

NºMec. \_\_\_\_\_ Nome: \_\_\_\_\_

Notas: - só é permitida calculadora sem capacidade de comunicação e material de escrita em papel; todo o restante material (incluindo pasta/mochila, portátil/tablet) deve ser depositado ao seu lado em lugar visível; o **telemóvel** (de preferência desligado) deve ser colocado sobre a mesa, bem visível, e **virado para baixo**;  
- em cada questão só há uma resposta correcta; uma resposta certa vale 1 valor, uma errada desconta 0,2 valores e uma não resposta vale 0 valores; as respostas têm de ser assinaladas com um X na grelha abaixo; mais do que um X por coluna é considerado como resposta errada; a questão 1 vale 2 valores;  
- duração do teste: 90 minutos, sem tolerância.

**Entrega do exame: no fim do seu exame (sem esquecer de escrever o Nº e Nome), ligue o telemóvel, tire uma fotografia da pág.1, e envie-a imediatamente por email (para [jeo@ua.pt](mailto:jeo@ua.pt)), devendo o Assunto ser da forma: NºMec primeiroNome últimoNome. Certifique-se que o cabeçalho e as 2 grelhas de respostas estão presentes e legíveis na fotografia.**

Leve o papel de rascunho consigo, deposite o exame na caixa existente na mesa do docente e abandone o anfiteatro.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
(a)																		
(b)																		
(c)																		
(d)																		

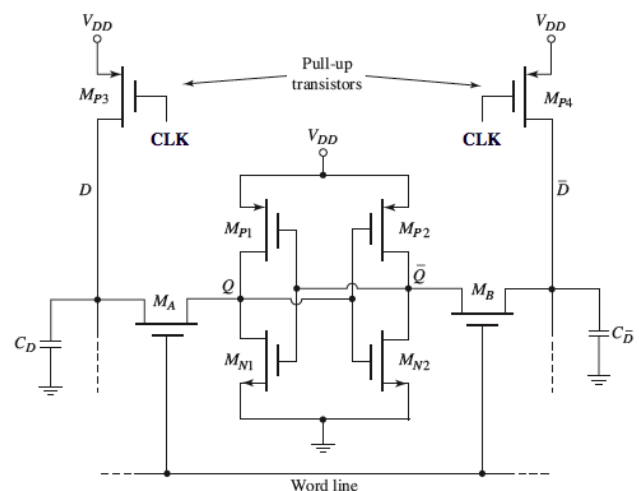
1.

Estado	CLK	WL	D	$\sim D$	Q	MN2	MP1	MP3
1 Read	1	1					Off	
2	0	0						
3	1	0		—				
4 Write	1	1	1	0				

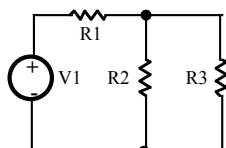
O circuito representa uma célula RAM.

Os estados 1 a 4 estabelecem-se sequencialmente.

Preencha a tabela acima com o valor lógico (0 ou 1) de D,  $\sim D$ , Q e com o estado (On ou Off) dos transistores.



2. No circuito abaixo,  $R1 = R2 = R3 = 1 \text{ k}\Omega$ .



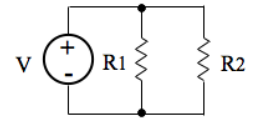
Se a potência fornecida por V1 é de 0,15W, que potência dissipa R3?

(a) 25 mW    (b) 50 mW    (c) 100 mW    (d) 150 mW

3. A corrente em  $R_1$  é o dobro da corrente em  $R_2$ .

Então verifica-se que:

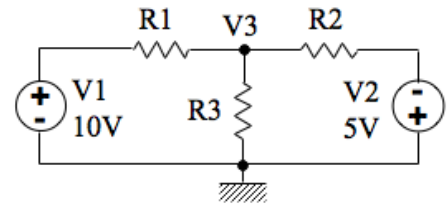
- (a)  $R_1 = R_2 / 4$     (b)  $R_1 = R_2 / 2$     (c)  $R_1 = 2 R_2$     (d)  $R_1 = 4 R_2$



4. No circuito à direita,  $R_1 = R_2 = 3 \text{ k}\Omega$      $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$

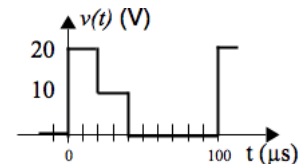
Aplicando sobreposição,  $V_3$  é dada pela soma:

- (a)  $-4 - 2 = -6 \text{ V}$     (b)  $-4 + 2 = -2 \text{ V}$   
(c)  $4 - 2 = 2 \text{ V}$     (d)  $4 + 2 = 6 \text{ V}$



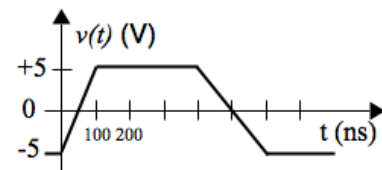
5. A figura à direita representa um ciclo de uma onda periódica de 10kHz. Calcule o seu valor médio:

- (a) 6 V    (b) 10 V    (c) 15 V    (d) 60 V



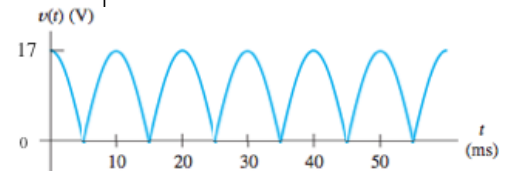
6. Para o sinal da figura, determine o tempo de descida:

- (a) 80 ns    (b) 100 ns  
(c) 160 ns    (d) 200 ns



7. Determine a frequência e o valor eficaz do sinal:

- (a) 50 Hz ; 12 V    (b) 50 Hz ; 24 V  
(c) 100 Hz ; 12 V    (d) 100 Hz ; 24 V

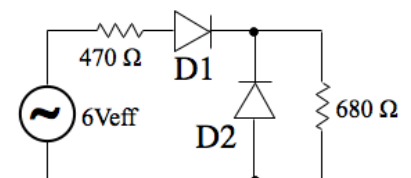


8. Considere um circuito RC paralelo, com  $R=1\text{k}\Omega$  e  $C=100\text{nF}$ , a funcionar à frequência de 1,6kHz. Determine, aproximadamente, a impedância equivalente em módulo e fase.

- (a)  $0,7\text{k}\Omega / -45^\circ$     (b)  $0,7\text{k}\Omega / +45^\circ$     (c)  $1,4\text{k}\Omega / -45^\circ$     (d)  $1,4\text{k}\Omega / +45^\circ$

9. Para o circuito à direita considere diodos ideais e que a tensão de entrada ( $V_i$ ) é uma senoide com  $6\text{V}_{\text{eff}}$ . Pode afirmar-se que:

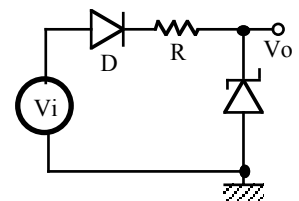
- (a) D1 está sempre cortado.    (b) D2 está sempre cortado.  
(c) D1 está sempre a conduzir.    (d) D2 conduz para  $V_i < 0$ .



10. No circuito considere  $V_\gamma = 0,7\text{V}$  |  $V_Z = 12\text{V}$  |  $R = 1\text{k}\Omega$ .

Calcule, aproximadamente, o valor máximo da corrente no zener quando o sinal de entrada é uma senoide de 500Hz com  $14\text{V}_{\text{rms}}$ :

- (a) 1,3 mA    (b) 2,0 mA    (c) 7,0 mA    (d) 7,7 mA

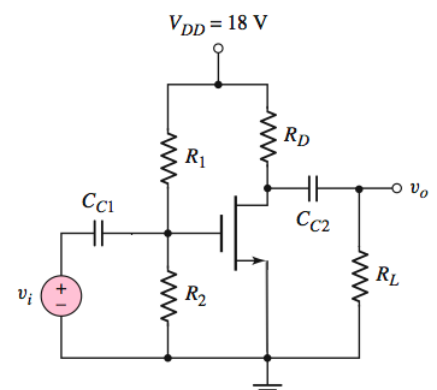


11. Considere:  $R_1=130\text{k}\Omega$  ;  $R_2=50\text{k}\Omega$  ;  $R_D=3\text{k}\Omega$  ;  $R_L=6\text{k}\Omega$  ; e que  $V_{to}=3\text{V}$  ;  $K=0,75 \text{ mA/V}^2$ .

Considere que os condensadores se comportam como curto-circuitos para pequeno sinal e circuito-abertos para dc.

Calcule a tensão  $V_{DS}$  de polarização:

- (a) 6 V    (b) 9 V    (c) 12 V    (d) 15 V

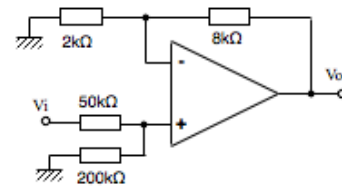


12. Para o circuito anterior, calcule  $v_O/v_i$ :

- (a) -9    (b) -6    (c) 6    (d) 9

13. Para o circuito à direita calcule o ganho  $V_o/V_i$ :

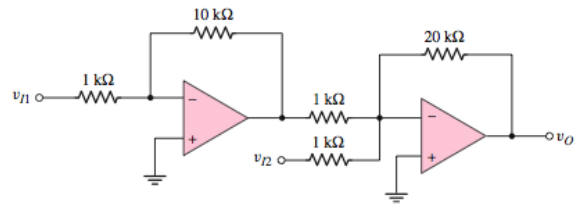
- (a) + 5                      (b) + 4  
(c) - 4                      (d) - 5



14. No circuito à direita, calcule  $v_O$  quando

$v_{I1}=25\text{mV}$  e  $v_{I2}=200\text{mV}$ :

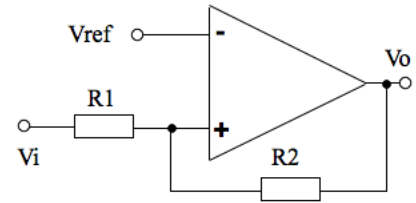
- (a) + 9 V                      (b) + 1 V  
(c) - 1 V                      (d) - 9 V



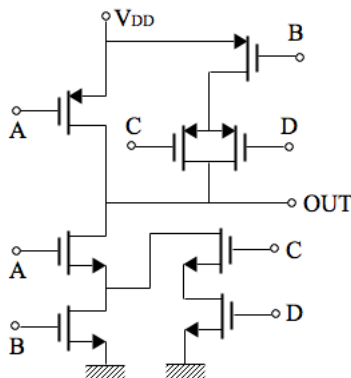
15. No comparador à direita,  $R1=5\text{k}\Omega$ ,  $R2=20\text{k}\Omega$  e  $V_{\text{REF}} = -2\text{V}$ .

O OpAmp satura a  $\pm 10\text{V}$ . As tensões de comparação inferior ( $V_{\text{TL}}$ ) e superior ( $V_{\text{TH}}$ ), referentes a  $V_i$ , são:

- (a) - 5 V / + 5 V                      (b) - 2 V / + 2 V  
(c) 0 V / + 4 V                      (d) 0 V / + 5 V

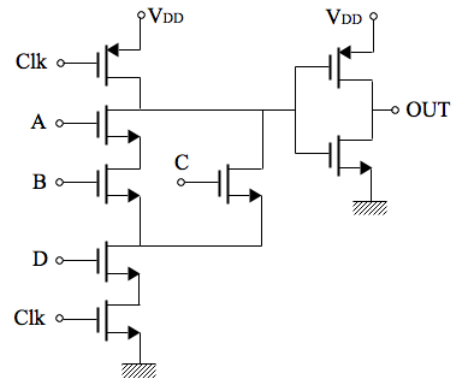


16. Qual a função lógica do circuito abaixo?



- (a)  $\overline{A(B+CD)}$                       (b)  $\overline{AB+CD}$   
(c)  $A(B+CD)$                       (d)  $AB+CD$

17. Qual a função lógica do circuito abaixo?



- (a)  $\overline{(A+B+C)D}$                       (b)  $\overline{ABD+C}$   
(c)  $(A+B+C)D$                       (d)  $ABD+C$

18. Considere uma DAC de 5 bits ( $b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$ ) de resistências pesadas. A resistência associada ao bit menos significativo ( $b_0$ ) é de  $400\text{ k}\Omega$ . Qual o valor da resistência associada ao bit  $b_2$ ?

- (a)  $100\text{ k}\Omega$                       (b)  $200\text{ k}\Omega$                       (c)  $800\text{ k}\Omega$                       (d)  $1,6\text{ M}\Omega$

19. Numa ADC de contagem de 10 bits, com 1 LSB equivalente a  $9,78\text{ mV}$ , o *clock* é de  $1\text{ MHz}$ . Quando o sinal à entrada é de  $5\text{ V}$ , determine, aproximadamente, o tempo de conversão:

- (a)  $10\text{ }\mu\text{s}$                       (b)  $11\text{ }\mu\text{s}$                       (c)  $512\text{ }\mu\text{s}$                       (d)  $1023\text{ }\mu\text{s}$

$$v = \frac{dw}{dq} \quad i = \frac{dq}{dt} \quad p(t) = v(t)i(t) \quad w = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad \mathbf{V} = \mathbf{R} \times \mathbf{I} \quad \Sigma \mathbf{I}_{in} = \Sigma \mathbf{I}_{out} \quad \Sigma \mathbf{V} = 0$$

$$R_{EQ} = \sum_{n=1}^N R_n$$

$$R_{EQ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{R2} = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_{R2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_i$$

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v(t) dt$$

$$V_{ef} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt}$$

$$V_{ef} = V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T \quad \tau = RC \quad \tau = L/R \quad j^2 = -1$$

$$q_c = C v_c \quad i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad v_c(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_c dt + v_c(t_0) \quad w(t) = \frac{1}{2} C v^2(t)$$

$$z = a + j b$$

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v_L dt + i_L(t_0) \quad w(t) = \frac{1}{2} L i^2(t)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right)$$

$$v_C(t) = V_i e^{-t/RC}$$

$$v_C(t) = V_s - V_s e^{-t/RC}$$

$$i_L(t) = I_f - I_f e^{-tR/L}$$

$$v_C(t) = V_{final} - (V_{final} - V_{inicial}) e^{-t/RC}$$

$$Z_C = -j \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \angle -90^\circ$$

$$Z_L = j\omega L = \omega L \angle 90^\circ$$

$$f_B = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$H(f) = \frac{1}{1 + j(f/f_B)}$$

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{j(f/f_B)}{1 + j(f/f_B)}$$

$$|H(f)|_{dB} = 20 \log |H(f)|$$

$$V_r = I_{Lmed} T/C \quad I_{Lmed} \approx V_{Lmed}/R_L \quad V_r = I_{Lmed} T/2C$$

$$i_D = K \left[ 2(v_{GS} - V_{to})v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

$$i_D = K_p [2(v_{SG} + V_{TP})v_{SD} - v_{SD}^2]$$

$$i_D = K_p (v_{SG} + V_{TP})^2$$

$$i_D = K (v_{GS} - V_{to})^2$$

$$g_m = 2 K (v_{GS} - V_{to})$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$v_{a \max} = (2^{n-1} + 2^{n-2} + \dots + 2^1 + 2^0) \delta v \\ = (2^n - 1) \delta v$$

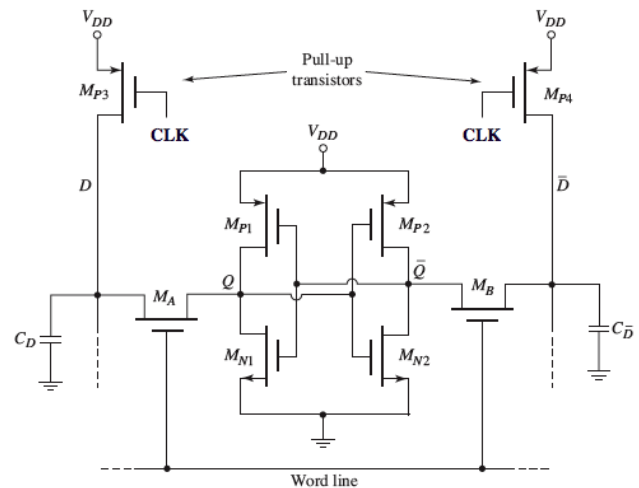
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
(a)	X			X			X							X	X		X	
(b)		X						X		X	X	X	X	X				
(c)			X		X	X			X					X		X		X
(d)														X				

1.

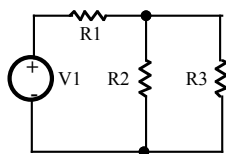
Estado	CLK	WL	D	$\sim D$	Q	MN2	MP1	MP3
1 Read	1	1	0	1	0	Off	Off	Off
2	0	0	1	1	0	Off	Off	On
3	1	0	1	—	0	Off	Off	Off
4 Write	1	1	1	0	1	On	On	Off

O circuito representa uma célula RAM.

Os estados 1 a 4 estabelecem-se sequencialmente.  
Preencha a tabela acima com o valor lógico (0 ou 1) de D,  $\sim D$ , Q e com o estado (On ou Off) dos transistores.



2. No circuito abaixo,  $R1 = R2 = R3 = 1 \text{ k}\Omega$ .



Se a potência fornecida por V1 é de 0,15W, que potência dissipa R3?

$$I1 = V1 / [R1 + (R2 // R3)] = V1 / 1500$$

$$P1 = V1 I1 = V1^2 / 1500 = 0,15W \Rightarrow V1 = 15V \Rightarrow I1 = 10mA$$

$$R2 = R3 \text{ e } I1 = I2 + I3 \Rightarrow I3 = I1 / 2 = 5mA$$

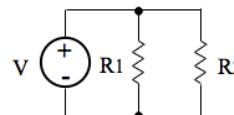
$$\text{Resposta: } P3 = R3 I3^2 = 25mW$$

3. A corrente em R1 é o dobro da corrente em R2.

Então verifica-se que:

$$I1 = 2 I2 \Rightarrow V / R1 = 2 V / R2 \Rightarrow R1 = R2 / 2$$

$$\text{Resposta: } R1 = R2 / 2$$



4. No circuito à direita,  $R1 = R2 = 3 \text{ k}\Omega$   $R3 = 6 \text{ k}\Omega$

Aplicando sobreposição, V3 é dada pela soma:

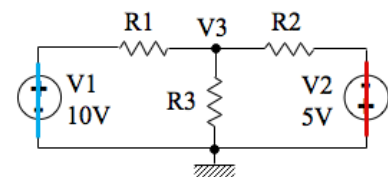
Iteração a: considerar V1 e anular os efeitos de V2 (cc vermelho)

$$\text{Pelo divisor de tensão, } V3a = V1 (R2 // R3) / [R1 + (R2 // R3)] = 10 (2K) / (3K + 2K) = 4V$$

Iteração b: considerar V2 e anular os efeitos de V1 (cc azul)

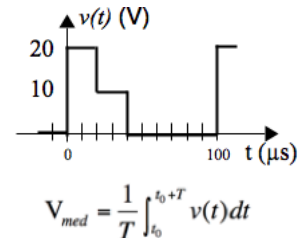
$$\text{Pelo divisor de tensão, } V3b = - V2 (R1 // R3) / [R2 + (R1 // R3)] = - 5 (2K) / (3K + 2K) = - 2V$$

$$\text{Resposta: } V3 = V3a + V3b = 4 - 2 = 2V$$



5. A figura à direita representa um ciclo de uma onda periódica de 10kHz. Calcule o seu valor médio:

O valor médio é a área da figura a dividir pelo período, ou seja  
 $(20 \times 20 + 10 \times 20) / 100 = 6V$  Resposta: 6V



6. Para o sinal da figura, determine o tempo de descida:

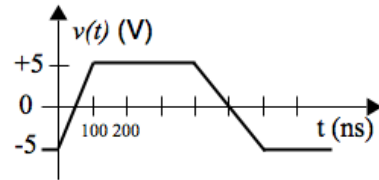
Por definição, o tempo de descida é medido entre 90% e 10% da excursão do sinal (pico a pico)

$$v_{pp} = 5 - (-5) = 10V \quad 90\% \text{ de } v_{pp} = 9V \quad 10\% \text{ de } v_{pp} = 1V$$

Temos então uma descida de 8V (de +4V para -4V).

O sinal desce 10V em 200ns, ou seja, 0,05V/ns pelo que, para descer 8V precisa de

Resposta:  $t_f = 160 \text{ ns}$



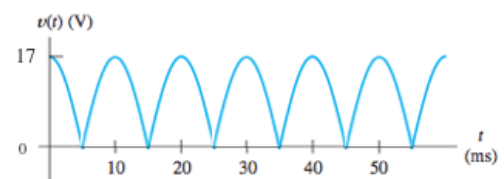
7. Determine a frequência e o valor eficaz do sinal:

$$v_{eff} = v_m / \sqrt{2} = 17 / 1,41 = 12 \text{ Veff}$$

Da figura tira-se imediatamente que o período  $T = 10\text{ms}$

$$f = 1 / T = 100\text{Hz}$$

Resposta: 100 Hz ; 12 V



8. Considere um circuito RC paralelo, com  $R=1\text{k}\Omega$  e  $C=100\text{nF}$ , a funcionar à frequência de 1,6kHz. Determine, aproximadamente, a impedância equivalente em módulo e fase.

Em paralelo temos que  $Z = R // Z_c = (R \times 1/j\omega C) / (R + 1/j\omega C) = R / (1 + j\omega CR) =$

$$= 1000 / (1 + j 2\pi \times 1600 \times 10^{-7} \times 1000) \approx 1000 / (1 + j 1)$$

$$|1 + j 1| = (1^2 + 1^2)^{1/2} = \sqrt{2} \quad |Z| = 1000 / |1 + j 1| \approx 0,7 \text{ k}\Omega$$

$$\phi(1 + j 1) = \text{atan}(1/1) = +45^\circ$$

Fase = Fase numerador - Fase denominador

$$\phi(Z) = 0 - \phi(1 + j 1) = -45^\circ$$

Resposta:  $0,7\text{k}\Omega / -45^\circ$

9. Para o circuito à direita considere diodos ideais e que a tensão de entrada ( $V_i$ ) é uma senoide com 6Veff. Pode afirmar-se que:

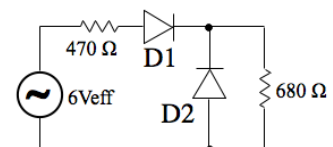
D2 está sempre cortado porque:

-  $v_i > 0V$ , D1 conduz porque tem o ânodo (através de  $470\Omega$ ) ligado

ao + da fonte e o cátodo (através de  $680\Omega$ ) ligado ao - da fonte. Neste caso, D2 está cortado pelo facto do ânodo estar ligado ao - da fonte e o cátodo (através de  $470\Omega$  e D1) ligado ao +.

-  $v_i < 0V$ , D1 corta porque fica com o ânodo ligado (através de  $470\Omega$ ) ao - da fonte. Como D1 é um circuito aberto, não há ligação entre o cátodo de D2 e a fonte, pelo que D2 também não pode conduzir, ou seja está cortado.

Resposta: D2 está sempre cortado.



10. No circuito considere  $V_\gamma = 0,7V$  |  $V_z = 12V$  |  $R = 1\text{k}\Omega$ .

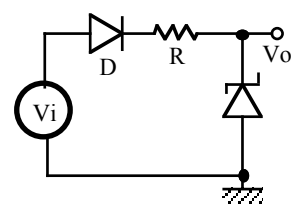
Calcule, aproximadamente, o valor máximo da corrente no zener quando o sinal de entrada é uma senoide de 500Hz com 14Vrms:

$$I_R = I_z \quad V_{ipico} = V_{rms} \sqrt{2} = 14 \times 1,41 = 19,8 \text{ Vpico}$$

$$\text{À esquerda de } R \text{ aparece } V_{ipico} - V_\gamma = 19,8 - 0,7 = 19,1V$$

$$\text{À direita de } R \text{ aparece } V_z = 12V, \text{ portanto } I_R = I_z = (19,1 - 12) / 1K \approx 7 \text{ mA}$$

Resposta: 7,0 mA



11. Considere:  $R_1=130\text{k}\Omega$  ;  $R_2=50\text{k}\Omega$  ;  $R_D=3\text{k}\Omega$  ;  $R_L=6\text{k}\Omega$  ; e que  $V_{to}=3\text{V}$  ;  $K=0,75 \text{ mA/V}^2$  .

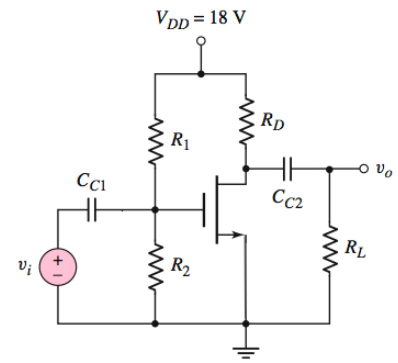
Considere que os condensadores se comportam como curto-circuitos para pequeno sinal e circuito-abertos para dc.

Calcule a tensão  $V_{DS}$  de polarização:

$$V_{GS} = V_G = V_{DD} \times R_2 / (R_1 + R_2) = 18 \times 50\text{K} / (130\text{K} + 50\text{K}) = 5\text{V}$$

$$I_D = K (V_{GS} - V_{to})^2 = 0,75 \times 10^{-3} (5-3)^2 = 3\text{mA}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D = 18 - (3 \times 10^3 \times 3 \times 10^{-3}) \quad \text{Resposta: } V_{DS} = 9\text{ V}$$



12. Para o circuito anterior, calcule  $v_O/v_i$  :

$$g_m = 2K (V_{GS} - V_{to}) = 3\text{mA/V}$$

Com base no modelo equivalente para pequenos sinais temos:

$$v_o = -g_m (R_D // R_L) v_i = -3 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 \times v_i = -6 v_i$$

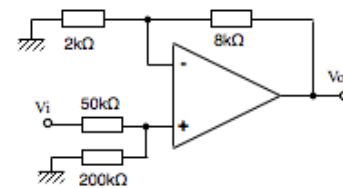
$$\text{Resposta: } v_O/v_i = -6$$

13. Para o circuito à direita calcule o ganho  $V_O/V_i$ :

$$V(+) = V_i \times 200\text{K} / (50\text{K} + 200\text{K}) = 0,8 V_i$$

$$V_o = V(+) [1 + (8\text{K} / 2\text{K})] = 5 V(+) = 5 \times 0,8 V_i$$

$$\text{Resposta: } V_O/V_i = +4$$



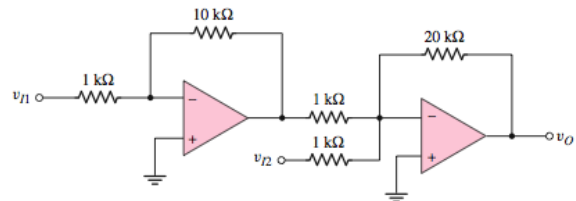
14. No circuito à direita, calcule  $v_O$  quando

$$v_{I1}=25\text{mV} \text{ e } v_{I2}=200\text{mV}:$$

$$v_{O1} = - (10\text{K}/1\text{K}) v_{I1} = -10 \times 25\text{mV} = -250\text{mV}$$

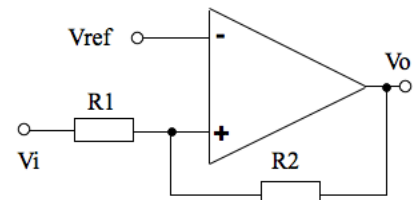
$$v_O = - (20\text{K}/1\text{K}) v_{O1} + [ - (20\text{K}/1\text{K}) v_{I2} ] = -20 \times (-250\text{mV}) + (-20 \times 200\text{mV}) = 5 - 4$$

$$\text{Resposta: } v_O = 1\text{ V}$$



15. No comparador à direita,  $R_1=5\text{k}\Omega$ ,  $R_2=20\text{k}\Omega$  e  $V_{REF} = -2\text{V}$ .

O OpAmp satura a  $\pm 10\text{V}$ . As tensões de comparação inferior ( $V_{TL}$ ) e superior ( $V_{TH}$ ), referentes a  $V_i$ , são:



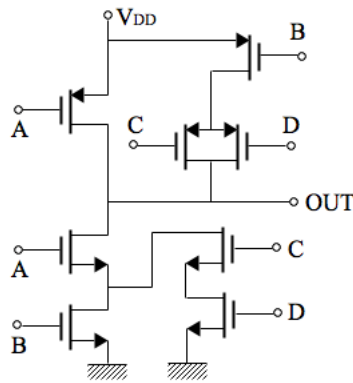
A comparação é feita (a subir ou a descer) quando  $V(+) = V(-) = V_{ref} = -2\text{V}$ . Por sobreposição,  
 $-2 = V(+) = V_i [R_2 / (R_1 + R_2)] + V_o R_1 / (R_1 + R_2) = 0,8 V_i + 0,2 V_o \Rightarrow V_i = -0,25 V_o - 2,5$

$$\text{Quando } V_o = 10\text{V} \Rightarrow V_i = V_{TL} = -5\text{ V}$$

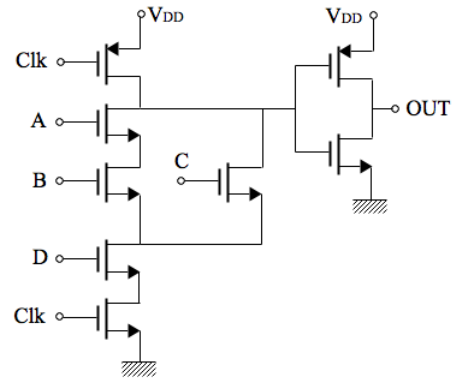
$$\text{Quando } V_o = -10\text{V} \Rightarrow V_i = V_{TH} = 0\text{ V}$$

$$\text{Resposta: } V_{TL} = -5\text{ V} \quad V_{TH} = 0\text{ V}$$

16. Qual a função lógica do circuito abaixo?



17. Qual a função lógica do circuito abaixo?



Nos NMOS: Série = AND Paralelo = OR (Função lógica operada em termos de correntes)

16. {A em série com [B // (C em série com D)]} => A (B + CD) em correntes, pelo que em tensão

$$\text{OUT} = \overline{A(B + CD)}$$

17. {[ (A em série com B) // C] em série com D} => (A B + C) D em correntes, mas como há um Inversor à saída, é esta a função implementada:  $\text{OUT} = (A B + C) D$

18. Considere uma DAC de 5 bits (b4 b3 b2 b1 b0) de resistências pesadas. A resistência associada ao bit menos significativo (b0) é de 400 kΩ. Qual o valor da resistência associada ao bit b2? Sabemos que numa DAC deste tipo as resistências variam sucessivamente numa potência de 2 e que a maior resistência é a associada ao LSB de modo a provocar a menor corrente nas entradas do Amplificador Somador. Assim,  $R_{b2} = R_{b0} / 4 = 100 \text{ k}\Omega$   
Resposta: 100 kΩ

19. Numa ADC de contagem de 10 bits, com 1 LSB equivalente a 9,78 mV, o clock é de 1 MHz. Quando o sinal à entrada é de 5 V, determine, aproximadamente, o tempo de conversão:

$$v_{a\max} = (2^{n-1} + 2^{n-2} + \dots + 2^1 + 2^0) \delta v$$

$$= (2^n - 1) \delta v$$

$$\delta v = v_{a\max} / 1023 = 9,78 \text{ mV}$$

$$v_{a\max} = 1023 \times 9,78 \text{ mV} \approx 10 \text{ V}$$

Sabemos que numa ADC deste tipo, o tempo de conversão é igual ao número de clocks que o contador binário necessita para contar desde zero até ao valor de  $V_i$  (a converter), mais 1 clock para read/reset.

Para  $V_i = 5 \text{ V}$  são, então, necessários 511+1 clocks, o que para  $f = 1 \text{ MHz}$  dá

Resposta: 512 μs