

ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ФІЛЬТРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕМС ДЖЕРЕЛ НВЧ ЕНЕРГІЇ**Ю. Ф. Зінковський, Ю. К. Сидорук, А. О. Туровський**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, Україна, 03056. E-mail: toljatyr@i.ua

Розглянуто особливості використання поляризаційних фільтрів для забезпечення електромагнітної сумісності з точки зору вибіркового пропускання електромагнітних хвиль різної поляризації. Приведені у літературі аналітичні вирази для розрахунку проходження та відбивання електромагнітної енергії зосереджені на невисокому рівні екранування (менше 15дБ по потужності), тому роботою вирішується питання можливості їх застосування для розрахунку більш густих сіток. Проведено експериментальні дослідження коефіцієнта проходження плоскої електромагнітної хвилі через металеву сітку, яка сформована тонкими круглими провідниками, розташованими паралельно в одній площині. Виконано числове моделювання задачі у пакетах прикладних програм HFSS і CST MWS. Дослідження показали, що наведені аналітичні формули можуть бути використані для розрахунку поляризаційно-фільтруючих елементів у випадках необхідності забезпечення високого рівня загасання крос-поляризаційної складової хвилі.

Ключові слова: поляризаційний фільтр, поляризація, розв'язка, електромагнітна сумісність.**ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭМС ИСТОЧНИКОВ СВЧ ЭНЕРГИИ****Ю. Ф. Зинковский, Ю. К. Сидорук, А. А. Туровский**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, г. Киев-56, Украина, 03056. E-mail: toljatyr@i.ua

Рассмотрены особенности использования поляризационных фильтров в обеспечении электромагнитной совместимости для избирательного пропускания электромагнитных волн различной поляризации. Представлены в литературе выражения для расчета прохождения и отражения электромагнитной энергии сосредоточены на невысоком уровне экранирования (менее 15дБ по мощности), потому работой решается вопрос о возможности их применения для более густых сеток. Проведены экспериментальные исследования коэффициента прохождения плоской электромагнитной волны через металлическую сетку, сформированную тонкими круглыми проводниками, расположенными параллельно в одной плоскости. Выполнено численное моделирование задачи в пакетах прикладных программ HFSS и CST MWS. Исследования показали, что указанные аналитические формулы могут быть использованы для расчета поляризационно-фильтрующих элементов в случаях необходимости обеспечения высокого уровня затухания кросс-поляризационной составляющей волны.

Ключевые слова: поляризационный фильтр, поляризация, развязка, электромагнитная совместимость.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Металеві сітки з паралельно розташованими круглими або плоскими проводами широко застосовуються в радіотехніці як пасивні рефлектори антен, що замінюють суцільний металевий екран. Це дає можливість значно зменшити витрати металу, зменшити вагу і вітрове навантаження на антену. Крім того, така сітка може використовуватися як поляризаційний фільтр.

Необхідність розрахунку радіотехнічних і конструктивних параметрів для проектування поляризаційного фільтру як складової системи опромінення електромагнітним полем діелектричних матеріалів з метою підвищення щільності та рівномірності об'ємного розподілу поглинутої енергії і взаємної розв'язки декількох ВЧ або НВЧ генераторів, що працюють на спільне навантаження, вимагає теоретичних та експериментальних досліджень властивостей осепаралельної металеві сітки, сформованої тонкими металевими проводами круглого поперечного перетину.

У зв'язку з цим метою роботи є пошук оптимального методу розрахунку таких систем, у тому числі при наявності в опромінюючому електромагнітному полі значної крос-поляризаційної складової.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. *Постановка задачі.* В даній роботі необхідно провести дослідження та аналіз коефіцієнтів відбиття і проходження плоскої електромагнітної хвилі через плоску осепаралельну нескінченну за розмірами сітку, сфо-

рмовану тонкими провідниками круглого поперечного перетину, що проводиться за спрощеною аналітичною моделлю, викладеною в [1, 2], чисельними методами та експериментально, при нормальному падінні хвилі відносно площини сітки, поляризації паралельній відносно проводів сітки та при умові, що $r_0 \ll d < \lambda$, де λ – довжина електромагнітної хвилі, що падає на сітку; r_0 – радіус проводів сітки; d – відстань між осями сусідніх проводів.

Теоретичні моделі та їх аналіз. Спрощена модель для аналітичних розрахунків. У роботах [1, 2] приведено аналітичний метод визначення коефіцієнтів відбиття та проходження електромагнітних хвиль через плоску металеву сітку, сформовану тонкими круглими паралельними нескінченними по довжині провідниками. Розрахункові формули отримані при наступних припущеннях: електромагнітна хвиля, що падає на сітку має плоский фазовий фронт; напруженість електричного поля \vec{E} хвилі, що створилася на сітці, визначається як сума напруженостей первинної хвилі та хвилі, що перевипромінюється струмами, наведеними в проводах сітки первинною хвилею; напруженість перевипроміненої хвилі окремого провідника знаходиться шляхом інтегрування по довжині провідника елементарних напруженостей, що створюються елементарними струмами та сумуванням напруженостей, що створюються окремими провідниками в заданій

точці простору; при умові $r_0 \ll \lambda$ щільність поверхневого струму по периметру провідника однорідна.

При довільному напрямку падіння і довільній поляризації падаючої електромагнітної хвилі відносно провідників сітки введемо дві прямокутні системи координат (v_1, v_2, v_3) і (u_1, u_2, u_3) (рис. 1), одна з яких прив'язана до провідників сітки, друга – до фазового фронту падаючої хвилі. Системи координат орієнтовані наступним чином: вісь Ov_1 співпадає з напрямком одного з провідів, Ov_3 перпендикулярна до площини сітки, Ou_1 паралельна вектору \vec{E} , вісь Ou_2 паралельна вектору H , а вісь Ou_3 паралельна напрямку поширення падаючої електромагнітної хвилі. Початки обох систем координат співпадають. Кути φ_{nm} між осями Ov_n та Ou_m задані виразами:

$$\begin{cases} v_n = \sum_{m=1}^3 u_m \cos \varphi_{nm}, & n = 1, 2, 3 \\ u_n = \sum_{m=1}^3 v_m \cos \varphi_{mn}, & n = 1, 2, 3. \end{cases} \quad (1)$$

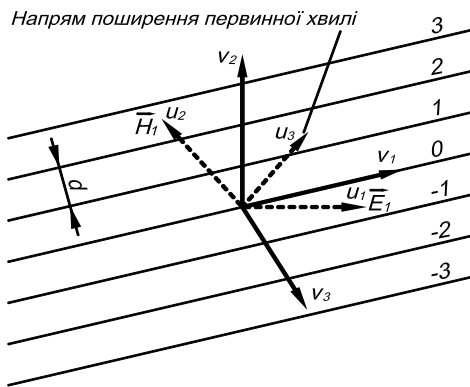


Рисунок 1 – Системи координат та їх прив'язка до сітки і фронту хвилі

Для такого загального випадку модуль коефіцієнта проходження електромагнітної хвилі через сітку за потужністю визначається виразом [2]:

$$\delta = \left| 1 - \frac{\lambda \sqrt{\cos^2 \varphi_{21} + \cos^2 \varphi_{11} \cos \varphi_{11}}}{\pi d \sin^2 \varphi_{13} \cos \varphi_{33}} \times \frac{1}{H_0^{(2)}(Br_0) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{-i\beta kd \cos \varphi_{13}} H_0^{(2)}(B|k|d)} \right|^2, \quad (2)$$

де $B = \beta \sin \varphi_{13}$, $H_0^{(2)}$ – функція Ганкеля нульового порядку. Штрих біля знаку суми вказує на випадіння з суми елемента з нульовим номером.

При нормальному падінні плоскої хвилі на сітку φ_{nm} мають наступні значення:

$$\begin{cases} \varphi_{11} = \gamma, & \varphi_{12} = \frac{\pi}{2} + \gamma, & \varphi_{13} = \frac{\pi}{2}, \\ \varphi_{21} = \frac{3}{2}\pi + \gamma, & \varphi_{22} = \gamma, & \varphi_{23} = \frac{3}{2}\pi, \\ \varphi_{31} = \frac{3}{2}\pi, & \varphi_{32} = \frac{1}{2}\pi, & \varphi_{33} = 0, \end{cases}$$

де γ – кут між вектором напруженості електричного поля і осями провідників.

При нормальному падінні і векторі \vec{E} паралельному осям провідників кут $\gamma = 0$ і вираз (2) приймає вигляд:

$$\delta = \left| 1 - \frac{\lambda}{\pi d \left[H_0^{(2)}(\beta r_0) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} H_0^{(2)}(\beta|k|d) \right]} \right|. \quad (3)$$

Для подальшого спрощення виразу і, відповідно, розрахунків, у випадку з густими сітками ($d \ll \lambda$ і $r_0 \ll d$) доцільно ввести заміну:

$$\begin{aligned} \sum_{k=-\infty}^{\infty} H_0^{(2)}(\beta|k|d) &= 2 \sum_{k=1}^{\infty} H_0^{(2)}(\beta kd) = \\ &= 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_0(\beta kd) - 2i \sum_{k=1}^{\infty} N_0(\beta kd) \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} J_0(\beta kd) = \frac{1}{\beta d} - \frac{1}{2}$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} N_0(\beta kd) \approx -\frac{1}{\pi} \ln \frac{\gamma \beta d}{4\pi}, \quad \gamma = 1, 7211 \dots$$

Після такої заміни вираз (3) приймає остаточний вигляд:

$$\delta = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{2d} \frac{1}{\ln 2\pi \frac{r_0}{d}} \right)^2}, \quad (4)$$

за яким проводяться відповідні розрахунки.

Чисельне комп'ютерне моделювання. Для чисельного комп'ютерного моделювання використовувались два пакети програм: Ansoft HFSS 13 (HFSS) [4] та CST Microwave Studio 2012 (MWS) [5].

В обох випадках чисельного розрахунку за допомогою комп'ютерних програм використовувалась однакова модель (рис. 2), аналогічна моделі, що використовувалась при аналітичних розрахунках, що забезпечило можливість порівняння результатів, тобто сітка плоска нескінченна в двох напрямках; електромагнітна хвиля однорідна, має плоский фазовий фронт, напрямок падіння співпадає з перпендикуляром до сітки і поляризована паралельно провідникам сітки. Для зменшення об'єму розрахунків запропоновану структуру обмежено зверху та знизу ідеальними електричними стінками, а з боків – ідеальними магнітними стінками.

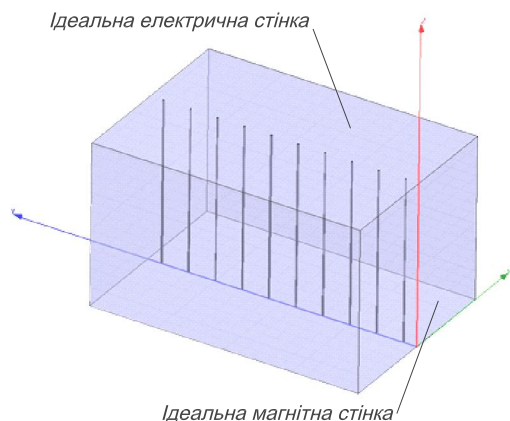


Рисунок 2 – Модель для числового розрахунку

Такі припущення, через незмінність структури електромагнітного поля порівняно з нескінченно продовженою стінкою в напрямку поперечних координат дають підстави вказувати на співвідповідність обох моделей.

Геометричні розміри моделі і частота, яка була змінною величиною при розрахунку, підбиралися таким чином, щоб вони відповідали можливостям експерименту. Дана модель мала наступні геометричні параметри: ширина паралелепіпеда – 100 мм, висота – 60 мм, довжина – 140 мм. Для полегшення розрахунку і спрощення моделювання при застосуванні апарату методу кінцевих елементів, який використовується при комп'ютерному моделюванні, та для врахування граничних умов на поверхні провідників, круглі в поперечному перетині провідники замінені шестигранниками.

Для зручності використання розрахованих залежностей при конструюванні та порівнянні їх з експериментальними даними на даному етапі доцільно провести розрахунки в абсолютних величинах таким чином, щоб незалежною змінною була частота, яка змінюється в діапазоні від 1 до 6 ГГц. При цьому сітка мала наступні параметри: радіус провідника 0,25 і 0,5 мм, відстань між осями провідників 10 і 15 мм. Результати розрахунків модуля коефіцієнта проходження приведені на рис. 3.

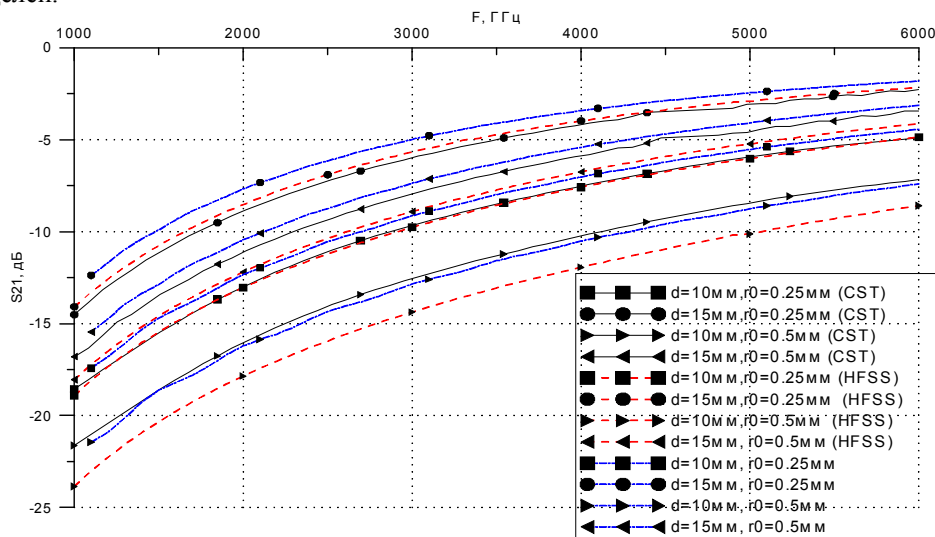


Рисунок 3 – Результати моделювання у програмах CST MWS – суцільні лінії, HFSS – штрихові лінії та розраховані за аналітичними виразами – штрих-пунктирні лінії при різних параметрах сітки

Суцільні лінії – це розрахункові криві, одержані при використанні пакету програм CST MWS, пунктирні – HFSS, штрих-пунктирними лініями позначені криві розраховані за допомогою виразу (4).

Порівнюючи розраховані залежності, можна відмітити задовільне, менше 2 дБ, розходження між результатами розрахунків прикладних чисельних програм. Натомість досить пристойне співпадання демонструють залежності, розраховані за аналітичними виразами. В цілому ж, для даного конкретного випадку, обумовленому при постановці задачі, можна говорити про достатню відповідність запропонованого аналітичного методу чисельним розрахункам в рамках заданої моделі. Остаточний висновок можна буде зробити лише після порівняння розрахункових і експериментальних результатів.

Постановка експерименту та експериментальні дослідження. Експериментальний стенд. Для перевірки адекватності запропонованих моделей і методів розрахунків проведені експериментальні дослідження макета поляризаційного фільтра. З цієї метою було виготовлено експериментальний стенд, схема якого зображена на рис. 4.

З цієї метою було виготовлено експериментальний стенд, схема якого зображена на рис. 4.

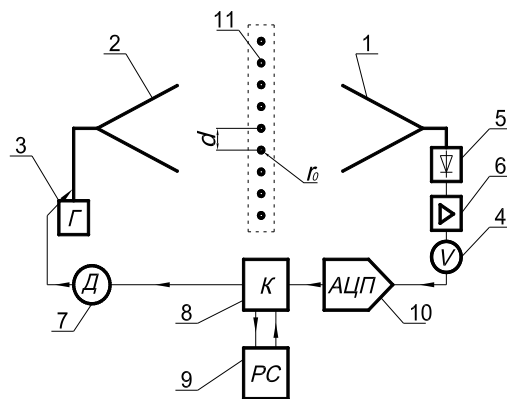


Рисунок 4 – Структурна схема вимірювального стенду

До нього увійшли: випромінювальний та приймальний рупори типу П6-23М, 2 та 1 відповідно; генератор 3 (використовувались генератори Г4-78, Г4-79, Г4-80, Г4-81), який живить рупор 2; детекторна камера 5, підсилювач 6, вольтметр 4 типу В3-56 та експериментальний макет 11, який є об'єктом експериментальних досліджень, розташований між рупорами 1 і 2. Для автоматизації, з метою підвищення швидкості вимірювання, уникнення суб'єктивної похибки і значного зменшення інтервалу, вимірювання стенод обладнано додатковими елементами. Для плавної зміни частоти генератора 3 до відповідної його ручки приєднано кроковий двигун 7, керування яким здійснює контролер 8; синхронно зі зміною частоти за допомогою аналогового перетворювача (АЦП) 10 фіксувалось значення знятої з детектора і підсиленої напруги на виході вольтметра 4.

Керування роботою контролера здійснювалось комп'ютером 9, який встановлював швидкість зміни частоти, інтервал визначення напруги та приймав результати вимірювання, що містять значення частоти і величину даній частоті напруги.

Експериментальний макет. Експериментальні дослідження здійснювались на одному наборі геометричних параметрів сітки, що відповідало одному з розрахованих випадків. Основу макету складає діелектрична рамка розмірами 1200×1200 мм, паралельно між двома сторонами якої сформована сітка із мідного дроту діаметром 0,5 мм ($r_0 = 0,25$ мм) з фіксованим кроком $d = 10$ мм. Усі дротини знаходяться в одній площині, а їх намотування на каркас здійснене меандром, таким чином, що сусідні провідники гальванічно з'єднані. Розміри макету обиралися так, аби площа сітки, що опромінюється рупором, була менша ніж загальна площа сітки, уникаючи таким чином проходження хвилі за межами сітки і зведення до мінімуму дифракційних ефектів на її краях.

Вимірювання коефіцієнта проходження. Перед виконанням вимірювань здійснювалось калібрування стеноду при відсутності сітки 11. З цією метою використовувався набір каліброваних атенуаторів з номіналом затухання 3, 5, 6 та 10 дБ, які включались між генератором і рупором 2. При фіксованому рівні сигналу, комбінуючи набір атенуаторів отримувались необхідні проміжні значення згасання в межах 3–40 дБ, і з мінімальним кроком згасання, що вноситься в сигнал, визначалась амплітуда напруги на виході підсилювача 6.

Отримана таблиця відповідності атенуації і напруги вносилась в комп'ютер, шляхом апроксимації якої здійснювалось подальше визначення відносного рівня сигналу за виміряним значенням напруги. Таким чином, визначалась амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) тракту. Для визначення модуля коефіцієнта проходження електромагнітного поля попередньо здійснювалось калібрування тракту – визначалась АЧХ при відсутності досліджуваної сітки, після чого вимірювання повторювалося

при встановленому макеті. Відношення між результатами у двох випадках відповідає коефіцієнту проходження електромагнітного поля крізь сітку.

Розкрив рупорів становив 250×350 мм; для врахування впливу стоячих хвиль між розкритом рупора і площиною сітки відстань від площини розташування сітки до рупорів змінювалась при повторних вимірюваннях в межах 900–1000 мм. Виконано три повторні вимірювання, за результатами яких визначалось середнє значення та величина випадкової похибки виміряної величини.

Досліди показали, що у гребневих рупорах, які використовувались в експерименті, рівень крос-поляризаційної складової виявився досить значним і перешкоджав вимірюванню коефіцієнта проходження крізь сітку паралельної відносно провідів складової напруженості електричного поля.

Для вирішення цієї проблеми рупори були дообладнані поляризаційними фільтрами у вигляді ряду паралельних металевих пластин, розміщених у металевому хвилеводі і орієнтованих перпендикулярно до вектора поляризації основної хвилі; основа хвилеводу виконана відповідно розмірам розкриття рупора. Відстань між сусідніми паралельними пластинами – 15 мм, довжина фільтра обиралась з міркувань зниження крос-поляризаційної складової на виході фільтра понад 15 дБ і становить 150 мм.

Такі заходи привели до зменшення рівня ортогональної поляризації рупорів у діапазоні 1–6 ГГц з –15 дБ (гірший випадок при відсутності поляризаційного фільтра) до –42 дБ за його наявності і забезпечили адекватне вимірювання коефіцієнта проходження складової електромагнітного поля з поляризацією, паралельною до провідів решітки.

Результати експериментальних досліджень і порівняння їх з розрахунками. Виміряна в межах експерименту залежність коефіцієнта проходження електромагнітної хвилі через експериментальний макет при нормальному падінні і поляризації паралельній відносно провідників сітки приведена на рис. 5 і відображена суцільною лінією. Дана крива одержана як середнє значення трьох вимірювань, при цьому випадкова похибка не перевищує 1 дБ. На цьому ж рисунку для порівняння приведені розрахункові залежності.

Крива зображена штрих-пунктирною лінією розрахована за аналітичним виразом, штрихова лінія – за допомогою прикладних програм HFSS і крапками зображена залежність розрахована за допомогою програм CST MWS. Всі розрахунки проводились для моделі з однаковими геометричними параметрами. Такі ж значення r_0 та d мав і експериментальний макет.

Відмінність експериментального макету від теоретичної моделі полягає в тому що макет має кінцеві розміри і довжина провідників обмежена, розмір фронту хвилі менший від розміру сітки, і форма фазового фронту дещо відрізняється від плоского.

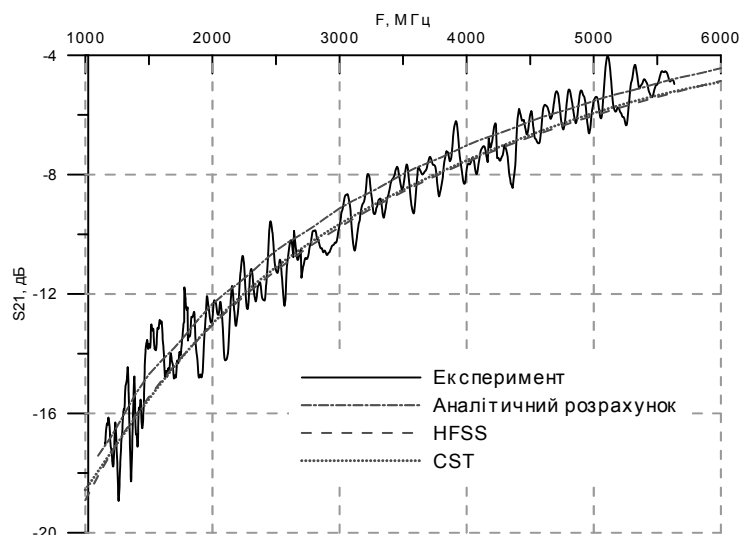


Рисунок 5 – Експериментальна та теоретичні залежності коефіцієнта проходження електромагнітної хвилі через осепаралельну сітку

Порівнюючи теоретичні, розраховані різними способами, і експериментальну криві, можна відмітити їх досить близьке співпадіння. Певні флуктуації експериментальної кривої пояснюються наявністю резонансних процесів як у трактах вимірювального стенду, так і в самому макеті. В стенді резонанси можливі через недостатню узгодженість кабелю, що з'єднує генератор з рупором, в самому рупорі та в просторі між рупором та макетом, так як макет має досить значний коефіцієнт відбиття. Незважаючи на те, що флуктуаційні відхилення можуть бути досить значними, їх коливання відбуваються навколо кривої, що досить добре співпадає з розрахованими, і це підтверджує можливість використання приведеної вище теорії при проектуванні реальних конструктивних рішень, до того ж в реальних конструкція, в яких мають бути застосовані дані поляризаційні фільтри, і падаюча, і відбита від сітки хвиля, проходять через середовище, яке поглинає енергію і це значно зменшує флуктуаційні процеси. В процесі експерименту також вимірювався коефіцієнт проходження електромагнітної хвилі поляризованої нормально відносно провідників сітки при тих же гео-

метричних параметрах сітки, що і в попередньому експерименті. При цьому було виявлено, що коефіцієнт проходження по щільності потужності через сітку в діапазоні 1–6 ГГц при вказаних вище геометричних параметрах експериментального макету був близький до одиниці.

Для промислового використання енергії електромагнітного поля НВЧ діапазону виділено ряд частот. Найбільш вживаною є частота 2450 МГц, якій відповідає довжина хвилі 122,4 мм. Переконавшись в тому, що аналітичний метод розрахунку при $r_0 < 0,05\lambda$ та $d < 0,2\lambda$ для електромагнітної хвилі, що падає на осепаралельну плоску сітку, створену з круглих провідників і поляризовану паралельно напрямку провідників дає достатню точність при розрахунку коефіцієнтів проходження та відбиття було виконано розрахунок коефіцієнта проходження як функції відстані між провідниками і радіуса провідників при фіксованій частоті 2450 МГц ($\lambda = 122,4$ мм), які є зручними при проектуванні поляризаційного фільтра для роботи на даній частоті. Вказані залежності у вигляді графіків приведені на рис. 6 і 7 відповідно.

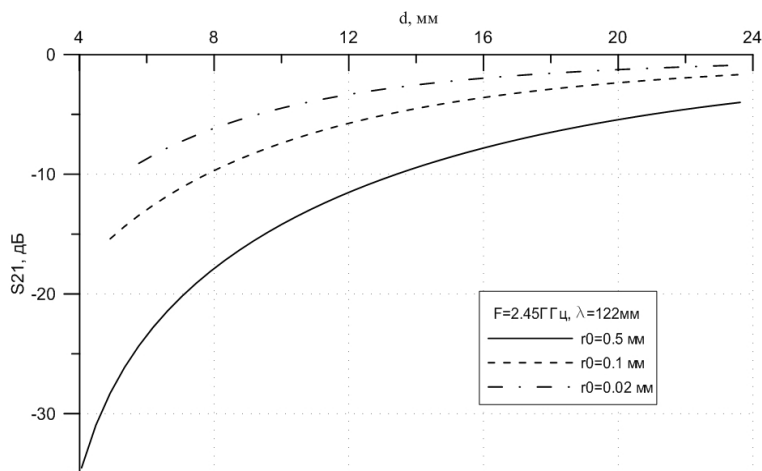


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта проходження електромагнітної хвилі через осепаралельну сітку як функції кроку сітки і радіуса провідника при фіксованій довжині хвилі

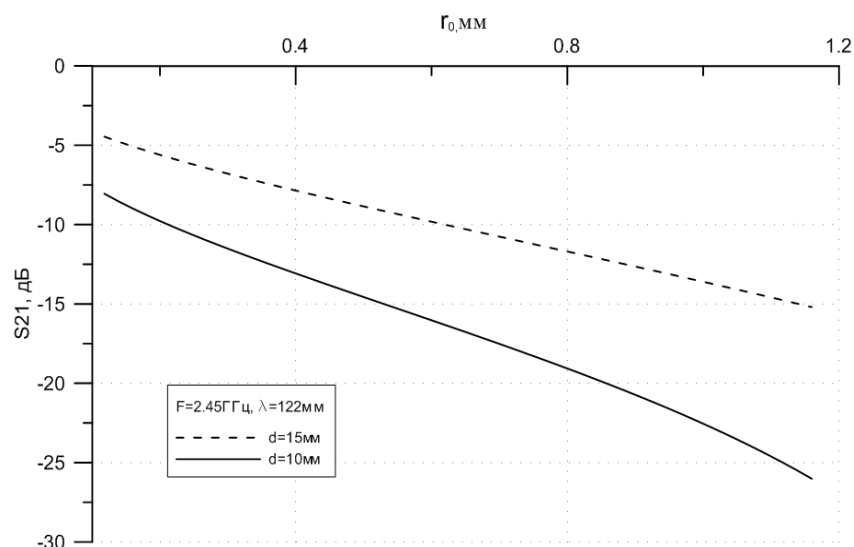


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнта проходження електромагнітної хвилі від радіуса провідника і кроку сітки при фіксованій довжині хвилі

ВИСНОВКИ.

1. Розрахунки коефіцієнта проходження електромагнітної хвилі через плоску металеву осепаралельну сітку, що падає перпендикулярно до поверхні сітки, і, вектор поляризації якої співпадає з напрямком провідників сітки, виконані трьома способами, за спрощеним аналітичним виразом та чисельними способами за допомогою пакетів прикладних програм HFSS і CST MWS показали досить високе співпадіння результатів при умові, що радіус провідників сітки не перевищує 0,05 довжини хвилі і відстань між осями провідників 0,2 довжини хвилі.

2. Залежність коефіцієнта проходження від частоти, одержана експериментальним шляхом, носить флюктуаційний характер, що пояснюється наявністю в трактах експериментального стенду і в експериментальному макеті резонансних процесів, але вказані флюктуації відбуваються навколо кривої, що добре співпадає з теоретичними кривими.

3. Виконана робота свідчить, що для випадків, які найчастіше зустрічаються на практиці (радіус провідників сітки не перевищує 0,05 довжини хвилі і відстань між осями провідників 0,2 довжини хвилі) для розрахунків коефіцієнта проходження і також для визначення конструктивних параметрів поляри-

заційного фільтра, може бути застосований спрощений аналітичний вираз, що значно зменшить час і об'єм розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ / Под ред. Г.З. Айзенберга. В 2-х ч. Часть 2. – М.: Связь, 1977. – 288 с.
2. Айзенберг Г.З. Антенны ультракоротких волн. – М.: Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1957. – 696 с.
3. Байтмен Г., Эйреди А. Высшие трансцендентные функции. – М.: Наука, 1966. – 296 с.
4. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. – М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.
5. Курушин А.А., Пластикова А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.
6. Радиозмерения на сверхвысоких частотах / Р.А. Валитов, В.Н. Сретенский. – М.: Воениздат, 1951. – 392 с.
7. Электрорадиоизмерения / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, И.Г. Петелин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 351 с.

EMC OF MICROWAVE SOURCES WITH POLARIZATION FILTERS

Yu. Zinkovskiy, Yu. Sydoruk, A. Turovskiy

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
 prosp. Peremohy, 37, Kyiv-56, Ukraine, 03056. E-mail: toljaty@i.ua

The authors have considered the particular features of use of polarization filters for maintenance of electromagnetic compatibility for selective transmission of electromagnetic waves of different polarization. The analytical expressions for the transmission and reflection of electromagnetic energy addressed in the literature are focused on a screening level that is not too high (less than 15dB). Thus, this study implies resolving if there is a possibility for their use in calculation of more dense grids. The transmission coefficient of plane electromagnetic wave through the metal grid formed by thin parallel round-shaped wires arranged on a flat surface was experimentally measured. For comparing results, the calculations and modeling was performed with the use of HFSS and CST MWS analytical expressions and application

packages. To compare theoretical and practical results, the experimental unit was created, and the data obtained theoretically was confirmed experimentally. It was found that a simplified calculated analytical expression can be used for practical purposes in order to determine the transmission coefficient of a polarizing filter without noticeable mismatch.

Key words: polarizing filter, polarization, decoupling, electromagnetic compatibility.

REFERENCES

1. Aizenberh, H.Z., Yampol'skiy, V.H., Tereshyn, O.N. (1977), *Anteny UKV* [Microwave antennas], ed. by H.Z. Aizenberh, vol. 2, Svyaz, Moscow, Russia.

2. Aizenberh, H.Z. (1957), *Anteny ultrakortkih voln* [Ultrashort wave antennas], Izdatelstvo literatury po voprosam svyazy i radio, Moscow, Russia.

3. Baytmen, H., Eyredy, A., *Vysshye transtsedentnye funktsyi* [Higher transcendental functions], Nauka, Moscow, Russia.

4. Bankov, S.E., Kurushyn, A.A. (2009), *Raschet antenn i SVCh struktur s pomoshchy HFSS Ansoft* [Cal-

ulation of antennas and microwave structures in HFSS Ansoft], ZAO «NPP «RODNYK», Moscow, Russia.

5. Kurushyn, A.A., Plastikov, A.N. (2010), *Proektirovanie SVCh ustroystv v srede CST Microwave Studio* [Design of microwave devices in CST Microwave Studio], MEI, Moscow, Russia.

6. Valitov, R.A. (1951), *Radioizmereniya na sverkhvysokih chastotakh* [Radio measurements at microwave frequencies], Voenyzdat, Moscow, Russia.

7. Vinokurov, V.Y. (1986), *Elektroradioizmereniya* [Electrical and radio measurements], 2nd edition, Vysshaya shkola, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 18.11.2013.