

اندازه‌گیری فلوی جریان گاز طبیعی با استفاده از روش L2F

مرتضی مظفری	محمود تکابی	محمد امین کاشیها
گروه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق - پژوهشکده کنترل و مدیریت شبکه - پژوهشگاه نیرو ایران	گروه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق - پژوهشکده کنترل و مدیریت شبکه - پژوهشگاه نیرو ایران	گروه مخابرات - پژوهشکده کنترل و مدیریت شبکه - پژوهشگاه نیرو ایران

واژه‌های کلیدی: همبستگی متقابل، اندازه‌گیری جریان گاز، روش L2F، گاز طبیعی، آشکارسازی قله‌های سیگنال

چکیده

علاوه بر بخش اصلی الگوریتم مورد نظر، یک سری عملیات پیش‌پردازش و پس‌پردازش نیز انجام خواهد شد تا پایداری و تکرارپذیری پاسخ سیستم افزایش یابد. در نهایت، نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که با استفاده از این روش، با خطای کمتر از ۲٪ در رنج سرعت تا ۱۰۰ m/s، می‌توان فلوی گاز را اندازه گرفت.

۱- مقدمه

امروزه، تولید و مصرف برق به عنوان معیاری از پیشرفت صنعت یک کشور بحساب می‌آید. در عین حال، همواره تامین سوخت نیروگاههایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند، از دغدغه‌های اصلی مسئولان مربوطه بوده است. با رشد هزینه‌های انرژی و افزایش مصرف، نیاز به اندازه‌گیری و اطلاع دقیق از سوخت مصرفی، بیش از پیش، احساس می‌شود. نیروگاهها نیز از این قضیه مستثنی نیستند. اختلافاتی

مصرف انرژی از مسائل مهم مراکز صنعتی و از آن جمله نیروگاهها، می‌باشد. بنابراین، در دست داشتن اطلاعات دقیق در این مورد ضروری بنظر می‌رسد. اندازه‌گیری فلوی گاز ابزار مناسبی برای این امر بوده و روشهایی که بر اساس لیزر کار می‌کنند، از جمله جدیدترین روشها در این زمینه به شمار می‌آیند. این مقاله، روش جدیدی را برای اندازه‌گیری فلوی گاز طبیعی در لوله‌های ورودی نیروگاهها و بر اساس تئوری پراکندگی پرتوهای لیزر ارائه می‌کند. برای اجرای این روش، یک پروب نوری ساخته شده و در داخل لوله گاز قرار می‌گیرد. این بخش، با تولید دو پرتو لیزر در فواصل مشخص، دو شکل موج را در دو کانال متفاوت تولید می‌کند. سپس، بخش الکترونیکی سیستم که بر اساس محاسبه همبستگی بین دو کانال مذکور کار می‌کند، با استفاده از الگوریتم‌های ساختاری و آماری، سرعت جریان گاز را محاسبه خواهد کرد.

مغناطیسی، عدم اثرگذاری بر مواد قابل اشتعال مانند گاز طبیعی، دقت بالا، عدم حساسیت زیاد به عوامل جوی و بسیاری موارد دیگر اشاره کرد.

روشهای نوری اندازه‌گیری جریان گاز یا OFM⁴، بر اساس اندازه‌گیری سرعت جریان گاز، که از طریق آن می‌توان جریان حجمی آن را بدست آورد، کار می‌کنند. این روشها را می‌توان به دو دسته LDV⁵ و اندازه‌گیری بر اساس زمان گذر ذرات تقسیم کرد. روش آخری را می‌توان در دسته‌های L2F⁶ و فلومترهایی که بر اساس جذب ذرات کار می‌کنند، قرارداد.

این مقاله، نتایج پیاده‌سازی یک روش بر اساس تکنیک L2F را ارائه خواهد کرد. همچنین، نشان داده خواهد شد که با استفاده از تولید پالسها به روش فوق و پیاده‌سازی یک الگوریتم سریع جهت پردازش پالسها، می‌توان فلوی گاز طبیعی را با دقت بالایی اندازه‌گیری کرد. در عین حال، نتایج تجربی ساخت یک دستگاه فلومتر نوری که با همکاری گروههای مخابرات و الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق پژوهشگاه نیرو انجام گرفته است نیز، ارائه خواهند شد.

ادامه مقاله به صورت زیر پیگیری خواهد شد: بخش دوم، روش L2F را شرح داده و تئوری اندازه‌گیری فلوی گاز با استفاده از این تکنیک را مطرح خواهد کرد. بخش سوم، الگوریتم ارائه شده و تکنیکهای آماری و ساختاری بر این اساس را تشریح خواهد کرد. در نهایت، در بخش چهارم، نتایج بدست آمده در پیاده‌سازی‌های نرم افزاری و سخت افزاری ارائه خواهند شد.

۲- مباحث تئوری و عملی روش L2F

اساس کار فلومتر نوری در روش اندازه‌گیری سرعت سیال با تکنیک L2F، در شکل ۱ نشان داده شده است. ذراتی که همراه با گاز طبیعی از درون لوله و از مقابل پرتوهای لیزر عبور می‌کنند، باعث پراکندگی این پرتوها و دریافت آنها

که بین مدیران نیروگاهها و مسئولان شرکت گاز درباره میزان دقیق گاز مصرفی نیروگاهها وجود دارد، مسئولین نیروگاهها را بر آن داشته است تا معیار مستقلی جهت بررسی میزان گاز مصرفی خود داشته باشند. به همین جهت، دستگاه فلومتر به عنوان ابزاری جهت نیل به این هدف، مورد توجه قرار گرفته است.

روشهای مختلفی جهت اندازه‌گیری فلوی گاز مطرح شده‌اند که بیشتر آنها بر اساس تکنولوژیهای سستی از جمله استفاده از امواج فراصوتی^۱ می‌باشند [۱ و ۲]. روشهای فراصوتی بر اساس انتقال امواج فیزیکی از فضای داخلی لوله گاز و اندازه‌گیری فرکانس یا زمان گذر این امواج در مسیر مربوطه کار می‌کنند [۱ و ۳]. از این روشها، از چندین دهه قبل تاکنون، استفاده‌های وسیعی شده است. اگر چه، همه تکنیکهایی که بر اساس این تکنولوژی کار می‌کنند، از یک سری ضعفهای ذاتی رنج می‌برند. اولاً، تغییرات دمای گاز، اندازه‌گیری و تشخیص پالسهای فراصوتی در این ادوات را با مشکل مواجه می‌سازد. ثانیاً، به علت عدم تطبیق امپدانس صوتی بین گاز و ترانسدوسرها^۲ و روی هم افتادن^۳ امواج بازگشتی و سیگنال اصلی، تشخیص و پردازش پالسها در این روشها، با مشکل مواجه می‌شود. سومین و مهمترین عامل که باعث کاهش استفاده از فلومترهای فراصوتی شده است، عدم توانایی این ادوات در اندازه‌گیری جریانهای پر سرعت می‌باشد که این ناتوانی، از محدودیتهای تکنولوژیکی چنین روشهایی ناشی می‌شود [۱].

بنابراین، با توجه به نیاز به روش با دقت و رنج اندازه‌گیری وسیعتر، تکنولوژی نوری بکار گرفته شد. روشهای نوری سابقه چندانی در این زمینه ندارند و اختراعات ثبت شده در این زمینه، حداکثر به ۵ سال قبل باز می‌گردند. با این همه، ویژگیهای منحصر بفردی که در این روشها وجود دارند، باعث گسترش سریع استفاده از آنها شده است. از جمله این ویژگیها، می‌توان به عدم حساسیت به میدانهای الکتریکی و

⁴ Optical Flow Metering

⁵ Laser Doppler Velocimetry

⁶ Laser Two Focus

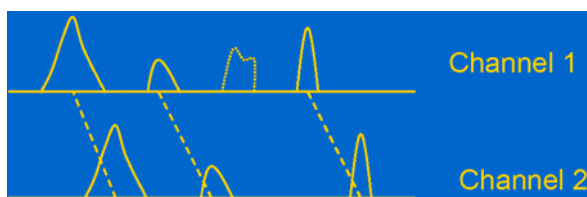
¹ Ultrasonic

² Transducers

³ Overlapping

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

بر اساس همین فاصله زمانی می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ممکن است پالسهای غیر مشترکی در دو کانال وجود داشته باشند که این پدیده در اثر تنافر مسیر حرکت ذرات با صفحه مفروض تشکیل شده توسط دو پرتو لیزر، بوقوع می‌پیوندد. بنابراین، این گونه پالسها، نامطلوب بوده و الگوریتم پردازشی مورد استفاده، بایستی این قابلیت را داشته باشد تا اثر این گونه پالسها را خنثی نماید.



شکل ۲- نمایش شکل موجهای نمادین تولید شده به روش L2F در دو کانال

تعداد ذراتی که به طور موثر دو پرتو لیزر را قطع می‌کنند (N)، به عوامل زیر بستگی خواهد داشت [۶]:

- کیفیت ادوات و دقت سیستم نوری از جمله میزان توانایی و دقت آشکارسازهای نوری
- خلوص گاز جاری در لوله
- میزان سرعت و آشفتگی^۱ جریان گاز درون لوله

کاهش سرعت گاز، تعداد ذرات قابل تشخیص در روش L2F را کاهش می‌دهد [۷]. در یک سرعت کمینه معین (V_{min})، OFM قادر نخواهد بود فلوی گاز را از حرکت تصادفی ذرات در لوله، تمییز دهد. میزان حداقل سرعت قابل اندازه‌گیری گاز را تعیین کرده و یکی از پارامترهای اصلی در تعیین رنج کار دستگاه فلومتر می‌باشد. این رنج با عنوان Turn-down Ratio شناخته می‌شود. در فلومترهای نوری، این پارامتر در حدود ۱۰۰۰ می‌باشد [۸].

۳- الگوریتم اندازه‌گیری فلوی گاز

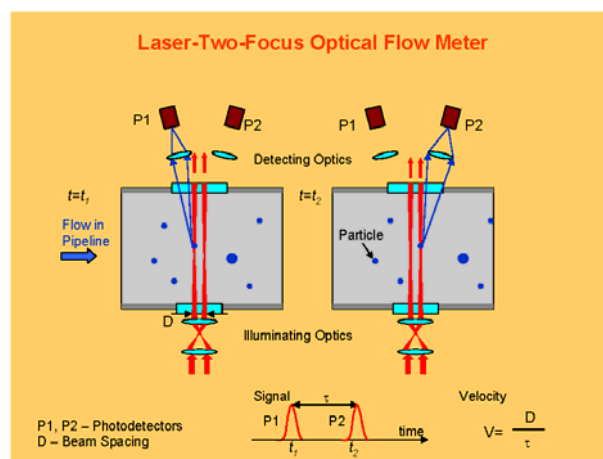
اگرچه در نگاه اول، پروسه پردازش و تئوری کار در روش L2F، مشکل به نظر نمی‌رسد، اما به علت عدم قطعیت سیستم

توسط آشکارسازهای نوری (P_1 و P_2) می‌شوند. بر طبق شکل ۱، اگر فرض شود ذره‌ای با مسیر حرکت مشخص، ابتدا پرتو اول و سپس پرتو دوم را قطع می‌کند، با استفاده از فاصله زمانی بین پالسهایی که در آشکارسازهای نوری دو کانال در اثر این پدیده ایجاد می‌شود (این پارامتر با τ نشان داده می‌شود)، می‌توان طبق رابطه (۱) سرعت ذره را بدست آورد.

$$V = S/\tau \quad (1)$$

در رابطه فوق، S فاصله بین دو پرتو لیزر و V، سرعت حرکت ذره می‌باشد.

فرکانس و شکل پالسهای تولید شده بر اثر پدیده پراکنندگی پرتوهای لیزر، به حرکت و مدت زمان عبور ذره از مقابل این پرتوها بستگی خواهد داشت [۵]. در اینجا، فرکانس پالس بوسیله پارامترهای زمانی آن تفسیر خواهد شد. برای مثال، برای ذره‌ای با سرعت حرکت 100 m/s و با قطر پرتو لیزر $10 \mu\text{m}$ ، پالسی با مدت زمانی حدود 100 ns تولید خواهد شد که اکثر انرژی این پالس در اطراف فرکانس 10 MHz متمرکز شده است.

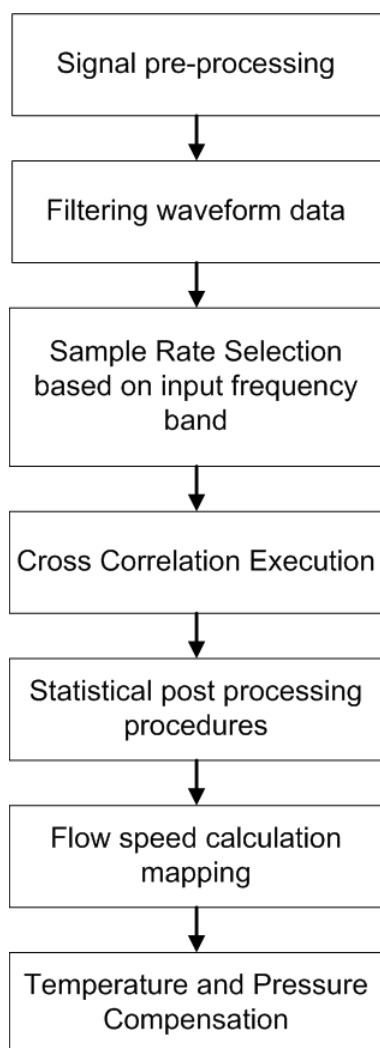


شکل ۱- نمایش اصول کار اندازه‌گیری فلوی سیال بر اساس

روش L2F

شکل ۲ موجهایی را که جهت نشان دادن مفهوم روش L2F و اندازه‌گیری فلوی سیال بر اساس آن تهیه شده است، نشان می‌دهد. بر اساس میزان سرعت ذرات گاز و فاصله بین دو پرتو لیزر، دو شکل موج با فاصله زمانی متناسب در دو کانال ایجاد خواهد شد. هدف در اینجا، رسیدن به میزان فلوی گاز

¹Turbulence



شکل ۳- فلوجارت الگوریتم اندازه‌گیری فلوی گاز بر اساس

تکنیک محاسبه همبستگی متقابل در روش L2F

یکی از مهمترین مراحل در بخش پیش‌پردازش، تشخیص قله^۲ سیگنال است. در اندازه‌گیری میزان فلوی گاز، تنها قله‌های سیگنال، که ناشی از پراکنش پرتوهای لیزر توسط ذرات همراه گاز می‌باشند، مهم هستند. بنابراین، لازم نیست برای تشخیص این قله‌ها، نرخ نمونه‌برداری افزایش یابد. به جای آن، می‌توان از یک مدار PD^۳ جهت افزایش عرض پالسها و بدست آوردن مکان قله‌های سیگنال با یک نرخ نمونه‌برداری پایین‌تر، استفاده کرد. مدار پیشنهادی، همراه با نتایج شبیه‌سازی، در شکل ۴ آورده شده است.

نوری و تغییرات طبیعی در شدت جریان گاز، پیاده‌سازی مناسب و پایدار الگوریتم برای دستیابی به نتایج قابل اطمینان پیچیده خواهد بود. الگوریتم پیشنهادی، بر اساس تکنیک همبستگی متقابل^۱ [۹] بین سیگنالهای دریافتی از سیستم نوری، کار می‌کند. چون سیگنالهای دریافتی، حقیقی هستند، نتایج حاصل از اعمال تکنیک همبستگی متقابل، یک رشته متقارن خواهد بود و می‌توان فقط از نیمی از این داده‌ها استفاده کرد. بنابراین، اگر سیگنالهای رسیده از دو کانال را x و y فرض کنیم، همبستگی متقابل این دو سیگنال از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$R_{xy}(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} x_{n+m} y_n \quad (2)$$

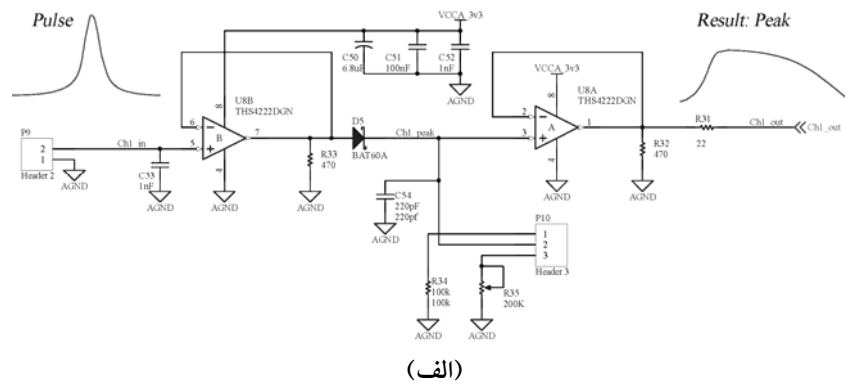
$$m = 1, 2, \dots, 2N-1$$

در رابطه فوق، N ، تعداد نمونه‌ها در هر فریم است که توسط ADC نمونه‌برداری می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود، طول نتیجه حاصل از محاسبه همبستگی دو سیگنال فوق، ۲ برابر طول سیگنالها خواهد بود. اما، همانطور که قبلاً اشاره شد، تنها نیمی از این داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

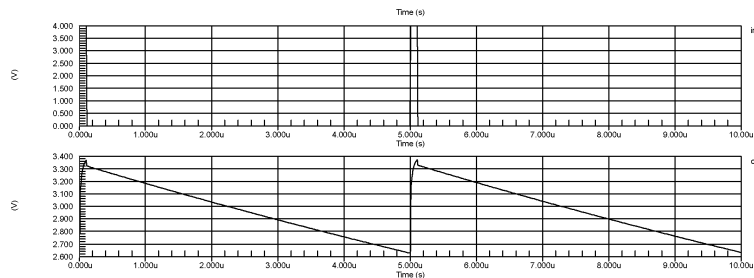
در شکل ۳، فلوجارت کلی الگوریتم پیاده‌سازی بر اساس تکنیک همبستگی متقابل دو سیگنال، آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نرخ نمونه‌برداری از سیگنال ورودی، متغیر بوده و با توجه به فرکانس سیگنال ورودی تعیین می‌شود. از آنجا که سیگنالهای حاصل از پراکندگی پرتوهای لیزر توسط ذرات گاز، یک سری پالس طبیعی می‌باشند، دارای پهنای باند باریک بوده و شکل موج آنها، گوسی شکل می‌باشد [۱۰]. بنابراین، در مرحله پیش‌پردازش، در قدم اول، توسط یک فیلتر مناسب، می‌توان اطلاعاتی از فرکانس و پهنای باند سیگنال بدست آورده و سپس، نرخ نمونه‌برداری را با توجه به فرکانس سیگنال تعیین کرد. به عنوان مثال، با کم شدن فرکانس سیگنال، نرخ نمونه‌برداری کاهش می‌یابد. این کار باعث می‌شود که برای یک طول زمان مشخص از سیگنال، همیشه تعداد نمونه ثابتی در هر فریم وجود داشته باشد.

^۲ Peak^۳ Peak Detector^۱ Cross correlation

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



(الف)



(ب)

شکل ۴- الف- یک نمونه مدار پیشنهادی جهت آشکارسازی قله‌های پالسهای ورودی در فلومتر نوری؛

ب- نتایج اعمال پالسهای گوسی باریک به مدار بخش (الف)

چون از هر دو کانال به طور همزمان نمونه‌برداری می‌شود، فاکتورهای ایجاد خطا در خطای تأخیر و خطای دامنه برای هر دو کانال یکسان خواهد بود. بنابراین، چون این خطاها برای هر دو کانال و در یک جهت اتفاق می‌افتند، اثر آن بر نتیجه کمتر خواهد بود. دامنه پالس در اینجا خیلی اهمیت ندارد و تأثیر آن، توسط نرمالیزه کردن سیگنال‌ها حذف می‌شود. اما در هر حال، حداکثر خطای اندازه‌گیری دامنه (e_a) با نرخ نمونه‌برداری ذکر شده در رابطه (۳) نشان داده شده است. طبق شکل ۴-الف، مقدار خازن برابر 220pf و مقدار مقاومت 100kΩ در نظر گرفته شده است.

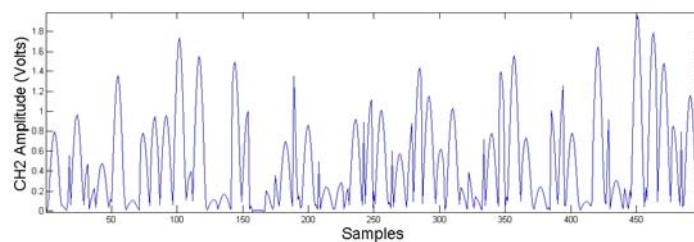
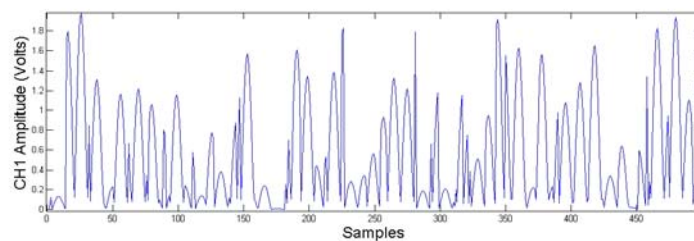
$$e_p = 1 - e^{-\frac{t}{RC}} = 0.0036 \text{ or } 0.36\% \quad (3)$$

یک ADC با تفکیک‌پذیری مؤثر ۹ بیت برای این کار مناسب خواهد بود (چنین ADC دارای قدرت تفکیک‌پذیری 2⁻⁹ یا 0.19% خواهد بود). در اینجا، از یک ADC ۱۲ بیتی استفاده خواهد شد. بنابراین، ۳ بیت کم‌ارزش‌تر، نادیده گرفته خواهند شد.

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، خازن با ثابت زمانی بسیار کم (از طریق یک تقویت‌کننده عملیاتی با پهنای باند کاری وسیع و یک دیود شاتکی با افت ولتاژ پایین و زمان بازپایی^۱ بسیار کوتاه) در زمان صعود پالس ورودی، شارژ می‌شود. در زمان نزول پالس، دیود خاموش می‌شود و خازن از طریق مقاومت بزرگی (در حدود 200kΩ) دشارژ می‌شود. این تکنیک، باعث افزایش عرض پالس بدون از دست رفتن دامنه و زمان اتفاق افتادن قله می‌شود. اگرچه، یک خطای جزئی به علت نرخ نمونه‌برداری پایین اتفاق می‌افتد. بالاترین خطا در تشخیص زمان اتفاق افتادن قله پالس، بستگی به حداقل زمان پاسخ‌دهی ADC مورد استفاده دارد. با توجه به استفاده از یک ADC با نرخ نمونه‌برداری 12.5 MSPS و داشتن حداقل تأخیر سیگنال 10μs (در فلوی گاز 100 m/s) در دو کانال، حداکثر خطا در اندازه‌گیری زمان، 0.8% خواهد بود.

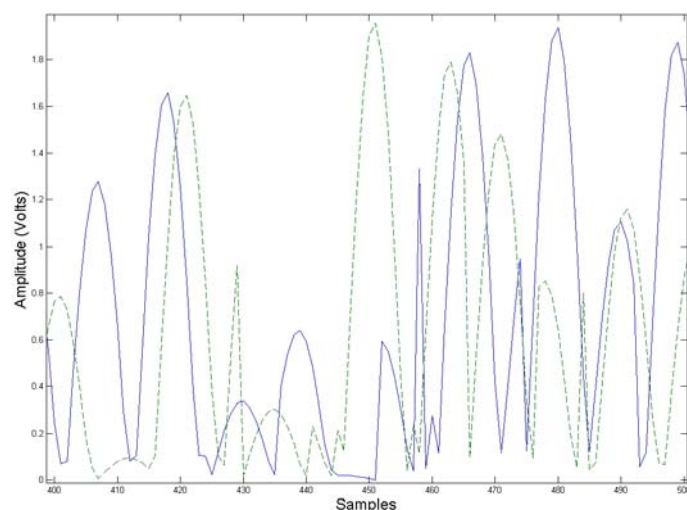
¹ Recovery time

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۵- شکل موج تولید شده توسط دستگاه AM300

(در این شکل، کانال ۲ دارای ۳۷ نمونه تاخیر نسبت به کانال ۱ می‌باشد.)



شکل ۶- قطعه‌ای از شکل موج‌های هم‌تراز شده در دو کانال

بصورت قابل تفسیر در آورد. این نگاشت را می‌توان توسط یک lookup table پیاده‌سازی کرد. در نهایت، عوامل محیطی نیز باید در نظر گرفته شوند. فشار و دما در رنج‌های طبیعی، اثر ناچیز و در رنج‌های وسیعتر، اثر قابل توجه‌تری بر روی سیستم‌های OFM خواهند داشت. بنابراین، هر سیستم OFM باید دارای سنسور دما و فشار باشد تا بتوان اثرات ناشی از این عوامل را جبران کرد. آزمایش‌های عملی نشان داده‌اند که نتایج سیستم‌های OFM در رنج دمایی صنعتی پایدار هستند [11].

از دیگر منابع خطا در اندازه‌گیری، وجود اغتشاش و حرکت‌های غیر منظم ذرات گاز، مخصوصاً در سرعت‌های پایین است که اجتناب‌ناپذیر خواهند بود. بنابراین، یک آنالیز آماری از داده‌های بدست آمده، لازم است. بهترین روش، استفاده از تابع میانه جهت حذف اثر نتایج پراکنده است که نتیجه بهتری از تابع میانگین خواهد داد. فاصله زمانی بین دو سیگنال، که با استفاده از الگوریتم بحث شده به دست می‌آید، مستقیماً میزان فلوی گاز را نشان نمی‌دهد. بنابراین، بایستی توسط یک نگاشت، نتایج را

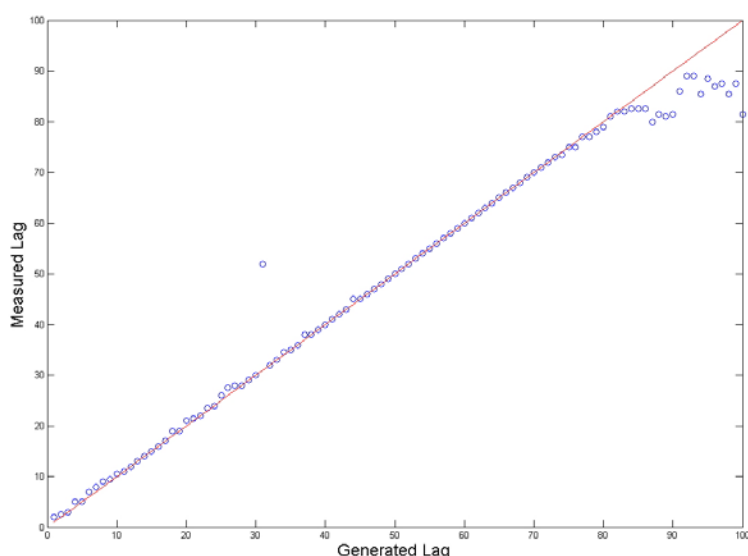
۴- نتایج تجربی

مقاله حاضر، نتایج طراحی و ساخت دستگاه فلومتر نوری جهت نیروگاه شهید منتظری اصفهان را ارائه می‌کند. طبیعتاً، در مراحل اولیه پروژه، به رکوردهای واقعی دسترسی نداشته و بایستی تستها بر اساس داده‌های مصنوعی انجام گیرد. بر همین اساس، در پروژه مذکور از دستگاه AM300 که یک Function Generator با قابلیت‌های منحصر بفردی همچون امکان برقراری ارتباط با نرم‌افزار Matlab می‌باشد، استفاده شد. در واقع این دستگاه، جایگزین بخش نوری دستگاه شده و پالسهای لازم توسط آن تولید می‌شوند. چپش تست بر این اساس و با توجه به نیازهای روش L2F جهت تولید پالس در دو کانال برقرار شد. نمونه‌ای از شکل موجهای تولید شده به این روش، در شکل ۵ نشان داده شده است. در تولید این پالسها، تمامی پارامترهای تصادفی مانند تغییرات دامنه، عرض پالس و شیفتهای زمانی پالسها در دو کانال در نظر گرفته شده‌اند تا داده‌ها هر چه بیشتر، واقعی باشند. در اینجا، حداکثر تلرانس دامنه پالسها در دو کانال، ۳۰ درصد و حداکثر تلرانس عرض و شیفتهای پالسها، ۱۰ درصد در نظر گرفته شده‌اند.

سیگنالهای تولید شده به روش مذکور، توسط بخش الکترونیکی سیستم پردازش می‌شوند. این بخش، از یک پردازنده دیجیتال (DSP) با قدرت پردازش 150 MIPS ساخت شرکت تگزاس بهره می‌برد. این پردازنده دارای ۱۶ کانال ADC می‌باشد که دو کانال از این تعداد، جهت دریافت پالسهای آنالوگ در سیستم نوری کفایت خواهند کرد. جهت بررسی دقت و تکرارپذیری الگوریتم ارائه شده، پالسهای تولید شده توسط AM300 که با تاخیرهای مختلف تولید شده بودند (۱ تا ۱۰۰ درصد نسبت به طول رشته داده در هر فریم)، به بخش پردازشگر فلومتر داده شدند. شکل ۶ یک نمونه از شکل موجهای هم‌تراز شده در دو کانال را که با استفاده از الگوریتم پردازشی پیاده‌سازی شده بدست آمده است، نشان می‌دهد. همچنین، در شکل ۷، نتیجه محاسبه فاصله بین شکل موجها آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، الگوریتم قادر است فلوی موردنظر را تا میزان ۸۵ درصد تاخیر به درستی اندازه‌گیری کند. در عمل نیز، طول رشته داده طوری در نظر گرفته می‌شود که تاخیر در یک فریم در دو کانال نسبت به همدیگر، از ۵۰ درصد افزایش نیابد.

در نهایت، بر اساس داده‌های شکل ۷، حداکثر خطای

دستگاه فلومتر، ۲٪ خواهد بود.



شکل ۷- مقایسه بین تاخیرهای محاسبه شده (نقاط) توسط فلومتر و تاخیرهای تولید شده (خطوط)

TRANSACTIONS ON
INSTRUMENTATION AND
MEASUREMENT, VOL. 51, NO. 4,
AUGUST 2002

- [4]. J. Parker, et. al., Flare Metering with Optics: From Blue-Sky Technology to the Real World, 25TH INTERNATIONAL NORTH SEA FLOW MEASUREMENT WORKSHOP, October 16-19, 2007, Oslo, Norway
- [5]. Y. Minagawa, E. Okada, A Laser Two Focus Velocimeter with High Spatial Resolution Using Confocal Optical System, International Conference on industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1993.
- [6]. R. Schodl, On the extension of the range of applicability of LDA by means of the laser dual-focus (L2F) technique, Proceedings LDA-Symposium Copenhagen, pp.480-489, Skovlunde, Denmark, 1976.
- [7]. Smart, A.E. and Abbiss, J.B, Discrimination techniques for a highly accurate laser-sheet anemometer”, 7th Int. Conf. Photon Correlation Techniques and Applications Abbiss and Smart (eds) v. 1. OSA, pp.109-116, 1988.
- [8]. M. Azzazy, Development of an Optical Volumetric Flowmeter. Spectron Development Labs., Inc., Costa Mesa, CA. Final Report, 1990.
- [9]. M. Azzazy, Development of an Optical Volumetric Flowmeter. Spectron Development Labs., Inc., Costa Mesa, CA. Final Report, 1990.
- [10]. Y. Kodama, H. Sato, Effect of Gas-Flow Velocity and Discharge Current on Output Power in DC Axially Discharged Fast-Axial-Flow CO Laser, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 33, NO. 4, APRIL 1997
- [11]. PHOTON CONTROL Inc., Optical Flow Measurement Application Study, PTAC Technology Information Session, 2006

۵- نتیجه‌گیری

روشهای نوری، راه‌حل‌های تازه‌ای جهت اندازه‌گیری فلوی سیالات ارائه کرده‌اند. همانطوری که تحقیقات اخیر نشان داده‌اند، تکنیک‌های نوری در این زمینه، عملکرد بسیار مناسبی داشته‌اند و این قضیه، باعث کنار رفتن تدریجی فلومترهای فراصوتی شده است.

این مقاله، روشی را ارائه کرده است که براساس تکنیک پراکندگی پرتوهای لیزر (روش L2F) کار می‌کند. همچنین، الگوریتم نوینی جهت پردازش پالسهای تولید شده بر اساس روش فوق ارائه گردیده است که با استفاده از محاسبه سریع همبستگی متقابل در دو کانال داده، میزان فلوی گاز را محاسبه خواهد کرد.

علاوه بر این، یک سری تکنیکهای پیش‌پردازش و پس‌پردازش جهت افزایش دقت و تکرارپذیری سیستم بکار گرفته شده‌اند که شامل بر تکنیکهای سخت‌افزاری (مانند مدار تشخیص قله پالسها) و نرم‌افزاری (مانند پردازشهای آماری) می‌شوند.

نتایج، با استفاده از سخت‌افزار تهیه شده که بر اساس DSP کار می‌کند، بدست آمده‌اند. رنج فلوی قابل اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه ساخته شده تا 100 m/s بوده و حداکثر خطا در این رنج ۲٪ است.

۶- مراجع

- [1]. M. Kupnik, Adaptive Pulse Repetition Frequency Technique for an Ultrasonic Transit-Time Gas Flowmeter for Hot Pulsating Gases, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 6, NO. 4, AUGUST 2006
- [2]. M. Kupnik, Adaptive Pulse Repetition Frequency Technique for an Ultrasonic Transit-Time Gas Flowmeter for Hot Pulsating Gases, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 6, NO. 4, AUGUST 2006
- [3]. M. Niemann, V. Hans, Velocity-Dependent Characteristics of Modulated Ultrasonic Signal in Gas Flow, IEEE