

УДК 621.385.8

А. С. Моставлюк, асп.

ВИМІРЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НВЧ ЕКРАНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ: ВИМІРЮВАЧ КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ ТА ПРОХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розглянуто метод вимірювання ефективності екрануючих матеріалів, які використовуються для захисту біологічних об'єктів, в тому числі людини, від НВЧ електромагнітного випромінювання. Запропоновано нові структурні рішення, які дозволяють реалізувати точне вимірювання коефіцієнта відбиття екрануючого матеріалу та прохідної потужності, що характеризує його захисні властивості.

Вступ

Процеси, які відбуваються в середовищі електромагнітного поля (ЕМП) цікавлять сьогодні не лише фізиків та інженерів, але й екологів. Теоретичні та експериментальні дані дозволяють досить точно показати, що вплив електромагнітного поля, навіть незначної інтенсивності, на біологічні об'єкти може призвести до так званої радіохвильової хвороби [1]. Активність впливу ЕМП зростає із збільшенням частоти і дуже серйозно впливає у НВЧ діапазоні. У цьому діапазоні працюють деякі теле- та радіостанції, радіорелейні станції, радіолокатори. НВЧ діапазон широко використовують у промислових установках нагріву, сушки, стерилізації та ін. Подібні установки використовуються і в побуті, прикладом є значне поширення мікрохвильових печей для приготування їжі [2].

З інтенсивністю поля близько 20 мкВт/см² спостерігається зменшення частоти пульсу, зниження артеріального тиску. Ця дія посилюється у людей, які вже потрапляли раніше під подібне опромінення, тобто спостерігається кумулятивний (накопичувальний) характер пошкоджень. Тому сьогодні поряд з швидким розвитком НВЧ техніки гостро постає проблема формування електромагнітної обстановки, яка забезпечить екологічну безпеку, та дослідження шляхів захисту від опромінення.

Вимірювання ефективності екрануючих матеріалів

Одним з найпоширеніших методів захисту біологічних об'єктів, в тому числі людини, від шкідливого НВЧ електромагнітного опромінення є екранування робочого місця чи джерела випромінювання. Екранування електромагнітних полів є основою екологічної безпеки. Застосування якісних екранів дозволяє розв'язати багато задач, серед яких захист інформації в приміщеннях та технічних каналах, задачі електромагнітної сумісності обладнання та приладів, при їх сумісному використанні, задачі захисту персоналу від підвищеного рівня електромагнітних полів та забезпечення сприятливої екологічної обстановки навколо працюючих установок та НВЧ-пристроїв.

Під екрануванням в загальному випадку розуміють як захист приладів від впливу зовнішніх полів, так і локалізацію випромінювання НВЧ засобів, яка запобігає появі цих випромінювань в навколишньому середовищі. Ефективність екранування – це ступінь послаблення складових поля, який визначається як відношення діючих значень напруг полів в даній точці простору за відсутності і наявності екрану $K_{\text{эф}} = \frac{E_0}{E_1}$, де E_0 — напруженість ЕМП НВЧ за відсутності екрана; E_1 —

напруженість ЕМП НВЧ за наявності екрана.

Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що форма екрана впливає на його ефективність в незначній мірі. Головним фактором, який визначає якість екрана, є радіофізичні особливості матеріалу та його конструкційні особливості. Коефіцієнт проходження через шар матеріа-

лу є однією з кількісних характеристик ефективності екранування, оскільки він дорівнює відношенню амплітуд пройденої $E_{\text{пр}}$ та падаючої $E_{\text{пад}}$ на екран хвиль $K_{\text{прох}} = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}}$.

Для ефективних екрануючих матеріалів $E_{\text{пад}} \gg E_{\text{пр}}$, тому вимірювання $K_{\text{прох}}$ виявляється ускладненим. Використовують інший підхід, який базується на представленні ефективності одношарового екрану як суми окремих складових $K = K_{\text{погл}} + K_{\text{відб}}$, де $K_{\text{погл}}$ — ефективність екранування внаслідок поглинання екраном електромагнітної енергії, $K_{\text{відб}}$ — ефективність екранування за рахунок відбиття електромагнітної хвилі екраном. Для матеріалів, екрануюча здатність яких обумовлена ефектом відбиття і, відповідно, $K_{\text{відб}} \gg K_{\text{погл}}$ ефективність екрануючого матеріалу буде визначатися коефіцієнтом відбиття

$$K_{\text{відб}} = \frac{E_{\text{відб}}}{E_{\text{пад}}} \tag{1}$$

де $E_{\text{відб}}$ — напруженість відбитої електромагнітної хвилі.

Вимірювач коефіцієнта відбиття та прохідної потужності

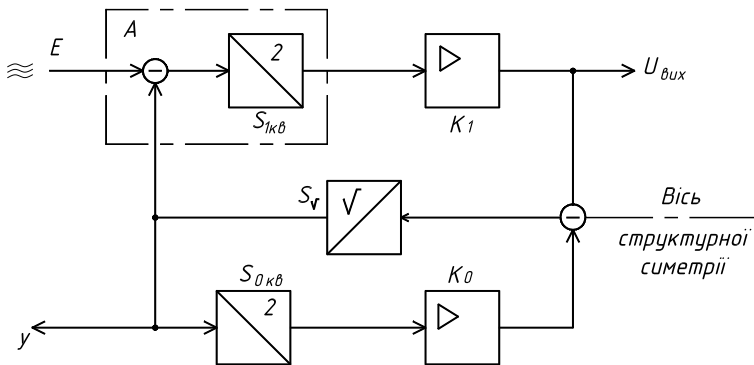


Рис. 1. Сенсор потужності НВЧ випромінювання, побудований за методом структурного симетризування

Оскільки норма опромінення людини не повинна перевищувати 10 мкВт/см^2 , а верхня межа потужності не перевищує 1 мВт , то доцільно в якості первинного перетворювача енергії НВЧ випромінювання використати сенсор НВЧ потужності, побудований на основі квадратичного діодного детектора за принципом структурного симетризування (рис. 1).

Функція інформаційно-вимірювального перетворення наведеного сенсора описується виразом

$$U_{\text{вих}} = S_{0\text{кв}} K_0 |E|^2 \tag{2}$$

де $S_{0\text{кв}}$ — коефіцієнт перетворення квадратора симетричного кола; K_0 — коефіцієнт підсилення підсилювача симетричного кола.

Перевагами такого первинного перетворювача є інваріантність відносно параметрів НВЧ детектора A , що забезпечує досить високу точність ($1 \dots 2,5 \%$), та достатньо високу чутливість, яка визначається коефіцієнтом підсилення K_0 .

Структура запропонованого вимірювача коефіцієнта відбиття показана на рис. 2. Вимірювач коефіцієнта відбиття НВЧ енергії має два окремих канали вимірювання падаючої електромагнітної хвилі (ЕМХ) $E_{\text{пад}}$ та відбитої ЕМХ $E_{\text{від}}$, розділених у просторі. Це дозволяє уникнути використання нестабільного НВЧ комутатора. У випадку,

Рис. 2. Вимірювач коефіцієнта відбиття НВЧ екрануючих матеріалів

коли напруги порівнюваних сигналів залишаються практично постійними допустимо порівнювати не неперервні в часі напруги, а пакети (часові відрізки) цих напруг, взяті за рознесені в часі відно-

сно короткі проміжки часу. Якщо такі порівняння повторювати періодично, через невеликі проміжки часу, то результати порівняння будуть досить точно відображати характер вимірювання різницевої величини [3]. Заміна неперервних напруг їх пакетами дозволяє застосувати послідовну в часі їх обробку одними і тими ж перетворювальними ланками. В даному випадку використано спільне симетричне коло та спільний підсилювач для обох каналів, що зменшує похибки їх неідентичності.

Порівнювані напруги відповідно до виразу (2) $U_{пад} = S_{0кв} K_0 |E_{пад}|^2$ і $U_{відб} = S_{0кв} K_0 |E_{відб}|^2$ підключаються по чергово до підсилювально-перетворювального тракту комутатором КМ2, який керований прямокутною напругою $u_{кер} = U_{кер} \text{sign} \sin \Omega t$ комутаційного генератора G. Напруга $U_{пад}$ вимірюється в перший напівперіод комутації, напруга $U_{відб}$ — в другий напівперіод.

На виході фільтра нижніх частот ФНЧ1 отримуємо напругу

$$U_{ФНЧ1} = k_{СД1} k_{ФНЧ2} S_{0кв} K_0 |E_{відб}|^2,$$

де $k_{СД1}$ — коефіцієнт випрямлення синхронного детектора СД1 $k_{ФНЧ1}$ — коефіцієнт передачі ФНЧ1.

На виході ФНЧ2 відповідно

$$U_{ФНЧ2} = k_{СД2} k_{ФНЧ2} S_{0кв} K_0 |E_{відб}|^2.$$

Для визначення $k_{відб}$ за виразом (1) сигнали $U_{ФНЧ1}$ та $U_{ФНЧ2}$ подаються на подільник ПД, на виході якого напруга дорівнює

$$U_{вих} = \frac{U_{ФНЧ1}}{U_{ФНЧ2}} = \frac{k_{СД1} k_{ФНЧ1} |E_{пад}|^2}{k_{СД2} k_{ФНЧ2} |E_{відб}|^2}. \tag{3}$$

У виразі функції вимірювального перетворення залишилися тільки відношення параметрів синхронних детекторів та фільтрів, які можуть внести похибку в результат вимірювання. Цю похибку можна мінімізувати, обравши параметри детекторів та фільтрів таким чином, щоб вони однаково залежали від дестабілізуючих факторів.

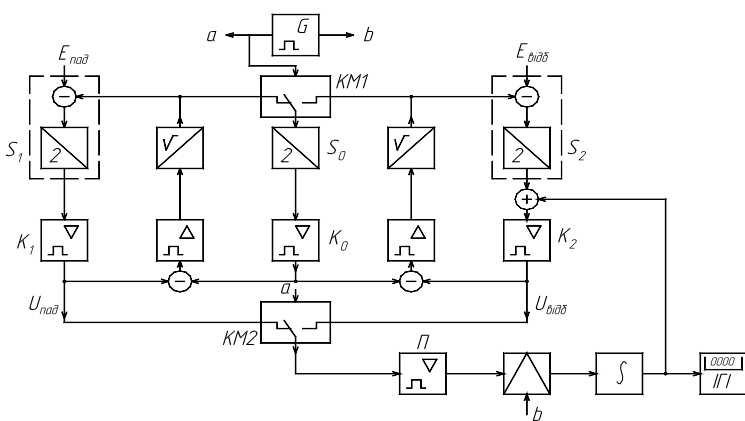


Рис. 3. Вимірювач прохідної НВЧ потужності екрануючих матеріалів

Вимірювач прохідної потужності побудовано аналогічно до вимірювача коефіцієнта відбиття (рис. 3). Його відмінністю є те, що різниця потужностей вимірюється за методом періодичного порівняння. Під час неперервної роботи комутаторів на підсилювач П по чергово впливає періодична сумарна напруга U_c . Напруга U_c подається на синхронний детектор (фазочутливий випрямляч). Вихідна напруга одноканальної схеми подається на індикатор.

Значення вихідної напруги визначається таким чином. Вихідна напруга, підсилена підсилювачем П, в один напівперіод комутації

$$U_{П1} = k_{П} S_{0кв} K_0 |E_{пад}|^2 = k_{П} U_{пад}, \tag{4}$$

де $k_{П}$ — коефіцієнт підсилення підсилювача П.

В наступний напівперіод комутації

$$U_{П2} = k_{П} S_{0кв} K_0 |E_{відб}|^2 = k_{П} U_{відб}. \quad (5)$$

Вихідна напруга синхронного детектора з врахуванням (4), (5)

$$U_{CD} = \frac{1}{2} k_{П} k_{CD} (U_{пад} - U_{відб}). \quad (6)$$

де k_{CD} — коефіцієнт випрямлення синхронного детектора.

Відповідно до (4)—(6) вихідний результатний сигнал за період комутації

$$U_{вих} = U_{CD} = \frac{1}{2} k_{П} k_{CD} K_0 S_0 (|E_{пад}|^2 - |E_{відб}|^2). \quad (7)$$

Напруга (7) утримується інтегратором протягом наступного періоду комутації комутаторів К1, К2. Протягом цього періоду комутації напруга, відповідна різниці потужностей $|E_{пад}|^2 - |E_{відб}|^2$, подається за допомогою кола зворотного зв'язку на суматор каналу вимірювання відбитої хвилі. В результаті сигнал на виході суматора має вигляд $U_C = |E_{пад}|^2 - |E_{відб}|^2 + |E_{відб}|^2 = |E_{пад}|^2$, який подається на комутатор К2 і порівнюється з сигналом каналу вимірювання падаючої хвилі.

Таким чином проводиться порівняння напруги падаючої хвилі з вимірною за попередній період комутації. Таке порівняння дозволяє визначити точку відліку для вимірювання різницевої напруги.

Висновки

Характеристиками, за якими можна приймати рішення про використання матеріалу в якості захисного ізолюючого НВЧ випромінювання покриття, є коефіцієнт відбиття та прохідна потужність. Для вимірювання цих величин запропоновано вимірювальну структуру, яка дозволяє зменшити похибки, притаманні аналогічним структурам. Висока точність забезпечується завдяки таким чинникам: 1) використання інваріантного сенсора НВЧ потужності; 2) фізичне розділення вимірювальних каналів падаючої та відбитої хвилі; 3) послідовна обробка падаючого та відбитого сигналів одними і тими ж ланками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тихонов М. Н. Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее // Экологическая экспертиза. — 2005. — № 3. — С. 9—24.
2. Мікрохвильові технології в народному господарстві. Втілення. Проблеми. Перспективи: Вип. 2—3 / Ред. акад. МАІ Калінін Л. Г. Міжнар. акад. інформ.; Півден. філ. від-ня пром. радіоелектроніки МАІ; Український науково-технологічний центр. — Одеса, Київ: ТЕС, 2000. — 192 с. (Рос. мовою).
3. Орнатский П. П. Измерительные приборы периодического сравнения. — М.: Энергия, 1975. — 232 с.

Моставлюк Антоніна Сергіївна — аспірантка кафедри проектування та конструювання радіоелектронних засобів.

Хмельницький національний університет