بنام خدا

جلسه دوازدهم

Note Title 5/19/2019

فصل پنجم : وسایلی با اصول و طراحی مدارهای الکترونیکی اندازه گیری

سرفصل مطالب : - پل معادل وشتون

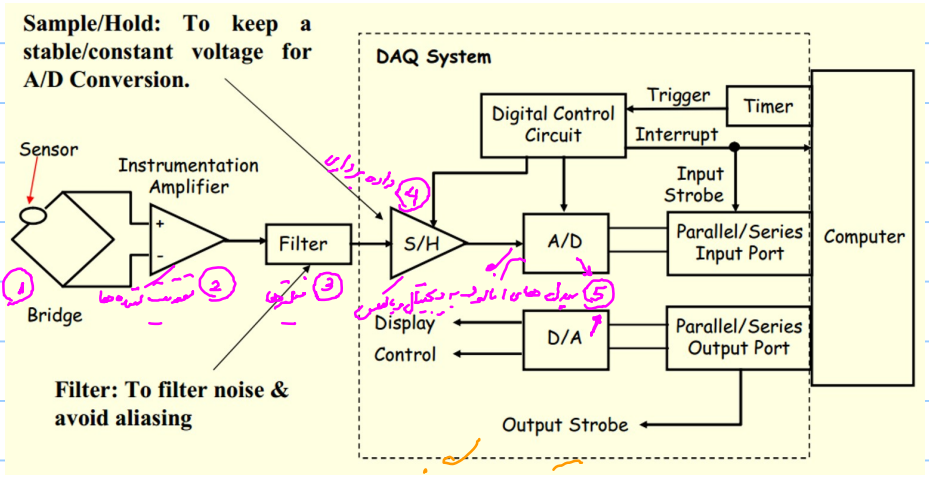
- تقویت کننده های عملیاتی (Op-Amp) و کاربردهای آن

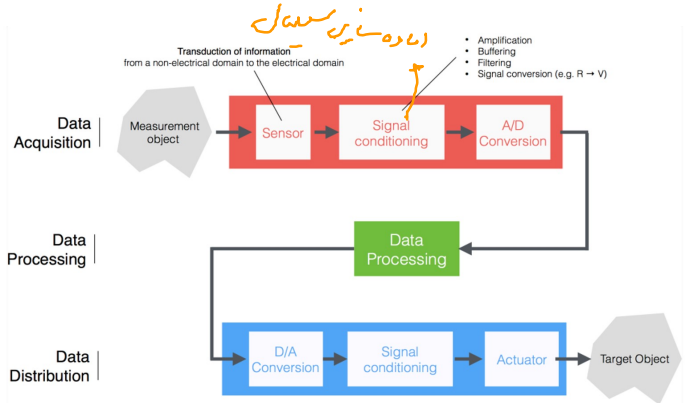
- فیلترها

- داده برداری

- مبدل های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ

* شکل کلی سیستم اندازه گیری و کنترل ارائه شده در برنامه های زبان مطالب مورد بحث در این فصل می باشد !

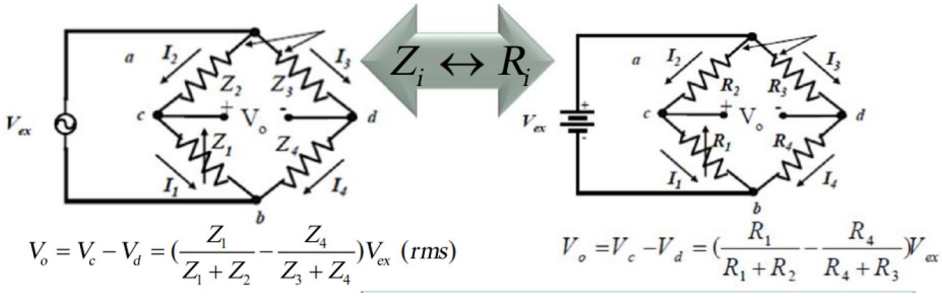




① پل تعادل وستون

- در فصل گذشته پل تعادل وستون را در حالت دائمی بررسی نمودیم. در نظر داشته باشید که در حالت دائمی تمامی مقاومت‌ها از نوع مقاومت اهمی هستند.

از این پل استفاده می‌شود.



- در پل‌های جریان متناوب، هر شاخه می‌تواند شامل مجموعه‌ای مقاومت (با امپدانس $Z_R = R$)، خازن (با امپدانس $Z_C(s) = \frac{1}{Cs}$ ← $Z_C(j\omega) = \frac{-j}{\omega C}$) و سلف (با امپدانس $Z_L(s) = Ls$ ← $Z_L(j\omega) = j\omega L$) باشد.

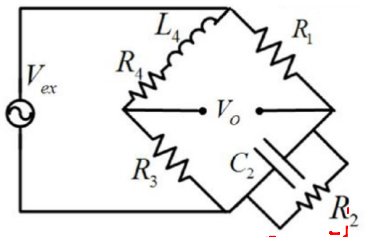
* شرط تعادل پل ($V_o = 0 \Leftrightarrow V_{cd} = 0$ یا $V_{cb} = V_{db}$):

$$\begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_3 = I_4 \end{cases} \Rightarrow \frac{Z_1}{Z_1+Z_2} = \frac{Z_4}{Z_3+Z_4} \rightarrow Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

(باید هم‌نوع شوند هم‌نوع)

موهومی‌ها با موهومی‌ها برابرند

- مثال: شرایط تعادل پل جریان متناوب شکل مقابل را بیابید.



$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \Rightarrow R_1 \cdot R_3 = (R_2 \| C_2) \cdot (\text{سلف}_4 + R_4)$$

$$\Rightarrow R_1 \cdot R_3 = \left(\frac{R_2 \cdot \frac{-j}{\omega C_2}}{R_2 + \frac{-j}{\omega C_2}}\right) \cdot (R_4 + jL_4\omega) \Rightarrow R_1 \cdot R_3 = \frac{-R_2 j}{R_2 C_2 \omega - j} \cdot (R_4 + j\omega L_4)$$

$$\Rightarrow R_1 R_3 R_2 C_2 \omega - R_1 R_3 j = +R_2 L_4 \omega - R_2 R_4 j \rightarrow \begin{cases} R_1 R_3 = R_2 R_4 & \leftarrow \text{شاخه‌های مقاومتی} \\ L_4 = R_1 R_3 C_2 & \leftarrow \text{شاخه‌های خازنی} \end{cases}$$

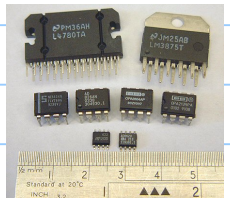
② تقویت کننده های عملیاتی (Operational Amplifiers (Op-Amp

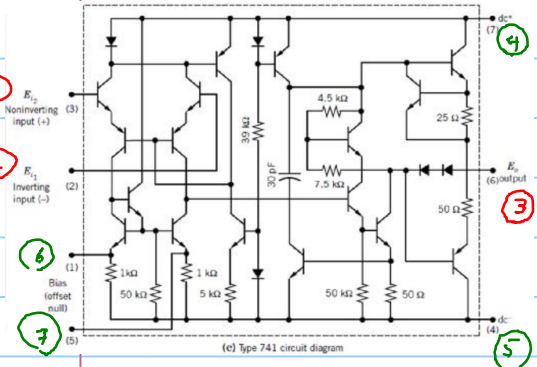
- خروجی بسیاری از ترنسدیوسرها به دلیل اندازه های کوچک، نوری بودن، دارا بودن مقادیر بایاس DC و ... به شکل مستقیم قابل استفاده نیستند و پیش از ورود به مدارهای دیجیتال و انجام عملیات کنترلی، باید پالایش شوند. (Signal Conditioning)

- در سیستم های اندازه گیری، از تقویت کننده ها جهت افزایش سطح سیگنال های خروجی ترنسدیوسرها بهره گرفته می شود.

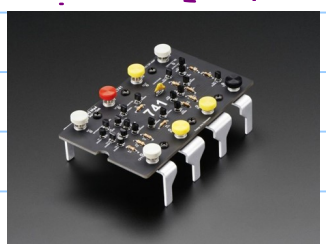
- تقویت کننده های عملیاتی جهت تطابق، جمع و تفریق سیگنال ها، تقویت سیگنال ها، تبدیل سیگنال های ولتاژ به جریان و جریان به ولتاژ (I/V, V/I)، فیلترها و بافرها، کاربردهای کنترلی، مشتق گیری و انتگرال گیری و ... مورد استفاده قرار می گیرند. (D/A, A/D) سه پایه سازی عملیات ریاضی به صورت الکترونیکی

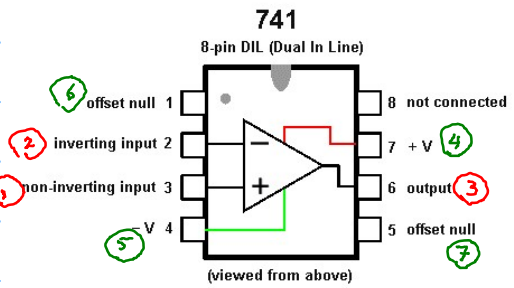
- هر تقویت کننده عملیاتی، یک مدار مجتمع (IC) شامل ترانزیستورها، مقاومت ها، دیودها، خازن های سطح بالا و ... است که با استفاده از عناصر غیرفعال (passive) می توانند توابع زیادی را ایجاد کنند.



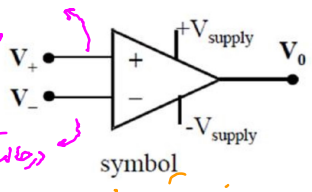


محبوب ترین و پرکاربردترین تقویت کننده عملیاتی 741





- تقویت کننده های عملیاتی سه پایه اصلی دارند: ① V_+ به عنوان ورودی non-inverting



② V_- به عنوان ورودی inverting و ③ V_o خروجی آپ امپ.

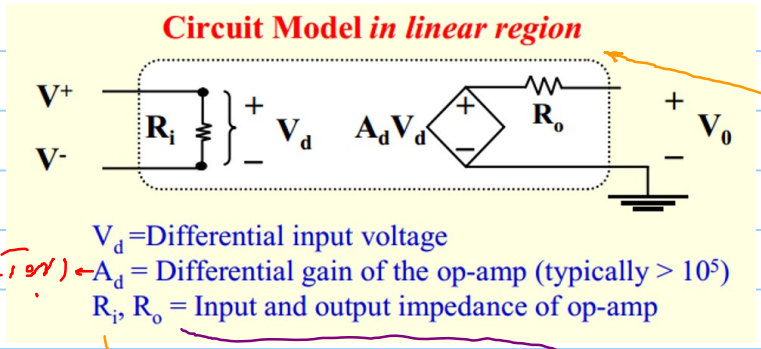
- همچنین هر آپ امپ پایه های 4 و 5 تغذیه و پایه های 6 و 7 پایه های امتر دارد.

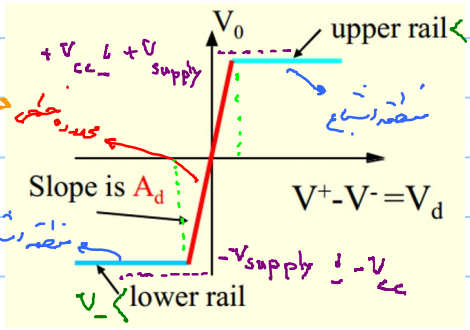
$V_o = A(V_+ - V_-)$: در محدوده غیراشباع

بهره آپ امپ

$\pm V_{supply}$ ($\pm 15V$ ، $\pm 1.5V$)

- مدار معادل اپ - امپ :





(بهره اپ - امپ) ← A_d = Differential gain of the op-amp (typically > 10^5)

R_i, R_o = Input and output impedance of op-amp

(معمولاً در محدوده 10^{12} تا 10^{15} اهم) مقاومت ورودی

(معمولاً در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ اهم) مقاومت خروجی

- در صورتی که اختلاف بین ولتاژهای ورودی از محدوده خطی خارج شود، ولتاژ خروجی اشباع شده و خروجی به حداکثر اندازه خود یا rail دیده می‌شود (و اندکی کمتر از اندازه ولتاژ تغذیه اپ - امپ) می‌رسد.

- اپ - امپ ایده‌ال :

1) فرض می‌شود که امپدانس ورودی اپ - امپ بینهایت است. ($R_i \to \infty$) ← جریان ورودی اپ - امپ صفر است (جریان نمی‌کشد)

2) فرض می‌شود که امپدانس خروجی اپ - امپ صفر است ($R_o = 0$) ← مثل ایده‌آل عمل کرده و بدون تضعیف به خروجی می‌رسد

3) بهره اپ - امپ بی‌نهایت فرض می‌شود ($A_d \to \infty$)

← در اپ - امپ ایده‌ال $V_+ = V_-$ در نظر گرفته می‌شود و همچنین هیچ جریانی به پایه‌های ورودی وارد/خارج نمی‌شود. البته در نظر داشته باشید جریان می‌تواند از این پایه‌ها خارج/وارد شود.

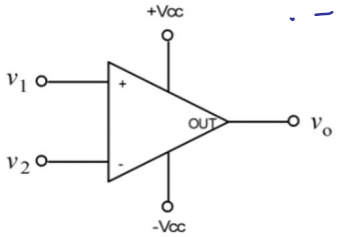
- هدف از تحلیل مدارهای با اپ - امپ، محاسبه ولتاژ خروجی برحسب ولتاژهای ورودی است.

- اپ - امپ بدون داشتن فیدبک (به ورودی منفی)، ناپایدار (مداربار) بوده و به همین علت در مواردی متضرر خواهد شد.

- به صورت مداربار استفاده می‌شود.

* کاربرد تقویت کننده های عملیاتی

الف) مقایسه گر (Comparator): استفاده از آپ امپ بدون فیدبک



v_+ v_-

if $v_1 > v_2 \Rightarrow v_o \simeq +V_{cc}$

if $v_1 < v_2 \Rightarrow v_o \simeq -V_{cc}$

} تغییر یا صفر بودن ولتاژ خروجی

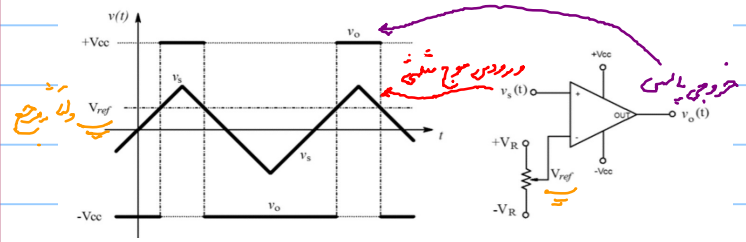
تشخیص کمتر یا بزرگتر بودن v_1 نسبت به v_2 است.

$\Rightarrow V_o = \text{sign}(v_+ - v_-)$

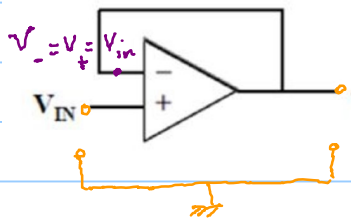
علامت این تابع هم است

- در این مدار ولتاژهای آنالوگ را به عنوان ورودی می‌پذیرد و خروجی آن فقط دو حالت مشخص (دیجیتال) دارد، این مدار هسته اصلی مبدل های آنالوگ به دیجیتال (ADC) است.

- کاربرد دیگر: مبدل موج مثلثی به مربعی



ب) تقویت کننده بافر ولتاژ (Voltage follower Amplifier)



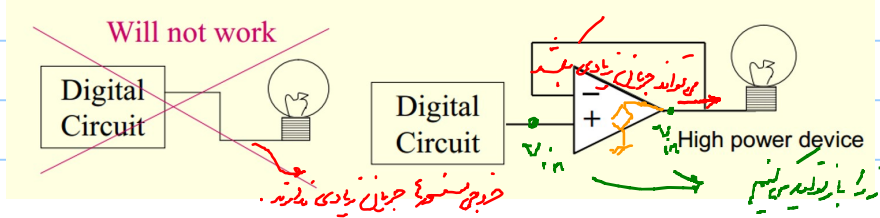
$\Rightarrow$! copy-paste از ولتاژ ورودی

حال بین مزایای استفاده از این مدار به جای سیم یا اتصال کوتاه چیست؟

- مدارهای دیجیتال عموما جریان خروجی زیادی تولید نمی‌کنند.

- وقتی بخواهیم از سیگنال دیجیتال برای بالا بردن ولتاژ یک جریان قابل توجهی (که نیاز داریم) از مدار بگیریم (به عنوان مثال برای روشن کردن یک لامپ) این مدار به کار ما می‌آید.

بین مدار دیجیتال و بار استفاده می‌کنیم.

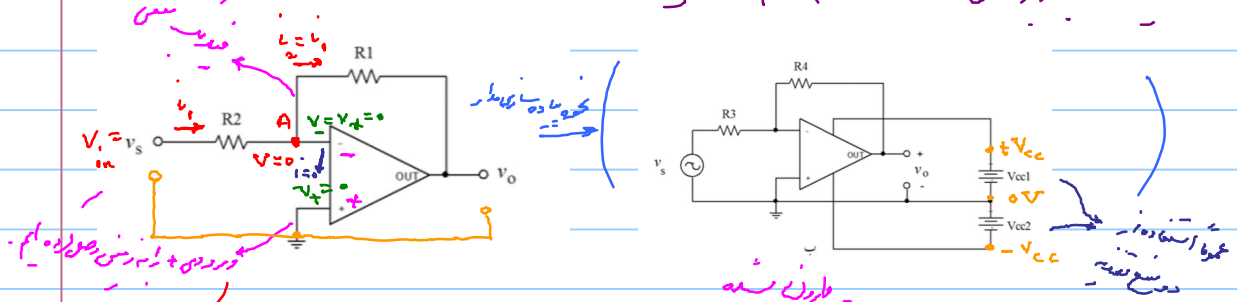


خروجی نمی‌تواند جریان زیادی بدهد.

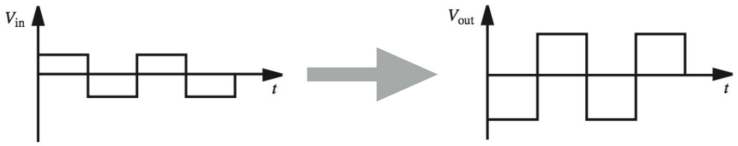
جریان زیادی بگیرد

جان ولتاژ را با توان بالا می‌دهیم

ب) تقویت کننده با بهره منفی (وارون ساز) : Inverting Amp.

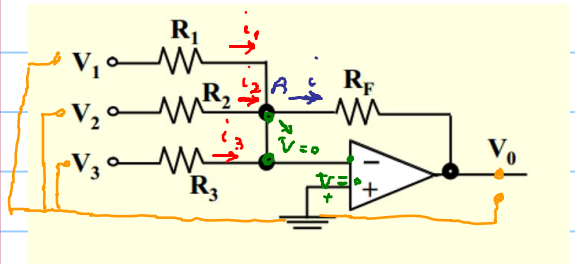


$$A \text{ در } : i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{V_s - 0}{R_2} = \frac{0 - V_o}{R_1} \Rightarrow \boxed{V_o = -\frac{R_1}{R_2} V_{in}} \quad (\text{if } R_1 = R_2 \Rightarrow V_o = -V_{in})$$



پ) تقویت کننده جمع کننده (Summing Amplifier) :

- در برخی کاربردها، سیگنال های ورودی از چند منبع باید با هم جمع شوند تا سیگنال خروجی مناسب با مجموع سیگنال های ورودی بدست آید. این عمل را می‌توان توسط مدار زیر که به تقویت کننده جمع کننده معروف است، انجام داد. (مثال: مدل های دیجیتال به آنالوگ)

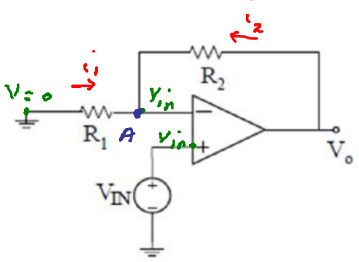


$$A \text{ در } : i_1 + i_2 + i_3 = i$$

$$\Rightarrow \frac{V_1 - 0}{R_1} + \frac{V_2 - 0}{R_2} + \frac{V_3 - 0}{R_3} = \frac{0 - V_o}{R_F} \Rightarrow$$

$$\boxed{V_o = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)} \quad \left(\text{if } R_1 = R_2 = R_3 = R_F \Rightarrow V_o = -(V_1 + V_2 + V_3) \right)$$

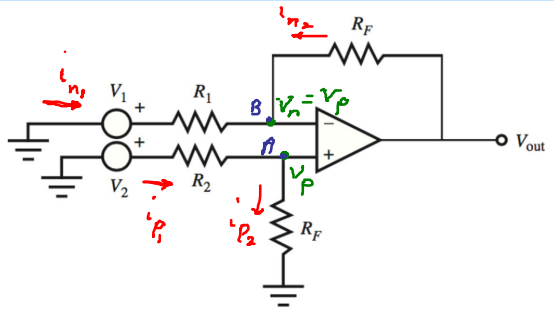
پ) تقویت کننده با بهره مثبت (Non-inverting Amp.) :



$$A \text{ در } : i_1 + i_2 = 0 \Rightarrow \frac{0 - V_{in}}{R_1} + \frac{V_o - V_{in}}{R_2} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{in} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}}$$

ج) تقویت کننده تفاضلی (Difference Amplifier) ← خروجی این تقویت کننده تفاضل ولتاژهای ورودی + و - است.



- می‌خواهیم تابع تبدیل V_o به ورودی‌های V_1 و V_2 را بیابیم.

گره A: $i_{p_1} = i_{p_2} \Rightarrow \frac{V_2 - V_p}{R_2} = \frac{V_p - 0}{R_F}$

$$\Rightarrow \boxed{V_p = \left(\frac{R_f}{R_2 + R_f}\right) V_2 = V_n}$$

گره B: $i_{n_1} + i_{n_2} = 0 \Rightarrow \frac{V_1 - V_n}{R_1} + \frac{V_o - V_n}{R_F} = 0 \xrightarrow{V_n = V_p} \frac{V_1 - \frac{R_F}{R_2 + R_f} V_2}{R_1} + \frac{V_o - \frac{R_F}{R_1 + R_2} V_2}{R_F} = 0$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right)\left(\frac{R_F}{R_2 + R_F}\right) V_2 - \left(\frac{R_F}{R_1}\right) V_1}$$

if $R_1 = R_2 = R \Rightarrow \boxed{V_o = \frac{R_F}{R_1}(V_2 - V_1)}$

ولتاژ تفاضلی $V_2 - V_1$

* ولتاژ تفاضلی (ولتاژ مشترک) ولتاژ میانگین

$V_d = V_2 - V_1$ ، $V_{cm} = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$ $\left(\Rightarrow V_1 = V_{cm} - \frac{V_d}{2}\right.$ ، $\left.V_2 = V_{cm} + \frac{V_d}{2}\right)$

بخش مشترک

* رابطه ولتاژ خروجی را بدین صورت بنویسیم:

$$V_o = A_{cm} V_{cm} + A_d V_d$$

خواهیم داشت:

$$V_o = \left(-\frac{R_F}{R_1} + \left(\frac{R_F}{R_F + R_2}\right)\left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right)\right) V_{cm} + \left(\frac{R_F}{2R_1} + \frac{1}{2}\left(\frac{R_F}{R_2 + R_F}\right)\left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right)\right) V_d$$

(Common Mode Gain) بهره مود مشترک — (Difference Mode Gain) بهره تفاضلی

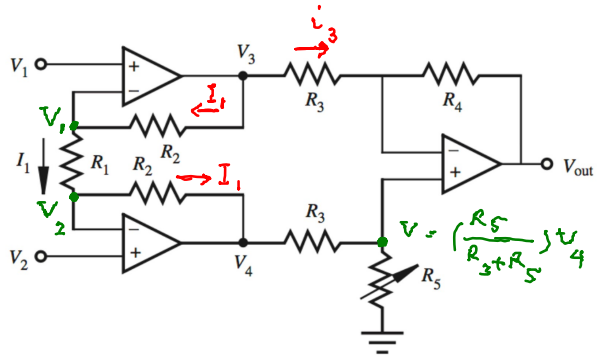
- حال CMRR را اینطور تعریف می‌کنیم:

(Common Mode Rejection Ratio) $\boxed{CMRR = \frac{\text{Difference Mode Gain}}{\text{Common Mode Gain}} = 20 \log \frac{A_d}{A_{cm}} \text{ (dB)}}$

if $R_1 = R_2 = R \Rightarrow \begin{cases} A_{cm} = 0 \\ A_d = \frac{R_F}{R} \end{cases} \Rightarrow CMRR \to \infty$

(در تقویت‌کننده‌های ایده‌آل، عددی که در CMRR قرار می‌گیرد بی‌نهایت است!)

ج) تقویت کننده ابزاردقتی (Instrumentation Amp.)



- این تقویت کننده، جهت حذف ای و امپدانس ورودی بالا می‌باشد.
- جریان ورودی I_1 و I_2 به ورودی های OP-AMP ها وصل شده‌اند.
- دارای مقدار CMRR بسیار بالا
- در محیط های نویزی، قابلیت تقویت سیگنال های بسیار کوچک را دارا است.
- در این مدار، می‌توان نشان داد:

$$V_3 = \left(\frac{R_2}{R_1}+1\right)V_1 - \frac{R_2}{R_1}V_2$$

$$V_4 = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \left(\frac{R_2}{R_1}+1\right)V_2$$

$$V_o = \frac{R_5(R_3+R_4)}{R_3(R_3+R_5)}V_4 - \frac{R_4}{R_3}V_3$$

if $R_5 = R_4$ $\Rightarrow$ $V_o = \left(\frac{R_4}{R_3}\left(1+2\frac{R_2}{R_1}\right)\right)(V_2 - V_1)$

↳ CMRR $\to \infty$, $A_{cm} = 0$ در این حالت ($\because V_o = V_2 - V_1$ ، $V_{cm} = \frac{V_1+V_2}{2}$ با توجه به فرض)

- برای داشتن حداکثر CMRR در عمل، باستی از مقاومت های بسیار دقیق استفاده کرد (= دقتی در حدود صدم درصد)
- این نوع تقویت کننده به صورت IC موجود است (مثل National Semiconductor LM623 ، AD620 ، AD624)

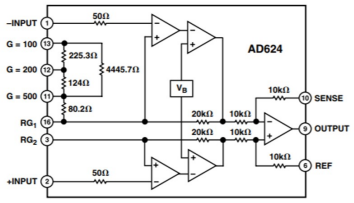
ANALOG DEVICES

Precision Instrumentation Amplifier

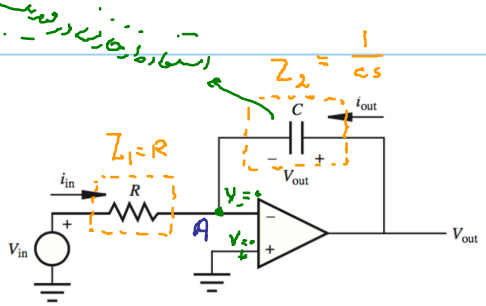
AD624

FEATURES
- Low Noise: 0.2 μV p-p 0.1 Hz to 10 Hz
- Low Gain TC: 5 ppm max (G = 1)
- Low Nonlinearity: 0.001% max (G = 1 to 200)
- High CMRR: 130 dB min (G = 500 to 1000)
- Low Input Offset Voltage: 25 μV, max
- Low Input Offset Voltage Drift: 0.25 μV/°C max
- Gain Bandwidth Product: 25 MHz
- Pin Programmable Gains of 1, 100, 200, 500, 1000
- No External Components Required
- Internally Compensated

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



ج) تقویت کننده انتگرال گیر و مشتق گیر:



استفاده از خازن در فیدبک

انتگرال گیر:

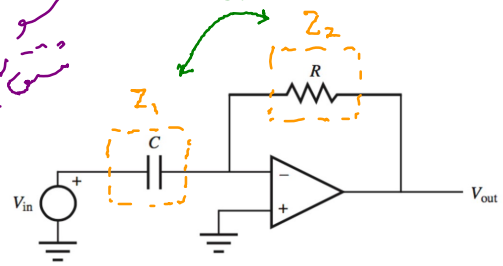
A) $i_{in} + i_{out} = 0 \Rightarrow \frac{V_{in} - 0}{R} = -C\frac{dV_o}{dt}$

$$\Rightarrow \boxed{V_o(t) = \frac{-1}{RC}\int_0^{\tau} V_{in}(\tau)\,d\tau}$$

B) $V_o(s) = \frac{-Z_2}{Z_1} V_{in}(s) = \frac{-1}{RCs} V_{in}(s) \xrightarrow{\text{در حوزه زمان}} V_o(t) = \frac{-1}{RC}\int_0^t V_{in}\,dt$

در فضای لاپلاس

مشتق گیر:



جای خازن و مقاومت نسبت به مدار انتگرال گیر عوض شده است.

$$V_o(s) = \frac{-Z_2}{Z_1} V_{in}(s) = \frac{-R}{\frac{1}{Cs}} V_{in}(s) \Rightarrow$$

$$V_o(s) = -RCs \cdot V_{in}(s) \xrightarrow{\text{در حوزه زمان}} V_o(t) = -RC\frac{d}{dt}V_{in}(t)$$

در فضای لاپلاس

تقویت کننده مشتق گیر، نویزها (یا تغییرات سریع) را تقویت می‌کند به همین عنوان مطلوب نیست و باید مورد توجه قرار گیرد.

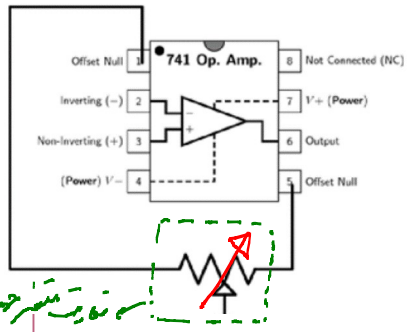
* مدلسازی ولتاژ بایاس و جریان آفست ورودی در آپ امپ واقعی :

- اگرچه انتظار می‌رود ولتاژ در هر دو ورودی آپ امپ صفر است، ولتاژ خروجی

نیز صفر شود، اما به علت خطاهای ساخت آپ امپ و نادقیق بودن المان‌ها،

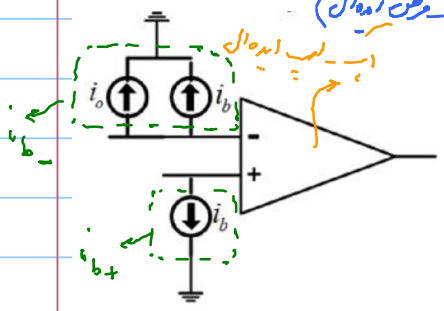
ولتاژ بایاس (= غیر صفر) داریم که با بهره‌گیری از مقاومت متغیر متصل به پایه‌های آفست (به

مدار شکل روبرو) می‌توان آن را حذف نمود.



سه مقاومت متغیر جهت
از بین بردن ولتاژ بایاس

- همچنین در آپ امپ‌های واقعی، جریان افست در پایه‌های ورودی وجود دارد. (به جای فرض ایده‌آل)



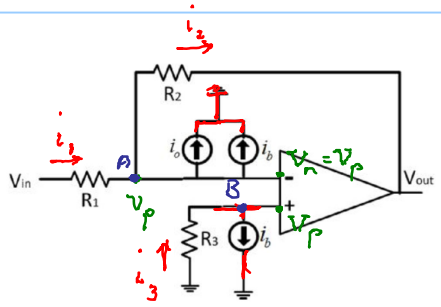
آپ امپ ایده‌آل

- جریان بایاس (i_b) و افست (i_o) در آپ امپ‌های واقعی به صورت

مقابل مدل می‌شوند.

مثال : مدار تقویت کننده معکوس کننده را با فرض آپ امپ واقعی (= در نظر گرفتن جریان‌های آفست و بایاس) تحلیل نموده

و شرایطی جهت حذف اثر جریان بایاس را تعیین نمایید.



در گره A : $i_1 = i_2 + i_o + i_b$

$$\Rightarrow \frac{V_{in} - V_p}{R_1} = \frac{V_p - V_o}{R_2} + i_o + i_b$$

در گره B : $i_3 = i_b \Rightarrow \frac{0 - V_p}{R_3} = i_b \Rightarrow V_p = -R_3 i_b$

$$\Rightarrow \frac{V_{in}}{R_1} + \frac{R_3}{R_1} i_b = \frac{-R_3}{R_2} i_b - \frac{V_o}{R_2} + i_o + i_b \Rightarrow$$

این قسمت همان بایاس خروجی است

$$V_o = \frac{-R_2}{R_1} V_{in} - \left(\frac{R_3}{R_1} + \frac{R_3}{R_2} - 1\right) R_2 i_b - R_2 i_o$$

خروجی آپ امپ ایده‌آل

از مساوی صفر شدن، اثر i_b در ولتاژ خروجی حذف می‌شود. $\Rightarrow R_3(R_1 + R_2) - R_1 R_2 = 0 \Rightarrow \boxed{R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \| R_2}$

③ فیلترها

- جهت پالایش سیگنال، حذف نویز و یا ارتقای مشخصات دیتایی به کمک فیلترها استفاده می‌شود.

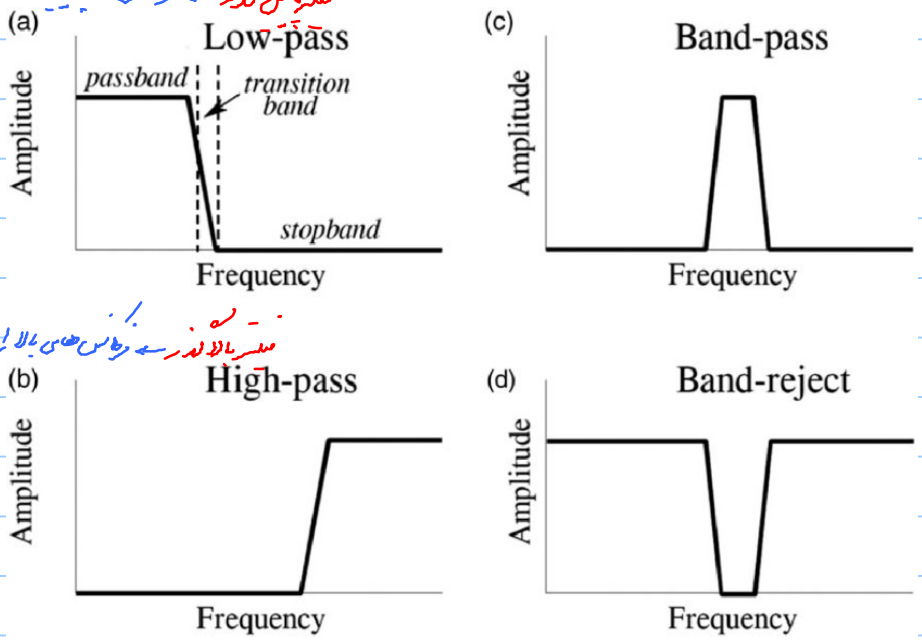
- دو دسته اصلی فیلترها، عبارتند از:

۱) فیلترهایی که از روی سیگنال‌های الکتریکی تشکیل شده‌اند. این فیلترها دارای دو دسته هستند:
- فیلترهای غیرفعال (Passive) ← شامل RLC
- فیلترهای فعال (active) ← شامل آپ امپ، ترانزیستور، IC و ...

۲) فیلترهای دیجیتال که روی سیگنال‌های دیجیتالی تشکیل شده‌اند.

- دسته‌بندی فیلترها از نظر محدوده فرکانس‌های:

فیلتر پایین‌گذر ← فرکانس‌های پایین را از خود عبور می‌دهد



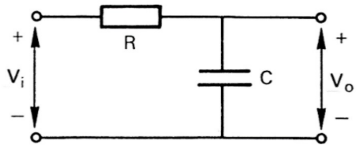
فیلتر بالاگذر ← فرکانس‌های بالا را از خود عبور می‌دهد

- ویژگی‌های فیلترهای فعال و غیرفعال:

- غیرفعال: عدم نیاز به منبع تغذیه، قابلیت کار در ولتاژ و جریان بالا، تأثیر اعوجاج بار بر دامنه و فرکانس خروجی
- فعال: قابلیت تقویت سیگنال‌ها، بهره قابل تنظیم (در کنار پالایش سیگنال)، نیاز به منبع تغذیه

۱ - فیلترهای پایین گذر (مرتبه اول)

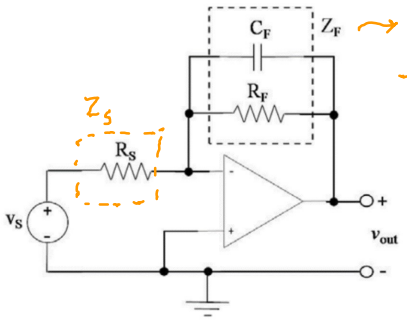
(غیر فعال)



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{1 + RC \cdot s}$$

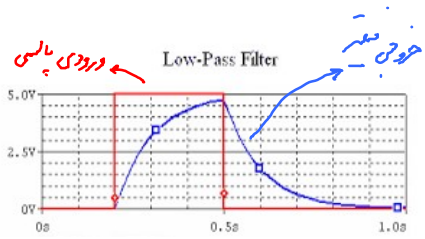
τ

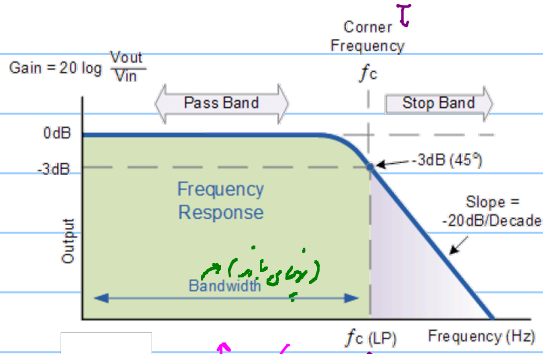
(فعال)



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_F}{Z_S} = -\frac{\frac{R_F}{R_S}}{1 + R_F C_F \cdot s}$$

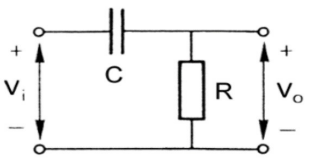
τ





۲) فیلترهای بالا گذر (مرتبه اول)

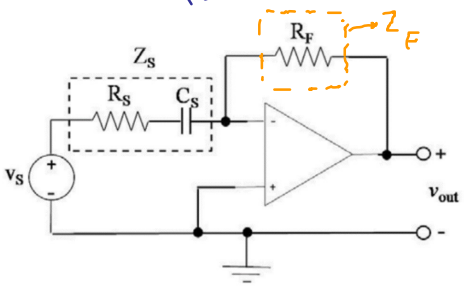
(غیر فعال)



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{RC \cdot s}{1 + RC \cdot s}$$

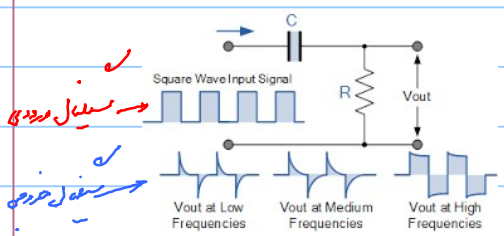
τ

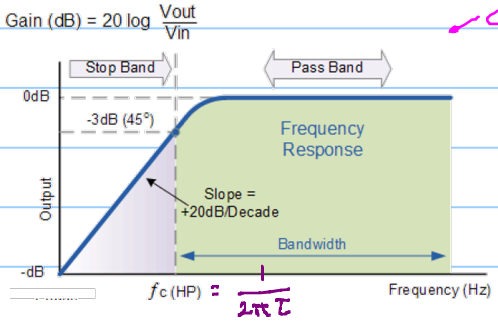
(فعال)



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_F}{Z_S} = \frac{R_F C_S \cdot s}{1 + R_S C_S \cdot s}$$

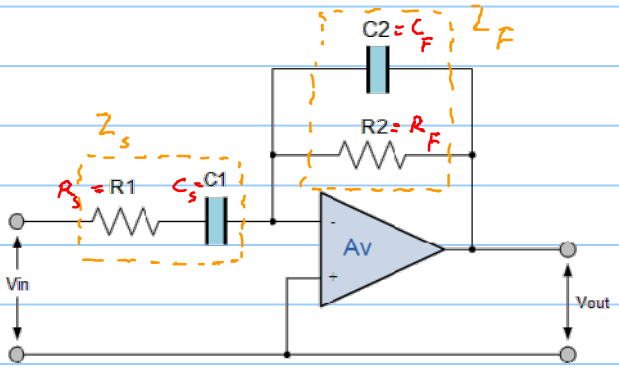
τ



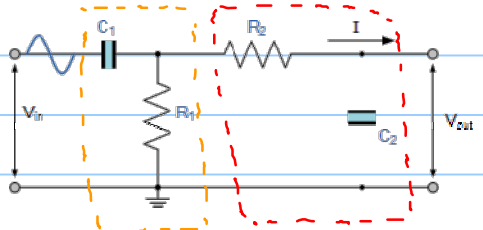


3) فیلترهای Bandpass (مرتبه دوم)

(فعال)



(غیرفعال)

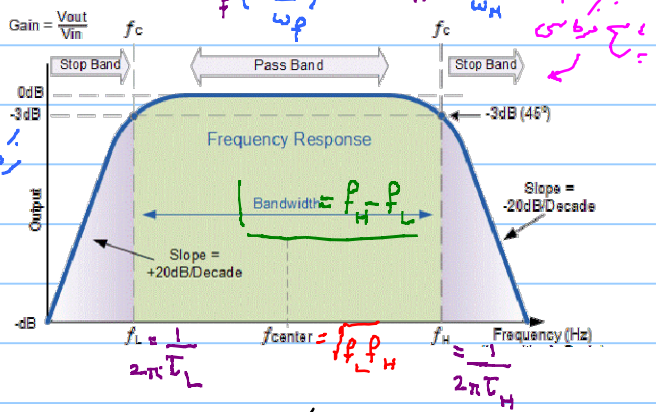


فیلتر بالاگذر — فیلتر پایین‌گذر

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_F}{Z_S} = \frac{C_S R_F s}{(1+R_F C_F s)(1+R_S C_S s)}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{R_1 C_1 s}{(1+R_1 C_1 \cdot s)(1+R_2 C_2 \cdot s)}$$

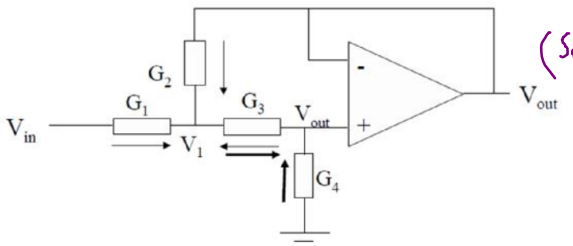
$\tau_L \left(=\frac{1}{\omega_L}\right)$ $\tau_H \left(=\frac{1}{\omega_H}\right)$



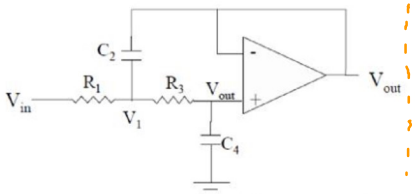
پهنای نوار

فرکانس قطع پایین‌گذر ← $f_L \left(=\frac{1}{2\pi\tau_L}\right) < f_H \left(=\frac{1}{2\pi\tau_H}\right)$ → فرکانس قطع بالاگذر

* طراحی فیلتر فعال مبتنی بر الگوی مدار متعادل (Salken-Key Active Filters):



$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{G_2 G_4}{G_2 G_4 + G_2 G_3 + G_1 G_3 + G_1 G_2}$$ (چرا؟)



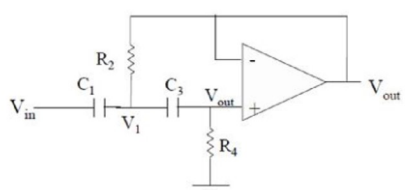
$$G_1 = R_1 \; ; \; G_3 = R_3 \; ; G_2 = \frac{1}{sC_2} \; ; \; G_4 = \frac{1}{sC_4}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{R_1 R_3 C_2 C_4}}{s^2 + \frac{(R_1+R_3)}{R_1 R_3 C_2} s + \frac{1}{R_1 R_3 C_2 C_4}}$$

$2\xi\omega_n$ — ω_n^2

$$with \; R_1 = R_3 = R :$$

$$\omega_n = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{1}{C_2 C_4}} \quad ; \quad \varsigma = \sqrt{\frac{C_4}{C_2}}$$



$$G_1 = \frac{1}{sC_1} \; ; \; G_3 = \frac{1}{sC_3} \; ; \; G_2 = R_2 \; ; \; G_4 = R_4$$

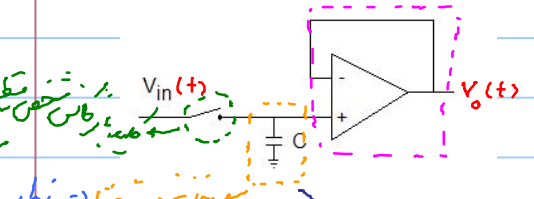
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{(C_1+C_3)}{C_1 C_3 R_4} s + \frac{1}{C_1 C_3 R_2 R_4}}$$

$$with \; C_1 = C_3 = C :$$

$$\omega_n = \frac{1}{C}\sqrt{\frac{1}{R_2 R_4}} \quad ; \quad \varsigma = \sqrt{\frac{R_2}{R_4}}$$

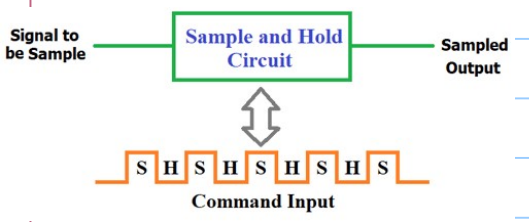
شاید بهتر است سیستم مرتبه 2 حل شود

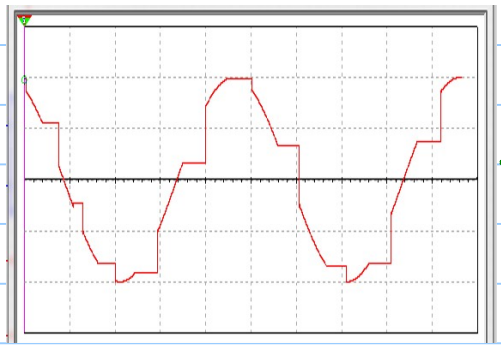
۴) مدار داده برداری و نگهداری اطلاعات (Sample and Hold Circuit (S/H))

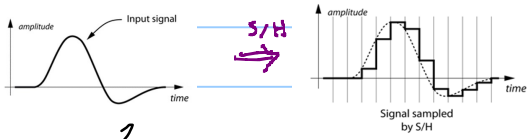


$V_o(t) = V_i(t)$: کلید وصل باشد

V_o (در لحظه قطع) = V_i (در لحظه قطع) : کلید قطع باشد

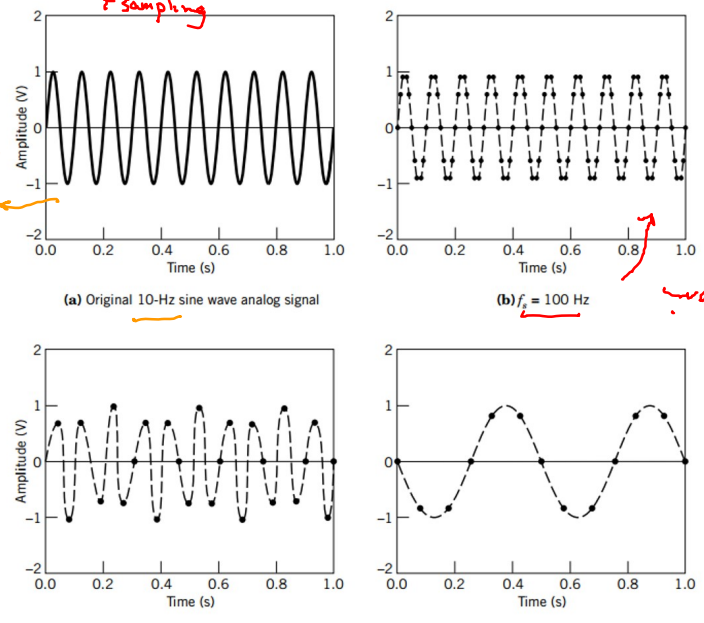






توجه: برای حفظ تمامی اطلاعات موجود در سیگنال خروجی سنسورها، نرخ داده برداری باید حتی از ۲ برابر بزرگترین فرکانس سیگنال مورد بررسی باشد. ($f_{sampling} > 2f_{max}$) ← در غیر این صورت با پدیده فریب فرکانسی (Aliasing) روبرو خواهیم شد.

$\Delta t = \frac{1}{f_{sampling}}$



سیگنال اصلی با فرکانس 10 Hz

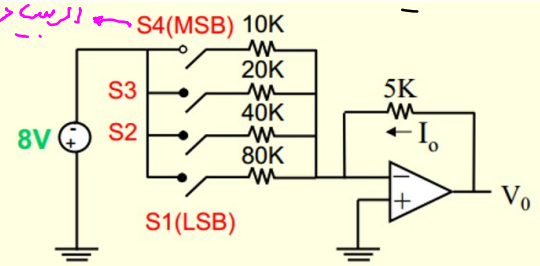
داده برداری مناسب

داده برداری کاملاً نامناسب (فرکانس نمونه گیری کمتر از فرکانس سیگنال اصلی است)

۵) مبدل های آنالوگ به دیجیتال (Analog to Digital Converter (ADC)) و دیجیتال به آنالوگ (DAC)

۵-الف) مبدل های دیجیتال به آنالوگ: با استفاده از مبدل مشکل زیر، می‌توان داده‌های دودویی (Binary) را به ولتاژ آنالوگ (با برد ولتاژ دلخواه) تبدیل کرد.

4 bit Weighted adder D/A converter



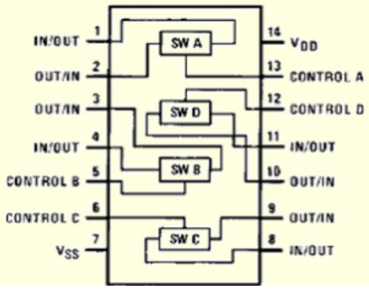
$$V_o = \underbrace{\left(\frac{8}{10}S_4 + \frac{8}{20}S_3 + \frac{8}{40}S_2 + \frac{8}{80}S_1\right)}_{I_o\ (mA)} * 5 = (4S_4 + 2S_3 + 1S_2 + 0.5S_1)$$

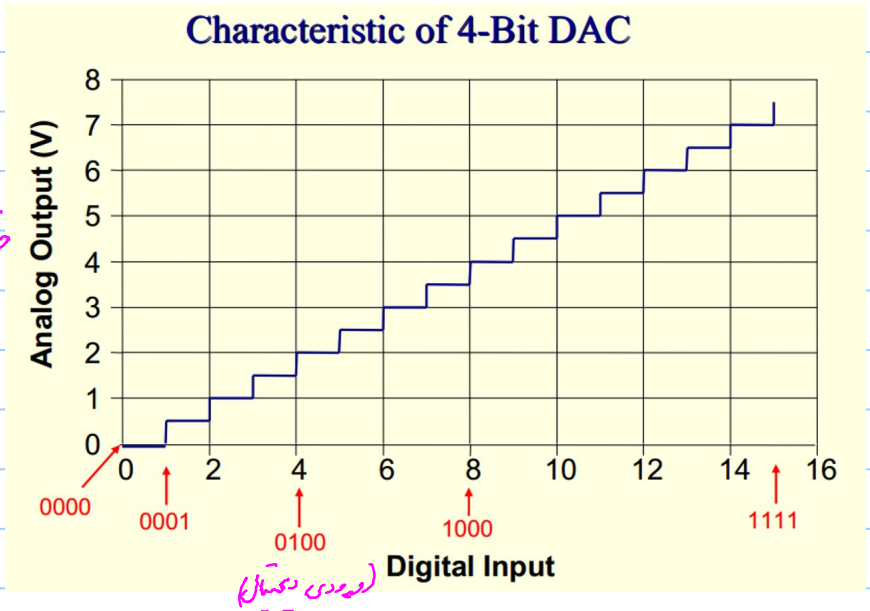
Binary number	Analog output (volts)
0 0 0 0	0
0 0 0 1	.5
0 0 1 0	1
0 0 1 1	1.5
0 1 0 0	2
0 1 0 1	2.5
0 1 1 0	3
0 1 1 1	3.5
1 0 0 0	4
1 0 0 1	4.5
1 0 1 0	5
1 0 1 1	5.5
1 1 0 0	6
1 1 0 1	6.5
1 1 1 0	7
1 1 1 1	7.5

S4(MSB) S1(LSB)

بیت با بیشترین ارزش — بیت با کمترین ارزش

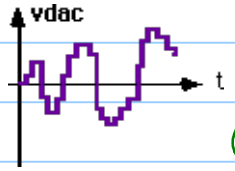
4066 CMOS 4-bit analog switch





خروجی آنالوگ

ورودی دیجیتال

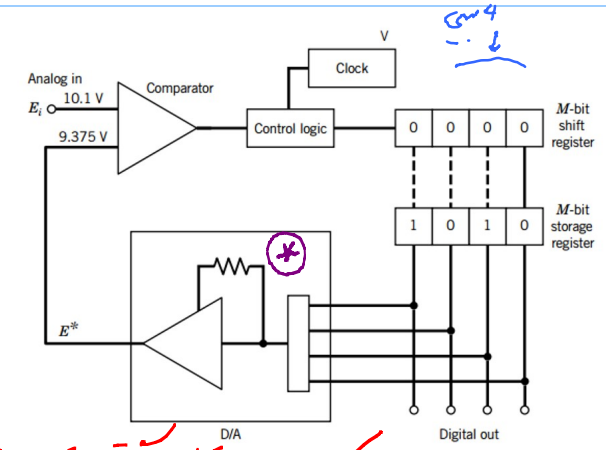


نمونه‌ای از سیگنال خروجی مبدل دیجیتال به آنالوگ

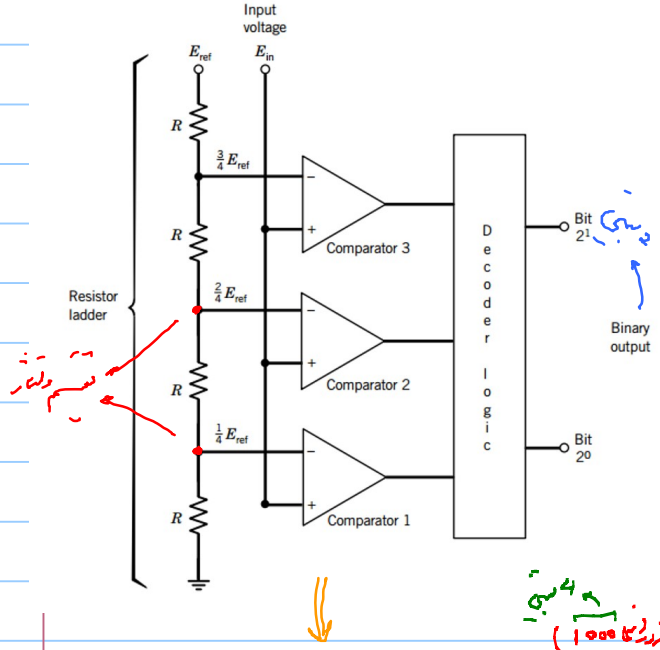
(دقت شود به هوا رفتن و پایین نیامدن سیگنال در قسمت‌های پایین نمودار)

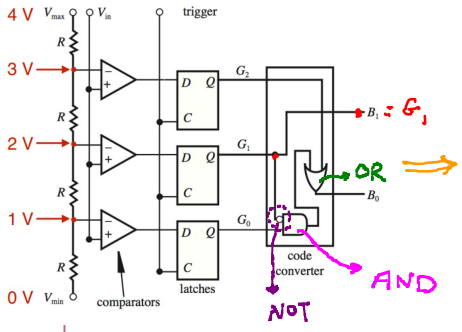
ب) مدل‌های آنالوگ به دیجیتال (ADC)

a) روش تقریب متوالی (Successive)

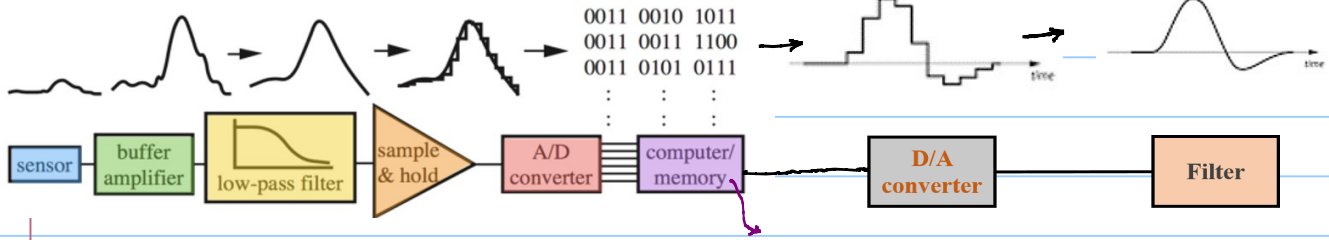


b) روش موازی (Flash یا Parallel)





Vin	G_2	G_1	G_0	B_1	B_0
0-1	0	0	0	0	0
1-2	0	0	1	0	1
2-3	0	1	1	1	0
3-4	1	1	1	1	1



* برخی از بردهای توسعه مانند Arduino UNO نیز قابلیت تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال را دارند. (analogRead =)