ตัวย่อ

τ: Time constant | Y: Admittance : 1/Z | CRT: Cathode Ray Tube | PA: pulse amplitude | tro: rise time impose by osciloscope | LVDT: Linear Variable Differential Transformers | RTDs: Resistance temperature detector

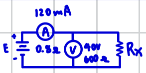
Q: charge | Q factor: quality factor | PW: Pulse width | tr: rise time | tri: input pulse rise time | fy: vetical freq. | fx: horizontal freq. | PV: Photovoltaic: solar cell

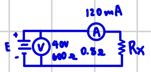
Cp: pure capa | Ls: pure induc | D factor: dissipation factor | SW: Space width | tf: fall time | Cc: coupling capa | Photocell: Photoconductors | Op-amp: Operational Amplifiers

Rp: para resist | Rs: series resist | Cx: small capacitor | T: period | td: delay time | fc: cutoff freq. | POT: Potentiometer | Av: Amplification factor | CMRR: Common Mode rejection ratio

---

Hw5





จากรูป $R_x = \frac{V_{Rx}}{I_{Rx}} = \frac{40V}{120mA - 40V/600\Omega} = 750\Omega$

จากมิเตอร์ : 40V/120mA = 333.33Ω

∴ % ผิดพลาด = $\frac{333.33-750}{750} \times 100\% = -55.56\%$

จากรูป $R_x = \frac{V_{Rx}}{I_{Rx}} = \frac{40V - 120mA \times 0.8\Omega}{120mA} = 332.53\Omega$

จากมิเตอร์ : 40V/120mA = 333.33Ω

∴ % ผิดพลาด = $\frac{333.33-332.53}{332.53} \times 100\% = 0.24\%$

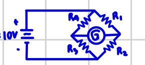
① E = 10V for wheatstone bridge @ t = 25°C

R_1, R_2, R_3 = 4kΩ, 2kΩ, 8kΩ and R_x = ?

when t increase to 35°C galvanor is unbalance galvanor have 2.5kΩ current sensitive 1/mA/mm

R_1, R_2, R_3 Temperature coefficient = 500 ppm/°C

What Temperature coefficient of Rx



@ 25°C $R_x/R_3 = R_1/R_2$: $R_x = 4k/2k \cdot 8k = 16k\Omega$

Temperature coefficient = α

@35° $R_1' = 4k\Omega + (500/1{,}000{,}000 \cdot 4k\Omega) \cdot 10 = 4020\Omega$

$R_2' = 2k\Omega + (500/1{,}000{,}000 \cdot 2k\Omega) \cdot 10 = 2010\Omega$

$R_3' = 8k\Omega + (500/1{,}000{,}000 \cdot 8k\Omega) \cdot 10 = 8040\Omega$

$R_4' = 16k\Omega + (\alpha/1{,}000{,}000) \cdot 16k\Omega \cdot 10$

KCL V_A: $(10-V_A)/4.02k + 1mA = V_A/2.01k$

∴ V_A = 3.33467 V

KCL V_B: $(10-V_B)/R_x = V_B/8.04k + 1mA$

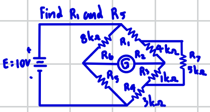
$V_B = V_A + 1mA \cdot 2.5k$ = 3.33717V

∴ R_x' = 16,013.7 Ω

16,013.7 = 16kΩ + (α/1,000,000)·16kΩ·10

∴ α = 85.41 ppm/°C

Find R_1 and R_5



$I_6R_6 = I_1R_1 + I_2R_2$ ①

$I_6R_5 = I_1R_4 + I_2R_3$ ②

①/② $R_6/R_5 = (I_1R_1 + I_2R_2)/(I_1R_4 + I_2R_3)$

$R_6/R_5 = [I_1R_1 \cdot (1 + I_2R_2/I_1R_1)]/[I_1R_4 \cdot (1 + I_2R_3/I_1R_4)]$

$R_6/R_5 = (R_1/R_4) \cdot [(1 + (I_2/I_1) \cdot (R_2/R_1))]/[1 + (I_2/I_1) \cdot (R_3 \cdot R_4)]$

ถ้า $R_6/R_5 = R_1/R_4$, $R_2/R_1 = R_3/R_4$ or $R_2/R_3 = R_1/R_4$ ∴ real

$R_1/R_4 = R_2/R_3 \rightarrow R_1 = 4k \cdot 3k/1k = 12k\Omega$ ✱

$R_6/R_5 = R_2/R_3 \rightarrow R_5 = 1k \cdot 8k/4k = 2k\Omega$ ✱

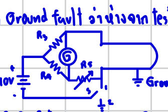
Varley loop สายไฟเทนคู่ยาว 5km เกิด ground fault

Varley loop test R_3 = 10.5Ω และ R_4 = 4.5Ω

s①1 ต้องปรับ R_5 = 5.95 Ω ที่ความ θ = 0

s②2 ต้องปรับ R_5 = 2.38 Ω ที่ความ θ = 0

หา Ground fault ว่าห่างจาก test end เท่าไหร่



s①1: $\frac{R_1+R_2}{R_3} = \frac{R_5}{R_4}$ ได้ $R_1+R_2 = \frac{R_5(1)}{R_4} \times R_3 = \frac{5.95\Omega}{4.5\Omega} \times 10.5\Omega = 13.883\Omega$

s②2: $\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_1 + R_5(2)}{R_4}$ ได้ $\frac{13.883\Omega - R_2}{10.5\Omega} = \frac{R_2 + 2.38\Omega}{4.5\Omega}$

$\frac{13.883\Omega}{10.5\Omega} - \frac{R_2}{10.5\Omega} = \frac{R_2}{4.5\Omega} + \frac{2.38\Omega}{4.5\Omega}$

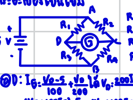
$(\frac{1}{4.5\Omega} + \frac{1}{10.5\Omega})R_2 = \frac{13.883\Omega}{10.5\Omega} - \frac{2.38\Omega}{4.5\Omega}$

$R_2 = (\frac{13.883\Omega}{10.5\Omega} - \frac{2.38\Omega}{4.5\Omega}) / (\frac{1}{4.5\Omega} + \frac{1}{10.5\Omega}) = 2.499\Omega$

ระยะ R_2: $\frac{R_2}{R_1+R_2} \times 10km = \frac{2.499\Omega}{13.883\Omega} \times 10km = 1.80km$

จากรูป ที่ความต้าน = 100Ω current sensitivity = 10 mm/mA

จงหาระยะเบี่ยงเบนของเข็ม



R_1 = 100Ω, R_2 = 1000Ω, R_3 = 200Ω, R_4 = 2005Ω

KCL@D: $I_G = \frac{V_D - 5}{100} + \frac{V_D}{200}$ ได้ $V_D = \frac{200I_G + 10}{3}$

KCL@C: $\frac{(V_D + 100I_G) - 5}{1000} + \frac{(V_D + 100I_G)}{2005} + I_G = 0$

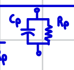
$3005V_D + 230{,}5500 \times I_G = 2005 \times 5$

แทนค่า V_D (1) → (2)

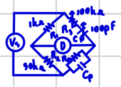
$3005 \times \frac{200I_G + 10}{3} + 230{,}5500 \times I_G = 2005 \times 5$ ได้ I_G = 3.326mA

ทำให้เข็มเบนไป 3.326 mA × 10mm/mA = 33.26mm

Hw6 $D = \frac{X_p}{R_p} = \frac{1}{\omega C_p R_p}$



$Q = \frac{X_s}{R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s}$



วงจรบริดจ์ประกอบด้วย R_p กับ C_p ขนานกัน บริดจ์สมดุลเมื่อ V_s = 10 Vpp 15.92 kHz R_3 กับ C_3 = 100kΩ กับ 100pF

$R_1/R_2 = (R_3 - j/\omega C_3)/(R_p // 1/j\omega C_p) = (R_3 - j/\omega C_3) \cdot (1/R_p + j\omega C_p)$

$R_1/R_2 = R_3/R_p + C_p/C_3 + j(\omega C_p R_3 - 1/\omega R_p C_3)$

real $R_1/R_2 = R_3/R_p + C_p/C_3$ ...(1)

imag $0 = \omega C_p R_3 - 1/\omega R_p C_3$ หรือ $\omega^2 = 1/R_3C_3R_pC_p$ ...(2)

ω = 2pi 15.92 kHz = 100k Rad/s, R_3 = 100kΩ และ C_3 = 100pF ใน (2)

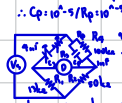
$R_pC_p = 1/(100k \cdot 100p \cdot 100k^2) = 10^{-5}$

จาก $R_1/R_2 = (R_3C_3 + R_pC_p)/(R_pC_3)$

แทนได้ $1k/50k = (100k \cdot 100p + 10^{-5})/(R_p \cdot 100pF)$

$R_p = 50 \cdot (100k \cdot 100p + 10^{-5})/(100pF) = 10M\Omega$

∴ $C_p = 10^{-5}/R_p = 10^{-5}/10M = 1pF$



ทดสอบ C 1nF มี R 100kΩ ใช้วงจรบริดจ์

$\frac{R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}}{R_1} = \frac{R_p // \frac{1}{j\omega C_p}}{R_2} = \frac{R_p \times \frac{1}{j\omega C_p} / (R_p + \frac{1}{j\omega C_p})}{R_2} = \frac{R_p}{R_2(1 + j\omega C_p R_p)} \times \frac{(1 - j\omega C_p R_p)}{(1 - j\omega C_p R_p)}$

$\frac{R_3}{R_1} - j\frac{1}{\omega R_1 C_3} = \frac{(R_p - j\omega C_p R_p^2)}{R_2(1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2)}$

real $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_p}{R_2(1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2)}$ —①

imag $\frac{1}{\omega R_1 C_3} = \frac{(\omega C_p R_p^2)}{R_2(1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2)}$ —②

①/② $\frac{R_3}{R_1} \times \omega R_1 C_3 = \frac{R_p}{R_2(1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2)} \times \frac{R_2(1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2)}{(\omega C_p R_p^2)}$

$\omega^2 = \frac{1}{R_3 C_3 R_p C_p}$ —③

แทน ω^2 ③ ใน ① $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_p}{R_2(1 + \frac{1}{R_3C_3R_pC_p} \times C_p^2 R_p^2)}$

$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_p} + \frac{C_p}{C_3}$ —④

แทนใน ④ $\frac{13k\Omega}{50k\Omega} = \frac{R_3}{100k\Omega} + \frac{1nF}{9nF} \rightarrow R_3 = 1k\Omega$

แทนใน ③ $\omega^2 = \frac{1}{1k\Omega \times 9nF \times 100k\Omega \times 1nF}$ ∴ ω = 50k rad/s

f = 50000/2π = 7.958 kHz

D factor $D = \frac{X_p}{R_p} = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{1}{50000 rad/s \times 1nF \times 100k\Omega} = 0.2$

V_s = 10Vpp 100Hz C_1 ปรับได้ตั้งแต่ 1mF–10mF และ R_3 ปรับได้ 10Ω–1kΩ

หาค่าขอบเขตของตัวเหนี่ยวนำ

$\frac{R_1 + 1/j\omega C_1}{1/j\omega C_2} = \frac{R_3 + j\omega L_3}{R_3}$

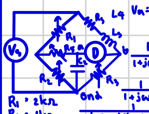
$\frac{C_2}{C_1} + j\omega C_2 R_1 = \frac{R_2}{R_3} + j\omega \frac{L_3}{R_3}$

real $\frac{C_2}{C_1} = \frac{R_2}{R_3} \rightarrow R_3 = \frac{C_2 R_3}{C_1} = [\frac{1mF \times 10\Omega}{10mF}]_{min} \sim [\frac{1mF \times 1k\Omega}{1mF}]_{max}$ = 1Ω ~ 1kΩ

imag $C_2R_1 = \frac{L_3}{R_3} \rightarrow L_3 = C_2R_1R_3 = [1mF \times 1k\Omega \times 10\Omega]_{min} \sim [1mF \times 1k\Omega \times 1k\Omega]_{max}$

= 10mH ~ 1000mH

ต่อ L4 เข้ากับ V_s 10 Vpp 10kHz หา Q factor ของ L4 ที่ 10kHz



R_1 = 2kΩ, R_2 = 1kΩ, R_3 = 100Ω, R_5 = 500Ω, C_2 = 0.1mF

$V_a = V_b$: $\frac{1/j\omega C_2}{R_5 + 1/j\omega C_2} \times \frac{R_2 // (R_5 + 1/j\omega C_2)}{R_1 + R_2 // (R_5 + 1/j\omega C_2)} V_s = \frac{R_3}{R_3 + R_s + j\omega L_s} V_s$

$\frac{1}{1 + j\omega C_2 R_5} \times \frac{\frac{R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)}{R_2 + (R_5 + 1/j\omega C_2)}}{R_1 + \frac{R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)}{R_2 + (R_5 + 1/j\omega C_2)}} = \frac{R_3}{R_3 + R_s + j\omega L_s}$

$\frac{1}{1 + j\omega C_2 R_5} \times \frac{R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)}{R_1(R_2 + (R_5 + 1/j\omega C_2)) + R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)} = \frac{R_3}{R_3 + R_s + j\omega L_s}$

$\frac{1}{1 + j2\pi \times 10kHz \times 0.1mF \times 0.5k\Omega} \times \frac{R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)}{R_1(R_2 + (R_5 + 1/j\omega C_2)) + R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)} = \frac{0.1k\Omega}{0.1k\Omega + R_s + j2\pi \times 10kHz \times L_s}$

$\frac{1}{1 + j\pi} \times \frac{R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)}{R_1(R_2 + (R_5 + 1/j\omega C_2)) + R_2(R_5 + 1/j\omega C_2)} = \frac{1}{1 + 0.001R_s + j200\pi L_s}$

$\frac{1}{1 + j\pi} \times \frac{1k\Omega(0.5k\Omega + 1/j(2\pi \times 10kHz \times 0.1mF))}{2k\Omega(1k\Omega + 10.5k\Omega + 1/j(2\pi \times 10kHz \times 0.1mF)) + 1k\Omega(0.5k\Omega + 1/j(2\pi \times 10kHz \times 0.1mF))} = \frac{1}{1 + 0.01R_s + j200\pi L_s}$

$\frac{1}{1 + j\pi} \times \frac{(0.5 + 1/j(2\pi))}{2(1.5 + 1/j(2\pi)) + (0.5 + 1/j(2\pi))} = \frac{1}{1 + 0.01R_s + j200\pi L_s}$

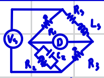
$\frac{1}{1 + j\pi} \times \frac{1 + j\pi}{3 + j6\pi + 1 + j\pi} = \frac{1}{1 + 0.01R_s + j200\pi L_s}$

$3 + j7\pi = 1 + 0.01R_s + j200\pi L_s$

real: $3 = 1 + 0.01R_s \rightarrow R_s = (3-1)/0.01 = 200\Omega$

imag: $j7\pi = j200\pi L_s \rightarrow L_s = 7/200 = 35mH$

∴ Q factor $Q = \frac{\omega L_s}{R_s} = \frac{2\pi \times 10kHz \times 35mH}{200\Omega}$ = 11 ✱



L_s วงจรบริดจ์ R_s กับ L_s อนุกรมกันโดยมี V_s = 10Vpp 100Hz ถ้า C_2 = 100 nF, R_1, R_2 และ R_3 ปรับได้ตั้งแต่ 10Ω ถึง 10kΩ หา Q factor

$R_1/(R_2 // 1/j\omega C_2) = (R_3 + j\omega L_s)/R_3$

$R_1 \cdot (1/R_2 + j\omega C_2) = (R_s + j\omega L_s)/R_3$

$R_1/R_2 + j\omega R_1 C_2 = R_s/R_3 + j\omega L_s/R_3$

real $R_1/R_2 = R_s/R_3 \rightarrow R_s = R_1R_3/R_2$

imag $R_1C_2 = L_s/R_3 \rightarrow L_s = R_1R_3C_2$

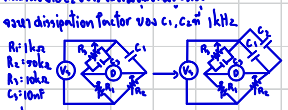
$Q = \omega L_s/R_s$ ได้ $Q = \omega(R_1R_3C_2)/(R_1R_3/R_2)$

$= \omega R_2 C_2 = 2pi \cdot 100Hz \cdot 100nF \cdot R_2$

R_2max = 10kΩ ∴ $Q_{max} = 2pi \cdot 100Hz \cdot 100nF \cdot 10k\Omega = 0.6283$

V_s = 10 Vpp 1kHz ถ้าต่อ C_1 ตัวเดียววงจรจะสมดุลตามรูปแรก และเมื่อต่อ C_2 วงจรจะสมดุลตามรูปสอง

จงหา dissipation factor ของ C_1, C_2 ที่ 1kHz



R_1 = 1kΩ, R_2 = 50kΩ, R_3 = 10kΩ, C_3 = 10nF → R_1 = 660 Ω, R_2 = 30kΩ, R_3 = 6.6kΩ, C_3 = 10nF

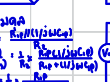
เมื่อ บริดจ์แรกสมดุล

$\frac{R_3 // (1/j\omega C_3)}{R_1} = \frac{R_{1p} // (1/j\omega C_{1p})}{R_2}$

$\frac{1}{R_1} \times \frac{R_3(1/j\omega C_3)}{R_3 + (1/j\omega C_3)} = \frac{1}{R_2} \times \frac{R_{1p}(1/j\omega C_{1p})}{R_{1p} + (1/j\omega C_{1p})}$

$\frac{1}{R_1} \times \frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3} = \frac{1}{R_2} \times \frac{R_{1p}}{1 + j\omega C_{1p} R_{1p}}$

$R_2R_3 + j\omega C_{1p}R_{1p}R_2R_3 = R_1R_{1p} + j\omega C_3R_1R_{1p}R_3$



R_1 = 1kΩ, R_2 = 50kΩ, R_3 = 10kΩ, C_3 = 10nF, C_{1p} = 200nF, R_{1p} = 500kΩ

real $R_2R_3 = R_1R_{1p} \rightarrow R_{1p} = \frac{R_2R_3}{R_1} = \frac{50k\Omega \times 10k\Omega}{1k\Omega} = 500k\Omega$

imag $j\omega C_{1p}R_{1p}R_2R_3 = j\omega C_3R_1R_{1p}R_3 \rightarrow C_{1p} = \frac{R_1C_3}{R_2} = \frac{1k\Omega \times 10nF}{50k\Omega} = 200pF$

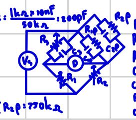
เมื่อวงจรสองสมดุล

$R_{1p} // R_{2p} = \frac{R_2R_3}{R_1} = \frac{30k\Omega \times 6.6k\Omega}{660\Omega} = 300k\Omega$

$\frac{1}{R_{1p}} + \frac{1}{R_{2p}} = \frac{1}{300k\Omega} \longrightarrow \frac{1}{R_{2p}} = \frac{1}{300k\Omega} - \frac{1}{R_{1p}}$

$= \frac{1}{300k\Omega} - \frac{1}{500k\Omega} = \frac{5-3}{1500k\Omega} = \frac{1}{750k\Omega}$ ∴ R_{2p} = 750kΩ

และ $C_{1p} // C_{2p} = \frac{R_1C_3}{R_2} = \frac{660\Omega \times 10nF}{30k\Omega} = 220pF$

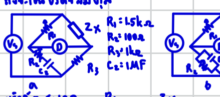


R_1 = 1kΩ, R_2 = 50kΩ, R_3 = 10kΩ, C_3 = 10nF, C_{1p} = 200nF, R_{1p} = 500kΩ, C_{2p} = 20pF, R_{2p} = 750kΩ

dissipation factor C_1: $D_{C1} = \frac{X_{C1p}}{R_{1p}} = \frac{1/(2\pi \times 1kHz \times 200pF)}{500k\Omega} = 1.59$

dissipation factor C_2: $D_{C2} = \frac{X_{C2p}}{R_{2p}} = \frac{1/(2\pi \times 1kHz \times 20pF)}{750k\Omega} = 10.61$

V_s = 10 Vpp 100Hz วงจรบริดจ์สมดุลเมื่อต่อแบบ a ถ้าต่อ R_2 และ C_2 ขนานกันแบบรูป b จะต้องปรับ R_1 และ R_2 เท่าไรถึงจะเป็นบริดจ์สมดุล



R_1 = 1.5kΩ, R_2 = 100Ω, R_3 = 1kΩ, C_2 = 1mF

C_2 = 1mF, R_3 = 1kΩ

บริดจ์ a สมดุล $\frac{R_1}{R_2 + 1/j\omega C_2} = \frac{Z_x}{R_3}$

$Z_x = \frac{R_1R_3}{R_2 + 1/j\omega C_2} = \frac{j\omega C_2R_1R_3}{1 + j\omega C_2R_2} \times \frac{1 - j\omega C_2R_2}{1 - j\omega C_2R_2} = \frac{\omega^2C_2^2R_1R_2R_3 + j\omega C_2R_1R_3}{1 + \omega^2C_2^2R_2^2}$

$Z_x = R_s + j\omega L_s = \frac{R_1R_2R_3\omega^2C_2^2}{1 + \omega^2C_2^2R_2^2} + j\omega\frac{R_1R_3R_2}{1 + \omega^2C_2^2R_2^2}$

$R_s = \frac{R_1R_2R_3\omega^2C_2^2}{1 + \omega^2C_2^2R_2^2} = \frac{(1.5k\Omega)(100\Omega)(1k\Omega)(2\pi \times 100)^2(1mF)^2}{1 + (2\pi \times 100)^2(1mF)^2(100\Omega)^2} = 58.985\Omega$

$L_s = \frac{R_1R_3C_2}{1 + \omega^2C_2^2R_2^2} = \frac{(1.5k\Omega)(1k\Omega)(1mF)}{1 + (2\pi \times 100)^2(1mF)^2(100\Omega)^2} = 1.494 H$

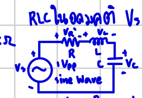
บริดจ์ b สมดุล: $\frac{R_1}{R_2 // (1/j\omega C_2)} = \frac{Z_x}{R_3} = \frac{R_s + j\omega L_s}{R_3}$

$\frac{R_1(R_2 + 1/j\omega C_2)}{(R_2/j\omega C_2)} = \frac{R_s + j\omega L_s}{R_3} \longrightarrow \frac{R_1(j\omega C_2R_2 + 1)}{R_2} = \frac{R_s + j\omega L_s}{R_3}$

imag: $\frac{R_1(j\omega C_2R_2)}{R_2} = \frac{j\omega L_s}{R_3} \rightarrow R_1 = \frac{L_s}{R_3C_2} = \frac{1.494H}{(1k\Omega)(1mF)} = 1.494k\Omega$

real: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_s}{R_3} \rightarrow R_2 = \frac{R_1R_3}{R_s} = \frac{(1.494k\Omega)(1k\Omega)}{58.985\Omega} = 25.33k\Omega$

RLC ในอุดมคติ V_s ปรับความถี่



$V_R = (\frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}})V_s = \frac{RV_s}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$

$|V_R| = \frac{RV_s}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$

f ที่ให้ $|V_R|$ = max ทำให้ $R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2$ = min

ทำให้ $\frac{d}{d\omega}(R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2) = 0$

$2(\omega L - \frac{1}{\omega C})(L + \frac{1}{\omega^2 C}) = 0 \rightarrow \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$V_L = (\frac{j\omega L}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}})V_s = \frac{jV_s}{\frac{R}{\omega L} + j(1 - \frac{1}{\omega^2 LC})}$

$|V_L| = \frac{V_s}{\sqrt{\frac{R^2}{\omega^2L^2} + (1 - \frac{1}{\omega^2 LC})^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{\frac{R^2}{\omega^2L^2} + 1 - 2\frac{1}{\omega^2 LC} + \frac{1}{\omega^4L^2C^2}}}$

f ที่ให้ $|V_L|$ = max ทำให้ $\frac{R^2}{\omega^2L^2} + 1 - 2\frac{1}{\omega^2LC} + \frac{1}{\omega^4L^2C^2}$ = min

ทำให้ $\frac{d}{d\omega}(\frac{R^2}{\omega^2L^2} + 1 - 2\frac{1}{\omega^2LC} + \frac{1}{\omega^4L^2C^2}) = 0$

$-2\frac{R^2}{\omega^3L^2} + 0 + 4\frac{1}{\omega^3LC} - 4\frac{1}{\omega^5L^2C^2} = 0$

$-\frac{R^2}{L} + \frac{2}{C} - \frac{2}{\omega^2LC^2} = 0$

$\omega^2 = \frac{2}{(\frac{2}{C} - \frac{R^2}{L})LC^2} = \frac{1}{LC - \frac{R^2C^2}{2}}$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC - \frac{R^2C^2}{2}}}$ มากกว่า $\frac{1}{\sqrt{LC}}$

เมื่อ $\frac{R^2C^2}{2} << LC$ หรือ $R << \sqrt{2L/C}$ $\omega \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$V_c = (\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}})V_s = \frac{-jV_s}{\omega RC + j(\omega^2LC - 1)}$

$|V_c| = \frac{V_s}{\sqrt{\omega^2R^2C^2 + (\omega^2LC - 1)^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{\omega^2R^2C^2 + \omega^4L^2C^2 - 2\omega^2LC + 1}}$

$= \frac{V_s}{\sqrt{\omega^4L^2C^2 + (R^2C^2 - 2LC)\omega^2 + 1}}$

f ที่ทำให้ $|V_c|$ = max ทำให้ $\omega^4L^2C^2 + (R^2C^2 - 2LC)\omega^2 + 1$ = min

ทำให้ $\frac{d}{d\omega}(\omega^4L^2C^2 + (R^2C^2 - 2LC)\omega^2 + 1) = 0$

$4\omega^3L^2C^2 + 2(R^2C^2 - 2LC)\omega = 0$

$2\omega^2L^2C + (R^2C - 2L) = 0$

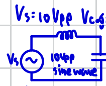
$\omega^2 = \frac{2L - R^2C}{2L^2C} = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}$

$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$

เมื่อ $\frac{R^2}{2L^2} << \frac{1}{LC}$ หรือ $R << \sqrt{2L/C}$ $\omega \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$

ถูกเมื่อ $R << \sqrt{L/C}$ ก็จะ $<< \sqrt{2L/C}$

V_s = 10Vpp V_c สูงสุด = 38.73V ที่ f = 1.59MHz



เมื่อพิจารณา $R_s = R$ $L_s = L$

ถ้า $R << \sqrt{2L/C}$ V ที่ R, L, C สูงสุดที่ $\omega_r \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$

V_c กับ V_L มีเฟสตรงข้ามกัน ทำให้ $V_r = V_s$ = 10Vpp = $\frac{5}{\sqrt{2}}$ Vrms

V ที่ขดลวดเหนี่ยวนำ = $\sqrt{V_r^2 + V_L^2} = \sqrt{(\frac{5}{\sqrt{2}})^2 + 38.73^2}$ = 38.89Vrms

$Q = \omega L/R = (I^2\omega L)/(I^2R) = V_L/V_R$ = 38.89/3.5355 = 11.00

ตรวจเงื่อนไข $R << \sqrt{2L/C} = 1.414\sqrt{L/C}$ หรือ $R < 0.14\sqrt{L/C}$

จาก $Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{L}{R} \times \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

จะได้ $R = \frac{1}{Q} \times \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{11} \times \sqrt{\frac{L}{C}} = 0.09 \times \sqrt{\frac{L}{C}}$ ซึ่งน้อยกว่า $0.14\sqrt{L/C}$

V ที่ R, L, C ที่เกิดเรโซแนนซ์ $\omega_r \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ใช้ได้

จากเรโซแนนซ์ $Q_r = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{(2\pi \times 1.59MHz)L}{R} = 11$ ได้ $\frac{L}{R} = \frac{Q_r}{\omega_r} = \frac{11}{2\pi \times 1.59MHz}$

ที่ f = 1MHz, $Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{\omega Q_r}{\omega_r} = \frac{2\pi \times 1MHz}{2\pi \times 1.59MHz} \times 11 = 6.9$

จาก $V_c = (\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}})V_s = \frac{-jV_s}{\omega RC + j(\omega^2LC - 1)}$ ∴ $|V_c| = \frac{V_s}{\sqrt{\omega^2R^2C^2 + (\omega^2LC - 1)^2}}$

ที่ f เรโซแนนซ์ 1.59MHz $\omega_r = 1/\sqrt{LC}$ ได้ $LC = 1/\omega_r^2 = 1/(2\pi \times 1.59MHz)^2 = 1 \times 10^{-14}$

$|V_c|_{max} = \frac{V_s}{\sqrt{\omega_r^2R^2C^2 + (1-1)^2}} = \frac{V_s}{\omega_r RC} \rightarrow RC = \frac{V_s}{\omega_r |V_c|_{max}} = \frac{3.5355 Vrms}{2\pi \times 1.59MHz \times 38.73 Vrms} = 9.14 \times 10^{-9} s$

ที่ f = 1MHz, $|V_c| = \frac{V_s}{\sqrt{\omega^2R^2C^2 + (\omega^2LC - 1)^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{\frac{\omega^2}{\omega_r^2}\frac{V_s^2}{|V_c|^2_{max}} + (\frac{\omega^2}{\omega_r^2} - 1)^2}} = \frac{5/\sqrt{2}}{\sqrt{(\frac{1}{1.59})^2(\frac{5/\sqrt{2}}{38.73})^2 + ((\frac{1}{1.59})^2 - 1)^2}}$ = 5.823 Vrms

หา V ขดลวดเหนี่ยวนำที่ f = 1MHz $V_R = (\frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}})V_s = \frac{RV_s}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$

$|V_R| = \frac{RV_s}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{1 + (\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC})^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{1 + (\omega\frac{Q_r}{\omega_r} - \frac{1}{\omega\frac{V_s}{\omega_r|V_c|_{max}}})^2}}$

ที่ f = 1MHz

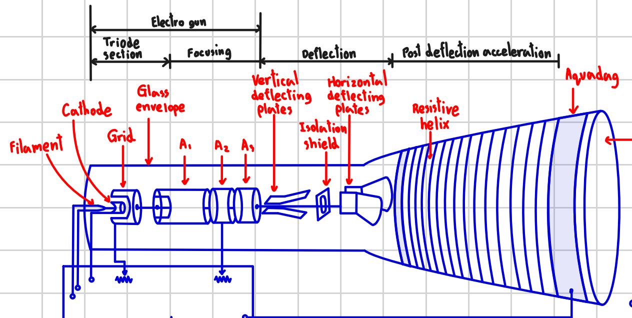
$|V_R| = \frac{V_s}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_r}Q_r - \frac{1}{\frac{\omega}{\omega_r} \times \frac{V_s}{|V_c|_{max}}})^2}} = \frac{5/\sqrt{2}}{\sqrt{1 + (\frac{1}{1.59} \times 11 - \frac{1}{\frac{1}{1.59} \times \frac{5/\sqrt{2}}{38.73}})^2}}$ = 0.335 Vrms

$|V_L| = \frac{V_s}{\sqrt{\frac{R^2}{\omega^2L^2} + (1 - \frac{1}{\omega^2LC})^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{\frac{(\omega_r/Q_r)^2}{\omega^2} + (1 - \frac{\omega_r^2}{\omega^2})^2}} = \frac{V_s}{\sqrt{(\frac{\omega_r}{\omega})^2\frac{1}{Q_r^2} + (1 - (\frac{\omega_r}{\omega})^2)^2}}$

@ f = 1MHz $|V_L| = \frac{5/\sqrt{2}}{\sqrt{(\frac{1.59}{1})^2\frac{1}{11^2} + (1 - (\frac{1.59}{1})^2)^2}}$ = 2.30Vrms

V ที่ขดลวดเหนี่ยวนำ = $\sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{0.335^2 + 2.30^2}$ = 2.32 Vrms

---



Filament - increase the rate of electron emission.

Cathode - cathode rays are a steam of electrons (e⁻)

Grid - control the beam current

A1 - limits the initial cross section of the electron beam.

A2 - The e⁻ potential on A2

A3 - e⁻ are accelerated again by A3.

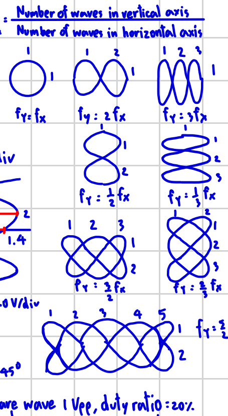
Vertical deflecting plate - Put the beam of e⁻ strike the center of the osciloscope screen.

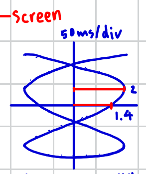
Isolating shield - Situated between the vertical and Horizontal deflect plates.

Horizontal deflecting plate - Deflected e⁻ horizontally.

Aquadag - Used around the neck of the tube, so that negative potential doesn't accumulate on the sceen

$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{Number of waves in vertical axis}}{\text{Number of waves in horizontal axis}}$





1.4 = 2 sinθ

หามุม

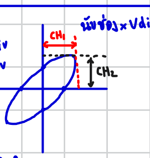
$\theta = \sin^{-1}\frac{1.4}{2} = 45°$

f = 200 Hz

CH1: 250mV/div

CH2: 0.5 V/div

250ms



CH1: 2Vp-p

CH2: 4Vp-p

CH1, CH2 f เท่ากัน

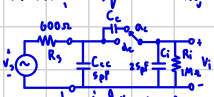
∴ คาบ = $\frac{1}{200} = \frac{5}{1000}$ = 5ms ✱

Source มี R ภายใน 600Ω สร้าง square wave 1 Vpp, duty ratio = 20%

วัดด้วย Osciloscope ที่มี input resistance 1MΩ, input capacitance 25pF

coupling capacitance = 0.1 mF ใช้ probe 1:1 มี coaxial cable capacitance 5pF

จงหา f ต่ำสุดของ square wave ที่ดูแล้วไม่เพี้ยนทั้ง ac, dc coupling



ac coupling ที่ทำให้เกิด low frequency distoration

$X_{Ci} >> R_i$ $\frac{1}{2\pi f(25pF)} > 10 \times 1M\Omega$

$f < \frac{1}{2\pi(10 \times 1M\Omega)(25pF)}$ = 636Hz

ประมาณให้ C_{cc}, C_i open circuit

$\tau = (R_i + R_s)C_c = (1M\Omega + 600\Omega) \times 0.1mF = 0.1s$

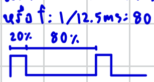
PW กับ SW สูงสุดต้องน้อยกว่า 0.1s/10 = 0.01s = 10ms

square wave มี duty ratio 20%

∴ SW = 10ms ทำให้ PW = 10ms/4 = 2.5ms

มีคาบ = 10ms + 2.5ms = 12.5ms

หรือ f = 1/12.5ms = 80 Hz



∴ f ต่ำสุดที่ Square wave ไม่เพี้ยน = 80Hz ✱

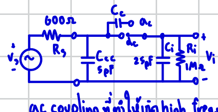
$X_{Cc} = \frac{1}{2\pi f(0.1mF)}$ $X_{Ccc} = \frac{1}{2\pi f(5pF)}$ $X_{Ci} = \frac{1}{2\pi f(25pF)}$

Source มี R ภายใน 600Ω สร้าง square wave 1 Vpp, duty ratio = 20%

วัดด้วย Osciloscope ที่มี input resistance 1MΩ, input capacitance 25pF

coupling capacitance = 0.1 mF ใช้ probe 1:1 มี coaxial cable capacitance 5pF

จงหา f สูงสุดของ square wave ที่ดูแล้วไม่เพี้ยนทั้ง ac, dc coupling



ac coupling ที่ทำให้เกิด high frequency distoration

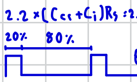
f สูงมากพอที่ทำให้ $X_{Ci // Ccc} << R_i$

$\frac{1}{2\pi f(30pF)} < 0.1 \times 1M\Omega$

$f > \frac{1}{2\pi(0.1 \times 1M\Omega)(30pF)}$ = 53kHz

ประมาณ R_i open circuit

$t_{ro} = 2.2 \times (C_{cc} + C_i)R_s = 2.2(5pF + 25pF)(600\Omega) = 39.6ns$



PW และ SW กว้างต่ำสุด ต้องมากกว่า 10 × 39.6 = 396ns

Square wave มี duty ratio 20% PW = 396ns ∴ SW = 1584ns

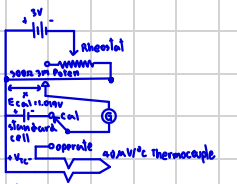
มีคาบ = 396ns + 1584ns = 1980ns

f = 1/1980 ns = 505kHz ✱

Hw8. potentiometer 500Ω ขนาน 3 m ต่อกับ Rheostat ที่ปรับได้มี R เริ่มต้น = 150Ω

galvanometer มี Rภายใน 10Ω standard cell 1.019 และ Thermal couple

ที่ให้ $V_{out} = V_{TC}(40\,mV/°C)(T_{hot}-T_{cold})$



ⓐ X : ไฟผ่าน PTO = $1.019V/[(x\,cm)(500\Omega/300cm)] = 1.019/xA$

ทำให้ V ที่ PTO 3m = $1.019/x\,A * 500\Omega = 305.7/x\,V$

และ $V_{Rheostat} = 1.019/x\,A * 150\Omega = 152.85/x\,V$

KVL จากวงรอบ : $3V = 305.7/xV + 152.85/xV$ ∴ X = 152.85cm

ⓑ X = 1.019m : ไฟผ่าน PTO = $1.019V/[(101.9cm)(500\Omega/300cm)] = 10mA$

ทำให้ $V_{PTO\,3m} = 10mA * 300\Omega = 3V$

$V_{Rheostat} = 5V - 3V = 0V$

∴ ตัวปรับ Rheostat ให้ได้ 0V/10mA : 0Ω

ที่ X = 4.8cm เทียบได้ (4.8cm/101.9cm) * 1.019 V = 48mV

จาก $V_{TC} = (40mV/°C)(T_{hot} - T_{cold})$ ได้ $48mV = (40mV/°C)(T_{hot} - 0)$

∴ $T_{hot} = (48\,mV)/(40\,mV/°C) = 1200°C$

Vดูสุดที่ทำให้ Galvanometer ต่านได้ 0mA คือ B อยู่ที่ X : 500cm และ $V_{potten} = 5V$

ซึ่ง V_{out} ของ Thermocouple = 3V ด้วย จาก $V_{TC} = (40mV/°C)(T_{hot} - T_{cold})$

ได้ $5V = (40\,mV/°C)(T_{hot} - 0°C)$

$T_{hot} = 5V/40\,mV/°C = 75,000°C$

LVDT มี sensitivity 0.5V/mm ทำให้ $V_0 = 100$ ทำ Output ที่ได้ไฟขยาย 50 เท่า

แล้วใช้ ac voltmeter ที่มี resolution 1mV วัด Output ของวงขยาย

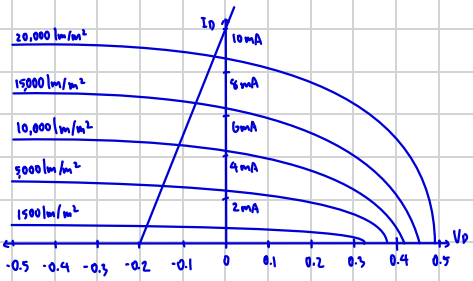
หาว่าวงรอวัดนี้วัดการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง x : เรียงสูงสุดต่ำใหม่

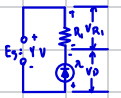
Overall sensitivity $S_{overall} = 50*0.5\,V/mm = 25V/mm$

Minimum detectable core displacement = $1mV/(25mV/mm) = 40\mu m$

ไฟโวลโตมิเตอร์ต่อ series กับ R_1 มีค่า X Ω และ source Y V

ไฟโวลต์มิเตอร์มีความต่างศักย์ตามกราฟโดย DC load line ถูกระบุไว้ในรูป





หา X กับ Y KVL : $E_Y - I_O R_1 + V_O = 0$

แทนค่า $E_Y = Y$ และ $R_1 = X$ $Y - I_O X + V_O = 0$

ที่ $V_O = -0.2V$, $I_O = 0$: $Y - (0)X + (-0.2) = 0$ ได้ $Y = 0.2V$

ที่ $V_O = 0V$, $I_O = 10mA$: $(0.2V) - (10mA)X + 0 = 0$ ได้ $X = 20\Omega$

หา (V_O, I_O) ของแต่ละสามเหลี่ยม *ใช้ไม้บรรทัดวัดแล้วเทียบสูตร*

ที่ 1500 lm/m² จุดกึ่งกลาง $(V_O, I_O) = (-0.188V, 0.706mA)$

ที่ 10,000 lm/m² จุดกึ่งกลาง $(V_O, I_O) = (-0.11V, 9.7mA)$

ที่ 15,000 lm/m² จุดกึ่งกลาง $(V_O, I_O) = (-0.067V, 6.75mA)$

Pmax = (0.067V)(6.75 mA) = 452.25 mW

Piezoelectric transducer มี Voltage sensitivity = 0.05 Vm/N มีแผ่นอิเล็กโทร 5mm×5mm

ประกบ dielectric w×l×h : 5mm×5mm×2mm มี relative permittivity = 500

จาก $V_{out} = S_V P_{in} = 0.05\,Vm/N * 25N/(5mm*5mm)^2 * 2mm = 100V$

$C = k\varepsilon_0 A/d = 8.85\,pF/m * 500 * (5mm*5mm)/2mm = 553.1\,pF$

$Q = CV = 553.1\,pF * 100V = 5.53\,nC$

Dielectric Area↑ ความหนา − → V_{out} ↑ สูงขึ้น

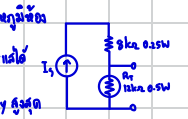
Area− ความหนา↑ → ประจุสะสม C เพิ่ม

Q ไม่ขึ้นกับ h แต่ขึ้นกับ F

Hw9. Thermistor 0.5W มี R = 12 kΩ ที่อุณหภูมิห้อง

ต่อกับ Current source (I$_S$) ที่ปรับกระแสได้

และ R_1 = 8kΩ 0.25W ขณะ sensitivity สูงสุด



$V_{out} = I_S R_T$	Sensitivity $S_{CC} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta R_T/R_T} = \frac{I_S \Delta R_T}{\Delta R_T/R_T} = I_S R_T$
$V_{out} + \Delta V_{out} = I_S(R_T + \Delta R_T)$	S_{CC} ขึ้นกับ I_S โดยไม่ทำให้ R_1, R_T พังอีกนั้น
$V_{out} + \Delta V_{out} = I_S R_T + I_S \Delta R_T$	$R_1, P_{R_1} = I^2 R_1 : I_S = \sqrt{\frac{P_{R_1}}{R_1}} = \sqrt{\frac{0.25W}{8k\Omega}} = 5.59mA$
$\Delta V_{out} = I_S \Delta R_T$	$R_T, P_{R_T} = I_S^2 R_T : I_S = \sqrt{\frac{P_{R_T}}{R_T}} = \sqrt{\frac{0.5W}{12k\Omega}} = 6.45mA$

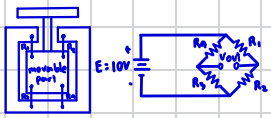
∴ กระแสที่ผ่านไม่เกิน 5.59 mA

∴ maximum sensitivity $S_{CC,max} = I_S R_T = (5.59mA)(12k\Omega) = 67.08V$

Pressure transducer มี strain gage R_1-R_4 ยึดติดบริเวณที่เคลื่อนได้แต่ไม่ได้

ถ้า strain gage มีขนาด 0.5W 200Ω และใช้กับแผ่นที่โก่งได้ diaphragm

strain gage อยู่ในสภาพเดิมซึ่งทำให้บริดจ์สมดุล



ถ้าต้องการใช้ V_{out} เปลี่ยนตาม strain gage แทนหมุนเอง

R_a, R_1, R_2 ต้องเป็นตัวใดได้ (R_2, R_3, R_4)

$V_{out} = \left(\frac{R_x}{R_x+R_1} - \frac{R_3}{R_3+R_2}\right)E$

เมื่อมีแรงดันมากระ $R_1 = R_3 = R + \Delta R$ (ตรงนี้) $R_2 = R_x = R - \Delta R$ (เส้นตรง)

กรณี $R_x = R_3$, $R_1 = R_2$, $R_2 = R_3$

$V_{out} = \left(\frac{R+\Delta R}{(R-\Delta R)+(R+\Delta R)} - \frac{R-\Delta R}{(R+\Delta R)+(R-\Delta R)}\right)E = \frac{\Delta R}{R}E$

จาก $R_V = R_2$ ทำให้ $V_{out} = 0$ ตรงกับไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จากข้อที่แล้วจะหา Sensitivity สูงสุด

จาก sensitivity, $S = \frac{V_{out}}{\Delta R/R} = \frac{(\frac{\Delta R}{R}E)}{\frac{\Delta R}{R}} = E$

จากกำลังไฟฟ้า $P = I^2R = (\frac{E}{2R})^2 R = \frac{E^2}{4R}$ จะได้ $E = \sqrt{4PR}$

E สูงสุดที่เป็นไปได้ $E_{max} = \sqrt{4 * 0.5W * 200\Omega} = 20V$

∴ maximum sensitivity $S_{max} = E_{max} = 20V$

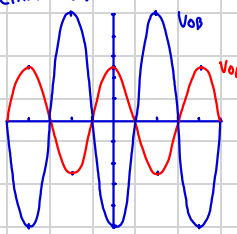
ให้วงจร A และ B เป็นวงจรขยายแรงดันมีคุณสมบัติเหมือนกัน

Vin เป็น sine wave 1Vpp แล้วใช้ oscilloscope CH1 วัด V_{OA}

และใช้ CH2 วัด V_{OB} Output B ได้ตามกราฟ และเมื่อต่อ

$R = 1k\Omega$ ที่ Output ของ B ทำให้ $V_{OB} = V_{OA}$

CH1: 0.5V/div CH2: 1V/div 2ms/div



จาก Output B ตอนยังไม่ต่อโหลด

$V_{OB} = A_V V_{OA} \rightarrow A_V = \frac{V_{OB}}{V_{OA}} = \frac{10Vpp}{2.5Vpp} = 4$ เท่า (นอนฟอร์ด)

เมื่อต่อ 1kΩ ที่เอาท์พุท B

$V_{OB} = \frac{R_L}{R_{in}+R_{out}} \times A_V V_{IN} \Rightarrow 2.5Vpp = \frac{1k}{1k+R_{out}} \times 4 \times 2.5Vpp \rightarrow R_{out} = 3k\Omega$

จาก $V_{OA} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{out}} \times A_V V_{IN} \Rightarrow 2.5Vpp = \frac{R_{in}}{R_{in}+3k} \times 4 \times 1Vpp \rightarrow R_{in} = 5k\Omega$

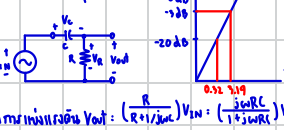
วงจร 1st order RC filter ที่มี cut-off freq. = 3.19 kHz

มีกระแสสูญญากาศ -20dB ที่ f = 0.32kHz

ตกไปทำให้มาที่ cut off freq. (-3dB) มี f = 3.19 kHz

ซึ่ง > 0.32kHz ซึ่งมีกระแสสูญญากาศ -20dB

∴ เป็น High pass filter



จากกราฟแรงดันจริง $V_{out} = \left(\frac{R}{R+1/j\omega C}\right)V_{IN} = \left(\frac{j\omega RC}{1+j\omega RC}\right)V_{IN}$

เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาด $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$

จากโจทย์สัญญาณ 3.19 kHz ถูกลดทอนลงไป $\frac{1}{\sqrt{2}}$: $\frac{2\pi(3.19kHz)RC}{\sqrt{1+(2\pi(3.19kHz)RC)^2}}$ → $RC = \frac{1}{2\pi(3.19kHz)} = 49.89ms$

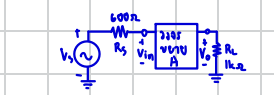
ถ้า R = 1kΩ จะต้องใช้ $C = \frac{\tau}{R} = \frac{49.89ms}{1k\Omega} = 0.04989mF$

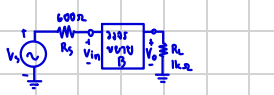
หาความถี่ที่ขีดจำกัดลดทอน V ที่ 10% → $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{90}{100} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \rightarrow 0.9^2 = \frac{(\omega RC)^2}{1+(\omega RC)^2} \rightarrow 0.9^2 + 0.9^2(\omega RC)^2 = (\omega RC)^2 \rightarrow 0.9^2 = (\omega RC)^2(1-0.9) \rightarrow (\omega RC)^2 = \frac{0.9^2}{(1-0.9^2)} \rightarrow f = \frac{0.9}{2\pi RC\sqrt{1-0.9^2}} = 6.59\,kHz$

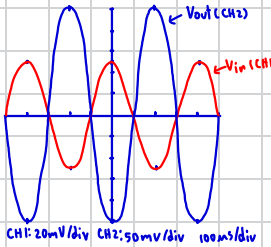
ใช้ความสัมพันธ์ชนิดไม่ให้เกิดหักออกมาเป็น Vs และมีความต้านทาน 600 Ω เมื่อนำไปต่อเข้า วงจรขยาย A

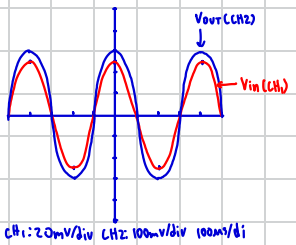
ซึ่งประกอบด้วย op Amp เบอร์ และ ตัวต้านทาน 2 ตัว ใช้ผลต่างลบ เมื่อนำไปต่อเข้า B ซึ่งวัดสูตรร่วมเหมือนกัน

แต่ต่อต่างกัน ให้ผลต่างบวก









จากผลการวัด วงจร A เป็น inverting amplifier ส่วน B เป็น Non inverting amplifier

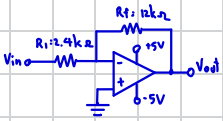
-เมื่อจากวงจร non inverting amp มี input impedance สูงมาก ทำให้ $V_{in} = V_S = 2.5div * 20\,mV/div = 50\,mVp$

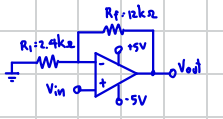
-วงจร inverting amp มี input impedance = R_1 ทำให้ $V_{in} = R_1/(R_1+R_S) * V_S$ ได้ว่า $V_{in} = 2div * 20\,mV/div = 40\,mVp$

ได้ $40 = R_1/(R_1 + 600) * 50 \rightarrow 4R_1 + 2400 = 5R_1 \rightarrow R_1 = 2.4k\Omega$

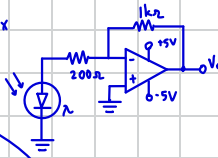
-วงจร inverting amp ให้ Output ขนาด 4div * 50mV/div = 200 mVp ซึ่ง 200mV/40mV = 5 เท่าของ Vin

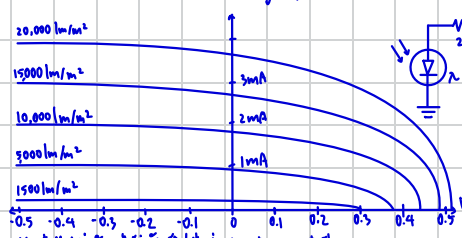
จากอัตราขยาย ของวงจร inverting amp, $V_{out}/V_{in} = -R_f/R_1$ จะได้ $R_f = 5 * 2.4k = 12k\Omega$





เมื่อนำโฟโตไดโอดมาต่อกับออปแอมป์ข้างบน หา Vout ที่ 5000 lux

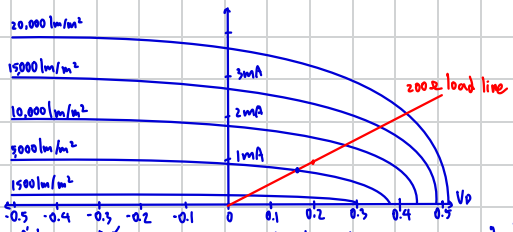




Vout ไม่อิมพีแดนซ์จะได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่เข้า inverting-input เป็น 0V

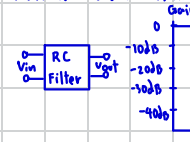
∴ สมการ load line ได้ $V_O - (200\Omega)I_O = 0$ หรือ $I_O = V_O/200\Omega$

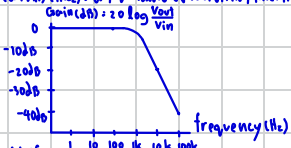
เพราะไฟจากแรงดันจะได้จุดทำงาน เป็นจุดตัด load line กับ เส้นความสว่าง 5000 lm/m²



ซึ่งอ่านค่าได้ ≈ 0.9mA และ Op Amp มี input impedance สูงมาก จะแล่เลยไหลไฟ ทำ $R_1 k\Omega$

ทำให้เกิดศักย์ตกคร่อม (0.9 mV) ($1k\Omega$) : 0.9 V นั่นคือขั้ว V_{out} ที่ต่างๆ inverting input มีค่า 0.9 ∴ $V_{out} = 0 - 0.9V = -0.9V$





จาก $H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1/j\omega C}{R+1/j\omega C} = \frac{1}{1+j\omega RC}$

ได้ $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ และ $\angle H(j\omega) = -\tan^{-1}(\omega RC)$

ที่ f ต่ำๆ ให้ $\omega RC)^2$ ได้ $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \approx \frac{1}{\omega RC} = \frac{1}{2\pi fC}$

หน่วย dB : $Gain(dB) = 20\log(\frac{V_{out}}{V_{in}}) = 20\log(\frac{1}{2\pi fC}) = -20\log(f) - 20\log(2\pi RC)$

จากกราฟ ที่ f = 1kHz Gain = -20dB

$-20 = -20\log(1k) - 20\log(2\pi RC) \rightarrow -20 = -60 - 20\log(2\pi RC)$

$\log(2\pi RC) = -3 \rightarrow RC = 10^{-3}/2\pi = 1/2000\pi$

ที่ cut-off freq, $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ∴ $\omega RC = 1$

$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1/2000\pi)} = 1000Hz$

เป็นมุม $\omega_c = 2\pi f_c$

$= 2\pi * 1000 f_c$

$= 6283\,rad/s$

ถ้าใช้ R = 1kΩ $C = \frac{1}{2\pi fR} = \frac{1}{2\pi(1000)1k} = 0.16mF$

time constant $\tau = RC = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi 1000} = 159ms$

กำหนดมา $2\sin(2000\pi t)$ V ที่ $V_{in} = 2V$ Output = ?

จากโจทย์ f = 1000 Hz เป็น cut off freq. $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}}$

เกิด Phase shift $\angle H(j\omega) = -\tan^{-1}(2\pi 1000 \frac{1}{2000\pi}) = -45°$

ได้ $V_{out}: \frac{2}{\sqrt{2}}\sin(2000\pi t - 45°)$

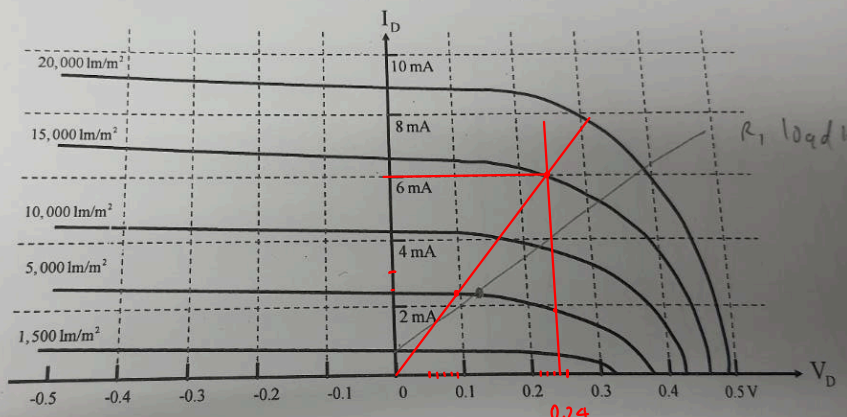
คิด $V_{in}: 2V = 2\sin(2000\pi t)$ ได้ $2000\pi t : \sin^{-1}(1) = 90°$

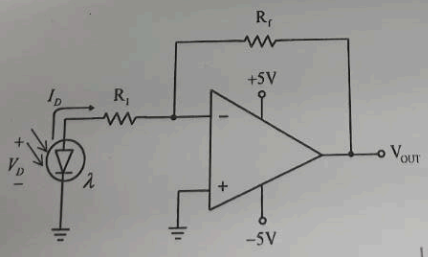
∴ $V_{out} = \frac{2}{\sqrt{2}}\sin(90° - 45°) = \frac{2}{\sqrt{2}}\sin 45° = \frac{2}{\sqrt{2}} * \frac{1}{\sqrt{2}} = 1V$

Name ..... Student ID ..... - 8 -

7. [10 points]

A photodiode with characteristics as shown in the given curves is connected to an inverting amplifier circuit with a voltage gain of -8 V/V as shown in the figure. The V_{OUT} becomes -1.92 V at a brightness of 15,000 lm/m^2. If the brightness is decreased by 5,000 lm/m^2, determine the output voltage, and the resistance of R_1 and R_f for the amplifier.





Answer V_{out} = 1 V (4 pts.)

R_1 = 200 Ω (3 pts.)

R_f = 1k Ω (3 pts.)

draw load line

@ 15,000 lm/m² Vout = -1.92V

Av = -8

$Av = \frac{Vout}{Vin}$

$-8 = \frac{-1.92}{Vin}$

Vin = 0.24V

เอาไฟพล็อตกราฟ แล้วดูเส้น 15000 lm/m² แล้วลากโหลดไลน์ ได้ กระแส 6mA

$I_D = V_D/R$

$6mA = 0.24/R_1$

$R_1 = 40\Omega$ ✱

$\therefore R_2 = 40 \times 8 = 320\Omega$ ✱ → Rf

ข้อ @ 5000 lm/m²

I = 2.4mA

V = 2.4m × 320 = 0.768V

Vout = 0 - 0.768 = -0.768V ✱

แต่ถ้า @ 10000 lm/m²

I = 4mA

V = 4m × 320 = 1.28V

Vout = 0 - 1.28V = -1.28V ✱

ลักษณะ

Name ..... Student ID ..... - 9 -

8. [10 points]

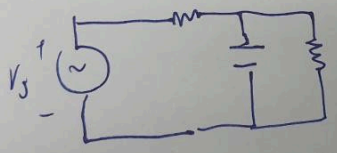
Select only given components from the list below to implement a circuit that gets ac voltage signal (dc offset = 0) and gives the output as same (or almost the same) as the display of oscilloscope shown below. **Circle around the selected components** and **write the circuit name** (such as inverting amplifier, noninverting Schmitt trigger, integrator, lowpass filter, etc.) and **draw the circuit diagram** including the labels of Vin and Vout in the given area also.

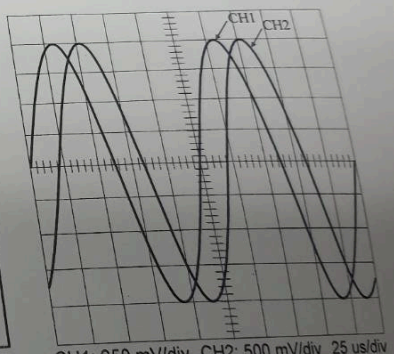
List of components

a. R=15kΩ	b. R=33kΩ	c. R=43kΩ	d. R=68kΩ
e. C=220 pF	f. C=270 pF	g. C=470 pF	h. OpAmp

Circuit diagram drawing area

Circuit name = low pass filter ~~non inverting amplifier~~





CH1: 250 mV/div CH2: 500 mV/div 25 us/div

$\theta = \arctan(\omega RC)$

$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2+X_C^2}} = \frac{R}{2} = \frac{2000mV}{1000mV} = 2$

$V_{in} = 1000mV$

$V_{out} = 2000mV$

$A_v = 1 + \frac{V_{out}}{V_{in}}$

$A_v = 1+2 = 3$

$\frac{360}{5} = 72$

$\frac{72}{5} = 14.4$

0
14.4
28.8
43.2
57.6
72.0

f = 50		15k	33k	47k	68k
C 220 pF	X_C = 14468631.19	1.0367×10^{-3}	2.2807×10^{-3}	2.9719×10^{-3}	4.6997×10^{-3}
C 270 pF	X_C = 11789255.04	1.2725×10^{-3}	2.7991×10^{-3}	3.6473×10^{-3}	5.7678×10^{-3}
C 470 pF	X_C = 6772550.77	2.2148×10^{-3}	4.8725×10^{-3}	6.3499×10^{-3}	10.04×10^{-3}

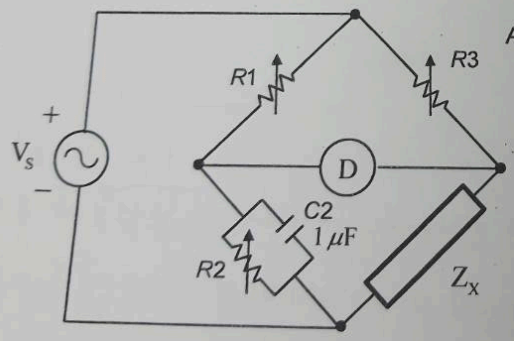
5. [10 points]

The device of Z_x is connected to a bridge circuit that uses an ac voltage source Vs which can be adjusted both amplitude and frequency in range of 1 Vpp ~ 10 Vpp and 10 Hz ~ 10 kHz, respectively. Resistors R1 and R2 both are adjustable from 100 Ω~20 kΩ. A resistor R3 is adjustable from 1kΩ~10kΩ. A capacitor is 1 μF constant.

Should the impedance Zx be an **inductor** or a **capacitor** which measurable with this bridge circuit?

In the case that Zx is an inductor, determine the minimum and maximum value of inductance and Q factor.

In the case that Zx is a capacitor, determine the minimum and maximum value of capacitance and D factor.



Answer Zx is..... (2 pts.)

and has .....ance with minimum of .....(2 pts.)

and maximum of .....(2 pts.)

and has ..... factor with minimum of .....(2 pts.)

and maximum of .....(2 pts.)