

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ  
(ЭМС – 2015)**

Сборник научных трудов первой международной  
научно-технической конференции

**Харьков 27 мая 2015 г.**

Харьков 2015

УДК 621.37/.39

Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015) : Сборник научных трудов первой международной научно-технической конференции, Харьков 27 мая 2015 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – 172 с.

В сборник включены научные доклады участников первой Международной научно-технической конференции «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» (ЭМС-2015).

Издание подготовлено кафедрой телекоммуникационных систем  
<http://tcs.kharkov.ua/>

61166, Украина, Харьков, просп. Ленина, 14.  
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,  
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: [emc@picst.org](mailto:emc@picst.org)  
<http://emc-2015-ru.weebly.com/>

© Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники, 2015

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ МОЕМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Филипенко А. И., Чалая Е. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. Технологии и автоматизации производства радиоэлектронных средств и электронно-вычислительных устройств  
тел.(057) 702-14-86

E-mail: [tapr@kture.kharkov.ua](mailto:tapr@kture.kharkov.ua), факс .(057) 702-14-86

The work considers the immunity MOEMS switches with electrostatic switch. The conducted researches allow to find a compromise in the choice of values of the control voltage, the geometric parameters of the electrode – mirror, the base height of the bridge electrode, the mirror to ensure the stability and noise immunity of switching.

С ростом объемов обрабатываемой информации, необходимости ее хранения и передачи во всех областях инженерии сегодня, надежные высокоскоростные широкополосные системы связи стали незаменимы. Среди оптических компонентов, оптический переключатель является одним из ключевых устройств, так как он играет особую роль в контроле, мониторинге, защите, управлении и других функциях в коммуникационных сетях. Например, в полностью оптической сети (AON), оптические переключатели позволяют выбирать направления сигнала, добавляя или пропуская информацию, защищая сети, и так далее. Эти функции могут быть реализованы при помощи традиционных электрических переключателей после преобразования оптического сигнала в электрический, который затем превращается обратно в оптический сигнал для дальнейшей передачи. Однако, оптическое переключение более предпочтительно [1], так как преобразование оптических сигналов в электрические – критически опасное место в AON, когда большой объем информации должен быть распределен между различными узлами. Поэтому оптическое переключение без учета протоколов трафика – перспективное направление в динамически развивающихся оптических цепях.

Наиболее перспективное направление микроэлектроники сегодня – MEMS-технология, которая позволяет реализовывать высокоскоростные элементы и электронные устройства, выполненные на одном кристалле. Применение MEMS оптических переключателей является альтернативным подходом к миниатюризации и улучшению характеристик аппаратуры связи, что обуславливает актуальность исследования возможностей их применения и улучшения существующих характеристик.

В микрооптоэлектромеханических переключателях каждое микрзеркало представляет собой вращающееся плоское зеркало, которое поворачивается на определенный фиксированный угол и коммутирует отраженный луч на выходной порт.

При разработке и проектировании можно выделить основные требования к переключателям, которые непосредственно будут влиять на качество, передаваемого сигнала, это: минимальные перекрестные потери; малые оптические потери; слабая зависимость перечисленных параметров от паразитных воздействий; высокое быстродействие; надежность и технологичность.

Схемы электрооптических переключателей могут быть довольно быстродействующими (~ 10 нс). Однако они имеют спектральную зависимость и относительно высокие перекрестные помехи.

Перекрестные помехи обычно вызываются паразитными ёмкостными, индуктивными или проводящими связями, которые в данном случае могут иметь место по цепям управления положением зеркал.

Для определения емкости в электрооптомеханических переключателях между управляемым электродом и электродом-зеркалом, при их параллельном размещении можно использовать формулу:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{g} = \frac{\varepsilon_0 W w}{g}, \quad (1)$$

где  $W$  – ширина управляющего электрода;  $w$  – ширина электрода-зеркала  $g$  – расстояние между электродом-зеркалом и управляющим электродом.

Электростатическая сила  $F_e$ , приложенная к электроду-зеркалу, может быть найдена с учетом емкости:

$$F_e = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC(g)}{dg} = -\frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 W w V^2}{g^2}, \quad (2)$$

где  $V$  – напряжение между электродом-зеркалом и управляющим электродом.

Стоит отметить, что приложенная сила  $F_e$  зависит от полярности напряжения.

На рисунке 1 приведено два варианта управления электрооптопереключателя с электростатической активацией. На рисунке а) изображено схему двойной фиксации электрода-зеркала, на б) – с кантилеверной фиксацией. При подаче напряжения на один из отклоняющих электродов между ним и структурой микрзеркала возникает электростатическая сила, которая притягивает микрзеркало к отклоняющему электроду. Когда отклоняющее напряжение убирается, микрзеркало под действием силы упругости возвращается в исходное положение.

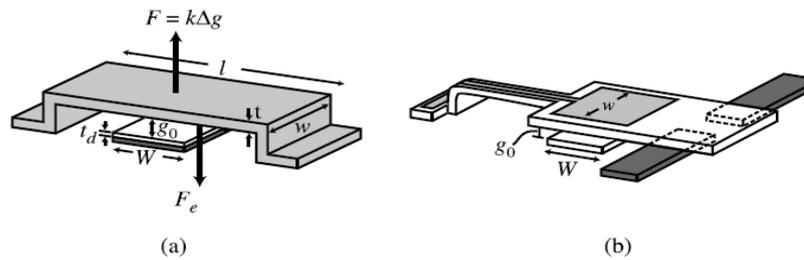


Рисунок 1 – МОEMS-переключатели с электростатическим управлением  
а) двойная фиксация электрода-зеркала ;б) кантилеверная фиксация подложки

Приравнивая приложенную электростатическую силу с силой упругости восстановления ( $F = kx$ ), возникающую вследствие жесткости подложки электрода-зеркала имеем:

$$\frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 W w V^2}{g^2} = k(g_0 - g), \quad (3)$$

где  $g_0$  - базовая высота моста электрода-зеркала.

Для расчета приложенного напряжения, используя формулу 3 имеем:

$$V = \sqrt{\frac{2k}{\epsilon_0 W w} g^2 (g_0 - g)}, \quad (4)$$

Высота зазора в зависимости от приложенного напряжения дает два возможных варианта позиции электрода-зеркала для приложенного напряжения (рисунок 2). Результат положения электрода-зеркала становится нестабильным при  $2/3 g_0$ , что становится следствием положительной обратной связи при электростатическом воздействии. Это следствие может быть рассчитано при учете электростатических сил в условиях электростатического поля, действующего на электрод-зеркало:

$$F_e = \frac{QE}{2}, \quad (5)$$

где  $Q$  - заряд на электроде-зеркале,  $E = V/g$  – электростатическое поле, вызванное увеличением напряжения.

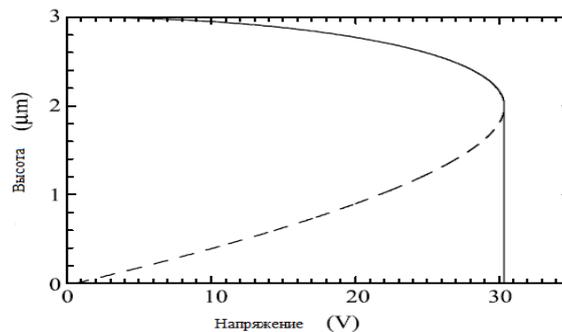


Рисунок 2 – Зависимость высоты зазора электрода-зеркала от приложенного напряжения

При увеличении напряжения источника соответственно увеличивается сила давления за счет увеличения заряда. Одновременное увеличение силы воздействия уменьшает ширину зазора электрода-зеркала, которое неизменно приведет к увеличению емкости цепи, и электрического поля. При приращении электростатической силы больше чем значения приращения силы упругости материала зеркала, оно становится нестабильным и коллапсирует, приходя в крайнее нижнее статическое положение, причем кантилевер или мембрана переключателя должны быть достаточно жесткими, что бы преодолеть силу адгезии («залипания») после снятия управляющего напряжения. При создании переключателей с низким управляющим напряжением, а значит и малой силой упругости подвижного электрода, наиболее подходящим материалом для омического контакта является золото или серебро – благодаря низкой твердости, очень низкому контактному сопротивлению (среди мягких металлов).

Взяв производную (от 4) с учетом нахождения зеркала в базовом нулевом положении, оказывается, что нестабильная позиция зеркала соответствует  $2/3$  от базовой высоты. Учитывая это значение, управляющее напряжение может быть найдено:

$$V_p = V(2g_0/3) = \sqrt{\frac{8k}{27\epsilon_0 W w} g_0^3}, \quad (6)$$

На рисунке 3 приведена кривая зависимости управляющего напряжения для моста из золота и алюминия с остаточными напряжениями 0, 30 и 60 МПа от геометрических параметров электрода-зеркала с двойной фиксацией для управления электрооптопереключателя с электростатической активацией, рассчитанной по формуле 6.

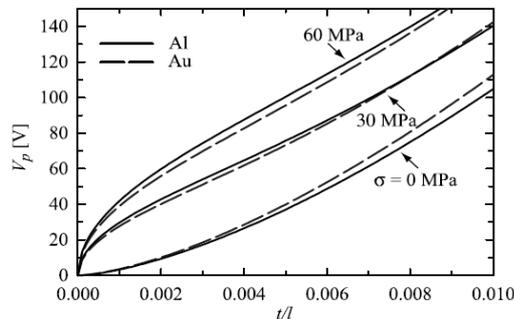


Рисунок 3 – Зависимость управляющего напряжения от геометрических параметров ( $t$  – толщина,  $l$  высота) электрода-зеркала с двойной фиксацией для управления электрооптопереключателя с электростатической активацией

Аналогично, была построена зависимость изменения размеров зазора от приложенного управляющего напряжения с кантилеверной фиксацией для управления электрооптопереключателями с электростатической активацией (рисунок 4).

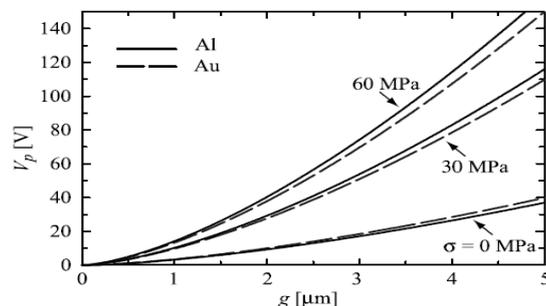


Рисунок 4 Зависимости управляющего напряжения от высоты моста электрода-зеркала с кантилеверной фиксацией для управления электрооптопереключателя с электростатической активацией

Из анализа графиков видно, что с одной стороны уменьшение действующего управляющего напряжения упрощает реализацию схем электрического управления, а с другой стороны - снижает помехозащищенность. Проведенные исследования позволяют найти компромиссное решение при

выборе значений управляющего напряжения, геометрических параметров (толщины и высоты) электрода – зеркала, базовой высоты моста электрода-зеркала с учетом обеспечения стабильности и помехозащищенности переключения.

**ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК:**

1 Tomsu, P. Next Generation Optical Networks [Text] / P. Tomsu, C. Schmutzer // The Convergence of IP Intelligence and Optical Technologies, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. - 2002.

2 Базиладзе, Г.Д., Бержанский, В.Н., Долгов, А.И. Электро - и магнитооптические переключатели для волоконно-оптических сетей связи «Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского» Серия «Физико-математические науки». Том 25 (64). 2012 г. № 1. С. 140-159.

3 Gabriel M., Rebeiz RF MEMS: Theory, Design, and Technology [Text] / Gabriel M. Rebeiz ISBN: 0-471-20169-3, John Wiley & Sons, Copyright 2003.