між вихідними напругами і напруженістю поля; та азимут напрямку приходу хвилі:

$$\varphi = \text{arctg} \frac{U''_{\text{пр}}}{U'_{\text{пр}}}. \quad (2.25)$$

Так само обчислюється напруженість електричного поля лівого напрямку обертання:

$$E_{\text{лів}} = K_{o.c} \cdot U_{\text{лів.т}} = K_{o.c} \cdot \frac{\sqrt{(U'_{\text{лів}})^2 + (U''_{\text{лів}})^2}}{2}, \quad (2.26)$$

і таке ж саме значення азимута:

$$\varphi = \text{arctg} \frac{U''_{\text{лів}}}{U'_{\text{лів}}}. \quad (2.27)$$

Тим же чином знаходиться сумарна напруженість поля:

$$E_{\Sigma} = K_{o.c} \cdot U_{\Sigma} = K_{o.c} \cdot \frac{\sqrt{(U'_{\Sigma})^2 + (U''_{\Sigma})^2}}{2}, \quad (2.28)$$

і напрям приходу хвилі:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{U_{\Sigma}''}{U_{\Sigma}'}. \quad (2.29)$$

Значення азимута (2.25), (2.27) і (2.29) знаходяться з певними похибками, тому похибка вимірювання азимута знижується, якщо застосувати середнє арифметичне кута φ [31].

Коефіцієнт еліптичності і його знак обчислюється за формулою:

$$K_e = \frac{E_{\text{пр}} - E_{\text{лів}}}{E_{\text{пр}} + E_{\text{лів}}}. \quad (2.30)$$

Щоб знайти кут нахилу поляризаційного еліпса, потрібно розкрити залежність сумарної напруги \dot{U}_{Σ} від напруг складових лівого і правого обертання.

Зрозуміло, що сумарна напруженість електричного поля являє собою суму векторів напруженостей складових електричного поля правого і лівого напрямку обертання [32], тобто:

$$\dot{\vec{E}}_{\Sigma} = \dot{\vec{E}}_{\text{пр}} + \dot{\vec{E}}_{\text{лів}}. \quad (2.31)$$

Переключаючись від комплексних значень векторів до напруг на затискачах антени в часовій площині, можемо записати:

$$U_{\Sigma}(t) = \sqrt{2} * l_d \left[E_{\text{пр.м}} * \cos \left(\omega t + \Phi_1 - \frac{\pi}{4} \right) + E_{\text{лів.м}} * \cos \left(\omega t + \Phi_2 + \frac{\pi}{4} \right) \right] \quad (2.32)$$

де Φ_1 і Φ_2 – початкові фазові зсуви (для моменту часу $t=0$); $\sqrt{2} * l_d$ – діюча довжина кільцевої антени (l_d – діюча довжина антени, що знаходиться в режимі приймання хвилі з лінійною поляризацією) [32].

Зважаючи на те, що $U_{\text{пр.м}} = \sqrt{2} * I_{\text{д}} * E_{\text{пр.м}}$ і $U_{\text{лів.м}} = \sqrt{2} * I_{\text{д}} * E_{\text{лів.м}}$, визначимо амплітуду сумарної напруги:

$$U_{\Sigma\text{м}} = \sqrt{U_{\text{пр.м}}^2 + U_{\text{лів.м}}^2 + 2 \cdot U_{\text{пр.м}} \cdot U_{\text{лів.м}} \cdot \cos(\Phi)}, \quad (2.33)$$

де $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - \frac{\pi}{2}$.

Отже, за відомими значеннями напруг (2.24), (2.26) і (2.28) обрахуємо фазовий зсув між напрямками правого і лівого обертання [32]:

$$\cos(\Phi) = \frac{U_{\Sigma\text{м}}^2 - U_{\text{пр.м}}^2 - U_{\text{лів.м}}^2}{2 \cdot U_{\text{пр.м}} \cdot U_{\text{лів.м}}}. \quad (2.34)$$

Кут нахилу поляризаційного еліпса γ визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{\Phi + \frac{\pi}{2}}{2}. \quad (2.35)$$

Відраховується кут γ від прямої, що проходить по діаметру кільця (АК1 або АК2) через середину проміжку між затискачами антени [32].

Висновки

З дослідження поляризаційних властивостей кільцевої антени випливає, що кільцеву антену можемо застосовувати для розкладання електромагнітних хвиль з будь-якою поляризацією на складові в коловому ортогональному поляризаційному базисі. Застосування двокільцевої антени надає можливість з'ясувати напрям приходу хвилі і її поляризаційні властивості. Синтезована схема відокремлення наведених в антені струмів правого та лівого напрямку обертання вектора напруженості електричного поля достатньо проста. Схема створена на

пасивних лінійних елементах надвисоких частот, що гарантує стабільність параметрів і надійність функціонування. Поляризаційні параметри електромагнітних хвиль розраховуються автоматично і для гарантування точності вимірювання потрібно лише суміщати напрям приходу хвилі з віссю антени. Для точного знаходження параметрів поляризації потрібно передбачити роботу антени у двох режимах: пеленгації і вимірювання. Режим пеленгації зобов'язує прив'язки лінії, що з'єднує антену до вибраної системи координат місцевості. Режим вимірювання застосовується після режиму пеленгації і для цього режиму потрібно прогнозувати можливість механічного повороту площин кільцевих антен, щоб сполучити їх осі з напрямом приходу хвилі, отже на кут φ від перпендикуляра до лінії розташування центрів. Потрібно також відмітити простору функціональних зв'язків між результатами вимірювань і параметрами поляризації електромагнітного поля.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АНТЕНИ ВИМІРЮВАЧА НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ

3.1. Огляд програмних продуктів для моделювання антенних систем.

Створено безліч програм для моделювання випромінюючих систем. Розглянемо три з них, які набули найбільшого поширення.

MmanaGal. Дана програма використовує для моделювання випромінюючих лінійних елементів метод моментів [35-37] (рис. 3.1). Серед функцій програми можна виділити наступні: розрахунок будь-якого типу антен, які можна представити у вигляді довільного набору дротів; здійснення розрахунку антени на будь-якій частоті; створення і редагування опису антени як по цифровим координатам, так і в графічному редакторі тощо.

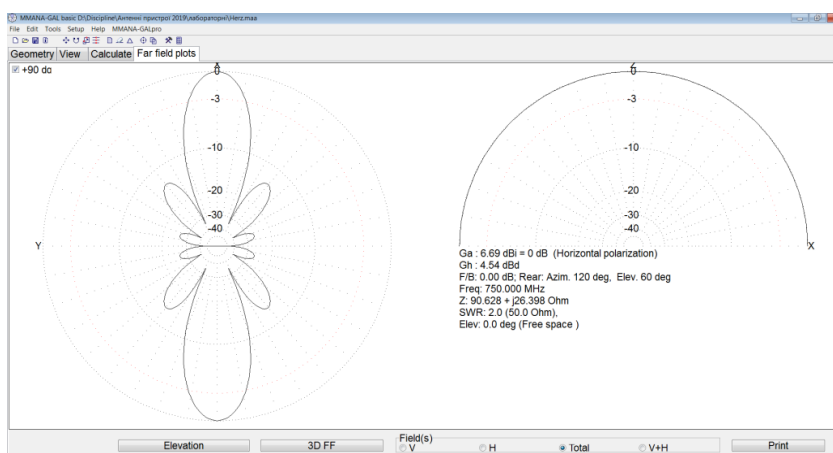


Рис. 3.1. Інтерфейс програми MmanaGal

Разом з перевагами програми існують і недоліки програми MmanaGal – складність побудови антен з апертурою.

Ansoft HFSS (рис. 3.2) – пакет програм, який обчислює багатомодові S-параметри і електромагнітні поля в тривимірних пасивних структурах довільної форми [38-40]. Розрахунок базується на методі кінцевих елементів, що включає адаптивне генерування і розподіл осередків – чисельній процедурі вирішення завдань, сформульованих у вигляді диференціального рівняння або варіаційного принципу.

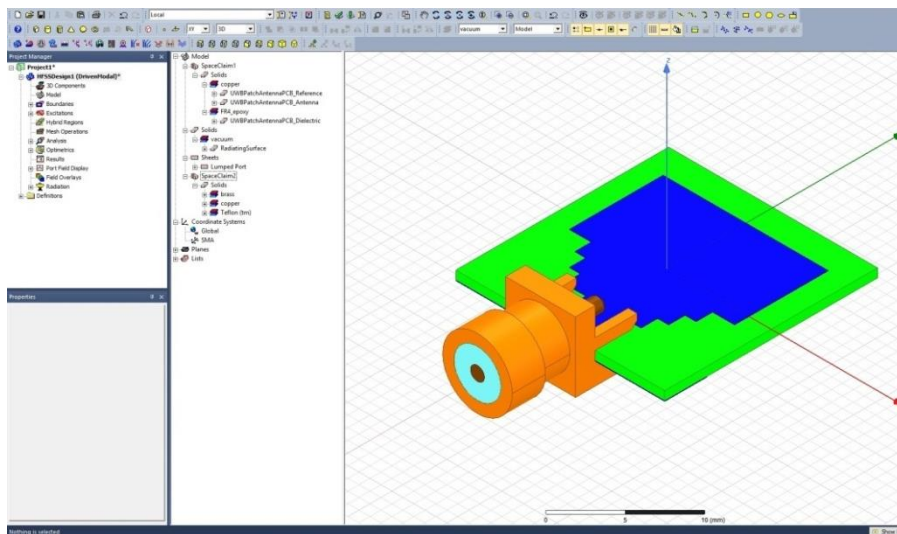


Рис. 3.2. Інтерфейс програми HFSS

HFSS надає можливості для моделювання антен, подільників потужності, схем комутації, хвилеводних елементів, фільтрів НВЧ і тривимірних неоднорідностей, опис яких зводиться до створення точного креслення і властивостей структури.

FEKO (рис. 3.3). Дана програма призначена для вирішення широкого кола завдань, які пов'язані з проектуванням НВЧ пристроїв і антен, розсіюванням електромагнітних хвиль, поширенням радіохвиль в різних середовищах і умовах.

Головною особливістю програми FEKO [41-43] є поєднання базового методу моментів з наближеними аналітичними методами (методом фізичної оптики і однорідної теорії дифракції), що дозволяє подолати великі витрати ресурсів при моделюванні об'єктів з розмірами, які набагато більше ніж довжина хвилі. В результаті з'являється можливість вирішення таких завдань, як розсіювання

радіохвиль на літаку або кораблі і поширення радіохвиль в міських умовах з хорошою точністю.

Базовим методом FEKO є метод моментів – спосіб вирішення інтегральних рівнянь. На відміну від методу скінченних елементів, де простір розрахунку замкнутий і обмежений, метод, в основі якого лежить рішення інтегральних рівнянь, не обмежує величину завдання.

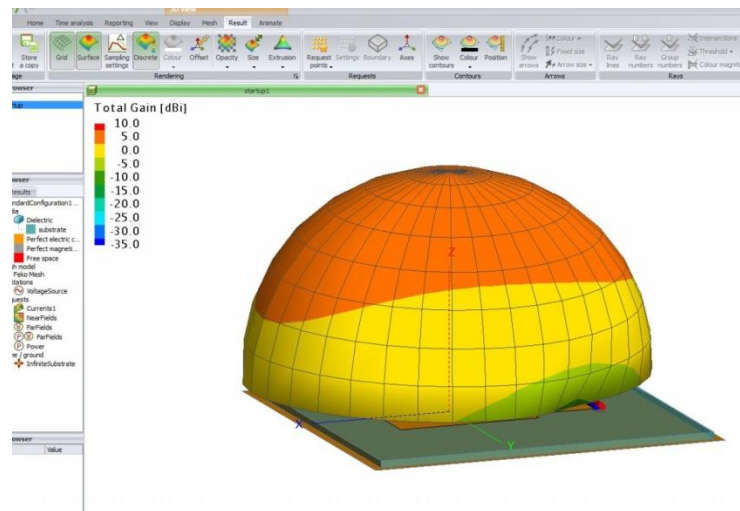


Рис. 3.3. Інтерфейс програми FEKO

3.2. Моделювання вимірювальної антенної решітки

Як відомо, вимірювальні антенні системи працюють тільки в режимі прийому. При падінні на кільцевий елемент антенної решітки електромагнітної хвилі вздовж неї утворюється біжуча хвиля струму. Тобто для дослідження характеристик кільцевого елемента необхідно змоделювати кільцеву антену з біжучою хвилею. На рис. 3.4 представлено мікросмужковий кільцевий елемент двоелементної антенної решітки, який працює в режимі передачі і живиться несиметричною смужковою лінією таким чином, щоб вздовж кільця утворився режим біжучих хвиль.

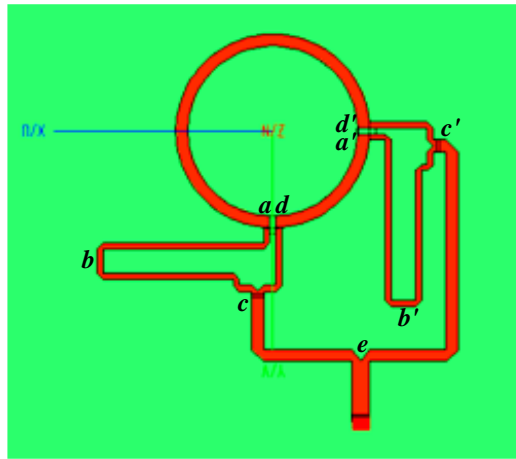


Рис. 3.4. Схема друкованої кільцевої антени з біжучою хвилею струму

Для розрахунку розмірів конструкції двокільцевої антенної решітки використаємо наступні співвідношення:

1. Середній радіус кільця [44]:

$$r = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}},$$

де $F = \frac{8,791 \cdot 10^9}{f \sqrt{\epsilon_r}}$, ϵ_r – відносна діелектричною проникністю підкладки; h – товщина діелектричної підкладки; f – центральна частота роботи.

2. Принцип побудови мікросмушкових ліній живлення (рис. 3.5) можуть бути описані наступними співвідношеннями:

$$abc = a'b'c' = cd + \Lambda/2 = c'd' + \Lambda/2;$$

$$ce = c'e + \Lambda/4,$$

де $\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}}$ – довжина хвилі в діелектрику.

3. Ширина смужкових ліній живлення розраховується за наступними відомими формулами [45]. Перш за все, обчислюються три допоміжні величини:

$$A = \frac{Z_{\text{вх}}}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r} \right),$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_{\text{вх}} \sqrt{\varepsilon_r}},$$

$$C = \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\varepsilon_r}.$$

Наступним кроком є обчислення ширини смужки w :

$$\frac{w}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}, & \text{якщо } \frac{w}{h} < 2; \\ 2\pi \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r} C \right], & \text{якщо } \frac{w}{h} > 2, \end{cases}$$

де $Z_{\text{вх}}$ – вхідний опір мікросмужкової лінії живлення.

Модель друкованої антени була досліджена для частот 2,2-2,6 ГГц. Підкладка вибрана з товщиною 0,25 см і з відносною діелектричною проникністю $\varepsilon_r = 4,4$, тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta = 0,017$. Середній радіус кільця дорівнює 1,7 см. На рис. 3.5-3.8 представлені основні характеристики роботи кільцевого елемента антенної решітки.

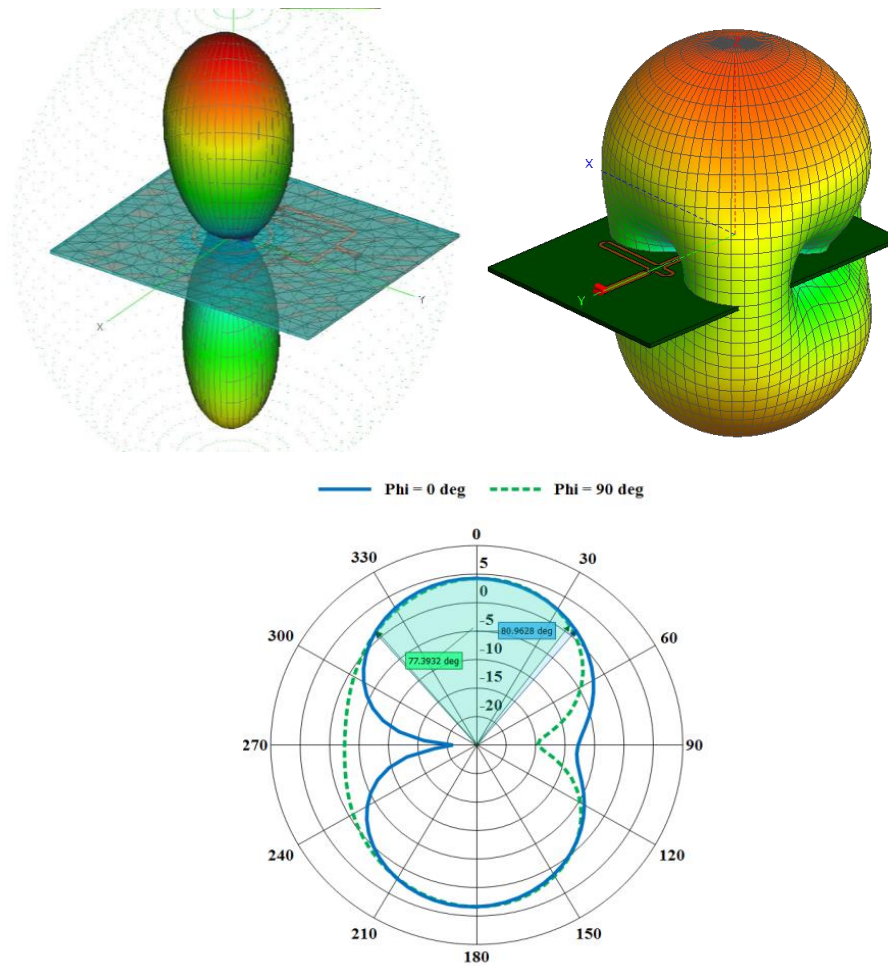


Рис. 3.5. Діаграма спрямованості (ДС) кільцевого елементу антенної решітки.

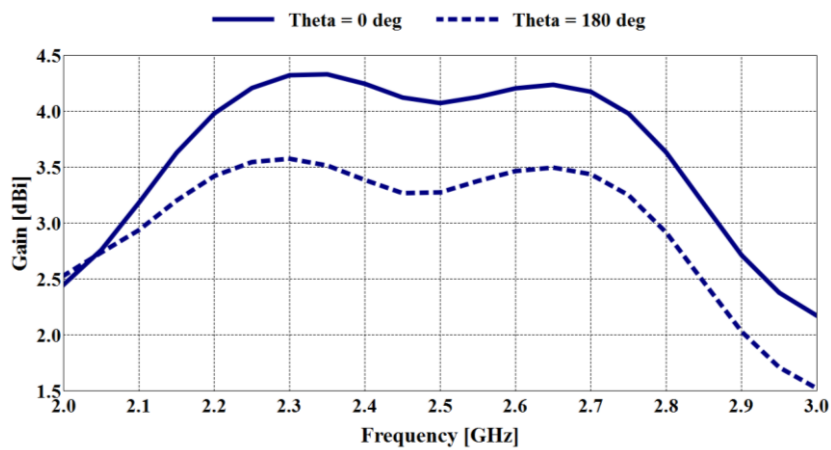


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнту підсилення мікросмушкової кільцевої антени від частоти роботи

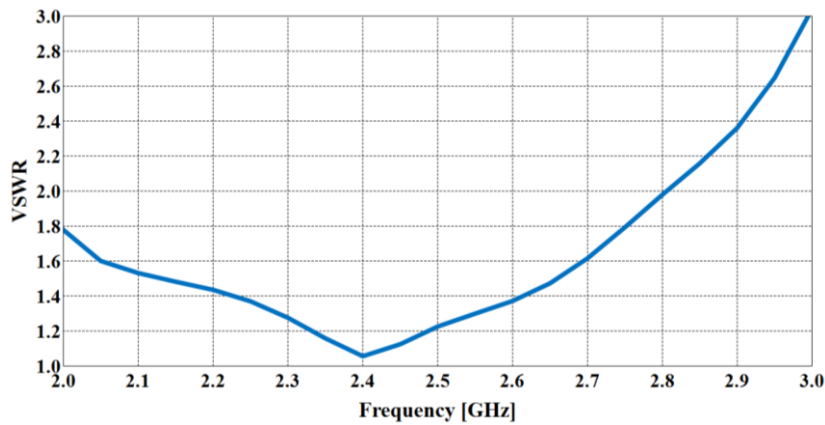


Рис. 3.7. Залежність коефіцієнту стоячої хвилі за напругою мікросмушкової кільцевої антени від частоти роботи

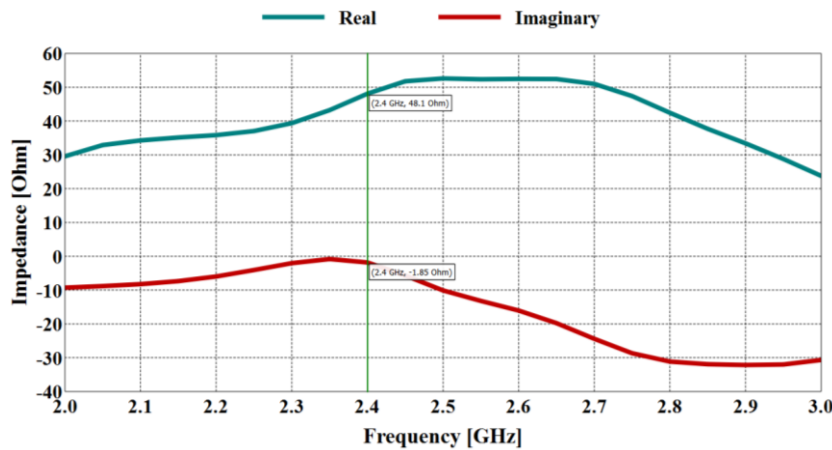


Рис. 3.8. Залежність вхідного опору мікросмушкової кільцевої антени від частоти роботи

Наступним кроком даного дослідження буде поєднання двох кільцевих мікросмушкових елементів в антенну решітку (АР). Відстань між центрами кільцевих елементів дорівнює середній робочій довжині хвилі з врахуванням впливу діелектрика підкладки.

На рис. 3.9-3.11 представлені основні характеристики роботи двокільцевої антенної решітки.

Для розрахунку коефіцієнту корисної дії (ККД) одиничного кільцевого елементу і двоелементної кільцевої антенної решітки необхідно порівняти графіки для коефіцієнта підсилення (КП) і коефіцієнта спрямованої дії (КСД), які показані на рис. 3.12.

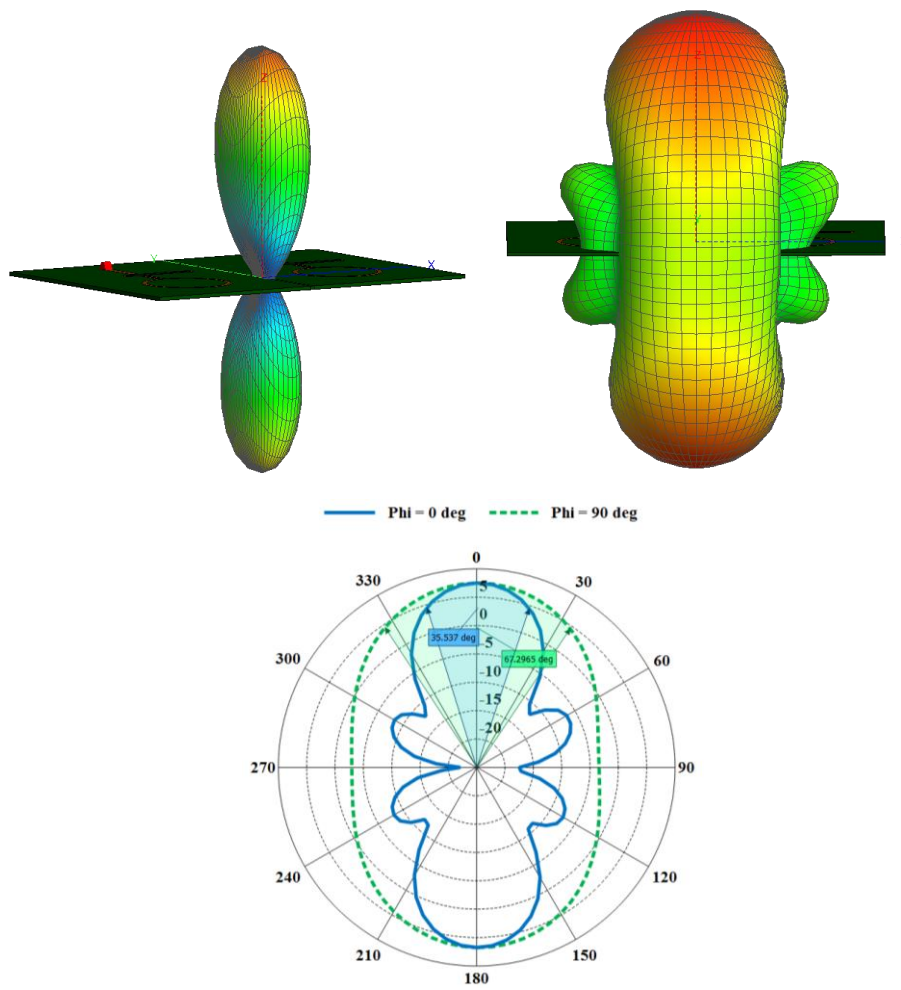


Рис. 3.9. Діаграма спрямованості двокільцевої антенної решітки.

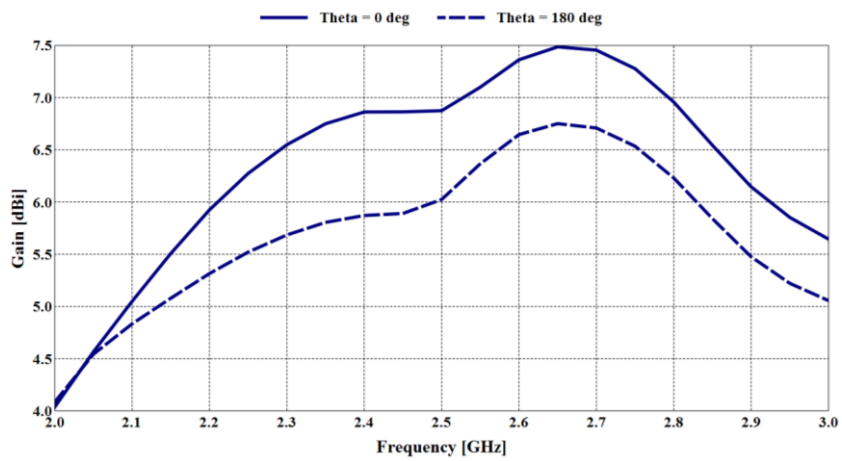


Рис. 3.10. Залежність коефіцієнту підсилення мікросмужкової двокільцевої антенної решітки від частоти роботи

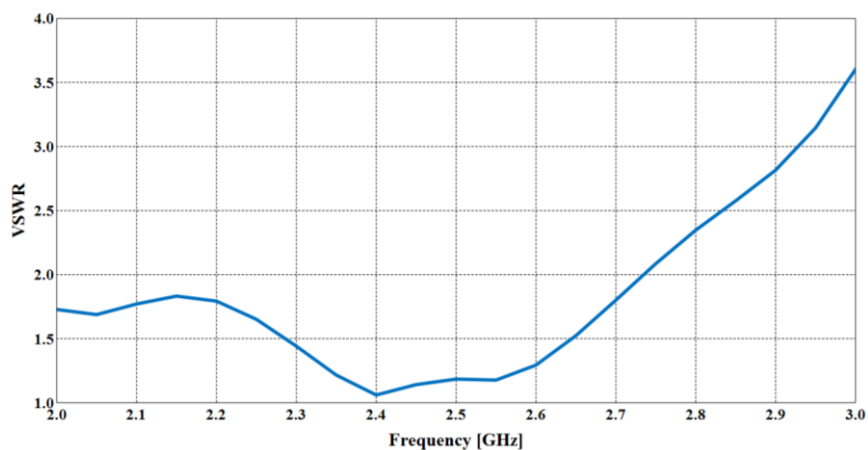
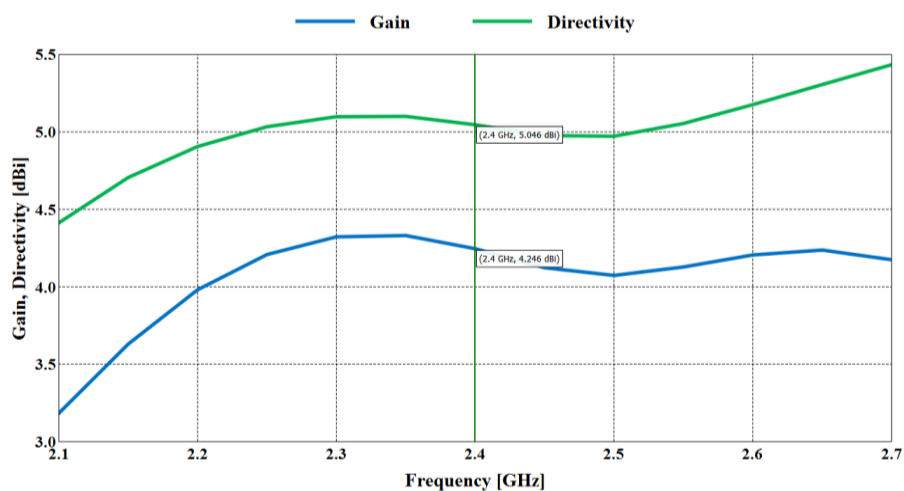
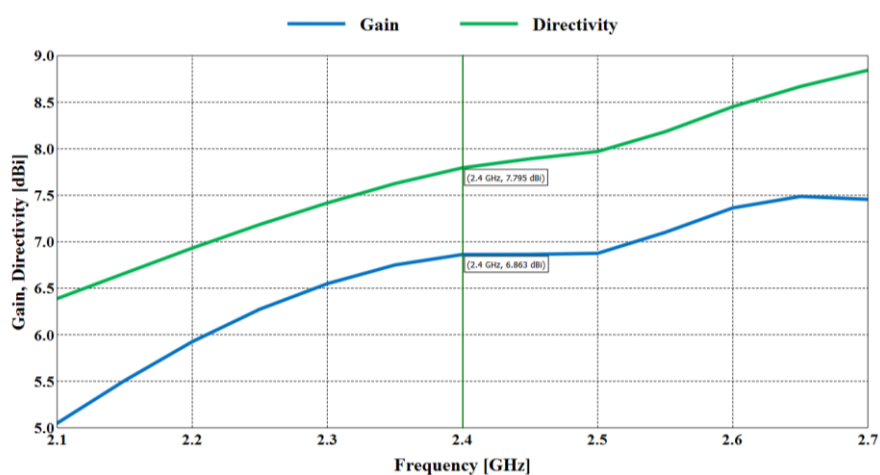


Рис. 3.11. Залежність коефіцієнту стоячої хвилі за напругою мікросмугової двокільцевої антенної решітки від частоти роботи



a



б

Рис. 3.12. Залежність КП та КСД від частоти роботи: *a* – для одного кільцевого елемента антенної решітки; *б* – для двоелементної кільцевої антенної решітки.

Коефіцієнт корисної дії розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{G(\theta, \varphi)}{D(\theta, \varphi)}.$$

Отримуємо ККД на центральній частоті роботи:

$$\text{для одного кільця } \eta_k = \frac{4,246}{5,046} = 0,84;$$

$$\text{для антенної решітки } \eta_{AP} = \frac{6,863}{7,795} = 0,88.$$

Висновок

У даному розділі було розраховано параметри узгодження і характеристики випромінювання двоелементної антенної решітки з кільцевих мікросмужкових елементів, яка може бути використана як вимірювальна антена для антенної системи радіомоніторингу.

Моделювання показало гарне узгодження як одного кільцевого елементу решітки, так і двоелементної конструкції зі стандартною лінією живлення в 50 Ом. Коефіцієнт стоячої хвилі в смузі робочих частот не перевищує значення 1,1.

При порівнянні діаграм спрямованостей одного кільця і кільцевої AP було відмічено звуження ДС AP в площині розміщення двох елементів. Значення ширини діаграми спрямованості за половинною потужністю випромінювання дорівнює 81 град. і 36 град. відповідно для одиночного елементу і системи з двох кільцевих елементів.

Коефіцієнт підсилення у випадку використання двоелементної кільцевої AP підвищується практично до 7 дБі від 5 дБі одного кільцевого елементу, що суттєво може збільшити радіус дії антени. У разі збільшення кількості кільцевих елементів в AP наприклад до чотирьох елементів (AP 2 x 2), можемо очікувати звуження ДС у двох площинах і, відповідно, підвищення КП на 2 дБі, як мінімум.

ККД кільцевого елемента і антенної решітки, які було виготовлено за допомогою друкованих технологій досить високі і становлять 84% і 88% відповідно.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів у робочій зоні

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори регламентуються стандартом ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перед тим, як перерахувати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, необхідно виявити, в якому приміщенні буде експлуатуватися випробувальний стенд з точки зору безпеки ураження людини електричним струмом [46].

Всі виробничі приміщення за безпекою ураження людини електричним струмом діляться за трьома класами:

- з великою безпекою;
- особливо небезпечні;
- без великої безпеки.

До приміщень без великої безпеки відносяться приміщення, в яких відсутні умови, що викликають велику чи особливу безпеку. До таких відносяться приміщення з дерев'яними полами, з регульованою температурою повітря. Це адміністративно-управлінські приміщення, лабораторії тощо. Безпека ураження електричним струмом залежить від метеорологічних умов та навколишньої виробничої ситуації. Навколишні умови дають можливість сприянню збільшення чи зменшення безпеки ураження людини електричним струмом [46].

Випробувальний стенд буде експлуатуватися тільки у випробувальних лабораторіях, де причинами ураження людини електричним струмом в аварійній ситуації є: доторкання до відкритих токопровідних частин, наприклад, при

знятому корпусі стенду, при пробі ізоляції, обриві, перетиранні проводів і замиканні на корпус. Так як випробувальний стенд буде експлуатуватися у лабораторії, то до небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться слідуєчі [51]:

- велика температура поверхні обладнання;
- велике значення напруги постійного та змінного струмів електричного кола; стенду, замикання яких аварійній ситуації може відбутися через тіло людини;
- відсутність чи недостатня освітленість у випробувальній лабораторії;
- шум.

4.2 Технічні та організаційні заходи по зменшенню рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Перерахованні вище небезпечні і шкідливі фактори у тій або іншій мірі впливають на здоров'я людини. Вплив одного фактора часом виявляється у людини як втома, запаморочення, головний біль, загальне нездужання. Все це знижує продуктивність його праці [51]. Постійне, тривале перебування людей у такій обстановці призводить до виникнення хронічних захворювань. Інші чинники позначаються на здоров'ї людини миттєво, приносячи йому фізичний біль, травмування, утрату свідомості, а в деяких випадок і смерть.

4.2.1 Заходи по захисту від ураження електричним струмом

Поява електричного струму на нетоковедучих елементах конструкції випробувального стенду, а також ушкодження ізоляції електропровідних елементів приладу можуть призвести до замикання електричного кола через тіло людини.

Відповідно до Уэ-2007 «Правил устроєства електроустановок» всі електроустановки поділяються на два класи: із напругою до 1000 В та з напругою

вище 1000 В. Заходи щодо забезпечення електробезпечності розробляються, у першу чергу, виходячи з того, до якого з цих класів відноситься проектувана електроустановка [51].

Захист від поразки при доторку до частин, що нормально не знаходяться, але здатні у випадку пробою ізоляції виявитися під напругою, зазвичай забезпечується захисним заземленням, зануленням [51].

Розрахунок заземлюючого пристрою:

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.030-81 "Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление" вихідними даними для розрахунку заземлюючого пристрою є:

- опір заземлюючого пристрою, $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$;
- питомий опір ґрунту $\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- підвищуючий коефіцієнт сезонності, з урахуванням опору ґрунту $K_{\text{п}}'' = 2$ (для магістралі заземлення) і $K_{\text{п}}' = 1,2$ (для вертикальних електродів заземлення);
- тип заземлювача – куток, його довжина $l = 2,5 \text{ м}$, ширина сторін $b = 0,05 \text{ м}$, розташовані на глибині $0,8 \text{ м}$ нижче рівня землі;
- тип магістралі, що заземлює – смугова, її ширина $b = 0,04 \text{ м}$, глибина закладення $h = 0,8 \text{ м}$;
- вид розміщення вертикальних заземлювачів – у ряд, відстань між ними

$$a = \frac{5 \cdot a}{l} = 2 \text{ м}$$

Розрахунок виконується в такій послідовності:

1. Визначаємо розрахункове значення питомого опору ґрунту для вертикальних заземлювачів ($\rho'_{\text{разр}}$):

$$\rho'_{\text{разр}} = \rho'_{\text{Кп}} = 24 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

2. Розраховуємо опір розтіканню струму для одиночного куткового заземлювача:

$$R_T = \frac{\rho'_{расч}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4.2l}{b} = \frac{24}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \cdot \ln \frac{4.2 \cdot 2.5}{0.05} = 8,17 \text{ Ом}$$

3. Визначаємо умовну кількість вертикальних заземлювачів за формулою:

$$n' = R_t/R_{доп} = 2,04 \text{ шт.}$$

4. У залежності від умовної кількості заземлювачів (n'), відношення та виду розміщення вертикальних заземлювачів (у ряд), знаходимо коефіцієнт використання заземлювачів із куткових ($\eta_{эм}$), що враховує взаємне екранізування кутків: $\eta_{эм} = 0,77$

5. Визначаємо дійсну уточнену кількість вертикальних заземлювачів за формулою:

$$n = n'/\eta_{эм} = 3$$

6. Обчислюємо довжину магістралі, що з'єднують вертикальні заземлювачі, за формулою:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n = 15,75 \text{ м}$$

7. Визначаємо опір розтіканню струму для магістралі, що заземлює, за формулою:

$$R_M = \frac{\rho''_{расч}}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4.2L^2}{bh} = \frac{40}{2 \cdot 3.14 \cdot 15.75} \cdot \ln \frac{15.75^2}{0.04 \cdot 0.8} = 3.6 \text{ Ом};$$

де L – довжина смуги, м, b – ширина смуги, м ; d – діаметр провідника, м;
 h – глибина закладення магістралі, м.

8. У залежності від виду розміщення вертикальних заземлювачів визначаємо коефіцієнт використання $\eta_{\text{эм}}$ магістралі , що заземлює , (сполучної смуги), що враховує взаємне екранізування магістралі і вертикальних заземлювачів $\eta_{\text{эм}} = 0,9$.

9. Обчислюємо опір розтіканню всього заземленого пристрою , по формулі:

$$R_3 = \frac{R_T \cdot R_M}{R_T \cdot \eta_{\text{эм}} + R_M \cdot \eta_{\text{эм}} \cdot n} = \frac{3.6 \cdot 8.17}{8,17 \cdot 0.9 + 3.6 \cdot 0.77 \cdot 3} = 2.9 \text{ Ом}$$

Далі відповідно до ПУЭ вибираємо заземляючі провідники і метод з'єднання провідників та заземлювачів

10. Розрахунок перетину провідника, що заземлює.

Перетин провідника, що заземлює, розраховуємо за формулою:

$$S \geq \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{сп}}}}{272} \geq 0,05 \text{ мм}^2,$$

де S – перети заземлюючого провідника, мм^2 ; I – струм короткого замикання (для електроустановк до 1000 В $I_{\text{кз}}=125/R_3=65,8\text{А}$, $R_3=2,9 \text{ Ом}$); $T_{\text{сп}}$ – час спрацьовування захисту ($t_{\text{сп}}=0,1 \text{ с}$).

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-82 ”Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов” електроустановки приєднуються до внутрішньої магістралі за допомогою мідних і алюмінієвих провідників із перетином 4-6мм. Прокладку заземлюючих провідників із смугової сталі, рекомендується проводити відкрито по конструкції будинку, із метою більш доступного їх догляду [53].

Приєднання дроту, що заземлює, до частин устаткування повинно бути виконано зварюванням або болтовим з'єднанням. Воно повинно бути доступно

для огляду. Для болтового з'єднання повинні бути передбаченні заходи що до запобігання корозії з'єднання [53].

Засоби захисту від статичної електрики. Статична електрика, що виникає на усіх етапах процесу виробництва відноситься до шкідливих факторів. Заряд статичної електрики призводить до іскроутворення що може стати причиною спалаху, виходу із ладу інтегральних мікросхем.

Небезпеку представляють іскрові розряди із діелектричних, а також з ізолюованих металевих поверхнь, що являються причиною запалення і вибуху суміші повітря із пилом, газом і парою. Запалююча дія залежить від енергії, що виділяється при розряді статичної електрики. $W=0,5CU$, де: C – ємкість системи; U -потенціал системи. У результаті дії індукційного ефекту при руху людини, тертті об одяг, обшивку столів, стільців, панелей – обслуговуючий персонал може заряджатись до потенціалу $U=40$ кВ [53].

Вплив електростатичного розряду стає відчутним для людини при $U>3$ кВ. Стійка іскра може виникнути вже при 5 кВ, при розряді потенціалу до 25 кВ на людину спостерігається легка судорога, а при потенціалі більш ніж 35 кВ – гостра судорога.

Для оцінки значення потенціалу на бавовняний одяг людини, що працює з РЕО, отримано експериментальне вираження: $U=2,5-0,049\zeta$, де ζ – вологість навколишнього середовища, %;

Класифікація основних засобів захисту від статичної електрики приведена у ГОСТ 12.4.124-83 "Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования" [51].

Для усунення причин утворення статичного заряду необхідно застосовування провідних матеріалів для покриття підлог, панелей, робочих столів, стільців, а також взуття і одягу обслуговуючого персоналу.

Для зниження ступеню електризації і підвищення провідності діелектричних поверхонь, варто підтримувати відносну вологість повітря на рівні максимально припустимого значення по ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны". При контакті взуття із підлогою необхідно

забезпечити беззупинний відтік заряду. Цього можна досягти, якщо опір покриття і взуття не перевищує 10^6 Ом [51].

На робочих місцях всі металеві і електропровідні неметалеві частини технологічного, вимірювального та обслуговуємого устаткування заземлюються. При проведенні технічного обслуговування і ремонту проектного пристрою робітник, що виконує роботи, повинен стояти на діелектричному килимку і застосовувати інструмент з ізольованими рукоятками.

4.2.2 Забезпечення нормального освітлення робочої зони

Від стану виробничого освітлення у приміщеннях, на робочих місцях підприємств у значній мірі залежить безпека праці, продуктивність праці і якість продукції [46].

Якісні і кількісні характеристики виробничого освітлення приведені у нормативно-технічному документі: ДБН В.2.5-28-2006 “Природне і штучне освітлення”.

Приміщення для обслуговування розроблюємого випробувального стенду має параметри: $S=60$ кв.м, ширина $a=6$ м, довжина $b=10$ м.

Норма освітленості даного приміщення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 $E=300$ лк.

Відповідно до вищевказаних норм для освітлення рекомендовано використовувати газоразрядні лампи. Для обмеження сліпучої дії освітлювальних установок і забезпечення задовільної світлопередачі, основним джерелом світла вважаються люмінесцентні лампи низького тиску [46].

4.2.3 Заходи по зменшенню рівня шумів в робочій зоні

Під шумом розуміють будь-які небажані для людини звуки в діапазоні $f=16\dots 20000$ Гц. Область $f>20$ кГц відноситься до ультразвуку, $f<16$ Гц –до інфразвуку. Вібрації представляють собою механічні коливання елементів

конструкції, машин, споруд та інші, що розповсюджуються в пружних середовищах та чинять вплив на людину при поверхневому контакті [56].

Шум, вібрації, ультра- та інфразвук являються шкідливими фізичними виробничими факторами.

Тривалий вплив шуму високої інтенсивності (більше допустимих рівнів) на організм людини може призвести до шумової хвороби, вібрації-до вібраційної хвороби.

В умовах шуму, вібрацій, ультра- та інфразвука знижується розумова та фізична працездатність операторів, погіршується увага, швидкість та якість переробки інформації, зростає кількість помилкових дій, що може призвести до зниження рівня безпеки польотів [56]. Серед професійних хвороб працівників цивільної авіації хвороби, викликані шумовим та вібраційним факторами, займають найбільшу питому вагу.

Ефективний захист працюючих при обслуговуванні та ремонті випробувального стенду від шкідливого впливу шуму може бути забезпечено тільки комплексною реалізацією ряду заходів [56]. До них відносяться: виявлення основних джерел шуму, визначення їх основних характеристик, нормування шуму, забезпечення контролю норм, упровадження малOSHумної техніки, проведення організаційно-технічних та будівничо-запланованих заходів, що передбачають колективний захист від впливу шуму, застосування засобів індивідуального захисту [56].

В якості організаційно-технічних та будівничо-запланованих заходів, зайвий шум усувається використанням амортизуючих прокладок під трансформатори перемінного струму. Норми виробничого шуму встановлені ГОСТ 12.1.003-83 "Шум. Общие требования безопасности" [56]. Для експлуатаційних підприємств цивільної авіації його вимоги з урахуванням особливостей діяльності наземного персоналу, що забезпечує польоти повітряних суден, виражені у галузевому стандарті ГОСТ 54 72001-78 "Шум.

Общие требования безопасности труда на эксплуатационных предприятиях гражданской авиации". Допустимі рівні виробничого шуму на робочих місцях

повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 і ГОСТ 12.1.003-83, а рівні вібрації – вимогам ГОСТ 12.1.012-90 "Вибрационная безопасность. Общие требования" [56]. В цих галузевих стандартах викладені вимоги безпеки виконання робіт в умовах виробничого шуму, порядок контролю характеристик шуму та зміст основних заходів по захисту від шуму.

4.3 Пожежна та вибухова безпека

Під пожежною безпекою розуміється стан об'єкта при якому із установленою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі і впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. А під вибухобезпекою – стан виробничого процесу, при якому виключається можливість вибуху або у випадку його виникнення виключається вплив на людей [47].

Пожежа на даних об'єктах може виникнути під впливом причин електричного і не електричного характеру.

Причини неелектричного характеру:

- порушення пожежної безпеки при користуванні електричним освітленням і паяльним інструментом;
- халатне і необережне поводження з вогнем, паління і т.д.;
- самозаймання і samozапалювання.

Причини електричного характеру:

- коротке замикання, перевантаження, іскріння від порушення ізоляції, що призведе до нагрівання провідників до температури запалення;
- незадовільні контакти в місцях з'єднання провідників і їх сильний нагрів у наслідок великого перехідного опору при протіканні електричного струму;
- іскріння в результаті електростатичного розряду й ударів блискавки;
- несправності в обмотках електричних машин і трансформаторів при відсутності надійного захисту.

Загальні вимоги до систем запобігання пожеж (вибухопопередження) і пожежного захисту (вибухозахисти) регламентуються ГОСТ 12.1.004-91 "Пожарная безопасность. Общие требования", ГОСТ 12.1.009-83 "Пожарная техника для защиты объектов [47]. Основные виды. Размещение и обслуживание" і спеціальною нормативно-технічною документацією.

Оцінку пожежонебезпечних властивостей різноманітних речовин, застосовуваних у процесі експлуатації, технічного обслуговування і ремонту авіаційної техніки й інших пристроїв, машин, апаратури і т.п. здійснюють на основі розрахунків і порівняння коефіцієнта горючості і нижніх і верхніх меж вибуху. При цьому небезпечними та шкідливими факторами є: ударна хвиля на фронті якої тиск перевищує допустимі значення; обладнання, комунікації будівель та споруджень та їх розлітаючихся частини з'явившихся при вибусі та (чи) які виділяються з пошкодженого обладнання; шкідливі речовини, вміст яких в повітрі робочої зони перевищує гранично-допустимі концентрації [47].

4.3.1 Заходи по запобіганню пожежної та вибухової небезпеки

З метою запобігання пожеж, вибухів, аварій від перевантажень і коротких замикань, в електроустановках необхідно здійснювати правильний вибір елементів, електричних вузлів і забезпечити систему електрозахисту, плавкі запобіжники й інші пристрої [47].

При експлуатації РЕО пожежну і вибухову безпеку забезпечують застосуванням вибухозахисних світильників, вибухопожежнебезпечних схем процесів праці, застосуванням методів і засобів запобігання іскріння, а також розрядів електрики.

Для виявлення пожежі в помешканнях рекомендується встановлювати датчики, що спрацьовують як тільки з'явиться дим, або відбудиться підвищення температури, що реагують на відкритий вогонь [47]. У випадку пожежі датчики спрацьовують, пускають у хід сигналізацію й автоматичну систему пожежегасіння.

У ремонтних майстернях технічний персонал повинний мати інструкції по технічному обслуговуванню і протипожежному режиму, принципові схеми з виділеними на них ділянками з високою напругою, графіки ремонту апаратури і приладів. В усіх електромашинних приміщеннях і апаратних повинні бути в достатній кількості засоби індивідуального захисту (гумові килимки, рукавички, галоши, інструмент з ізольованими ручками, заземлюючі пристрої, індикатори напруги і т.п.) [47].

Для промивання і чищення апаратури застосовують негорючі рідини і препарати. Для захисту ланцюгів живлення необхідно використовувати плавкі запобіжники, відповідної величини. Запобіжники запобігають виходу з ладу пристрою і наслідки, що могли б бути при виникненні в ланцюзі короткого замикання [47].

4.4 Інструкція з охорони праці

Інструкція написана згідно з вимогами ОСТ 54 70001-84 "Система стандартів безпеки труда. Порядок разработки, согласования и утверждения инструкций по охране труда в гражданской авиации". До виконання робіт залучаються особи, що вивчили випробувальний стенд, інструкції з технічної експлуатації та техніки безпеки.

1.) Вимоги безпеки перед початком роботи.

1.1.) Уважно оглянути робоче місце, прибрати всі предмети, що заважають роботі.

1.2.) Оглянути устаткування, переконатися у відсутності зовнішніх ушкоджень, надійності заземлення, візуально перевірити його справність. Заземлення устаткування повинно провадитися поза залежністю від ступеня небезпеки приміщення, у якому проводяться роботи.

1.3) При виявленні яких-небудь несправностей повідомити викладачу і приступати до роботи тільки після їхньої усунення.

2.) Вимоги безпеки під час роботи.

2.1.) Включити систему відповідно до інструкції з експлуатації.

2.2.) При відсутності підтвердження про вмикання або наявність сигналу про несправність, повідомити викладача про несправність і приступити до її усунення після вимикання системи.

2.3.) При проведенні регламентних робіт уважно перевірити працездатність усіх підсистем у всіх можливих режимах роботи.

3.) Вимоги безпеки після закінчення робіт.

3.1.) Перевірити працездатність системи, що працює в автоматичному режимі.

3.2.) Упорядкувати робоче місце після виконання роботи.

4.) Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.1.) Тільки з'явиться в системі живлення або інших блоках тріск, характерний для високовольтного пробоя, або дим, негайно виключити напругу живлення.

4.2.) У випадку виникнення пожежі викликати відповідні служби, доповісти змінному інженеру і приступити до гасіння пожежі після попереднього знеструмлення всіх систем.

4.3.) При ураженні людини електричним струмом зразу необхідно надати йому першу медичну допомогу, а при необхідності, викликати швидку допомогу.

Висновок

В даному розділі розглянуті небезпечні та шкідливі фактори, які виникають під час користування вимірювальним комплексом приладів для системи зв'язку та приладами по його ремонту та обслуговуванню. Були наведені технічні заходи, що ліквідують або зменшують дію шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації вимірювального комплексу приладів для системи зв'язку. Також був проведений розрахунок освітлення приміщення в якому проводяться розрахунки. Використовуючи ці дані, можна забезпечити безпечні та не шкідливі умови праці для робітників.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Загальна характеристика електромагнітного випромінювання

Відомо, що навколо кожного електричного заряду існує електричне поле, а кожний електричний заряд, що рухається, створює в навколишньому просторі магнітне поле. Отже, навколо будь-якого об'єкта, яким протікає постійний чи змінний струм, так само, як і навколо будь-якого магніту, що рухається, існує електромагнітне поле (БМП). Інакше кажучи, рух поля одного виду завжди супроводжується появою поля іншого виду: електричне поле, що рухається, створює магнітне, а магнітне поле, що рухається, електричне [60]. Можна вважати, що в електроустановках електричне поле виникає за наявності напруги на струмопровідних частинах, а магнітне - при проходженні струму в проводах.

Простір, що оточує людину, заповнений різними електромагнітними полями, джерела яких, залежно від їх походження, можна розділити на дві групи: природні джерела та штучні джерела [60].

До природних джерел належать; електромагнітне поле Землі, яке в тому числі включає геопатогенні зони; космічні джерела радіохвиль (сонячні спалахи, магнітні бурі, випромінювання зірок тощо); процеси, які відбуваються в атмосфері Землі (блискавки, зміни в іоносфері). До штучних джерел належать пристрої, які спеціально створені для випромінювання електромагнітної енергії (радіо і телевізійні станції, радіолокаційні установки, системи радіозв'язку, фізіотерапевтичні прилади та ін.), а також пристрої, що безпосередньо не призначені для випромінювання електромагнітної енергії в простір (лінії електропередач і трансформаторні підстанції, побутова і промислова техніка, оргтехніка тощо) [60].

Таким чином, спектр частот електромагнітних полів, що оточують людину, охоплює діапазон від 50 Гц і менше до $3 \cdot 10^4$ у 26 ступені Гц. Донедавна небезпечними джерелами промислових ЕМП вважалися в основному випромінювачі радіочастотного діапазону ($3 \cdot 10^4$ у 4 ступені - $3 \cdot 10^8$ у 11 ступені Гц). Серед них називалися потужні установки високочастотного нагрівання, що застосовуються для плавки і кування металів, термічної обробки металів, діелектриків і напівпровідників. Енергію ЕМП використовують також для вирощування напівпровідникових кристалів і плівок, іонізації газів, одержання плазми, при зварюванні в інертних газах, зварюванні та пресуванні синтетичних матеріалів та ін. Як правило, при цих процесах виникають поля, що в сотні разів перевищують середнє природне поле Землі. Випромінювання надвисоких частот ($3 \cdot 10^4$ у 4 ступені - $3 \cdot 10^8$ у 11 ступені Гц) утворюють і побутові прилади: НВЧ-печі, телевізори, монітори, стільникові телефони та ін.

Разом із тим у 60-х роках ХХ сторіччя з'явилася перша публікація про симптоми захворювань, що виявлені у працівників високовольтних електричних підстанцій промислової частоти (50 Гц). Установлено, що сильні ЕМП діють при експлуатації відкритих розподільних пристроїв і повітряних ліній електропередач напругою понад 330 кВ (500, 750, 1150 кВ), тому, згідно із санітарними нормами, такі лінії не повинні проходити по території населених пунктів [60].

Нині вчені заговорили вже і про шкідливу дію звичайних побутових електропроводок (напругою 220 В) і приладів (наприклад, електробритв, електрогрілок й електричних ковдр), які створюють ЕМП за інтенсивністю слабкіші, ніж природне поле Землі [60]. Тому не рекомендується спати поблизу розетки, у яку включений холодильник чи інша постійно діюча установка. Вплив на людину промислових джерел теплового випромінювання в діапазоні частот $3 \cdot 10^{12}$ - $3 \cdot 10^{14}$ Гц, видимого світла й ультрафіолетового випромінювання ($3 \cdot 10^{16}$ - $3 \cdot 10^{17}$ Гц), рентгенівського ($3 \cdot 10^{16}$ - $3 \cdot 10^{20}$ Гц) і гамма-випромінювань ($3 \cdot 10^{19}$ - $3 \cdot 10^{21}$ Гц) розглядається у відповідних розділах підручника.

5.2 Наслідки дії радіохвиль та електромагнітного випромінювання на живі організми

Відразу ж після початку практичного використання радіо почали спостерігатися симптоми шкідливого впливу радіохвиль на людей. Першим фахівцем, який звернув серйозну увагу на вивчення цих фактів, був лікар П. І. Іржевський. У 1900 р. П. І. Іржевський на вченій раді Військово-медичної академії захистив докторську дисертацію на тему "Вплив електричних хвиль на організм людини". Вона спиралася на результати медичних спостережень над особами, які працювали з радіоустановками, а також експериментів з матросами – добровольцями [61]. Отримані дані сприяли формуванню уявлення про заходи безпеки при роботі з радіоапаратурою, а також використовувалися П. І. Іржевським при розробці методів фізіотерапевтичного лікування електромагнітним випромінюванням [61].

Біосфера впродовж усієї еволюції перебувала під впливом електромагнітних полів (ЕМП), так званого фонового випромінювання, викликаного природними причинами. У процесі індустріалізації людство додало до цього цілий ряд чинників, посиливши фонове випромінювання. В зв'язку з цим ЕМП антропогенного походження почали значно перевищувати природний фон і дотепер перетворились на небезпечний екологічний чинник.

Усі ЕМП та випромінювання поділяють на природні та антропогенні [61].

ЕМП природного походження. Навколо Землі існує електричне поле напругою у середньому 130 В/м, яке зменшується від середніх широт до полюсів та до екватора, а також за експоненціальним законом з віддаленням від земної поверхні [61]. Спостерігаються річні, добові та інші варіації цього поля, а також випадкові його зміни під впливом грозових розрядів, опадів, завірюх, пилових бурь, вітрів.

Наша планета також має магнітне поле з напругою 47,3 А/м - на північному, 39,8 А/м - на південному полюсах, 19,9 А/м - на магнітному екваторі. Це магнітне поле коливається з 80-річним та 11-річним циклами змін, а також з більш

короткочасними змінами з різних причин, пов'язаних із сонячною активністю (магнітні бурі).

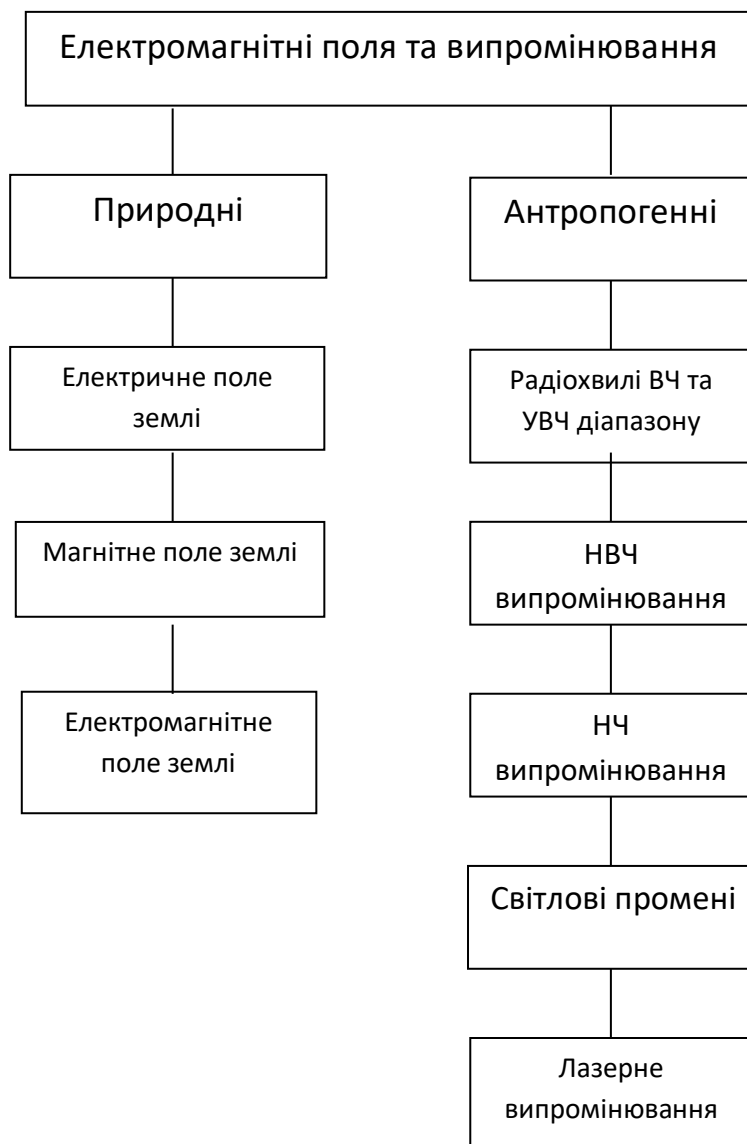


Рис.5.1 Типологія електромагнітних полів та випромінювань

Земля постійно перебуває під впливом ЕМП, яке випромінює Сонце, у діапазоні в основному 10 МГц - 10ГГц. Спектр сонячного випромінювання досягає і більш короткохвильової області, яка містить інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, рентгенівське та гамма-випромінювання [61]. Розглянуті ЕМП впливали на біологічні об'єкти та, зокрема на людину, під час усього її існування. Це дало змогу у процесі еволюції пристосуватися до впливу таких полів та виробити захисні механізми, які захищають людину від можливих

ушкоджень за рахунок природних чинників. Але вчені все-таки спостерігають кореляцію між змінами сонячної активності (що спричинюють зміни електромагнітного випромінювання) і нервовими, психічними, серцево-судинними захворюваннями людей, а також порушенням умовно-рефлекторної діяльності тварин [63].

Антропогенні випромінювання фактично охоплюють усі діапазони. Розглянемо вплив радіохвильового випромінювання, зокрема випромінювання ВЧ та УВЧ-діапазонів (30 кГц - 500 МГц). Можливості прямого опромінення радіохвилями визначаються умовами їх поширення, які залежать від довжини хвилі.

На довгих хвилях (1 – 10 км) ЕМП створюється хвилею, яка огинає земну поверхню та перешкоди, які на ній розташовані (будинки, рослинність, нерівності місцевості), і йде між земною поверхнею та нижньою межею іонізаційного шару атмосфери. Вони майже не поглинаються ґрунтом. Сигнали потужних радіомовних станцій в цьому діапазоні фактично у будь-якій час доби вільно поширюються на далекі відстані [63]. Тому станції мають розглядатися як джерела ЕМП, які відіграють важливу роль в екологічному відношенні. Середні хвилі (100 – 1000 м) також достатньо добре огинають земну поверхню, хоча при цьому відхиляються перешкодами, які мають розмір, більший від довжини хвилі, та значно поглинаються ґрунтом. В зв'язку з цим віддаль поширення середніх хвиль становить близько 500 км, а для обслуговування великих територій встановлюється межа ретрансляційних станцій. В цьому діапазоні працюють радіостанції на судах та аеродромна радіослужба [63]. Проте головну екологічну небезпеку створюють потужні радіомовні станції.

У діапазоні коротких хвиль (10 - 100 м) радіохвилі дуже сильно поглинаються ґрунтом, але для поширення на велику відстань використовується їх віддзеркалювання від земної поверхні та від іоносфери. В цьому діапазоні працюють радіомовні станції та станції зв'язку. На ультракоротких хвилях (1 - 10 м), які дуже поглинаються ґрунтом та майже не віддзеркалюються іоносферою, поширення сигналів відбувається практично лише

в межах прямої видимості. Для збільшення цієї зони використовують високо розміщені антени та ретранслятори, причому ЕМП утворюється внаслідок інтерференції прямого та віддзеркаленого променів. У цьому діапазоні працюють зв'язкові, радіомовні та телевізійні станції, розташовані, як правило, у місцях великої концентрації населення.

Систематичні дослідження впливу ЕМП на людей початись приблизно з 50-х р. У діапазонах ВЧ та УВЧ систематично обстежуються перш за все особи, які безпосередньо працюють з радіоапаратурою та перебувають біля передавачів, пультів керування, комутаційних пристроїв, радіо - та телевізійних станцій [61]. Проте хоча реальний час впливу інтенсивного ЕМ П на обслуговуючий персонал не завжди дорівнює тривалості зміни, часто значно менший, але і його буває достатньо, щоб викликати серйозне погіршення самопочуття [63]. Під час медичного обстеження виявляються суб'єктивні розлади, які спостерігаються під час роботи: загальна слабкість, підвищена втома, пітливість, сонливість, а також розлад сну, головний біль та у ділянці серця. З'являється роздратування, втрата уваги, зростає тривалість мовнорухової та зоровомоторної реакцій, підвищується межа нюхової чутливості. Виникає ряд симптомів, які є свідченням порушення роботи окремих органів — шлунка, печінки, селезінки, підшлункової та інших залоз. Пригнічуються статеві та харчові рефлекси.

Реєструються об'єктивні показники, наприклад, зміна артеріального тиску, частота серцевого ритму, форма електрокардіограми. Це свідчить про порушення діяльності серцево-судинної системи. Фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обмінів, збільшується вміст азоту в крові та сечі, знижується концентрація альбуміну та зростає вміст глобуліну, збільшується кількість лейкоцитів, тромбоцитів, виникають й інші зміни складу крові [61].

Досліджується також вплив ЕМП на здоров'я населення поблизу території радіостанції.

Під час одного з таких досліджень, проведених на території України, опитувалося населення, аналізувались медичні документи лікарень та поліклінік, вивчались деякі показники стану здоров'я у дітей різного віку у школах та дитячих садках.

Були обстежені сотні людей. Отримані результати для осіб, що мешкають біля (на відстані менше ніж кілометр) потужної радіостанції, що працює на середніх та коротких хвилях, порівнювалися з контрольними для аналогічної групи населення, в місцях проживання якої немає джерел випромінювання [61].

Матеріали дослідження показали, його кількість скарг на здоров'я в місцевості поблизу радіостанції значно (майже вдвічі) вища, ніж у контрольній групі. Виявлено багато розладів, які ще не є захворюванням та не викликали звертання до лікарів. Загальна захворюваність в селищі з радіоцентром, в основному, зумовлена порушенням нервової та серцево-судинної системи, також була вищою, ніж у контрольній групі. В обстежених дітей відзначено порушення розумової працездатності внаслідок зниження уваги через розвиток послідовного гальмування та пригнічення нервової системи [63]. Фіксувалися прискорений пульс та дихання, підвищення артеріального тиску при фізичному навантаженні та сповільнене повернення до норми цих показників при його знятті. Фіксувався також вплив ЕМП на інші процеси, в тому числі імунобіологічні.

Опубліковано чимало матеріалів з вивчення впливу ЕМП діапазонів УВЧ та ВЧ на тварин (мавп, кролів, пацюків, мишей). Найуважніше вивчали порушення діяльності серцево-судинної системи [63]. Дослідження показали, що опромінення ЕМП малої інтенсивності впливає на тварин практично так само, як і на людей.

Значні зміни функціонування органів та систем спостерігалися не лише під час опромінення, а й щодо їх наслідків протягом тривалого часу. У перший період опромінення спостерігалися зміни поведінки тварин: у них з'являлися неспокій, збудження, рухова активність, прагнення втекти із зони випромінювання. Тривалий вплив ЕМП призводив до зниження збудження, зростання процесів гальмування. Опромінення ЕМП спричинювало порушення умовних рефлексів та затримку їх вироблення. Вплив ЕМП на тварин у період вагітності призводив до зростання кількості мертвонароджених, викидів, каліцтв [63]. Спостерігалися аналогічні наслідки, які проявлялися у наступних поколіннях.

Мікроскопічні дослідження внутрішніх органів тварин виявили дистрофічні зміни тканин головного мозку, печінки, нирок, легенів, серцевого м'язу з венозним повнокров'ям, набряками, зміною забарвлення. Було зафіксовано порушення на клітинному рівні. ЕМП повинні розглядатися в основному як хвороботворний чинник. На підставі клінічних та експериментальних матеріалів виявлені основні симптоми ураження, які виникають при впливі ЕМП. Їх можна класифікувати як радіохвильову хворобу [63]. Ступінь патології прямо залежить від напруги ЕМП, тривалості впливу, фізичних особливостей, діапазонів частот, умов зовнішнього середовища, а також від функціонального стану організму, його стійкості до впливу різних чинників, можливостей адаптації.

Поряд з радіохвильовою хворобою як специфічним результатом дії ЕМП спостерігається, через вплив, загальне зростання захворюваності, а також захворювання на окремі хвороби органів дихання, травлення та ін. Це відмічається також при дуже малій інтенсивності ЕМП, яка незначно перевищує гігієнічні нормативи [63]. Ймовірно, причиною є порушення нервово-психічної діяльності як головної у керуванні всіма функціями організму. Внаслідок дії ЕМП можливі як гострі, так і хронічні ураження, порушення в системах та органах, функціональні зміни в діяльності нервово-психічної, серцево-судинної, ендокринної, кровотворної та інших систем. Звичайно, зміни діяльності нервової та серцево-судинної системи зворотні, і хоча вони мають кумулятивний характер (тобто накопичуються з часом), але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та покращенні умов праці. Але тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень і захворювань.

Випромінювання НВЧ-діапазону. Активність впливу ЕМП різних діапазонів частот різна: вона значно зростає з ростом частоти та дуже серйозно впливає у НВЧ-діапазоні [67]. Уданий діапазон входять дециметрові (10 - 100 см), сантиметрові (1 - 10 см) та міліметрові (1 - 10 мм) хвилі. У зарубіжних літературних джерелах усі ці діапазони об'єднуються терміном "мікрохвильові". Як і УВЧ, НВЧ-випромінювання дуже поглинається ґрунтом та не

віддзеркалюється іоносферою. Тому поширення НВЧ відбувається в межах прямої видимості. На деяких ділянках діапазону НВЧ спостерігаються поглинання та розсіювання хвиль молекулами кисню, випаровуванням води, атмосферними опадами, що обмежує віддаль поширення. На дециметрових хвилях працюють радіомовні та телевізійні станції, які забезпечують завдяки зниженню рівня перешкод вищу якість передачі інформації, ніж в УВЧ-діапазоні [67].

Усі ділянки НВЧ-діапазону використовуються для радіозв'язку, в тому числі радіорелейного та супутникового. В цьому діапазоні працюють практично всі радіолокатори.

Оскільки випромінювання НВЧ, поглинаючись погано провідним середовищем, викликає їх нагрівання, цей діапазон широко використовується у промислових установках, які базуються на використанні й інших ефектів, пов'язаних з НВЧ-випромінюваннями. Подібні установки використовуються і в побуті. Вплив НВЧ випромінювання наживі тканини дав підставу для розробки терапевтичної медичної апаратури [67]. Завдяки особливостям поширення НВЧ, саме цей діапазон використовується для передачі енергії променем на великі відстані.

В НВЧ-діапазоні вузькоскеровані антени використовуються відносно мало. Здебільшого використовується можливість сфокусувати випромінювання у вузький промінь антенним пристроєм порівняно невеликих габаритів. У межах променів, обмежених діаграмою спрямованості антени, інтенсивність ЕМП суттєво збільшується, а за межами променів стає дуже малою, що зумовлює достатньо чітке розмежування зон різного ступеня небезпеки. Вплив НВЧ на біологічні об'єкти останнім часом привертає увагу великої кількості дослідників та висвітлюється у численних наукових доповідях та публікаціях [67]. Є відомості про клінічні прояви дії НВЧ залежно від інтенсивності опромінення. При інтенсивності близько 20 мкВт/см^2 спостерігається зменшення частоти пульсу, зниження артеріального тиску, тобто реакція на опромінення. Вона сильніша та може навіть виражатися у збільшенні

температури тіла осіб, які раніше потрапляли під опромінення. Із зростанням інтенсивності проявляються електрокардіологічні зміни, при хронічному впливі - тенденція до гіпотонії, до змін з боку нервової системи. Потім починається прискорення пульсу, коливання об'єму крові [67].

За інтенсивності 6 мВт/см^2 помічено зміни у статевих залозах, у складі крові, помутніння кришталика. Далі - зміни у згортанні крові, умовно-рефлекторній діяльності, вплив на гепатоцити, зміни у корі головного мозку. Потім - підвищення артеріального тиску, розриви капілярів та крововиливи у легені та печінку.

За інтенсивності до 100 мВт/см^2 - стійка гіпотонія, стійкі зміни у серцево-судинній системі, двобічна катаракта. Подальше опромінення помітно впливає на тканини, викликає больові відчуття. Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см^2 , то це викликає дуже швидку втрату зору. Таким чином, НВЧ- опромінення діє в основному аналогічно хвильовому, але сильніше [67]. Крім того, спостерігаються і деякі особливості. Багато ефектів від дії ЕМП пояснюються перетворенням енергії випромінювання на теплову. Оскільки нагрівання зростає пропорційно частоті, явища, пов'язані із нагріванням, на НВЧ проявляються сильніше.

Одним із серйозних ефектів, зумовлених НВЧ- опроміненням, є ушкодження органів зору. На нижчих частотах такі ефекти не спостерігаються і тому їх треба вважати специфічними для НВЧ- діапазону.

5.3 Засоби захисту від дії радіохвиль

Для зменшення впливу радіохвиль на персонал та населення, яке знаходиться у зоні дії радіоелектронних засобів, потрібно вжити ряд захисних заходів.

До їх числа можуть входити:

- а). Організаційні;
- б). Інженерно-технічні;

Здійснення організаційних та інженерно-технічних заходів покладено передусім на органи санітарного нагляду. Разом з санітарними лабораторіями підприємств та установ, які використовують джерела електромагнітного випромінювання, вони повинні вжити заходи з гігієнічної оцінки нового будівництва та реконструкції об'єктів, котрі виробляють та використовують радіозасоби, а також технологічних процесів та обладнання з використанням радіохвиль, проводити поточний санітарний нагляд за об'єктами, які використовують джерелі випромінювання, здійснювати організаційно-методичну роботу з підготовки спеціалістів та інженерно-технічний нагляд. Ще на стадії проектування повинне бути забезпечене таке взаємне розташування опромінюючих та опромінюваних об'єктів, яке б зводило до мінімуму інтенсивність опромінення. Оскільки повністю уникнути опромінення неможливо, потрібно зменшити ймовірність потрапляння людей у зони з високою інтенсивністю радіохвиль, скоротити час перебування під опроміненням. Потужність джерел випромінювання повинна бути мінімально для використання, оскільки запас потужності може зашкодити. Виключно важливе значення мають інженерно-технічні методи та засоби захисту: колективний (група будинків, район, населений пункт) локальний (окремі будівлі, приміщення) та індивідуальний. Колективний захист спирається на розрахунок поширення радіохвиль в умовах конкретного рельєфу місцевості. Економічно вигідніше використовувати природні екрани - складки місцевості: лісонасадження, нежитлові будівлі. Встановивши антену на горі, можна зменшити інтенсивність поля, яке опромінює населений пункт у багато разів. Аналогічний результат дає відповідна орієнтація діаграми спрямованості, особливо високоспрямованих антен, наприклад, шляхом збільшення висоти антени [67]. Але висока антена складніша, дорожча, менш стійка. Крім того, ефективність такого захисту зменшується з відстанню. При захисті від випромінювання екрана повинне враховуватися згасання хвилі при проходженні через екран (наприклад, через лісову смугу). Для екранування

можна використовувати рослинність. Спеціальні екрани у вигляді відбивальних і радіопоглинальних щитів дорог малоефективні і використовуються дуже рідко.

Локальний захист дуже ефективний і використовується часто. Він базується на використанні радіозахисних матеріалів, які забезпечують високе поглинання енергії випромінювання у матеріалі та віддзеркалення від його поверхні. Для екранування шляхом віддзеркалення використовують металеві листи та сітки з доброю провідністю [67]. Захист приміщень від зовнішніх випромінювань можна здійснити завдяки обклеюванню стін металізованими шпалерами, захисту вікон сітками, металізованими шторами. Опромінення у такому приміщенні зводиться до мінімуму, але віддзеркалене від екранів випромінювання розповсюджується у просторі та потрапляє на інші об'єкти.

До інженерно-технічних засобів захисту також належать:

- конструктивна можливість працювати на зниженій потужності в процесі налагоджування, регулювання та профілактики;
- робота на еквівалент налагоджування;
- дистанційне керування.

Для персоналу, що обслуговує радіозасоби та знаходиться на невеликій відстані, потрібно забезпечити надійний захист шляхом екранування апаратури. Поряд із віддзеркалюючими широко розповсюджені екрани із матеріалів, що поглинають випромінювання.

Існує велика кількість радіопоглинальних матеріалів як однорідного складу, так і композиційних, котрі складаються з різнорідних діелектричних та магнітних речовин. З метою підвищення ефективності поглинаюча поверхня екрана виготовляється шорсткою, ребристою або у вигляді шипів.

Радіопоглинальні матеріали можуть використовуватися для захисту навколишнього середовища від радіохвиль, яке генерується джерелом, що знаходиться в екранованому об'єкті. Крім того, радіопоглиначами для захисту від віддзеркалення вважаються стіни безлунних камер - приміщень, де випробовуються випромінювальні пристрої. Радіопоглинальні матеріали використовуються в кінцевих навантаженнях, еквівалентах системах [67].

В зв'язку з цим необхідно здійснювати попередній розрахунок інтенсивності опромінення електромагнітного поля та передбачати використання засобів захисту від випромінювань.

При ізотропному випромінюванні напруженість електричної E та магнітної H складових поля у ближній зоні:

$$E = \frac{Il}{2\pi\omega\epsilon r^3}; \quad (5.1)$$

$$H = \frac{Il}{4\pi r^2}; \quad (5.2)$$

де I - сила струму в провіднику (антені), А; l - довжина провідника (антени), м; ω - кругова частота поля; ϵ - діелектрична проникність середовища; r - відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м.

В дальній зоні напруженість електричної та магнітної складових:

$$E = \frac{\sqrt{30P\sigma}}{r}; \quad (5.3)$$

$$H = \frac{\sqrt{P\sigma/30}}{4\pi r}; \quad (5.4)$$

де P - потужність випромінювання, Вт; σ - коефіцієнт підсилення антени.

При напрямленому випромінюванні щільність потоку енергії в ближній зоні по осі діаграми направленості випромінювання:

$$\psi_{\text{Б.З.}} = \frac{3P_{\text{СЕР}}}{S}; \quad (5.5)$$

де $P_{\text{СЕР}}$ - середня потужність випромінювання, Вт; S - площа випромінювальної системи, м².

Для установок, котрі працюють в імпульсному режимі, середня потужність:

$$P_{\text{СЕР}} = \frac{P_{\text{ІМП}}^{\tau}}{T_1}; \quad (5.6)$$

де: $P_{\text{ИМП}}$ - потужність випромінювання в імпульсному режимі; τ - тривалість імпульсу; T - період чергування імпульсів.

У проміжній зоні щільність потоку енергії:

$$\psi_{\text{П.З.}} = \frac{3P_{\text{СЕР}}}{S} \cdot \left(\frac{r_{\text{Б.З.}}}{r}\right); \quad (5.7)$$

де r - відстань від центра розкриття антени до даної точки, розташованої в проміжній зоні.

В дальній точці щільність потоку енергії по осі випромінювання:

$$\psi_{\text{Д.З.}} = \frac{P_{\text{СЕР}} \cdot \sigma}{4\pi r^2}; \quad (5.8)$$

Визначасмо допустиму величину магнітної складової поля з врахуванням, що допустима напруженість поля $E_{\text{П.Д.}} = 5$ В/м (за санітарними нормами):

$$H_{\text{П.Д.}} = 1,27 \cdot 10^5 \frac{E_{\text{П.Д.}}}{Xf} = 1,27 \cdot 10^5 \frac{5}{0,8 \cdot 6 \cdot 10^4} = 13,2 \text{ А/м}$$

Напруженість на робочому місці при відсутності екрана:

$$H_x = \frac{\omega I a^2}{4X^2} = \frac{14 \cdot 380 \cdot 0,1^2}{4 \cdot 0,8^2} = 20,7 \text{ А/м}$$

Необхідна ефективність екранування на робочому місці:

$$H_{\text{Х.Н.}} = \frac{H_x}{H_{\text{П.Д.}}} = \frac{20,7}{13,2} = 1,57.$$

Дійсна ефективність екранування на робочому місці:

$$E_{x.d.} = \frac{Re^{\frac{d}{\delta}}}{2\sqrt{2}\delta\mu_e^1} = \frac{0,35 \cdot 0,3^{0,32}}{2\sqrt{2} \cdot 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 10,5,$$

де d - товщина екрана, мм; δ - глибина проникнення поля в екран, м; μ_e^1 - відносна магнітна проникність екрана ($\mu_e^1 = \frac{\mu_e}{\mu_0}$).

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_e \gamma_e \omega f}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,55 \cdot 10^7 \cdot 314 \cdot 6 \cdot 10^4}} = 0,32 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d = 1$ мм.

Таким чином, вибраний екран забезпечує необхідний захист на місці, оскільки $E_{x.d.} > E_{x.n.}$ ($10,5 > 1,57$).

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії ЕМП, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру.

Таким чином, усвідомлення небезпеки дії електромагнітних полів та обізнаність у методах захисту від них є необхідною умовою для людини, що здійснює виявлення наявності електромагнітних полів у приміщенні.

Висновки

В будь-якій розробці електронного пристрою, що використовується для радіохвильового випромінювання, питання екології займає важливу роль. Як було зазначено вище вплив радіохвиль може буди шкідливим як для людини, так і для навколишнього середовища в цілому. Важливо прийняти низку рішень, що

запобігатимуть нанесенню шкоди для людини та природи. При вивченні своєї теми дипломної роботи я зробив висновок, що розроблення запобіжних засобів, при використанні антени на основі діелектричних резонаторів, займає важливе місце. Основними запобіжними засобами в питаннях захисту навколишнього середовища в моєму випадку є використання запобіжних екранів. Враховуючи, що антена буде використовуватись, переважно, в компактних пристроях (мобільних телефонах, планшетах та ін.) потрібно розраховувати можливість мінімального впливу, в першу чергу, на людину.

ВИСНОВКИ

Отже, проаналізувавши види антен станцій радіомоніторингу, можна зробити висновок, що найбільш ефективними є портативні антени. Вони гарантують широкий динамічний діапазон, завдяки вимірюванню сигналів в двох режимах : активний та пасивний. Заразом вимірювання в горизонтальному або вертикальному положенні. Використання цих антен дозволяє одержати більш імовірні результати вимірювання радіосигналів. Тому що їх можна розставляти на різних відстанях, застосовуючи в якості антен різних станцій радіомоніторингу, розставляти в складно доступних місцях. Ці антени утворюють розбірливо виражену діаграму спрямованості, мають більш високе узгодження з фідерним трактом, а так само достатньо великий коефіцієнт підсилення, в зіставленні з антенами інших станцій радіомоніторингу.

Як правило, стаціонарним антенам характерні великі габарити та маса, великий коефіцієнт підсилення. Найчастіше для портативних станцій застосовують спрямовані антени, прирівнюючи із стаціонарними та мобільними. Спрямовані антени застосовують в тих випадках, коли потрібна найбільша дальність зв'язку в певному напрямку та у випадках, коли потрібно зменшити завади іншим системам зв'язку. Такі антени є дуже дорогими, тому їх застосовують там, де чинники дальності та достовірності передачі інформації є пріоритетними, а тобто для моніторингу.

Для встановлення більшого коефіцієнту підсилення можливо використання здвоєних спрямованих антен, увімкнених паралельно. Тобто досить важливою задачею є моделювання і конструювання широкосмугової портативної антени.

З дослідження поляризаційних властивостей кільцевої антени випливає, що кільцеву антену можемо застосовувати для розкладання електромагнітних хвиль з будь-якою поляризацією на складові в коловому ортогональному поляризаційному базисі. Застосування двокільцевої антени надає можливість з'ясувати напрям

приходу хвилі і її поляризаційні властивості. Синтезована схема відокремлення наведених в антені струмів правого та лівого напрямку обертання вектора напруженості електричного поля достатньо проста. Схема створена на пасивних лінійних елементах надвисоких частот, що гарантує стабільність параметрів і надійність функціонування. Поляризаційні параметри електромагнітних хвиль розраховуються автоматично і для гарантування точності вимірювання потрібно лише суміщати напрям приходу хвилі з віссю антени. Для точного знаходження параметрів поляризації потрібно передбачити роботу антени у двох режимах: пеленгації і вимірювання. Режим пеленгації зобов'язує прив'язки лінії, що з'єднує антену до вибраної системи координат місцевості. Режим вимірювання застосовується після режиму пеленгації і для цього режиму потрібно прогнозувати можливість механічного повороту площин кільцевих антен, щоб сполучити їх осі з напрямом приходу хвилі, отже на кут φ від перпендикуляра до лінії розташування центрів. Потрібно також відмітити простору функціональних зв'язків між результатами вимірювань і параметрами поляризації електромагнітного поля.

У даному розділі було розраховано параметри узгодження і характеристики випромінювання двоелементної антенної решітки з кільцевих мікросмушкових елементів, яка може бути використана як вимірювальна антена для антенної системи радіомоніторингу.

Моделювання показало гарне узгодження як одного кільцевого елемента решітки, так і двоелементної конструкції зі стандартною лінією живлення в 50 Ом. Коефіцієнт стоячої хвилі в смузі робочих частот не перевищує значення 1,5.

При порівнянні діаграм спрямованостей одного кільця і кільцевої АР було відмічено звуження ДС АР в площині розміщення двох елементів. Значення ширини діаграми спрямованості за половинною потужністю випромінювання дорівнює 81 град. і 36 град. відповідно для одиночного елемента і системи з двох кільцевих елементів.

Коефіцієнт підсилення у випадку використання двоелементної кільцевої АР підвищується практично до 7 дБі від 5 дБі одного кільцевого елемента, що суттєво

може збільшити радіус дії антени. У разі збільшення кількості кільцевих елементів в АР наприклад до чотирьох елементів (АР 2 x 2), можемо очікувати звуження ДС у двох площинах і, відповідно, підвищення КП на 2 дБі, як мінімум.

ККД кільцевого елементу і антенної решітки, які було виготовлено за допомогою друкованих технологій досить високі і становлять 84% і 88% відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Квицинський А.О., Новини енергетики, № 2, Нормування електромагнітних полів (ЕМП) в Україні. – 2009.
2. В. Васильева, «Влияние электромагнитных полей на живые организмы» – М.: Радио и связь, 2003.
3. Регламент радиосвязи. Сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра. Т. 1. - М.: 2004.
4. Благодарний В. Г., Ступак В. С. Основні терміни у сфері користування радіочастотним ресурсом: Словник-довідник / За редакцією Слободянюка П. В. - Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2006.
5. Закон України "Про радіочастотний ресурс України" від 01.06.2000 р. N 1770-III - в редакції Закону України "Про внесення змін до Закону України "Про радіочастотний ресурс України" від 24.06.2004 р. N 1876-IV.
6. Мурашко И.А. Методы минимизации энергопотребления при самотестировании цифровых устройств: Монографія / И. А. Мурашко, В. Н. Ярмолик. – Минск: Бестпринт, 2004.
7. Гелль П. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры — Ленинградское отделение «Энергия», 1972.
8. Ненашев А. Конструирование радиоэлектронных средств. — М.: Высшая школа, 1990.
9. ГОСТ 23592—96. Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Общие требования к объемному монтажу изделий электронной техники и электротехнических.
10. Анурьев В. Справочник конструктора – машиностроителя: В 3 т. Т. 1. – 8-е изд. И доп. Под ред. И.Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001.

11. Бакланов И.Г. Технологии измерений в современных телекоммуникациях. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2007.
12. Кочержевский Г.Н. и др., Антенно-фидерные устройства. – М.: Радио и связь, 1989.
13. Жук М.С., Молочков Ю.Б., Проектирование антенно-фидерных устройств. – М. – Л.: Энергия, 1966
14. Жук. М.С., Молочков Ю.Б., Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. – М.: Энергия, 1973.
15. Сазонов Д.М., Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988.
16. Айзенберг Г.З., Антенны ультракоротких волн. – М. –Связьиздат, 1956.
17. Вайнштейн Л.А., Электромагнитные поля и волны. – М.: Радио и связь, 1988.
18. Вольман В. И., Пименов Ю. В., Техническая электродинамика. -М.:Связь, 1971.
19. Конструирование СВЧ-устройств и экранов/ Под ред. А. М. Чернушенко. – М.: Радио и связь, 1983.
20. Чернушенко А. М., Майбородин А. В., Измерение параметров электронных приборов дециметрового и сантиметрового диапазонов волн/ Под ред. А. М. Чернушенко. – М.: Радио и связь, 1986.
21. Тишер Ф., Техника измерений на сверхвысоких частотах: Пер. с нем./Под ред. В. Н. Сретенского. – М.: Гос. изд-во физико-математ. лит-ры, 1963.
22. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. «Антени та пристрої надвисоких частот»: Підручник для ВНЗ/ За ред. Л.Я. Ільницького. – К: Укртелеком, 2003.
23. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. «Пристрої надвисоких частот та антени»: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013.
24. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слоболлдянюк П.В., Благодарний В.Г. «Антени телекомунікаційних та моніторингових систем», За ред Л.Я. Ільницького. – К., 2012.
25. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слоболлдянюк П.В., Благодарний В.Г.

«Антенні телекомунікаційних та моніторингових систем», За ред Л.Я. Ільницького.
– К., 2012.

26. Справочник по радиоконтролю. Международный союз электросвязи: Женева, 1995.

27. Фролов О.П. «Антенны и фидерные тракты для радиорелейных линий связи». – М.: Радио и связь, 2001.

28. Фролов О.П. «Антенны земных станций спутниковой связи». – М.: Радио и связь, 2000.

29. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн»: Учебник для вузов/ Под ред. Г.А. Ерохина – 2 изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004.

30. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л. Антенно-фидерные устройства. –М.: Сов. радио, 1961.

31. Розетт Т.А. Элементы теории цилиндрических функций с приложениями к радиотехнике. –М.: Сов. радио, 1956.

32. Ільницький Л.Я. Синтез однокольцевої антенної системи для вимірювання параметрів електромагнітного поля / Л.Я. Ільницький, О.А. Щербина, Ю.В. Пєпа // Journal of Qafqaz University: Mathematics and Computer Science. – Baku (Azerbaijan): Qafqaz University. – 2013. – Vol. 1, No. 1. – P. 31-38.

33. Семёнов Н.А. Техническая электродинамика: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Связь, 1973.

34. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ: Учебник для ВУЗов. –М.: Высш. шк., 1990.

35. Mmana-Gal – расчет и анализ, моделирование антенн: <http://www.r9j.ru/soft/mmana-gal/>

36. MMana-gal: <http://dl2kq.de/mmana/4-1.htm>

37. Гончаренко И. Компьютерне моделювання антенн, все про програму Ммана. 2002. – 79 с.

38. Банков С.Е., Курушин А.А Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. – 2009. – 250 с.

39. ANSYS HFSS: <http://www.ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-HFSS>
40. Ansoft HFSS: <http://www.obnovisoft1.ru/ansoft-hfss>
41. Банков С.Е., Курушин А.А Расчет излучаемых структур с помощью FEKO. – 2008. – 249 с.
42. FEKO, система 3D электромагнитного моделирования FEKO: http://rtf.sfedu.ru/noc1/soft_feko.html
43. FEKO: <http://www.rodnik.ru/catalog/sapr-svch-ustroystv/feko/>
44. Balanis C.A. Antenna Theory Analysis / John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. - 1073 p.
45. Дробахин О.О., Плаксин С.В., Рябчий В.Д., Салтыков Д.Ю. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ : Учебное пособие. – Севастополь: Вебер, 2013.– 322 с.
46. Закон України «Про охорону праці».
47. Закон України «Про пожежну безпеку».
48. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку».
49. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.06.2003 р. № 994. «Перелік заходів та засобів з охорони праці, витрати на здійснення и придбання яких включаються до валових витрат».
50. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні.
51. НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Наказ Держгірпромнагляду від 26.03.2010р. № 65.
52. НПАОП 0.00-1.29-97 «Правила захисту від статичної електрики». Наказ Держнаглядохоронпраці України від 22.04.1997 р. № 103.
53. НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці». Наказ Держнаглядохоронпраці від 29.01.1998 р. № 9.
54. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
55. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

56. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

57. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Електростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

58. Рекомендації щодо побудови, впровадження та удосконалення системи управління охороною праці. Затверджено Головою Держгірпромнагляду 07.02.2008 р.

59. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.

60. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” – К.: Україна. – 1991. - 59 с. (з усіма редакціями до 2017 року)

61. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин/ Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 19 квітня 2010 р. за N 293/17588

62. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ.– Харків.: Форт – 2011 – 728 с.

63. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Гігієнічні нормативи ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 р. Видання офіційне Київ, 2001 рік – 46 с.

64. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування . -К.: Мінрегіон України, 2013.-147 с

65. ДБН.В.2.5 – 28-2006 . Природне і штучне освітлення. – К.: Мінбуд України, - 2008 – 74 с.

66. НАПБ Б.03.002 – 2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою. Наказ МНС від 03.12.2007 №883.

67. ДСанПін 3.3.2.007– 98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. – К.: ГСЕУ України, 1998 – 21 с.

68. ДБН В.1.1 – 7- 2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: 2002. – 41 с.

69. ДСТУ ISO14001 - 97 – 14012-97. Система управління оточуючою середою – К.:ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАИНЫ – 225 с.

70. Батлук В.А. Гогіташвілі Г.Г., Уваров Р.В., Смердова Т.А. Охорона праці в галузі телекомунікацій. Навч. посібник – Львів: Афіша, 2003. – 320 с.

71. Житецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.

72. Житецький В.Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів. – Львів: Афіша, 2000.-176с.

73. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств. Учебник. – М: Высш. шк. 1990. – 432 с.