

## 1 AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL DE DIFFERENCE (D.D.A.)

*L'amplificateur différentiel de différence est utilisé en instrumentation pour comparer deux différences de potentiel qui n'ont aucun point à la masse.*

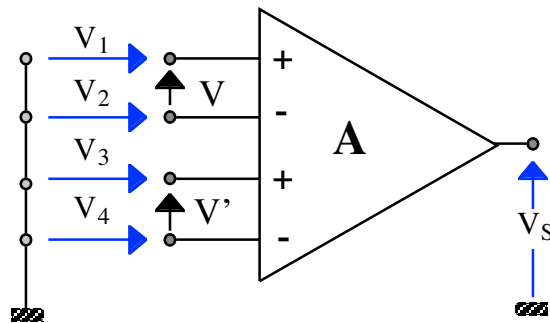


Figure 1 : Amplificateur différentiel de différence

La figure 1 représente le schéma synoptique d'un amplificateur de ce type, caractérisé par la relation :  $V_s = A (V - V')$  avec :  $V = (V_1 - V_2)$  et  $V' = (V_3 - V_4)$ , où  $V_1, V_2, V_3$  et  $V_4$  sont les tensions appliquées sur les quatre entrées par rapport à la masse.

### ANALYSE DU SCHEMA

*Le schéma du montage complet, qui utilise des transistors MOS canal N identiques et canal P identiques et complémentaires des précédents, est donné en figure 2.*

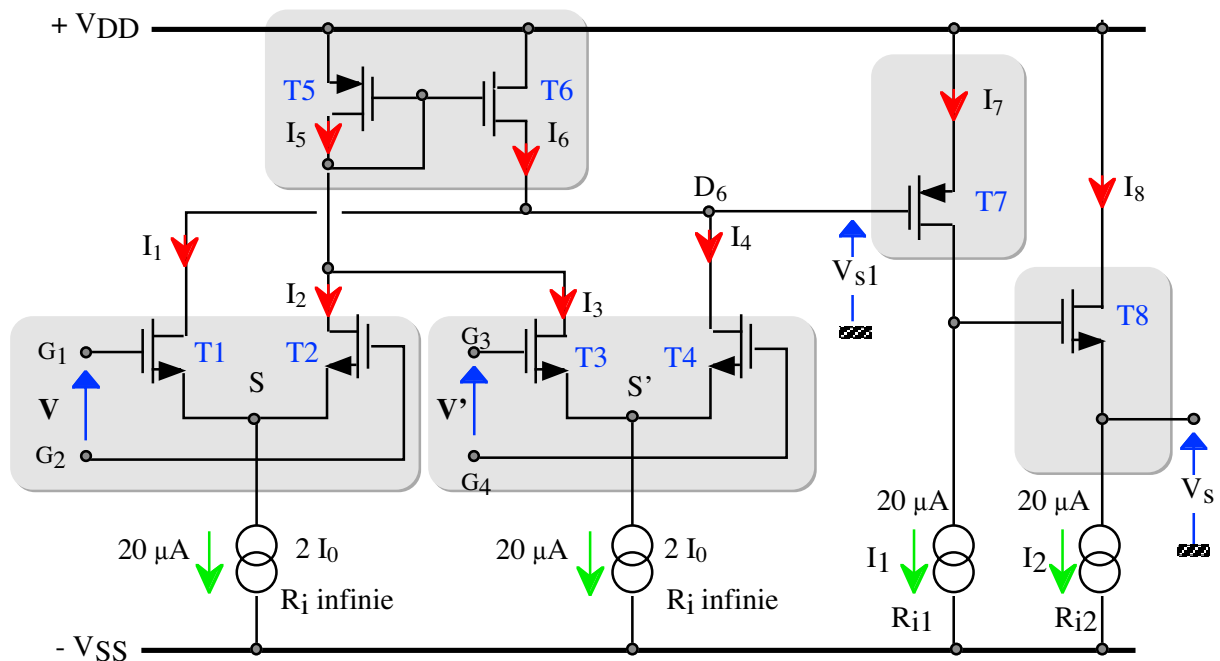


Figure 2 : Schéma du montage complet

On distingue quatre sous-ensembles :

- Les associations identiques,  $(T_1, T_2)$  d'une part et  $(T_3, T_4)$  d'autre part, forment des amplificateurs différentiels classiques, polarisés par des générateurs de courant idéaux  $(2I_0)$ , obtenus à l'aide de miroirs de courants non représentés sur ce schéma.
- Le miroir  $T_5 T_6$  où les courants des quatre transistors précédents se combinent par addition algébrique.
- Le transistor  $T_7$  constitue un étage amplificateur à charge active.
- $T_8$  forme l'étage de sortie du montage complet.

On rappelle l'expression du courant continu de drain du MOS canal N :

$$I_D = K(V_{GS} - V_{TN})^2(1 + \lambda V_{DS})$$

Les paramètres des MOS, identiques dans la même catégorie, sont donnés dans le tableau suivant :

	Tension de seuil	Coefficient K	Paramètre $\lambda$
MOS canal N	$V_{TN} = +1V$	$40 \mu A V^{-2}$	$10^{-2}$ ou $0 V^{-1}$ selon question
MOS canal P	$V_{TP} = -1V$	$40 \mu A V^{-2}$	$10^{-2}$ ou $0 V^{-1}$ selon question

Pour alléger l'écriture, on nomme  $\rho_i$  la résistance interne  $r_{dsi}$  d'un transistor  $T_i$  avec :  $\rho_i = \frac{1}{\lambda I_{Drepos}}$

### ETUDE DE LA PAIRE DIFFERENTIELLE ( $T_1 T_2$ )

Le schéma de la paire différentielle est rappelé en figure 3. On désire connaître les performances du montage aux grands signaux continus appliqués entre les grilles  $G_1$  et  $G_2$ .

A cet effet, on attaque la paire différentielle  $T_1 T_2$  avec une tension continue  $V$  positive telle que :  $V = V_1 - V_2$ . Si on appelle  $\Delta I$  l'augmentation du courant de drain de  $T_1$  vis-à-vis du courant de repos  $I_0$ , on peut écrire tant que le fonctionnement est linéaire et symétrique :

- $I_1 = I_0 + \Delta I$
- $I_2 = I_0 - \Delta I$

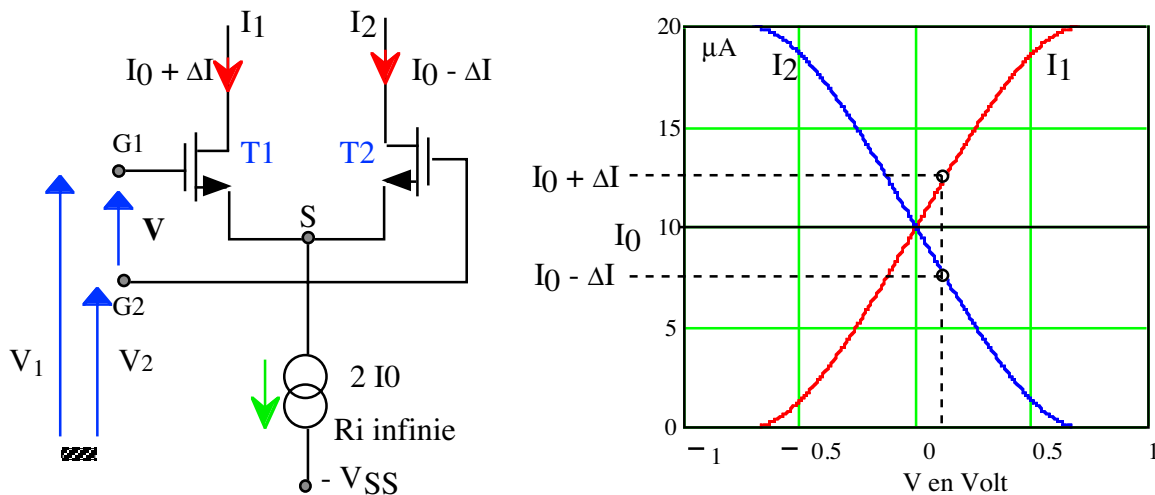


Figure 3 : Schéma de la paire différentielle

1. On se propose de déterminer l'expression de la variation de courant  $\Delta I$  en fonction de la tension  $V$  (avec  $\lambda V_{DS} \ll 1$ )
  - a. Rechercher d'abord l'expression de la tension  $V_{G1S}$  en fonction de  $I_1$ ,  $K$  et  $V_{TN}$ , puis  $V_{G2S}$  en fonction de  $I_2$ ,  $K$  et  $V_{TN}$ .
  - b. Ecrire l'expression de  $V$  en fonction de  $I_0$ ,  $\Delta I$  et  $K$ , puis résoudre l'équation pour en tirer  $\Delta I$  en fonction de  $V$ ,  $I_0$  et  $K$  (on sera amené à élever l'équation au carré deux fois successivement). L'expression de l'accroissement de courant de drain  $\Delta I$  en fonction de  $V$  sera mise sous la forme :  $\Delta I = G_{md} \sqrt{1 - aV^2}$ .
  - c. Etablir l'expression de la transconductance différentielle  $G_{md}$  et du coefficient  $a$ . Faire l'A.N.
2. On désire rester dans la zone linéaire c'est-à-dire que l'accroissement  $\Delta I$  reste proportionnel à  $V$  avec une erreur au plus égale à 1%. Calculer, dans ces conditions la valeur absolue  $V_{max}$  admissible à l'entrée, en utilisant l'approximation :  $\sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{x}{2}$ .

*On excite maintenant le montage par deux tensions sinusoïdales de même fréquence  $v_1$  et  $v_2$  telles que l'amplitude de leur différence  $v$  respecte la limite de linéarité précédemment définie. Il en est de même pour la tension  $v' = v_3 - v_4$ .*

3. Dessiner le schéma équivalent de la paire différentielle  $T_1$   $T_2$  aux petites variations et aux fréquences moyennes, la résistance interne  $\rho_1$  de  $T_1$  et  $\rho_2$  de  $T_2$  étant négligeable, de même que la résistance interne du générateur de courant ( $2 I_0$ ).
4. Calculer en fonction de la transconductance  $g_m$  des transistors  $T_1$  et  $T_2$ , la transconductance de la paire différentielle  $g_{md}$  définie par :  $g_{md} = \frac{i_1 - i_2}{v_1 - v_2} = \frac{i_1 - i_2}{v}$ . Faire l'application numérique et comparer  $g_{md}$  et  $G_{md}$ . En déduire pour la paire différentielle  $T_3$   $T_4$ , excitée dans les mêmes conditions que la paire  $T_1$   $T_2$ , la relation liant  $(i_3 - i_4)$  à la tension  $v'$ .

### ETUDE DU MONTAGE SOMMATEUR DE COURANT

*Les transistors  $T_5$  et  $T_6$ , identiques à canal  $P$  constituent un miroir de courant où  $I_6$  recopie  $I_5$ . Aux petites variations, on rappelle que le transistor  $T_5$  où  $G_5$  et  $D_5$  sont réunis est équivalent à un dipôle de résistance interne :  $r_5 = \frac{1}{gm_5}$ . D'autre part, la résistance d'entrée de l'étage  $T_7$  est infinie.*

5. Sans négliger la résistance interne  $\rho_6$  de  $T_6$ , dont le rôle est fondamental, dessiner le schéma équivalent aux petites variations de l'ensemble ( $T_1$   $T_2$ ) ( $T_3$   $T_4$ ) et  $T_5$   $T_6$ .
6. Calculer l'expression de la tension  $v_{s1}$  en fonction de :  $\rho_6$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  et  $i_4$ .
7. En déduire l'expression de  $v_{s1}$  en fonction de la différence  $(v - v')$ . Faire l'application numérique.

<b>ETUDE DE L'ETAGE AMPLIFICATEUR DE SORTIE</b>
---

*On rappelle que l'étage de sortie est formé par les montages à charge active  $T_7$  (canal P) et  $T_8$  (canal N) dont la résistance interne respective  $\rho_7$  et  $\rho_8$  n'est pas négligeable. Il en est de même de la résistance interne des générateurs de courant  $I_1$  et  $I_2$  ( $R_{i1} = R_{i2} = 5\text{ M}\Omega$ ).*

8. Dessiner le schéma équivalent de l'ensemble  $T_7$   $T_8$  aux petites variations et aux fréquences moyennes en tenant compte des résistances internes  $\rho_7$  et  $\rho_8$  des transistors.
9. Calculer l'expression du gain en tension  $\frac{v_s}{v_{s1}}$ . Faire l'application numérique. Calculer la valeur numérique du gain global :  $A = \frac{v_s}{v - v'}$  et l'exprimer en décibels.
10. Déterminer l'expression de la résistance de sortie  $R_s$  du montage complet sans oublier de justifier le schéma d'analyse correspondant. Faire l'application numérique.

## CORRECTION

Q1a : On rappelle l'expression du courant continu de drain du MOS canal N :

$$I_D = K(V_{GS} - V_{TN})^2(1 + \lambda V_{DS}). \text{ Ici on néglige le terme } \lambda \cdot V_{DS} \text{ devant } 1.$$

Pour le MOS T<sub>1</sub> :  $I_1 = K(V_{G1S} - V_{TN})^2 \rightarrow V_{G1S} - V_{TN} = \pm \sqrt{\frac{I_1}{K}}$

On prend la racine positive car on doit satisfaire à  $V_{GS} > V_{TN}$ .

$$V_{G1S} = V_{TN} + \sqrt{\frac{I_1}{K}}$$

Pour le MOS T<sub>2</sub>, on obtient de même :

$$V_{G2S} = V_{TN} + \sqrt{\frac{I_2}{K}}$$

Q1b : Exprimons la tension différentielle d'entrée :  $V = V_{G1S} - V_{G2S} = \sqrt{\frac{I_0 + \Delta I}{K}} - \sqrt{\frac{I_0 - \Delta I}{K}}$

$$KV^2 = I_0 - \sqrt{I_0^2 - \Delta I^2}.$$

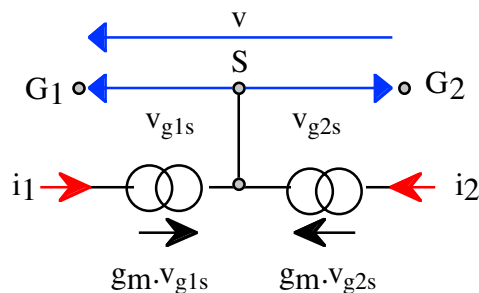
$$\Delta I = \sqrt{K I_0} \cdot V \cdot \sqrt{1 - \frac{K}{4I_0} \cdot V^2}$$

Q1c : Coefficient :  $a = \frac{K}{4I_0}$  et transconductance différentielle :  $G_{md} = \sqrt{K I_0}$ .

$$G_{md} = 20 \mu\text{S} \quad a = 1 \text{ V}^{-2}$$

Q2 :  $\sqrt{1 - a \cdot V^2} \approx 1 - a \frac{V^2}{2} \quad a \frac{V^2}{2} = \frac{1}{100} \quad V_{\max} = \pm 141 \text{ mV}$

Q3 : Schéma équivalent de la paire différentielle T<sub>1</sub> T<sub>2</sub> aux petites variations et aux fréquences moyennes.



Q4 : La transconductance  $g_m$  des MOS  $T_1$  et  $T_2$  est donnée par l'expression :

$$g_m = \left( \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right)_{V_{DScte}} = 2K(V_{GS} - V_{TN})(1 + \lambda V_{DS}) \text{ soit } g_m = \left( \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right)_{V_{DScte}} = 2K(V_{GS} - V_{TN}) \text{ pour } \lambda V_{DS} \ll 1.$$

Au point de fonctionnement, la tension  $V$  est nulle entraînant :  $I_1 = I_2 = I_0$ .

On peut alors exprimer la tension  $V_{GS} - V_{TN}$  selon :  $(V_{GS} - V_{TN}) = \sqrt{\frac{I_0}{K}}$ , conduisant à :

$$g_m = 2\sqrt{KI_0} = 40\mu S.$$

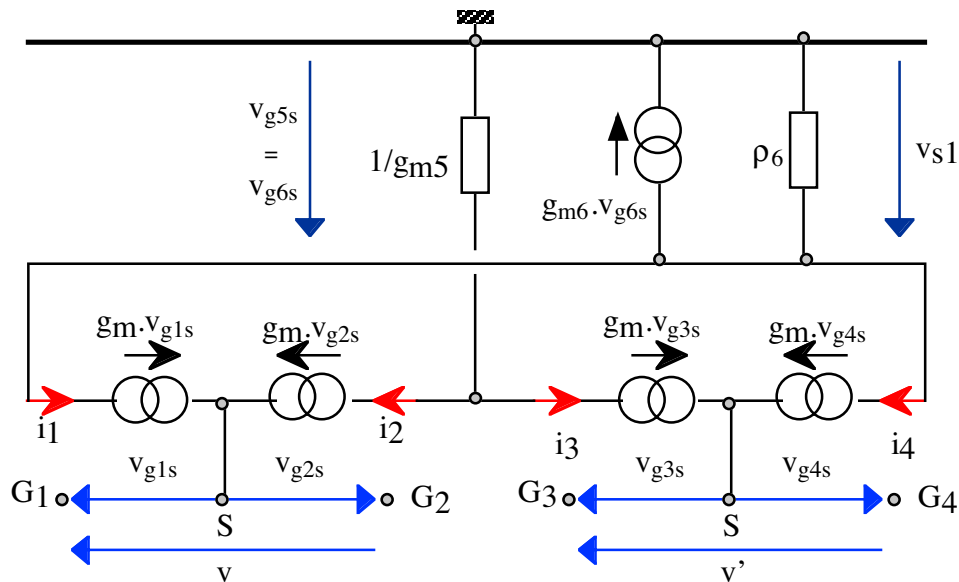
$$i_1 = g_m v_{g1s} \quad i_2 = g_m v_{g2s} \quad \boxed{i_1 - i_2 = g_m (v_{g1s} - v_{g2s}) = g_m v}$$

La transconductance de la paire différentielle :  $g_{md} = \frac{i_1 - i_2}{v}$  est selon le schéma aux variations égale

à la transconductance  $g_m$ . Dans ces conditions :  $g_m = \frac{G_{md}}{2}$ .

Pour la paire différentielle ( $T_3, T_4$ ) on a la relation :  $\boxed{i_3 - i_4 = g_m v'}$

Q5 : Schéma aux petites variations de l'ensemble ( $T_1 T_2$ ) ( $T_3 T_4$ ) et  $T_5 T_6$ .



Q6 : Expression de la tension  $v_{s1}$  :  $v_{s1} = \rho_6 (-i_1 - i_4 - g_{m6} \cdot v_{gs6})$

Expression de la tension  $v_{gs6}$  :  $v_{gs6} = -\frac{1}{g_{m5}} (i_2 + i_3)$

Les transistors MOS  $T_5$  et  $T_6$  forment un miroir de courant de telle sorte qu'au repos, les courants de drain  $I_5$  et  $I_6$  sont égaux.  $T_5$  et  $T_6$  ont donc la même transconductance :  $g_{m5} = g_{m6}$ . On en déduit :

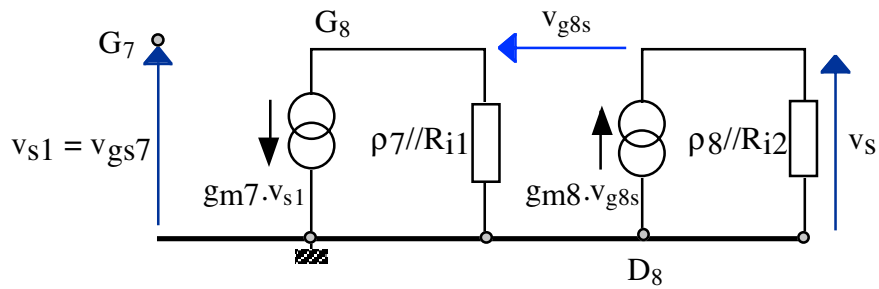
$$\boxed{v_{s1} = \rho_6 [(i_2 - i_1) + (i_3 - i_4)]}$$

Q7 :  $i_1 - i_2 = g_m \cdot v$        $i_3 - i_4 = -g_{md} \cdot v'$

$$\boxed{v_{s1} = \rho_6 \cdot g_{md} \cdot (v - v')}$$

A.N. Avec  $\rho_6 = 5M\Omega$ , on obtient :  $v_{s1} = -200 (v - v')$ .

Q8 : Schéma équivalent de l'ensemble T7 T8 aux petites variations et aux fréquences moyennes.



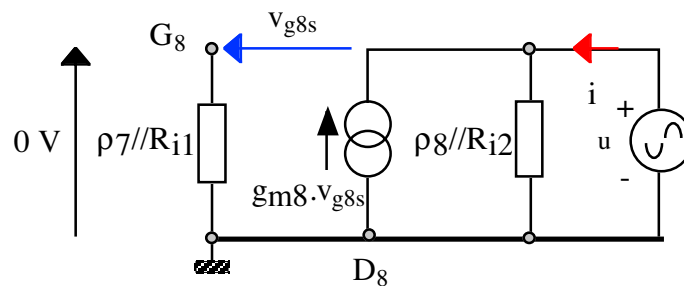
Q9 : Expression de la tension de sortie :  $v_s = g_{m8} \cdot v_{gs8} (\rho_8 // R_{i2})$

Avec :  $v_{gs8} = -g_{m7} \cdot v_{s1} (\rho_7 // R_{i1})$

$$\frac{v_s}{v_{s1}} = - \frac{g_{m7} (\rho_7 // R_{i1})}{1 + \frac{1}{g_{m8} (\rho_8 // R_{i2})}}$$

A.N.  $-140,8 \quad 20 \log \left| \frac{v_s}{v - v'} \right| = 89 \text{ dB}$

Q10 : On utilise la méthode de l'ohmmètre qui consiste à faire  $v = v' = 0 \text{ V}$ . Alors la tension  $v_{s1}$  est nulle ce qui entraîne  $g_{m7} v_{gs1}$  nulle aussi. On place ensuite à la sortie, un générateur  $u$  qui débite un courant  $i$ .



On remarque que :  $u = -v_{gs8}$  en effet la tension  $v_{G8M}$  est nulle .

$$R_s = \frac{u}{i} = \frac{1}{g_{m8}} // \rho_8 // R_{i2}$$

soit  $17,5 \text{ k}\Omega$ .