Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра ПЕЕА

Дослідження невзаємних властивостей резонансних феритових вентилів

Здобувач Котляров Дмитро Віталійович
Науковий керівник проф. Хорошайло Ю.Є.

2022

Додаток А

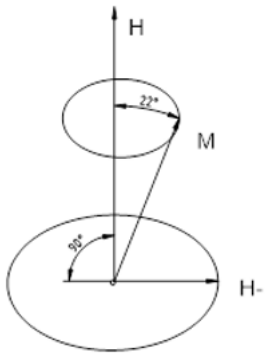
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

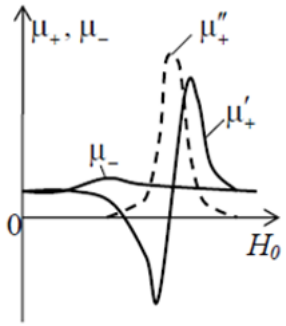
Актуальність роботи полягає в удосконаленні моделі резонансного феритового вентиля для прямокутного хвилеводу. Антено-фідерні пристрої, генераторна, приймальна, вимірювальна НВЧ апаратура містять в своєму складі феритові розв'язуючі прилади, тобто феритові вентилі і циркулятори. Об'єктом дослідження є процес поширення електромагнітних хвиль через феритовий вентиль у прямокутному хвилеводі.

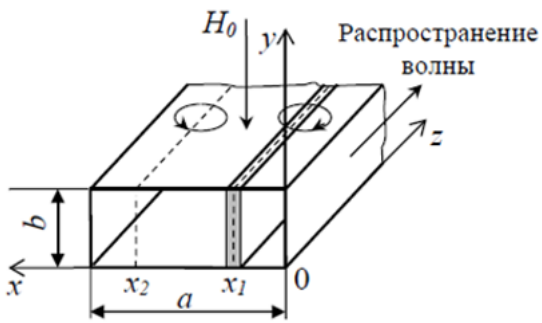
Метою роботи є верифікація формули для втрат резонансного феритового вентиля в прямому і зворотному напрямку, а також вентильного відношення.

В результаті отримані аналітичні вирази втрат резонансного феритового вентиля у прямому та зворотному напрямках, а також вентильне співвідношення за допомогою послідовних математичних перетворень. Здійснено такі перетворення. Відношення поздовжньої константи розповсюдження до поперечної константи розповсюдження замінюються відношенням тригонометричних функцій синусів та косинусів. Перетворення базується на мікрохвильовій електродинаміці, а саме використовуються формули для розподілу полів у прямокутному хвилеводі для основного типу хвилі. Подальші перетворення полягають у виведенні спільного множника з дужок та інших арифметичних перетвореннях.

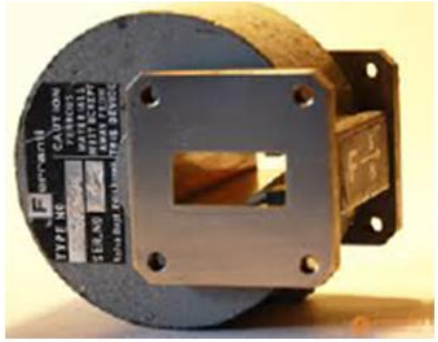
ФІЗИЧНІ ЯВИЩА, ЩО ЛЕЖАТЬ В ОСНОВІ ФЕРИТОВИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ ТА ПОЯСНЮЮТЬ ЇХ НЕВЗАЄМНІ ВЛАСТИВОСТІ

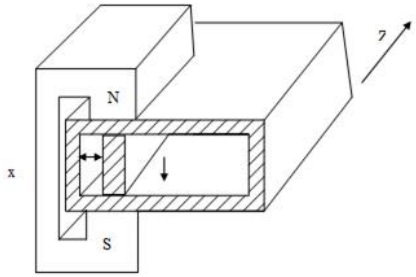




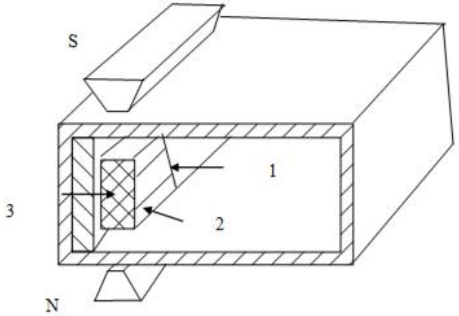


ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ НВЧ

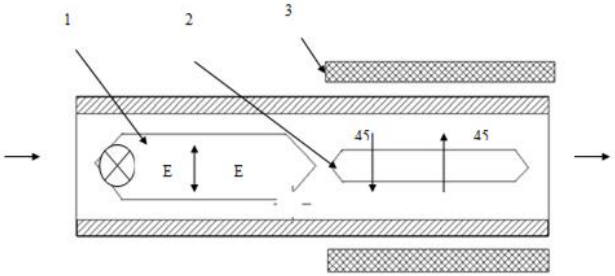




Резонансний феритовий вентиль



Вентиль на зсуві поля



Вентиль на ефекті Фарадея

4

ПОСЛІДОВНІСЬ РОЗРАХУНКУ РЕЗОНАНСНОГО ФЕРИТОВОГО ВЕНТИЛЯ

Розглянемо хвилевод перерізом 90мм х 45 мм, діапазон частот 2,3-3,3 ГГц, намагніченість насичення =43 кА/м, ширина кривої поглинання феромагнітного резонансу на половинному рівні =23,9 кА/м. Знайти зворотні втрати, прямі втрати, вентильне співвідношення

Розраховується положення центра феритового вкладиша у хвилеводі для середини робочого діапазона (довжини хвилі

визначаємо положення площин кругової поляризації на краю завданого діапазона

Обирається відносна ширина феритових пластин та товщина

Визначається значення магнітного поля по середній частоті завданого діапазону

Визначається відносне внутрішнє поле і намагніченість насичення для середньої частоти діапазон

Визначається припустимий параметр втрат обраної марки фериту

Для розрахунку згасання електромагнітного поля в вентилі визначають значення мнимих складових тензора магнітної сприятливості

Розраховується зворотне загасання

Розраховується пряме згасання

Розраховується вентильне співідношення

ГАРМОНІЗАЦІЯ ФОРМУЛ ВТРАТ ФЕРИТОВИХ ВЕНТИЛІВ ЗА ДВОМА МЕТОДИКАМИ

$$\gamma_y = \gamma_{y0} + \frac{h}{ab}\left\{\frac{1}{2}\mu''\left[\left(\gamma_{y0} + \frac{k_{0x}^2}{\gamma_{y0}}\right) + \left(\frac{k_{0x}}{\gamma_{y0}} - \frac{\gamma_{y0}}{k_{0x}}\right)\sin k_{0x}t_1 \cdot \cos k_{0x}\left(2t_3 + t_1\right)\right] - k'' \cdot \sin k_{0x}t_1 \sin k_{0x}\left(2t_3 + t_1\right)\right\}$$

$$L_{звор} = \frac{8.7 \cdot 2 \cdot l_f \cdot n}{b \cdot a} \frac{\sin\frac{\pi 2m}{a}}{\sin\frac{\pi 2x_1}{a}} \cdot \left[\mu_1''\left(\frac{\pi\frac{2m}{a}}{\sin\frac{2m}{a}} - \cos\frac{\pi 2x_1}{a}\cos\frac{\pi 2x_0}{a}\right) - k_1''\sin\frac{\pi 2x_{1,2}}{a}\sin\frac{\pi 2x_0}{a}\right]$$

Для перетворення першої формули до другої ормули пропонуються такі кроки:

– винести у виразі за перші круглі дужки k_{0x} ;

–помножити та поділити на $\sin k_{0x}t_1$ перший член у перших круглих дужках ;

– винести за фігурні дужки $\sin k_{0x}t_1$;

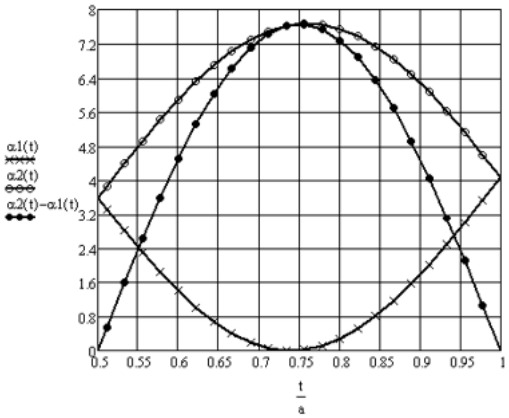
–перетворити другі круглі дужки в тригонометричний вираз $\frac{\cos 2k_{0x}x_1}{\sin 2k_{0x}x_1}$;

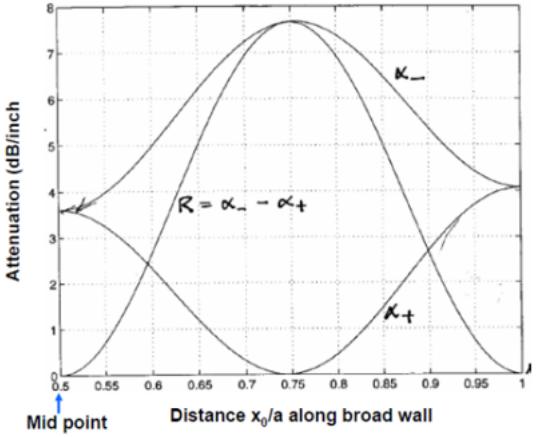
–перетворити перші круглі дужки на $\frac{1}{\sin 2k_{0x}x_1}$;

–помножити та поділити на $\frac{\sin 2k_{0x}t_1}{\sin 2k_{0x}x_1}$ останній член в першому виразі;

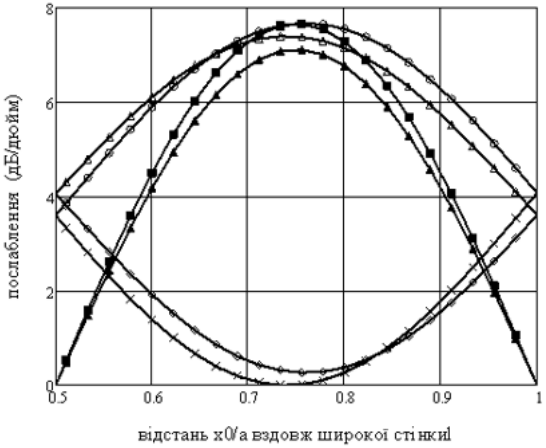
–винести за фігурні дужки $\frac{1}{\sin 2k_{0x}x_1}$

ПОРІВНЯННЯ ПРЯМИХ ЗВОРОТНИХ ВТРАТ ТА ВЕНТИЛЬНОГО СПІВІДНОШЕННЯ ОТРИМАНИХ ДВОМА МЕТОДАМИ



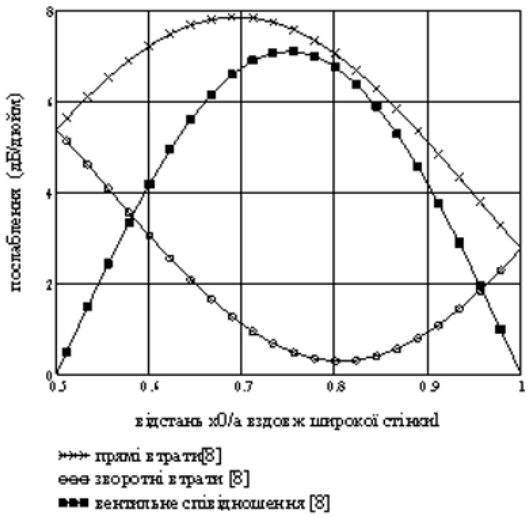


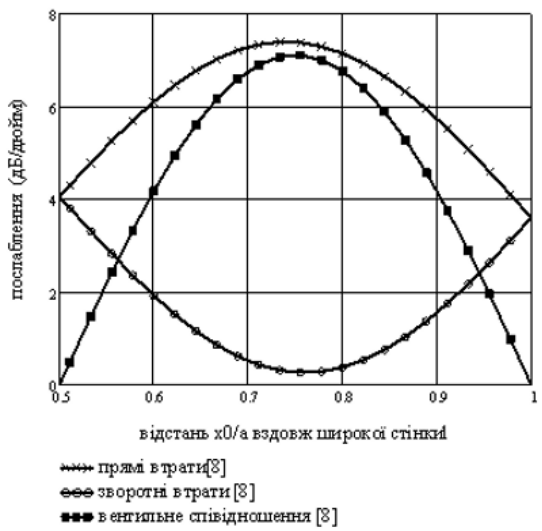
The maximum reverse attenuation α_- is approximately 7.75 dB/inch. Thus the necessary ferrite length is L=25dB/7.75dB/in = 3.23"

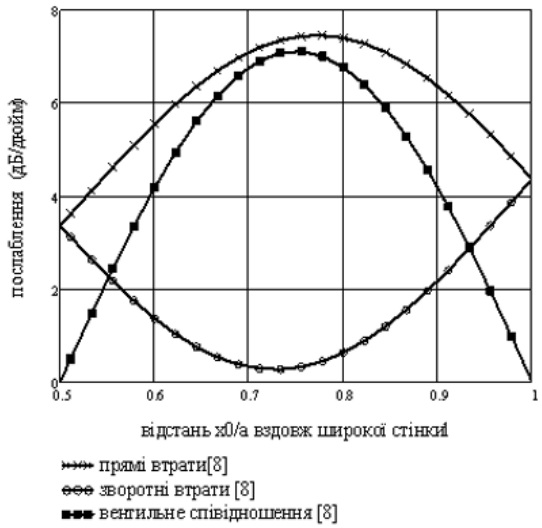


прямі втрати[8]
зворотні втрати[8]
вентильне співідношення [8]
прямі втрати[4]
зворотні втрати [4]
вентильне відношення [4]

ЧАСТОТНІ ВЛАСТИВОСТІ

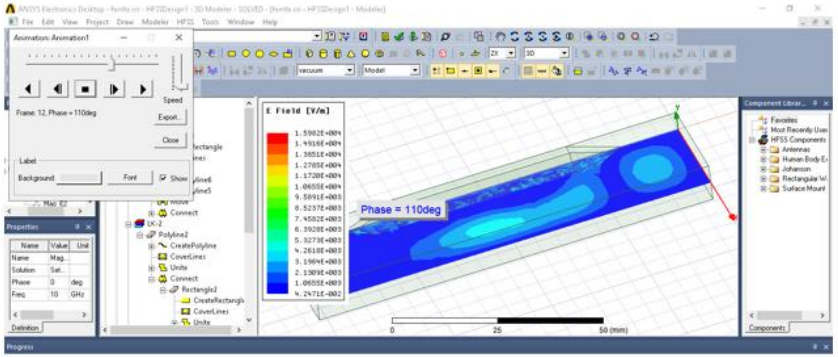


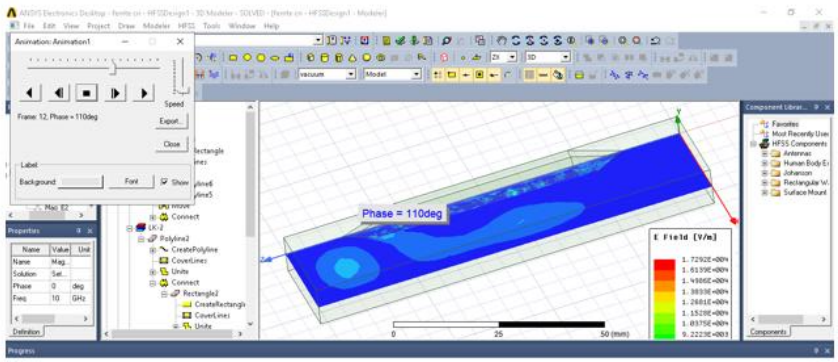


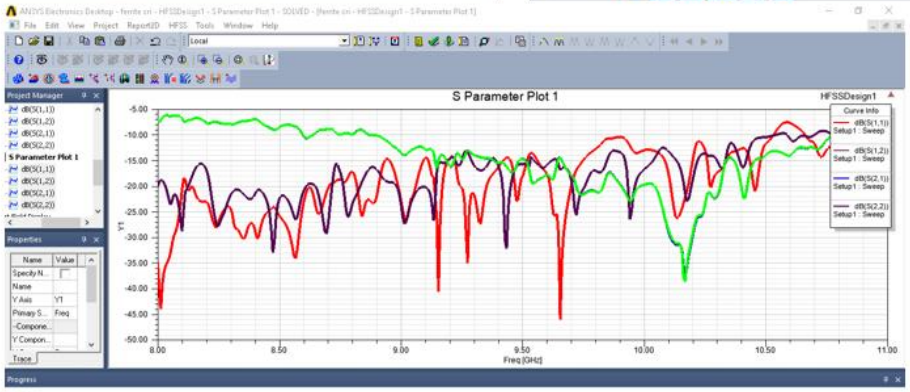


8

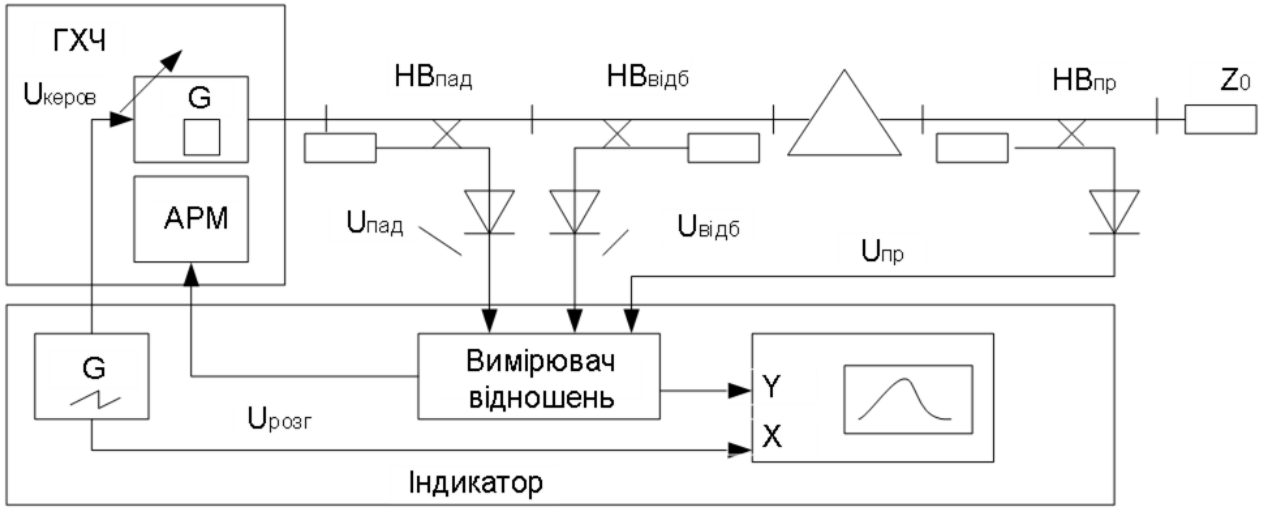
РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ В HFSS





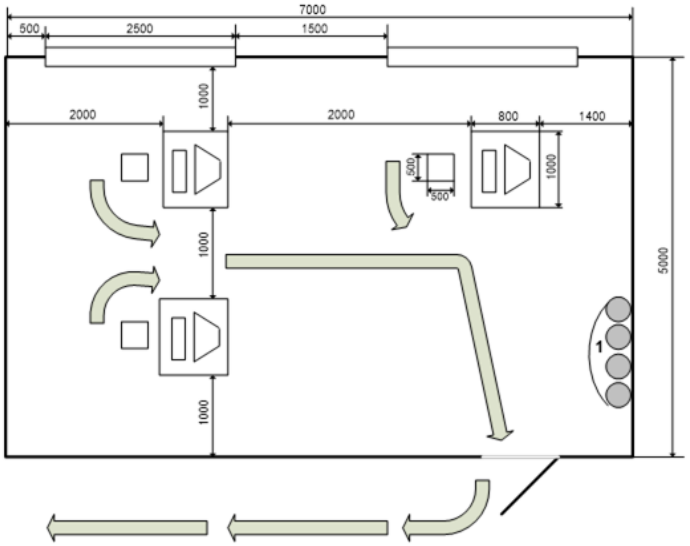


ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ



10

ОХОРОНА ПРАЦІ



11

ВИСНОВКИ

Отримані результати частково збігаються із загальновідомими, вперше отримано виведення формули втрат феритового вентиля, проведені дослідження дозволили спростувати гіпотезу про те, що добуток косинусів і синусів у формулі втрат феритовий вентиль - частотна характеристика, виникає в результаті тригонометричних і арифметичних перетворень. Для врахування частотного діапазону використовується те, що на середній частоті присутній кругова поляризація, на крайній – діапазоні також буде кругова поляризація, тільки площина кругової поляризації зміститься порівняно з положенням площини кругової поляризації на середній частоті. Тобто виходить своєрідна система двох рівнянь щодо двох положень площини поляризації відносно широкої сторони перерізу прямокутного хвилеводу.

Наукова новизна полягає в систематизації та узагальненні формул втрат резонансу феритового вентиля, доведено зв'язок між формулами з різних літературних джерел, як зарубіжних, так і вітчизняних, що є економією часу дослідників феритових вентильів. для перевірки формули.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що їх можна використовувати для навчання та оптимізації конструкції феритового вентиля.
Перспективою є вивчення поведінки феритової пластини на модах поширення вищого порядку та, нарешті, розробка моделі фізичного моделювання для резонансного феритового вентиля в ANSYS/HFSS.

12