

**Р.А. Платонов, В.В. Медведева, А.Г. Алтынников,  
А.Б. Козырев**

**ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

## **Электрически перестраиваемая линза СВЧ диапазона на основе сегнетоэлектрических материалов**

*Представлены результаты разработки управляемой линзы, на основе сегнетоэлектрической (СЭ) керамики  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ . Линза представляет собою периодическую структуру, состоящую из чередующихся слоев линейного диэлектрика (ЛД) и сегнетоэлектрического материала СЭ/ЛД/СЭ/ЛД/СЭ. Разработанный прототип демонстрирует максимальный угол отклонения ~ 20 градусов на частоте 30 ГГц.*

**Ключевые слова:** антенны, линза, дефлектор, сегнетоэлектрическая керамика

Антенны с электронным сканированием луча являются активно развивающимся направлением в сфере современных телекоммуникационных и радарных систем. Классическим примером таких антенн является фазированная антенная решетка (ФАР), применение которых в настоящее время становится очень актуальным, особенно в мм диапазоне длин волн, за счет возможности их использования в таких устройствах как антистолкновительные автомобильные радары, в системах связи внутри помещений, в радарах для космической техники и т. д. Одними из основных недостатков ФАР мм диапазона являются сравнительно большие СВЧ потери в делителях и фазовращателях, а также их сложная конструкция.

В последние годы электрически перестраиваемые линзовые антенны (так называемые дефлекторы), которые сочетают в себе лучшие свойства апертурных антенн и ФАР, активно разрабатывались для применения в мм диапазоне волн. По сравнению с ФАР линзовые антенны отличаются простотой конструкции, как следствие, малыми вносимыми СВЧ потерями. Линзовые антенны можно разделить на два класса: 1) линзовые антенны, выполненные на основе сосредоточенных элементов ( $L \ll \lambda$ , где  $L$  размер элемента,  $\lambda$  - длина волны); 2) линзовые антенны на распределенных элементах ( $L \geq \lambda$ ) из нелинейных материалов. В линзовых антеннах в качестве сосредоточенных элементов могут быть использованы: PIN –диоды [1], полупроводниковые и сегнетоэлектрические варакторы [2, 3, 4, 5], микроэлектромеханические элементы [6]. К классу линзовых антенн на сосредоточенных элементах могут быть также отнесены антенны типа «фильтр-линза» [3, 7], сканирующие антенны на основе частотно-селективных поверхностей [4], бинарные дифракционные линзы [8]. Однако, использование сосредоточенных элементов накладывает ограничение на рабочий диапазон частот, который не превышает частоты выше К-диапазона. На более высоких частотах перспективным является использование линзовых антенн с распределенными элементами управления. В ряде работ [9, 10, 11] приводится описание конструкции и принципов работы ряда таких антенн на основе сегнетоэлектрических материалов. В качестве сегнетоэлектрического материала может быть использован твердый раствор титаната бария-стронция ( $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ ). В параэлектрической фазе этот материал не имеет частотной дисперсии диэлектрической

проницаемости ( $\epsilon$ ) вплоть до частот  $\sim 100$  ГГц и обладает высокой управляемостью. Принцип работы таких линз основан на изменении фазового набег сигнала, прошедшего через сегнетоэлектрического материала в связи с изменением его диэлектрической проницаемости при воздействии управляющего электрического поля. Эти перестраиваемые линзы характеризуется простотой конструкции и, отсутствием сосредоточенных элементов, что позволяет использовать их в широком диапазоне частот (до 100 ГГц).

В данной работе мы предлагаем новый подход для конструирования электрически перестраиваемых линз с распределенными элементами управления на основе сегнетоэлектрических материалов. Он заключается в формировании структуры линзы в виде периодической структуры, состоящей из чередующихся слоев сегнетоэлектрического материала и линейного диэлектрика СЭ/ЛД/СЭ/ЛД/СЭ, что позволяет существенно повысить эффективность работы устройства при уменьшении управляющего напряжения и увеличении угла сканирования по сравнению с существующими аналогами.

Простейший вариант такой линзы представлен на рис. 1. Параметры слоев выбираются таким образом, чтобы структура обеспечивала эффект медленного распространения волны, проходящей сквозь нее. Приложение управляющего напряжения к сегнетоэлектрической керамике ведет к изменению её диэлектрической проницаемости и, как следствие, изменению скачков волнового сопротивления и фазовой скорости вдоль структуры. Формирование градиента диэлектрической проницаемости СЭ слоя позволяет отклонить фазовый фронт волны, проходящей сквозь линзу, то есть реализовать режим пространственного сканирования СВЧ луча.

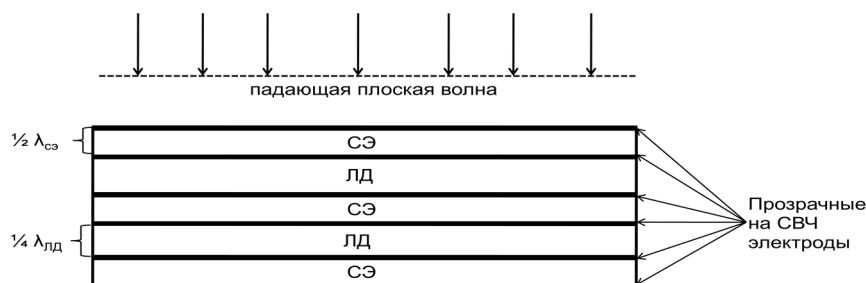


Рисунок 1

Предлагаемая периодическая структура может быть представлена как перестраиваемый СВЧ фильтр на сегнетоэлектрических керамических резонансных пластинках. На центральной рабочей частоте толщина сегнетоэлектрических слоев соответствует половине длины волны в СЭ материале, толщина слоя ЛД соответствует четверти длины волны в диэлектрике. Для увеличения скачка волнового сопротивления в структуре, в качестве слоев ЛД используются воздушные зазоры между слоями СЭ. Оценка угла отклонения такой структуры была произведена на основе численного моделирования методом конечных элементов.

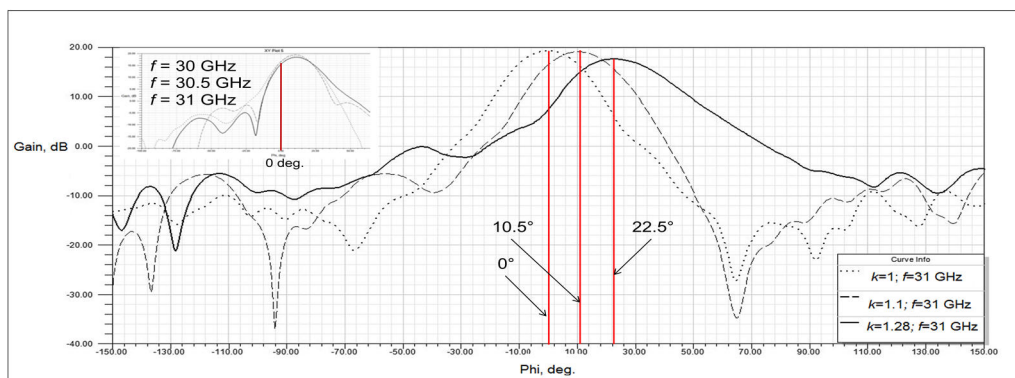


Рисунок 2

При моделировании структуры диэлектрическая проницаемость СЭ слоев равнялась 100, а максимальная управляемость сегнетоэлектрика  $k=1,28$  (изменение диэлектрической проницаемости примерно на 22%), что соответствует углу отклонения в 22,5 градуса. Размеры линзы 30x30 мм, толщина СЭ пластины 0,5 мм, воздушный зазор - 2,5 мм. В качестве источника излучения использовался пирамидальный рупор рассчитанный на 30 ГГц. На рис. 2 приведена рассчитанная диаграмма направленности структуры.

#### Библиографический список

1. 1. Wideband 400-element Electronically Reconfigurable Transmitarray in X Band / A. Clemente, L. Dussopt, R. Saileau, P. Porier et al. // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, -2013. - V.61(10). - p. 5017-5027.
2. 2. Yun Lau J., Hum S.V. A Planar Reconfigurable Aperture With Lens and Reflectarray Modes of Operation // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, - 2010. - V.58(12). - p. 3547-3555.
3. 3. Multilayer Antenna-Filter Antenna for Beam-Steering Transmit-Array Applications/ L. Boccia, I. Russo, G. Amendola, G. Massa // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, - 2012. - V.60(7). - p. 2287-2300.
4. 4. Beam Steering Transmitarray Using Tunable Frequency Selective Surface With Integrated Ferroelectric Varactors / M. Sazegar, Y. Zheng, C. Kohler, H. Maune et al. // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, - 2012. - V.60(12). - p. 5690-5699.
5. 5. Electronically Reconfigurable Transmitarray at Ku Band for Microwave Applications / P. Padilla, A. Mucoz-Acevedo, M. Sierra-Castacer M. Sierra-Pérez // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, - 2010. - V.58(8). - p. 2571-2579.
6. 6. Cheng C.C., Lakshminarayanan B., Abbaspour-Tamijani A. A Programmable Lens-Array Antenna With Monolithically Integrated MEMS Switches // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, - 2009. - V.57(8). - p. 1874-1884.
7. 7. Abbaspour-Tamijani A., Sarabandi K., Rebeiz G.M. A millimetre-wave bandpassfilter-lens array // IET Microwaves Antennas and Propagation, - 2007. - V.1 (2). - p. 388-395.
8. 8. Wang Z.-X., Fan D.-P. An Electrically Scanned Lens Antenna for 2-D Scanning // Wireless Engineering and Technology, - 2012. - V.3 (2). - p. 83-85.
9. 9. Monolithic, voltage controlled, phased array: Patent 4323901 US: H01Q 19/06, H01Q 3/46 / Wames R.E. , Hall W.F., Ho W.W. Lim T.C., Rockwell International Corporation (6 April 1982).
10. 10. Ferroelectric Lens: Patent 0237322 US: H01Q 3/44, H01Q 15/24 / Cherman V., Fihol P., Gevorgian S. et al., Ericsson Inc. (24 September 2009).
11. 11. Voltage Controlled Ferroelectric Lens Phased Array: Patent 22158 WO: H01Q 19/06, H01Q 15/02 / Jaganmohan B. L., The Government of the United States of America. (19 June 1997).