

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

**TEMA 1: Repaso de la Teoría de redes lineales**

1.-  $V_{8\Omega} = 28.8 \text{ V}$

2.-  $R = 43.2 \Omega$

3.-  $R_3 = 72 \Omega$

4.-  $R = 390 \Omega$

5.-  $I_1 = 9 \text{ A}; I_2 = 1.5 \text{ A}; V_o = 67.5 \text{ V}$

6.-  $I_{R_1} = 3.37 \text{ A}; I_{R_2} = 1.63 \text{ A}; I_{R_3} = 0.37 \text{ A}$

7.-  $E = 593.5 \text{ V}$

8.- a)  $V_{Th} = -25 \text{ V}; R_{eq} = 60 \times 10^3 \Omega$

b)  $I = -3.57 \times 10^{-4} \text{ A}$

9.-  $R_{eq} = 0.33 \Omega; V_{Th} = 10 \text{ V}; e = -7.5 \text{ V}$

10.-  $V_{Th} = 30 \text{ V}; R_{eq} = 6 \Omega; I_N = 5 \text{ A}$

11.-  $R_{eq} = 5/6 \Omega; V_{Th} = 1 \text{ V}; I_N = 1.2 \text{ A}$

12.-  $R = 1.6 \Omega; P = 5280 \text{ W}$

13.-  $R_{eq} = 40 \text{ m}\Omega; V_{Th} = 12.8 \text{ V}; I_N = 320 \text{ A}$

14.-  $P_{F_1} = 8.96 \text{ W}; P_{F_2} = -1.12 \text{ W}$

15.-  $e_c(t) = \frac{1}{\sqrt{5}} \cos(100t - 0.464 \text{ rad}) \text{ V}$

16.-  $R = 2.88 \Omega; C = 2.38 \times 10^{-4} \text{ F}$

17.-  $v_{Th}(t) = \frac{3}{\sqrt{10}} \cos(10t + 0.3217 \text{ rad}) \text{ V}; Z_{eq} = (0.6 + 0.2j) \Omega;$

$i(t) = \frac{3}{2\sqrt{2}} \cos(10t - 0.1419 \text{ rad}) \text{ A}$

18.-  $Z = (5.76 + 1.68j) \Omega$

19.-  $v_r(t) = 12 \cos(3t + 7.38^\circ) + 3 \cos 2t \text{ V}$

20.-  $i_a(t) = 7 \cos(10^5 t + \pi) \text{ A}; i_b(t) = 17.5 \cos(10^5 t) \text{ A}; v_c(t) = 35 \cos\left(10^5 t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ V}$

21.-  $v_{AB}(t) = \frac{R_2 V_1}{R_1 + R_2} + \frac{V_2 \omega C R_{eq}}{\sqrt{1 + (\omega C R_{eq})^2}} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\omega C R_{eq})\right)$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

- 22.- a)  $\omega = 9600 \text{ rad/s}$   
b)  $V_o = 25 \text{ V}$

**TEMA 2: Introducción a los circuitos selectivos en frecuencia**

1.- a)  $A_V = \frac{1}{1+j\omega RC}$

b)  $A_V = \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC}$

c)  $A_V = \frac{j\omega \frac{L}{R}}{1+j\omega \frac{L}{R}}$

d)  $A_V = \frac{1}{1+j\omega \frac{L}{R}}$

2.- a)  $A_v = 4 \cdot 10^{-3} \frac{j\omega}{1+j5 \cdot 10^{-3} \omega}$

b) Paso alto

c)  $\omega = 51.6 \text{ rad/s}$

3.- a)  $A_v = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{1+j\omega \frac{CR_1 R_2}{R_1 + R_2}}$

b)  $\omega_c = (R_1 + R_2)/(CR_1 R_2)$

4.- a)  $A_v = \frac{1}{1-\omega^2 LC + j\omega L/R}$

b)  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

5.- a)  $|A_v| = \frac{1}{\sqrt{1+R^2\left(2\pi C f - \frac{1}{2\pi L f}\right)^2}}$

b)  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

c)  $|A_v^{max}| = 1$

d)  $f_c = \pm \frac{1}{4\pi RC} + \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{(2RC)^2} + \frac{1}{LC}}; \Delta f = \frac{1}{2\pi RC}$

6.- a)  $\frac{v_{AB}}{v_i} = \frac{1}{1+\frac{R_2}{j\omega L}} - \frac{1}{1+j\omega CR_1} \Rightarrow \begin{cases} \left| \frac{v_{AB}}{v_i} \right|_{\omega \rightarrow 0} = |-1| \\ \left| \frac{v_{AB}}{v_i} \right|_{\omega \rightarrow \infty} = |1| \end{cases}$

b)  $\frac{v_{AB}}{v_i}_{\omega \rightarrow 0} = -1; \frac{v_{AB}}{v_i}_{\omega \rightarrow \infty} = 1$

7.- a)  $\frac{v_a}{v_o} = \frac{1}{1+\frac{(R_1+j\omega L)(j\omega C-A)}{1+j\omega CR_2}} \Rightarrow \begin{cases} \frac{v_a}{v_o}_{\omega \rightarrow 0} = \frac{1}{1-R_1 A} \\ \frac{v_a}{v_o}_{\omega \rightarrow \infty} = 0 \end{cases}$

b)  $|v_a| = 2.00 \text{ V}; \varphi = 2.52 \text{ rad}$

8.- a)  $|A_v|_{\omega=0} = 0; |A_v|_{\omega \rightarrow \infty} = 1$

b)  $Z_i = \frac{1}{j\omega C} + \frac{j\omega LR}{R+j\omega L}$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

$$c) A_v = \frac{-\omega^2 LCR}{R(1-\omega^2 LC)+j\omega L}; |A_v| = \frac{\omega^2 LCR}{\sqrt{R^2(1-\omega^2 LC)^2 + \omega^2 L^2}}; \varphi = \pi - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R(1-\omega^2 LC)}$$

**9.- a)**  $|A_v|_{\omega \rightarrow 0} = 1; |A_v|_{\omega \rightarrow \infty} \rightarrow 0$

**b)**  $Z(j\omega) = j\omega L + \frac{R}{1+j\omega RC}$

**c)**  $A_v(j\omega) = \frac{1}{1-\omega^2 LC+j\omega \frac{L}{R}}; |A_v(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2 LC)^2 + (\omega \frac{L}{R})^2}}; \theta = \arctan\left(\frac{-\omega L}{R(1-\omega^2 LC)}\right)$

**10.- i) a)**  $A_v = \frac{R(1-\omega^2 LC)}{R(1-\omega^2 LC)+j\omega L} = \frac{R(1-\omega^2 LC)}{\sqrt{R^2(1-\omega^2 LC)^2 + \omega^2 L^2}} e^{-j \tan^{-1} \frac{\omega L}{R(1-\omega^2 LC)}}$

**b)**  $|A_v|_{\omega \rightarrow 0} = |A_v|_{\omega \rightarrow \infty} = 1$

**c)**  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

**ii) a)**  $A_v = \frac{1}{1+jR(\omega C - \frac{1}{\omega L})} = \frac{1}{\sqrt{1+R^2(\omega C - \frac{1}{\omega L})^2}} e^{-j \tan^{-1} R(\omega C - \frac{1}{\omega L})}$

**b)**  $|A_v|_{\omega \rightarrow 0} = |A_v|_{\omega \rightarrow \infty} = 0$

**c)**  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

**11.- a)**  $G \approx \omega RC \quad \left(\omega \ll \frac{1}{RC}\right); \quad G \approx \frac{1}{\omega RC} \quad \left(\omega \gg \frac{1}{RC}\right)$

**b)**  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

**c)**  $G_{max} = \frac{1}{3}$

**d)**  $\theta = \frac{\pi}{2}, \theta = 0$  y  $\theta = -\frac{\pi}{2}$ , respectivamente

**e)**  $v_o(t) = 0.3 \cos(100\pi t - 0.457 \text{ rad}) \text{ V}$

**12.- a)**  $Z_{eq} = \frac{R_2}{1+j\omega C_2 R_2}$

**b)**  $A_v = \frac{j\omega C_1 R_1 A}{(1+j\omega C_1 R_1)(1+j\omega C_2 R_2)}$

**c)**  $|A_v| = \frac{\omega C_1 R_1 A}{\sqrt{1+(\omega C_1 R_1)^2} \sqrt{1+(\omega C_2 R_2)^2}}; \text{ Paso de banda}$

**13.- a)**  $|A_v| = \frac{1}{2+\alpha} \sqrt{\frac{\alpha^2 + (\omega CR)^2 (2+\alpha)^2}{1+(\omega CR)^2}}; \theta = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega CR(2+\alpha)}{\alpha}\right) - \tan^{-1}(\omega CR)$

**b)**  $|A_v|_{\omega \rightarrow 0} = \frac{\alpha}{2+\alpha}; |A_v|_{\omega \rightarrow \infty} = 1. \text{ Paso alto}$

### **TEMA 3: Amplificadores operacionales**

**1.- Solución:**

$$v_o = \frac{11}{5} v_1 + \frac{44}{5} v_2$$

**2.- Solución:**

**a)**  $A_v = \frac{j\omega C_1 R_2}{(1-\omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2) + j\omega(C_1 R_1 + C_2 R_2)}$

**b)**  $\omega \ll \frac{1}{CR}$

**c)**  $C_1 = 0 \Rightarrow A_v = 0; C_2 = 0 \Rightarrow A_v = \frac{-j\omega C_1 R_2}{1+j\omega C_1 R_1} \text{ paso alto}$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

$$C_1 = \infty \Rightarrow A_v = \frac{-R_2}{R_1(1 + j\omega C_2 R_2)} \text{ paso bajo}$$

$$C_2 = \infty \Rightarrow A_v = 0$$

3.- Solución: Señal cuadrada de amplitud 3V y misma frecuencia que  $v_i$

4.- Solución:  $V_0 = -60 \text{ V}$

5.- Solución:

- a)  $v_2 = 207 \text{ mV}$
- b)  $i_L = 125 \mu\text{A}$
- c)  $i_o = 127.3 \mu\text{A}$

6.- Solución:

- a)  $V_2 = -V_i$
- b)  $V_0 = -12 \text{ V}$

7.- Solución:

$$v_0 = -11.5 \text{ V}$$

8.- Solución:

- a)  $A_v = 2 + j2\pi fCR$ ;  $|A_v| = \sqrt{4 + ((2\pi fCR)^2)}$
- b)  $|A_v|_{f \rightarrow 0} = 2$ ;  $|A_v|_{f \rightarrow \infty} = \infty$

9.- Solución:

- a)  $A_v = \frac{(R_1 + R_2)^2 + R_1 R_2}{R_1^2}$
- b)  $\frac{V_o}{V_i} = 131$

10.- Solución:

- a)  $|A_v| = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_3 C_2)^2} \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega R_3 C_1)^2}}}$   
 $\phi = -\arctan(\omega R_3 C_2) + \arctan\left(\frac{1}{\omega R_3 C_1}\right)$
- b)  $C_1 = 0.796 \mu\text{F}$   
 $C_2 = 0.796 \text{ nF}$

11.- Solución:

- a)  $V_o = 5 \text{ V}$
- b)  $I_o = 2 \text{ mA}$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

**12.- Solución:**

$$a) A_v = \frac{-R_2(1+j2\pi fCR_3)}{R_1(1+j2\pi fC(R_2+R_3))}$$

$$b) f_c = 341,18 \text{ Hz}$$

$$c) |A_v| = \frac{R_2}{R_1} \frac{\sqrt{1+(2\pi fCR_3)^2}}{\sqrt{1+(2\pi fC(R_2+R_3))^2}}; |A_v|_{f \rightarrow 0} = \frac{R_2}{R_1}; |A_v|_{f \rightarrow \infty} = \frac{R_2}{R_1} \frac{R_3}{R_2+R_3}$$

**13.- Solución:**

$$a) v_0 = -\frac{R_A + R_B}{R_1} v_i$$

$$v_{0i} = -\frac{R_A}{R_1} v_i$$

$$b) v_0 = -\frac{R_2}{R_C} v_C - \left[ \frac{R_2}{R_B} + \frac{R_1}{R_B} \left( 1 + \frac{R_2}{R_C} \right) \right] v_B + \left[ \frac{R_2}{R_B} + \left( 1 + \frac{R_1}{R_B} \right) \left( 1 + \frac{R_2}{R_C} \right) \right] \frac{R_3}{R_A + R_3} v_A$$

**14.- Solución:**

$$a) A_v = \frac{-C_1(1+jwR_2C_2)}{C_2(1+jwR_1C_1)}$$

$$b) |A_v| = \frac{C_1 \sqrt{1+(wR_2C_2)^2}}{C_2 \sqrt{1+(wR_1C_1)^2}}; \Phi = \pi + \arctg(wR_2C_2) - \arctg(wR_1C_1)$$

$$c) |A_v|_{f \rightarrow 0} = \frac{C_1}{C_2}; |A_v|_{f \rightarrow \infty} = \frac{R_2}{R_1}$$

**15.- Solución:**

$$a) \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2R_3+R_2R_4+R_3R_4}{R_1R_4}$$

**16.- Solución:**

$$I_R = -\frac{V_i}{R_2}$$

**17.- Solución:**

$$V_o = \frac{R_4}{R_3} \left( 1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) (V_{i2} - V_{i1})$$

**18.- Solución:**

$$a) I_{2k} = 5 \text{ mA}; I_{4k7} = 1 \text{ mA}$$

$$b) V_{o1} = 17.4 \text{ V}; V_{o2} = 16.0 \text{ V}$$

$$c) P_R = 81.26 \text{ mW} = P_{o1} + P_{o2}$$

$$d) V_{o2} = 1.75 V_i$$

$$e) P = 0.85 \text{ mW}$$

#### **TEMA 4: Diodos**

**1.- Solución:**

$$a) (0.62 \text{ V}, 4.4 \text{ mA}) \quad b) P \cong 2.73 \text{ mW} \quad c) 2.2 \text{ mA} (2k\Omega), 0.9 \text{ mA} (5k\Omega)$$

**2.- Solución:**

$$V_L = \frac{1}{102} v_i, \quad v_i > -0.612 \text{ V}$$

$$V_L = \frac{1}{2} (v_i + 0.6 \text{ V}), \quad v_i < -0.612 \text{ V}$$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

**3.- Solución:**

$$\begin{aligned} a) v_o = 0, \quad v_i < 1.2 V \quad v_o = \frac{1}{3}(v_i - 1.2 V), \quad v_i > 1.2 V \\ b) v_o = 0, -5 V < v_i < 0.6 V; v_o = v_i - 0.6 V, \quad v_i > 0.6 V; v_o = \frac{2}{3}(v_i + 5 V), \\ v_i < -5 V \end{aligned}$$

**4.- Solución:**

$$\begin{aligned} v_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i; -\frac{R_1 + R_2}{R_2} V_Y < v_i < \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_Z \\ v_o = -V_Y; v_i < -\frac{R_1 + R_2}{R_2} V_Y \\ v_o = V_Z; v_i > \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_Z \end{aligned}$$

**5.- Solución:**

$$a) v_o = 5 V. \quad b) v_o = 1.085 V. \quad c) v_o = 1.085 V. \quad d) v_o = 0.88 V$$

Función lógica: AND

**6.- Solución:**

$$\begin{aligned} v_o = \frac{v_i + 1.8 V}{6}; v_i < -1.8 V \\ v_o = 0; -1.8 V < v_i < 1.8 V \\ v_o = \frac{v_i - 1.8 V}{6}; v_i > 1.8 V \end{aligned}$$

**7.- Solución:**

$$\begin{aligned} v_o = \frac{2v_i - 10.6 V}{3}; v_i < -10.6 V \\ v_o = v_i; -10.6 V < v_i < 12.6 V \\ v_o = \frac{2v_i + 12.6 V}{3}; v_i > 12.6 V \end{aligned}$$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

**8.- Solución:**

$$v_o = -1.2 \text{ V}; v_i < -1.2 \text{ V}$$

$$v_o = v_i; -1.2 \text{ V} < v_i < 6 \text{ V}$$

$$v_o = \frac{v_i}{2} + 3 \text{ V}; v_i > 6 \text{ V}$$

**9.- Solución:**

$$v_o = -0.6 \text{ V}; v_i < -1.8 \text{ V}$$

$$v_o = \frac{1}{3} v_i; -1.8 \text{ V} < v_i < 1.8 \text{ V}$$

$$v_o = \frac{v_i - 0.6 \text{ V}}{2}; 1.8 \text{ V} < v_i < 10.6 \text{ V}$$

$$v_o = 5 \text{ V}; v_i > 10.6 \text{ V}$$

**10.- Solución:**

$$v_o = -V_Z - V_\gamma; v_i < -\frac{R_1 + R_2}{R_2} V_Z - \frac{R_1 + 2R_2}{R_2} V_\gamma$$

$$v_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (v_i + V_\gamma); -\frac{R_1 + R_2}{R_2} V_Z - \frac{R_1 + 2R_2}{R_2} V_\gamma < v_i < -V_\gamma$$

$$v_o = 0; -V_\gamma < v_i < V_Z$$

$$v_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (v_i - V_Z); v_i > V_Z$$

**11.- Solución:**

$$a) v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i; v_i < 0$$

$$v_o = v_i; 0 < v_i < V_Z$$

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i - \frac{R_2}{R_1} V_Z; v_i > V_Z$$

**12.- Solución:**

$$a) v_o = -\frac{R_F}{R_A} v_i = -10 v_i; v_o(t) = 10 \text{ V} \cos(\omega t)$$

**SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
 Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

$$b) v_o = V_\gamma + V_Z = 5.7 \text{ V}; v_i < -\frac{R_F}{R_A}(V_\gamma + V_Z) = -0.57 \text{ V}$$

$$v_o = -\frac{R_F}{R_A}v_i = -10v_i; -0.57 \text{ V} < v_i < 0.57 \text{ V}$$

$$v_o = -V_\gamma - V_Z = -5.7 \text{ V}; v_i > \frac{R_F}{R_A}(V_\gamma + V_Z) = 0.57 \text{ V}$$

**TEMA 5: El transistor bipolar**

**1.-a)**  $I_B = 30 \mu\text{A}$ ;  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ;  $I_C = 3 \text{ mA}$ ;  $V_{CE} = 2 \text{ V}$

**b)**  $R_C = 1600 \Omega$

**c)**  $R_B = 6250 \Omega$

**2.-a)**  $V_{CE} = 4.42 \text{ V}$ ;  $I_C = 2.05 \text{ mA}$

**b)**  $V_{CE} = 3.025 \text{ V}$ ;  $I_C = 2.57 \text{ mA}$

**c)**  $R_C = 6250 \Omega$ ;  $R_F = 9 \text{ K}\Omega$

**3.-a)**  $I_B = 14.7 \mu\text{A}$ ;  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ;  $I_C = 1.47 \text{ mA}$ ;  $V_{CE} = 7.48 \text{ V}$

**b)**  $I_B = 12.8 \mu\text{A}$ ;  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ;  $I_C = 1.28 \text{ mA}$ ;  $V_{CE} = 4.73 \text{ V}$

**c)**  $R_1 = 9.42 \text{ K}\Omega$ ;  $R_2 = 3.19 \text{ K}\Omega$ ;  $R_E = 1.47 \text{ K}\Omega$

**4.-**  $R_1 = 86.5 \text{ K}\Omega$ ;  $R_C = 2.8 \text{ K}\Omega$

**5.-** T1:  $I_B = 8.5 \mu\text{A}$ ;  $I_C = 0.85 \text{ mA}$ ;  $V_{CE} = 0.74 \text{ V}$

T2:  $I_B = 0.86 \text{ mA}$ ;  $I_C = 49 \text{ mA}$ ;  $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$

**6.-**  $I_{B1} = 1.48 \text{ mA}$

**7.-a)**  $V_{BB} = 2.45 \text{ V}$

**b)**  $R_2 = 689 \Omega$

$$8.- V_o = \begin{cases} 5 \text{ V} & \text{si } v_i < 0.7 \text{ V} \\ 8.5 - 5v_i & \text{si } 0.7 \text{ V} < v_i < 1.66 \text{ V} \\ 0.2 \text{ V} & \text{si } v_i > 1.66 \text{ V} \end{cases}$$

$$9.- v_E = \begin{cases} 0 & \text{si } V_{CC} \leq V_{BE,\gamma} \text{ (Corte)} \\ R_E(1 + \beta) \frac{V_{CC} - V_{BE,\gamma}}{R_B + (1 + \beta)R_E} & \text{si } V_{CC} \geq V_{BE,\gamma} \text{ (Activa)} \end{cases}$$

**10.-**  $I_C = \beta \frac{v_i - V_{BE,\gamma}}{R}$ ;  $R_L < 344 \Omega$

**11.-a)**  $v_{\text{out}} = 5 \text{ V}$

**b)**  $I_E = 1 \text{ mA}$ ;  $I_B = 9.9 \mu\text{A}$ ;  $I_C = 0.99 \text{ mA}$

**12.-a)**  $v_i = 1.2 \text{ V}$

**b)**  $I_o = 0.54 \text{ mA}$  (sale)



## SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

Grado en Ingeniería Informática y Doble grado en Informática y Matemáticas

$$13.-i_{LED} = \begin{cases} 0 & \text{si } v_i \leq V_{BE,\gamma} + V_\gamma \\ \frac{(1+\beta)(v_i - V_{BE,\gamma} - V_\gamma)}{R_B + (1+\beta)R_E} & \text{si } V_{BE,\gamma} + V_\gamma \leq (V_{CC} - V_{CE,sat} - V_\gamma) \left(1 + \frac{R_B}{(1+\beta)R_E}\right) + V_{BE,\gamma} + V_\gamma \end{cases}$$

$$14.-a) V_o^{min} = V_Z$$

$$b) V_{Th} = \frac{R_Z}{R_o + R_p + R_Z} V_o + \frac{R_o + R_p}{R_o + R_p + R_Z} V_Z - V_{BE,act}; R_{Th} = \frac{R_Z}{R_o + R_p + R_Z} \left( R_o + \frac{R_p}{h_{FE} + 1} \right)$$

$$c) S_V = \frac{R_Z}{R_o + R_p + R_Z}$$