بسم الله الرحمن الرحیم

Principles of Mechatronic Systems

مبانی سیستم های مکاترونیکی

داده برداری

تبدیل آنالوگ به دیجیتال

تبدیل دیجیتال به آنالوگ

By: Reza Tikani
Mechanical Engineering Department
Isfahan University of Technology

دسته بندی وسایل دیجیتال

۱. وسایل با منطق ترتیبی

۲. وسایل با منطق ترکیبی

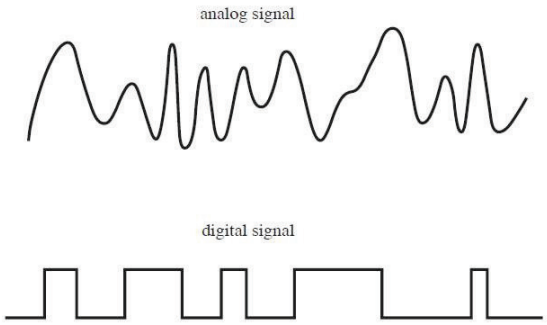
The difference between the two categories is based on signal timing. For sequential logic devices, the timing, or sequencing history, of the input signals plays a role in determining the output. This is not the case with combinational logic devices whose outputs depend only on the instantaneous values of the inputs.

سطوح منطقی

الکترونیک دیجیتال شامل مدارات و سیستم هایی است که فقط دو حالت در آنها وجود دارد. این حالت ها توسط ولتاژ سطح بالا (V_H) و سطح پایین (V_L) بیان می شوند.

این دو حالت توسط دو سطح جریان های سوئیچ باز و بسته و یا لامپ خاموش و روشن نیز نمایش داده می شوند.

سیگنال آنالوگ و سیگنال دیجیتال:



سطوح منطقی

- ولتاژهایی که برای نمایش ۱ و ۰ استفاده می شوند، سطوح منطقی گویند و شامل سطح بالا و سطح پایین می باشند.
- عملاً V_L و V_H دارای یک محدوده ولتاژ می باشند، مانند:

$$0 < V_L < 0.8$$

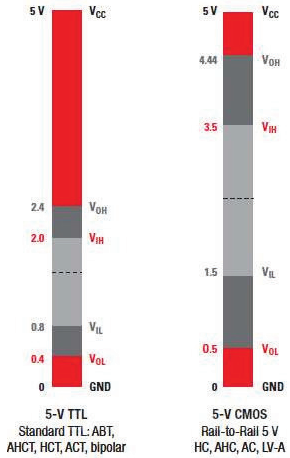
$$2 < V_H < 5$$

وجود فاصله بین دو سطح بالا و پایین برای تمایز دو سطح و جلوگیری از ناپایداری لازم است.

نمایش دیجیتال اعداد

- در سیستم دیجیتال ترکیب این دوحالت یک کد نامیده می شود و برای نمایش اعداد، حروف الفبای انگلیسی و سایر اطلاعات مورد استفاده قرار می گیرد.
- سیستم اعداد دو حالته (دودویی) را باینری گویند و از دو رقم ۰ و ۱ استفاده می شود.
- هر رقم باینری یک بیت نام دارد و برای نمایش ولتاژ سطح بالا از عدد یک و برای نمایش ولتاژ سطح پایین از عدد صفر استفاده می شود.

نمایش دیجیتال اعداد



- ولتاژهایی که برای نمایش ۱ و ۰ استفاده می شوند، سطوح منطقی گویند و شامل سطح بالا و سطح پایین می باشند.
- عملاً V_L و V_H دارای یک محدوده ولتاژ می باشند.

بدون شرح!

مبنای ده:

$$d_{n-1}\ldots d_3d_2d_1d_0 = d_{n-1}\cdot 10^{n-1} + \cdots + d_2\cdot 10^2 + d_1\cdot 10^1 + d_0\cdot 10^0$$

$$123 = 1\times 10^2 + 2\times 10^1 + 3\times 10^0$$

مبنای دو (سیستم عددی باینری):

binary number system

1 (ON) 0 (OFF)

$$(d_{n-1}\ldots d_3d_2d_1d_0)_2 = d_{n-1}\cdot 2^{n-1} + \cdots + d_2\cdot 2^2 + d_1\cdot 2^1 + d_0\cdot 2^0$$

$$1101_2 = 1\cdot 2^3 + 1\cdot 2^2 + 0\cdot 2^1 + 1\cdot 2^0 = 8_{10} + 4_{10} + 1_{10} = 13_{10}$$

بیت و بایت:

The digits of a binary number are also called **bits,** and the first and last bits have special names. The first, or leftmost, bit is known as the **most significant bit** (MSB) because it represents the largest power of 2. The last, or rightmost, bit is known as the **least significant bit** (LSB) because it represents the smallest power of 2. A group of 8 bits is called a **byte.**

در حالت کلی تبدیل یک عدد در مبنای b به مبنای ۱۰ از رابطه زیر تبعیت می کند:

$$(d_{n-1}\ldots d_3d_2d_1d_0)_b = (d_{n-1}\cdot b^{n-1} + \cdots + d_2\cdot b^2 + d_1\cdot b^1 + d_0\cdot b^0)$$

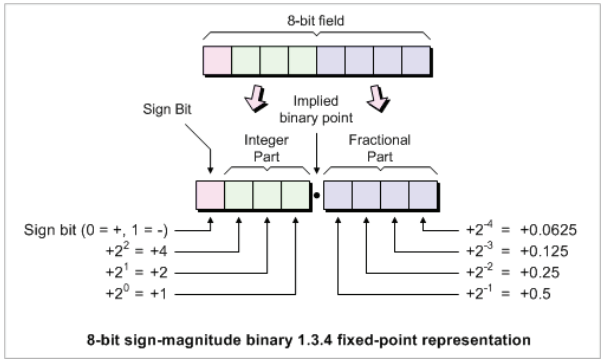
تبدیل از مبنای ۱۰ به مبنای دو :

Successive Divisions	Remainder	
123/2	1	LSB
61/2	1	
30/2	0	
15/2	1	
7/2	1	
3/2	1	
1/2	1	MSB
Result	1111011	

جمع و ضرب در مبنای ۲:

	11		
9	1001	9	1001
+ 3	+ 0011	× 3	× 0011
12	1100	27	1001
			+ 1001
			+ 0000
			+ 0000
			11011

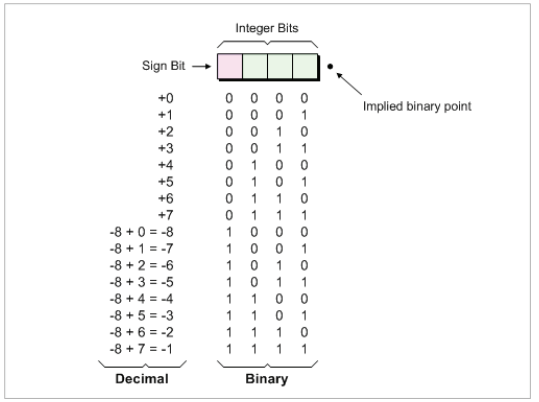
اعداد اعشاری:



8-bit sign-magnitude binary 1.3.4 fixed-point representation

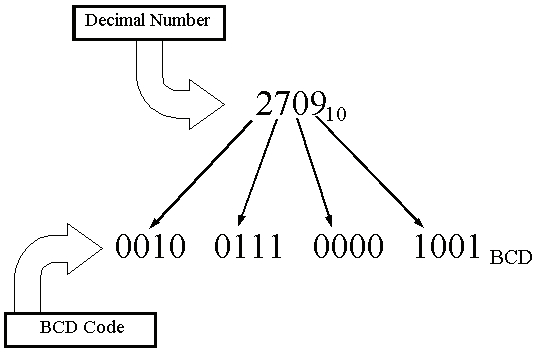
http://www.diycalculator.com/sp-round.shtml

اعداد منفی:



http://www.diycalculator.com/sp-round.shtml

اعداد دسیمال با کد باینری (BCD):



اعداد دسیمال با کد باینری (BCD):

$$123_{10} = 0001\ 0010\ 0011_{bcd}$$

$$123_{10} = 0111\ 1011_{2}$$

نظام کدگذاری استاندارد مورد استفاده در نمایش حروف الفبایی – عددی در یک کامپیوتر

ASCII:

American Standard Code for Information Interchange

$$\text{A: } 0100\ 0001 = 41_{16} = 65_{10}$$
$$\text{B: } 0100\ 0010 = 42_{16} = 66_{10}$$
$$\text{0: } 0011\ 0000 = 30_{16} = 48_{10}$$
$$\text{1: } 0011\ 0001 = 31_{16} = 49_{10}$$

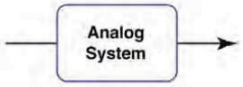
در سیستم بلادرنگ زمان اجرای پردازشها از اهمیت بحرانی برخودار است و تعیین کننده موفقیت یا عدم موفقیت در کنترل سیستم است.

مثال: جدا کردن قطعات معیوب عبوری از نوار نقاله

در سیستم غیربلادرنگ زمان در آن اهمیت بحرانی ندارد.

مثال: جدا کردن قطعات معیوب نگه داشته شده در انبار

در کنترل آنالوگ کمیات ورودی به صورت پیوسته دریافت و بر اساس آن کمیات خروجی نیز به صورت پیوسته تنظیم می گردد. در این نوع کنترل علاوه بر پیوسته بودن عملکرد حسگرها و عملگرها، کنترلر نیز بایستی به صورت آنالوگ عمل کند. این نوع کنترلر می تواند مدارهای الکتریکی و یا تقویت کننده های عملیاتی باشد.



- **Analog system: A system that operates continuously, with infinite precision and infinitesimal time spacing between signaling points**

کنترل آنالوگ و کنترل دیجیتال

در کنترل دیجیتال با توجه به استفاده از سیستمهای کامپیوتری و کنترلر دیجیتال بایستی سیگنالهای وارده از سنسور قبل از ارسال به کنترلر به صورت دیجیتال تبدیل شود. همچنین سیگنالهای فرمان به عملگر نیز بایستی به آنالوگ تبدیل شود.

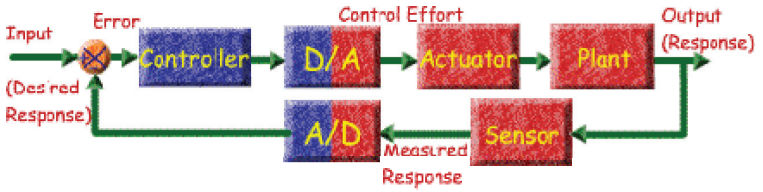
- Digital system: A system that operates continuously, with finite precision and discrete spacing between signaling points

کنترل منطقی (گسسته) و کنترل پیوسته

در سیستم پیوسته کمیتهای ورودی به صورت پیوسته اندازه گیری می شوند و مقادیر آن در هر لحظه اهمیت دارد. کمیتهای خروجی نیز به صورت پیوسته تغییر داده می شوند.

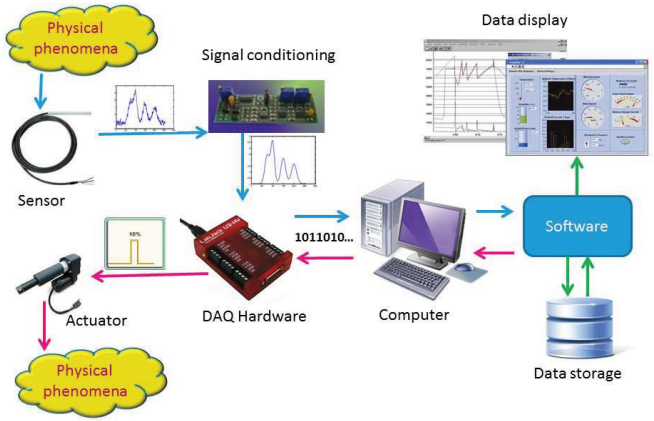
در سیستم منطقی ورودیها به صورت **ON/OFF** است و خروجی نیز به همین صورت اعمال می گردد.

سیستم اکتساب داده



در یک سیستم مکاترونیکی، سیستم تجهیز شده با اجزا الکترونیکی توسط بخش کامپیوتری کنترل می شود.
سیستم الکترونیکی و کامپیوتری اطلاعات مربوط به فرایند دینامیکی را به صورت لحظه به لحظه دریافت نموده، پردازش کرده و دستور مناسب را به سیستم صادر می نماید.

مراحل داده برداری



اخذ اطلاعات DAQ

عبارت اخذ اطلاعات (Data Acquisition) به فرایند جمع آوری داده از حسگرها و ارسال آنها به کامپیوتر برای فرآوری بعدی گفته می شود.

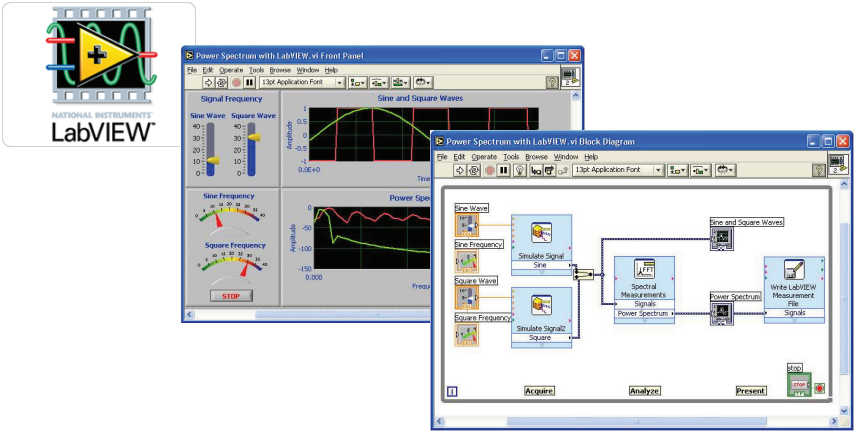
داده های حسگرها معمولاً از طریق یک مدار آماده سازی سیگنال به یک کارت سخت افزاری اخذ اطلاعات متصل به کامپیوتر فرستاده می شود.

اخذ اطلاعات DAQ

سیستم کارت‌های واسطه یک مدار مجتمع برای اخذ و ثبت داه، و با هدف کلی کاربردهای کنترلی می‌باشد. از کارت‌های DAQ جهت جمع آوری داده‌ها و تولید سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال برای برقراری ارتباط بین کامپیوتر و دنیای بیرون استفاده می‌شود. DAQ بطور خلاصه به اندازه‌گیری یک سیگنال حقیقی نظیر ولتاژ و ارسال آن به کامپیوتر جهت پردازش، تجزیه و تحلیل، ذخیره و اعمال تغییرات اطلاق می‌گردد. یعنی به کمک این کارت و نرم افزارهایی نظیرMATLAB و Lab VIEW می‌توان دمای یک محیط را تحت کنترل و نظارت درآورد، سیگنال‌هایی را به یک سیستم دیگر ارسال نمود و یا فرکانس یک سیگنال ناشناخته را تعیین کرد.

اخذ اطلاعات DAQ

برای کنترل فرایند اخذ اطلاعات توسط یک کارت DAQ از نرم افزار استفاده می شود.

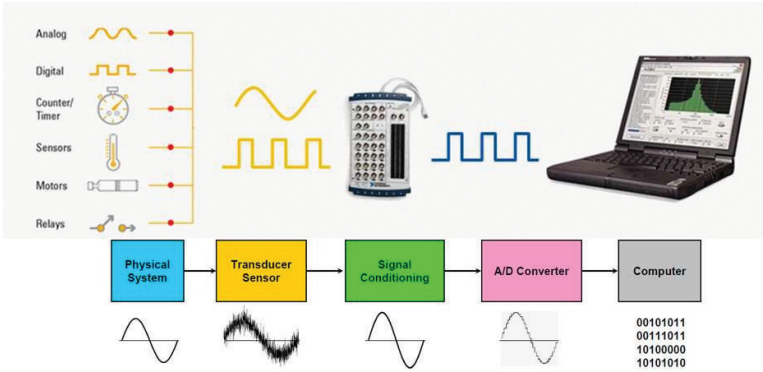


اخذ اطلاعات DAQ

مشخصات فنی کارت DAQ شامل نرخ نمونه برداری برای ورودی های آنالوگ است.

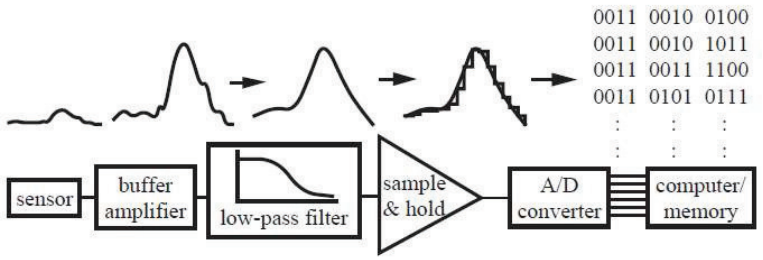
برای مثال نرخ نمونه برداری می تواند 100kS/s (۱۰۰ هزار نمونه در ثانیه) باشد طبق معیار نایکوئیست حداکثر فرکانس سیگنال آنالوگ که با چنین کارتی می تواند نمونه برداری شود برابر 50 kHz می باشد.

مراحل داده برداری



wiki.genexus.com

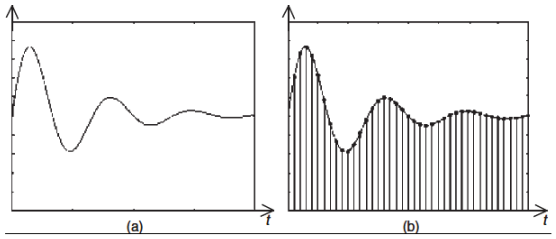
تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)



یک فیلتر پایین گذر سیگنالهای با فرکانسهای پایین تر از یک فرکانس خاص را با ضریبی ثابت عبور می دهد، در حالیکه سیگنالهای با فرکانسهای بالاتر از آن را عبور نمی دهد (در صفر ضرب کند.)

Mechatronics, Alicator

سیگنال آنالوگ و داده برداری شده

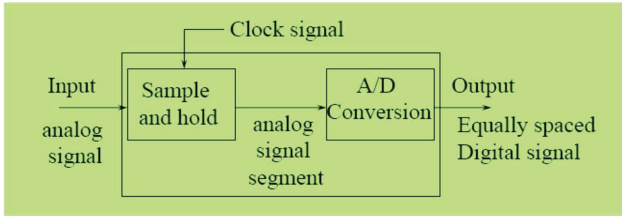


(a) analog signal (b) sampled equivalent

Mechatronics, godfery

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

روال مورد استفاده در مبدل **A/D** آن است که یک ساعت، پالس های سیگنال زمانی یکنواختی برای مبدل آنالوگ نمونه برداری می کند.



تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

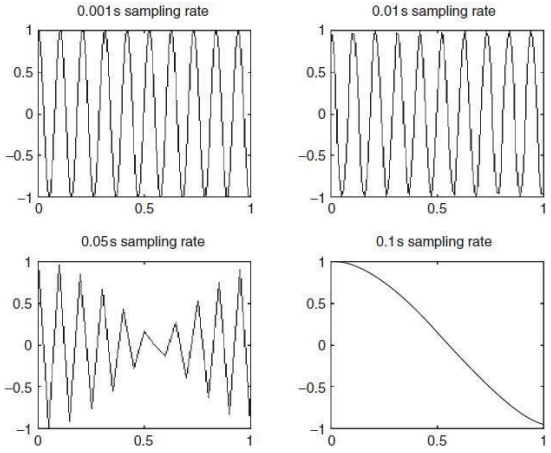
قضیه نمونه برداری:
همانگونه که ذکر شد مبدلهای آنالوگ به دیجیتال در دوره های زمانی منظم از سیگنال آنالوگ نمونه برداری کرده و این مقادیر را به کلمه های باینری تبدیل می کنند.

سوال: برای ایجاد یک خروجی دیجیتال که به درستی نشان دهنده سیگنال آنالوگ باشد، فواصل زمانی نمونه برداری چگونه باشد؟

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

قضیه نمونه برداری!!!

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

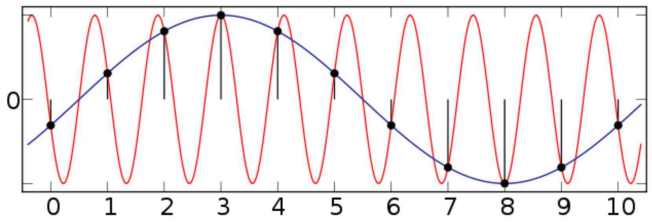


The effect of different sampling rates when sampling the waveform cos(60t)

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

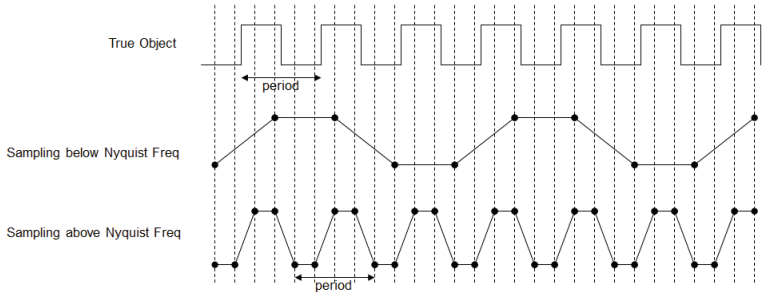
قضیه نمونه برداری، معیار نایکوئیست:
به هنگام بازسازی سیگنال از نمونه ها تنها هنگامی که نرخ نمونه برداری حداقل دو برابر بالاترین فرکانس موجود در سیگنال آنالوگ باشد، نمونه برداری فرم اصلی سیگنال را می سازد.

در حالتی که نرخ نمونه برداری از دو برابر بالاترین فرکانس کمتر باشد، بازسازی، تصویر نادرستی از سیگنال واقعی خواهیم داشت. به این پدیده بدنمایی (Aliasing) گویند.



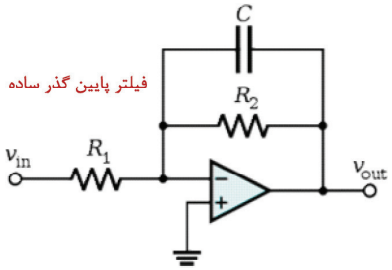
تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

در حالتی که نرخ نمونه برداری از دو برابر بالاترین فرکانس کمتر باشد، بازسازی، تصویر نادرستی از سیگنال واقعی خواهیم داشت. به این پدیده بدنمایی (Aliasing) گویند.

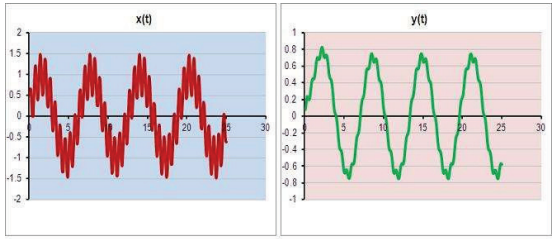


برای حداقل کردن خطای ناشی از بدنمایی و نویز فرکانس بالا، معمولاً از یک فیلتر پایین گذر قبل از ADC استفاده می شود.

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)



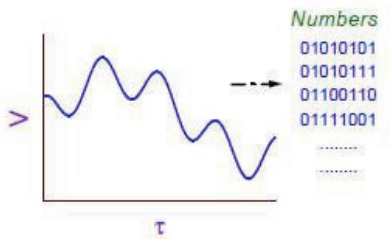
یک فیلتر پایین گذر سیگنالهای با فرکانسهای پایین تر از یک فرکانس خاص را با ضریبی ثابت عبور می دهد، در حالیکه سیگنالهای با فرکانسهای بالاتر از آن را عبور نمی دهد (در صفر ضرب کند.)



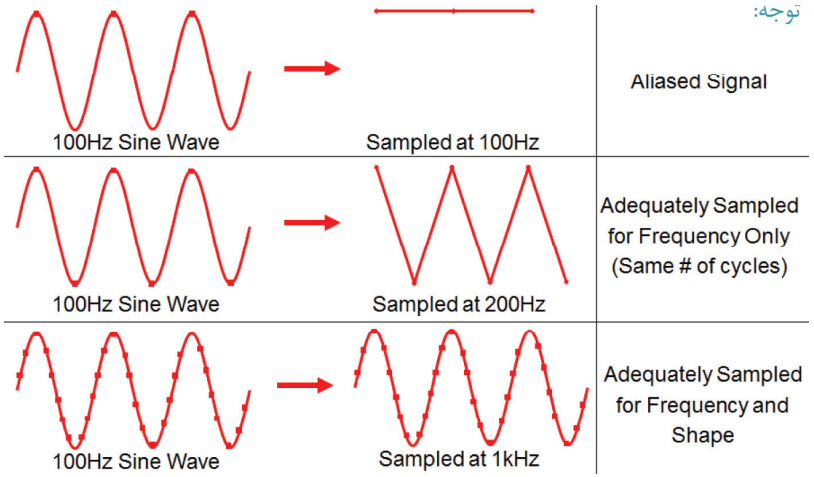
تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

در یک مبدل **A/D** سیگنال الکتریکی پیوسته به زبان دیجیتال تبدیل می شوند.

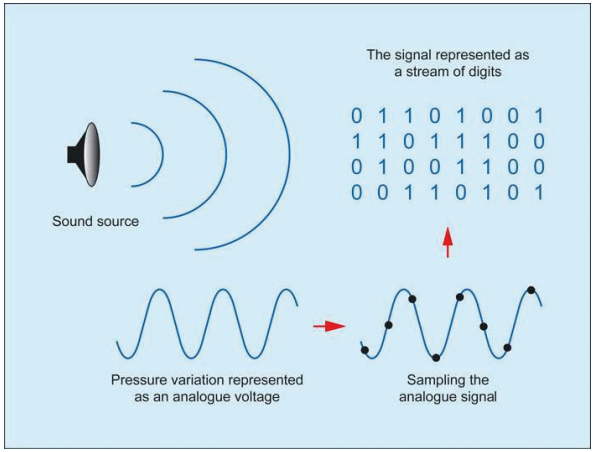
برای مثال، در یک مبدل ۸ بیتی با گستره سیگنال ورودی **0** تا **2.55V** ورودی **0V** به خروجی **0000000** تبدیل شده و **2.55V** به **11111111** تبدیل می شود.



تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)



تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)



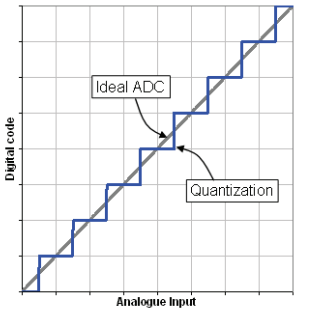
http://www.soundonsound.com/sos/sep07/articles/digitalmyths.htm

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

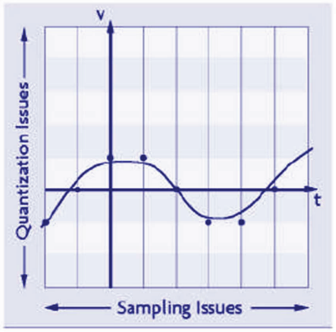
مبدل A/D دارای دو چالش است:

۱- تفکیک سازی: به خاطر طبیعت پله مانند رابطه و مربوط به عدم قطعیت ایجاد شده از تبدیل ولتاژ آنالوگ به عدد دیجیتال.

۲- نمونه برداری: مربوط به داده برداری در دوره های زمانی گسسته، بدون اطلاع از زمانهای میانی



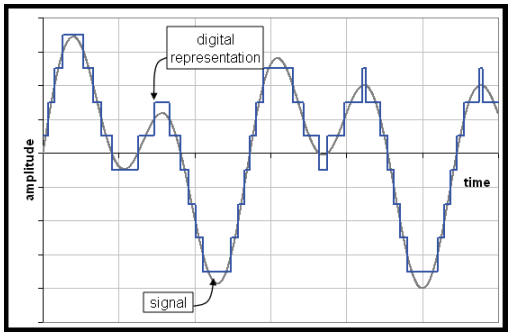
http://www.diracdelta.co.uk/science/source/q/u/quantization%20error/source.html



http://teacher.buet.ac.bd/zahurul/

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

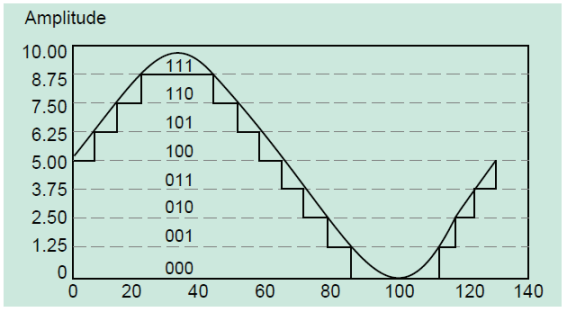
For a real signal digitizing this with a 3 bit ADC gives a very poor representation of the signal.



http://www.diracdelta.co.uk/science/source/q/u/quantization%20error/source.html

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

مثالی از تبدیل یک تابع سینوسی به دیجیتال:



http://teacher.buet.ac.bd/zahurul/

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

تفکیک پذیری (Resolution):

تفکیک پذیری به کوچکترین سیگنال قابل شناسایی توسط سیستم اندازه گیری گفته می شود.
به عبارت دیگر کوچکترین تغییر ورودی که منجر به تغییر در خروجی دیجیتال شود (یک بیت در موقعیت کم ارزش می شود).

$$Resolution \equiv Q = \frac{E_{\text{Full Scale}}}{2^{\text{Number of Bits}}}$$

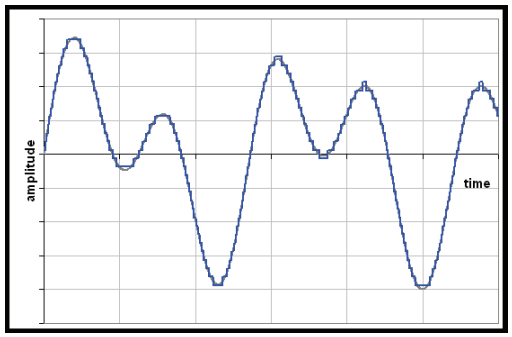
در یک سیستم ۱۲ بیتی، تفکیک پذیری یک قسمت از ۴۰۹۶ است، یا به عبارتی **0.0244%**.

در یک مبدل **A/D** ، ۸ بیتی با ولتاژ نهایی ۱۰ ولت، کمترین ولتاژ قابل شناسایی $\frac{10}{256} = 0.0391\ V$ می باشد.

❑ برای رسیدن به تفکیک پذیری **0.01%** چه تعداد بیت لازم است؟

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

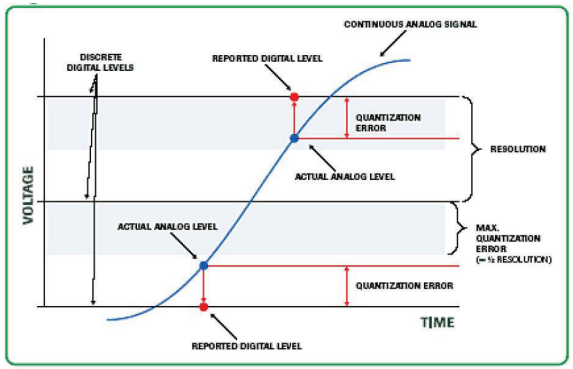
Increase the ADC to 5 bit and the digital representation is much closer to the original signal



http://www.diracdelta.co.uk/science/source/q/u/quantization%20error/source.html

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

خطای تفکیک:
این خطا برابر اختلاف بیـن سیگنال واقعی و سیگنال دیجیتال است و حداکثر خطا برابر یک دوم بازه است.



http://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Data-Aquisition-and-IO/The-Fine-Art-of-Analog-Signal-Sampling.aspx

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

Resolution:

No of bits	Number of States	Resolution (%)
1	$2^1 = 2$	50
2	$2^2 = 4$	25
3	$2^3 = 8$	12.5
4	$2^4 = 16$	6.25
8	$2^8 = 256$	0.391
10	$2^{10} = 1024$	0.098
12	$2^{12} = 4096$	0.024
16	$2^{16} = 65536$	0.001526
20	$2^{20} = 1048576$	0.000095

http://teacher.buet.ac.bd/zahurul/

تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

مثال:
ترموکوپلی را در نظر بگیرید که یک خروجی $0.5\ mV/°C$ می دهد. طول کلمه مورد نیاز برای اندازه گیری دماهای ۰ تا ۲۰۰ درجه با تفکیک پذیری ۰/۵ درجه توسط یک مبدل آنالوگ به دیجیتال چقدر است؟

$$200 * 0.5 = 100\ mV$$

$$0.5\frac{mV}{°C} * 0.5°C = 0.25\ mV$$

$$0.25 = 100/2^{\,n}$$

$$\boldsymbol{n = 8.6 \Rightarrow n = 9}$$

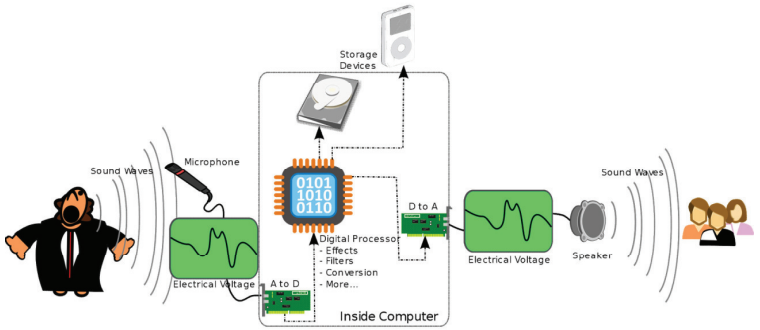
تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

در بررسی مشخصات فنی ADCها به عبارات زیر برخورد می کنیم:

۱- زمان تبدیل: زمان مورد نیاز برای تکمیل تبدیل سیگنال ورودی. این مشخصه حد بالای فرکانس سیگنال را مشخص می کند که می تواند بدون بدنمایی نمونه برداری شود. فرکانس بیشنه برابر است با (زمان تبدیل×۲)/۱.

۲- تفکیک پذیری: برابر است با حداکثر مقدار سیگنال تقسیم بر ۲ به توان n.

تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC)



en.wikipedia.org

تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC)

- یک تبدیل کننده دیجیتال به آنالوگ یک رشته بیت شامل تعدادی بیت را به ولتاژ یا جریانی که نشان دهنده مقدار عددی آن عدد دیجیتال است تبدیل می کند.

- برای مثال؛ یک مبدل دیجیتال به آنالوگ ۸ بیتی می تواند خروجی سیگنال صفر ولت را در اثر ورودی دیجیتال 00000000 و 2.55 V را در اثر ورودی دیجیتال 11111111 نتیجه دهد.

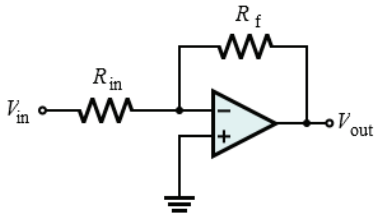
تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC)

یادآوری:

Operational amplifier

در تقویت کننده عملیاتی اختلاف ولتاژ دو سر ورودی صفر است و هیچ جریانی بین دو سر ورودی تقویت کننده عملیاتی عبور نمی کند.

$$V_{out} \approx -V_{in}\frac{R_f}{R_{in}}$$

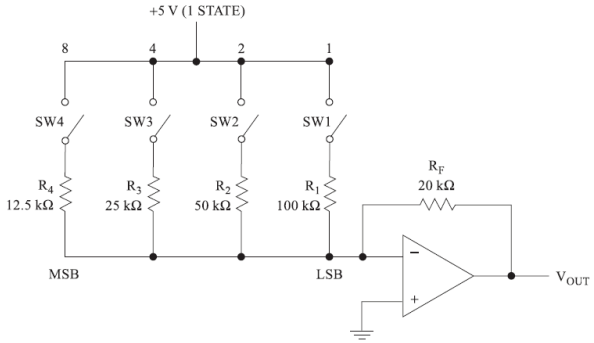


http://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier

تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC)

مبدل های D/A برای تبدیل سیگنال دیجیتال که نشان دهنده اعداد باینری هستند به ولتاژهای آنالوگ متناسب با آنها استفاده می شوند.

نمونه ای از مبدل دیجیتال به آنالوگ چهار بیتی:

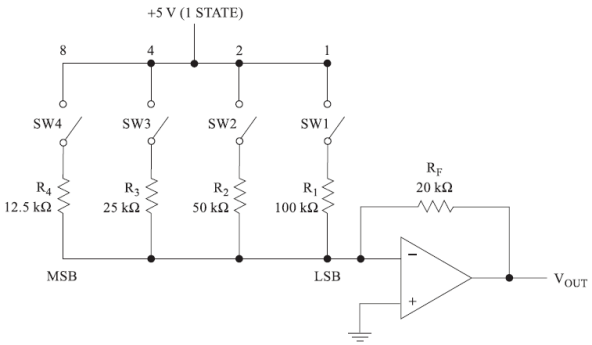


http://teacher.buet.ac.bd/zahurul/

تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC)

مبدل های D/A برای تبدیل سیگنال دیجیتال که نشان دهنده اعداد باینری هستند به ولتاژهای آنالوگ متناسب با آنها استفاده می شوند.

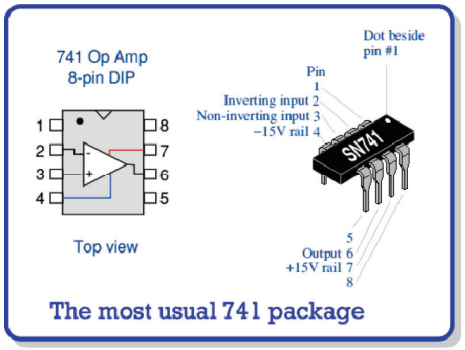
نمونه ای از مبدل دیجیتال به آنالوگ چهار بیتی:



http://teacher.buet.ac.bd/zahurul/

تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC)

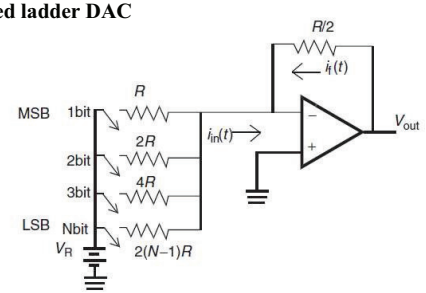
Operational amplifier



http://www.st-andrews.ac.uk/~www_pa/Scots_Guide/experiment/lab/expt6/expt6.html

The binary-weighted ladder DAC

مثال:

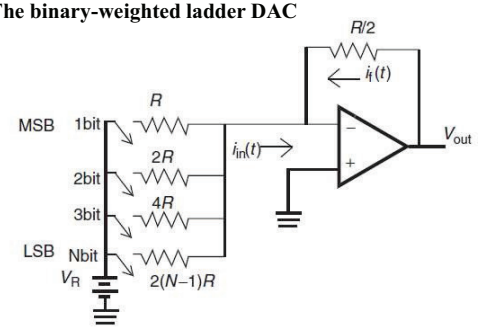


Determine the output of the DAC for an input of 10011001.

Solution

$$V_{out} = V_R\left(\frac{1}{2}+\frac{0}{4}+\frac{0}{8}+\frac{1}{16}+\frac{1}{32}+\frac{0}{64}+\frac{0}{128}+\frac{1}{256}\right) = -\frac{153}{256}V_R$$

The binary-weighted ladder DAC



1-bit only $V_{out} = -\frac{V_R}{2}$

2-bit only $V_{out} = -\frac{V_R}{4}$

3-bit only $V_{out} = -\frac{V_R}{8}$

. .

. .

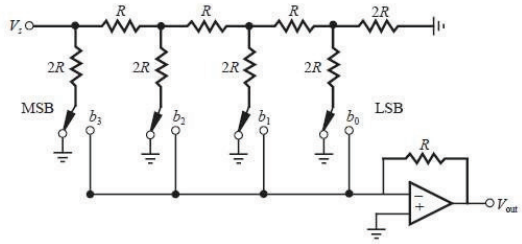
. .

N-bit only $V_{out} = -\frac{V_R}{2^N}$

در حالتی که همه بیتها ۱ باشد:

$$V_{out} = V_R\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}+\cdots+\frac{1}{2^N}\right) = -V_R\left(1-\frac{1}{2^N}\right).$$

Resistor ladder D/A converter



$V_{out_0} = -\frac{1}{16}V_s$

$V_{out_1} = -\frac{1}{8}V_s$

$V_{out_2} = -\frac{1}{4}V_s$

$V_{out_3} = -\frac{1}{2}V_s$

$$V_{out} = b_3V_{out_3} + b_2V_{out_2} + b_1V_{out_1} + b_0V_{out_0}$$