TD4 : Montage amplificateur de puissance (push-pull)
Calculs de puissances

Objectifs pédagogiques de ce TD :

- Comprendre le principe de fonctionnement de l'amplificateur de classe B : séquence de conduction des transistors et formes d'onde obtenues.
- Savoir calculer la puissance moyenne absorbée par un dipôle passif linéaire (càd composé de résistances, condensateurs et inductances).
- Savoir calculer la valeur efficace d'une tension ou d'une intensité dans le cas de grandeurs sinusoïdales et dans un cas quelconque (signaux carrés et autres signaux périodiques ...).

Fiche de cours :

Cette fiche est destinée à introduire, à expliquer et à justifier la notion de valeur efficace d'un signal périodique.

Position du problème :

L'amplificateur de puissance est un dispositif électronique qui doit satisfaire un double objectif :

- d'une part, la tension de sortie doit reproduire le plus fidèlement possible la tension de commande appliquée en entrée. Dans un cas idéal, on souhaiterait avoir à tout instant $Vs(t) = Ve(t)$.
- D'autre part, la charge résistive absorbe un courant dont l'intensité peut être élevée. L'amplificateur de puissance doit donc pouvoir débiter le courant demandé par la charge.

Le schéma de la figure 1 illustre le transfert énergétique qui s'opère entre l'alimentation continue et la charge résistive. Ce transfert de puissance est modulé par la tension de commande $Ve(t)$.

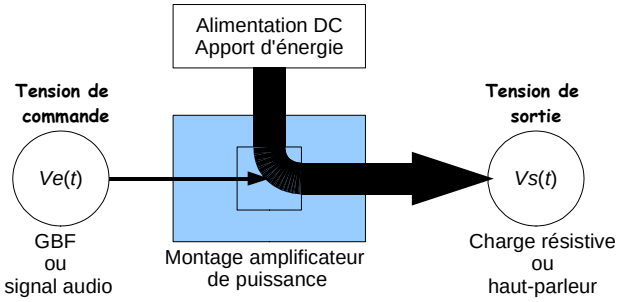

Figure 1 : synoptique de l'amplificateur de puissance. Transfert d'énergie électrique de l'alimentation vers la charge résistive.

Sujet :

On étudie la structure de classe B, également appelée montage push-pull, et représentée ci-dessous. Pour toutes les questions 2] à 10], on se place dans le cas où la tension de commande *Ve*(*t*) est sinusoïdale.

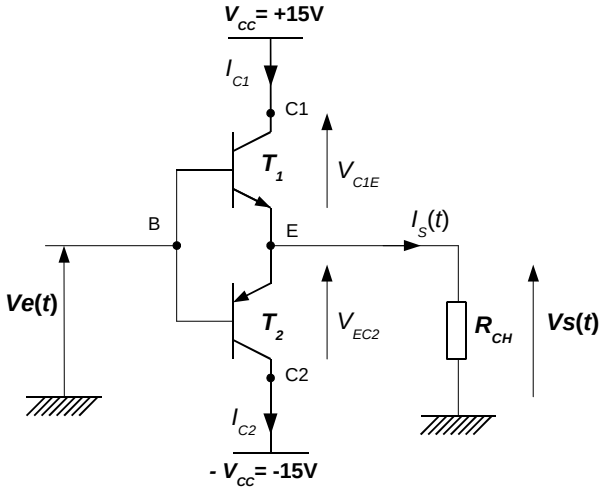

Figure 2 : montage amplificateur de classe B (push-pull).

1] Les transistors T_1 et T_2 peuvent-ils être simultanément passants ? Justifier votre réponse en raisonnant sur les signe des tensions $(V_{BE})_{T1}$ et $(V_{EB})_{T2}$.

PARTIE 1 : cas où *Ve*(*t*) est sinusoïdale.

On considère dans toute cette partie que *Ve*(*t*) est sinusoïdale, de la forme :

$$V_e(t)=\hat{V}_e \cdot \sin(2\pi\omega t)$$

où

- $\hat{V}_e$ désigne l'amplitude de la tension de commande *Ve*(*t*).
- ω désigne la pulsation de *Ve*(*t*).

2] On se place dans une phase où T_1 est passant et T_2 bloqué.

- Déterminer l'équation de la droite de charge imposée par le circuit : $I_{C1}=f(V_{C1E})$.
- Tracer cette droite de charge dans le plan [V_{C1E} ; I_{C1}].
- Comment se déplace le point de fonctionnement lorsque la tension *Ve*(*t*) varie ?
- Les transistors T1 et T2 fonctionnent-ils en régime saturé/bloqué ?

3]

- Compléter le diagramme de conduction de la figure 3 : indiquer dans la ligne dédiée à cet effet lequel des deux transistors conduit. (Dessiner une croix dans les intervalles durant lesquels aucun des 2 transistors n'est passant).
- Représenter également les formes d'onde obtenues pour les tensions *Vs*(*t*), $V_{CE1}(t)$, $V_{EC2}(t)$.
- Représenter enfin les formes d'onde obtenues pour les intensités $I_s(t)$, $I_{C1}(t)$, $I_{C2}(t)$.

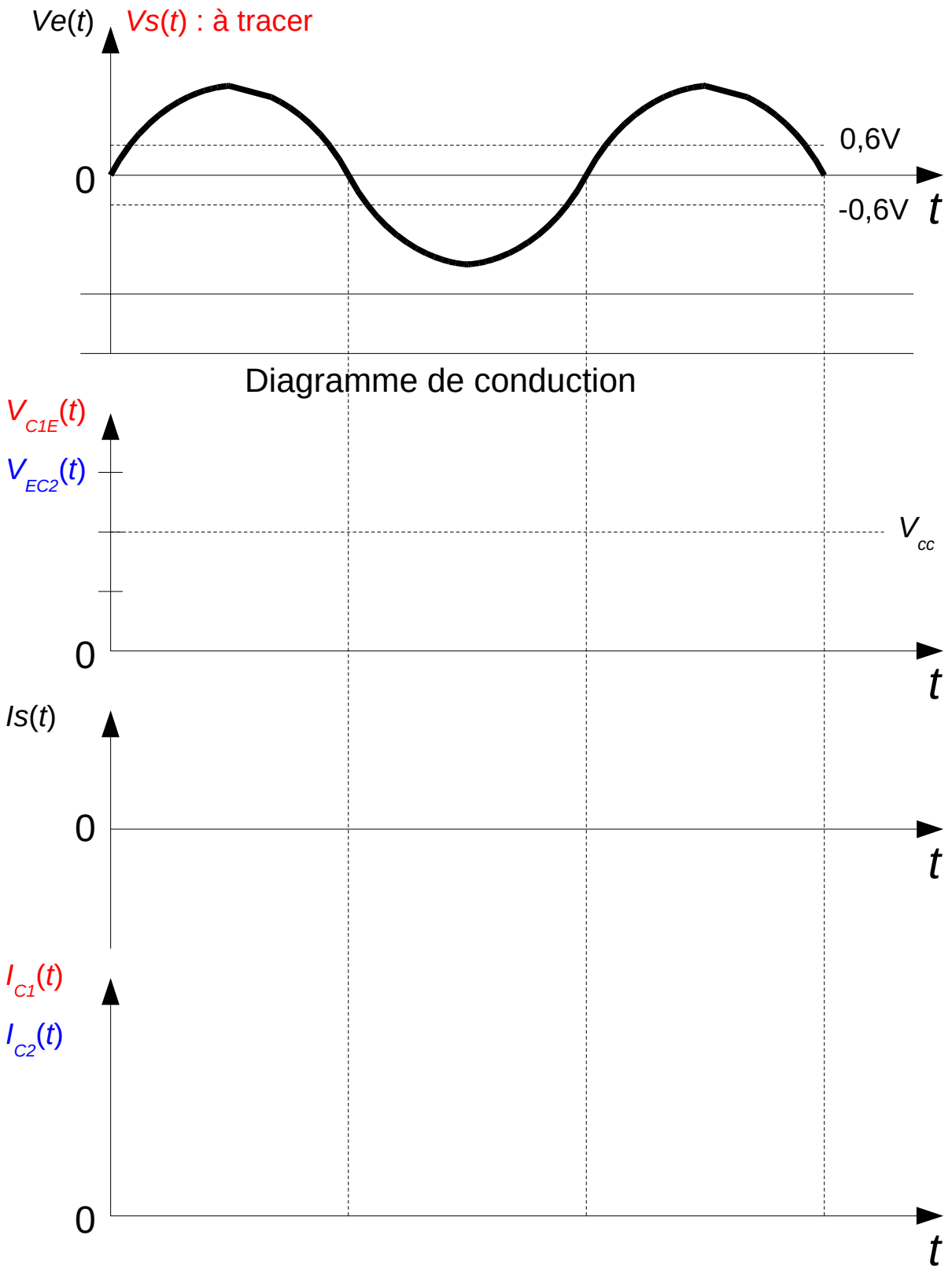

Figure 3 : chronogrammes et diagramme de conduction.

4] Qu'est-ce que la distorsion de croisement ? Quelles conséquences cette distorsion engendre-t-elle sur la tension de sortie ?

Lorsque l'amplitude de $Vs(t)$ est suffisamment élevée, on constate que le phénomène de distorsion de croisement est moins visible. Dans les questions qui suivent (5] à 10]), on va supposer ce phénomène négligeable, de telle sorte que $Vs(t)$ sera supposée sinusoïdale pour tous les calculs à venir. On notera $\hat{V}_s$ l'amplitude de $Vs(t)$.

5] Déterminer l'expression littérale de la puissance moyenne absorbée par la charge résistive R_{ch}. Montrer que cette puissance moyenne peut s'écrire sous la forme suivante :

$$P_{ch} = K_1 \cdot \frac{\hat{V}_s^2}{R_{ch}}$$

où K_1 est une constante que l'on précisera.

6] On note V_{seff} la valeur efficace de la tension $V_s(t)$. A l'aide de la fiche de cours jointe, démontrer que dans le cas où $Vs(t)$ est une tension sinusoïdale d'amplitude $\hat{V}_s$, alors on a la relation :

$$V_{seff} = \frac{\hat{V}_s}{\sqrt{2}}$$

7] Déduire des questions 5] et 6] que la puissance électrique moyenne absorbée par la charge peut s'écrire :

$$P_{ch} = K_2 \cdot V_{seff} \cdot I_{seff}$$

où K_2 est une constante que l'on précisera.

8] Calculer la puissance moyenne fournie par l'alimentation [-Vcc;+Vcc]. Montrer que cette puissance moyenne peut s'écrire sous la forme suivante :

$$P_{Alim} = K_3 \cdot V_{cc} \cdot \hat{I}_s$$

où K_3 est une constante que l'on précisera.

9] Le bilan de puissance au niveau de l'amplificateur de classe B peut s'effectuer comme suit :

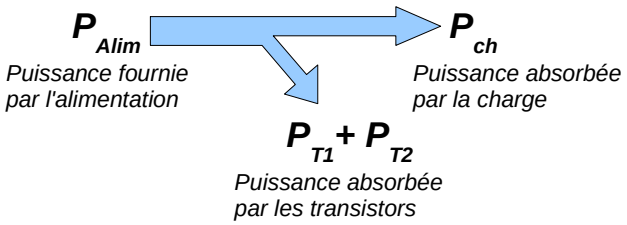

Figure 4 : bilan de puissance au niveau de l'amplificateur de classe B.

A partir des expressions de P_{Alim} et de P_{ch}, déterminer l'expression de la puissance moyenne absorbée par les deux transistors T_1 et T_2. Effectuer l'application numérique dans le cas où :
Vcc=15 V, $\hat{V}_s = 13\,V$, R_{ch} = 8 Ω.

10] Déterminer l'expression du rendement de l'amplificateur de classe B dans le cas où $Vs(t)$ est sinusoïdale. Monter en particulier que ce rendement est toujours inférieur à une valeur limite que l'on déterminera. Effectuer l'application numérique avec les données de la question précédente.

PARTIE 2 : cas où *Ve*(*t*) est une tension créneau.

Dans toute cette partie 2, la tension de sortie $V_s(t)$ sera supposée en forme de créneau périodique. L'amplitude de $V_s(t)$ sera notée $\hat{V}_s$.

11] Déterminer l'expression littérale de la puissance moyenne absorbée par la charge résistive R_{ch}. Montrer que cette puissance moyenne peut s'écrire sous la forme suivante :

$$P_{ch} = K_4 \cdot \frac{\hat{V}_s^2}{R_{ch}}$$

où K_4 est une constante que l'on précisera.

12] On note V_{seff} la valeur efficace de la tension $V_s(t)$. A l'aide de la fiche de cours jointe, déterminer la relation entre V_{seff} et $\hat{V}_s$ dans le cas où la tension de sortie est en forme de créneau périodique.

13] Déduire des questions 11] et 12] que la puissance électrique moyenne absorbée par la charge peut s'écrire :

$$P_{ch} = K_5 \cdot V_{seff} \cdot I_{seff}$$

où K_5 est une constante que l'on précisera.

14] Calculer la puissance moyenne fournie par l'alimentation [-Vcc;+Vcc]. Montrer que cette puissance moyenne peut s'écrire sous la forme suivante :

$$P_{Alim} = K_6 \cdot V_{cc} \cdot \hat{I}_s$$

où K_6 est une constante que l'on précisera.

15] A partir des expressions de P_{Alim} et de P_{ch} obtenues dans les questions 13] et 14], déterminer l'expression de la puissance moyenne absorbée par les deux transistors T_1 et T_2. Effectuer l'application numérique dans le cas où :
Vcc=15 V, $\hat{V}_s = 13\,V$, R_{ch} = 8 Ω.

16] Déterminer l'expression du rendement de l'amplificateur de classe B dans le cas où $Vs(t)$ est un créneau périodique d'amplitude $\hat{V}_s$. Quelle valeur maximale peut-on théoriquement obtenir pour ce rendement ? Qu'est-ce qui va limiter en pratique ce rendement ? Effectuer l'application numérique du calcul du rendement avec les données de la question précédente.

<u>Question subsidiaire</u> :

L'un des enjeux majeurs de notre projet d'amplificateur audio sera de réussir à contrer le phénomène de distorsion harmonique pour obtenir un signal de sortie qui reproduit fidèlement les variations du signal d'entrée. Imaginer deux stratégies permettant de contrecarrer le phénomène de distorsion de

croisement.