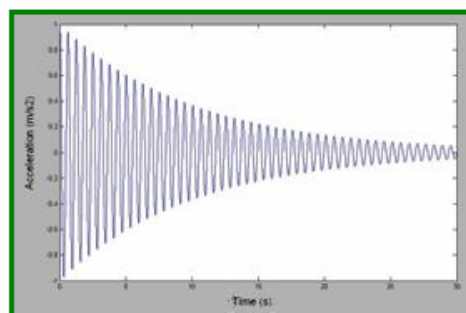
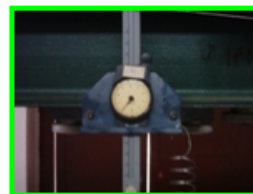




شتاب سنج ۸ کانال همزمان سازگار با سنسورهای شتاب ICP



طراح و سازنده : سالار بصیری

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

۴	فصل اول - مقدمه
۹	فصل دوم - سنسورهای شتاب ICP
۱۴	فصل سوم - الکترونیک
۱۵	۳-۱ نمونه برداری
۱۵	۳-۱-۱ Power/Signal Conditioning
۱۶	۳-۱-۲ تقویت سیگنال شتاب و تنظیم بهره
۱۷	۳-۱-۳ آنالوگ به دیجیتال (A/D)
۱۹	۳-۱-۴ مازول A/D
۲۱	۳-۲ مدیریت داده های دیجیتال و ارتباط با کامپیوتر
۲۲	۳-۲-۱ Main Controller
۲۳	۳-۲-۱-۱ Read From Card
۲۵	۳-۲-۱-۲ Write to Card
۲۶	۳-۲-۱-۳ Read From EEPROM
۲۶	۳-۲-۱-۴ Card Disable
۲۷	۳-۲-۲ LCD & Keyboard Controller
۳۱	۳-۲-۳ Gain Controller
۳۱	۳-۲-۴ Main Board
۳۳	فصل چهارم - کامپیوتر
۳۴	۴-۱ روتین های پایه و سخت افزاری
۳۴	۴-۱-۱ خواندن داده های خام از پورت
۳۸	۴-۱-۲ FIR

۴۱	.....	Hardware Setting ۴-۱-۳
۴۲	.....	GUI ۴-۲
۴۴	.....	۴-۳ اجرای برنامه در محیط ویندوز XP
۴۵	.....	فصل پنجم – تست و کالیبراسیون دستگاه
۴۸	.....	۵-۱ کالیبراسیون دامنه با استفاده از جرم و فنر
۴۹	.....	۵-۲ کالیبراسیون دستگاه با استفاده از میز زلزله
۵۰	.....	۵-۲-۱- کالیبراسیون دامنه
۵۲	.....	۵-۲-۲- تحلیل فرکانسی نتایج

پیوستها (صفحه اول هر پیوست به رنگ نوشته شده است)

- پیوست A (اطلاعات تفصیلی در مورد سنسور های شتاب ICP)

- پیوست B (برگه های اطلاعاتی قطعات الکترونیکی)

B-1 - ترانزیستور BD136

B-2 - تقویت کننده عملیاتی OP177

B-3 - مالتی پلکسر آنالوگ CD4051

B-4 - مبدل آنالوگ به دیجیتال AD1674

- پیوست C (مدار های شماتیک و چاپی)

C-1 - مدار شماتیک ماژول های A/D

C-2 - شماتیک مدار مدیریت زمان و جمع آوری داده ها

C-3 - برد مدار چاپی ماژول های A/D

C-4 - برد مدار چاپی مدار مدیریت زمان و جمع آوری داده ها

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

گزارشي كه اکنون پيش رو داريد شرح مختصري از چگونگي طراحي و ساخت دستگاه شتاب سنج ديناميكي هشت كانال همزمان است. اين دستگاه براي اندازه گيري مقادير شتاب ديناميكي حاصل از ارتعاش هارمونيك يك جسم طراحي و ساخته شده است و عملکرد دستگاه به اين صورت است كه ابتدا سنسور شتاب از نوع « ICP » توسط سيم هاي رابط به دستگاه متصل مي شود. تعداد اين سنسورها مي تواند حداكثر هشت عدد انتخاب شود. اگر سنسورها را به جسم در حال ارتعاش متصل كنيم دستگاه مي تواند مقادير شتاب لحظه اي و منحنی زمانی شتاب هر کدام از سنسورها را با فرکانس نمونه برداري حداكثر $5^{KS/s}$ اندازه گيري کرده و در فایلی ذخیره نماید. همچنین سخت افزار دستگاه این قابلیت را دارد که مقادیر مؤثر شتاب را بدون استفاده از کامپیوتر محاسبه کرده و ذخیره نماید.

براي انتقال اطلاعات به کامپیوتر از پورت پارالل استفاده شده است و همچنین تنظیمات سخت افزاري کارت جمع آوري داده نیز توسط اين پورت به کارت اعمال مي شود. شکل ۱ نماي كلي دستگاه را نشان مي دهد.



شکل ۱. شمای دستگاه ساخته شده

هدف از ساخت این دستگاه اندازه گیری مقادیر شتاب دینامیکی طبقات يك سازه مدل به منظور مطالعه رفتار سازه در برابر بارهایی که زلزله را شبیه سازی میکنند و تغییر پارامترهای مؤثر مثل وزن طبقات ، سختی ستونها و... است .

سنسورهای شتاب می تواند در ۸ نقطه مختلف سازه نصب شود و مقادیر لحظه ای شتاب را اندازه گیری نماید.

مشخصات کلی دستگاه عبارت است از :

- تعداد کانال های ورودی ۸ است و سنسورهای شتاب از نوع ICP را میتوان توسط سوکت BNC به دستگاه وصل کرد. دستگاه بصورت همزمان از هر ۸ کانال نمونه برداری میکند.
- رزولوشن A/D استفاده شده ۱۲ بیت است.
- سرعت نمونه برداری از هر کانال میتواند از ۲۰۰ تا ۵۰۰ نمونه در ثانیه انتخاب شود.
- ضریب بهره تقویت کننده های سیگنال از ۱ تا ۲۲۰۰ بصورت مستقل برای هر کانال و بکممک آنالوگ مالتی پلکسر بصورت نرم افزاری مشخص میشود.
- نشاندهنده های LED وضعیت کاری دستگاه را نشان می دهند.
- انواع مختلف سنسورهای شتاب منطبق با ICP را میتوان به دستگاه متصل کرد و جریان راه اندازی آنها را از ۲ تا ۱۰ میلی آمپر تنظیم کرد.
- برنامه جمع آوری داده توانایی حذف فرکانس های بالا را با استفاده از فیلتر های پایین گذر FIR دارا میباشد. فرکانس قطع هر کانال را بصورت مستقل و از ۸ (یا کمتر) تا ۱۰۰۰ هرتز میتوان انتخاب کرد.
- دستگاه دارای نشان دهنده LCD و ۶۴ کیلو بایت حافظه است و میتواند [در صورت به روز شدن Firmware] مقادیر Peak و RMS سیگنال شتاب را نشان دهد و یا ذخیره نماید.

در فصل دوم درباره انواع سنسورهای شتاب و مزایای هر يك و معرفی سنسورهای نوع ICP که در این پروژه استفاده شده بحث خواهد شد.

نحوه عملکرد قسمتهای مختلف آنالوگ و دیجیتال کارت جمع آوری داده های شتاب و مدارات میکرو کنترلی و Firmware های آنها همچنین پروتکل ارتباطی کارت و کامپیوتر در فصل سوم شرح و توضیح داده خواهد شد.

در فصل چهارم در مورد برنامه درایو کننده دستگاه ، چگونگی ارتباط روتینهای مختلف آن ، فیلتر های نرم افزاری استفاده شده و رابط گرافیکی کاربر طراحی شده برای نرم افزار بحث خواهد شد.

نهایتاً در فصل پنجم در مورد صحت عملکرد دستگاه و کالیبراسیون آن بحث خواهد شد.

فصل دوم

سنسورهای شتاب

ICP

۲- سنسورهای شتاب ICP

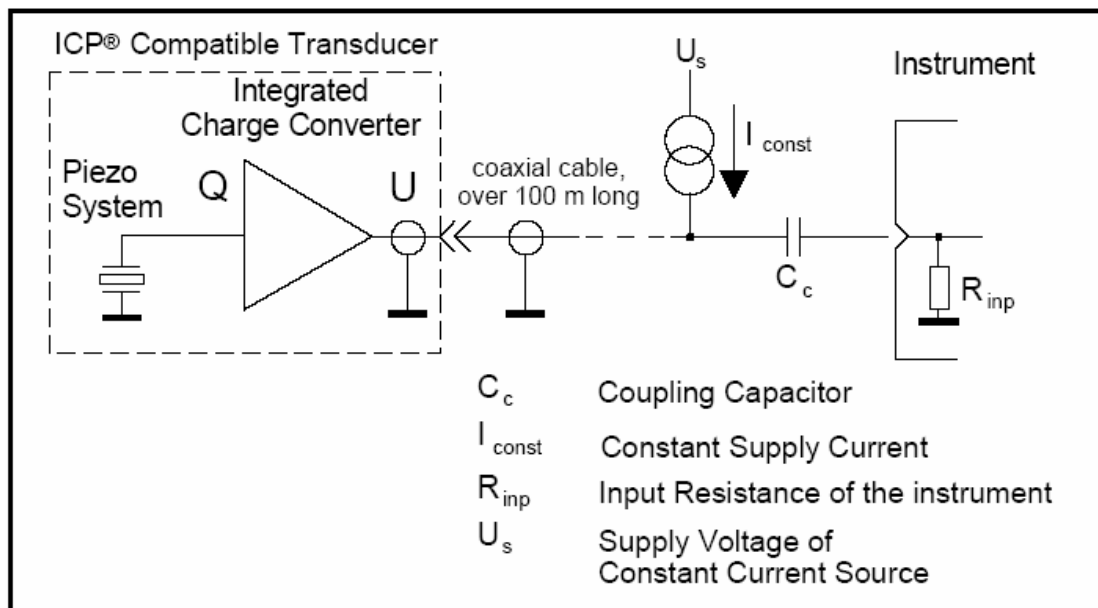
در اندازه گیری مقادیر شتاب از سنسورهای متفاوتی استفاده می شود از جمله می توان به سنسورهای شتاب مبتنی بر گنج های اندازه گیری و یا سنسورهای شتاب MEMS اشاره کرد. در این پروژه از سنسورهای شتاب نوع ICP استفاده شده است. در پیوست A اطلاعات نسبتاً کاملی در مورد ساختار داخلی و چگونگی درایو کردن و نکات ایمنی در حین تست کردن با استفاده از این نوع سنسورها آمده است.

سنسورهای ICP نوعی از سنسورهای شتاب پیزو الکتریک هستند که در آنها مدارات مبدل جریان به ولتاژ به صورت آماده وجود دارند و از این جهت مزیت هایی را نسبت به سنسورهای پیزو الکتریک با خروجی شارژ الکتریکی دارا می باشند.

در پیوست A در مورد انواع سنسورهای شتاب پیزوالکتریک و مقایسه بین سنسورهای با خروجی شارژ الکتریکی و ICP مطالب تفصیلی ارایه شده است.

در سنسورهای شتاب نوع ICP خطوط تغذیه و داده یکسان هستند و در آنها تنها از دو سیم استفاده می شود. امپدانس خروجی این سنسورها در حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ اهم است. منبع توان مدار داخلی این گونه سنسورها یک منبع جریان است که جریان ثابتی را در حدود 2^{mA} تا 10^{mA} (بسته به نوع سنسور) محدود کرده و از طریق خطوط تغذیه به مدار داخلی سنسور اعمال می کند. هرچه مقدار جریان ثابت بیشتر باشد امپدانس خروجی مدار هم بیشتر است ولی منبع جریان 4^{mA} در اکثر موارد مناسب است. باید توجه داشت که جریان حتماً باید محدود باشد و گرنه به مدارات داخلی سنسور صدمه می زند. از طریق همان خطوط تغذیه مقادیر شتاب را می توان اندازه گیری کرد.

مزیت این سنسورها این است که طول سیم "توان / داده" می تواند بسیار بلند و در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر انتخاب شود و با توجه به اینکه تجهیزات ایجاد کننده لرزه ها معمولاً نویزهای الکترو مغناطیسی تولید می کند دور بودن تجهیزات اندازه گیری از میز لرزه می تواند در کاهش نویز کلی و صحت عملکرد سیستم تأثیر مطلوب بگذارد. در شکل ۱-۲ اصول کارکرد این سنسورها نشان داده شده است.

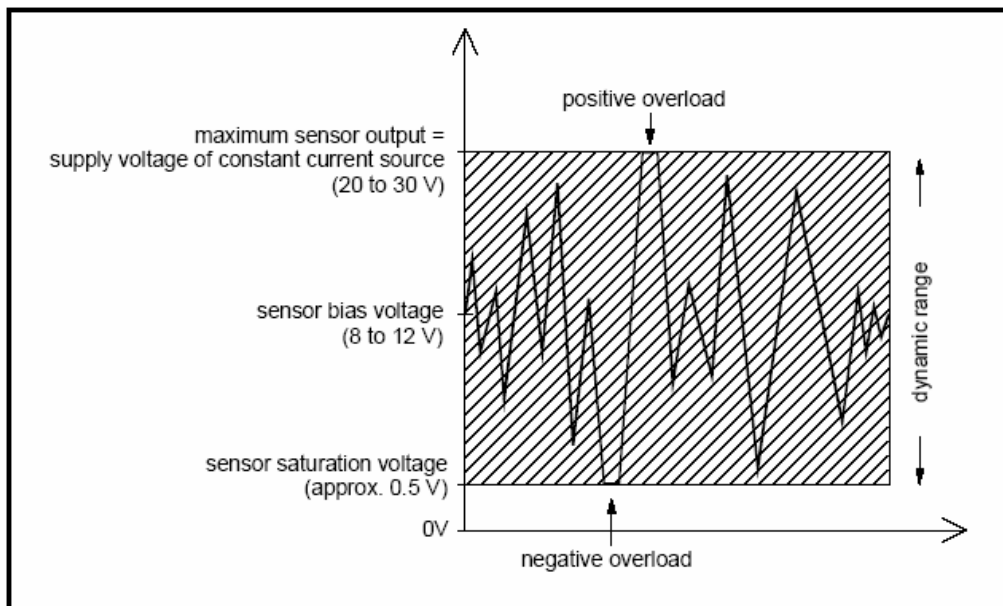


شکل ۱-۲. اصول کارکرد و درایو کردن سنسورهای شتاب ICP

جرم موجود بر روی کریستال پیزو الکتریک به سبب اینرسی خود در اثر شتاب وارده تغییر نیروی برشی بر روی کریستال به وجود می آورد که این تغییرنیرو با توجه به ساختار کریستالهای کوارتز به جریان الکتریکی تبدیل می شود سپس توسط یک مبدل شارژ به ولتاژ که معمولاً از ترانزیستورهای MOSFET استفاده می شود جریان به ولتاژ معادل با شتاب تبدیل می شود. منبع تغذیه ترانزیستور MOSFET همان منبع جریان به کار برده شده است.

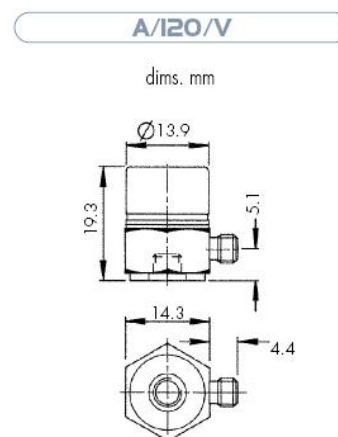
با توجه به شکل خازن C_c و مقاومت داخلی کارت نمونه برداری کننده از ولتاژ تشکیل یک فیلتر بالا گذر را می دهند، مقادیر C_c و R_{inp} باید طوری انتخاب شوند که فرکانس قطع این فیلتر به اندازه کافی پایین باشد تا سیگنالهای شتاب را عبور دهد.

در شکل ۲-۲ خروجی این سنسورها بدون خازن C_c نشان داده شده است.



شکل ۲-۲. خروجی سنسورهای ICP بدون خازن C_c

برای محدود کردن جریان می توان از CLD (Current Limiting Diode) استفاده کرد. یک نوع آن LM334 است و یا به سادگی از یک منبع جریان استفاده کرد که در بخش ۱-۳ در این مورد بیشتر توضیح داده شده است. سنسور استفاده شده در این پروژه ساخت شرکت DJ Birchal و به شماره A/120/V می باشد (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳ سنسور شتاب

البته انواع ديگر سنسور را نيز مي توان به دستگاه وصل نمود و تنها با توجه به کاتالوگ آنها بايد تنظيمات سخت افزاري ساده اي بر روي دستگاه انجام شود و در جدول ۱-۱ مشخصات اين سنسور آمده است.

CONVERSION MODE	KONIC/2 WIRE QVC		
sensitivity option →	1	2	3
Voltage sensitivity, $\pm 5\%$ @ 20°C mV/g	10	31.6	100
Resonant frequency kHz		28	
Cross axis error % max		5	
Temperature range °C		-50 / +125	
Voltage sens. deviation re 20°C	-5% @ -50°C		+ 5% @ +125°C
Pyro-electric output, g/°C		0.2	
Pyro-electric corner freq. Hz		0.002	
Base strain sens. g/ μ strain		0.01	
Max continuous accn. g sine		1000	
Supply voltage V		15/35	
Supply current mA		2/15	
Bias voltage V (20°C)		8.5/9.5	
Settling time to 90% final val. secs.	5	5	5
Noise level, equiv. mg	3	2	1
L.F. corner frequency, Hz	0.2	0.7	2
L.F. corner frequency, Hz /L option	0.1	0.4	1
Saturation limit, equiv. g	450/500	140/155	45/50
Output resistance, ohms (500Hz)	30	50	100
Case material	s/steel 303 S31		
Mounting	base tapped 10/32 UNF 4mm deep		
Weight gm	18, 29 (/VTC)		
Connector	Microdot skt. 10/32 UNF thd. (A/120/V, /VT) TNC skt (A/120/VTC) Isolated Microdot 10/32 UNF (A/120/VI, /VTI)		
Case seal	welded, hermetic connector (TNC)		

جدول ۱-۱ . مشخصات سنسور استفاده شده

اطلاعات بيشتري از سنسورهاي ICP در پيوست A موجود است.

فصل سوم

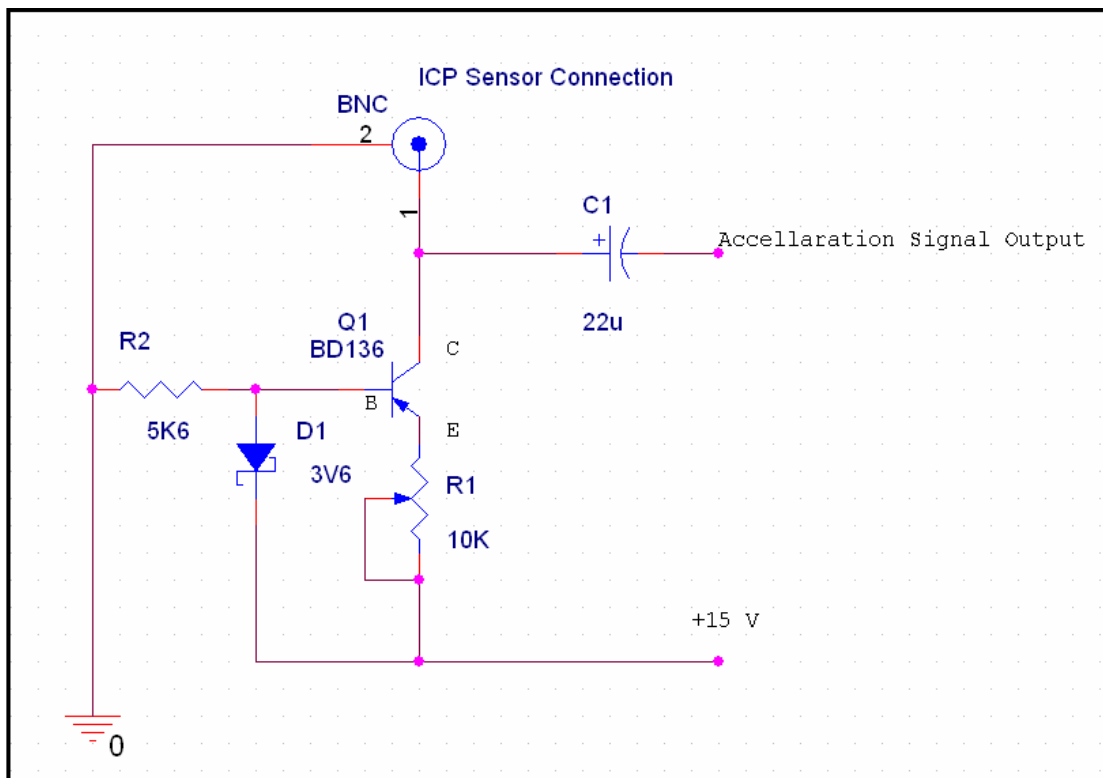
الکترونیک

۳ - الكترونيك

۳-۱- نمونه برداري

۳-۱-۱- Power/Signal Conditioning

همانطور که در بخش قبلي اشاره شد سنسورهاي شتاب ICP براي عملکرد مناسب به يك منبع جريان ثابت نياز دارند . اين بخش مدار در شكل ۳-۱ نشان داده شده است.



شكل ۳-۱. مدار Power/Signal Conditioning

اين مدار يك منبع جريان ساده ترانزیستوري است که در آن از ترانزیستور BD136 استفاده شده است. مقاومت R_2 و دیودزبر براي تثبيت ولتاژ بیس ترانزیستور استفاده شده است مقدار جريان خروجي از منبع جريان هم توسط مقاومت R_1 تعيين مي شود و با تغيير آن مي توان جريان را تنظيم کرد . بايد توجه داشت که جريان خروجي از منبع جريان که به سنسور شتاب ICP وارد مي شود بستگي به نوع سنسور دارد و بايد با توجه به برگه مشخصات سازنده سنسور تعيين گردد.

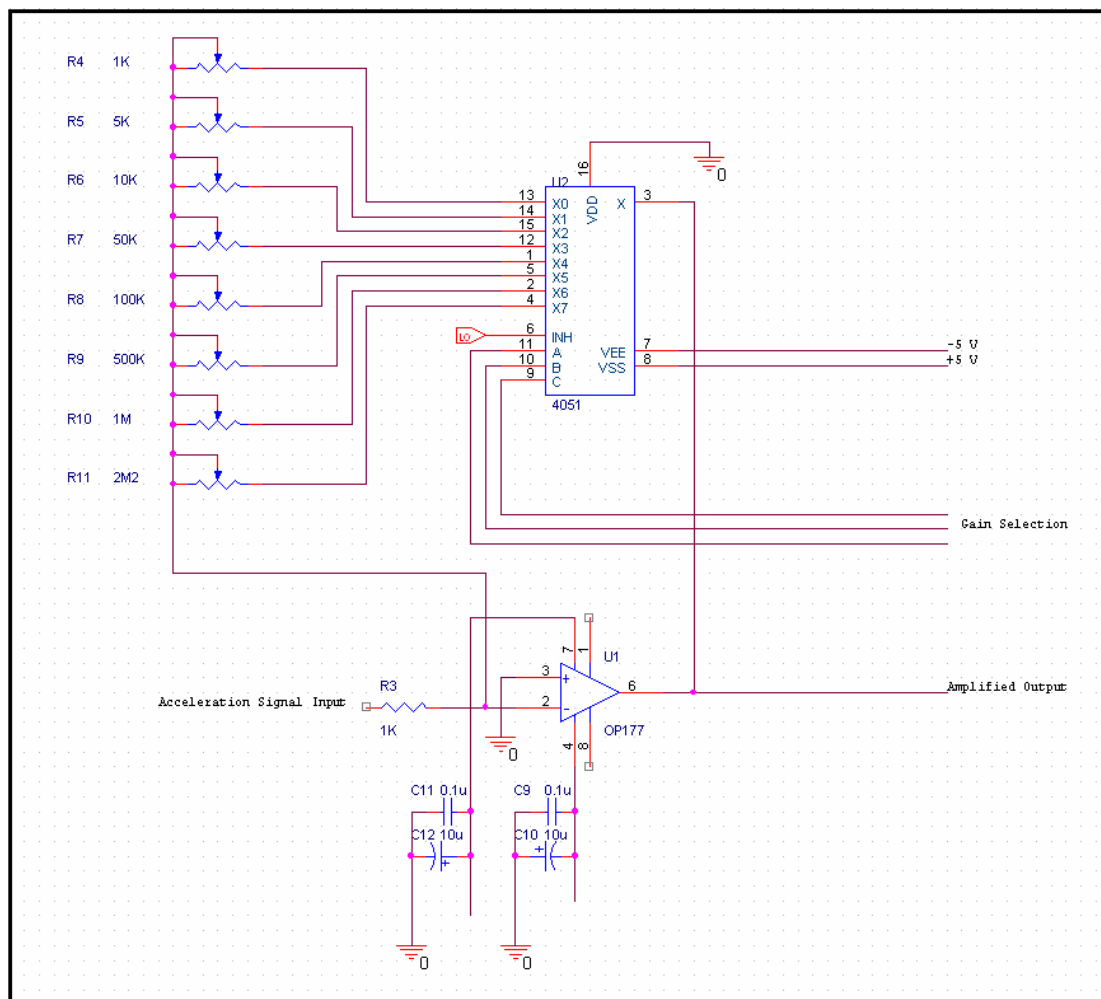
برای سنسور A/120/V استفاده شده در این پروژه مقدار جریان 4^{mA} است. خازن C_1 برای حذف ولتاژ بایاس سنسور در مدار قرار گرفته است در پیوست B-1 مشخصات دقیق ترانزیستور BD136 ارائه شده است.

۲-۱-۳- تقویت سیگنال شتاب و تنظیم بهره

با توجه به نوع سنسور انتخابی دامنه تغییرات ولتاژ خروجی سنسور نسبت به شتاب مقادیر متفاوتی خواهد داشت برای آنکه بتوانیم از حداکثر رزولوشن A/D استفاده کنیم لازم است تا حد امکان بازه تغییرات ولتاژ خروجی سنسور را به بازه تغییرات ولتاژ ورودی A/D نزدیک کنیم. برای این منظور تقویت سیگنال به کمک تقویت کننده عملیاتی OP177 صورت می گیرد. دلیل انتخاب این تقویت کننده دقت بالا و کم بودن ولتاژ آفست آن ثابت بودن نسبی بهره به ازای تغییرات ولتاژ ورودی است.

کاتالوگ این تقویت کننده در پیوست B-2 ارائه شده است. مدار مربوط به این قسمت در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

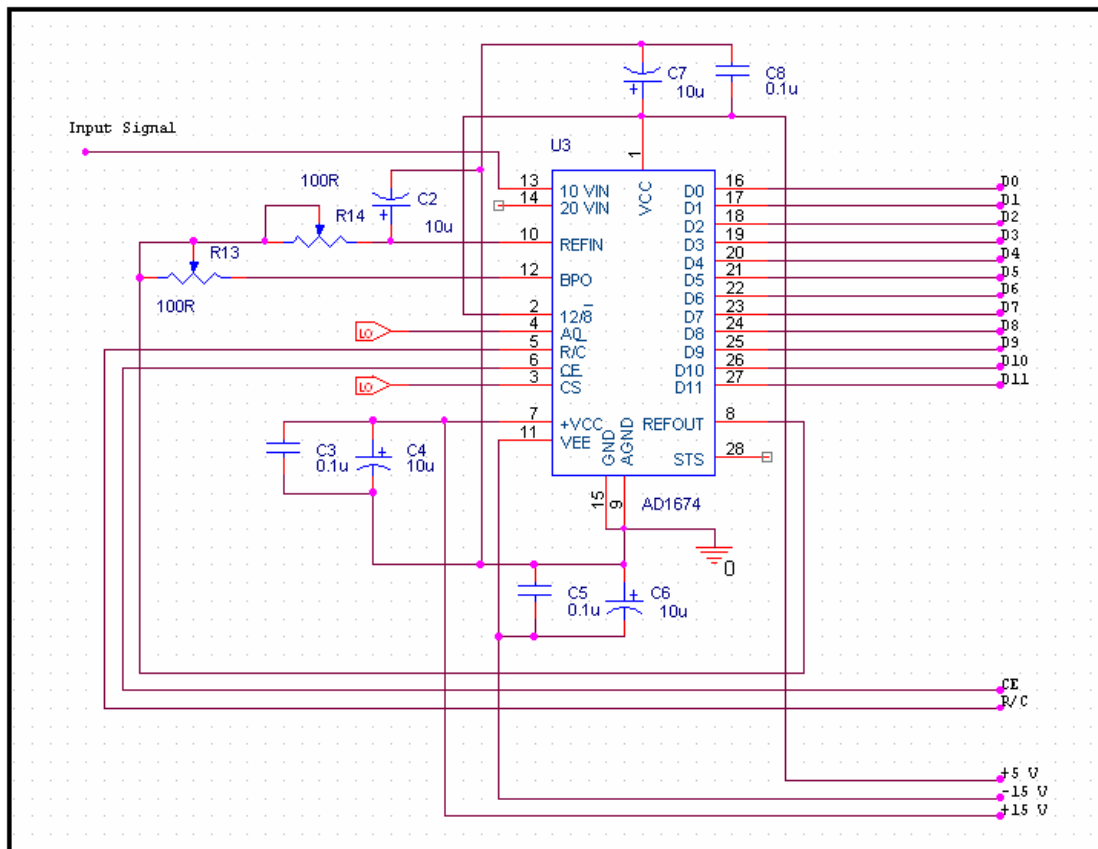
برای آنکه روند استفاده از دستگاه برای کار بر آسان تر شود ضریب بهره تقویت کننده را به صورت نرم افزاری از داخل برنامه می توان تغییر داد. برای این منظور از یک مالتی پلکسر آنالوگ به شماره CD4051 استفاده شده است به این ترتیب که مقاومت باز خورد OP-amp توسط CD4051 انتخاب شود. مشخصات دقیق این I.C در پیوست B-3 ارائه شده است. بهره های مورد نیاز توسط تنظیم مناسب مالتی ترن های R_4 تا R_{11} (و با توجه به R_1) به دست می آید. از آنجا که مقاومت ON بودن مالتی پلکسر آنالوگ دقیقاً مقدار مشخص شده در کاتالوگ نیست. به صورت تجربی این مقاومت اندازه گیری شده و سپس مقاومت مورد نیاز برای حصول بهره مورد نظر با تنظیم مقادیر R_4 تا R_{11} به دست می آید با آدرس دهی مناسب مالتی پلکسر آنالوگ می توان بهره مورد نظر را انتخاب کرد. آدرس مناسب توسط یک میکرو کنترلر که فرمان خود را از کامپیوتر دریافت می کند به مالتی پلکسر اعمال می شود. مقادیر تقویت کننده می تواند هر یک از مقادیر 1,4,8,40,80,400,800,2200 انتخاب شود. بر روی خطوط تغذیه تقویت کننده از فازهای دکو پلاژ استفاده شده تا اثر نویز ناشی از منبع تغذیه کاهش یابد.



شکل ۲-۳. مدار بخش تقویت سیگنال شتاب و تنظیم بهره

۳-۱-۳- آنالوگ به دیجیتال (A/D)

بعد از اینکه سیگنال به اندازه کافی تقویت شد تا بازه تغییرات آن به بازه ورودی A/D نزدیک شود این سیگنال به A/D وارد می شود. A/D استفاده شده از نوع AD1674 ساخت Analog Device می باشد. رزولوشن آن ۱۲ بیت و حداکثر نرخ نمونه برداری آن $100^{KS/s}$ می باشد. مزیت این A/D بر هم خانواده این سری یعنی AD574 داشتن SHA در داخل خود چپ می باشد از آنجا که سیگنال شتاب متغیر است داشتن SHA داخلی در تثبیت ولتاژ در حین تبدیل و بالا رفتن دقت مؤثر در عمل تبدیل ولتاژ بسیار مؤثر است. دامنه ولتاژ ورودی $\pm 5V$ است و از مرجع ولتاژ داخل A/D استفاده شده است. مدار این بخش در شکل ۳-۳ ارائه شده است.

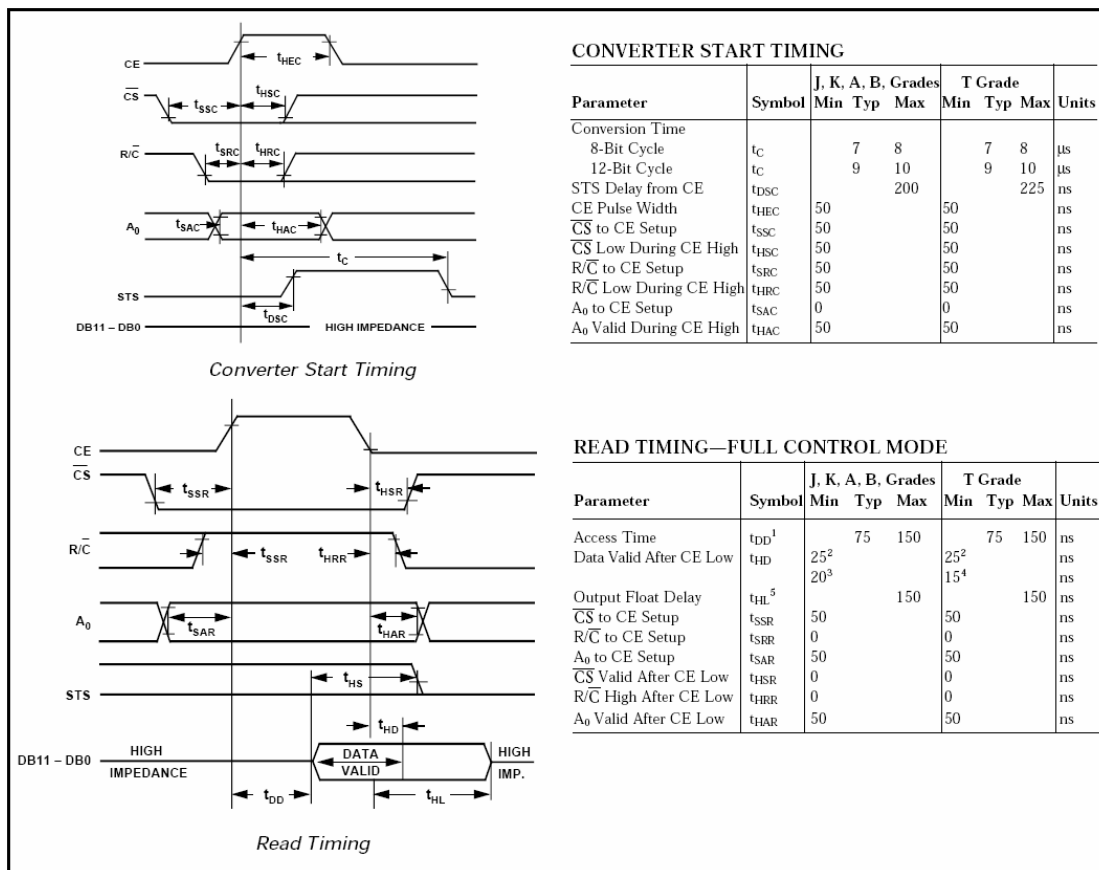


شکل ۳-۳. مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال

در مدار A/D برای حذف نویز های منبع تغذیه از خازنهای دکوپلاژ $C_3 - C_6$ استفاده شده است. مقاومت های R_{13} و R_{14} برای تنظیم آفست و خازن C_2 برای عملکرد صحیح منبع ولتاژ مرجع داخلی در مدار قرار داده شد است.

به پین های CS و A_0 و 12/8 برای عملکرد A/D در وضعیت باس داده 12 بیتی سیگنال های مناسب اعمال شده است .

بلوک دیاگرام زمانی عمل تبدیل و خواندن از A/D در شکل 3-4 نشان داده شده است. از آنجا که تمام ماژول های A/D به یک باس داده متصل است ابتدا عمل تبدیل در تمام آنها با توجه به وضعیت مناسب R/C و CE انجام می شود . سیگنال های لازم برای مدیریت زمان تبدیل و خواندن توسط یک میکرو کنترلر به ماژول های A/D اعمال می شود.



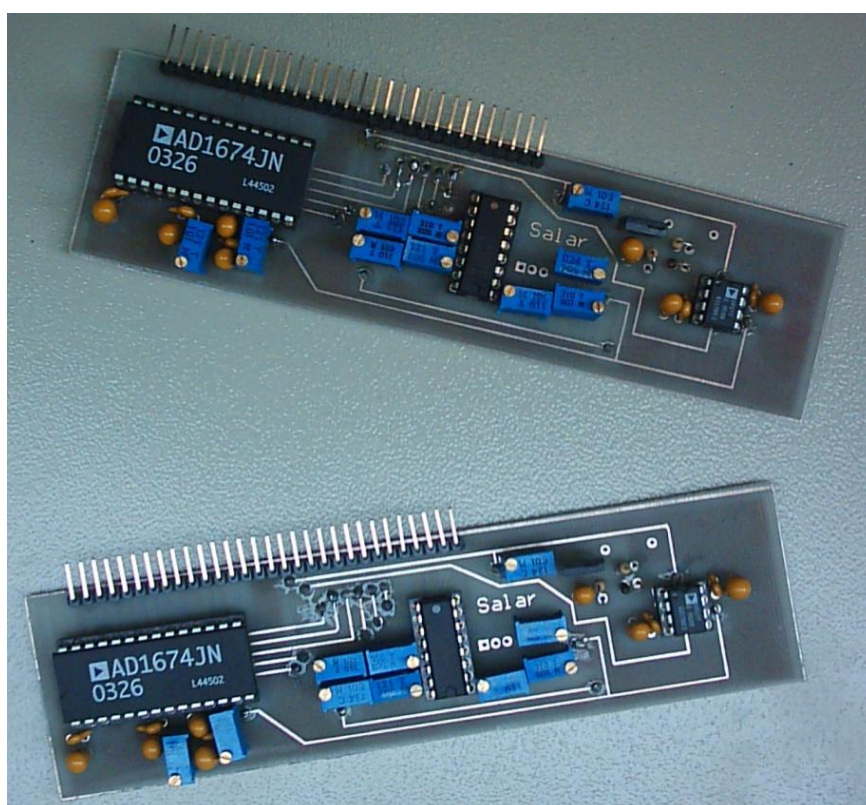
شکل ۳-۴. دیاگرام زمانی تبدیل و خواندن از A/D

اطلاعات تفصیلی در مورد AD1674 شامل مشخصات و چگونگی عملکرد آن در پیوست B-4 ارائه شده است.

۳-۱-۴- مازول A/D

برای پرهیز از پیچیده شدن طراحی PCB مدار و همچنین سهولت گسترش و یا عیب یابی سیستم، مدار شامل Power/Signal Conditioner، تقویت کننده سیگنال و A/D هر کانال بر روی یک برد و به صورت مازولار طراحی شده است. همچنین این امر باعث می شود که به دلیل سادگی مدار در هر مازول تداخلات سیگنالهای الکتریکی کمتر پیش بیاید. مدار کامل شماتیک مازولهای A/D در پیوست C-1 آمده است.

در شکل ۳-۵ هر مازول A/D نشان داده شده است. PCB مربوط به مازولهای A/D در پیوست C-3 ارائه شده است.



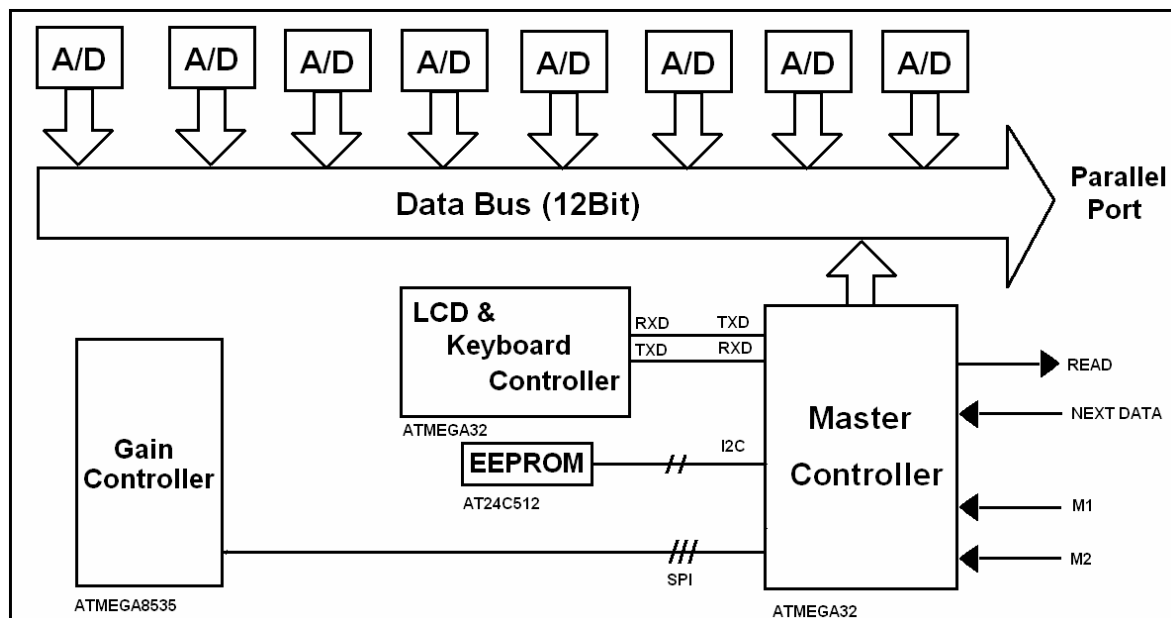
شکل ۵-۳. ماژولهای A/D

۲-۳- مدیریت داده های دیجیتال و ارتباط با کامپیوتر

با توجه به مطالب گذشته اکنون سیگنال شتاب با يك ضریب بهره به مقادیر دیجیتالیز شده تبدیل شده است و در این مرحله باید زمانبندی تبدیل و خواندن از ماژولهای A/D انجام گیرد تنظیم بهره تقویت سیگنال در هر کانال توسط میکرو کنترلر Gain Controller، مدیریت زمانبندی و اجرای پروتکل ارتباطی با کامپیوتر توسط میکرو کنترلر Main Controller و مدیریت LCD و صفحه کلید توسط میکروکنترلر LCD & Keyboard Controller به طور جداگانه انجام می گیرد. این میکرو کنترلر ها توسط شبکه ارتباطی با هم در ارتباط هستند . ارتباط Main Controller, Gain Controller توسط باس SPI و ارتباطی از نوع Master/Slave می باشد.

ارتباط بین Main Controller و LCD & Keyboard Controller ارتباط سریال دو طرفه است و هر کدام از میکرو کنترلر ها می توانند به صورت وقفه ای به دیگری فرمان یا داده ای را صادر کنند .

میکرو کنترلرهای مورد استفاده AVR هستند . در شکل 3-6 بلوک دیاگرام مدار جمع آوری داده را مشاهده می کنید.



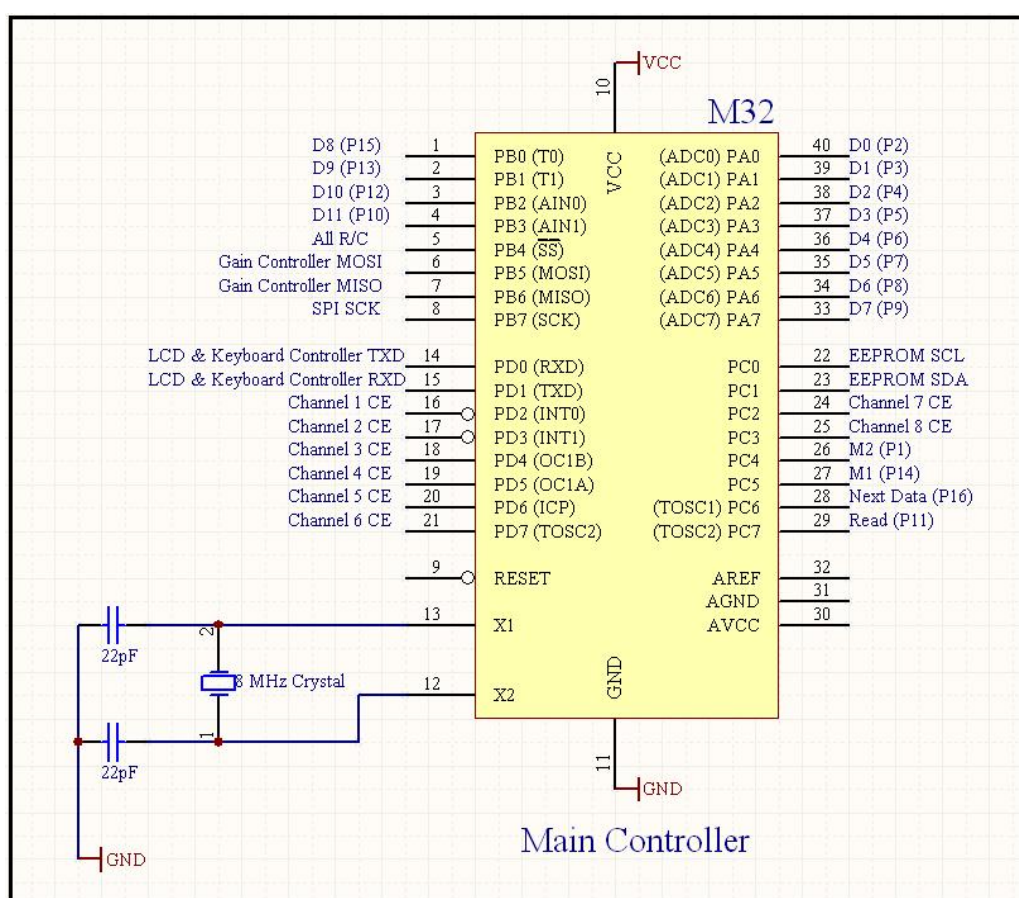
شکل ۳-۶. بلوک دیاگرام مدار جمع آوری داده

در ادامه در هر بخش نحوه عملکرد پینهای تخصیص داده شده میکرو کنترلر ها به همراه Source برنامه داخل Flash آنها که به زبان BASCOM نوشته شده است ارائه می شود.

۳-۲-۱ Main Controller

این میکرو کنترلر وظیفه اصلی مدیریت زمان تبدیل و زمان خواندن هر ماژول A/D و مدیریت ارتباط با کامپیوتر را بر عهده دارد. پروتکل ارتباط با کامپیوتر توسط این میکرو کنترلر مدیریت می شود. بدلیل نیاز به عملکرد زمانی پایدار برای این میکرو کنترلر از اسیلاتور کریستالی استفاده شده است.

همچنین این میکرو کنترلر تنظیمات سخت افزاری را که کامپیوتر به کارت ارسال می شود دریافت و به Gain Controller ارسال می کند. در شکل ۳-۷ تخصیص پینهای این میکرو کنترلر نشان داده شده است.



شکل ۳-۷. تخصیص پینهای Main Controller

دو پین PinC.5 و PinC.4 مد کاری این میکرو کنترلر را تنظیم می کند این پینها در حالت ورودی هستند و وضعیت آنها توسط کامپیوتر مشخص می شود . هنگامیکه دستگاه روشن می شود این میکرو کنترلر منتظر می ماند تا بایت وضعیت کاری را که می تواند ارتباط با کامپیوتر یا عملکرد بدون کامپیوتر کارت باشد از LCD & Keyboard Controller دریافت کند اگر دستگاه در مد کاری ارتباط با کامپیوتر باشد Main Controller شروع به چک کردن وضعیت پایه های M_1 و M_2 می کند و با توجه به آنها اعمال مختلف را انجام می دهد . روتین این قسمت در زیر آورده شده است.

روتین چک کردن پایه های M_1 و M_2

```
Do
If Pinc.5 = 1 Then If Pinc.4 = 0 Then Goto Read_from_card
If Pinc.5 = 0 Then If Pinc.4 = 1 Then Goto Write_to_card
If Pinc.5 = 1 Then If Pinc.4 = 1 Then Goto Read_from_eeprom
If Pinc.5 = 0 Then If Pinc.4 = 0 Then Goto Card_disable
Loop
```

در ادامه با توجه به وضعیت M_1 و M_2 چهار حالت به وجود می آید که شرح داده خواهد شد.

۱-۱-۲-۳- Read from Card

روتین این قسمت اصلی ترین بخش برنامه Main Controller است و کار زمانبندی تبدیل و خواندن از ماژولهای A/D را توسط Timer1 و همچنین مدیریت پروتکل ارتباط با کامپیوتر را انجام می دهد . روتین این بخش ابتدا عددی را به LCD & Keyboard Controller ارسال می کند که نشان دهنده وضعیت کاری کارت میباشد و سپس Timer1 را روشن می کند این روتین در زیر آورده شده است .

روتین Read from Card

```
Read_from_card:
If Send <> 10 Then
    Send = 10
    Printbin Send
    Enable Interrupts
    Enable Timer1
```

End If
Goto Pc

این تایمر در زمانهای تعیین شده که می تواند حاصل از فرکانسهای نمونه برداری مختلف 5000، 2000، 1000 و 200 نمونه بر ثانیه باشد وضعیت پین Read را تغییر می دهد و به کامپیوتر اعلام می کند که اطلاعات کانالها تبدیل شده و آماده خواندن است سپس کامپیوتر با لبه های بالا رونده که به پایه Next data اعمال می کند داده ها را به ترتیب از باس داده میخواند در حقیقت Main Controller ابتدا ماژولهای A/D را در وضعیت تبدیل قرار می دهد و سپس با وقوع وقفه Timer1 به ترتیب آنها را در وضعیت Read قرار می دهد و هر کدام از ماژولهای A/D داده خود را بر روی باس داده قرار می دهند و کامپیوتر آنها را می خواند.

اینکه کامپیوتر چه زمانی شروع به خواندن داده های ۸ کانال کند توسط Main Controller و اینکه داده هر کدام از کانالها چه زمانی بر روی باس قرار می گیرد توسط کامپیوتر و با تغییر پین next data انجام می شود. روتین Timer1 در ادامه آورده شده است.

روتین Timer1

```
Ovf1rtn:
Disable Interrupts
Timer1 = Timer_start_value
Portd = Portd And &B00000011
Reset Portc.2
Reset Portc.3
Set Portb.4
Send = 4
Portd = Portd Or Send
Set Portc.7
For C = 1 To 5
Bitwait Pinc.6 , Set
If Pinc.5 = 0 Then If Pinc.4 = 0 Then Goto Pc
Shift Portd , Left , 1
Bitwait Pinc.6 , Reset
Next C
Reset Portc.7
Bitwait Pinc.6 , Set
Reset Portd.7
```



```

Set Portc.2
Bitwait Pinc.6 , Reset
Bitwait Pinc.6 , Set
Reset Portc.2
Set Portc.3
Bitwait Pinc.6 , Reset
Bitwait Pinc.6 , Set
Reset Portc.3
Reset Portb.4
Portd = Portd Or &B11111100
Set Portc.2
Set Portc.3
Bitwait Pinc.6 , Reset
Enable Interrupts
Return

```

Write to Card -۳-۲-۱-۲

برای نوشتن بایتهای تنظیمات سخت افزاری بر روی کارت این روتین اجرا می شود ابتدا یک بایت به LCD & Keyboard Controller فرستاده می شود که نشان می دهد دستگاه در چه وضعیتی است . سپس ۱۰ بایت به ترتیب روی باس قرار داده می شود و کامپیوتر با اعمال لبه های بالارونده به پین next data این داده ها را به داخل Main Controller شیفت می کند . این داده ها وظیفه تنظیم Gain انتخاب شده و فرکانس نمونه برداری را بر عهده دارند 8 بایت اول توسط باس SPI به Gain Controller فرستاده می شود و از بایت نهم برای تعیین مقدار اولیه تایمر 1 که فرکانس نمونه برداری را مشخص می کند استفاده می شود. روتین این بخش در صفحه بعد آورده شده است.

روتین Write to Card

```

Write_to_card:
If Send <> 20 Then
    Send = 20
    Printbin Send

```

```

For C = 1 To 10
    Bitwait Pinc.6 , Set
    D(c) = Pina
    Bitwait Pinc.6 , Reset
Next C
For C = 1 To 8
    Spiout D(c) , 1
    Waitms 100
Next C
Select Case D(9)
    Case 1 : Timer_start_value = 63935
    Case 2 : Timer_start_value = 61535
    Case 3 : Timer_start_value = 57535
    Case 4 : Timer_start_value = 45535
    Case 5 : Timer_start_value = 25535
End Select
End If
Goto Pc

```

Read from EEPROM -۳-۲-۱-۳

در این بخش داده های RMS که توسط Main Controller محاسبه و در 24C512 ذخیره شده اند به کامپیوتر فرستاده می شود . این يك امکان اضافي است که در ساخت سخت افزار دستگاه در نظر گرفته شده و در طرحهاي توسعه اي آینده دستگاه مي تواند استفاده شود.

Card Disable -۳-۲-۱-۴

هنگامیکه از کارت استفاده نمی شود کامپیوتر کارت را در این مد قرار می دهد. روتین این قسمت در صفحه بعد آورده شده است.

روتین Card disable

```

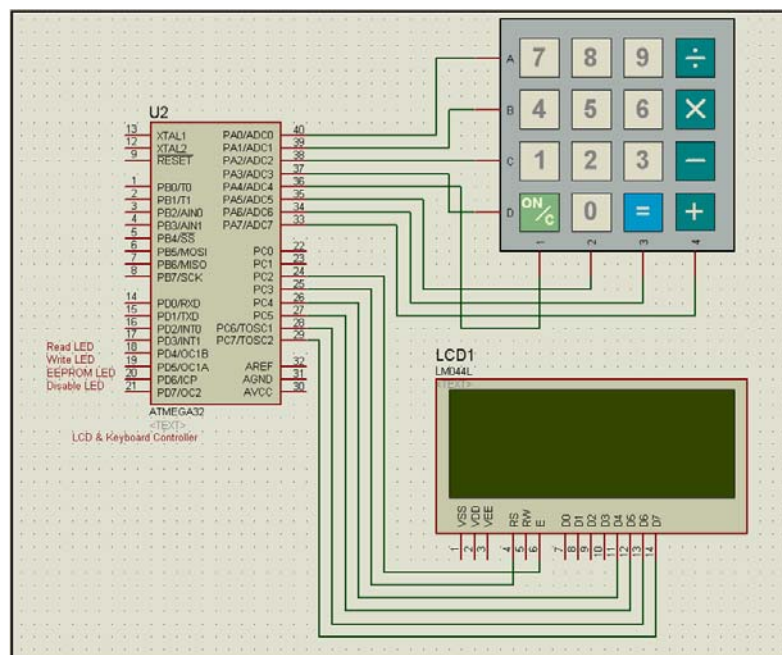
Card_disable:
If Send <> 40 Then
    Send = 40
    Printbin Send
    Disable Timer1
    Portd = Portd And &B00000011

```

Reset Portc.2
 Reset Portc.3
 Reset Portc.7
 Reset Portb.4
 End If
 Goto Pc

۳-۲-۲ LCD & Keyboard Controller

این میکرو کنترلر وظیفه کنترل LCD و صفحه کلید را بر عهده دارد همچنین وضعیت کاری دستگاه در مد ارتباط با کامپیوتر از روی بایستی که Main Controller به آن می فرستد تعیین و توسط LED نشان می دهد. این میکرو کنترلر از نوع AtMEGA32 است و نحوه تخصیص پینهای آن در شکل 3-8 نشان داده شده است.



شکل ۳-۸. مدار LCD & Keyboard Controller

علت نصب LCD و صفحه کلید بر روی دستگاه داشتن توانایی اضافی نشان دادن مقادیر RMS سیگنال شتاب بدون استفاده از کامپیوتر است البته برنامه این قسمت می تواند در گسترشهای آتی دستگاه نوشته شود. هنگامی که سیستم روشن می شود مد کاری توسط صفحه

کلید انتخاب و با نمایش پیغام مناسب بر روی LCD دستگاه به آن مد می رود. کد برنامه داخل Flash آن در ادامه آورده شده است.

```
$regfile = "m32def.dat"
$crystal = 8000000
$baud = 1200
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Pinc.4 , Db5 = Pinc.5 , Db6 = Pinc.6_
, Db7 = Pinc.7 , E = Pinc.2 , Rs = Pinc.3

Config Lcd = 20 * 4
Config Kbd = Porta
Config Serialout = Buffered , Size = 5
Config Serialin = Buffered , Size = 5
Config Pind.4 = Output
Config Pind.5 = Output
Config Pind.6 = Output
Config Pind.7 = Output
Enable Interrupts
Declare Sub Start_graph
Dim Key As Byte
Dim C As Byte
Call Start_graph
Wait 2
Wait_key:
Key = Getkbd()
If Key <> 11 Then Goto Wait_key
Waitms 500
Start_condition:
Locate 2 , 2
Lcd "Select Mode:  "
Locate 3 , 2
Lcd "1:PC 2:Stand alone"
Main:
Key = Getkbd()
If Key > 15 Then Goto Main
If Key = 0 Then Goto Pc
If Key = 4 Then Goto Stand_alone
***** PC *****
Pc:
C = 100
Printbin C
```

```

Locate 2 , 2
Lcd " Connect to PC... "
Locate 3 , 2
Lcd "  Run Program  "
Reset Portd.4
Reset Portd.5
Reset Portd.6
Set Portd.7
Do
C = Waitkey()
Cls
Lcd C
If C = 10 Then
Set Portd.4
Reset Portd.5
Reset Portd.6
Reset Portd.7
End If
If C = 20 Then
Reset Portd.4
Set Portd.5
Reset Portd.6
Reset Portd.7
End If
If C = 30 Then
Reset Portd.4
Reset Portd.5
Set Portd.6
Reset Portd.7
End If
If C = 40 Then
Reset Portd.4
Reset Portd.5
Reset Portd.6
Set Portd.7
End If
Loop
Stand_alone:
C = 200
Printbin C

```

```

Cls
Lcd "Under Constraction"
End                                     'end program

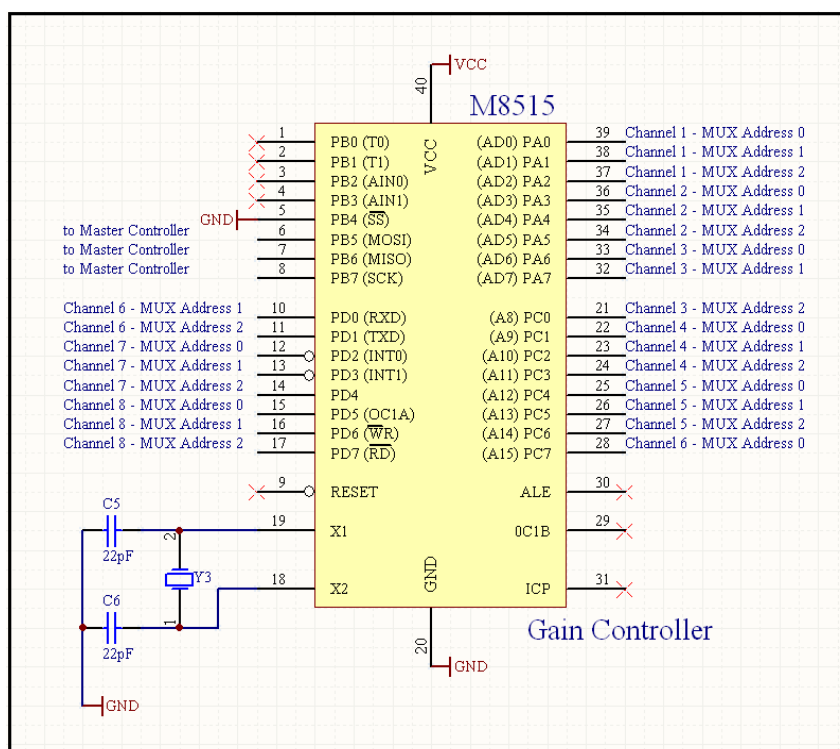
***** Start Graph *****

Sub Start_graph
Dim A As Integer
Cls
Deflcdchar 0 , 32 , 15 , 8 , 11 , 10 , 10 , 10 , 10
Deflcdchar 1 , 32 , 31 , 32 , 31 , 32 , 32 , 32 , 32
Deflcdchar 2 , 32 , 30 , 2 , 26 , 10 , 10 , 10 , 10
Deflcdchar 3 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10
Deflcdchar 4 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10 , 10
Deflcdchar 5 , 10 , 10 , 10 , 10 , 11 , 8 , 15 , 32
Deflcdchar 6 , 32 , 32 , 32 , 32 , 31 , 32 , 31 , 32
Deflcdchar 7 , 10 , 10 , 10 , 10 , 26 , 2 , 30 , 32
Cls
Lcd Chr(0)
For A = 1 To 18
Lcd Chr(1)
Next A
Lcd Chr(2)
Locate 2 , 1
Lcd Chr(3)
Lcd "  Salar Basiri  "
Lcd Chr(4)
Locate 3 , 1
Lcd Chr(3)
Lcd "    Present    "
Lcd Chr(4)
Locate 4 , 1
Lcd Chr(5)
For A = 1 To 18
Lcd Chr(6)
Next A
Lcd Chr(7)
Cursor Off
End Sub

```

۳-۲-۳ Gain Controller

این میکرو کنترلر وظیفه تنظیم بهره تقویت کننده های هز مازول A/D را بر عهده دارد و رشته کنترلی را که شامل 8 بایت است از Main Controller توسط باس SPI دریافت میکند سپس وضعیت 24 پین خود را که به باس آدرس مالتی پلکسرهای آنالوگ هر کانال متصل است را تغییر می دهد تخصیص پینهای این میکرو کنترلر در شکل ۳-۹ نشان داده است.



شکل ۳-۹. تخصیص پینهای Gain Controller

۳-۲-۴ Main Board

مدار کامل بخش مدیریت داده های دیجیتال و ارتباط با کامپیوتر شامل سه میکروکنترلر گفته شده و سوکتهای قرارگیری مازولهای A/D در صفحه بعد آورده شده است. شماتیک مدار میکروکنترلی در پیوست C-2 آورده شده است. PCB این مدار در پیوست C-4 ارائه شده است.

مدار کامل مونتاژ شده به همراه مازولهای A/D و جعبه بندی فلزی برای شیلد کردن و کاهش اثرات نویزهای الکترومغناطیس در شکل 3-10 نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۳ مدار کامل مونتاژ شده در جعبه فلزی برای کاهش اثرات نویز

فصل چہارم

کامپیوٹر

۴- کامپیوتر

برای انتقال مقادیر اندازه گیری شده توسط دستگاه به کامپیوتر برنامه درایور به زبان Delphi پیاده سازی شده است این برنامه مشتمل بر بیش از 2200 خط می باشد و اعمال خواندن داده ها ، تنظیمات سخت افزاری و محاسبه مقادیر RMS و Peak را می تواند انجام دهد و در محیط ویندوز (شامل تمام نگارشها) قابل اجرا می باشد .

در ادامه در دو بخش ابتدا روتینهای سخت افزاری و پایه استفاده شده در برنامه و سپس رابط گرافیکی کاربر (GUI) آن شرح داده خواهد شد.

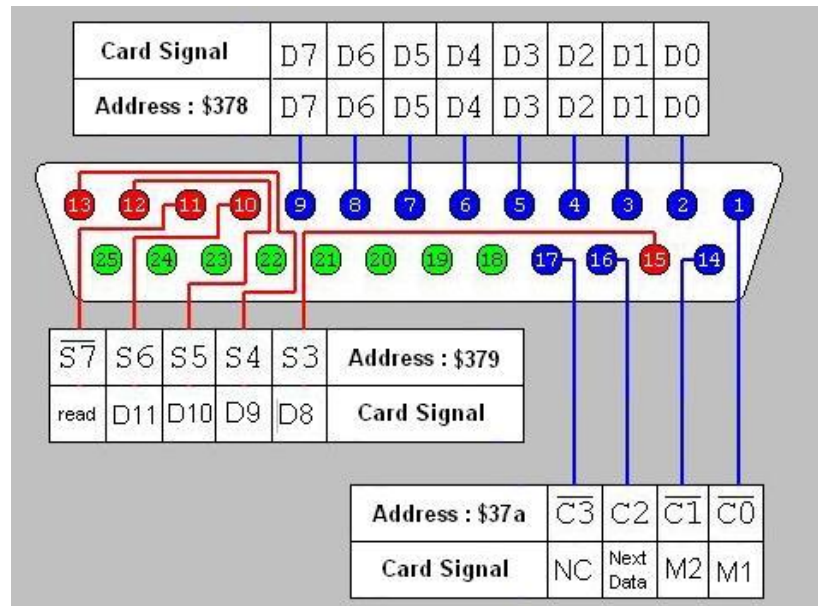
۴-۱ - روتینهای پایه و سخت افزاری

در این بخش روتینهای خواندن داده از پورت ، تنظیمات سخت افزاری ، فیلترهای نرم افزاری نوشته شده برای کاهش اثرات نویز (FIR) و چگونگی اجرای برنامه در محیط ویندوز XP برای دسترسی به پورت پارالل به همراه Source برنامه به ترتیب شرح داده خواهد شد.

۴-۱-۱- خواندن داده های خام از پورت

همانطور که در بخش الکترونیک اشاره شد برای خواندن داده های کارت از پورت پارالل استفاده شده است . عرض باس داده 12 بیت است و از پورتهای Data Port و Status port استفاده شده است بیت آخر Status Port برای فهمیدن شروع زمان نمونه برداری استفاده شده است و توسط Main Controller وضعیت آن تغییر می کند . در شکل ۴-۱ سیم بندی پورت پارالل به کارت نشان داده است.

لازم به توضیح است که Data Port در کاربردهای معمولی در گاه چاپگر خروجی است ولی با ست کردن بیت پنجم Control Port به صورت ورودی در می آید البته مادربرد دستگاه باید قادر به پشتیبانی از مد EPP برای کاربرد صحیح پورت چاپگر باشد .



شکل ۱-۴. سیم بندی پورت پارالل

متن برنامه خواند از پورت در زیر آورده شده است.

متن برنامه خواند از پورت

```

number_of_sample := sampling_time*sampling_frequency;
assignfile(data,'c:/data.sal');
rewrite(data);
in_378;
read_from_card;
for data_count := 1 to number_of_sample do
begin
repeat
asm
mov dx,$379
in al,dx
and al,10000000b
mov r,al
end;
until (r=0);
for c := 1 to 8 do
begin
asm
mov dx,$378
in al,dx
mov msb,al

```

```

mov dx,$379
in al,dx
mov lsb,al
end;
write(data,msb);
asm
mov dx,$37a
in al,dx
or al,00000100b
out dx,al
end;
write(data,lsb);
asm
mov dx,$37a
in al,dx
and al,11111011b
out dx,al
end;
end;
end;
card_disable;
asm
mov dx,$37a
in al,dx
or al,00000100b
out dx,al
end;
closefile(data);
asm
mov dx,$37a
in al,dx
and al,11111011b
out dx,al
end;

```

در روتین بالا ابتدا پورت \$378 در وضعیت ورودی قرار میگیرد سپس کارت در مد خواندن قرار داده میشود. با توجه به اینکه زمانبندی نمونه برداری توسط میکرو کنترلر Main Controller انجام می گیرد در ابتدا کامپیوتر منتظر می ماند تا بیت Read Data

(P11) يك شود سپس كامپيوتر با اعمال لبه هاي بالارونده بين next data (P16) به ترتيب داده هاي ماژولهاي A/D را روي باس داده قرار مي دهد و آنها را مي خواند و در يك فايل ذخيره مي كند تعداد بارهاي خواندن از پورت توسط زمان نمونه برداري مشخص مي شود. بعد از اينكه داده هاي خام از پورت خوانده و در يك فايل ذخيره شده در فرصت كافي بعد از نمونه برداري پردازش شده و به داده هاي ستوني در يك فايل ديگر براي هر كانال تبديل مي شود. Source. اين قسمت در زير آورده شده است.

Source تبديل به عدد

```
read(in_file,lsb);
read(in_file,msb);
msb := msb and 120;
var_int := msb;
var_int := var_int shl 5;
var_int := var_int + lsb;
var_int := var_int - 2048;
writeln(out_ch1,inttostr(var_int));
```

بعد از اينكه داده هاي عددي خام استخراج شد فيلتر شده و سپس با توجه به ولتاژ خروجي سنسور و بهره انتخاب شده به مقياس مناسب برده ميشود. در زير متن برنامه تبديل به مقياس مناسب آورده شده است.

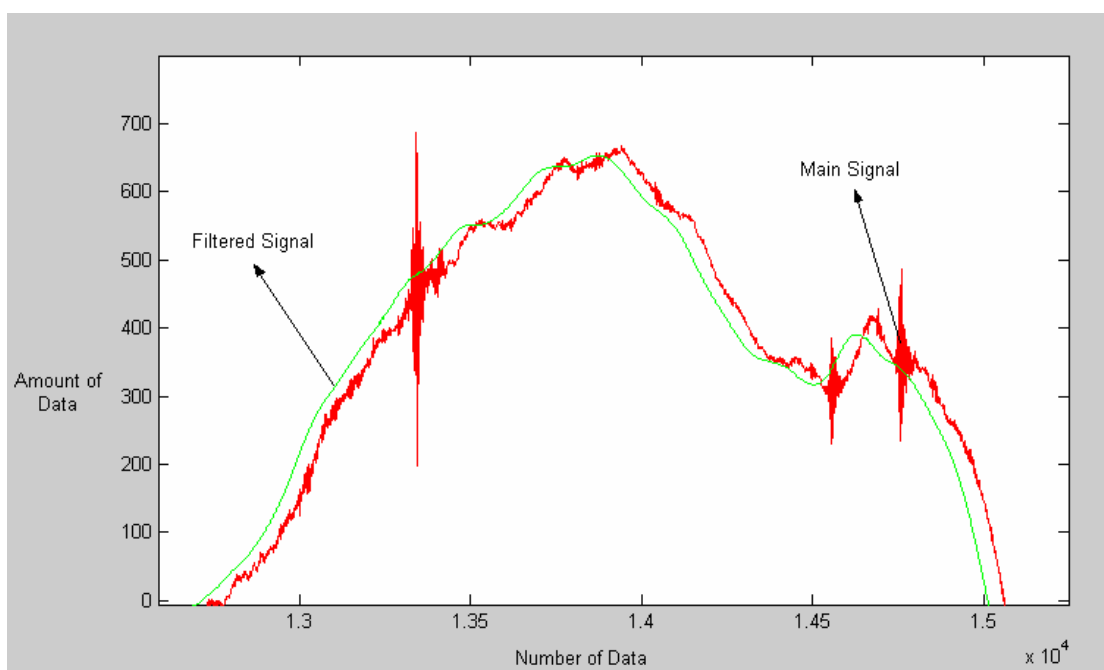
متن برنامه تبديل داده هاي خام به مقياس مناسب

```
scale := 0.041753313*strtofloat(calibration.edit1.text);
sampling_frequency := strtoint(main_form.Speed_cb.Items[main_form.Speed_cb.itemindex]);
dt := 1/sampling_frequency;
assignfile(final_output,savedialog1.FileName+'.adf');
assignfile(fir_ch1,'c:/fir_ch1.sal');
rewrite(final_output);
reset(fir_ch1,'c:/fir_ch1.sal');
time := 0;
repeat
readln(fir_ch1,in_data);
gain := strtoint(main_form.ch1_gain_cb.Items[main_form.ch1_gain_cb.itemindex]);
out_data := scale * in_data / gain;
writeln(final_output,floattostr(roundto(time,-4))+ ' '+floattostr(roundto(out_data,-3)));
time := time+dt;
until (eof(fir_ch1));
```

FIR - ۴-۱-۲

برای کاهش نویزهای فرکانس بالای موجود در سیگنال شتاب از فیلترهای نرم افزاری FIR استفاده شده است. فیلتر نرم افزاری طراحی شده دارای قابلیت انتخاب فرکانسهای قطع متنوع برای هر کانال را دارا می باشد. در شکل ۴-۲ سیگنال اصلی و سیگنال فیلتر شده نشان داده شده اند.

اصول طراحی فیلتر که در این بخش ذکر می شود از کتاب Signal Processing Algorithm نقل خواهد شد.



شکل ۴-۲. مقایسه سیگنالهای نویزی و فیلتر شده

در طراحی فیلتر دیجیتال FIR ابتدا دنباله ای از داده های گسسته ورودی انتخاب می شود و با اعمال عملگرهای گوناگون روی آنها نتیجه حاصل که يك داده گسسته است به جاي اولین عضو دنباله قرار داده می شود. تعداد اعضاي دنباله انتخاب شده را طول پنجره می نامند. بنابراین فرمول کلی فیلترهای FIR به صورت زیر است:

$$y_i = \sum_{j=i}^{i+w} b_j x_j$$

L: شمارنده حلقه

W: طول پنجره

ساده ترین روش پیدا کردن ضرایب b_j استفاده از روش Moving Average است که در آن میانگین اعضای داخل پنجره به دست می آید و به جای عضو وسط پنجره قرار داده می شود و فرمول آن به صورت زیر است .

$$y_n = \frac{1}{N + M + 1} \sum_{K=-N}^M x[n - k]$$

با توجه به فرمول بالا باید توجه داشت که پنجره انتخاب شده باید حول نقطه مرکزی متقارن باشد . در حالت کلی ضرایب b_j به صورت زیر بدست می آید

$$b_j = h(j) = h_d(j)W(j)$$

در فرمول بالا $W(j)$ را فرمول پنجره و $h_d(j)$ را با استفاده از عکس تبدیل فوری به دست می آید و به صورت زیر است:

$$h_d(j) = \frac{\sin \left[w_c \left(j - \frac{L}{2} \right) \right]}{\pi \left(j - \frac{L}{2} \right)}$$

$$w_c = 2\pi f_c T \quad \text{که در آن}$$

و f_c فرکانس قطع و T زمان نمونه برداری است.

برای رفع اثر Gibbs در طراحی فیلترهای دیجیتال معمولاً از فرمولهای پنجره متفاوتی استفاده می شود زیرا فرمول پنجره مستطیلی نمیتواند این اثر را حذف کند. در این پروژه از فرمول پنجره Hamming استفاده شده است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$w_k = 0.45 - 0.46 \cos\left(\frac{2k\pi}{N-1}\right)$$

برنامه نوشته شده قادر است که برای فرکانسهای قطع متفاوت و فرکانسهای نمونه برداری مختلف عمل FIR را بر روی سیگنال شتاب انجام دهد Source برنامه نوشته شده در ادامه آورده شده است.

Source مربوط به *FIR*

```
cutoff_frequency := strtoint(main_form.ch1_fir_cb.Items[main_form.ch1_fir_cb.itemindex]);
sampling_frequency := strtoint(main_form.Speed_cb.Items[main_form.Speed_cb.itemindex]);
window_width := trunc(1.5*(sampling_frequency/cutoff_frequency));
w_c := 2*Pi*cutoff_frequency/sampling_frequency;
for k := 0 to window_width do
begin
result := 0.54 - 0.46 * cos((2*k*Pi)/(window_width-1));
hamming_w[k] := result;
end;
for k := 0 to window_width do
begin
if (k = window_width/2) then result := 2*cutoff_frequency/sampling_frequency
else result := (sin(w_c*(k-window_width/2))) / (Pi*(k-window_width/2));
h_d[k] := result;
end;
for k := 0 to window_width do
b_n[k] := hamming_w[k]*h_d[k];
for c := 0 to window_width do
begin
readln(out_ch1,data);
window_data[c] := strtoint(data);
end;
repeat
sum := 0;
for c := 0 to window_width do
sum := sum + b_n[c]*window_data[c];
writeln(fir_ch1,floattostr(roundto(sum,-2)));
readln(out_ch1,data);
for c := 0 to window_width do
```



```

window_data[c] := window_data[c+1];
window_data>window_width] := strtoint(data);
until (eof(out_ch1));
closefile(out_ch1);
closefile(fir_ch1);

```

Hardware Setting -۴-۱-۳

براي تنظيم فرکانس نمونه برداري و بهره هر کانال لازم است تا دنباله اي از اعداد که شامل ۱۰ بایت است به کارت فرستاده شود بدین منظور ابتدا تنظیمات مورد نظر کاربر به قالب مناسب تبدیل می شود و سپس باید به بایت به کارت فرستاده شود.

Source مربوط به این قسمت در زیر آورده شده است.

Source مربوط به *Hardware setting*

```

asm
mov dx,$37a
in al,dx
and al,11111011b
out dx,al
end;
write_to_card;
for c := 1 to 10 do
begin
out_378(control_array[c]);
sleep(50);
asm
mov dx,$37a
in al,dx
or al,00000100b
out dx,al
end;
sleep(50);
asm
mov dx,$37a
in al,dx
and al,11111011b
out dx,al

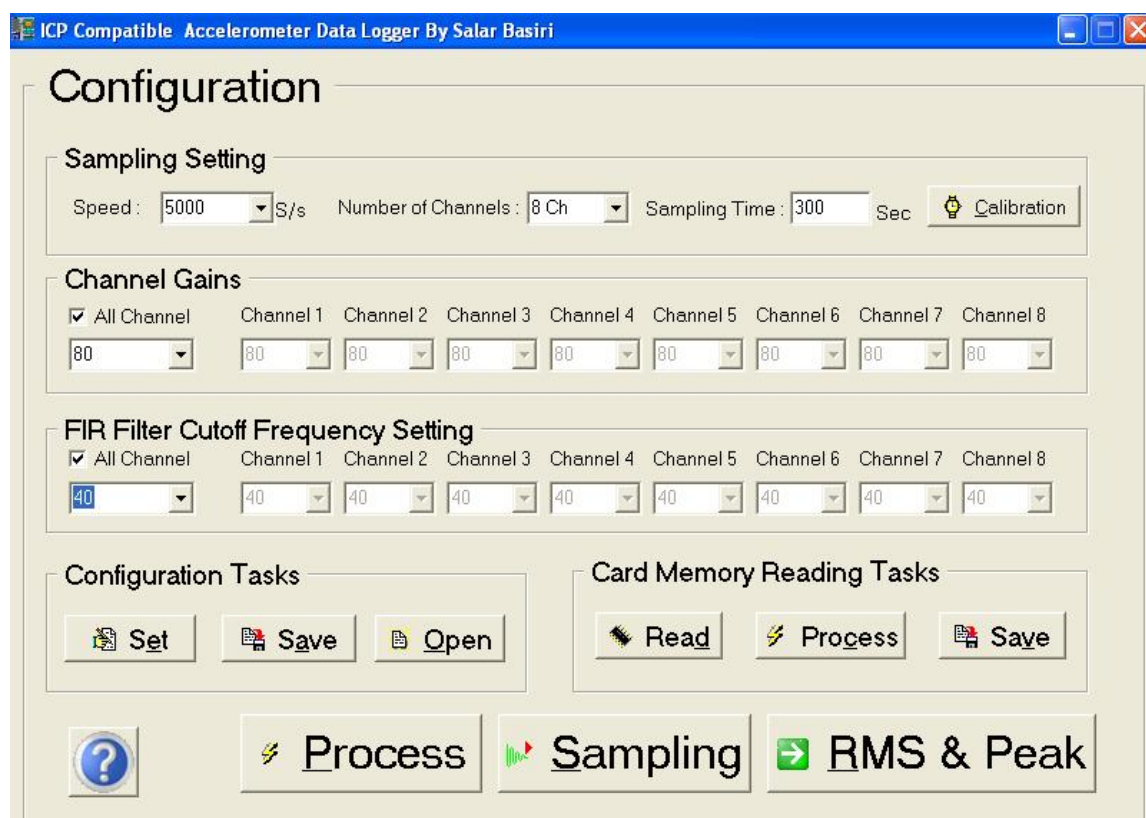
```

```
end;  
end;  
card_disable;
```

ابتدا کارت در مد نوشتن تنظیم می شود و سپس داده ها به ترتیب روی Data Port قرار می گیرند در این قسمت Data Port در وضعیت خروجی قرار داده شده است . با اعمال لبه های بالارونده روی پین next data داده ها به ترتیب ده داخل کارت شیفتر داده می شوند.

GUI - ۴-۲

با اجرای برنامه درایو دستگاه صفحه اول برنامه ظاهر می شود در این صفحه توضیحات مختصر در مورد دستگاه ارائه شده است . با زدن کلید Start صفحه اصلی برنامه ظاهر می شود که در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳ . رابط گرافیکی کاربر برنامه درایور

این صفحه شامل قسمتهای زیر می باشد :

Sampling Setting: در این قسمت تنظیمات نمونه برداری انجام می شود که شامل گزینه های زیر است:

Speed : فرکانس نمونه برداری شده را مشخص می کند و می تواند هر کدام از مقادیر 200، 400، 1000، 2000 و 5000 انتخاب شود.

Number of Channels: تعداد کانالها را مشخص می کند. این گزینه مشخص می کند که در فایل خروجی تعداد ستونهای شتاب چند عدد باشد.

Sampling Time : زمان کل نمونه برداری را مشخص می کند همچنین در محاسبه **Peak** و **RMS** مشخص می کند که این مقادیر د چه بازه زمانی محاسبه می شوند . زمان نمونه برداری باید بر حسب ثانیه وارد شود.

Calibration : با فشردن این کلید فرمی شاهر می شود که مقدار ولتاژ خروجی سنسور به ازای شتاب های مختلف بر حسب **mv/g** در آن وارد می شود . این عدد بر حسب نوع سنسور تغییر می کند و در کاتالوگ آن مشخص می شود.

Channel Gain: در این قسمت می توان ضریب بهره کانالهای مختلف را مشخص نمود که می تواند برای همه کانالهای یک ضریب یا برای هر کانال ضریب متفاوتی تنظیم شود و می تواند هر کدام از مقادیر 1, 4, 8, 40, 80, 400, 800, 2200 انتخاب شود. هرچه دامنه تغییرات شتاب بیشتر باشد باید **Gain** کمتر انتخاب شود و برعکس.

FIR Filter cut off Frequency : در این قسمت فرکانس قطع فیلتر **FIR** مشخص می شود که می تواند برای کانالهای مختلف متفاوت باشد و می تواند هر کدام از مقادیر 8, 20, 40, 100, 200, 500, 1000 هرتز انتخاب شود.

Configuration Tasks: در این قسمت تنظیمات سخت افزاری را می توان به کارت اعمال نمود همچنین می توان تنظیمات خاصی را ذخیره کرد یا از تنظیمات ذخیره شده استفاده کرد.

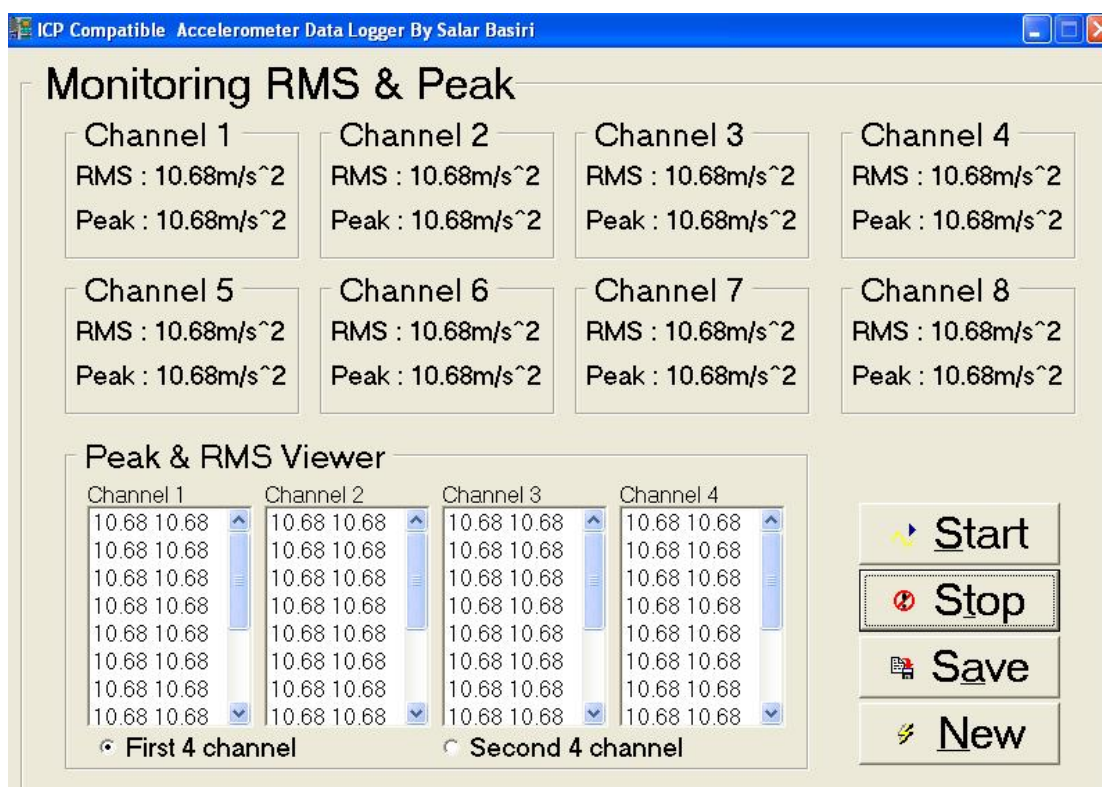
Card Memory Reading Tasks: این قسمت مربوط به خواندن محتویات حافظه **EEPROM** دستگاه و می تواند در گسترشهای بعدی دستگاه استفاده شود.

Process: با فشردن این کلید فایل **Temp** گرفته شده از دستگاه پردازش می شود و می توان آن را ذخیره نمود.

Sampling : با فشردن این کلید عملیات خواندن داده های شتاب از دستگاه شروع می شود.

کلید Help: با فشردن این کلید مکان نما به شکل علامت سؤال در می آید با کلیک بر روی هر قسمت در مورد آن توضیح داده می شود.

کلید Peak & RMS: با فشردن این کلید صفحه Peak & RMS ظاهر می شود که در شکل 4-4 نشان داده شده است باید توجه نمود که زمانی که مقادیر Peak و RMS در آن محاسبه می شوند همان Sampling Time است.



شکل ۴-۴ فرم محاسبه مقادیر Peak و RMS

در این صفحه با فشردن Start عملیات محاسبه مقادیر Peak و RMS شروع می شود و همزمان در List Box ها ذخیره می شود که نهایتاً می توان آنها را محل مورد نظر ذخیره کرد برای برگشت به صفحه اصلی باید کلید New فشرده شود.

۴-۳- اجرای برنامه در محیط ویندوز XP

همانطور که می دانید در ویندوز XP تمام پورتها به دلیل مسائل امنیتی بسته هستند . در اینجا برای باز کردن پورتها از يك نرم افزار جانی به نام Port talk استفاده شده است. این برنامه در کنار برنامه exe اصلی وجود دارد و توسط يك Batch file آن را اجرا می کند.

فصل پنجم

تست و کالیبراسیون دستگاه

۵- تست و کالیبراسیون دستگاه

عوامل مؤثر بر دقت دستگاه عبارتند از رزولوشن A/D و دامنه تغییرات شتاب. عامل دیگر نوع سنسور است. مثلاً اگر سنسور خروجی 100mv/g داشته باشد به ازای يك شتاب خاص دقت بیشتری از سنسوری با خروجی 10mv/g خواهد داشت.

ضریب بهره انتخاب شده نیز بر روی دقت دستگاه مؤثر است و هر چه ضریب بهره بالاتر انتخاب شود دقت دستگاه نیز بالاتر می رود ولی دامنه شتاب ورودی که سنسور می تواند داشته باشد کاهش می یابد. در جدول ۱-۵ مقادیر دقت و ماکسیمم دامنه شتاب ورودی به ازای ضرایب بهره مختلف آورده شده است نوع سنسور استفاده شده در این برآورد A/120/V می باشد.

مقدار ضریب بهره	ماکسیمم دامنه شتاب (m/s^2)	دقت اندازه گیری شتاب (m/s^2)
۱	± 8280	۴,۰۴
۴	± 2070	۱,۰۱
۸	± 1035	۰,۵
۴۰	± 207	۰,۱
۸۰	± 104	۰,۰۵
۴۰۰	$\pm 20,7$	۰,۰۱۰۱۱
۸۰۰	$\pm 10,3$	۰,۰۰۵۰۳
۲۲۰۰	$\pm 3,8$	۰,۰۰۱۸۵۵

جدول ۱-۵. مقادیر دامنه و دقت اندازه گیری شتاب

عامل سخت افزاری که دقت دستگاه را مشخص می کند تنظیم مناسب مولتی تر نهایی است که ضریب بهره آن توسط آنها مشخص می شود. و باید با دقت کافی تنظیم شوند. برای کالیبراسیون سنسورهای شتاب از روشهای متفاوتی استفاده می شوند که از همانها می توان برای کالیبره کردن دستگاه استفاده نمود. در ادامه انواع این روشها معرفی میشود.

الف- Back to Back : در این روش يك شتاب سنج كالیبره شده و يك شتاب سنج تحت كالیبراسیون را پشت به پشت به منبع نوسان متصل می کند و با مقایسه مقادیر RMS شتاب سنج [یا دستگاه] را كالیبره می کنند منبع نوسان معمولاً با فشار هوا کار می کند.

ب) Gravimetric Method: در این روش از نوسانگر با دامنه زیاد و فرکانس کم و اندازه گیری دامنه نوسان برای بدست آوردن شتاب واقعی و كالیبره کردن سطحی استفاده می شود.

ج) Hopkinson Bar Method: این روش برای شتاب سنجهای با دامنه ورودی بسیار زیاد به کار می رود و در آن از تست ضربه استفاده می شود.

روشهای ارائه شده در بالا برای تعیین معتبر بودن دامنه سیگنال به کار می رود و برای نشان دادن صحیح بودن شکل به کار نمی آید.

۱-۵- كالیبراسیون دامنه با استفاده از جرم و فنر

در اینجا برای نشان دادن صحیح بودن نتایج از روش Gravimetric Method استفاده شده است و از يك جرم و فنر به عنوان منبع نوسان استفاده می شود. مزیت جرم و فنر این است که نوسان آن هارمونیهای فرکانس را شامل نمی شود و همچنین می توان در نوسانات اولیه تقریباً دامنه آنرا ثابت فرض کرد.



شکل ۱-۵ استفاده از جرم و فنر برای كالیبراسیون دستگاه

ابتدا نوسانگر باید با يك دامنه مشخص به نوسان در آید این دامنه ثابت توسط یک گیج اندازه گیری میشود(شکل ۱-۵). سپس با استفاده از سنسور متصل به جرم نوسانگر سیگنال شتاب اندازه گیری شود حال با استفاده از نمودار شتاب و فرمول حداکثر دامنه شتاب و اندازه گیری زمان تناوب نوسان قادر به محاسبه دامنه جابجایی نوسانگر خواهیم بود با مقایسه دامنه بدست آمده از سیگنال شتاب و دامنه اندازه گیری شده توسط گیج دقت دستگاه مشخص می شود در جدول ۲-۵ برای چند دامنه متفاوت دقت محاسبه و آورده شده است. در این آزمایش تاثیر بهره فیلتر FIR با انتخاب فرکانس قطع بالا کاهش یافته است.

ردیف	ماکزیم دامنه شتاب (m/s-2)	دوره تناوب (s)	ماکزیم دامنه جابجایی بدست آمده از شتاب (mm)	ماکزیم دامنه جابجایی واقعی (mm)	خطا %
۱	۲,۲۸	۰,۷۳	۳۱	۳۰	۳
۲	۳,۶۶	۰,۷۳	۴۹	۵۰	۲
۳	۳,۳۹	۰,۷۳	۴۶	۵۰	۸
۴	۳,۸۴	۰,۷۳	۵۲	۵۰	۴
۵	۴,۰۹	۰,۷۳	۵۵	۵۰	۱۰
۶	۳,۷۲	۰,۷۳	۵۰	۵۰	۱<

جدول ۲-۵ دقت اندازه گیری شتاب

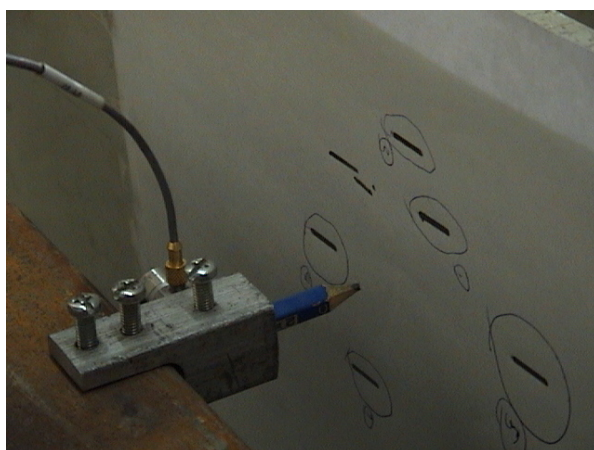
۲-۵- کالیبراسیون دستگاه با استفاده از میز زلزله

در آزمایشی دیگر برای کالیبراسیون دستگاه از میز زلزله استفاده شد. در این آزمایش علاوه بر کالیبره کردن مقادیر دامنه سیگنال شتاب تحلیل فرکانسی هم بر روی سیگنال شتاب و سیگنال های سرعت و جابجایی بدست آمده از انتگرال گیری سیگنال شتاب برای نشان دادن صحیح بودن نتایج در حوزه فرکانس انجام شد که در ادامه توضیح داده میشود.

میز زلزله دارای یک موتور سه فاز است و بکمک دستگاه اینورتر که برق تک فاز را به سه فاز تبدیل میکند شروع به نوسان می کند فرکانس نوسان بکمک اینورتر و دامنه آن با تنظیم پیچ ومهره بدست می آید.

۱-۲-۵- کالیبراسیون دامنه

در این آزمایش بکمک یک مداد و کاغذ مطابق شکل ۲-۵ دامنه نوسان بدست آمد. سپس سنسور شتاب به کانال های مختلف وصل شد و با مقایسه مقادیر جابجایی بدست آمده از سیگنال شتاب هر کانال و جابجایی واقعی دقت دستگاه محاسبه شد. جابجایی واقعی با کولیس و با دقت ۰,۱ میلیمتر اندازه گیری شده است.



شکل ۲-۵ اندازه گیری دامنه واقعی نوسان

این مقادیر در جدول ۳-۵ آورده شده است. فرکانس نوسان 392 rpm و مقدار Gain برابر ۴۰ و فرکانس قطع فیلتر FIR برابر ۲۰ انتخاب شده است.

شماره کانال ورودی	ماکزیم دامنه سیگنال شتاب (m/s^2)	ماکزیم جابجایی بدست آمده از سیگنال شتاب (mm)	جابجایی واقعی (mm)	مقدار خطا %
۱	۶۶,۹	۶,۶	۶,۶	$1 <$
۲	۶۲,۰	۶,۱	۶,۶	۷,۵
۳	۶۶,۳	۶,۵	۶,۶	۱,۵
۴	۶۵,۹	۶,۵	۶,۶	۱,۵
۵	۶۴,۱	۶,۳	۶,۶	۴,۵
۶	۶۴,۷	۶,۴	۶,۶	۳
۷	۶۴,۱	۶,۳	۶,۶	۴,۵
۸	۶۴	۶,۳	۶,۶	۴,۵

جدول ۳-۵ مقایسه جابجایی های بدست آمده از سیگنالهای شتاب و جابجایی واقعی

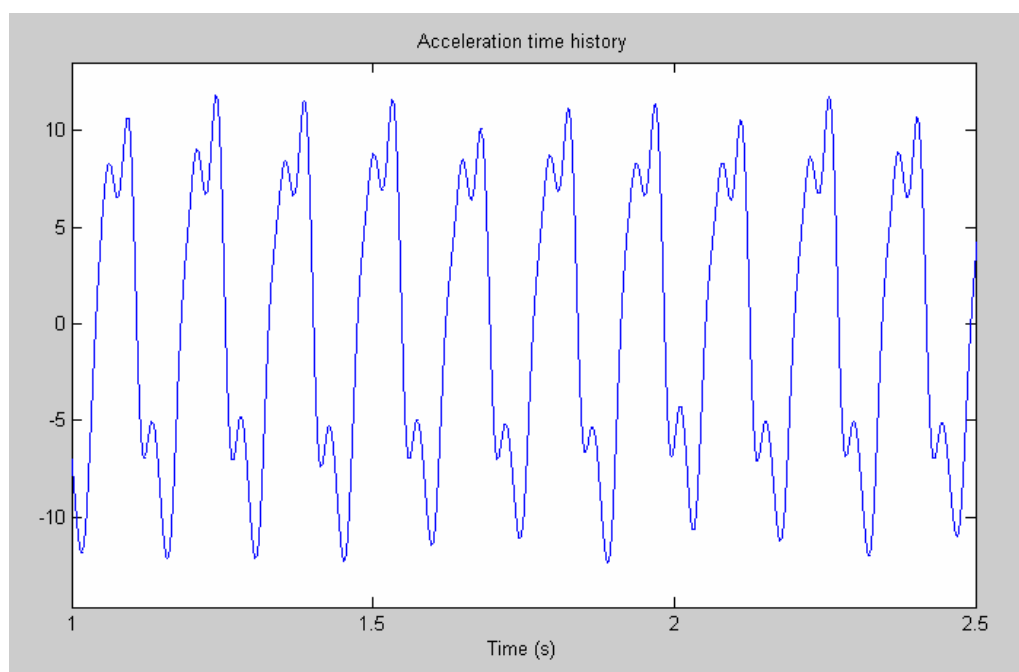
در کانال های ورودی مختلف

علت خطا در کانال ها وجود آفست در تبدیل داده A/D است. برای حذف آن باید در حالی که سنسور کاملاً ثابت است شتاب را اندازه گیری کرد. مقداری که دستگاه در این حالت نشان می‌دهد آفست آن کانال است. این موضوع خصوصاً در مورد انتگرال گیری برای بدست آوردن سیگنال های سرعت و جابجایی اهمیت بسیاری دارد.

۵-۲-۲- تحلیل فرکانسی نتایج

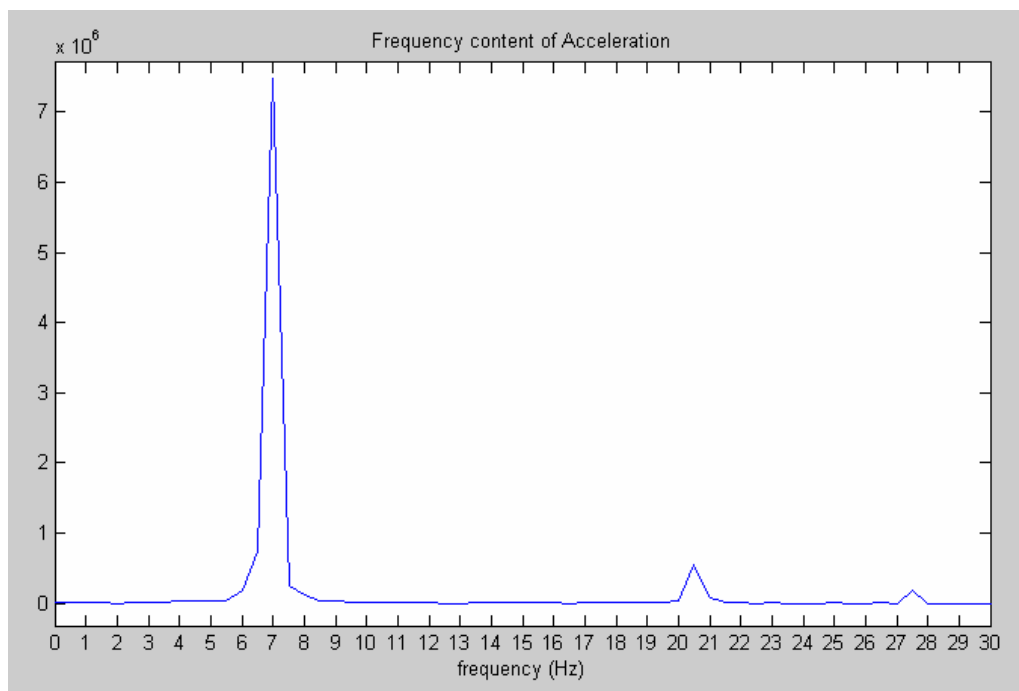
برای نشان دادن صحیح بودن نمودارها در حوزه فرکانسی از تحلیل فرکانسی به کمک تبدیل فوریه استفاده شده است. بر روی داده های جمع آوری شده شتاب به کمک نرم افزار MATLAB عمل FFT گیری انجام شده که نتایج در ادامه آورده شده است.

در شکل ۵-۳ نمودار شتاب جمع آوری شده بکمک دستگاه در فاصله زمانی ۱ تا ۲,۵ ثانیه نشان داده شده است. دامنه جابجایی اندازه گیری شده بکمک مداد و کاغذ ۶,۶ میلیمتر و فرکانس نوسان ۳۹۲rpm می‌باشد.



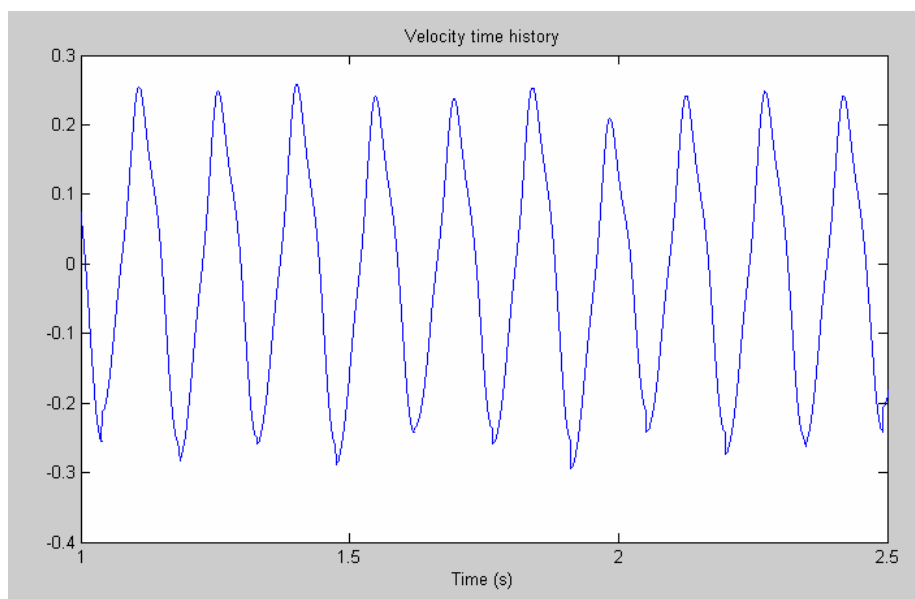
شکل ۵-۳ نمودار سیگنال شتاب میز زلزله در بازه ۱ تا ۲,۵ ثانیه

در شکل ۵-۴ محتوی فرکانسی نمودار شتاب نشان داده شده است. پیک نمودار در ۷Hz است.

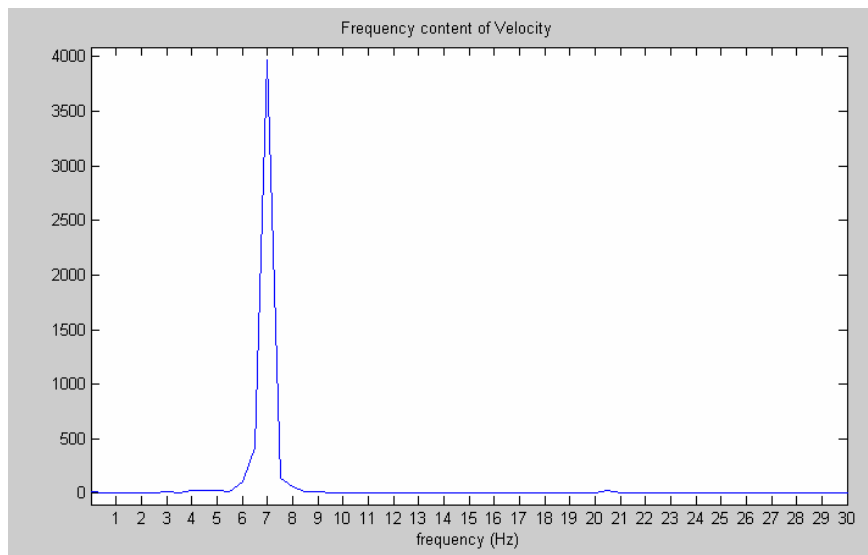


شکل ۴-۵ محتوی فرکانسی سیگنال شتاب میز زلزله

بکمک برنامه نوشته شده به زبان Delphi از سیگنال شتاب انتگرال گیری شده و سیگنال سرعت بدست آمده است. این برنامه همچنین آفست سیگنال را در بازه های نصف دور تناوب بدست آورده و اصلاح میکند. در شکل ۵-۵ نمودار شتاب در بازه زمانی ۱ تا ۲,۵ ثانیه و در شکل ۵-۶ محتوی فرکانسی سیگنال سرعت نشان داده شده است.

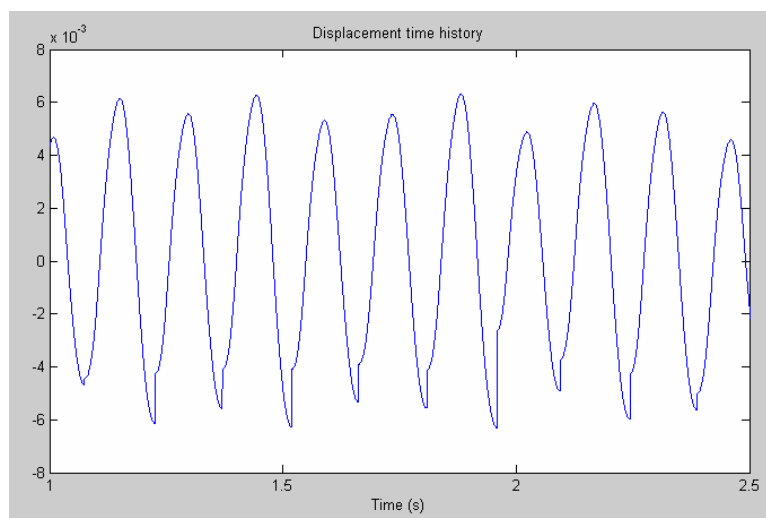


شکل ۵-۵ نمودار سرعت میز لرزان که با انتگرال گیری از سیگنال شتاب بدست آمده است.

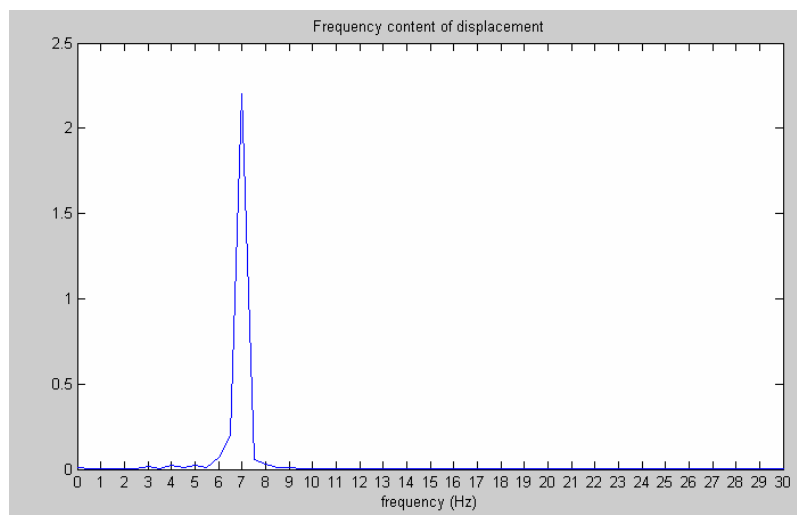


شکل ۵-۶ محتوی فرکانسی نگاشت سرعت

با انتگرال گیری دوباره از سرعت جابجایی بدست می آید. نمودار جابجایی در بازه زمانی ۱ تا ۲,۵ ثانیه و همچنین نمودار تحلیل فرکانسی آن در شکل ۵-۷ و ۵-۸ نشان داده شده است.



شکل ۵-۷ نمودار جابجایی که با دو مرحله انتگرال گیری از سیگنال شتاب بدست آمده است.



شکل ۵-۶ محتوی فرکانسی نگاشت جابجایی

پایان

پیوست A

(اطلاعات تفصیلی در مورد سنسور های شتاب ICP)

پیوست B

(برگه های اطلاعاتی قطعات الکترونیکی)

B-1 - ترانزیستور BD136

B-2 - تقویت کننده عملیاتی OP177

B-3 - مالتی پلکسر آنالوگ CD4051

B-4 - مبدل آنالوگ به دیجیتال AD1674

B-1 - ترانزیستور BD136

B-2 - تقویت کننده عملیاتی OP177

B-3 - مالتی پلکسر آنالوگ CD4051

B-4 - مبدل آنالوگ به دیجیتال AD1674

پیوست C

(مدار های شماتیک و چاپی)

C-1 - مدار شماتیک مازول های A/D

C-2 - شماتیک مدار مدیریت زمان و جمع آوری داده ها

C-3 - برد مدار چاپی مازول های A/D

C-4 - برد مدار چاپی مدار مدیریت زمان و جمع آوری داده ها

C-1 - مدار شماتیک ماژول های A/D

C-2 - شماتیک مدار مدیریت زمان و جمع آوری داده ها

C-3 - برد مدار چاپی ماژول های A/D

C-4 - برد مدار چاپی مدار مدیریت زمان و جمع آوری داده ها