اندازه گیری الکترونیکی

(بخش اول)

استاد باغبانی

تهیه و تنظیم :

www.tbi-net.com

Subject:
Year. Month. Date. ( )

اندازه گیری الکترونیکی

استاد: باقبانی

سرفصل ها:

- ساختار کلی سیستم اندازه گیری و اجزای تشکیل دهنده آن
- مشخصه استاتیکی ترانسدیوسرها
- بررسی خطاهای سیستم های اندازه گیری
- بررسی ترانسدیوسرهای دما شامل ترموکوپل ها، ترمیستورها، RTD و IC های دما
- بررسی ترانسدیوسرهای جابجایی، پتانسیومتری، خازنی، القایی، LVDT، RVDT
- بررسی سنسورهای لمسی و کاربرد آن
- بررسی سنسورهای نیرو الکتریک و کاربردهای گوناگون آن
- بررسی ترانسدیوسرهای فشار و نیروی استرین گیج
- بررسی ترانسدیوسرهای رطوبت انواع مقاومتی و خازنی
- بررسی سنسورهای نوری فوتودیودها، فوتوترانزیستورها و فوتوترانزیستورها
- بررسی ترانسدیوسرهای سرعت تاکومتر ac و dc
- تقویت کننده های عملیاتی و ابزار دقیق
- تقویت کننده های ایزوله
- مدل های ولتاژ، جریان و ولتاژ
- مدارهای Span و Zero
- مدل های DAC و ADC
- بررسی مدل های اندازه گیری
- بررسی ساختار اسیلوسکوپ
- نویز و تداخل در سیستم های اندازه گیری
- مقدمه ای بر روش تسکیل و آشنایی با نرم افزار lab view

منبع: اندازه گیری الکترونیکی - دکتر امیرحسین رهبانی

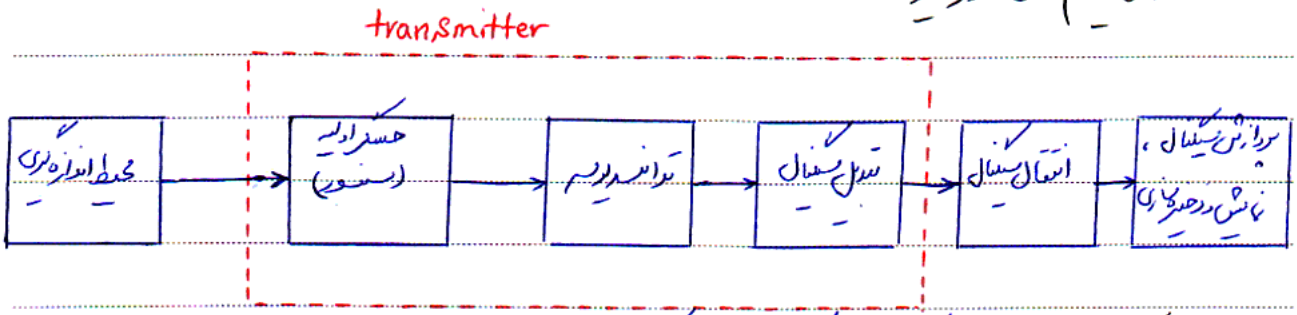
PAPCO

www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )

ساختار کلی سیستم های اندازه گیری:



محیط اندازه گیری: محیطی است که پارامتر فیزیکی قابل اندازه گیری مانند دما، فشار و غیره در آن قرار دارد.

حسگر اولیه (سنسور): قطعه ای است که در اثر این شدت پارامتر فیزیکی از خود عکس العمل نشان می دهد و ما می توانیم در اثر این شدت پارامتر فیزیکی بسنجیم. خروجی آن می تواند انرژی الکتریکی یا دیگر صورت های انرژی باشد.

ترانسدیوسر (transducer): ترانسدیوسر یا مبدل، خروجی سنسور را در اغلب موارد به ولتاژ یا سیگنال الکتریکی می دهد. به عبارت دیگر، ترانسدیوسر انرژی را از صورتی به صورت دیگر تبدیل می کند.

تبدیل سیگنال: در تبدیل سیگنال، خروجی ترانسدیوسر به صورت استاندارد تبدیل می شود. این مبحث شامل تقویت کننده ها، انواع فیلترها، مبدل های آنالوگ به دیجیتال و غیره می باشد. معمولاً خروجی این مبحث به صورت ۰ الی ۵ ولت، ۰ الی ۱۰ ولت، ۴ الی ۲۰ میلی آمپر و ۳ الی ۱۵ PSI است.

Pound force Square inich

↳ در اینجا سیگنال به فشار تبدیل می شود.

* به کل حسگر اولیه، ترانسدیوسر و تبدیل سیگنال را ترانسمیتر می گویند.

www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )

انتقال سیال: در مواردیکه محل برداشت سیال از محیط اندازه گیری دور باشد، جریان سیال را توسط قسمت انتقال سیال به آن محل انتقال می دهیم. انتقال سیال شامل لوله ها و سیستم های عایق بندی شده، فیلترهای لوله و لوله های هوا می تواند باشد.

برداشت سیال، نمایش و ذخیره سازی: با استفاده از این قسمت، سیگنال های اندازه گیری شده مورد برداشت قرار می گیرند و برای استفاده های لازم ذخیره سازی می شوند. همچنین این قسمت شامل نمایش یا اندازه گیری نیز می باشد.

مشخصه های استاتیکی ترانسدیوسرها (مبدل ها):

ترانسدیوسر که در سیستم های اندازه گیری مورد استفاده قرار می گیرند، دارای ۲ مشخصه ی استاتیکی و دینامیکی می باشند که هردو از طرف کارخانه سازنده مشخص می شوند.

در مشخصه استاتیکی، رابطه بین کمیت اندازه گیری ورودی و خروجی در شرایطی که ورودی ثابت یا دارای تغییرات بسیار کندی دارد و ترانسدیوسر در حالت پایدار خود رسیده، بررسی می گردد.

پارامترهایی که در برده مشخصات استاتیکی قرار می گیرند عبارت اند از:

درستی، تکرارپذیری یا دقت، قدرت تفکیک، هیسترزیس و ...

اما در بسیاری از ترانسدیوسرها کمیت های اندازه گیری شونده ای وجود هستند که دارای تغییرات سریع می باشند،

Subject:

Year. Month. Date. ( )

در این موارد باید رابطه‌ی بین ورودی و خروجی را بررسی کنیم. این کار معمولاً به بررسی معادلات دیفرانسیل انجام می‌شود. از جمله پارامترهای این زمینه می‌توان به زمان صعود، زمان نشست و پایداری اشاره کرد.

درستی (صحت): مهمترین مشخصه‌ی استاتیکی است که عبارت است از میزانی برای نشان دادن اختلاف بین خروجی واقعی سامانه و خروجی مورد انتظار. این واژه به صورت‌های مختلف مجهول و درصدی از نسبت خطای خروجی مورد انتظار بیان می‌گردد.

$\delta = A_m - A_t$ = مقدار مورد انتظار − مقدار واقعی

$\delta_r = \frac{\delta}{A_m} \times 100$

δ : مقدار مطلق خطا

δ_r : مقدار نسبی خطا

مثال)

A) $100 \pm 2V \longrightarrow \delta = 2V$, $\delta_r = \frac{2}{100} \times 100 = 2\%$

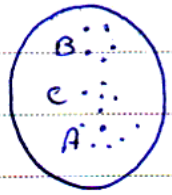
B) $10 \pm 2V \longrightarrow \delta = 2V$, $\delta_r = \frac{2}{10} \times 100 = 20\%$

نکته) مقدار مطلق خطا، صحت اندازه‌گیری را در بیشتر موارد نشان نمی‌دهد و باید از خطای نسبی برای بیان درستی استفاده کنیم. (به مثال توجه شود)

دقت (تکرارپذیری): این پارامتر معیاری برای نشان دادن میزان پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری شده برای ورودی ثابت و معین می‌باشد. گاهی اوقات به جای استفاده از واژه دقت از تکرارپذیری نیز استفاده می‌کنیم. هر دو بیان گفته شده یک مفهوم‌اند.

www.tbi-net.com

مثال) در سل مقابل که سه تیرانداز A و B و C آن را هدف قرار داده‌اند.



دسته‌ی A نسبت به B شیرتر است و دقت B نسبت به A بیشتر است ولی

C دارای درستی و دقت بیشتری نسبت به A و B است.

— برای بیان تکرارپذیری و یا دقت از انحراف استاندارد (انحراف معیار) استفاده می‌کنیم:

$$\text{تکرارپذیری} = \frac{\text{انحراف استاندارد}}{\text{خروجی ماکزیمم}} = \frac{\sqrt{\sum \frac{d^2}{n}}}{\text{خروجی ماکزیمم}}$$

if $n>20 \longrightarrow n=n$

if $n<20 \longrightarrow n=n-1$

← تعداد عدد

$$d = |\bar{x} - x_i|$$

قدرت تفکیک (حساسیت): این پارامتر مشخص کننده‌ی حداقل تغییرات لازم در ورودی جهت یک تغییر قابل مشاهده در خروجی می‌باشد.

سنسور LM35 → قدرت تفکیک $= 10 \frac{mV}{°C}$ → برای هر درجه سانتی گراد خروجی 10mV تغییر می‌کند و اگر کمتر از $1°C$ به آن داده شود، خروجی تغییر نمی‌کند.
حساس به دما

یک نوع سنسور load cell → قدرت تفکیک $= 1 \frac{mV}{N}$ → برای هر نیوتن خروجی 1mV تغییر می‌کند و اگر کمتر از 1N به آن داده شود، خروجی تغییر نمی‌کند.

مبدل آنالوگ به دیجیتال ADC
- 8 bit
- 0 – 5 ولت — محدوده‌ی آنالوگ
- 0 – 255 — محدوده‌ی دیجیتال

ورودی $= 0 \longrightarrow$ خروجی $= 0$

ورودی $= 5V \longrightarrow$ خروجی $= 255$

ورودی $= VA \longrightarrow$ خروجی $= K$

$$\text{قدرت تفکیک} = \frac{5-0}{255-0} = \frac{5V}{255} = 19.6\ mV$$

یعنی برای هر $19.6\ mV$ افزایش در ورودی، خروجی یک واحد افزایش می‌یابد و در صورت افزایش کمتر از $19.6\ mV$ در ورودی، خروجی تغییر نمی‌کند.

P4PCO

$VA = 10mV \longrightarrow K = 0$

$VA = 20mV \longrightarrow K = 1$

www.tbi-net.com

۵

ADC { ۱۰ bit ; ۰ ـ ۵ ولت آنالوگ ; ۰ ـ ۱۰۲۳ دیجیتال }

$$\text{قدرت تفکیک} = \frac{۵-۰\ V}{۱۰۲۳-۰} = ۴,۹\ mV \qquad ۴,۹\times۱۰^{-۳}\ V = ۴,۹\ mV$$

ملاحظه می‌شود که حساسیت (قدرت تفکیک) این مبدل ADC ۱۰ بیتی بیشتر از مبدل ۸ بیتی حالت قبل است و در ازای

افزایش ۴,۹mV در ورودی، خروجی ۱ واحد افزایش می‌یابد.

به طور کلی:

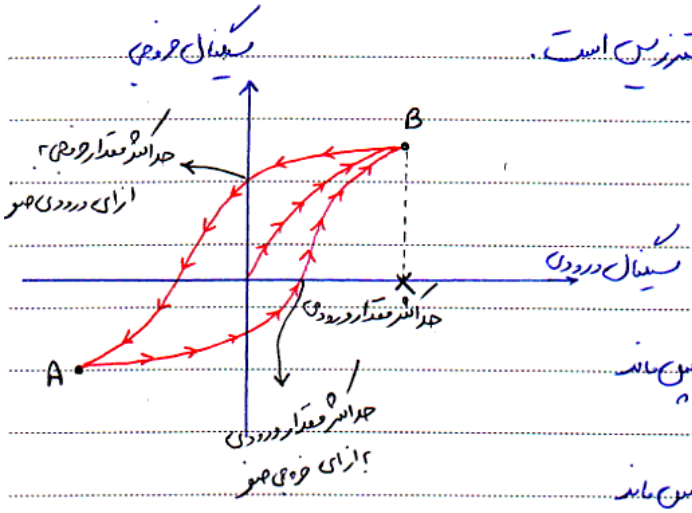
ADC { n bit ; ۰ → V_{ref} ; ۰ → $۲^n-۱$ }

$$\Rightarrow \text{قدرت تفکیک} = \frac{V_{ref}-۰}{۲^n-۱-۰} = \frac{V_{ref}}{۲^n-۱}$$

حساسیت مبدل توسط طراح انتخاب زده داده می‌شود.

پس مانده ناخواسته‌ترین: در صورتیکه مقدار خروجی یک تبدیل‌کننده از ای یک ورودی یکسان، تابعی از چند ورودی باشد.

پس مانده ناخواسته‌ترین است. مبدل دارای پس‌مانده



$$\text{پس‌مانده} = \frac{\text{حداکثر مقدار خروجی ۲ ازای ورودی صفر}}{\text{حداکثر مقدار خروجی}} \times ۱۰۰\ \%$$

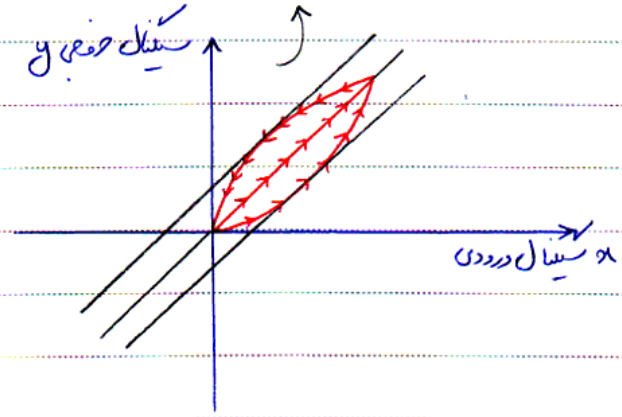
$$\text{پس‌مانده} = \frac{\text{حداکثر مقدار ورودی ۲ ازای خروجی صفر}}{\text{حداکثر مقدار ورودی}} \times ۱۰۰\ \%$$

www.tbi-net.com

Subject:

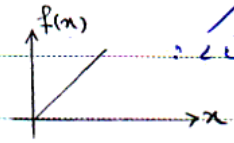
Year. Month. Date. ( )

ورودی	x_0	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n
خروجی	y_0	y_1	y_2	...	y_i	...	y_n



در نمودار هیسترزیس دقایل ملاحظه می‌شود که به ازای هر ورودی، دو خروجی داریم که این دو خروجی را با هم جمع می‌کنیم و بر ۲ تقسیم می‌کنیم تا مدل را خطی کنیم و هیسترزیس را حذف کنیم

که این خط دارای معادله‌ی $y = mx + b$ است که:



$$\begin{cases} m = \dfrac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \\ b = \dfrac{\sum y}{n} - \dfrac{m\sum x}{n} \end{cases}$$

بنابراین دقتی مدل، هیسترزیس (پسماند) داشته باشد باید مدل را با استفاده از تقریب و روابط خطی که ما فقط به دو بالا ملاحظه می‌شود.

ارقام بامعنا در اندازه‌گیری، یکی از نشانه‌های دقت در اندازه‌گیری، ارقام بامعنا می‌باشد که به نحوه‌ی اندازه‌گیری و حسب آن بیان می‌شود. ارقام بامعنا، اطلاعات واقعی درباره‌ی مقدار و دقت اندازه‌گیری کمیت را می‌دهد. هر چه تعداد ارقام بامعنای آن زیاد باشد، دقت اندازه‌گیری بیشتر است.

مثال) تعداد ارقام بامعنا را در هر یک از اعداد زیر مشخص کنید؟

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

۱) ۳۰۱ V ⟶ ۳ رقم بامعنا

۲) ۳۰۱٫۲ ⟶ " " ۵

۳) ۰٫۰۰۰۲۰ Ω ⟶ " " ۵

۴) ۰٫۰۰۰۰۳۰۰ MΩ = ۳۰۱۰ Ω ⟶ ۳ رقم بامعنا

۵) ۵٫۰۱ × 10^4 ⟶ ۳ رقم

توجه) هرگاه عدد به صورت نمادعلمی داده شود، به عنوان رقم بامعنا نیست.

۶) ۵۰۱۰۰ ⟶ ۵ رقم

در تمام محاسبات جمع، تفریق، ضرب و تقسیم باید اصولی را رعایت نمود تا حاصل محاسبات، صحت و دقت لازم را داشته باشد.

مثال) سه مقاومت به ترتیب دارای مقادیر $R_1 = 72,3\ \Omega$ ، $R_2 = 2,73\ \Omega$ ، $R_3 = 0,412\ \Omega$ می باشند

مقدار مقاومت حاصل اتصال سری آن ها را به دست آورید!

$$Req = R_1 + R_2 + R_3 = 72,3 + 2,73 + 0,412 = 75,442$$

ملاحظه می شود، هر کدام از مقاومت ها دارای سه رقم بامعنا هستند اما Req ، حاصل آن ها است، ۵ رقم بامعنا دارد.

در محاسبات اشتباه نرود این مقدار درست را داریم : $75,6\ \Omega$

مثال) ولتاژ و جریان ثبت شده در یک مدار DC را به ترتیب $V = 12,16\ V$ و $I = 1,34\ A$ است مقدار توان را محاسبه کنید!

$$P = VI = (12,16)(1,34) = 16,2944$$

ولتاژ داده شده ۴ رقم بامعنا و جریان داده شده ۳ رقم بامعنا دارد. اما حاصل به درست آمده ۶ رقم بامعنا دارد. در صورتیکه باید تعداد ارقام بامعنای حاصل را هم تعداد ارقام بامعنای کمتر داده شده در صورت مسأله یعنی ۳ رقم بامعنا در نظر بگیریم، پس : $P = 16,2$

www.tbi-net.com

مثال) $R_1 = 24,4$, $R_2 = 25,4 \longrightarrow R_1 + R_2 = ?$

$24,4 + 25,4 = 50 \longrightarrow 50\,\Omega$ $\qquad R_1 + R_2 = 50\,\Omega$

$R_1 = 50$, $R_2 = 25,4 \longrightarrow R_1 + R_2 = ?$

$50 + 25,4 = 75,4 \longrightarrow 75$ $\qquad R_1 + R_2 = 75$

بررسی خطاهای اندازه‌گیری و تحلیل ریاضی آن:

خطای حدی یا خطای تضمین شده: صحت و دقت هر وسیله اندازه‌گیری، مواد و مصالح به کار رفته و مهارتی که در ساخت آن صرف شده، بستگی دارد. هر وسیله دارای درصد خطایی است که از طرف سازنده آن مشخص می‌شود. این مقدار خطا، خطای حدی یا خطای تضمین شده می‌نامند. به عبارتی دیگر، سازندگان وسیله تضمین می‌کنند که خطا از حد تضمین شده، بیشتر نخواهد بود. اگر مقدار نامی (مقدار مورد انتظار) را با A_S و خطای حدی را با δA نشان دهیم، مقدار واقعی آن را با A_a نشان می‌دهیم و داریم:

$$A_a = A_S \pm \delta_A$$

مثال) $R_S = 100\,\Omega$, $\delta_R = 1\,\Omega$

$\Rightarrow \quad 100 - 1 \leq R_a \leq 100 + 1$

$$\text{خطای حدی نسبی} = \frac{\delta A}{A_S} \times 100 = \frac{1}{100} \times 100 = 1\,\%$$

www.tbi-net.com

ترکیب‌هایی برای خطای حدی:

$$\text{خطای حدی} = \frac{\delta A}{A} \times 100$$

وقتی بخواهیم ۲ یا چند کمیت را که هرکدام خطای حدی خاصی دارند باهم ترکیب کنیم، باید جوری محاسبه خطای حدی ترکیب را بدانیم. هر ترکیب در نهایت یک تابع یا رابطه‌ای می‌شود که می‌توان از مشتق گیری یا نموگیری، دقیقا نمو خطای ترکیب را به دست آورد.

۱- ترکیب جمع:

$$y = u + v$$

u و v هرکدام با اندازه‌گیری مستقیم می‌باشند، خطای حدی آن‌ها را به ترتیب δv و δu در نظر می‌گیریم.

رندرایی توان با دقت‌شان داد.

$$\text{خطای حدی } \delta y = \delta u + \delta v$$

$$\text{خطای حدی نسبی} = \frac{\delta y}{y} = \frac{\delta u}{y} + \frac{\delta v}{y} = \frac{u}{y}\cdot\frac{\delta u}{u} + \frac{v}{y}\cdot\frac{\delta v}{v}$$

y خطای حدی $\delta y = \delta y$

y خطای حدی نسبی $\frac{\delta y}{y}$

همیشه افزایش‌پذیر است و ممکن است تفریق شود.

پس: $$\text{خطای حدی نسبی} = \pm\left(\frac{u}{y}\frac{\delta u}{u} + \frac{v}{y}\frac{\delta v}{v}\right)$$

www.tbi-net.com

۲) ترکیب توان:

$$y = u - v$$

$$dy = du - dv \qquad \frac{dy}{y} = \frac{du}{y} - \frac{dv}{y}$$

$$y \text{ حداکثر خطای} = \frac{\delta y}{y} = \pm\left(\frac{u}{y}\frac{\delta u}{u} + \frac{v}{y}\frac{\delta v}{v}\right)$$

توجه)

$$du = \pm \delta u \quad \text{تغییرات } u$$

$$dv = \pm \delta v \quad \text{تغییرات } v$$

حالت بدترین

$$\frac{\delta y}{y} = \pm\frac{u}{y}\frac{\delta u}{u} \pm \frac{v}{y}\frac{\delta v}{v}$$

$$y - \delta y < y < y + \delta y$$

۳) ترکیب ضرب:

$$y = u \cdot v$$

$$\ln \rightarrow \ln y = \ln u + \ln v$$

$$\text{مشتق} \rightarrow \frac{dy}{y} = \frac{du}{u} + \frac{dv}{v}$$

$$y \text{ حداکثر خطای} = \pm\left(\frac{\delta u}{u} + \frac{\delta v}{v}\right)$$

۴) ترکیب تقسیم:

$$y = \frac{u}{v}$$

$$\ln \rightarrow \ln y = \ln u - \ln v \xrightarrow{\text{مشتق}} \frac{dy}{y} = \frac{du}{u} - \frac{dv}{v}$$

PqPCO

www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$\rightarrow \frac{\delta y}{y} = \pm \frac{\delta u}{u} \pm \frac{\delta v}{v}$$

$$\rightarrow \text{خطای حدی نسبی} = \pm \left(\frac{\delta u}{u} + \frac{\delta v}{v} \right)$$

توجه: هر جا بر تک توان برای دقت تقریب شده، حدی برای n نیست هم درست می‌باشد.

۵) تک توان n یک ثابت:

$$y = u^n$$

$$\rightarrow \ln y = n \ln u \rightarrow \frac{\delta y}{y} = n \frac{\delta u}{u}$$

$$\text{خطای حدی نسبی } y = \pm n \frac{\delta u}{u}$$

تعمیم:

$$y = u^n v^m$$

$$\text{خطای حدی نسبی } y = \pm \left(n \frac{\delta u}{u} + m \frac{\delta v}{v} \right)$$

مثال) مقاومت یک مدار با اندازه‌گیری جریان و توان مدار به دست آمده است. اگر خطای حدی در اندازه‌گیری توان و جریان به ترتیب $\pm 1/5\%$ و $\pm 1/0\%$ باشد، خطای حدی نسبی مقاومت اندازه‌گیری شده را به دست آورید.

$$P = R I^2 \rightarrow R = \frac{P}{I^2} \xrightarrow{\ln} \ln R = \ln P - 2 \ln I$$

$$\xrightarrow{\text{مشتق‌گیری}} \frac{\delta R}{R} = \frac{\delta P}{P} - 2 \frac{\delta I}{I}$$

همیشه برای اینکه رابطه‌ای که داریم را ساده‌تر کنیم، $\ln$ می‌گیریم.

PAPCO

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

خطای حدی نسبی R $\frac{\delta R}{R} = \pm\left(\frac{\delta P}{P} + ۲\frac{\delta I}{I}\right) = \pm(۱٫۵ + ۲\times ۱٫۰) = \pm ۳٫۵\,\%$ ← رقم با اهمیت

مثال) مقدار مقاومت مجهول در یک پل وتستون برابر است با $R_x = \frac{R_۲ R_۳}{R_۱}$. مقادیر $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ به صورت زیر باشد. اندازه مقاومت مجهول R_x و خطای حدی آن را به صورت دامنه‌ای محاسبه کنید؟

$\pm\frac{\delta R_x}{R_x}$

$R_x - \delta R_x \le R_x \le R_x + \delta R_x$

$R_۱ = ۱۰۰ \pm \%\,۰٫۵\ \Omega$

$R_۲ = ۱۰۰۰ \pm \%\,۰٫۵\ \Omega$

$R_۳ = ۸۴۲ \pm \%\,۰٫۵\ \Omega$

مقدار نامی R_x : $R_x = \frac{۱۰۰۰ \times ۸۴۲}{۱۰۰} = ۸۴۲۰\ \Omega$

$\frac{\delta R_x}{R_x} = \pm(۰.۵ + ۰.۵ + ۰.۵) = \pm \%\,۱٫۵$ ←

چون در رابطه R_x ضرب و تقسیم است ←

$$۸۴۲۰ - \frac{۱٫۵}{۱۰۰}\times ۸۴۲۰ \le R_x \le ۸۴۲۰ + \frac{۱٫۵}{۱۰۰}\times ۸۴۲۰$$

در محاسبه‌ی خطای نسبی تمامی خطاها با هم جمع می‌شوند.

توضیح : اگر خطای کمیتی معلوم باشد ، اثر این خطا را هنگام ترکیب با خطاهای دیگر می‌توان با روش مشابه روش بالا حساب کرد.

خطاهای حدی منظور کرد . با این تفاوت که در مورد خطاهای معلوم ، علامت خطاهای نسبی معلوم است و باید در محاسبات حفظ شود. مقدار نامی و اندازه

مثال) مقدار نامی یک مقاومت ۳۲۰۰ Ω جریانی که از آن ۴۴mA است.

الف) افت توان را در مقاومت محاسبه کنید؟

ب) اگر مقاومت (۳۲۰۰ Ω) ۰.۲ % بیش از مقدار مشخص شده باشد و آمپرسنج ۰.۷۵ % بیش از جریان مورد انتظار را خوانده باشد خطای معلوم را در دست الف در دست آورید؟

PAPCO

www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$P = I^2 R = (۶۴ \times ۱۰^{-۳})^2 \times ۳۲۰۰ = ۱۳٫۱۰۷۲$ مقدار اسمی

$P = I^2 R \longrightarrow \frac{\delta P}{P} = \pm ۲ \frac{\delta I}{I} \pm \frac{\delta R}{R}$

$\longrightarrow \frac{\delta P}{P} = -۲ \frac{\delta I}{I} - \frac{\delta R}{R} = -۲ \times ٪۷۵ - ٪۲ = -۱٫۷ \%$

مقدار واقعی توان = مقدار اسمی ⊕ خطا $= ۱۳۱۰۷۲ + ۱۳۱۰۷۲ \times \frac{\oplus ۱٫۷}{۱۰۰}$

$= (۶۴ \times ۱۰^{-۳})^2 \times ۳۲۰۰ \left(۱ + \frac{۱٫۷}{۱۰۰}\right)$

تمرین) سه مقاومت $R_1 = ۱۰۰\ \Omega$ ، $R_2 = ۲۲۰\ \Omega$ و $R_3 = ۳۳۰\ \Omega$ به صورت موازی به هم متصل شده اند.

خطای حدی نسبی مقاومت ها به ترتیب

$\frac{\delta R_1}{R_1} = + ٪۲$

$\frac{\delta R_2}{R_2} = - ٪۳$

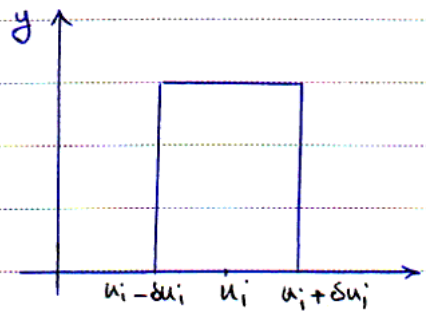
$\frac{\delta R_3}{R_3} = - ٪۲٫۵$

الف) مقدار مقاومت را با صرف نظر از خطا محاسبه کنید.

ب) مقاومت برآیند را با در نظر گرفتن خطاهای نسبی به دست آورید.

www.tbi-net.com

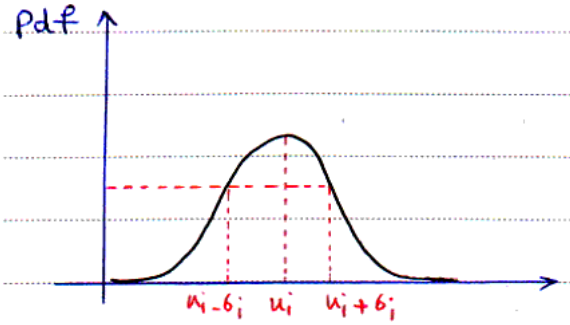
خطای انحراف معیار:



$y = u_i$

تابعی از محدوده‌ی خطای هریک از پارامترهای u و v در نظر گرفته شد، دارای توزیع یکنواخت بودند. بدان معنی که احتمال قرارگرفتن u_i مابین $u_i \pm \delta u_i$ باهم برابر می‌باشد. به عبارت دیگر همه‌ی مقادیر مابین $u_i + \delta u_i$ و $u_i - \delta u_i$ باهم برابرند. در صورتیکه محدوده‌ی خطای متغیرهای مورد نظر دارای توزیع نرمال باشد و منظور از δu_1، δu_2 و δu_3 و ... و δu_n انحراف استاندارد یا انحراف معیار باشد. یعنی $\delta_i = \delta u_i$

در این صورت می‌توان نشان داد که محدوده‌ی خطای محاسبه شده برای تابع n نیز دارای توزیع نرمال بوده و مقدار آن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:



δ_i انحراف معیار

انحراف معیار $\delta_f = \sqrt{\left(\delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1}\right)^2 + \left(\delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2}\right)^2 + \dots + \left(\delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right)^2}$

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

محاسبه‌ی انحراف معیار برای ترکیب‌های مختلف :

۱) ترکیب جمع :

$u_1 : \delta u_1$

$u_2 : \delta u_2$

$f = u_1 + u_2$

$\frac{\partial f}{\partial u_1} = 1$

$\frac{\partial f}{\partial u_2} = 1$

$\longrightarrow$ انحراف معیار $\delta f = \sqrt{\delta u_1^2 + \delta u_2^2}$

$\frac{\delta f}{f}$ = انحراف معیار نسبی تابع f

۲) ترکیب ضرب :

$f = u_1 . u_2$

$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial u_1} = u_2 \\ \frac{\partial f}{\partial u_2} = u_1 \end{cases} \longrightarrow \delta f = \sqrt{(\delta u_1 . u_2)^2 + (\delta u_2 . u_1)^2}$

از $u_1^2 u_2^2$ فاکتور می‌گیریم.

$\longrightarrow \delta f = u_1 u_2 \sqrt{(\frac{\delta u_1}{u_1})^2 + (\frac{\partial u_2}{u_2})^2}$

$f = u_1 u_2$ $\frac{\delta f}{f}$ = انحراف معیار نسبی تابع f

$\frac{\delta f}{u_1 u_2} = \sqrt{(\frac{\delta u_1}{u_1})^2 + (\frac{\delta u_2}{u_2})^2}$

www.tbi-net.com

تمرین) خطای انحراف از معیار سری مرتب زیر را به دست آورید؟

$\frac{\delta f}{f}$

الف) $f = \frac{u_1}{u_2}$

ب) $f = u^n$

ج) $f = \frac{u^a v^b}{w^c}$

تمرین) مقادیر دو مقاومت R_1 و R_2 با محدوده خطای مربوط به انحراف معیار را بیابید

می‌بایست مطلوب است ، خطای انحراف معیار ترکیب سری دو باتری آن‌ها؟

$R_1 = 200 \pm 3\Omega$

$R_2 = 300 \pm 4\Omega$

حل:

مثال) یک خازن با ظرفیت $C = 10 \pm \%1 \mu F$ توسط یک منبع ولتاژ با ولتاژ $V_S = 20 \pm 1V$ شارژ می‌گردد. بار روی آن چقدر است؟ خطای نوعی از نوع خطای انحراف معیار باشد، بار روی خازن و محدوده خطای انحراف معیار سری آن را به دست آورید؟

$Q = CV \qquad Q = 10 \times 10^{-6} \times 20 = 200 \mu C$

$\frac{\delta Q}{Q} = \sqrt{(\frac{\delta C}{C})^2 + (\frac{\delta V}{V})^2}$

خطای انحراف معیار سری $\frac{\delta Q}{Q} = \sqrt{(\%1)^2 + (\%5)^2} = \%5.1$

$Q = 200 (1 \pm \%5.1) \qquad Q = 200 \pm 200 \times \%5.1$

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

انواع خطاها در اندازه گیری :

اندازه گیری با صحت کامل ممکن نیست ولی می توان با معلوم بودن مقدار واقعی صحت و چگونگی ورود خطاهای مختلف در اندازه گیری مهم است. مطالعه ی خطاها اولین قدم در راه کاهش آن ها است. خطاها منابع گوناگونی دارند ولی معمولاً عبارتند از :

۱) خطاهای ناشی ۲) خطاهای سیستمی { خطاهای ابزار، خطاهای محیطی، خطاهای مشاهده } ۳) خطاهای تصادفی

خطاهای ناشی :

این طبقه از خطاها عمدتاً شامل خطاهای انسانی ناشی از قرائت ابزار های اندازه گیری، ثبت و محاسبه ی نتایج اندازه گیری است. به عبارت دیگر این نوع خطاها ناشی از بی دقتی افراد در استفاده ابزار اندازه گیری می باشد. با حسن نیت، تحلیل و بالا بردن آگاهی افراد این خطاها قابل کنترل است. البته با گذشت زمان و دقت زیاد در کار با ابزار اندازه گیری، قرائت و ثبت داده ها می توان از این خطاها اجتناب کرد.

انواع ترانسدیوسرهای دما:

۱) ترموکوپل: برخط، ۲۳۰۰°C → ۲۰۰°C−، ۵ تا، غیرخطی
تکرارپذیری و درستی بالا، خطی
نیاز به اتصال سرد، غیرخطی
دامنه اندازه‌گیری کوچک، خطی

۲) RTD: برخط، ۶۰۰°C → ۲۰۰°C−، ۵ تا
خطی
نیاز به تحریک توسط منبع خارجی
سیم‌های گران‌قیمت
تکرارپذیری و درستی بالا

۳) ترمیستور: برخط، ۱۰۰°C → ۰، ۵ تا
غیرخطی
نیاز به تحریک خارجی
حساسیت بالا
دقت زیاد

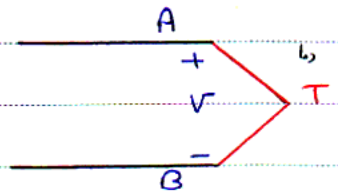
۴) مدارهای مجتمع IC: برخط، ۲۰۰°C → ۵۰°C−، ۴ تا
خطی
درستی بالا
نیاز به منبع تحریک خارجی

Subject:

Year. Month. Date. ( )

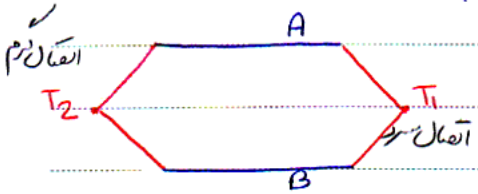
۱) ترموکوپل:

ترموکوپل، ترانسدیوسر حرارتی ساده ای است که از اتصال دو فلز غیرهم جنس به وجود می آید. اگر دو فلز مختلف A و B به یکدیگر متصل شوند، در محل اتصال آن ها یک پتانسیل الکتریکی به وجود می آید به آن پتانسیل تماسی یا ولتاژ ترموالکتریک می گویند. میزان ولتاژ ترموالکتریک تابعی از جنس دو فلز A و B و دمای محل اتصال دارد.



$$V = \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \alpha_4 T^4 + \dots + \alpha_n T^n$$

معمولاً ترموکوپل یک مدار بسته متشکل از دو محل اتصال با دماهای T_1 و T_2 می باشد.



$$V_{T_1T_2} = V_{T_2} - V_{T_1} = \alpha_1 (T_2 - T_1) + \alpha_2 (T_2^2 - T_1^2) + \dots + \alpha_n (T_2^n - T_1^n)$$

اگر یک ولت متر با اعداد داخل خیلی بالا در مدار داخلی ترموکوپل قرار گیرد به طوری که بتوان از جریان حلقه صرف نظر نمود، در این صورت ولتاژ اندازه گیری شده توسط ولت متر برابر اختلاف پتانسیل بین دو نقاط اتصال خواهد بود. بنابراین ولتاژ بین دو نقطه اتصال به تفاضل دماهای T_1 و T_2 بستگی دارد. بدیهی است جهت جریان و مقدار دقیق T_2 از روی ولتاژ ترموالکتریک، مقدار دمای اتصال T_1 می بایست معلوم باشد. لزوماً T_2 از T_1 نزدیک تر است بلکه ممکن است کوچک تر هم باشد

PdPCO

اندازه گیری T_1 راحت تر از T_2 است.

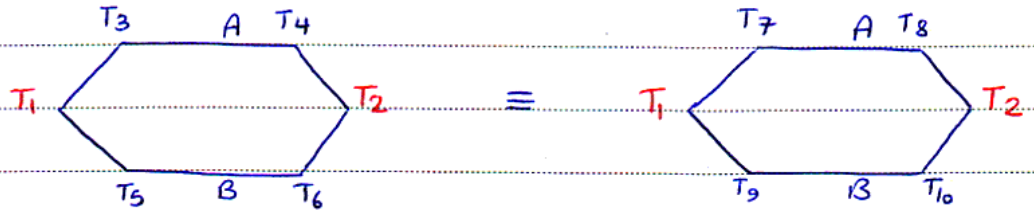
www.tbi-net.com

Subject :

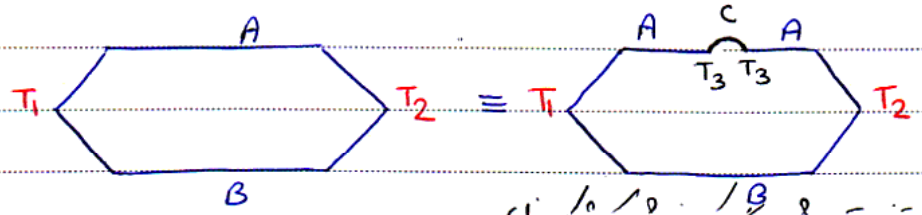
Year . Month . Date . ( )

قوانین حاکم بر تریوولیان ها :

۱) ولتاژ ترونین مستقل از دهانه سیم‌کی رابط بوده و منوط به دهانه محل اتصالات سطحی دارد.

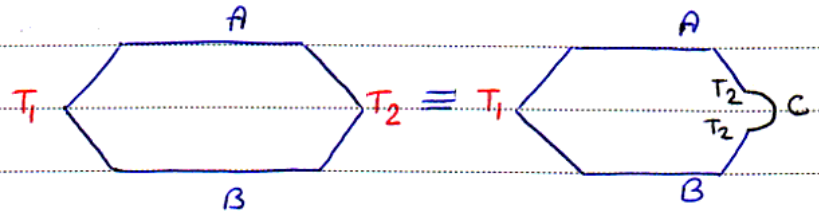


۲) درصورتیکه مقاومتی مثل C بر روی A یا B اضافه شود برای محاسبه ولتاژ اتصالات جدید دارای دهانه یکسان باشند ولتاژ ترونین تغییر نخواهد کرد.

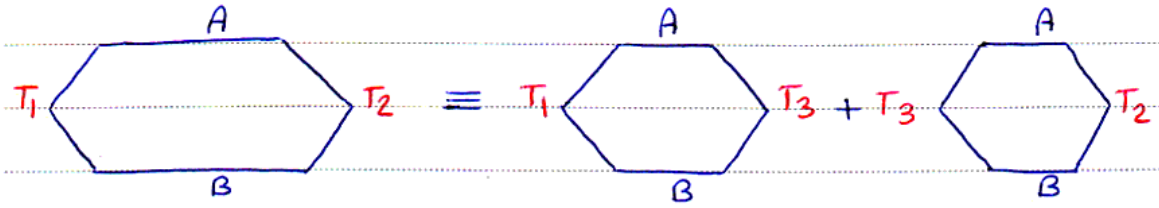


همین مقاومت می‌تواند با A یکسان یا متفاوت باشد، اگر یکسان باشد سطحی نداریم.

۳) اگر مقاومتی مثل C بین A و B در محل اتصال قرار گیرد، درصورتیکه اتصالات Ac و CB دارای دهانه یکسانی باشد باز هم ولتاژ ترونین تغییر نخواهد کرد.



۴) این قانون برای دهانه‌های مختلف صادق است و به صورت زیر می‌باشد :



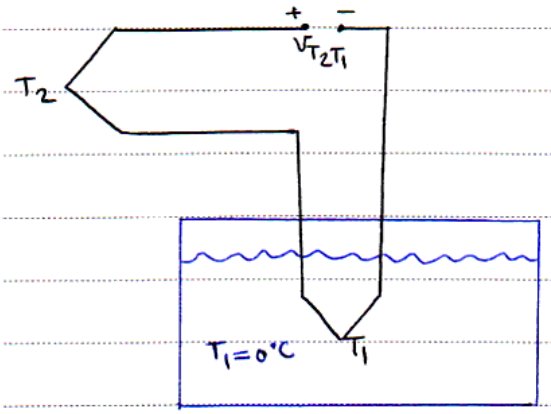
$V_{T_1T_2} = V_{T_1T_3} + V_{T_3T_2}$ اتصال سری این دو ترموکوپل برابر با دمای ترموکوپل اول است.

جبران سازی اتصال سرد در ترموکوپل ها: هدف اندازه گیری دمای اتصال گرم (T_2) می باشد.

در ترموکوپل همیشه اختلاف دمای اتصال گرم نسبت به اتصال سرد سنجیده می شود. بنابراین دمای به دست آمده برای اتصال گرم، دمای نسبی می باشد و بنابراین برای تعیین دمای مطلق اتصال گرم باید دمای اتصال سرد را جمع یا تعیین کنیم.

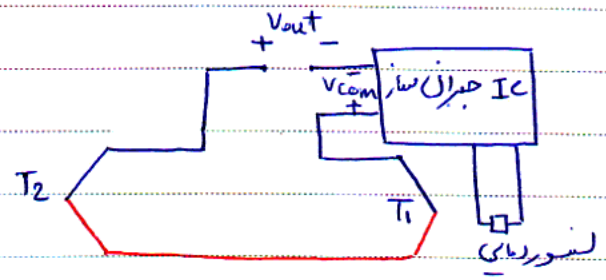
برای این کار روش های مختلفی وجود دارد که عبارت اند از:

۱) اتصال سرد را در یک محیط ثابت شده دما قرار دهیم. به همین منظور می توان اتصال سرد را در یک محیط صفر درجه قرار داد.



$V_{T_2T_1} = \alpha_1 T_2 + \alpha_2 T_2^2 + \alpha_3 T_2^3 + \cdots + \alpha_n T_2^n$

استفاده از سنسورهای حیران ساز :

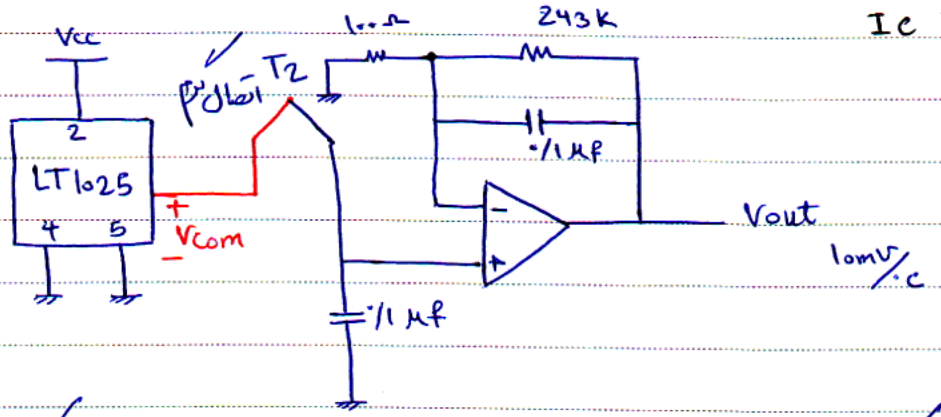


$V_{out} = V_{T_2 T_1} + V_{com}$

if $V_{com} = V_{T_1}$ $\quad V_{out} = V_{T_2} - V_{T_1} + V_{com} = V_{T_2} = \alpha_1 T_2 + \alpha_2 T_2^2 + \dots + \alpha_n T_2^n$

α ضرایب ثابت

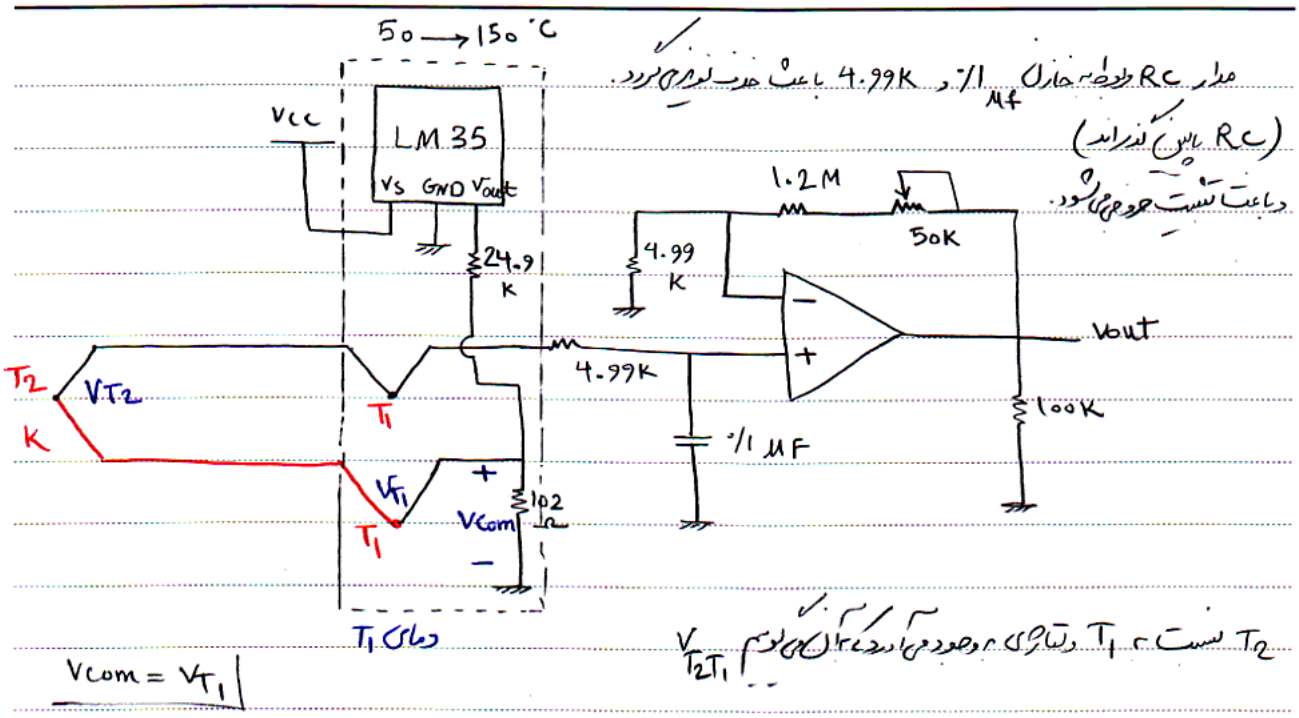
مثال) IC LT1025



مثال) می خواهیم با استفاده از ترموکوپل نوع K با حساسیت 42 MV/°C و همچنین سنسورهای LM35 به عنوان IC حیران ساز استفاده می شود دمای مطلق T_2 را اندازه گیری کنیم. حساسیت LM35 ، 10mV/°C است.

برای این کار می توانیم از مدار شکل زیر استفاده کنیم :

www.tbi-net.com



مدار RC ولتاژ خازن 0/1 MF و 4.99K باعث حذف نویز می‌شود.

(RC پایین گذر است)

و باعث تثبیت خروجی می‌شود.

$V_{T_2T_1}$ تست T_2 و T_1 دیتاشیت وجود می‌آورد که آن را لحاظ می‌کنیم

$V_{com} = V_{T_1}$

$$V_{com} = \frac{102}{102 + 24900} \times 10\,mV/^\circ C \longrightarrow V_{T_1}$$

یعنی حساسیت سنسور با حساسیت مدار کنترل کم می‌شود

$$\simeq 42\ MV/^\circ C$$

مقاومت‌های 50K ، 1.2M ، 4.99K :

$V_{th} = V_{T_2}$

برای تقویت خروجی مدار از یک ولتاژ دو باعث می‌شود خروجی $10\,mV/^\circ C$ شود

کل تست مستقیل به مثل حذف می‌شود و حال آن

یک منبع V_{th} می‌گذاریم

100K برای اندازه‌گیری مقاومت‌ها است.

اولین) هرگاه درجه‌ی دمای اتصال گرم $T_2 = 300^\circ C$ باشد و اتصال سرد $T_1 = 25^\circ C$ باشد، خروجی V_{out}

سنسور دیود یا ترمیستور $25\,K\Omega$ تنظیم شده است.

تقویت‌کننده‌ی non-Inverting است.

www.tbi-net.com

انواع ترموکوپل ها:

با انتخاب مواد مختلف می توان ترموکوپل های متنوعی از نظر تحمل درجه حرارت و حساسیت سیگنال ولتاژ تولیدی آن تولید کرد که بعضی از آن ها عبارت اند از:

۱) نوع K : دارای مواد Cr_Al حساسیت 42 MV/°C $-200 \rightarrow 1300$ °C

۲) نوع B : pt 6% _Rh , pt 60% _Rh 7.7 MV/°C $40 \rightarrow 1800$ °C
(از اتصال دو سیم پلاتین و رادیم ۶٪)

۳) نوع C : Tu 5% _Rh , Tu 26% _Rh 16 MV/°C $0 \rightarrow 2300$
تنگستن

۴) نوع E : Cr_Constantan 76 MV/°C $0 \rightarrow 1000$ °C

۵) نوع T: Cu_Constantan 45 MV/°C $-200 \rightarrow 400$ °C

۶) نوع J : Fe_Constantan 55 MV/°C $0 \rightarrow 800$ °C

ارتباط ولتاژ و دما در ترموکوپل ها:

۱) رابطه ی سری توانی:
$T = f(V)$ _۱
$V = f(T)$ _۲

۲) روش تقریب خطی

در سایه سار اندیشه ، بی هیچ چشم داشت زمینی

عهد بسته ایم آسمانی شویم .

در این محفل علمی با ما همراه باشید ./

زمان : همین حالا تا همیشه

مکان : تارنمای برق ایران ؛ www.tbi-net.com

رسیده ایم پر از رنج راه تا دریا

خوشا یکی شدن رودها خوشا دریا

نه ما نه من نه تو ، او نقطه سرانجام است

بیا که بی من و تو ما شویم و ما دریا

من و تو چشمه باران ابر او بودیم

از ابتدا دریا بود و انتها دریا

اندازه گیری الکترونیکی

(بخش دوم)

استاد باغبانی

تهیه و تنظیم :

www.tbi-net.com

$T = \alpha_0 + \alpha_1 V_1 + \alpha_2 V_1^2 + \alpha_3 V_1^3 + \dots + \alpha_n V_1^n$ ← $T = f(V)$ ـ۱

(مثال) $T_K = 2.05\times10^{-2}\, V + 1.84\times10^{-8}\, V^2 - 2.05\times10^{-10}\, V^3 + 8.31\times10^{-14}\, V^4 - 1.22\times10^{-17}\, V^5$

$V = \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots + \alpha_n T^n$ ← $V = f(T)$ ـ۲

دراین معادله ضرایب اول اهمیت دارند.

(مثال) $V_J = 50.38\,T + 3.04\times10^{-2}\, T^2 - 8.57\times10^{-5}\, T^3 + 1.32\times10^{-7}\, T^4 - 1.71\times10^{-10}\, T^5$

۲) روش تقریب خطی: دراین روش با توجه به اینکه ضریب اول سری توان بالا می‌باشد این ضریب همان حساسیت ترموکوپل می‌باشد. $V = \alpha T$

مثال) در یک اندازه‌گیری با ترموکوپل نوع J دما اندازه‌گیری شده $3.992\ mV$ شده است. با هر روش مقدار دما را بدست آورید:

روش ۱ (جایگذاری):

$$T_J = 1.98\times10^{-2}\, V - 2.0\times10^{-7}\, V^2 + 1.04\times10^{-11}\, V^3 - 2.55\times10^{-16}\, V^4 + 3.59\times10^{-21}\, V^5$$

$$V_J = 50.38\,T + 3.04\times10^{-2}\, T^2 - 8.57\times10^{-5}\, T^3 + 1.32\times10^{-7}\, T^4 - 1.71\times10^{-10}\, T^5$$

حل معادله درجه ۵ با استفاده از روش‌های محاسبات عددی (گوس سایدل، نیوتن رافسون و ...)

www.tbi-net.com

ترانسدیوسرهای دمایی RTD :

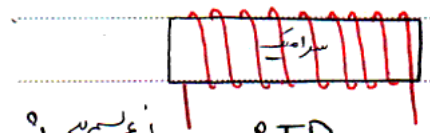
RTD ها ترانسدیوسرهای دمایی هستند که از فلزاتی مانند پلاتین، نیکل و مس ساخته می‌شوند. مقاومت الکتریکی این فلزات در رنج دمایی 600°C ← 200- با افزایش دما به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. این ویژه اساس کار RTD ها می‌باشد. رابطه‌ی مقاومت و دما در RTD ها به صورت زیر است:

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

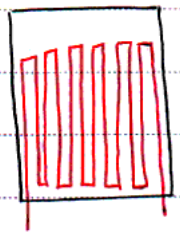
α ضریب حرارتی و بسته به جنس RTD دارد.

انواع RTD :
۱) نوع سیم پیچ شده
۲) نوع فیلم نازک

نوع سیم پیچ شده: از پیچیدن یک رشته‌ی بسیار ظریف از سیم پلاتین به دور یک ماده‌ی غیرهادی مانند سرامیک حاصل می‌شود.



نوع سیم پیچ شده


نوع فیلم نازک

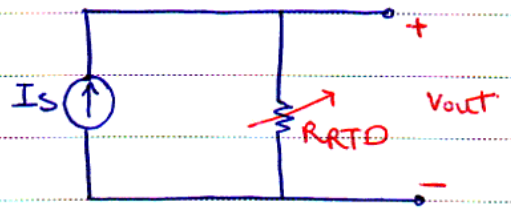
سطح تماس فیلم نازک بیشتر است پس سرعت پاسخ دهی‌اش بیشتر است یعنی به ازای تغییرات اندک دما خروجی بیشتر تغییر می‌کند.

در نوع فیلم نازک: با نشاندن یک لایه پلاتین به شکل مقاومت روی یک زیرلایه‌ی سرامیکی ساخته می‌شود. این فیلم نازک، برداشته می‌شود تا مقاومت مورد نیاز حاصل شود. پس چون ابعاد مقاومت در برابر رطوبت، این فیلم بیشتر

با داده‌ای برنامه اپولیس پردازنده می‌شود. از فرایای مقدم نازک سرعت پاسخ دهی آن نسبت به نوع سیم پیچی شده است.

مدارهای کاربردی ساده با RTD ها:

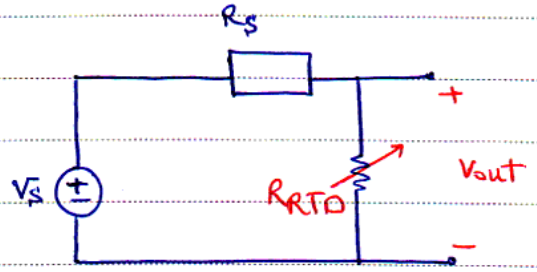
- مدار با منبع جریان ثابت:



$$R_{RTD} = \frac{V_{out}}{I_S} = R_0(1+\alpha T)$$

$$T = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{V_{out}}{R_0 I_S} - 1\right)$$

- مدار با منبع ولتاژ ثابت:

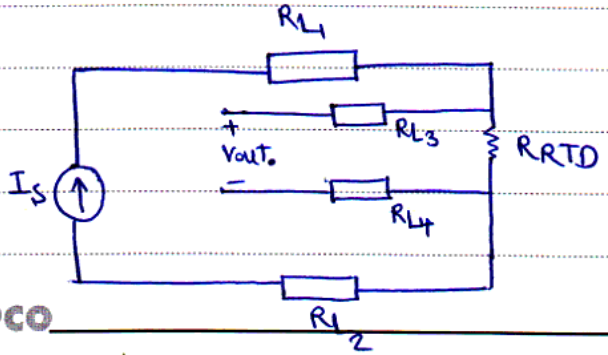


$$V_{out} = \frac{R_{RTD}}{R_{RTD}+R_S} \times V_S$$

$$R_{RTD} V_{out} + R_S V_{out} = R_{RTD} V_S \longrightarrow R_{RTD} = \frac{R_S V_{out}}{V_S - V_{out}}$$

$$\longrightarrow T = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{1}{R_0}\frac{R_S V_{out}}{(V_S - V_{out})} - 1\right)$$

اندازه‌گیری با RTD چهار سیمه:



مقاومت‌های سیم‌ها R_{L4} تا R_{L1}

PdPCO

www.tbi-net.com

$R_{RTO} = \frac{V_{out}}{I_s}$ گاهی محل اندازه‌گیری از مقاومت سیم RTD فاصله داشته باشد

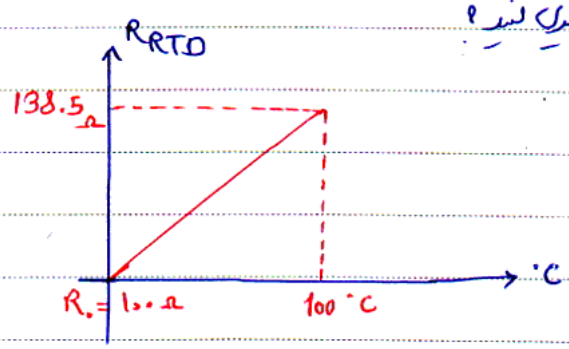
(بیش از ۵ متر) در این صورت لازم است از مدار چهارسیمه استفاده کنیم. در این روش یک جفت سیم از دو سر RTD

انشعاب گرفته و توسط دقت متر ولتاژ دو سر RTD اندازه‌گیری می‌شود. از آنجائیکه دقت متر دارای مقاومت داخلی

نزدیک می‌باشد، جریان عبوری از آن بسیار ناچیز است در نتیجه ولتاژ اندازه‌گیری شده همان ولتاژ دو سر RTD می‌باشد.

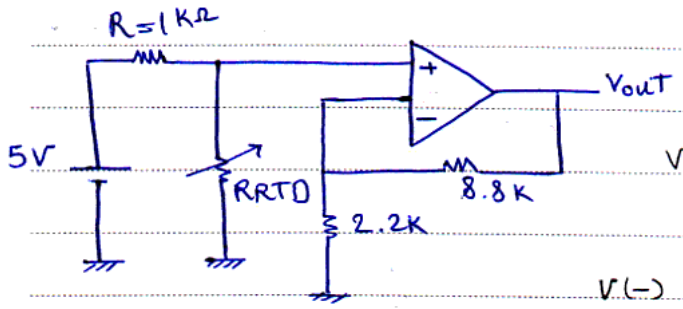
این کار باعث می‌شود، اثر مقاومت های سیم های متصل به RTD و منبع جریان حذف گردد.

تمرین) با توجه به مدار شکل زیر، ولتاژ خروجی Vout را اندازه‌گیری کنید؟



$R_{RTD} = R_0 (1 + \alpha T)$

$\alpha = \%0.385$



$V_{out} = \frac{8.8}{8.8+2.2} \times V(-)$

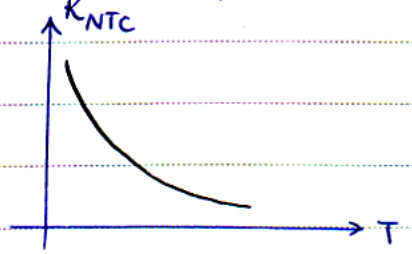
$V(-) = V(+) = \frac{R_{RTD}}{R_{RTD}+1K} \times 5V$

$R_{RTD} = ?$

ترانسدیوسرهای دما نوع ترمیستور : NTC / pTC

ترمیستورها، مقاومت‌هایی هستند که (زنیم‌هادی) ساخته می‌شوند. در هنگام قرارگرفتن در معرض تغییر دمای پیرامون خود، مقاومت آن‌ها تغییر زیادی می‌کند.

۱- نوع NTC : ترمیستورهایی هستند که با افزایش دما، مقاومت آن‌ها به صورت نمایی کم می‌شود.



(برای ساخت NTC از کبالت، منیزیم، نیکل استفاده می‌شود)

$$R_{NTC} = K e^{\frac{\beta}{T}}$$

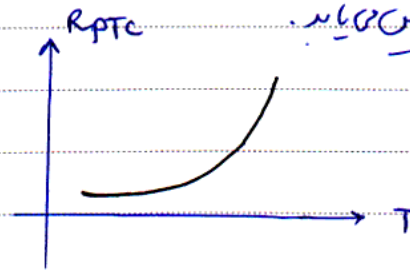
K و β ضرایب ثابت می‌باشند.

اگر مقاومت ترمیستور را در دمای T_0 برابر R_0 بدانیم داریم :

$$\frac{R_T}{R_0} = \frac{K e^{\frac{\beta}{T}}}{K e^{\frac{\beta}{T_0}}} \rightarrow R_T = R_0 e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

۲- نوع pTC: (positive temperatur coeficiente) (مثبت‌ها بازم راست‌اند)

ترمیستورهایی هستند که مقاومت آن با افزایش دما به صورت نمایی افزایش می‌یابد.



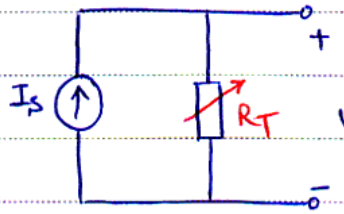
$$R_T = R_0 e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

به طور کلی حساسیت بسیار زیاد ترمیستورها، اندازه‌گیری تغییرات بسیار کوچک دما را مقدور می‌سازند.

www.tbi-net.com

مدارهای ساده برای ترمیستور :

۱) مدار با منبع جریان ثابت :

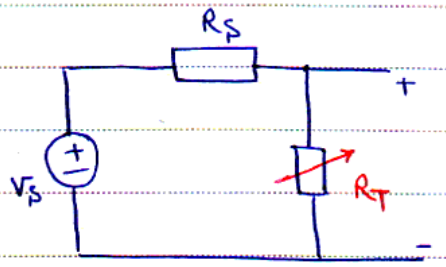


$$R_T = \frac{V_{out}}{I_S} = R_0 e^{\beta\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)}$$

$$\beta\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right) = \ln\left(\frac{V_{out}}{I_S R_0}\right)$$

$$\rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{V_{out}}{I_S R_0}\right) + \frac{1}{T_0} \rightarrow \boxed{T = \frac{1}{\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{V_{out}}{I_S R_0}\right)+\frac{1}{T_0}}}$$

۲) مدار با منبع ولتاژ ثابت :

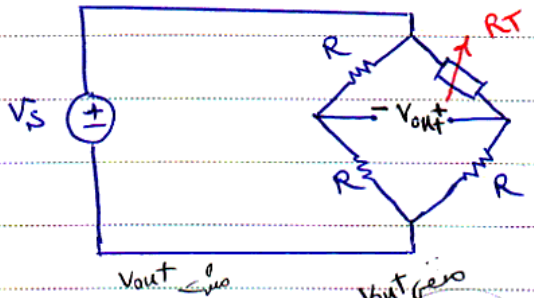


$$V_{out} = \frac{R_T}{R_T+R_S} V_S \Rightarrow \boxed{R_T = \frac{R_S V_{out}}{V_S - V_{out}}}$$

$$\rightarrow \boxed{T = \frac{1}{\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{R_S \cdot V_{out}}{R_0 (V_S - V_{out})}\right)+\frac{1}{T_0}}}$$

www.tbi-net.com

استفاده از پل اندازه گیری :



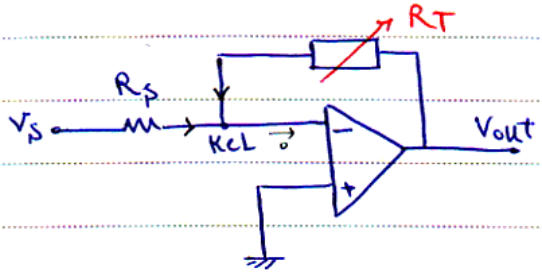
V_{out} منفی V_{out} مثبت

$$V_{out} = \left(\frac{R}{R_T+R} - \frac{R}{R+R} \right) V_S = \left(\frac{R}{R_T+R} - \frac{1}{2} \right) V_S$$

$$\rightarrow \frac{V_{out}}{V_S} + \frac{1}{2} = \frac{R}{R_T+R}$$

$$\rightarrow \frac{R_T+R}{R} = \frac{1}{\frac{V_{out}}{V_S} + \frac{1}{2}} \rightarrow \boxed{R_T = \frac{R}{\left(\frac{V_{out}}{V_S} + \frac{1}{2}\right)} - R}$$

استفاده از یک مدار واردنیر :



$$KCL : \frac{V_S}{R_S} + \frac{V_{out}}{R_T} = 0$$

$$\rightarrow \frac{V_S}{R_S} = -\frac{V_{out}}{R_T} \rightarrow \boxed{R_T = \frac{R_S V_{out}}{V_S}}$$

حول مقدار عکس مقاومت را ایمان مهم است منفی را در نظر نمی گیریم. (مقاومت مثبت و منفی ندارد.)

$$\Rightarrow \boxed{T = \frac{1}{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R_S V_{out}}{R_0 V_S}\right) + \frac{1}{T_0}}}$$

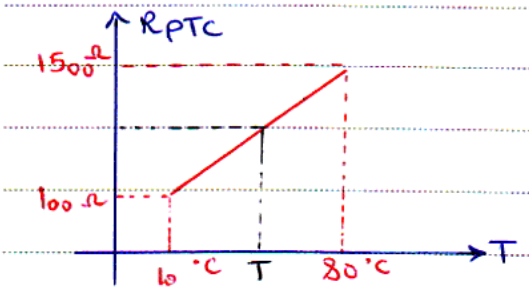
R_0 مقاومت ترمیستور در دمای T_0 می باشد.

مثال) ثابت دمایی یک ترمیستور $\beta = 2910$ می‌باشد. مقاومت ترمیستور در دمای $T_0 = 25^{\circ}C$، $1K\Omega$ ($R_0 = 1K\Omega$) اندازه‌گیری شده است. چگاه ترمیستور در دمای T، مقاومت $R_T = 800\Omega$ داشته باشد، دمای اندازه‌گیری شده چقدر است؟

$$R_T = R_0 e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

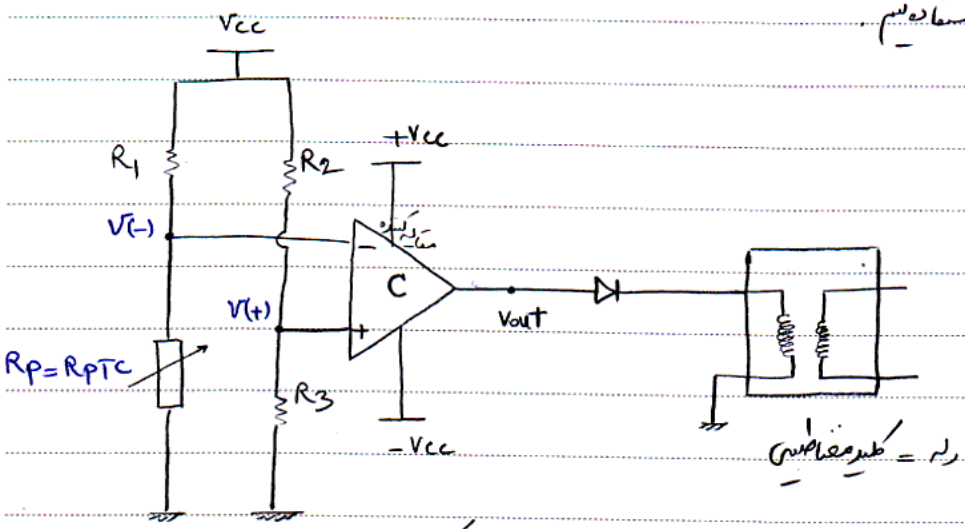
مثال) می‌خواهیم یک مدار کنترل دما با استفاده از یک pTC و یک مقایسه‌کننده طراحی و پیاده‌سازی کنیم، به طوری که این مدار در یک دمای قابل تنظیم عمل کرده و سیستم را راه‌اندازی کند. برای این کار از یک پتانسیومتر مناسب استفاده می‌کنیم.

الف) مدار لازم را طراحی کنید. فرض می‌کنیم pTC بین $10^{\circ}C$ الی $80^{\circ}C$ خوب عمل کرده و مقاومت آن از ($100\Omega \rightarrow 1500\Omega$ تغییر کند)



چگاه یک مقایسه‌کننده در طراحی‌ها خواهیم بالاتر از تقویت‌کننده‌ها.

صورت تقویت‌کننده تفاضلی استفاده کنیم.



پتانسیومتر را در جای دیگری گذاشتیم فرقی نمی‌کند.

www.tbi-net.com

$$\begin{cases} V(-) = \dfrac{R_p}{R_1+R_p} V_{cc} \\ V(+) = \dfrac{R_3}{R_3+R_2} V_{cc} \end{cases}$$

تا زمانیکه هنوز دمای محیط (T) بالا نرفته مقاومت آن کمتر از آن است پس مقاومت هم هنوز مقاومت مورد نظر ما نرسیده ← $V(-) < V(+)$ ← خروجی در اشباع مثبت است

یعنی $V_{out} = +V_{cc}$ با افزایش دما مقاومت کم شده و با تقسیم ولتاژ می‌فهمیم که $V(-)$ افزایش و تا $V(+)$ می‌رسد. لحظه $V(-)$ به مقدار $V(+)$ کم شده و خروجی در اشباع منفی

$$R_{pTc} = \alpha T + \beta$$

(یعنی رابطه خطی با T (دما) R_{pTc} دارد.

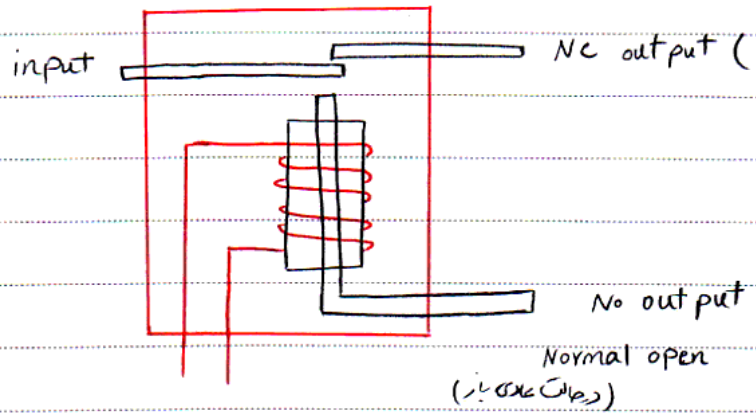
$$\begin{cases} 100\,\Omega = 10\alpha + \beta \\ 1500 = 80\alpha + \beta \end{cases}$$

در رد یعنی $V_{out} = -V_{cc}$ و V_{cc} یعنی دیود خاموش و رله راه اندازی نمی‌شود و چون $V_- = V_+$ عمل کلیدزنی صورت می‌گیرد. (رله یک کلید مغناطیسی است)

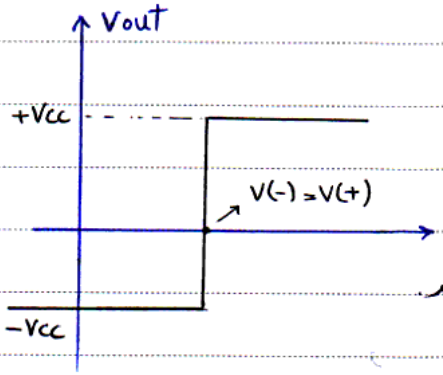
$$\rightarrow 70\alpha = 1400 \rightarrow \boxed{\alpha = 20}, \quad \boxed{\beta = -100}$$

$$R_{pTc} = 20T - 100 \rightarrow \boxed{R_{pTc} = 20(T-5)}$$

رله:



relay



منفی خروجی مقایسه کننده

(در اشباع مثبت فقط دیود عمل می‌کند)

دیود باعث می‌شود که بار فقط در یک حالت عمل کند.

ب) مقادیر R_3 ، R_2 و R_1 را چنان تعیین کنید که در $T=40^{\circ}C$ عمل لوئی‌زی صورت گیرد. (مدار لوئی کند)

$$T=40^{\circ}C \longrightarrow V(-)=V(+) \longrightarrow \frac{R_P V_{CC}}{R_1+R_P}=\frac{R_3 V_{CC}}{R_3+R_2}$$

$$\frac{R_P}{R_1+R_P}=\frac{R_3}{R_2+R_3} \longrightarrow \frac{700}{700+R_1}=\frac{R_3}{R_3+R_2}$$

چون سه مجهول داریم دوتا فرض می‌کنیم و دیگری را از رابطه بدست می‌آوریم.

فرض می‌کنیم $R_3=R_1=1K\Omega$ ←

$$\frac{700}{700+1000}=\frac{1000}{1000+R_2}$$

$$\frac{700}{1700}=\frac{1000}{1000+R_2} \longrightarrow 7R_2+7000=17000 \longrightarrow 7R_2=10000$$

$$\longrightarrow R_2=\frac{10000}{7}=1428\Omega=1{,}428K\Omega$$

به جای مقاومت R_2 از یک پتانسیومتر $5K\Omega$ استفاده می‌کنیم. (چون مقاومی مثل 5^K، 10^K، 25^K، ... مقاومت استاندارد هستند) و مقدار آن را در 1428Ω تنظیم می‌کنیم. از 10^K هم می‌توانستیم استفاده کنیم ولی حفاظش بیشتر است.

(اگر به جای پتانسیومتر از مقاومت ثابت استفاده کنیم فقط در دمای $40^{\circ}C$ عمل می‌کند.)

ج) اگر پتانسیومتر در $3K\Omega$ تنظیم شود مدار در چه دمایی عمل خواهد کرد؟ $(T=?)$ (R_Y)

(لوئی می‌کند.)

در لحظه‌ی لوئی: $V(-)=V(+)$

$$\frac{R_P}{R_P+R_1}=\frac{R_3}{R_2+R_3}$$

$$\frac{20(T-5)}{20(T-5)+1000\Omega}=\frac{1000}{3000+1000} \Rightarrow \boxed{T=21.6^{\circ}C}$$

www.tbi-net.com

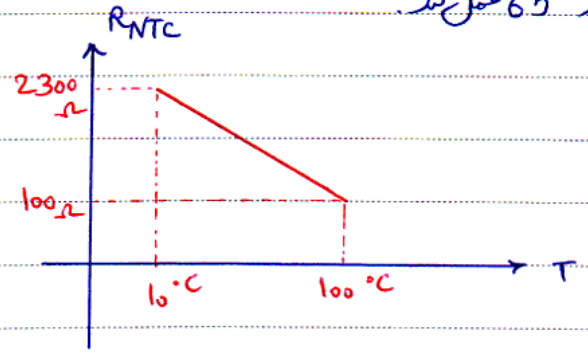
در این مدار از یک دیود استفاده کرده ایم. کار دیود این است که دما شنوی را بررسی داده و اجازه می دهد فقط ولتاژ مثبت عمل لوئیج را انجام دهد.

تمرین) می خواهیم یک ترموستات الکترونیکی طراحی کنیم. برای این کار از یک ترمیستور NTC، استفاده کرده ایم که مشخصات آن به صورت شکل زیر است:

الف) مطلوب است طراحی این مدار ترموستات با استفاده از یک op_amp.

ب) مقدار مقاومت حساسیت را طوری محاسبه کنید که این مدار در $T = 30^{\circ}C$ عمل کند.

ج) پتانسیومتر موجود در مدار را چنان تنظیم کنید که این مدار در $65^{\circ}C$ عمل کند.



معرفی IC های RTD و ترمیستور:

NTC { QTC 0805
QTC 11

www. Datasheet catalog. com

pTc { RTH 42
RTH 22

RTD { pT 100
pT 500

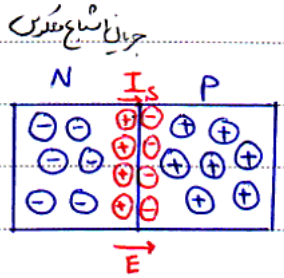
جلسه ۷

IC های مبدل دما به کمیت الکتریکی:

عناصر حساس (نیمه هادی) وابستگی زیادی به تغییرات دما دارد. از همین خاصیت جهت ساخت مدارهای مجتمع به کنسور دما می‌باشد استفاده می‌شود در این مدارات مجتمع جریان یا ولتاژ خروجی با دمای مطلق متناسب است. وابستگی عناصر نیمه هادی به دما معمولاً به ۳ صورت زیر تأثیر می‌گذارد:

۱) افزایش دما باعث تولید زوج الکترون و حفره در یک اتم می‌گردد؛ به عبارت دیگر از این دما باعث آزاد شدن الکترون از اتم و در نتیجه تولید الکترون و حفره می‌شود.

۲) در پیوند P-N در محل اتصال دو ناخالصی P و N، ناحیه‌ی تهی یا تخلیه وجود می‌آید و این باعث به وجود آمدن جریان اشباع معکوس می‌گردد جریان اشباع معکوس به شدت تابع دما می‌باشد. با افزایش دما، این جریان افزایش می‌یابد. بنابراین از این

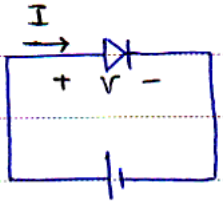


Subject :

Year . Month . Date . ( )

خاصیت می‌توان جهت اندازه‌گیری دما استفاده کرد؛ ولی از آنجایی که رابطه‌ی این جریان با دما کاملاً غیرخطی و تابع پارامترهای غیرخطی زیادی است، استفاده از آن بسیار مشکل است.

۳) اگر دیود را در بایاس مستقیم و در یک جریان ثابت است. رابطه‌ی جریان و ولتاژ دو سر دیود $p-N$ در بایاس مستقیم به صورت زیر است:



$$I = I_S\left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1\right)$$

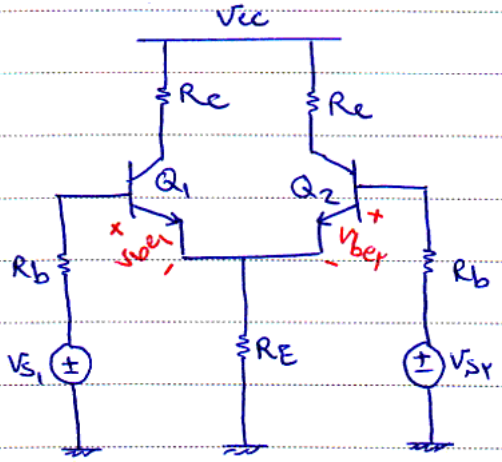
این معادله کاربرد زیادی دارد (I_S در مخرج)

$$\rightarrow \left(\frac{I}{I_S} + 1\right) = e^{\frac{V}{\eta V_T}} \Rightarrow \boxed{V = \eta V_T \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right)} \qquad V_T = \frac{KT}{q}$$

k: ثابت بولتزمن، $q \approx 1.6 \times 10^{-19}$

طبق رابطه‌ی به دست آمده، ولتاژ دو سر دیود $p-N$ بایاس مستقیم به I_S بستگی دارد. از آنجایی که این جریان به صورت غیرخطی به دما بستگی دارد دقت اندازه‌گیری آن سخت می‌باشد و استفاده‌ی مستقیم از این ترمومتر جهت اندازه‌گیری دما مناسب نیست. برای حل این مشکل از جریان ثابت منظور جریان ثابت ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال استفاده می‌کنیم.

به عنوان مثال:



حذف این است که I_S در منبع حذف شود.

$$Q_1: I_{C1} = I_0 e^{\frac{V_{be1}}{\eta V_T}} = I_0 e^{\frac{V_{be1}}{V_T}}$$

$$Q_1 \equiv Q_2$$

$$Q_2: I_{C2} = I_0 e^{\frac{V_{be2}}{V_T}}$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{I_0 e^{\frac{V_{be1}}{V_T}}}{I_0 e^{\frac{V_{be2}}{V_T}}} = e^{\frac{\Delta V_{be}}{V_T}}$$

$$\boxed{\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = e^{\frac{\Delta V_{be}}{V_T}}}$$

$$\frac{\Delta V_{be}}{V_T} = \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \rightarrow \Delta V_{be} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}$$

$$\boxed{\Delta V_{be} = \frac{K}{q} \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \cdot T}$$

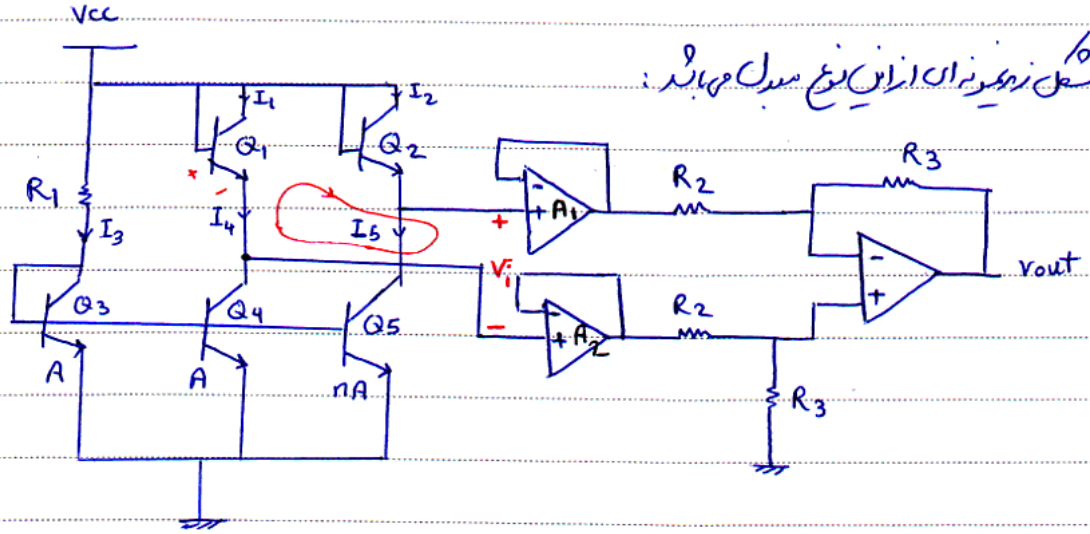
به طور کلی دو دسته مبدل دما به سیگنال الکتریکی وجود دارد:

۱) مبدل دما به ولتاژ ۲) مبدل دما به جریان

V_{out} را به دست می آوریم. ←

۱) مبدل دما به ولتاژ: این مبدل ها در خروجی خود ولتاژی تولید می کنند که با دما متناسب می باشد.

مدار شکل زیر نمونه ای از این نوع مبدل می باشد:



مبدل دما به ولتاژ مثل LM35, LM34, LM500, TMP37, LM60

مجموعه مرآت ترانزیستورهای Q_3 ، Q_4 ، Q_5 تشکیل جریان را می‌دهند. سطح مقطع امیتر Q_5 ، n برابر Q_3 و Q_4 می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$I_5 = n I_4$$

$$I_1 = I_4 \qquad I_2 = I_5$$

KVL : $+V_i - V_{be_1} + V_{be_2} = 0 \longrightarrow V_i = V_{be_1} - V_{be_2} = \Delta V_{be}$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_5}{I_4} = n = e^{\frac{\Delta V_{be}}{V_T}} \xrightarrow{\ln} \Delta V_{be} = V_T \ln n$$

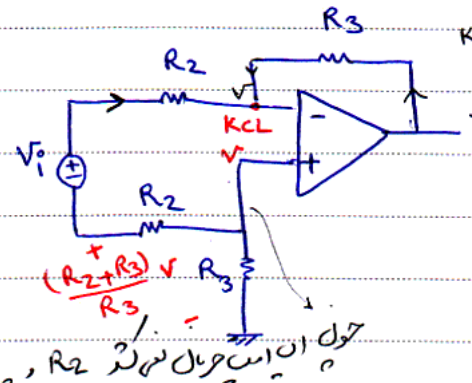
$$\longrightarrow V_i = \Delta V_{be} = \left(\frac{K}{q} \ln n\right).T \longrightarrow V_i = \left(\frac{K}{q} \ln n\right).T$$

$$\longrightarrow V_{out} = \frac{R_3}{R_2} V_i \longrightarrow V_{out} = \left(\frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{K}{q} \ln n\right).T$$

ضریب ثابت

در واقع هست $V_{out} = -\frac{R_3}{R_2} V_i$ اما واسه‌ی ما مهم نیست

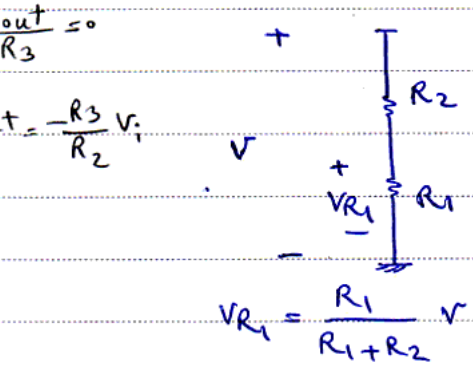
با انتخاب مناسب R_3 ، R_2 می‌توان ولتاژ V_{out} را تقویت کرد.



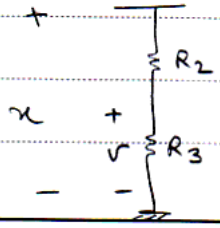
KCL : $\frac{V_i}{R_2} + \frac{V_{out}}{R_3} = 0$

$\longrightarrow V_{out} = -\frac{R_3}{R_2} V_i$

حول این امپدانس‌ها تشکیل می‌دهند. R_3 ، R_2 می‌باشد.



$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$$



$$V = \frac{R_3}{R_2 + R_3} x \longrightarrow x = \frac{R_2 + R_3}{R_3} V$$

P4PCO

www.tbi-net.com

KCL → $\frac{V_{out}-V}{R_3}+\frac{V_i+\left(\frac{R_2+R_3}{R_3}\right)V-V}{R_2}=0$ ← در KCL جهت جریان‌ها را فرض کنید.

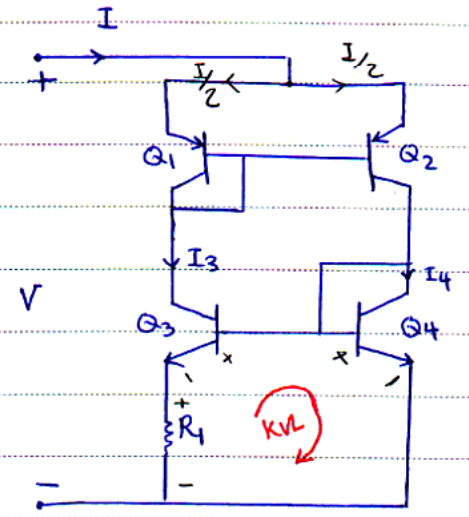
$\frac{V_{out}}{R_3}-\frac{V}{R_3}+\frac{V_i}{R_2}+\frac{(R_2+R_3)V}{R_2R_3}-\frac{V}{R_2}=0$

$\rightarrow \frac{V_{out}}{R_3}+\frac{V_i}{R_2}=0 \rightarrow \boxed{V_{out}=-\frac{R_3}{R_2}V_i}$

۲)

مدل دیگر جریان: ← I را در دست می‌گیریم.

در این مدل‌ها، جریان‌ها از نوع جریان و متناسب با دما می‌باشد. نمونه‌ای از این نوع مدل به صورت زیر است:



Q_1 و Q_2 نسبت به Q_3 و Q_4 باهم دارای جریان‌های یکسان می‌باشند.

$I_3=I_4=\frac{I}{2}$

$\frac{J_4}{J_3}=e^{\frac{\Delta V_{be}}{V_T}}$

$J_4=\frac{I_4}{A_4}$

$J_3=\frac{I_3}{A_3}$

www.tbi-net.com

$$\frac{-R_1 I}{2} - V_{be_3} + V_{be_4} = 0 \longrightarrow V_{be_4} - V_{be_3} = \frac{R_1 I}{2} \longrightarrow \boxed{\Delta V_{be} = \frac{R_1 I}{2}}$$

$$\frac{\frac{I_4}{A_4}}{\frac{I_3}{A_3}} = \frac{A_3}{A_4} = e^{\frac{\Delta V_{be}}{V_T}} \longrightarrow \frac{\Delta V_{be}}{V_T} = \ln \frac{A_3}{A_4}$$

$$\longrightarrow \frac{R_1 I}{2} = V_T \ln \frac{A_3}{A_4} \longrightarrow I = \frac{2V_T}{R_1} \ln \frac{A_3}{A_4}$$

$$I = \left(\frac{2K}{R_1 \varphi} \ln \frac{A_3}{A_4} \right) . T$$

مقدار ثابت

فرض می‌کنیم : $\frac{A_3}{A_4} = n \longrightarrow \boxed{I = \frac{2K}{R_1 \varphi} \ln n . T}$

دمای حساب طوین

از جمله سنسورهای دمای خروجی :

LM134	AD592	AD590
۰/۱ μA/K	۱ μA/K	۱ μA/K

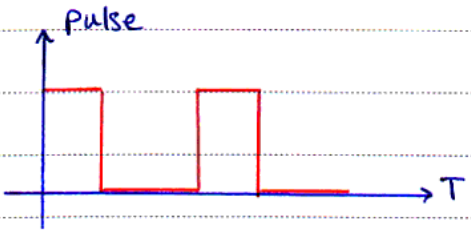
این حالت مقدار ثابت دیگری را می‌گیرند.

سنسورهای دمایی با خروجی دیجیتال :

SmT 160 ، Max 6575 ، AD7814 ، DS1620 ، TMP03 ، LM75

سنسور دمایی ولتاژ به دیجیتال یک آنالوگ را تبدیل هم وجود دارد.

مبدل‌های ترموستات



خروجی این یک پالس است : SmT 160

duty cycle

$$T = \frac{d.c - 132}{1047}$$

www.tbi-net.com

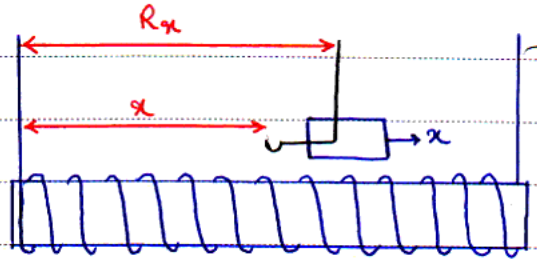
مبدل های جابجایی :

یکی از کمیت های بسیار مهم برای اندازه گیری، جابجایی می باشد. از جمله کاربردهای اندازه گیری جابجایی می توان در سیستم های کنترل اتوماتیک خط تولید برای ربات ها، کنترل حرکت هد روی دیسک و ... را جستجو نمود. همچنین بسیاری از کمیت های فیزیکی دیگر نظیر نیرو، فشار و ... را می توان به تغییر جابجایی تبدیل کرد و سپس آن را اندازه گیری کرد. روش های مختلف جهت اندازه گیری این کمیت وجود دارد که عبارت اند از :

۱) پتانسیومترها ۲) مبدل خازنی ۳) مبدل القایی ۴) LVDT و RVDT

پتانسیومترها : به دو نوع عمده ساخته می شوند (خطی و لگاریتمی)

جهت اندازه گیری جابجایی خطی از پتانسیومتر خطی و جهت اندازه گیری جابجایی زاویه ای از پتانسیومتر دوار استفاده می کنیم.

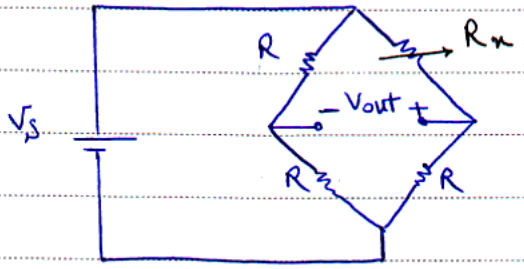


از ضمن پتانسیومتر خطی

ساده ترین روش برای اندازه گیری R_x، استفاده از مدل انحرافی است.

R_p مقاومت واحد طول

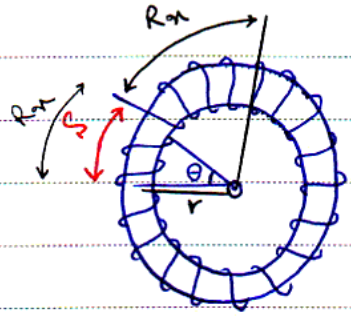
$R_x = x R_p$



www.tbi-net.com

$$V_{out} = V_S \left[\frac{R}{R_x + R} - \frac{R}{R + R} \right] = V_S \left[\frac{R}{R_x + R} - \frac{1}{2} \right]$$

با اندازه‌گیری V_{out} در این رابطه، R_x را تعیین کرده و از رابطه‌ی $x = \frac{R_x}{R_\rho}$ جابجایی قابل محاسبه است.



که همان x است.

θ : جابجایی زاویه‌ای

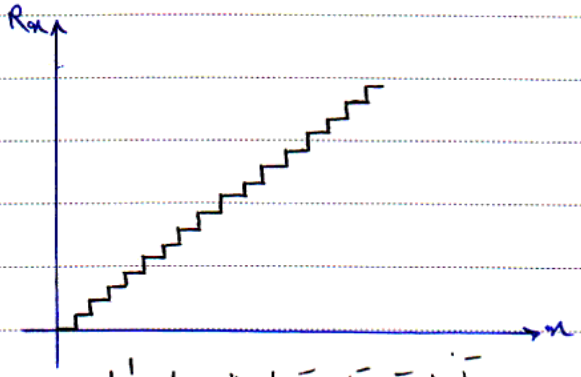
R_ρ : مقاومت واحد طول

r : شعاع پتانسیومتر

$$R_x = x R_\rho$$

$$S = r\theta$$

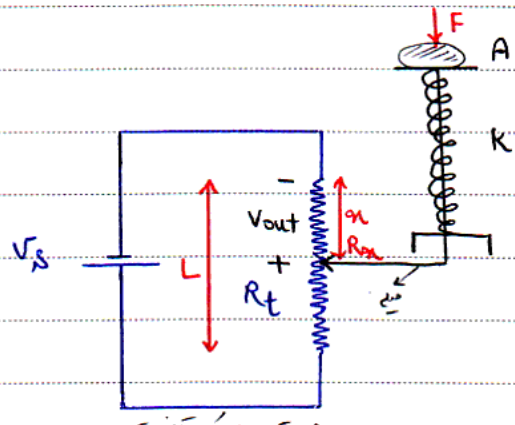
$$\theta = \frac{S}{r} = \frac{R_x}{r R_\rho} \qquad S = \frac{R_x}{R_\rho}$$



تغییرات مقاومت بر اساس واحد طول

x : جابجایی خطی

θ : جابجایی زاویه‌ای



R_t مقاومت کلی پتانسیومتر

اندازه‌گیری نیرو با استفاده از جابجایی :

در اثر نیرو فنر جمع می‌شود و میله به سمت بالا می‌آید.

جابجایی زیاد می‌شود.

P4PCO

www.tbi-net.com

R_p : مقاومت واحد طول — R_x : مقاومت طول x

x : جابجایی — هدف : اندازه‌گیری نیروی F

R_t : مقاومت کل — L : طول تا پتانسیومتر

$$R_t = L R_p$$

$$R_x = x R_p$$

$$V_{out} = \frac{R_x}{R_t} \times V_s = \frac{x}{L} V_s$$ (این بخش)

$$\Rightarrow x = \frac{L V_{out}}{V_s}$$

K : ضریب سختی فنر — قانون هوک $F = K x$

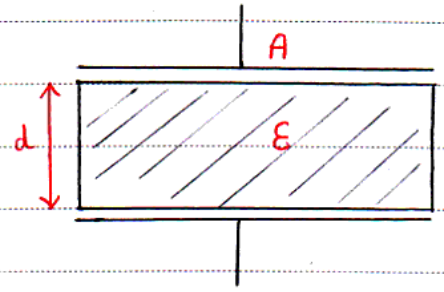
A : سطحی که نیروی F به آن وارد می‌شود.

$$F = K \frac{L V_{out}}{V_s}$$

نیروی وارد بر واحد سطح را فشار گویند.

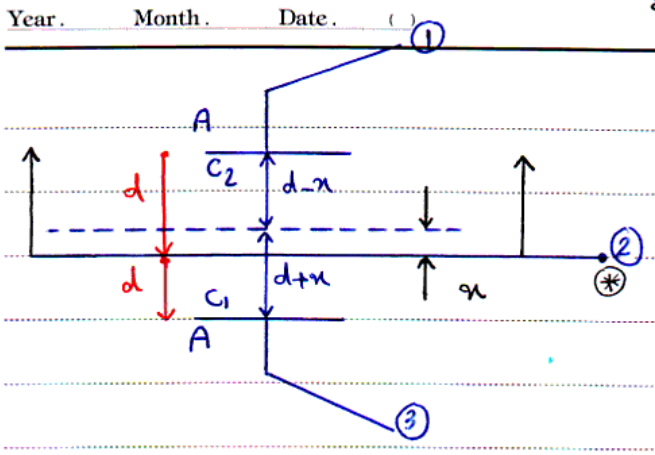
فشار: $$P = \frac{F}{A} = \frac{K L V_{out}}{A V_s}$$

میدل خازی :



$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

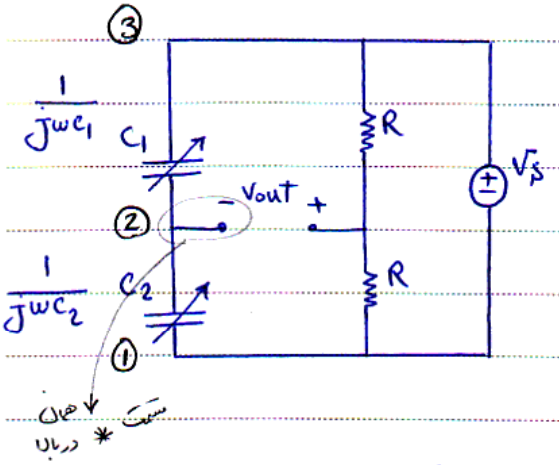
www.tbi-net.com



$$C_1 = \varepsilon \frac{A}{d} \longrightarrow C_1 = \frac{\varepsilon A}{d+x}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon A}{d} \longrightarrow C_2 = \frac{\varepsilon A}{d-x}$$

هدف اندازه‌گیری جابجایی است.



$$V_{out} = V_s \left[\frac{R}{R+R} - \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + \frac{1}{j\omega C_1}} \right]$$

$\frac{Z_2}{Z_1+Z_2} V_s$

$$= V_s \left[\frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_1}} \right]$$

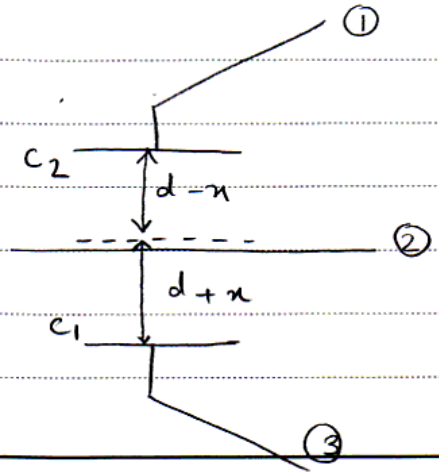
$$= V_s \left[\frac{1}{2} - \frac{C_1}{C_1+C_2} \right]$$

$$V_{out} = V_s \left[\frac{1}{2} - \frac{\frac{\varepsilon A}{d+x}}{\frac{\varepsilon A}{d+x} + \frac{\varepsilon A}{d-x}} \right] = V_s \left[\frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{d+x}}{\frac{1}{d+x} + \frac{1}{d-x}} \right]$$

$$= V_s \left[\frac{1}{2} - \frac{d-x}{d-x+d+x} \right] = V_s \left[\frac{1}{2} - \frac{d-x}{2d} \right]$$

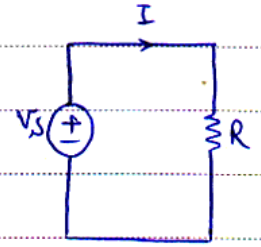
$$V_{out} = \frac{x\, V_s}{2d}$$

$$x = \frac{2d\, V_{out}}{V_s}$$



www.tbi-net.com

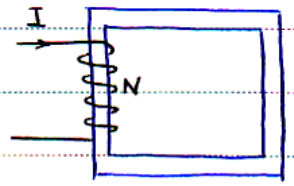
مدل های جایای نوع القایی (ولتاژ ثابت)



$V_S = IR$

V_S ← سورس محرکه الکتریکی

R ← مقاومت الکتریکی



$mmf = \Phi . R = NI$ ← سورس محرکه مغناطیسی

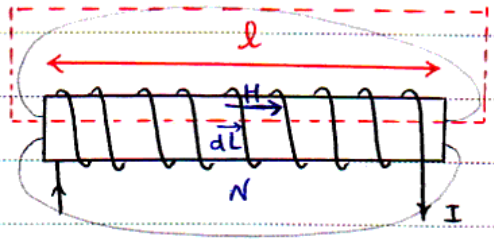
Φ ← شار مغناطیسی

R ← مقاومت مغناطیسی

شار در مدار مغناطیسی دوگان جریان است،

همین طور مقاومت الکتریکی و مقاومت مغناطیسی.

مدار الکتریکی از یک منبع ولتاژ و یک مقاومت ساخته شده، در حالیکه مدار مغناطیسی از یک ماده ی فرومغناطیس ساخته شده که به دور آن یک سیم پیچ N دور پیچیده شده است.



قانون آمپر $\oint H . dL = NI$

$\oint H . dL = \oint H dL \cos\theta = \oint H dL$

$\cos 0 = 1$

طبق قانون دست راست شدت دست راست در جهت جریان است پس جهت مغناطیسی مطابق شکل نشان داده شده است.

این دو روش را در نظر می گیریم:

1) شدت میدان مغناطیسی در داخل حلقه ثابت است.

2) شدت میدان مغناطیسی در خارج از حلقه چون شکل مورد نظر است

www.tbi-net.com

شکل قانون امپر : $\oint H \cdot dL = H \int_0^l dl = Hl = NI$

$$H = \frac{NI}{l}$$

$B = \mu H = \frac{\mu NI}{l}$ چگالی میدان مغناطیسی (تعداد خطوط میدان مغناطیسی در واحد سطح)

μ : ضریب تراوایی مغناطیسی

$$\varphi = B.A = AB = A\frac{\mu NI}{l}$$ شار مغناطیسی

A : مساحت سطح مقطع هسته

$\varphi R = NI \longrightarrow \frac{A\mu NI}{l} R = NI$

$$R = \frac{l}{\mu A}$$ مقاومت مغناطیسی

شار پیوندی : $\lambda = N\varphi = LI$ ← شار ← تعداد حلقه ← جریان عبوری از سیم پیچ

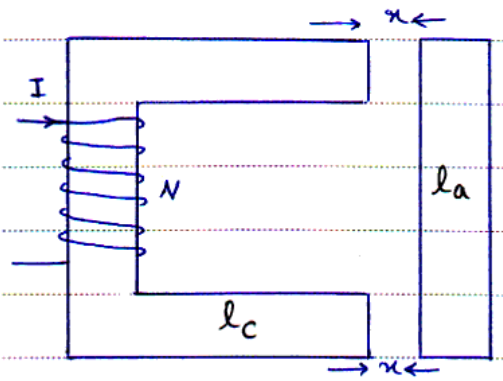
L : اندوکتانس (ضریب القای مغناطیسی)

$$L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N\varphi}{I} = \frac{N(A\mu NI)}{Il} = \frac{A\mu N^2}{l}$$

$$L = \frac{A\mu N^2}{l} = \frac{N^2}{R}$$

اگر به دور حلقه یک سیم پیچ یک دانه بپیچیم $N=0$ می‌شود.

$R = \frac{l}{\mu A}$ رشته اندوکتانس نداریم.



$$R_t = R_c + 2R_x + R_a \qquad R = \frac{l}{\mu A}$$

$$R_t = \underbrace{\frac{l_c}{\mu A}}_{cte} + \underbrace{\frac{2x}{\mu A_K}}_{K} + \underbrace{\frac{l_a}{\mu A}}_{cte}$$

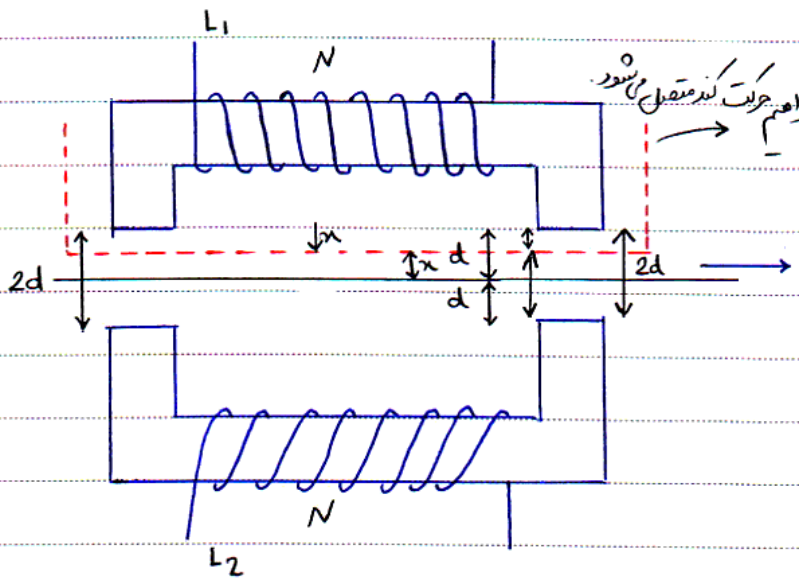
$$R_t = R_0 + Kx$$

$$L = \frac{N^2}{R_t} = \frac{N^2}{R_0 + Kx} = \frac{\frac{N^2}{R_0}}{1 + \underbrace{\frac{K}{R_0}}_{\alpha} x} = \frac{L_0}{1+\alpha x}$$

$$L = \frac{L_0}{1+\alpha x}$$

اگر $\alpha = 0 \rightarrow L = L_0$

رابطه بدست آمده ($L = \frac{L_0}{1+\alpha x}$) نشان می‌دهد ارتباط بین L و x غیرخطی است. برای حل این مسئله از مدار مغناطیسی زیر استفاده می‌کنیم:



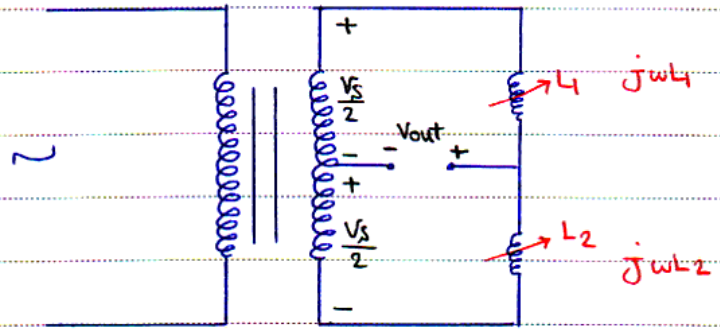
از اینجا به بعد می‌خواهیم حرکت کند متقل می‌شود

تغذی در مغناطیس محرک

www.tbi-net.com

$$L_1 = \frac{L_0}{1+\alpha(d-x)} \qquad L_2 = \frac{L_0}{1+\alpha(d+x)}$$

در این مدار حفاظی تغذیه متحرک بین دو صفحه‌ی مشابه که دارای فاصله‌ی 2d از هم می‌باشند، می‌تواند حرکت کند. از رابطه‌ی بین جابجایی x، L_1، L_2 غیرخطی است ولی با به کارگیری یک مدار خطی‌ساز ac و قرار دادن L_1 و L_2 در شاخه‌های پل می‌توان به یک رابطه‌ی خطی بین خروجی و جابجایی x دست یافت.



$$V_{out} = \left[\frac{j\omega L_2}{j\omega L_2 + j\omega L_1} \times V_s - \frac{V_s}{2}\right] = \left[\frac{L_2}{L_1+L_2} - \frac{1}{2}\right] V_s$$

$$\rightarrow V_{out} = \left[\frac{\frac{L_0}{1+\alpha(d+x)}}{\frac{L_0}{1+\alpha(d+x)} + \frac{L_0}{1+\alpha(d-x)}} - \frac{1}{2}\right] V_s$$

$$\rightarrow V_{out} = \frac{\alpha x V_s}{2(1+\alpha d)}$$

$$\boxed{x = \frac{2(1+\alpha d)V_{out}}{\alpha V_s}}$$

www.tbi-net.com

در سایه سار اندیشه ، بی هیچ چشم داشت زمینی

عهد بسته ایم آسمانی شویم .

در این محفل علمی با ما همراه باشید/

زمان : همین حالا تا همیشه

مکان : تارنمای برق ایران ؛ www.tbi-net.com

رسیده ایم پر از رنج راه تا دریا

خوشا یکی شدن رودها خوشا دریا

نه ما نه من نه تو ، او نقطه سرانجام است

بیا که بی من و تو ما شویم و ما دریا

من و تو چشمه باران ابر او بودیم

از ابتدا دریا بود و انتها دریا

اندازه گیری الکترونیکی

(بخش سوم)

استاد باغبانی

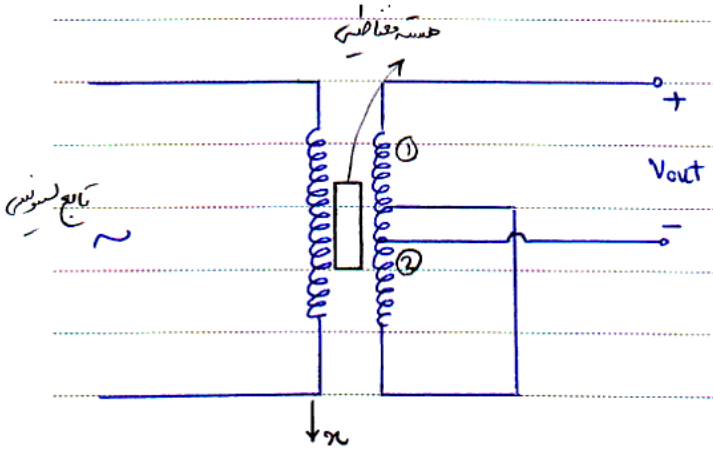
تهیه و تنظیم :

www.tbi-net.com

مدل جابجایی LVDT (ترانسفورماتور تفاضلی):

این نوع مدل در اصل یک ترانس با یک سیم پیچ اولیه و دو سیم پیچ ثانویه کاملاً مشابه می‌باشد. سیم پیچ اولیه معمولاً توسط یک ولتاژ سینوسی با دامنه‌ی ۳ تا ۱۵ ولت و فرکانس ۶۰ الی ۲۰ کیلوهرتز تحریک می‌گردد.

ولتاژهای القایی در سیم پیچ‌های ثانویه تابعی از موقعیت هسته‌ی فرومغناطیس می‌باشد. در شرایطی که هر دو ثانویه به صورت سری و در جهت مخالف هم بسته باشند در موقعیت میانی هسته دامنه‌ی ولتاژ خروجی تقریباً صفر می‌باشد. جابجایی هسته از این نقطه (نقطه‌ی میانی) باعث افزایش ضریب القای متقابل بین اولیه و یکی از ثانویه‌ها می‌شود و همچنین باعث کاهش ضریب القای متقابل بین اولیه و سیم پیچ ثانویه دیگر می‌گردد. لذا در این شرایط خروجی تقریباً تابع خطی از موقعیت هسته می‌باشد.

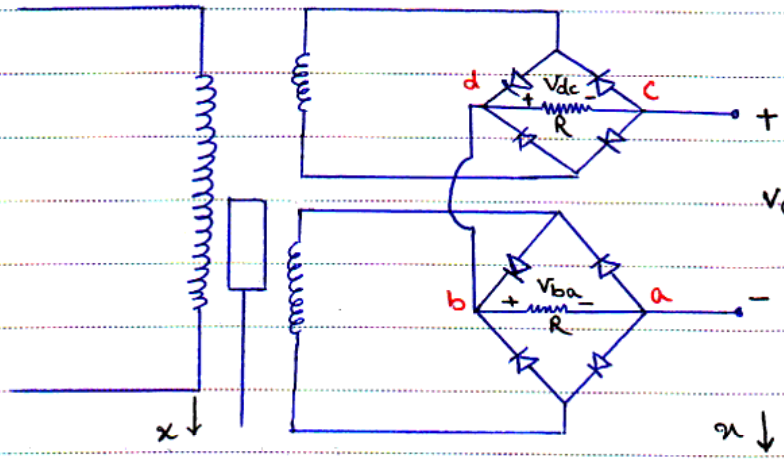


سیم پیچ ثانویه را به صورت سری بسته.

وقتی که هسته در وسط قرار دارد ولتاژی که روی ① می‌افتد با ولتاژ ② برابر است.

www.tbi-net.com

توضیح : از آنجائیکه دامنه‌ی V_{out} باجرکت هسته در دو حرف نسبت به قطبی‌های اولیه تغییر می‌کند لذا اشتباهی جهت القای هسته تنها با آشکارسازی دامنه امکان پذیر نمی‌باشد. برای حل این مشکل می‌توانیم از یکسوسازی دیودی مطابق شکل زیر استفاده کنیم :

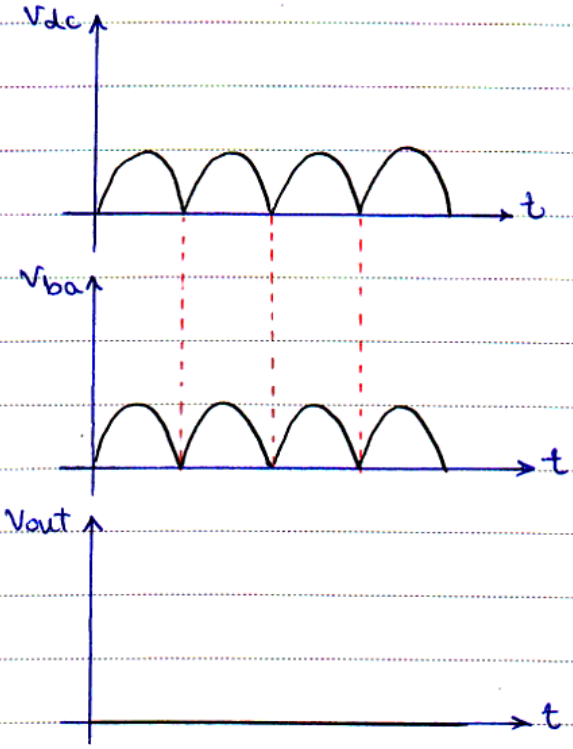


$V_{out} - V_{ba} + V_{dc} = 0$

$V_{out} = V_{ba} - V_{dc}$

$x \downarrow$ $x > 0$ $\quad$ $x \uparrow$ $x < 0$

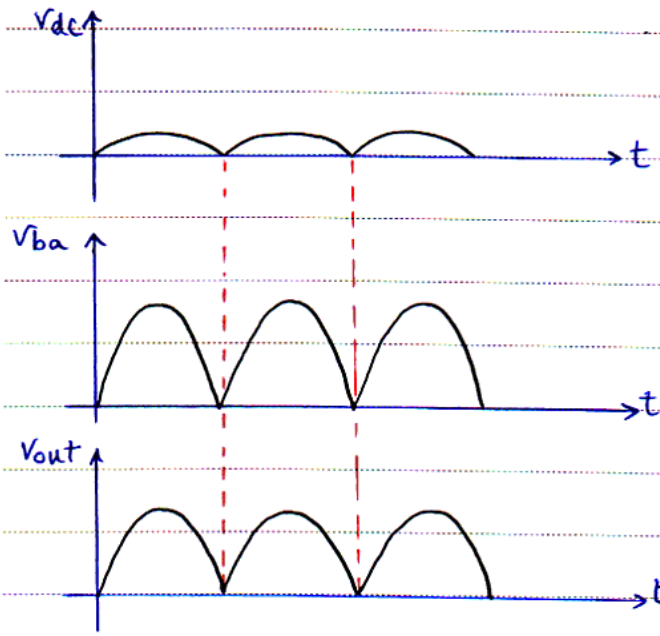
$V_{out} = V_{ba} - V_{dc}$



حالت $x = 0$

www.tbi-net.com

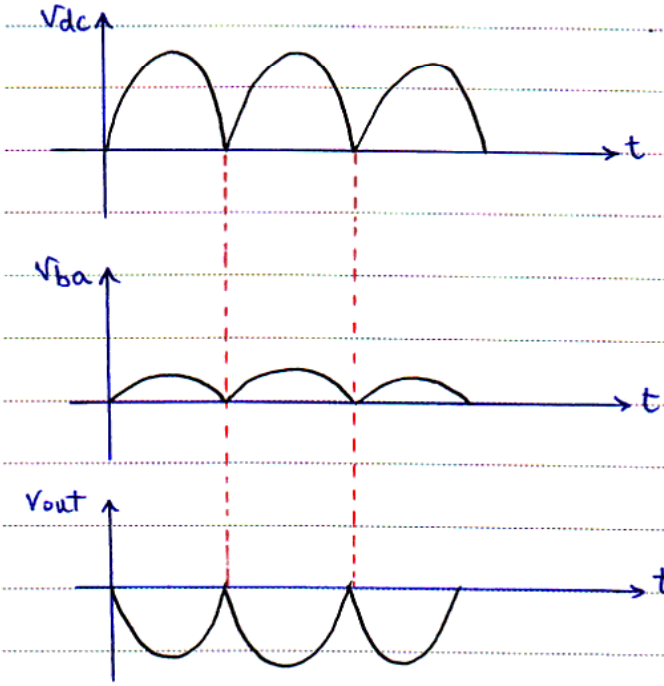
حالت $x>0$: یعنی وقتی که جهت جریان از a به b است.



$V_{out}>0$

حالت $x<0$: یعنی وقتی که جهت جریان از b به a است.

در این حالت ولتاژ ترانس بالایی یعنی V_{dc} بیشتر از V_{ba} می‌شود.



$V_{out} = V_{ba} - V_{dc}$

چون $V_{ba} < V_{dc}$

$\rightarrow V_{out} < 0$

برای صاف کردن این موج‌ها از ضبط‌های خازنی استفاده می‌کنیم.

V_{out} تابع خطی از x هاست. یعنی اگر

$V_{out} = 0 \leftarrow x = 0$

$V_{out} > 0 \leftarrow x > 0$

$V_{out} < 0 \leftarrow x < 0$

$$V_{out} = Kx$$

IC های موجود در مدل LVDT :

AD598 / AD630 / AD698

خلاصه

① $\oint H.dL = NI$ قانون آمپر

$\xrightarrow{\text{سیم}}$ $H = \frac{NI}{l}$

② $B = \mu H = \frac{\mu NI}{l}$ B : چگالی میدان مغناطیسی

$\xrightarrow{\text{سیم}}$ $\varphi = BA = \frac{\mu NI}{l} A$

③ $mmf = NI = R\varphi \rightarrow \varphi = \frac{NI}{R}$

$\xrightarrow{\text{سیم}}$ $\frac{NI}{R} = \frac{\mu NI}{l} A \rightarrow R = \frac{l}{\mu A}$

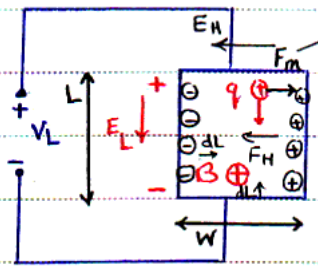
④ شار دور $\lambda = LI = N\varphi$ L : اندوکتانس (ضریب القای مغناطیسی)

$\xrightarrow{\text{سیم}}$ $L = \frac{N\varphi}{I} = \frac{\mu N^2 IA}{lI} = \frac{\mu N^2 A}{l} = \frac{N^2}{R}$

www.tbi-net.com

اندازه‌گیری موقعیت با استفاده از اثر هال :

قانون دست راست



می‌توانستم میدان را ⊙ هم درنظر بگیرم

$$\vec{F_m} = q(\vec{v} \wedge \vec{B}) \qquad \vec{F_H} = q\vec{E_H}$$

$$\xrightarrow{\text{اندازه}} F_m = qvB\sin\theta \qquad \xrightarrow{\text{اندازه}} F_H = qE_H$$

$$\text{تعادل} \longrightarrow F_m = F_H \longrightarrow qvB = qE_H \qquad E_H = vB$$

$$\text{سرعت حرکت بارها } v = \mu E_L \longrightarrow E_H = \mu E_L B \longrightarrow \frac{E_H}{E_L} = \mu B$$

در اندازه‌گیری با میدان ، ولتاژ تبدیل شود

ضریب تحرک الکترون (مقداری ثابت)

$$V_L = -\int E_L \cdot dL \cos 180^\circ$$

$$V_L = -\int \vec{E_L} \cdot \vec{dL} \qquad V_H = -\int \vec{E_H} \cdot \vec{dL}$$

ضرب داخلی

$$\longrightarrow V_L = \int E_L\, dL = E_L \int dL = E_L L$$

$$\longrightarrow V_H = \int E_H \cdot dL = E_H \int dL = E_H w$$

$$\left.\begin{aligned} V_L &= E_L L \\ V_H &= E_H w \\ \frac{E_H}{E_L} &= \mu B \end{aligned}\right\} \quad \frac{V_H}{V_L} = \frac{E_H w}{E_L L} = \frac{w}{L}\mu B$$

چگالی میدان مغناطیسی

$$\longrightarrow V_H = \frac{w}{L}\mu B V_L$$

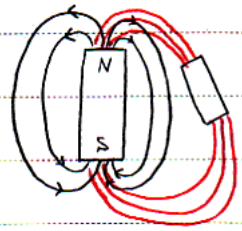
ولتاژ اثر هال

در اینجا فقط B می‌تواند تغییر کند چون بقیه ثابت اند

ضریب تحرک الکترون

ولتاژ تغذیه (ثابت)

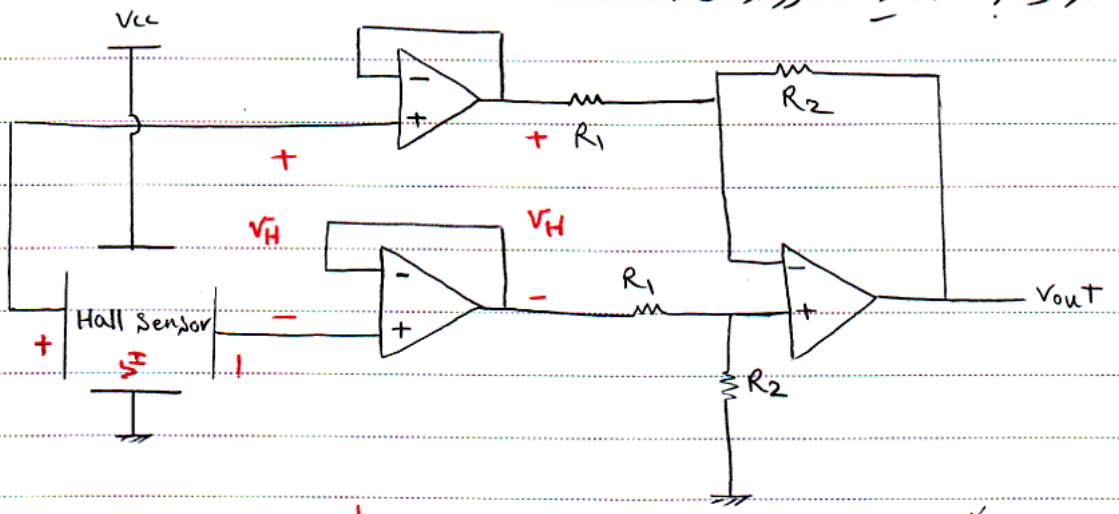
www.tbi-net.com



مقاومت مغناطیسی آهن از هوا کمتر است در نتیجه شار مغناطیسی راحتی ایجاد می‌شود.

وقتی آهن را به آهنربا نزدیک کنیم در واقع میدان مغناطیسی تقویت می‌کند.

مدار نمونه برای اندازه‌گیری تقریبی میدان:

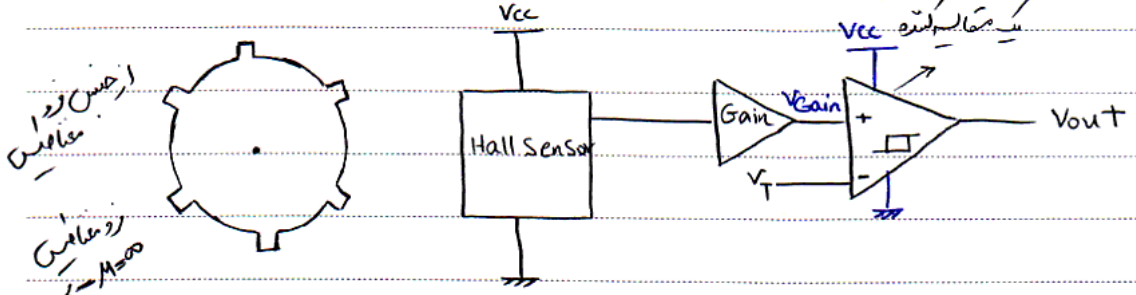


$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_H \longrightarrow V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \frac{W}{L} \mu_B V_{cc}$ ← صفر را در نظر نگرفتیم

دامنه برای ما مهم است.

مطابق رابطه به دست آمده، هرگاه جریان میدان مغناطیسی B به هر دلیلی تغییر کند، خروجی Vout تغییر خواهد کرد.

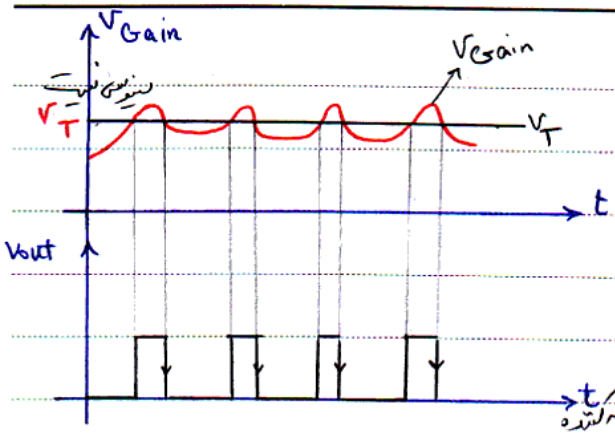
از این خاصیت می‌توان برای تعیین موقعیت و سرعت در صنعت استفاده کرد.



حدف اندازه‌گیری سرعت جسم دوار است.

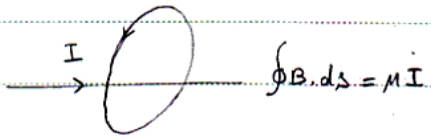
www.tbi-net.com

Subject:
Year. Month. Date. ( )



با ورود شدت جریان به سنسور اثر هال، VGain به وجود آمده مقایسه و تقویت می‌کند. اگر VGain به اندازه کافی داشته باشیم، خروجی فعال می‌شود.

خروجی کار مقاله کننده:
- $V_{Gain} > V_T$ → اشباع مثبت → با اتصال زمین
- $V_{Gain} < V_T$ → اشباع منفی → بدون اتصال زمین



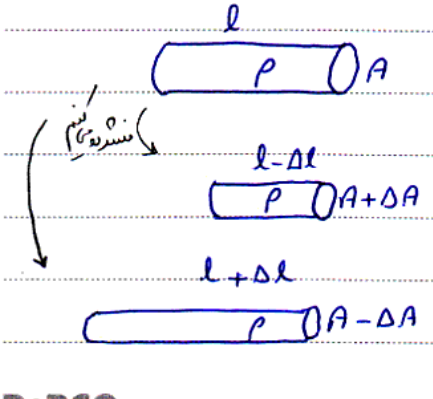
چند نمونه از سنسورهای اثر هال:

UGN 3113 , 3120
UGS 3130 , 3140
UGN 3501T → 8 pin , 17 mv/G
UGN 3019T → 1T = 10^4 G (گوس / تسلا)

در MRI از سنسورهای اثر هال استفاده می‌شود برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی.

ترانسدیوسرهای فشار و نیرو استرین گیج (Strain Gauge):

استرین گیج یک المان مقاومتی است که متناسب با یک فشار و نیروی مکانیکی اعمال شده، مقاومت آن تغییر می‌کند.



P4PCO

www.tbi-net.com

مثال) یک سیم نازک به صورت مکعب کشیده شده و طول آن 30 mm و سطح مقطع آن $0.01\ mm^2$ می باشد.

مقاومت این سیم 1.5 Ω است. نیروی اعمال شده به سیم باعث ازدیاد طول آن به مقدار 10mm و کاهش سطح مقطع آن به مقدار $0.0027\ mm^2$ می گردد. تغییرات مقاومت را به دست آورید.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$R = 1.5\ \Omega$

$\rho = 5 \times 10^{-7}\ \Omega.m$

$l = 30\ mm \rightarrow \rho = 0.3 \times 10^{-3}$

$A = 0.01\ mm^2$

$\Delta l = 10\ mm$

$\Delta A = 0.0027\ mm^2$

$\Delta R = ?$

$$1.5\ \Omega = \rho \frac{30 \times 10^{-3}}{0.01 \times 10^{-4}}$$

$$R + \Delta R = \rho \cdot \frac{l + \Delta l}{A - \Delta A} =$$

$$\frac{5 \times 10^{-7}\ (30+10) \times 10^{-3}}{(0.01 - 0.0027) \times 10^{-6}} = 2.74 \rightarrow \Delta R = 1.24\ \Omega$$

فالتور گیج:

فالتور گیج برای ترانسدیوسر استرین گیج یک وسیله ای مقایسه ای آن با دیگر ترانسدیوسرهای متفاوت است.

در حقیقت فالتور گیج وسیله ای برای ارزیابی حساسیت فنی یک المان استرین گیج می باشد.

هرچه تغییر مقاومت به ازای یک واحد تغییر در طول، بیشتر باشد حساسیت المان بیشتر می شود و در نتیجه فالتور گیج نیز بیشتر خواهد بود. فالتور گیج به صورت زیر تعریف می شود:

$$G.F = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

نیروی وارد شده به المان استرین گیج

$$F = E \cdot \frac{\Delta l}{l} \cdot A = E \frac{\Delta R}{R(G.F)} \cdot A$$

E : ضریب الاستیک
Δl : تغییر طول
l طول
A سطح مقطع

P4PCO

www.tbi-net.com

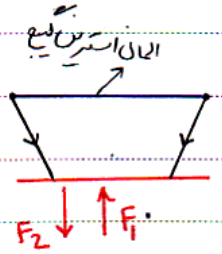
مثال) یک استرین گیج با طول 10cm و سطح مقطع $4cm^2$ می باشد. ضریب الاستیک برای این آلیاژ را بیابید.

$E = 2.7 \times 10^{10} N/m^2$ می باشد. آلیاژ دارای مقاومت 240Ω و GF = 2.2 می باشد. با اعمال نیرو به این آلیاژ، مقاومت آن 120.13Ω تغییر می کند. تغییر طول و میزان نیروی اعمال شده را به دست آورید؟

ص ۱۱

انواع استرین گیج:
۱) نوع پیوندی
۲) نوع غیر پیوندی

- نوع غیر پیوندی:

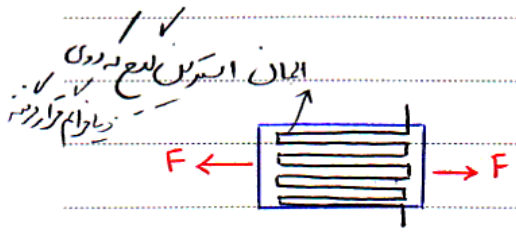


در نوع غیر پیوندی، آلیاژ استرین گیج، بین دو محافظ قابل انعطاف محکم شده.

این دو محافظ، از دو سر خود به یک دیافراگم فلزی نازکی وصل شده است. وقتی نیروی نظیر F_1 به دیافراگم وارد می شود، باعث خم شدن دیافراگم شده، به طوریکه دو سر دیگر دو محافظ را از هم دور می کند و باعث می شود آلیاژ استرین گیج کشیده شود.

اگر نیروی F_2 به دیافراگم وارد شود باعث می شود که دو سر دیگر دو محافظ به هم نزدیک شود و این باعث تغییر طول و سطح آلیاژ استرین گیج می شود.

- نوع پیوندی:



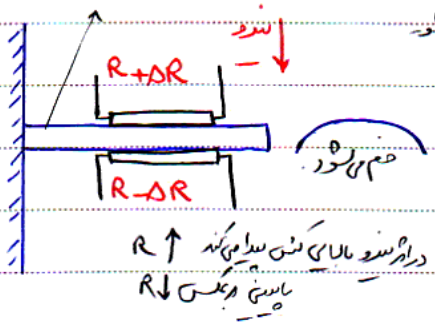
در نوع پیوندی، آلیاژ استرین گیج روی یک دیافراگم چسبانده می شود. با خم شدن

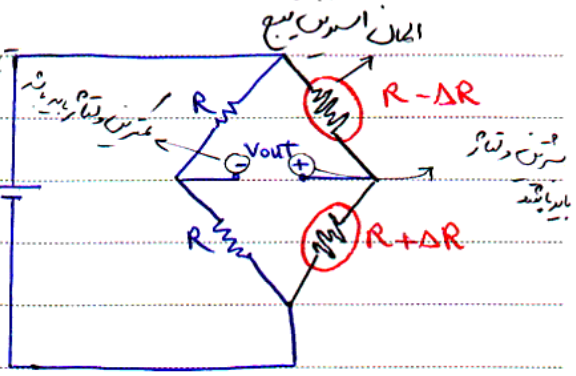
www.tbi-net.com

دیدیم، المان استرین گیج تغییر شکل می‌دهد و باعث بوجود آمدن تغیری در مقاومت الکتریکی آن خواهد شد. با اندازه‌گیری تغییر این مقاومت می‌توانیم میزان وارد شده را بسنجیم.

هر دو نوع استرین گیج توضیح داده شده در مثال، برای اندازه‌گیری به کار برده می‌شود. برای افزایش حساسیت استرین گیج‌ها، معمولاً از یک استرین گیج در پل‌های اندازه‌گیری استفاده می‌کنند.

یک قطعه که دو المان استرین گیج روی آن قرار گرفته



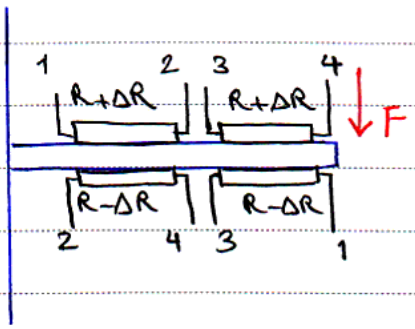


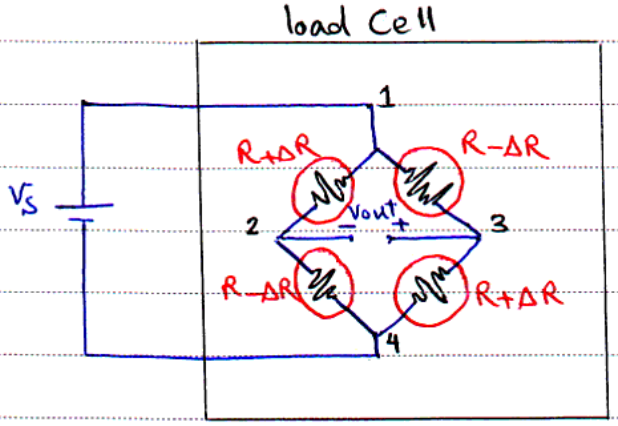
هدف از افزایش Vout است. بین المان‌های استرین گیج را به گونه‌ای قرار می‌دهیم که R+ΔR در بین باشد به دنبال تقسیم ولتاژ می‌توانیم سهم بیشتری از ولتاژ را آن دهیم (Vout زیاد شود)

$$V_{out} = \left[\frac{R+\Delta R}{R+\Delta R+R-\Delta R} - \frac{R}{R+R}\right] V_S$$

$$= \left[\frac{R+\Delta R}{2R} - \frac{R}{2R}\right] V_S = \frac{\Delta R}{2R} V_S$$

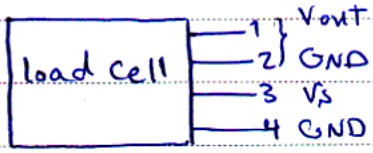
$$\rightarrow \boxed{V_{out} = \frac{\Delta R}{2R} V_S}$$



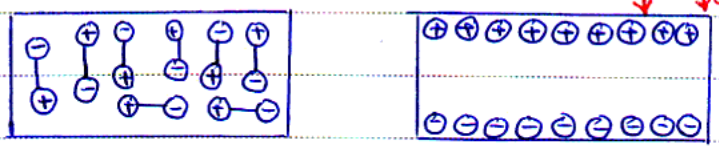


$$V_{out} = \left[\frac{R+\Delta R}{R+\Delta R+R-\Delta R} - \frac{R-\Delta R}{R-\Delta R+R+\Delta R} \right] V_S$$

$$= \left[\frac{2\Delta R}{2R} \right] V_S = \frac{\Delta R}{R} V_S \qquad \boxed{V_{out} = \frac{\Delta R}{R} V_S}$$



سنسورهای سنزو الکتریک :



بدون اعمال سنزو — با اعمال سنزو

عناصر سنزو الکتریک، عناصری هستند که قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و برعکس را دارند. اعمال سنزو، به کریستال

سنزو الکتریک، منجر به جابجایی اتمی در اتم های کریستال نسبت به موقعیت اولیه شبکه کریستال می گردد.

این جابجایی اتمی x، متناسب با نیروی اعمال شده است. رابطه بین نیرو و جابجایی به صورت زیر می باشد:

ضریب سختی فنر ↑

$$f = Kx$$

به عنوان مثال $K = 5 \times 10^9 \ N/m$

$$q = K'x = \frac{K'}{K} f = bf$$

b حساسیت اعمال سنزو الکتریک به بار (یا حساسیت بار به نیرو)

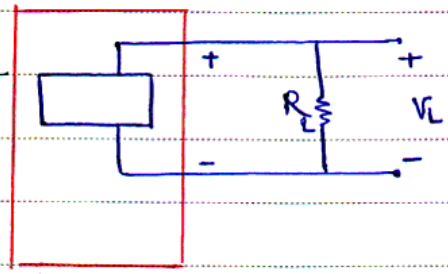
b ضریب حساسیت بار به نیرو $\qquad [b] = \frac{C}{N}$

www.tbi-net.com

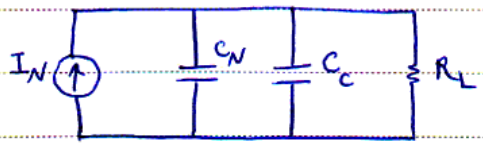
$1C = 1.6 \times 10^{+19}\ e$
کولن

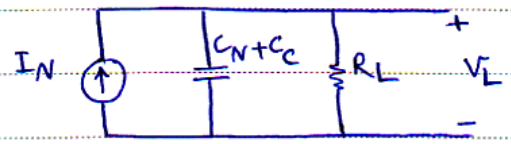
مواد	$b(C/N)$
کوارتز	2.25×10^{-12}
نمک روحل	1.35
آمونیوم دی هیدروژن فسفات	1.8
باریم تیتانات	86 _ 130

این قسمت را با یک منبع جریان دلخواه مدل می‌کنیم.



C_C : ظرفیت کابل





برداشتن مقاومت،
برای تخلیه‌ی خازن است.
خروجی از خازن تخلیه نشود، قطع می‌شود.

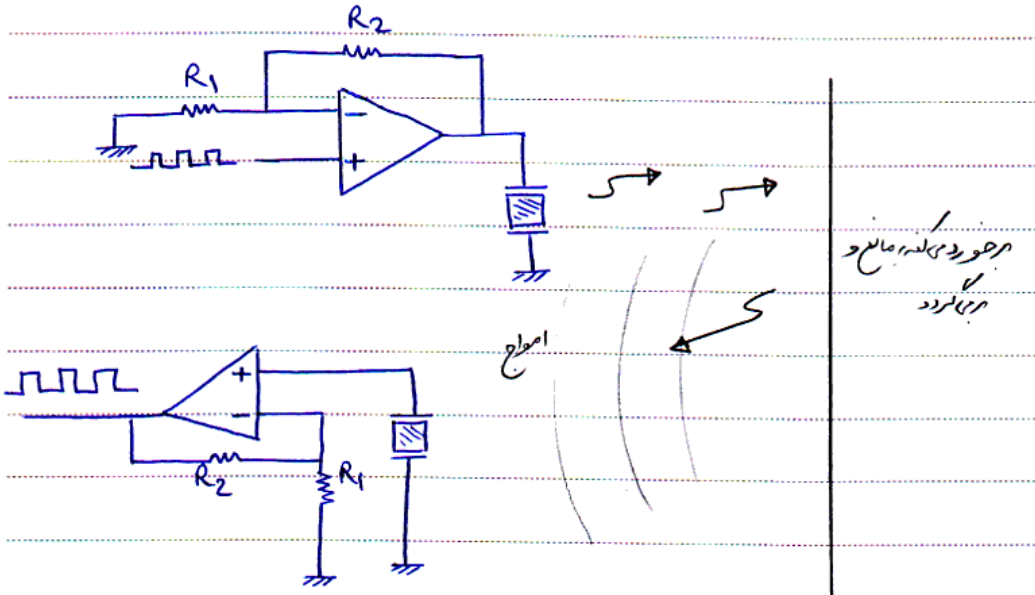
مطابق مدار فوق، با اتصال مقاومت R_L دو سر سنسور پیزوالکتریک، جریانی از آن جاری می‌شود متناسب با بار الکتریکی القا شده در سنسور پیزوالکتریک می‌باشد. با اندازه‌گیری ولتاژی می‌توانیم به بار القایی و از آن به نیروی اعمال شده پی ببریم. خاصیت فوق بازگشت‌پذیر نیز می‌باشد. به این صورت که اعمال ولتاژ الکتریکی به کریستال باعث جابجایی اتم‌های شبکه‌ی کریستال می‌گردد، به صورت $x = b'V$ بیان می‌گردد. هرگاه ولتاژ درونی به صورت متناوب باشد

www.tbi-net.com

حاجایی که نیز متداول است و در شعبه بکسوح مغناطیسی به وجود می آورد.

از سنسورهای سونوالتراسونیک برای ساخت سنسورهای آلترا سونیک استفاده می کنیم. این سنسورها در صنعت و در پزشکی کاربرد زیادی دارند.

انواع پاور اولتراسونیک



مثال) سرعت صوت در صنعت 330 m/s می باشد. شماره ی استفاده شده در مدار فوق دارای ولتاژ 330 KHz می باشد. هرگاه شماره به محض ارسال امواج مغناطیسی راه اندازی شود و بازیافت اولین پالس در گیرنده، شماره متوقف شود در این صورت اگر مقدار نشان داده شده عدد N باشد، فاصله ی مانع تا سنسور سونوالتراسونیک چقدر خواهد بود؟

ولتاژ کاربرد $f_c = 330KHz$

$$2L = \frac{N}{330K} \times 330 = \frac{N}{10^3} \qquad (x = vt)$$

مدت زمان رفت و برگشت

$$\rightarrow \boxed{L = \frac{N}{2}\ (mm)}$$

www.tbi-net.com

مدل‌های رطوبت :

رطوبت : { - رطوبت مطلق AH — مقدار بخارات موجود در $1m^3$ واحد حجم
- رطوبت اشباع SH
- رطوبت نسبی

$$\frac{\text{رطوبت مطلق}}{\text{رطوبت اشباع}} = \frac{AH}{SH}$$

رطوبت مطلق : مقدار بخارات بخار آب موجود در واحد حجم گاز یا واحد حجم هوا را رطوبت مطلق می‌گویند و واحد آن g/m^3 است.

رطوبت اشباع : مقدار ماکزیمم بخار آب در واحد حجم گاز یا حجم در دمای مورد نظر را رطوبت اشباع می‌گویند و واحد آن g/m^3 است.

رطوبت نسبی :

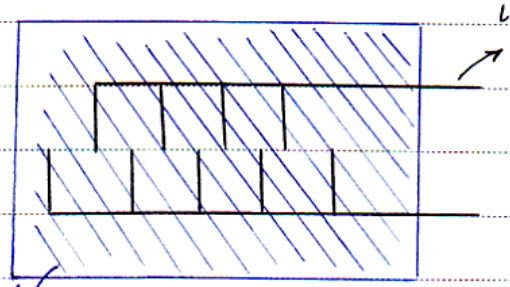
درصد رطوبت نسبی | $RH = \frac{AH}{SH} \times 100$

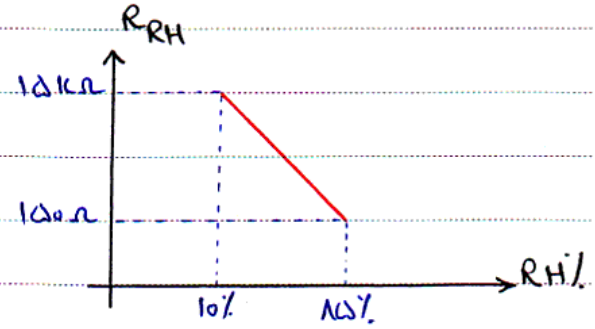
رطوبت نسبی : $0 \leq RH \leq 1$

رطوبت اشباع SH > رطوبت مطلق AH — در رطوبت نسبی $RH = \frac{AH}{SH}$

برای اندازه‌گیری رطوبت از دو نوع سنسور می‌توانیم استفاده کنیم : { ۱) سنسورهای مقاومتی
۲) سنسورهای خازنی

۱) سنسورهای مقاومتی:





$R_{RH} = \alpha RH + \beta$ ← یک رابطه خطی است.

R_{RH} و RH رابطه عکس دارند

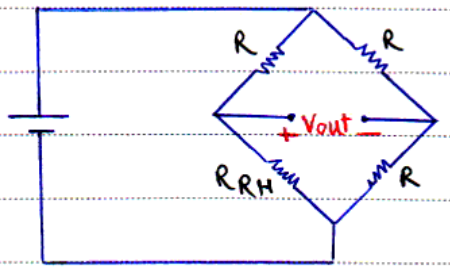
ازاین رو با ثابت کاهش دیگری است.

α : شیب

β : طول از مبدا

توضیح: این نوع سنسور رطوبتی از تغییرات مقاومت الکتریکی یک عنصر حساس به رطوبت استفاده می‌کند. در این نوع سنسور ۲ الکترود خالی درون محفظه‌ای با ماصه‌ای متخلخل از پلیمر قرار گرفته‌اند. فضای بین ۲ الکترودها از ماده‌ی طراح لسم به جذاب خوبی برای رطوبت است، پر شده است و در نتیجه مقاومت الکتریکی بین الکترودها با افزایش R_{RH} رطوبت کم می‌شود. بنابراین تغییرات مقاومت الکتریکی متناسب برای تغییرات رطوبت نسبی محیط است.

می‌توانیم از این سنسور در مدل اندازه‌گیری ولتاژ خروجی استفاده کنیم:



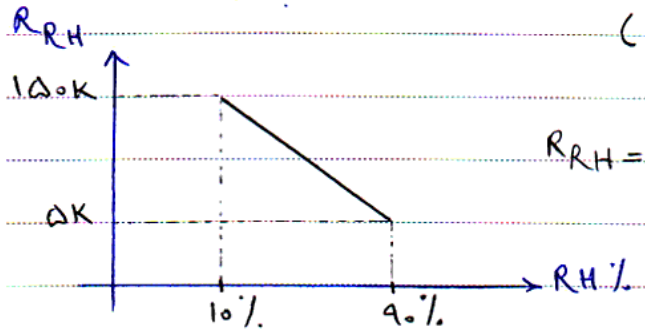
$$V_{out} = \left[\frac{R_{RH}}{R_{RH}+R} - \frac{R}{R+R}\right] V_s$$

$\rightarrow R_{RH} = ?$

$R_{RH} = \alpha RH + \beta \longrightarrow RH\,\% = ?$

ترین) برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی یک محیط از یک سنسور مقاومتی در دل اندازه‌گیری استفاده می‌کنیم. مشخصات این سنسور به صورت زیر می‌باشد. هرگاه مقاومت اندازه‌گیری شده از دل مرطوب با ۵۰ kΩ باشد، رطوبت نسبی چقدر است؟

(R_{RH})

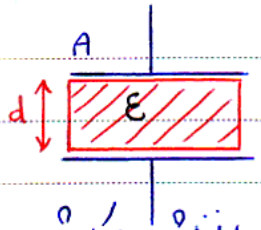


$R_{RH} = \alpha RH + \beta$

α : شیب

β : قول از دیدا

۲) سنسورهای رطوبت خازنی:



$C = \varepsilon \frac{A}{d}$

در این نوع سنسور، دی الکتریک موجود بین صفحات خازن، حساس به رطوبت می‌باشد و با افزایش یا کاهش رطوبت، مقدار آن تغییر می‌کند. لذا از این خاصیت برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی استفاده می‌کنیم.

تغییر کند C ← تغییر کند ε ← تغییرات دی الکتریک

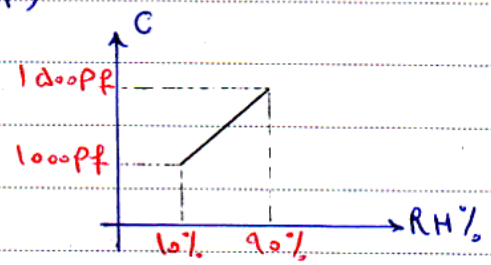
$\varepsilon_0 = 8.18 \times 10^{-12}$

$\varepsilon_0 = 8.20 \times 10^{-12}$

با کاهش رطوبت ← $C \downarrow$

با افزایش رطوبت ← $C \uparrow$

$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \varepsilon_r)$



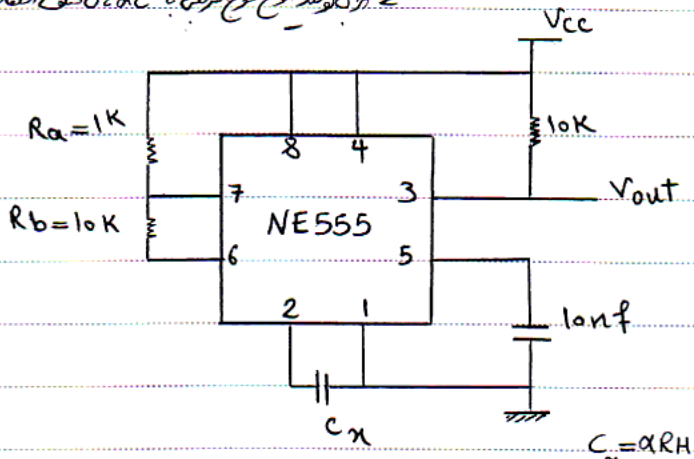
رابطه خطی $C = \alpha RH + \beta$

www.tbi-net.com

زمان جابجایی تغییرات رطوبت خاک نسبت به تغییرات رطوبت کم می‌باشد، لذا استفاده از اندازه‌گیری ac یا

خطا همراه است. در این مورد از نوسان ساز آی سی ۵۵۵ (Ic555) به صورت مدار شکل زیر استفاده می‌کنیم:

← برای تولید انواع موج مربعی با dc های مختلف استفاده می‌شود.



C_x : سنسور رطوبت خاکی

خروجی مدار: یک موج مربعی با دوره تناوب T است که وابسته به خازن C_x است.

می‌توانیم C_x را از دوره تناوب به دست آوریم و سپس در رابطه‌ی $C_x = \alpha RH + \beta$ می‌گذاریم و RH را به دست می‌آوریم.

$$T = 0/49 (R_a + R_b) C_x \longrightarrow Cx \longrightarrow RH\%$$

توجه: هدف اندازه‌گیری رطوبت نسبی است.

تاحالا ما رطوبت نسبی را اندازه گرفته‌ایم. حالا برای محاسبه‌ی رطوبت مطلق، رطوبت اشباع در دماها و محیط‌های مختلف هم مشخص است ← با رطوبت نسبی و اشباع می‌توان رطوبت مطلق را حساب کرد.

نمونه‌ای از سنسورهای رطوبتی خاکی:

HS 1100 , HM 1500

HS 1101 , Hu 1015 NA

Hu 10

www.tbi-net.com

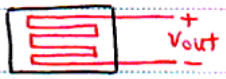
سنسورهای نوری :

یک سنسور نوری ابزاری است که وقتی با نور دیدنی IR یا UV تحریک شود نوعی عکس العمل الکتریکی تولید می‌کند.

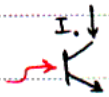
چهار دسته از انواع ساخته شده‌ی این سنسورهای نوری :

دیود نوری

LDR



سلول‌های خورشیدی



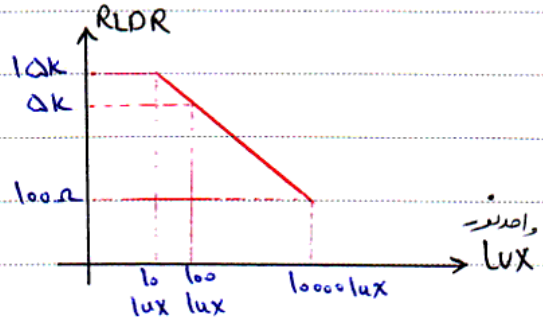
ترانزیستور نوری

LDR ها المان‌های مقاومتی‌اند که در روی یک صفحه قرار گرفته‌اند.

1) سنسور نوری LDR : light Detection Resistor

از ماده‌ی CdS (سولفید کادمیم) ساخته شده است.

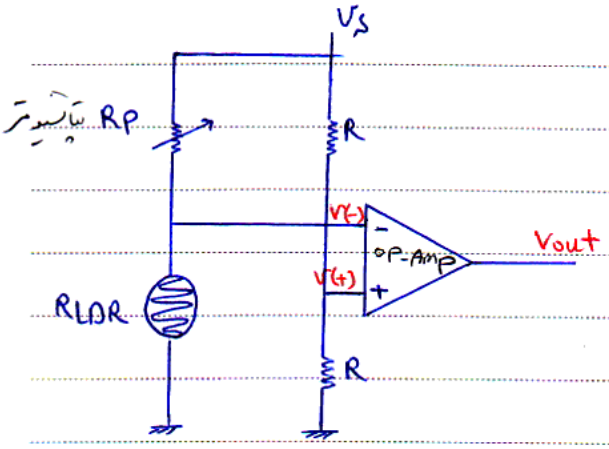
این سنسور یک مقاومت نوری می‌باشد که با در یافت نور محیط، مقاومتش تغییر می‌کند. معمولاً با افزایش نور، مقاومت آن کم می‌شود.



$100 lux = 0.5 \frac{mw}{m^2}$

www.tbi-net.com

مدار نمونه برای طبقه‌ی در نور محیط :

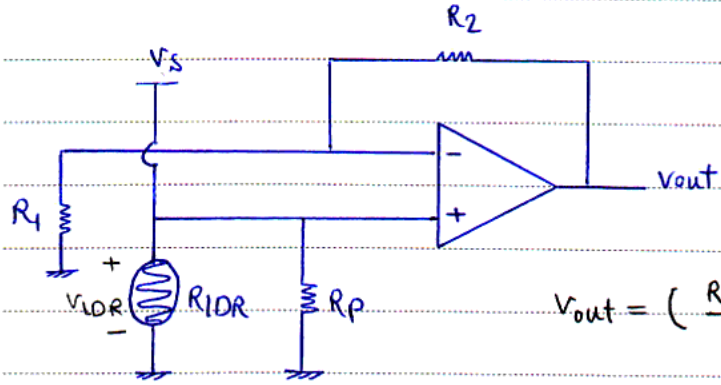


$$V(-) = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R_P} V_S$$

نور محیط کم ← R_{LDR} ↑ ← $V(-)$ ↑ ← $V(-) > V(+)$ ← opamp اشباع منفی

نور محیط زیاد ← R_{LDR} ↓ ← $V(-)$ ↓ ← $V(-) < V(+)$ ← opamp اشباع مثبت

مدار نمونه برای اندازه‌گیری نور محیط :



$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) V_{LDR}$$

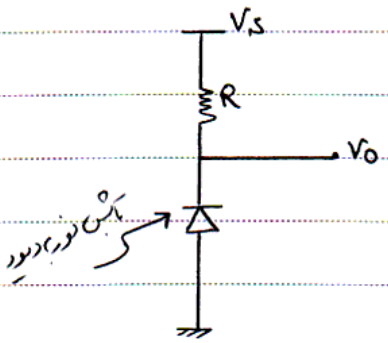
مقدار نور محیط ← lux ← R_{LDR} ← V_{LDR} ←

www.tbi-net.com

۲) دیودهای نوری (opto diode)

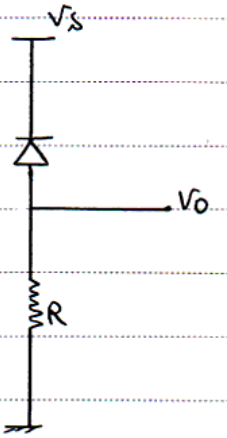
LDR ها سنسورهای نوری حساس هستند ولی سریع عمل نمی‌کنند و برای مواردی که استفاده‌ی سرعت زیاد، مناسب نمی‌باشد.

سنسورهای نوری ایده‌آل و مناسب برای سرعت زیاد، دیودهای نوری می‌باشند. اگر دیود نوری به صورت معکوس بایاس شود، جریان ناچیزی از آن عبور می‌کند. هرگاه دیود نوری در معرض نور قرار گیرد، دیود جریان معکوس قابل توجهی از خود عبور خواهد داد.



در نور کم ⟶ $V_O = V_S$ (دیود خاموش است)

در نور بیش تر ⟶ $V_O = 0$ (دیود روشن است)



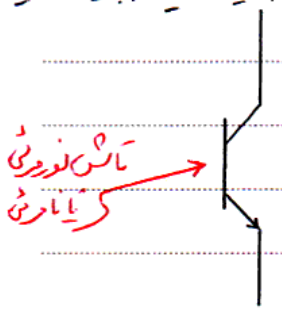
در نور کم ⟶ $V_O = 0$ دیود خاموش است.

در نور بیش تر ⟶ $V_O = V_S$ دیود روشن است.

www.tbi-net.com

۳) ترانزیستورهای نوری : opto transistor

بین ترانزیستورهای وصل ست.

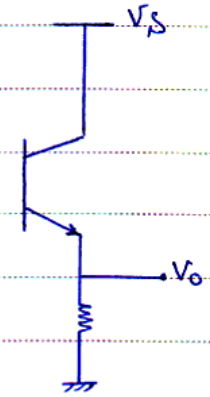


ترانزیستورهای سیلیکون معمولی از یک ترکیب npn و pnp تشکیل شده‌اند.

بنابراین به طور ضعیف شامل یک جفت پیوند P-N حساس به نوری باشند برخی

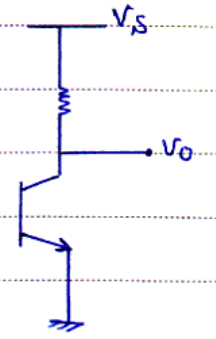
از آن ها به شکل ترانزیستورهای نوری در دسترس می باشند حساسیت یک ترانزیستور نوری معمولاً صدها برابر یک دیود نوری

می باشد ولی حداکثر فرکانس عملیاتی معمولاً آن چند صد کیلوهرتز است.



تحریک شود ⟶ $V_o = V_S$

تحریک نشود ⟶ $V_o = 0$



تحریک شود ⟶ $V_o = 0$

تحریک نشود ⟶ $V_o = V_S$

انواع ترانزیستورهای نوری :

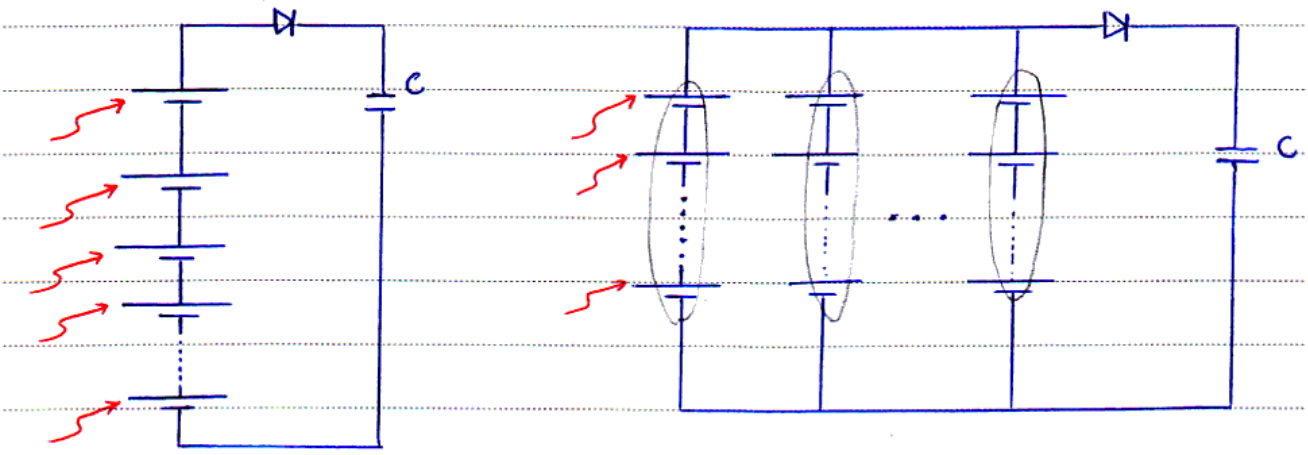
MRP 1102

MRP 4501

MRP 1101

www.tbi-net.com

۴) سلول های خورشیدی Solarcell یا Suncell



اینگونه سلول های خورشیدی از عناصر مدل نوری ولتاژی باشند یک سلول خورشیدی منفرد در حالت فعال، ولتاژ مدار باز در حدود ۵۰۰ mV بسته به جریان نور تولیدی کند. سلول های مجزا جداگانه مطابق شکل فوق می توانند جهت ازدیاد ولتاژ و جریان به کار گرفته شوند.

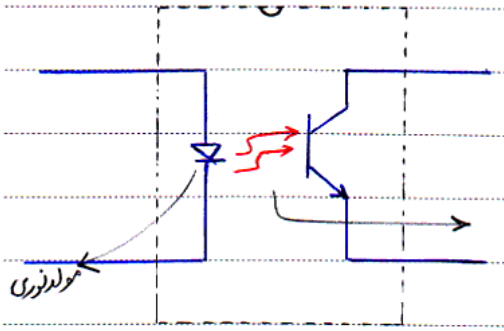
تزویج کننده های نوری :

تزویج کننده نوری، ابزار یا سیستمی است که می تواند برای تزویج خروجی یک مولد نوری به ورودی یک گیرنده نوری به کار رود.

هر تزویج کننده نوری کاربردی می تواند با تزویجی که به شکل فیزیکی قابل قطع، غیر قابل قطع باشد، در انواع بازو بسته دسته بندی شود. بنابراین تزویج کننده های نوری می توانند به اشکال ① بسته و غیر قابل قطع، ② بسته و قابل قطع، ③ بازو قابل قطع و بازو ④ غیر قابل قطع طراحی شوند.

www.tbi-net.com

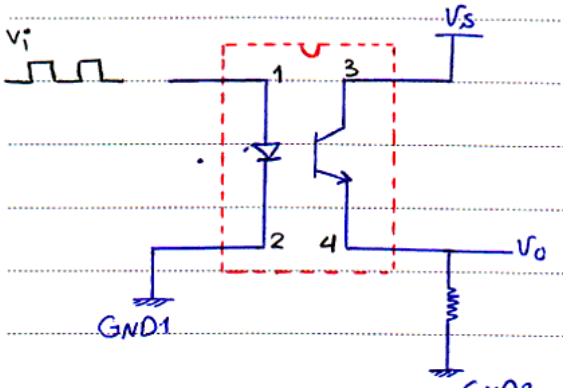
۱) تزویج کننده نوری سته غیر قابل قطع : opto Coupler

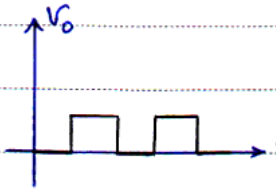


IC های عمومی
- IC 3181
- MOC 3010
- MCT2E
- CNY17

ساده ترین تزویج کننده نوری ، نوع سته ی غیر قابل قطع می باشد . که به طور معمول از یک LED یا دیود گرفته تا ترانزیستور نوری مزدوج با آن تشکیل شده است . این دو قسمت را در درون یک پلاستیک و در داخل یک محفظه ی سته و بدون نور از خارج نور نامرئی یا IR به یکدیگر تزویج می کنند . از کاربردهای این نوع تزویج کننده ، برای ایزولاسیون ۲ مدار مختلف و جدا سازی منبع تغذیه می توان استفاده کرد . تزویج کننده ی نوری سته ی غیر قابل قطع همچنین برای جداسازی مصرف کننده پرقدرت یا ولتاژ بالا و سیگنال کنترل کننده پرقدرت یا ولتاژ مصرف کننده پایین به کار می رود .

مدارهای کاربردی :



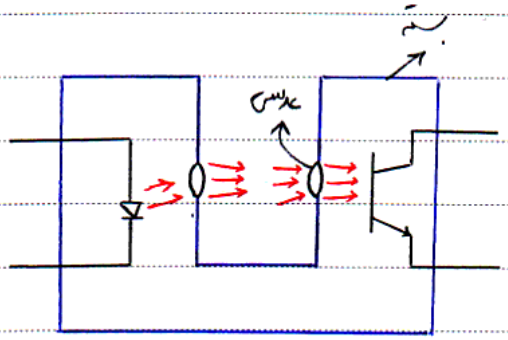


اگر $V_i = high \rightarrow T_r$ اشباع $\rightarrow$ تمام V_s روی خروجی می افتد .

اگر V_s را زیاد کنیم می توانیم دامنه خروجی را زیاد کنیم .

www.tbi-net.com

۲) تزویج کننده نوری بسته مابل قطع :



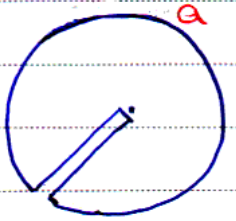
بر دو نوع می باشد (الف) نوع شمارشی
(ب) نوع انعکاسی

(الف) نوع شمارشی :

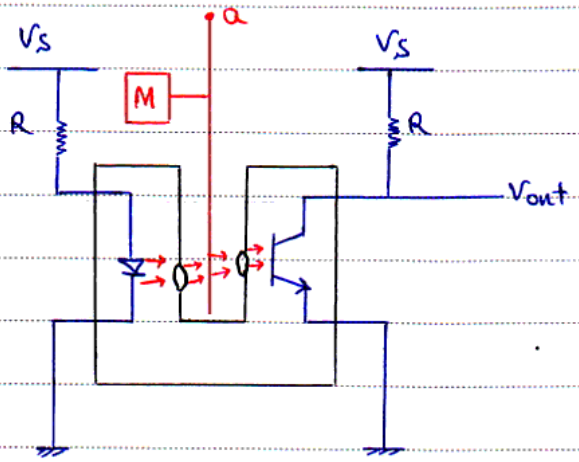
در نوع شمارشی، محفظه ای بسته و فرستنده طوری طراحی و ساخته می شوند که پرتو تابشی فرستنده و گیرنده از طریق محیط بیرونی می باشد. بنابراین می توان آن را قطع یا وصل کرد. این نوع تزویج کننده ها برای تشخیص وجود اجسام به کار گرفته می شود و در ساخت سنسورهای تشخیص شی (proximing) به کار برده می شود.
↓ مثل تاکومتر

به عنوان مثال از کاربردهای این تزویج کننده، ساخت تاکومتر به صورت مدار شکل زیر اشاره کرد :

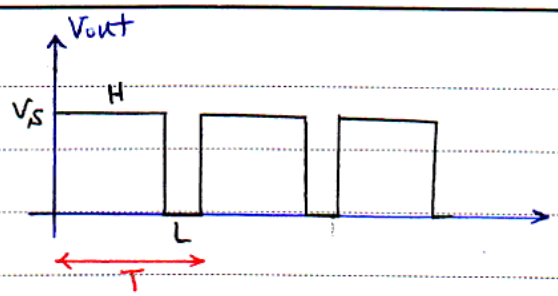
دور سنج : اندازه گیری دور در دقیقه



Tachometer:



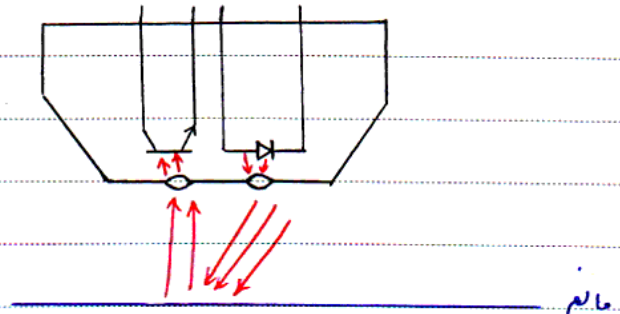
www.tbi-net.com



$V_{out} = V_S$ و خاموش T_r ← تبدیل برای سنسور T_r

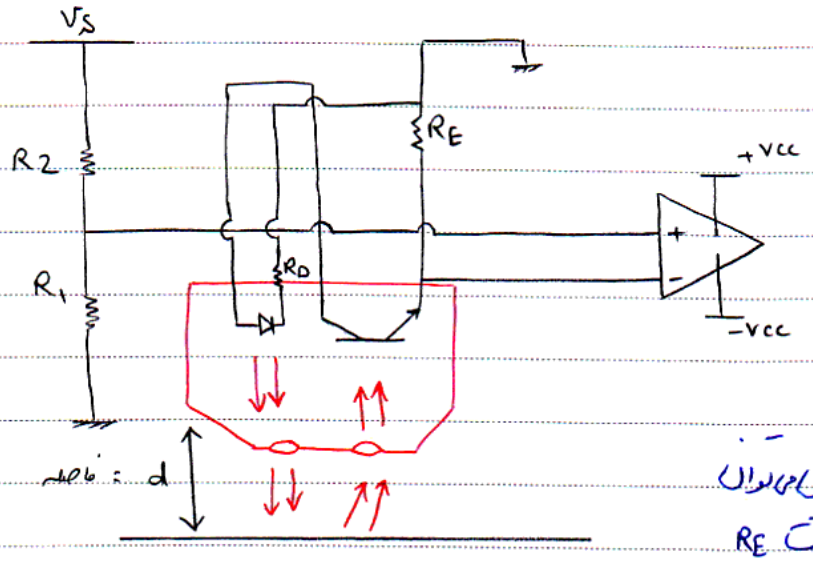
اگر دریک پریود زمانی High/low ها را اندازه گرفته ← دوره را اندازه گرفته

ب) نوع انعکاسی :



نمونه : GP2D120

برای فاصله های بین 10 _ 80 cm cm



از مدار فوق برای تشخیص یک فاصله خاص می توان استفاده کرد. این فاصله را می توان با مقاومت R_E تنظیم داد. در سنسورهایی که برای تشخیص فاصله قرار می گیرند، خروجی به صورت دو حالته است. بلکه به صورت یک عدد خطی یا یک ولتاژ آنالوگ متناسب با فاصله می باشد.

فاصله از d کمتر شود → T_r روشن → $V(-) \uparrow$ → $V(-) > V(+)$

→ opamp اسباع منفی

به عنوان مثال GP2D12

www.tbi-net.com

در سایه سار اندیشه ، بی هیچ چشم داشت زمینی

عهد بسته ایم آسمانی شویم .

در این محفل علمی با ما همراه باشید ./

زمان : همین حالا تا همیشه

مکان : تارنمای برق ایران ؛ www.tbi-net.com

رسیده ایم پر از رنج راه تا دریا

خوشا یکی شدن رودها خوشا دریا

نه ما نه من نه تو ، او نقطه سرانجام است

بیا که بی من و تو ما شویم و ما دریا

من و تو چشمه باران ابر او بودیم

از ابتدا دریا بود و انتها دریا

اندازه گیری الکترونیکی

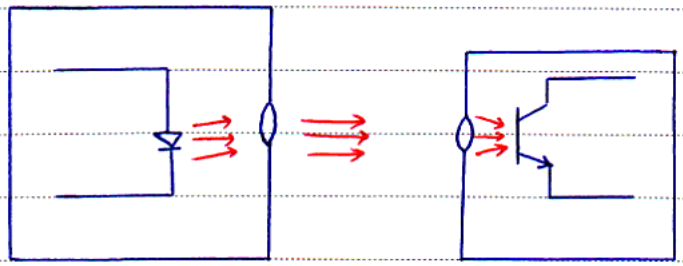
(بخش چهارم)

استاد باغبانی

تهیه و تنظیم :

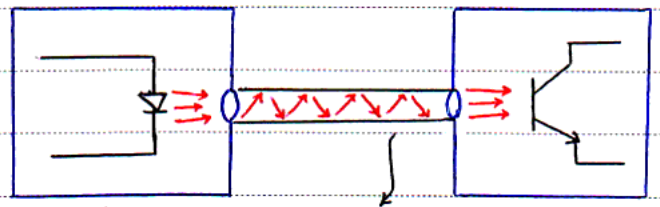
www.tbi-net.com

۳) تزویج کننده با زوج قابل قطع: یعنی کانال ارتباطی و فرستنده و گیرنده را می‌توان به راحتی قطع کرد.
فرستنده و گیرنده هر دو در یک بسته قرار گرفته‌اند و از هم جدا هستند.



تزویج کننده‌های با زوج قابل قطع، نوعی دیگر از تزویج کننده‌ها می‌باشند که در آن مولد نوری و گیرنده نوری در یک بسته مشترک قرار می‌گیرند. از این تزویج کننده در سیستم‌هایی برای تشخیص شر، و همچنین در سیستم‌های کنترل از راه دور برای کنترل یک دستگاه مانند تلویزیون استفاده می‌کنیم.

۴) تزویج کننده با زوج غیر قابل قطع: یعنی کانال ارتباطی و فرستنده و گیرنده قابل قطع است.
یعنی فرستنده و گیرنده در دو بسته جداگانه هستند.



خروجی تحریک نوری می‌باشد.

مزیت‌ها: حذف نویز ـ انتقال زیاد اطلاعات ـ غیر قابل قطع بودن

توضیح: در تزویج کننده‌های با زوج غیر قابل قطع، کانال ارتباطی بین مولد نوری و گیرنده نوری، فیبر نوری می‌باشد. از کابردهای

Subject :

Year . Month . Date . ( )

این تبدیل کننده می‌تواند سیگنال الکتریکی به سیگنال نوری و انتقال آن به مقصد بدون القاء نویز از طرف محیط بر آن می‌باشد. در مقصد نیز نور تولید شده دریافت و تبدیل به سیگنال الکتریکی می‌گردد.

آماده سازی و پردازش سیگنال :

سیگنال الکتریکی تولید شده در خروجی اغلب ترانسدیوسرها و سنسورها در محدوده‌ی مناسبی نمی‌باشد، لذا به طور مستقیم نمی‌توان آن را به مبدل‌های ADC، نشان دهنده‌ها و پردازشگرها متصل کرد. با استفاده از تقویت کننده‌ها می‌توان این سیگنال‌های ضعیف را تقویت نمود و برای فرآیندهای بعدی آماده ساخت. تقویت کننده‌ها وجود ایده‌آل نبوده و دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. برای از دست ندادن دقت اندازه‌گیری، لازم است از این محدودیت‌ها اطلاع داشته باشیم.

* از جمله تقویت کننده‌هایی که برای تقویت سیگنال استفاده می‌کنیم تقویت کننده‌های عملیاتی هستند.

- تقویت کننده‌های عملیاتی یکی از مهم‌ترین IC های استاندارد می‌باشند. دلیل آن عبارت است از:

۱) رفتار آن ایده‌آل با توجه به پارامترهایش بسیار به حالت ایده‌آل نزدیک است. بنابراین ساخت مدارهای الکترونیکی با آن که از دقت بالایی برخوردار است.

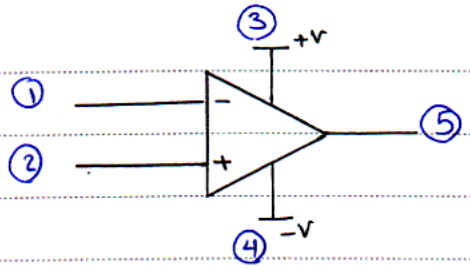
۲) قابلیت اطمینان مدارهایی که با آن ایده ساخته می‌شود بسیار زیاد است. به گونه‌ای که آزمایش در طراحی اولیه برروی کاغذ یا در شبیه‌سازی درست جواب دهد، در عمل نیز همانگونه خواهد بود.

P4PCO

www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )



① : ورودی منفی

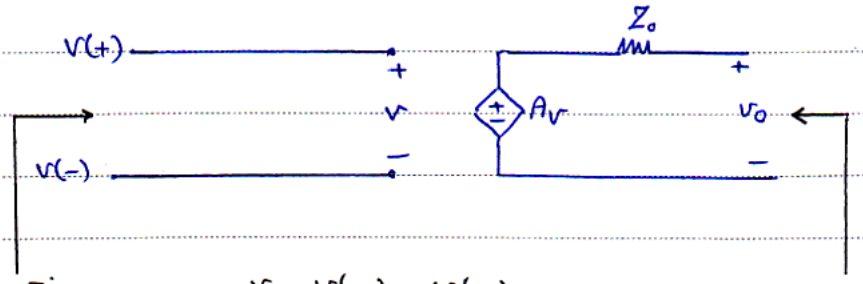
② : ورودی مثبت

③ : تغذیه مثبت

④ : تغذیه منفی

⑤ : خروجی

اگر بخواهیم اپ امپ را در حالت ایده آل رسم نماییم، داریم:

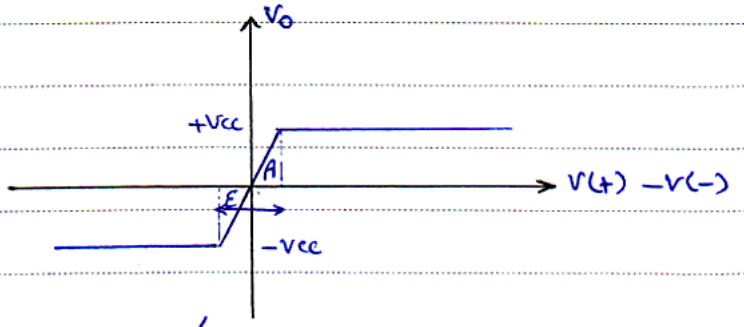


$V = V(+) - V(-)$

در ایده آل $A = \infty$

$Z_{in} = \infty$

$Z_o = 0$



ε : ناحیه خطی بودن

نکته: با استفاده از فیدبک منفی مابین خروجی و ورودی منفی می توانیم ناحیه خطی بودن تقویت کننده را گسترش دهیم.

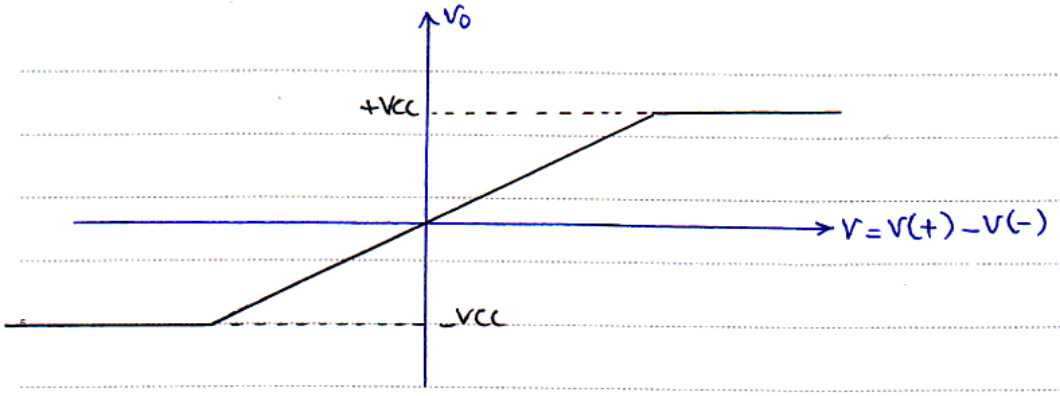
این کار باعث می شود که بهره تقویت کننده پایدارتر شود.

www.tbi-net.com

V9

Subject:

Year. Month. Date. ( )



کاربردهای op_Amp :

۱_ تقویت کننده عملی

۲_ تقویت کننده مثبت

۳_ جمع کننده

۴_ ساخت DAc

۵_ مدار مقایسه کننده

۶_ مدار انتگرال گیر

۷_ مدار مشتق گیر

۸_ مدل جریان به ولتاژ در علس

۹_ ساخت منبع جریان ایده آل

۱۰_ ساخت بلندگوی ولتاژی LP ، Bp ، HP

۱۱_ الکتریک متر

۱۲_ اسیلاتور سازیت

۱۳_ یکسو کننده تمام موج دقیق

۱۴_ ساخت انواع اسیلاتورها

۱۵_ ساخت مدار لگاریتم گیر

۱۶_ ساخت ضرب کننده آنالوگ

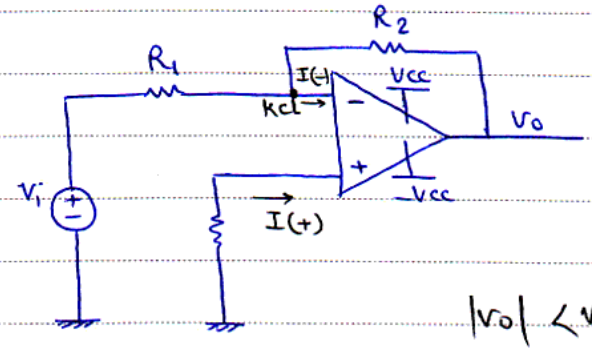
۱۷_ ساخت ولت متر های RMS

۱۸_ مدل های L/C و C/L

PdPCO

www.tbi-net.com

۱) تقویت کننده منفی : (ایده آل)



شرط اینکه OP_Amp همیشه در ناحیه خطی باشد : $|V_o| < V_{cc}$

$|V_i| < \frac{R_1}{R_2} V_{cc}$ یا $\left|\frac{R_2}{R_1} V_i\right| < V_{cc}$

سیگنال ورودی V_i به ورودی منفی اپ امپ وصل می‌شود.

شرط لازم برای اینکه تقویت کننده خطی باشد ، $I(-)=I(+)=0$ $\quad V(-)=V(+)$ $\quad A=+\infty$ $\longrightarrow$

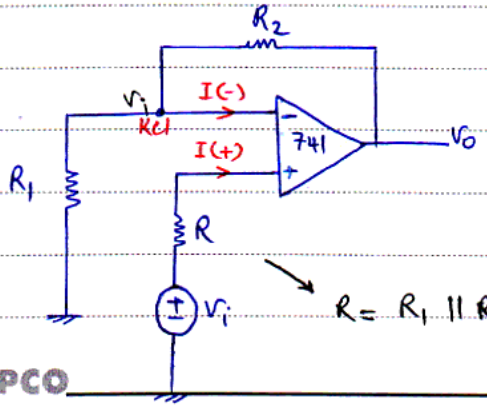
در غیر این صورت تقویت کننده از ناحیه خطی خارج می‌شود یا به اشباع مثبت می‌رود یا به اشباع منفی.

$V(-)$: هم مجازی است زیرا مستقیماً به زمین وصل نیست و فقط پتانسیل آن صفر است.

علامت منفی نشان می‌دهد که خروجی 180° با ورودی اختلاف فاز دارد.

KCL : $\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = 0 \longrightarrow \boxed{V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i}$

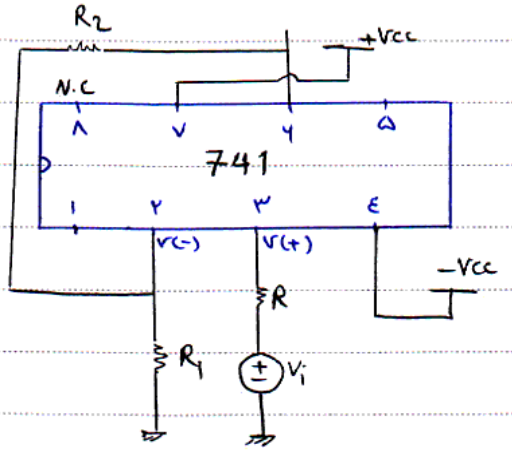
۲) مدار تقویت کننده مثبت (ایده آل) :



$R = R_1 \parallel R_2$

P4PCO

www.tbi-net.com



$I(-) = I(+) = 0$

KCL: $\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_2} = 0 \rightarrow \boxed{V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i}$

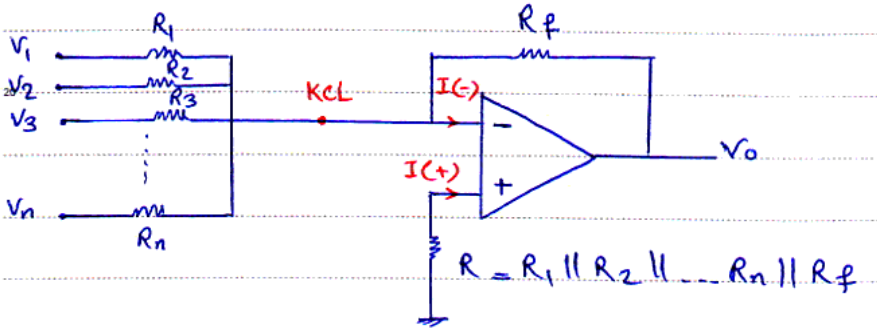
شرط در ناحیه خطی بودن این تقویت کننده :

$|V_o| < V_{cc}$

$\left| \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \right| < V_{cc}$

$\hookrightarrow \boxed{|V_i| < \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc}}$ ← شرط خطی بودن تقویت کننده

۳) مدار جمع کننده :



$I(-) = I(+) = 0$

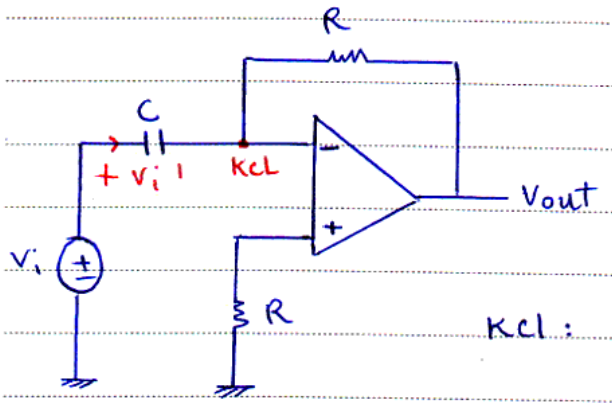
KCL : $\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} + \frac{V_o}{R_f} = 0$

$\rightarrow V_o = -R_f \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{R_i}$

اگر : $R_i = R_f \qquad i = 1, 2, \dots, n$

$\rightarrow \boxed{V_o = -\sum_{i=1}^{n} V_i}$

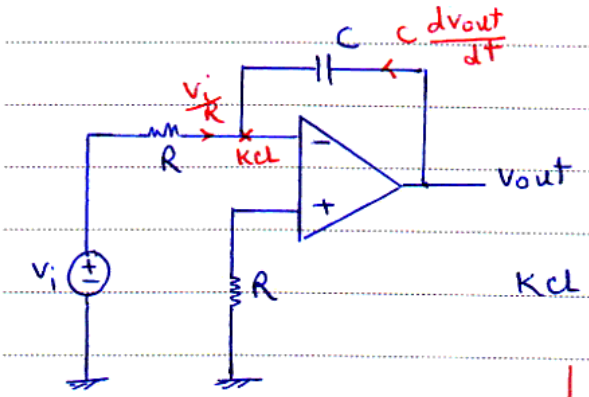
مدار مشتق گیر:



$$KCL: C\frac{dv_i}{dt} + \frac{V_{out}}{R} = 0$$

$$\rightarrow \boxed{V_{out} = -RC\frac{dv_i}{dt}}$$

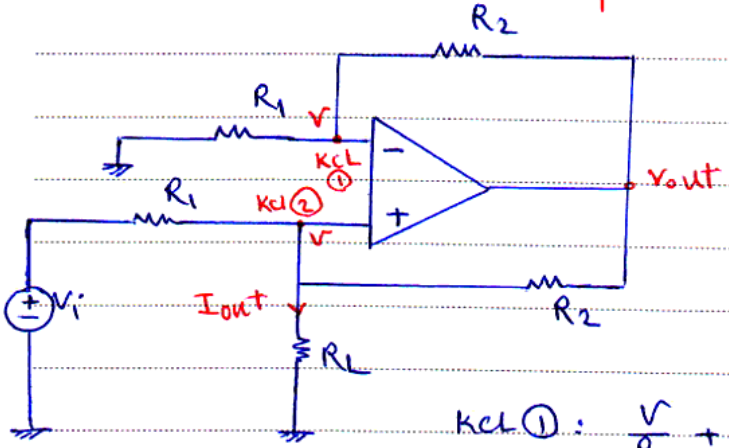
مدار انتگرال گیر:



$$KCL: \frac{V_i}{R} + C\frac{dv_{out}}{dt} = 0$$

$$\rightarrow \boxed{V_{out} = \frac{-1}{RC}\int_0^t V_i(t)\,dt}$$

منبع جریان ایده آل:



$$KCL①: \frac{V}{R_1} + \frac{V - V_{out}}{R_2} = 0 \rightarrow \frac{V - V_{out}}{R_2} = \frac{-V}{R_1}$$

$$KCL②: \frac{V - V_i}{R_1} + \frac{V - V_{out}}{R_2} + \frac{V}{R_L} = 0$$

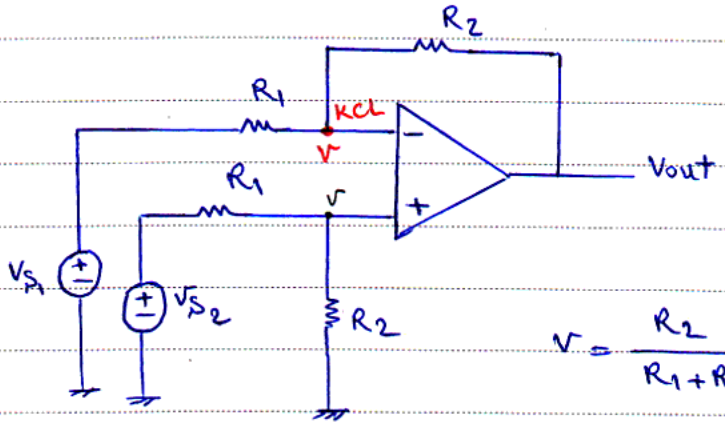
Subject :

Year . Month . Date . ( )

$$\frac{V}{R_1} - \frac{V_i}{R_1} - \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_L} = 0 \longrightarrow \boxed{V = \frac{R_L}{R_1} V_i}$$

$$I_{out} = \frac{V}{R_L} = \frac{V_i}{R_1} \longrightarrow \boxed{I_{out} = \frac{V_i}{R_1}}$$

مدار تقاضل کننده :



$$V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{S_2}$$

$$KCL: \frac{V - V_{S_1}}{R_1} + \frac{V - V_{out}}{R_2} = 0$$

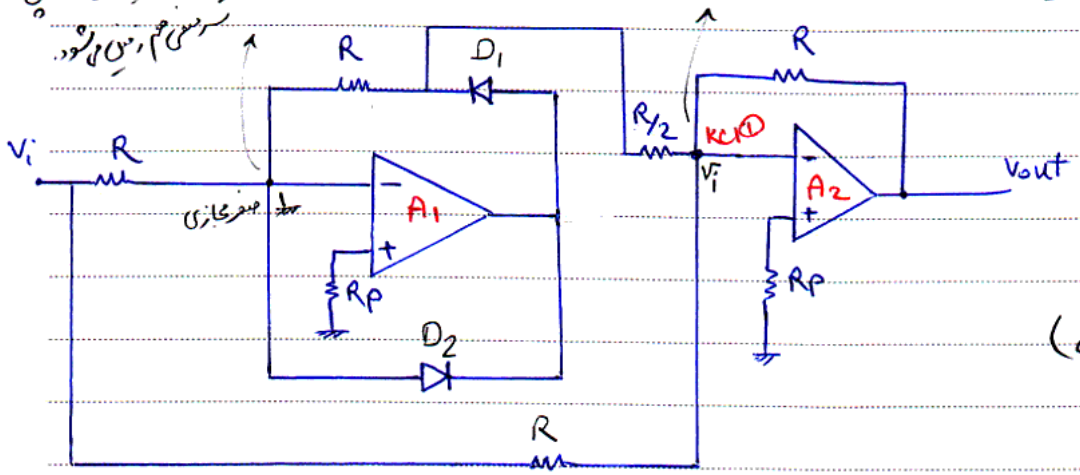
$$\frac{\frac{R_2}{R_1+R_2} V_{S_2} - V_{S_1}}{R_1} + \frac{\frac{R_2}{R_1+R_2} V_{S_2} - V_{out}}{R_2} = 0$$

$$\frac{R_2}{R_1(R_1+R_2)} V_{S_2} - \frac{V_{S_1}}{R_1} + \frac{V_{S_2}}{R_1+R_2} - \frac{V_{out}}{R_2} = 0$$

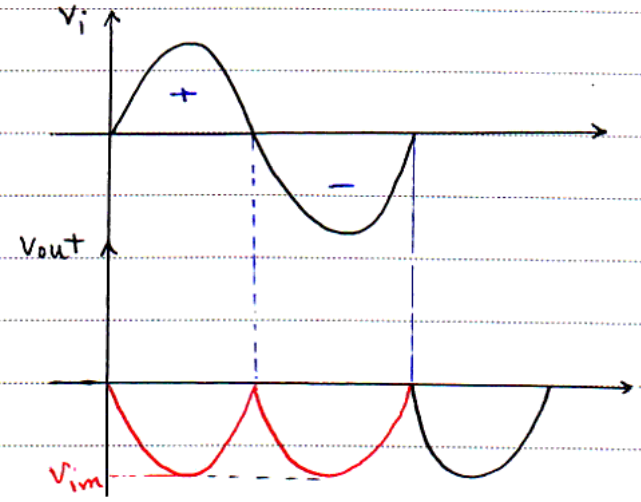
$$\frac{V_{out}}{R_2} = \left(\frac{(R_2 + R_1)}{R_1(R_1 + R_2)}\right) V_{S_2} - \frac{V_{S_1}}{R_1} = \frac{V_{S_2}}{R_1} - \frac{V_{S_1}}{R_1}$$

$$\longrightarrow \boxed{V_{out} = \frac{R_2}{R_1}\left[V_{S_2} - V_{S_1}\right]} \longrightarrow$$ تقویت کننده تفاضلی

یکسوساز تمام موج دقیق :



(یکسوساز تمام موج منفی)



این مدار در سیستم کنترل برای اندازه‌گیری کاربرد دارد.

① $V_i > 0 \rightarrow$ آپ امپ منفی $A_1 \rightarrow D_1$ (off), D_2 (on)

KCL①: $\frac{V_i}{R} + \frac{V_{out}}{R} = 0 \rightarrow \boxed{V_{out} = -V_i}$

② $V_i < 0 \rightarrow$ آپ امپ مثبت $A_1 \rightarrow D_1$ (on), D_2 (off)

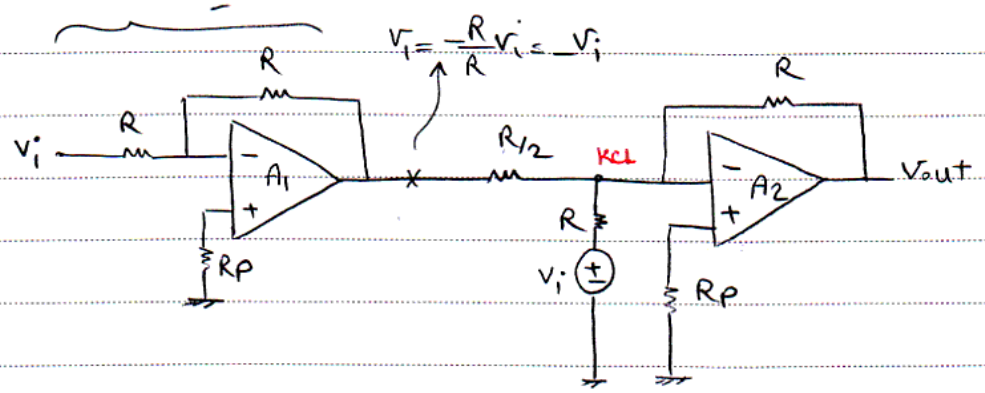
www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )

تقویت کننده معکوس

مدار معادل حالت دوم ($V_i = 0$)



$$KCL: \quad \frac{V_i - 0}{R} + \frac{-V_i - 0}{R_{/2}} + \frac{V_{out} - 0}{R} = 0$$

$$\rightarrow \quad \frac{V_{out}}{R} = \frac{V_i}{R} \quad \rightarrow \quad \boxed{V_{out} = V_i}$$

تمرین) در مدار فوق جهت دیود ها را عوض کرده و دوباره حوضی را بدست آورید؟ (یکوسیلاتور با دوج مثبت می‌شود)

محدودیت های تقویت کننده های عملیاتی:

۱) آفست ورودی
۲) بهره مد مشترک
۳) پاسخ فرکانسی
۴) جریان دهی کم در خروجی
۵) سرعت پاسخ دهی، Slew Rate

۱) آفست ورودی:

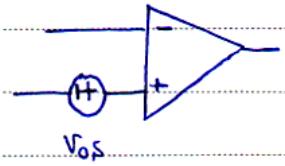
به خاطر عدم تقارن ترانزیستورهای موجود در داخل تقویت کننده ای عملیاتی و مخصوصاً در ورودی،

همانگونه که ولتاژهای دو پایه ورودی باهم برابر باشند، ولتاژ خروجی مداری غیر صفر خواهد داشت. به این ولتاژ،

Subject :

Year . Month . Date . ( )

ولتاژ آفست می‌گوییم ولتاژی که به یکی از ورودی‌ها باید بدهیم تا خروجی صفر شود.



ولتاژ آفست به دقت با تغییر دما، تغییر می‌کند.

به تغییر ولتاژ آفست ناشی از تغییر دما، ولتاژ دریفت می‌گوییم.

روش‌های مختلف حذف آفست ورودی:

۱) استفاده از پایه‌های در نظر گرفته شده برای حذف آفست

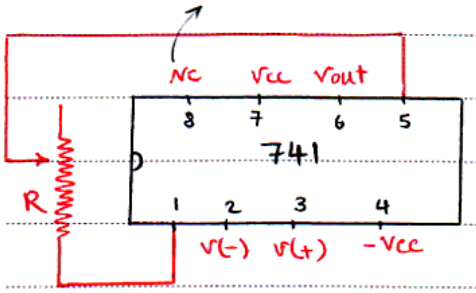
۲) استفاده از مدار خارجی جهت حذف آفست ورودی

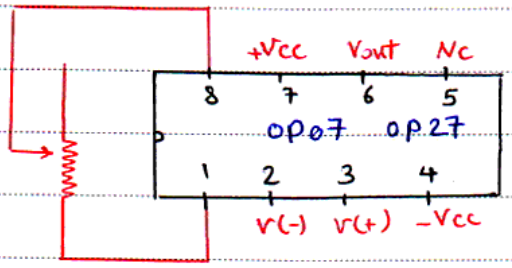
۳) استفاده از مدار خودکار حذف آفست

۴) حذف آفست در هنگام ورود سیگنال یا داده

۱)

به جای وصل است.

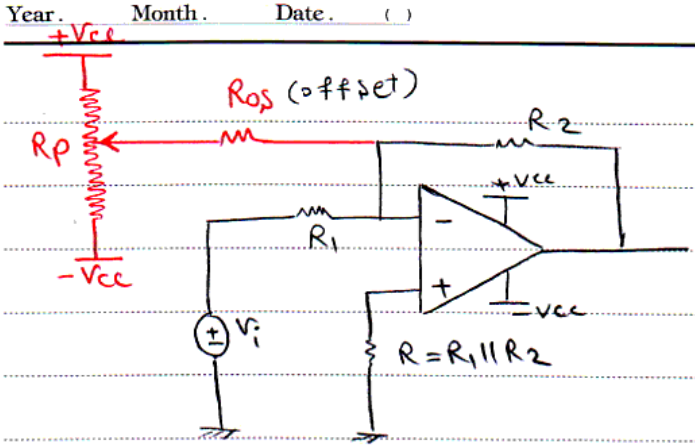




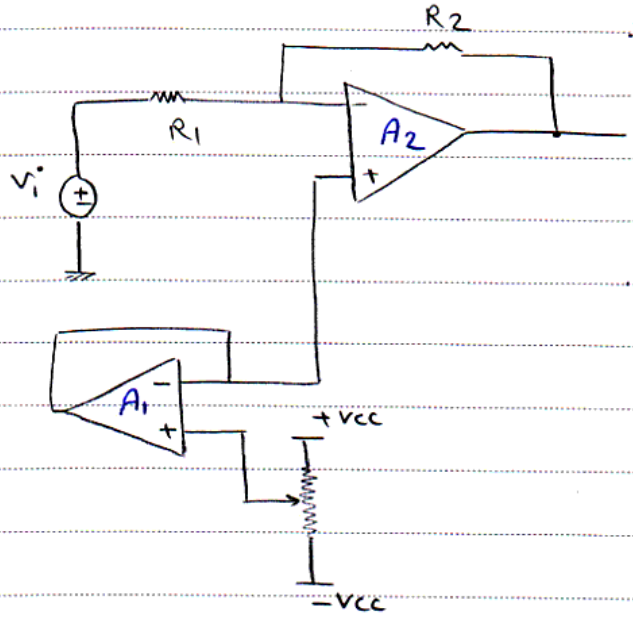
Subject :

Year . Month . Date . ( )

۲) استفاده از مدار خارجی :



این مدار برای حذف آفست ورودی خیلی کاربرد دارد.



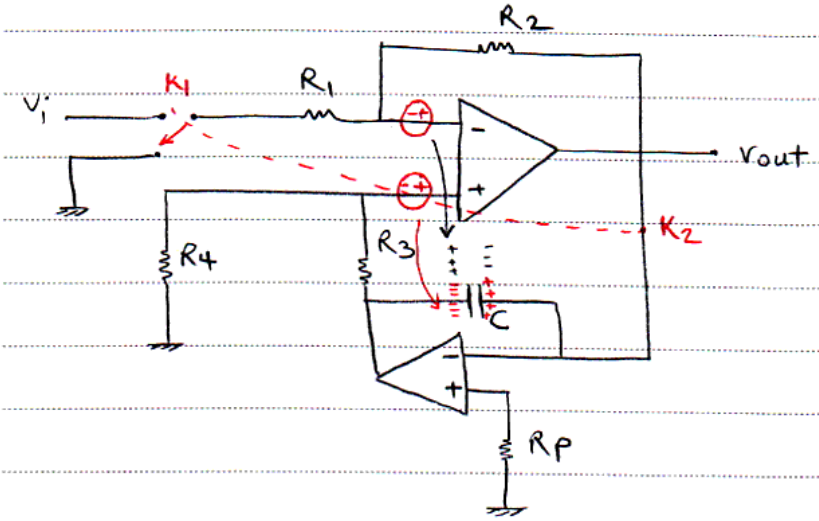
منبع ولتاژ ایده‌آل مقاومت داخلی اش صفر است.

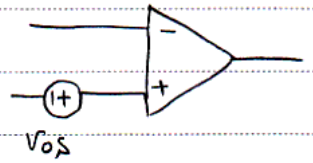
منبع جریان " " " بی‌نهایت "

در این مدار (مدار فوق) از آنجائیکه ورودی مثبت A_2 به خروجی بافر A_1 متصل است، امپدانس (یا مقاومت) دیده شده از پایه‌ی مثبت A_2 بسیار بزرگ است از این رو جریان تقریباً صفر، ولتاژ اعمال شده به پایه‌ی مثبت A_2 تقسیم نمی‌شود. با استفاده از این مدار خارجی می‌توانیم در ورودی سیگنال ورودی V_i، آفست ورودی را حذف کنیم.

سپس سیگنال ورودی اعمال شده و تقویت شده به صورت ایده‌آل عمل خواهد کرد.

۳) استفاده از مدار خودکار حذف آفست:





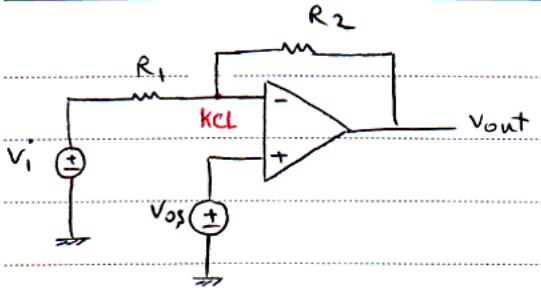
در این مدار ابتدا کلید K_1 سیگنال ورودی را جدا کرده و به زمین متصل می‌شود. سپس کلید K_2 وصل خواهد شد. در این حالت اگر آفست ورودی در پین مثبت باشد باعث می‌شود که خازن C طوری شارژ شود که به پین مثبت ولتاژ منفی اعمال کند و این باعث می‌شود جمع جبری ولتاژ آفست و ولتاژ دو سر خازن صفر شود.

اگر ولتاژ آفست در پین منفی باشد طوری V_{out} منفی بوده و خازن طوری شارژ می‌شود که به همان اندازه‌ی ولتاژ آفست موجود در پین منفی به پین مثبت اعمال کرده و در نتیجه تفاضل آن‌ها باز صفر خواهد شد.

بعد از این مرحله، کلید K_2 باز شده و کلید K_1 سیگنال V_i را به ورودی وصل می‌کند و این دستگاه تقویت کننده بدون آفست عمل خواهد کرد.

Subject :

Year . Month . Date . ( )



اگر ولتاژ آفست حذف نشود همراه با سیگنال ورودی

تقویت می‌گردد.

$$V_{out} = \frac{-R_2}{R_1} V_i + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{os}$$

۴ـ حذف آفست هنگام ورود سیگنال:

$$KCL: \frac{V_i - V_{os}}{R_1} + \frac{V_{out} - V_{os}}{R_2} = 0$$

این روش در مواردی کاربرد دارد که دامنه سیگنال ورودی از دامنه ولتاژ آفست ورودی خیلی بزرگتر باشد. در این روش سیگنال را بدون نیاز به حذف آفست تقویت کرده و به کمک محاسبات تبدیل می‌کنیم و هنگام ورود از مقدار آفست آن را کم می‌کنیم.

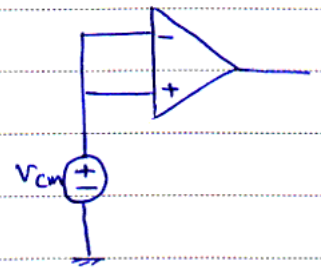
ـ بهره مد مشترک:

مد مشترک $V_{cm} = \frac{V_1 + V_2}{2}$

در حالت ایده‌آل، ولتاژ خروجی یک تقویت‌کننده عملیاتی، تنها به اختلاف تفاضلی $V_d = V_1 - V_2$ دو ولتاژ ورودی بستگی دارد و با مقدار مشترک آنها تغییری نمی‌کند.

$$V_{cm} = \frac{V(+) + V(-)}{2}$$

دو ولتاژ ورودی مثبت و منفی دارد اما در عمل دامنه‌ای از ولتاژ مشترک به صورت تقویت می‌شود نیز وجود دارد. نسبت تغییرات ولتاژ خروجی به ولتاژ مد مشترک را بهره مد مشترک می‌نامند.



$$\rightarrow A_c = \frac{V_{out}}{V_{cm}}$$

نکته: هر چقدر بهره مد مشترک کم باشد تقویت‌کننده به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر است.

P4PCO

www.tbi-net.com

Subject :

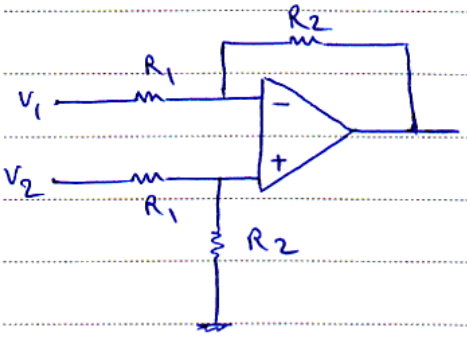
Year . Month . Date . ( )

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c}$$

$$CMRR\ dB = 20 \log \frac{A_d}{A_c}$$

$$20 \log CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c}$$

در طراحی تقویت کننده های عملیاتی سعی می کنند تا CMRR عدد بسیار بزرگی باشد. به عنوان مثال در تقویت کننده های ابزار دقیق، CMRR برابر 90 dB می باشد.



$$v_{out} = A_d v_d + A_c v_{cm}$$

$$v_d = v_2 - v_1 \qquad \begin{cases} v_2 - v_1 = v_d \\ v_2 + v_1 = 2 v_{cm} \end{cases}$$

$$v_{cm} = \frac{v_2 + v_1}{2}$$

$$\rightarrow \begin{cases} v_2 = v_{cm} + \frac{1}{2} v_d \\ v_1 = v_{cm} - \frac{1}{2} v_d \end{cases}$$

$$\rightarrow v_{out} = A_d v_d + A_c v_{cm} = \frac{R_2}{R_1} v_d + \frac{A_d}{CMRR} v_{cm} \qquad |A_d| = \frac{R_2}{R_1}$$

$$v_{out} = \frac{R_2}{R_1} v_d + \frac{R_2}{R_1\ CMRR} v_{cm}$$

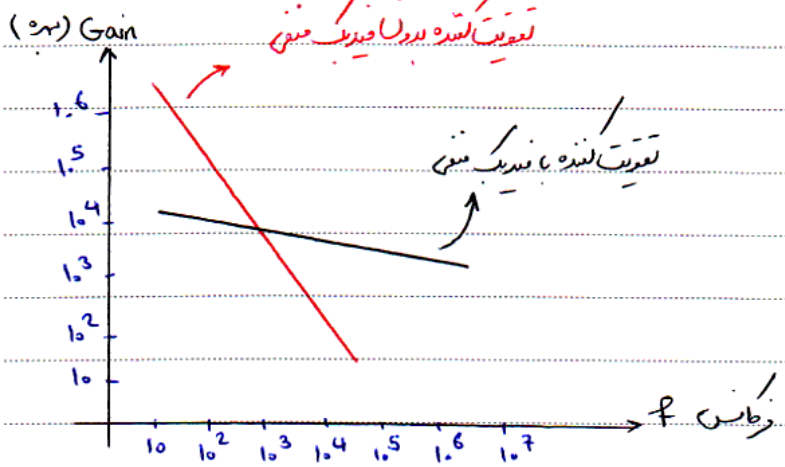
ولتاژ مد مشترک همواره با ولتاژ مد تفاضلی تقویت می گردد.

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \rightarrow A_c = \frac{A_d}{CMRR}$$

Subject :

Year . Month . Date . ( )

- پاسخ فرکانسی تقویت کننده های عملیاتی :



هرگاه یک تقویت کننده عملیاتی به صورت بدون فیدبک منفی استفاده شود پهنای باند تقویت آن کم خواهد بود. به عبارت دیگر با افزایش فرکانس، بهره به سرعت کم می شود. حرگاه تقویت کننده را به صورت فیدبک منفی استفاده کنیم باعث خواهد شد. در عوض در پهنای وسیعی از فرکانس سیگنال ورودی، بهره ثابت می ماند.

- جریان خروجی تقویت کننده های عملیاتی :

در اغلب تقویت کننده های عملیاتی، جریان خروجی محدود به میلی آمپر mA بوده و لذا نمی توان از آن توان زیادی را منتقل کرد و اغلب می توان توسط مدارات اضافی که در خروجی تقویت کننده قرار دارد، جریان آن را تقویت کرد.

- سرعت تغییرات خروجی (Slew Rate) :

سرعت تغییرات ولتاژ خروجی یک تقویت کننده عملیاتی به دلیل محدودیتهای مداری، آنی نمی باشد. به عبارت دیگر اگر تغییرات ناگهانی در ورودی داشته باشیم، خروجی با شیب تاخیر تغییر می کند به آن Slew Rate می گویند.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

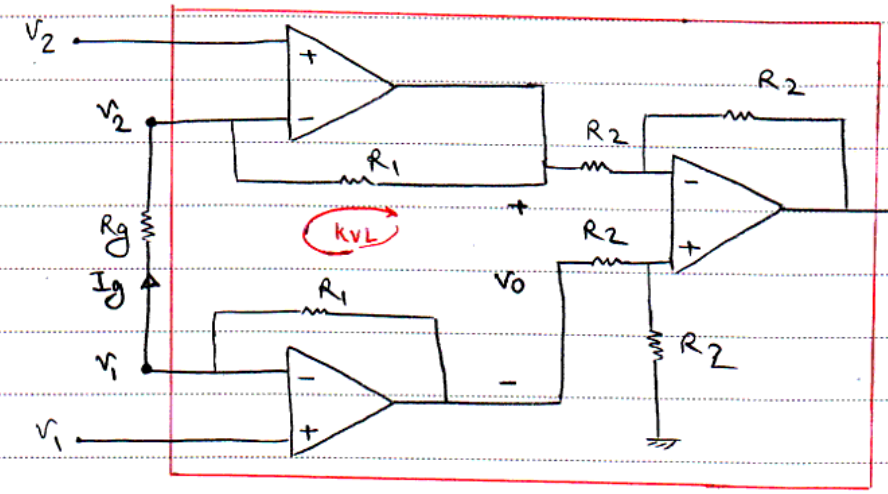
IC	SR ($V/\mu sec$)
LM 741	·15
CA 3140	9
LF 357	50
LH0032	500
op 07	·12
op 27	2.8

چند تقویت کننده به صورت زیر است:

تقویت کننده های ابزار دقیق:

تقویت کننده های ابزار دقیق، نوعی تقویت کننده های عملیاتی می باشند که مشخصه های آنها بهبود یافته است. در تقویت کننده های ابزار دقیق، امپدانس ورودی بسیار زیاد، بهره مد مشترک بسیار ناچیز، بهره تفاضلی بسیار دقیق می باشد.

ساختمان یک تقویت کننده ی ابزار دقیق به صورت زیر است:



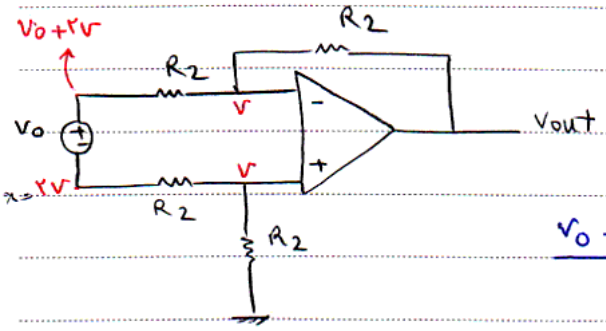
→ مدار داخلی AD620

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$$I_g = \frac{V_1 - V_2}{R_g} \qquad KVL: \; V_o + R_1 I_g + R_g I_g + R_1 I_g = 0$$

$$\rightarrow V_o = -(2R_1 + R_g) I_g$$



$$\frac{V_o + 2V - V}{R_2} + \frac{V_{out} - V}{R_2} = 0$$

$\frac{V_1 - V_2}{R_g}$

$$V = \frac{R_2}{R_2 + R_2} x \rightarrow V = \frac{1}{2} x \rightarrow x = 2V \qquad V_{out} = -V_o \qquad V_{out} = (2R_1 + R_g) I_g$$

$$\rightarrow \boxed{V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)(V_1 - V_2)} \rightarrow \text{رابطه ریاضی است.}$$

$$V_{out} = A_d V_d + A_c V_c \qquad \rightarrow A_d = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)$$

$$\rightarrow A_c = \frac{A_d}{CMRR}, \left(A_d = \frac{R_2}{R_2}\right) \rightarrow A_c = \frac{1}{CMRR} \qquad |A_d| = \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)(V_1 - V_2) + \frac{1}{CMRR}\left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)$$

$1 < Gain = 1 + \frac{2R_1}{R_g} < 1000$: R_g جنس انتخاب می‌شود.

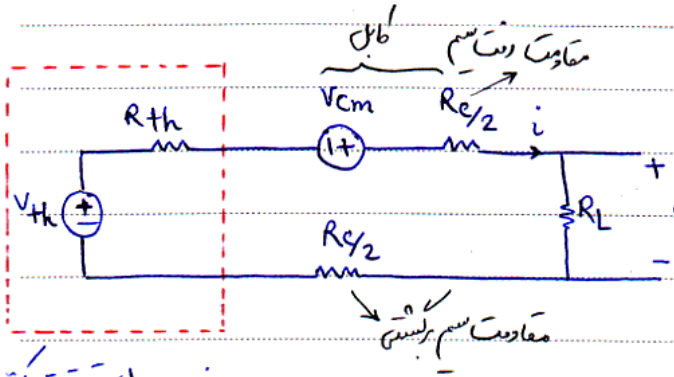
پرکاربرد

AD 524 , AD 620 , AD 621 , جنس تقویت کننده‌ی ابزار دقیق به صورت تراشه است.

AD 622 , AD 624 , AD 625 , Amp ø1 A , Amp ø2

ارسال سیگنال به صورت ولتاژ و جریان

ارسال سیگنال به صورت ولتاژ:



V_{cm}: ولتاژ القا شده توسط امواج الکترومغناطیسی در طول مسیر

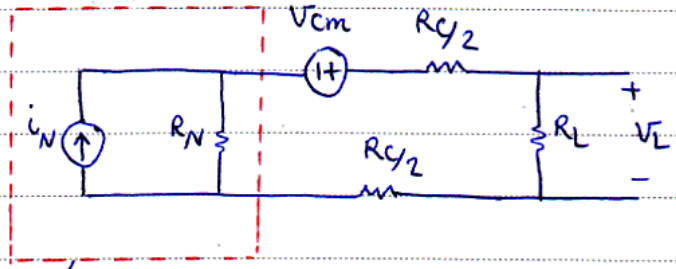
خروجی مدل و تقویت کننده ها (تونن)

$$i = \frac{V_{th} + V_{cm}}{R_L + R_{th} + R_c}$$

$$V_L = i\,R_L = \frac{(V_{th} + V_{cm})}{R_L + R_{th} + R_c} \times R_L \xrightarrow{R_L \gg R_{th} + R_c} V_L = V_{th} + V_{cm}$$

مدار معادل یک سیستم ارسال سیگنال به صورت ولتاژ در بالا آورده شده است. منبع ولتاژ V_{cm} معادل ولتاژ القا شده روی مدارات است. رابطه دست آمده برای V_L نشان می دهد در یک سیستم ارسال سیگنال به صورت ولتاژ تمامی ولتاژ نویز در خروجی ظاهر می شود. این نویز می تواند باعث اخلال در عملکرد سیستم انداز یابی شود.

ارسال سیگنال به صورت جریان:



خروجی مدل و تقویت کننده (نورتن)

www.tbi-net.com

$$i_L = \frac{i_N R_N}{R_N + R_C + R_L} + \frac{V_{cm}}{R_N + R_C + R_L}$$

$$V_L = R_L i_L = \frac{R_L R_N}{R_N + R_C + R_L} i_N + \frac{R_L V_{cm}}{R_N + R_C + R_L}$$

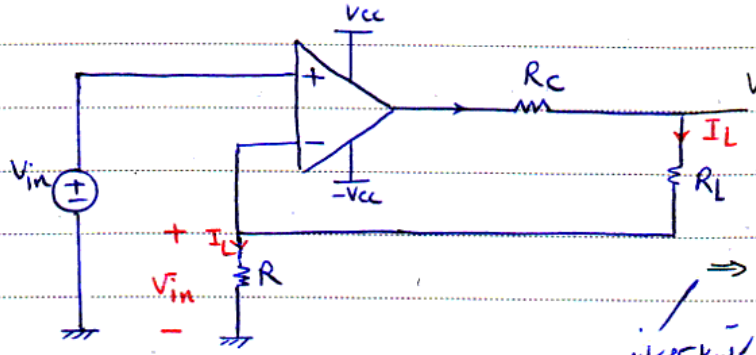
$R_N \gg R_C + R_L$ (مقاومت نورتن بسیار بزرگ است) $\rightarrow$

$$V_L = \frac{R_L R_N}{R_N} i_N + \frac{R_L}{R_N} V_{cm}$$

$$V_L = i_N R_L + \frac{R_L}{R_N} V_{cm}$$

از آن جائیکه $\frac{R_L}{R_N}$ عدد بسیار کوچکی می‌باشد نتیجه می‌گیریم که در اتصال بسیار بصورت جریان خروجی نورتن عمل خواهد داشت، لذا برای اتصال بسیار معمولاً از مدل جریان استفاده می‌شود.

مدل‌های ولتاژ و جریان:



$$\frac{V_{out}}{R_C + R_L + R} - \frac{V_{in}}{R} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{R_C + R_L + R} = \frac{V_{in}}{R}$$

مدار ساده‌ای که به منبع ولتاژ، ام جریان تبدیل می‌کند.

$$I_L = \frac{V_{in}}{R} \qquad V_{out} = \left(1 + \frac{R_C + R_L}{R}\right) V_{in} < V_{cc}$$

$\frac{R + R_C + R_L}{R} V_{in}$

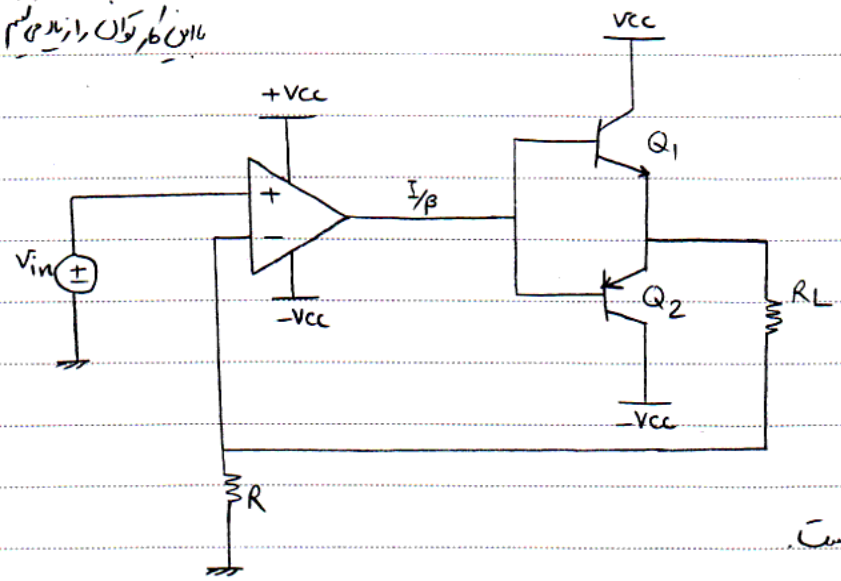
جریان خروجی تقویت کننده عملیاتی محدود و چند میلی آمپر می‌باشد. برای افزایش جریان خروجی می‌توان از دو ترانزیستور

P4PCO

www.tbi-net.com

۹۷

توسین پول استفاده برد.



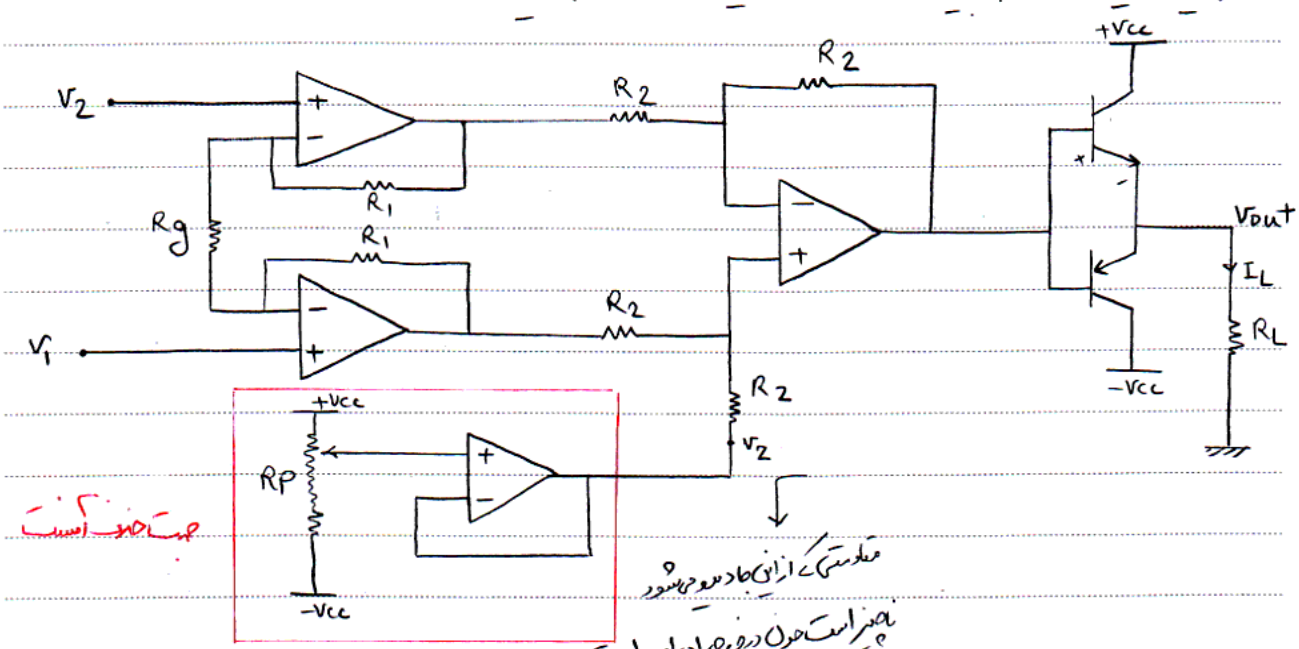
Q_1 : نیم سیکل مثبت روشن

Q_2 : نیم سیکل منفی روشن

R وصل است ← جریان خروجی زیاد است.

در مدار فوق جریان بار R_L ، β برابر تر از جریان خروجی تقویت شده عملیاتی می باشد.

تبدیل ولتاژ به جریان با استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق :



جریان ثابت است

مقاومتی از این حالت عبور می‌کند

نیز است چون در ورودی این اپ است.

مثال) مدل ولتاژ به جریان IC XTR100

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)(V_1 - V_2)$$

منبع ولتاژ در حالت ایده آل مقاومتی صفر است.

منبع جریان " " " بی نهایت "

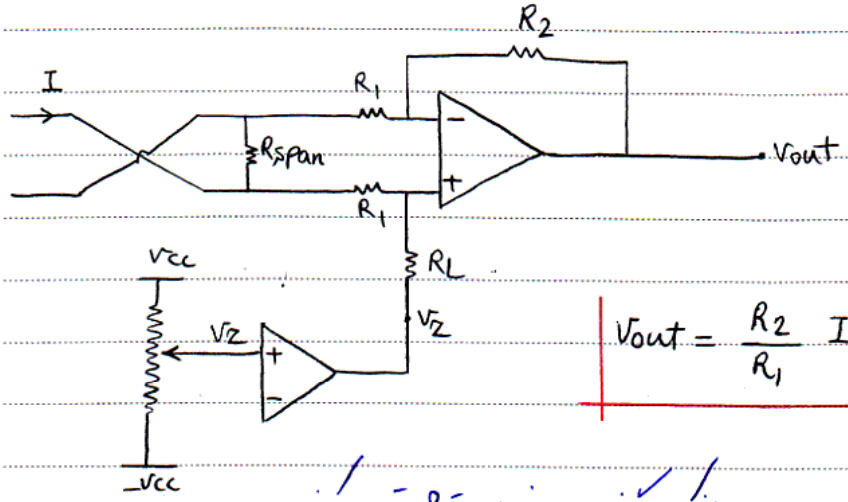
www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

مبدل جریان به ولتاژ :

بعد از ارسال سیگنال به صورت جریان به مقصد ، در مقصد دوباره برای پردازش سیگنال باید سیگنال جریان به سیگنال ولتاژ تبدیل شود. برای این کار به عنوان نمونه می توان از مدار شکل زیر استفاده کرد :



$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} I R_{span} + V_Z$$

با توجه به رابطه خروجی می توان گفت که این مدار علاوه بر ایجاد سیگنال جریان یا ولتاژ تبدیل می کند ،

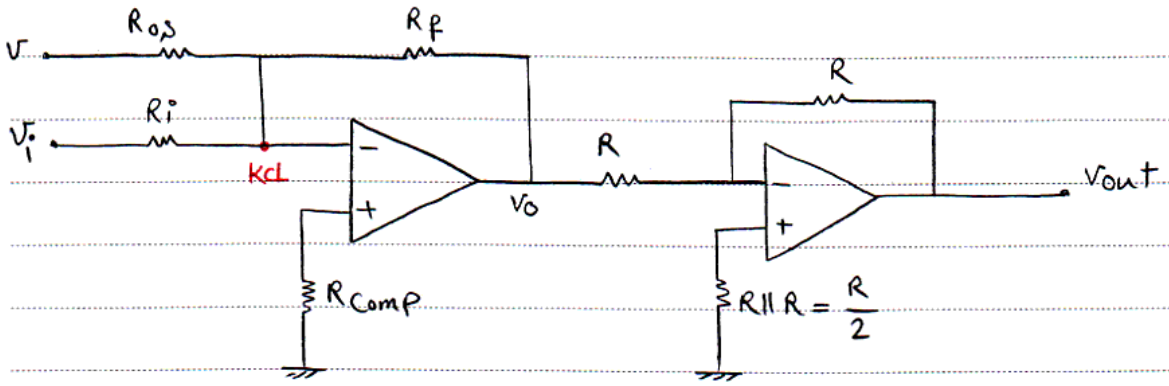
می توان با انتخاب مناسب R_{span} و V_Z ، خروجی را در فاصله دلخواه رساند (منظور از دلخواه ، استاندارد است که در مبدل های آنالوگ به دیجیتال 5V ← 0 است.)

مبدل های Zero _ Span :

خروجی مبدل که به صورت استاندارد نمی باشد و برای پردازش لازم است به فاصله ی استاندارد تبدیل شود به عنوان مثال ورودی ADC باید فاصله ی استاندارد صفر تا ۵ داشته باشد ، درحالیکه خروجی یک سنسور

www.tbi-net.com

مانند LM35 می‌توانند ۰/۴ تا ۳,۳ باشند. بنابراین برای اتصال LM35 به ADC لازم است از یک مدار واسط Zero_Span استفاده شود. مدار شکل زیر یک مدار Zero-Span را نشان می‌دهد.



$$KCL: \frac{V_i}{R_i} + \frac{\pm V}{R_{os}} + \frac{V_o}{R_f} = 0 \Rightarrow V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i \mp \frac{R_f V}{R_{os}}$$

$$V_{out} = -V_o \rightarrow V_{out} = \frac{R_f}{R_i} V_i \pm \frac{R_f}{R_{os}} V \quad (1) \rightarrow \boxed{V_{out} = mV_i + b} \quad (2)$$

مثال) سنسور حرارتی LM35 ، 1,7 تا 3.7 ولت می‌باشد. برای تبدیل آن به سیگنال ۰ تا ۵ ولت استفاده کرده‌ایم. مدار Zero-Span طراحی کنید به طوری که ورودی ۰ تا 5 ولت ADC با خروجی LM35 باشد.

$$1.7 \leq V_i \leq 3.7 \text{ v}$$
$$0 \leq V_{out} \leq 5 \text{ v}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{out} = 2,5\, V_i - 4,25}$$

$$\begin{cases} 5 = 3,7\, m + b \\ 0 = 1,7\, m + b \end{cases} \Rightarrow m = \frac{5}{2}, \quad b = -1,7 \times 2,5 = -4,25$$

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$\frac{R_f}{R_i} = ۲,۵$ $R_f = ۱ K\Omega$ فرض می‌کنیم / ولتاژ ۱۵ را ام V_{cc} گرفتیم و حول آن حرکت خواهیم

از خارج، منبعی به مدار وصل نباشد.

(در طراحی اینگونه عمل می‌کنیم)

$\rightarrow R_i = ۴۰۰\Omega$

مقاومت منفی است پس این منفی ربطی به ولتاژ است پس از V_{cc}

$\frac{R_f}{R_{os}} V = -۴,۲۵ \rightarrow V = -V_{cc} = -۱۲$ استفاده می‌کنیم / فرض می‌کنیم :

$\frac{-۱۲}{R_{os}} = -۴,۲۵ \rightarrow R_{os} = \frac{۱۲}{۴,۲۵} = ۲,۸۲ K\Omega$ ← R_f ، $1K\Omega$ گرفتیم

تقویت کننده ی ایزوله :

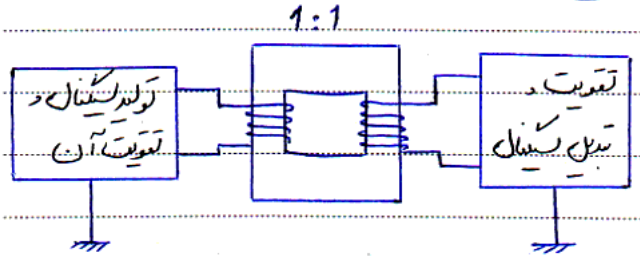
روش هایی که تاکنون برای تقویت سیگنال و ارسال آن بیان شد دارای نقطه ضعف مهم و بزرگی است که می‌تواند کار تقویت کننده را مختل یا زائل کند. دلیل آن اختلاف پتانسیل دو مرجع مقادیر می‌باشد یا دلیل وجود میدان های الکترومغناطیسی و میدان های الکتریکی باعث القا جریان و ولتاژ در خطوط انتقال سیگنال می‌گردد. برای حذف این اختلالات از تقویت کننده ی ایزوله استفاده می‌کنیم. تقویت کننده ی ایزوله به دو صورت می‌تواند باشد :

۱) استفاده از ترانس های ایزوله کننده

۲) استفاده از تقویت کننده ی نوری

استفاده از ترانس های ایزوله کننده :

در این روش از یک ترانس (ترانسفورماتور) با نسبت تبدیل یک به یک (۱:۱) ولت اول را از ولت دوم جدا می‌کنیم.



بلوک دیاگرام این روش به صورت زیر است :

ولت دوم از زمین طرف اول جدا می‌باشد و این

از شکل حلقه زمین حذف می‌شود باعث حذف نویز خواهد شد.

PqPCO

www.tbi-net.com

در سایه سار اندیشه ، بی هیچ چشم داشت زمینی

عهد بسته ایم آسمانی شویم .

در این محفل علمی با ما همراه باشید ./

زمان : همین حالا تا همیشه

مکان : تارنمای برق ایران ؛ www.tbi-net.com

رسیده ایم پر از رنج راه تا دریا

خوشا یکی شدن رودها خوشا دریا

نه ما نه من نه تو ، او نقطه سرانجام است

بیا که بی من و تو ما شویم و ما دریا

من و تو چشمه باران ابر او بودیم

از ابتدا دریا بود و انتها دریا

اندازه گیری الکترونیکی

(بخش پنجم)

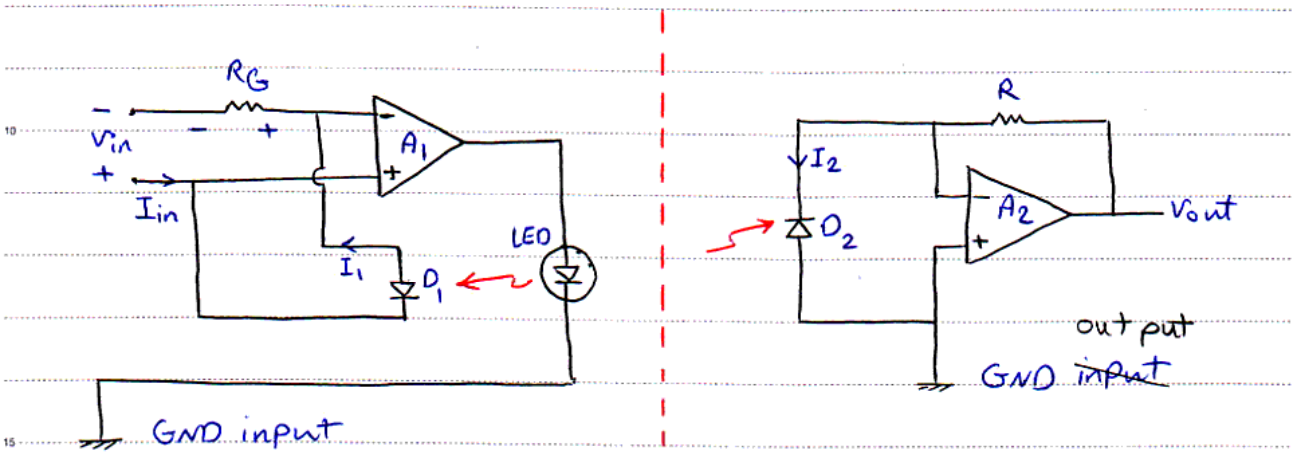
استاد باغبانی

تهیه و تنظیم :

www.tbi-net.com

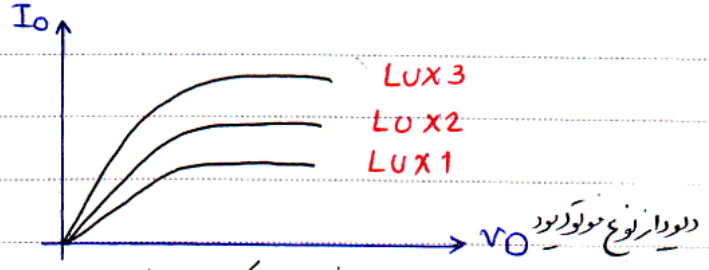
تقویت کننده ابزدقیق نوری :

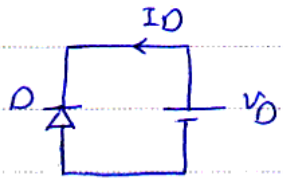
در این نوع تقویت کننده از یک جفت فرستنده و گیرنده ی نوری استفاده شده است ، در نتیجه طرف اول از طرف دوم ابزدقیق می گردد یعنی طرف دوم سیستم اندازه گیری دارای GND جدا از طرف اول خواهد بود و این باعث می گردد حلقه ی زمین شکل نگیرد و نویز زیادی از سیستم اندازه گیری حذف شود . از نمونه تقویت کننده های ابزدقیق می توان اشاره کرد :



D_1 و D_2 فوتودیود (IR)

در ابتدا با وصل جریان I_{in} ، تقویت کننده به اشباع میرود در نتیجه LED روشن می شود . چون LED روشن می شود به D_1 و D_2 نور می رسد . / چون D_1 از نوع فوتو دیود است با برخورد نور به آن از خود جریان عبور می دهد .





دیود از نوع فوتودیود

با افزایش ولتاژ ، جریان تغییر نمی کند پس جریان به ولتاژ وابسته نیست

lux1 < lux2 < lux3

پس با افزایش نور جریان زیاد می شود چون فوتودیود به نور وابسته است

www.tbi-net.com

Subject:
Year. Month. Date. ( )

از آن جایی که نور رسیده به D_1 و D_2 برابر است لذا $I_1 = I_2$ می باشد.

هنگامیکه D_1 روشن می شود تقریباً اتصال کوتاه خواهد شد در این صورت داریم:

① $I_{in} = I_1 = \frac{V_{in}}{RG}$

② $I_1 = I_2$

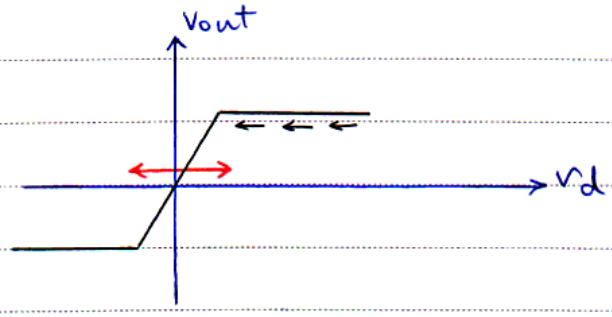
هنگامیکه D_2 روشن شود تقریباً اتصال کوتاه خواهد شد و جریان I_2 به صورت زیر تعیین می شود.

③ $I_2 = \frac{V_{out}}{R}$

①, ②, ③ $\Rightarrow \frac{V_{out}}{R} = \frac{V_{in}}{RG} \Rightarrow \boxed{V_{out} = \frac{R}{RG} V_{in}}$

← بدون اینکه زمین در مدار باشد V_{in} به V_{out} منتقل شده است.

با ایجاد جریان I_1 و تأثیر این نویز زیاد می شود و اختلاف پتانسیل بسیار کم می شود و این باعث می شود که تقویت کننده از اشباع خارج و وارد ناحیه ی خطی شود.



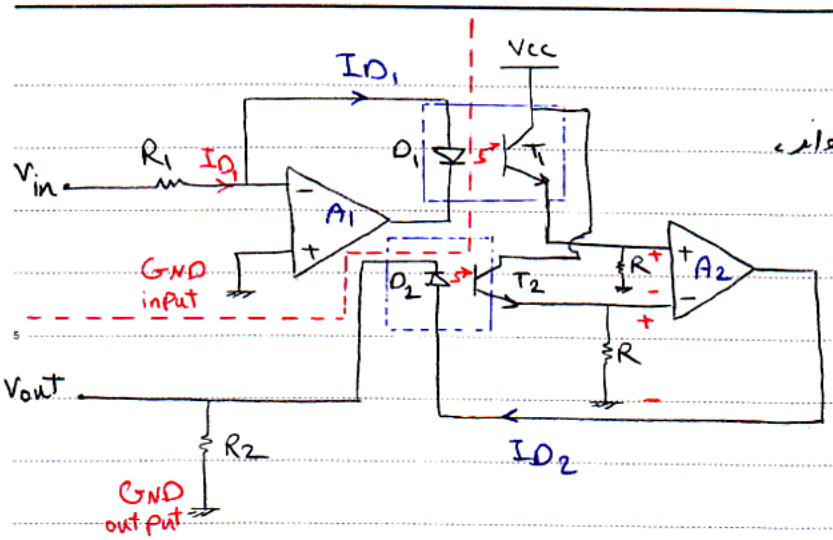
در ناحیه خطی متناسب با V_{in} به D_1 و D_2 نور می رسد.

مدار نهایی که برای این تقویت کننده می توانیم رسم کنیم به صورت زیر است:

Subject :

Year . Month . Date . ( )

تقویت‌کننده اپراتوری :



GND دوستمی که با خط‌چین قرمز از هم جدا شده‌اند،

از هم جدا است (دو GND دارند)

بعد از اینکه ولتاژ بین منفی و بین مثبت در A_2 برابر شد جریان از عبور می‌کند از D_1 و D_2 هم برابر خواهند شد.

$$I_{D_1} = I_{D_2} \qquad I_{D_1} = \frac{V_{in}}{R_1} \qquad I_{D_2} = \frac{V_{out}}{R_2}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{R_2} = \frac{V_{in}}{R_1} \Rightarrow \boxed{V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_{in}}$$

مبدل‌های D/A ، A/D :

مبدل‌های D/A : این مبدل‌ها می‌توانند اطلاعات دیجیتال را به آنالوگ تبدیل کنند. مبدل‌های D/A ، مدارهای واسط این یک سیستم دیجیتال نظیر کامپیوتر با دنیای واقعی هستند. D/A می‌تواند در ساختمان‌های مختلف ۴ بیت، ۸ بیت، ۱۶ بیت و ... آخر طراحی شود. برای نمونه می‌توانیم یک D/A ۴ بیتی با تکنولوژی TTL با فرض اینکه ولتاژ حد بالا، حداکثر ۵ ولت است به صورت زیر طراحی کنیم :

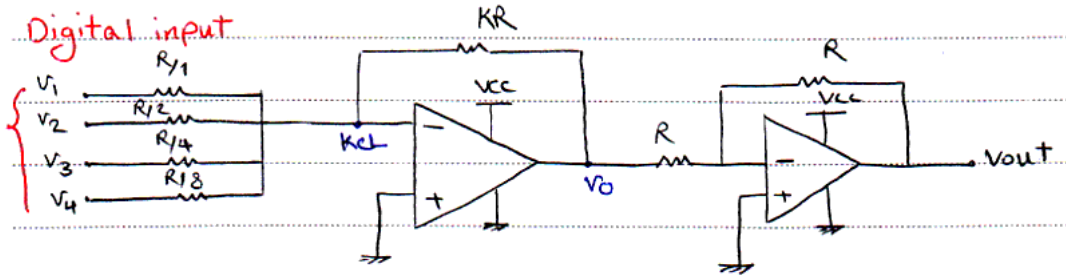
P4PCO

www.tbi-net.com

Subject:

Year. Month. Date. ( )

Digital input



$V = V_4 V_3 V_2 V_1$ → کد باینری

TTL ← ۱ معادل ۵ ولت، ۰ معادل ۰ ولت

$$\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R/2} + \frac{V_3}{R/4} + \frac{V_4}{R/8} + \frac{V_0}{KR} = 0$$

$$\rightarrow V_0 = -K(8V_4 + 4V_3 + 2V_2 + 1V_1)$$

$V_{out} = -V_0$

$$\rightarrow V_{out} = K(8V_4 + 4V_3 + 2V_2 + 1V_1)$$

$$V_{out_{max}} = 15 = K(8\times5 + 4\times5 + 2\times5 + 1\times5) \rightarrow K = \frac{1}{5}$$

$$V_{out} = \frac{1}{5}(8V_4 + 4V_3 + 2V_2 + 1V_1)$$

8 4 2 1

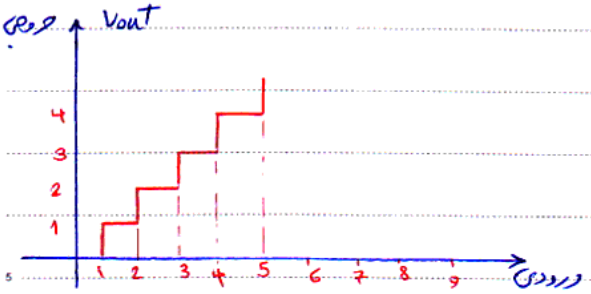
ضرایب خروجی مبنای 2 به مبنای 10 می‌باشند.

ضریب K: تضعیف کننده خروجی خواهد شد.

Subject :

Year . Month . Date . ( )

خروجی DIA



V_4	V_3	V_2	V_1	Vout
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

عددی) مرحله اصلی DIA با تکنولوژی CMOS طراحی کنیم. DIA ۴ بیتی است و سطح ولتاژ ۶ ولت می باشد.

حرکاه خروجی DIA حداکثر ۱۲ ولت باشد سطح ولتاژ آنالوگ را تعیین نماید.

سطح ولتاژ CMOS از ۵ ولت تا ۱۵ ولت می تواند ۱ در نظر گرفته شود . ۰ هم همان ۰ ولت است.

PdPCO

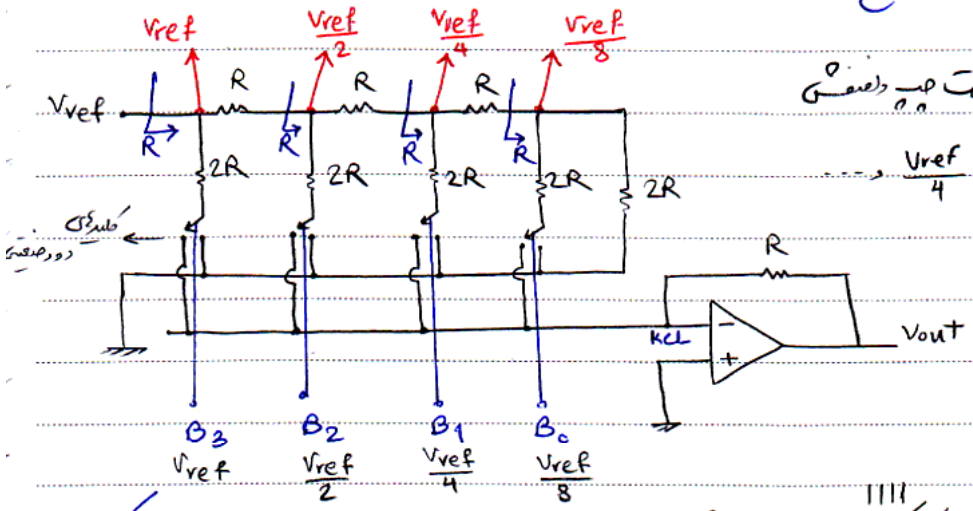
www.tbi-net.com

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مدل DIA از نوع R_2R :

در مدار DIA گفته شده در بیت با ارزش تقدار بیت های ورودی تنوع مقاومت زیادی میگردد (این یکی از عیب های اصلی تبدیلی)

این مدل است. در مدار DIA از نوع R_2R فقط از دو مقاومت R و 2R استفاده شده است.



مثلاً $\frac{V_{ref}}{2}$ نصف مواقع سمت چپ و نصفی سمت راست بین چهار تا $\frac{V_{ref}}{4}$ و ...

کد دیجیتال $B = B_3B_2B_1B_0$ ورودی → اگر بیت بالا یعنی وصل شده باشد این منفی اگر صفر باشد برعکس.

$$KCL: \frac{V_{out}}{R} + \frac{\frac{V_{ref}}{8}}{2R}B_0 + \frac{\frac{V_{ref}}{4}}{2R}B_1 + \frac{\frac{V_{ref}}{2}}{2R}B_2 + \frac{\frac{V_{ref}}{1}}{2R}B_3 = 0$$

$$\rightarrow \boxed{V_{out} = -\frac{V_{ref}}{16}\left[2^3B_3 + 2^2B_2 + 2^1B_1 + 2^0B_0\right]}$$

کدهای $B_3B_2B_1B_0$ ورودی دیجیتال می باشند. برای داشتن دقت بالاتر می توان با کم کردن V_{ref} به دقت مطلوب در خروجی دست یافت. از IC هایی که از روش R-2R برای تبدیل دیجیتال به آنالوگ استفاده شده است MC1408 می باشد.

www.tbi-net.com

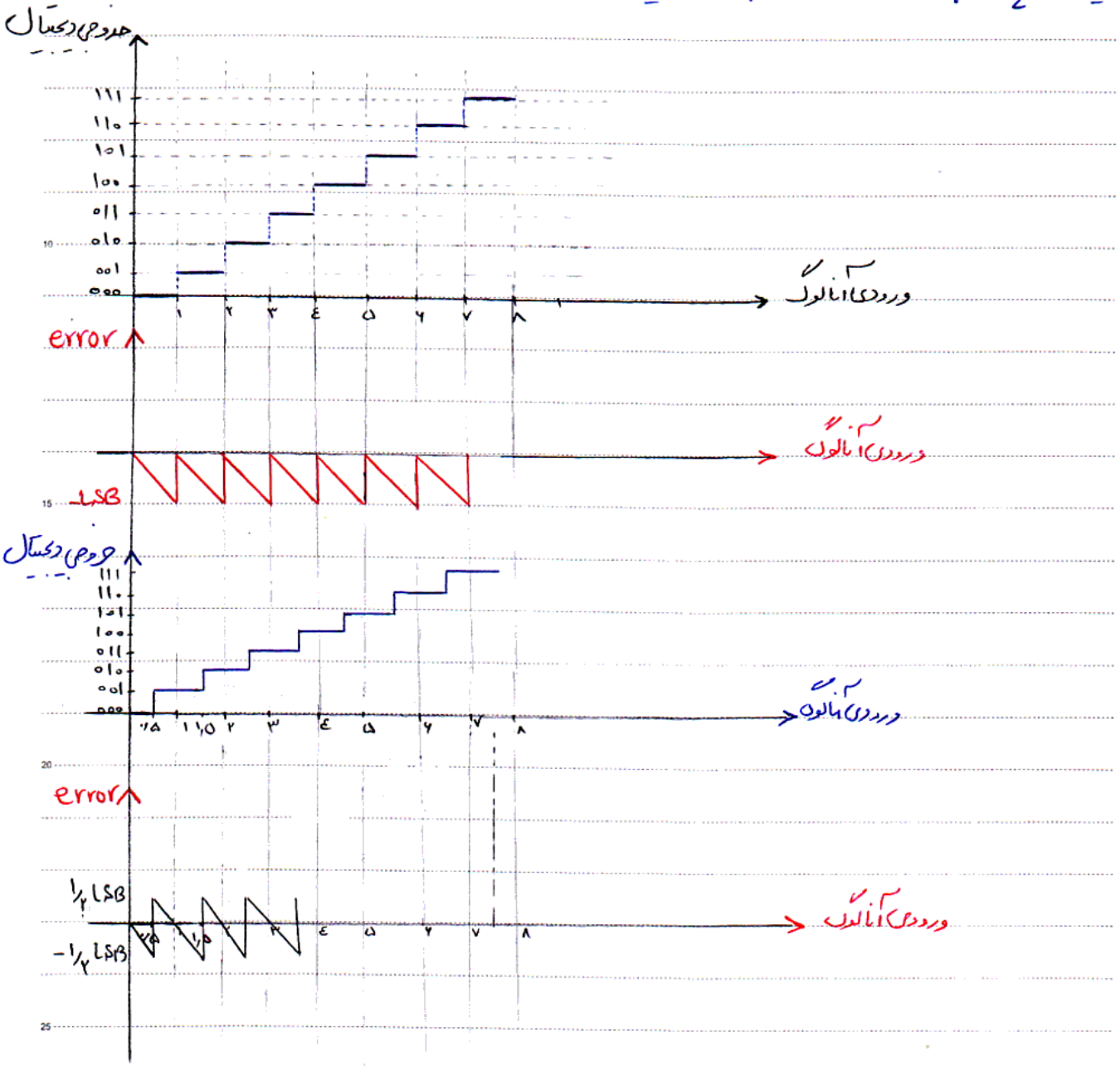
10V

کوچکترین بیت = 1LSB

۱۹

مدل های A/D :

مدل های A/D برای تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال به کار می روند. این مدل ها دارای خروجی با خطای 1LSB یا $\frac{1}{2}$ LSB می باشند. که مشخصه ی آن ها به صورت زیر است :



www.tbi-net.com

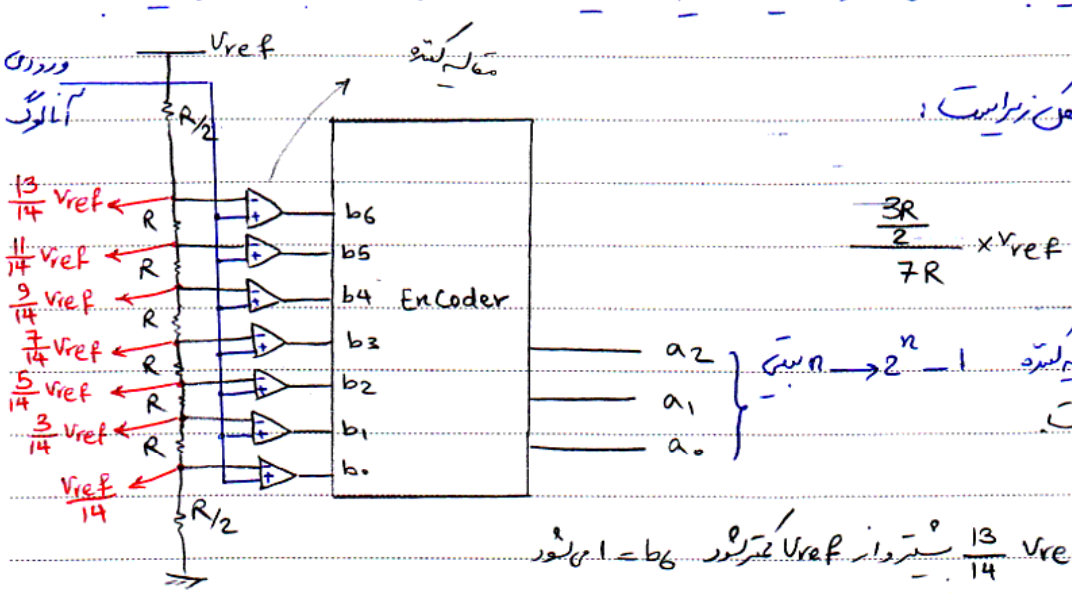
Subject:

Year. Month. Date. ( )

همواره روش های مختلفی برای تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال وجود دارد. در ادامه چند نمونه از آن را بررسی می کنیم:

۱) روش موازی یا فرمان:

این نوع مبدل که از یک شبکه مقاومتی، تعداد زیادی مقایسه کننده و یک انکدر ساخته می شوند. به عنوان نمونه یک مبدل



سه بیتی دارای مدار شکل زیر است:

$\frac{\frac{3R}{2}}{7R} \times V_{ref}$

مقایسه کننده n بیتی $\rightarrow 2^n - 1$

یک انکدر با اولویت است.

اگر ورودی از $\frac{13}{14}V_{ref}$ بیشتر و از V_{ref} کمتر شود $b_6 = 1$ می شود

پس $a_2 a_1 a_0 = 111$ می شود.

اگر ورودی از $\frac{V_{ref}}{14}$ بیشتر و از $\frac{3}{14}V_{ref}$ هم بیشتر و از $\frac{5}{14}V_{ref}$ کمتر باشد آنگاه $b_1 = 1$ می شود و بقیه خروجی ها صفر می شود

یعنی ۲ $a_2 a_1 a_0 = 010$

در این روش با افزایش تعداد بیت های خروجی، تعداد مقایسه کننده ها بسیار افزایش پیدا می کند، لذا کاربرد آن به صورت

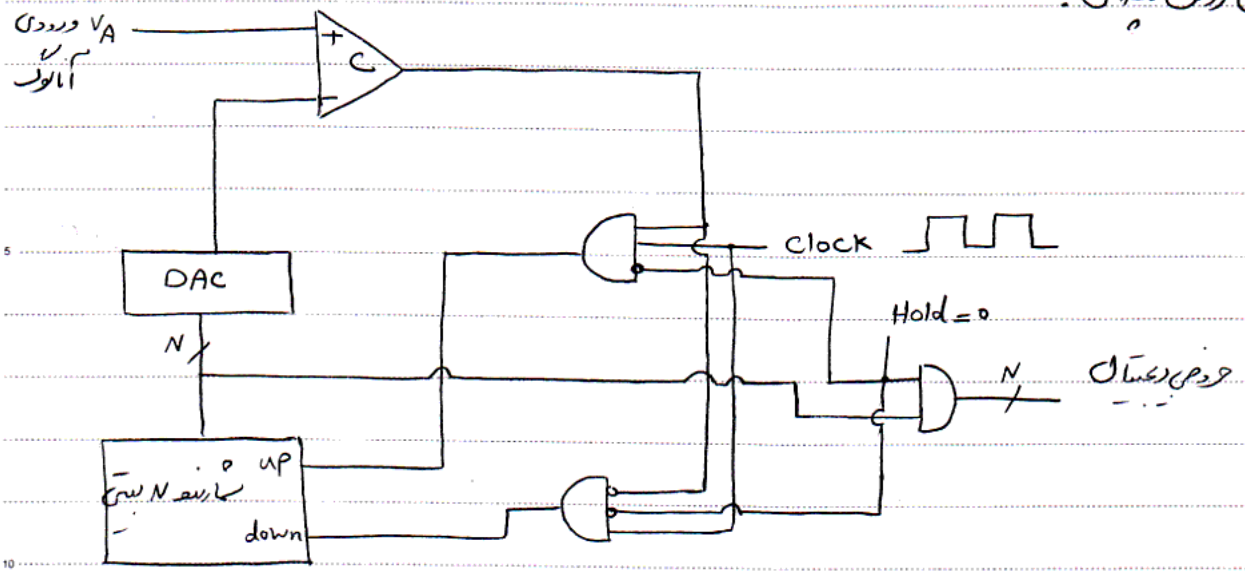
مدار مجتمع به علت بالا رفتن تصاعدی مقایسه کننده ها، حداکثر ۸ یا ۹ بیتی می باشد. از ویژگی های مهم این روش، سرعت

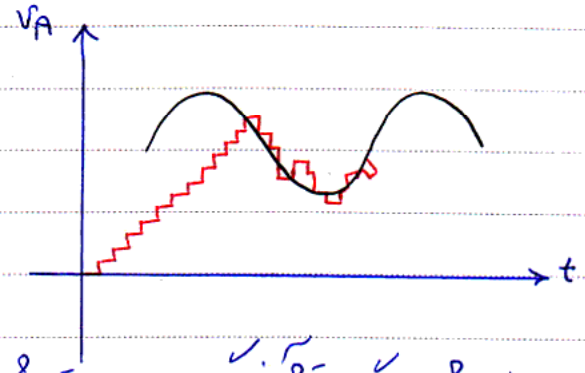
بالای تبدیل آن است.

www.tbi-net.com

Subject:
Year. Month. Date. ( )

۲) روش بازگام :





در ابتدا توسط شمارنده مقدار اولیه صفر دارد لذا خروجی DAC صفر می‌باشد. هرگاه ولتاژ آنالوگ ورودی برقرار شود خروجی مقایسه‌کننده‌ی C یک شده، لذا کلاک از طریق گیت AND به ورودی up شمارنده خواهد رسید و به این ترتیب با افزایش شمارش، خروجی DAC که یک ولتاژ آنالوگ می‌باشد افزایش می‌یابد. این افزایش تا زمانیکه بزرگتر از ولتاژ آنالوگ ورودی باشد ادامه می‌یابد. هرگاه خروجی DAC، 1 LSB بزرگتر از ورودی آنالوگ شود خروجی مقایسه‌کننده صفر شده شمارش به صورت نزولی خواهد بود. این عمل با تغییرات ولتاژ آنالوگ ورودی ادامه می‌یابد.

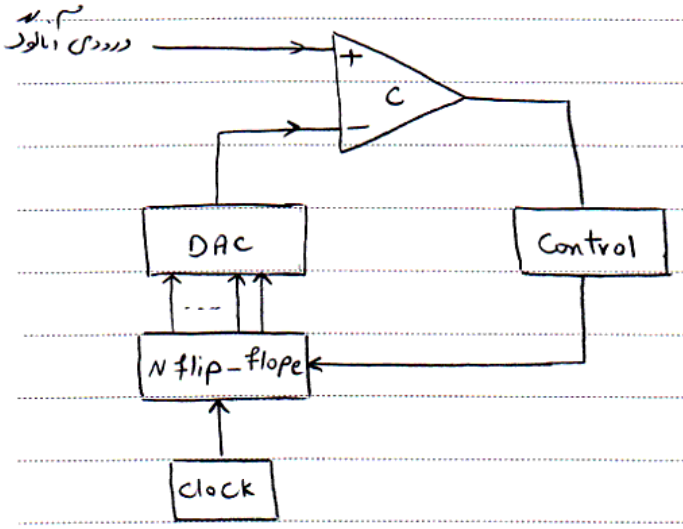
P4PCO

www.tbi-net.com

Subject:
Year. Month. Date. ( )

در هر لحظه از مبدل Hold می‌توانیم خروجی شمارنده را بخوانیم که یک کد معادل مناسب با ولتاژ آنالوگ ورودی است.

۳) روش تقریب متوالی:



یک مبدل n بیتی با روش تقریب متوالی شامل n فلیپ فلاپ است که توسط مدار کنترل، مقادیر صفر یا یک خروجی کد.

این فلیپ فلاپ‌ها در ورودی یک مبدل DAC قرار گرفته و خروجی DAC با ورودی آنالوگ مقایسه می‌گردد و حاصل مقایسه به صورت صفر و یک توسط مدار کنترل دریافت و توسط آن وضعیت فلیپ فلاپ‌ها تغییر می‌کند.

مثال) فرض کنید مبدل ADC به روش تقریب متوالی، ۴ بیت، وجود دارد. به ازای ولتاژ $V_A = 9.2V$ حاصل تبدیل را بررسی کنید؟

نکته: در ابتدا طبیعی فلیپ فلاپ‌ها به غیر از فلیپ فلاپ MSB صفر می‌باشند. (یعنی MSB=1 است)

MSB

1	0	0	0

= 8

PqPCO

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$V_A = 9.2\,V$

$N = 4$

MSB

1	0	0	0
1	1	0	0
1	0	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0

$V_{DAC} < V_A$

$V_{DAC} > V_A$

$V_{DAC} > V_A$

$V_{DAC} < V_A$

حاصل تبدیل : 1010

مثال) همان مثال قبل برای $V_A = 5.3\,V$

این عمل با 4 کلاک صورت می‌پذیرد.

$V_{DAC}=8 \leftarrow 1000$ $V_{DAC} > V_A$

$V_{DAC}=4 \leftarrow 0100$ $V_{DAC} < V_A$

$V_{DAC}=6 \leftarrow 0110$ $V_{DAC} > V_A$

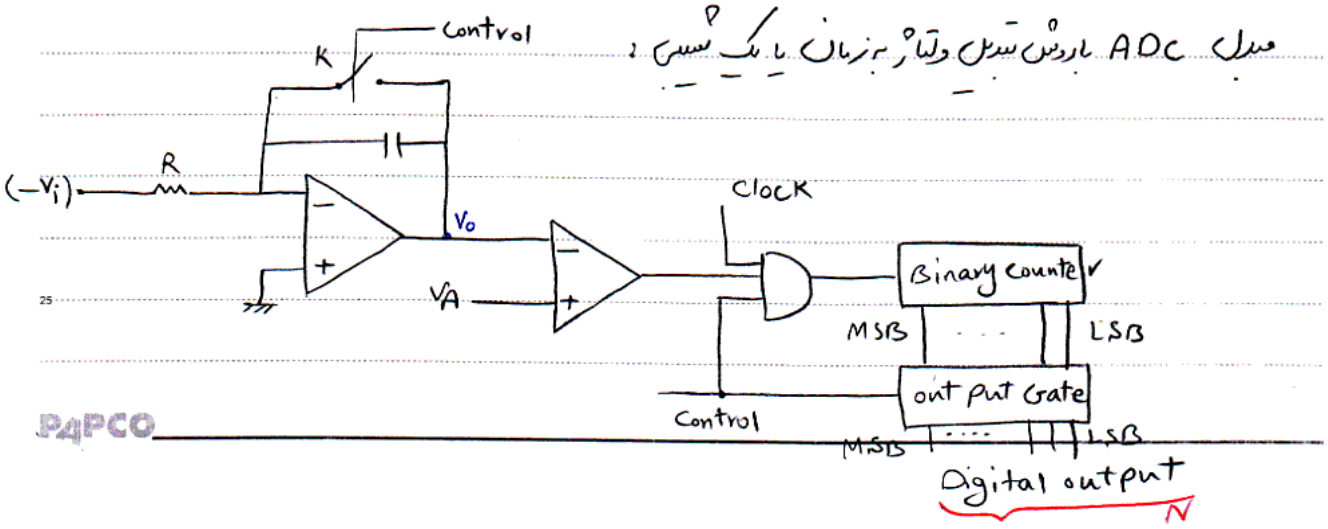
0101 $V_{DAC} < V_A$

0110

حاصل تبدیل : 0110

تمرین) $V_A = 11.7\,V$ ؟

مدل ADC با روش تبدیل ولتاژ به زمان یا یک شیب ؟



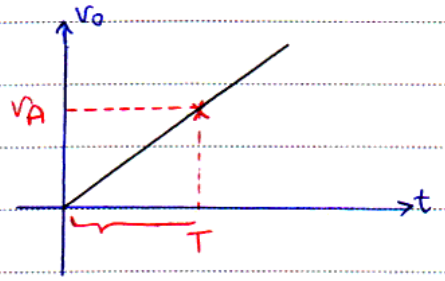
P4PCO

www.tbi-net.com

Subject :

Year . Month . Date . ( )

در این روش از یک ولتاژ مرجع $-V_i$ انتگرال گرفته و نتیجه که به صورت یک تابع شیب می‌باشد توسط یک مبدل کننده با ولتاژ آنالوگ ورودی V_A مقایسه می‌گردد. وقتی که ولتاژ خروجی انتگرال گیر برابر آن شود سیگنالی صادر می‌شود. دارای منطق یک بوده و لذا مکمل AND اجازه‌ی ورود کلاک به شمارنده را می‌دهد. شمارش تا زمانی که V_A شود ولتاژ خروجی انتگرال گیر برابر اولیه باید. در این حالت روابط زیر برای این مدار برقرار است:



$$V_o = \frac{-1}{RC}\int_0^t -V_i\,dt = \frac{V_i}{RC}\,t$$

$t = T$ لحظه‌ای برابر شدن

$V_A = V_o$

$t = T \longrightarrow V_A = \frac{V_o}{RC}T$

$T = N.T_{CLOCK}$ (N: مقدار شمارش، T_{CLOCK}: دوره تناوب کلاک)

$$\Rightarrow V_A = \frac{V_o}{RC}\,N.T_{CLOCK} = \frac{V_i}{RC}\,\frac{N}{f_{CLOCK}}$$

$$\Rightarrow \boxed{N = \frac{RC\,V_A\,f_{CLOCK}}{V_i}} \longrightarrow V_A \text{ معادل ولتاژ آنالوگ} \longrightarrow \text{مقدار شمارش}$$

نکته: خروجی مبدل‌های مناسب با ورودی‌های ما است دقیقاً برابر آن نیست. مثل DIA و AID

www.tbi-net.com

در سایه سار اندیشه ، بی هیچ چشم داشت زمینی

عهد بسته ایم آسمانی شویم .

در این محفل علمی با ما همراه باشید.

زمان : همین حالا تا همیشه

مکان : تارنمای برق ایران ؛ www.tbi-net.com

رسیده ایم پر از رنج راه تا دریا

خوشا یکی شدن رودها خوشا دریا

نه ما نه من نه تو ، او نقطه سرانجام است

بیا که بی من و تو ما شویم و ما دریا

من و تو چشمه باران ابر او بودیم

از ابتدا دریا بود و انتها دریا