UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat d'Informàtica de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya
Facultat d'Informàtica de Barcelona

Física

1r quatrimestre
Curs 2015–16

Pràctiques de laboratori

Francisco Martínez Lasaca

0. Índex

1. Funcionament de l'oscil·loscopi i del polímetre

1. **(Exercici 1.2. Exercici previ)** A la pantalla d'un oscil·loscopi es visualitza un senyal sinusoïdal com el de la figura. El coeficient de deflexió és $A = 2\,\mathrm{V/div}$ i la base de temps és $B = 0.2\,\mathrm{ms/div}$.

   (a) Tenint en compte que cada divisió (div) correspon a un quadrat dividit en 5 subdivisions, digueu el valor H de la distància vertical en divisions entre un màxim i un mínim, i el valor L de la distància horitzontal entre dos màxims consecutius.

   Solució. Si s'observen els màxims i els mínims de la gràfica del senyal, es pot comprovar que la seva separació respecte de l'eix horitzontal és de 2,5 divisions; per tant, $H = 2.5\,\mathrm{div} \times 2 = 5\,\mathrm{div}$.

   Per altra banda, s'observa que als temps corresponents a -5 i $+5$ divisions respecte de l'origen de coordenades i a $t = 0$, la gràfica del senyal assoleix màxims. Per tant, $L = 5\,\mathrm{div}$.

   (b) Determineu:

   (a) la tensió pic a pic V_{pp}

   Solució. La tensió pic a pic, V_{pp} es calcula com el producte del coeficient de deflexió (A) i H. Per tant:

   $$V_{pp} = A \times H = 2\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{div}} \times 5\,\mathrm{div} = 10\,\mathrm{V}$$

   (b) l'amplitud V_0 i el valor eficaç V_{ef}

   Solució. Com que la tensió pic a pic és el doble de l'amplitud, l'amplitud d'aquest senyal és

   $$V_0 = \frac{V_{pp}}{2} = 5\,\mathrm{V}$$

   Per altra banda, aquest senyal és sinusoïdal; per tant, el seu valor eficaç és

   $$V_{ef} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

   En aquest cas, $V_{ef} = 5\,\mathrm{V}/\sqrt{2} = 3.54\,\mathrm{V}$.

   (c) el període T del senyal

   Solució. El període del senyal, T, es calcula de manera semblant a la tensió pic a pic: és el resultat de multiplicar la distància (en divisions) entre dos màxims consecutius, L, per la base de temps, B (temps/divisions). Per tant,

   $$T = L \times B = 5\,\mathrm{div} \times 0.2\,\frac{\mathrm{ms}}{\mathrm{div}} = 1\,\mathrm{ms}$$

   (d) la seva freqüència f

   Solució. La freqüència (f) és la inversa del període (T). En conseqüència:

   $$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1\,\mathrm{ms}} = 1 \times 10^3\,\mathrm{s}^{-1} = 1\,\mathrm{kHz}$$

2. **(Exercici 2.1. Exercici previ)** A partir de les fórmules per calcular la resistència equivalent de les combinacions de resistències en sèrie i en paral·lel, calculeu el valor teòric de la resistència equivalent R_{teo} del circuit de la figura. Determineu també el valor de les intensitats $(I_1, \ldots, I_5)$ i les caigudes de tensió $(V_1, \ldots, V_5)$ de totes les resistències del circuit quan $\varepsilon = 10\,\mathrm{V}$, suposant que la resistència interna de la font de tensió és nul·la. Quant val la intensitat total I?

Solució.

- *Càlcul de R_{teo}*

  Si denotem $A \parallel B$ i $A + B$ a l'associació en paral·lel i en sèrie, respectivament, de dues resistències A i B, llavors, la resistència equivalent del circuit és:

$$R_{teo} = (R_1 + R_2) \parallel ((R_4 \parallel R_5) + R_3) = \frac{1}{\frac{1}{50+100} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{200}+\frac{1}{200}}+50}} = \frac{1}{\frac{1}{150}+\frac{1}{150}} = 75\,\Omega$$

- *Càlcul de les intensitats*

  Com que R_1 i R_2 estan en sèrie, llavors passa la mateixa intensitat per ambdues. Aquesta intensitat és:

$$I_1 = I_2 = \frac{\varepsilon}{R_{1,2}} = \frac{10\,\mathrm{V}}{150\,\Omega} = 66.67\,\mathrm{mA}$$

  I_3 es calcula anàlogament (I_3 és igual a I_1 perquè $R_{1,2} = R_{3,4,5}$):

$$I_3 = \frac{\varepsilon}{R_{3,4,5}} = \frac{10\,\mathrm{V}}{150\,\Omega} = 66.67\,\mathrm{mA}$$

  Per a calcular I_4 i I_5, s'observa que R_4 i R_5 tenen la mateixa resistència, estan en paral·lel i, a més a més, per la 1a llei de Kirchhoff, $I_4 + I_5 = I_3$. Per tant, hi passa el mateix corrent per ambdues resistències, que és la meitat d'I_3, ja que I_4 i I_5 han de ser iguals.

$$I_4 = I_5 = \frac{I_3}{2} = 33.33\,\mathrm{mA}$$

- *Caigudes de tensió*

  Fem servir la llei d'Ohm:

$$\begin{aligned}
V_1 &= R_1 I_1 = 50\,\Omega \times 66.67\,\mathrm{mA} = 3.33\,\mathrm{V}\\
V_2 &= R_2 I_2 = 100\,\Omega \times 66.67\,\mathrm{mA} = 6.67\,\mathrm{V}\\
V_3 &= R_3 I_3 = 50\,\Omega \times 66.67\,\mathrm{mA} = 3.33\,\mathrm{V}\\
V_4 &= R_4 I_4 = 200\,\Omega \times 33.33\,\mathrm{mA} = 6.67\,\mathrm{V}\\
V_5 &= R_5 I_5 = 200\,\Omega \times 33.33\,\mathrm{mA} = 6.67\,\mathrm{V}
\end{aligned}$$

- *Intensitat total*

  Es calcula a partir de la fem de la font de tensió (ε) i de la resistència equivalent (R_{teo}).

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{teo}} = \frac{10\,\mathrm{V}}{75\,\Omega} = 133.33\,\mathrm{mA}$$

2. Equivalent Thévenin d'un circuit de corrent continu

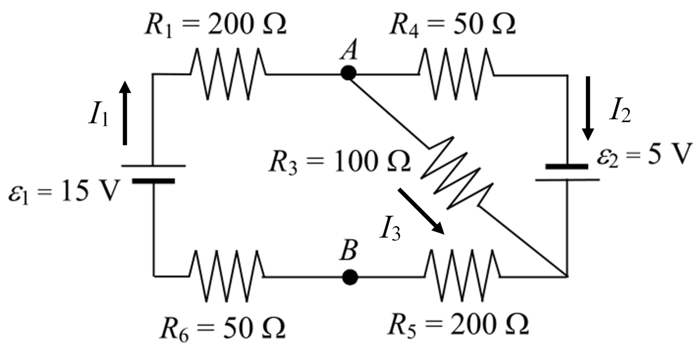
1. **(Exercici 1.4. Problema previ)**

   (a) Calculeu els valors teòrics de les intensitats que circulen per cadascuna de les branques del circuit de la Figura 7, suposant que la resistència interna de les fonts de tensió és nul·la.

Solució.

- *Identificació de les intensitats*

  S'assigna una direcció arbitrària a les intensitats del circuit.



- *Aplicació de la 1a llei de Kirchhoff*

  Aquesta llei afirma que «la suma dels corrents que entren a un node és igual a la suma dels corrents que hi surten».

  Si s'aplica aquesta propietat al node A, se'n deriva que

$$I_1 = I_2 + I_3$$

- *Aplicació de la 2a llei de Kirchhoff*

  Aquesta llei afirma que «en un llaç tancat, la suma de totes les caigudes de tensió és igual a la tensió total subministrada»; per tant:

$$\begin{aligned} 15 &= 200I_1 + 100I_3 + 250I_1 \\ 5 &= 50I_2 - 100I_3 \end{aligned}$$

- *Resolució del sistema*

  En resoldre el sistema format per les tres equacions anteriors, s'obté que

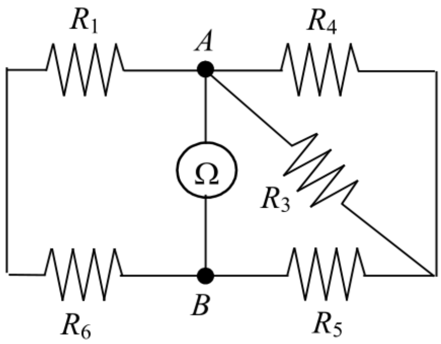
$$\begin{aligned} I_1 &= 37.93\,\mathrm{mA} \\ I_2 &= 58.62\,\mathrm{mA} \\ I_3 &= -20.69\,\mathrm{mA} \quad \text{(sentit invers)} \end{aligned}$$

   (b) Calculeu els valors teòrics ε_{Th}^{te} i R_{Th}^{te} de l'equivalent Thévenin entre els punts A i B del circuit de la Figura 7.

Solució.

- *Resistència de Thévenin, R_{Th}*

La resistència de Thévenin, R_{Th}, és la resistència que mesuraria un ohmímetre connectat entre A i B en el circuit següent, resultat de substituir les fonts de tensió per les seves resistències internes (en aquest cas, són nul·les):

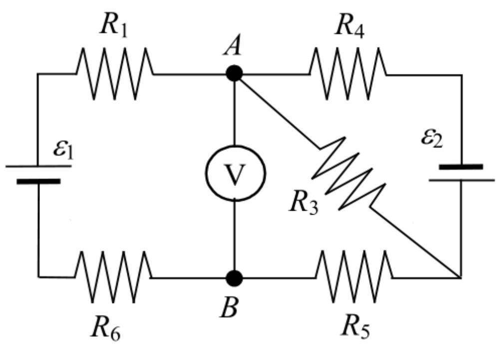


La lectura de l'ohmímetre —és a dir, la resistència equivalent de Thévenin— es pot calcular com segueix:

$$\begin{aligned} R_{Th} &= (R_1 + R_6) \parallel \big(R_5 + (R_4 \parallel R_3)\big) \\ &= (200 + 50) \parallel \big(200 + (50 \parallel 100)\big) \\ &= 120.69\,\Omega \end{aligned}$$

- *Força electromotriu de Thévenin, ε_{Th}*

  És el que llegiria un voltímetre ideal entre A i B, com s'il·lustra a la figura.



El voltímetre marcarà, doncs, V_{AB}, que es pot calcular com segueix:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Th} &= \varepsilon_1 - (V_{R_1} + V_{R_6}) \\ &= \varepsilon_1 - I_1(R_1 + R_6) \\ &= 15\,\mathrm{V} - (37.93\,\mathrm{mA}) \cdot (250\,\Omega) \\ &= 5.52\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

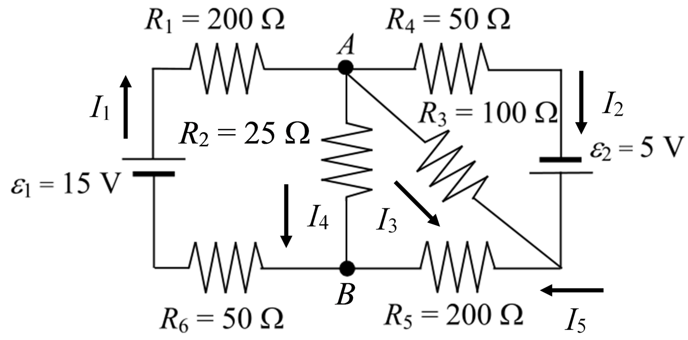
on V_{R_1} i V_{R_6} són les caigudes de tensió de les resistències R_1 i R_6, respectivament.

(c) Quina intensitat circularà per una resistència $R_2 = 25\,\Omega$ connectada entre A i B?

Solució. Cal aplicar el mateix procediment que a l'apartat *a*.

- *Identificació de les intensitats*

S'assigna una direcció arbitrària a les intensitats del circuit.



- *Aplicació de la 1a llei de Kirchhoff*

En aplicar la 1a llei al circuit, s'obtenen les següents tres equacions:

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$
$$I_2 + I_3 = I_5$$
$$I_4 + I_5 = I_1$$

- *Aplicació de la 2a llei de Kirchhoff*

Si s'aplica la 2a llei al circuit, se'n deriven les següents equacions:

$$15 = 200I_1 + 25I_4 + 50I_1$$
$$5 = -100I_3 + 50I_2$$
$$5 = 200I_5 - 25I_4 + 50I_2$$

- *Resolució del sistema*

En resoldre el sistema format per les anteriors equacions s'obté que

$$I_1 = 56.21\,\text{mA}$$
$$I_2 = 45.56\,\text{mA}$$
$$I_3 = -27.22\,\text{mA} \quad \text{(sentit invers)}$$
$$I_4 = 37.87\,\text{mA}$$
$$I_5 = 18.34\,\text{mA}$$

- *Corrent entre A i B*

Per tant, per la nova resistència R_2 de $25\,\Omega$ circularà un corrent de 37.87 mA en el sentit indicat al circuit.

Tots aquests càlculs són, però, només una comprovació què el teorema de Thévenin és cert; substituïnt tot el circuit entre A i B per una associació d'una *fem* de ε_{Th} volts i de les resistències R_{Th} i la nova R_2, obtindriem el mateix corrent:

$$I = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{\varepsilon_{Th}}{R_{Th} + R_2} = \frac{5.52\,\text{V}}{120.69\,\Omega + 25\,\Omega} = 37.87\,\text{mA}$$

El sentit seria, igualment, l'indicat a la figura.

3. Circuits filtres

1. **(Exercici 2.1. Filtre passabaix)** Un filtre passabaix, com el que es mostra a la figura 2, està format per una resistència d'1 kΩ i una bobina. Si la freqüència de tall és de 2300 Hz, determineu el coeficient d'autoinducció L de la bobina.

Solució. Sabem que

$$L = \frac{R}{2\pi f_T}$$

Si substituïm dades, tenim que el coeficient d'autoinducció d'aquesta bobina és

$$L = \frac{1000\,\Omega}{2\pi \cdot (2300\,\mathrm{Hz})} = 69.20\,\mathrm{mH}$$

A la figura 10 es representen la tensió instantània d'entrada $V_{in}(t)$ (línia contínua) i la de sortida $V_{out}(t)$ (línia discontínua), que s'observen a la pantalla d'un oscil·loscopi de doble canal. Determineu el desfasament entre ambdues quantitats, tot dient quina magnitud avança respecte a l'altra.

Solució. La magnitud que s'endarrereix és $V_{out}(t)$, ja que està més a la dreta que $V_{in}(t)$; per tant, $\underline{V_{in}(t) \text{ avança } V_{out}(t)}$.

Ara, per calcular l'angle de desfasament fem servir la següent expressió, que relaciona l'angle de desfasament dels dos senyals (φ, en graus sexagesimals) amb la distància l entre dos màxims consecutius entre els dos senyals i la distància D entre dos màxims consecutius d'un dels senyals:

$$\varphi = 360° \cdot \frac{l}{D} = 360° \cdot \frac{0.8\,\mathrm{div}}{5\,\mathrm{div}} = 57.6° = 8\pi/25\,\mathrm{rad}$$

2. **(Exercici 2.2. Filtre passaalt)** Un filtre passaalt, com el que es mostra a la figura 4, està format per una resistència d'1 kΩ i un condensador. Si la freqüència de tall és de 1500 Hz, determineu la capacitat C del condensador.

Solució. Fent servir la següent fórmula

$$C = \frac{1}{2\pi f_t R}$$

podem calcular la capacitat d'un condensador sabent la resistència i la freqüència de tall.

Si se substitueixen dades:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 1500\,\mathrm{Hz} \cdot 1000\,\Omega} = 106.10 \times 10^{-9}\,\mathrm{F} = 106.10\,\mathrm{nF}$$

3. **(Exercici 2.3. Filtre passabanda)** Un filtre passabanda com el que es mostra a la figura 6 està format per una resistència d'1 kΩ, un condensador de capacitat C i una bobina amb un coeficient d'autoinducció L. Utilitzant els valors de L i C calculats anteriorment, determineu les freqüències

de ressonància f_R i de tall f_H i f_L. Quant val l'amplada de banda Δf i el factor de qualitat Q? Quant valen Δf i Q quan la resistència és de $100\,\Omega$ i $10\,\mathrm{k}\Omega$?

Solució. Abans que res, expressem C i L en notació científica per a evitar canviar unitats.

$$C = 106.10\,\mathrm{nF} = 1.061 \times 10^{-7}\,\mathrm{F}$$
$$L = 69.20\,\mathrm{mH} = 6.920 \times 10^{-2}\,\mathrm{H}$$

Ara sí, calculem el que se'ns demana substituïnt C i L pels seus valors.

- *Resistència d'1 kΩ*
  - *Freqüències*
    - *de ressonància, f_R*

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1857.42\,\mathrm{Hz} = 1.86\,\mathrm{kHz}$$

    - *de tall, f_H*

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\left[+\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}\right] = 3334.55\,\mathrm{Hz} = 3.33\,\mathrm{kHz}$$

    - *de tall, f_L*

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[-\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}\right] = 1034.62\,\mathrm{Hz} = 1.03\,\mathrm{kHz}$$

  - *Amplada de banda, Δf*

$$\Delta f = f_H - f_L = 2299.93\,\mathrm{Hz} = 2.30\,\mathrm{kHz}$$

  - *Factor de qualitat, Q*

$$Q = \frac{f_R}{\Delta f} = \frac{1857.42\,\mathrm{Hz}}{2299.93\,\mathrm{Hz}} = 0.81$$

- *Resistència de 100 Ω*

  Anomenarem X a les magnituds del cas anterior i X' a les actuals. La relació entre ambdues és, lògicament, que $R'/R = 100\,\Omega/1\,\mathrm{k}\Omega = 1/10$.

  L és directament proporcional a R, per tant el nou $L' = L/10$. C és inversament proporcional a R, per tant, $C' = 10C$.

  Podem calcular, ara, $\Delta f'$ i Q'.

$$\Delta f' = \frac{R'}{2\pi L'} = \frac{R/10}{2\pi L/10} = \frac{R}{2\pi L} = \Delta f = 2299.93\,\mathrm{Hz} = 2.30\,\mathrm{kHz}$$

$$Q' = \frac{1}{R'}\sqrt{\frac{L'}{C'}} = \frac{1}{R/10}\sqrt{\frac{L/10}{10C}} = \frac{10}{R}\cdot\frac{1}{10}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = Q = 0.81$$

  Podem veure, doncs, que l'amplada de banda i el factor de qualitat no depenen de la resistència, ja que hem canviat només R i els resultats són els mateixos.

- *Resistència de 10 kΩ*

  Com que Q i Δf no depenen de la resistència, podem afirmar, directament, que el factor de qualitat és 0.81 i l'amplada de banda és de 2299.93 Hz, com en els casos anteriors.

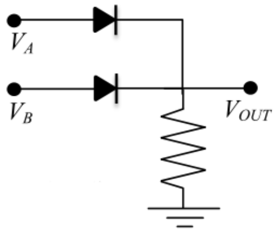
4. Portes lògiques amb díodes i transistors NMOS

1. **(Exercici 2.1. Tensions a les portes lògiques de díodes)** El circuit de la figura 1 està format per una resistència d'$1\,\mathrm{k\Omega}$ i un díode. S'observa que quan la *fem* ε de la pila és $5\,\mathrm{V}$, la diferència de potencial al díode és $V_d = 0.66\,\mathrm{V}$. Amb aquesta informació determineu els valors de les tensions de les taules de veritat de les portes lògiques `OR` i `AND` de les figures 2 i 3, quan les tensions a les entrades valen 0 i $5\,\mathrm{V}$.

Solució.

- *Porta `OR`*

  Aquesta és la implementació de la porta `OR` amb díodes.



  Enumerem i estudiem les diferents tensions V_{OUT} en funció de les tensions d'entrada V_A i V_B.

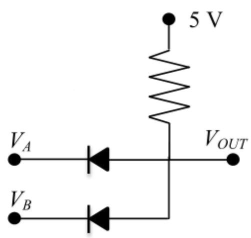
  – $V_A = V_B = 0$
    Cap díode condueix, i, en conseqüència, V_{OUT} és nul.
  – $V_A = 0$ *i* $V_B = 5\,\mathrm{V}$
    Només condueix B. Per tant, $V_{OUT} = 5 - V_d = 5 - 0.66 = 4.34\,\mathrm{V}$.
  – $V_A = 5\,\mathrm{V}$ *i* $V_B = 0$
    Només condueix A. Per tant, $V_{OUT} = 5 - V_d = 5 - 0.66 = 4.34\,\mathrm{V}$.
  – $V_A = V_B = 5\,\mathrm{V}$
    Ambdos díodes condueixen, per tant, i com que els dos díodes estan en paral·lel, $V_{OUT} = 5 - V_d = 5 - 0.66 = 4.34\,\mathrm{V}$.

  La taula de tensions de la porta queda, doncs, així:

V_A	V_B	$V_{\texttt{OR}}$
0	0	0.00
0	5	4.34
5	0	4.34
5	5	4.34

- *Porta `AND`*

  Aquesta és la implementació de la porta `AND` amb díodes.



Repetim el procés: enumerem i estudiem les diferents tensions V_{OUT} en funció de les tensions d'entrada V_A i V_B.

- $V_A = V_B = 0$
  Els dos díodes condueixen, per tant, $V_{OUT} = V_d = 0.66\,\mathrm{V}$.
- $V_A = 0$ *i* $V_B = 5\,\mathrm{V}$
  El díode A condueix, però el B no. Com que A condueix, $V_{OUT} = V_d = 0.66\,\mathrm{V}$.
- $V_A = 5\,\mathrm{V}$ *i* $V_B = 0$
  El díode B condueix, però el A no. Com que B condueix, $V_{OUT} = V_d = 0.66\,\mathrm{V}$.
- $V_A = V_B = 5\,\mathrm{V}$
  Cap díode condueix, per tant, $V_{OUT} = 5\,\mathrm{V}$.

La taula de tensions de la porta queda, doncs, així:

V_A	V_B	$V_{\texttt{AND}}$
0	0	0.66
0	5	0.66
5	0	0.66
5	5	5.00

2. **(Exercici 2.2. Corba característica d'un díode)** A la figura 10 es mostra la corba característica d'un díode `1N4007`, connectat en sèrie amb una resistència de $100\,\Omega$ (veure figura 1), determinada amb un oscil·loscopi de doble canal en mode X-Y. A l'eix horitzontal es representa la diferència de potencial al díode V_d i al vertical la de la resistència V_R. L'origen s'ha situat al punt O. Si els coeficients de deflexió de l'eix horitzontal (canal I) i vertical (canal II) valen respectivament $0.2\,\mathrm{V/div}$ i $0.5\,\mathrm{V/div}$, determineu:

   (a) El valor del potencial de contacte V_γ del díode, aplicant el criteri del fet que és el valor de V_d pel que $V_R = 0.1\,\mathrm{V}$. Observeu que, com la resistència és de $100\,\Omega$, això equival a dir que la intensitat que circula pel circuit és d'$1\,\mathrm{mA}$.

   Solució. Sabem que els coeficients de deflexió són $A_\mathrm{I} = 0.2\,\mathrm{V/div}$ i $A_\mathrm{II} = 0.5\,\mathrm{V/div}$; per tant, si V_γ és el valor de V_d pel que $V_R = 0.1\,\mathrm{V}$, llavors:

   $$V_R \Rightarrow (0.1\,\mathrm{V}) \times \frac{1\,\mathrm{div}}{0.5\,\mathrm{V}} = 0.2\,\mathrm{div}$$

   Si analitzem el gràfic, podem veure que una ordenada positiva de 0.2 divisions es correspon a una abscissa positiva de 3 divisions. Per tant, aplicant el coeficient de deflexió A_I:

   $$V_\gamma = (3\,\mathrm{div}) \times A_\mathrm{I} = (3\,\mathrm{div}) \times \frac{0.2\,\mathrm{V}}{1\,\mathrm{div}} = 0.6\,\mathrm{V}$$

   (b) El valor de V_d pel que $V_R = 0.5\,\mathrm{V}$ i, per tant, la intensitat és de $5\,\mathrm{mA}$.

   Solució. Resolem de manera anàloga.
   Si $V_R = 0.5\,\mathrm{V}$, llavors, la gràfica té, d'ordenada, $(0.5\,\mathrm{V}) \times (1\,\mathrm{div}/0.5\,\mathrm{V}) = 1\,\mathrm{div}$ en aquest punt.
   A 1 divisió d'altura, la gràfica té d'abscissa $3.2\,\mathrm{div}$, per tant, en aquest punt, $V_d = (3.2\,\mathrm{div}) \times (0.2\,\mathrm{V/div}) = 0.64\,\mathrm{V}$.

3. **(Exercici 2.3. Característica de transferència d'un NMOS)** A la figura 12 es mostra la característica de transferència (V_{GS}, V_{DS}) corresponent a un circuit inversor format per un NMOS de potència `IRF840`, connectat a una resistència d'1 kΩ (veure figura 7), que s'observa en un oscil·loscopi de doble canal que està en mode X-Y. Comparant les figures 6 i 11, tenint en compte que el coeficient de deflexió d'ambdós canals és d'1 V/div i que l'origen s'ha situat al punt O, determineu el valor de V_{DD} i de la tensió llindar V_T. A la pràctica V_T és el valor de la tensió d'entrada V_{GS} o V_{IN} a partir del qual la tensió a la sortida V_{DS} o V_{OUT} és nul·la.

Solució. Només cal identificar les regions de tall, de saturació i òhmica i contar divisions per a veure que $V_{DD} = 5\,\mathrm{V}$ i $V_T = 2.8\,\mathrm{V}$, ja que el coeficient d'ambdós canals és d'1 V/div.

5. Xarxes de difracció

1. **(Exercici 2.1. Determinació de la velocitat del so)** Si longitud d'ona d'una ona acústica de 40 kHz de freqüència és de $\lambda = 8.5\,\mathrm{mm}$, determineu la velocitat del so.

Solució. Només cal aplicar la següent propietat: $v = \lambda f$. Ho fem passant la freqüència f i la longitud d'ona λ a l'SI:

$$v = \lambda f = (8.5 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}) \cdot (40 \times 10^{3}\,\mathrm{s}^{-1}) = 340\,\mathrm{m/s}$$

Per tant, la velocitat del so és de 340 m/s.

2. **(Exercici 2.2. Experiment de la doble escletxa de Young)** En un experiment de doble escletxa de Young amb un emissor d'ultrasons de 40 kHz de freqüència s'observa que els dos màxims secundaris d'ordre 1 estan distribuïts simètricament, i a unes distàncies $x_1 = x_2 = 6\,\mathrm{cm}$, del màxim principal. Si la longitud d'ona és de 8.5 mm i la distància entre les escletxes i la pantalla és de 20 cm, determineu la separació que hi ha entre les escletxes.

Solució. Sabem que

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + D^2}}$$

Se'ns demana que calculem d; per tant, l'aïllem de l'equació anterior i substituïm les dades que coneixem en unitats de l'SI:

$$d = \frac{\lambda\sqrt{\Delta x^2 + D^2}}{\Delta x} = \frac{(8.5 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}) \cdot \sqrt{(0.06\,\mathrm{m})^2 + (0.2\,\mathrm{m})^2}}{(0.06\,\mathrm{m})^2} = 0.4930\,\mathrm{m} = 49.30\,\mathrm{cm}$$

La separació entre les escletxes és de 49.30 cm.

3. **(Exercici 2.3. Mesura de la distància entre pistes d'un CD)** En un experiment en què s'utilitza un CD com a xarxa de difracció per transmissió, s'il·lumina el disc amb un làser de 670 nm. A la pantalla, que dista 15.5 cm del disc, s'observa la figura de difracció amb un màxim principal i dos de secundaris. Si la distància entre un dels màxims secundaris i el principal és de 7.2 cm, avalueu la distància entre les pistes.

Solució. S'ha demostrat que la distància d entres les pistes d'un CD és

$$d = \frac{\lambda\sqrt{\Delta x^2 + D^2}}{\Delta x}$$

Per tant,

$$d = \frac{(670 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}) \cdot \sqrt{(0.072\,\mathrm{m})^2 + (0.155\,\mathrm{m})^2}}{0.072\,\mathrm{m}} = 1590.38 \times 10^{-9}\,\mathrm{m} = 1590.38\,\mathrm{nm}$$

La distància entre les pistes del CD és de 1590.38 nm.