

Thème 1

Réalisation de la transmission d'un signal audio analogique par la lumière

I - Introduction :

Afin de répondre à la demande de l'entreprise, nous avons effectué une étude visant à réaliser un système pouvant caractériser la dynamique d'une LED à l'aide d'une photodiode. Pour cela, il faut tout d'abord caractériser la photodiode qui va être utilisée et choisir un circuit optimisé répondant au cahier des charges. Pour cela, nous avons réalisé les manipulations nécessaires, afin d'être les plus claires.

II – Etude des composants émetteur et transmetteur

1 – La LED : l'émetteur

Afin de développer un système de photodétection fiable permettant d'analyser la rapidité de la source, il nous faut utiliser un montage émetteur. Celui-ci permet de modéliser un montage type qui reprend celui de l'entreprise lorsqu'elle développe ses sources lumineuses. On réalise donc le montage de la figure 1, composé d'une LED et d'une résistance pour limiter le courant reçu et ne pas endommager la LED. Un GBF permettra d'alimenter la diode avec un courant sinusoïdal jusqu'à une fréquence de 100kHz que l'on visualisera à l'oscilloscope. Il faut régler le GBF pour que la tension aux bornes de la LED soit toujours au-dessus de la tension seuil, sinon la LED s'éteint périodiquement. On voit sur la figure 2 que l'offset n'est pas assez important et donc la LED clignote. Pour éviter cela nous avons pris les réglages suivants pour le GBF : $f = 100\text{kHz}$, $V_{pp} = 7,8\text{V}$ et $V_{DC} = 5,5\text{V}$.

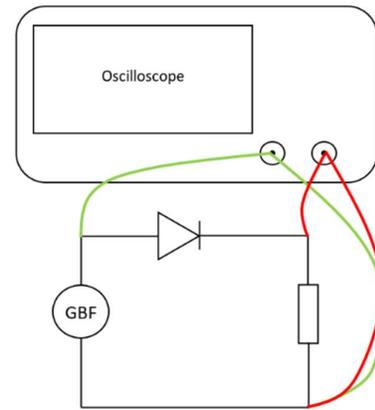


Figure 1 : Montage pour l'émetteur

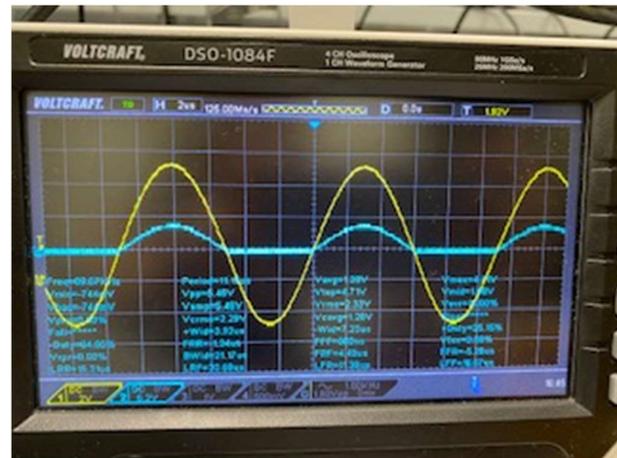


Figure 2 : Vu à l'oscilloscope de la tension aux bornes de la LED.

2 – La photodiode : le récepteur

On cherche maintenant à comprendre et caractériser la photodiode. Celle-ci va permettre de recevoir la lumière de la LED. Pour obtenir la courbe caractéristique de la photodiode, nous avons utilisé la méthode automatique qui nous permet d'avoir directement la courbe sur l'oscilloscope avec le montage de la figure 3.

Nous avons utilisé une résistance $R_1 = 10\ \Omega$ afin d'assimiler la valeur de U_2 affichée sur l'oscilloscope à celle du courant, avec un facteur 10 en trop. Cela remplace l'ampèremètre et sa résistance que nous pouvons utiliser dans une autre méthode. R_1 étant négligeable, on peut considérer que U_1 est la tension aux bornes de la photodiode et ainsi avoir la caractéristique de celle-ci avec le mode XY.

La résistance $R_p = 1,2k\Omega$ est utilisée pour limiter le courant à $I = 7,25mA < I_{max} = 100mA$ (d'après la datasheet).

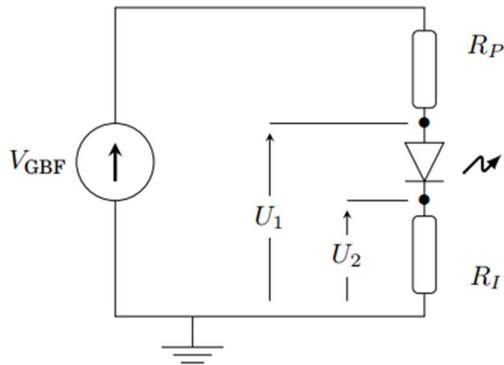


Figure 3 : Montage pour la caractérisation automatique de la photodiode

Nous obtenons alors la caractéristique de la figure 4. Nous pouvons remarquer expérimentalement que plus la luminosité augmente, plus le palier à gauche baisse, et ce phénomène est proportionnel. La photodiode devra donc être utilisée dans cette zone-là de la courbe (appelée polarisation en inverse), afin de créer un courant à partir de la luminosité de la LED.



Figure 4 : Caractéristique de la photodiode

III – Etude de systèmes de photodétection

Nous cherchons maintenant à déterminer quel montage de photodétection est le plus adapté à la situation. Pour cela, nous avons étudié un système de transmission simple et un système optimisé.

1 – Système de transmission « simple »

Nous avons tout d'abord réalisé un montage « simple » de photodétection, avec la LED et la photodiode à moins d'un cm de distance et couvertes, afin d'éviter que la photodiode ne détecte la lumière de l'éclairage de la salle. Nous avons utilisé le montage de la figure 5, qui comporte un montage émetteur avec une LED, avec les réglages suivants pour le GBF : $f = 1kHz$, $V_{pp} = 7,8V$ et $V_{DC} = 5,5V$. Une alimentation continue est utilisée pour polariser la photodiode en inverse et ainsi l'utiliser dans sa partie gauche, comme expliqué précédemment. Cette alimentation ne doit pas dépasser 20V d'après la datasheet du composant.

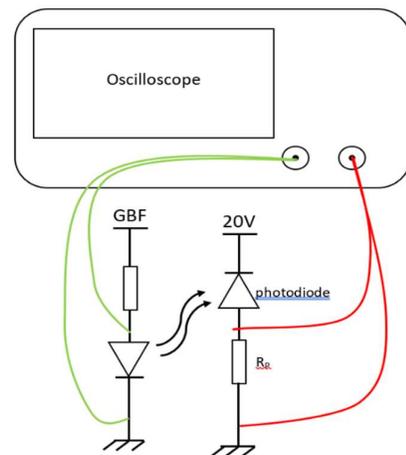


Figure 5 : Montage « simple » de photodétection

En testant différentes valeurs de R_p (10k Ω , 100k Ω et 1M Ω), nous avons remarqué que l'amplitude de l'intensité du courant créée par la photodiode, et donc la sensibilité de celle-ci, augmente linéairement avec la valeur de R_p . Cependant, avec $R_p = 1M\Omega$ on ne peut plus négliger la résistance de 1M Ω de l'oscilloscope et donc la relation entre la sensibilité de la photodiode et R_p n'est plus linéaire.

Nous avons ensuite étudié les limites du montage « simple » de la figure 5 en déterminant sa bande passante ainsi que l'influence de la résistance R_p sur celle-ci. Afin de réaliser cela, nous avons fait un balayage en fréquence de la tension aux bornes de R_p à l'aide de la fonction Sweep du GBF qui nous a permis de faire varier de façon logarithmique la fréquence du signal, qu'il délivrait, de 10Hz à 1MHz sur 500ms. Ensuite, nous avons visualisé l'évolution de la tension aux bornes de R_p , ce qui nous permet de suivre l'évolution du courant délivré par la photodiode, grâce à la loi d'Ohm, sur l'oscilloscope et nous avons alors obtenu, avec $R_p = 100k\Omega$, le signal présent sur la figure 6.



Figure 6 : Evolution de la tension aux bornes de $R_p = 100k\Omega$ (en rouge) pour le montage « simple »

Nous pouvons remarquer qu'il s'agit d'un filtre passe-bas puisque à hautes fréquences, le signal est atténué. On explique ce phénomène de passe-bas pas le fait que la photodiode peut être perçue comme une capacité puisque celle-ci est composée de deux semi-conducteur permettant de capter des photons et de les transformer en courant. L'espace entre les deux semi-conducteurs peut être perçu comme une capacité et donc créer un filtre grâce à la résistance R_p .

En traçant le digramme de Bode sur Excel avec le tableau de la figure 7, obtenu en reportant l'amplitude d'entrée du GBF, sa fréquence ainsi que l'amplitude de la tension aux bornes de R_p , on obtient le diagramme de la figure 8.

On observe alors que la fréquence de coupure à -3dB de la valeur maximale de ce passe-bas est de $f_{100k} = 13kHz$ environ et dans les hautes fréquences, la courbe a une pente d'environ -20dB/décade, ce qui est caractéristique

d'un filtre passe-bas du 1^{er} ordre. On a ainsi un temps de réponse tel que :

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_0} = 12\mu s$$

f (Hz)	Ve (V)	Vs (V)	Vs/Ve	dB
300	6,9	0,73	0,1058	-19,5105246
2000	6,9	0,72	0,1043	-19,6303319
5000	6,9	0,67	0,0971	-20,2554858
10000	6,9	0,6	0,0870	-21,2139568
12000	6,9	0,55	0,0797	-21,969728
15000	6,9	0,48	0,0696	-23,1521571
20000	6,9	0,4	0,0580	-24,735782
30000	6,9	0,3	0,0435	-27,2345567
100000	6,9	0,1	0,0145	-36,7769818
200000	6,9	0,05	0,0072	-42,7975817

Figure 7 : Tableau des amplitudes d'entrée (GBF) et de sortie ($R_p = 100k\Omega$) en fonction de la fréquence pour le montage « simple »

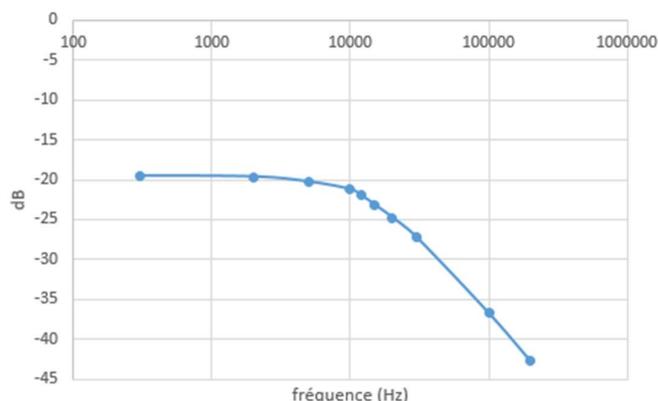


Figure 8 : Diagramme de Bode avec $R_p = 100k\Omega$ pour le montage « simple »

En reproduisant la même méthode avec $R_p = 10k\Omega$, on obtient également un filtre passe-bas du 1^{er} ordre, avec une bande passante plus importante puisque la fréquence de coupure à -3dB est de $f_{10k\Omega} = 100kHz$ environ, mais l'amplitude de la tension aux bornes de R_p est réduite, le montage est donc moins sensible.

Nous pouvons alors en déduire grâce à ces expériences effectuées sur le montage de la figure 5 que lorsque la valeur de R_p augmente, la sensibilité de la photodiode augmente alors que la bande passante diminue. Avec ce montage, il nous faut donc choisir une résistance R_p de $10k\Omega$ (bande passante à $100kHz$) afin d'obtenir un circuit de photodétection plus rapide que la LED qui est de l'ordre de $40kHz$.

2 – Système « optimisé » de transmission

Nous avons ensuite inclus un ALI dans notre montage afin de réaliser un système de photodétection « optimisé » pour garantir les exigences de performances du cahier des charges, puis étudier son comportement. Nous avons donc effectué le montage transimpédance de la figure 9, puis nous avons fait la même étude qu'avec le montage précédent. C'est-à-dire avec la fonction Sweep du GBF afin de quantifier les performances dynamiques de ce montage. Nous avons encore conservé le montage émetteur de la figure 3 pour la LED.

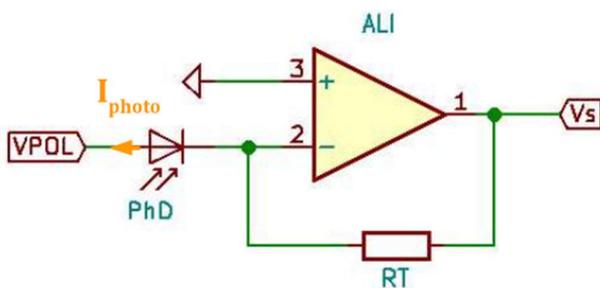


Figure 9 Montage « optimisé » de photodétection

En utilisant une résistance $R_T = 1M\Omega$, on obtient alors sur l'oscilloscope le signal présent sur la figure 10, représentant la tension aux bornes de cette résistance. Nous obtenons alors un passe-bas avec une résonance. De la même manière que précédemment, nous obtenons le tableau de la figure 11 afin de tracer le diagramme de Bode de notre montage présent sur la figure 12.



Figure 10 : Evolution de la tension aux bornes de $R_T = 1M\Omega$ (en rouge) pour le montage « optimisé »

Grâce à la pente à environ $-40dB/décade$, nous pouvons identifier ce filtre comme étant un

passe-bas du 2nd ordre avec résonance. Etant proches, nous assimilons ici la fréquence de coupure à celle de résonance, nous obtenons alors $f_{1M\Omega} = 110kHz$.

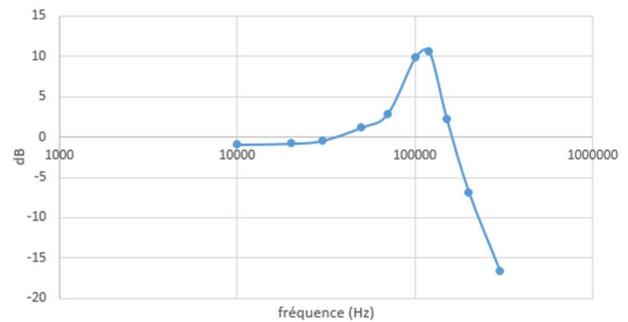


Figure 12 : Diagramme de Bode avec $R_T = 1M\Omega$ pour le montage « optimisé »

En diminuant la valeur de la résistance R_T , nous remarquons que la bande passante est plus importante, cependant la tension aux bornes de celle-ci, et donc la sensibilité de la photodiode, diminue. En effet, avec $R_T = 10k\Omega$ le signal est presque nul.

IV - Conclusion :

Il semblerait alors que le montage transimpédance soit plus avantageux que le montage « simple » puisque la bande passante ainsi que le gain (la sensibilité) sont plus importants pour une même résistance. Néanmoins la résonance apporte certains problèmes puisqu'elle peut provoquer un endommagement des composants du circuit et rendre la bande passante non-homogène.

Afin de garantir les performances attendues du cahier des charges, nous utiliserons donc ce montage « optimisé » de photodétection avec une résistance $R_T = 1M\Omega$ pour obtenir une sensibilité assez importante et un signal jusqu'à la fréquence de 100kHz permettant d'obtenir une rapidité de photodétection plus importante que la vitesse de transfert de l'information.