

УДК 681.3

І.Ю. Кущенко

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПО ВИСОКОЧАСТОТНОМУ
ОПРОМІНЕННЮ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ
ЗАХИЩЕНОСТІ ВІД ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ**

Серед способів перехоплення інформації, з використанням високочастотних коливань, чітко можна виділити два основних способи – високочастотного нав'язування і опромінення. Способи використовують різні середовища для розповсюдження високочастотних сигналів і відрізняються фізичними принципами утворення каналів витоку інформації. Решта способів перехоплення є комбінаціями двох основних.

Якщо технічний засіб обробки інформації не має кіл, що виходять за межі контрольованої зони, то перехоплення інформації може бути здійснено лише за допомогою високочастотного опромінення цього засобу.

Фізична основа експерименту

Електромагнітна хвиля є носієм енергії, яка містить в собі електричну і магнітну складові. Об'ємна щільність енергії такої хвилі (енергія, що міститься у одиничному об'ємі) визначається наступним чином [1]:

$$w = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \quad (1)$$

При розповсюдженні хвилі у просторі між передавачем і приймачем її енергія, крім поглинання у ґрунті, може додатково розсіюватися за рахунок [2]:

- нагрівання металевих предметів і конструкцій токами високої частоти, що індуюються в них;
- нагрівання об'єктів із електроізолюючих матеріалів (за рахунок ємнісних токів в них);

Таким чином, енергія електромагнітної хвилі перетворюється у електричну енергію струму, а потім у теплову енергію. Тобто діє закон збереження енергії, який без врахування теплових перетворень можна викласти наступним чином: якщо енергія електромагнітної хвилі перетвориться в будь-який спосіб в енергію електричну, то в просторі, що оточує його, відбувається поглинання енергії електромагнітної, і як наслідок - зменшується напруженість поля.

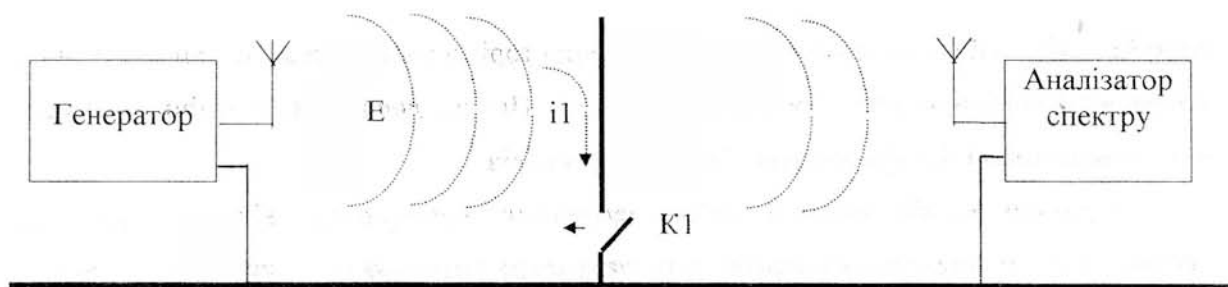


Рис.1

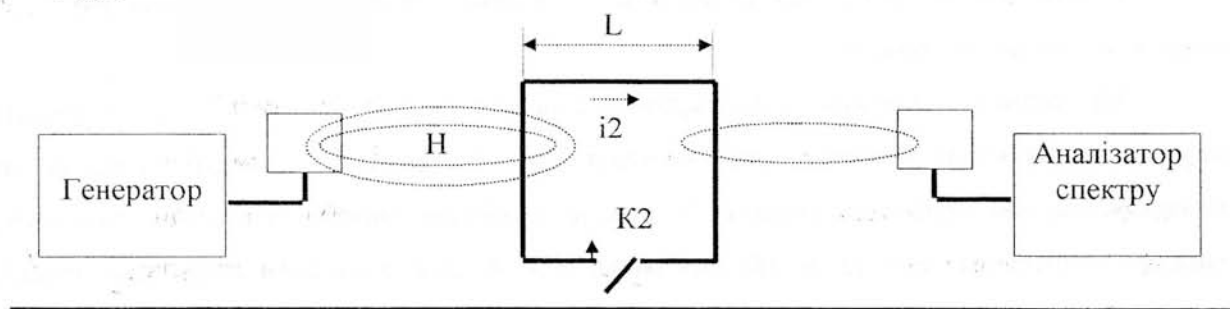


Рис.2

Перевірити дію цього закону можливо за допомогою простих експериментів (Рис.1 і 2.).

Генератор виробляє високочастотне гармонічне коливання певної частоти.

Якщо ми бажаємо проконтролювати поглинання електричної складової енергії хвилі, то на шляху розповсюдження електромагнітної хвилі необхідно встановити металевий штир або пластину (рис.1). З літератури [2] відомо, що поглинання енергії хвилі буде найбільш суттєвим, якщо довжина металевих предметів, що знаходяться на її шляху наближуються до половини довжини хвилі, або кратні їй.

Якщо ми бажаємо проконтролювати поглинання магнітної складової енергії хвилі, то на шляху розповсюдження електромагнітної хвилі можна встановити металеву рамку (рис.2). Бажано, щоб її розмір L дорівнював $\lambda/2$, де λ - довжина хвилі, на якій проводяться дослідження.

При замиканні ключів $K1$ і $K2$ електрична і магнітна енергія хвиль буде частково перетворюватись на струм $i1$ та $i2$, відповідно. Якщо ці ключі замикають з певною частотою, наприклад 10 Гц, то на аналізаторі спектру можна буде помітити появу бокових складових, що відстоять від основної частоти на 10 Гц, тобто відбудеться амплітудна модуляція напруженості поля.

На результат навіть таких простих експериментів можуть суттєво впливати багато факторів: відстань між антенами генератора та аналізатора спектру, обрана частота для експерименту, місце проведення експерименту (екранована камера, приміщення чи вільний

простір), підстильна поверхня, наявність у просторі розповсюдження хвиль побічних кіл, можливості вимірювального обладнання та ін. Процес досліджень технічних засобів, тим паче, неможливий без врахування багатьох факторів.

Технічні засоби являють собою сукупність електричних кіл, які також можуть поглинати електромагнітну енергію, а їх параметри (наприклад, опір) можуть змінюватись під впливом циркулюючих в них сигналів.

Таким чином, лишається визначити - на яких частотах відбувається поглинання енергії тим чи іншим колом.

Ще одним сприятливим фактором для перехоплення інформації буде наявність у інформаційних колах технічних засобів нелінійних елементів – елементів з нелінійними вольт-амперними характеристиками. У складі технічних засобів це діоди, транзистори, дроселі, трансформатори та ін. На них може відбуватися додаткова модуляція, внаслідок взаємодії інформаційного та наведеного у інформаційні кола високочастотного сигналу.

Оскільки сучасні технічні засоби включають велику кількість кіл, то дослідження явища необхідно починати з простих макетних схем, процеси в яких піддаються логічному аналізу.

Схема експерименту

Найпростіше, на наш погляд, буде дослідити макет системи передачі даних. Загальна схема експерименту зображена на рис.3.

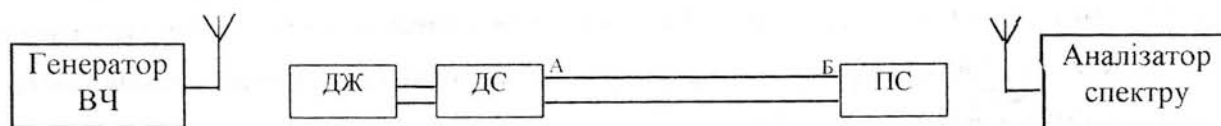


Рис.3

На рисунку: ДЖ - джерело живлення; ДС- джерело сигналів низької частоти; ПС- приймач сигналів (пасивне коло, що виконує роль навантаження); А-В - з'єднувальна лінія.

Щоб адекватно оцінити захищеність технічних засобів від витоку інформації, необхідно створити умови для її перехоплення максимально наближені до ідеальних.

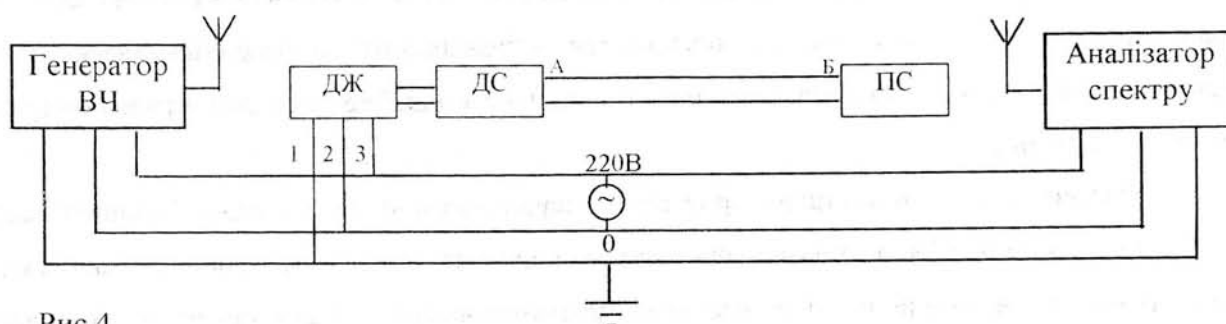


Рис.4

Якщо дослідження проводити у приміщенні, то у якості "землі" (зворотного провідника енергії для електромагнітної хвилі) буде виступати "умовна земля", утворена електричною силовою мережею у приміщенні, та колом заземлення (Рис.4).

У такій схемі зворотній шлях розповсюдження високочастотної енергії від аналізатора до генератора буде не передбачуваним, особливо у багатоповерхових будинках. Енергія генератора буде марно витрачатися на нагрівання силової мережі та провідників кола заземлення токами високої частоти. Крім того, енергія буде розсіюватися у підстильній поверхні (підлога та ін.), за рахунок того, що електромагнітна хвиля глибше проникає у діелектрики, ніж у провідний матеріал і частково там поглинається [3].

Тому необхідно взяти заходи по локалізації енергії генератора, тобто створити умови для протікання зворотних високочастотних токів до генератора з найменшими витратами. Це можливо при використанні автономного блоку живлення генератора та протываги, яка буде виконувати, у лабораторних умовах, роль "землі" (Рис.5).

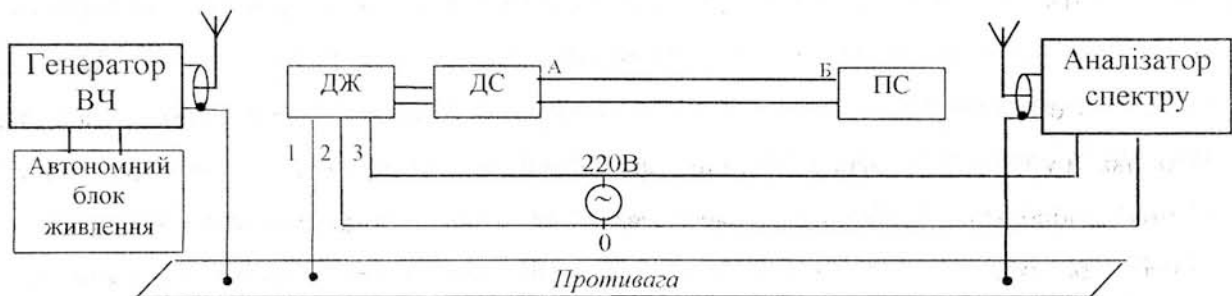


Рис.5

Матеріал протываги повинен мати, по можливості, найменший питомий опір (пропонуємо мідь), чисту поверхню (без окислу). Відсутність окислу має принципове значення, оскільки на високих частотах токи, за рахунок поверхневого ефекту, будуть протікати тільки у тонкому шарі на поверхні протываги.

До протываги необхідно під'єднати, крім зазначених на рисунку, також корпусні виводи технічних засобів, якщо їх передбачається заземлювати при експлуатації. Корпуси лабораторних приладів та технічних засобів, в такому разі, не повинні бути з'єднаними з колом заземлення приміщення.

Оскільки протывага - провідник, то лінії напруженості електричного поля у просторі між антенами генератора та аналізатора будуть мати тільки нормальну складову, а тангенціальна складова буде відсутньою [3], тобто орієнтація антен у просторі, для всього діапазону частот, при наявності протываги, може бути вертикальною.

Основним шляхом наведення електромагнітної енергії у технічні засоби, що досліджуються, для даної схеми, буде ділянка А-В. Можна передбачити, що чим більше її

довжина, тим більша ЕРС буде наводитись високочастотним сигналом у інформаційні ко. технічних засобів. Додатковим шляхом наведення може бути силова мережа, до як підключені технічні засоби.

При такій схемі включення (рис.5) аналізатор спектру буде фіксувати зміні напруженості поля в ефірі відносно противаги та відносно провідників силової мережі п проходженні по колу А-В інформаційного або тестового сигналу.

Обґрунтування вибору частотного діапазону для досліджень

У діапазоні частот до 1 МГц найбільш сконцентровані індустрийні завади [8], я будуть присутні і на об'єктах експлуатації технічних засобів. Крім того, випромінюваль здатність антен, які можуть бути використані з метою опромінення, на таких частотах буд дуже низькою [2]. Тому цю ділянку діапазону, на наш погляд, можна не досліджувати.

У діапазоні частот від 1 до 30 МГц електромагнітні хвилі сильніше за інші поглинаються у землі [2]. Але відомо, що конструкції, які застосовують для екрануванн: втрачають свою ефективність при зменшенні частоти, за рахунок того, що екран виготовляються найчастіше з немагнітних матеріалів. Магнітна складова поля має здатність проникати у метали на значну глибину при низьких частотах, тому що в такому разі в них виникає поверхневий ефект [6]. Застосування противаги та автономного блоку живленн генератора (рис.5) при проведенні досліджень, на наш погляд, у цьому діапазоні частот обов'язковим.

Діапазон частот від 30 МГц і вище є найбільш ймовірним для використання з метою перехоплення інформації за рахунок високочастотного опромінення. Ультракороткі хвилі гарно віддзеркалюються не тільки від поверхні землі, але і від об'єктів, таких як дерева будинки та ін.[2], тобто можуть добре поширюватись в межах приміщень. Крім того, вон сильно поглинаються металевими предметами, розміри яких співпадають з $n \cdot \lambda / 2$, д $n=1,2,3 \dots$ [2]. Такими предметами можуть бути технічні засоби і з'єднувальні кола між ними

Перевагою ультракоротких хвиль є можливість отримати вузьку спрямованість випромінювання і прийому, тому що антени з багатьох вібраторів, а також рефлектори т інші елементи спрямованих антен у даному діапазоні мають малі розміри. Це нада можливість користуватися радіопередавачами малої потужності. Малі розміри антен надають можливість створювати портативне радіоустаткування, а також пристрої для автомобілів [2].

Необхідність використання противаги (рис.5), під час досліджень, у даном діапазоні необхідно з'ясувати під час експерименту, але можна передбачити, що вектор поляризації, в разі її відсутності, може змінювати свій напрямок при зміні частоти сигнал

опромінення. Це пов'язано з тим, що крім нормальної складової напруженості електричного поля утвориться тангенційна складова. Співвідношення між ними буде визначатися залежністю (2), наведеною у [8]:

$$E_t = E_N / \sqrt{\varepsilon} \quad (2)$$

де ε - комплексна діелектрична проникність підстильної поверхні, яка є функцією частоти [9].

Необхідність використання автономного блоку живлення для генератора (рис.5) при дослідженнях у цій ділянці діапазону слід з'ясувати експериментально.

На наш погляд, для високочастотного опромінення технічних засобів може бути використано весь ультракороткохвильовий діапазон (30МГц - 300ГГц.) Тому повнота досліджень того чи іншого засобу на можливість витoku інформації за рахунок високочастотного опромінення буде залежною від можливостей вимірювального обладнання.

Умови проведення експерименту

Дослідження повинні бути безпечними для здоров'я людей. Тому технічні засоби, що досліджуються, випромінюючи та прийомну антени необхідно розташувати у екранованому приміщенні, а генератор і аналізатор спектру за його межами.

Бажано щоб рівень побічних завад у екранованій камері не перевищував рівень внутрішніх шумів вимірювального обладнання.

Віддзеркалення електромагнітних хвиль від стінок екранованої камери є небажаним, оскільки інтерференція прямої і віддзеркаленої хвиль може вплинути на результат досліджень. Тому стіни і стеля екранованої камери з середини повинні бути обшиті радіопоглинаючим матеріалом.

Сполучення вимірювальних приладів з антенами потрібно провести за допомогою високочастотних екранованих кабелів, погодженими з приладами та антенами за опором. Довжина кабелю, що сполучається з аналізатором спектру повинна бути мінімальною, з метою забезпечення мінімального згасання вимірюваного сигналу.

З практичних рекомендацій до вимірювань напруженості поля електромагнітних хвиль, викладених у існуючих методиках спеціальних досліджень технічних засобів, відомо, що у діапазоні до 30МГц, крім електричної, доцільно дослідити магнітну складову поля. На нашу думку, окремий аналіз складових поля ґрунтується на тому що, в такому разі, дослідження сигналів відбувається, як правило, у ближній зоні (зоні нестационарності), де

розподіл між електричною та магнітною складовими енергії електромагнітної хвилі непередбачуваний.

У техніці вимірювань, у діапазоні до 30 МГц, найчастіше застосовуються рамочні антени, яким притаманні портативність та просторова вибірність [7].

В теорії умовний розподіл між дальньою та ближньою зоною пов'язаний з величиною $\lambda/2\pi$. Ближньою зоною вважається ділянка навколо антени з радіусом значно меншим цієї величини, а дальньою зоною - з радіусом значно більшим за неї [4].

Якщо ми виберемо відстань між антенами рівною 10м, то для частот, що перевищують 30 МГц, аналіз буде проводитись у дальній зоні. В такому разі будуть враховані теоретичні і практичні рекомендації.

Якщо відома відстань між антенами - r і висоти їх розташування над поверхньою розподілу середовищ - $h1$ і $h2$, то ширина ділянки, суттєвої для розповсюдження радіохвиль - B буде визначатися, згідно з [8], наступною формулою (3):

$$B = \sqrt{\frac{\lambda r (\lambda r + 12 h_1 h_2)}{3(\lambda r + 3(h_1 + h_2)^2)}} \quad (3)$$

Так для хвилі, довжиною $\lambda=10\text{м}$ (30 МГц) при $h1=h2=1\text{м}$, $r=10\text{м}$, ширина ділянки B складатиме 5.77м. Тому необхідно, щоб ширина екранованого приміщення була більшою за B .

Формула (3) також може бути використаною для розрахунку ширини протиагаи (рис.5). Але з практичної точки зору, нас цікавить та ділянка віддзеркалюючої поверхні, на якій будуть розташовані технічні засоби і самі антени. Тому можливо допустити щоб ширина протиагаи була значно меншою за B . Решту ділянки (підлогу приміщення) слід, на наш погляд, викласти радіопоглинаючим матеріалом.

У діапазоні вище 30 МГц використовуються, як правило, широкосмугові диполі та логоперіодичні антени [7].

Проведення експерименту

Обмежимося для досліджень діапазоном 1МГц-1ГГц. Необхідність застосування різних антен і розбивання діапазону, у процесі досліджень, на піддіапазони слід з'ясувати, спираючись на існуючий парк обладнання.

Визначення частот, на яких можливий виток інформації по високочастотному каналу, необхідно проводити по наступному алгоритму:

1. Зібрати у екранованій камері лабораторну установку, розмістивши антени і протиагау, як зображено на рис.5, а генератор і аналізатор за її межами.

2. Від'єднати від мережі електроживлення всі пристрої, які розташовані у екранованій камері і не приймають участь у дослідженнях.
3. Зняти характеристику розповсюдження електромагнітних хвиль у діапазоні частот від 1МГц до 1ГГц.
4. Між антенами розмістити технічні засоби, які необхідно дослідити, провести всі необхідні сполучення між ними, підключити до мережі електроживлення, корпуси, при необхідності, заземлити на протывагу. Технічні засоби необхідно розміщувати на ізолюючих підставках з мінімальною площею поверхні на фіксованій висоті (наприклад 1 м).
5. Встановити тестовий режим роботи для технічних засобів. Тестовий сигнал повинен мати чітко визначену періодичну структуру.
6. Повторно зняти характеристику розповсюдження електромагнітних хвиль у діапазоні частот від 1МГц до 1ГГц. Вимірювальне обладнання повинно знаходитись у тих само режимах, що і у п.3.
7. Провести порівняння отриманих характеристик шляхом визначення різниці між отриманими значеннями амплітуд двох характеристик у всьому діапазоні частот. Частоти, на яких отримані значні розбіжності результатів – слід вважати найбільш небезпечними. Вони підлягають більш детальному аналізу.

При аналізі отриманих даних слід враховувати, що використання екранованої камери призводить до утворення складних інтерференційних процесів в межах приміщення, де проводиться опромінення технічних засобів. Тому, не виключається така ситуація, коли зменшення напруженості поля в місті розташування технічних засобів може призвести до збільшення напруженості поля у місті прийому. Тому більш правильним буде визначати модуль різниці між характеристиками, отриманими у п.3. і п.7.

Насправді, не всі частоти на яких отримані значні розбіжності результатів можуть бути небезпечними.

Наприклад, на частотах, де довжина хвиль буде значно меншою лінійних розмірів перешкод (у даному випадку - технічних засобів) чи радіусів кривизни їх поверхні, електромагнітне поле буде підкорятися законам геометричної оптики [5], тобто зміна напруженості поля у місці прийому може відбуватися за рахунок звичайного віддзеркалення електромагнітних хвиль від корпусів технічних засобів, а не поглинання їх енергії інформаційними колами технічних засобів. Але відокремлення таких частот може бути проведено тільки шляхом подальших експериментів.

На визначених у п.7. частотах проводяться додаткові опромінення технічних засобів. Кожна частота, за допомогою аналізатора спектру, досліджується на предмет наявності бокових складових з частотами тестового сигналу. Якщо на даній частоті ознак модуляції не виявлено, то опромінення слід проводити з максимально можливими рівнями. При цьому, вимірювальний прилад повинен аналізувати мінімальну смугу частот $F = F_{\text{ген}} + F_{\text{тест}}$, або $F = F_{\text{ген}} - F_{\text{тест}}$.

Якщо відомі амплітуди несучого коливання і бокових складових, то можливо оцінити коефіцієнт модуляції. Максимальний, визначений у процесі досліджень, коефіцієнт модуляції може характеризувати захищеність технічного засобу від високочастотного опромінення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калашников С.Г. Электричество: Учебное пособие.-5изд., испр. и доп. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985.-(Общий курс физики). -576с.
2. Н.И. Чистяков, В.Д. Жаров. Радиотехника. Учебное пособие. -М.: - Воен. издат., 1953., - 490с.
3. Ю.С. Шинаков, Ю.М. Колодяжный. Основы радиотехники. Москва, Радио и связь, 1983г.
4. И.Е. Тамм. Основы теории электричества. Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва. 1954г. 620с.
5. Кухаркин Е.С. Инженерная электрофизика. Техническая электродинамика/ Под ред. П.А. Ионкина. Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1982. - 520с., ил.
6. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре.- 2-е изд. перераб. и доп. - М.: "Радио и связь", 1981. -296с.
7. Курганов Л.С., Шаров Е.Е. Техника измерения напряжённости поля радиоволн. - М.: Радио и связь, 1982. -128с.
8. Серков В.П., Слюсарев П.В. Теория электромагнитного поля и распространение радиоволн. Ч.2. Распространение радиоволн. Учебник для ВВУЗов войск связи. Ленинград. 1973. 255с.
9. Венс Э.Ф. Влияние электромагнитных полей на экранированные кабели. М: Радио и связь. 1982. 118с. Перевод с англ. Г.М. Мосина по ред. Л.Д. Разумова.

Надійшла 18.06.2002