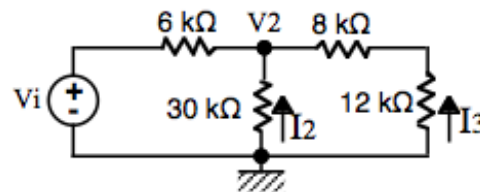


1. sabendo que $I_3 = 500\mu A$, calcule V_i :

$$V_2 = -I_3(8K + 12K) = -10V \quad I_2 = -V_2 / 30K = 333\mu A$$

$$V_i = -(I_2 + I_3)6K + V_2 = -(333+500) \times 10^{-6} \times 6 \times 10^3 - 10$$

Resposta: - 15V



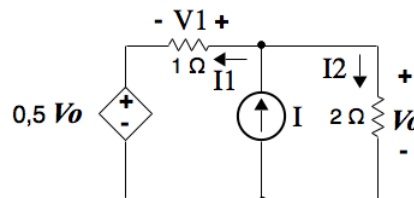
2. A potência dissipada na resistência de 2Ω é de 32W.

Calcule o valor da corrente I:

$$32W = P = V^2 / R = V_o^2 / 2 \Rightarrow V_o = 8V \Rightarrow I_2 = 4A$$

$$8V = V_o = V_1 + 0,5 V_o = 1\Omega \times I_1 + 4V \Rightarrow I_1 = 4A$$

Resposta: $I = I_1 + I_2 = 8A$



3. Considere uma onda rectangular, com valores extremos -4V e +6V e valor médio nulo.

Calcule o seu duty-cycle:

O valor médio é a área do sinal ao longo de um periodo (T) a dividir por T.

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

$$V_{med} = (-4V \times t_{off} + 6V \times t_{on}) / T = 0$$

$$\delta = t_{on}/T \text{ e } t_{off} = (1-\delta) T \Rightarrow 0 = V_{med} = -4(1-\delta) + 6\delta \Rightarrow \delta = 0,4$$

Resposta: $\delta = 40\%$

4. No circuito considere $V_\gamma = 0,6V$ e $V_z = 12V$. Calcule o valor mínimo de V_i que permite que o zener comece a conduzir.

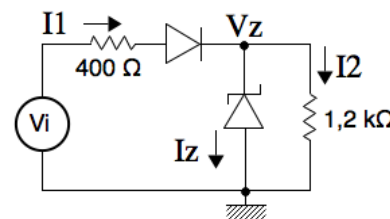
$$I_1 = I_2 + I_z \text{ e } I_z \geq 0 \text{ ou seja } I_1 \geq I_2$$

$$I_2 = V_z / 1,2k = 12/1,2 = 10mA$$

$$V_i = 400\Omega \times I_1 + V_\gamma + V_z \text{ Como } I_1 \text{ tem de ser, no mínimo, igual a } I_2 = 10mA, \text{ vem}$$

$$V_{imin} = 400\Omega \times 10mA + 0,6 + 12 = 16,6 V$$

Resposta: 16,6 V



5. Considere um circuito rectificador de onda completa em ponte e que $V_\gamma = 0,7V$. A filtragem subsequente garante uma tensão de ripple de 2V. A tensão à entrada do rectificador é de 50Hz e valor eficaz 8V. Calcule o valor médio da saída filtrada.

$$V_{ip} = V_{ieff} \times \sqrt{2} = 8 \times \sqrt{2} = 11,3V$$

Como o rectificador é completo em ponte, há a considerar a queda de 2 diodos, pelo que

$$V_{omax} = V_{ip} - 2 V_\gamma = 11,3 - 1,4 = 9,9 V \text{ e } V_{omin} = V_{omax} - V_{ripple} = 9,9 - 2 = 7,9 V$$

$$V_{omed} = (V_{omax} + V_{omin}) / 2 = 8,9 V$$

Resposta: 8,9 V

6. Considere uma ADC do tipo paralelo (flash) de 4 bits. Qual o número mínimo de comparadores necessário para a sua implementação ?

Decorre imediatamente do estudo da teórica que a resposta é $2^n - 1 = 15$ comparadores.

7. Uma DAC de 8 bits apresenta à saída uma tensão de 40mV quando à entrada é aplicado o byte 00000010. Qual a tensão de saída para uma entrada 00001000 ?

$$00\ 000\ 010 = 2_{(10)} \Rightarrow \partial v = 40mV / 2 = 20mV$$

$$00\ 001\ 000 = 8_{(10)} \Rightarrow V_o = 8 \partial v = 160mV$$

Resposta: 160mV

8. Considere o circuito à direita. Atente na definição de v_O ($v_O = v_{OB} - v_{OC}$).

O ganho v_O / v_I é dado por:

As resistências de $12\text{k}\Omega$ em série com as entradas (+) não produzem qualquer queda de tensão porque a corrente que as atravessa é nula.

v_{OB} é a saída de um amplificador não inversor, donde

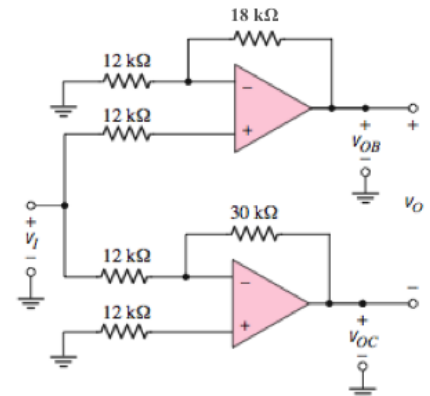
$$v_{OB} = [1 + (18\text{K}/12\text{K})] \times v_I = 2,5 \text{ V}$$

v_{OC} é a saída de um amplificador inversor, donde

$$v_{OC} = - (30\text{K}/12\text{K}) \times v_I = - 2,5 \text{ V}$$

$$v_O / v_I = v_{OB} - v_{OC} = 2,5 - (-2,5) = 5,0$$

Resposta: 5,0



9. Atente nas entradas do OpAmp à direita.

Com $R_1=R_2=R_3=R_4=10\text{k}\Omega$, $V_{\text{ref}} = +2\text{V}$ e $V_i = +1\text{V}$, calcule V_o :

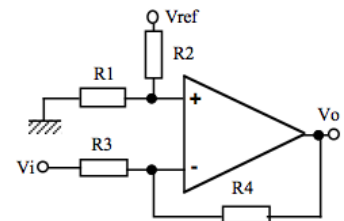
Como $I_+ = 0$, à entrada não inversora aparece a tensão:

$$V_+ = V_{\text{ref}} R_1 / (R_1 + R_2) = 1 \text{ V} \text{ pelo divisor de tensão,}$$

sendo o amplificador não inversor em relação a V_+ . Para V_i o amplificador é inversor.

$$\text{Aplicando sobreposição, temos: } V_o = V_+ [1 + (R_4/R_3)] - V_i R_4/R_3 = 1 \times 2 - 1 \times 1 = 1 \text{ V}$$

Resposta: + 1 V



10. Considere o circuito à direita, com $R_1=5\text{k}\Omega$, $R_2=15\text{k}\Omega$ e $V_{\text{REF}} = 0\text{V}$. O OpAmp satura a $\pm 10\text{V}$.

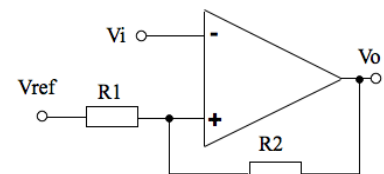
Calcule o valor da histerese:

$$V_H = 10 \text{ V} \quad V_L = - 10 \text{ V}$$

$$\text{Como } V_{\text{ref}}=0, \text{ pelo divisor de tensão temos: } V_+ = V_o R_1 / (R_1 + R_2) = \pm 10 \times 5 / (5 + 15) = \pm 2,5 \text{ V}$$

As comparações ocorrem quando $V_i = V_+$, pelo que $V_{TH} = 2,5\text{V}$ e $V_{TL} = - 2,5\text{V}$

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



11. Considere: $R_1=12\text{k}\Omega$; $R_2= ? \text{ k}\Omega$; $R_D=2\text{k}\Omega$; $R_L=6\text{k}\Omega$; e que $V_{to}=3\text{V}$; $K=0,5 \text{ mA/V}^2$.

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

Para obter $I_D = 4,5\text{mA}$, o valor de R_2 é:

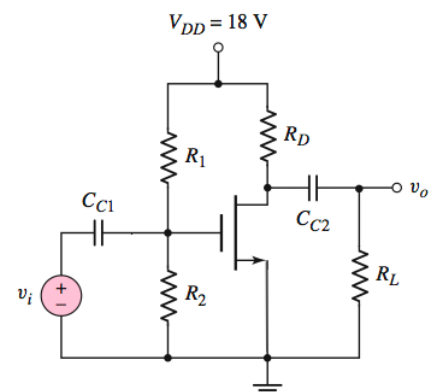
$$I_D = K (V_{GS} - V_{to})^2 = 0,5 \times 10^{-3} (V_{GS} - 3)^2 = 4,5\text{mA}$$

$$\text{Donde } V_{GS} = 6 \text{ V}$$

$$\text{Como } I_G = 0, V_{R2} = V_G = V_{GS} = V_{DD} R_2 / (R_1 + R_2) = 6\text{V}$$

$$\text{donde, } 6 = 18 R_2 / (12\text{K} + R_2) \Rightarrow R_2 = 6 \text{ k}\Omega$$

Resposta: 6 kΩ



12. No circuito anterior, considerando $g_m=3\text{mA/V}$ e que v_i é um sinal sinusoidal com 200mV , determine a amplitude de v_o e a fase deste em relação a v_i :

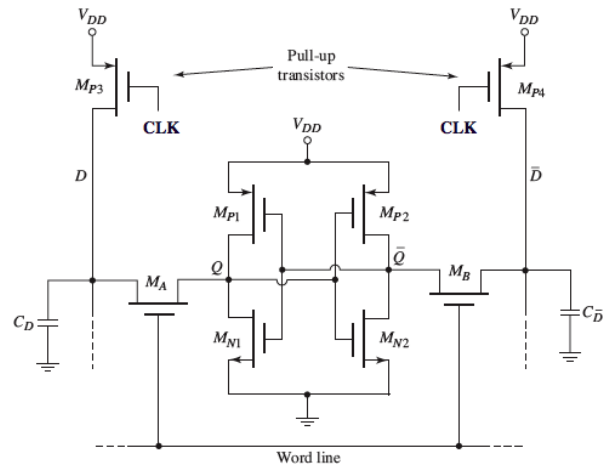
Com base no modelo equivalente para pequenos sinais obtém-se:

$$v_o = - g_m (R_D // R_L) v_i = - 3 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 10^3 \times 0,2 = - 0,9 \text{ V} \quad \text{Polaridades simétricas} \Rightarrow \text{fase} = \pm 180^\circ$$

Resposta: 0,9V / 180°

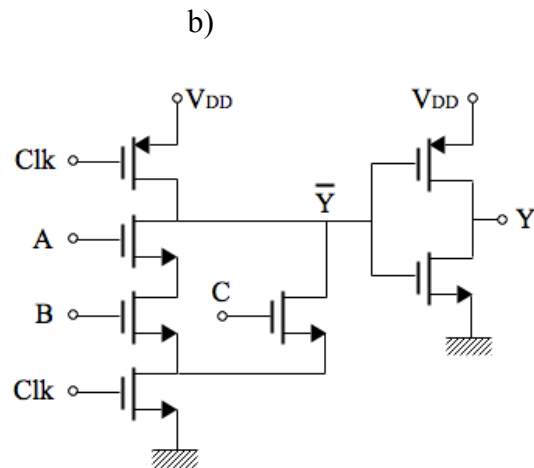
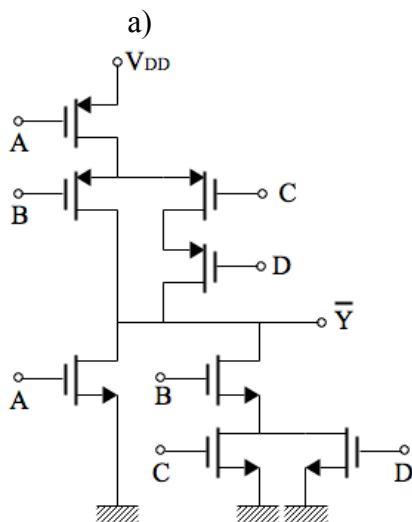
13. O circuito representa uma célula RAM. Os estados 1 a 5 estabelecem-se sequencialmente. Preencha a tabela abaixo com o valor lógico de D, $\sim D$, Q e $\sim Q$, e com o estado (On ou Off) dos transistores.

Estado	CLK	WL	D	$\sim D$	Q	$\sim Q$	MN1	MN2	MP1	MA	MP4
1 Write	1	1	0	1	0	1	On	Off	Off	On	Off
2	0	0	1	1	0	1	On	Off	Off	On	Off
3 Read	1	1	0	1	0	1	On	Off	Off	On	Off
4	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	1	0	—	—	0	1	On	Off	Off	On	Off

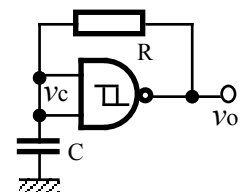


14. Desenhe e explique o funcionamento de:

- (a) um circuito **estático** CMOS (incluindo todos os transistores NMOS e PMOS) que implemente a **negação** da função $Y = A + B (C + D)$;
- (b) um circuito **dinâmico** CMOS que implemente a função $Y = A B + C$.



15. O circuito à direita, alimentado a +10V, é um oscilador baseado numa porta CMOS com histerese nas entradas, sendo $V_{TH}=7V$ e $V_{TL}=5V$. Com $R=100k\Omega$ e $C=1nF$, calcule (justificando todos os passos):

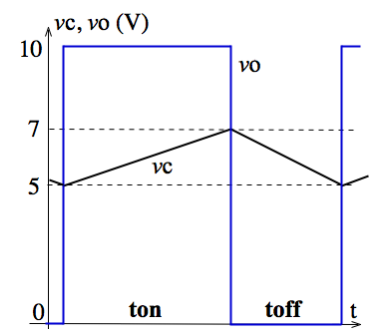


- (a) a frequência de oscilação;
- (b) o valor médio de v_c e de v_o , bem como o *duty-cycle* de v_o .

$v_o = 10V \Rightarrow \text{ton}$: através de R, C carrega exponencialmente;
quando v_c atinge V_{TH} , a porta comuta para $v_o=0V$.
 $v_o = 0V \Rightarrow \text{toff}$: através de R, C descarrega exponencialmente;
quando v_c atinge V_{TL} , a porta comuta para $v_o=10V$.

$$\tau = RC = 10^5 \times 10^{-9} = 10^{-4} \text{ s}$$

$$v_c(t) = V_{\text{final}} - (V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}) e^{-t/RC}$$



$v_o = 10V \Rightarrow \text{ton}$: a carga de C começa em V_{TL} ($V_{inicial} = 5V$) e tende exponencialmente para $v_o = 10V$ ($V_{final} = 10V$), mas é interrompida quando v_C atinge $V_{TH} = 7V$:

$$v_C(\text{ton}) = 7V = 10 - (10 - 5) e^{-\text{ton}/RC} \Rightarrow e^{-\text{ton}/RC} = 0,6V \Rightarrow -\text{ton} / 10^{-4} = \ln 0,6 \Rightarrow \text{ton} = 51,1 \mu s$$

$v_o = 0V \Rightarrow \text{toff}$: a descarga de C começa em V_{TH} ($V_{inicial} = 7V$) e tende exponencialmente para $v_o = 0V$ ($V_{final} = 0V$), mas é interrompida quando v_C atinge $V_{TL} = 5V$:

$$v_C(\text{toff}) = 5V = 0 - (0 - 7) e^{-\text{toff}/RC} \Rightarrow e^{-\text{toff}/RC} = 5/7 \Rightarrow -\text{toff} / 10^{-4} = \ln 0,714 \Rightarrow \text{toff} = 33,6 \mu s$$

$$T = \text{ton} + \text{toff} = 51,1 + 33,6 = 84,7 \mu s \Rightarrow f = 1/T = 1/84,7 = 11,8 \text{ kHz}$$

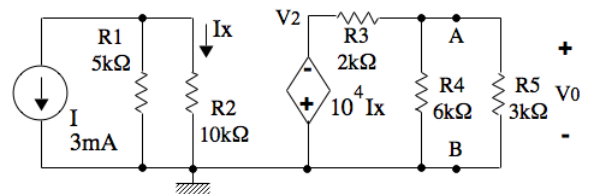
$$v_o \text{ med} = v_{ohigh} \text{ton}/T + v_{olow} \text{toff}/T = 10 \partial + 0 (1-\partial) = 10 \times 0,6 = 6 V$$

$$v_C \text{ med} = (V_{TH} + V_{TL}) / 2 = (7 + 5) / 2 = 6 V$$

Este resultado é lógico dado que um circuito RC passa-baixo extrai o valor médio da onda de entrada (que neste caso é v_o).

16. Para o circuito à direita, justificando todos os passos:

- calcule o valor de I_x e de V_o ;
- obtenha o equivalente de Norton para todo o circuito à esquerda dos pontos AB e desenhe esse equivalente.



Pelo divisor de corrente: $I_x = -I R1 / (R1 + R2) = -3 \times 5/15 = -1 \text{ mA}$

$$V2 = -10^4 I_x = -10^4 \times (-10^{-3}) = 10 V$$

$$R45 = R4 // R5 = 2 \text{ k}\Omega$$

Pelo divisor de tensão: $V_o = V2 R45 / (R3 + R45) = 10 \times 2 / 4 = 5 V$

Resistência de Norton:

Se anularmos o efeito das fontes independentes ($I = 0 =$ circuito aberto) $\Rightarrow I_x = 0$

$V2 = -10^4 I_x = 0$ (curto-circuito). Olhando, agora, para a esquerda dos pontos A e B, verifica-se que $R3$ fica em paralelo com $R4$, ou seja:

$$R_N = R3 // R4 = 2K // 6K = 1,5 \text{ k}\Omega$$

Corrente de Norton:

Curto-circuitando os pontos A e B, $I_N = I_{AB} = I_{sc}$

Como nada se alterou no circuito de entrada, $V2 = 10 V$, pelo que

$$I_N = I_{sc} = V2 / R3 = 10 / 2K = 5 \text{ mA}$$

Modelo Norton do circuito à esquerda dos pontos A e B:

