

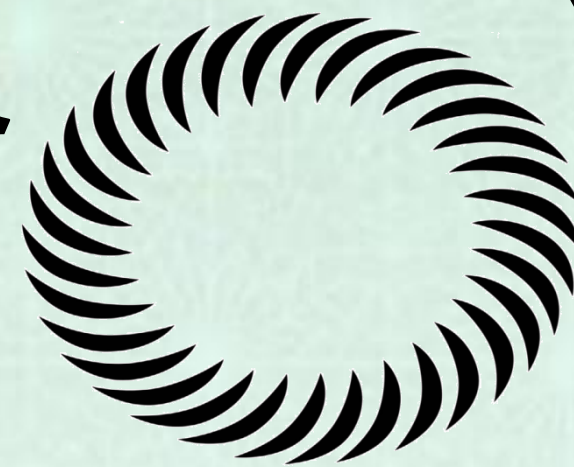


نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر ۱۴۰۴

حسگر مایکروویو مبتنی بر ساختار موجبر دایره‌ای با زیرلایه یکپارچه برای شناسایی غلظت قندخون

محسن یارمحمدی

گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی همدان
M.yarmohamadi@stu.hut.ac.ir



هفته ملی پژوهش و فناوری

چکیده

در این پژوهش روشی برای تشخیص سطح قندخون مبتنی بر تغییر فرکانس تشدید پارامتر پراکندگی، با استفاده از حسگر ریزموج مبتنی بر ساختار موجبر دایره‌ای با زیرلایه یکپارچه CSIW ارائه شده است. پارامترهای پراکندگی نمونه‌های خون با غلظت‌های مختلف قند در بازه فرکانسی ۵GHz-۱۰ و فرکانس مرکزی ۹GHz بررسی شده‌اند. عملکرد حسگر بر تغییرات گذردهی الکتریکی خون متناسب با سطح قند است که از مدل پاشندگی دیبای استخراج می‌شود. چالش اصلی در طراحی حسگر، دستیابی به حساسیت بالا نسبت به حجم بسیار کم نمونه و ایجاد تغییرات قابل‌تمایز در فرکانس تشدید برای غلظت‌های مختلف قندخون است. حجم نمونه موردنیاز تنها ۳۰μL بوده که در محدوده ریزسیالاتی قرار داشته و کمتر از یک قطره خون استاندارد است. نتایج شبیه‌سازی برای غلظت‌های ۵۰-۵۰۰mg/dL، جابه‌جایی فرکانس تشدید قابل‌ملاحظه‌ای در حدود ۱۰۰MHz را نشان می‌دهد که بیانگر توان تفکیک بالا و پایداری مناسب حسگر است. دقت اندازه‌گیری ۹۹.۱۲٪ با میانگین خطای کمتر از ۴/۰ (mg/dL) ± بوده و عملکرد آن را نسبت به حسگرهای مشابه بهبود می‌بخشد. ضریب کیفیت بی‌باری نیز بیش از ۴۵۰ به‌دست آمده که تضمین‌کننده دقت اندازه‌گیری است. حساسیت بالا، طراحی ساده، زمان پاسخ کوتاه و مقرون‌به‌صرفه بودن از ویژگی‌های برجسته این حسگر محسوب می‌شود.

واژه های کلیدی : حسگر، قندخون، فرکانس تشدید، موجبر دایره‌ای با زیرلایه یکپارچه، مدل دیبای

مقدمه

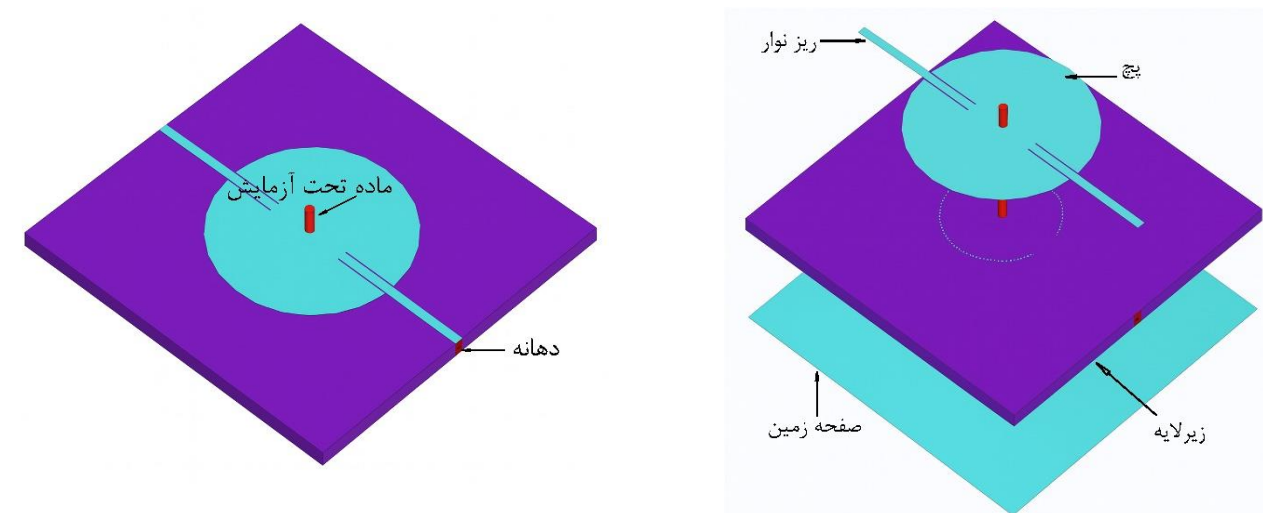
دیابت یکی از بیماری‌های مزمن و شایع در جهان است که مدیریت مؤثر آن نیازمند پایش مداوم سطح قندخون می‌باشد [۱]. باتوجه به پیشرفت فناوری موجبر مجتمع با زیرلایه SIW در دهه گذشته، اکنون می‌توان با طراحی حسگرهای CSIW سطح عملکرد آنها را نسبت به قبل که برای ساختارهای موجبر معمولی بود را افزایش داد، اما پیچیدگی در طراحی به طور قابل‌توجهی این حسگرها را محدود می‌سازد که منجر به طراحی و ساخت حسگرهای موجبر تشدید صفحه‌ای می‌شود که ساخت آنها آسان‌تر است. در این مقاله یک حسگر CSIW با طراحی ساده، مقرون‌به‌صرفه و بادقت عملکرد بالا پیشنهاد شده که این حسگر کلاس نسبتاً جدیدی از حسگرهای SIW می‌باشد. همچنین حجم نمونه در حد ۳۰μL است که از یک قطره خون کمتر است و با ضریب کیفیت بالای ۴۵۰، خطای اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد.

اهداف و روش پژوهش

حسگر CSIW پیشنهادی در فرکانس ۹GHz کار می‌کند و در پهنای باند فرکانسی ۱۰GHz-۵ اندازه‌گیری را انجام می‌دهد. ساختار طراحی‌شده مبتنی بر مفهوم موجبر مجتمع مدور (CSIW) است که با استفاده از آرایش حلقوی وایا‌های زمین شده، یک حفره تشدیدگر با رفتار مشابه موجبرهای فلزی ایجاد می‌کند. برای تعریف غلظت قندخون در حسگرهای ریزموج، از مدل‌های پاشندگی مواد استفاده می‌شود که بر اساس تعامل بین امواج الکترومغناطیس (EM) و نمونه محلول قندخون مدل می‌شود. یک مدل دیبای ضریب دی‌الکتریک بر حسب فرکانس برای غلظت‌های مختلف که بیانگر ماده تحت آزمایش است [۲]. انتشار موج الکترومغناطیس توسط دو دهانه موجبر حسگر را تحریک می‌کند. در مرکز این حسگر یک حفره برای جای‌گیری نمونه ایجاد شده است که نمونه درون یک لوله موئین شیشه‌ای قرار می‌گیرد. حجم نمونه حدود ۳۰μL بوده که از یک قطره خون (۴۰μL) نیز کمتر است.

یافته‌های پژوهش

فرکانس تشدید شبیه‌سازی شده، تلفات و ضریب کیفیت حسگر پیشنهادی در شرایط بدون بار به ترتیب ۹/۵GHz، ۴۴dB- و ۴۵۷ به‌دست آمده است. پس از قراردادن نمونه‌های محلول قندخون با غلظت‌های مختلف ۵۰-۵۰۰mg/dL در ناحیه حساس حسگر، پاسخ S_{11} و S_{21} به‌صورت عددی در نرم‌افزار HFSS شبیه‌سازی می‌شود. با افزایش غلظت قندخون، ضریب دی‌الکتریک قندخون کاهش می‌یابد و در نتیجه فرکانس تشدید به سمت پایین‌تر انتقال می‌یابد. این جابه‌جایی به‌صورت تقریباً خطی بین غلظت ۵۰-۵۰۰mg/dL مشاهده می‌شود که مقدار جابه‌جایی حدود ۱۰۰MHz را نشان می‌دهد. در شکل ۱، با افزایش غلظت قندخون، مشاهده می‌شود که فرکانس تشدید به سمت فرکانس‌های پایین‌تر جابه‌جا می‌شود. یکی از مهم‌ترین نقاط قوت حسگر پیشنهادی، بازه نسبتاً زیاد ۱۰۰MHz فرکانس تشدید نسبت به تغییرات قندخون در بازه ۵۰-۵۰۰mg/dL است که منجر به دقت بالای محاسبه قندخون شده است. علاوه بر جابه‌جایی فرکانس تشدید در پارامترهای S_{11} و S_{21} با افزایش غلظت عمق نمودار از حدود ۳۰dB- برای غلظت ۵۰mg/dL به ۳۵dB- برای غلظت ۵۰۰mg/dL افزایش می‌یابد. این پدیده حاکی از افزایش ترویج میدان با محیط نمونه و کاهش امپدانس تطبیق‌یافته بین حسگر و بار خارجی است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که میانگین خطای قندخون در این حسگر کمتر از ۴/۰ ±٪ و دقت اندازه‌گیری آن ۹۹/۱۲٪ برای حجم نمونه تحت آزمایش است.



شکل ۱. ساختار حسگر پیشنهادی

راهبردهای پیشنهادی

در حسگر پیشنهادی، فرکانس‌های تشدید محفظه دایروی وابسته به مد برانگیخته‌شده هستند و صرفاً دایروی بودن هندسه تعیین‌کننده موقعیت بیشینه میدان نیست [۳]. می‌توان با افزایش باند فرکانسی از مدهای بعدی حسگر برای تشخیص قندخون استفاده کرد. همچنین می‌توان با تغییرات کوچک در هندسه حسگر—مثل بازطراحی شکاف‌ها و نحوه چیدمان وایاها—به حساسیت بالاتری دست پیدا کرد. کاهش بیشتر حجم نمونه، به‌خصوص برای کاربردهای ریزسیالاتی، می‌تواند حسگر را برای شرایط واقعی و بالینی مناسب‌تر کند. از آنجایی که دما و رطوبت روی پاسخ حسگر تأثیر می‌گذارند، استفاده از روش‌های جبران‌سازی محیطی می‌تواند پایداری بیشتری ایجاد کند. به‌کارگیری فرامواد دیگری در ساختار زیرلایه حسگر، می‌تواند عملکرد حسگر را بهبود بخشد. ترکیب این حسگر با الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند به یک سامانه هوشمند پایش قندخون تبدیل شود که بتواند به‌صورت لحظه‌ای تغییرات را تحلیل کند.

منابع

- [1] C. Todd, P. Salvetti, K. Naylor, and M. Albatat, "Towards non-invasive extraction and determination of blood glucose levels," Bioeng., vol. 4, no. 4, pp. 82-92, Sep. 2017.
- [2] V. Turgul and I. Kale, "On the accuracy of complex permittivity model of glucose/water solutions for non-invasive microwave blood glucose sensing," in Proc. E-Health Bioeng. Conf. (EHB), 2015, pp. 1-4
- [3] R. E. Collin, Foundations for Microwave Engineering, 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley, 2001.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما: دکتر میثم شفاعی

تایید تحصیلات تکمیلی:

تایید امور پژوهشی: