

Pregunta 3

Por casualidades de la vida, un amigo suyo necesita ayuda para determinar las características del amplificador diferencial de la Figura 2. Su amigo le comenta en primer lugar, que los transistores Q_3 y Q_4 de la fuente de corriente Widlar se encuentran pareados y poseen los siguientes parámetros: $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7$ [V], $r_0 = 35$ [$M\Omega$]. Por otro lado, los transistores Q_1 y Q_2 (también pareados) forman un circuito AD y tienen los siguientes parámetros: $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7$ [V], $r_0 = \infty$.

Además, su amigo le cuenta que utilizó un multímetro para medir las resistencias del AD, donde obtuvo que $R_1 = R_2 = 21.8$ [$k\Omega$]. Finalmente, él le pide que realice las siguientes tareas: (**Importante:** $V_T = 26$ [mV])

- [1,5 pts] Obtener el valor de R_E e I_0 , considerando que $R_E \cdot I_0 = 60$ [mV].
- [1 pt] Calcular la resistencia r_n que experimenta el circuito AD y las corrientes de los transistores Q_1 y Q_2 .
- [2.5 pts] Determinar las ganancias *Single-ended*, las ganancias diferenciales y el $CMRR$ (en [dB]). Interprete el valor de $CMRR_{se}$ en el contexto de amplificación.
- [1 pt] Su amigo se percató que la razón de rechazo común es insuficiente para el amplificador. Por lo que le pide calcular la corriente de polarización tal que $CMRR_{se}$ sea 160 [dB]. Comente sobre que posibles impactos habría en el circuito al cambiar dicha corriente.

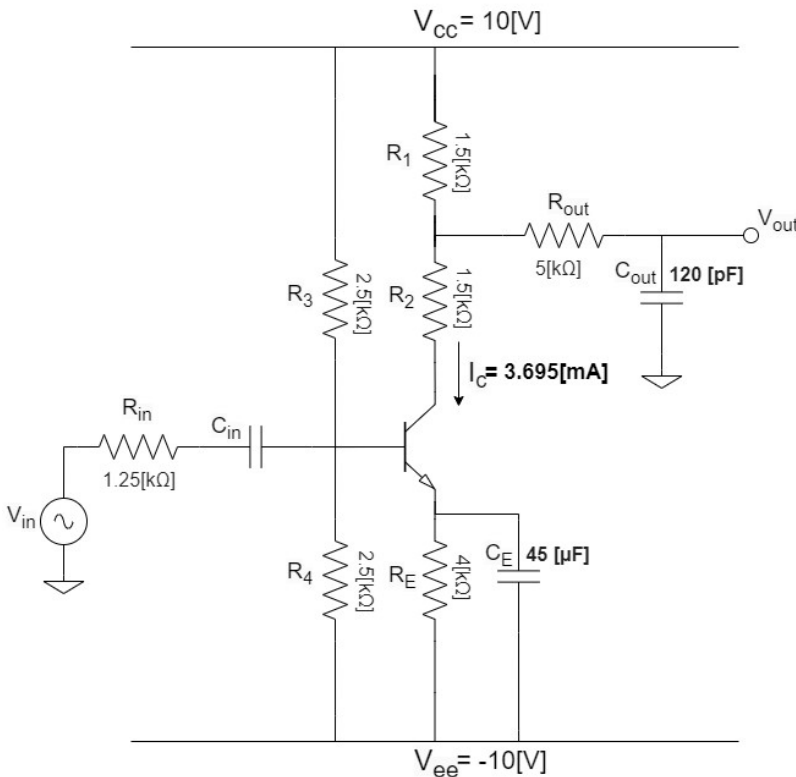


Figura 1

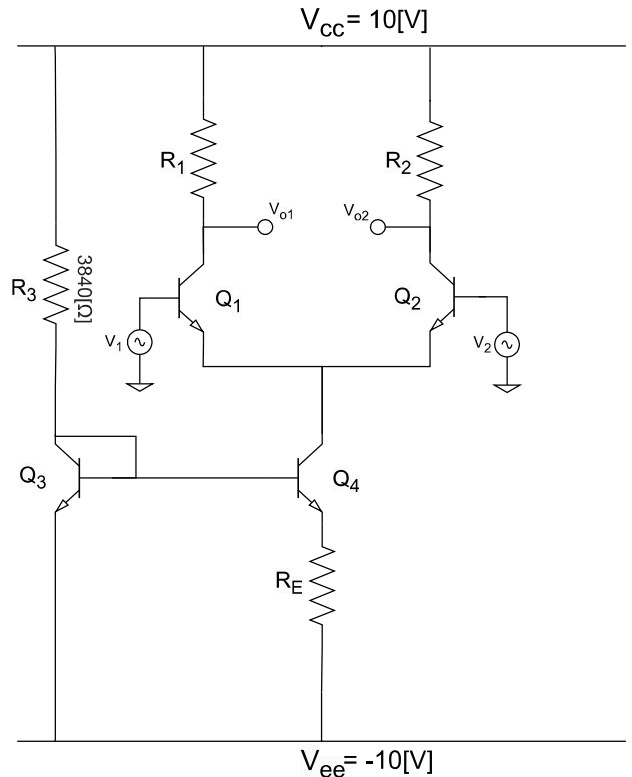
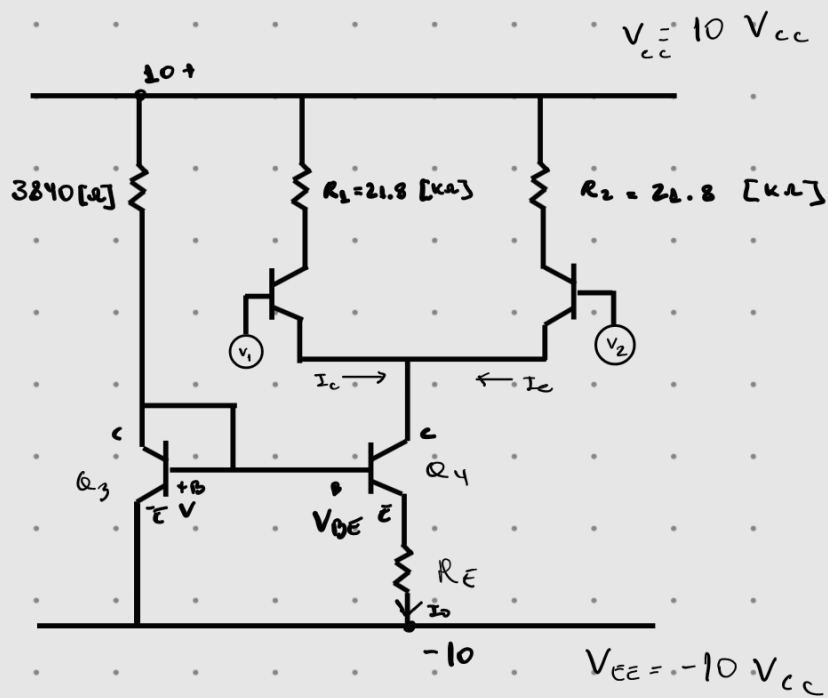
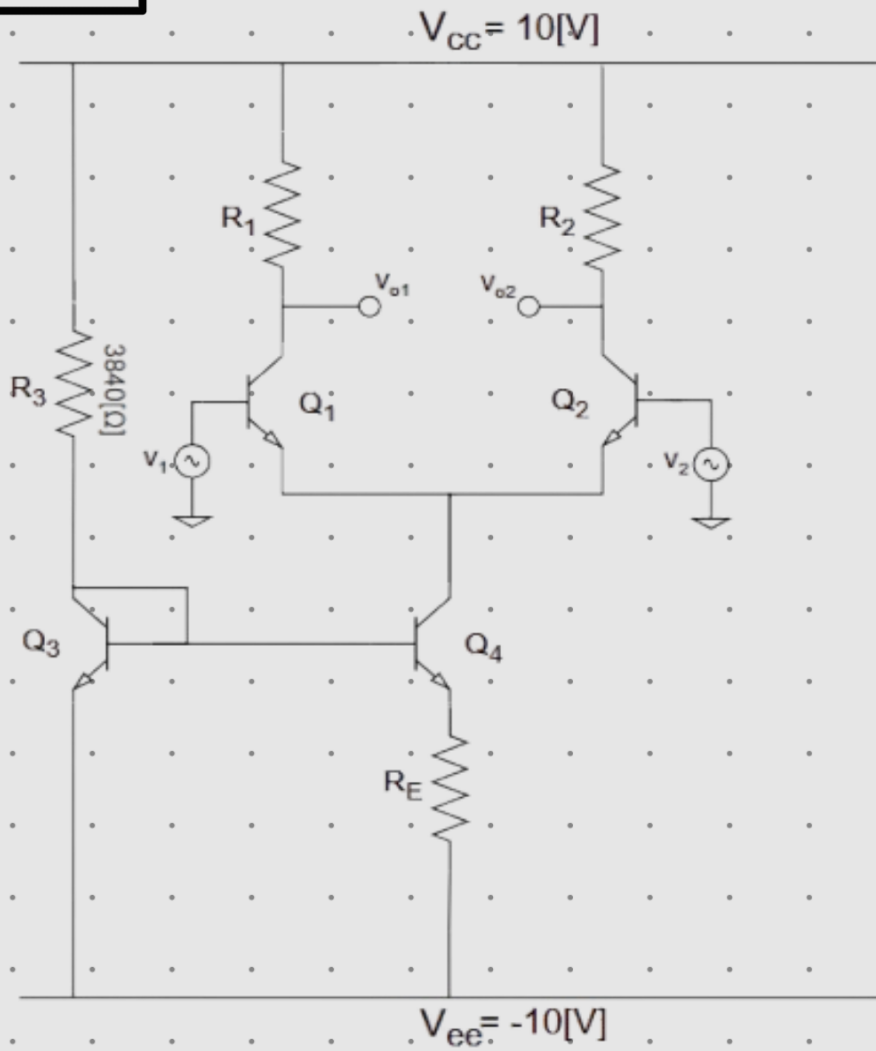


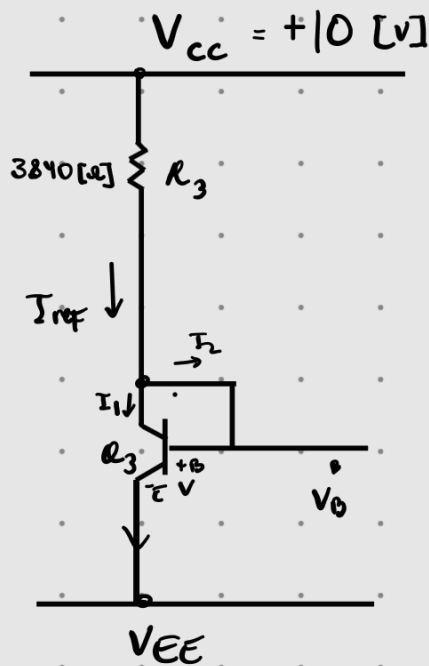
Figura 2

P.3

Part A Control 3 P3



a) Sabiendo que : $I_0 = \frac{60 \cdot 10^{-3} [V]}{R_E} \quad (1)$ /



$$I_{ref} = \frac{V_{cc} - V_{BE} - V_{EE}}{R_3}$$

$$I_{ref} = \frac{V_{cc} - V_{BE} - V_{EE}}{3840 [Ω]}$$

$$I_{ref} = \frac{10 - 0,7 + 10}{3840 [Ω]}$$

$$I_{ref} = 5,026 \cdot 10^{-3} [A]$$

y por Widlar :

$$I_{ref} = I_0 \cdot e^{\left(\frac{I_0 R_E}{\eta V_T} \right)}$$

Se despeja R_E y reemplazamos valores :

$$(5,026 \cdot 10^{-3} [A]) = \frac{60 \cdot 10^{-3} [V]}{R_E} \cdot e^{\left(\frac{60 \text{ mV}}{1 \cdot 26 [mV]} \right)}$$

$$R_E = \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot 10,0512}{5,026 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R_E = 120 [Ω]$$

y con (1) se puede obtener I_0 , obteniendo
Así,

$$R_E = 120 [Ω] \quad (0,75p)$$

$$I_0 = 0,5 \text{ mA} \quad (0,75p)$$

b) Amplificador diferencial:

$$r_m \approx r_o [1 + \ln(I_{REF}/I_0)]$$

$$r_m = 35 \cdot 10^6 \cdot \left[1 + \ln\left(\frac{5,016 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}}\right) \right]$$

$$r_m = 1,16 \cdot 10^8 [\Omega]$$

(0,5 pbs)

$$I_0 = I_{E1} + I_{E2}$$

$$I_0 \approx I_E \cdot 2$$

$$I_E \approx \frac{I_0}{2} \rightarrow (I_E = 0,25 [\text{mA}])$$

$$I_b = \frac{I_0}{2\beta}$$

(0,5 p)

$$I_C = I_E = 0,25 [\text{mA}] ; I_0 = 0,5 \text{ mA}$$

$$\beta = 100$$

c)

$$A_{CM-se} = \frac{-g_m R_c}{1 + 2g_m r_m} ; \frac{g_m R_c}{2}$$

$$A_{DM-se} = \frac{-g_m R_c}{2} ;$$

(a₁)

(a₂)

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_m = 1,16 \cdot 10^8 [\Omega]$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta V_T}{I_C}$$

$$V_T = 26 \cdot 10^{-3} [V]$$

resultados:

$$A_{DM-se} = \frac{-g_m R_c}{2} = -104,858$$

a₁ (+)
a₂ (-)

$$A_{CM-se} = \frac{-g_m R_c}{1 + 2g_m r_m} = 9,39 \cdot 10^{-5}$$

$$A_{DM-diff} = -g_m R_c = -209,716$$

(a₁ → a₂)

$$A_{CM-diff} = 0$$

desarrollo :

$$A_{cm-se1} = \frac{-g_m R_c}{1 + 2g_m r_m} \approx \frac{R_c}{2 \cdot r_m}$$
$$= \frac{(9,62 \cdot 10^{-3}) \cdot (21,8 \cdot 10^3 \Omega)}{1 + 2 \cdot (9,62 \cdot 10^{-3} \cdot 1,16 \cdot 10^8)}$$
$$= 9,39 \cdot 10^{-5}$$

obteniendo,

$$A_{cm-se1} = 9,39 \cdot 10^{-5}$$

$$^0 A_{cm-se1} = 9,41503 \cdot 10^{-5} \text{ (Aprox)}$$

$$A_{dm-se1} = \frac{(-9,62 \cdot 10^{-3}) \cdot (21,8 \cdot 10^3)}{2} = -104,858$$

Así $A_{dm-diff} = -g_m R_c = -209,716$

$$A_{cm-diff} = A_{cm-se1} \cdot A_{cm-se2} = 0$$

• CMRR (Common Mode Rejection Ratio) :

$$CMRR_{se} = \frac{|A_{dm-se1}|}{|A_{cm-se1}|} = \frac{104,858}{9,41503 \cdot 10^{-5}} = 1113729,526 / \log(1)$$
$$= 120,93 \text{ [dB]}$$

$$\circ \left(\frac{104,858}{9,39 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow CMRR_{se} = 120,959 \right)$$

obtenemos g_m :

$$I_c = 2I_o$$

$$\Rightarrow I_c = 0,25 \text{ [A]}$$

$A_{u'}$,

$$g_m = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}}{26 \cdot 10^{-3}}$$

$$g_m = 9,62 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}}$$

d) $CMRR_{re} = 160 \text{ [dB]}:$

$$160 = 20 \log (CMRR)$$

$$CMRR = 10^8 = \frac{I_c r_m}{\eta V_T} = \frac{I_o r_m}{2\eta V_T}$$

$$\Rightarrow I_o = \frac{2 \cdot 10^8 \cdot V_T}{r_m} = \frac{2 \cdot 10^8 \cdot 26 \cdot 10^{-3}}{1,16 \cdot 10^8}$$

$$I_o = 0,0448 \text{ [A]} \\ = 44,8 \text{ mA}$$

$\Rightarrow$ muy alto, deterioro del dispositivo.

A_{se} : relación de señal de entrada diferencial aplicada a una entrada.

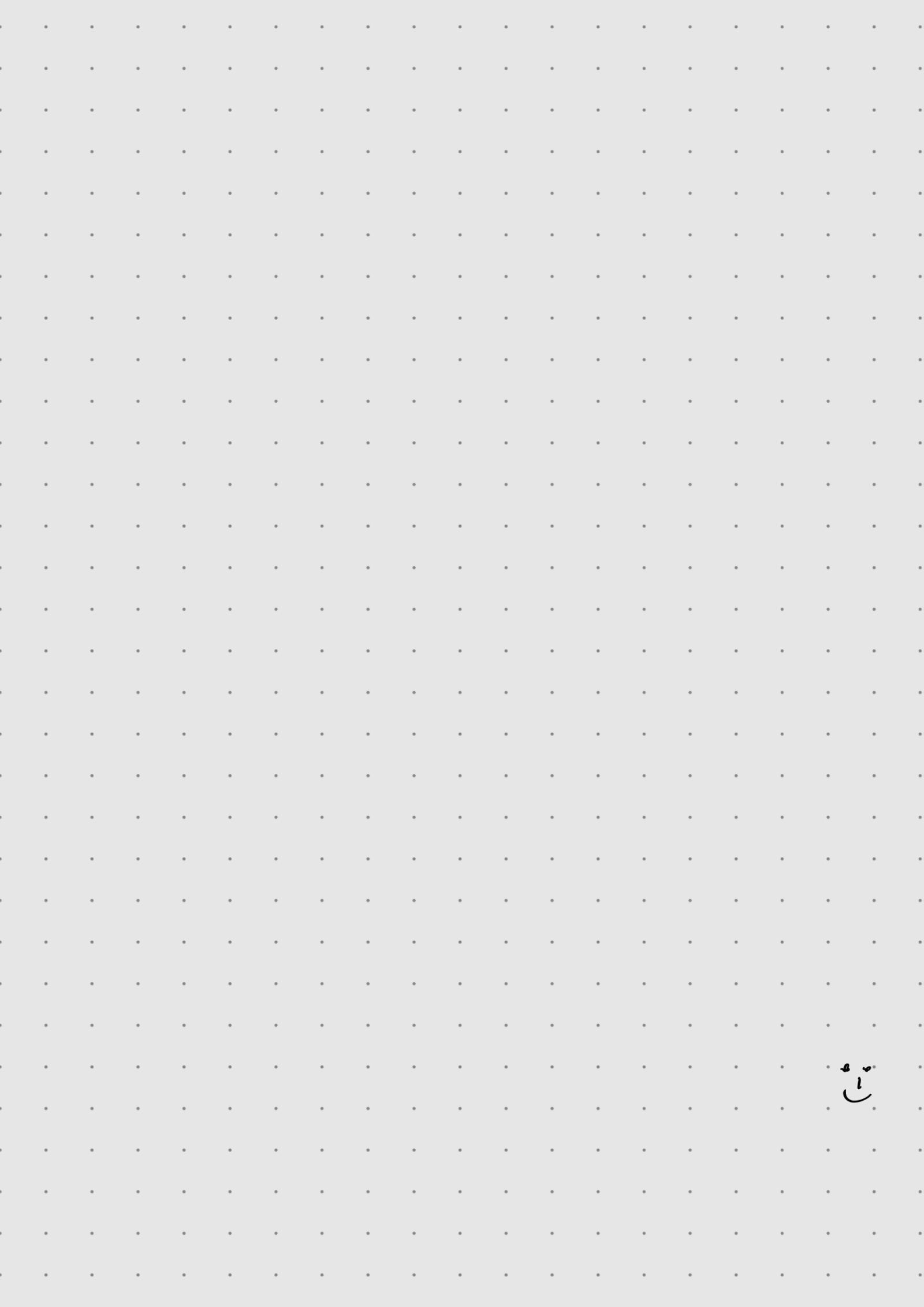
Distribución pte.

a) I_o (0,75) (1,5)
 R_e (0,75)

b) R_m (0,5) (1,0)
 I_n (0,5)

c) A_{in-se} (0,5)
 A_{in-re} (0,5)
 $A_{in-diff}$ (0,5) (2,5)
 $A_{cm-diff}$ (0,5)
 $CMRR$ (0,5)

d) 1 pto



1