

Для определенной инфраструктуры можно раскрыть некоторые рассмотренные там угрозы, поскольку их расширение позволит более полно оценить защищенность инфраструктуры передачи данных, что и является целью данной методики. Несмотря на то, что составление списка угроз не является частью данной методики, для грамотной оценки проведения этой процедуры следует знать этот список.

Этап 5. Для каждой обособленной подсети передачи данных должны быть прописаны свои угрозы.

Угрозы данных должны быть разделены по степени воздействия на информацию (если разные воздействия возможны).

После этого коэффициент реализации угрозы рассчитывается по следующей формуле:

$$K_p = K_{6c} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \cdot n, \quad (1)$$

где N – общее число источников угроз; k_i – возможность реализации угрозы конкретным типом нарушителя i , этот коэффициент равен 1, если рассматриваемый источник способен реализовать угрозу, и равен 0 в противном случае; n – весовой коэффициент; этот коэффициент равен 0,8 в случае, если рассматриваемый источник – внешний антропогенный нарушитель; коэффициент равен 1,2 – в случае, если угроза реализуется внутренним антропогенным нарушителем; для прочих типов нарушителя (техногенный, стихийный) весовой коэффициент равняется единице.

Этап 6. Определение защищенности сети.

После предыдущего этапа для каждой угрозы есть соответствующий ей коэффициент реализации K_p .

Для оценки защищенности каждой из подсетей передачи данных требуется оценить значения K_p каждой из угроз, существующих для данной подсети:

– для угроз 1 типа система может считаться защищенной от данной конкретной угрозы, если соответствующий K_p меньше или равен 0,6;

– для угроз 2 типа система может считаться защищенной от данной конкретной угрозы, если соответствующий K_p меньше или равен 0,4;

– для угроз 3 типа система может считаться защищенной от данной конкретной угрозы, если соответствующий K_p меньше или равен 0,25.

Как можно заметить, чем критичнее угроза для системы, тем меньше должен быть коэффициент реализации, что с точки зрения практики означает, что возможность злоумышленнику реализовать данную угрозу должна быть минимальной. Если все K_p сети передачи данных соответствуют требуемым значениям – она может считаться *защищенной*. Если в сети присутствует K_p угрозы 1 типа, больший порогового значения, она считается *условно защищенной*. Для некоторых сетей, не связанных непосредственно с ОС РВ, отвечающих за контроль полёта, это приемлемо. При всех других комбинациях K_p сеть передачи данных считается *недоверенной*.

В целом, инфраструктура передачи данных считается защищенной, если состоит из защищенных и условно защищенных сетей, причём количество условно защищенных сетей не превышает 20 % от общего числа сетей в инфраструктуре.

Литература

1. Смит Д.Д. Функциональная безопасность. Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов / Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Л. Симпсон. – М. Издательский Дом «Технологии», 2004. – 208 с.
2. Глинская Е.В., Чичварин Н.В. Моделирование угроз информационной безопасности бортовых вычислительных средств самолета. / Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. «Приборостроение». – 2016. – № 6. – С. 85–97.

УДК 621.317.328:621.372.8

ДАТЧИК НАПРЯЖЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ С НЕСКОЛЬКИМИ ЩЕЛЯМИ

Гончаренко И.А., Ильюшонок А.В., Рябцев В.Н.

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Развитие методов измерений высокочастотных электрических полей становится важнейшим направлением в области электромагнитных исследований [1, 2]. Оптические датчики электрического поля имеют значительные преимущества перед их электронными аналогами благодаря малым размерам, меньшему весу, более высокой чувствительности, широкому спектральному диапазону, защищенность канала передачи данных от воздействия помех [9]. В работах [3, 4] нами предложены структура и принцип работы

оптических датчиков электромагнитных полей на основе микрокольцевых резонаторов на базе оптических волноводов с горизонтальной и вертикальной щелью, заполненной жидким кристаллом (ЖК) или электрооптическим полимером (ЭОП). Датчик с заполнением ЖК обладает высокой чувствительностью, но позволяет измерять переменные электрические поля с частотами лишь до десятков кГц. Датчик с заполнением ЭОП позволяет измерять электрические поля с частотой более 1 МГц, но его чувствительность

на порядок хуже, чем у аналогичного устройства с использованием ЖК [4, 5]. Это объясняется тем, что изменения показателя ЭОП под воздействием электрического поля на несколько порядков меньше, чем у ЖК.

Для увеличения чувствительности датчика высокочастотных электрических полей на основе микрокольцевых резонаторов в работе предлагается использовать оптические волноводы с двумя горизонтальными или вертикальными щелями, заполненными ЭОП.

Структура микрокольцевого резонатора на основе волноводов с двумя вертикальными и горизонтальными щелями с заполнением ЭОП представлена на рисунок 1.

Микрорезонатор представляет собой замкнутый кольцевой волновод с горизонтальными или вертикальными щелями, выполненный из Si_3N_4 или кремния, расположенный на кремниевой подложке. Для того чтобы получить условие полного внутреннего отражения, между волноводом и подложкой располагается буферный слой SiO_2 с показателем преломления, меньшим показателя преломления волновода. Электрооптический полимер SEO125 заполняет вертикальные или горизонтальные щели кольцевого волновода. Для ввода и вывода оптического сигнала из кольцевого резонатора используются прямые оптические волноводы, связанные с кольцевым волноводом через спадающие поля и расположенные на той же подложке. Общая ширина щелевого волновода составляет 1000 нм, высота – 300 нм. Длина волны оптического излучения равна 1550 нм.

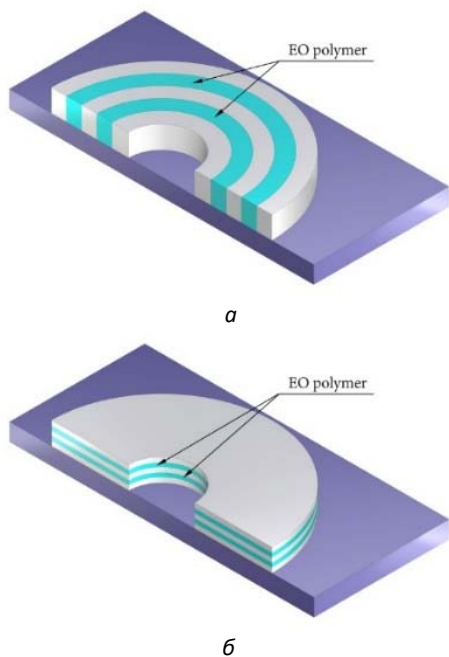


Рисунок 1 – Структуры микрокольцевого резонатора на основе волноводов с двумя вертикальными (а) и горизонтальными (б) щелями с заполнением ЭОП

Активный органический электрооптический полимер SEO125 обладает малыми оптическими потерями для излучения с длиной волны 1550 нм, большим электрооптическим коэффициентом и хорошей временной стабильностью и позволяет определять напряженность переменного электрического поля с частотой до 8,4 ГГц [6].

В качестве начальных параметров оптического излучения использовались параметры полупроводникового лазера FU-68PDF-V510M с выходной оптической мощностью 15 мВт на длине волны 1,5 мкм. Оптическое излучение на выходе из кольцевого резонатора преобразовывалось в электрический сигнал р-і-n фотодиодом ФД161 на основе соединения InGaAs. Точковая чувствительность такого фотодиода на рабочей длине волны 1,5 мкм не менее 0,8 А/Вт, темновой ток – не более 20 нА.

Чувствительность датчика характеризуется наклоном кривых, описывающих зависимость оптического сигнала на выходе резонатора от интенсивности воздействия внешнего электрического поля. Расчет эффективного показателя преломления и распределение полей мод изогнутых щелевых волноводов с заполнением ЭОП проводился с помощью метода линий [7], модифицированного для исследуемой структуры. При проведении расчетов не учитывались потери на входе/выходе оптического излучения в волновод и потери на излучение.

На рисунке 2 представлено сравнение сигналов на выходе резонатора на базе изогнутых волноводов с одной вертикальной щелью шириной 200 нм и двумя щелями шириной 100 нм каждая с заполнением ЭОП в зависимости от напряженности внешнего электрического поля. Суммарная ширина щелей в обоих случаях совпадает, что обеспечивает одинаковое количество ЭОП, заполняющего щели. Как видно из рисунка, сигнал на выходе резонатора на базе волновода с двумя щелями более резко реагирует на изменение напряженности внешнего электрического поля. Таким образом, чувствительность датчика на основе такого резонатора гораздо выше, чем у датчика на основе волновода с одной щелью при одинаковом заполнении ЭОП.

Как показал анализ, чувствительность датчика на основе волноводов с двумя щелями повышается при уменьшении ширины щелей. Это можно объяснить увеличением амплитуды поля направляемых мод таких волноводов в области щелей, заполненных ЭОП, при уменьшении ширины щелей. Таким образом, параметры направляемых мод волноводов более резко изменяются под воздействием внешнего электрического поля. Изменение напряженности электрического поля на 1 В/м вызывает изменения тока фотодиода в датчике на основе волновода с шириной щелей 2×100 нм и 2×25 нм примерно на 0,33

и 0,67 нА (чувствительность датчика соответственно равна 0,33 и 0,67 нА/(В/м)). Поскольку темновой ток фотоприемника порядка 20 нА, очевидно, что такие датчики не позволяют отслеживать изменения напряженности внешнего электрического поля менее чем на 61 и 30 В/м. Таким образом, датчик на основе волновода с двумя вертикальными щелями с радиусом изгиба волновода 32 мкм и разнесением щелей 100 нм может быть использован для измерений напряженности электрического поля с точностью до 40–70 В/м в диапазоне до $50 \cdot 10^6$ В/м.

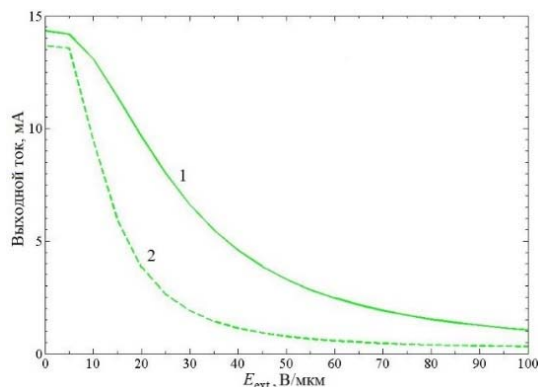


Рисунок 2 – Зависимость сигнала на выходе кольцевого резонатора на основе волновода с одной (1) и двумя (2) вертикальными щелями с заполнением ЭОП от напряженности электрического поля. Радиус изгиба волновода 32 мкм, ширина щели 200 нм (1) и 2×100 нм (2)

Чувствительность датчика можно увеличить за счет изменения расстояния между щелями. При этом существует оптимальное расстояние между щелями, при котором чувствительность датчика наибольшая. Это расстояние соответствует примерно 320 нм. При этом оптимальное разнесение щелей не зависит от ширины щелей.

Чувствительность датчика с разнесением щелей 300 нм и шириной щелей 2×100 нм составляет 0,67 нА/(В/м), что примерно в два раза выше, чем при разнесении щелей 100 нм.

Наличие оптимального расстояния между щелями можно объяснить с помощью анализа поперечного распределения полей мод щелевого волновода. При малом разнесении щелей интенсивности поля волноводной моды в области щели мала. При большом разнесении щелей распределение поля волноводной моды становится подобным распределению поля моды обычного волновода, роль которого играет центральная

часть волновода с двумя щелями. Таким образом, в области щелей с заполнением ЭОП интенсивность поля моды также незначительна. При оптимальном разнесении щелей интенсивность поля моды в области щелей велика. Это приводит к наибольшему изменению поля моды при изменении показателя преломления ЭОП под воздействием электрического поля, и обеспечивает наибольшую чувствительность датчика на основе такого волновода.

Предложенный датчик позволяет измерять переменные электрические поля с частотой до 10 МГц. Использование волновода с двумя щелями с заполнением ЭОП позволяет существенно увеличить чувствительность датчика. При использовании фотоприемника с темновым током 20 нА датчик позволяет измерять изменения напряженности электрического поля порядка 30 В/м. При этом диапазон измерений достигает $50 \cdot 10^6$ В/м.

Литература

1. Suo C. GIS very fast transients overvoltage testing using electric field measurements / C. Suo [et al.] // Integr. Ferroelectrics, 2017, vol. 178, no. 1. – P. 23–34.
2. Evan S.J. Electric field measurement of two commercial active/sham coils for transcranial magnetic stimulation / S.J. Evan, A.V. Peterchev // J. Neural Eng. – 2018, vol. 15, no.5. – P. 054001.
3. Goncharenko I. Electric field sensing with liquid-crystal-filled slot waveguide microring resonators / I. Goncharenko, M. Marciniak, V. Reabtsev // Applied Optics. – 2017, vol. 56, iss. 27. – P. 7629–7635.
4. Гончаренко И.А. Измерение параметров высокочастотных электрических полей с помощью щелевых волноводов с заполнением электрооптическим полимером / И.А. Гончаренко, В.Н. Рябцев // Приборостроение-2019: мат. 12-й Междунар. науч.-техн. конф., 13–15 ноября 2019 года. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 11–13.
5. Гончаренко И.А. Датчик напряженности высокочастотных электрических полей на основе оптических волноводных структур / И.А. Гончаренко, А.В. Ильюшонок, В.Н. Рябцев // Квантовая электроника: мат. XII Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 18–22 ноября 2019 г. – Минск: РИВШ, 2019. – С. 167–168.
6. Zhang X. Integrated photonic electromagnetic field sensor based on broadband bowtie antenna coupled silicon organic hybrid modulator / Xingyu Zhang [et al.] // J. Lightwave Technology, 2014, vol. 32, no. 20. – P. 3774–3784.
7. Pregla R. The method of lines for the analysis of dielectric waveguide bends / R. Pregla // Journal of Lightwave Technology. – 1996, vol. 14, no. 4. – P. 634–639.