بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

ارائه راهکار مناسب جهت جبران‌سازی گرمایی حسگر نوری ولتاژ بر پایه کریستال لیتیوم نایوبیت

حسام امیری[۱]، ندا یاوری[۱]، محمد اسماعیل زیبائی[۲]، بابک امینی[۱]

[۱]پژوهشگاه نیرو، گروه ابزار دقیق- شهرک غرب، انتهای دادمان، تهران

[۲]پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی- اوین، بلوار دانشجو، تهران

چکیده –در این مقاله روشی کارآمد به منظور پایداری گرمایی حسگر نوری ولتاژ معرفی شده است. در این روش از کریستال لیتیوم نایوبیت در حالت برش x و راستای انتشار z با دو خروجی متعامد استفاده شده است. با بهره گیری از اطلاعات دو سیگنال خروجی حسگر و پیاده سازی الگوریتم محاسباتی جبران سازی، اثر دما و شدت لیزر حذف شده و پارامتر شدت میدان الکتریکی با دقت بالا و خطای میانگین ۱/۳ درصد اندازه گیری شده است. این روش در راستای حل چالش گرمایی در دستگاه ترانسفورماتور نوری اندازه‌گیری ولتاژ و جریان به روش پیزو-اپتیک که در پژوهشگاه نیرو طراحی و ساخته شده است، با موفقیت پیاده سازی شد که پس از گذراندن موفقیت‌آمیز آزمون‌های صنعتی و اطمینان از قابلیت بهره‌گیری آن در سیستم‌های اندازه‌گیری خطوط فشار قوی توزیع، هم اکنون در حال بهره‌برداری می‌باشد.

کلید واژه- اثر پاکلز، ترانسفورماتور نوری، جبران‌سازی گرمایی، حسگر ولتاژ، لیتیوم نایوبیت.

Provide an appropriate temperature compensation solution for optical voltage sensors based on LiNbO3 crystal

H. Amiri[1], N. Yavari[1], M. I. Zibaii[2], B. Amini[1]
[1] Instrumentation Department, Niroo Research Institute, Dadman St, Tehran, Iran
[2] Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, an efficient method is proposed for the temperature compensation of optical voltage sensors. In this method, the x-cut LiNbO3 bulk crystal with optical path parallel to z-axis with two orthogonal output signals is used. By using the two output signals and the compensation algorithm, the effect of the temperature and laser intensity was eliminated, and the electric field intensity parameter was measured with high accuracy and the mean error reduced by %1.3. This method has been successfully implemented in order to solve the temperature challenge in optical transformer, designed and constructed by the Niroo Research Institute (NRI), were successfully implemented after passing the industrial tests and ensuring their reliability.

Keywords: Lithium niobate crystal, Pockels effect, Temperature compensation, Voltage Sensor.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

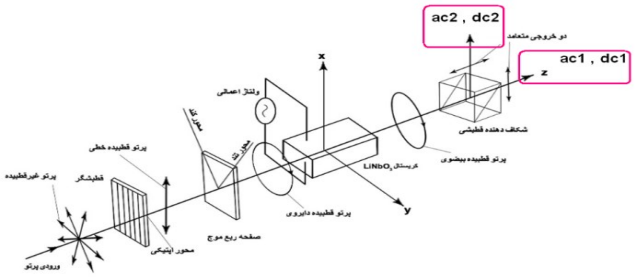
۱-مقدمه

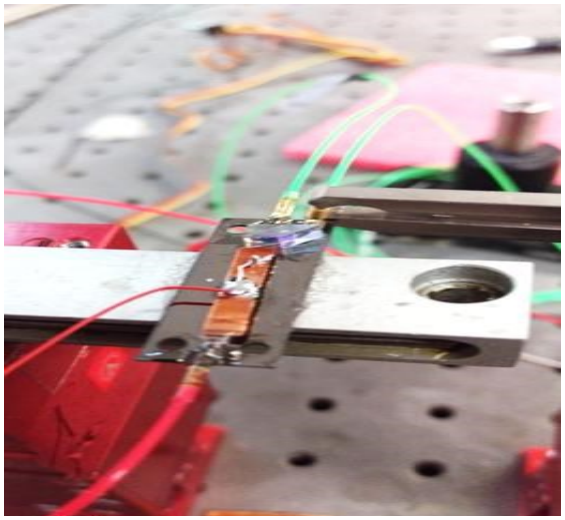
ویژگی مصونیت از امواج الکترومغناطیسی فیبرهای نوری و حسگرهای نوری، خاصیتی جذاب در حوزه اندازه‌گیری ولتاژ و جریان‌های فشار قوی در صنعت برق است. علاوه بر این مزیت، وابستگی زیاد حسگر به پارامترهای محیطی مانند دما و شدت لیزر، همواره از چالش‌های مطرح در این گونه سیستم‌ها بوده است. حسگر ولتاژ طراحی شده در این مقاله، بر اساس اثر پاکلز عمل می‌کند[۱]. این روش در پروژه اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ترکیبی(OVCT) برای پست‌های انتقال فوق توزیع ۱۳۲ کیلوولت ساخته شده در پژوهشگاه نیرو، به‌طور کامل پیاده‌سازی شد[۳] و آزمون‌های عملکردی و صنعتی آن با موفقیت به انجام رسید.

۲- طراحی و ساخت حسگرنوری

شماتیک چیدمان آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. نور ورودی قطبیده خطی با طول موج ۱۳۱۰ نانومتر وارد صفحه ربع موج با زاویه ۴۵ درجه برای ایجاد دوشکستی پاکلز می‌شود. صفحه ربع موج، خروجی را به نحوه‌ای بایاس می‌کند که پاسخ در قسمت خطی تابع مربع سینوس قرار گیرد. سپس نور وارد کریستال LiNbO3 در حالت برش x و راستای انتشار z در ابعاد ۱×۲×۱۰mm می‌شود. این حالت از برش منجر به حذف تغییرات دمایی زیاد ضریب شکست غیرعادی می شود. تغییرات ضریب شکست عادی منجر به تغییر فاز خواهد شد که می تواند برای اندازه گیری تغییرات شدت میدان الکتریکی استفاده شود[۲].

برای حسگر دو خروجی، چهار پارامتر داده ac1، ac2، dc1 و dc2 برای دو خروجی در راستای مستقیم و عمود وجود خواهد داشت. این امر باعث حذف اثر تغییرات شدت لیزر در خروجی حسگر می شود.





شکل ۱: ساختار حسگرنوری ولتاژ دو خروجی برپایه نگه‌دارنده سیلیکون

۳-نتایج تجربی

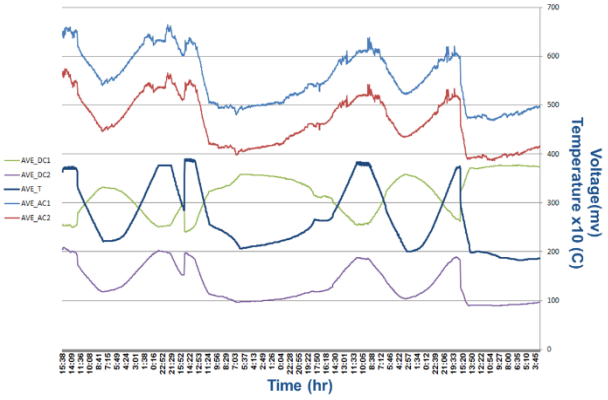
۳-۱-اندازه گیری تغییرات دمایی

سیگنال ac پس از انجام تقویت و فیلتر، مقدار موثر آن (rms) توسط پردازنده محاسبه می شود. همچنین برای مقدار dc حسگر، سطح افست آن حذف و بخش متغیرِ وابسته به دمای آن تقویت شده است تا در محدوده دمای کاری و ولتاژ مناسب پردازنده که ۰ تا ۳ ولت است قرار گیرد. بنابراین پس از این هرگاه مقدار ac عنوان گردید، منظور مقدار rms آن است. ثبت طولانی مدت داده‌ها شامل پارامترهای حسگر و مقادیر ولتاژ مرجع و دما همراه تاریخ و ساعت، به روشی انحصاری و تحلیلی انجام شد[۴]. شکل ۲ مقادیر ثبت شده از ۴ پارامتر خروجی حسگر را در شرایط ولتاژ ورودی ثابت و به ازای تغییرات دمایی ۲۵ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد در مدت ۳/۵ روز و برحسب زمان نشان می‌دهد.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

همان‌گونه که درشکل ۲ مشاهده می‌شود هر دو مقدار خروجی ac حسگر، رابطه مستقیم با دما دارد درحالی‌که مقادیر dc به دلیل ساختار حسگر برخلاف یکدیگر تغییر می‌کنند و با افزایش دما یکی افزایش یافته و دیگری کم می‌شود.



شکل ۲: تغییرات مقادیر ac1، ac2 ، dc1 ، dc2 نسبت به تغییرات دما در ولتاژ ثابت

۳-۲- پیاده سازی الگوریتم جبران سازی دما

با بررسی خواص فیزیکی حسگر و بهره‌گیری از داده‌های به دست آمده، رابطه‌ای تقریبا خطی بین نسبت ac به dc هر دو خروجی با تغییرات دما برقرار است که با رابطه (۱) مشخص می شود:

$$\left[\alpha\left(\frac{ac_1}{dc_1}\right)+\beta\left(\frac{ac_2}{dc_2}\right)\right]K+c=voltage \quad (۱)$$

که در این رابطه مقادیر α و β ضریبی متناسب با ۴ پارامتر خروجی حسگر همراه با تغییرات دما می‌باشد:

$$\alpha,\beta\,(ac_1,ac_2,dc_1,dc_2,\Delta T_{1)}=Constant \quad (۲)$$

جبران‌سازی تغییرات دمایی از نسبت ولتاژ R_{comp}، که از رابطه (۳) محاسبه شده است، امکان‌پذیر است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود برازش خطی در بازه دمایی ۲۰ تا ۳۰ درجه با ضریب R^2 برابر ۰/۹۶ خطی شده است[۵]:

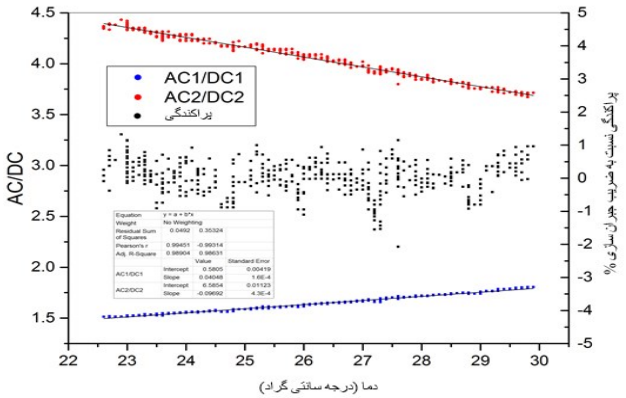
$$R_{comp}=\frac{a_{90^\circ}R_{0^\circ}-a_{0^\circ}R_{90^\circ}}{b_{0^\circ}a_{90^\circ}+b_{90^\circ}a_{0^\circ}} \quad (۳)0$$

به طوری که R_{0° و R_{90° به ترتیب نرمال شده ولتاژ (نسبت ac/dc) خروجی مستقیم و عمود، a و b شیب و عرض از مبدا نرمال دو ولتاژ می‌باشند. با مقایسه روابط (۱) و (۳) ضرایب α و β با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شوند.

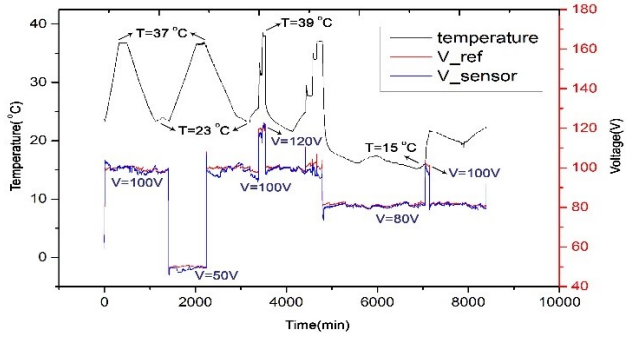
$$\alpha=\frac{a_{90^\circ}}{b_{0^\circ}a_{90^\circ}+b_{90^\circ}a_{0^\circ}}\ ,\beta=\frac{-a_{0^\circ}}{b_{0^\circ}a_{90^\circ}+b_{90^\circ}a_{0^\circ}} \quad (۴)$$

همچنین K ضریبی از ولتاژ و c مقدار آفست می‌باشد. با استفاده از این ضرایب که تنها وابسته به شیب و عرض از مبدا نسبت ولتاژ ac به dc می‌باشند، وابستگی دمایی از روابط حذف شده و محاسبه ولتاژ مستقل از دما خواهد بود.

مطابق با شکل ۳، پراکندگی داده‌ها نسبت به ضریب جبرانسازی R_{comp} در بازه دمایی ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در بازه ۰/۵٪± خواهد شد. نتایج تجربی خروجی حسگر پس از محاسبه ضرایب و اعمال آن در بازه دمایی ۱۵ تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳ - تغییرات دمایی R_{0° و R_{90° (نسبت ac/dc)

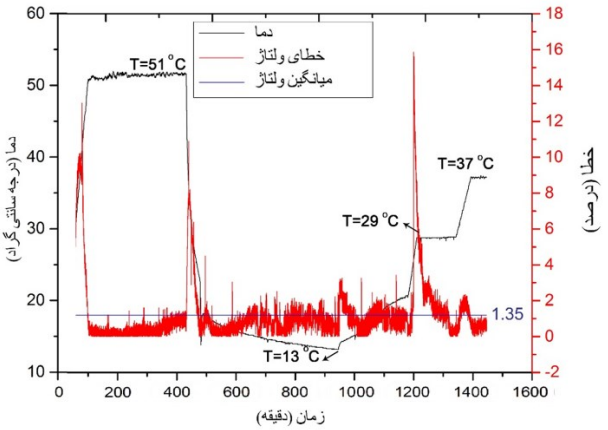


شکل ۴ : ولتاژ محاسبه شده بعد از جبران‌سازی نسبت به ولتاژ مرجع (محور راست) در بازه دمایی ۱۵ تا ۳۹ درجه سانتی گراد

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

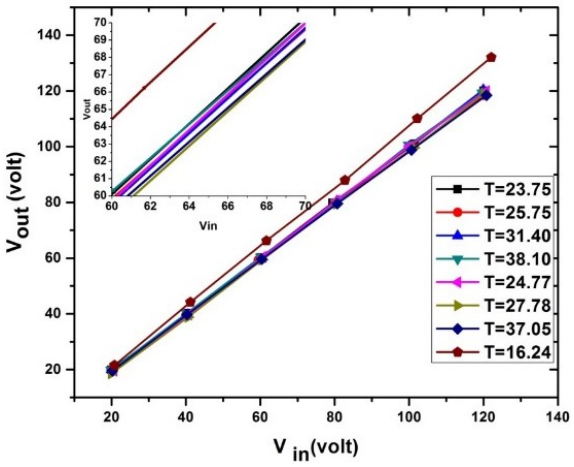
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

شکل ۵ خطای نقطه به نقطه ولتاژ اندازه‌گیری شده نسبت به ولتاژ مرجع (ولتاژ ورودی ثابت ۱۰۰ ولت و دمای متغیر از ۱۳ تا ۵۱ درجه سانتی‌گراد) را نشان می‌دهد. میانگین خطای اندازه‌گیری ولتاژ برابر با ٪ ۱/۳ می‌باشد.



شکل ۵ : خطای نقطه ای (محور راست) و تغییرات دما (محور چپ) نسبت به زمان با میانگین خطای ۱/۳ ٪

خطی بودن رفتار حسگر به ازای ولتاژهای مختلف تحریک ورودی ۲۰- ۱۲۰ ولت و در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل ۶ نتایج بدست آمده نشان می دهد که پاسخ حسگر در دماهای مختلف کاملا خطی است.



شکل ۶ : بررسی خطی بودن خروجی حسگر

۴-نتیجه‌گیری

بهبود پایداری گرمایی حسگرهای نوری ولتاژ بستگی به ساختار فیزیک حسگر و الگوریتم‌های پردازشی جبران‌سازی گرمایی دارد. در این مقاله، حسگر ولتاژ براساس کریستال LiNbO3 با برش x و راستای انتشار z طراحی و ساخته شد. با این طراحی، ضریب شکست غیرعادی کریستال که وابستگی زیادی به دما دارد از محاسبات و نتایج حذف شده است. همچنین خروجی حسگر به دو بخش خروجی مستقیم و عمودی توسط شکاف دهنده قطبشی تقسیم می شود. بعد از ترکیب این دو خروجی و محاسبات ضرایب مرتبط با ولتاژ با استفاده از شیب و عرض از مبدا ولتاژ نرمال شده (نسبت ac به dc) نسبت به دما، وابستگی دمایی از روابط حذف می‌شود. محاسبه ولتاژ خروجی و مقایسه آن نسبت به ولتاژ مرجع در بازه دمایی هدف از ۱۳ تا ۵۱ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. خطای نقطه به نقطه ولتاژ اندازه‌گیری شده نسبت به ولتاژ مرجع محاسبه شد و میانگین خطای اندازه‌گیری ولتاژ به میزان قابل قبول مطابق با کلاس دقت استاندارد برابر با ۱/۳درصد به دست آمد.

مرجع‌ها

[1] Y. Gaeremynck, G. Gaborit, L. Duvillaret, M. Ruaro,"Two electricfield components measurement using a 2-port pigtailed electro-optic sensor," Appl. Phys. Lett., vol. 99, p. 141102:1–141102:3, 2011.

[2] "properties of Lithium Niobate," EMIS Data Reviews Series No. 5, 1989.

[۳] مرتضی مظفری، حسام امیری "طراحی و ساخت دستگاه ترانسفورماتور نوری اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ترکیبی (OVCT) برای پست‌های انتقال ۱۳۲ کیلوولت"، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران، ۱۳۹۲.

[۴] حسام امیری، فرهاد متین‌فر، مریم امیرآبادی فراهانی " طراحی و پیاده‌سازی تبادل داده موازی ۸ بیتی جهت ارتباط درون سیستمی بین پردازنده‌ها برای مدارهای Embedded"، سی و یکمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران، ۱۳۹۵.

[5] J. Niewisch, P. Menle, P. Krammer, T. Bosselmam, "Temperature Drift Compensation of a Potential Transformer using a BSO Pockels Cell," Optical Fiber Sensors, pp. 152-155, 1996.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]