

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.383/391:004/396.67

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ РАДИОАНТЕННЫ И АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВНУТРИВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК, СОПРЯЖЕННЫХ С МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТРУКТУРАМИ

Г.И. Леонович¹, А.И. Данилин², С.В. Куприянов¹, К.Е. Воронов²,
А.М. Телегин², В.Н. Захаров²

¹ Секция прикладных проблем при Президиуме РАН, г. Москва

² «Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева», г. Самара

В настоящее время в радиотехнических системах связи, навигации и радиолокации широкое распространение получают радифотонные и МЭМС-технологии. Средствами и методами радиофотоники обеспечивается смещение несущей частоты радиосигналов из микроволнового в оптический диапазон и наоборот, чем достигается высокая помехозащищенность и снижение массогабаритных показателей аппаратуры, высокая пропускная способность каналов передачи данных, низкие потери и неравномерности, сверхширокополосность и обработка сигналов в реальном масштабе времени, а также освоение терагерцового диапазона.

Одно из актуальных направлений радиофотоники – радиооптическое преобразование и транспорт потока оптических сигналов по волоконно-оптическому кабелю (ВОК) между антенной или пространственно разнесенной антенной системой типа ММО и удалённым ресивером [1-3]. Применение оптических кабелей на основе одномодового волокна G.651-G.654 обусловлено их существенно более низким коэффициентом затухания α и высокой пропускной способностью V ($\alpha \geq 0,2$ дБ/км, $V \leq 40$ Гбит/с) в сравнении с типовыми радиоволноводами ($\alpha \geq 20$ дБ/км, $V \leq 50$

Гбит/с), гибкими коаксиальными кабелями ($\alpha \geq 100$ дБ/км, $V \leq 100$ Мбит/с) и витыми парами ($\alpha \geq 200$ дБ/км, $V \leq 600$ Мбит/с). К недостаткам известных средств и методов радиофотоники применительно к антенным радиооптическим преобразователям на основе оптронных пар можно отнести потери мощности сигналов при прямом и обратном преобразовании. Вместе с тем, вследствие низкого коэффициента затухания в оптоволокне общее затухание в системе будет меньше чем при других типах кабелей уже на расстоянии нескольких метров между антенной и ресивером. Следует также отметить, что в более низком диапазоне частот антенные радиооптические преобразователи пока не получили должного внимания и развития.

В области МЭМС-технологий анонсированы мембранные, электретные и другие типы механических антенн, обладающие значительно меньшими габаритами в сравнении с типовыми дипольными антеннами при сохранении требуемых чувствительности, направленности и устойчивости к помехам [4-6]. Для таких антенн характерно наличие от одного до нескольких кинематических реактивных микро- или наноэлементов (емкости, индуктивности) в составе резонансного контура, подвижные или деформируемые части которых при приеме/передаче радиосигнала осуществляют вынужденные механические колебания с частотой радиосигнала.

Например, узкополосная компактная пассивная резонансная мембранная антенна, описанная в [6], содержит два слоя. Первый слой выполнен из пьезомагнитного материала на основе сплава железа-бора-галлия и предназначен для преобразования механических колебаний мембраны в переменное магнитное поле и наоборот. Второй слой – пьезоэлектрический материал на основе нитрата алюминия – преобразовывает механические колебания в электрический ток. За счет того, что длины волн механических колебаний мембраны антенны в 10^4 - 10^5 раз короче длин излучаемых и принимаемых электромагнитных волн, размеры мембранных антенн в низкочастотном радиодиапазоне могут быть на два порядка меньшими размеров традиционных антенн.

Сопряжение механической антенны с ВОК посредством внутриволоконной брэгговской решетки (ВБР) позволяет использовать достижения радиофотоники и МЭМС-технологий для существенного улучшения массогабаритных и энергетических характеристик низкочастотных антенных систем. Для этого к каждой механической антенне системы подводится гибридный ВОД электромагнитного поля, содержащий магнитоэлектрическую структуру, выполненную на участке оптоволокна с ВБР. Если антенна является мембранной, то при изменении магнитного поля с частотой радиосигнала происходит синхронная с колебаниями мембраны нанодетформация ВБР. Соответственно в антенной системе осуществляется спектральная модуляция группы оптических

сигналов, отличающаяся максимальной помехоустойчивостью в сравнении с другими способами модуляции.

Гибридный ВОД/ВБР с высокочувствительной магнитострикционной и пьезоэлектрической структурой в составе волоконно-оптической сенсорной сети при определенных условиях может непосредственно на месте установки выполнять функции приемной антенны, радиооптического преобразователя и транспорта преобразованных оптических сигналов. Например, в [7, 8] приведены варианты применения магнитоэлектрических композитов, состоящих из магнитострикционной и пьезоэлектрической фаз. При механическом резонансе и в зависимости от геометрии значение магнитоэлектрического коэффициента достигает 9,7 кВ/см Э в воздухе и 19 кВ/см Э в вакууме. Чувствительность таких сенсоров характеризуется пределом обнаружения 2,3 пТл/Гц^{1/2} при механическом резонансе. В диапазоне 0,1 до 1000 Гц вне резонанса чувствительность может быть повышена путем преобразования частоты с использованием полей магнитного смещения переменного тока. Таким образом, в результате сопряжения композитной структуры с ВБР получается компактная низкочастотная пассивная антенна с радиооптическим преобразователем, волоконно-оптическим выходом, механическим резонансным откликом и большим линейным динамическим диапазоном.

Список использованных источников

1. Iraj Sadegh Amiri et al. Introduction to Photonics: Principles and the Most Recent Applications of Microstructures/ Micromachines 2018, 9, 452 – www.mdpi.com/journal/micromachines
2. Гуляев Ю.В., Бугаев А.С., Быстров Р.П., Никитов С.А., Черепенин В.А. Микро и нанoeлектроника в системах радиолокации, Монография. // - М.: Издательство «Радиотехника», 2014. - 479 с.
3. Jianping Yao. A Tutorial on Microwave Photonics / IEEE Photonics society newsletter, June 2012, p.p. 5-12
4. Domann, J. P. & Carman, G. P. Strain powered antennas. J. Appl. Phys. 121, 044905 (2017).
5. Tianxiang Nan et al. Acoustically actuated ultra-compact NEMS magnetoelectric antennas / Nature communications – www.nature.com/naturecommunications
6. Charles Q. C. Tiny Membrane-Based Antennas – <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/wireless/tiny-membranebased-antennas>
7. Xianfeng Liang et al. A Review of Thin-Film Magnetoelastic Materials for Magnetoelectric Applications. Sensors 2020, 20, – <https://www.mdpi.com/journal/sensors>
8. Jahns, R. et al. Giant magnetoelectric effect in thin-film composites. The American Ceramic Society. 96, 1673–1681 (2013).– <https://doi.org/10.1111/jace.12400>