

Управляемый фильтр ТГц-диапазона

В статье описывается структура перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра для терагерцового диапазона частот. Фильтр реализован на двух слоях пересекающихся металлических проводов, между которыми размещена регулярная структура проводящих полосок. Управление рабочей частотой фильтра осуществляется путем изменения диэлектрической проницаемости жидкого кристалла, которым заполнено пространство между проводами.

Ключевые слова: ТГц фильтр, жидкий кристалл, метаматериалы

В последние десятилетия значительный интерес вызывает электромагнитное излучение терагерцового (ТГц) диапазона с частотами от сотен ГГц до десятков ТГц. Это область спектра электромагнитных колебаний долгое время оставалась малоизученной вследствие сложности генерации и детектирования радиоволн на этих частотах. Однако на сегодняшний день определяется значительный прогресс в разработке эффективных портативных и недорогих источников и детекторов ТГц-излучения с достаточно высоким КПД.

Интерес к исследованиям в ТГц-области спектра обусловлен перспективами применения ТГц излучения в различных отраслях медицины, систем безопасности, высокоскоростной передачи данных на близкое расстояние, а также в исследовании космического пространства и атмосферы Земли [1-2].

Несмотря на прогресс в разработке источников и приемников излучения терагерцовых частот, достаточно мало работ посвящено устройствам управления этим излучением, таких как перестраиваемые фильтры, фазовращатели, модуляторы и т.п. Одним из наиболее успешных подходов к проектированию таких устройств является разработка так называемых метаматериалов с масштабированием размеров их резонансных элементов до длин волн ТГц излучения. В наиболее интересных работах описывается разработка управляемых фильтров и фазовращателей, способных работать на частоте ТГц излучения и изменять свои свойства в зависимости от управляющего сигнала (напряжения или оптического излучения) [3-4].

В рамках данной работы предложена модель управляемого полосно-пропускающего фильтра для ТГц излучения, выполненного в виде регулярной структуры пересекающихся проводов, размещенных в жидком кристалле.

В качестве элементов такого фильтра может служить проводящая пластина, перфорированная отверстиями различной формы (Рис. 1).

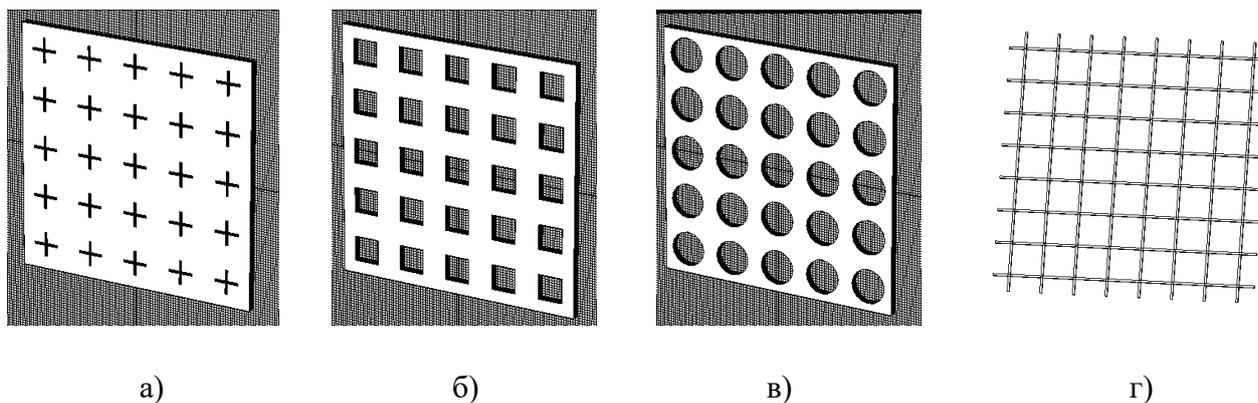


Рис. 1. Перфорированная проводящая пластина с отверстиями в виде: а) крестов, б) квадратов, в) кругов; г) пересекающиеся проводящие проволочки.

Геометрия и период расположения отверстий определяют форму характеристики коэффициента передачи и рабочую частоту фильтра. Чем меньше характерные размеры отверстий, тем уже частотная полоса диапазона пропускания (Рис. 2). Отношение площади отверстий к площади пластины определяет вносимые потери такой пластины: чем больше площадь отверстий, тем большая часть энергии волны будет проходить через пластину.

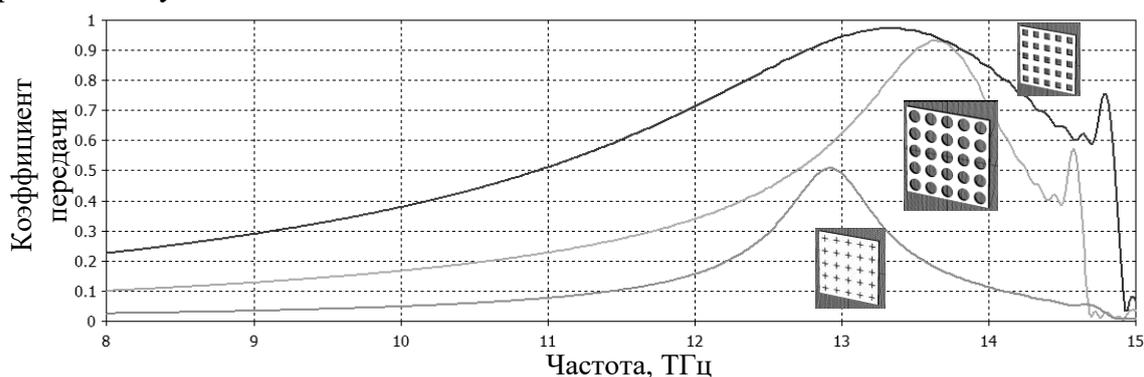


Рис. 2. Коэффициент передачи перфорированной проводящей пластины с отверстиями различной формы. Толщина пластины 3 мкм, характерный размер отверстий – 10 мкм, период – 10 мкм.

С увеличением площади отверстий на пластине геометрия фильтра в пределе может представлять собой решетку из пересекающихся проводящих проволочек (Рис. 1 (г)). При использовании нескольких слоев близко расположенные слои проводящих решеток начинают взаимодействовать между собой, что влияет на ширину области пропускания фильтра (Рис. 3). Увеличение количества слоев n приводит к увеличению количества пиков пропускания и увеличению крутизны фронтов фильтровой характеристики. В качестве оптимального значения количества слоев выбрано $n = 2$, при котором характеристика фильтра в области пропускания имеет гладкую форму.

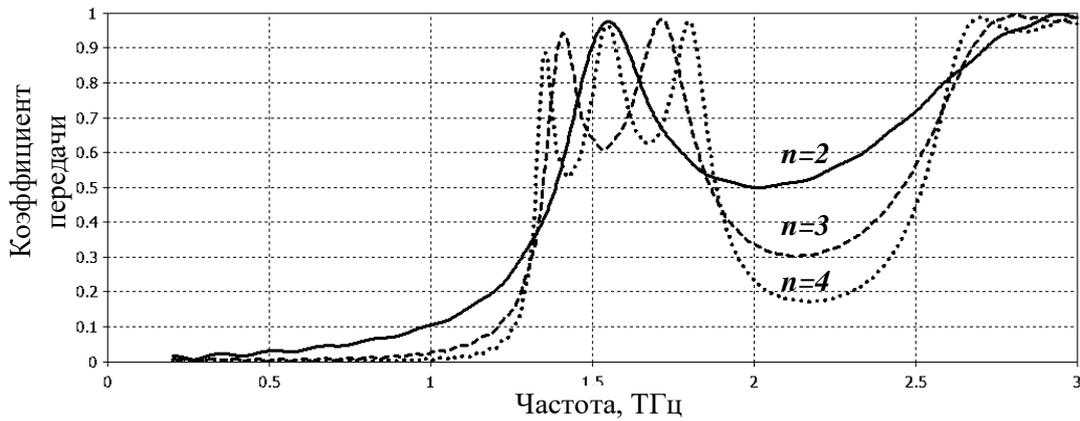


Рис. 3. Коэффициент пропускания многослойной структуры, состоящей из n слоев пересекающихся проводов.

Для увеличения крутизны фронтов характеристики фильтра и уменьшения коэффициента передачи в области запирания на частотах выше рабочей, структура фильтра может быть дополнена слоем с регулярно расположенными проводящими полосками. Полоски ориентированы в двух ортогональных направлениях, чтобы обеспечить инвариантность по отношению к направлению поляризации падающей электромагнитной волны (Рис. 4). Внедрение в структуру фильтра слоя, содержащего проводящие полоски, повышает его избирательность (Рис. 5).

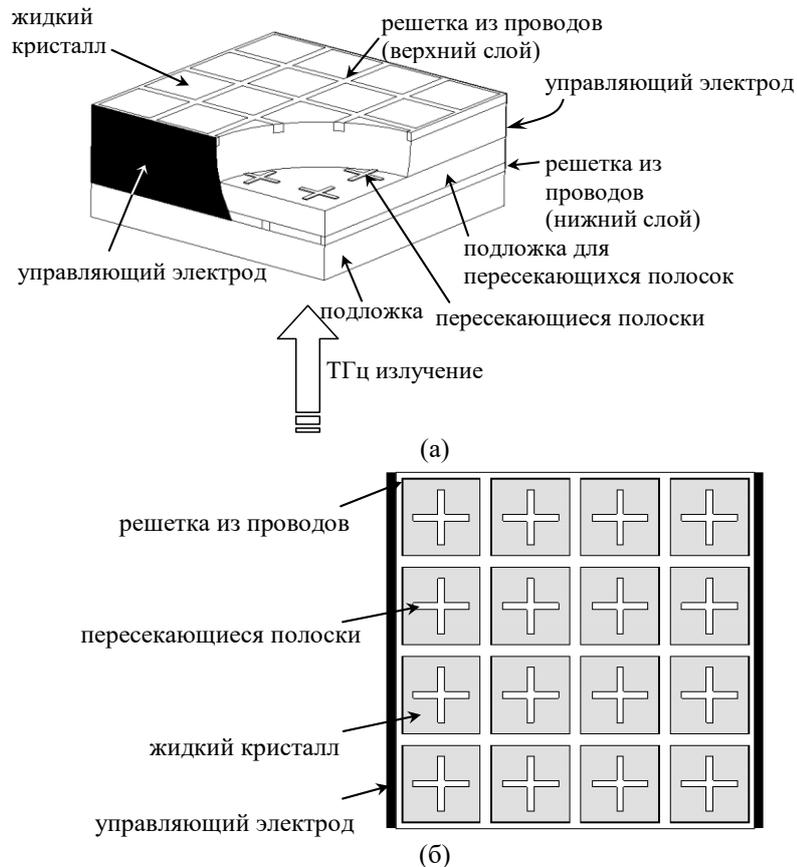


Рис. 4. Структура перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра: (а) трехмерное изображение, (б) вид сверху.

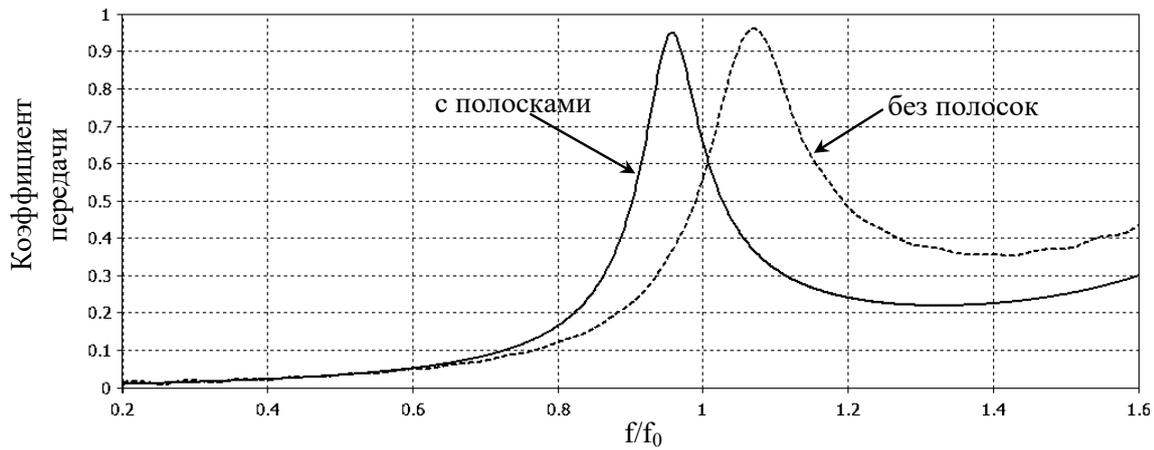


Рис. 5. Коэффициент передачи фильтра при наличии/отсутствии металлических полосок.

Для перестройки фильтра необходимо обеспечить изменение его отклика на внешнее управляющее воздействие, в качестве которого может служить электрическое, магнитное или оптическое излучение, а также изменение температуры. Управление параметрами в подобных структурах может быть обеспечено посредством использования МЭМС-технологии [5]. Однако эта технология достаточно сложна в реализации. Более простым способом является применение жидких кристаллов в структуре фильтра (см. рис. 4). Жидкий кристалл в данном случае играет роль среды с переменной диэлектрической проницаемостью [6]. Управление этим параметром осуществляется посредством изменения напряжения электрического поля, прикладываемого к области фильтра с жидким кристаллом. В зависимости от приложенного напряжения диэлектрическая проницаемость кристалла может изменяться в пределах $\epsilon_{LC} = 2-3$. Это позволяет осуществлять перестройку рабочей частоты фильтра на 13% (рис. 6).

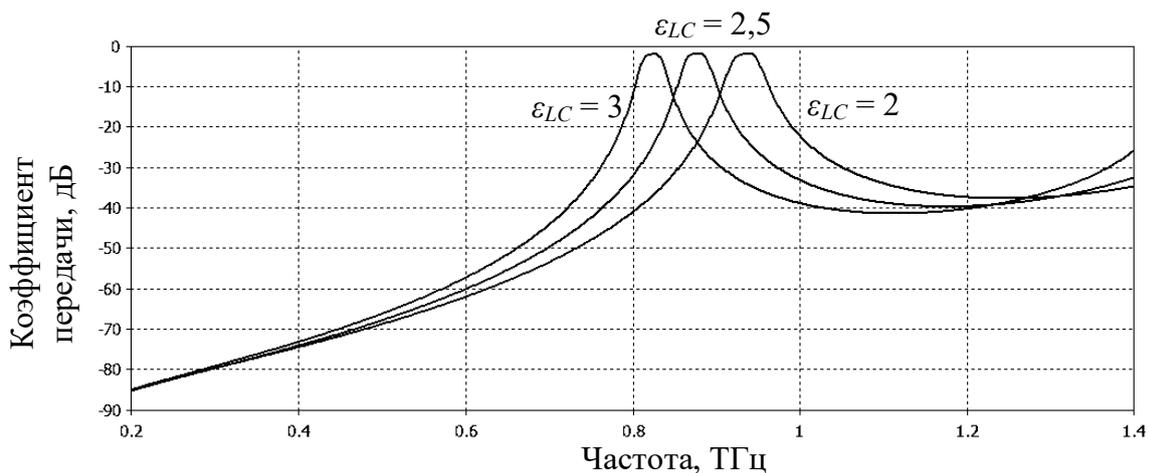


Рис. 6. Коэффициент передачи фильтра для различных значений диэлектрической проницаемости ϵ_{LC} жидкого кристалла.

В заключение следует отметить, что в данной работе была предложена оригинальная структура перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра для

терагерцового диапазона частот. Фильтр обладает малыми вносимыми потерями и полосой перестройки центральной частоты до 13% при использовании жидких кристаллов в качестве управляемой среды.

Библиографический список

1. P. D. Maagt, Terahertz technology for space and earth applications, Antennas and Propagation, EuCAP 2006, pp. 1 – 4, 6-10 November 2006.
2. W. L. Chan, J. Deibel and D. M. Mittleman, Imaging with terahertz radiation, Reports on Pro-gress in Physics, Volume 70, Number 8, 1325–1379, 2007.
3. W. M. Zhu, H. Cai, T. Mei, T. Bourouina, J. F. Tao, G. Q. Lo, D. L. Kwong and A. Q. Liu, A MEMS Tunable Metamaterial Filter, Proc IEEE 23rd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2010, Wanchai, Hong Kong, 24-28 January 2010, pp 196-199.
4. W. Withayachumnankul, Metamaterials in the Terahertz Regime, IEEE Photonics Journal, Vol. 1, No. 2, August 2009.
5. Zhu, W.M.; Cai, H.; Mei, T.; Bourouina, T.; Tao, J.F.; Lo, G.Q.; Kwong, D.L.; Liu, A.Q. A MEMS tunable metamaterial filter. 2010 IEEE 23rd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 196 – 199, 24-28 Jan. 2010.
6. I. C. Khoo, D. H. Werner, X. Liang, and A. Diaz. Nanosphere dispersed liquid crystals for tunable negative–zero–positive index of refraction in the optical and terahertz regimes. OPTICS LETTERS / Vol. 31, No. 17 / September 1, 2006.