روش اندازه گیری و حذف جیتر و بکارگیری آن در لیزر

علیرضا زیرک

دانشجوی دکتری مخابرات دانشگاه فردوسی و
عضو هیئت علمی سازمان انرژی اتمی ایران

تلفن: ۰۹۱۵۳۱۱۰۳۲۴

al_zi78@um.ac.ir

محمد سعید محلوجی

عضو هیئت علمی سازمان انرژی اتمی ایران

تلفن: ۰۲۱-۸۲۰۶۴۱۰۸

دورنگار: ۰۲۱-۸۰۰۸۵۹۲

mmahlooji@aeoi.org.ir

چکیده: افزایش توان لیزر و نیز تنظیم نقطه اثر مناسب در لیزرهای پالسی که در مخابرات، پزشکی و صنعت از اهمیت حیاتی برخوردار است، منوط به حداقل نمودن یکی از مهمترین پارامترهای موجود در سیستم لیزر با نام جیتر[1] است. در سیستم لیزر، با اعمال فرکانس RF[2] ، لیزر با شدت خیلی بالا و با تأخیر بسیار کم بصورت یک تپ لیزری خارج می‌شود. بنابراین بسته به اینکه فرکانس RF با چه فرکانسی مدوله شود، سرعت قطع و وصل فرکانس RF تغییر کرده و شدت این تپهای لیزری متفاوت خواهد بود. یکی از اهداف مهم در سیستمهای لیزری، نداشتن انحراف زمانی پرتو خروجی از محل اصلی خود و به اصطلاح نداشتن جیتر است. در این تلاش عملی، ابتدا نشان داده می‌شود که مشخصه های آماری و نیز تابع خود همبستگی سیگنال جیتر می‌تواند در ردیابی محل اثر آن نقش تعیین کننده‌ای داشته باشد و سپس دو روش را پیشنهاد و مقایسه نمودیم که بتوان با توجه به مشخصه های آماری و تابع انتقال سیگنال جیتر و نیز سنجش میزان تصادفی و یا معین بودن آن، پی به منابع وجود جیتر برد. در نهایت، اطلاعات بدست آمده را در سیستم لیزر ND:YAG با دمش دیودی شناسایی نموده و جیتر موجود در پرتوهای پالسی خروجی لیزر را در حد کاملاً قابل قبولی کاهش داد.

کلمات کلیدی: جیتر، لیزر ND:YAG، تابع انتقال، مشخصه های آماری، تابع خود همبستگی

۱ـ مقدمه:

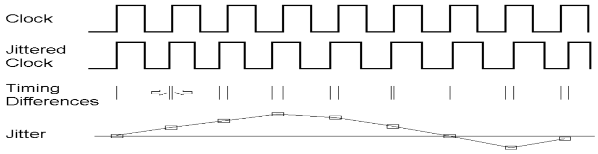
هنگامی که از سیگنالی با پریودی خاص نمونه برداری می‌کنیم و یا در بازه های زمانی مشخص، پالسهایی را دریافت می‌کنیم، میزان انحراف زمانی که در این رابطه مشاهده می‌شود را خطای ناشی از جیتر می‌نامیم. به عنوان مثال ساده تر، اگر سرویس مدرسه شخصی در هر روز، وی را رأس ساعت ۷:۰۰ سوار کند، میزان انحراف زمانی یعنی میزان تقدم یا تأخر حضور سرویس در محل، معیاری ازمقدار جیتر خواهد بود. بدینوسیله می‌توان با تعیین مشخصه آماری این تقدم یا تأخر، به اطلاعات مهمتری، از جمله پیش بینی خطا و یا تمهیداتی جهت کاهش آن دست یافت.

---

1. Jitter
2. Radio Frequency

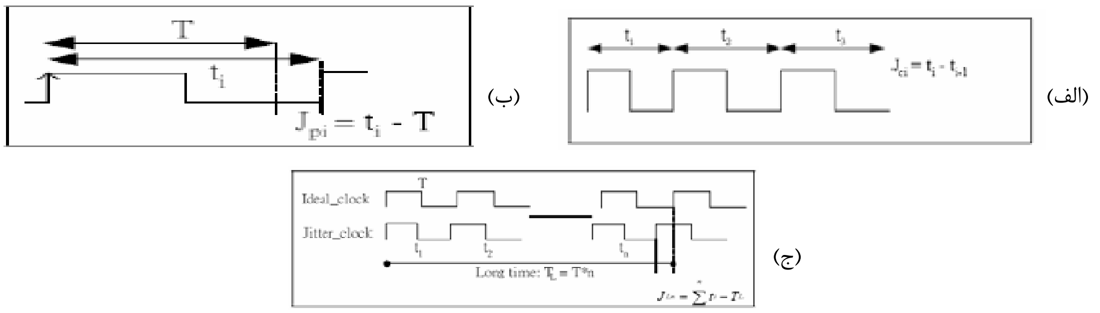
با توجه به گستره تنوع قسمتهای متفاوت یک سیستم الکترونیکی، جیتر می‌تواند در بخشهای مختلف آن از جمله در قسمت پالس ساعت ظاهر شود. به عنوان مثال در سیستمهای صوتی دیجیتال که از اطلاعات آنالوگ نمونه برداری می گردد و در حالت معکوس این اطلاعات نمونه برداری شده کنار هم چیده می‌شوند تا مجدداً سیگنال آنالوگ را بسازند، جیتر موجود در پالس ساعت که در زمان نمونه برداری مؤثر است، با توجه به حساسیت بالای گوش انسان، موجب کاهش محسوس کیفیت سیگنال صوتی می‌شود. سیگنال جیتر می‌تواند ترکیبی از دو بخش پریودیک و بطور کلی قطعی[۱] و تصادفی[۲] باشد [1]. مهمترین علت وقوع بخش پریودیک، ریپل و نوسانات تغذیه، وجود نویز رنگی و نیز صفر نبودن زمان تریگر قطعات می‌باشد که عموماً موجب تغییر در زمان تریگر قطعات منطقی خواهد شد. اما دلیل وجود جیتر تصادفی را عموماً می‌توان در وجود نویز سفید موجود در سیگنال و بخصوص المانها که با گرم شدن آنها افزایش می یابد جستجو نمود [2].

شکل۱ نمایی کلی از نحوه محاسبه سیگنال جیتر را نشان می‌دهد. بطوریکه با مقایسه اختلاف فاز بین پالس ساعت ایده آل و نمونه مشابهی که دارای انحراف فرکانسی می‌باشد، می‌توان سیگنال جیتر را بدست آورد.



شکل ۱: مقایسه پالس ایده‌آل با پالس دارای جیتر و چگونگی نحوه محاسبه جیتر از روی اختلاف فاز

عملاً برای محاسبه جیتر، تنها یک سیگنال را در اختیار داریم که همان سیگنال غیر ایده‌آلی می‌باشد که دارای جیتر است. بدین ترتیب می‌توان به سه شکل کلی زیر جیتر را بیان نمود [3]. در نگاه اول که جیتر پالس به پالس نامیده می‌شود، میزان جیتر بین هر پالس را با نمونه بعدی می‌سنجند(شکل ۲ الف). در نگاه دوم که آنرا جیتر پریودیک گویند، میزان اختلاف پریود بین هر پالس را با پریود ایده‌آل می‌سنجند (شکل ۲ ب). این نحوه محاسبه جیتر درعمل رایج تر است و معمولاً منظور از جیتر یک سیستم، همان جیتر پریودیک آن است. در نگاه سوم که جیتر با طول دوره طولانی نامیده می‌شود، اندازه جیتر، اختلاف فاز بین n امین پالس واقعی با مقدار ایده‌آلش می‌باشد (شکل ۲ ج). این نحوه محاسبه نیز در بسیاری از موارد از جمله نیاز به محاسبه دقیق جیتر با استفاده از اسیلوسکوپ میسر است، با این شرط که بتوان این نوع جیتر را برای تأخیرهای متفاوت، محاسبه کرده و بر اساس جدول اطلاعات بدست آمده، سنجش دقیقی از جیتر را بدست آورد.



شکل ۲: سه نگاه متفاوت از نحوه محاسبه جیتر الف: جیتر پالس- پالس ب: جیتر پریودیک ج: جیتر با طول دوره طولانی

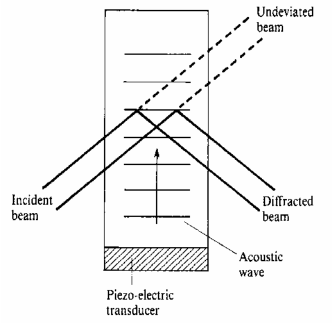
---

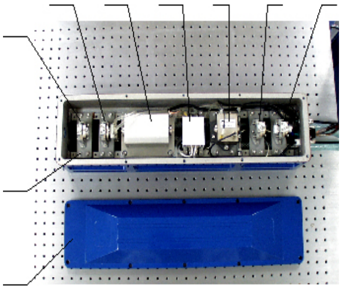
2. Deterministic
3. Stochastic

واحد هایی که توسط آنها جیتر را می سنجند، می‌توانند فاصله زمانی، اختلاف فاز، درصد انحراف و یا مقدار مؤثر فاصله زمانی باشد که نوع اول آن معمول تر است. این اطلاعات تا حدودی می‌توانند معیار مناسبی جهت بیان کارآیی منبع پالس باشند، اما برای بررسی دقیق تر از جمله شناسایی منبع جیتر و چگونگی حذف آن، بندرت این داده ها می‌توانند کارساز باشند. برای این منظور اگر بخواهیم از خصوصیات و شکل سیگنال جیتر اطلاعات دقیق تری داشته باشیم، باید از توزیع زمانی سیگنال جیتر اطلاعات کاملتری داشت، از جمله بدانیم آیا به پیشامد دیگری ارتباط دارد و یا خیر. بر این اساس، معمولاً جیتر را به دو نوع تصادفی و قطعی و یا تلفیقی از آن دو، تقسیم بندی می‌کنند که در صورت تصادفی بودن آن، پارامترهایی از جمله دانسیته طیف توان، انحراف معیار و میانگین جیتر و در صورت قطعی بودن نیز پارامترهایی مانند پریودیک بودن و یا نبودن جیتر اهمیت پیدا خواهد کرد.

۲ـ لیزر ND:YAG با ساختار Q- Switch

لیزر Nd:YAG[1] یکی از انواع لیزرهای حالت جامد است که امروزه کاربردهای بسیار وسیعی یافته است. تکنولوژی جدید دمش لیزر Nd:YAG بوسیله لیزرهای دیودی، حجم لیزر را بسیار کوچک کرده و برای مصارف صنعتی مناسب ساخته است. برای بالا بردن توان و ایجاد تپهایی با مدت زمان کم در این لیزر DPSSL[2]، از درایور Acousto optic Q-Switch استفاده می‌شود. درایور این نوع سوئیچ، یک منبع تغذیه RF است [۴]. اصولاً اثر آکوستو اپتیک عبارت است از تغییر ضریب شکست ماده‌ای توسط فشارهای مکانیکی که توسط موج صوتی به هنگام عبور از ماده به وجود می‌آید. اثر این امواج صوتی، پراکندگی نور لیزر است. در شکل۳ چگونگی عمل سوئیچ Q با استفاده از آکوستو اپتیک نشان داده شده است [۵]. سیستم یک لیزر با دمش دیودی و سوئیچ Q آکوستو اپتیک در شکل ۴ نشان داده شده است.





شکل ۳: چگونگی عمل سوئیچ Q به روش آکوستو اپتیک. شکل ٤: شمایی از سیستم لیزر با دمش دیودی و سوئیچ Q آکوستو اپتیک

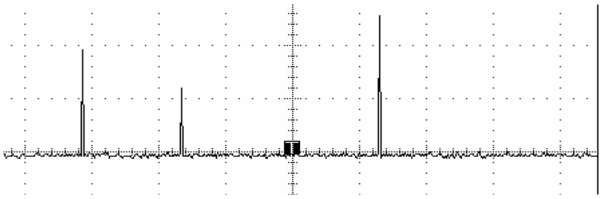
وقتی سیستم لیزر روشن است، با اعمال فرکانس RF، لیزر با شدت خیلی بالا بصورت یک تپ لیزری خارج می‌شود. بنابراین بسته به اینکه فرکانس RF با چه فرکانسی مدوله می‌شود، سرعت قطع و وصل فرکانس RF تغییر کرده و شدت این تپهای لیزری متفاوت خواهد بود. در صورتیکه در انتخاب نوع المانها و نحوه ساختن فرکانس مدولاسیون دقت کافی صورت نگیرد، این تپهای لیزری از محل واقعی خود انحراف خواهند داشت و به اصطلاح در سیستم جیتر وجود دارد. در کاربردهای خاص که نیاز است تپهای لیزری در فرکانس ثابت باشند، جیتر باید حتی کمتر از ns ۱ باشد.

---

1. Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet ($Y_3Al_5O_{12}$)
2. Diode Pumped Solid State Laser

۲-۱- خروجی پالسهای لیزر

از شکل ۵ به بعد، کلیه تصاویر مربوط به سیگنالهای بخشهای مختلف مداری و یا خروجی لیزر ND:YAG موجود در آزمایشگاه بخش لیزرهای حالت جامد سازمان انرژی اتمی ایران می‌باشند که توان خروجی آن 50w و از نوع سبز است. این تصاویر عموماً توسط اسیلوسکوپ تکترونیکس مدل TDS-7054 با قابلیت نمونه برداری 5GS/s و فرکانس 500MHZ تهیه شده است. شکل ۵ یک نمونه از خروجی پالسهای لیزر را با فرکانس ۱۰ کیلو هرتز نشان می‌دهد که بطور غیر مستقیم توسط فوتو دیود دریافت می‌شود.



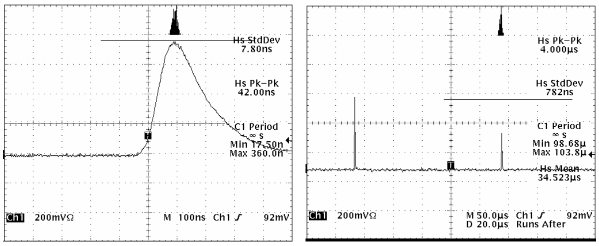
شکل ۵: خروجی پالس لیزر آزمایشگاه با فرکانس ۱۰ کیلوهرتز

۳ـ اندازه گیری جیتر با استفاده از منحنی هیستوگرام

در این مقاله، اندازه گیری جیتر را به دو صورت متفاوت انجام می‌دهیم. حالت اول که در این بخش بیان می‌شود، استفاده از نمودار هیستوگرام می‌باشد که از امکانات این اسیلوسکوپ است. از دو قابلیت پنجره هیستوگرام که به منظور ثبت زمانی تغییرات سیگنال بکار می‌رود و نیز امکان تریگر تأخیر یافته این اسیلوسکوپ، می‌توان بمنظور شناسایی مشخصات آماری و شکل تابع توزیع جیتر کمک گرفت. دراین حالت پنجره هیستوگرام را طوری انتخاب می‌کنیم که بتوان میزان تغییرات افقی لبه بالا رونده سیگنال را بر اساس توزیع آن دید. با توجه به ارگودیک بودن سیگنال جیتر، شکل نتیجه، تخمین دقیقی از توزیع احتمال جیتر می‌باشد. برای افزایش دقت، تریگر اسیلوسکوپ را در حالت تأخیر قرار می‌دهیم. در اینصورت حداکثر جیتر، مربوط به زمانی است که هر پالس را با ۱۲۵ نمونه بعد آن مقایسه کنیم و بدین ترتیب می‌توان جیتر تأخیری را نیز ملاحظه نمود.

با اعمال این روش جهت محاسبه جیتر خروجی لیزر ND:YAG، می‌توان خصوصیات آماری جیتر را به شکل دقیقی بدست آورد. شکل ۶ سمت راست، خروجی پالسهای لیزر مورد بحث بر روی اسکوپ را نشان می‌دهد که به منظور رسم تابع توزیع جیتر، از پنجره افقی هیستوگرام استفاده شده است. در شکل ۶ سمت چپ، نمای بزرگتر یک نمونه پالس لیزر مشاهده می‌شود. در بالای شکل، منحنی هیستوگرام پرتوهای پالس لیزر را که پنجره افقی را قطع می‌کنند، رؤیت می‌شود. در هر دو شکل، تنها جیتر پالس- پالس محاسبه می‌شود. در سمت راست صفحه اسکوپ مقادیرPK-PK (فاصله بین حداکثر تغییرات) و نیز StdDev (انحراف معیار تغییرات) مشخص شده است. جهت بررسی بهتر و بزرگنمایی بیشتر سیگنال جیتر، اسیلوسکوپ را در حالت تریگر تأخیر یافته قرار می‌دهیم که در اینصورت بیشترین میزان جیتر مربوط به مقایسه هر پالس با ۱۲۵ نمونه بعدی می‌باشد.

شکل ۷ منحنی هیستوگرام را در این حالت نشان می‌دهد که نمایی از سه تابع توزیع گوسی است. مقادیر PK-PK و نیز انحراف معیار مربوط به جیتر بترتیب ۴ µs و ۷۸۲ ns می‌باشد که با توجه به آنکه فرکانس پالسهای لیزر ۱۰ کیلوهرتز می‌باشند، این مقدار قابل توجه خواهد بود، بطوریکه افزایش توان لیزر و یا استفاده جهت کاربردهای دقیق، از جمله TDM مقدور نمی‌باشد.



شکل ۶:سمت راست: خروجی پالسهای لیزر و استفاده از پنجره افقی هیستوگرام که در بالای شکل مشخص شده است. سمت چپ: یک نمونه پالس لیزر که در ابعاد بزرگتر نمایش داده شده است. در بالای شکل، منحنی هیستوگرام تغییرات افقی بیم لیزری برای یک پالس بدون تـأخیر نمایش داده می‌شود.

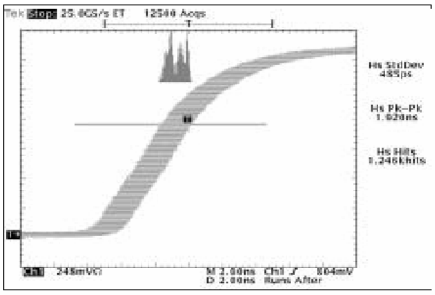


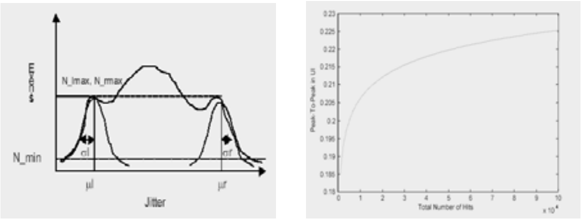
Figure 3. Long-term jitter.

شکل ۷: شکل موج لبه بالا رونده سیگنال در حالت تریگر تأخیری و منحنی هیستوگرام مربوطه. تابع توزیع در این شکل ترکیبی از سـه تـابع گوسی می‌باشد که مشخص می‌کند جیتر هم پریوریک و هم گوسی است.

با اینکه محاسبه مقادیر پیک- پیک و مقدار مؤثر منحنی هیستوگرام در مـدت زمـان محـدود، مـی‌توانـد بطـور نسـبی شمایی از جیتر سیستم را متصور سازد، اما در حالت کلی جهت بیان علمی جیتر نمـی‌تواننـد معیـار چنـدان مناسـبی باشند زیرا مقدار پیک- پیک در طول مدت زمان طولانی، ناپایدار بوده و مطابق شکل ۸ سـمت راسـت کـه بـرای لیـزر مورد بحث تهیه شده، به مدت زمان نمونه برداری وابسته بوده و همواره صعودی است و دومی نیز مطابق شکل ۸ سمت چپ با توجه به آنکه معمولاً جیتر ترکیبی از دو حالت تصادفی و معین است، نمی‌تواند شمای دقیقی از شـکل جیتـر را بدهد، بطوریکه مقدار RMS جیتر عموماً به میزان محسوسی از مقدار انحراف معیار تغییرات آن بیشتر است. یعنی:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{n-1}^{N}\left(\overline{\Delta t} - \Delta t_1\right)^2} \rangle \sigma \qquad (۱)$$

لذا باید بتوان بطریقی بخش تصادفی و پریودیک سیگنال جیتر را جهت سنتز بهتر از یکدیگر جـدا نمـود. آنچـه از سـه شکل اخیر استنباط می‌شود، جیتر کلی خروجی سیستم، ناشی از برآیند جیتر بخشهای مختلف آن است.



شکل ۸: نقاط ضعف بیان جیتر بصورت پیک- پیک و یا RMS. سمت راست: منحنی مقدار پیـک- پیـک جیتـر بـر حسـب طـول دوره نمونـه برداری همواره افزاینده و ناپایدار است. سمت چپ: مقدار RMS جیتر عموماً نمی‌تواند رابطه تنگاتنگی با توزیع تغییرات داشته باشد.

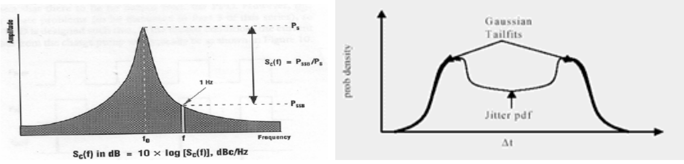
جیتر تصادفی که تقریباً عمومی ترین نوع جیتر است، می‌تواند سیگنالی با یک توزیع گوسی و یا ترکیبی از چند تابع گوسی تعریف شود که نوع دوم آن معمولتر است. زیرا توزیع احتمال جیترهایی که توسط بخشهای مختلف سیستم که بطور سری با یکدیگر قرار دارند پس از کانوالو شدن با یکدیگر، جیتر کلی سیستم را بوجود می آورند. رابطه توزیع احتمال قسمت تصادفی جیتر که تابعی گوسی است بصورت زیر محاسبه می‌شود[6]:

$$p(\Delta t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\Delta t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \qquad (۲)$$

با توجه به قضیه برآیند چند تابع توزیع مستقل [1]، در حالت کلی می‌توان تابع توزیع جیتر برآیند ناشی از دو جزء تصادفی و معین را بصورت زیر تعریف نمود:

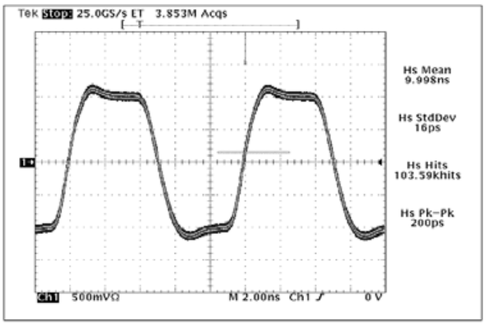
$$P_{TJ}(t) = P_{RJ}(t) * P_{DJ}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{DJ}(\tau).P_{RJ}(t-\tau)d\tau \qquad (۳)$$

شکل ۹ سمت راست، نتیجه PDF ناشی از ترکیب دو جیتر تصادفی و قطعی را نشان می‌دهد. این شکل نمایانگر آنست که توزیع احتمال وقوع جیتر علاوه بر قسمت تصادفی، دارای بخش پریودیک نیز می‌باشد. این شکل مربوط به منحنی هیستوگرام خروجی RF درایور Q_Switch مربوط به لیزر ND:YAG می‌باشد. همانطوریکه مشاهده می‌شود، از کناره‌های شکل می‌توان میزان انحراف معیار بخش تصادفی جیتر را بوسیله درونیابی [2]، محاسبه نمود و بدینوسیله مطابق شکل ۹ سمت چپ براحتی تابع توزیع بخش تصادفی جیتر قابل استخراج خواهد بود و سپس با توجه به شکل کلی تابع توزیع جیتر، می‌توان اطلاعات بخش قطعی از جمله پریودیک جیتر را با دکانولوشن گیری استخراج کرد.

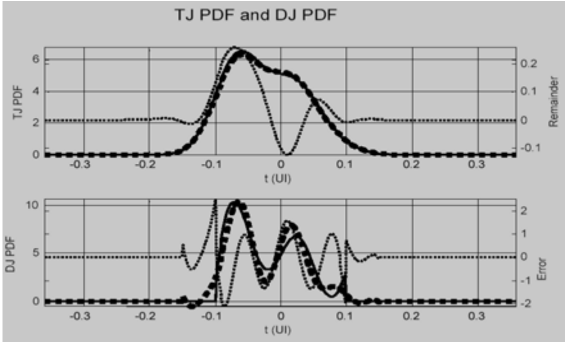


شکل ۹: ترکیب دو توزیع جیتر تصادفی و پریودیک. سمت راست: منحنی هیستوگرام جیتر خروجی RF درایور Q-Switch لیزر در حالت بی باری. سمت چپ: توزیع احتمال بخش تصادفی خروجی درایور که از شکل سمت راست استخراج شده است.

روش فوق را جهت جدا سازی بخش پریودیک جیتر مربوط به پالس ساعت 10KHZ سیستم Q-Switch که وظیفه آن، تنظیم زمان پالسهای خروجی لیزر است، بکار بردیم. شکل ۱۰، سیگنال پالس ساعت مربوطه را نشان می‌دهد که منحنی هیستوگرام آن در قسمت بالای شکل ۱۱ رسم شده است.



شکل ۱۰: سیگنال پالس ساعت Q-Switch و منحنی هیستوگرام آن



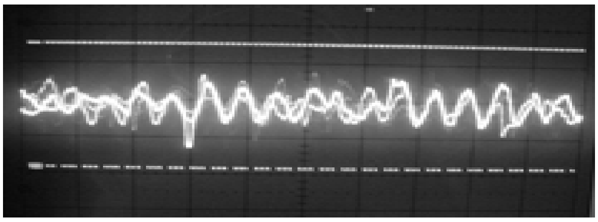
شکل ۱۱: بکارگیری دکانولوشن جهت جدا سازی تابع توزیع بخش پریودیک جیتر. بالا: منحنی هیستوگرام مربوط به جیتر پالس ساعت. پایین: تابع توزیع بخش پریودیک جیتر مربوطه که از منحنی اولیه جدا گردیده.

با اینکه مدار پالس ساعت سیستم کریستالی است، دلیل وجود جیتر را می‌توان در نویز منبع تغذیه سوئیچینگ و یا نویز مجانبی پس زمینه ای که راهش را به سمت پالس ساعت باز می‌کند و عموماً موجب تغییر در زمان تریگر قطعات منطقی می‌شود، جستجو نمود. در قسمت پایین شکل ۱۱، تابع توزیع بخش قطعی و نیز پریودیک جیتر مشاهده می‌شود که بوسیله دکانولوشن گیری، البته بطور تقریبی، از جیتر کلی سیستم جدا شده است. همانطوریکه از این شکل مشخص می‌شود، پیشامد وقوع پالس ساعت در اطراف سه نقطه مشخص است. اما در عین حال این شکل برخی از اطلاعات مهم را در مورد جیتر پریودیک از جمله پریود نوسانات و دانسیته طیف توان را در اختیارمان قرار نمی‌دهد. برای این منظور با استفاده از حلقه قفل شده در فاز[1] از تابع انتقال جیتر استفاده نمودیم که در بخش بعد بیان شده است.

۴ـ استفاده از حلقه قفل شده در فاز

با توجه به آنکه بخش عمده ای از توان سیگنال جیتر مربوط به جیتر پریودیک است و بررسی، ردیابی و حذف آن از اهمیت زیادی برخوردار است، روش بررسی مشخصات آماری جیتر برای جیتری با مشخصه قطعی نمی‌تواند چندان کارساز باشد. لذا روش مناسبتر برای بررسی این نوع جیتر استفاده از تابع خود همبستگی و در نهایت دانسیته طیف توان است که بوسیله روشهای قبل، قابل دستیابی نیست. برای این منظور لازم است تا سیگنال جیتر را بصورت خالص در اختیار داشته باشیم. برای این منظور سیگنال دارای جیتر را وارد یک حلقه قفل شده در فاز نمودیم. جهت پایداری فرکانسی بجای اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ[2] از اسیلاتور کریستالی کنترل شده با ولتاژ[3] استفاده نمودیم [7]، در اینصورت می‌توان هر گونه انحراف فاز را در سیگنال اصلی براحتی در خروجی آشکارساز فاز با دقت بالایی ملاحظه نموده و لذا سیگنال جیتر و حتی تابع انتقال آنرا مشاهده نمود.

شکل ۱۲ نتیجه را برای خروجی پالسهای لیزر سیستم نشان می‌دهد، که تقریباً همان جیتر خالص منهای سیگنال می‌باشد.



شکل ۱۲: مشاهده سیگنال جیتر بصورت خالص با کمک PLL

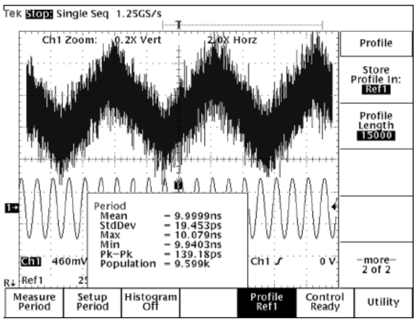
روش مناسبتر جهت جداسازی بخشهای پریودیک، تصادفی و دیگر قسمتهای معین جیتر، استفاده از دانسیته طیف توان جیتر می‌باشد. برای این کار می‌توان مطابق رابطه زیر از تابع خود همبستگی سیگنال زمانی جبیتر تبدیل فوریه گرفت:

$$PSD\ (f) = FFT\ (c\text{-}2*R_{xx}\ (\Delta t\ (n)))$$

به همین ترتیب می‌توان جیتر مربوط به بخش منبع تغذیه را از جیتر کلی خروجی تشخیص داد. شکل ۱۳ نویز خروجی منبع تغذیه سوئیچینگ را همراه با ریپل آن نمایش می‌دهد که خروجی جیتر بصورت یک سیگنال سینوسی

1. Phase locked loop
1. VCO
2. VCXO

در پایین شکل مشخص شده است. فرکانس جیتر مربوطه با فرکانس دومین قله از دانسیته طیف توان جیتر کلی، برابر است. لذا در صورت حذف جیتر منبع تغذیه می‌توان این بخش از جیتر خروجی را نیز حذف کرد.



شکل ۱۳: بالای شکل نمایش نویز خروجی منبع تغذیه سوئیچینگ، همراه با ریپل آن و پایین خروجی جیتر بصورت سیگنالی سینوسی

۵ـ نتیجه گیری

از آنجا که وجود جیتر در سیستمهای لیزر پالسی، یکی از مهمترین چالشهای موجود جهت ارتقای کارایی آن می‌باشد، لازم است بتوان آنرا در حد قابل قبولی کاهش داده و حتی جهت بیان کارایی سیستم لیزر، بیان دقیق تری از جیتر آنرا ارائه داد. با توجه به تنوع و گسترش بخشهای الکترونیکی سیستم مذکور و احتمال تولید جیتر در تمام بخشهای آن، بهترین روش جهت حذف جیتر، ردیابی علت وقوع جیتر با توجه به نوع و مشخصه جیتر موجود در پالسهای لیزر خروجی می‌باشد.

در این مقاله جهت بررسی جیتر، آن را به دو بخش جیتر تصادفی و پریودیک شکسته و سپس هر یک را بترتیب توسط منحنی هیستوگرام و استفاده از حلقه قفل شده در فاز، بطور جداگانه بررسی نمودیم. بدینوسیله دو نحوه بیان متفاوت از جیتر را ارائه دادیم که عبارت بودند از تابع توزیع احتمال جیتر برای جیترهای تصادفی و دانسیته طیف توان جیتر برای جیترهای قطعی و یا پریودیک و نشان دادیم که بدینوسیله می‌توان پی به وجود و چگونگی منبع جیتر برد. همچنین نحوه بیان جیتر بصورت مقدار پیک- پیک و یا مؤثر آن نمی‌تواند در حالت کلی معیار دقیق و کاملی از آن را فراهم کند. در انتها نشان داده شد که می‌توان بوسیله شباهت در رفتار، منبع جیتر را پیدا نمود.

۶- فهرست مراجع و مآخذ

[1] Xia, T. and Chung, J., "Time-to-Voltage Converter for On-chip Jitter Measurement", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.52, No.6, DEC. 2003.

[2] Andreanl, P., "*Timing Measurements of Synchronization Circuits* ", published under Kluwer Academic Publishers, 1999.

[3] Yamaguchi, T., Soma, M. and Halter, D., “A Method for Measuring the Cycle-to-Cycle Period Jitter of High-Frequency Clock Signals,” *Proc. IEEE VLSI Test Symp.* pp. 102–110, 2001.

[۴] محلوجی، م. س و گوان، ز،” طراحی و ساخت منبع تغذیه ۲۷ MHZ و ۴۵ وات Acousto Optic Q-Switch“، *مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس مهندسی برق*، جلد۴، صفحات ۷۲-۷۷، ۱۳۸۲.

[۵] بهجت، ع، *لیزر اصول و کاربردها*. چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد، ۱۳۸۱، تألیف ج. ویلسون – ج. ف. ب. هاوکز

[6] Williams, K.A. and white, I.H., "Jitter Reduction through Feedback for Pico Second Pulsed in GaAsP Lasers", *IEEE Journal OF Quantum Electronics*, Vol.32, NO.11, Nov.1996.

[7] Xia, T. and Lo, J. C., “On-chip Jitter Measurement for Phase Locked Loops,” *IEEE Symp. Defect Fault Tolerance for VLSI System*, pp.399–407, Nov. 2002.