بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و ساخت تستر سامانه هشدار و فریب لیزری

عبدالله اسلامی مجد و محمدرضا نصرالهی آزاد

دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

چکیده – در این مقاله یک دستگاه الکترواپتیکی با توانایی تولید رمزهای لیزری بکار رفته در سلاحهای هدایت شونده لیزری و همچنین رمزگشایی این رمزها معرفی میگردد. نتایج آزمایشهای مختلف نشان می‌دهد که این دستگاه توانایی لازم برای بررسی عملکرد سامانه های هشدار و فریب لیزری در شناسایی و بازتولید رمزهای لیزری را دارا می‌باشد. دقت آن با توجه به فرکانس رمزها بسیار مناسب است و توانایی عیب یابی سامانه های هشدار و فریب را نیز دارا می‌باشد. این دستگاه در طول موج مادون قرمز نزدیک کار می‌کند.

کلید واژه- روش هدایت لیزری، فرکانس تکرار پالس، نشانگذاری لیزری

Design and Implementation of A Tester System For Laser Warning System

Abdollah Eslami Majd, and Mohammad Reza Nasrollahi Azad

Malek Ashter University Of Technology, Lavizan, Tehran

Abstract- In this paper we describe a designed and implemented tester system for laser warning system.This warning system detects coded laser beams and decodes those that is used in laser guidance systems. This tester is able to generate laser coded pulses and decode received pulses and compare them. Experiments have shown that by this tester, we can check the ability of the laser warning systems in laser code detection and regenerate those codes. This system has a suitable accuracy for fault detection in laser warning systems.

Keywords: Laser Guidance System, Pulse Repetition Frequency, Laser Designation

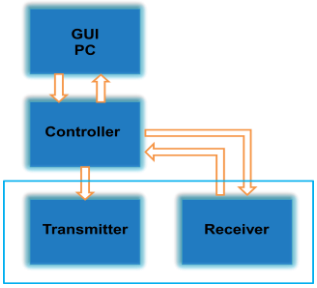
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

روش هدایت لیزری[۱] در هدایت بمب و موشک بکار میرود و از دقت بالایی برخوردار است. در روش هدایت لیزری که از نوع هدایت سرخود نیمه فعال[۲] است از نشانگذارهای لیزری[۳] همراه با سلاحهای هدایت شونده لیزری (LGW)[۴] استفاده می‌شود. شیوه کار به این صورت است که پس از شناسایی هدف، پرتو لیزری از نشانگذار به سمت آن تابانده می‌شود. در اثر برخورد این لیزر به هدف، پرتوهایی از آن بازتاب می یابد که مسیر هدایت را برای سلاح مشخص کرده و سلاح با استفاده از سامانه جستجوگر خود (LST) [۵] به تعقیب پرتو بازتابی پرداخته و به سمت هدف حرکت می‌کند[۱]. پرتوهای لیزری ارسالی در محدوده مادون قرمز نزدیک است و بصورت پالسی و رمز گذاری شده ارسال می‌شود. این رمز بندی براساس فرکانس تکرار پالس (PRF)[۶] انجام می‌شود و سلاح نیز از این رمز مطلع بوده و آنرا جستجو می‌کند[۲]. برای مقابله با سلاحهای هدایت شونده لیزری، ابتدا وجود پالس لیزری تشخیص داده شده و از بازتاب پرتو از هدف جلوگیری بعمل می‌آید. در مرحله بعد، لیزر دریافتی توسط سامانه هشدار رمزگشایی شده و همان رمز از محلی دورتر از هدف توسط یک لیزر فریب بر روی یک هدف کاذب تابانده می‌شود و پرتو بازتابی آن، سلاح دشمن را به سمت هدف کاذب هدایت می‌نماید. توانایی یک سامانه هشدار و فریب در تشخیص رمزهای لیزری و توانایی در بازتولید آنها نقشی کلیدی در فریب سلاحهایی با هدایت لیزری دارد لذا باید از توانایی یک سامانه در انجام این کار یقین حاصل‌شود. بدین منظور تستری شامل یک فرستنده لیزری جایگزین نشانگذار لیزری دشمن و یک گیرنده لیزری جایگزین جستجوگر لیزری سلاح دشمن، طراحی و ساخته شده است. با این تستر، توانایی سامانه هشدار و فریب در تشخیص رمزهای لیزری و توانایی در بازتولید آنها مورد آزمایش قرار می‌گیرد. در این مقاله ساختار این دستگاه ارائه گردیده و نتایج عملی بدست آمده بیان می شود.

۲- ساختار کلی دستگاه

این دستگاه از سه قسمت کلی شامل قسمت الکترواپتیکی، قسمت کنترلی و نرم افزار دستگاه تشکیل شده است که ارتباط بین آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. قسمت الکترواپتیکی در محدوده مادون قرمز نزدیک کار میکند.



شکل۱:ساختار کلی سامانه تستر شامل فرستنده و گیرنده لیزری بعنوان قسمت الکترواپتیکی، سخت افزار کنترلی و نرم افزار دستگاه

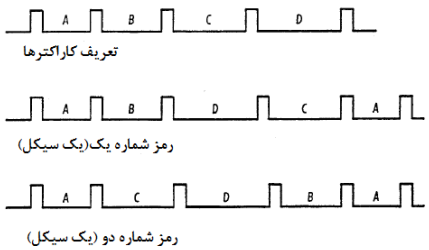
۲-۱- قسمت الکترواپتیکی

این قسمت از یک فرستنده لیزری و یک گیرنده لیزری تشکیل شده است. فرستنده لیزری دارای یک دیود لیزری در طول موج ۸۰۸ نانومتر بوده و مدار فیدبکی بر اساس شدت تابش لیزر دارد. سوئیچ بکار رفته برای تولید پالس دارای زمان خیزشی[۷] برابر۲ نانو ثانیه است. جریان نقطه کار دیود لیزری در ۲۰۰ میلی آمپر تنظیم شده است که توان ۲۰۰ میلی‌وات در لیزر ایجاد می‌کند. فرستنده بر اساس فرمانهای رسیده از قسمت کنترلی، رمزهای لیزری را تولید می‌کند. بر اساس تحقیقات انجام شده و بررسی سامانه‌های عرضه شده در این زمینه، معمولاً رمز در این سامانه ها بر اساس فرکانس تکرار پالس می باشد که بطور کلی می‌توان بصورت پالسهای مدوله شده با فاصله زمانی[۸]در نظر گرفت که دامنه‌ای ثابت دارند. در این حالت رمز در فاصله زمانی پالسها قرار گرفته و یکسری پالسهای فاصله دار بصورت تناوبی و پیوسته تشکیل می‌گردد. این پالسها با فرکانس تکرار ۱۰تا۵۰ هرتز تولیدمی‌شوند[۳]. نمونه ای از این رمزها در شکل ۲ نشان داده شده است.

---

[۱] Laser Guidance
[۲] Semi Active Homing Guidance
[۳] Laser designator
[۴] Laser Guided Weapon
[۵] Laser Spot Tracker
[۶] Pulse Repetition Frequency
[۷] Rise Time
[۸] Pulse Invertal Modulation(PIM)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]



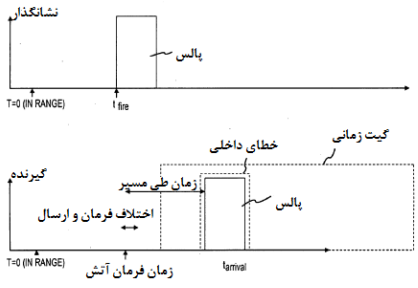
شکل۲:سری رمزهای تولیدی برای لیزر بر اساس کاراکترهای رمز

بطور کلی اگر تعداد کاراکتر های رمزی را با I نشان دهیم و هر واحد رمز شامل n عددکارکتر باشد و بخواهیم رمزی شامل L عدد واحد رمز بسازیم، تعداد رمزهای قابل دسترسی برابر C خواهد بود که از معادله ۱ بدست می‌آید[۳]:

$$C = \frac{I^n}{L} \qquad (۱)$$

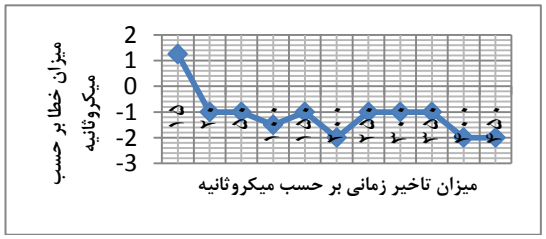
در دستگاهی که ما ساخته‌ایم، اندازه هر کاراکتر قابل تنظیم بوده و تعداد کاراکترهای هر رمز نیز از یک تا ۲۰ عدد می‌تواند انتخاب شود. بر اساس آزمایشات انجام شده، فرستنده در ۱۰۰ درصد فرامین رسیده از قسمت کنترلی به درستی عمل میکند و میزان تاخیر زمانی در فرستنده برابر ۲۰ نانو ثانیه است.

در گیرنده لیزری از یک فتودیود همراه با یک LNA [۹] برای آشکارسازی پالسهای لیزری استفاده شده است که در ۱۰۰ درصد موارد پالسهای دریافتی را آشکار می‌کند. برای انجام رمزگشایی، برای هر کاراکتر یک دروازه زمانی مطابق با شکل ۳ تعریف شده است.

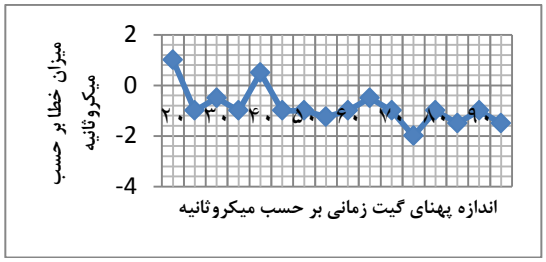


شکل۳: دروازه زمانی متناسب با هر کاراکتر رمز

محل این دروازه زمانی با دو پارامتر تاخیر زمانی و پهنای دروازه مشخص می‌شود. در تولید دروازه زمانی حداکثر میزان خطا برابر ۲± میکروثانیه می‌باشد و مستقل از مشخصات رمز لیزری است. پالس دریافتی، زمانی رمزگشایی می‌شود که لبه بالارونده پالس دریافتی درون دروازه زمانی قرار گیرد. بر اساس نتیجه آزمایشات انجام شده، مطابق شکل ۴، حداقل تاخیر زمانی ممکن برابر ۱۵ میکروثانیه و مطابق شکل ۵، حداقل پهنای دروازه زمانی ۲۰ میکروثانیه بدست آمده‌است. در این دستگاه، برای داشتن دروازه زمانی باید اندازه پهنای آن حداقل ۵ میکروثانیه از تاخیر زمانی آن بیشتر باشد. با تعیین محل دروازه زمانی هر کاراکتر، می توان مشخصات زمانی سامانه هشدار و فریب مانند تاخیر زمانی و شرایط لازم برای رمزگشایی را اندازه گرفت.



شکل۴: تغییر اندازه تاخیر زمانی در محدوده ۱۵ تا ۴۵۰ میکروثانیه برای رمزگشایی قطار پالس شامل ۴ پالس با دوره تناوب ۰/۱ ثانیه و گیت زمانی برابر ۵۰۰ میکروثانیه



شکل۵: تغییر اندازه پهنای دروازه زمانی در محدوده ۲۰ تا ۹۵ میکروثانیه برای رمزگشایی قطار پالس شامل ۴پالس با دوره تناوب ۰/۰۵ ثانیه و تاخیر زمانی برابر ۱۵ میکروثانیه

۲-۲- قسمت کنترلی

این قسمت دستورات رسیده از نرم افزار را به سیگنالهای الکترونیکی تبدیل می‌کند. فرکانس پردازش آن برابر ۳۶ مگاهرتز است.

۲-۳- نرم افزار

نرم افزر اطلاعات مربوط به رمز لیزری و همچنین مشخصات دروازه زمانی را از کاربر گرفته و به سخت افزار می‌فرستد. رمز لیزری بصورت کاراکتری و بر اساس زمان

[۹] Low Noise Ampilifire

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

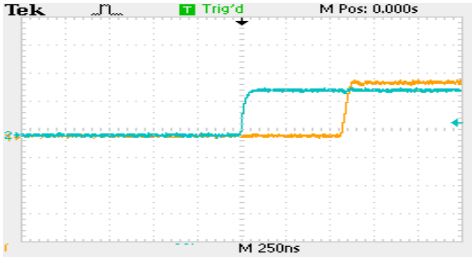
تعیین شده و بطور پیوسته ارسال میگردد. مشخصات دروازه زمانی نیز شامل تاخیر زمانی و پهنای دروازه بر اساس زمان است. ارتباط نرم افزار و قسمت کنترلی بصورت سریال و با رابط RS232 برقرار شده است.

۳- بررسی کمیّ تستر

براساس انجام آزمایش توسط ۱۵۰۰ پالس، از لحاظ کمی تمامی قسمتها کارکرد ۱۰۰ درصدی دارند.

۴- بررسی زمانی تستر

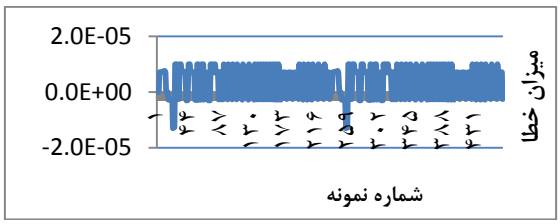
مطابق شکل ۶ تاخیر کل تستر برابر ۵۷۵ نانو ثانیه است که بیشترین تاخیر در قسمت گیرنده برابر ۵۴۵ نانومتر ایجاد می شود.



شکل۶: تاخیر زمانی کل سامانه برابر ۵۷۵ نانوثانیه. سیگنال آبی:سیگنال فرمان به فرستنده و سیگنال نارنجی: سیگنال خروجی گیرنده بعد از گیت زمانی(این میزان مستقل از اندازه کاراکترها است)

۵- انجام رمزگذاری و رمزگشایی

هر رمز را می‌توان بصورت قطار پالسی در نظر گرفت که در آن دوره تناوب هر پالس، بصورت رمزگذاری شده می‌باشد. در تستر ساخته شده می‌توان قطار پالسی شامل ۱ تا ۲۰ پالس با دوره تناوب دلخواه تولید کرد. تعداد پالس به منزله طول رمز و دوره تناوب هر پالس بعنوان کاراکترهای رمز می‌باشد.بمنظور رمزگشایی نیز یک دروازه زمانی برای هر کاراکتر رمز تعریف می‌شود. این دروازه زمانی با دو پارامتر شامل پهنای دروازه و تاخیر مابین لبه بالا رونده پالس رمز و شروع دروازه زمانی مربوطه تعریف می‌شود. مهم قرار گرفتن لبه بالا رونده پالس درون دروازه زمانی است. اگر دروازه زمانی به گونه‌ای باشد که لبه بالارونده پالس در خارج از آن قرار گیرد، در گیرنده چیزی دریافت نخواهیم کرد و اگر لبه بالارونده پالس درون دروازه قرار گیرد، دوره تناوب پالس استخراج شده و رمز مربوطه تعیین می‌گردد. نتیجه بصورت گرافیکی و عددی نشان داده می‌شود. برای بررسی توانایی سامانه در تولید و دریافت رمزهای مختلف لیزری، کارکرد دستگاه با ۱۵ نوع رمز مختلف و هر رمز به تعداد سه بار، مورد آزمایش قرار گرفته‌است. نتیجه این بررسی در شکل ۷ آورده شده‌است.



شکل۷: نمودار خطا در اندازه گیری اندازه کاراکترها

بر اساس محاسبات انجام شده بر روی داده، میانگین میزان خطا در اندازه گیری دوره تناوب بعنوان کاراکترهای رمز، برابر ۶/۷ میکروثانیه است.

۶- نتیجه گیری

از تستر ساخته شده فقط برای بررسی توانایی سامانه های هشدار و فریب در زمینه کشف رمز لیزری و بازسازی آن می‌توان استفاده کرد بطوریکه می‌توان رمزهای لیزری متشکل از قطاری از پالسها با دامنه ثابت و دوره‌های تناوب دلخواه تولید نمود. هر قطار پالس می تواند شامل ۱ تا ۲۰ پالس باشد. دروازه زمانی قابل تولید در این دستگاه برای رمزگشایی، دارای حداقل تاخیر زمانی برابر ۱۵ میکروثانیه بوده و حداقل پهنای قابل استفاده در آن برابر ۲۰ میکروثانیه است. میزان خطا در پارامترهای دروازه زمانی برابر ۲± میکروثانیه است. این تستر در تولید و باز تولید کاراکترهای مربوط به رمزهای لیزری، دارای خطای متوسطی برابر ۶/۷ میکرو ثانیه است بدین معنا که اعداد بکار رفته در این سامانه تا ۵ رقم اعشار در تعیین دوره تناوب قابل اعتماد است و بیشتر از آن امکان خطا وجود دارد. نتایج بررسی کارکرد سامانه هشدار و فریب در محیط نرم افزار نشان داده میشوند.

[1] MC.CARTHY, Patrick, L, *Projectile Guidance System Including a Compact Semi-Active Laser Seeker With immersed filter stack and field lens*,US patent, 20110089286(2010)
[2] D.S. Williams, Absolute Time Encoded Semi-Active Laser Designation,US patent 2009/0078817A1(2009)
[3] Thomas E. Bayston, Pulse Code Recognition method and Systems. United States Patent 5,023,888 (1991)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]