بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

# طراحی مدارهای منطقی با استفاده از فناوری MEMS و موجبرهای نوری

**یاشار غلامی مهرآبادی، مهدیه خرسندی‌فرد، کیان جعفری* و کامبیز عابدی**

**دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق، k_jafari@sbu.ac.ir**

**چکیده – در این مقاله روشی جدید برای اجرای ترکیبات منطقی و انجام عملیات جبر بول به صورت ترکیبات SOP، به منظور طراحی مدارهای منطقی، برای کاربرد در محیط‌های خشن پیشنهاد شده است. در این روش از کلیدهای MEMS بهره گرفته شده است. این کلیدها از تحریک الکترواستاتیک جهت کلیدزنی استفاده می‌کنند. با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها، ولتاژ کاری و زمان کلیدزنی کلیدهای پیشنهادی به ترتیب ۱۲V و ۲/۶μs می‌باشد. همچنین در این روش، موجبرهای نوری برای انتقال نور از منبع به پایانه خروجی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ادامه جابجایی کلیدها و انتقال نور به وسیله موجبرها شبیه‌سازی شده است.**

کلید واژه- سامانه‌های میکروالکترومکانیکی، کلید، مدارهای منطقی، موجبر نوری.

# Design of logic circuits by using MEMS technology and optical waveguides

Yashar Gholami Mehrabadi, Mahdieh Khorsandifard, Kian Jafari and Kambiz Abedi

**Shahid Beheshti University, Electrical Engineering Department,**

**k_jafari@sbu.ac.ir**

Abstract- In this paper, a new method is proposed to implement logical combinations and perform Boolean algebraic operations as SOP combinations, to design logic circuits for application in harsh environments. This method uses MEMS switches. These switches use electrostatic excitation **for switching**. **According to the simulation results, the operating voltage and switching time of the proposed switches are** 12V and 2.6 μs, respectively. In this method, optical waveguides are also used to transmit light from the source to the output terminal. In the following, displacement of the switches and the transmittance of the light by waveguides are simulated.

Keywords: logic circuits, micro electromechanical systems, optical waveguide, switch.

* نویسنده مسئول



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06 ]

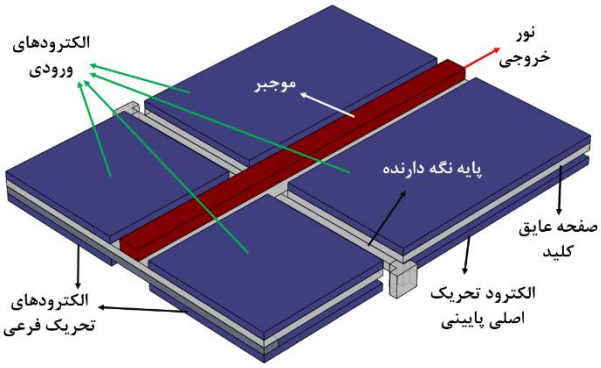
## مقدمه

به دلیل عملکرد نامناسب ترانزیستورهای حالت جامد در محیط‌های خشن [۳-۱] و همچنین جریان نشتی حالت خاموش این ترانزیستورها [۴]، برای طراحی مدارهای منطقی می‌توان از فناوری MEMS[۱] استفاده نمود. در این زمینه روش‌هایی از جمله استفاده از کلیدهای MEMS [۵]، استفاده از ساختارهای چرخان [۶] و استفاده از میکرو رزوناتورها [۷] پیشنهاد شده است.

در این مقاله یک روش جدید برای طراحی و پیاده‌سازی مدارهای منطقی با استفاده از عبارات SOP پیشنهاد شده است. این روش از کلیدهای MEMS برای انجام عمل کلیدزنی و موجبرهای نوری برای انتقال نور از منبع نور به پایانه خروجی استفاده می‌کند. در این روش از برقراری جریان الکتریکی خودداری شده است در نتیجه بر خلاف روش‌های پیشین هیچ توانی در کلیدها مصرف نمی‌شود.

## معرفی طرح پیشنهادی

در این روش از تعدادی مسیرهای نوری استفاده می‌شود که در انتها تمام این مسیرها با یکدیگر جفت می‌شوند. هر مسیر از تعدادی کلید تشکیل شده است که به صورت پشت سر هم قرار می‌گیرند و روی هر کدام از این کلیدها بخشی از موجبر نوری قرار گرفته است. در شکل ۱ نمای کلی یک کلید پیشنهادی نشان داده شده است.




شکل ۱: کلید MEMS پیشنهادی.

این کلید به صورت چرخان طراحی شده و دارای یک صفحه از جنس $SiO_2$ است که با کمک دو پایه نگه داشته شده است. بر روی این صفحه، موجبر نوری سیلیکونی قرار گرفته است. چهار الکترود از آلومینیوم در کنار موجبر بر روی این صفحه وجود دارد. سیگنال ورودی متناظر با هر کلید به این چهار الکترود اعمال می‌شود. در زیر صفحه چهار الکترود وجود دارد که الکترودهای تحریک نامیده می‌شوند. دو الکترود سمت راست، الکترودهای اصلی و دو الکترود سمت چپ، الکترودهای کمکی می‌باشند. هنگامی که الکترودهای تحریک اصلی به VCC و الکترودهای تحریک کمکی به GND متصل شوند، اگر ورودی GND باشد در اثر نیروی الکترواستاتیک بین الکترودهای تحریک اصلی و الکترودهای ورودی، کلید به صورت ساعتگرد می‌چرخد و از عبور نور جلوگیری می‌کند. اگر ورودی VCC باشد بین الکترودهای تحریک کمکی و الکترودهای ورودی اختلاف پتانسیل به وجود می‌آید که باعث ایجاد نیروی الکترواستاتیک و چرخش پادساعتگرد کلید می‌شود. اما با استفاده از مانع بازدارنده کلید در مکان اولیه خود باقی می‌ماند و نور توسط موجبر از این کلید عبور می‌کند. در این حالت می‌گوییم کلید به صورت مستقیم بایاس شده است. اگر الکترودهای تحریک اصلی به GND و الکترودهای تحریک کمکی به VCC متصل شوند می‌گوییم کلید به صورت معکوس بایاس شده است. علت استفاده از الکترودهای تحریک کمکی، کاهش زمان بازگشت کلید به مکان اولیه و در نتیجه کاهش زمان کلیدزنی می‌باشد.

## شبیه‌سازی

ابتدا در شکل ۲ نحوه چرخش کلید MEMS پیشنهادی در اثر تحریک الکترواستاتیک نشان داده شده است. در ادامه برای توضیح عملکرد این روش یک مالتی‌پلکسر دو ورودی شبیه‌سازی شده است. عملکرد مالتی‌پلکسر دو ورودی با عبارت $OUT = AS + B\bar{S}$ قابل بیان است. طبق توضیحات گفته شده، برای اجرای این ترکیب نیاز به دو مسیر است که در هر مسیر دو کلید وجود دارد. در این طرح در مسیر اول، الکترودهای ورودی کلید اول به ورودی A و الکترودهای ورودی کلید دوم به ورودی S اختصاص یافته است و هر دو کلید به صورت مستقیم بایاس شده‌اند. در مسیر دوم، الکترودهای ورودی کلید اول به ورودی B و

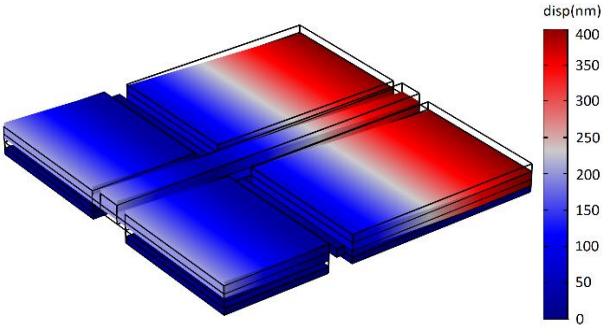
[۱] Micro ElectroMechanical systems



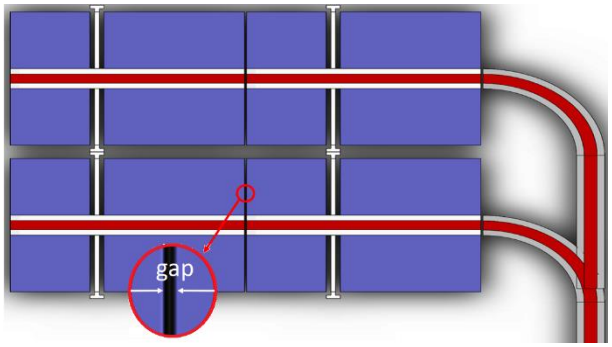
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06 ]

الکترودهای ورودی کلید دوم به ورودی S متصل شده‌اند. کلید اول به صورت مستقیم و کلید دوم به صورت معکوس بایاس شده‌اند.شمای این مالتی‌پلکسر در شکل ۳ و همچنین ابعاد و سایر ویژگی‌های این طرح در جدول ۱ نشان داده شده است.




شکل ۲: چرخش کلید پیشنهادی در اثر تحریک الکترواستاتیک.

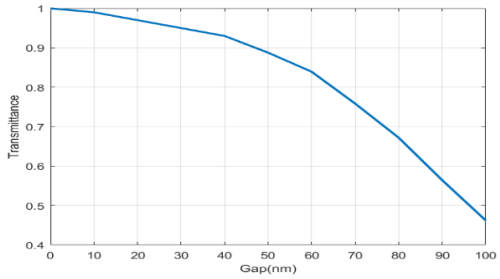



شکل ۳: مالتی پلکسر دو ورودی به روش پیشنهادی.

جدول ۱: ابعاد طرح پیشنهادی.

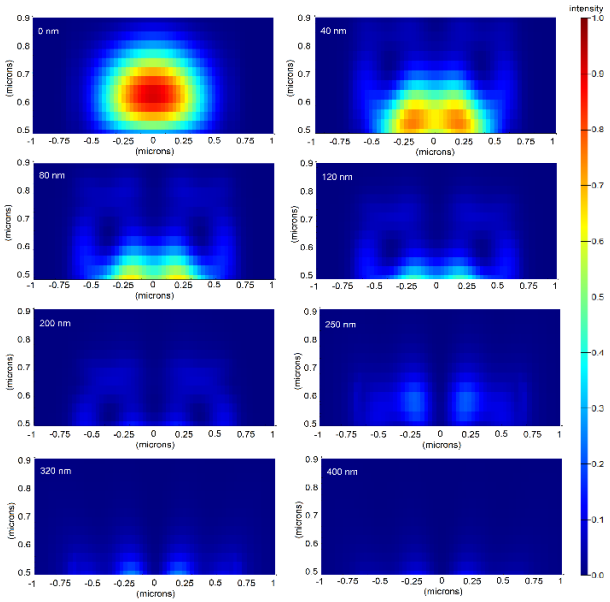
| | |
|---|---|
| طول کلید | ۲۵ µm |
| عرض کلید | ۲۰ µm |
| طول الکترودهای بزرگ | ۱۵ µm |
| عرض الکترودها | ۸/۵ µm |
| طول الکترودهای کوچک | ۸/۵ µm |
| طول پایه‌های نگه‌دارنده | ۸/۵ µm |
| عرض پایه‌های نگه‌دارنده | ۰/۵ µm |
| عرض هسته موجبر | ۱/۳ µm |
| فاصله صفحه عایق و الکترودهای تحریک | ۰/۴ µm |
| ضخامت صفحه کلید | ۰/۵ µm |
| ضخامت هسته موجبر | ۰/۴ µm |

در ساخت هر کلید باید یک برش با کلید مجاور انجام شود تا کلیدها بتوانند به صورت مستقل جابجا شوند و این امر باعث ایجاد فاصله‌های هوایی در مسیر موجبرها می‌شود. در نمودار شکل ۴ تاثیر اندازه این فاصله‌های هوایی بر طیف عبور موجبرها در طول موج ۱۵۵۰nm نشان داده شده است. ابعاد موجبرهای مورد استفاده به صورتی بهینه‌سازی شده است که در طول موج ۱۵۵۰nm بیشترین میزان عبور نور را داشته باشیم.




شکل ۴: نمودار عبور نور نسبت به اندازه فاصله‌های هوایی موجبرها

هنگامی که در هر کدام از مسیرها یک کلید قطع شود مسیر نور در آن مسیر باید قطع شود. برای بررسی این مورد، ابتدا یکی از مسیرها را در نظر می‌گیریم. سپس یکی از کلیدها را می‌چرخانیم و نور دریافت شده در پایانه خروجی را مشاهده می‌کنیم. نتایج این شبیه‌سازی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان طور که از این شکل مشخص است، هنگامی که هر کدام از کلیدها به اندازه ۴۰۰nm بچرخد، عبور نور در این مسیر نزدیک به صفر می‌شود که معادل منطق ۰ می‌باشد. در غیر این صورت نور در پایانه خروجی دریافت می‌شود که معادل منطق ۱ است.




شکل ۵: نور دریافت شده در پایانه خروجی با جابجایی انتهای کلید.

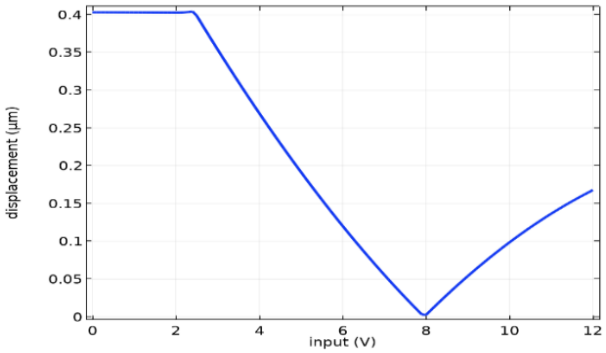
نمودار جابجایی انتهای این کلید بر حسب ولتاژ ورودی (در بایاس مستقیم)، در شکل ۶ نشان داده شده است. همان



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

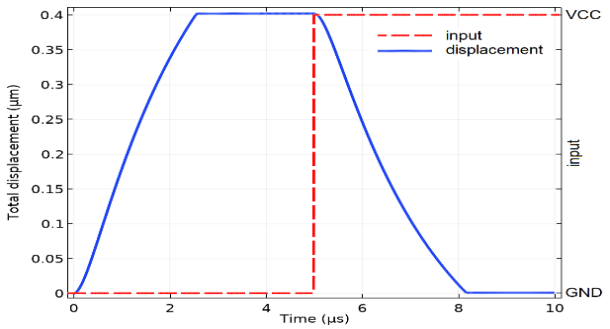
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06 ]

طور که مشخص است، به ازای ورودی ۲/۵V انتهای کلید به اندازه ۴۰۰nm جابجا می‌شود. یعنی زمانی کلید به اندازه ۴۰۰nm جابجا می‌شود که میان الکترودهای تحریک اصلی که به VCC متصل هستند و الکترودهای ورودی ۹/۵V اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد. بنابراین ولتاژ کاری کلید باید بیش از این مقدار انتخاب شود. در این جا ولتاژ کاری برای این روش ۱۲V در نظر گرفته شده است.




شکل ۶: نمودار جابجایی انتهای کلید با تغییر ولتاژ ورودی.

در شکل ۷ نمودار جابجایی کلید با تغییر حالت ورودی نشان داده شده است. ابتدا فرض شده است کلید در مکان اولیه خود قرار دارد. سپس به ورودی ولتاژ GND داده می‌شود. میان الکترودهای ورودی و الکترودهای تحریک اصلی اختلاف پتانسیل به وجود می‌آید که باعث چرخش ساعتگرد کلید می‌شود. این چرخش تا زمانی ادامه می‌یابد که انتهای کلید به اندازه ۴۰۰nm به سمت پایین حرکت کند تا به الکترود برخورد کند. مدت زمانی که طول می‌کشد تا کلید این مسافت را طی کند ۲/۵۵μs می‌باشد. در زمان ۵μs ولتاژ ورودی از GND به VCC تغییر می‌کند. با این تغییر اختلاف پتانسیلی بین الکترودهای ورودی و الکترودهای تحریک اصلی وجود نخواهد داشت. در این زمان کلید به مکان اولیه خود باز می‌گردد. الکترودهای کمکی نیز باعث افزایش سرعت بازگشت کلید می‌شوند. زیرا بین آن‌ها و الکترودهای ورودی اختلاف پتانسیل وجود دارد که باعث ایجاد نیروی الکترواستاتیک به سمت دیگر کلید می‌شود که باعث کاهش زمان برگشت کلید می‌شود. زمان بازگشت کلید به مکان اولیه خود ۲/۶μs می‌باشد. بیشینه زمان نزول و بازگشت کلید، یعنی ۲/۶μs را به عنوان زمان کلیدزنی برای روش پیشنهادی در نظر می‌گیریم.




شکل ۷: نمودار جابجایی کلید با تغییر حالت ورودی.

## نتایج

در این مقاله یک روش جدید برای طراحی مدارهای منطقی به صورت عبارات SOP با استفاده از فناوری MEMS به روش نوری پیشنهاد شده است. زمان کلیدزنی برای این روش ۲/۶μs می‌باشد. با استفاده از روش پیشنهادی، زمان کلیدزنی برای مدارهای پیچیده نیز برابر با ۲/۶μs خواهد بود. با استفاده از لایه عایق از برقراری جریان الکتریکی جلوگیری شده است که باعث عدم مصرف توان الکتریکی برای کلیدزنی شده است.

## مرجع‌ها

[1] N. Goel and A. Tripathi, "Temperature effects on threshold voltage and mobility for partially depleted SOI MOSFET," *International Journal of Computer Applications*, vol. 42, no. 21, pp. 56-58, 2012.

[2] I. Filanovsky and A. Allam, "Mutual compensation of mobility and threshold voltage temperature effects with applications in CMOS circuits," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 48, no. 7, pp. 876-884, 2001.

[3] D. Ryu, I. Myeong, J. K. Lee, M. Kang, J. Jeon, and H. Shin, "Investigation of Gate Sidewall Spacer Optimization From OFF-State Leakage Current Perspective in 3-nm Node Device," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 66, no. 6, pp. 2532-2537, 2019.

[4] T.-E. Chang, C. Huang, and T. Wang, "Mechanisms of interface trap-induced drain leakage current in off-state n-MOSFET's," *IEEE Transactions on electron devices*, vol. 42, no. 4, pp. 738-743, 1995.

[5] S. Chakraborty and T. K. Bhattacharyya, "Development of MEMS based universal gate for signal processing circuit in low frequency sensor applications," in *2010 IEEE Students Technology Symposium (TechSym)*, 2010, pp. 129-136: IEEE.

[6] S. Ilyas, A. Arevalo, E. Bayes, I. G. Foulds, and M. I. Younis, "Torsion based universal MEMS logic device," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 236, pp. 150-158, 2015.

[7] M. A. A. Hafiz, L. Kosuru, and M. I. Younis, "Microelectromechanical reprogrammable logic device," *Nature communications*, vol. 7, p. 11137, 2016.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06 ]