



NAISL

Volume 2, Number 3, 2018

Pages: 15-27

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

Website: shaajournal.msrt.ir

## Technical Considerations for Sensors and Data logger Selection for Laboratory Measurements

Mohsen Davoudi\*

### Abstract

In this paper the technical considerations for sensors and data loggers have been studied. Instrumentation engineers design the measurement systems, so they know the technical issues that must be considered in choosing the sensors and data loggers. The scientists from other fields may have been confused while choosing the sensors and data loggers. The objective is to give a guide to the laboratory users to choose the right hardware and software for their specific measurement. Sensors and their connection to the data logger beside the correct configuration of the software will ensure the accurate measurement of the desired parameter. This paper emphasizes the laboratory measurements while the technical guides applies to the industrial measurements too.

### Key Words:

Datalogger,  
Sampling,  
Measurement,  
Monitoring,  
Laboratory Sensors

---

(\*) Corrospounding author

Member of the Faculty of Electrical and Control Department of Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

E-mail: davoudi@eng.ikiu.ac.ir

Tel: 09123838610

# بررسی نکات فنی در انتخاب حسگر و دیتالاگر مناسب برای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی



نشریه رویکردهای نوین در  
آزمایشگاه‌های علمی ایران  
سال دوم، شماره ۳، ۱۳۹۷  
صفحات ۲۷-۱۵  
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸  
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱۸-۲۵۸۸  
وبسایت: shaajournal.msrt.ir

محسن داودی\*

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های صورت گرفته در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی اندازه‌گیری مقادیر و ثبت و داده‌نگاری آن می‌باشد. این امر با توجه به پیشرفت‌های فن‌آوری شکل‌نویسی به خود گرفته و با استفاده از رایانه‌ها و ادوات نمونه‌برداری سرعت بالا و دقیق، کار ثبت داده‌ها<sup>۱</sup> به صورت اتوماتیک و با حداقل خطا صورت می‌پذیرد. از آنجا که حوزه دیتالاگینگ زیر مجموعه مهندسی ابزار دقیق (برق-کنترل) می‌باشد و کاربران آزمایشگاهی از سایر رشته‌ها ممکن است در انتخاب دیتالاگرها، اتصال حسگرها و یا تفسیر مقادیر حسگرها دچار سردرگمی شوند، این ضرورت احساس می‌شود که نکات فنی آن با زبانی ساده و کاربردی در اختیار کارشناسان و اساتید تمامی رشته‌ها قرار گیرد. این نوشتار به بررسی نکات فنی می‌پردازد که کاربران آزمایشگاهی بتوانند حسگر و دیتالاگر مناسب برای اندازه‌گیری صحیح پارامتر مورد نظر خود انتخاب نموده و به صورت صحیح متصل نمایند تا در نرم‌افزار داده‌های مورد نظر را ذخیره نمایند. فصل اول (مقدمه) این مقاله به معرفی دیتالاگرها و کاربردهای پرکاربرد، فصل دوم به معرفی نرم‌افزارهای کامپیوتری دیتالاگرها، فصل سوم و چهارم به معرفی حسگرهای مرسوم ولتاژی و جریانی (IEPE) آزمایشگاهی، فصل ششم نکات اتصال حسگر به دیتالاگرها و فصل آخر به نکات انتخاب دیتالاگر مناسب می‌پردازد.

## چکیده



محسن داودی

## واژگان کلیدی:

دیتالاگر،  
نمونه‌برداری،  
اندازه‌گیری،  
سنسورهای آزمایشگاهی،  
مانیتورینگ

(\*) مسئول مکاتبات.

۱. عضو هیات علمی گروه برق-کنترل دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

ایمیل: davoudi@eng.ikiu.ac.ir

تلفن: ۰۹۱۲۳۸۳۸۶۱۰

<sup>۱</sup> Data Logging

## ۱ مقدمه

- سخت‌افزار ذخیره‌سازی بلند مدت داده‌ها که می‌تواند کارت حافظه، حافظه فلش داخلی و یا رایانه باشد.
- نرم افزار دیتالاگر آزمایشگاهی که برای تحلیل، جمع‌آوری، آنالیز و نمایش داده‌ها است.
- کابل دیتالاگر که رابط بین دیتالاگر و کامپیوتر برای انتقال داده‌های ذخیره شده بر روی کامپیوتر است.

## ۱.۲ مراحل عملکرد دیتالاگر

- برداشت داده: این مرحله شامل حسگرها و سخت افزار دیتالاگر می‌باشد که برای تبدیل پدیده‌های فیزیکی به سیگنال‌های دیجیتال از آن استفاده می‌شود.

**تحلیل آنلاین:** این مرحله شامل کلیه تحلیل‌هایی است که شما می‌خواهید قبل از ذخیره داده‌ها انجام دهید. یک مثال ملموس از این نوع تحلیل، تبدیل ولتاژ اندازه‌گیری شده به واحدهای علمی بامعنی مانند درجه سانتی‌گراد می‌باشد. می‌توان این محاسبات پیچیده و فشرده‌سازی داده‌ها را قبل از ذخیره آن‌ها انجام داد. کنترل قسمتی از سیستم بر اساس اندازه‌گیری‌های فعلی قسمتی از تحلیل آنلاین است. تمامی نرم افزارهای دیتالاگر باید تبدیل داده‌های باینری به ولتاژ و تبدیل ولتاژ به واحدهای علمی را انجام دهند.

- **ذخیره‌سازی:** این مرحله شامل ذخیره داده‌های تحلیل شده در فرمت خاص فایل‌های مورد نظر می‌باشد.
- **تحلیل Off-line:** این مرحله شامل تحلیل‌هایی می‌باشد که بر روی داده‌های ذخیره شده انجام می‌شود. یک مثال ساده از تحلیل آفلاین، جستجوی یک داده خاص در داده‌های پیشین با داده‌های فشرده شده می‌باشد.

ثبت کننده داده یا دیتالاگر و یا داده بردار (ذخیره کننده سیگنال حسگر) وسیله‌ای است که داده‌های اندازه‌گیری شده توسط خود و یا توسط یک حسگر با دستگاه خارجی را در طول زمان ذخیره می‌کند. اکثر دیتالاگرها معمولا کوچک و قابل حمل بوده و کاربرد آزمایشگاهی و تست و اندازه‌گیری دارند [۱]. دیتالاگرها دارای یک حسگر بوده که داده پارامتر مورد نظر را اندازه‌گیری کرده و سپس در حافظه داخلی خود ذخیره می‌کنند. برخی از ثبت کننده‌های داده دارای نمایش‌گر بوده و می‌توان داده‌های ذخیره شده را در آن مشاهده کرد. دیتالاگرها معمولا از طریق رابط BSU یا Ethernet به کامپیوتر متصل شده و توسط نرم افزار مخصوص دیتالاگر می‌توان داده‌های اندازه‌گیری شده را بر روی کامپیوتر مشاهده و پردازش کرد [۲]. یکی از مزایای مهم استفاده از دیتالاگرها قابلیت جمع‌آوری ۲۴ ساعته اطلاعات است. دیتالاگرها معمولا به محض فعال‌سازی بدون مراقبت و نیاز به بازرسی و تعمیرات دوره‌ای رها شده تا در طول دوره مورد نظر اندازه‌گیری نموده و اطلاعات را ذخیره کند. این قابلیت اجازه می‌دهد تا شکلی جامع و دقیق از شرایط محیط تحت نظر مانند دمای هوا یا رطوبت بدست آید.

دیتالاگر آزمایشگاهی این کار را با استفاده از حسگرهای خارجی خود انجام می‌دهد. هم‌چنین شامل منبع تغذیه و حافظه داخلی است. داده‌هایی که دیتالاگر آزمایشگاهی ذخیره می‌کند می‌تواند شامل دما، جریان، مقاومت، ولتاژ و... می‌باشد. به صورت حرفه‌ای تر، دیتالاگرها سیگنال‌ها را به داده‌های باینری تبدیل می‌کند که این داده‌ها توسط برنامه‌های کامپیوتری تحلیل می‌شوند [۳].

در این مقاله به ساختار دیتالاگر و نکات فنی مربوط به انتخاب دیتالاگر مناسب برای کاربردهای آزمایشگاهی پرداخته می‌شود. بخش اول به ساختار و نحوه کار دیتالاگرها، فصل دوم به نرم افزارهای دیتالاگر، فصل سوم دیتالاگرهای آزمایشگاهی، فصل چهارم به تفاوت حسگرهای ولتاژی و جریانی IEPE، فصل پنجم به تطبیق امپدانس بین حسگر و دیتالاگر و فصل هفتم به انتخاب دیتالاگر مناسب می‌پردازد.

## ۱.۱ اجزای دیتالاگر

- سخت‌افزار دیتالاگر که سیگنال‌های موردنظر را به داده‌های دیجیتال تبدیل می‌کند و شامل حسگرها، مدارات بهبود سیگنال (مانند تقویت کننده و کاهنده‌های نویز) و مدارهای مبدل آنالوگ به دیجیتال و پردازش سیگنال و ایزولاتورها می‌باشد.



## ۱.۴ کاربرد دیتالاگر در آزمایشگاه‌های مهندسی عمران، مکانیک و مواد

در آزمایش‌های دروس استاتیک، مقاومت مصالح ۱ و مقاومت مصالح ۲ رشته‌های مهندسی عمران و مکانیک، می‌توان به آزمایش دستگاه یونیورسال ۵/۲ تنی اشاره کرد که دارای فک متحرک برای آزمایش کشش می‌باشد سیستم ثبت اطلاعات چهار کاناله دیجیتالی (دیتالاگر) در کنار دستگاه متصل شده است و با استفاده از نرم‌افزار مربوطه، اطلاعات بصورت نمودار هم ترسیم می‌شود. می‌توان برای بدست آوردن مقادیر دقیق کرنش نیز از حسگر کرنش سنج<sup>۲</sup> استفاده کرد. در نمونه‌های دیگر مثل کنترل عملیات خاکی و بتنی، آزمایشگاه‌های مقاومت مصالح، آزمایش‌های لرزه‌نگاری در آزمایشگاه‌های عمران و آزمایشگاه‌های کالیبراسیون رطوبت، دما، فشار، گشتاور، نیرو و ... دماسنج‌ها و انواع تجهیزات اندازه‌گیری دما مستعد رانش<sup>۴</sup> هستند، بنابراین کالیبراسیون دوره‌ای آن‌ها بسیار مهم است. کالیبراسیون دما علاوه بر تجهیزات مرجع مناسب و روش‌ها، نیازمند کارشناس کالیبراسیون خبره نیز هست تا بتواند درست‌ترین اندازه‌گیری را انجام دهد. حسگرهای دما با خط نشان‌ها و طول و ضخامت و فاصله بیان‌گر نحوه استفاده و اندازه‌گیری هستند. در برخی مواقع دیتالاگرها از ابزار مهم کالیبراسیون لوازم آزمایش گاهی به حساب می‌آیند.

## ۱.۵ دیتالاگر در آزمایشگاه تست عملکرد مبدل‌های حرارتی

از دیگر کاربرد دیتالاگر در آزمایشگاه تست عملکرد مبدل‌های حرارتی است. طراحی مبدل حرارتی صفحه‌ای فرآیندی پیچیده است. در میان اجزای مبدل حرارتی صفحه‌ای، طراحی حرارتی و هیدرولیکی صفحات مبدل پیچیده‌ترین و مهم‌ترین بخش است. پس از انجام تحلیل‌های متعدد CFD با استفاده کامپیوترهای پیشرفته (به منظور دستیابی به الگوی بهینه صفحه)، نمونه اولیه محصول ساخته می‌شود.

نمایش و گزارش‌گیری: این مرحله شامل ایجاد گزارش‌هایی می‌باشد که شما نیاز دارید تا داده‌های خود را نمایش دهید. هر چند می‌توان مستقیماً تحلیل‌های آنلاین را نمایش داد. این قابلیت ما را قادر می‌سازد تا داده‌های خود را هم‌زمان با جمع‌آوری و تحلیل آن‌ها، نظارت کرده و آن‌ها را نشان دهید.

## ۱.۳ کاربرد دیتالاگرها

پاره‌ای از کاربردهای صنعتی و آزمایشگاهی در زیر لیست شده‌اند. در ادامه به مواردی از کاربردها که نیاز به دقت بیشتر برای انتخاب دیتالاگر دارند پرداخته می‌شود.

- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات رطوبت و دمای محیط
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات هواشناسی (مانند سرعت و جهت باد، دما، رطوبت نسبی، تشعشعات خورشیدی)
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات فشار مخازن (مانند مخازن گاز)
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات سطح سیالات
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات آنالیزرها
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات ایستگاه‌های بدون مراقبت هیدروگرافی (مانند سطح آب، عمق آب، جریان آب، pH آب، رسانایی آب)
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات ترافیک جاده
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات مانیتورینگ محیط زیست (مانند تحقیقات حیات وحش)
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات مانیتورینگ خطوط لوله نفت و گاز (داده برداری از متغیرهای دما و فشار در طول خط لوله)
- دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات مانیتورینگ وضعیت رله در سیگنال‌دهی راه‌آهن

<sup>۲</sup>Data Logger

<sup>۳</sup> Strain gage

<sup>۴</sup>Drift



ج) **پهنای باند<sup>۵</sup> دیتالاگر:** بسته به فیلترهای طراحی شده در مسیر سیگنال آنالوگ ورودی‌های یک دیتالاگر و همچنین نرخ نمونه برداری (قضیه نایکوئیست)، پهنای باند یک دیتالاگر تعیین می‌گردد. پهنای باند دیتالاگر نایبست از پهنای باند حسگرها کم‌تر باشد.

د) **نوع حسگرهای پشتیبانی کننده:** معمولاً هر دیتالاگری حسگرها و مبدل‌های خاصی را پشتیبانی می‌کند. مثلاً یک دیتالاگر ممکن است تنها قادر به پشتیبانی حسگرهای حرارتی RTD باشد ولی قادر به پشتیبانی ترموکوپل‌ها نباشد. عموماً مدارهای ورودی‌های ولتاژی، جریانی، IEPE و مقاومتی در دیتالاگرها تعبیه می‌گردد.

ه) **پردازش داده‌های جمع‌آوری شده:** معمولاً هر دیتالاگر مجهز به یک نرم‌افزار است که امکان اعمال تنظیمات آن و مشاهده نمودارهای بدست آمده از حسگرها را حین نمونه برداری ممکن می‌کند.

و) **مدت زمان ثبت اطلاعات:** یک پارامتر اساسی در سیستم‌های دیتالاگر قابلیت ثبت اطلاعات برای مدت زمانی طولانی مثل چندین سال است. برای دستیابی به این هدف لازم است سیستم‌های دیتالاگر دارای چیپ‌ها و ادوات ذخیره‌سازی داده در حجم‌های بالا نظیر آی‌سی‌های فلش و SD Card و مصرف انرژی بسیار کم باشند و یا اینکه قابلیت ارسال داده به مدت نامحدود به کامپیوتر را داشته باشند تا اطلاعات در فایل‌های کامپیوتر ذخیره گردد.

## ۲. نرم‌افزارهای دیتالاگرها

معمولاً شرکت‌های تولیدکننده دیتالاگر نرم‌افزار مخصوص به خود را در کنار محصول عرضه می‌کنند. چند نمونه آن شامل موارد زیر می‌باشد:

MADGETECH DATA LOGGER, HOBOWare Pro, IMADA SW-1W, National Instruments LabVIEW, MATLAB, intelli-Co Measural, ... [4,5,6]

<sup>۵</sup>Sample rate

<sup>۶</sup>Bandwidth

سپس این نمونه در آزمایشگاه تحت آزمون‌های متعدد قرار می‌گیرد تا پارامترهای عملکردی آن به صورت تجربی استخراج گردد. این پارامترها برای TGT Co بسیار حیاتی است چراکه اساس نرم‌افزار طراحی مبدل‌های حرارتی را تشکیل داده و به کمک آن انجام محاسبات انتقال حرارت و افت فشار میسر می‌شود. ازین رو برای جمع‌آوری این داده‌ها از دیتالاگر استفاده می‌شود.

## ۱.۶ دیتالاگر در آزمایشگاه محیط زیست

در آزمایشگاه‌های مبارزه با آفت برای اندازه‌گیری لحظه‌ای شرایط ماده مورد نظر مانند رطوبت و مواد اکسید شده و موجود در آن از دیتالاگرها استفاده می‌شود. در محیط آزمایشگاه برای جلوگیری از سیم‌کشی متعدد و در جهت حفظ دما و رطوبت و شرایط مربوط به هر آزمایشگاه می‌توان مانند شکل ۱ از دیتالاگرهای بی‌سیم استفاده کرد [۴].



شکل ۱: یک نمونه از دیتالاگرهای بی‌سیم (Wi-Fi)

## ۱.۷ مشخصات فنی دیتالاگرها

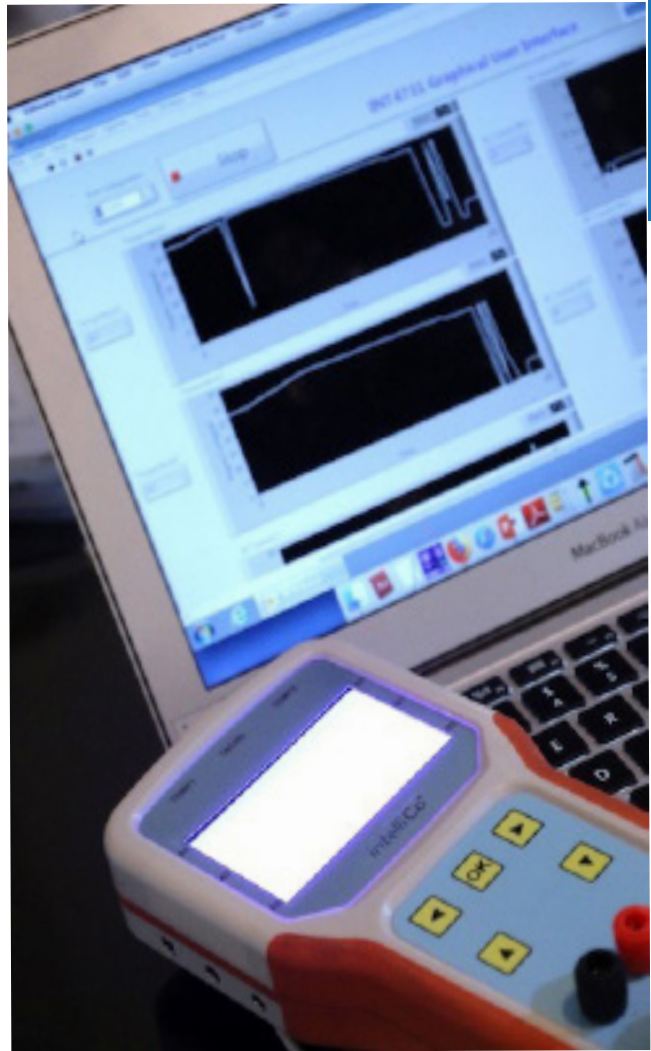
الف) **تعداد کانال‌ها:** تعداد کانال‌ها بیانگر تعداد حسگرها و مبدل‌هایی است که هم‌زمان قابل اتصال به دیتالاگر هستند.

ب) **نرخ نمونه برداری:** این عدد نشان دهنده تعداد دفعاتی است که دیتالاگر داده‌های هر حسگر را خوانده و به کامپیوتر یا حافظه منتقل می‌کند. برای مثال وقتی گفته می‌شود یک دیتالاگر دارای فرکانس نمونه برداری ۳۰۰ در ثانیه است به این معنی است که در هر یک سی‌صدم ثانیه داده‌های بدست آمده از حسگرها به کامپیوتر منتقل می‌شود.



### ۳. دیتالاگرها آزمایشگاهی

در بسیاری از دیتالاگرها حتی اگر ساخت شرکت‌های مختلفی باشند، امکان مانیتورینگ و ذخیره داده توسط نرم‌افزارهای LabVIEW و MATLAB که عمومیت بیشتری دارند فراهم می‌باشد که به دلیل آشنایی بیشتر و آموزش‌های موجود این نرم‌افزارها بهتر از نرم‌افزارهای اختصاصی می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲: یک نمونه از دیتالاگرهای دما که خروجی را به صورت آنلاین در نمایشگر روی دیتالاگر و در نرم‌افزار لب ویو نمایش می‌دهد [۱]

دیتالاگرهای آزمایشگاهی یکی از تجهیزات مهم آزمایشگاهی در تمام آزمایشگاه‌ها می‌باشد. به طور مثال کنترل دمای یخچال‌های آزمایشگاهی و ثابت نگه داشتن مقدار دمای آن‌ها بسیار با اهمیت است و در صورتی که به دلایلی چون اختلال در عملکرد یخچال، خرابی ترموستات و یا حتی ایجاد اختلال در برق دستگاه مقدار دمای یخچال از مقدار مورد نظر بیشتر شود، موجب ضرر و زیان‌های جبران ناپذیری خواهد شد. ثابت نگه داشتن میزان رطوبت و دمای محیط اصلی آزمایشگاه نیز از کاربردهای مهمی است که دیتالاگرها موظف به انجام آن هستند. شیمیدان‌ها در آزمایشگاه‌ها از آن‌ها برای ذخیره داده‌های دما، pH و فشار آزمایش‌هایشان استفاده می‌کنند. مهندسیین طراح برای ذخیره مقادیر بهره‌وری مانند لرزش، دما و میزان شارژ باتری از دیتالاگرها استفاده می‌کنند تا طراحی محصولات‌شان را ارزیابی نمایند. مهندسیین معدن از آن‌ها برای اندازه‌گیری کشش و بار بر روی پل‌ها در طول زمان استفاده می‌کنند تا میزان امنیت پروژه را به دست آورند. زمین شناسان از دیتالاگرها برای تخمین آرایش معدنی محل در هنگام حفاری برای استخراج نفت استفاده می‌نمایند. از دیگر کاربردهای آزمایشگاهی می‌توان به استریلیزه کردن، کنترل دارویی، ذخیره داده‌های سطح آب، عمق آب، جریان آب در آزمایشگاه آب، ذخیره خودکار رطوبت خاک در آزمایشگاه خاک، ذخیره نمودار بارگذاری الکتریکی، کنترل واکسیناسیون اشاره کرد. سه مثال از حسگرهای مورد نیاز برای کاربردهای متفاوت به شرح زیر می‌باشد:

#### ۳.۱ حسگر دما

حسگرهای حرارت را می‌توان بطور کلی به دو گروه تماسی و غیر تماسی تقسیم کرد. حسگر تماسی<sup>۶</sup> برای اندازه‌گیری دمای محیط در واقع دمای خودش را را اندازه‌گیری می‌کند. با تماس این حسگر به شیء تحت کنترل یا قرار گرفتن آن در محیط تحت اندازه‌گیری، تعادل گرمایی بین حسگر و محیط ایجاد می‌شود. در این حالت جریان گرما<sup>۸</sup> بین محیط و حسگر وجود ندارد. در حسگرهای حرارتی غیر تماسی آنچه سنجیده می‌شود توان حرارتی مادون قرمز یا نوری متصاعد شده‌ای است که از یک سطح (یا جسم) با مساحت (یا حجم) مشخص یا قابل محاسبه دریافت می‌گردد. علاوه بر موارد فوق می‌توان به میکرو ترموفیوها و محافظ‌های حرارتی نیمه هادی نیز اشاره کرد.

<sup>۶</sup>Contact Sensor

<sup>۸</sup>Heat Flow

### ۳.۲ حسگر فشار

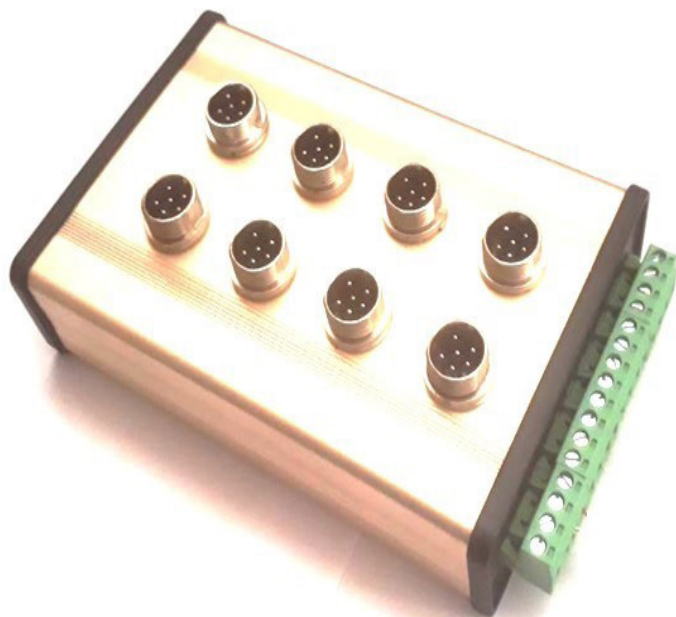
حسگر فشار یک دستگاه برای اندازه‌گیری فشار گازها و یا مایعات است. فشار عبارت از نیروی مورد نیاز برای جلوگیری از گسترش مایع است و معمولاً تحت عنوان نیروی هر واحد سطح بیان شده است. حسگر فشار معمولاً به عنوان یک مبدل عمل کرده و سیگنالی به عنوان ساختاری از فشار تحمیل شده به وجود می‌آورد.

• **حسگر فشار مطلق<sup>۱۱</sup>:** این حسگر فشار نسبت به خلاء حساس است.

• **حسگر سنجش فشار نسبت به اتمسفر:** این حسگر فشار را نسبت به فشار اتمسفر اندازه‌گیری می‌کند. فشار سنج تایر مثالی از اندازه‌گیری فشار سنج است. هنگامی که صفر را نشان می‌دهد فشاری که اندازه‌گیری می‌کند مانند فشار فراگیر محیط می‌باشد.

• **حسگر فشار خلاء:** این اصطلاح باعث سردرگمی می‌باشد. این ممکن است برای توصیف حسگری باشد که اندازه‌گیری فشار زیر فشار اتمسفر را انجام می‌دهد و تفاوت بین فشار کم و فشار اتمسفر (یعنی فشار سنج منفی) را نشان می‌دهد، اما ممکن است برای توصیف حسگری که فشار کم را نسبت به خلاء کامل اندازه‌گیری می‌کند نیز، استفاده گردد.

علاوه بر موارد فوق می‌توان به میکروترموپوزها و محافظ‌های حرارتی نیمه هادی نیز اشاره کرد. یک قطع‌کننده حرارتی از نوع ترموفیوز در بسیاری از مدارهای مجتمع مدرن، مادربردها، و سیستم‌های پیشرفته الکترونیکی باعث بالاتر رفتن حفاظت چیپ‌ها، CPUها و سایر اجزای گران قیمت آن‌ها در برابر دمای بالا می‌شود. حسگرهای حرارتی فیلم ضخیم، Thermo MEMS یا حسگرهای میکروالکترومکانیکی حرارتی، و حسگرهای حرارتی پسیو موج سطحی<sup>۹</sup> یا بطور اختصار SAW، نیز از انواع حسگرهای تماسی بوده که امروزه کاربرد وسیعی در اندازه‌گیری و کنترل دمای پروسه دارند. هرچند هنوز بکارگیری این گروه از حسگرها در صنعت به فراگیری RTDها<sup>۱۰</sup> و ترموکوپل‌ها نرسیده است. RTD در واقع یک مقاومت با ضریب دمایی مثبت بوده که با تغییرات دما میزان مقاومت آن به صورت کاملاً خطی تغییر می‌کند و ترموکوپل‌ها وسیله‌ای شامل دو فلز ناهمگون متصل به هم است که با گرم شدن محل اتصال آن‌ها، الکترونیسته تولید می‌شود. PT100 یک نوع از RTDها محسوب می‌شود که به دلیل اینکه در دمای ۰ درجه سانتی‌گراد مقدار مقاومت آن ۱۰۰ اهم بوده عدد ۱۰۰ را روبروی حروف PT قرار داده‌اند و PT هم مخفف پلاتینیوم می‌باشد. PT100 از معروف‌ترین و پرکاربردترین حسگرهای دمای مورد استفاده در صنعت می‌باشند. در شکل ۳ یک ماژول جمع‌آوری داده ۱۶ کاناله دما مشاهده می‌شود که ۸ کانال از ۱۶ کانال دما پذیرنده ۸ عدد ترموکوپل و ۸ ورودی دیگر پذیرنده حسگر دمای دیجیتالی یا RTD می‌باشند.



شکل ۳: دیتالاگر دمای ۸ کاناله RTD و ۸ کاناله ترموکوپل [۱]

<sup>۹</sup>Surface Acoustic Wave

<sup>۱۰</sup>Resistance Temperature Detector

<sup>۱۱</sup>Absolute

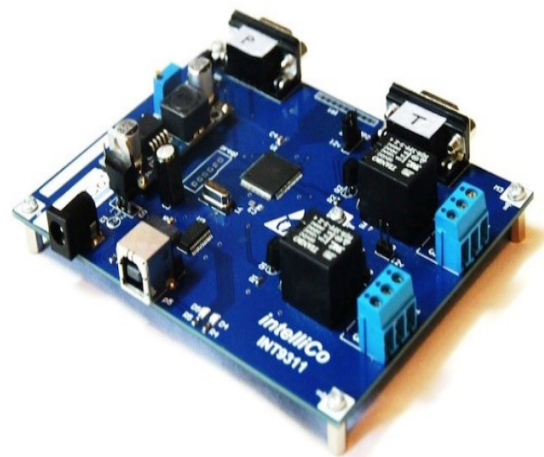
### ۳.۳ حسگر شتاب

شتاب‌سنج حسگری<sup>۱۲</sup> می‌باشد که شتاب مکانیکی را به سیگنال الکتریکی متناسب با آن تبدیل می‌کند. شتاب نرخ تغییرات سرعت در واحد زمان می‌باشد که می‌تواند ثابت (شتاب استاتیک) یا متغیر (شتاب دینامیک) و یا گذرا باشد. شتاب‌سنج دارای مدل‌های یک‌محوری و چندمحوری است که می‌توانند اندازه و جهت شتاب را به‌عنوان یک کمیت بُرداری اندازه‌گیری کنند [۷]. شتاب‌سنج برای اندازه‌گیری ارتعاش، شوک و ضربه به کار می‌رود؛ ولی می‌توان از این حسگر برای کاربردهای دیگری نیز استفاده کرد. به کمک انتگرال‌گیری از شتاب می‌توان سرعت و جابجایی را اندازه‌گیری نمود و با کمک شتاب استاتیک می‌توان زاویه قرارگیری محصول نسبت به محور جاذبه زمین و یا میزان تراز سطح را اندازه‌گیری نمود. امروزه شتاب‌سنج‌ها کاربردهای بسیار فراوانی در لوازم الکترونیکی و صنایع مختلف دارند. گنجاندن مقاومت‌های پیزو<sup>۱۳</sup>، که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد، در فنرها برای آشکارسازی تغییر شکل فنر و متعاقباً انحراف آن‌ها گزینه خوبی برای سنجش شتاب است.

خاصیت پیزوالکتریک در اواخر قرن ۱۹ توسط برادران کوری هنگام تحقیق روی برخی از مواد طبیعی از قبیل تورمالین و کوارتز کشف شده است. اعمال میدان الکتریکی به ماده‌ی پیزوالکتریک، باعث تغییر شکل ساختار ماده و در نتیجه تولید حرکت می‌شود، هم‌چنین بالعکس با اعمال نیرو روی آن، باعث ایجاد ولتاژ می‌شود. لذا از این خاصیت مواد پیزوالکتریک در ساخت عمل‌گرها و حسگرها استفاده می‌شود. کلمه Piezo از مشتقات کلمه یونانی Piezein گرفته شده است که به معنی فشار است. حسگرهای پیزوالکتریک برای محاسبه‌ی فشار دینامیکی، نیرو، کرنش، شتاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. حسگرهای پیزوالکتریک دارای فرکانس طبیعی بسیار بالایی می‌باشند و در بازه‌ی دامنه‌ی وسیعی خطی است. هم‌چنین تکنولوژی پیزوالکتریک به میدان الکترومغناطیسی و تابش حساس نیستند و در شرایط سخت قادر به اندازه‌گیری می‌باشند. موادی که در ساخت اینگونه حسگرها استفاده می‌شود، در دماهای بالا بسیار پایدار هستند بنابراین قادرند در دماهای بالا تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت کنند. حسگرهای پیزوالکتریک از نوع حسگرهای خودتحریک هستند و برای کار به هیچ منبع تغذیه‌ای احتیاج ندارند [۸،۹].

• حسگر فشار دیفرانسیل: این حسگر اندازه‌گیری تفاوت بین دو فشار را انجام می‌دهد که متصل به دو طرف حسگر هستند. حسگر اختلاف فشار برای اندازه‌گیری خواص، مانند بسیاری از فشار قطره در سراسر فیلتر روغن و یا فیلترهای هوا، سطح مایع (با مقایسه فشار بالا و پایین مایع) که شدت جریان (با اندازه‌گیری تغییر در فشار در محدودیت) می‌باشد، استفاده می‌شود. به طور فنی، بیش‌تر حسگرهای فشار در واقع حسگر فشار دیفرانسیل هستند.

شکل ۴ سامانه‌ای را نشان می‌دهد که جهت اندازه‌گیری دقیق دما و فشار خلاء طراحی و ساخته شده است. دقت اندازه‌گیری دما توسط این سامانه  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  و رنج اندازه‌گیری آن از صفر تا  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد ( $0^{\circ}\text{C}$  to  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) می‌باشد. دقت اندازه‌گیری فشار خلاء مطلق یک دهم میلی بار ( $0.1\text{mBar}$ ) و رنج اندازه‌گیری فشار خلاء مطلق از صد و سی و سه هزارم میلی‌بار ( $0.133\text{mBar}$ ) تا هزار و سیصد و سی و سه میلی‌بار ( $1333\text{mBar}$ ) می‌باشد. فشار مطلق محیط که در حدود  $800$  میلی‌بار می‌باشد نیز با دقت بالا توسط این حسگر قابل اندازه‌گیری می‌باشد.



شکل ۴: سامانه‌ای جهت اندازه‌گیری دقیق دما و فشار خلاء [۱]

<sup>۱۲</sup>Accelerometer

<sup>۱۳</sup>Piezoresistor



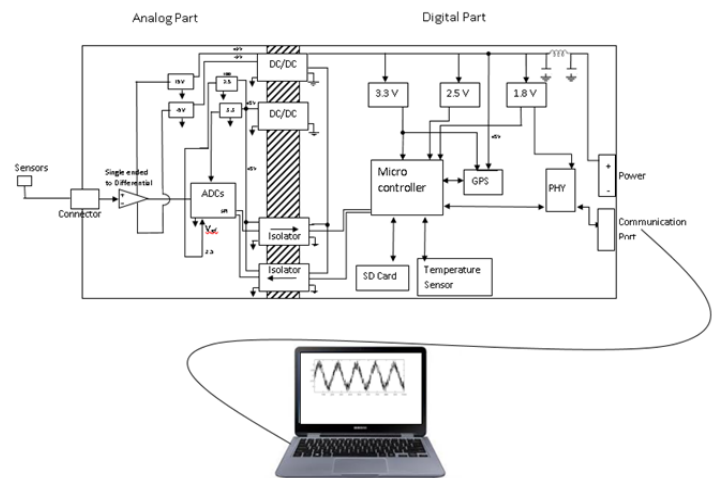
#### ۴.۱ دسته‌بندی حسگرهای پیزوالکتریک

اجسام پیزو الکترونیک که در حسگرهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول که بیش‌تر کاربردی‌اند اجسام تک بلوره هستند مانند کوارتز. علی‌رغم اینکه این مواد دارای طول عمر زیادی هستند یعنی مدت زمان زیادی حساس باقی می‌مانند و خاصیت پیزویی خود را حفظ می‌کنند اما حساسیت کمی نسبت به نوع دوم (سرامیک‌ها) دارند. سرامیک‌ها علاوه بر اینکه حساسیت بیش‌تری دارند ارزان‌تر نیز هستند. برای تولید مواد پیزو الکترونیک سرامیکی از موادی از قبیل: باریوم تیتانیوم (سرب زیرکونیم و سرب تیتانیوم و سرب متانتیت) ... استفاده می‌شود. ایراد مواد سرامیکی این است که از آن جاییکه حساسیت آن‌ها در گذر زمان کاهش می‌یابد لذا طول عمر حس‌گرهایی مجهز به مواد سرامیکی کوتاه‌تر از حسگرهای دارای مواد تک بلوره می‌باشد [۱۰، ۱۱].

از آن‌جا که در حسگرهای پیزو الکترونیک سیگنال الکتریکی تولید شده دارای ولتاژ بسیار پایین می‌باشد و مقاومت خروجی نیز بسیار زیاد است باید سیگنال تولید شده را تقویت و هم چنین مقاومت خروجی را کاهش داد. در گذشته این مشکل را با استفاده از یک تقویت کننده و مبدل امپدانس جداگانه حل می‌کردند. بدی این روش آن است که نویز بسیار زیادی در سیستم به وجود می‌آورد و هم‌چنین پیاده‌سازی این روش محدودیت‌های محیطی و فیزیکی بسیاری را نیز به همراه دارد. امروزه آی‌سی‌هایی برای تقویت و تبدیل امپدانس وجود دارند که به صورت تجاری تولید شده و داخل خود حسگر طبق استاندارد IEPE نصب می‌گردند [۱۲].

حسگرهای پیزوالکتریک امروزه بطور وسیعی در صنایع به کار برده می‌شوند. این حسگرها تقریباً در هر کاربرد ممکن که نیاز به اندازه‌گیری دقیق و یا ثبت تغییرات دینامیکی در متغیرهای مکانیکی مانند فشار، نیرو و شتاب باشد، به کار می‌روند. یک استفاده مهم سرامیک پیزوالکتریک، در ایجاد و دریافت کردن امواج صوتی است.

- شتاب-سنج پیزو الکترونیک<sup>۱۴</sup>: از اثر پیزوالکتریک (که در مواد خاصی وجود دارد) برای اندازه‌گیری پارامترهای دینامیکی سیستم‌های مکانیکی (از قبیل شتاب، نوسان و لرزه‌های مکانیکی) استفاده می‌کند.
  - شتاب‌سنج خازنی<sup>۱۵</sup>: از دسته‌های متنوع شتاب‌سنج‌ها که بر مبنای تغییرات خازن متغیر کار می‌کنند. وقتی شتاب، صفحات خازن را جابجا می‌کند، یک تغییر قابل اندازه‌گیری در ظرفیت خازن رخ می‌دهد. پاسخ شتاب‌سنج‌های خازنی از نوع DC است، یعنی هم شتاب استاتیکی هم شتاب دینامیک را می‌توان اندازه‌گیری کرد.
- در شکل ۵ بلوک دیاگرام یک ماژول نمونه بردار دارای ۴ کانال با قابلیت اتصال حسگرهای شتاب پیزو (IEPE) و به صورت ایزوله مشاهده می‌شود که از کاربردهای آن اتصال به انواع شتاب سنج‌ها، حسگرهای مغناطیسی و... است و هم‌چنین می‌توان از آن در تست‌های متداول آزمایشگاهی استفاده کرد.



شکل ۵: بلوک دیاگرام یک دیتالاگر با قابلیت اتصال حسگرهای شتاب پیزو (IEPE) و به صورت ایزوله [۴]

حساسیت بالا و دقت دیتالاگرها در زمینه‌های آزمایشگاهی اهمیت ویژه‌ای دارد. در زمینه آزمایشگاهی بهتر از دیتالاگرها کوچک و قابل حمل باشند. باید توجه کرد دیتالاگری که انتخاب می‌کنید قابلیت نمونه برداری از حسگر استفاده شده را داشته باشد.

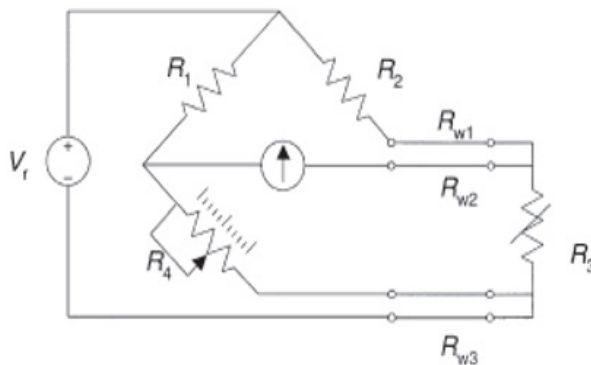
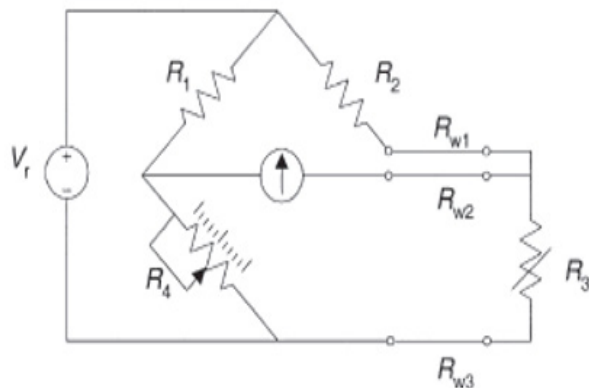
#### ۴. حسگرهای IEPE<sup>۱۶</sup> و حسگرهای ولتاژی

<sup>۱۴</sup> Piezo Electric Accelerometr

<sup>۱۵</sup> Capacitive Accelerometer

<sup>۱۶</sup> Integrated Electronics Piezo Electric





به فشار است. این حسگر یک حسگر ولتاژی است که ولتاژ خروجی تولید شده توسط آن، با مقدار نیرو یا فشار اعمال شده به حسگر متناسب است. مثال دیگری برای حسگرهای ولتاژی LM35 و DS1820 (هر دو حسگر دما) است. این قطعه‌ها شامل ۳ پایه است که از طریق ۲ پایه آن Vcc و GND اندازه‌گیری شده و از پایه سوم ولتاژ متغیر خروجی را به صورت دیجیتالی بدست می‌آوریم. برای بدست آوردن مقدار دما براساس این ولتاژ خروجی در دیتاشیت هر مدل یک فرمول مختص به خودش ذکر شده است. مکانیزم حدودی این قطعه به این شکل است که یک حالت ترانزیستوری دارد و با توجه به دما یک سری از الکترون‌ها اجازه عبور دارند و یا ندارند.

گستره کاربرد این مواد از ابزارها و تجهیزات اولتراسونیک، برای عمقیابی در دریا و پیدا کردن محل تجمع ماهی‌ها تا تجهیزات ردیاب زیردریایی‌ها است. تشخیص انواع فشار به شکل صدا معمول‌ترین نوع عمل حسگر است، به عنوان مثال میکروفن‌های پیزوالکتریک و یا گیرنده‌های پیزوالکتریک در گیتارها. ماشین‌های لباسشویی، از سه حسگر پیزوالکتریک برای کنترل میزان بار و میزان سطح آب و کنترل چرخش استفاده می‌شود. همه این را نمونه کوچکی از کاربردهای رایج حسگرهای پیزوالکتریک می‌باشد. برخی از کاربردهای رایج حسگرهای پیزوالکتریک به این شرح است:

- هوا و فضا: تست کیفیت، ابزار آلات تونل باد، وسایل فرود هیدرولیکی، موشک‌ها، سیستم‌های خروج و پرتاب اضطراری و تحقیقات قطع نیرو.
- بالستیک: احتراق و سوخت، انفجار، انفجارات ضربه‌ای و امواج صوتی پخش شده ناشی از انفجار.
- بیومکانیک: اندازه‌گیری نیروهای چندگانه در مباحث استخوان‌شناسی، ورزش‌ها، آرگونومیک، عصب‌شناسی، دانش قلب و عروق و توان‌بخشی.
- تست موتورها: احتراق، مبادله و تزریق گاز، نمودارهای مشخصه و فشارهای دینامیک.
- مهندسی: سنجش مواد، سیستم‌های کنترل، راکتورها، ساخت ساختمان‌ها، ساختمان کشتی‌ها، تست بدنه اتومبیل‌ها و تست پاسخ دینامیکی.
- صنعت و کارخانجات: سیستم‌های ماشینی، برش فلزات، پرس و گردش نیرو، تنظیم خودکار نیرو، نمایش سلامت ماشین‌ها [۱۳].
- حسگرهای ولتاژی، با دریافت پارامتر ورودی خروجی را به شکل ولتاژ تولید می‌کنند. سطح ولتاژ خروجی با تغییرات کمیت مورد اندازه‌گیری، متناسب است. حسگر «ترانسفورماتور دیفرانسیلی متغیرخطی (LVDT)» یا «کشش سنج»، یک شبکه مقاومتی حساس

<sup>۱۷</sup>Linear Voltage Differential Transformer

<sup>۱۸</sup>Strain gauge



در یکی از کاربردهای تطبیق امپدانس برای انتقال حداکثر توان از منبع به بار، در خروجی مدارهای تقویت‌کننده است. ترانسفورماتورهای سیگنال، امپدانس بالا یا پایین بلندگوها را با امپدانس خروجی تقویت‌کننده تطبیق می‌دهند. این ترانسفورماتورهای سیگنال صوتی، ترانسفورماتور تطبیق<sup>۲۱</sup> نامیده می‌شوند [۱۵].

به دلیلی که در بالا ذکر شد مدار ورودی که شامل حسگر است و مدار خروجی که دیتالاگر است باید باهم تطابق امپدانس داشته باشد. به طور مثال مشخصات فنی یک دیتالاگر نمونه به شرح زیر وجود دارد که خریدار محصول با توجه به نیاز و بررسی امپدانس ورودی میتواند آنرا انتخاب کند.

- ماژول دریافت سیگنال آنالوگ ۴ کاناله ۱۶ بیتی همزمان با سرعت ۵۰۰ kS/s
- انتقال داده های نمونه برداری شده به رایانه بصورت زمان واقعی با استفاده از پورت USB
- رنج ولتاژ ورودی از ۰ تا ۵ ولت
- دارای مدار تقویت ورودی با پهنای باند بالا
- قابلیت انتخاب ورودی بصورت امپدانس بالا یا ۵ اهم با استفاده از جامپر
- بدون نیاز به تغذیه جانبی

## ۶. انتخاب دیتالاگر مناسب

با توجه به تکنولوژی که در ساخت برخی دیتالاگرهای سطح بالا استفاده شده است و با توجه به شرایط محیطی مختلفی که یک دیتالاگر باید عملیات داده برداری را در آنجا انجام بدهد، آن‌ها می‌توانند بسیار گران قیمت باشند. برای یک دیتالاگر قیمت‌های در محدوده ۴۰۰ - ۲۱۰۰۰ دلار وجود دارد. اما دیتالاگرهای ساخت داخل با قیمت مناسب‌تر و قابلیت تنظیم با خواسته‌های مشتری در حال تولید است.

در اولین قدم باید بررسی شود که دیتالاگر مناسب برای فعالیت مورد نظر ما کدام است. دیتالاگرها دارای تعداد کانال (یا همان ورودی‌های) مختلف هستند. هر چه تعداد کانال‌ها بیشتر باشد، تعداد بیشتری ورودی به طور هم‌زمان وارد محیط مانیتورینگ و کنترلی می‌شود. در اکثر مواقع تعدادهای ۲ - ۴ - ۶ - ۸ - ۱۶ کانال برای کارهای تحقیقاتی متوسط کافی است البته دقت اندازه‌گیری فاکتور بسیار مهمی در این انتخاب است. دقت اندازه‌گیری (تعداد بیت) است. در خرید انواع دیتالاگر باید به نکات زیر توجه کرد:

<sup>۱۹</sup> Load Cell

<sup>۲۰</sup> RESPONSE TIME

<sup>۲۱</sup> Matching Transformer

لودسل<sup>۱۹</sup> در واقع نوعی حسگر است که برای سنجش و اندازه‌گیری وزن یا نیرو به کار می‌رود و در انواع مختلف کششی، خمشی، فشاری و... ساخته می‌شود. لودسل حسگری است که در سیستم‌های توزین مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای اندازه‌گیری وزن و نیرو بکار می‌رود. لودسل‌ها تغییرات وزن را براساس تغییر ولتاژ براساس وزن بار وارده حس کرده و آن را به نشان دهنده الکترونیکی یا اندیکاتور منتقل می‌کند [۱۴]. این حسگر حساس شامل یک هسته فلزی با جنس آلیاژ خاص و تعدادی مقاومت کششی کرنش سنج و نوعی چسب می‌باشد که این کرنش سنج‌ها را به هسته می‌چسباند. بر اثر اعمال نیرو کرنش سنج‌ها تغییر شکل می‌دهند. اما پس از برداشتن نیرو به حالت اولیه خود برمی‌گردند. این میزان برگشت پذیری، مشخص کننده دقت و کیفیت لودسل است. زیرا یکی از مشخصات مهم یک لودسل دقت آن می‌باشد که این دقت در واقع کلاس لودسل را مشخص می‌کند. شکل ۶ نحوه اتصال یک حسگر مقاومتی به صورت سه سیم (شکل سمت چپ) و چهار سیم (شکل سمت راست) به پل مقاومتی چهار اندازه‌گیری مقدار مقاومت حسگر (R3) را نشان می‌دهد.

یکی از پارامترهای دیگر تشخیص کارایی یک حسگر، زمان پاسخ‌دهی<sup>۲۰</sup> است که نشان می‌دهد حسگر بعد از چه مدت زمان از تغییر ایجاد شده در محیط، واکنش نشان می‌دهد. برای مدارات حساس؛ مثل مدار حسگر دمای بدن بیمار باید از مدلی با زمان پاسخ‌دهی بسیار کم استفاده شود. در شتاب‌سنج پیزوالکتریک حساسیت کم در اندازه‌گیری فرکانس‌های پایین از معایب حسگر است.

## ۵. تطبیق امپدانس حسگرها و دیتالاگرها

### تطبیق امپدانس چیست؟

امپدانس الکتریکی یا به طور ساده امپدانس، مقدار مقاومت در برابر جریان مستقیم و یا متناوب سینوسی را توصیف می‌کند. در جریان مستقیم تفاوتی بین مقاومت و امپدانس نیست چرا که می‌شود مقاومت را به عنوان امپدانس با فاز صفر درجه تصور کرد. تطبیق امپدانس به فرایند همخوان‌سازی امپدانس الکتریکی دیده شده از دو سر دو بخش از یک مدار الکتریکی گویند که از آن راه سرها به هم متصل می‌شوند. تطبیق امپدانس دو کاربرد مهم دارد، یکی انتقال توان ماکزیمم برای امپدانس‌های مقاومتی، و دیگری جلوگیری از بازتاب یافتن امواج ولتاژ و جریان در محیط موج بر. برای جلوگیری از بازتاب موج‌ها، امپدانس بار باید با امپدانس مشخصه خط تطبیق داده شود.



- به هر تعداد ورودی که نیاز دارید از آن نمونه بگیرید سعی کنید ۲۰٪ بیشتر از آن را در دیتالاگر در نظر بگیرید. برای مثال شما در یک پروژه نیاز به ثبت اطلاعات ۵ حسگر دما را دارید، هنگامی که قصد خرید دیتالاگر را دارید سعی کنید با ۶ کانال ورودی را انتخاب نمایید.
- دقت کنید تا حسگر و یا ورودی مورد نیاز شما را دیتالاگر مورد نظر پشتیبانی نماید. برای مثال اگر حسگرهای شما از نوع ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر است در هنگام خرید دقت فرمایید تا کانال‌های ورودی دیتالاگر این نوع ورودی جریانی را پشتیبانی نماید.
- نرخ نمونه برداری از مهم‌ترین پارامترهایی است که قبل از خرید برای انتخاب یک دیتالاگر باید در نظر بگیرید. دوره نمونه برداری در واقع مدت زمانی است که دیتالاگر نمونه از ورودی‌ها می‌گیرد. مثلاً شما نیاز دارید که هر ۱۰ میلی‌ثانیه یک‌بار از سیگنال‌های ورودی یک نمونه گرفته شود. انتخاب سرعت نمونه برداری اهمیت زیادی دارد از این رو به بررسی قضیه نایکوئیست می‌پردازیم.
- نظریه نایکوئیست یک شرط را مطرح می‌کند و آن این است که فرکانس نمونه برداری بایستی بزرگ‌تر یا مساوی با دو برابر پهنای باند باشد. عددی که این قضیه بیان می‌کند حداقل عددی است که گیرنده توسط آن می‌تواند سیگنال فرستاده شده را بازسازی کند یعنی

$$BW * 2 < F_s$$

که در آن  $F_s$  برابر فرکانس نمونه برداری و  $BW$  برابر پهنای باند سیگنال است. این فرکانس خاص را فرکانس نمونه برداری نایکوئیست می‌نامند. برای کاربردهای عملی نرخ بیش از پنج برابر مورد استفاده قرار می‌گیرد تا داده‌ها دارای افزونگی<sup>۲۲</sup> کافی باشند. در صورت عدم رعایت این قانون ممکن است تعدادی داده از دست برود. در انتخاب دیتالاگر مناسب باید حتماً نسبت فرکانس نمونه برداری آن و فرکانس سیگنال ورودی بررسی شود. نرخ نمونه برداری عملی و کاربردی برای انتخاب دیتالاگر بهتر است حدود ۸ برابر پهنای باند سیگنال صورت پذیرد.

- تعداد نمونه‌هایی که می‌تواند ذخیره نماید یا به طور ساده‌تر چه مدت می‌تواند اطلاعات را رکورد نماید.
- روش نمایش اطلاعات، شما باید طبق نیازتان انتخاب کنید که دیتالاگر به چه صورت اطلاعات را در اختیار شما قرار دهد، به صورت شبکه صنعتی، اتصال به PC، دسترسی به اطلاعات از طریق WiFi و... .
- دستگاه‌های داده بردار زیادی وجود دارند اما بهترین دستگاه‌ها با نرم‌افزارهای LabVIEW و MATLAB مرتبط هستند. از این نرم‌افزارها به دلیل ابزارها و کتابخانه‌های گسترده آنها، استفاده می‌شود.
- دیتالاگرها می‌توانند به روش‌های متعددی اطلاعات را تبادل نمایند که از بارزترین آن‌ها می‌توان به Can, ModBus, RS-485, RS-232, USB, Wifi, Ethernet, Bluetooth اشاره نمود. هر کدام از روش‌های نام برده شده در مقایسه با سایرین مزایا و معایب خود را داراست که با توجه به نیاز مشتری و محل نصب باید از شیوه‌ی مناسب بهره جست تا دیتالاگر بیشترین بازدهی را داشته باشد. از موارد حایز اهمیت در انتخاب یک دیتالاگر می‌توان به عداد ورودی (تعداد کانال)، سرعت نمونه برداری از حسگر و رزولوشن دقت (تعداد بیت) اشاره کرد. تعداد کانال با تعداد ورودی متناسب است. به موضوع کانال‌های مالتی پلکس شده و هم‌زمان نیز می‌بایست توجه کافی داشت.

## ۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی اجمالی حسگرها و دیتالاگرها و نکات فنی اتصال آن‌ها پرداخته شد. برای کاربردهای آزمایشگاهی انواع حسگرها مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌بایست با روش اتصال صحیح به دیتالاگرها از سیگنال‌های آن‌ها بهره جست. انتخاب دیتالاگر مناسب در کنار انتخاب حسگر مناسب باعث می‌شود که بتوانیم پارامتر مورد نظرمان را به صورت صحیح اندازه‌گیری کنیم و اگر اهمیت انتخاب دیتالاگر مناسب و نحوه اتصال حسگر به دیتالاگر را نادیده بگیریم طبیعتاً به مشکل اندازه‌گیری برخورد خواهیم کرد و خطای اندازه‌گیری را تا حد زیادی افزایش خواهیم داد. عمده حسگرهای مورد استفاده در آزمایشگاه‌ها با کمی بهبود در رنج اندازه‌گیری، دمای کاری و... در صنعت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. محیط صنعتی محیطی نویز آلود می‌باشد و می‌بایست تمهیدات جدیتری برای انتخاب حسگر و دیتالاگر برای چنین محیط‌هایی در نظر گرفت.

<sup>۲۲</sup>Redundancy



- [12] Pedley M. High Precision Calibration of a Three-Axis Accelerometer. Freescale Semiconductor Application Note, Document Number: AN4399, 2013.
- [13] Chang Ming Y., Chih Chung W., Chun Mei C., Tzu Lin Y. Vehicle driver's ECG and sitting posture monitoring system. 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, 2009.
- [14] Higinio, J. and Couto, C., "Digital Filtering in Smart Load Cells", Proc. the 21 IEEE Int. Conf. on Industrial Electronics (IECON), 1995, pp. 990-994.
- [15] Prabuwno, A. S. and Akbar, H., "Automated Weight Measurement System Based on Serial Communication", Proc. the 3Int. Conf. on Mechatronics (ICOM), 2008.
- [1] S.B. Bhosale, "Network Controlled Monitoring System Using Arm 7," in International Journal Of Engineering Science & Advanced Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 577-580, 2012.
- [2] M. Paavola, "Wireless Technologies in Process Automation – Review and an application example," Report A No. 33, 2007
- [3] S. Patinge, Y. Suryawanshi, and S. Kakde, "Design of ARM Based Data Acquisition & Control Using GSM & TCP/IP Network," ICCIC, 2013. M.N.R. Laddha, A.P. Thakare, "Implementation of serial communication using UART with configurable baud rate," in IJRITCC, Vol. 1, No. 4, 2013.
- [4] <http://www.intellico.ir>
- [5] <http://www.ni.com>
- [1] <http://www.mathworks.com>
- [7] IEPE standard on [http://www.mmf.de/pdf/an4e-iepe\\_accelerometers.pdf](http://www.mmf.de/pdf/an4e-iepe_accelerometers.pdf).
- [8] Instrumentation Society of America; Recommended Practices: ISA-RP37.2-1982(1995): "Guide for Specifications and Tests for Piezoelectric Acceleration Transducers for Aerospace Testing.
- [9].Boeswald, M., A. Vollan, Y. Govers, et al. Solar Impulse - Ground Vibration Testing and Finite Element Model Validation of a Lightweight Aircraft. in International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics. 2011. Paris, France.
- [10] B. Zwolinski, T.Petzsche, J.Schnellinger & N. Kinsley: Precision Vibration Measurement in Dynamic Temperature Environments with PiezoStar® IEPE Accelerometers; Kistler Special Print 920-360a-08.07
- [11] J.M. Kubler & B. Bill: PiezoBeam® Accelerometers: A Proven and Reliable Design for Modal Analysis; Kistler Special Print 20.148e-08.93

