

МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОСМУЖКОВИХ ФІЛЬТРІВ.

Частина 3: введення додаткової ємності та діелектричного шару

Степан САВЕНКО, Ірина ЗВЯГІНА

e-mail: stepan.savenko@nure.ua, iryna.zviahina@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., доц. Дмитро ГАВВА

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КРіСТЗІ
м. Харків, Україна

The global goal of the work is to study methods for improving the characteristics of microstrip filters. This is the second part, which shows the results of numerical studies in the HFSS program of those methods that were described in the first part of the work.

Тези є продовженням та останньою частиною роботи «Методи поліпшення характеристик мікросмужкових фільтрів», де було розглянуто низку основних методів зміни електричних характеристик мікросмужкових фільтрів (МСФ). На прикладах, застосовуючи комп'ютерне моделювання, буде перевірено ефективність деяких з описаних методів.

Як і у другій частині роботи було спроектовано мікросмужковий смуговий фільтр (СФ) Баттерворта. Але фільтр було обрано на торцевих резонаторах, який мав центральну частоту $f_0=5.6$ ГГц, смугу пропускання (СП) 800 МГц. Матеріал підкладки – ПВХ пластик із низькою діелектричною проникністю, товщиною 5 мм. В іншому характеристики ті ж: 3 резонатори, пульсації в СП 1 дБ, мінімальне придушення поза СП 20дБ, товщина міді 18 мікрон. Метод проектування залишився колишнім. Спочатку синтез фільтра в програмі Qucs, після чого моделювання в HFSS (рис. 1).

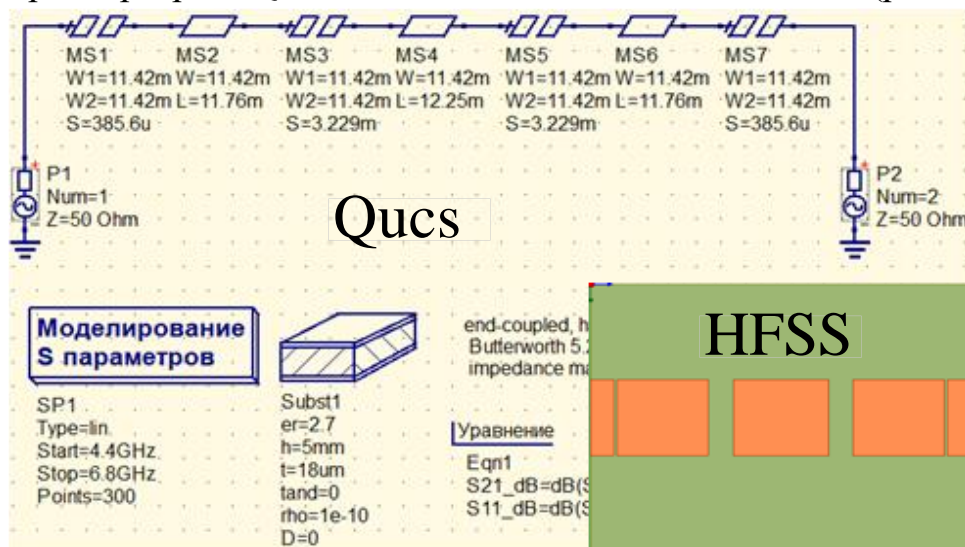


Рис. 1

Для фільтра було розраховано АЧХ, частотні характеристики коефіцієнта відбиття S_{11} (через обмеження об'єму тез для показу результатів будемо показувати тільки цю характеристику (рис. 2 – лінія з точок)), та інші.

Відносна ширина СП становить 18%, центральна частота $f_0=5.5$ ГГц, рівень втрат в робочій СП 8 дБ. Перша паразитна СП спостерігається на частоті 8 ГГц, друга – 9.5 ГГц. Найбільше загородження фільтра відбувається на частоті 1 ГГц і становить 44 дБ. Коефіцієнт відбиття від входів у СП становив 14.5 дБ. Фільтр вийшов з великими втратами у СП, невисоким рівнем загородження між корисною та паразитною СП та слабким коефіцієнтом відбиття від входів.

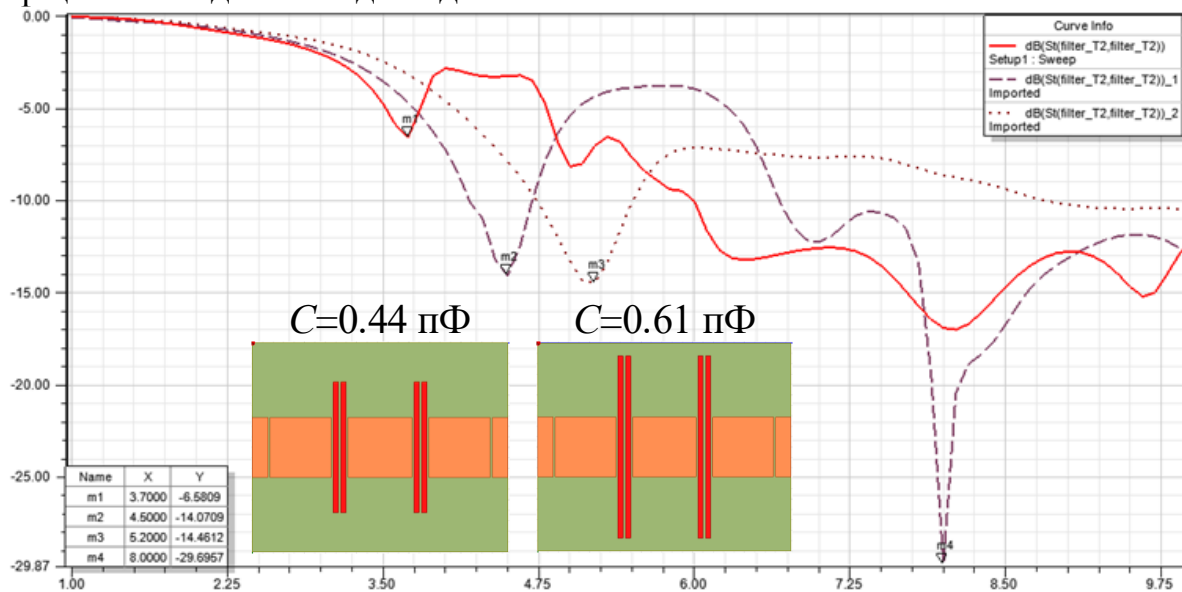


Рис. 2

Застосуємо метод введення додаткових ємностей в структуру СФ. Ємностями між основними резонаторами СФ служать відрізки міді, товщиною 18 мікрон. Ширина елементів ємності для першого фільтра становила 25 мм, довжина 1 мм. Товщина діелектричного шару 0.5 мм. Як діелектрик служить повітря. У процесі дослідження додаткова ємність збільшувалася за рахунок збільшення на 10 мм довжини елементів ємності.

Внесення додаткової ємності призвело до зменшення втрат у СП з 8 дБ до 4.5 дБ як для $C=0.44$ пФ так і 0.61 пФ, що збігається з теорією викладеної в оглядовій частині. Також спостерігається зростання рівня придушення паразитної СП на 3 дБ. Центральна смуга частот змістилася на більш низькі частоти. Вона становила 4.7 ГГц для фільтра з $C=0.44$ пФ і 3.75 ГГц для $C=0.61$ пФ. Відносна ширина СП зросла до 21% у фільтрі з $C=0.44$ пФ, але при збільшенні ємності до 0.61 пФ сталося майже дворазове зменшення СП (до 11%). Максимальний рівень загородження знизився до 36 дБ на частоті 1 ГГц і підвищився до 30 дБ в загороджувальній смузі між корисною і паразитною СП, що становить приріст більш ніж на 100%. Помітно значне зменшення ширини загороджувальної СП зі зростанням

ємності. Якщо для фільтра без ємності вона становила 2.5 ГГц то для фільтрів з ємностями стала 1.25 – 1.5 ГГц. У міру збільшення ємності в межах СП спостерігається зниження S11, при цьому зниження для фільтра з $C=0.44$ пФ майже не помітно. Падіння S11 для фільтра з $C=0.61$ пФ склало 8 дБ, а це більш ніж у 2 рази менше, ніж у фільтра без ємностей.

Іншим прикладом ємнісної компенсації є метод, де використовується додатковий діелектричний шар (рис. 3). Він наноситься поверх резонаторів та підкладки фільтра. У результаті дослідження змінювалися як товщина h так і матеріал діелектрика. Вивчення впливу діелектричного шару проведено для двох варіантів. У першому використовується один матеріал діелектрика але зі зміною його товщини, для другого береться три різні діелектрики з однаковою товщиною шару в 1 мм.

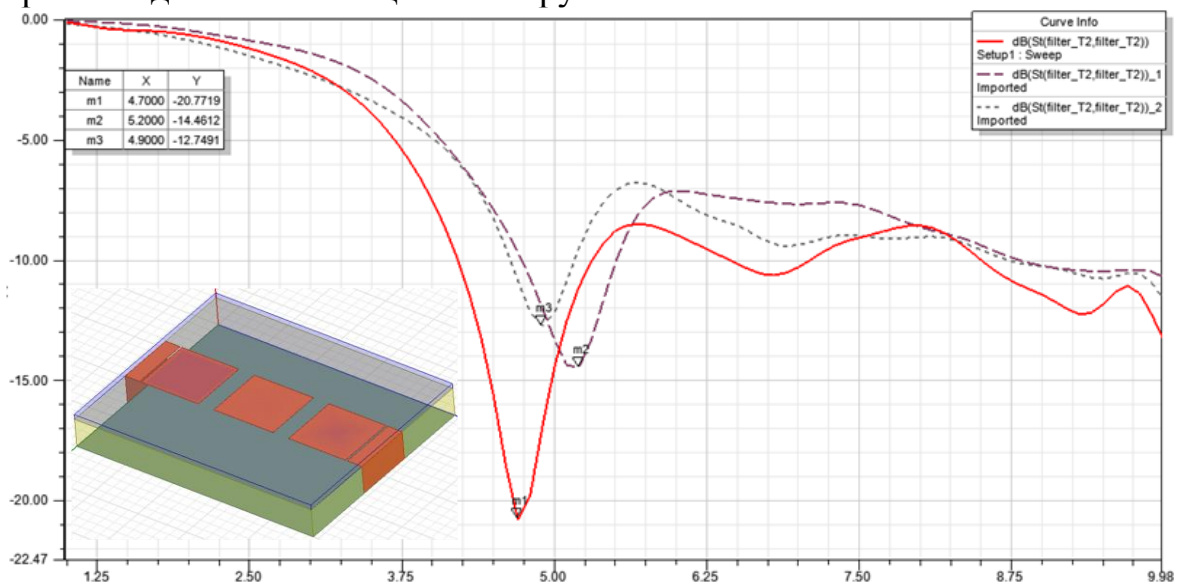


Рис. 3

Отже для першого випадку, як додатковий діелектрик використовувалася паяльна маска з відносною діелектричною проникністю $\epsilon=3.1$. Аналіз проводився для товщини шару 0,5 мм та 1 мм. Результати показують зсув центральної частоти СП для СФ з шаром 0.5 мм у 5.1 ГГц. Зі збільшенням h до 1мм частота змістилася до 5 ГГц. З додаванням та збільшенням h спостерігається зменшення втрат у СП. Воно склало 1.8 дБ для фільтра з меншою h і 2.5 дБ у фільтрі з $h=1$ мм. Відносна ж ширина СП зростає зі збільшенням h . Зростання склало 4% і 7% відповідно для фільтра з шаром 0,5мм і 1мм. Рівень пригнічення знижується у всій частотній досліджуваній області в міру збільшення товщини додаткового шару.

У першій паразитній СП коефіцієнт придушення зменшився загалом на 1 дБ. Ширина смуги загородження між корисною та паразитною СП змінилася не сильно, що не скажеш про величину її придушення, яка знизилася на 3 дБ. Максимальне пригнічення спостерігаємо в області 1 ГГц, для не модифікованого фільтра воно становить 43.5 дБ що на 7 дБ вище

ніж у фільтра з висотою діелектрика 0.5 мм і на 11 дБ придушення більше у фільтрі з 1 мм шаром. Зростання коефіцієнтів відбиття також залежить від збільшення висоти додаткового шару. Найбільший коефіцієнт зафіксовано у фільтрі з міліметровим шаром діелектрика (становив 20.7 дБ).

Для другого випадку було обрано три матеріали товщиною 1 мм: тефлон $\epsilon=2.1$, паяльна маска $\epsilon=3.1$, склотекстоліт $\epsilon=4.4$. Отримані АЧХ схожі з характеристиками отриманими для першого випадку. Спостерігається зсув СП. Найбільший зсув отримано для варіанту з шаром склотекстоліту ($f_0=4,8$ ГГц), далі для варіантів з $\epsilon=3.1$ ($f_0=5$ ГГц) та $\epsilon=2.1$ ($f_0=5,2$ ГГц). Відносна ширина СП у фільтрі з найбільшою проникністю зросла на 12%, на 10% для фільтра з паяльною маскою +10%, та на 4% для СФ з тефлоном. При збільшенні ϵ помітно зниження рівня втрат у СП та придушення в іншому діапазоні частот. Втрати у СП фільтра з діелектриком $\epsilon=2.1$ склали 6,4 дБ, з $\epsilon=3.1$ – 5,5 дБ та найменші втрати 4,5 дБ для $\epsilon=4.4$. Падіння придушення першої паразитної СП склало 2,3 дБ, 1,4 дБ, 0,7 дБ відповідно для фільтрів з $\epsilon = 4.4, 3.1, 2.1$. У міру зростання ϵ збільшується частотна відстань між корисною та паразитною СП, але зменшується величина її пригнічення. Рівень максимального придушення на частоті 1 ГГц знизився на 9 дБ у фільтрі з шаром тефлону та паяльної маски, та на 11 дБ для фільтра зі склотекстолітом. Найбільший S11 (рис. 4) помічений у фільтрі з шаром склотекстоліту. Він становив 21 дБ, що на 6,5 дБ більше ніж у фільтра без додаткового діелектрика. На другому та третьому місці розташувалися фільтри з меншою ϵ , зі значеннями меншими всього на 1 дБ. Крім СП помічено зростання коефіцієнта відбиття і на паразитних частотах фільтра.

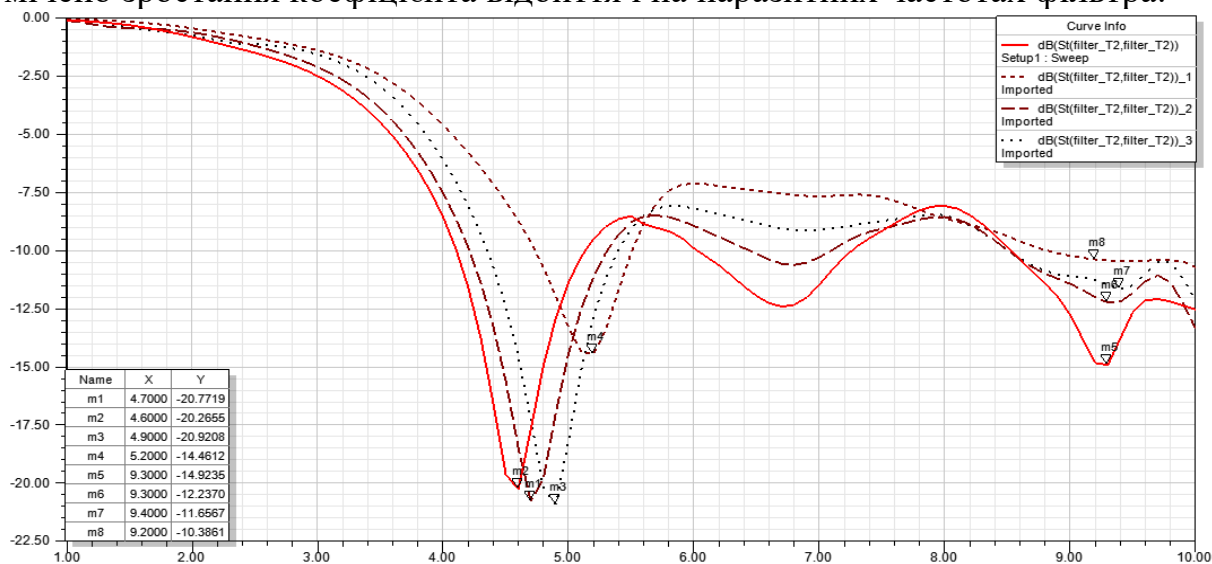


Рис. 4

На рис. 5 наведено порівняльні характеристики досліджених СФ.

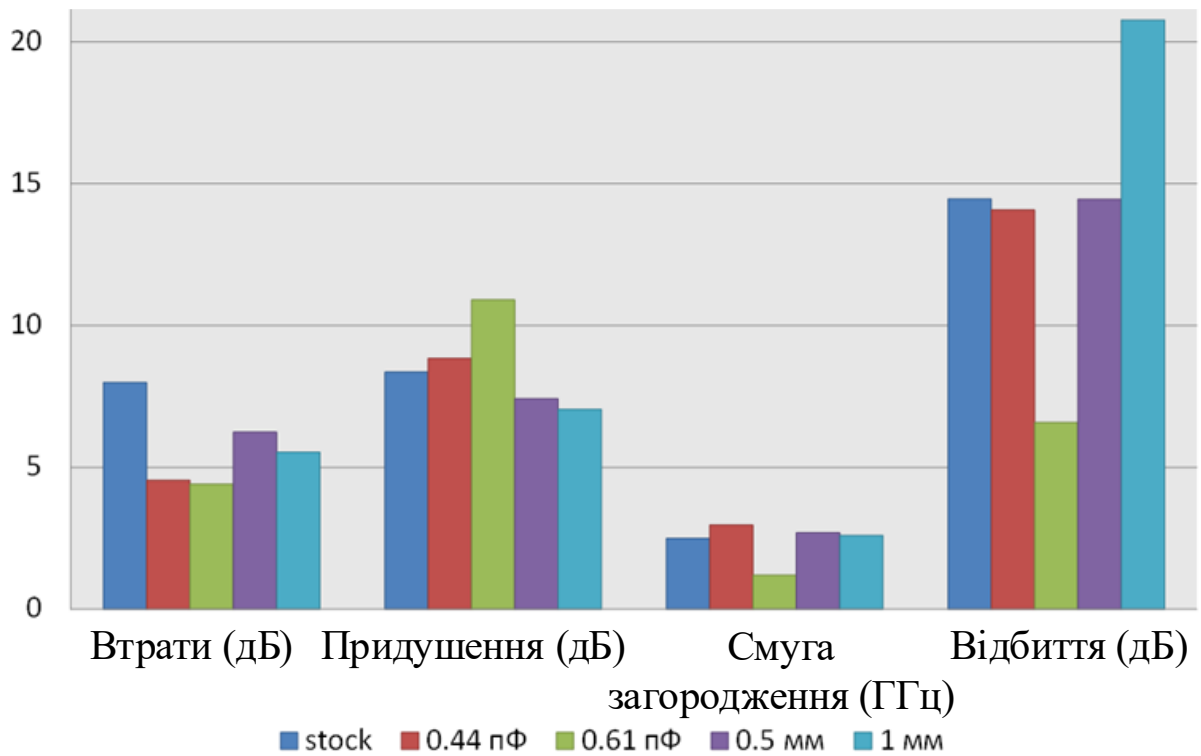


Рис. 5

Як висновок можна сказати, що введення ємності дало непоганий вплив на характеристики СФ. Одночасно домоглися зменшення втрат у СП та підвищення рівня загородження. Але придушити першу паразитну СП не вдалося. Додавання діелектричних шарів дало гірший результат. Загалом кожен метод має свої переваги та недоліки і, мабуть, лише комбінування методів може призвести до суттєвого поліпшення характеристик фільтра.