

به نام خدا

آزمایشگاه ریزپردازنده دانشکده مهندسی کامپیوتر

## آزمایش شماره هفت

Analog to Digital Converter

### آشنایی با مبدل آنالوگ به دیجیتال و استفاده از آن

مبدل آنالوگ به دیجیتال یکی از پر استفاده ترین قطعات برای جمع آوری داده می باشد. کامپیوترهای دیجیتال از مقادیر دودویی (گسسته) استفاده می کنند، ولی در دنیای واقعی همه چیز آنالوگ (پیوسته) است. دما، فشار، رطوبت و سرعت نمونه های از کمیت های فیزیکی هستند که هر روزه با آنها سرو کار داریم. یک کمیت فیزیکی با استفاده از قطعه ای به نام مبدل به سیگنال الکتریکی (ولتاژ، جریان) تبدیل می شود. به این مبدل ها، سنسور نیز گفته می شوند. سنسورهای از دما، سرعت، فشار، نور و بسیاری از کمیت های طبیعی یک خروجی ولتاژ (یا جریان) تولید می کنند. در نتیجه به یک مبدل آنالوگ به دیجیتال برای تبدیل سیگنال های آنالوگ به اعداد دیجیتال نیاز داریم، تا میکروکنترلر بتواند آنها را خواند و پردازش نمود.

### برخی از ویژگی های اصلی مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

$$\text{stride}(\text{step}) = V_{\text{Ref}} / n$$

#### وضوح (رزولوشن)

ADC دارای وضوح  $n$  بیتی است، که  $n$  می تواند ۸، ۱۰، ۱۲، یا حتی ۲۴ باشد. هر چه وضوح ADC بیشتر باشد، اندازه گام کوچکتر خواهد بود. اندازه گام کوچکترین تغییری است می تواند توسط ADC تشخیص داده شود. برخی مقادیر پر استفاده بر وضوح در جدول زیر نشان داده شده است:

N بیتی	تعداد گام ها	اندازه گام (میلی ولت)
۸	۲۵۶	$5/256 = 19.53$
۱۰	۱۰۲۴	$5/1024 = 4.88$
۱۲	۴۰۹۶	$5/4096 = 1.2$
۱۶	۶۵۵۳۶	$5/65536 = 0.076$

اگر چه وضوح یک تراشه ADC در زمان طراحی تعیین می شود و نمی تواند تغییر کند، ولی می توانیم اندازه گام را با کمک  $V_{ref}$  کنترل کنیم.  $V_{ref}$  در ادامه، آمده است.

## زمان تبدیل

علاوه بر وضوح، زمان تبدیل یکی دیگر از عوامل قضاوت در مورد ADC است. زمان تبدیل به صورت زمانی که ADC برای تبدیل ورودی آنالوگ به خروجی دیجیتال (دودویی) نیاز دارد، تعریف می شود. زمان تبدیل با توجه به منبع ساعت متصل به ADC و روشی که برای تبدیل داده به کار می رود و تکنولوژی استفاده شده در ساخت تراشه ADC (تکنولوژی MOS یا TTL)، تعیین می شود.

## $V_{ref}$

$V_{ref}$  یک ولتاژ ورودی است که به عنوان ولتاژ مرجع مورد استفاده قرار می گیرد. این ولتاژ، به همراه وضوح تراشه ADC، اندازه گام را مشخص می کند. (اندازه گام = وضوح /  $V_{ref}$ ) برای یک ADC هشت بیتی اندازه گام برای  $V_{ref}/256$  است زیرا این مبدل هشت بیتی است و دو به دو به توان هشت برابر ۲۵۶ خواهد بود. به جدول زیر دقت کنید:

اندازه گام (mV)	محدوده $V_{in}$ (ولت)	$V_{ref}$ (ولت)
$5/256=19.53$	0 to 5	5.00
$4/256=15.62$	0 to 4	4.00
$3/256=11.71$	0 to 3	3.00
$2.56/256=10$	0 to 2.56	2.56
$2/256=7.81$	0 to 2	2.00
$1.28/256=5$	0 to 1.28	1.28
$1/256=3.9$	0 to 1	1.00

برای مثال اگر محدوده ورودی آنالوگ باید صفر تا چهار ولت باشد  $V_{ref}$  به چهار ولت وصل می شود. در نتیجه برای اندازه گام یک مبدل هشت بیتی خواهیم داشت:  $4V/256=15.62mV$ . به عنوان یک مثال دیگر اگر در مبدل هشت بیتی نیاز به اندازه گام ده میلی ولت داشته باشیم، باید  $V_{ref}=2.56$  قرار دهیم، زیرا  $2.56/256=10mV$  خواهد بود. اگر در یک مبدل ده بیتی  $V_{ref}=5V$  باشد، آنگاه اندازه گام با  $4.88mV$  خواهد بود.

اندازه گام (mV)	محدوده $V_{in}$ (ولت)	$V_{ref}$ (ولت)
-----------------	-----------------------	-----------------

5.00	0 to 5	$5/1024=4.88$
4.096	0 to 4.096	$4.096/1024=4$
3.00	0 to 3	$3/1024=2.93$
2.56	0 to 2.56	$2.56/1024=2.5$
2.048	0 to 2.048	$2.048/1024=2$
1.28	0 to 1.28	$1/1024=1.25$
1.024	0 to 1.024	$1.024/1024=1$

جدول فوق و جدول زیر رابطه بین Vref و اندازه گام را به ترتیب برای مبدل‌های هشت و ده بیتی نشان می‌دهد.

## خروجی داده دیجیتال

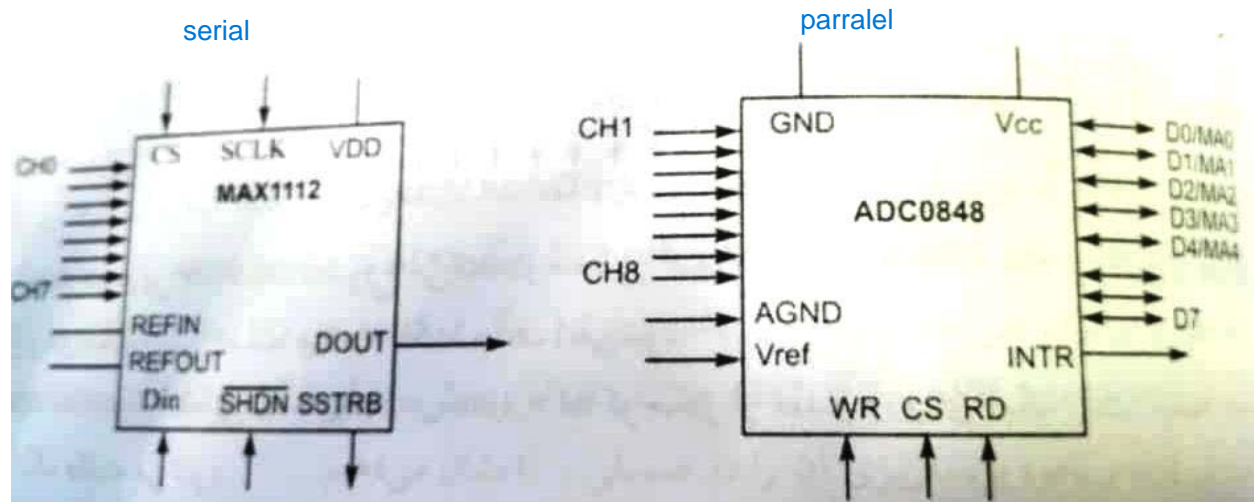
در یک مبدل هشت بیتی، دارای هشت بیت خروجی دیجیتالی داده از D0 تا D7 هستیم. در حالیکه در یک مبدل ده بیتی دارای ده بیت خروجی دیجیتالی داده از D0 تا D9 هستیم. برای محاسبه ولتاژ خروجی از فرمول زیر استفاده می‌نماییم:

$$\text{اندازه گام} / \text{Dout} = \text{Vin} / [\text{D9D8...D0}]$$

که در آن Dout خروجی دیجیتالی داده، Vin ولتاژ ورودی آنالوگ و اندازه گام (وضوح) کوچکترین تغییر برابر با  $V_{ref}/256$  در یک مبدل هشت بیتی می‌باشد.

## مقایسه ADC مواز با سریال

تراشه‌های ADC یا موازی هستند یا سریال. در ADC موازی، هشت پایه یا بیشتر برای خروجی داده دودویی اختصاص یافته است. ولی در ADC سریال فقط یک پایه برای خروجی داده وجود دارد. این به این معناست که درون یک ADC سریال، یک ثبات جابجایی با ورودی موازی و خروجی سریال وجود دارد که مسئول ارسال تک بیتی به خارج می‌باشد. در مورد مبدل ۱۶ بیتی موازی، نیاز به مسیر داده شانزده بیتی داریم. به منظور صرفه جویی در پایه‌ها، بسیاری از ADCهای ۱۲ و ۱۶ بیتی از پایه‌های D0 تا D7 برای ارسال بایت بالایی و سپس بایت پایینی داده دودویی استفاده می‌شود.



## کانال‌های ورودی آنالوگ

در بسیاری از کاربردهای جمع‌آوری داده نیاز به بیش از یک ADC است. به همین دلیل شاهد تراشه‌های مبدل آنالوگ به دیجیتال دو، چهار، هشت و حتی شانزده کانال بر روی یک تراشه هستیم. مالتی پلکس کردن ورودیهای آنالوگ بطور وسیعی، همان طور که در شکل ADC848 و MAX1112 نشان داده شد، بکار گرفته می‌شوند. در این تراشه‌ها هشت کانال ورودی آنالوگ داریم، که به ما امکان بررسی چندین کمیت مانند دما، فشار، گرما و غیره را می‌دهد. تراشه‌های میکروکنترلر AVR حداکثر ۱۶ کانال دارند.

## سیگنالهای شروع تبدیل و پایان تبدیل

این حقیقت که دارای چندین کانال ورودی آنالوگ هستیم ولی فقط دارای یک ثبات خروجی دیجیتال هستیم، لازم می‌سازد که سیگنالهای شروع تبدیل (SC- Start Conversion) و پایان تبدیل (EOC – End Of Conversion) داشته باشیم. وقتی SC فعال می‌شود ADC شروع به تبدیل مقدار ورودی آنالوگ  $V_{in}$  می‌کند. مقدار زمان تبدیل بسته به روش تبدیل تغییر می‌کند. وقتی تبدیل کامل شد، سیگنال پایان تبدیل، پردازنده را خبر می‌کند تا داده تبدیل شده را بردارد.

## روش تقریب‌های متوالی در ADC

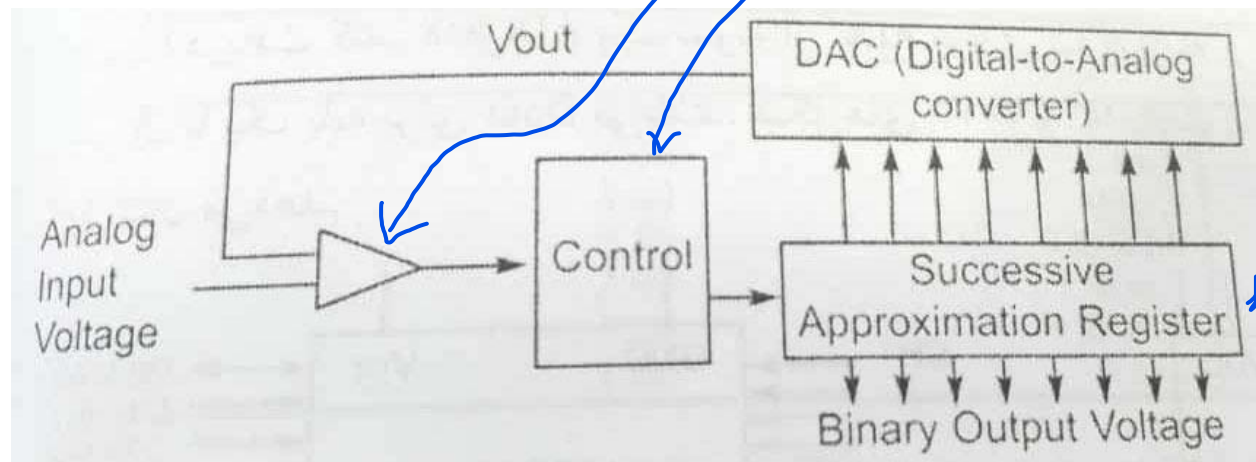
تقریب‌های متوالی روشی است که بطور گسترده در تبدیل یک ورودی آنالوگ به خروجی دیجیتال استفاده می‌شود و از سه مولفه اصلی تشکیل شده است:

(الف) ثبات تقریب متوالی (SAR)

(ب) مقایسه‌گر

(پ) واحد کنترل

شکل زیر را مشاهده نمایید:



یک ADC تقریب متوالی هشت بیتی با اندازه گام ده میلی ولت، مراحل زیر را برای تبدیل یک ورودی یک ولت طی می‌کند.

- ۱- با عدد دودویی 1000 0000 شروع می‌کند. از آنجایی که  $128 \times 10\text{mV} = 1.28$  بزرگتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت هفت صفر می‌گردد.
- ۲- 0100 0000: از آنجایی که  $64 \times 10\text{mV} = 640\text{mV}$  کوچکتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت شش یک باقی می‌ماند.
- ۳- 0110 0000: از آنجایی که  $96 \times 10\text{mV} = 960\text{mV}$  کوچکتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت پنج یک باقی می‌ماند.
- ۴- 0111 0000: از آنجایی که  $112 \times 10\text{mV} = 1120\text{mV}$  بزرگتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت چهار صفر می‌گردد.
- ۵- 0110 1000: از آنجایی که  $108 \times 10\text{mV} = 1080\text{mV}$  بزرگتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت سه صفر می‌گردد.

۶- 0110 0100: از آنجایی که  $100 \times 10\text{mV} = 1\text{V}$  کوچکتر یا مساوی با از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت دو یک باقی می‌ماند.

۷- 0110 0110: از آنجایی که  $102 \times 10\text{mV} = 1020\text{mV}$  بزرگتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت یک صفر می‌گردد.

۸- 0110 0101: از آنجایی که  $101 \times 10\text{mV} = 1010\text{mV}$  بزرگتر از مقدار ورودی (یک ولت) است، بیت صفر، صفر می‌گردد.

توجه کنید که روش تقریب متوالی تمام مراحل را حتی اگر در مراحل اولیه به جواب رسیده باشد، طی می‌کند. چون روش تقریب متوالی تمام مراحل را طی می‌کند، پس زمان تبدیل ثابت است.

## مبدل ADC موجود در AVR

به علت استفاده گسترده از ADC در جمع‌آوری داده، در سالهای اخیر تعداد میکروکنترلرهایی که بر روی تراشه خود یک ADC دارند، افزایش یافته است. یک ADC موجود در تراشه نیاز به اتصال ADC بیرونی را برطرف می‌کند و پایه‌های بیشتری برای دیگر فعالیت‌های I/O باقی می‌گذارد. اکثریت وسیعی از تراشه‌های AVR حاوی مبدل ADC هستند.

## ویژگی ADC موجود در ATmega32

مبدل ADC موجود در ATmega16/32 ویژگیهای زیر را دارد:

(الف) یک مبدل ADC ده بیتی است.

(ب) هشت کانال ورودی آنالوگ، ۷ کانال ورودی تفاضلی و دو کانال ورودی تفاضلی با بهره انتخابی  $10\times$  و  $20\times$  دارد.

(پ) پس از تبدیل، جواب که داده دودویی ده بیتی است، توسط دو ثبات کارکرد خاص با نامهای ADCL (برای نگهداری هشت بیت کم ارزش) و ADCH (برای نگهداری هشت بیت پر ارزش) نگهداری می‌شود.

(ت) چون ثباتهای ADCH:ADCL شانزده بیت به ما می‌دهند و خروجی داده ADC فقط ده بیت است، شش بیت بدون استفاده باقی می‌ماند. می‌توانیم انتخاب کنیم که شش بیت بالایی بدون استفاده باشد یا شش بیت

پایینی

ث) سه گزینه برای  $V_{ref}$  وجود دارد: می تواند به  $AVCC$  ( $VCC$  آنالوگ)، مرجع ۲,۵۶ داخلی، یا پایه  $AREF$  خارجی متصل باشد.

ج) زمان تبدیل بوسیله فرکانس کریستال ( $F_{osc}$ ) متصل به  $XTAL$  و بیت های ۲:  $ADPS0$  تعیین می گردد.

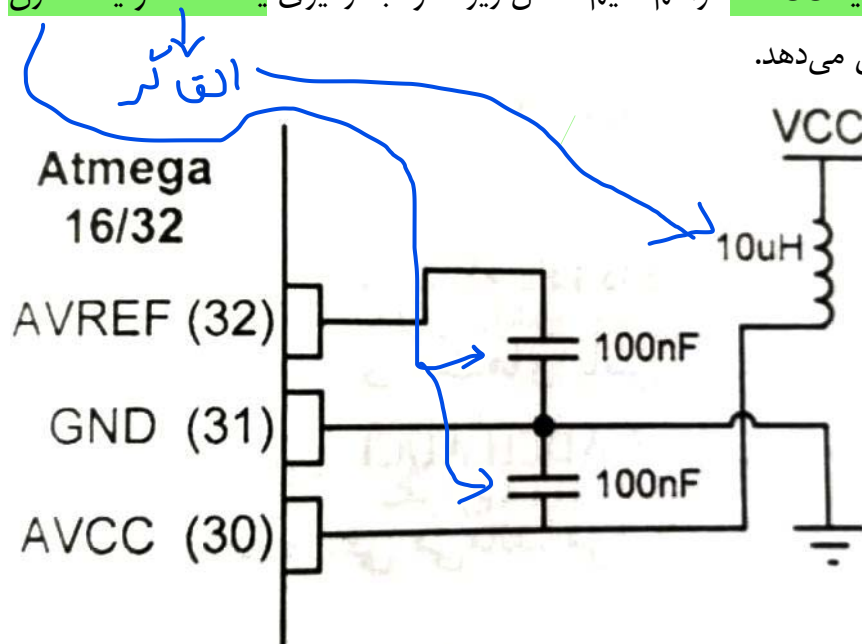
## ملاحظات سخت افزاری ADC موجود در AVR

در یک سیگنال منطقی دیجیتال، تغییرات کوچک در سطح ولتاژ تأثیری بر روی خروجی ندارد. برای مثال ۰.۲V، صفر در نظر گرفته می شود، زیرا بر طبق منطق TTL، هر مقداری زیر ۰.۵V به صفر منطقی در نظر گرفته خواهد شد. این حالت در هنگام ولتاژ آنالوگ وجود ندارد.

با استفاده از روش های مختلف می توان تأثیر نا مطلوب تغییرات منبع ولتاژ و تغییرات  $V_{ref}$  بر خروجی ADC را کاهش داد. در این بخش دو روش پر کاربرد در AVR را بررسی می کنیم.

## جدا کردن $AVCC$ از $VCC$

پایه  $AVCC$  تغذیه مدار ADC را تأمین می کند. برای گرفتن دقت بیشتر از ADC موجود در AVR باید منبع ولتاژ ثابتی برای پایه  $AVCC$  فراهم کنیم. شکل زیر نحوه بکارگیری یک سلف و یک خازن برای رسیدن به این منظور را نشان می دهد.



اتصال یک خازن بین  $V_{ref}$  و GND

با اتصال یک خازن بین  $AV_{ref}$  و  $GND$  می‌توانید ولتاژ  $V_{ref}$  پایدارتری بسازیم و دقت  $ADC$  را افزایش دهیم.

## IC

## سنسور دمای LM35

سنسورهای سری LM35 سنسورهای دقیق دما و صورت مدار مجتمع هستند که ولتاژ خروجی آنها با دمای سلسیوس (سانتیگراد) نسبت خطی دارد. LM35 به کالیبراسیون خارجی نیاز ندارد زیرا بطو داخلی کالیبره است. این سنسور  $10mV$  به ازای یک درجه سلسیوس تولید می‌کند. جدول زیر راهنمای خوبی برای انتخاب مدل‌های LM35 می‌باشد. (برای اطلاعات بیشتر به [www.national.com](http://www.national.com) مراجعه کنید).

نام قطعه	محدوده دما	دقت	خروجی
LM35A	-55C to +150C	+1.0 C	10mV/C
LM35	-55C to +150C	+1.5 C	10mV/C
LM35CA	-40C to +110C	+1.0 C	10mV/C
LM35C	-40C to +110C	+1.5 C	10mV/C
LM35D	0C to +100C	+2.0 C	10mV/C

## بهسازی سیگنال‌ها

بهسازی سیگنال بطور وسیعی در دنیای جمع‌آوری داده کاربرد دارد. در بسیاری از مبدل‌ها (transducer) خروجی به صورت ولتاژ جریان، بار، ظرفیت خازنی و مقاومت است. برای ارسال این ورودیها به یک مبدل آنالوگ به دیجیتال نیاز داریم این سیگنالها را به ولتاژ تبدیل کنیم. این تبدیل (تغییر) عموماً بهسازی سیگنال نامیده می‌شود. بهسازی سیگنال میتواند به صورت تبدیل جریان به ولتاژ یا تقویت سیگنال باشد. برای مثال ترمیستور با دما تغییر میکند. این تغییر باید به ولتاژ تبدیل شود تا بتوان از آن برای  $ADC$  استفاده کرد.

## ارتباط LM35 با AVR

در AVR مبدل  $ADC$  ده بیتی است به عبارت دیگر حداکثر دارای  $1024$  پله می‌باشد و LM35 دقیقاً  $10mV$  خروجی به ای یک درجه تغییر دما تولید می‌کند. چنانچه بخواهیم از اندازه گام  $10mV$  استفاده کنیم، ولتاژ مرجع برابر با  $10.24V = 1024 \times 10mV$  خواهد بود. که امکان پذیر نیست. به همین سبب راحت‌ترین راه حل یعنی ولتاژ مرجع دارای ( $2.56V$ ) را استفاده می‌کنیم. حال اگر ولتاژ مرجع داخلی  $2.56V$  باشد. اندازه گام برابر با  $2.5mV = 2.56/1024$  می‌شود. این امر باعث می‌گردد که عدد خروجی دودویی

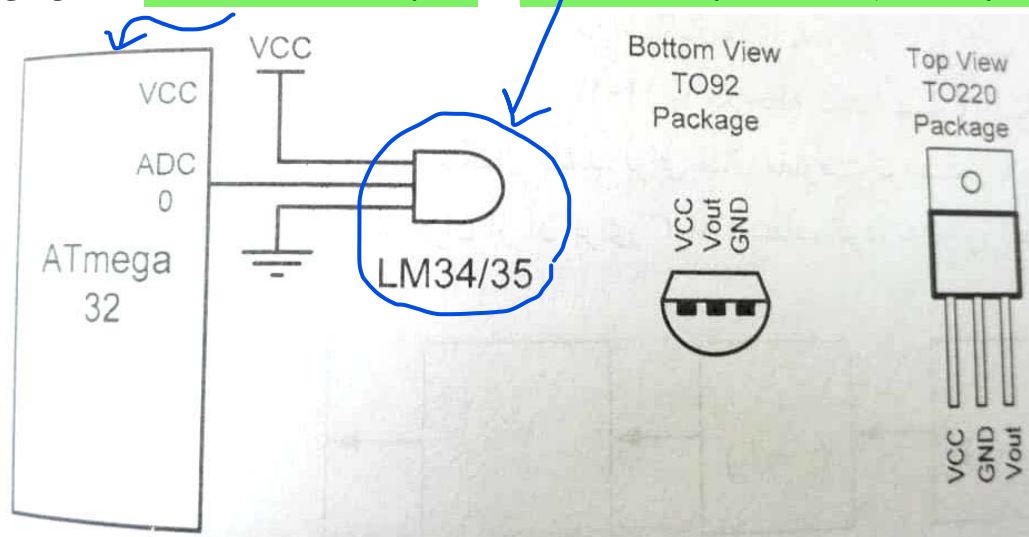


برای ADC، چهار برابر دمای واقعی باشد. زیر سنسور 10mV برای تغییر هر درجه از دما تولید می کند و اندازه گام برابر با 2.5mV می باشد. ( $10\text{mV}/2.5\text{mV}=4$ ) می توانیم با تقسیم کردن عدد خروجی ADC بر چهار، مقدار واقعی دما را بدست آوریم. به جدول زیر دقت کنید:

چهار برابر

دما	Vin (mV)	تعداد گامها	Vout (دودویی)	دما (دودویی)
0	0	0	00 00000000	00000000
1	10	4	00 00000100	00000001
2	20	8	00 00001000	00000010
3	30	12	00 00001100	00000011
10	100	20	00 00101000	0001010
20	200	80	00 01010000	0010100
30	300	120	00 01111000	0011110
40	400	160	00 10100000	0101000
50	500	200	00 11001000	0110010
60	600	240	00 11110000	0111100
70	700	300	01 00011100	1000110
80	800	320	10 01000000	1010000
90	900	360	01 01101000	1011010
100	1000	400	01 10010000	1100100

شکل زیر نحوه اتصال پایه های سنسور دمای LM35 به میکروکنترلر ATmega32 را نشان می دهد:



## آزمایشی که باید انجام دهید:

برنامه‌ای به زبان C بنویسید که درجه حرارت را از سنسور LM35 بخواند و بعد از تبدیل آن به صورتی که قابل نمایش باشد روی صفحه نمایش LCD نمایش دهد. دقت کنید که AVCC را مساوی پنج ولت قرار داده‌ایم (تغییرات لازم را خود انجام دهید).