

1) a) Lei das correntes no nó do pino "-":

$$\frac{0 - V_S}{R_S} = \frac{V_S - V_O}{R_F} \Rightarrow \frac{-R_F \cdot V_S}{R_S} = V_S - V_O \Rightarrow V_O = \frac{R_F}{R_S} \cdot V_S + V_S$$

$$V_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_S} \right) \cdot V_S \quad \text{ou} \quad V_O = \left(\frac{R_F + R_S}{R_S} \right) \cdot V_S$$

→ substitui os valores de R_F e R_S , tem-se:

$$V_O = \frac{10 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3} \cdot V_S \Rightarrow \boxed{V_O = 3,0 \cdot V_S}$$

b) substituindo $V_S = 2V$:

$$V_O = 3 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{V_O = 6V}$$

c) substituindo $V_S = -4,5V$:

$$V_O = 3 \cdot (-4,5) \Rightarrow \boxed{V_O = -13,5V}$$

d) substituindo $V_S = 6V$:

$$V_O = 3 \cdot 6 \Rightarrow V_O = 18V \quad \text{SATURAÇÃO} \Rightarrow \boxed{V_O = 15V}$$

e) substituindo $V_O = 15V$:

$$V_S = \frac{V_O}{3} \Rightarrow V_S = \frac{15}{3} \Rightarrow \boxed{V_S = 5V}$$

substituindo $V_O = -15V$:

$$V_S = \frac{V_O}{3} \Rightarrow V_S = \frac{-15}{3} \Rightarrow \boxed{V_S = -5V}$$

$$\hookrightarrow \boxed{-5V \leq V_S \leq 5V}$$

2) a) utilizando a equação do amplificador inversor:

$$V_0 = -\frac{R_F}{R_S} \cdot V_a \Rightarrow V_0 = -\frac{47 \cdot 10^3}{4,7 \cdot 10^3} \cdot V_a \Rightarrow \boxed{V_0 = -10 \cdot V_a}$$

b) substituindo $V_a = 2V$:

$$V_0 = -10 \cdot (2) \Rightarrow V_0 = -20V \text{ SATURAÇÃO} \Rightarrow \boxed{V_0 = -12V}$$

c) substituindo $V_a = -4,5V$:

$$V_0 = -10 \cdot (-4,5) \Rightarrow V_0 = 45V \text{ SATURAÇÃO} \Rightarrow \boxed{V_0 = 12V}$$

d) substituindo $V_a = 6V$:

$$V_0 = -10 \cdot (6) \Rightarrow V_0 = -60V \text{ SATURAÇÃO} \Rightarrow \boxed{V_0 = -12V}$$

e) substituindo $V_0 = 12V$:

$$V_a = -\frac{V_0}{10} \Rightarrow V_a = -\frac{12}{10} \Rightarrow V_a = -1,2V$$

substituindo $V_0 = -12V$:

$$V_a = -\frac{V_0}{10} \Rightarrow V_a = -\frac{(-12)}{10} \Rightarrow V_a = 1,2V$$

$$\boxed{-1,2V \leq V_a \leq 1,2V}$$

3) a) divide o circuito ao meio \rightarrow tem 2 amplificadores inversores.
equacionando o primeiro, tem-se a saída V_x :

$$V_x = - \frac{60 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3} \cdot V_d \Rightarrow \boxed{V_x = -2 \cdot V_d}$$

\rightarrow usando V_x como a entrada do segundo amplificador:

$$V_o = - \frac{34 \cdot 10^3}{68 \cdot 10^3} \cdot V_x \Rightarrow \boxed{V_o = - \frac{V_x}{2}}$$

\rightarrow substituindo V_x na equação de V_o , tem-se:

$$V_o = - \frac{(-2 \cdot V_d)}{2} \Rightarrow \boxed{V_o = V_d}$$

b) substituindo $V_d = 8V$:

$$V_x = -2 \cdot 8 \Rightarrow V_x = -16V \quad \text{SATURAÇÃO} \Rightarrow V_x = -15V$$

$$V_o = - \frac{V_x}{2} \Rightarrow V_o = - \frac{-15}{2} \Rightarrow \boxed{V_o = 7,5V}$$

c) substituindo $V_d = 16V$:

$$V_x = -2 \cdot 16 \Rightarrow V_x = -32V \quad \text{SATURAÇÃO} \Rightarrow V_x = -15V$$

$$V_o = - \frac{V_x}{2} \Rightarrow V_o = - \frac{-15}{2} \Rightarrow \boxed{V_o = 7,5V}$$

d) Nesse circuito, V_o nunca satura. Quem satura é V_x . Os limites de V_d para que V_x sature são obtidos por:

substituindo $V_x = 15V$:

$$V_d = \frac{V_x}{-2} \Rightarrow V_d = \frac{15}{-2} \Rightarrow V_d = -7,5V$$

substituindo $V_x = -15V$:

$$V_d = \frac{V_x}{-2} \Rightarrow V_d = \frac{-15}{-2} \Rightarrow V_d = 7,5V$$

$$\rightarrow \boxed{-7,5V \leq V_d \leq 7,5V}$$

4) a) Lei das correntes no nó do pino "-":

$$\frac{V_a - 0}{R_a} + \frac{V_b - 0}{R_b} + \frac{V_c - 0}{R_c} = \frac{0 - V_o}{R_F} \Rightarrow \frac{R_F \cdot V_a}{R_a} + \frac{R_F \cdot V_b}{R_b} + \frac{R_F \cdot V_c}{R_c} = -V_o$$

$$V_o = -\frac{R_F}{R_a} \cdot V_a - \frac{R_F}{R_b} \cdot V_b - \frac{R_F}{R_c} \cdot V_c$$

substituindo os valores de R_F , R_a , R_b e R_c :

$$V_o = -\frac{60 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot V_a - \frac{60 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} \cdot V_b - \frac{60 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3} \cdot V_c$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = -6 \cdot V_a - 4 \cdot V_b - 2 \cdot V_c}$$

b) substituindo $V_a = -4V$, $V_b = 3V$, $V_c = 1V$:

$$V_o = -6 \cdot (-4) - 4 \cdot (3) - 2 \cdot (1) \Rightarrow \boxed{V_o = 10V}$$

c) substituindo $V_0 = 15V$, $V_a = -4V$ e $V_b = 3V$

$$V_c = \frac{V_0 + 6 \cdot V_a + 4 \cdot V_b}{-2}$$

$$V_c = \frac{15 + 6 \cdot (-4) + 4 \cdot (3)}{-2} \Rightarrow \boxed{V_c = -1,5V}$$

substituindo $V_0 = -15V$, $V_a = -4V$ e $V_b = 3V$;

$$V_c = \frac{V_0 + 6 \cdot V_a + 4 \cdot V_b}{-2}$$

$$V_c = \frac{(-15) + 6 \cdot (-4) + 4 \cdot (3)}{-2} \Rightarrow \boxed{V_c = -13,5V}$$

5) a) dividi o circuito ao meio \rightarrow tem um amplificador não inversor e um amplificador somador inversor

equaciona o primeiro circuito e tem a saída V_x :

$$V_x = \frac{25 \cdot 10^3 + 50 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^3} \cdot V_a \Rightarrow V_x = 1,5 \cdot V_a$$

usando V_x como uma entrada do segundo amplificador:

$$V_0 = \frac{-100 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^3} \cdot V_x - \frac{100 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} \cdot V_b \Rightarrow V_0 = -2 \cdot V_x - 4 \cdot V_b$$

substituindo V_x na equação de V_0 :

$$V_0 = -2 \cdot (1,5 \cdot V_a) - 4 \cdot V_b \Rightarrow \boxed{V_0 = -3 \cdot V_a - 4 \cdot V_b}$$

b) substituindo $V_a = 2V$ e $V_b = -4V$:

$$V_0 = -3 \cdot (2) - 4 \cdot (-4) \Rightarrow \boxed{V_0 = 10V}$$

c) utilizando o valor da fonte $V_b = -4V$, pode-se calcular a corrente no resistor:

$$i_{25} = \frac{V_b - 0}{25 \cdot 10^3} \Rightarrow i_{25} = \frac{-4}{25 \cdot 10^3} \Rightarrow \boxed{i_{25} = -160 \mu A}$$

d) substituindo $V_a = 3V$ e $V_b = 2V$:

$$V_0 = -3 \cdot (3) - 4 \cdot (2) \Rightarrow V_0 = -17V \quad \text{SATURAÇÃO} \Rightarrow \boxed{V_0 = 15V}$$

e) substituindo $V_0 = -15V$ e $V_a = -3V$:

$$V_b = \frac{V_0 + 3 \cdot V_a}{-4} \Rightarrow V_b = \frac{-15 + 3 \cdot (-3)}{-4} \Rightarrow V_b = -1,5V$$

substituindo $V_0 = -15V$ e $V_a = -3V$:

$$V_b = \frac{V_0 + 3 \cdot V_a}{-4} \Rightarrow V_b = \frac{-15 + 3 \cdot (-3)}{-4} \Rightarrow V_b = 6V$$

$$\boxed{-1,5V \leq V_b \leq 6V}$$

6) a) aplicando o divisor de tensão no pino "+":

$$V^+ = \frac{R_b}{R_a + R_b} \cdot V_b$$

aplicando lei das correntes no nó do pino "-":

$$\frac{V_a - V^+}{R_s} = \frac{V^+ - V_o}{R_F} \Rightarrow R_F \cdot \frac{V_a - V^+}{R_s} = V^+ - V_o \Rightarrow R_F \cdot \frac{V_a - V^+}{R_s} - V^+ = -V_o$$

$$V_o = -\frac{R_F}{R_s} \cdot V_a + \left(1 + \frac{R_F}{R_s}\right) \cdot V^+ \text{ ou } V_o = \left(\frac{R_F + R_s}{R_s}\right) \cdot V^+ - \frac{R_F}{R_s} \cdot V_a$$

substituindo V^+ na equação acima:

$$V_o = \left(\frac{R_F + R_s}{R_s}\right) \cdot \left(\frac{R_b}{R_a + R_b}\right) \cdot V_b - \frac{R_F}{R_s} \cdot V_a$$

substituindo os valores de R_F , R_s , R_a e R_b :

$$V_o = \left(\frac{10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3}\right) \cdot \left(\frac{30 \cdot 10^3}{60 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3}\right) \cdot V_b - \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot V_a \Rightarrow V_o = \frac{2}{3} \cdot V_b - V_a$$

b) substituindo $V_a = 2V$ e $V_b = 4,5V$:

$$V_o = \frac{2}{3} \cdot (4,5) - 2 \Rightarrow V_o = 1V$$

c) substituindo $V_a = -5V$ e $V_b = 6V$:

$$V_o = \frac{2}{3} \cdot 6 - (-5) \Rightarrow V_o = 9V$$

d) substituindo $V_o = 18V$ e $V_a = 2V$:

$$V_b = \frac{3 \cdot (V_o + V_a)}{2} \Rightarrow V_b = \frac{3 \cdot (18 + 2)}{2} \Rightarrow V_b = 30V$$

substituindo $V_o = -18V$ e $V_a = 2V$:

$$V_b = \frac{3 \cdot (V_o + V_a)}{2} \Rightarrow V_b = \frac{3 \cdot ((-18) + 2)}{2} \Rightarrow V_b = -24V$$

$$-24V \leq V_b \leq 30V$$