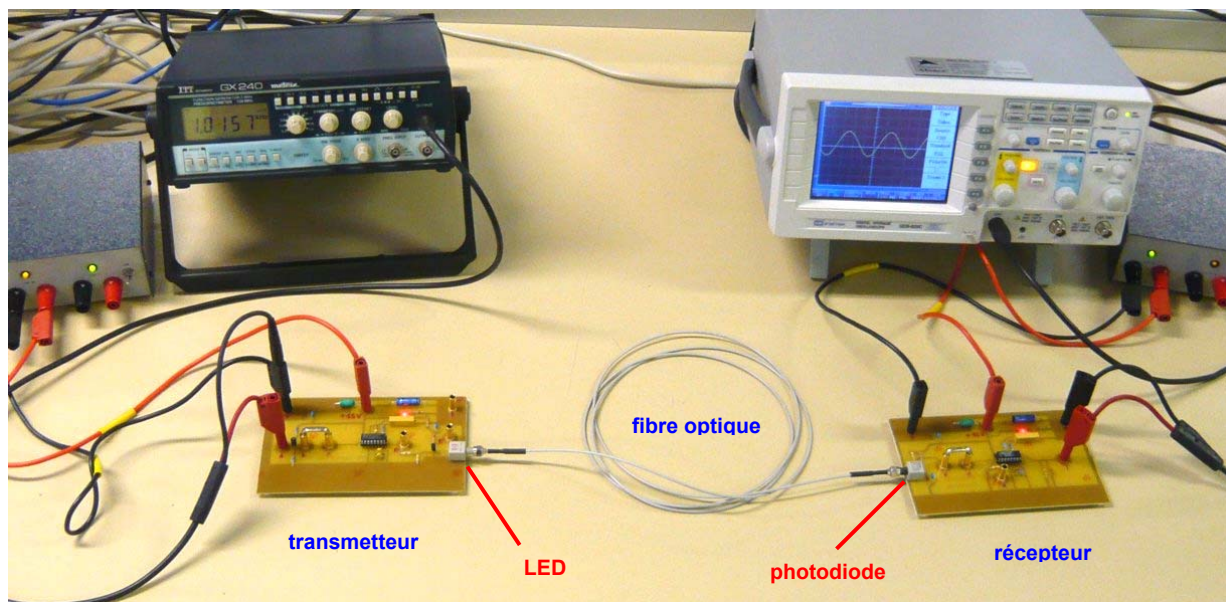




Transmission FM sur fibre optique

L'utilisation d'une fibre optique permet de transporter un signal sur de grandes distances avec une très bonne immunité aux parasites. Le signal optique qui y transite est insensible aux perturbations électromagnétiques.

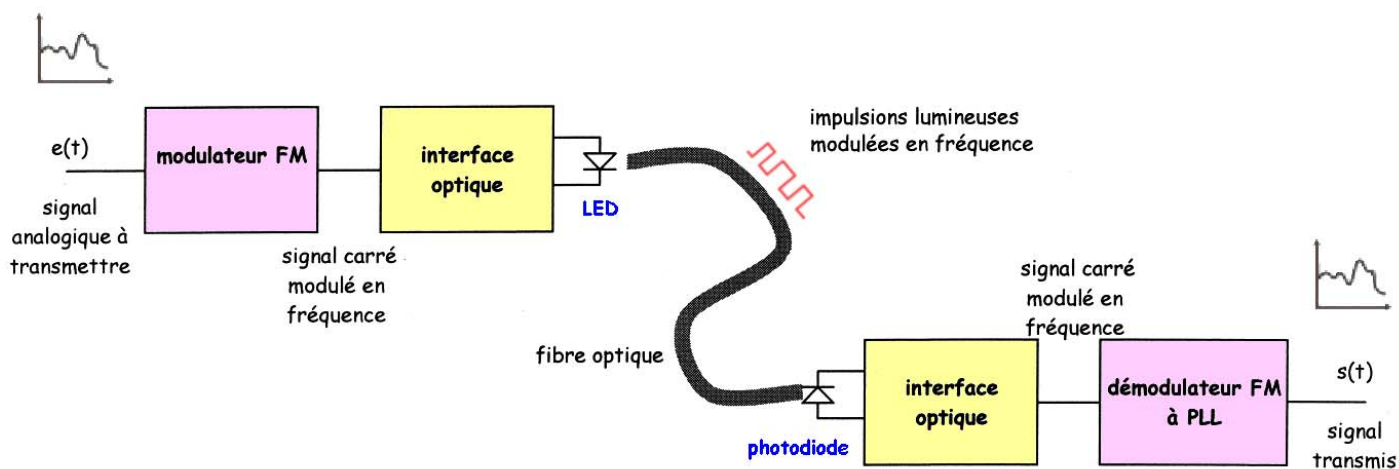
Sur une fibre optique, le signal n'est jamais transmis de manière analogique. Il circule sous la forme d'impulsions lumineuses, avec un débit qui peut être très élevé (plusieurs dizaines de Gbits/s).



On se propose d'étudier la transmission d'un signal audiofréquence à travers une fibre optique à l'aide d'un faisceau de lumière infrarouge.

La technique de transmission utilisée est la suivante :

- le signal analogique module en fréquence une porteuse carrée à 100 kHz
- la porteuse modulée est transformée en impulsions lumineuses (infrarouge) de même fréquence par une LED
- ce signal lumineux transite sur la fibre et arrive sur la photodiode de réception
- l'interface de réception transforme le signal lumineux en signal électrique
- le signal reçu est démodulé pour en extraire l'information à transmettre

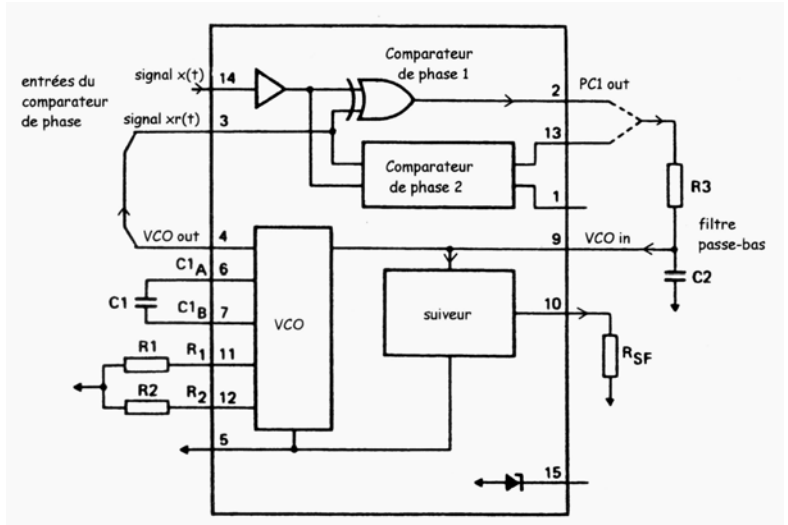


Attention : la fibre optique est fragile... ne pas la manipuler inutilement et toujours avec soin.

Activité 1 : composants associés au CD4046

Le modulateur FM ainsi que le démodulateur à boucle à verrouillage de phase sont construits autour d'un CD4046 qui contient un VCO, deux types différents de comparateurs de phase et un suiveur de tension.

- on utilisera dans ce TP le comparateur de phase I qui est un simple OU Exclusif.
- la plage de fréquence couverte par le VCO est fixée par les composants R_1 , R_2 et C_1 en fonction d'abaques fournies par le constructeur.
- l'étage suiveur recopie le signal VCO_{in} et permet de l'utiliser sans charger le filtre.
- ce circuit est en technologie CMOS, il ne fait donc pas appliquer directement sur son entrée des signaux sortant de la plage des niveaux CMOS (0-15V).



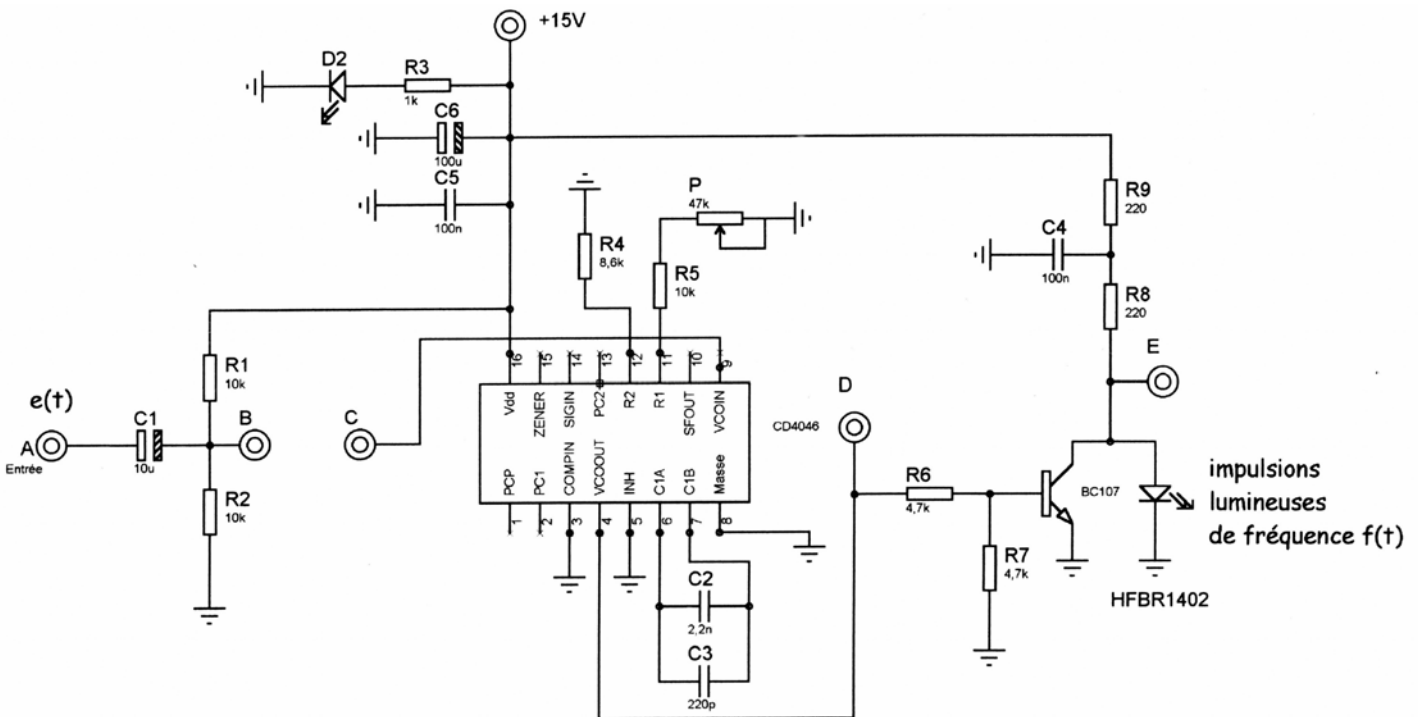
Relever sur la carte les valeurs des composants R_1 , R_2 et C_1 associés au circuit. Vérifier qu'ils correspondent aux valeurs donnés sur le schéma de la page suivante (attention : la numérotation des composants n'est pas la même !).

A partir des abaques fournies par le fabricant du CD4046, évaluer l'ordre de grandeur de la fréquence centrale du VCO, de la plage de fréquence couverte et de sa pente.

Relever sur la carte les valeurs des composants R_3 et C_2 . En déduire la fréquence de coupure du filtre passe-bas placé entre PC1out et VCOin.

Activité 2 : étude du VCO

Le modulateur utilise le VCO du CD4046 et son schéma est le suivant :



Relier B et C pour appliquer 7,5V à l'entrée du VCO et régler la résistance ajustable P pour avoir à la sortie du VCO (au point D) un signal de fréquence $f_0 = 100$ kHz.

Oter la liaison entre B et C, appliquer une tension continue V sur l'entrée du VCO (borne C) et relever les variations de la fréquence de sortie F du signal en fonction de la tension de commande V et tracer la caractéristique du VCO.

A partir de cette caractéristique, déterminer la pente K_0 en Hz/V, puis en rad/s.V de ce VCO autour de 100 kHz.

Activité 3 : modélisation du VCO

On relie maintenant B et C. Donner l'expression de la fréquence de sortie $F(t)$ en D en fonction du signal $e(t)$, de la fréquence centrale f_0 et de la pente K_0 .

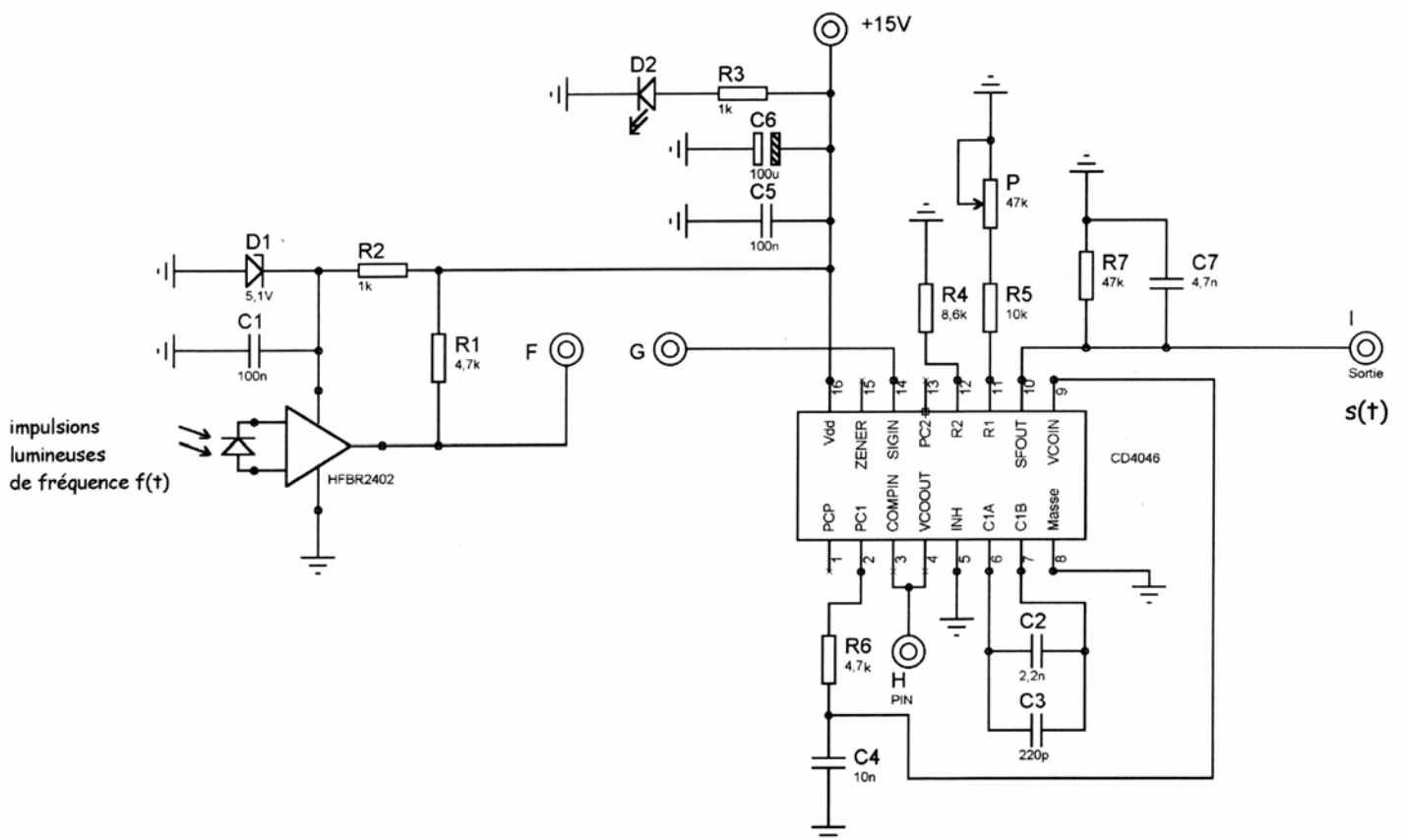
Dans la suite du TP, on ne s'intéresse qu'aux variations $f(t)$ de la fréquence $F(t)$. Exprimer $f(t)$ en fonction du signal $e(t)$ et de la pente K_0 et en déduire la transmittance $T_m(p)$ du modulateur qui se réduit à une simple constante. Compléter le schéma fonctionnel.

Activité 4 : commande de la LED

Relever l'oscillogramme du signal en E, en déduire la valeur du courant dans la LED infrarouge HFBR1402 et justifier la valeur de la résistance de base R_6 du transistor. Quel est le rôle de la résistance R_7 ?

Activité 5 : modélisation du démodulateur

La structure du démodulateur est la suivante :



Relier l'entrée G à la masse. La boucle à verrouillage de phase n'a pas de signal d'entrée et le VCO oscille alors à sa fréquence centrale f_c . Régler le potentiomètre P pour avoir en H une fréquence $f = f_c = 100$ kHz.

La PLL est câblée avec le comparateur de phase à OU exclusif PC1 qui donne un signal dont la valeur moyenne est proportionnelle au déphasage. La transmittance de ce comparateur de phase s'écrit $K_d = V_{dd}/\pi$. Justifier ce résultat en raisonnant sur des déphasages simples.

On note K'_0 la pente du VCO du démodulateur qui peut être différente de K_0 à cause de la dispersion sur les composants. Compléter le schéma fonctionnel de la feuille réponse. Justifier la présence des 2 bloc « $2\pi/p$ ».

A partir du schéma fonctionnel, établir la transmittance en boucle fermée du démodulateur qu'on mettra sous la forme :

$$T_d(p) = \frac{S(p)}{f(p)} = \frac{A}{1+Bp+Cp^2} \quad \text{en exprimant A, B et C en fonction de } K'_0 \text{ et } \tau' = R_6.C_4$$

Activité 6 : fonctionnement du démodulateur

Appliquer en G un signal carré (niveau bas à 0V, niveau haut entre 10 et 15V) et de fréquence 100 kHz. En visualisant les signaux en G et H, vérifier que la boucle est bien verrouillée.

Mesurer le déphasage entre les deux signaux et expliquer sa valeur. Mesurer les plages de verrouillage et de capture de la boucle.

Activité 7 : caractérisation du démodulateur

Dans la plage de fonctionnement de ce démodulateur, relever les variations de la tension de sortie en I en fonction de la fréquence du signal injecté. En déduire la pente en V/Hz de ce démodulateur, puis la constante K'_0 du VCO.

En tenant compte de cette valeur de K'_0 , calculer la fréquence propre f_0 et l'amortissement m de ce système bouclé. Prévoir l'allure du signal de sortie si la fréquence à l'entrée saute brutalement de 95 à 105 kHz.

Activité 8 : fonctionnement de chaîne de transmission complète

A partir des résultats précédents, donner l'expression de la transmittance $T_c(p) = S(p)/E(p)$ du système de transmission complet. En déduire sa transmittance statique T_{co} , son ordre, sa fréquence propre et son amortissement.

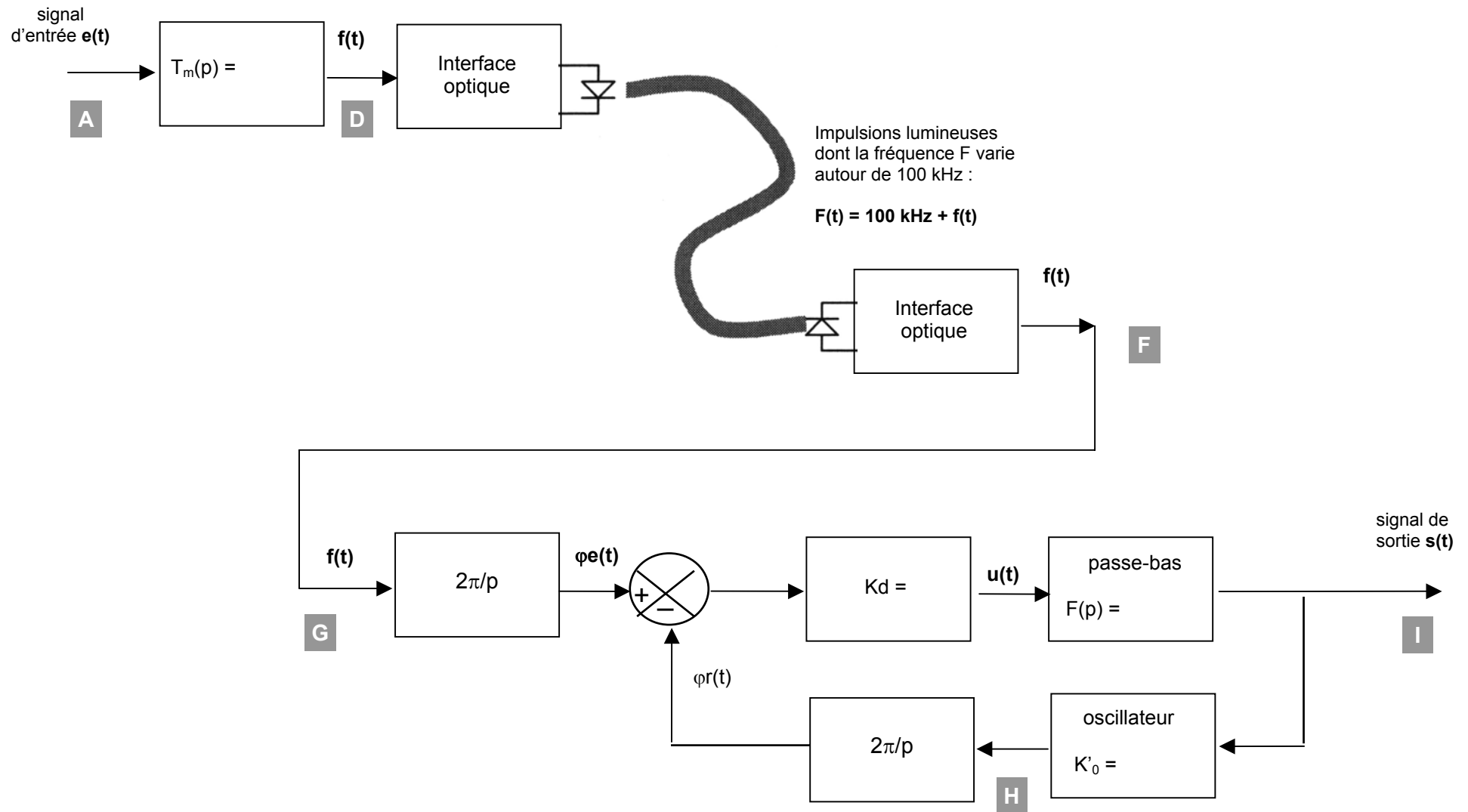
Sur le modulateur, relier B et C et injecter à l'entrée un signal sinusoïdal d'amplitude 1V et de fréquence voisine de 1 kHz. Sur le démodulateur, relier F et G, enlever les capuchons des interfaces optiques et relier les 2 cartes avec la fibre optique qu'on manipulera avec précaution. Vérifier qu'on récupère bien en sortie un signal $s(t)$ voisin de $e(t)$.

Activité 9 : qualités audio de la chaîne de transmission

Pour vérifier la qualité de la liaison, on propose de faire les tests suivants :

- **réponse en fréquence** : relever avec Audiotester la courbe de gain $|T_c(jf)|$ du système complet entre 20 Hz et 20 kHz. Justifier la forme de la courbe, la position de la coupure, la pente après la coupure
- **distorsion** : avec Audiotester, mesurer la distorsion harmonique du système de transmission à 1 kHz
- **réponse en signaux carrés** : pour un signal $e(t)$ carré, relever l'oscillogramme de $s(t)$ et justifier l'allure du régime transitoire à partir des propriétés de la transmittance
- **réponse en signaux réels** : injecter un signal $e(t)$ musical, relier la sortie à un ampli+haut-parleur et vérifier à l'oreille le bon fonctionnement de la liaison audio sur fibre optique

Schéma fonctionnel du système de transmission



► Transmission FM sur fibre optique : réponses

Rédacteur :

Binôme :

Date :

Activité 1 : composants associés au CD4046

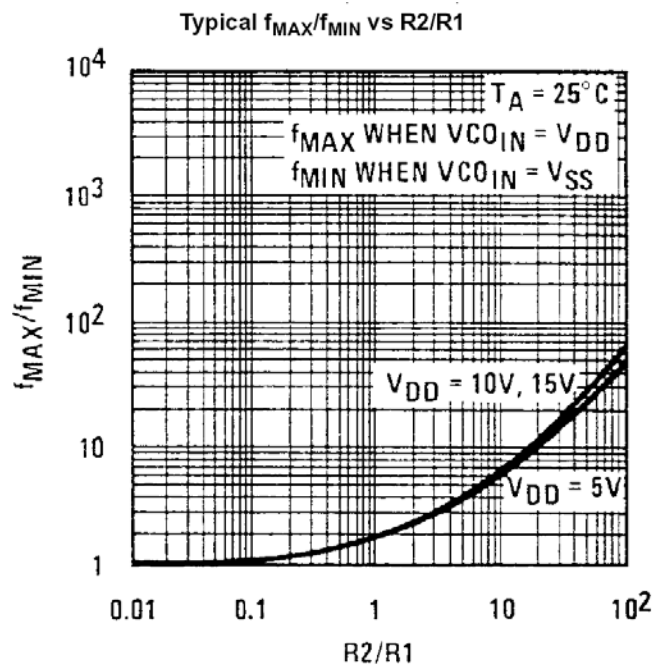
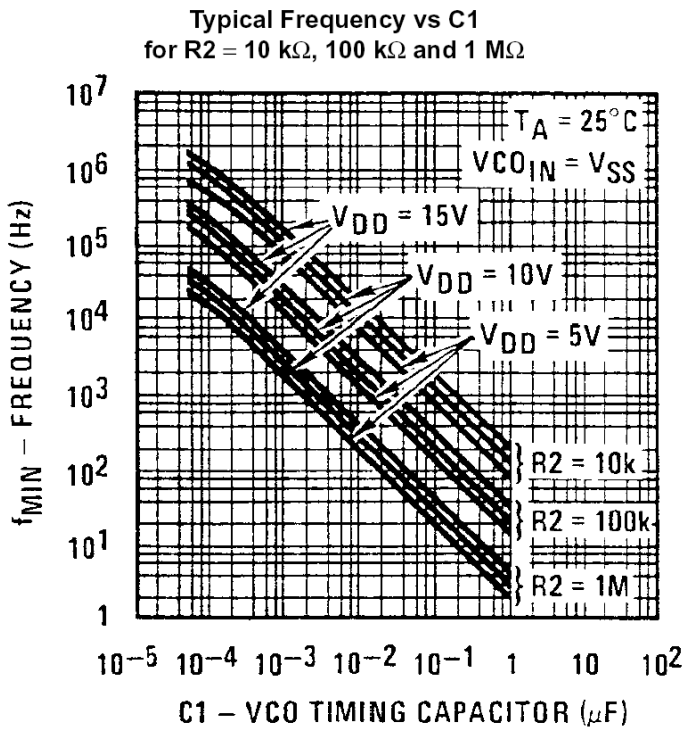
⇒ pour le VCO :

Valeurs relevées sur la carte : $R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$ $C_1 = \dots\dots\dots$

Valeurs relevées sur le schéma : $R_1 = \dots\dots\dots$ (valeur moyenne de $R_5 + P$)

$R_2 = \dots\dots\dots$ (R_4) $C_1 = \dots\dots\dots$

Données constructeur pour le CD4046 :



On prévoit les valeurs approchées suivantes, pour $R_1 \approx \dots\dots\dots$ $R_2 \approx \dots\dots\dots$ et $C_1 \approx \dots\dots\dots$

$f_{min} \approx \dots\dots\dots$ $f_{max}/f_{min} \approx \dots\dots\dots$ $f_{max} \approx \dots\dots\dots$ pente $K_0 \approx \dots\dots\dots$ Hz/V = $\dots\dots\dots$ rad/s.V

⇒ pour le filtre :

Valeurs relevées sur la carte : $R_3 = \dots\dots\dots$ $C_2 = \dots\dots\dots$

Fréquence de coupure du filtre : $f_c = \dots\dots\dots$

Conclusions : $\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

Activité 2 : étude du VCO

⇒ **Caractéristique du VCO** : > voir courbe n°

pende mesurée : $K_0 \approx$ Hz/V = rad/s.V

Conclusion :

.....

Activité 3 : modélisation du VCO

- $F(t) =$
- $F(t) = 100 \text{ kHz} + f(t)$ soit $f(t) =$

Voir schéma fonctionnel du modulateur complété.

Activité 4 : commande de la LED

⇒ **Oscillogramme** : > voir courbe n°

Fonctionnement :

.....

.....

Le courant dans la Led vaut : $I_{led} =$

Pour bien saturer le transistor, il faut un courant base de l'ordre de : $I_{bmin} =$

Ce qui correspond à une résistance de base : minimale maximale de $R_b =$

Conclusion :

.....

Rôle de R_7 :

.....

Activité 5 : modélisation du démodulateur

Voir schéma fonctionnel du démodulateur complété.

Rôle des 2 bloc « $2\pi/p$ » : :

.....

Transmittance en boucle fermée : $T_d(p) = \frac{S(p)}{f(p)} = \frac{A}{1+Bp+Cp^2} =$

avec A =

B =

C =

Activité 6 : fonctionnement du démodulateur

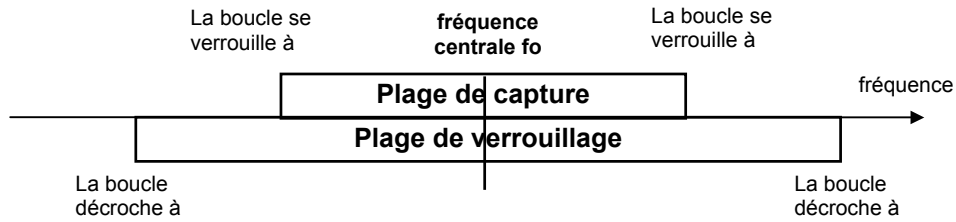
⇒ **Oscillogramme en G et H** : > voir courbe n°

Les signaux sont déphasés de : $\varphi =$

Rôle du déphasage :

.....

Plages de verrouillage et de capture :

**Activité 7 : caractérisation du démodulateur**

⇒ **Caractéristique du démodulateur** : > voir courbe n°

pente mesurée : $K'_0 \approx$ Hz/V = rad/s.V

La transmittance en boucle fermée : $T_a(p) = \frac{S(p)}{f(p)} = \frac{A}{1 + Bp + Cp^2}$

- pulsation propre du système : $\omega_0 =$ rad/s
 - amortissement : $m =$
- fréquence propre : $f_0 =$ Hz

Conclusion : si la fréquence d'entrée varie en échelon, le système répond

sans dépassement avec dépassement de %

avec un temps de réponse à 5% de : $t_{r5\%} =$

Activité 8 : fonctionnement de chaîne de transmission complète

Transmittance du système complet :

$T_c(p) = S(p)/E(p) =$

système du premier ordre système du second ordre système du troisième ordre

transmittance statique : $T_{C0} =$ fréquence propre : $f_0 =$ Hz amortissement : $m =$

Le système produit bien en sortie un signal $s(t)$ voisin de $e(t)$: oui non

Activité 9 : qualités audio de la chaîne de transmission

⇒ **Courbe de réponse en fréquence :** > voir courbe n°

Commentaires :

.....
.....
.....

⇒ **Distorsion à 1 kHz :** > voir courbe n°

Commentaires :

.....
.....
.....

⇒ **Réponse en signaux carrés :** > voir courbe n°

Commentaires :

.....
.....
.....

⇒ **Réponse à des signaux réels :**

Commentaires :

.....
.....
.....

