۲۷

Subject: الکترونیک - محجوب

Year. Month. Date.

۹۵/۱/۲۱ -> جلسه سیزدهم

● ویژگی‌های آپ امپ غیرایده‌آل : ref. text(s)

● مدارهای آپ امپ :

۱. تقویت کننده وارون ساز

۲. " " غیر وارون ساز

۳. تقویت کننده تفاضلی

۴. تقویت کننده AC

۵. مقایسه کننده

۶. تقویت کننده بار (charge)

۷. منبع جریان یا مبدل ولتاژ به جریان

۸. جمع کننده (summer)

۹. تقویت کننده ابزاری (Instrumentation Amp.)

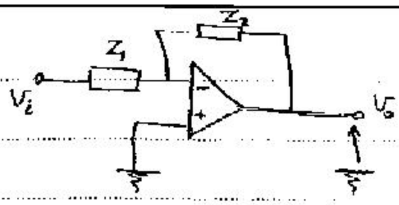
۱۰. مدارات فیلتر فعال

۱۱. کنترلر تناسبی P

" مشتق‌گیر D

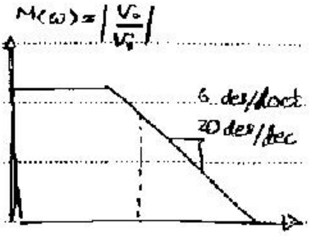
" انتگرال‌گیر I و PID

۱۲. جبران‌سازهای lead و lag و ...



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad \text{or} \quad 1 + \frac{Z_2}{Z_1}$$

با توجه به پاسخ فرکانسی مدار باز آپ امپ (در spec sheet) ، می توانیم گین حلقه بسته آپ امپ را بدست آوریم.



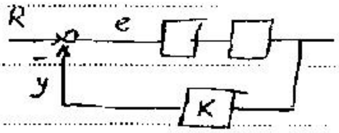
$$M(\omega) = |G(j\omega)|$$

$$|G_{ol}(j\omega)| \overset{?}{\Rightarrow} |G_{cl}(j\omega)|$$

این رابطه را باید بروید پیدا کنید.

- استاد یه عکس نشون داد که به ما آپ امپ راست و تقویت کننده ابزاری بود گفتند واقعاً کار می کنه. تو کتاب مارسیه هست!

- در مورد مقایسه کننده و جمع کننده:

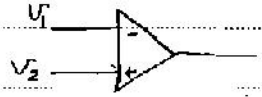


$e = R - y$

یا مثلاً لازم داریم سه تا سیگنال ولتاژی جمع کنیم $y = y_1 + y_2 + y_3$

این ها را با جمع کننده انجام می دهیم!

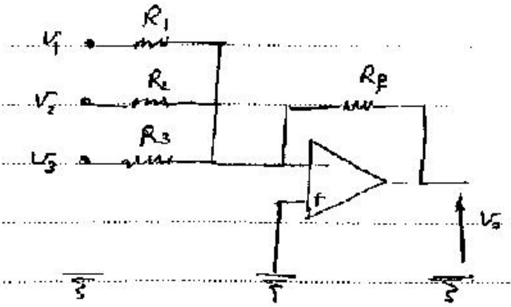
اگر هم بخواهیم دو سیگنال را مقایسه کنیم: $V_1 > V_2 \Rightarrow V_{out} = 15$



$V_1 < V_2 \Rightarrow V_{out} = -15$

PAPCO

اگر بخواهیم جمع کنیم:

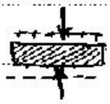

V_1
R_1
V_2
R_2
V_3
R_3
R_f
V_o

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

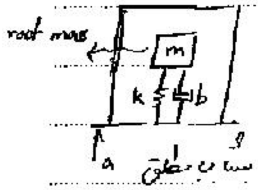
- تقویت کننده بار (Charge Amplifier):

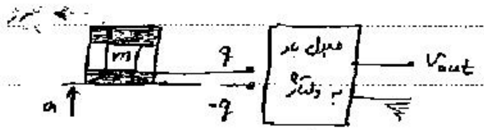
ایجاد کرنش در کریستال پیزو، باعث تجمع بارهای مثبت و منفی روی سطوح مختلف کریستال پیزو می‌گردد.

x یا ε یا $\sigma \rightarrow q$, $q \propto k_p x$



o شتاب‌سنج‌های امروزی دیگر جرم و فنر و دمپر ندارند. یک لایه کریستال پیزو دارند که proof mass روی آن قرار دارد.


proof mass
m
k
b
a
شتاب مطلق

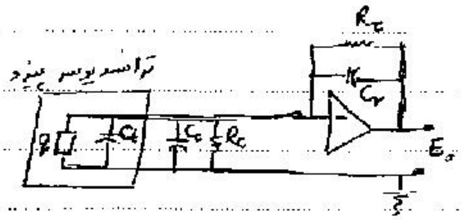

پیزو
m
q
-q
a
مبدل بار به ولتاژ
V_{out}

Charge Amplifier ← در واقع یک آپ امپ انتگرال‌گیر است

بعضی از شتاب‌سنج‌ها که مدار تقویت‌کننده بار در آن integrate شده باشد، spec sheet این‌ها را اگر نگاه کنید، حساسیت آن برحسب $\frac{RC}{g}$ است. یعنی خروجی آن بار است.
$(\approx 10\, m/s)$

Subject:
Year: Month: Date: ( )

مدار تقویت کننده بار به صورت زیر است:


ترانسدیوسر پیزو
q
C_t
C_c
R_c
R_r
C_r
E_o

c: cable

t: transducer

$$E_o = q/\left[C_r + (C_T/A)\right] \quad , \quad C_T = C_t + C_c + C_r$$

A: Open loop gain of Op Amp

T: total

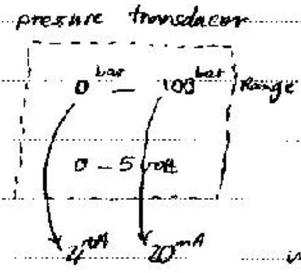
$$A \simeq \infty \Rightarrow E_o = -\frac{1}{C_r}q$$

در این باره به کتاب دکتر رهنمای مراجعه بفرمایید.

اگر بار ثابت، مثلاً یک وزنه رو همینجوری ثابت بذاریم روی پیزو، مدار خروجی هیچی نشون نمیده.
برای فرکانس‌های بالاتر از ۱ هرتز اینجور شتاب سنج مفید هستند برای فرکانس‌های پایین‌تر
مثل piezo resistive strain guage ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲ اکثر سنسورهایی که در صنایع در حال حاضر هستند سیستم انتقال خروجی‌شان 4-20 mA current
loop است.

○ مثلاً:

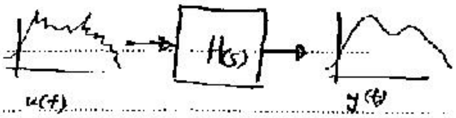

pressure transducer
0 bar — 100 bar
Range
0 – 5 volt
4 mA
20 mA

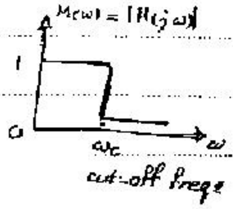
یه تفاوت هم این داره سیگنال [illegible] به جای
0 تا 5 ولت!

● فیلترها:

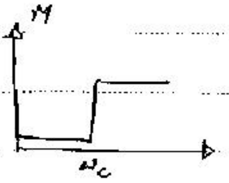
۱. آنالوگ ۲. دیجیتال

* فیلتر آنالوگ:

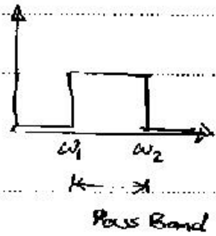



M(ω) = |H(jω)|
1
0
ω_c
ω
cut-off freq

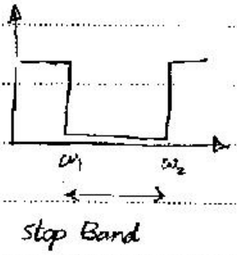
Low pass filter فیلتر پایین گذر



High Pass filter فیلتر بالاگذر


ω_1
ω_2
Pass Band

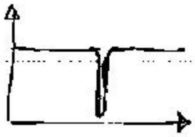
Band Pass filter فیلتر میان گذر


ω_1
ω_2
Stop Band

Band Stop/Reject filter فیلتر میان نا گذر

در B.S. ها اگر ω_1 به ω_2 خیلی نزدیک باشد، فقط یک فرکانس خاص را عبور نمی‌دهد که تبدیل

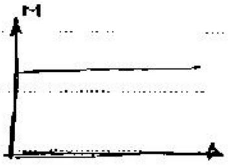
Subject:
Year. Month. Date.



[illegible] : Notch Filter

مثلاً می‌خواهیم یک مربوط به 50Hz برق شهر را حذف کنیم

یا مثلاً دیگر کارخانه می‌خواهی کار کنترل انجام بدهی که یک پمپ مثلاً در آن اطراف ، موتور با فرکانس مشخص می‌اندازد روی فرکانس‌ها !



All pass filter

روی اندازه اثر ندارد ، می‌خواهیم فاز را یه تغییری بدهیم.

۹۱ , ۰۱ , ۲۶ - جلسه چهاردهم

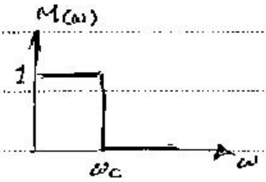
- Filters

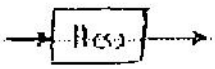
Type
- L.P. low pass
- H.P. High pass
- B.P. Band pass
- B.S / B.R. Band stop / reject → notch filter

Design
- → Analog
  - Butter worth
  - Tchebychev
  - Elliptic (Cauer)
  - Bessel
- → Digital ...

★ پائین گذر

- فیلتر ایده‌آل

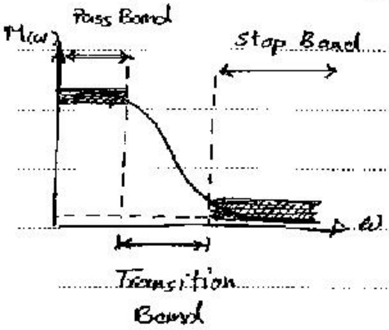




$M(\omega) = |H(j\omega)|$

این فیلتر قابل تحقق نیست !

- فیلتر واقعی

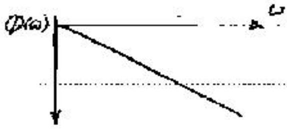


○ ویژگی‌های پاسخ فرکانسی :

۱) بهره در ناحیه عبور بهتر است Flat باشد.

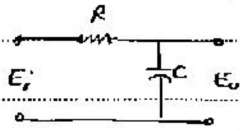
۲) شیب ناحیه گذر هرچه بیشتر باشد (سه تا ئم ؟)

۳) بهره ناحیه توقف (خیلی کم)



۴) فاز فیلتر ! نسبت به ω بهتر است خطی باشد ! $\phi(\omega) = k\omega$

✓ فیلتر ایده‌آل پائین گذر قابل تحقق نیست زیرا وقتی برش می‌گردانیم به حوزه زمان یک سیستم غیرعلی می‌شود و درنتیجه تحقق فیزیکی ندارد.



$$20 \log \left| \frac{E_o}{E_i} \right| = M(\omega) = -100 \text{ dB}$$

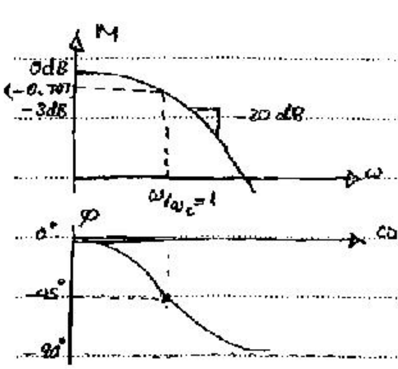
$$H(s) = \frac{1}{1+\tau s} \longrightarrow |H(j\omega)| = M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

$$\angle H(j\omega) = \phi(\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

اگر جای مقاومت و خازن را
عوض کنیم ، H.P. می‌شود.

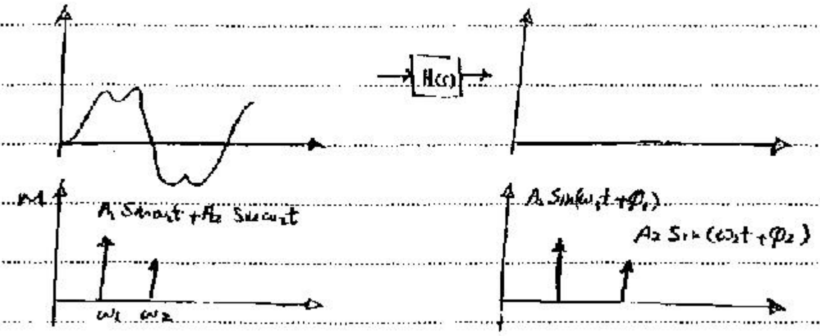
Subject:
Year.   Month.   Date.

برای این مثال یک منحنی بودی نوشتیم :



- خطی بودن فاز ← delay در حوزه زمان سیگنال را

دارد بدون distortion یا تغییر شکل نداشته باشد.

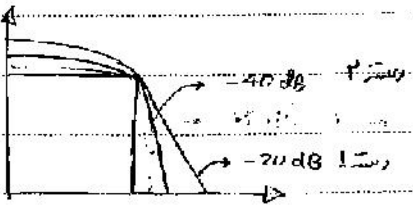

H(s)
M
$A_1 \sin\omega_1 t + A_2 \sin\omega_2 t$
ω_1 ω_2
$A_1 \sin(\omega_1 t+\varphi_1)$
$A_2 \sin(\omega_2 t+\varphi_2)$

اگر φ_1 و φ_2 تابع خطی از فرکانس نباشند، ما شانس زیادی برای اینکه شکل سیگنال خروجی مثل سیگنال ورودی باشد نداریم.

✓ فیلتر رتبه‌ی بالاتر:

$\omega = 2\pi f$

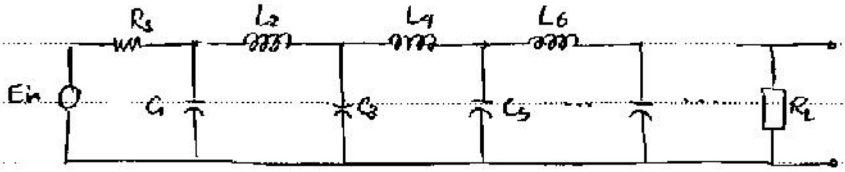
K رتبه : $M(f) = \dfrac{1}{\sqrt{[1+(\frac{f}{f_c})^{2K}]}}$



مرتبه ۱   فیلتر رتبه ۱ $k=1$
مرتبه ۲   ۲ " " $k=2$

استاد می‌خواهد در مورد اینکه فیلترهای passive را نمی‌شود cascade کرد تا به رتبه‌ی بالاتر رسید گفت!

* فیلتر باترورث (Butterworth)



یک جدول‌هایی وجود دارد برای اندازه‌های این‌ها!

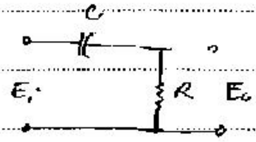
K	C_1	L_2	C_3	L_4	...
1	1.414	...			
2	⋮				
3					
4					
5					

$$C = \frac{C_i}{R_s(2\pi f_c)} \quad , \quad L = \frac{L_i}{R_s(2\pi f_c)}$$

این L.P. بود!

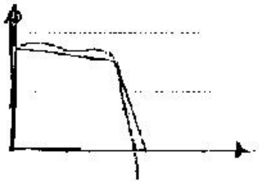
- تعمیم order درجه K برای فیلتر H.P. هم همین شکل می‌شد با این تفاوت که باید بجای

L و C برای مدار پایین cascade کنیم:



$$M(\omega) = \frac{f/f_c}{\sqrt{1+(f/f_c)^{2K}}}$$

* فیلتر چبیشف (Tchebychev):



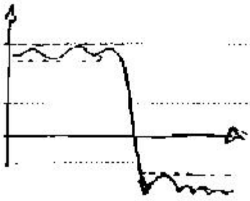
هدف این بوده ناحیه عبور را flat و شیب ناحیه گذر را زیاد کند.

شیب را زیاد کرده در مقایسه با باترورث ولی در pass band ، ripple

پیدا کرده!

هرچه order بالاتر می‌رود ، دامنه ripple کمتر می‌شود ولی تعداد پستی و بلندی‌ها بیشتر می‌شود.

* فیلتر Elliptic :



همان cauer شیب را باز بیشتر کرده ولی
چون در stop band هم ripple ایجاد شده!
یک صفر مزدوج در تابع تبدیل اضافه می‌کند!

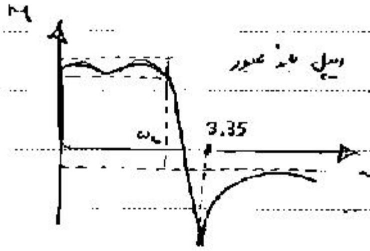
○ مثال: فیلتر مرتبه ۳ چبیشف با ریپل 0.5 دسیبل

$$H(s)=\frac{E_o}{E_i} = \frac{0.8}{s^2+0.5s+0.8}\ \frac{0.5}{s+0.5}$$

همین فیلترها، فیلتر active اش با OP-Amp هم وجود دارد.

○ مثال: فیلتر مرتبه ۳ بیضوی

$$H(s) = \frac{0.78}{s+0.78}\ \frac{s^2+3.35^2}{3.35^2}\ \frac{1.298}{(s^2+0.6898s+1.298)}$$

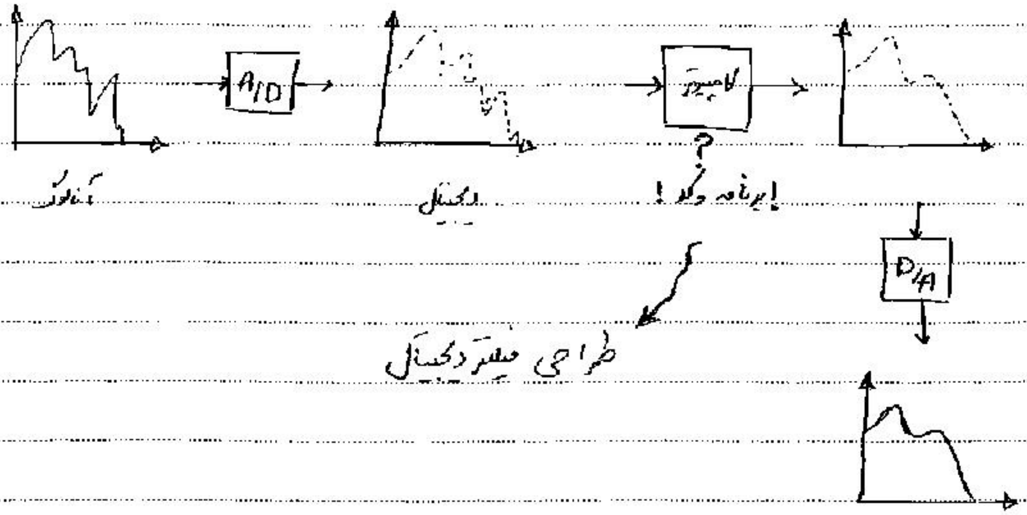


attenuation floor کف تضعیف

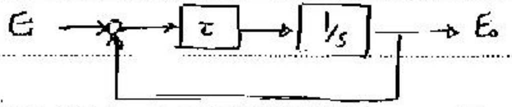
نشان دادیم 0 بی‌نهایت است. یک صفر محدود گذاشتن تا خیلی کشیده شد یا شیبش
تا شیب اش خیلی زیاد شد !

برای این فیلترهای آنالوگ یک تابع تبدیل برحسب s داریم و می‌رسد به کمک مدارهای RC و یا
مدارهای active آپ‌امپ آن را بسازیم.

* فیلترهای دیجیتال:


A/D
کامپیوتر
?
D/A
آنالوگ
دیجیتال
برنامه کو!
طراحی فیلتر دیجیتال

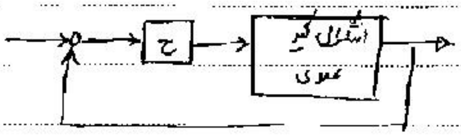
○ مثال: می‌خواهد که تابع تبدیل را دیجیتال کند!



$H(s) \longrightarrow H(z)$ تبدیل z

تبدیل لاپلاس معادله دیفرانسیل ↘ معادله تفاضلی

Difference Equation


τ
انتگرال‌گیر عددی

بی‌خوده!

* فیلتر بسل مرتبه K:

$$H(s) = \frac{a_0}{a_0 + a_1 s + \cdots + a_k s^k} = \frac{a_0}{D_k(s)}$$

$$D_k(s) = (2k-1)D_{k-1}(s) + s^2 D_{k-2}(s) \quad , \begin{cases} D_0 = 0 \\ D_1(s) = s+1 \end{cases}$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

هم Plat پوشش هم شیمیش بهتر از پایکورت هست ولی خوب نازش خیلی خوب خطی

نسبت به زمان!

۹۱,۱,۲۸ - جلسه پانزدهم

- لیست تکنولوژی های تشخیص پزشکی برای present:

EEG - EGG - EMG - MGM

EAR: Audiometery - FES & Bio feedback - Brain Imaging (Tomography - CT scan)

MRI - PET - TCD - Blood Pressure

laser instrument & surgury - Angio

- لیست صنعت نفت:

Well logging - Mod logging

- سایر موارد:

Micro/Nano - SEM, FESEM, XRD, ... - SPM, AFM, SFM, ...

TEM, STM, SCM, ... - MEMS/NEMS - Automotive Electronic

Engine Electronics - Body Electronics.

PAPCO

☆ فصل ۶ :

مبدل ها (Transducers)

• خانواده‌ی جابجایی : x , θ ← پایه‌ی اندازه‌گیری در این خانواده

$\omega = \dot{\theta}$, $\dot{x} = v$

$\ddot{x} = a$, $\ddot{\theta} = \alpha$ ← برای شتاب هم به طور مستقل سنسور داریم.

• خانواده‌ی کرنش، تنش، نیرو، فشار

ε σ F P

T

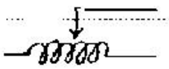
ε ← پایه‌ی اندازه‌گیری در این خانواده

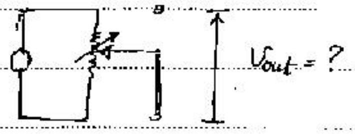
• خانواده‌ی دما

۴ جور سنسور داریم که جابجایی، کرنش، دما و شتاب را اندازه‌گیری می‌کنند و سایر کمیات به کمک همین‌ها بدست می‌آید.

☺ سنسور جابجایی (Disp. Sensor)

۱) استفاده از تغییر مقاومت :


مقاومت متغیر



$\Delta x \rightarrow \Delta R \rightarrow V_{out}$

۲،۳) استفاده از تغییر ظرفیت خازنی یا القایی:

$\Delta x \rightarrow \Delta C \rightarrow V$

$\Delta x \rightarrow \Delta L \rightarrow V$

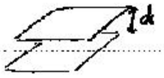
Subject :
Year . Month . Date . ( )

پتانسیومترها دقت پایین رزولوشن کم، مشکل نویز ولی خوب محدوده‌ی زیادی دارند.

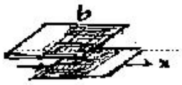
خازن‌ها و القایی‌ها، دقت بالا ولی خوب محدوده‌ی پایینی دارند.

↳ μm

- اساس کار خازن‌ها:



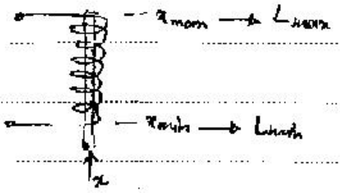
$C \propto \frac{1}{d}$



$x \propto C$ $C = \varepsilon \varepsilon \frac{A}{d}$ $A \rightarrow bx$

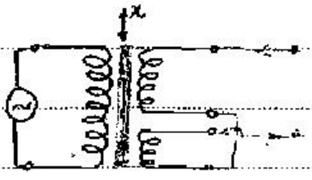
سطح مؤثر الکترودها ← ظرفیت

- اساس کار سلف یا القایی‌ها:



$\Delta x \rightarrow \Delta L \rightarrow \Delta V$

اگر این پدیده را ترکیب کنیم با خاصیت القای متقابل:



طول این دو تا کویلها مساوی‌اند!

وقتی طول هسته‌ی روبه‌روی هر دو سیم‌پیچ برابره، ولتاژ خروجی

LVDT

برابر صفر و اگر بالا برود، مثبت و چنانچه پایین بیاید، منفی است.

↓

Linear Variable Differential Transformer

- LVDT استاندارد ۶ تا سر داره، ۲ تا ورودی، ۲ تا خروجی و ۲ تا با هم مثل بالا به هم وصل

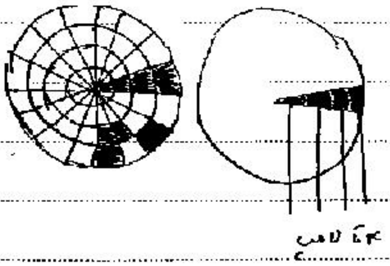
PAPCO

شوند. تغذیه‌اش به جهتی که اسلایدر باشد.

دوتا سیم خروجی می‌روند در پل‌های الیوری انطار و بعد باهم جمع می‌شوند ! (?)

RVDT (rotational) هم هست که مستقیم زاویه اندازه می‌گیرد.

۴) Shaft Encoder :



انکودرهای تماسی از دوتا از این دیسک‌ها تشکیل می‌شوند
۱۶ تا قطاع ، ۴ تا لامپ که به ۴ تا حلقه‌ی روی دیسک وصل شده‌اند.
موقعیت زاویه‌ای را بصورت یک عدد باینری ۴ بیتی بدست می‌دهد.

$\text{resolution} = \frac{360^\circ}{2^4} = 22.5^\circ$ برای ۴ بیتی

$\frac{360}{2^8} = 1,...^\circ$ برای ۸ بیتی

می‌شود یک عدد باینری را تبدیل کرد به 7 segment و بصورت دهدهی هم نشان داد.

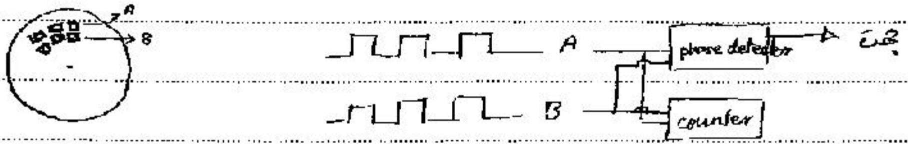
این انکودره مطلق بود!

اگر در همان انکودر تماسی بالا، فقط یک track روی دیسک سمت چپی بریده باشد، یک نفر باید بشمرد. افزایشی است و زاویه را نسبت به موقعیت قبلی نشان می‌دهد. هرچه تعداد خانه‌های روی track بیشتر باشد، دقت هم بالاتر می‌رود.

این انکودره نسبی است.

انکودرهای جدیدتر، نوری هستند. به جای پرکردن خانه‌ها با رسانا، آنها را سوراخ کرده‌اند و سنسور IR داریم.

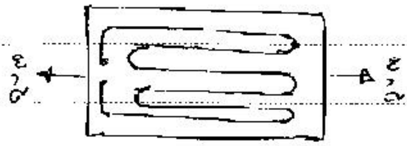
اگر بخواهیم انکودر افزایشی جهت را هم مشخص بدهد، دو تا ردیف سوراخ می‌خواهیم:


A
B
A
B
phase detector
counter
جهت

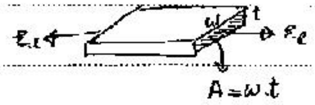
۹۱،۲،۲ - جلسه پانزدهم

☺ خانواده کرنش - تنش - نیرو

۱- سنسورهای (Strain Guage) کرنش سنج مقاومتی



$\sigma = E\varepsilon$ uni-axial


ε_t
ε_l
w
t
A=w.t

مقطع سیم کرنش سنج را مستطیلی فرض کنید. (سطح مقطع = A)

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

به دنبال Q یا همان حساسیت کرنش سنج هستیم.

$\varepsilon_l \rightarrow \boxed{G} \rightarrow \frac{\Delta R}{R}$

$G = \frac{\Delta l / l}{\Delta R / R}$ Guage Factor فاکتور استرین گیج

برعکس!

$$\Delta R = \left(\frac{\partial R}{\partial \ell}\right)\Delta \ell + \left(\frac{\partial R}{\partial A}\right)\Delta A + \left(\frac{\partial R}{\partial \rho}\right)\Delta \rho = \frac{\rho}{A}\Delta \ell - \frac{\rho \ell}{A^2}\Delta A + \frac{\ell}{A}\Delta \rho$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \ell}{\ell} - \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

از طرفی : $\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta w}{w} + \frac{\Delta t}{t} = 2\varepsilon_t = -2\nu \varepsilon_\ell$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \varepsilon_\ell + 2\nu\varepsilon_\ell + \frac{\Delta \rho}{\rho} = (1+2\nu)\varepsilon_\ell + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$\Rightarrow G = (1+2\underbrace{\nu}_{0.3}) + \underline{\frac{\Delta \rho / \rho}{\varepsilon_\ell}}$$

برای فلزات مقدار خاصی است ! ضریب piezoresistive
نامیده می‌شود و تقریباً برابر 0.4 است.

$$\Rightarrow G \simeq 1 + 0.6 + 0.4 \simeq 2$$

- نتیجه : حساسیت (G) کرنش سنج‌های فلزی تقریباً 2 است ؛ اما کرنش سنج‌های نیمه‌هادی
با حساسیت حدود 50 تا 200 (!!) هم ساخته می‌شوند که متأسفانه مشکلاتی دارند ، از جمله
آنکه خواصشان بستگی به تغییرات دما حساس است .

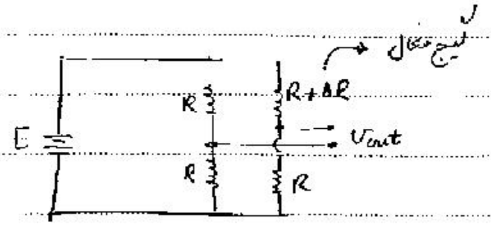
✓ مایکرو استرین :

کرنش برابر است با 10^6 مایکرو استرین ($10^6 \left(\frac{m}{m}\right)$.

$$\varepsilon = 0.006 = 6000\,\mu\varepsilon$$

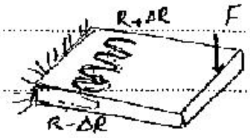
- پل برای اندازه‌گیری

$$V_{out} = E \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}$$



ΔR کوچک است: $V_{out} \simeq E \frac{\Delta R}{4R}$

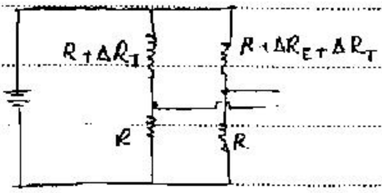
- در مورد خمش یک تیر، اگر یکی را از زیر و یکی را روی تیر بچسبانیم، روابط به صورت زیر می‌شود:



$$V_{out} \simeq E \frac{\Delta R}{2R}$$

- برای اینکه اثر دما (ΔR_T) را از روابط حذف کنند، یکی از گیج‌ها را به صورت dummy در نظر آورند (!) !

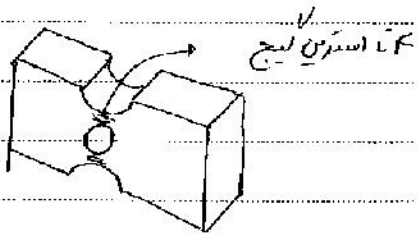
اینطوری ΔR_T ها با هم حذف می‌شوند.



(جبران‌سازی دما)

۲. Load cell :

یک بلوک آلومینیومی به علاوه تعدادی گیج:

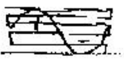


پل و این‌ها را خودتان باید ببینید!

□ رفتار دینامیک :

فرض کنید نیروت با فرکانسی نوسان کند که طول موج برابر شود با طول استرین گیج. اینطوری

خروجی استرین گیج تقریباً صفر خواهد بود.



$\rightarrow \simeq 0$

سرعت موج در پایه سنسور (5000 m/s در فولاد)

$$f = \frac{v}{\ell} \Rightarrow f_{max} = \frac{5000}{5\times10^{-3}} = 1\times10^{6}\ Hz = 1\ MHz$$

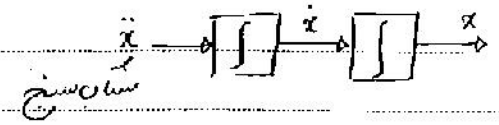
پس تا 100 کیلوهرتز می‌توانیم پاسخ خطی بگیریم با کج!

☺ خانواده‌ی سرعت - سنج :

می‌شد از خروجی های خانواده‌ی جابجایی هم مشتق بگیریم ولی چون مشتق‌گیر نویز را تشدید می‌کند به کار ما نمی‌آید. مگر اینکه در فرکانس‌های خیلی پایین کار کنیم

ولی از آن طرف خوب می‌شود از انتگرال‌گیر استفاده کرد و جابجایی و سرعت را از شتاب به دست آورد.

البته انتگرال‌گیر یک offset دارد که باید تصحیح شود

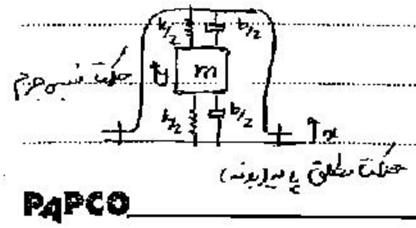

$\ddot{x}$
شتاب‌سنج
$\int$
$\dot{x}$
$\int$
x

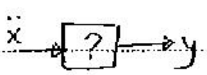
$$\ddot{x},\ddot{y},\ddot{z},\ \dot{\psi},\dot{\phi},\dot{\theta} \xrightarrow{?} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \\ \psi \\ \phi \\ \theta \end{Bmatrix}$$

خروجی شتاب‌سنج , IMU

محاسبه باید بشود به کمک کامپیوتر ها

- ساختمان شتاب‌سنج

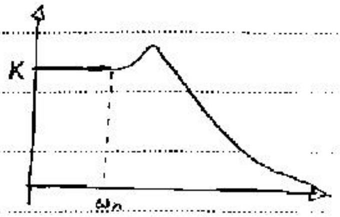

k/2
b/2
m
y
حرکت نسبی جرم
k/2
b/2
x
حرکت مطلق پایه (بدنه)



Subject:
Year. Month. Date. ( )

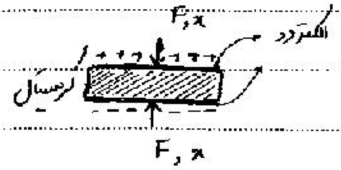
$$m\ddot{x} = m\ddot{y} + b\dot{y} + ky \Rightarrow a = \ddot{y} + 2\zeta\omega_n\dot{y} + \omega_n^2 y$$

$$\frac{Y(s)}{a(s)} = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{\overset{\xrightarrow{} K \text{ : dc gain}}{1/\omega_n^2}}{\frac{1}{\omega_n^2}s^2 + \frac{2\zeta}{\omega_n}s + 1}$$



- بریم سراغ ورژن پیزوی شتاب سنج :

اثر مستقیم :


F, x
الکترود
کریستال
F, x

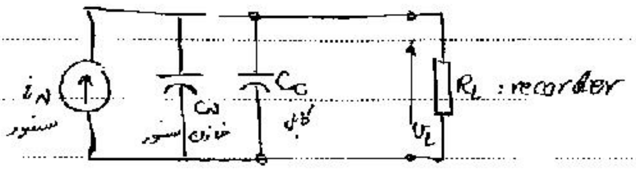
$F = kx$ ← سختی پیزو

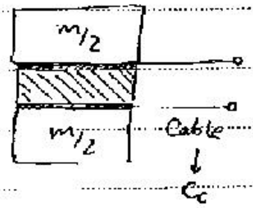
بار $q =$ ضریب $x \longrightarrow q = \frac{\text{ضریب}}{k} F = dF$ $\quad F \to \boxed{\text{پیزو}} \to q$

ضریب حساسیت بار به نیرو ←

$\dot{q} = i_N =$ ض $K\dot{x}$

پس در واقع خود به مانند یک منبع جریان با $i_N \alpha \dot{x}$ می‌باشد.


i_N
سنسور
C_0
خازن سنسور
C_c
کابل
V_L
R_L : recorder


m/2
m/2
Cable
C_c

$$\frac{V_L(s)}{F(s)} = \frac{d}{(C_0 + C_c)} \cdot \frac{\tau s}{1+\tau s} \cdot \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta}{\omega_n}s + 1}$$

در سنسور ω_n : K و ζ مربوط به کریستال
m مربوط به جرم لرزه

می‌بینیم که :

$$\lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{s\to 0} s\,Y(s) \to 0$$

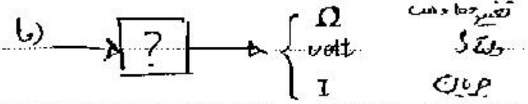
$\downarrow$ $\frac{1}{s}$ پله واحد

پس برای فرکانس‌های پایین، زیر 1 هرتز، اصلاً سنسور خوبی نیست.

ولی اگر با charge Amp. می‌توانیم که فرکانس قابل اندازه‌گیری پایین‌تر هم بیاید.

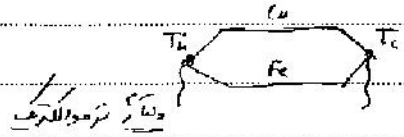
۹۱,۲,۴ - جلسه هفدهم

☺ حسگر دما (Temprature Sensors)



- مقاومت فلزی RTD (PT100 و ...) ← با تغییر دما مقاومت تغییر می‌کند (زیاد می‌شود!)
- مقاومت نیمه‌هادی (ترمیستور) NTC و ... ← با یک ضریب منفی تغییر مقاومت با دما داریم
- دیود، ترانزیستور، IC های مبدل دما به ولتاژ یا جریان

◀ ترموکوپل :



مواردی که در بالا ذکر شد، اصلی‌ترین سنسورها هستند (برای دما).

○ در مورد مقاومت فلزی :

$$R_T = R_0 \left(1+\alpha T+\beta T^2+\dots\right)$$

مثلاً $R_0 = 100\ \Omega$, $R_{100} = 138.5\ \Omega$, $R_{200} = 175.83\ \Omega$ $\Rightarrow$ $\alpha = 3.91\times 10^{-3}\ 1/^{\circ}C$, $\beta = -5.85\times 10^{-7}\ 1/^{\circ}C^2$

← همونطور که می‌بینی، ضریبش (غیرخطی بودنش) کمه!

شبیه استرین گیج، اینجا هم پل انحراف داریم.

○ در مورد ترمیستور:

رابطه تجربی با حدود 7-8 ٪ خطا هست $R_T = k \exp(\beta/T)$

که در آن k و β ثابت های ترمیستور هستند.

از رابطه زیر هم برای ترمیستور می‌شود استفاده کرد.

$$R_T = R_{T_1} \exp\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)$$

مثال $R_{25^\circ C} = 12\,k\Omega$, $R_{100^\circ C} = 0.95\,k\Omega$

$\rightarrow \beta = 3750$

حساسیت به دما بسیار زیاد است (گین زیادی دارد) ولی خوب نمی‌توان هم خوشحالی کرد به همین دلیل!

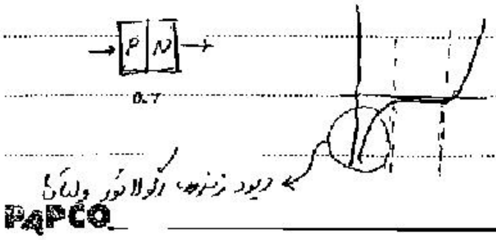
از طرفی غیرخطی است.

برای ترمیستور هم پل می‌بندند!

② توسط مدار کاندیشنینگ، یک عنصر غیرخطی را خطی کنیم. ایده‌ای است که در کتاب آقای رهنمایی

هم بررسی شده است. (مجبور است بدانید!)

③ در مورد دیودها:



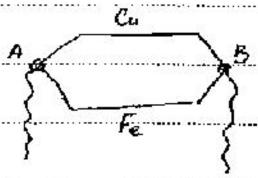
ICهای معادل دما به ولتاژ هم عبارتند از:

LM35
LM335
LM235 بعضیاش نقاط دیگر رفرنس!
LM135

کارهای حساس و دقیقی را با مقاومت پلاتینی انجام می‌دهند که گرونتره! (در مقایسه با ترموکوپل)

ترمیستور علاوه بر هوا، در روغن هم می‌شود به کار برود!

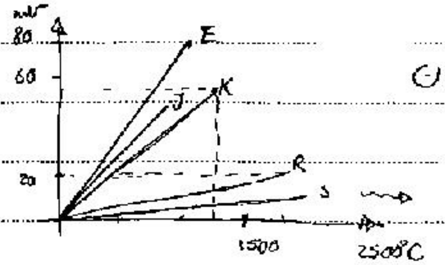
○ برگردیم سر ترموکوپل:



$$E_{T_{AB}} = \alpha_1 T + \alpha_2 T^{2} + \alpha_3 T^3 + \cdots$$

مثلاً برای ترموکوپل آهن-کنستانتان

$$E_T = 5.037 \times 10\, T + 3.043 \times 10^{-2} T^{2} + -8.567 \times 10^{-5} T^3 + \cdots$$

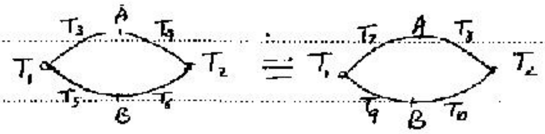


آمده‌اند برای سیم‌های مختلف با خصوصیات مختلف در دماهای گوناگون
این منحنی‌ها را درآورده‌اند.
range اش زاویه هم خوبی حساسیتش است!

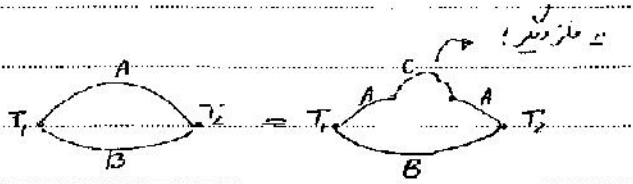
نمودار $T_h - T_c$ برای $T_c = 0°C$

□ قوانین ترموکوپل‌ها:

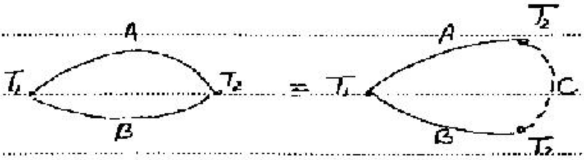
قانون I : ولتاژ ترموالکتریک مستقل از دمای سیم‌های رابط بوده و فقط به دمای محل اتصال سیم‌ها بستگی دارد.


T_1
T_3
A
T_4
T_2
T_5
B
T_6
=
T_1
T_7
A
T_8
T_2
T_9
B
T_{10}

قانون II :

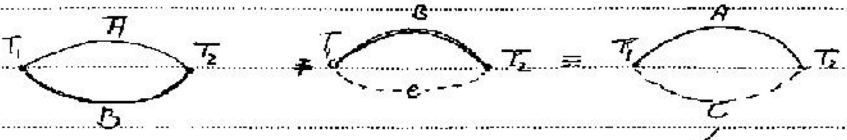

A
T_1
T_2
B
=
T_1
A
C
A
T_2
B
= فلز دیگر!

قانون III : فلزات میانی


A
T_1
T_2
B
=
T_1
A
T_2
C
B
T_2

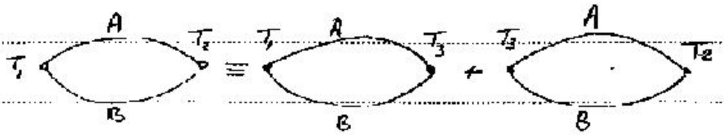
کاربردش : مثلاً فرض کن دوتا سیم را جوش بدی روی بدنه‌ی موشک، به هم چسبیده‌اند یا خیلی نزدیک هم باشند.

قانون IV :


T_1
A
T_2
B
+
T_1
B
T_2
C
=
T_1
A
T_2
C

ولتاژها رو جمع کنیم!

قانون V : (دماهای میانی)


T_1
A
T_2
B
=
T_1
A
T_3
B
+
T_3
A
T_2
B

ولتاژها رو جمع کنیم!

فقط اگر منحنی‌ها خطی باشند، این قانون صادق است. وگرنه یه نوع تصحیح کردن
می‌خواد.