

مطالعه موردی تأثیر فشار هوا و دما بر سامانه الکترواپتومکانیک به منظور دورسازی بخش انتشار امواج سامانه‌های مخابراتی از فرستنده-گیرنده

محمد محسن اتابکی^۱، عباس بهجت^۲، محمد کاظم توسلی^۳ و مرضیه حسینی ندبکی^۴

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک اتمی مولکولی، دانشگاه یزد، mohammadmatin_ata@yahoo.com

^۲ استاد دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

^۳ استاد دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

^۴ پژوهشگر پسا دکتری فیزیک، دانشگاه یزد

چکیده

دورسازی انتشار امواج (آنتن) از فرستنده-گیرنده بدون آنکه اختلالی در عملکرد سامانه‌های مبتنی بر انتشار امواج ایجاد کند، یکی از نیازهای کلیدی برای بسیاری از بهره‌برداران از جمله سازمان‌های نظامی، درمانی و متولیان تبادل اطلاعات و ارتباطات می‌باشد. در کنار همه مطالعات انجام شده برای دست‌یابی به این مهم، بهره‌گیری از سامانه‌های الکترواپتومکانیک، با طراحی و تدابیر خاص می‌تواند یک راهبرد اساسی در این زمینه محسوب شود، اما بکارگیری آنها مستلزم آنست که در شرایط محیطی مختلف، بازدهی سامانه دچار اختلال نشود. دو عامل محیطی تأثیرگذار بر بازدهی، تأثیر تغییرات فشار هوا و دما است. در این مقاله تأثیر این دو عامل کلیدی، بصورت مطالعه موردی بر روی بازدهی یک سامانه الکترواپتومکانیک، مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفته و نشان داده می‌شود تأثیر تغییرات فشار هوا بر بازدهی سامانه مورد مطالعه، بسیار قابل توجه است و تأثیر تغییرات دما بستگی به نوع دی‌الکتریک خازن سامانه دارد که در طراحی و ساخت آنها می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه

تبدیل امواج رادیویی به نور، سامانه الکترواپتومکانیک، بازده، فشار هوا، دما.

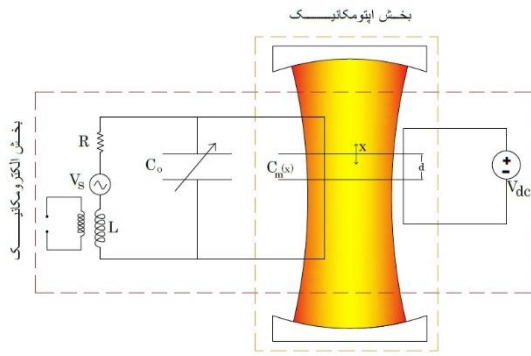
مقدمه

بوده و افزایش هزینه‌های آن قابل قبول باشد. بنابراین یافتن راهکاری که ضمن دارا بودن ویژگی‌های مذکور، فاصله بین آنتن و فرستنده-گیرنده را زیاد کند، گامی مهم و اساسی در این زمینه خواهد بود.

تبدیل امواج رادیویی به امواج نوری با بسامدهای بالاتر، این امکان را فراهم می‌سازد که از طریق فیبر نوری با تلفات بسیار کم قابل انتقال باشد [۳]. با در نظر گرفتن تدابیر و طراحی‌های خاص، سامانه‌های الکترواپتومکانیک می‌توانند بصورت همدوس و برگشت‌پذیر، سیگنال رادیویی دریافتی از آنتن را به امواج نوری تبدیل نموده و بدین ترتیب امکان انتقال سیگنال با فیبر نوری و بدنبال آن، امکان ایجاد فاصله به میزان دلخواه بین آنتن و فرستنده-گیرنده فراهم خواهد شد [۵،۴]. سامانه‌ی مبدل فوق، شامل دو نوسانگر الکترومغناطیسی (یکی در بسامد نوری و دیگری در بسامد رادیویی) و یک نوسانگر مکانیکی است. مبدل از یک غشاء مکانیکی بسیار انعطاف‌پذیر، بعنوان واسط بین نوسانگر نوری و مدار الکتریکی ابررسانا استفاده می‌کند. این غشاء با لایه نازکی از نیوبوم (که در دمای زیر ۹ درجه کلون، بعنوان ابررسانا محسوب می‌شود) پوشیده شده است و این بخش یکی از صفحات خازن در یک مدار

تمام سامانه‌هایی که از امواج رادیویی برای ارسال و دریافت اطلاعات استفاده می‌کنند شامل دو بخش کلی هستند: ۱- بخش فرستنده-گیرنده ۲- بخش انتشار امواج (آنتن). در تمام این دستگاه‌ها، ارتباط بین آنتن و فرستنده-گیرنده از طریق کابل مسی برقرار می‌شود. بدلیل استفاده از کابل مسی و اتلاف زیاد اطلاعات روی این کابل‌ها، حداکثر فاصله‌ی بین آنتن و فرستنده-گیرنده بسیار محدود و در بهترین شرایط کمتر از ۵۰۰ متر است [۲،۱].

از طرف دیگر، در این سامانه‌ها هر قدر که بتوان آنتن را با حفظ ارتفاع، از بخش فرستنده-گیرنده دور کرد، قابلیت‌های بسیار ارزنده‌ای برای بهره‌برداران فراهم خواهد شد. با این نگاه، اکثر طراحان و محققان، جهت افزایش فاصله بین آنتن و فرستنده-گیرنده، موضوع را با روش‌های مختلفی مورد بررسی، تحقیق و آزمایش قرار داده‌اند. روش‌های مورد بررسی هر کدام بنا به دلایلی، از جمله اتلاف داده‌ها و یا افزایش هزینه نسبت به وضع موجود، تاکنون نتوانسته‌اند نظر سازمان‌های بهره‌بردار را به خود جلب نمایند. ارائه هرگونه راهکاری برای حل این مساله می‌بایست ضمن حفظ کامل اطلاعات تبادل بین آنتن و فرستنده-گیرنده، در شرایط محیطی مختلف قابل بهره‌برداری



شکل ۱. سامانه الکترواپتومکانیک مورد بررسی.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است این سامانه از دو بخش الکتریکی و اپتومکانیکی تشکیل شده است. در این سامانه یک غشای بسیار نازک نیتريد سيليكان (SiN)، با یک فاکتور کیفیت بالا، $Q_m \approx 10^5$ ، به همراه یک الکتروود چهارگانه طلايي، یک خازن متغیر الکتريکی را تشکیل می‌دهد که به یک مدار بسامد کهموجی جفت شده است. با قرارگرفتن خازن متغیر درون یک کاواک اپتیکی و اعمال یک ولتاژ کمتر از ۱۰ ولت به مدار الکتريکی، جفت‌شدگی قوی بین نوسانات ولتاژ در مدار تشدید کهموجی و جابجایی غشاء القا می‌شود که بطور هم‌زمان این جابجایی غشاء به نور منعکس شده از سطح آن جفت شده است و به این ترتیب سیگنال‌های بسامد پایین کهموجی بصورت تغییر فاز نوری و با حساسیت کوانتومی آشکارسازی می‌شوند. ظرفیت خازن برابر $C_m(x)$ می‌باشد که به فاصله الکتروودهای غشایی، $d+x$ ، و ثابت دی‌الکتریک آن بستگی دارد. با در نظر گرفتن خازن تنظیم C_0 در مدار بسامد کهموجی، ظرفیت کل خازن چنین خواهد بود:

$$C(x) = C_0 + C_m(x) \quad (1)$$

با توجه به تشکیل سامانه از بخش‌های القایی-خازنی الکتريکی و نوسانگر هماهنگ مکانیکی، هامیلتونی کل سامانه به این صورت بیان می‌شود [۹، ۱۰]:

$$H = \frac{\phi^2}{2L} + \frac{p^2}{2m} + \frac{m\Omega_m^2 x^2}{2} + \frac{q^2}{2C(x)} - qV_{dc} \quad (2)$$

که در آن ϕ شار القاگر، q بار خازن در مدار الکتريکی، Ω_m بسامد نوسانات غشاء، L ضریب خودالقایی و ولتاژ تغذیه مدار الکتريکی است. همچنین متغیرهای x و p به ترتیب موقعیت و تکانه غشاء را با یک جرم مؤثر m نشان می‌دهند. در محاسبات نظری انجام شده برای تحلیل و بررسی روابط این سامانه، ظرفیت خازن متغیر بدین صورت در نظر گرفته می‌شود:

$$C_m(x) = \epsilon \epsilon_0 \frac{A}{d+x} \quad (3)$$

مغناطیسی خازنی است که به‌همراه مدار القایی، نوسانگر رادیویی را تشکیل می‌دهد. غشاء در یک قاب سیلیکونی معلق است و مدار سیگنال مغناطیسی به شکل لیتوگرافی بر روی یک بستر سیلیکونی جداگانه طراحی شده است. صفحه‌ی پوشش غشاء نیوبیوم به فاصله ۵۰۰ نانومتری از صفحه دیگر خازن قرار می‌گیرد. خازن با یک صفحه قابل ارتعاش مکانیکی، نوسانگر مکانیکی را تشکیل می‌دهد. با قرار گرفتن نوسانگر مکانیکی درون کاواک نوری، به‌طور هم‌زمان نوسانگر مکانیکی به هر دو مدار الکتريکی و کاواک نوری جفت می‌شود. این اتصال هم‌زمان باعث می‌گردد تا سیگنال رادیویی از طریق نوسانگر مکانیکی جریان و به عنوان امواج نوری ظاهر شود [۶-۸]. بنابراین بهره‌گیری از سامانه‌های الکترواپتومکانیک می‌تواند یک راهبرد اساسی برای دورسازی بخش انتشار امواج سامانه‌های مخابراتی باشد. اما بکارگیری این سامانه‌ها همانند سایر تجهیزات مستلزم آنست که بازده سامانه در اثر عوامل تأثیرگذار محیطی (دما، رطوبت و فشار)، دچار اختلال نشود. از طرف دیگر، خازن نوسانگر مکانیکی که نقش اساسی در تعیین بازده سامانه را دارد، تحت تأثیر شرایط محیطی، دچار تغییرات ظرفیت شده و بازده سامانه را تغییر خواهد داد. در این مقاله تأثیر تغییرات فشار هوا، دما و رطوبت، بعنوان سه عامل کلیدی در محیط، بصورت مطالعه موردی بر روی بازده یک سامانه الکترواپتومکانیک مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد.

سامانه الکترواپتومکانیک مورد مطالعه، کاری تحقیقی با استفاده از سامانه اپتومکانیکی بر اساس یک رویکرد غشاء نانویی، با یک فاکتور کیفیت بالا است که توسط پولزیک^۱ و همکاران انجام شده است [۹]. در ادامه‌ی مقاله، بطور خلاصه سامانه مورد مطالعه را مورد بررسی قرار داده و با استخراج روابط لازم، تأثیر تغییرات فشار هوا، دما و رطوبت بر روی بازدهی آن را با ارائه تجزیه و تحلیل عددی نتیجه‌گیری خواهیم کرد.

توصیف مدل و محاسبات نظری

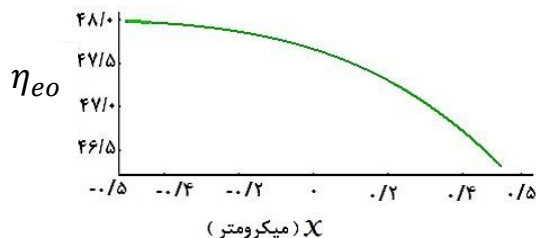
در سال ۲۰۱۴ پولزیک و همکاران، یک نمونه از سامانه‌های الکترواپتومکانیک که قادر به دریافت سیگنال‌های خفیف کهموجی و تبدیل آنها به سیگنال‌های نوری با بسامدهای بالا می‌باشد را ارائه کرده‌اند [۹]. این سامانه یکی از حساس‌ترین سامانه‌های الکترواپتومکانیک در تشخیص، دریافت و تبدیل سیگنال‌های بسامد پایین به بالا محسوب می‌شود (شکل ۱).

^۱Polzik

این رابطه اساس کار ما در این پژوهش است و بر حسب درصد بیان می‌شود.

بررسی تأثیر تغییرات فشار هوا بر بازده سامانه

فشار تابشی امواج نوری که بر غشاء وارد می‌شود باعث می‌گردد که غشاء به عنوان صفحه متغیر خازن از موقعیت تعادل خود به اندازه x جابجا شود. این جابجایی تغییر ظرفیت خازن و در نتیجه تغییر بازده سامانه را به دنبال دارد [۱۲، ۱۱]. بر اساس داده‌های سامانه مورد مطالعه، تغییرات بازده بر اثر تغییرات ظرفیت خازن، یا به عبارت دیگر بر حسب میزان جابجایی الکتروستاتیک متغیر (x) در شکل زیر رسم شده است، بازه تغییرات x کسری از d (فاصله صفحات خازن) می‌باشد، 5×10^{-7} متر $<x < 5 \times 10^{-9}$ متر.



شکل ۲. نمودار تغییرات بازده بر حسب میزان جابجایی الکتروستاتیک.

محاسبات بالا با این فرض است که خازن متغیر تحت تأثیر هیچ یک از عوامل دما، فشار و رطوبت نبوده و ظرفیت خازن متغیر بر اساس رابطه (۳) محاسبه شود، که تنها متغیر آن میزان جابجایی الکتروستاتیک یعنی x می‌باشد. اما در صورتی که خازن تحت تأثیر هر یک از عوامل دما، فشار و رطوبت باشد دیگر نمی‌توان ظرفیت آن را از رابطه (۳) محاسبه کرد [۱۳]. در رابطه (۳) ثابت دی‌الکتریک برای هوا برابر یک در نظر گرفته شده در صورتی که اگر هوا تحت تأثیر دما، فشار و یا رطوبت باشد ثابت دی‌الکتریک از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۴، ۱۳]:

$$K = 1 + \frac{\gamma}{T} \left(P + \frac{\gamma}{T} P_s H \right) \times 10^{-6} \quad (10)$$

که در آن K گذردهی هوای مرطوب، T دمای مطلق بر حسب درجه کلوین، P فشار هوای مرطوب بر حسب میلی متر جیوه، P_s فشاربخار هوای اشباع در دمای T بر حسب میلی متر جیوه و H رطوبت نسبی بر حسب درصد می‌باشد. بنابراین ظرفیت خازن، $C(x) = C_0 + C_m(x)$ ، مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$(11)$$

$$C(x) = 80 \times 10^{-12} + \left[1 + \frac{\gamma}{T} \left(P + \frac{\gamma}{T} P_s H \right) \times 10^{-6} \right] \times \epsilon_0 \frac{A}{d+x}$$

که A مساحت الکتروستاتیک خازن، d فاصله بین صفحات خازن و x میزان جابجایی غشاء است. در این رابطه دی‌الکتریک بین صفحات خازن، هوا در نظر گرفته شده و ثابت دی‌الکتریک آن یعنی ϵ برابر ۱ و ثابت گذردهی خلا، $\epsilon_0 = \frac{8.85 \times 10^{-12} \text{ فاراد}}{\text{متر}}$ لحاظ شده است. با استفاده از معادلات لانه‌ای و تعیین معادلات حرکت سامانه و بررسی میزان تغییرات انرژی خازن متغیر ($C(x)$) که در اثر میزان جابجایی غشاء ایجاد می‌شود، ضریب جفت‌شدگی سامانه‌های الکتروستاتیک و مکانیکی بصورت زیر محاسبه می‌شود [۹]:

$$G = \bar{q} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{C(x)} \right) \Big|_{x=\bar{x}} = -\bar{q} \frac{C'(x)}{C(x)^2} = (-V_{dc}) \left(\frac{C'(x)}{C(x)^2} \right) \quad (4)$$

که \bar{q} و \bar{x} ، به ترتیب بار خازن و موقعیت غشاء در نقطه تعادل را مشخص می‌کنند و G ضریب جفت‌شدگی است. براساس داده‌های مشخص شده برای سامانه مذکور [۹-۱۱] و با محاسبه نرخ تبادل انرژی بین سامانه‌های الکتروستاتیک و مکانیکی (g_{em}) و همچنین محاسبه ضریب تعامل‌پذیری الکترومکانیکی (C_{em})، بازدهی تبدیل سیگنال‌های کهموجی به اپتیکی (η_{eo}) از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$g_{em} = \frac{G}{\sqrt{\gamma_m L \Omega_m \Omega_{LC}}} \quad (5)$$

$$C_{em} = \frac{\gamma g_{em}}{\Gamma_m \Gamma_{LC}} \quad (6)$$

$$\eta_{eo} = \frac{\gamma \Lambda C_{em}}{1 + C_{em}} \quad (7)$$

که Ω_{LC} بسامد تشدید مدار الکتروستاتیک، Γ_{LC} نرخ تلفات مدار الکتروستاتیک و Γ_m نرخ تلفات سامانه مکانیکی است.

با استفاده از داده‌های سامانه الکترواپتومکانیک مورد مطالعه در مرجع [۹] و روابط (۴) و (۵)، به رابطه $g_{em} = \frac{G}{\sqrt{1500}}$ برای نرخ تبادل انرژی بین سامانه‌های الکتروستاتیک و مکانیکی می‌رسیم. همچنین با استفاده از رابطه (۶) و رابطه بدست آمده بالا برای g_{em} می‌توان رابطه $C_{em} = \frac{G}{133} \times 10^{-6}$ را برای ضریب تعامل-پذیری الکترومکانیکی بدست آورد.

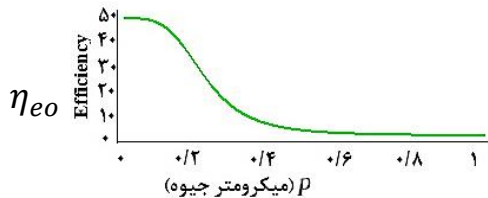
در ادامه، با استفاده از رابطه (۷) و رابطه بدست آمده بالا برای C_{em} ، بازده سامانه بر حسب ضریب جفت‌شدگی به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\eta_{eo} = \frac{\gamma \Lambda G^2}{133 \times 10^{-6} + G^2} \quad (8)$$

با جایگزینی رابطه (۴) در رابطه (۸)، در نهایت بازده سامانه بر حسب ظرفیت خازن متغیر به این صورت بدست می‌آید:

$$\eta_{eo} = \frac{\gamma \Lambda C'(x)^2}{276/6 \times 10^{-6} C(x)^2 + C'(x)^2} \quad (9)$$

تغییرات فشار هوا در خارج از کاواک سامانه الکتروپتومکانیک در گستره سانتی‌متر جیوه می‌باشد، برای آنکه احتمال خطا را کاهش دهیم میزان تأثیرگذاری فشار هوای بیرون کاواک بر فشار هوای بین صفحات خازن درون کاواک را در بازه بسیار پایین، یعنی بین 10^{-7} تا 10^{-9} میلی‌متر جیوه در نظر می‌گیریم. با این بازه تغییرات فشار هوا، نمودار تغییرات بازده سامانه الکتروپتومکانیک بر حسب فشار در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. نمودار تغییرات بازده سامانه الکتروپتومکانیک بر حسب تغییرات فشار هوای درون کاواک.

مشخص است که با افزایش فشار هوای درون کاواک، بازده سامانه کاهش شدیدی پیدا خواهد کرد. همانگونه که در نمودار مشاهده می‌شود و در محاسبات نیز بدست آمده است، برای آنکه سامانه بازده ۴۸٪ داشته باشد، فشار هوای مناسب ۰/۱۵ میکرومتر جیوه و یا کمتر از آن می‌باشد.

بررسی تأثیر تغییرات دما بر بازده سامانه

برای بررسی نمودن تأثیر تغییرات دما بر بازده سامانه، کافی است تأثیر تغییرات دما بر ظرفیت خازن را در رابطه (۱۱) لحاظ و مورد بررسی قرار دهیم. تأثیر تغییرات دما بر ظرفیت خازن، بعنوان ضریب دمایی ظرفیت خازن، TCC^۱، مطرح می‌شود که حاصل تأثیر تغییرات دما بر ثابت دی‌الکتریک خازن است. ضریب دمایی ظرفیت خازن با استفاده از معادله معروف کلوسیوس موسوتی^۲ محاسبه می‌شود که رابطه آن بصورت زیر است [۱۶]:

$$TCC = \frac{(\epsilon-1)(\epsilon+2)}{\epsilon}(-\alpha + B + C) + 0.05 \tan \delta + \alpha \quad (16)$$

که در آن ϵ ثابت دی‌الکتریک خازن، $\tan \delta$ فاکتور تلفات خازن، α ضریب انبساط خطی دی‌الکتریک خازن و

$$(17)$$

$$B = \frac{1}{\alpha_m} \left(\frac{\partial \alpha_m}{\partial V} \right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p, C = \frac{1}{\alpha_m} \left(\frac{\partial \alpha_m}{\partial T} \right)_V \tan \delta = \% / ^\circ K$$

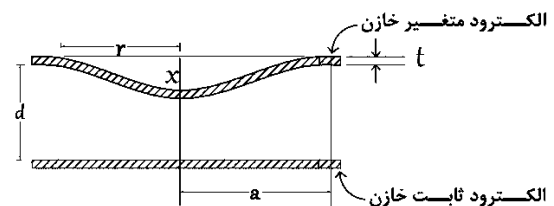
است و α_m قطبش‌پذیری یک کره کوچک از حجم V است.

بر اساس تحلیل صورت گرفته در مرجع [۱۶]، بسته به مقادیر ثابت دی‌الکتریک عایق‌های مختلف، ضریب دمایی ظرفیت خازن اندازه‌گیری و محاسبه شده است. هنگامی که ثابت دی-

از طرف دیگر، همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، در خازن متغیر هنگامی که صفحه انعطاف‌پذیر تحت فشار P قرار گیرد، میزان جابجایی صفحه، x ، باتوجه به جنس و ضخامت آن از طریق رابطه زیر با فشار مرتبط است [۱۵]:

$$x = \frac{3(1-\nu^2)(a^2 - r^2)P}{16Et^3} \quad (12)$$

که در آن x میزان جابجایی صفحه متغیر، a نصف اندازه ضلع صفحه متغیر و عرض میله نگهدارنده الکترو، t ضخامت صفحه متغیر، E مدول یانگ صفحه متغیر، ν نسبت پواسون صفحه متغیر، P فشار بین صفحات خازن متغیر و r نصف اندازه ضلع صفحه متغیر است.



شکل ۳. رابطه بین میزان جابجایی صفحه انعطاف‌پذیر خازن متغیر و فشار وارده به آن صفحه.

بر اساس اطلاعات داده شده در سامانه الکتروپتومکانیک مورد مطالعه و جایگذاری آنها در رابطه (۱۲) خواهیم داشت: $P = 0.23x$ و با جایگذاری این نتایج در رابطه (۱۱)، به رابطه زیر

$$(13)$$

$$C(x) = 80 \times 10^{-12} \left[1 + \frac{111}{T} \left(0.23x + \frac{r^2 P_0}{T} \times H \right) \times 10^{-6} \right] \times \epsilon_0 \frac{A}{d+x}$$

می‌رسیم. همچنین با جایگذاری آنها در رابطه (۱۳)، ظرفیت خازن بر حسب فشار بین صفحات، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$(14)$$

$$C(P) = 80 \times 10^{-12} \left[1 + \frac{111}{T} \left(P + \frac{r^2 P_0}{T} \times H \right) \times 10^{-6} \right] \times \epsilon_0 \frac{A}{d+37P}$$

مشابه رابطه (۹) می‌توان بازده سامانه را در اثر تغییرات میزان جابجایی صفحه انعطاف‌پذیر، x ، و بر اساس تغییرات فشار بین صفحات خازن متغیر به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\eta_{eo} = \frac{r^2 C'(P)^2}{276/r \times 10^{-2} C(P)^2 + C'(P)^2} \quad (\text{بر حسب درصد}) \quad (15)$$

که در آن $C'(P)$ مشتق $C(P)$ نسبت به فشار بین صفحات خازن است.

در ادامه برای محاسبه $C(P)$ ، مقادیر دما و رطوبت را مطابق شرایط درون سامانه برابر با $T = 300\text{K}$ و $H = 3\%$ در نظر می‌گیریم. بازه تغییرات فشار هوا نیز بستگی به مکان‌های مختلفی (نقاط هم سطح دریا تا ارتفاعات کوه‌ها) دارد که ممکن است سامانه در آن مکان‌ها قرار گیرد. بنابراین با توجه به اینکه

^۱ Temperature Coefficient of Capacitance

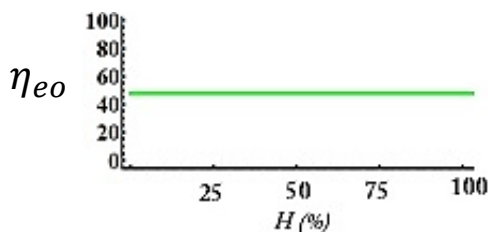
^۲ Clausius-Mosotti

خازن سامانه بسیار ناچیزتر از تاثیر آن بر ثابت دی الکتریک می باشد.

جدول ۱. تاثیر تغییر رطوبت بر ثابت دی الکتریک و ظرفیت خازن سامانه الکترواپتومکانیک.

رطوبت نسبی (%)	ثابت دی الکتریک	ظرفیت خازن (PF)
0	1	80.495
10	1.000035	80.495017
20	1.000070	80.495034
30	1.000105	80.495051
40	1.000140	80.495068
50	1.000175	80.495085
60	1.000210	80.495102
70	1.000245	80.495119
80	1.000280	80.495136
90	1.000315	80.495153
100	1.000350	80.495170

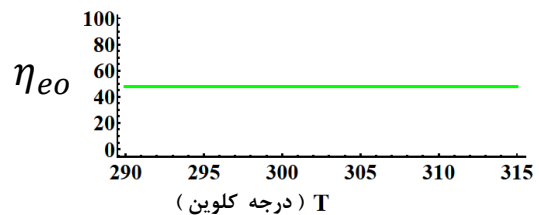
با محاسبه $C'(x)$ و قراردادن مقادیر $C(x)$ و $C'(x)$ در رابطه (۱۵)، تاثیر تغییر رطوبت بر بازده سامانه الکترواپتومکانیک مورد مطالعه مطابق نمودار شکل ۶ بدست آمده است. از این نمودار مشاهده می شود که تغییر رطوبت تاثیری در بازده سامانه ندارد، اما میزان تاثیر تغییر رطوبت بر روی بازدهی سامانه بستگی به نوع دی الکتریک خازن دارد.



شکل ۶. نمودار تغییرات بازده سامانه الکترواپتومکانیک بر حسب رطوبت.

در مجموع، همان گونه که در شکل ۲ مشخص است، اگر صرفاً تغییرات جابجایی صفحه متغیر خازن، بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی را مد نظر قرار دهیم، مشاهده می کنیم که بازده سامانه بر اثر این تغییرات بسیار اندک است. اما اگر تاثیر تغییرات فشار هوا بر دی الکتریک خازن سامانه مد نظر قرار گیرد، مطابق شکل ۴ تغییرات فشار بر میزان جابجایی صفحه متغیر خازن تاثیر گذاشته و در نتیجه بازده سامانه را بطور قابل توجهی تغییر می دهد. این نتیجه، دو نکته اساسی را در ساخت سامانه های الکترواپتومکانیک بیان می کند: اولاً اینکه فشار هوای داخل کاواک سامانه باید در محدوده ای انتخاب شود که بازده سامانه را دچار افت نکند و ثانیاً اگر برای سامانه، نشستی در نظر

الکتریک خازن خلا باشد ضریب دمایی ظرفیت خازن برابر صفر بدست آمده است، بعبارت دیگر $TGC = 0$. این نتیجه به معنی آن است که اگر ثابت دی الکتریک خازن خلا باشد تغییرات دما تاثیری بر ظرفیت خازن ندارد. اکنون جهت تطبیق این نتیجه با نتیجه ای که از روابط (۹) و (۱۱) در اثر تاثیر تغییرات دما بر بازده سامانه الکترواپتومکانیک مورد مطالعه وارد می شود، نمودار بازده بر حسب دما در ادامه رسم شده است:



شکل ۵. نمودار تغییرات بازده سامانه الکترواپتومکانیک بر حسب دما.

همان گونه که از نمودار مشاهده می شود تغییرات دما تاثیری بر بازده سامانه ندارد و این نتیجه، درستی روابط (۹) و (۱۱) را مورد تایید قرار می دهد. نکته دیگری که از بررسی تاثیر تغییرات دما بر ظرفیت خازن باید به آن توجه کرد آن است که اگر دی الکتریک خازن سامانه مواد دیگری غیر از خلا باشد باید حتماً بر اساس ثابت دی الکتریک آن ماده ضریب دمایی ظرفیت خازن محاسبه و با توجه به آن بازده سامانه اندازه گیری شود.

بررسی تاثیر تغییرات رطوبت بر بازده سامانه

همانند بررسی تاثیر تغییر دما، برای بررسی تاثیر رطوبت بر بازده سامانه، کافی است تاثیر تغییر رطوبت نسبی بر ظرفیت خازن را در رابطه (۱۱) لحاظ و مورد بررسی قرار دهیم. در این مورد نیز، تاثیر تغییر رطوبت بر ظرفیت خازن، حاصل تاثیر تغییر رطوبت نسبی بر ثابت دی الکتریک خازن است. بنابراین، شرایط خازن را در حالت تعادل فرض نموده و با ثابت گرفتن مقادیر x ، P و T ، تاثیر تغییر رطوبت نسبی (H) بر ظرفیت خازن را ارزیابی و محاسبه می کنیم. در شرایط تعادل 300 K ، $T = 10^{-6} \text{ m}$ و $P = 10^{-7} \text{ mmHg}$ فرض می شوند. با این اطلاعات و جایگذاری سایر داده ها (مطابق آنچه که در سامانه مورد مطالعه داده شده است) در رابطه (۱۱)، تغییرات رطوبت نسبی که در بازه صفر تا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده، مطابق جدول ۱ بر روی ظرفیت خازن سامانه تاثیر خواهد داشت. از این جدول مشاهده می شود تاثیر تغییر رطوبت بر ثابت دی الکتریک بسیار ناچیز است. با لحاظ نمودن مقادیر بدست آمده برای ثابت دی الکتریک و محاسبه ظرفیت خازن بر اساس رابطه (۱۱)، مشاهده می گردد که تاثیر تغییرات رطوبت بر ظرفیت

مراجع

- [۱] منابع سازمانی وزارت دفاع
- [2] <https://books.google.com/>
- [3] Joas, T. et al. Quantum sensing of weak radio-frequency signals by pulsed Mollow absorption spectroscopy. *Nat. Commun.* (2017), vol. 8, pp. 964.
- [4] Andrews, R. W. et al. Bidirectional and efficient conversion between microwave and optical light. *Nat. Phys.* (2014), vol. 10, pp. 321–326.
- [5] Thompson, J. D. et al. Strong dispersive coupling of a high finesse cavity to a micromechanical membrane. *Nature* (2008), vol. 452, pp. 72–75.
- [6] Law, C. K. Interaction between a moving mirror and radiation pressure: A Hamiltonian formulation. *Phys. Rev. A* (1995), vol. 51, pp. 2537–2541.
- [7] Bochmann, J. et al. Nanomechanical coupling between microwave and optical photons. *Nat. Phys.* (2013), vol. 9, pp. 712–716.
- [8] Gröoblacher, S., Hammerer, K., Vanner, M. R. & Aspelmeyer, M. Observation of strong coupling between a micromechanical resonator and an optical cavity field. *Nature* (2009), vol. 460, pp. 724–727.
- [9] Bagci, T. et al. Optical detection of radio waves through a nanomechanical transducer. *Nature* (2014), vol. 507, pp. 81–85.
- [10] Taylor, J. M. et al. Laser cooling and optical detection of excitations in a LC electrical circuit. *Phys. Rev. Lett.* (2011), vol. 107, pp. 273601.
- [11] Kippenberg, T. J. and Vahala, K. J. Cavity optomechanics: back-action at the mesoscale. *Science* (2008), vol. 321, pp. 1172–1176.
- [12] Emil, Z. et al. Electrooptomechanical Equivalent Circuits for Quantum Transduction. *Phys. Rev. Appl.* (2018), vol. 10, pp. 044036.
- [13] Ford, L. H. The Effect of Humidity on the Calibration of Precision Air Capacitors. *J. Inst. Elec. Eng.* (1948), vol. 11, 95, pp. 709–712.
- [14] Zarnik, M.S., Belavic, D. An experimental and numerical study of the humidity effect on the stability of a capacitive ceramic pressure sensor. *Radioengineering* (2012), vol. 21(1), pp. 201–206.
- [15] Stephen A. Dyer. *Survey of Instrumentation and Measurement*. Wiley, (2001), pp. 358 – 372.
- [16] Cockbain, A. G. and Harrop, P. J. The temperature coefficient of capacitance. *J. Phys. D: Appl. Phys.* (1968), vol. 1, pp. 1109–1115.

گرفته شود بازده ثابت نبوده و تأثیر تغییرات فشار هوا بر بازده سامانه بایستی مطابق رابطه (۱۵) محاسبه گردد. تأثیرات تغییرات دما و رطوبت بر بازده سامانه نیز بستگی به نوع دی‌الکتریک بکار گرفته شده برای خازن سامانه دارد. اگر دی‌الکتریک خازن سامانه مواد دیگری غیر از خلا باشد باید حتماً بر اساس ثابت دی‌الکتریک آن ماده ظرفیت خازن محاسبه و با توجه به آن، بازده سامانه اندازه‌گیری شود. بنابراین با در نظر گرفتن تأثیر شرایط محیطی روی بازدهی سامانه‌های الکتروپتومکانیک می‌توان با بکارگیری این سامانه‌ها بعنوان مبدل امواج رادیویی به نور، فیبر نوری را جایگزین کابل مسی بین آنتن و فرستنده-گیرنده نمود و به این طریق دورسازی انتشار امواج از بخش فرستنده-گیرنده را با شرایط مورد قبول بهره‌برداران محقق ساخت.

خلاصه و نتیجه‌گیری

قابلیت‌های بسیار خوب و مطلوب سامانه‌های الکتروپتومکانیک زمینه بکارگیری آنها در فناوری‌های مختلف و بویژه در کاربردهای خاص را فراهم آورده است. این بهره‌برداری مستلزم آن است که این سامانه‌ها بازده خوبی را در شرایط محیطی و جغرافیایی مختلف داشته باشند. در این تحقیق، بر اساس محاسبات نظری نشان داده شده است که از عوامل محیطی تنها فشار تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی بازده آنها دارد. بصورت شاخص با تغییر فشار در حدود 10^{-3} تا 10^{-7} میلی‌متر جیوه (در کاواک سامانه) بازده سامانه مورد تحقیق دچار تغییرات شدیدی می‌شود. از بررسی تأثیر تغییرات فشار، دو نتیجه برجسته بدست آمده است، اول اینکه نباید فشار هوای درون کاواک بیشتر از $0/15$ میکرومتر جیوه انتخاب شود چرا که اگر بیشتر باشد قطعاً بازده سامانه کاهش می‌یابد. دوم آنکه ساختار سامانه باید بگونه‌ای باشد که هیچگونه نشتی نداشته باشد، نشتی به هر میزان که باشد باعث تغییر فشار هوای بین صفحات خازن درون کاواک شده و بازدهی سامانه را کاهش خواهد داد. نتیجه شاخص از بررسی تغییرات دما و رطوبت نیز این است که ظرفیت خازن و بازدهی سامانه، به نوع دی-الکتریک انتخابی برای آن خازن بستگی دارند. بر اساس این نتایج، بکارگیری سامانه‌های الکتروپتومکانیک می‌تواند با تبدیل امواج رادیویی به نور و انتقال آنها روی فیبر نوری، ایده بسیار با ارزش جایگزینی فیبر نوری بجای کابل مسی را محقق نماید، به شرط آنکه بتوان از آنها در نقاط گوناگون جغرافیایی با مقادیر مختلف فشار هوا، دما و رطوبت استفاده نمود. این بهره‌برداری که باید با تدبیر و طراحی‌های خاص صورت پذیرد، با محقق بودن شرط مذکور، راهبردی اساسی برای دورسازی انتشار امواج از بخش فرستنده-گیرنده است.