

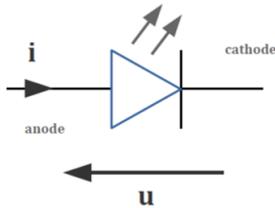
Réaliser la transmission d'un signal audio analogique par la lumière

Problématique: élaborer un système permettant de **transmettre un signal électrique analogique** d'un émetteur (LED) à un récepteur (photodiode).

1 - Caractérisation statique de la LED et de la photodiode

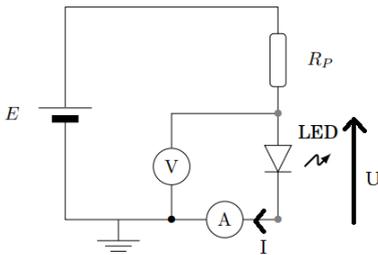
L'objectif de cette partie est de tracer la caractéristique des éléments de notre circuit final (LED & photodiode). Ainsi, on trace la tension u aux bornes du dipôle par rapport à l'intensité i . Ces tracés nous permettront de connaître les différentes plages d'utilisation des dipôles et ainsi adapter les tensions misent en jeu pour pouvoir élaborer un circuit qui répond à notre problématique.

A - LED (ou Diode Electro-luminescente)



Il s'agit d'un dispositif capable d'émettre de la lumière lorsqu'un courant électrique le traverse. Ainsi pour contrôler l'émission de photons par la LED, on doit connaître sa caractéristique i.e le lien entre la tension à ses bornes, l'intensité qui la traverse et l'intensité lumineuse délivrée par la LED.

Méthode : On établit le montage suivant :



R_p est une résistance de protection permettant de protéger la LED. On trouve $R_p = 330 \Omega$ grâce à la documentation technique de la LED (ici rouge avec la formule suivante :

$$R_p = \frac{v_{max} - v_f}{I_f}$$

v_{max} : potentiel max aux bornes du générateur de tension
 v_f : tension max aux bornes de la LED
 I_f : intensité seuil de la LED

On fait dans ce montage une mesure simultanée :

- ▶ Mesure du courant traversant la LED → ampèremètre branché en série
- ▶ Mesure de la tension aux bornes de la LED → voltmètre branché en parallèle.
- ▶ On fait varier le potentiel de la source de tension E → On relève les valeurs du courant (A) et de la différence de potentiel (V) que l'on enregistre dans un tableau Excel qui nous permet de tracer la courbe suivante :

Caractéristique statique de le LED rouge

U (V)	I (mA)
0,085	0
1	0
1,15	0
1,55	0,2
1,7	0,86
1,72	1,1
1,75	1,6
1,78	2,1
1,83	3
1,88	3,9
1,92	4,7
2	6,7

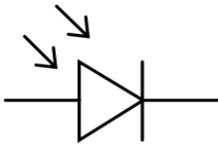


La LED possède deux modes de fonctionnement: bloqué ou passant, délimités par une tension seuil de 1,65V.

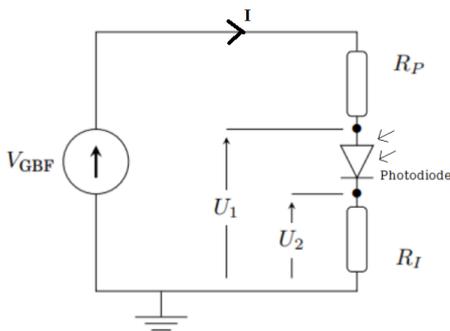
Conclusion :

Dans le cadre de notre problématique, on pourra utiliser ces deux modes de fonctionnement pour réaliser un émetteur à LED. En effet, on mettra en entrée du GBF une fonction sinusoïdale avec un offset proche de la tension seuil et une amplitude assez élevée (sans dépasser le domaine d'utilisation de la LED) pour pouvoir transmettre ce même signal sinusoïdal via la LED.

B- Photodiode



Il s'agit d'un semi-conducteur qui peut capter un rayonnement lumineux. Il transforme ensuite ce signal en un signal électrique (courant).



Méthode :

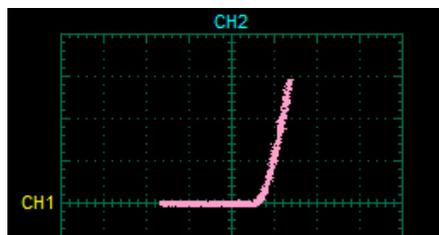
Application d'un signal dont l'amplitude varie dans le temps à l'aide du GBF (triangulaire, sinusoïdale, pour fréquence de l'ordre du Hz) avec $R_p=R_1=330\Omega$

L'amplitude du signal fourni par le GBF doit être inférieure aux limitations des composants du montage.

- ▶ Mesure à l'oscillo de **U1** sur la voie 1 et **U2** sur la voie 2
- ▶ On peut alors tracer **U1 - U2** tension aux bornes de la photodiode (sur l'oscillo)

▶ Tracer (mode XY de l'oscilloscope) **U2 - U1** en fonction de **U2** (proportionnelle au facteur R_i près à l'intensité traversant la photodiode). On obtient la caractéristique suivante sur le GBF :

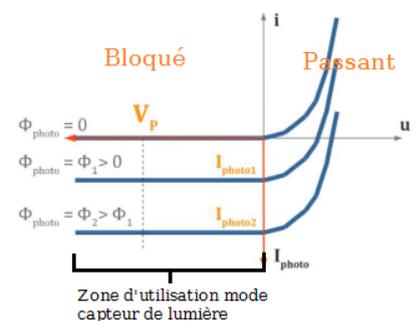
Caractéristique statique de la photodiode (sous lumière naturelle)



CH1 : U2
CH2 : U1
2V par division

Relation courant / flux lumineux

À première vue, la photodiode possède les mêmes modes de fonctionnement que la LED (bloqué et passant) et on relève une tension seuil de 1,3V. La différence entre les 2 dipôles se manifeste lorsque l'on approche une source lumineuse près de la photodiode. En effet, on peut voir expérimentalement que la caractéristique de la photodiode se translate verticalement selon le flux lumineux.

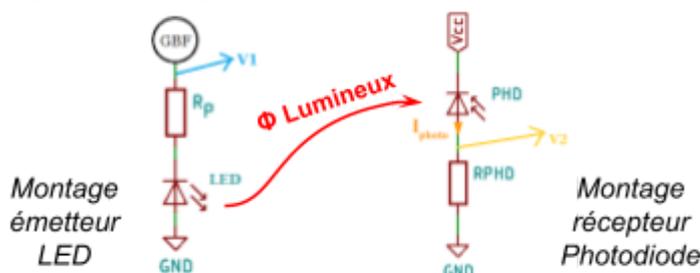


Conclusion :

Dans le cadre de notre problématique, on pourra utiliser la photodiode lorsqu'elle est bloquée (zone où le palier est constant). La valeur en courant du palier nous donne une image du flux lumineux et donc peut être utilisé en tant que capteur de lumière.

$I_s \propto \Phi_{\text{Lumineux}}$

2 - Montage "simple" de la photodétection :

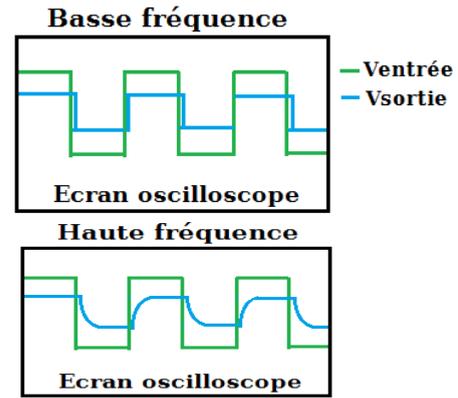


Caractérisation du système de transmission

On relève expérimentalement les allures, à haute et basse fréquence, du système de transmission : (V1=Ventrée et V2=Vsortie)

On remarque qu'à basse fréquence la relation $V_s = R_{phD} \cdot I_{photo}$ est bien valide. Cependant, à haute fréquence, l'allure de la sortie se rapproche d'un modèle du 1ère ordre.

Objectif : Pour évaluer les caractéristique du système et notamment sa réponse pour une fréquence donnée nous allons construire le diagramme de Bode.



A - Méthode rapide par balayage de fréquence du GBF :

Le balayage en fréquence à l'aide du mode SWEEP a permis d'afficher sur l'oscilloscope l'allure du diagramme de Bode. On remarque que ce circuit est un **passé-bas**.

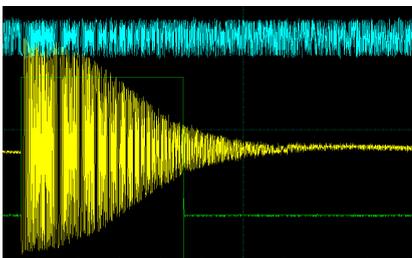


Image de l'oscilloscope pour un balayage de fréquence de 100Hz à 1MHz (Rphd=100kΩ)

V1 (entrée)
V2 (sortie)

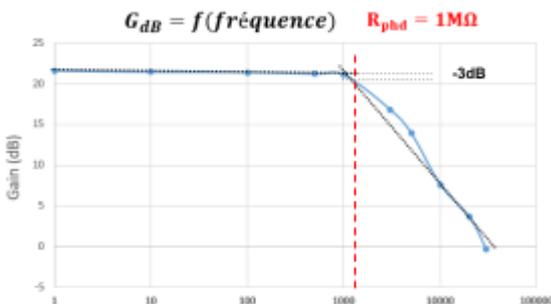
En utilisant la relation : $G_{dB}(\omega_{coupure}) = \frac{G_{dB} Max}{\sqrt{2}}$ nous avons mesuré la fréquence de coupure pour différentes valeurs de Rphd.

Valeur de Résistance R _{phd}	Fréquence de coupure correspondante
R _{phd} = 1 MΩ	3,5 kHz
R _{phd} = 100 kΩ	20 kHz
R _{phd} = 10 kΩ	150 kHz

Les différentes valeurs de R_{phd} vont avoir une influence sur la fréquence de coupure mais pas sur la nature du système : un **passé-bas** du 1er ordre.

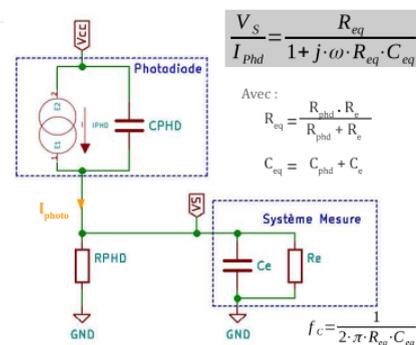
B - Méthode classique par mesure du gain pour différentes fréquences:

Nous avons également construit le diagramme de Bode du système pour R_{phd} = 1 MΩ afin de confirmer notre précédente mesure et de connaître la cartographie sur toute la bande de fréquence.



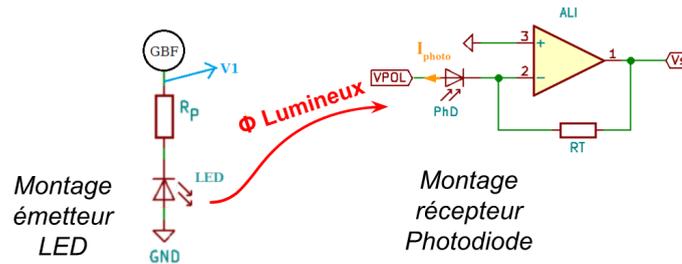
Nous avons évalué le gain sur toute la gamme de fréquence puis tracé les asymptotes pour définir l'allure globale du système.

Conclusion : Le système se comporte comme un filtre **passé-bas** dont la fréquence de coupure est proche de celle que nous avons déterminé précédemment. Les écarts peuvent être expliqués par une imprécision de mesure sur le diagramme de Bode expérimentale par manque de point, ce qui empêche de tracer correctement les asymptotes. Les tracés effectués permettent de valider le modèle ci-contre :



Remarque : Ce montage permet de prendre en compte le fait que le système soit un **passé-bas** du 1er ordre, avec des résistances et des capacités équivalentes en parallèles.

3 - Montage transimpédance de la photodétection :



Objectif du montage : On a un modèle de proportionnalité irréaliste. On cherche donc à adapter notre montage. Dans le modèle précédent, la photodiode était représentée par un générateur de courant parfait. On peut améliorer la modélisation en introduisant un condensateur en parallèle du générateur de courant.

Le système émetteur est le même que précédemment, mais pour le montage récepteur on a ajouté un ALI pour améliorer la bande passante du système et le rendre moins sensible à la capacité. Cependant expérimentalement on devrait observer l'apparition d'une résonance, que l'on aurait pu quantifier en fonction de la résistance qui est présente dans la boucle de rétroaction.

Problème : Si la fréquence caractéristique du circuit (résistance de charge R_T + capacité parasite de la photodiode C) < produit gain bande passante de l'AOP → Apparition d'un phénomène de résonance → créations d'oscillations parasites

Moyen d'y remédier : ajout d'une faible capacité dite antirésonance en parallèle de R_T .

En choisissant judicieusement C_T , on obtient un circuit non résonant, non oscillant. Empiriquement, on prend une valeur le plus petit possible telle que

$$C_T > \sqrt{\frac{C_p}{\pi R_T GBP}}$$

Remarques et problèmes matériels :

Inclinaison et brouillage extérieur

Dans le montage utilisé pour déterminer le diagramme de Bode de la photodiode, nous avons pris soin de pointer le sommet de la LED vers la photodétection. En effet, c'est à son sommet que la LED fournit son maximum de luminosité. De plus, nous avons couvert le système de transmission car les lumières extérieures venaient brouiller les mesures en haute fréquence.

Comme notre photodiode n'était pas polarisée, il n'y avait pas proportionnalité entre l'intensité lumineuse captée et l'intensité électrique qui la traverse (voir relation ci-à droite). Donc, nous avons dû la polariser en inversant. Cela revient à lui appliquer une tension négative.

$$I_{\text{photo}} = S_{\lambda} \cdot \eta \cdot \Phi_{\text{photo}}$$

A
A/W
W

Sensibilité spectrale
Rendement quantique
Flux lumineux

Zone de linéarité de la diode :

Le balayage en fréquence ne fonctionnait pas et l'allure du diagramme de Bode en passe bas n'apparaissait pas sur l'oscilloscope. On modifie l'offset et alors le diagramme de Bode apparaît bien. Nous réalisons que nous étions en dehors du domaine de linéarité de la diode. Augmenter l'offset a permis de restaurer cette linéarité.

