

КЕРОВАНІ ПЛАНАРНІ ФІЛЬТРИ НВЧ ІЗ РУХОМИМ ЕЛЕКТРОДОМ

© Шмигін Д., 2012

Запропоновано новий спосіб управління резонансною частотою резонаторів і фільтрів НВЧ. Реалізовано ідею п'єзоелектричного управління ефективною діелектричною проникністю (ϵ_{eff}). Між підкладкою і земляним електродом передбачено тонкий повітряний зазор, величина якого контролюється за допомогою п'єзоелектричного актюатора.

Ключові слова: планарні фільтри, електромеханічне керування, НВЧ.

This paper is new principle of microstrip resonator and filter tuning is developed and studied. Realized idea is the operation by substrate effective dielectric constant (ϵ_{eff}) piezocontrolling. For that, between substrate and ground electrode a narrow air gap (Δ) is created, and its size is controlled by the piezoelectric plate.

Key words: microstrip filter, tuning, microwave.

Вступ

Основні вимоги до сучасних компонентів телекомунікаційних систем: компактність, низька собівартість, висока швидкість. Обмежуюча властивість існуючих керованих компонентів, заснованих на феритах, напівпровідникових матеріалах і сегнетоелектриках – високі втрати в сантиметрових і, особливо, міліметрових НВЧ діапазонах. З іншого боку, механічно керовані пристрої з діелектриком як елементом керування практично не вносять втрат. Однак, існуючі методи механічного керування дуже повільні, тому що такі конструкції потребують великих переміщень, що сягають кількох міліметрів [1–2].

В існуючих системах перебудови НВЧ пристроїв за допомогою п'єзоелемента, для отримання переміщення 1.3 мм потрібного для керування фільтром, розміри п'єзоелектричного актюатора мають становити $70 \times 30 \times 3$ мм³ [2].

Втрати за запропонованим засобом керування є тільки наслідком втрат у діелектричному матеріалі. Основна ідея роботи – зменшити необхідне переміщення за допомогою введення тонкого п'єзоелектрично керованого повітряного зазору між діелектриком з високою діелектричною проникністю та земляним електродом. Така конструкція дає змогу керувати резонансною частотою внаслідок зміни параметра діелектричної проникності $\epsilon_{\text{eff}}(\Delta)$ у великому діапазоні, а також дозволяє застосування простих (планарних) актюаторів для швидкого ($\sim 10^{-4}$ с) електромеханічного керування величиною зазору $\Delta(E)$ за малих переміщень $\Delta(E) < 100$ мкм.

За цим принципом було виготовлено експериментальні макети НВЧ фільтрів та резонаторів [3], а також мікрострічковий та хвильоводний фазообертачі [4]. У запропонованій роботі розглядається метод електромеханічного керування планарними структурами НВЧ за допомогою зміни параметра діелектричної проникності $\epsilon_{\text{eff}}(\Delta)$ підкладки.

Механізм керування

Запропонований метод керування частотою планарних структур засновано на зміні ефективної діелектричної проникності підкладки з високою діелектричною проникністю. Для цього земляний електрод під частиною фільтра або резонатора відривається від підкладки. При цьому величина повітряного зазору (Δ) контролюється за допомогою актюатора (від $\Delta \sim 10$ мкм до $\Delta \sim 100$ мкм).

Розрахункове значення зміни діелектричної проникності від величини повітряного зазору для підкладки $\epsilon_D \approx 10$ завтовшки 0.65 мм показано на рис. 2.

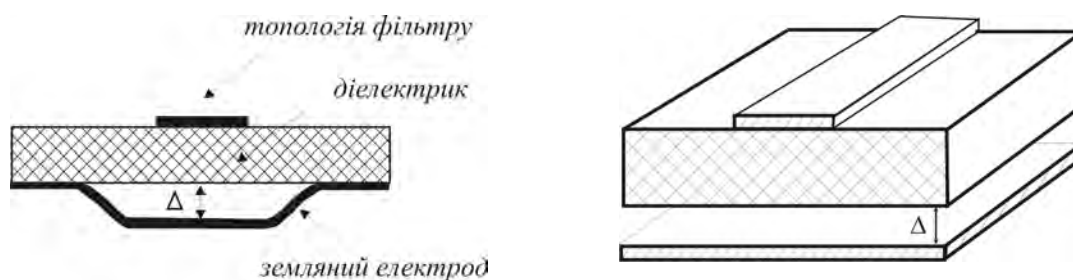


Рис. 1. Принцип керування ефективною діелектричною проникністю підкладки

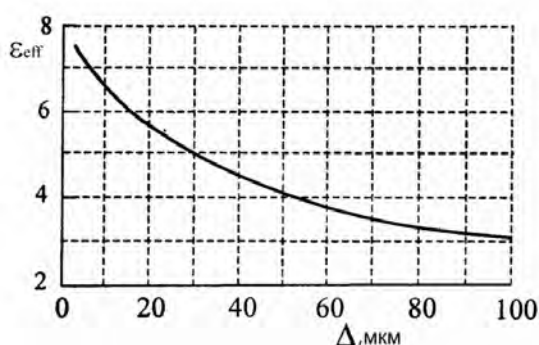


Рис. 2. Розрахункові значення для ϵ_{eff} у випадку $\epsilon_D=10$

Завдяки зміні параметра ефективної діелектричної проникності можуть бути змінені параметри фільтрів та резонаторів. Зміною конфігурації рухомої частини земляного електрода можливо змінювати параметри усєї структури або окремої її частини. Це надає широких можливостей для застосування цього методу керування для різних завдань.

Експериментально запропонований метод керування було перевірено на керованому піхвильовому планарному резонаторі, виготовленому на підкладці з $\epsilon_D=35$

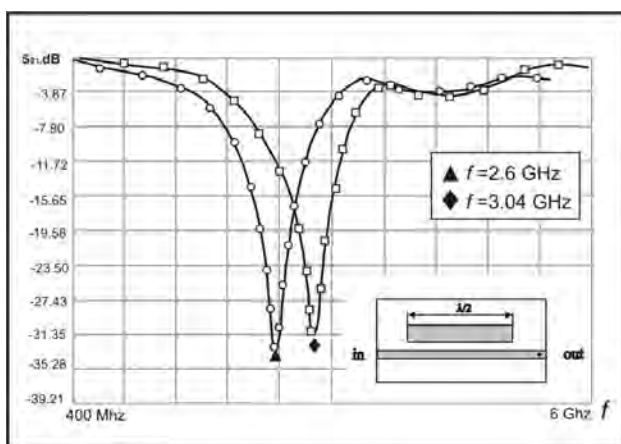


Рис. 3. Перша мода $\lambda/2$ мікстрічкового резонатора; ширина 1.6 мм, довжина 6.8 мм, зміна зазору $\Delta = 40$ мкм, зсув резонансної частоти $\Delta f = 0.44$ GHz

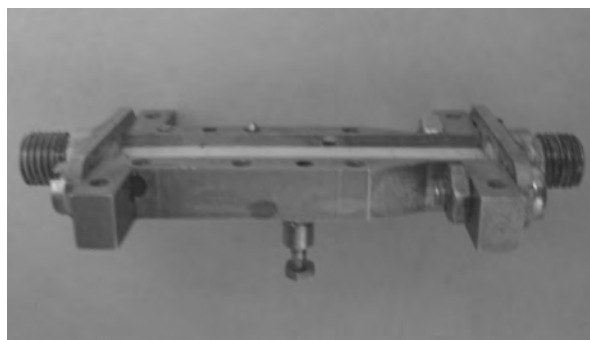


Рис. 4. Макет керованого $\lambda/2$ мікстрічкового резонатора з механічною перебудовою резонансної частоти

Висока діелектрична проникність підкладки ϵ_D дає змогу зменшити величину переміщення та розміри конструкції і застосувати швидший актюатор. На рис. 3 наведено амплітудно-частотну характеристику для двох положень електрода. Для цього випадку зміна резонансної частоти становить приблизно 15 %.

Керований мікродстрічковий фільтр

На основі механізму керування частотою планарних резонаторів, розглянутого вище, було розроблено прототип керованого фільтра на підкладці з $\epsilon_D = 9.2$. За основу було взято дворезонаторний фільтр зі стрибком хвильового опору. При цьому величина отвору в земляному електроді становила $1/3$ довжини частини з низьким хвильовим опором. Розміри фільтра становили: довжина резонатора 22 мм, відношення ширини високоомної та низькоомної частин резонатора ~ 10 , товщина підкладки 0.65, $\epsilon_D = 9.2$. АЧХ і перебудову фільтра ($\sim 10\%$) для двох положень показано на рис. 5.

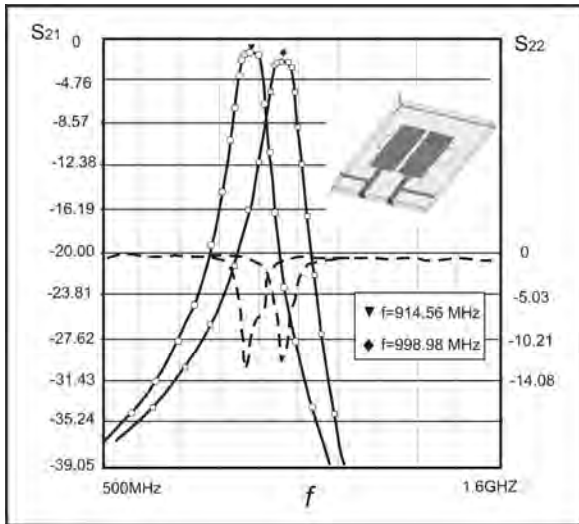


Рис. 5. АЧХ дворезонаторного фільтра, зазор змінюється від ~ 10 мкм до ~ 100 мкм

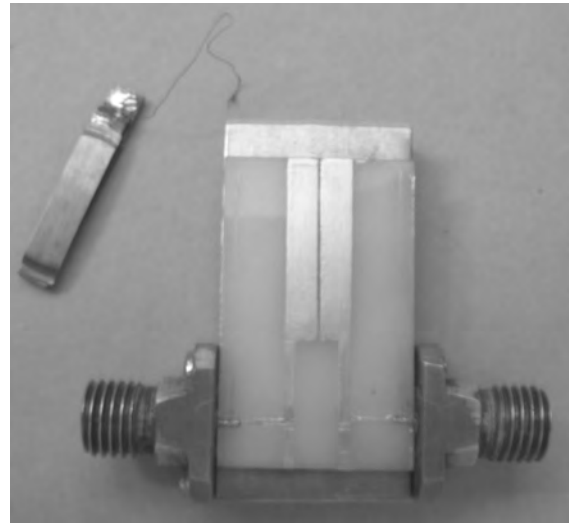


Рис. 6. Макет електромеханічно керованого мікродстрічкового фільтра та п'єзоелектричний актуатор, використаний для його перебудови

Очевидно, що зміна величини зазору призводить до зміни зв'язку між резонаторами фільтра і наслідок цього – до зміни пропускної спроможності фільтра. Однак для практичного застосування потрібні фільтри практично з незмінною смугою пропускання. З цієї причини було здійснено спробу оптимізувати АЧХ фільтра за допомогою вибору геометричних розмірів частини з високим хвильовим опором. Зміною геометричних розмірів, а також введенням додаткового зв'язку отримують необхідний закон зміни смуги пропускання (рис. 7, 8). Всі експериментальні прототипи було виготовлено за товстопластовою технологією методом впалювання срібла. Застосування технології наплення покращить характеристики фільтрів.

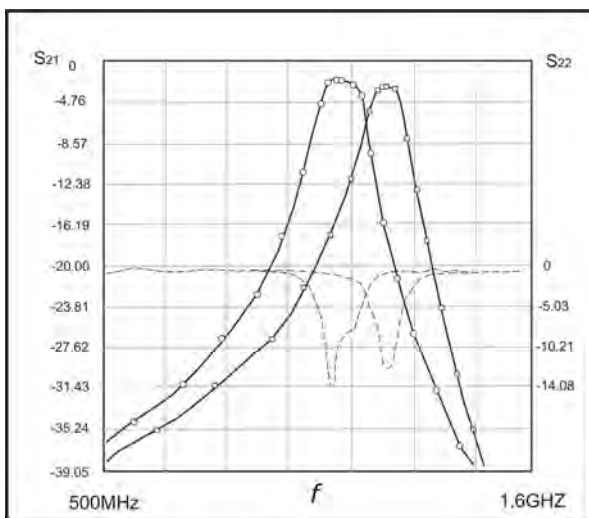


Рис. 7. АЧХ, зменшення смуги пропускання. Зазор Δ ~ 10 мкм до ~ 100 мкм

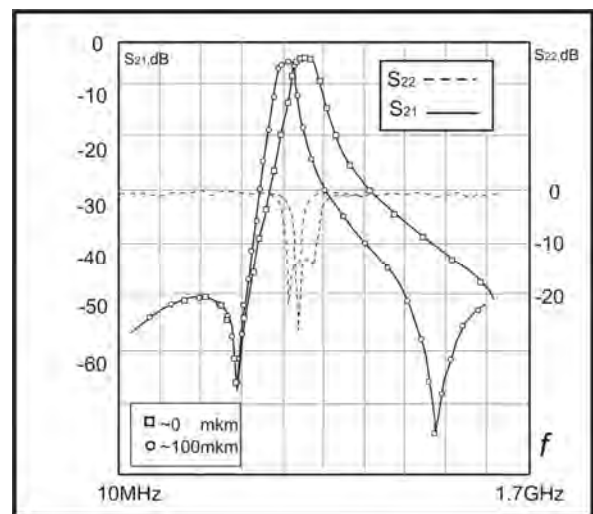


Рис. 8. АЧХ, збільшення смуги пропускання, зазор ~ 10 мкм до ~ 100 мкм. Додатковий зв'язок

Механізм керування, запропонований в цій роботі, припускає застосування механічного або електромеханічного керованого зазору.

У модельному експерименті було використано мікропозиційну систему з точністю переміщення 0.5 мкм. Розрахунки, зроблені FEM (метод кінцевих елементів) методом та за допомогою одновимірних моделей в квазістатичному наближенні, показали хорошу відповідність до експериментальних результатів.

Висновки

Розроблено прототип керованого фільтра з рухомим електродом, що потребує малих переміщень і дає змогу використовувати швидкі актюатори. Малих переміщень досягають завдяки керуванню величиною повітряного зазору в напрямку, перпендикулярному до електричної складової поля, де вплив повітряного зазору максимальний. Реалізовано велику керованість системи за малих переміщень (~100 мкм). Існуючі багат шарові п'єзоелектричні системи позиціонування мають низьку швидкодію ($>10^{-2}$ s) ш великі розміри, і тому мале переміщення дасть змогу застосувати в таких конструкціях швидкісні актюатори ($>10^{-4}$ s) з малими розмірами.

1. Patent #4,692,727, USA. "Dielectric resonator device" / K. Wakino, H. Tamura, and Y. Ishikava.; Sep.8, 1987.
2. T.-Y. Yun and K. Chang. A low loss time-delay phase shifter controlled by piezoelectric transducer to perturb microstrip line // *IEEE Microwave Guided Wave Lett.* – Mar. 2000. – vol 10. – pp.96-98.
3. Y. M. Poplavko, Y. V. Prokopenko, V. I. Molchanov, A. Dogan. Frequency-tunable microwave dielectric resonator // *IEEE Transactions on MTT.* – Jun 2001. – Vol. 49. – pp. 1020-1026.
4. Jeong M., Kazmirenko V., Poplavko Y., Kim B., Baik S. Electrically Tunable Phase Shifters With Air-Dielectric Sandwich Structure // *Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 720.* –2002. – pp. H3.12.1–H3.12.6.
5. C. Shafai, S. K. Sharma, and L. Shafai. Microstrip phase shifter using ground-plane reconfiguration // *IEEE Transactions on MTT.*- Vol. 52, #1. - pp. 144-153.