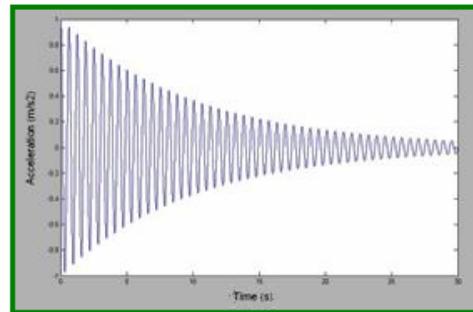




# شتاب سنج ۸ کانال همزمان سازگار با سنسورهای شتاب ICP



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

۴۱	.....	Hardware Setting ۴-۱-۳
۴۲	.....	GUI ۴-۲
۴۴	.....	۴-۳ اجرای برنامه در محیط ویندوز XP
۴۵	.....	<b>فصل پنجم - تست و کالیبراسیون دستگاه</b>
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 قضیلی در مورد سنسور های شتاب (ICP

- **پیوست B** (برگه های اطلاعاتی قطعات الکترونیکی)

BD136 - ترانزیستور B-1

OP177 - تقویت کننده عملیاتی B-2

CD4051 - مالتی پلکسر آنالوگ B-3

AD1674 - مبدل آنالوگ به دیجیتال B-4

- **پیوست C** (مدار های شماتیک و چاپی)

A/D - مدار شماتیک مازول های C-1

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

A/D - برد مدار چاپی مازول های C-3

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

فصل اول

# مقدمه

## ۱- مقدمه

گزارشی که اکنون پیش رو دارد شرح مختصری از چگونگی طراحی و ساخت دستگاه شتاب سنج دینامیکی هشت کanal همزمان است. این دستگاه برای اندازه گیری مقادیر شتاب دینامیکی حاصل از ارتعاش هارمونیک یک جسم طراحی و ساخته شده است و عملکرد دستگاه به این صورت است که ابتدا سنسور شتاب از نوع «ICP» توسط سیم های رابط به دستگاه متصل می شود. تعداد این سنسورها می تواند حداکثر هشت عدد انتخاب شود. اگر سنسورها را به جسم در حال ارتعاش متصل کنیم دستگاه می تواند مقادیر شتاب لحظه ای و منحنی زمانی شتاب هر کدام از سنسورها را با فرکانس نمونه برداری حداکثر  $5^{KS/s}$  اندازه گیری 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.

برای انتقال اطلاعات به کامپیوتر از پورت پارالل استفاده شده است و همچنین تنظیمات سخت افزاری کارت جمع آوری داده نیز توسط این پورت به کارت اعمال می شود . شکل ۱ نمای کلی دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۱. شمای دستگاه ساخته شده

هدف از ساخت این دستگاه اندازه گیری مقادیر شتاب دینامیکی طبقات یک 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 کanal 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 کanal نمونه برداری میکند.
- رزولوشن A/D استفاده شده ۱۲ بیت است.
- سرعت نمونه برداری از هر کanal میتواند از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ نمونه در ثانیه انتخاب شود.
- ضریب بهره تقویت کننده های سیگنال از ۱ تا ۲۲۰۰ بصورت مستقل برای هر کanal و بكمک 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 کanal 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 مزیتهای هر یک و معرفی سنسورهای نوع ICP که در این پژوهه 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

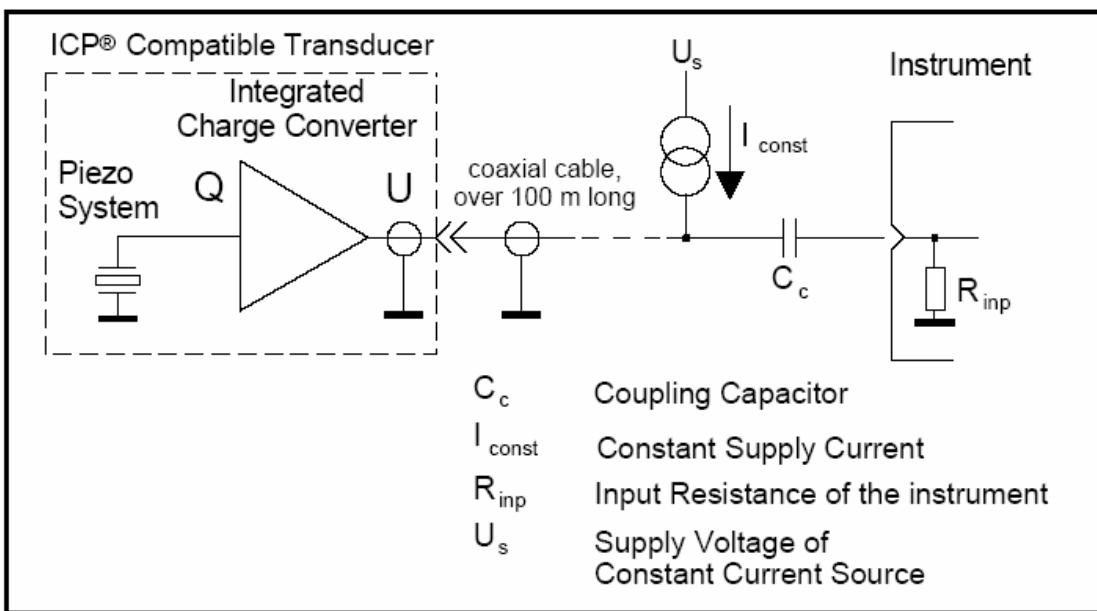
در اندازه گیری مقادیر شتاب از سنسورهای متفاوتی استفاده می شود از جمله می توان به سنسورهای شتاب مبتنی بر گیج های اندازه گیری و یا سنسورهای شتاب MEMS اشاره کرد. در این پروژه از سنسورهای شتاب نوع ICP استفاده شده است. در پیوست A اطلاعات نسبتاً کاملی در مورد ساختار داخلی و چگونگی درایوکردن و نکات ایمنی در 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 مزیتها بسیار را نسبت به سنسورهای پیزو الکتریک با خروجی شارژ الکتریکی دارا می باشند.

در پیوست A در مورد انواع سنسورهای شتاب پیزو الکتریک و مقایسه بین سنسورهای با خروجی شارژ الکتریکی و ICP مطالب تفضیلی 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 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 امیدانس 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 گرنم 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 ۲-۱ اصول کارکرد این سنسورها نشان داده شده است.

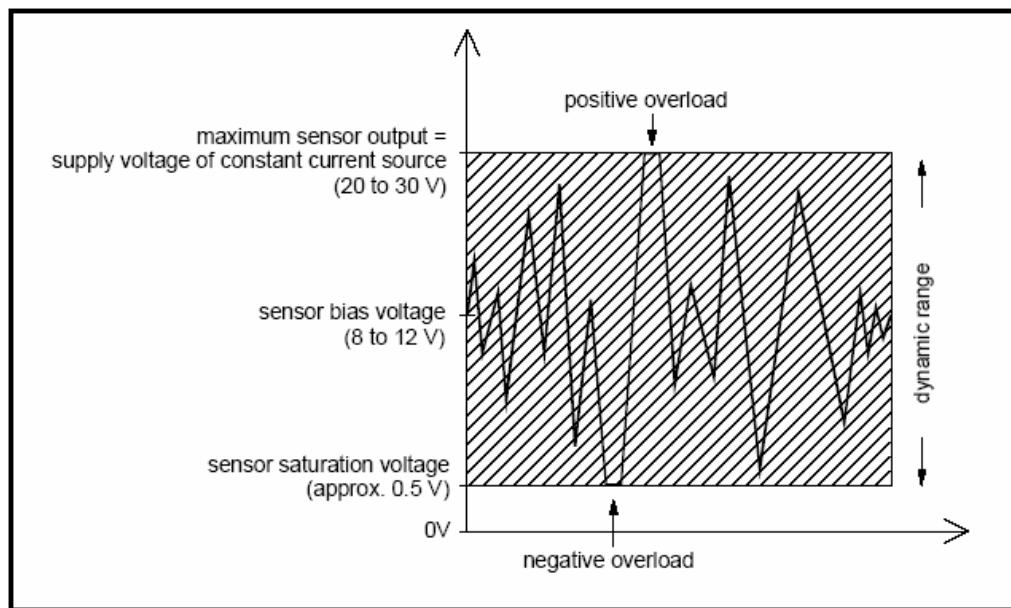


شکل ۲-۱. اصول کارکرد و درایو کردن سنسورهای شتاب ICP

جرم موجود بر روی کریستال پیزو الکتریک به سبب اینرسی خود در اثر شتاب وارد 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 دهد ، مقادیر  $C_c$  و  $R_{\text{inp}}$  باید طوری انتخاب شوند که فرکانس قطع این فیلتر به اندازه کافی پایین باشد تا سیگنالهای شتاب را عبور دهد.

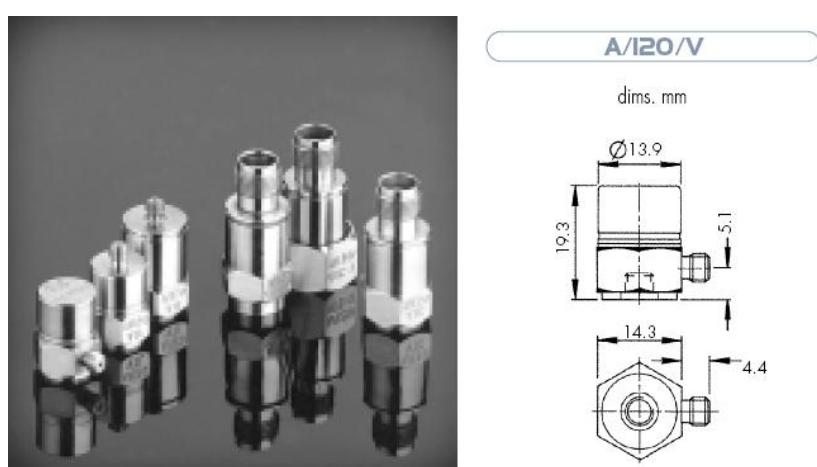
در شکل ۲-۲ خروجی این سنسورها بدون خازن  $C_c$  نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ . خروجی سنسورهای ICP بدون حازن  $C_c$

برای محدود کردن جریان می توان از ( Current Limiting Diode) CLD استفاده کرد.  
یک نوع آن LM334 است و یا به سادگی از یک منبع جریان استفاده کرد که در بخش ۳-۱ در این مورد بیشتر توضیح داده شده است.

سنسور استفاده شده در این پروژه ساخت شرکت DJ Birchall و به شماره A/120/V می باشد(شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳ سنسور شتاب

البته انواع دیگر سنسور را نیز می توان به دستگاه وصل نمود و تنها با توجه به کاتالوگ آنها باید تنظیمات سخت افزاری ساده ای بر روی دستگاه انجام شود و در جدول ۱-۱ مشخصات این سنسور آمده است.

<b>CONVERSION MODE</b>	<b>KONIC/2 WIRE QVC</b>		
<b>sensitivity option</b> →	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Voltage sensitivity, ±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 بیشتری از سنسور های ICP در پیوست A موجود است.

فصل سوم

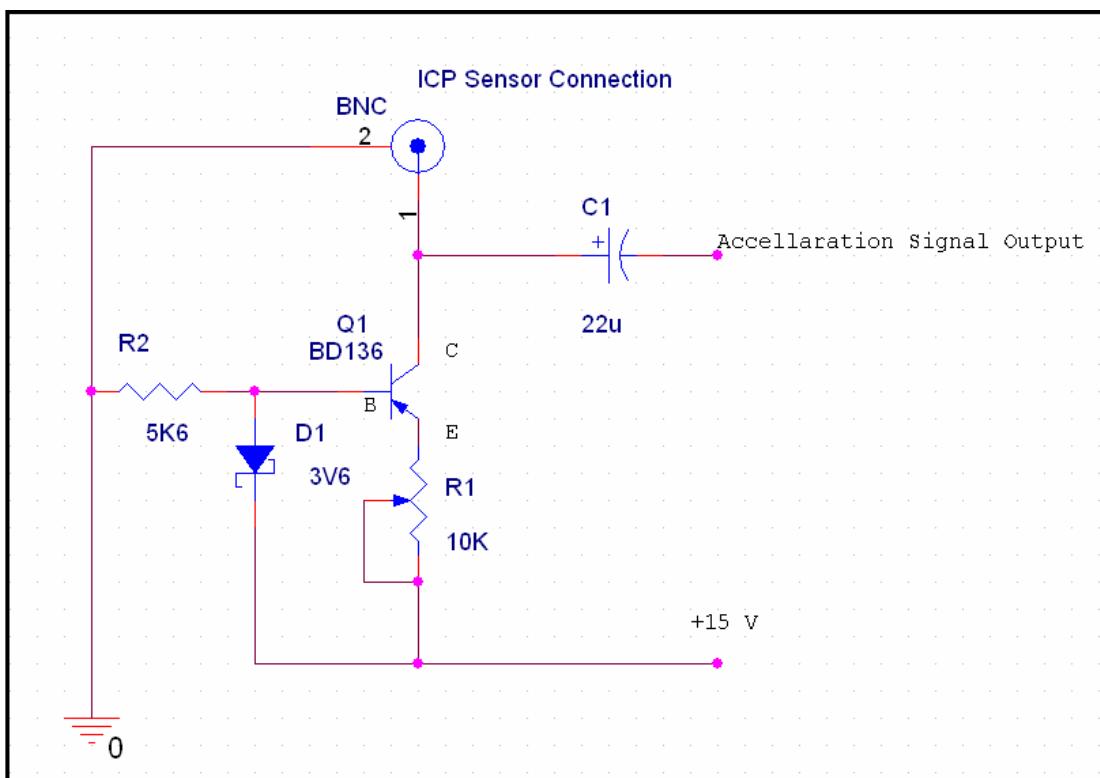
# الكترونيك

### ٣ - الکترونیک

#### ٣-١- نمونه برداری

##### Power/Signal Conditioning- ٣-١-١

همانطور که در بخش قبلی اشاره شد سنسور های شتاب ICP برای عملکرد مناسب به یک منبع جریان ثابت نیاز دارند. این بخش مدار در شکل ٣-١ نشان داده شده است.



شکل ٣-١. مدار Power/Signal Conditioning

این مدار یک منبع جریان ساده ترانزیستوری است که در آن از ترانزیستور BD136 استفاده شده است. مقاومت  $R_2$  و دیود زنر برای تنظیم ولتاژ بیس ترانزیستور استفاده شده است مقدار جریان خروجی از منبع جریان هم توسط مقاومت  $R_1$  تعیین می شود و با تغییر آن می توان جریان را تنظیم کرد. باید توجه داشت که جریان خروجی از منبع جریان که به سنسور شتاب ICP وارد می شود بستگی به نوع سنسور دارد و باید با توجه به برگه مشخصات سازنده سنسور تعیین گردد.

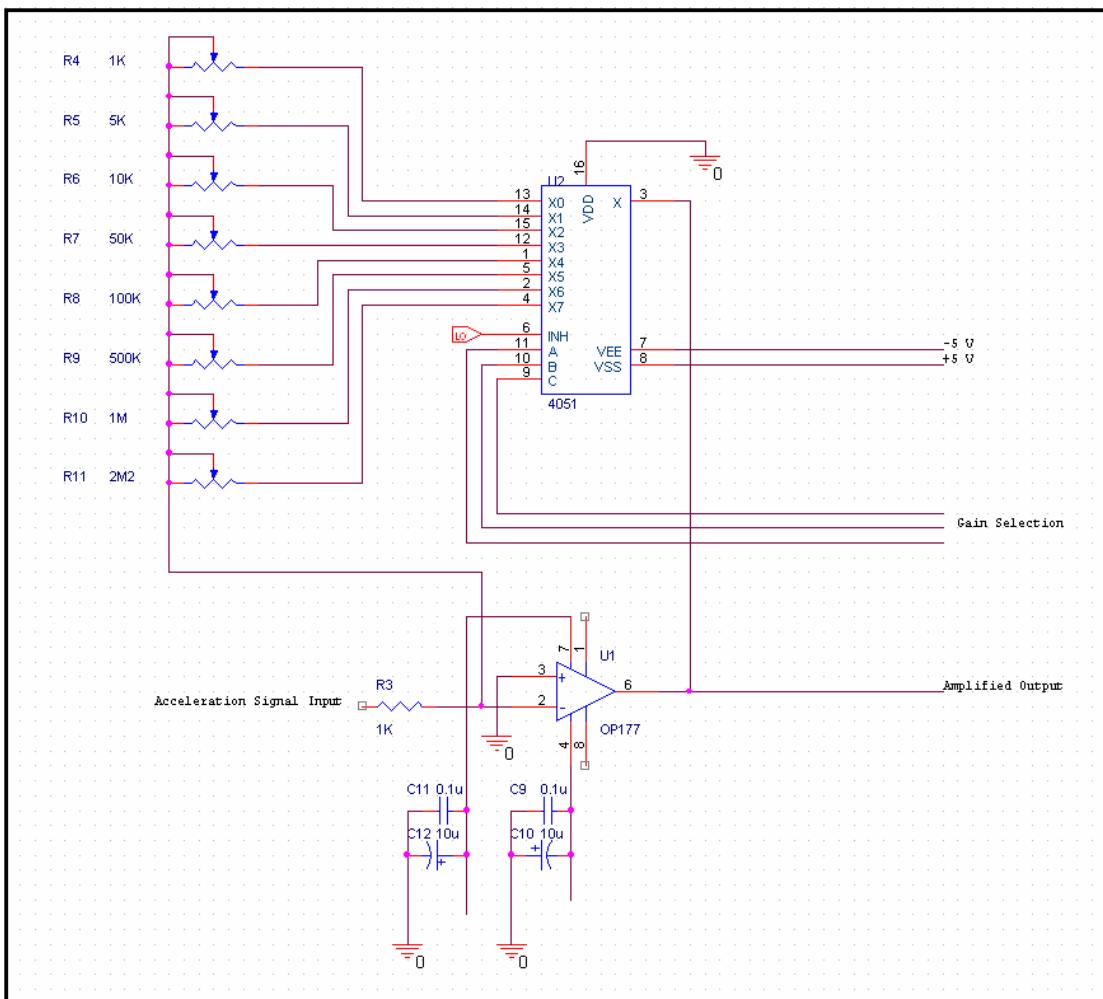
برای سنسور  $A/120V$  استفاده شده در این پروژه مقدار جریان  $4^{mA}$  است . خازن  $C_1$  برای حذف ولتاژ بایاس سنسور در مدار قرار گرفته است در پیوست 1 مشخصات دقیق ترانزیستور BD136 ارائه شده است.

### ۳-۱-۲- تقویت سیگنال شتاب و تنظیم بهره

با توجه به نوع سنسور انتخابی دامنه تغییرات ولتاژ خروجی سنسور نسبت به شتاب مقادیر متفاوتی خاک داشت برای آنکه بتوانیم از حداقل 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 2- B ارائه شده است . مدار مربوط به این قسمت در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

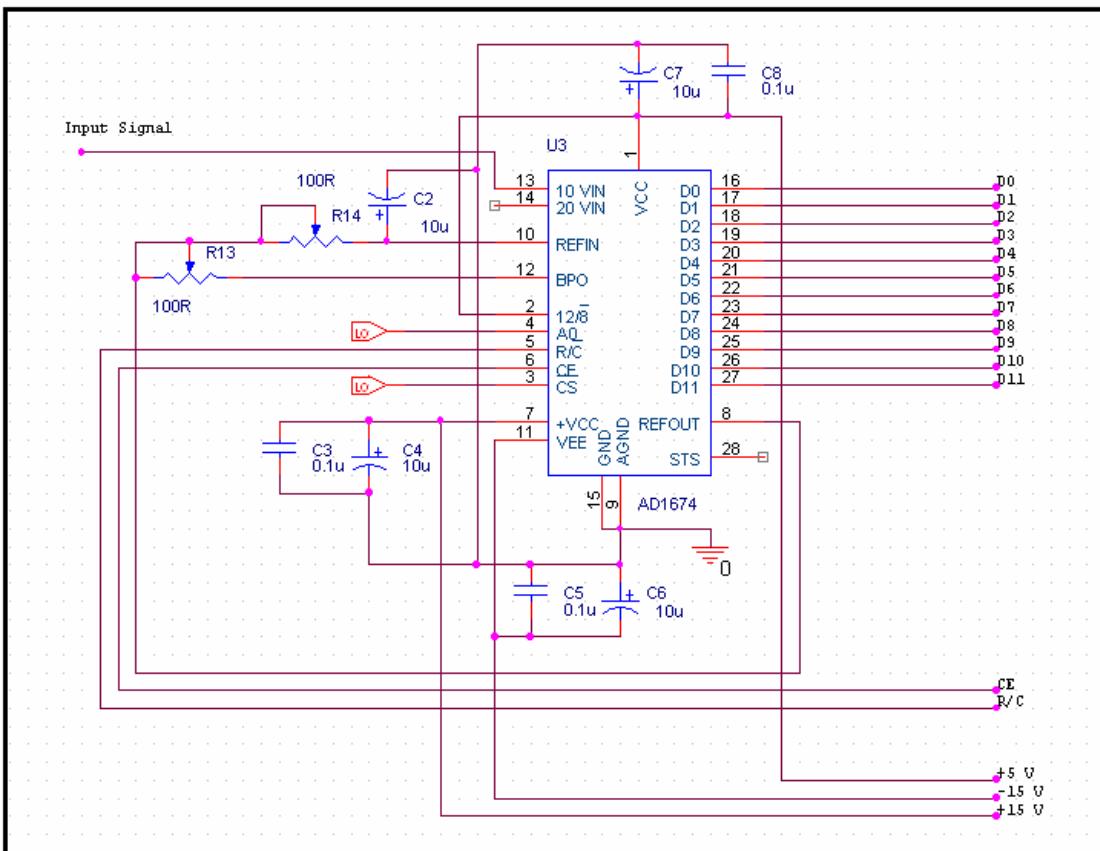
برای آنکه روند استفاده از دستگاه برای کار بر آسان تر شود ضریب بهره تقویت کننده را به صورت نرم افزاری از داخل برنامه می توان تغییر داد . برای این منظور از یک مالتی پلکس آنالوگ به شماره CD4051 استفاده شده است به این ترتیب که مقاومت باز خورد-OP-amp توسط CD4051 انتخاب شود . مشخصات دقیق این I.C در پیوست 3- B 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 یکسر 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 پلکس آنالوگ می توان بهره مورد نظر را انتخاب کرد . آدرس مناسب توسط یک میکرو کنترل که فرمان خود را از کامپیوتر دریافت می کند به مالتی پلکس 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 فاز های دکو پلاز استفاده شده تا اثر نویز ناشی از منبع تغذیه کاهش یابد.



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

### ۲-۳-۱-۳- 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 حداقل 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 چیپ می باشد از آنجا که سیگنال شتاب متغیر است داشتن SHA داخلی در ثابتی 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.

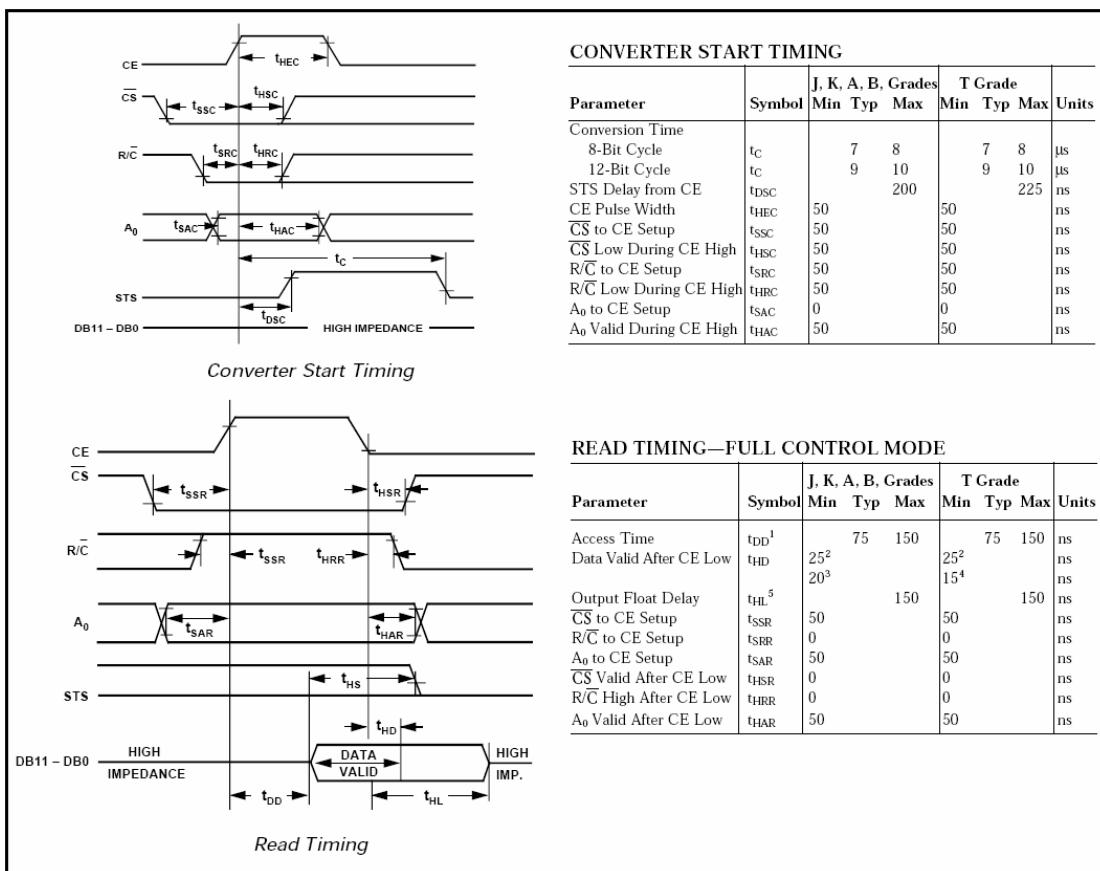


شکل ۳-۳. مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال

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

به پینهای  $CS$  و  $A_o$  ۱۲/۸ برای عملکرد A/D در وضعیت باس داده ۱۲ بیتی سیگنالهای مناسب اعمال شده است.

بلوک دیاگرام زمانی عمل تبدیل و خواندن از A/D در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. از آنجا که تمام مازول 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. سیگنالهای لازم برای مدیریت زمان تبدیل و خواندن توسط یک میکرو کنترلر به مازولهای A/D اعمال می شود.



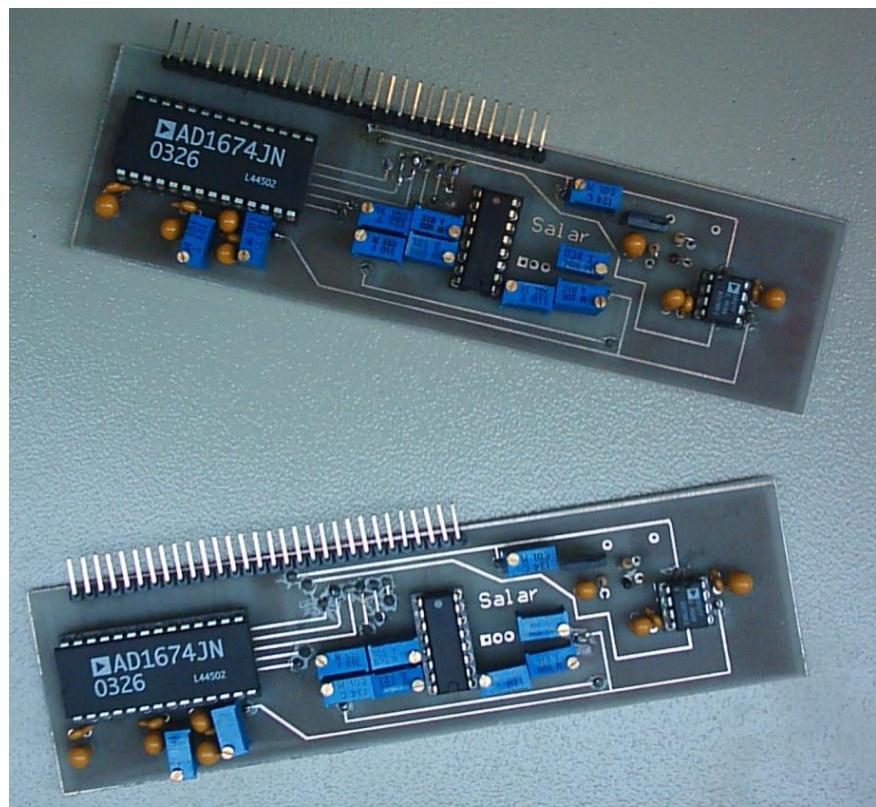
شکل ۳-۴. دیاگرام زمانی تبدیل و خواندن از A/D

اطلاعات تفضیلی 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 بورد 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.



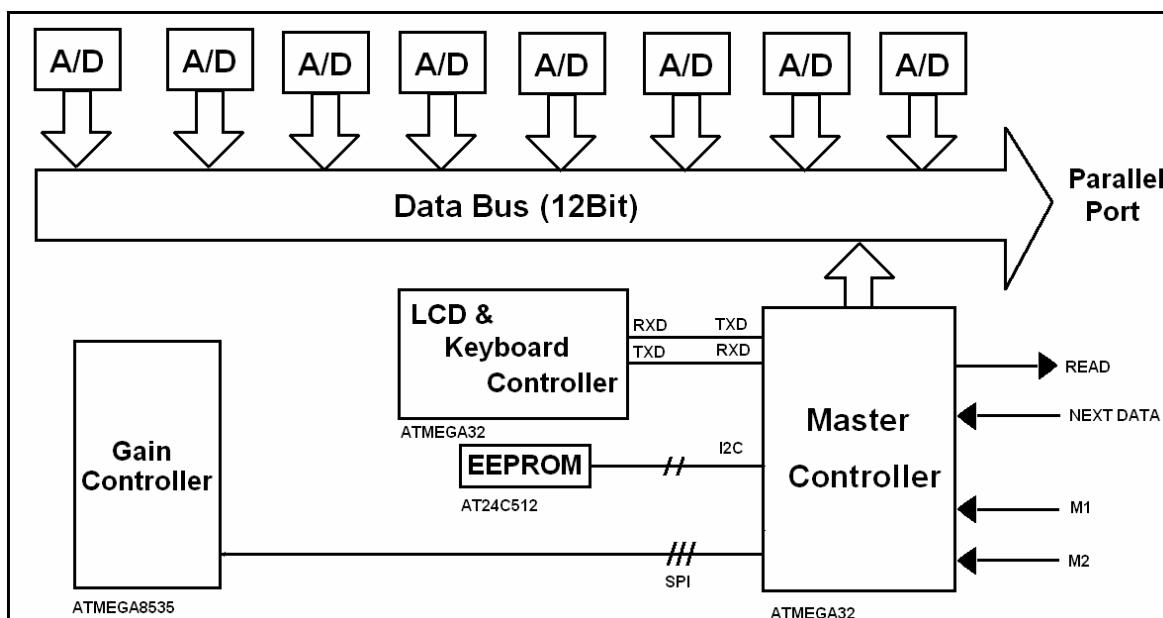
شکل ۳-۵. مأذوقهای A/D

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

با توجه به مطالب گذشته اکنون سیگنال شتاب با یک ضریب بھرہ به مقادیر دیجیتايز شده تبدیل شده است و در این مرحله باید زمانبندی تبدیل و خواندن از مازولهای A/D انجام گیرد تنظیم بھرہ 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 میکرو کنترلر LCD & Keyboard Controller به طور جداگانه انجام می گیرد. این میکرو کنترلر ها توسط شبکه ارتباطی با هم در ارتباط هستند. ارتباط Master/Slave می باشد.

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

میکرو کنترلر های مورد استفاده AVR هستند. در شکل ۳-۶ بلوک دیاگرام مدار جمع آوری داده را مشاهده می کنید.



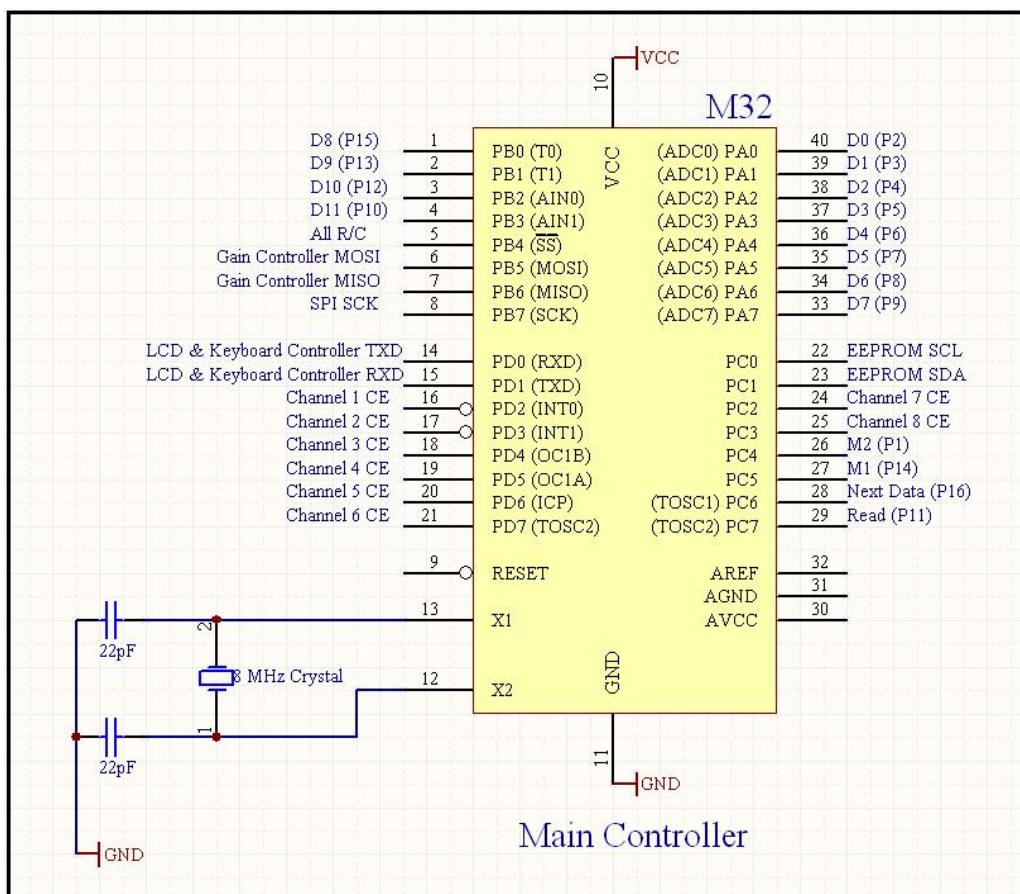
شکل ۳-۶. بلوک دیاگرام مدار جمع آوری داده

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

### Main Controller - ۳-۲-۱

این میکرو کنترلر وظیفه اصلی مدیریت زمان تبدیل و زمان خواندن هر مژول 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 میکروکنترلر از اسیلاتور کریستالی استفاده شده است.

همچنین این میکروکنترلر 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 میکروکنترلر 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.

### Read from Card -۳-۲-۱-۱

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

### 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 200، 1000، 2000، 5000 و 2000 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 مازولهای A/D را در وضعیت تبدیل قرار می دهد و سپس با وقوع وقهه Timer1 به ترتیب آنها را در وضعیت Read قرار می دهد و هر کدام از مازولهای A/D داده خود را بر روی باس داده قرار می دهد 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.

### Timer1 روتین

```
Ovf1 rtn:  
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

```

### ۱-۲-۳-۴ Write to Card

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 دارد ۸ بایت اول توسط باس SPI به Gain Controller فرستاده می شود و از بایت نهم برای تعیین مقدار اولیه تایмер ۱ 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 یک امکان اضافی است که در ساخت سخت افزار دستگاه در نظر گرفته شده و در طرحهای توسعه ای آینده دستگاه می 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.

#### *Card disable* روتین

```

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

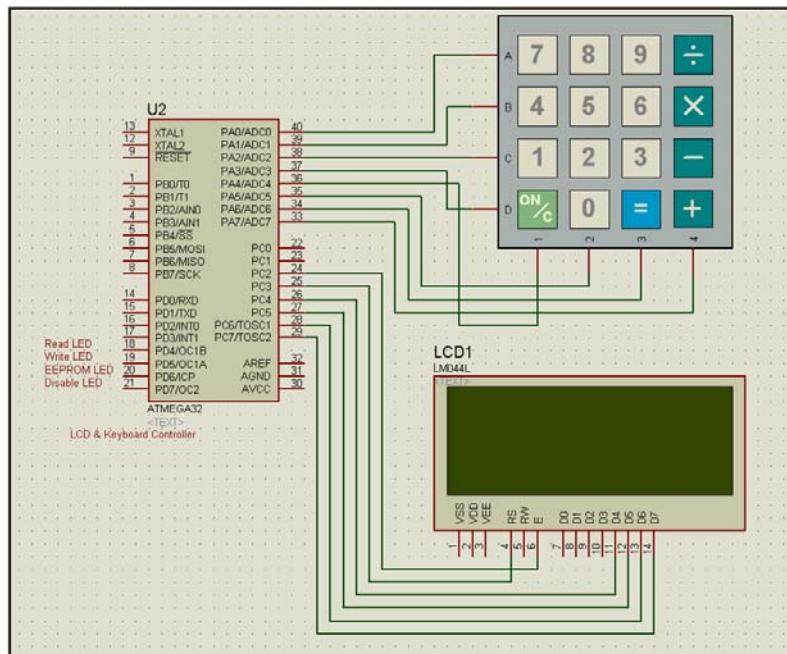
Reset Portb.4

End If

Goto Pc

## LCD & Keyboard Controller - ۳-۲-۲

این میکرو کنترلر وظیفه کنترل LCD و صفحه کلید را بر عهده دارد همچنین وضعیت کاری دستگاه در مدار ارتباط با کامپیوتر از روی بایتی 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 ۳-۸ 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 مدار کاری توسط صفحه

کلید انتخاب و با نمایش پیغام مناسب بر روی LCD دستگاه به آن مد می رود. کد برنامه داخل 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
```

```

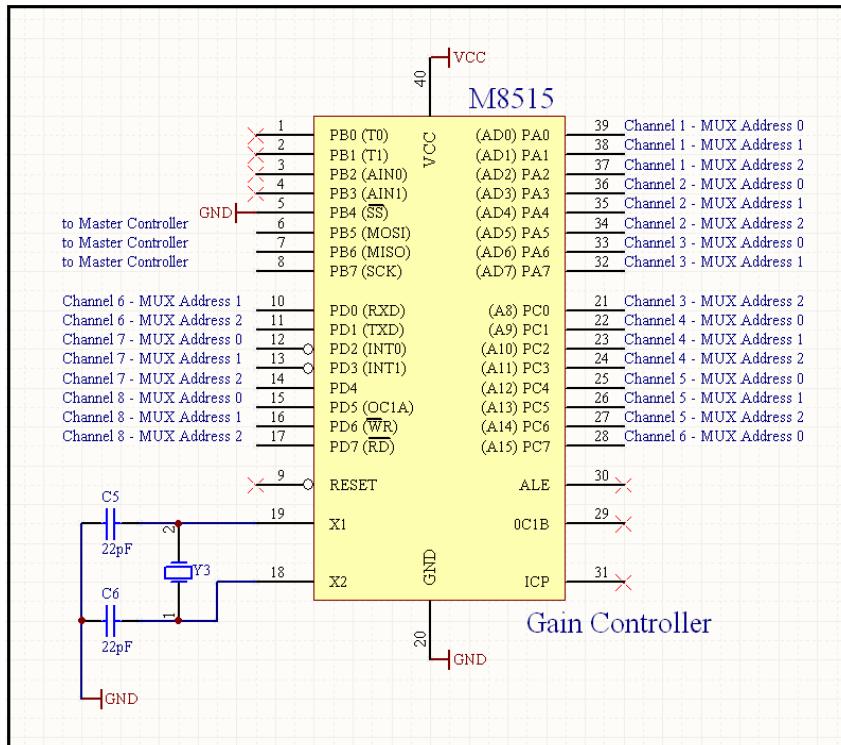
Cls
Lcd "Under Construction"
End           'end program

'***** 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

```

### Gain Controller -۳-۲-۳

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 کanal متصل است را تغییر می دهد تخصیص پینهای این میکرو کنترلر در شکل ۳-۹ نشان داده است.

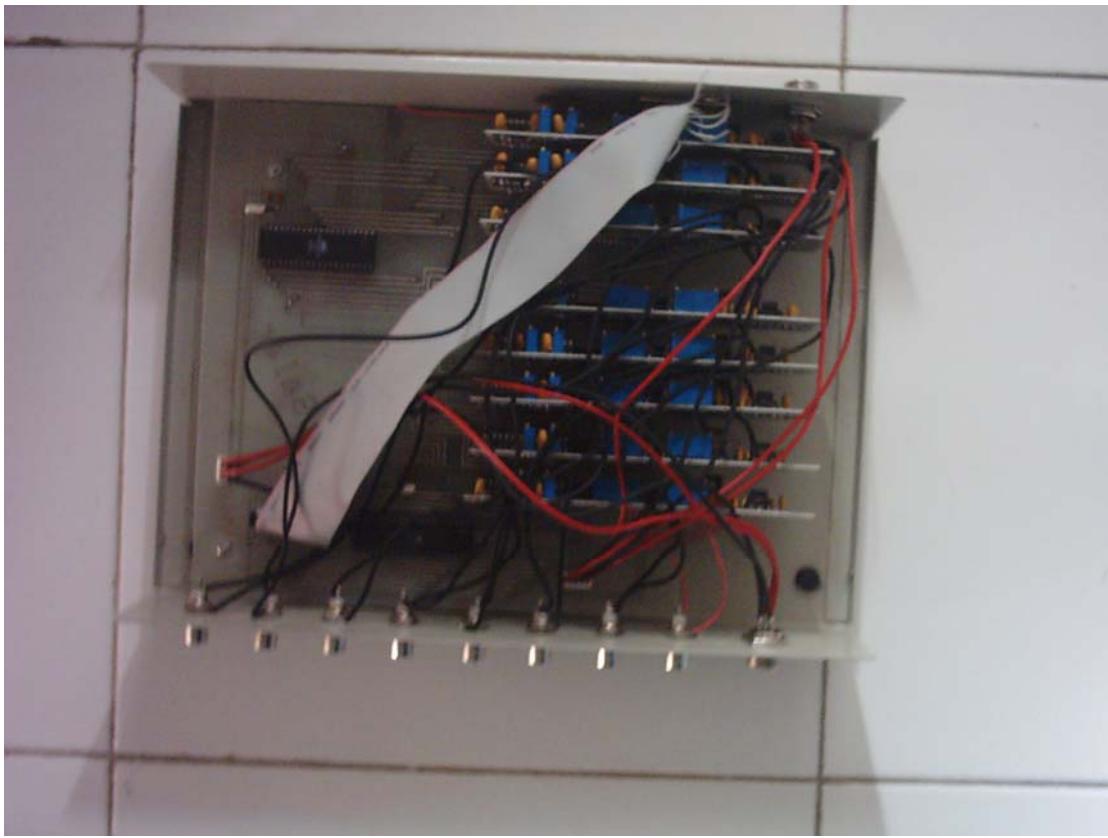


شکل ۳-۹. تخصیص پینهای Gain Controller

### Main Board -۳-۲-۴

مدار کامل بخش مدیریت داده های دیجیتال و ارتباط با کامپیوترا شامل سه میکروکنترلر گفته شده و سوکتهای قرارگیری مازولهای A/D در صفحه بعد آورده شده است. شماتیک مدار میکروکنترلری در پیوست C-2 آورده شده است. PCB این مداردر 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 ۱۰-۳ نشان داده شده است.



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

فصل چهارم

# کامپیوٹر

## ۴- کامپیووتر

برای انتقال مقادیر اندازه گیری شده توسط دستگاه به کامپیووتر 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.

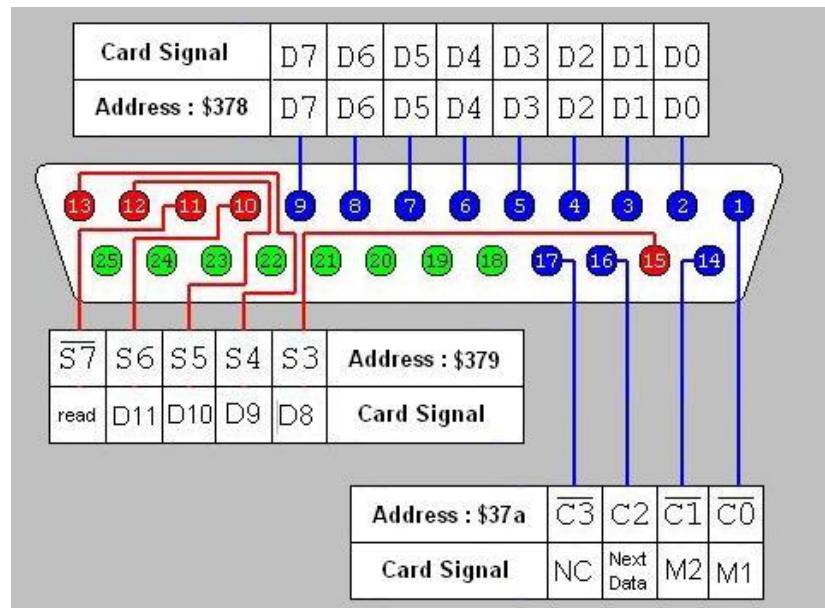
### ۴-۱ - روتینهای پایه و سخت افزاری

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 بس 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 وضعيت 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 مدل 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

(P16) یک شود سپس کامپیوترا با اعمال لبه های بالارونده بین ترتیب داده های مازولهای A/D را روی بس داده قرار می دهد و آنها را می خواند و در یک فایل ذخیره می کند تعداد بارهای خواندن از پورت توسط زمان نمونه برداری مشخص می شود. بعد از اینکه داده های خام از پورت خوانده و در یک فایل ذخیره شده در فرصت کافی بعد از نمونه برداری پردازش شده و به داده های ستونی در یک فایل دیگر برای هر کانال تبدیل می شود. این قسمت در زیر آورده شده است.

### تبدیل به عدد Source

```
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 اینکه داده های عددی خام استخراج شد فیلتر شده و سپس با توجه به ولتاژ خروجی سنسور و بهره انتخاب شده به مقیاس مناسب برده میشود. در زیر متن برنامه تبدیل به مقیاس مناسب آورده شده است.

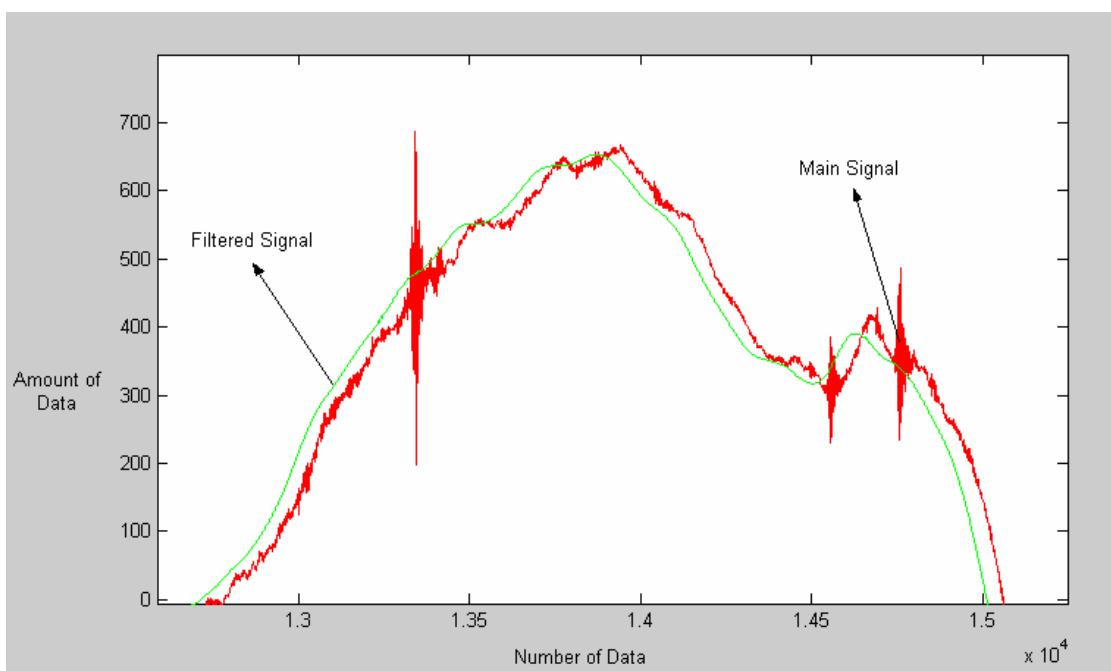
### متن برنامه تبدیل داده های خام به مقیاس مناسب

```
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,floattosrt(roundto(time,-4))+' '+floattosrt(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 فرکانسها قطع متعدد برای هر کanal 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 گستته ورودی انتخاب می شود و با اعمال عملگرهای گوناگون روی آنها نتیجه حاصل که یک داده گستته است به جای اولین عضو دنباله قرار داده می شود . تعداد اعضای دنباله انتخاب شده را طول پنجره می نامند . بنابراین فرمول کلی فیلترهای FIR به صورت زیر است:

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

ل: شمارنده حلقه

W: طول پنجره

ساده ترین روش پیدا کردن ضرایب  $b_j$  استفاده از روش Moving Average است که در آن میانگین اعضاي داخل پنجره به دست می آيد و به جاي عضو وسط پنجره قرار داده مي شود و فرمول آن به صورت زير 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 مرکзи متقارن باشد . در حالت کلي ضرایب  $b_j$  به صورت زیر بدست می آيد

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

در فرمول بالا  $W(j)$  را با استفاده از عکس تبدیل فوريه به دست می آيد و به صورت زير 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 برداري است.

براي رفع اثر Gibbs در طراحی فیلترهای دیجیتال معمولاً از فرمولهای پنجره مقاوطي 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.

### FIR مربوط به Source

```
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,floattosstr(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

برای تنظیم فرکانس نمونه برداری و بهره هر کانال لازم است تا دنباله ای 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.

مربوط به این قسمت در زیر آورده شده است.

#### *Hardware setting مربوط به Source*

```

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

```

```

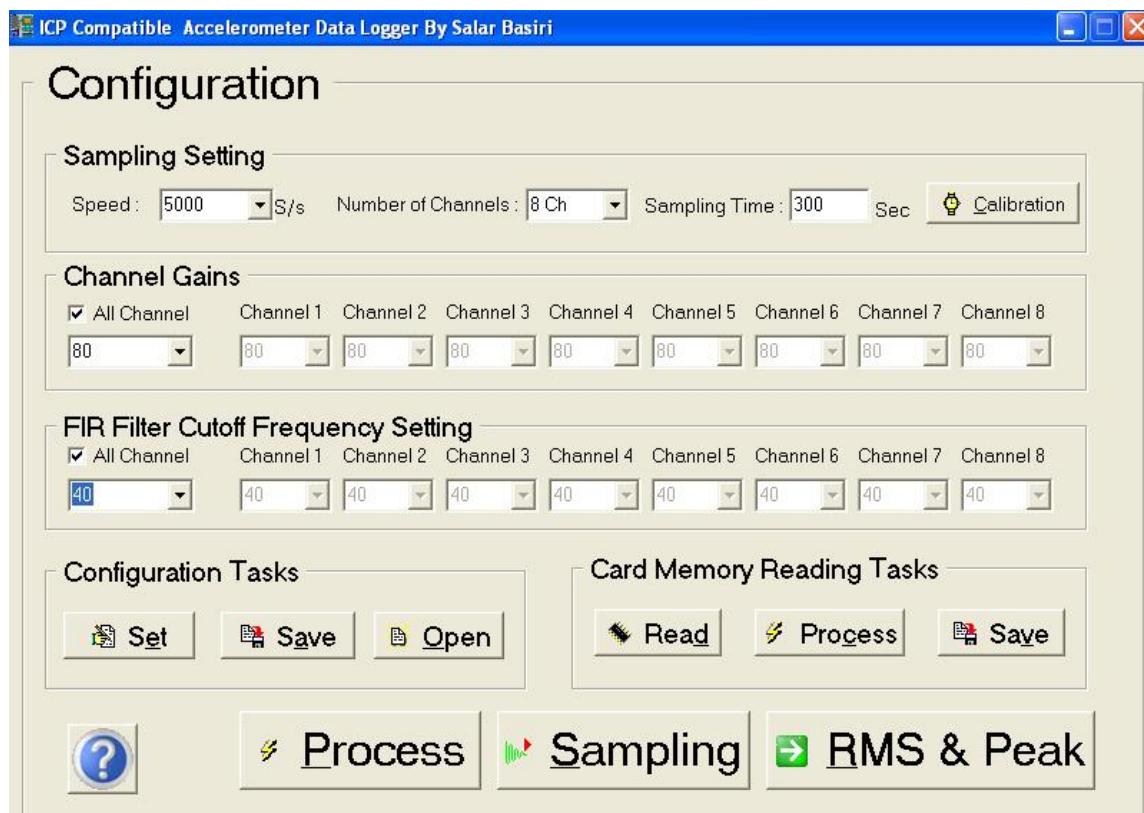
end;
end;
card_disable;

```

ابتدا کارت در مد نوشتمن 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 شیفت 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 :

: در این قسمت تنظیمات نمونه برداری انجام می شود که شامل گزینه Sampling Setting 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 کشخ 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 RMS و مشخص می کند که این مقادیر دچه بازه زمانی محاسبه می شوند . زمان نمونه برداری باید بر حسب ثانیه وارد شود.

Calibration - کلید : 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 یاک ضریب یا برای هر کanal 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 بر عکس.

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.

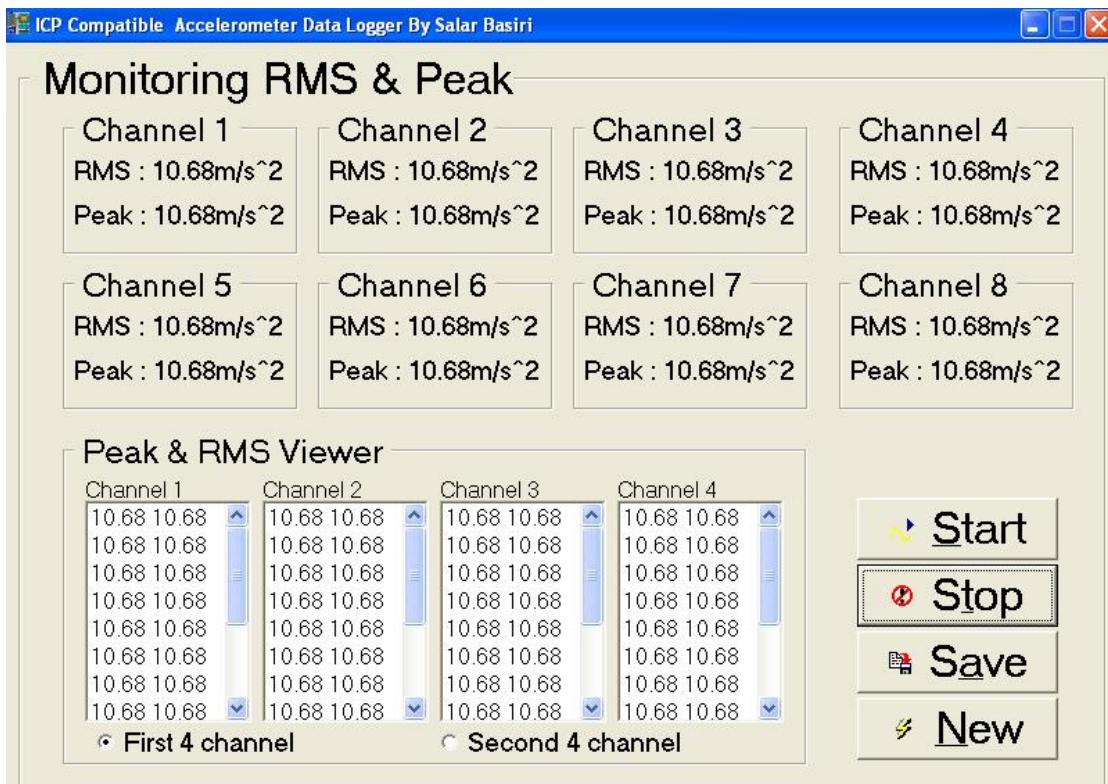
Card Memory Reading Tasks : این قسمت مربوط به خواندن محتویات حافظه EEPROM دستگاه و می تواند در گسترشهای بعدی دستگاه استفاده شود.

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 وی شود.

کلید Peak & RMS : با فشردن این کلید صفحه Peak & RMS ظاهر می شود که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است باید توجه نمود که زمانی که مقادیر Peak و RMS در آن محاسبه می شوند همان Sampling Time است.



شکل ۴-۶ فرم محاسبه مقادیر RMS و Peak

در این صفحه با فشردن Start عملیات محاسبه مقادیر RMS و Peak 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 یک نرم افزار جانبی به نام Port talk استفاده شده است. این برنامه در کنار برنامه exe اصلی وجود دارد و توسط یک 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 رزو لوشن A/D و دامنه تغییرات شتاب. عامل دیگر نوع سنسور است . مثلاً اگر سنسور خروجی  $100\text{mv/g}$  داشته باشد به ازای یک شتاب خاص دقت بیشتری از سنسوری با خروجی  $10\text{mv/g}$  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  $\text{A}/120/\text{V}$  می باشد .

مقدار ضریب بهره	ماکسیمم دامنه شتاب ( $\text{m}/\text{s}^2$ )	دقت اندازه گیری شتاب ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
۱	$\pm 8280$	۴,۰۴
۴	$\pm 2070$	۱,۰۱
۸	$\pm 1035$	۰,۵
۴۰	$\pm 207$	۰,۱
۸۰	$\pm 104$	۰,۰۵
۴۰۰	$\pm 20,7$	۰,۰۱۱
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 یک شتاب سنج کالیبره شده و یک شتاب سنج تحت کالیبراسیون را پشت به پشت به منبع نوسان متصل می کند و با مقایسه مقادیر RMS شتاب سنج [یا دستگاه] را کالیبره 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 کالیبره 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- کالیبراسیون دامنه با استفاده از جرم و فنر

در اینجا برای نشان دادن صحیح بودن نتایج از روش Gravimetric Method استفاده شده است و از یک 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 کالیبراسیون دستگاه

ابتدا نوسانگر باید با یک دامنه مشخص به نوسان در آید این دامنه ثابت توسط یک گیج اندازه گیری میشود(شکل ۵-۱). سپس با استفاده از سنسور متصل به جرم نوسانگرسیگنال 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 ۵-۲ برای چند دامنه مقاومت دقت محاسبه و آورده شده است. در این آزمایش تاثیر بهره فیلتر FIR با انتخاب فرکانس قطع بالا کاهش یافته است.

خطا %	ماکریم دامنه جابجایی واقعی(mm)	ماکریم دامنه جابجایی بدست آمده از شتاب (mm)	دوره تناوب (s)	ماکریم دامنه شتاب(m/s-2)	ردیف
۳	۳۰	۳۱	۰,۷۳	۲,۲۸	۱
۲	۵۰	۴۹	۰,۷۳	۳,۶۶	۲
۸	۵۰	۴۶	۰,۷۳	۳,۳۹	۳
۴	۵۰	۵۲	۰,۷۳	۳,۸۴	۴
۱۰	۵۰	۵۵	۰,۷۳	۴,۰۹	۵
۱۷	۵۰	۵۰	۰,۷۳	۳,۷۲	۶

جدول ۵-۲ دقت اندازه گیری شتاب

#### ۵-۲- 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 انجامشد که در ادامه توضیح داده میشود.

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

## ۱-۲-۵- کالیبراسیون دامنه

در این آزمایش بكمک یک مداد و کاغذ مطابق شکل ۵-۲ دامنه نوسان بدست آمد. سپس سنسور شتاب به کanal های مختلف وصل شد و با مقایسه مقادیر جابجایی بدست آمده از سیگنال شتاب هر کanal 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  $392\text{ rpm}$  و مقدار Gain برابر ۴۰ و فرکانس قطع فیلتر FIR برابر ۲۰ انتخاب شده است.

شماره کanal ورودی	ماکریم دامنه سیگنال شتاب (m/s-2)	ماکریم جابجایی بدست آمده از سیگنال شتاب (mm)	جابجایی واقعی (mm)	مقدار خط%
۱	۶۶,۹	۶,۶	۶,۶	۱ <
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

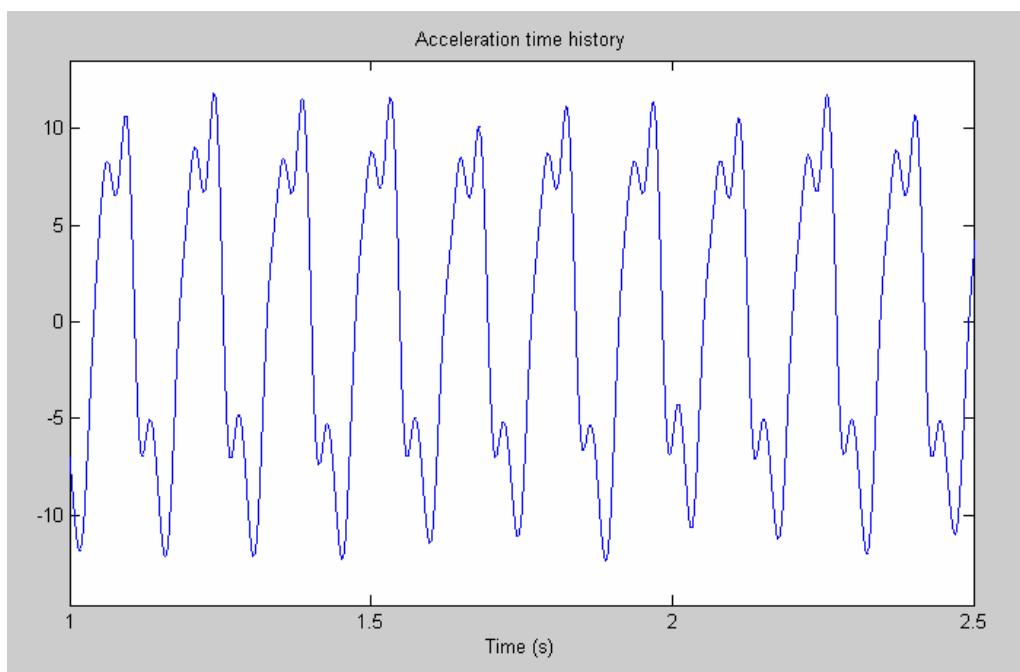
جدول ۳-۵ مقایسه جابجایی های بدست آمده از سیگنال های شتاب و جابجایی واقعی در کanal های ورودی مختلف

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

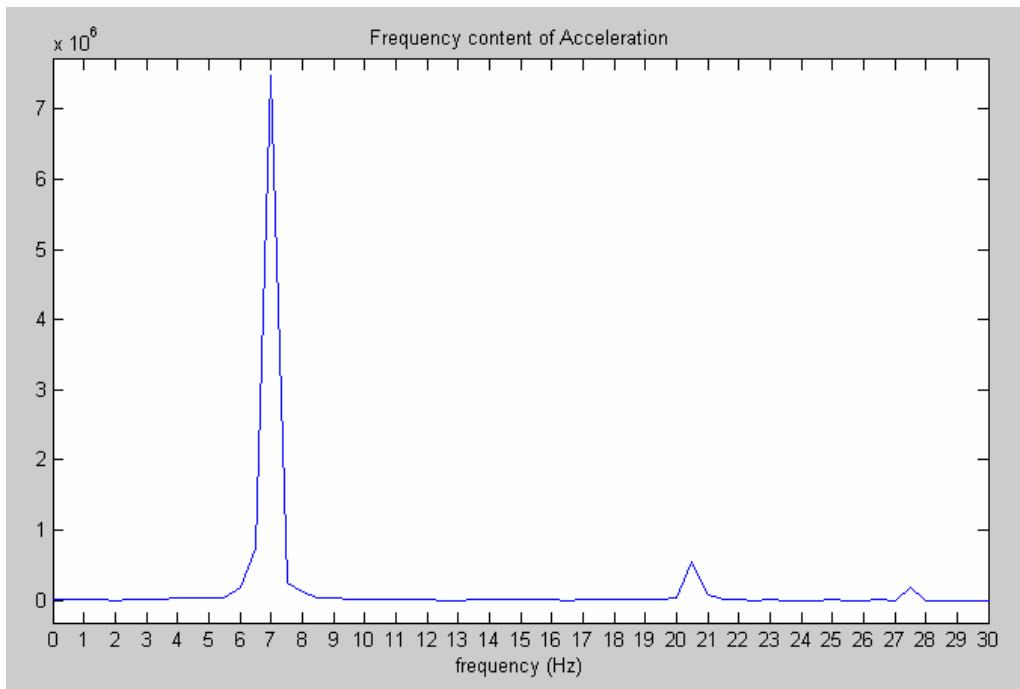
برای نشان دادن صحیح بودن نمودارها در حوزه فرکانسی از تحلیل فرکانسی به کمک تبدیل فوریه استفاده شده است. بر روی داده های جمع آوری شده شتاب به کمک نرم افزار **FFT** گیری انجام شده که نتایج در ادامه آورده شده است.

در شکل ۳-۵ 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  $392\text{ rpm}$  میباشد.



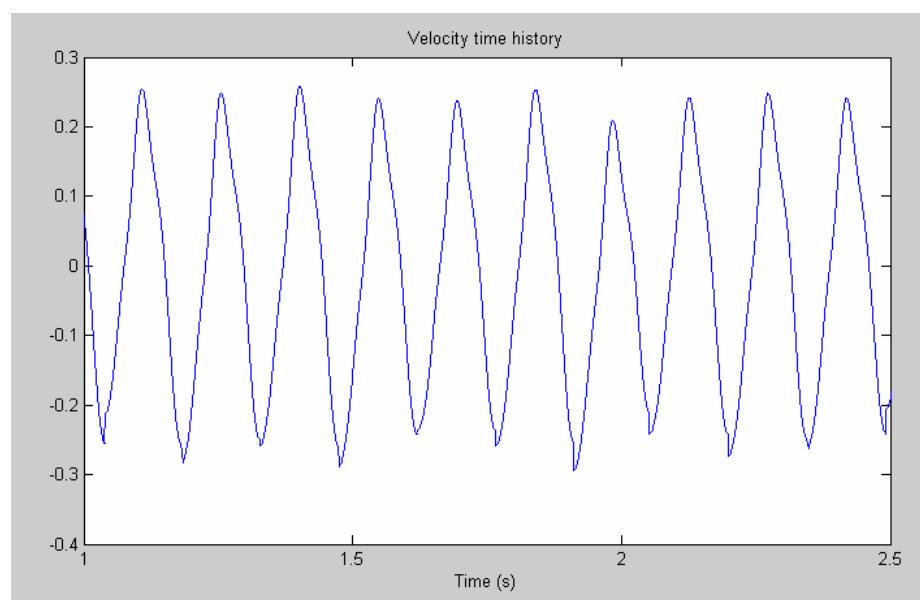
شکل ۳-۵ نمودار سیگنال شتاب میز زلزله در بازه ۱ تا ۲,۵ ثانیه

در شکل ۴-۵ محتوی فرکانسی نمودار شتاب نشان داده شده است. پیک نمودار در  $7\text{ Hz}$  است.

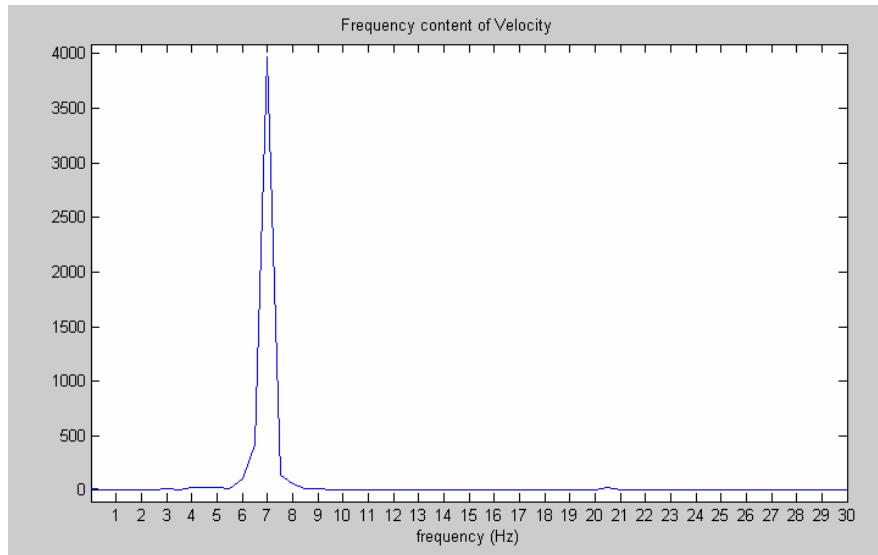


شکل ۵-۴ محتوی فرکانسی سیگنال شتاب میز زلزله

بكمک 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.

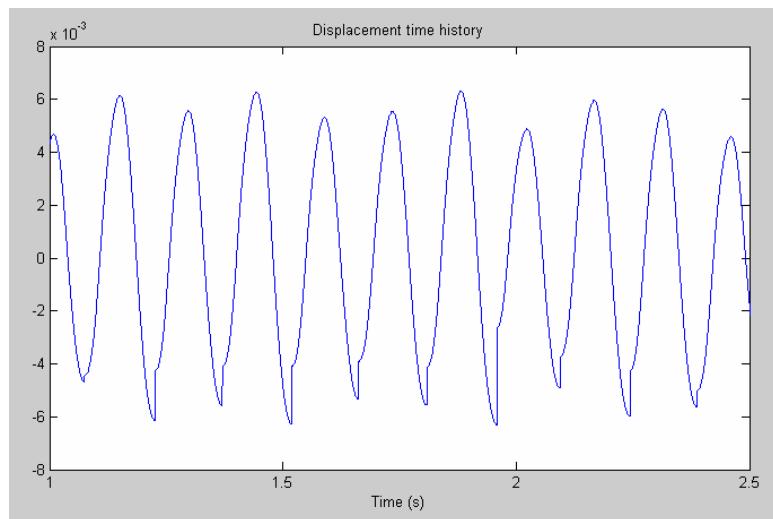


شکل ۵-۵ نمودار سرعت میز لرزان که با انتگرال گیری از سیگنال شتاب بدست آمده است.

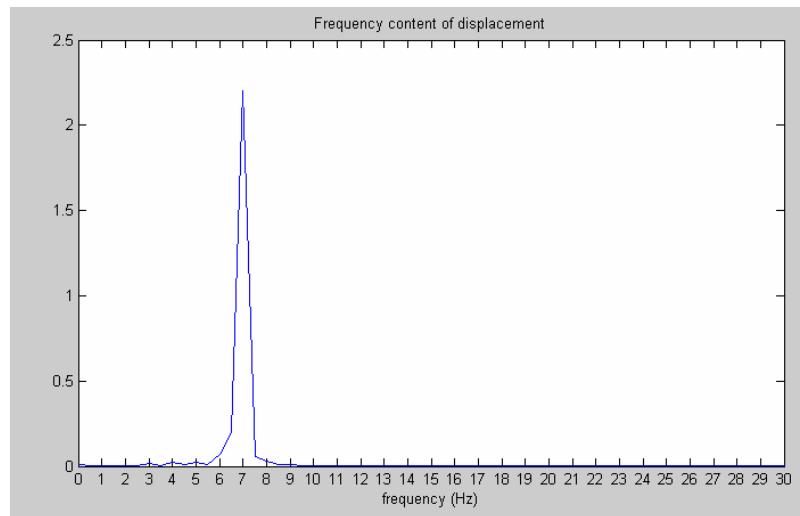


شکل ۵-۶ محتوی فرکانسی نگاشت سرعت

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 سیگнал شتاب بدست آمده است.



شکل ۵-۶ محتوی فرکانسی نگاشت جابجایی

پایان

## A پیوست

(اطلاعات تفضیلی در مورد سنسور های شتاب ICP)

## B پیوست

(برگه های اطلاعاتی قطعات الکترونیکی)

BD136 - ترانزیستور B-1

OP177 - تقویت کننده عملیاتی B-2

CD4051 - مالتی پلکسر آنالوگ B-3

AD1674 - مبدل آنالوگ به دیجیتال B-4

**BD136 - ترانزیستور B-1**

## **OP177 - تقویت کننده عملیاتی B-2**

**CD4051 - مالتی پلکسر آنالوگ B-3**

## **AD1674 - مبدل آنالوگ به دیجیتال B-4**

## C پیوست

(مدار های شماتیک و چاپی)

A/D - مدار شماتیک مازول های C-1

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

A/D - برد مدار چاپی مازول های C-3

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

## A/D - مدار شماتیک مازول های C-1

## C-2 - شماتیک مدار مدیریت زمان و جمع آوری

داده ها

## **A/D - برد مدار چاپی ماثول های C-3**

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