



# اندازه‌گیری و کنترل کامپیوتری

تمرین پنجم

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی شریف

نیم سال دوم ۹۹-۰۰

---

استاد:

جناب آقای دکتر همت‌یار

نام و نام خانوادگی:

امیرمهدی نامجو - ۹۷۱۰۷۲۱۲



### سوال ۳

فاصله اولیه  $1mm$  است. در فاصله  $1.02mm$  داریم:

$$C = 880 \times 1/1.02 = 862.7pF$$

در فاصله  $0.98mm$  داریم:

$$C = 880 \times 1/0.98 = 898.0pF$$

بازه تغییرات حدوداً  $\pm 18pF$  است. اختلاف دو بازه  $36pF$  است.

### سوال ۶

۱.

$$2.5 \times 10^{-3} \times 200 = 0.5V$$

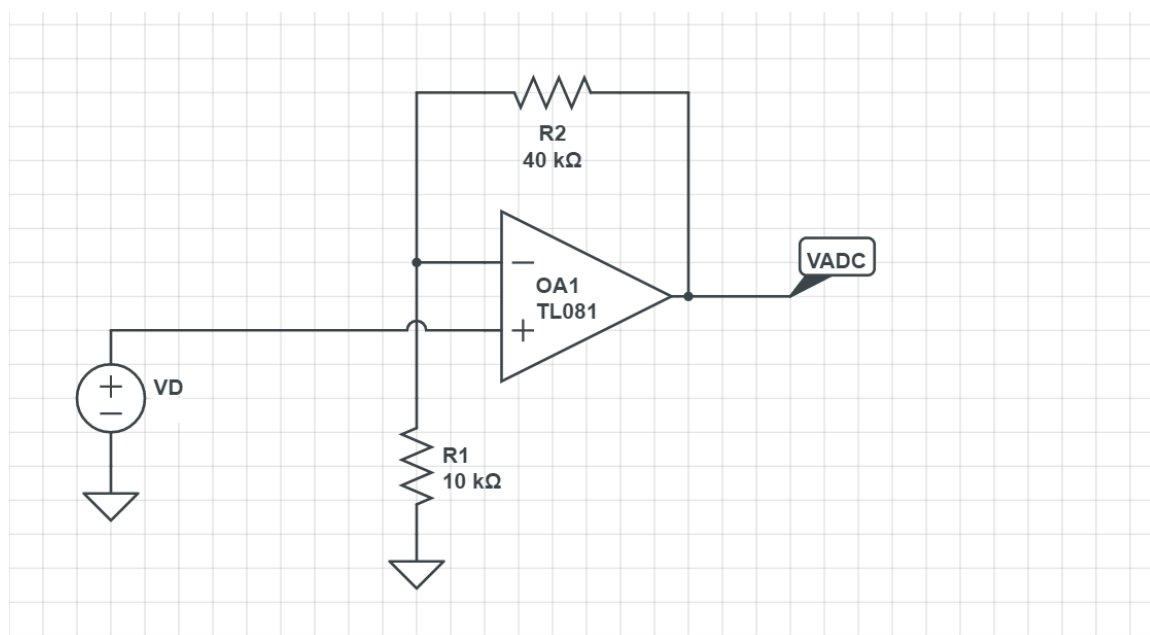
پس بازه تغییرات بین  $-0.5V$  تا  $0.5V$  است.

۲.

$$(+200 - (-200))/0.5 = 800$$

یعنی به 800 حالت نیاز داریم. پس حداقل نیاز به 10 بیت داریم.

۳. در واقع بازه بین  $-0.5$  تا  $0.5$  ولت را باید به بازه  $-2.5$  تا  $2.5$  ببریم و خروجی را به ADC بدهیم. در نتیجه Gain مدار 5 است. با مدار غیرمعکوس کننده زیر می توان این کار را انجام داد.





البته در اصل اگر بخواهیم دقیق باشیم، بازه مد نظر ما بین  $-2.5$  تا  $2.5/1024 - 2.5$  است. در این صورت با حل دو معادله دو مجهول به عبارت

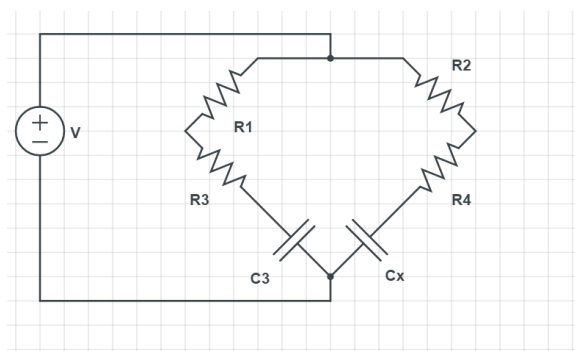
$$V_{adc} = (4.99756)V_D - 0.0012 = (4.99756)(V_D - 0.00025)$$

می شد که به دلیل کوچک بودن عرض از مبدا، از در نظر گرفتن آن صرف نظر شده است.



## سوال ۹

مداری مطابق شکل زیر طراحی می کنیم:



$$R_1(R_4 + 1/(j\omega C_x)) = R_2(R_3 + 1/(j\omega C_3))$$

در نتیجه:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

$$R_1/(\omega C_x) = R_2/(\omega C_3)$$

با توجه به اعداد داده شده در صورت سوال و همچنین مثال ۴ کتاب، نقطه Null را برابر  $C_x = 0.0032\mu F$  در نظر گرفته و داریم:

$$R_1 = R_3 = 1k\Omega, C_3 = 0.02\mu F, C_x = 0.0032\mu F, \omega = 1 \times 2\pi$$

و از حل معادله بدست می آید:

$$R_2 = 6250\Omega$$

حال برای رسم نمودار باید مقاومت کل را برحسب سطح اتیل الکل بدست آوریم. در مثال ۴ کتاب  $A = 1.806m^2$  بدست آمده بود و کل طول ظرف هم  $5m$  بود. در نتیجه اگر  $x$  متر اتیل الکل باشد  $5 - x$  متر هوا است. خازن ها هم موازی بوده و مقادیرشان جمع می شود. پس

$$C_x = \epsilon_0 \times (1.806/0.005) \times (K_{ethyl}x + K_{air} \times 5 - K_{air}x) = 3197(25x + 5)pF$$

از طرف دیگر برای اختلاف ولتاژ بین دو سر پل داریم:

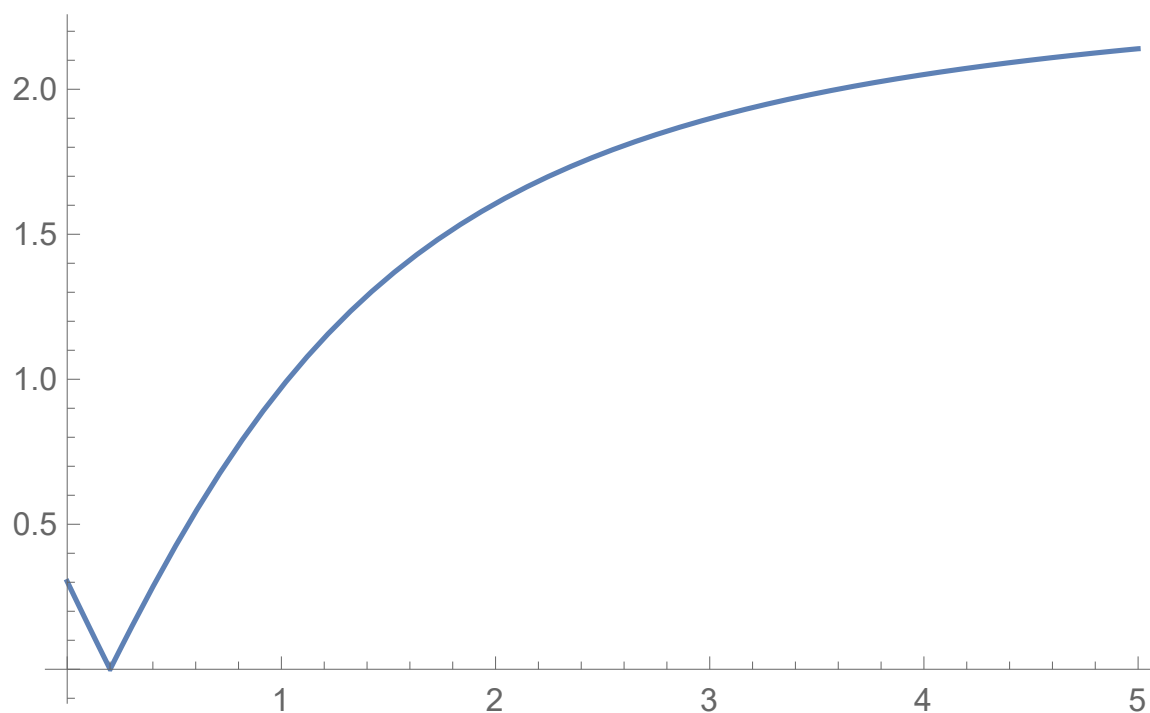
$$\delta V = V \left( \frac{R_3 + 1/j\omega C_3}{R_3 + 1/j\omega C_3 + R_1} - \frac{R_4 + 1/j\omega C_x}{R_4 + 1/j\omega C_x + R_2} \right)$$

با جایگذاری این موارد و فاکتور گیری از توان های مشترک در صورت و مخرج داریم:

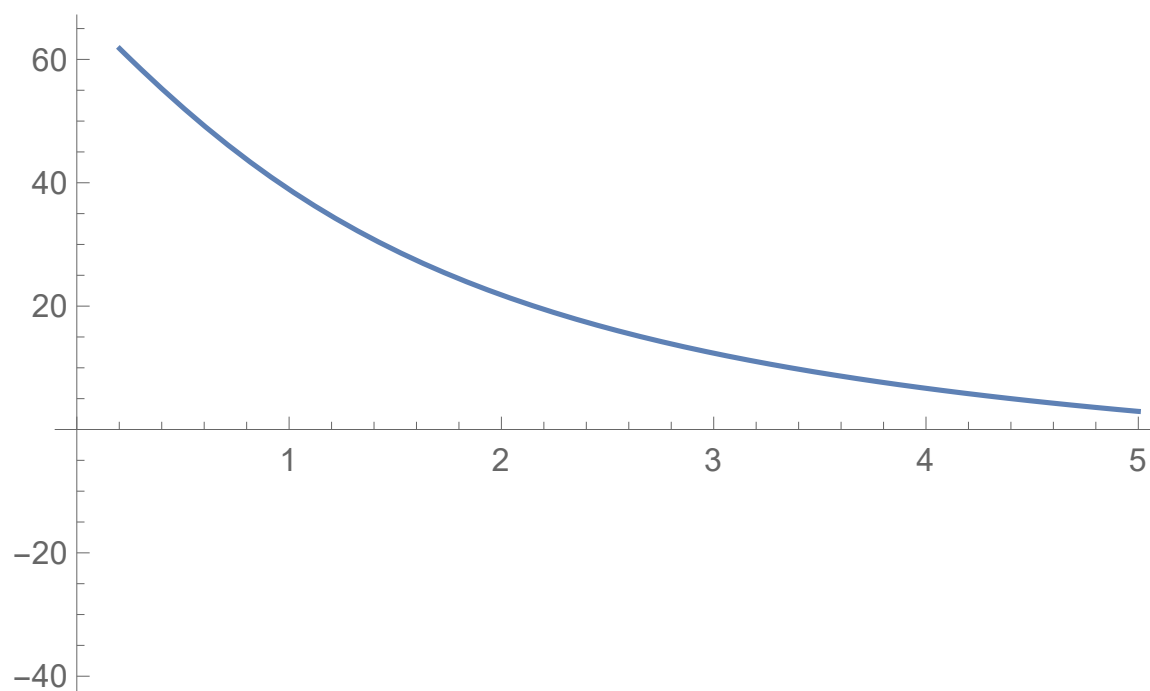
$$\Delta V = 5 \left[ \frac{1 - 7.96j}{2 - 7.96j} - \frac{6.25 - j\frac{498}{25x+5}}{12.5 - j\frac{498}{25x+5}} \right]$$



با رسم نمودارها به کمک Wolfram Mathematica داریم:  
نمودار Magnitude برحسب  $V$  نسبت به Level برحسب متر:



نمودار فاز برحسب درجه نسبت به Level برحسب متر:





## سوال ۱۲

$$\Delta R = GF \times R \times (strain) = 2.06 \times 120 \times 10^{-6} = 2.472 \times 10^{-4}$$

از فرمول فصل قبل داریم:

$$\Delta R = \alpha_0 R \Delta T$$

$$\Delta T = (2.472 \times 10^{-4}) \times (0.0034) \times 120 = 1 \times 10^{-4} \text{ deg } C$$

از طرفی  $P = I^2 R$  و  $\delta T = P/P_D$  پس

$$I = \sqrt{(P_D \Delta T / R)} = \sqrt{(25 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-4} \times 120)} = 300 \mu A$$



## سوال ۱۵

داریم:

$$\Delta V = V_s \left( \frac{R_D}{R_1 + R_D} - \frac{R_A}{R_A + R_2} \right)$$

9

$$R_A = R \left( 1 + \frac{\Delta R}{R} \right)$$

در نتیجه:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_s \left( \frac{R}{2R} - \frac{R \left( 1 + \frac{\Delta R}{R} \right)}{R \left( 1 + \frac{\Delta R}{R} \right) + R} \right) = \frac{V_s}{2} \left( 1 - \frac{\left( 1 + \frac{\Delta R}{R} \right)}{\left( 1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} \right)} \right) \\ &= \frac{V_s}{2} \frac{1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}} \end{aligned}$$

همچنین با توجه به بسط تیلور می دانیم:

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2/2! - \dots$$

در نتیجه:

$$\Delta V \approx \frac{V_s}{2} \left( -\frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} \right) \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} \right) \approx -\frac{V_s}{4} \frac{\Delta R}{R}$$

و با توجه به فرمول GF داریم:

$$\Delta V = -\frac{V_s}{4} GF \frac{\Delta l}{l}$$



## سوال ۱۸

ماژول یانگ برای مس حدود  $11.73 \times 10^{11} N/m$  است. داریم:

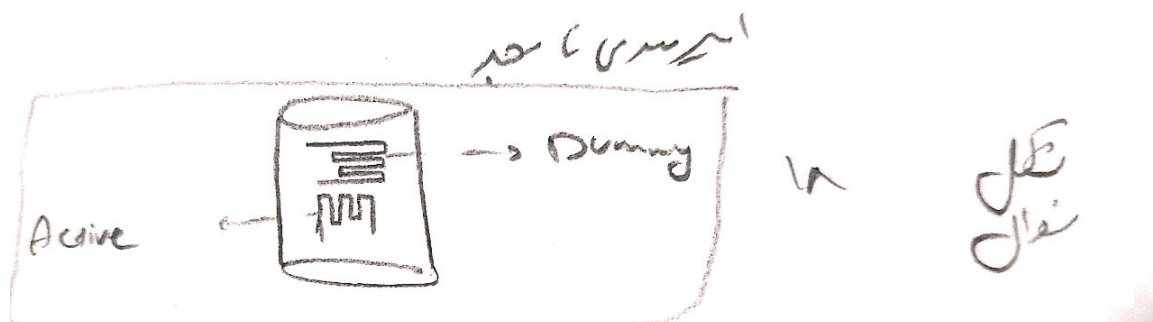
$$E = (F/A)/(strain)$$

$$\pi R^2 = \pi(6/2 \times 0.0254)^2 = 1.824 \times 10^{-2} m^2$$

$$strain = (1lb \times (4.448 N/lb)) / (1.842 \times 10^{-2} \times 11.73 \times 10^{11}) = 2.06 \times 10^{-10}$$

$$\Delta R = R \times (2.02) \times (2.06 \times 10^{-10}) = 4.99 \times 10^{-8} \approx 5 \times 10^{-8} \Omega$$

شکل تقریبی آن به این صورت خواهد بود و با توجه به فشرده شدن، مقاومت کاهش خواهد یافت:







## سوال ۲۱

$$10000 \frac{\text{round}}{m} \times 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{round}} \times (1m/60s) = 1047.2 \text{rad/s}$$

## سوال ۲۴

$$2g\Delta X = v^2 \rightarrow v = \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.5} = 5.42 \text{m/s}$$

$$a_2 = \Delta V / \Delta T = (5.42) / (2.7 \times 10^{-3}) \times (1/9.8) = 204.8g$$

## سوال ۲۷

.۱

$$V = (0.31 \text{mV/mm}) \Delta X = 0.31 \Delta x$$

از طرفی

$$k\Delta x = ma \rightarrow \Delta x = \frac{m}{k}a$$

پس

$$V = (0.31)(m/k)a = 0.31(0.05/240)a = (6.46 \times 10^{-5})a$$

.۲

$$V_{max} = (0.31 \text{V/m}) \times (2 \text{cm}) = 0.31 \times 2 \times 10^{-2} = 6.2 \text{mV}$$

$$a = 1 / (6.46 \times 10^{-5}) \times (\pm 6.2 \times 10^{-3}) = \pm 95.97 \approx \pm 96 \text{m/s}^2$$

.۳

$$f_n = \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{240}{0.05}}}{2\pi} = 11.02 \approx 11 \text{Hz}$$

## سوال ۳۰

داریم:

$$E = \frac{F}{A} / \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \left( \frac{\Delta l}{l} \right)$$



$$F = ma$$

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{GFma}{EA}$$

از آن جایی که به ازای واحد  $g$  می خواهیم مقدار  $a = 9.8m/s^2$  گذاشته و بقیه را هم از صورت سوال جایگزین می کنیم:

$$\delta R = 120\Omega \times \left( \frac{9.8m/s^2 \times 2.03 \times 0.02kg}{10^8 N/m^2 \times 2 \times 10^{-4}m^2} \right) = 2.39 \times 10^{-3}\Omega$$

یعنی نرخ تغییر مقاومت به ازای هر  $g$  برابر  $2.39 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{g}$  است.

### سوال ۳۳

$$1500psi / (1.45 \times 10^{-4}psi/Pa) = 10.3 \times 10^6 Pa$$

$$1500psi / (14.7psi/atmosphere) = 102.04atmosphere$$

### سوال ۳۶

۱.

$$20psi / (1.45 \times 10^{-4}psi/Pa) = 137.9 \times 10^3 Pa$$

$$A = (0.5in^2) \times (0.254m/in)^2 = 3.23 \times 10^{-4}m^2$$

و داریم:

$$k\Delta x = F = pA \rightarrow \Delta x = (137.9 \times 10^3 \times 3.23 \times 10^{-4}) / (3500) = 0.0127m = 1.27cm$$

۲.

$$f_n = \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{3500}{0.05}}}{2\pi} = 42.11Hz$$