

Contrôle n°2

Document autorisé : polycopié de cours

Durée : 2h

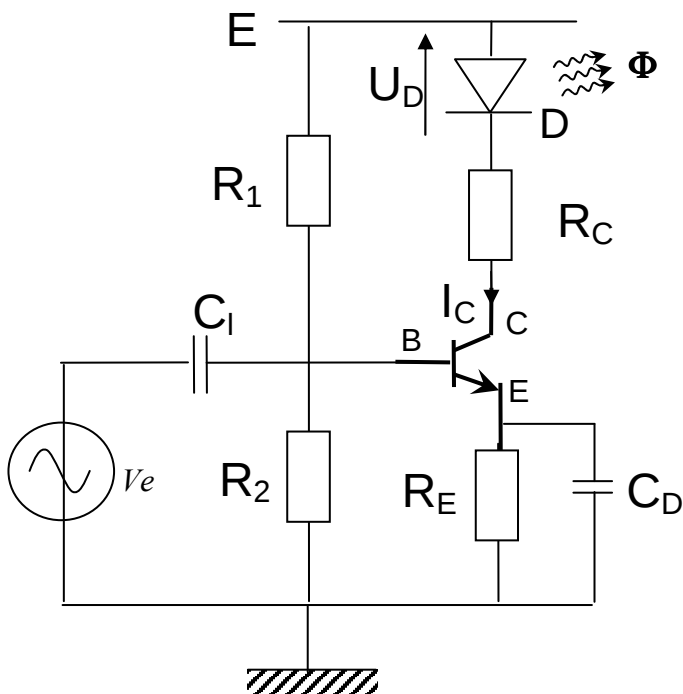
Le but de ce problème est d'étudier des circuits de transmission et de réception analogiques pour réaliser une transmission d'information optique. La première partie concerne l'étude du circuit de transmission, utilisant une diode électroluminescente : il s'agit d'étudier la polarisation de la diode et du circuit ainsi que le comportement dynamique du système. La seconde partie permet d'étudier une chaîne de réception utilisant un phototransistor JFET.

Les parties I.1, I.2 et II sont indépendantes.

I. Etude de l'émission d'un signal analogique à l'aide d'une photodiode.

On considère le montage de la figure 1. Ce montage est entre autre constitué d'un transistor bipolaire et d'une diode électroluminescente (DEL). Une DEL se comporte comme une diode classique, dont on rappelle la caractéristique courant-tension : $I_C = I_S (e^{U_D/U_T} - 1)$, où I_S est le courant de saturation et $U_T = k_B T / q$. On rappelle les valeurs de la constante de Boltzmann et de la charge élémentaire : $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ SI, $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C.

Lorsque la DEL est polarisée en direct, on supposera sa tension de seuil (tension de polarisation) identique à celle d'une diode à jonction ($U_D = 0.6$ V). Elle émet une intensité lumineuse Φ (exprimée en Watt) proportionnelle au courant qui la traverse : $\Phi = \alpha I_C$, avec $\alpha = 0.14$ W/A.



On donne les valeurs suivantes :

$E = 20$ V
 $\beta = 150$
 $R_1 = 7.5$ k Ω
 $R_2 = 2.7$ k Ω
 $R_E = 470$ Ω
 $R_C = 470$ Ω
 $C_D = 1$ μ F
 $C_1 = 1$ μ F

Figure 1 : Montage émetteur.

I.1 Etude de la polarisation.

- Déterminer le modèle de Thévenin équivalent vu par le transistor entre la base et la masse. On notera E_{th} et R_{th} les paramètres du modèle équivalent.
- Déterminer l'expression du courant de polarisation I_{C0} (droite d'attaque). Faire l'application numérique. En déduire la valeur de l'intensité lumineuse (constante) Φ_0 ainsi créée.
- Donner l'expression analytique de la droite de charge statique.
- Déterminer la tension de polarisation V_{CE0} du transistor.

Dans la suite du problème, on prendra $I_{C0}=10\text{ mA}$.

I.2 Etude dynamique.

I.2.1 Schéma petits signaux.

- Retrouver l'expression, en revenant à la définition, de la résistance dynamique notée r_d de la diode, autour du point de polarisation (I_{C0} , $V_{D0}=0.6\text{ V}$). Faire l'application numérique à température ambiante.
- Donner l'expression de la résistance dynamique r_{BE} entre la base et l'émetteur du transistor. Faire l'application numérique.
- Déterminer le schéma petits signaux (dans la bande passante) équivalent au montage de la figure 1. On fera apparaître le courant de collecteur $i_C = \beta i_b$ (courant variable).

I.2.2 Etude dynamique de l'intensité lumineuse émise.

L'intensité lumineuse globale Φ émise par la DEL est la somme d'une intensité constante Φ_0 (due à la polarisation I_{C0}) et d'une intensité lumineuse variable φ (petit signal) due au courant variable i_C traversant la diode: $\Phi = \Phi_0 + \varphi$, avec $\varphi = \alpha i_C$. Dans l'étude dynamique, on ne s'intéresse donc qu'aux grandeurs dynamiques φ et i_C . Ces petits signaux sont générés par la source de tension variable V_e . On se place en régime harmonique (sinusoïdal).

- Déterminer l'expression du courant i_C en fonction de V_e . En déduire l'expression de l'intensité lumineuse variable φ émise en fonction de la tension V_e .
- On prend $V_e = 20\text{ mV}$. Calculer l'intensité lumineuse variable φ correspondante. Comparer cette valeur à celle de l'intensité lumineuse constante Φ_0 déterminée au I.1.b). Conclusion ?
- Que devient le rapport φ/V_e si on enlève le condensateur de découplage ? Refaire l'application numérique pour $V_e = 20\text{ mV}$ et conclure.
- Déterminer l'expression de la droite de charge dynamique du transistor $i_C=f(v_{CE})$ dans le repère lié aux petits signaux (ayant pour origine le point de polarisation).
- Représenter cette droite dans le repère lié aux grands signaux. (On donnera son équation dans ce repère et on fera apparaître : le point de polarisation, l'ordonnée à l'origine et l'abscisse à l'origine).

f) Quelle est l'amplitude maximale du courant (variable) i_C permettant de rester en régime linéaire (fonctionnement normal du transistor) ? Est-on limité en premier par la saturation ou par le blocage du transistor ? (On justifiera la réponse).

g) En déduire l'amplitude maximale de la tension V_e que l'on doit appliquer au montage pour rester en régime linéaire (on s'aidera de l'expression trouvée au 1.2.2a)).

II. Etude de la réception du signal à l'aide d'un phototransistor.

Pour recevoir le signal lumineux précédent, on utilise le montage de la figure 3(a). Il est constitué d'un phototransistor JFET canal N. Lorsqu'il est à l'obscurité, il se comporte comme un transistor JFET classique. En présence d'un flux lumineux, on supposera que la polarisation du transistor est inchangée. Le schéma petits signaux équivalent (en présence d'un flux lumineux variable) est alors donné par la figure 3(b). On rajoute une source de courant (dont le courant i_{ph} est proportionnel au flux lumineux variable φ) entre le drain et la grille par rapport au schéma petits signaux d'un transistor JFET classique.

Le flux lumineux Φ reçu par le phototransistor est, comme dans le cas de la première partie I, la somme d'un flux lumineux statique Φ_0 et d'un flux lumineux dynamique (variable) φ : $\Phi = \Phi_0 + \varphi$. L'objet de cette partie est d'étudier le circuit permettant de fournir une tension (dynamique) V_{out} proportionnelle au flux lumineux variable φ . La polarisation du phototransistor ne sera pas étudiée. Dans toute cette partie, on se place en régime harmonique (sinusoïdal).

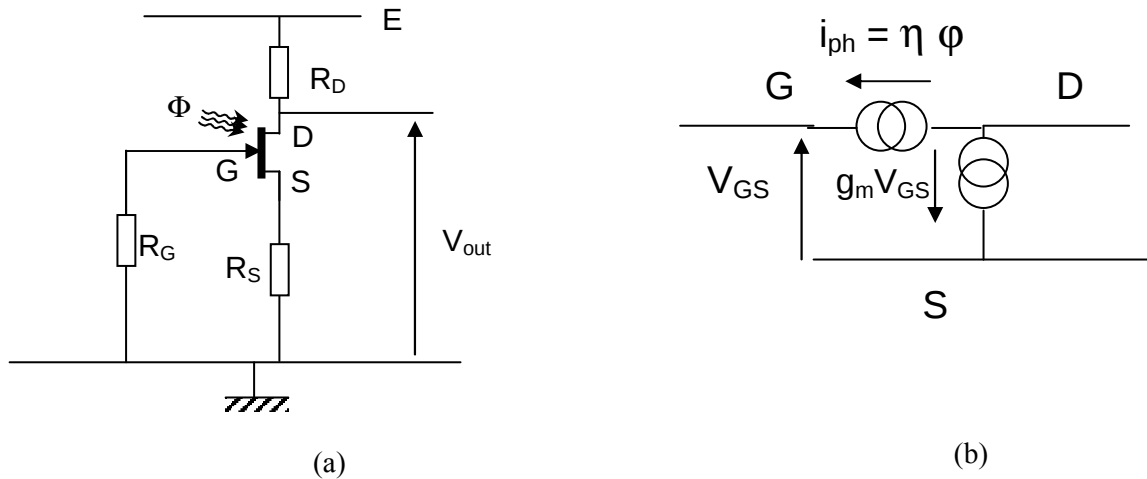


Figure 2 : Schéma du montage récepteur (a) et schéma équivalent petits signaux du phototransistor dans la bande passante en présence d'un flux lumineux variable φ (b)

Pour les applications numériques, on prendra les valeurs suivantes :

$$R_G = 100 \text{ k}\Omega \quad R_D = R_S = 4.7 \text{ k}\Omega \quad \eta = 0.01 \text{ A/W} \quad g_m = 4.7 \text{ mS} \quad \varphi = 10 \text{ }\mu\text{W}$$

II.1 Etude en régime dynamique dans la bande passante.

- a) Déterminer le schéma équivalent vu par les petits signaux (dans la bande passante) en prenant en compte cette source de courant additionnelle.
- b) Exprimer la tension V_{out} en fonction du photocourant i_{ph} et de la tension v_{GS} .
- c) Déterminer la relation entre la tension v_{GS} et le photocourant i_{ph}
- d) En déduire la relation suivante : $v_{GS} = \frac{R_G}{1 + g_m R_S} i_{ph}$
- e) Déduire des questions b) et d) le rapport V_{out} / ϕ . Faire l'application numérique. En déduire la valeur de V_{out} pour $\phi = 10 \mu W$. Conclusion ?

II.2 Amélioration et étude dynamique en basse fréquence.

Afin d'améliorer le gain, on place un condensateur de découplage C_D entre la source et la masse. Pour les applications numériques, on prendra : $C_D = 100 \text{ nF}$. On souhaite étudier l'influence du condensateur C_D sur la réponse en fréquence du montage.

- a) Dessiner le schéma petits signaux dans le domaine des très basses fréquences.
- b) Déterminer la nouvelle relation $v_{GS} = f(i_{ph})$. (On vérifiera que l'on retrouve bien l'équation de la question II.1.d) quand $C_D \rightarrow 0 \text{ F}$)
- c) En déduire le gain dans la bande passante (on fera tendre ω vers l'infini et on évaluera le rapport V_{out} / ϕ). On fera l'application numérique et on en déduira la tension V_{out} pour $\phi = 10 \mu W$. Conclusion ?
- d) Déduire de la question II.2.b) la réponse en fréquence : $H(j\omega) = \frac{V_{out}}{\phi}$. On mettra ce gain sous la forme :

$$H(j\omega) = -R_D \eta K \frac{1 + j \frac{\omega}{a\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{b\omega_0}} \text{ avec } \omega_0 = 1/(R_S C_D)$$

(on déterminera les constantes K , a et b)

- e) Tracer le diagramme de Bode asymptotique en amplitude de H (exprimé en V/W).