

Département Génie Logiciel  
**Compte Rendu TP Télécom**

# La modulation et démodulation de phase

Réalisé par:

**Mahjoub Mohamed Saber**

Année académique 2023/2024

# I - Modulation de phase:

## 1. Introduction et théorie : 📝

La modulation de phase (**Phase Modulation**) est une technique de modulation où la phase de la porteuse est modifiée pour représenter les données, permettant ainsi la transmission d'informations sur un signal porteur sans changer son amplitude. Ce type de modulation est non-linéaire

Soit une porteuse :

$$x_p(t) = A \cos(\omega_p t + \phi(t))$$

La phase instantanée de la porteuse est donnée par :

$$\Omega(t) = \omega_p t + \phi(t)$$

Soit un signal modulant :

$$m(t)$$

Moduler en phase le signal revient à effectuer l'opération suivante :

$$\phi(t) = K_p \cdot m(t)$$

Le signal modulé s'écrit :

$$e(t) = A \cos(\omega_p t + K_p m(t))$$

## Cas d'un signal sinusoïdal :

Soit un signal modulant sinusoïdal :

$$m(t) = A_m \cos(\omega_m t)$$

Le signal modulé devient alors :

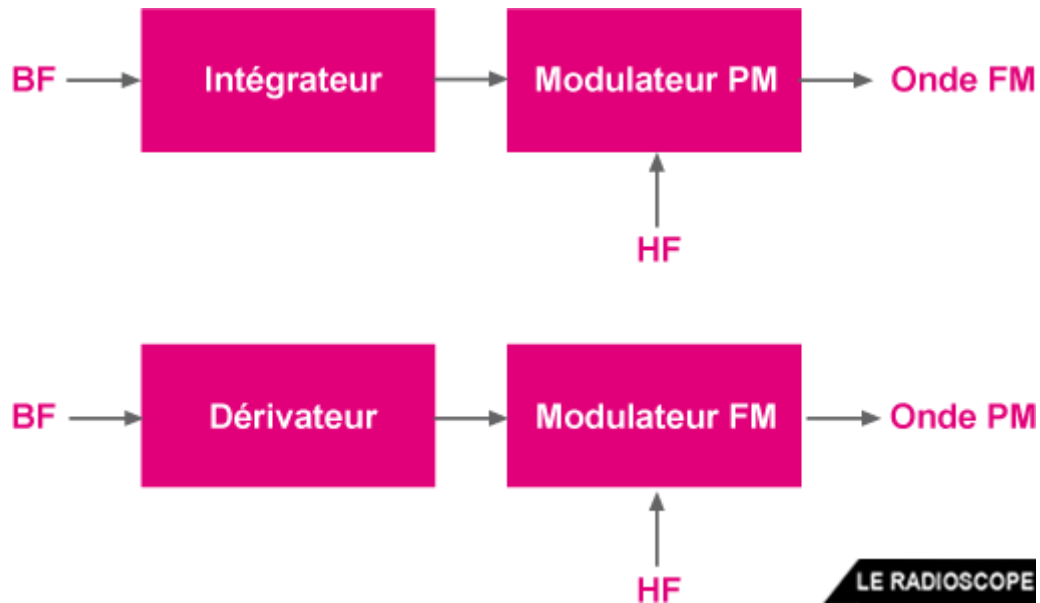
$$e(t) = A \cos(\omega_p t + K_p A_m \cos(\omega_m t))$$

On remarque que

$\phi(t)$  varie entre  $\phi(t) - \Delta\phi$  et  $\phi(t) + \Delta\phi$ , où  $\Delta\phi$  représente la déviation maximale de phase.

Dans le cas particulier d'un signal modulant sinusoïdal, la différence entre **FM** et **PM** ne se traduit que par une variation de phase de  $\pi/2$ .

En général, le signal PM est un signal FM dont le signal modulant a été **dérivé**.



## 2. Application :

Les systèmes de communication modernes en raison de leur **efficacité spectrale** et de leur capacité à transporter des données avec une **bonne efficacité en bande passante**.

- la téléphonie mobile
- les transmissions satellite
- les communications par radio

## 3. Composants requis:

Comme mentionné dans la partie introduction, nous allons procéder à la modulation à partir de la modulation de fréquence qu'on a fait la dernière séance : Pour cela, il suffit de rajouter un circuit dérivateur avant le circuit de modulation FM

### Circuit dérivateur simple:

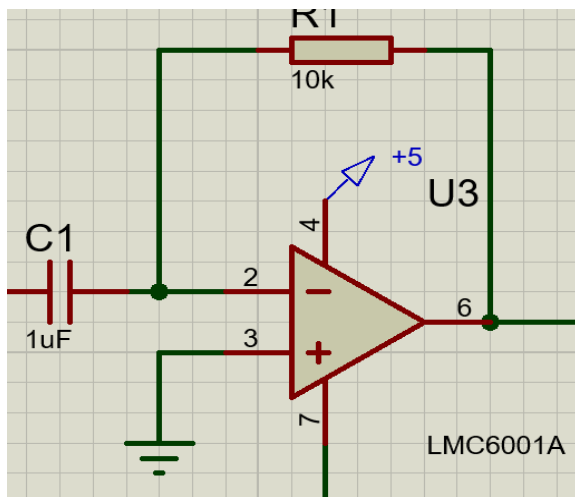
Le circuit dérivateur, constitué d'un condensateur en série avec une résistance, est un élément clé dans la transformation de la **modulation de fréquence (FM)** en **modulation de phase (PM)**. Lorsque le signal modulant est appliqué à ce circuit, le condensateur

réagit rapidement aux changements de tension, générant ainsi un courant à travers la résistance proportionnelle à la dérivée temporelle du signal d'entrée. En conséquence, la tension de sortie à travers la résistance est directement proportionnelle à la dérivée temporelle du signal modulant, fournissant ainsi une représentation des variations rapides du signal modulant en termes de phase. Cela permet d'effectuer une conversion efficace de la modulation de fréquence en modulation de phase.

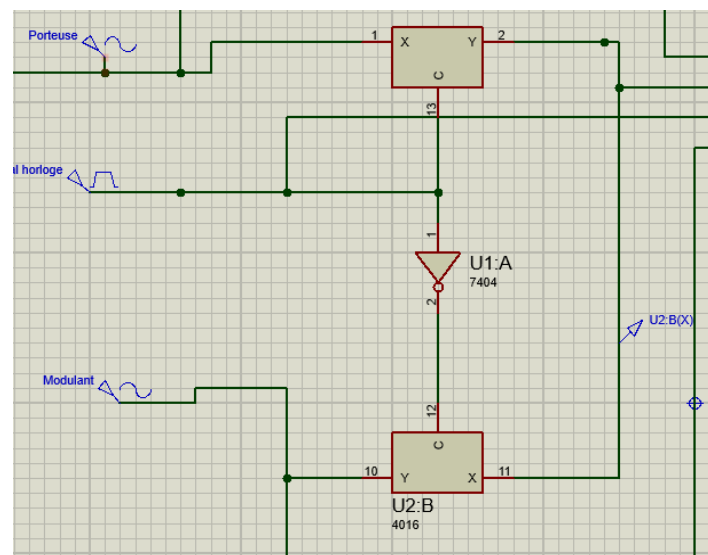
Néanmoins, il est crucial de souligner que ce type de circuit est **sensible au bruit** et peut amplifier les composantes à haute fréquence indésirables du signal d'entrée. Pour cette raison, les circuits dérivateurs sont souvent utilisés avec prudence et des filtres sont parfois ajoutés pour atténuer les fréquences indésirables et améliorer la qualité du signal de sortie.

#### 4. Montage réalisé avec Proteus 8 :

Nous avons utilisé comme AmpliOp celui avec la référence : **LMC6001A**

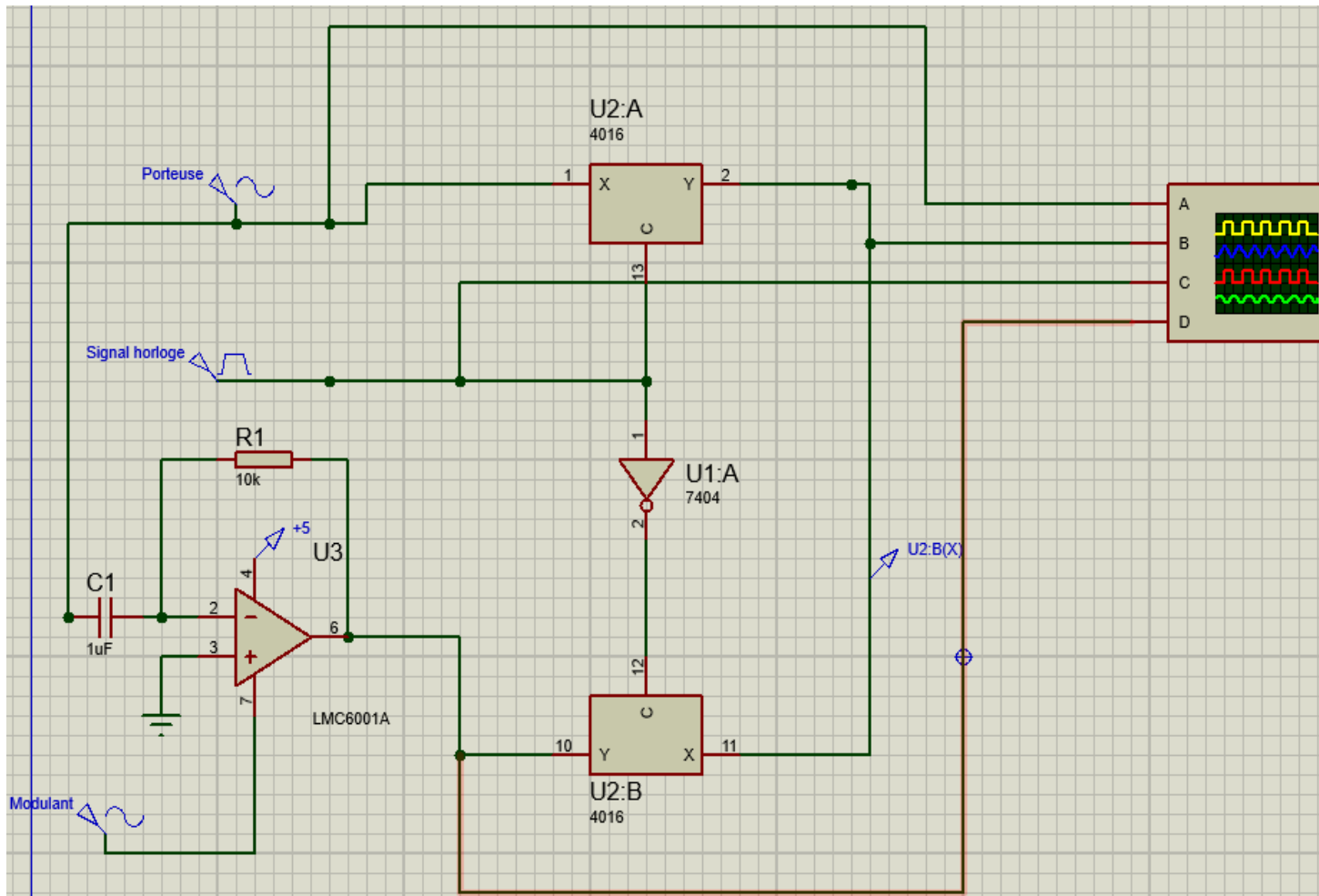


Nous disposons du circuit du modulateur **FM**



Nous mettons ainsi le dérivateur suivi du circuit du modulateur **FM**

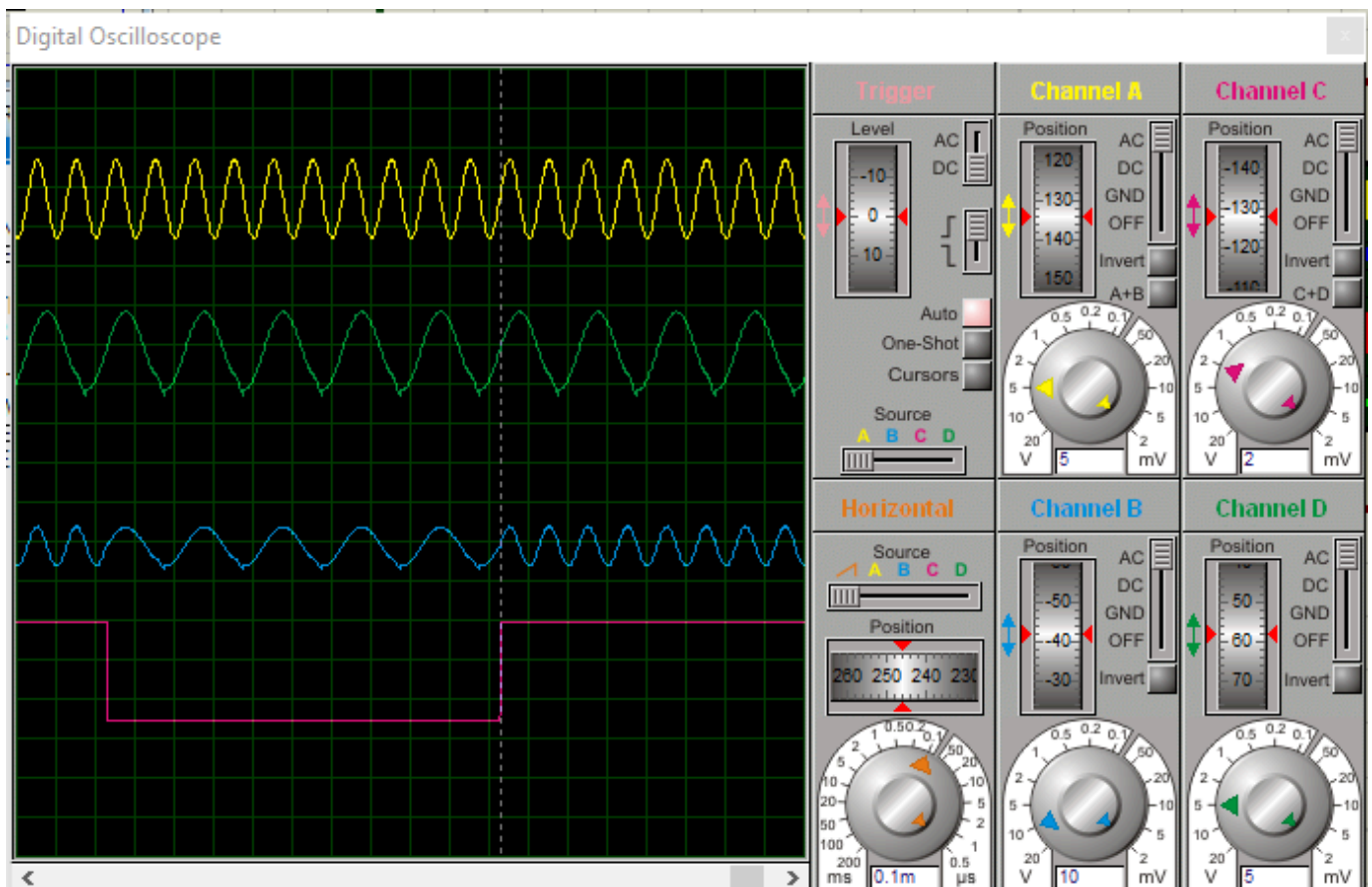
- La **porteuse** est reliée au condensateur
- le signal modulant par l'**entrée 7** du AmpliOp.
- L'**entrée 4** du AmpliOp est alimenté par une tension de 5V
- La borne **positive** est reliée à la masse.



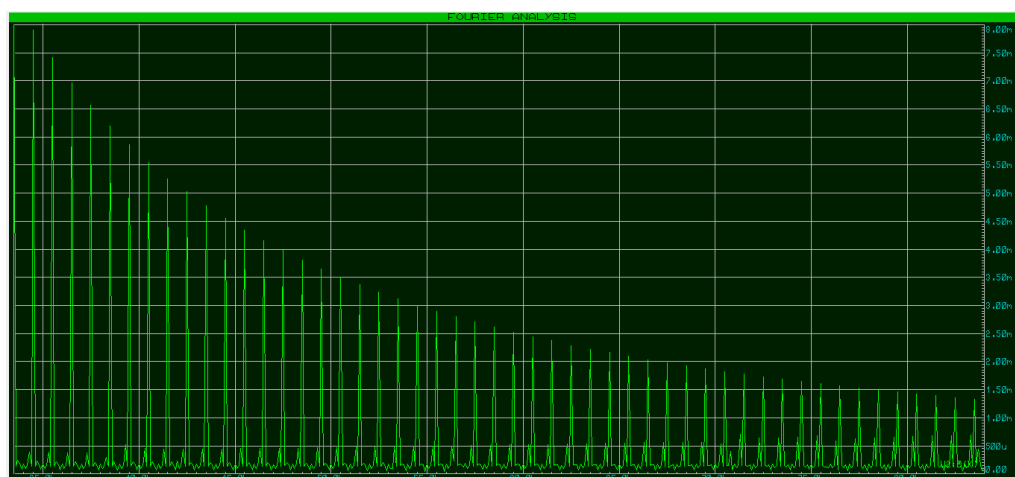
## 5. Affichage des résultats et simulation :

Nous avons utilisé pour cela :

- Un **analogue** (pour représenter le comportement fréquentiel du signal modulé)
- Un **oscilloscope** pour simuler les différents signaux dans le domaine temporel.



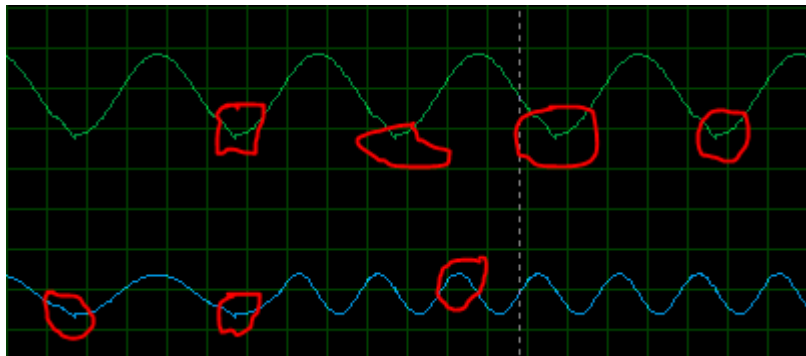
- Le signal en **jaune** : porteuse
- Le signal en **vert** : signal modulant
- Le signal en **bleu** : signal modulé en phase
- Le signal en **rouge** : signal horloge



## 6. Constatations et remarques:



- Le spectre du signal modulé est très ressemblant à celui de la FM
- Le signal modulé en fonction du temps est identique à celui de la FM
- Le signal modulé PM est peu sensible au bruit par rapport à FM, mais le circuit dérivateur a engendré des petites déviations dans le signal.



## II - Démodulation de phase:

### 1. Introduction et théorie :

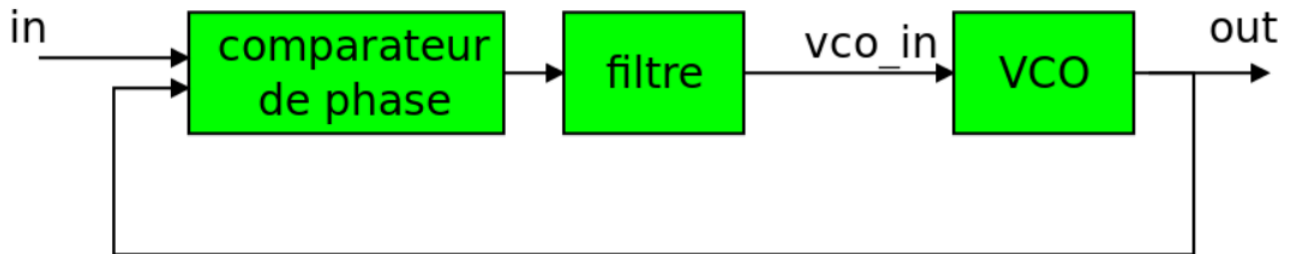


La démodulation de phase (**Phase Demodulation**) est le processus qui consiste à extraire les informations d'un signal modulé pour récupérer le signal original. Pour la démodulation de la modulation de phase, nous nous concentrons sur la récupération de la modulation de l'angle de phase de la porteuse, qui est altérée pour transporter les données.

La technique de démodulation d'un signal PM revient à démoduler un signal FM puis à faire suivre le démodulateur par un intégrateur.

En FM, l'indice de modulation est  $\Delta\phi_s = \frac{2\pi v}{\omega m} A_m$  et l'angle de phase du signal modulé est proportionnel à l'intégrale du message modulant. L'indice de modulation  $\delta = \frac{\Delta f_s}{f_m}$  en phase et l'angle de phase du signal modulé est proportionnel au message modulant. Cependant, pour pouvoir démoduler sans ambiguïté un signal PM, Il est nécessaire que l'excursion de phase ne dépasse pas .

Donc la modulation PM n'est employée qu'avec de faibles indices de modulation ( $\delta_p < \Pi$ ). De ce fait, la modulation PM est une modulation à bande étroite.



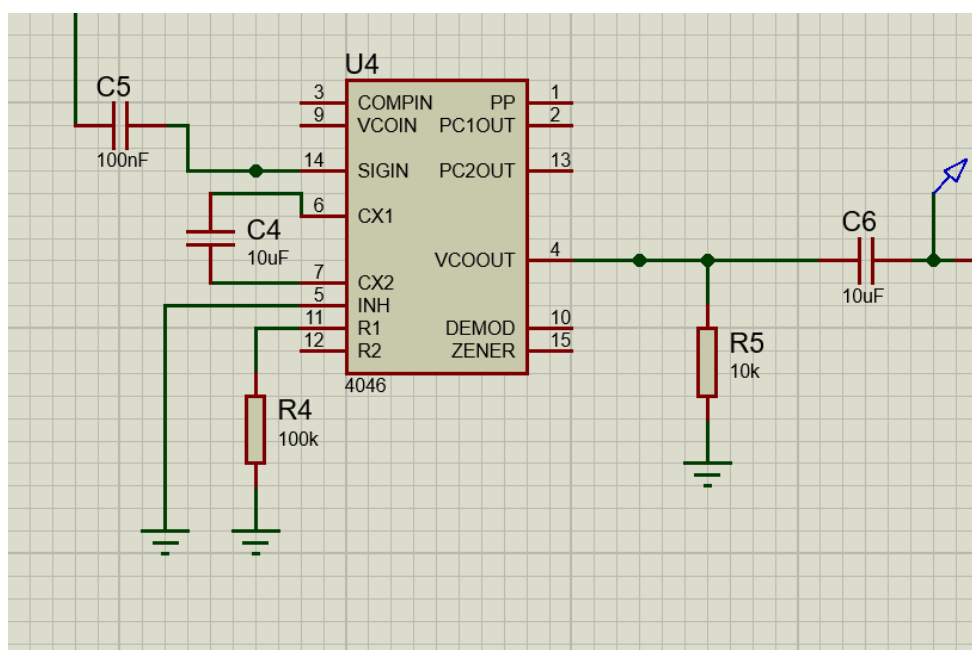
## 2. Démodulation FM: Composants requis:

En premier lieu, nous allons procéder à démoduler un signal FM.

Il existe plusieurs manières et plusieurs circuits pour démoduler un circuit FM, nous avons choisis un Détecteur de phase à verrouillage de phase (**PLL**) : Ce circuit utilise **une boucle à verrouillage de phase** pour suivre la phase du signal d'entrée et générer une sortie démodulée. Il est couramment utilisé pour la démodulation de signaux à modulation de phase continue (CPM) et d'autres types de signaux modulés en phase.

### A. Un PLL 4046

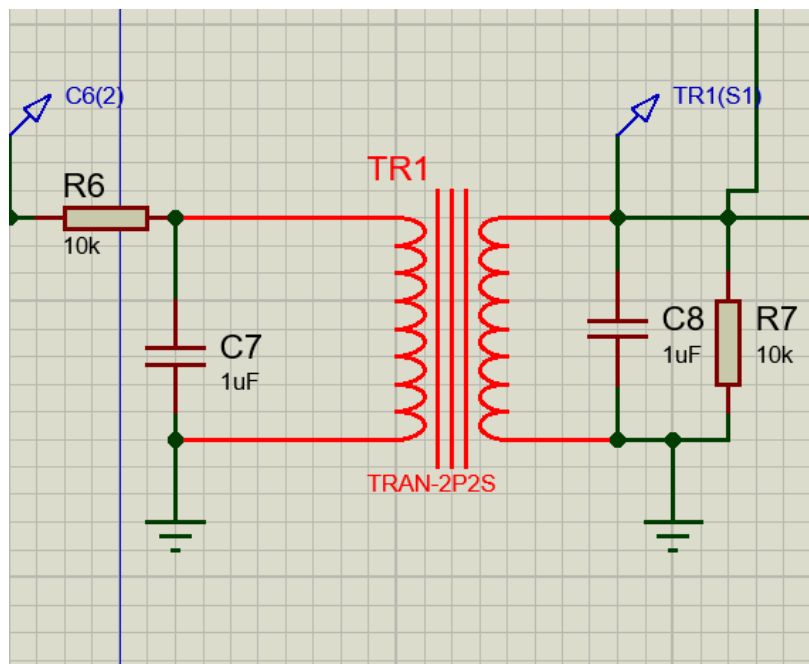
Nous avons choisis le circuit intégré **PLL 4046**, le signal FM est l'entrée principale à travers le condensateur **C5**:



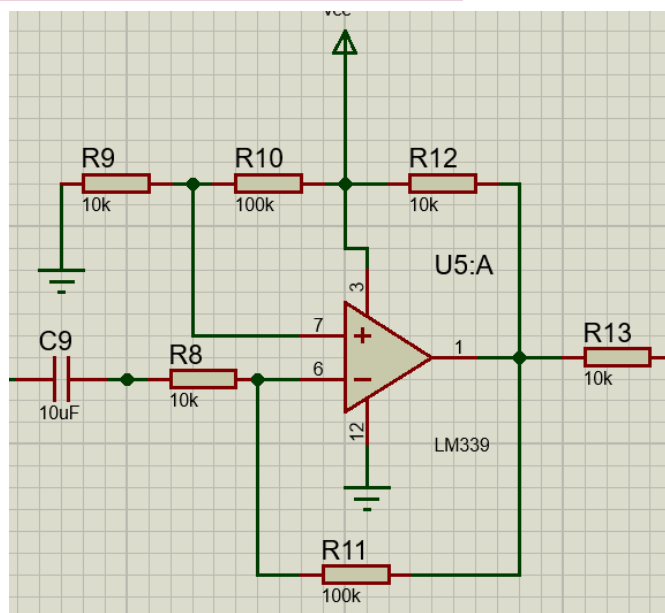


## B. Un Détecteur de FM- TRAN-2P2S

Dans certains circuits de démodulation FM, un transformateur peut être utilisé comme élément clé du détecteur de FM. Le signal modulé en fréquence est appliqué au transformateur, et les variations de fréquence modifient le flux magnétique à travers le transformateur, ce qui induit une tension proportionnelle à la fréquence.



## C. Comparateur / amplificateur du signal :



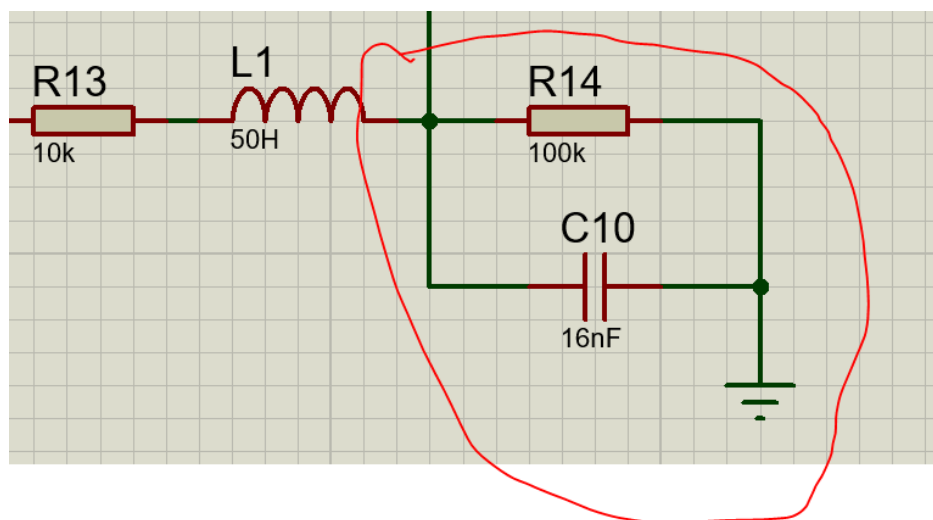
Un amplificateur opérationnel joue le rôle d'un :

1. **Détecteur de l'enveloppe:** L'amplificateur opérationnel est configuré pour fonctionner comme un comparateur. Il compare le signal d'entrée FM avec une référence, généralement une tension de seuil fixe.
2. **Convertisseur de fréquence en amplitude:** Comme le signal FM varie en fréquence, le comparateur détecte ces variations par rapport à la tension de référence fixe. Ainsi, lorsque la fréquence du signal FM dépasse la fréquence de référence, le comparateur produit une sortie haute, et lorsqu'elle est inférieure, il produit une sortie basse. De cette manière, les variations de fréquence du signal FM sont converties en variations d'amplitude de la sortie du comparateur.

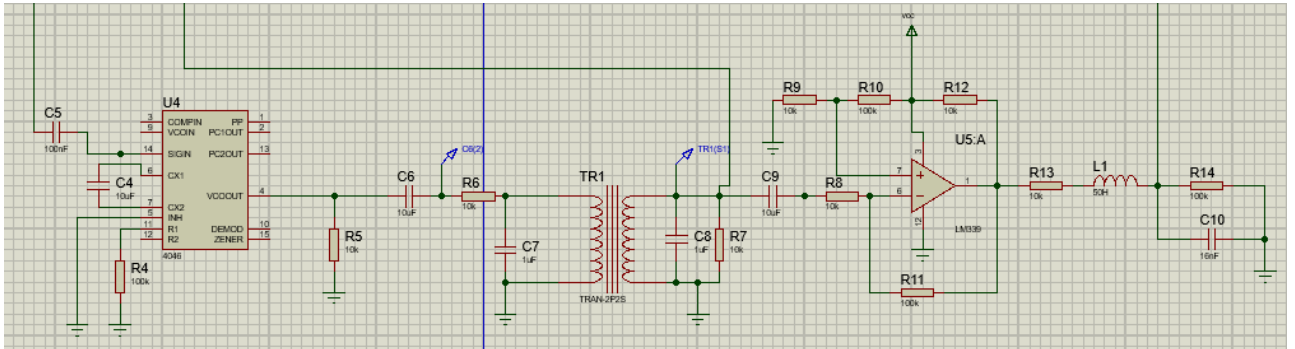
#### D. Filtre passe-bas :

Ce filtre est souvent un filtre passe-bas, conçu pour éliminer les composantes haute fréquence indésirables et ne laisser passer que l'enveloppe du signal. Le rôle de ce filtre est :

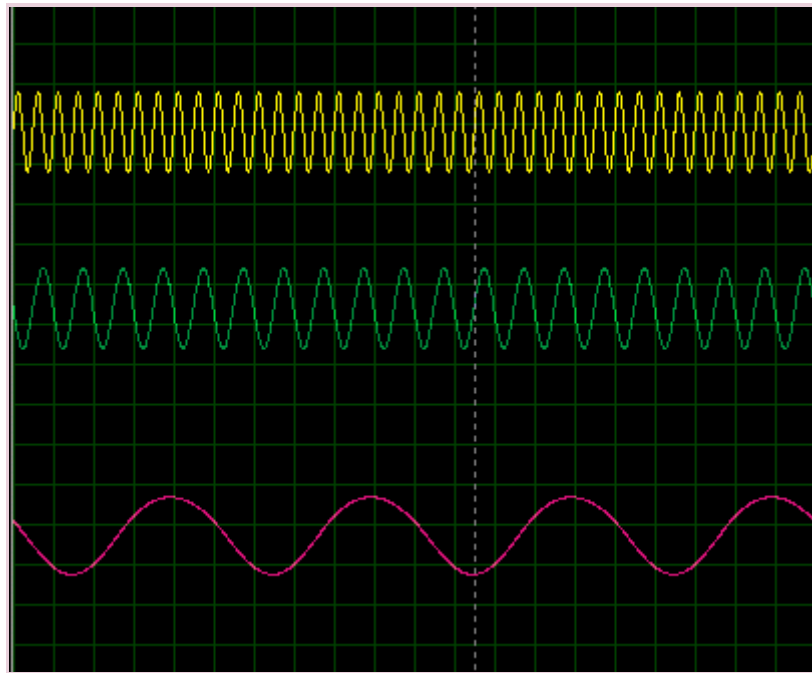
**Élimination des harmoniques des interférences et du bruit - Assurer la qualité:** Le comparateur peut produire des harmoniques, du bruit et d'autres composantes haute fréquence indésirables lorsqu'il convertit les variations de fréquence en variations d'amplitude. Le filtre passe-bas élimine ces composantes indésirables, garantissant ainsi que seul le signal d'enveloppe désiré est transmis et également d'améliorer le rapport signal bruit.



### E. Montage complet :



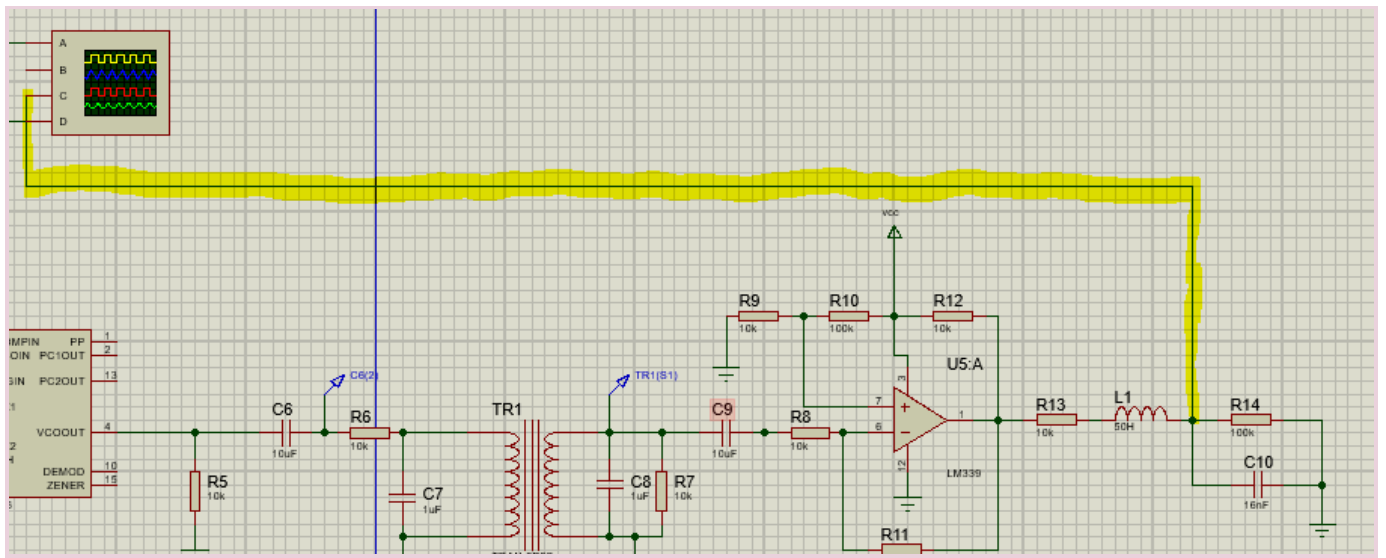
## F. Résultat et affichage :



L'entrée **rouge** de l'oscilloscope est reliée à la sortie du démodulateur FM.

L'entrée **jaune** de l'oscilloscope est reliée à la porteuse.

L'entrée **verte** de l'oscilloscope est reliée au signal modulant.



Pour un signal modulant de fréquence 5kHz et une porteuse de 10kHz, nous remarquons que le signal à la réception de la démodulation FM est en distorsion (**l'amplitude est significativement plus faible mV comparé à V pour le signal modulant, la bande de fréquence est étalée**) ceci est dû à :

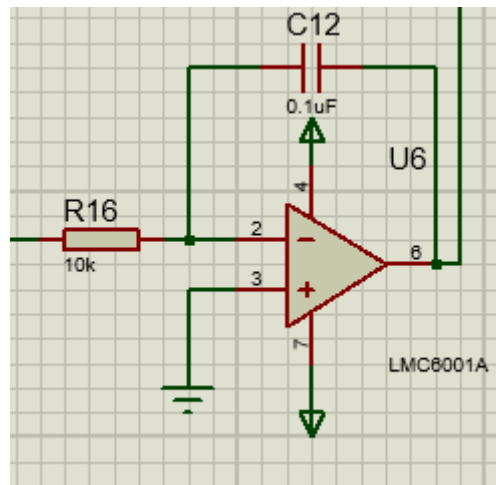
1. **Atténuation du signal:** Si le signal a traversé un canal de transmission avec une atténuation significative, cela peut réduire son amplitude avant même qu'il n'atteigne le récepteur.
2. **Non-linéarités dans les circuits de démodulation:** Les circuits de démodulation, y compris les comparateurs et les filtres, peuvent présenter des non-linéarités qui introduisent des distorsions et un changement dans la forme du signal démodulé.

### 3. Démodulation PM: Composants requis

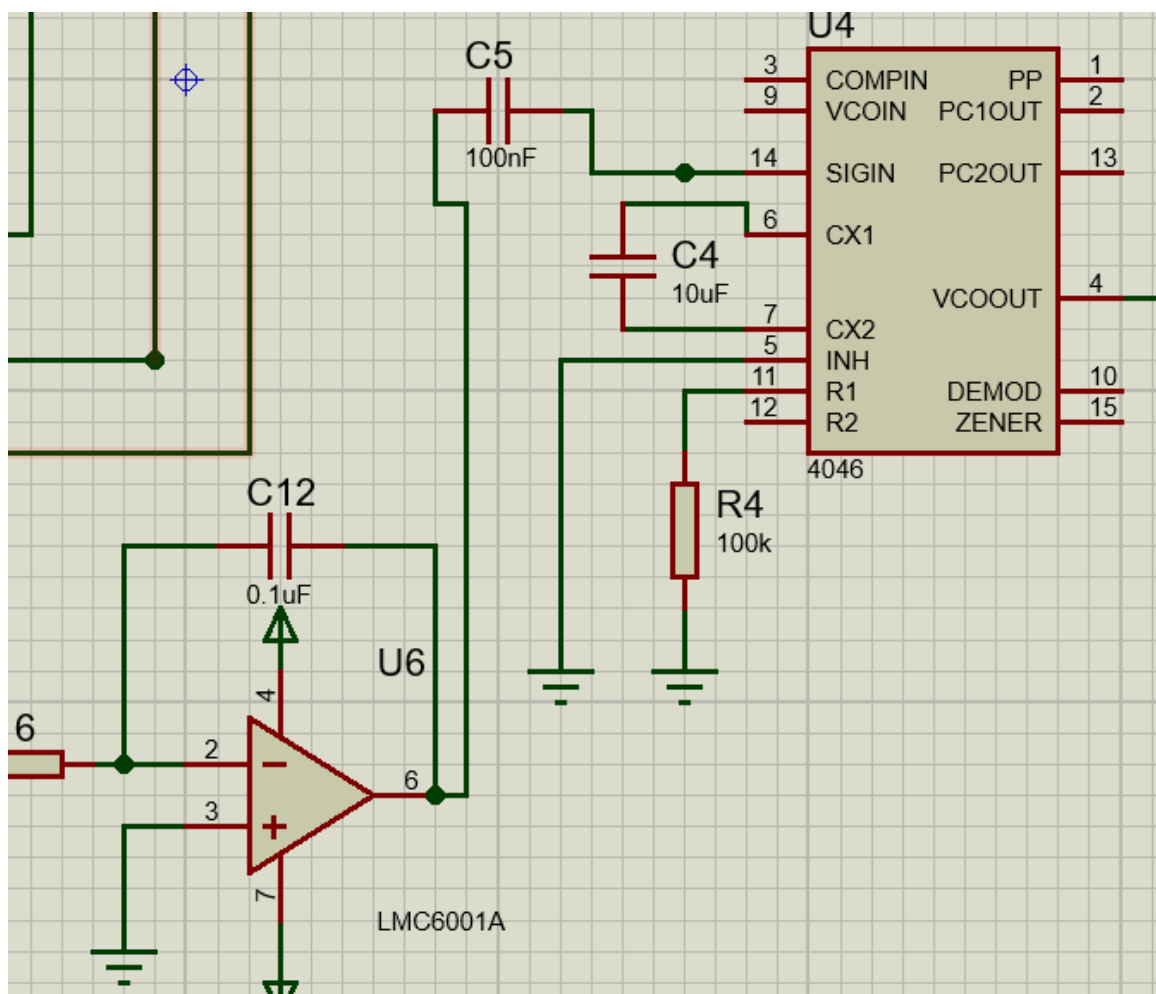
Pour le montage de démodulation PM, on va se baser essentiellement sur le montage de démodulation FM en ajoutant un circuit intégrateur.

- **L'intégration de la sortie du démodulateur FM** permet d'obtenir une estimation de la phase du signal d'origine. En effet, la démodulation FM produit un signal dont la fréquence est proportionnelle à la dérivée de la phase. Par conséquent, l'intégration inverse cette relation, permettant de récupérer la phase elle-même.

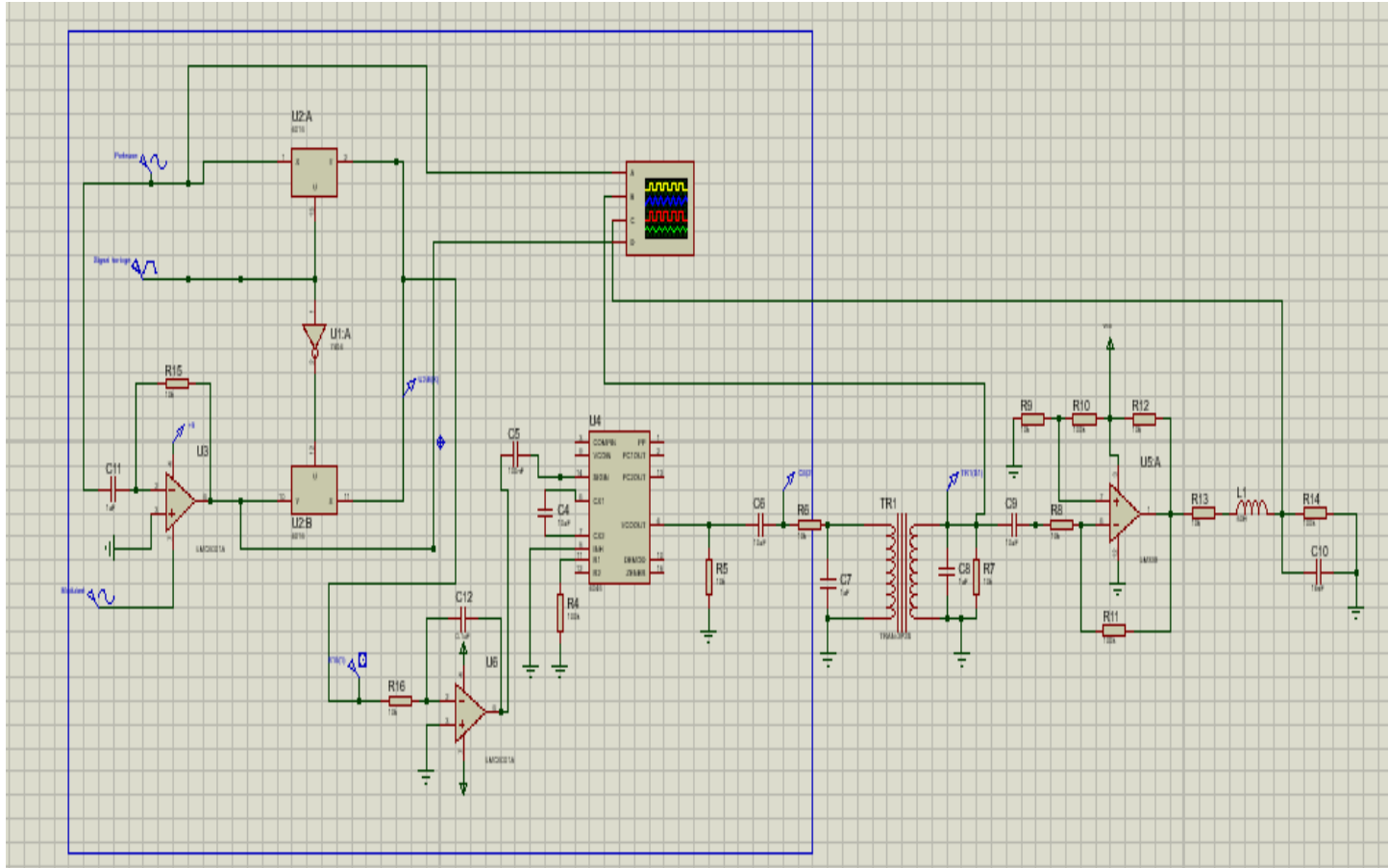
Le circuit de **l'intégrateur** sur **Proteus** :



L'entrée de cet intégrateur (par la résistance **R16**) est le signal FM modulé, sa sortie sera reliée par le démodulateur FM. La liaison est alors la suivante :



Voici le circuit complet de modulation et démodulation PM

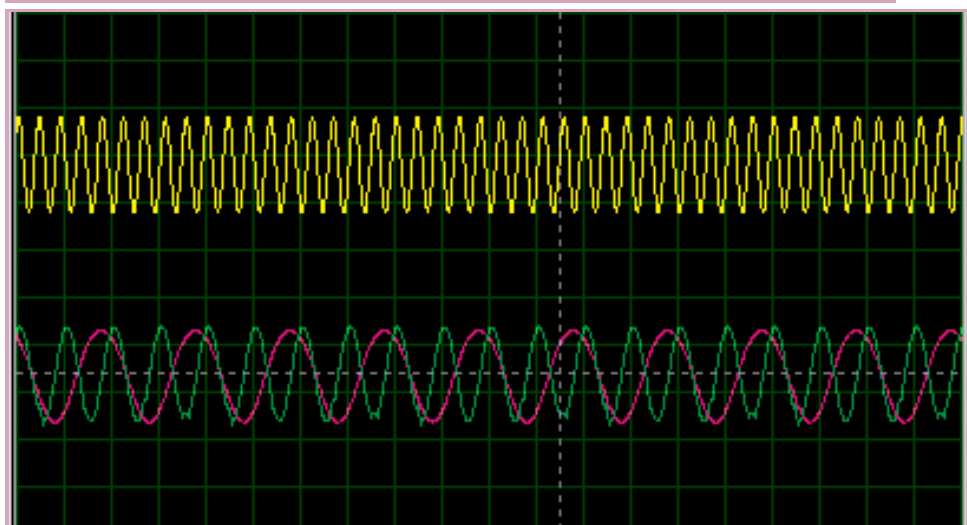
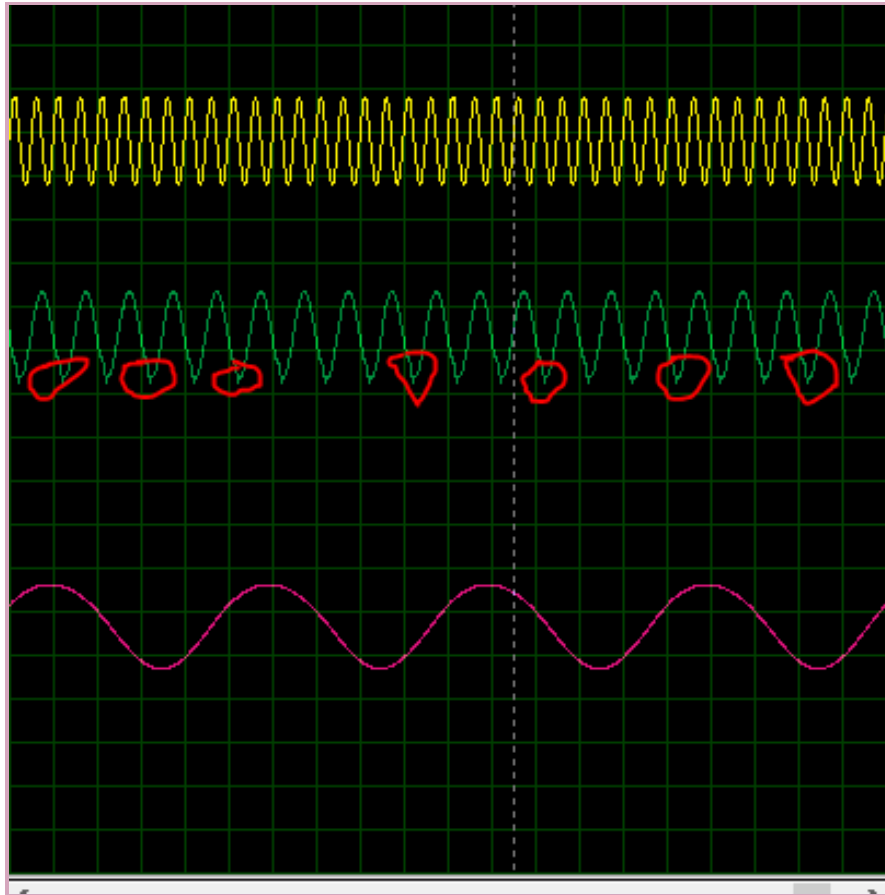


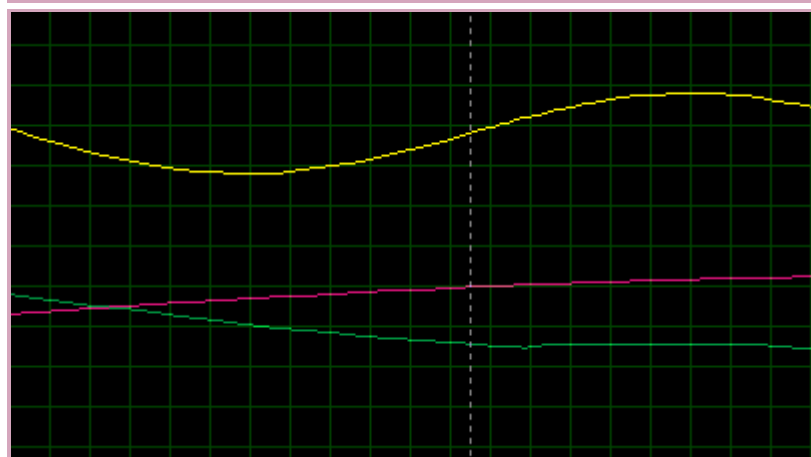
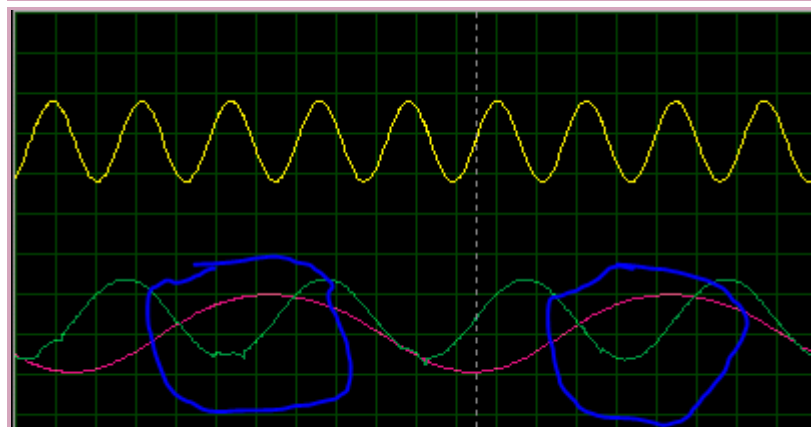
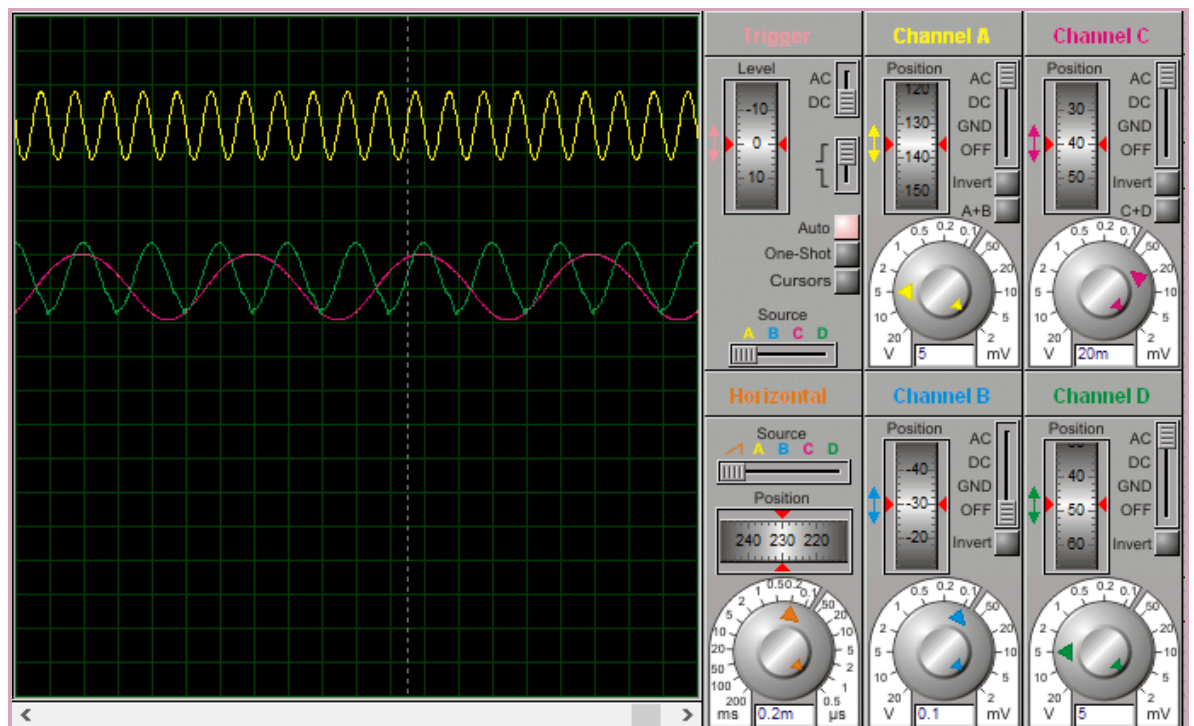
### Résultats et affichage :

L'entrée **rouge** de l'oscilloscope est reliée à la sortie du démodulateur PM.

L'entrée **jaune** de l'oscilloscope est reliée à la porteuse.

L'entrée **verte** de l'oscilloscope est reliée au signal modulant.



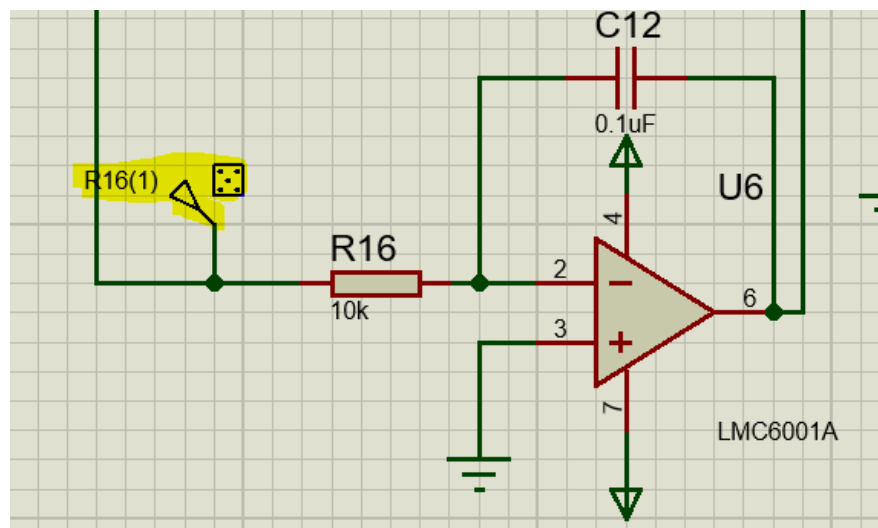




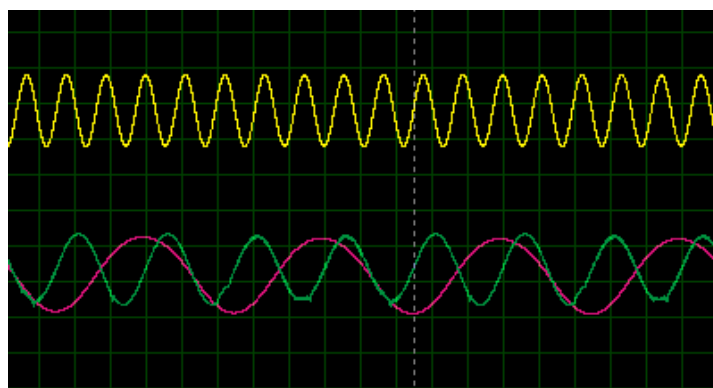
Nous obtenons un **signal modulé PM** (en rouge) très similaire au signal démodulé FM mais avec plus de bruit. Nous remarquons également que les signal modulant (en vert) et le signal démodulé en phase sont presque en opposition de phase

### III - Étude de l'impact du bruit

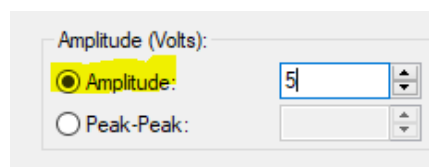
Pour ce faire, nous allons introduire un **générateur de bruit** sous forme de signaux aléatoires (initialement d'amplitude 1V) qui s'appliquent entre le circuit de modulation et démodulation

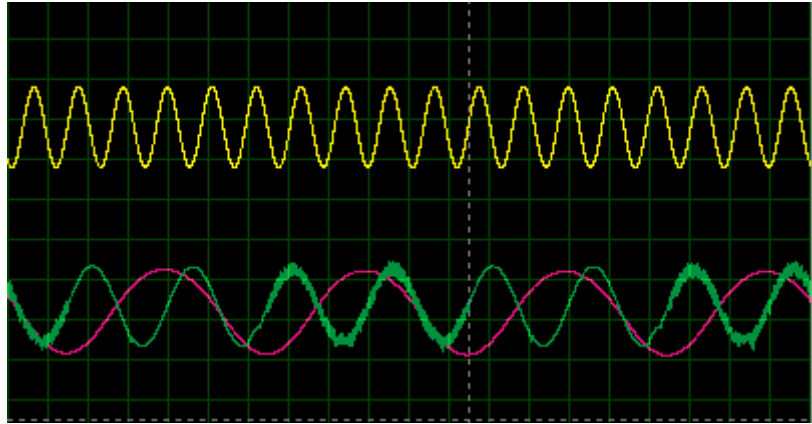


En visualisant l'oscilloscope, nous voyons que le signal démodulé reste inchangé, aucune distorsion remarquable rendant le signal de mauvaise qualité.



Nous pouvons faire varier l'intensité de ce signal bruit et voir le comportement de notre signal démodulé :





Malgré l'intensification de l'effet du bruit, le signal en **rouge** (démodulé) reste toujours inchangé

## IV - Conclusion

La modulation et démodulation PM sont très **résistantes et robustes** face à **l'effet du bruit**, quelque soit la mesure du SNR (rapport signal/bruit) =  $\frac{\text{Puissance signal}}{\text{Puissance bruit}}$  qui diminue avec l'intensification de l'effet du bruit, ne fait pas varier l'état et la qualité de notre signal PM.