

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Управління освіти Шосткинської міської ради
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО: РОЗВИТОК І ПЕРСПЕКТИВИ

МАТЕРІАЛИ

І Всеукраїнської науково-методичної конференції,

присвяченої

*15-й річниці заснування Шосткинського інституту
Сумського державного університету*

(Шостка, 21 квітня 2016 року)



**Суми
Сумський державний університет**

УДК 621.37/.39

АНАЛІЗ АНТЕНИ ВИТІКАЮЧОЇ ХВИЛІ

А.В. Булашенко

Шосткинський інститут Сумського державного Університету

вул. Гагарина, 1, м. Шостка, 41100

an_bulashenko@i.ua

Більшість публікацій з антен витікаючих хвиль відносяться до періодичних випромінюючих структур. Хоча існує багато робіт з цих типів антен, але дослідження та розробки в цій області тривають. Удосконалюються методи моделювання та технології виготовлення, також розширюється область використання таких антен. У роботі [1] створена антена витікаючої хвилі на прямокутному хвилеводі перерізом 1.295×0.648 мм з однорідною решіткою із щілин в терагерцовому діапазоні частот, що використовується для роботи в РЛС у системі планетарного приземлення. Здійснено моделювання та тестування двох варіантів антени із різною довжиною решітки щілин. Результати вимірів прототипів добре узгоджуються із розрахованими характеристиками узгодження, випромінення та частотного сканування. У роботі [2] запропонований аналітичний метод аналізу антенних решіток на хвилеводах із щілинами, що враховують особливості поля на гострих металевих кромках. На прикладі аналізу великих решіток обґрунтована ефективність методу та швидке сходження розкладень поля. Теоретичні результати, що одержані у роботі добре узгоджуються з експериментальними даними.

Під час роботи розглянутий метод аналізу та синтезу антени витікаючої хвилі на прямокутному хвилеводі з неоднорідною решіткою із щілин в широкій стінці із заданим амплітудним розподілом поля вздовж хвилеводу. Антени цього типу використовуються у випадках, коли необхідний знижений рівень бічних пелюстків у порівнянні із випроміненням, що створюється однорідною щілинною решіткою. Для проектування такої антени необхідно знання комплексної сталої поширення моди, що створює випромінення антени. Чисельний метод розрахунку сталої поширення основної витікаючої моди у прямокутних та хвилеводах із однорідною періодичною решіткою із щілин, що заснована на резонаторній моделі та періодичних граничних умовах, запропонована у роботі [3]. Ідея методу полягає у тому, що за заданим набігом фази на періоді структури розраховується власна комплексна частота еквівалентного резонатора, що утворюється одним періодом заданої структури. Дійсна частина власної частоти визначає фазову сталу поширення витікаючої моди, уявна частина – добротність резонатора та пов'язану з нею сталу загасання.

Синтез антени витікаючої хвилі із заданим амплітудним розподілом поля вздовж антени може бути здійснений різними способами. Була використана сильна залежність сталої загасання витікаючої моди від довжини щілин та синтезована неоднорідна решітка із щілин змінної довжини при фіксованому періоді решітки та відстаней щілин від осі хвилеводу. Для цього спочатку здійснені розрахунки на основі методу [3] комплексної сталої поширення у періодичному хвилеводі парами щілин, довжина яких є параметром та змінюється у певних межах.

Далі, користуючись сутью методу поперечних перерізів, можемо розглядати такий періодичний хвилевод із однорідною решіткою із однакових щілин у якості хвилеводу порівнюючи із синтезом хвилеводу на неоднорідній решітці із щілин змінної довжини. Таким чином, можна визначити необхідний розподіл довжин щілин у решітці, що забезпечує заданий амплітудний розподіл поля вздовж антени. Використаний метод скінчених елементів для чисельного моделювання синтезованої антени дозволяє розрахувати розподіл амплітуди електричного поля вздовж апертури, а також характеристики узгодження, випромінення та сканування променя антени у діапазоні частот.

Результати чисельного розрахунок добре апроксимуються простими аналітичними функціями. Величина α описується експоненціальною залежністю від довжини щілин. При $P=30$ мм та ширині щілини 3 мм на частоті 9 ГГц ця апроксимація має вид $\alpha(L_s)=0.0003 \cdot \exp(0.6806 \cdot L_s)$, де α в неп/м, L_s в мм. Але фазова стала порівняно слабо залежить від довжини щілин та добре описується поліноміальною залежністю: $\beta/k(L_s)=0.0020 \cdot L_s^2 - 0.0376 \cdot L_s + 0.882$, $k=2\pi/\lambda$ - стала поширення, λ - довжина хвилі у вільному просторі. Для ширини щілин 1.5 мм при тому же періоді щілин $P=30$ мм та на тій же частоті 9 ГГц апроксимуючі залежності мають аналогічний вигляд: $\alpha(L_s)=7 \times 10^{-5} \cdot \exp(0.7443 \cdot L_s)$, $\beta/k(L_s)=0.0023 \cdot L_s^2 - 0.0458 \cdot L_s + 0.9343$. Значення β та α для витікаючої моди та їх апроксимації були отримані також для декількох значень періоду однорідної решітки із щілин.

У якості прикладу була розглянута задача синтезу неоднорідної решітки на основі прямокутного хвилеводу перерізом 23×10 мм з парною кількістю повздовжніх щілин в широкій стінці та розподілом амплітуди поля в апертурі $E(z)=\sin(\pi z/L)^{0.5}$, де $L=600$ мм – довжина апертури, координата z відраховується від вхідного перерізу хвилеводу. Необхідний закон зміни сталої загасання визначається шляхом інтегрування амплітудного розподілу вздовж апертури. Беручи за основу запропоновану вище залежність $\alpha(L_s)$ для періоду 30 мм та ширини щілин 3 мм, отримуємо необхідний розподіл довжин щілин вздовж антени. Неоднорідну решітку синтезуємо, обираючи довжини щілин. Така решітка забезпечує необхідний розподіл поля вздовж антени.

Діапазон сканування променя антени в розглянутому діапазоні частот складає від 106.5° до 119.5° з похідною кута сканування променя по частоті $13^\circ/\text{ГГц}$. Ширина променя у Н-площині за рівнем половинної потужності складає наближено 3.6° , у той час як у Е-площині промінь набагато ширший. Спрямованість та коефіцієнт підсилення антени біля 22 дБ, рівень бічних пелюстків біля -17 дБ.

Нерівномірно спадаючий до країв амплітудний розподіл поля вздовж антени приводить до пониження бічних пелюстків у діаграмі спрямованості у порівнянні із випроміненням, що утворюється однорідною періодичною решіткою.

Отже, проілюстрований метод синтезу може бути використаний при проектуванні антен біжучої хвилі на металевому хвилеводі на решітці із щілин із довільно заданим розподілом амплітуди вздовж антени.

Література

1. E. D. Cullens, et al. Micro-Fabricated 130–180 GHz Frequency Scanning Waveguide Arrays. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 60, no. 8, 2012, p. 3647–3653.
2. M. Manuilov, V. Lerer, G. Sinyavsky. Fast and Accurate Full-Wave Analysis of Large Slotted Waveguide Array Antennas. Proc. of 37th Eur. Microw. Conf., Oct 2007, p. 360–363.
3. В. И. Калинин, А. А. Бабаскин. Метод расчета постоянной распространения вытекающей моды в волноводах со щелями. // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2015. №7.