

I. — Étude d'un circuit à amplificateur opérationnel

Dans tout le problème, on suppose que la seule cause de fonctionnement en régime non-linéaire d'un amplificateur opérationnel est la saturation de sa tension de sortie : les tensions de saturation sont supposées opposées et notées V_{sat} et $-V_{sat}$.

On rappelle qu'un amplificateur opérationnel idéal est tel que les courants d'entrée i_+ et i_- sont toujours nuls et que dans la zone de linéarité $V_+ - V_- = 0$.

I.A. — Étude d'un dipôle

On considère le circuit de la figure 1 dans lequel l'amplificateur opérationnel est supposé idéal.

❑ 1 — Dans l'hypothèse d'un fonctionnement idéal de l'amplificateur opérationnel en régime linéaire, déterminer l'impédance d'entrée $Z_e = V_e/I_e$ du circuit de la figure 1. Tracer la partie de la caractéristique $V_e = f(I_e)$ en régime linéaire : on exprimera les limites du domaine de validité de V_e en fonction de V_{sat} , R_2 et R_3

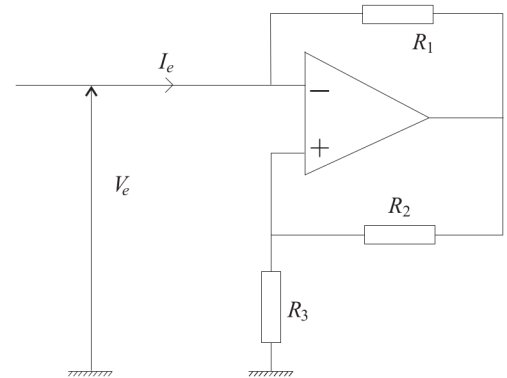


FIG. 1 – Montage à amplificateur

❑ 2 — Compléter la caractéristique $V_e = f(I_e)$ du circuit de la figure 1 dans les régions qui correspondent à un fonctionnement non-linéaire de l'amplificateur opérationnel : on donnera les expressions $V_e = f(I_e)$ correspondantes en justifiant précisément les domaines de V_e sur lesquels elles sont valides. On précisera les points remarquables.

I.B. — Visualisation expérimentale de la caractéristique du dipôle

On considère à présent le montage de la figure 2. Ce dernier est celui de la figure 1 auquel on a rajouté une résistance R_g et un générateur de fonction idéal qui délivre une tension $E(t)$.

Lorsque la tension du générateur est continue $E(t) = E_0 = \text{cste}$, le couple (V_e, I_e) prend la valeur (V_{e0}, I_{e0}) . Ce point de la caractéristique $V_e = f(I_e)$ est appelé *point de fonctionnement* du circuit.

L'amplificateur opérationnel est encore supposé idéal.

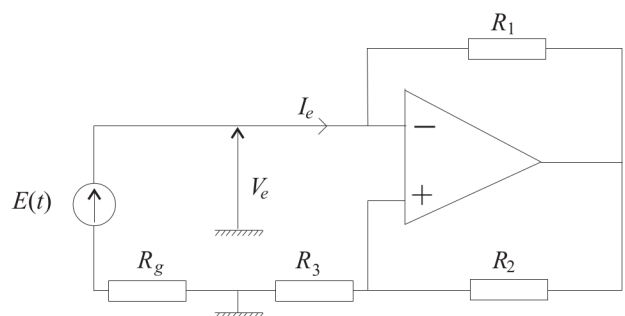


FIG. 2 – Montage avec entrée

❑ 3 — Indiquer comment le montage de la figure 2 permet une visualisation à l'oscilloscope de la caractéristique $V_e = f(I_e)$: on précisera les branchements à effectuer et les éventuelles précautions matérielles à prendre.

❑ 4 — Étudier en fonction de la valeur de R_g , les différentes possibilités pour le point de fonctionnement du circuit dans le cas $E_0 = 0V$.

I.C. — Stabilité du point de fonctionnement

Lorsque l'on réalise expérimentalement le montage de la figure 2 avec $E = 0V$ et $R_g < R_1 R_3 / R_2$, on constate que le point de fonctionnement du montage se trouve arbitrairement soit en un point $M(I_{e0_1}, V_{e0_1})$ associé à un courant I_{e0_1} négatif, soit en un point $P(I_{e0_2}, V_{e0_2})$ associé à un courant I_{e0_2} positif. Ces deux points sont distincts et présentent la propriété d'être symétriques l'un de l'autre par rapport à l'origine O du plan (I_e, V_e) .

❑ 5 — Dans quel régime se trouve l'amplificateur opérationnel si le point de fonctionnement du montage est situé en M ou en P ? On justifiera la réponse en précisant les coordonnées de ces points.

Pour expliquer que les seuls points de fonctionnement accessibles soient les points M ou P lorsque $R_g < R_1 R_3 / R_2$ et $E = 0V$, on ne peut plus supposer que l'amplificateur opérationnel soit de gain infini. Dans le régime linéaire, on peut le modéliser comme indiqué sur la figure 3 : les courants d'entrée i_+ et i_- sont toujours nuls, mais $\varepsilon(t) = V_+ - V_- \neq 0$. Dans ce régime et pour des signaux sinusoïdaux, on peut modéliser l'amplificateur opérationnel par une relation entre les représentations complexes de $\varepsilon(t)$ et $V_S(t)$:

$$\underline{V}_S(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \underline{\varepsilon}(j\omega)$$

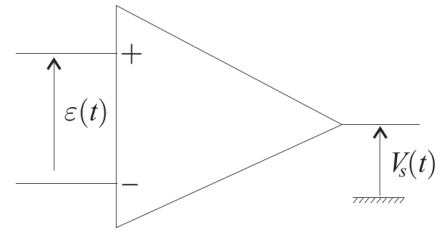


FIG. 3 – Amplificateur opérationnel réel

- ❑ **6** — Rappeler les ordres de grandeurs des constantes A_0 et $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ pour un amplificateur opérationnel usuel. En utilisant la modélisation de l'amplificateur opérationnel définie par la figure 3, établir l'équation différentielle vérifiée en régime linéaire par le courant $I_e(t)$ du montage de la figure 2 dans le cas où $E(t) = 0V$. On utilisera les paramètres A_0 , ω_0 , R_g , R_1 et $A = R_3 / (R_2 + R_3)$.
- ❑ **7** — En prenant en compte le fait que $AA_0 \gg 1$, montrer que, l'équation différentielle de la question 6 permet de justifier l'observation expérimentale relative aux points de fonctionnement. Expliquer qualitativement, comment s'établit le basculement vers M ou P .