

### Objectifs :

La première partie vous propose d'étudier et caractériser une structure de changement de fréquence indispensable dans les systèmes de télécommunications. Une application simple autour d'un récepteur AM sera proposé. La seconde partie de ce TP qui s'appuie sur les fondements du changement de fréquence permet de présenter et d'étudier le principe d'un analyseur de spectre à balayage largement utilisé dans l'instrumentation pour les télécoms.

### Matériel & consignes générales :

La maquette didactique proposée pour cette séance de travaux pratiques est constituée de 4 minis-modules. L'alimentation est fixée à +/-9V. Vous effectuerez les liaisons entre chaque mini-module en utilisant les cordons bananes Ø2 mm mis à votre disposition dans une petite trousse.

**Vous ne devez en aucun cas retirer les minis-modules de la plaque support !**

- Carte support avec 4 minis-modules didactique (AD835, Filtre IF, Récepteur AM, Ampli Audio)
- Générateur de fonctions AFG3022
- Oscilloscope numérique TDS2014B
- Multimètre Numérique & Alimentation de Laboratoire
- Mini Haut parleur & Kit de connexion pour baladeur MP3

## A : Etude & Caractérisation d'une structure à changement de fréquence

### 1 – Caractérisation du filtre intermédiaire

On utilise pour la réalisation du filtre intermédiaire un filtre céramique spécialement utilisé pour les changements de fréquences dans les récepteurs radio. Conformément aux indications fournies par le constructeur, ce filtre nécessite l'utilisation de 2 résistances d'adaptation (ici 2kΩ). Les caractéristiques de ce filtre sont disponibles en annexe. Afin de compenser l'atténuation apportée par le filtre et obtenir suffisamment de gain dans la chaîne de réception on utilise 2 montages à amplificateur opérationnel en amont et en aval du filtre comme le montre le schéma de la figure 1 ci-dessous.

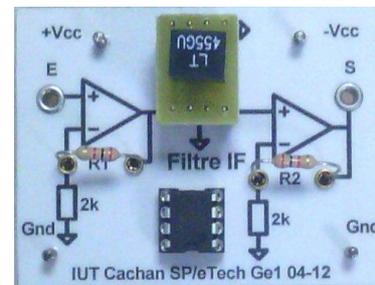
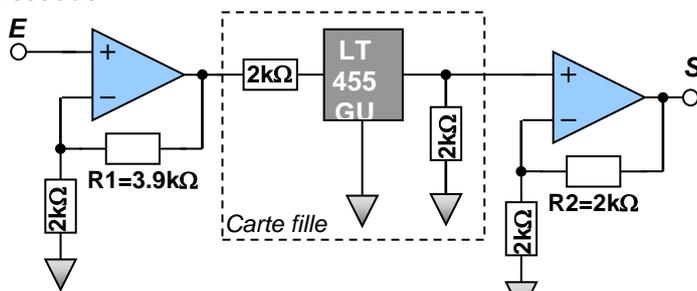


Figure 1 : Filtre intermédiaire IF

Compte tenu de la fréquence de fonctionnement de ce filtre, montrer que le choix de l'amplification par rapport au modèle d'amplificateur opérationnel est convenable.

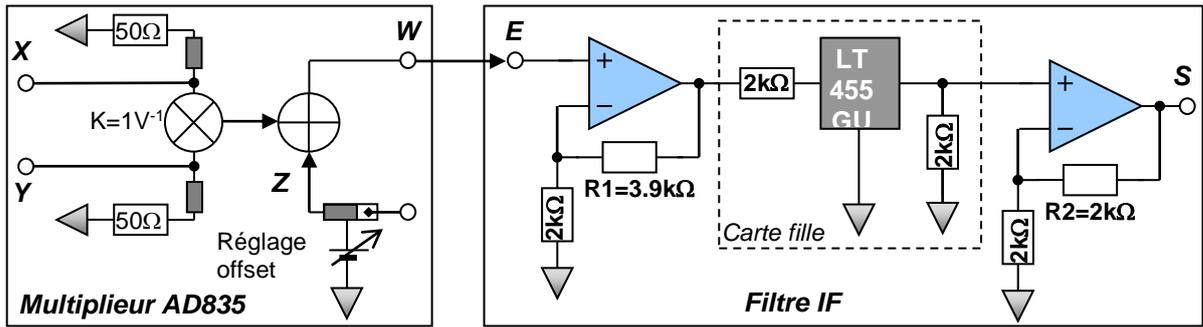
TL082 GBW :4MHz Sr :13V/μs

Avant d'effectuer la caractérisation du filtre, vérifier que la carte fille du filtre correspond bien au modèle indiqué et que les résistances R1 & R2 sont correctement positionnées.

- Pour cette partie on applique un signal sinusoïdal sur l'entrée E du filtre d'amplitude 2Vpp. Proposer une caractérisation rapide de ce filtre en mesurant sa bande passante, le gain maximum et la bande atténué à -40dB.
- Vérifier que les paramètres obtenus (fréquence centrale, bande passante, gain max) sont conformes aux caractéristiques du constructeur du filtre. Pour le gain maximum il est indispensable de prendre en considération l'amplification apportée par les 2 montages à amplificateur opérationnel.

## 2 – Mise en œuvre du changement de fréquence

La structure de base du changement de fréquence associe la maquette multiplieur AD835 au filtre IF précédemment étudié comme le montre la figure 2 ci-dessous.



**Figure 2 :** Structure de base du changement de fréquence

Le multiplieur AD835 (Analog Devices) réalise l'opération  $W = K.X.Y + Z$  avec  $K = 1V^{-1}$ . L'entrée Z est réglée (avec le potentiomètre) de telle sorte à obtenir à la sortie du multiplieur une composante continue nulle.

Comme les 2 entrées X & Y du multiplieur ont une impédance d'entrée de  $50\Omega$ , vous effectuerez les réglages adéquats sur les sorties des générateurs AFG3022. On règle les entrées suivantes :

➤ Entrée X ou RF (Radio Fréquence) : Sortie CH1 du générateur AFG3022  
Signal sinusoïdal de fréquence 100kHz et d'amplitude 1Vpp.

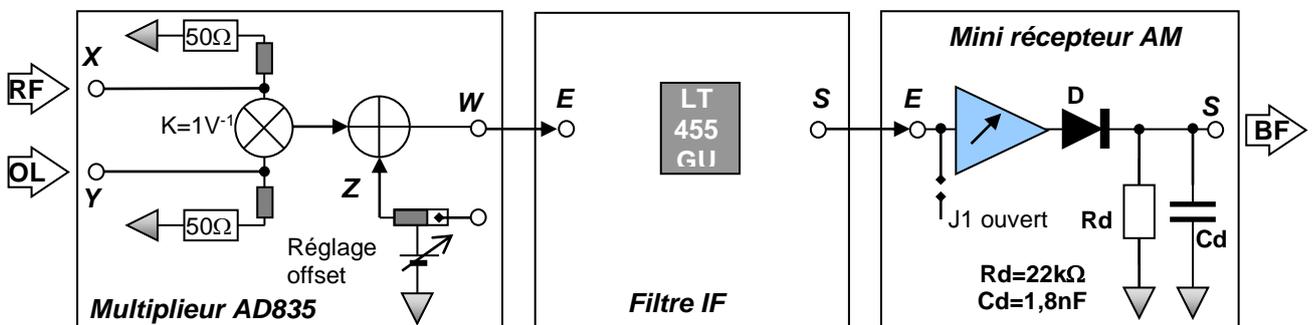
➤ Entrée Y ou OL (Oscillateur Local): Sortie CH2 du générateur AFG3022  
Signal sinusoïdal d'amplitude 1Vpp.

- Rechercher les deux valeurs de fréquences sur l'entrée Y permettant de réaliser « l'accord du circuit sélectif » à la sortie du filtre IF (la tension de sortie passe alors par un maximum)  
Justifier les valeurs obtenues ainsi que l'amplitude obtenue en sortie.

- Pour chacune des deux fréquences d'oscillateur local, vérifier le concept de la fréquence image en changeant la fréquence de l'entrée RF. Que faudrait-il rajouter pour supprimer le problème de la fréquence image ?

## 3 - Mise en œuvre de la structure pour un récepteur AM

On connecte maintenant à la sortie du filtre IF un montage détecteur de crête utilisé comme démodulateur d'amplitude. Vérifier que le jumper J1 soit ouvert et le jumper J2 soit fermé sur le mini-module récepteur AM.



**Figure 3 :** Récepteur AM avec changement de fréquence

On règle les entrées suivantes :

➤ Entrée X ou RF (Radio Fréquence) : Sortie CH1 du générateur AFG3022  
Signal modulé en amplitude de fréquence porteuse 162kHz (France Inter) et d'amplitude 2Vpp.  
Modulant interne sinusoïdal de fréquence 1kHz et taux de modulation de 50%

➤ Entrée Y ou OL (Oscillateur Local): Sortie CH2 du générateur AFG3022  
Signal sinusoïdal d'amplitude 1Vpp.

- Rechercher les deux valeurs de fréquences sur l'entrée Y permettant de réaliser « l'accord du circuit sélectif » et permettant d'obtenir un signal modulé en sortie du filtre IF. Relever en concordance de temps le signal modulé à la sortie du filtre IF et le signal démodulé. Vous synchroniserez l'oscilloscope en utilisant la sortie OUT TTL du générateur AFG3022 et dont la fréquence correspond au signal modulant sinusoïdal. Le potentiomètre sur la carte mini-récepteur AM est réglé de telle sorte à obtenir une amplitude maximale en sortie.
- Changer la forme et la fréquence du signal modulant et vérifier le fonctionnement de votre démodulateur. Afin d'illustrer le fonctionnement de ce montage il est possible de choisir un modulant externe en connectant la sortie d'un baladeur MP3 (Voir avec votre enseignant).

On connecte sur l'entrée X (ou RF) un signal correspondant à la somme de 3 modulations d'amplitude simulant ainsi un signal radio de réception afin d'illustrer le fonctionnement du changement de fréquence dans ces conditions.

➤ Pour cela vous devez télécharger le signal arbitraire sur le site <http://poujouly.net> et le choisir sur la voie CH1 du générateur AFG3022. Régler la fréquence à 100Hz et fixer l'amplitude à 1Vpp.

Dans ces conditions vous obtenez un signal radio de la forme :

$$RF = So. \left( \begin{array}{l} [1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot fm1 \cdot t)] \cdot \cos(2\pi \cdot fp1 \cdot t) + \\ [1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot fm2 \cdot t)] \cdot \cos(2\pi \cdot fp2 \cdot t) + \\ [1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot fm3 \cdot t)] \cdot \cos(2\pi \cdot fp3 \cdot t) \end{array} \right)$$

avec  $m=50\%$   $fm1=396\text{Hz}$  (SOL)  $fm2=495\text{Hz}$  (SI)  $fm3=297\text{Hz}$  (RE)  
et  $fp1=60\text{kHz}$ ,  $fp2=80\text{kHz}$  et  $fp3=100\text{kHz}$

➤ Entrée Y ou OL (Oscillateur Local): Sortie CH2 du générateur AFG3022  
Signal sinusoïdal d'amplitude 1Vpp.

- Rechercher les différentes valeurs de fréquences sur l'entrée Y permettant de réaliser l'accord en vérifiant « à l'oreille » que vous obtenez bien les 3 notes de musiques représentant les 3 stations radio en changeant uniquement la fréquence de l'oscillateur local.
- Afin d'illustrer le fonctionnement du changement de fréquence sur le plan fréquentiel, proposer une analyse FFT du signal modulé RF puis du signal en sortie du multiplieur et enfin à la sortie du filtre IF. Vous veillerez à bien choisir la fréquence d'échantillonnage pour l'analyse FFT sur l'oscilloscope.

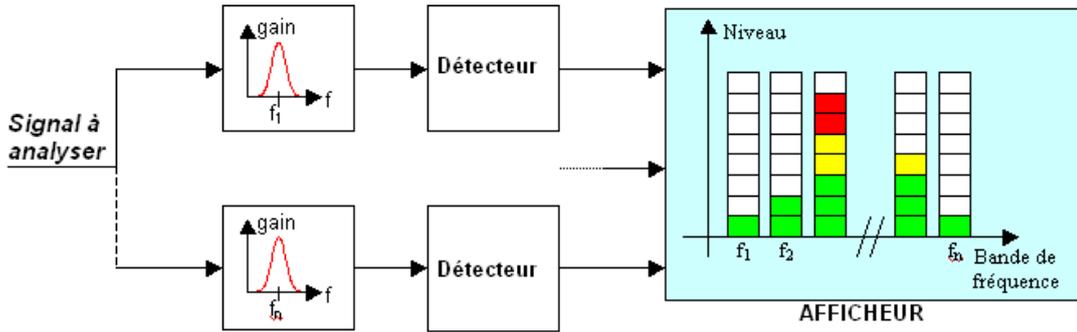
## **B : Mise en œuvre d'un analyseur de spectre à balayage didactique**

### **1 - Tour d'horizon des analyseurs de spectres**

Un analyseur de spectre est un appareil de mesure qui permet de séparer et identifier les composantes fréquentielles d'un signal. La représentation qu'il fournit, dans beaucoup de domaines (télécom, vidéo, etc..), apporte bien plus d'informations que celles fournies par un oscilloscope : mesure de largeur de bande, mesure de distorsion, occupation du spectre radioélectrique,... etc. Il existe principalement trois catégories d'analyseurs de spectre :

- Les analyseurs FFT (Fast Fourier Transform) : Ces analyseurs échantillonnent le signal, puis le numérisent. Une transformée de Fourier discrète est alors calculée par le processeur (DSP) et le résultat est affichée en fréquence. Pour ce type d'analyseur, les fréquences sont limitées à quelques 100 de MHz avec une dynamique de 90dB. On rencontre toutefois des modules FFT dans certains oscilloscopes numériques possédant des bandes passantes supérieures mais des dynamiques bien moins élevées.

- Les analyseurs analogiques en temps réel : Ces appareils se composent d'un grand nombre de filtres passe-bandes en parallèle comme l'indique la figure ci dessous. Chaque filtre couvre une partie de la bande de fréquence sous test. En étudiant la sortie de chaque filtre, on peut voir le spectre de fréquence du signal. La résolution de l'analyseur est déterminée par la largeur de bande des filtres. Les fréquences d'analyse sont généralement inférieures à quelques centaines de kHz.

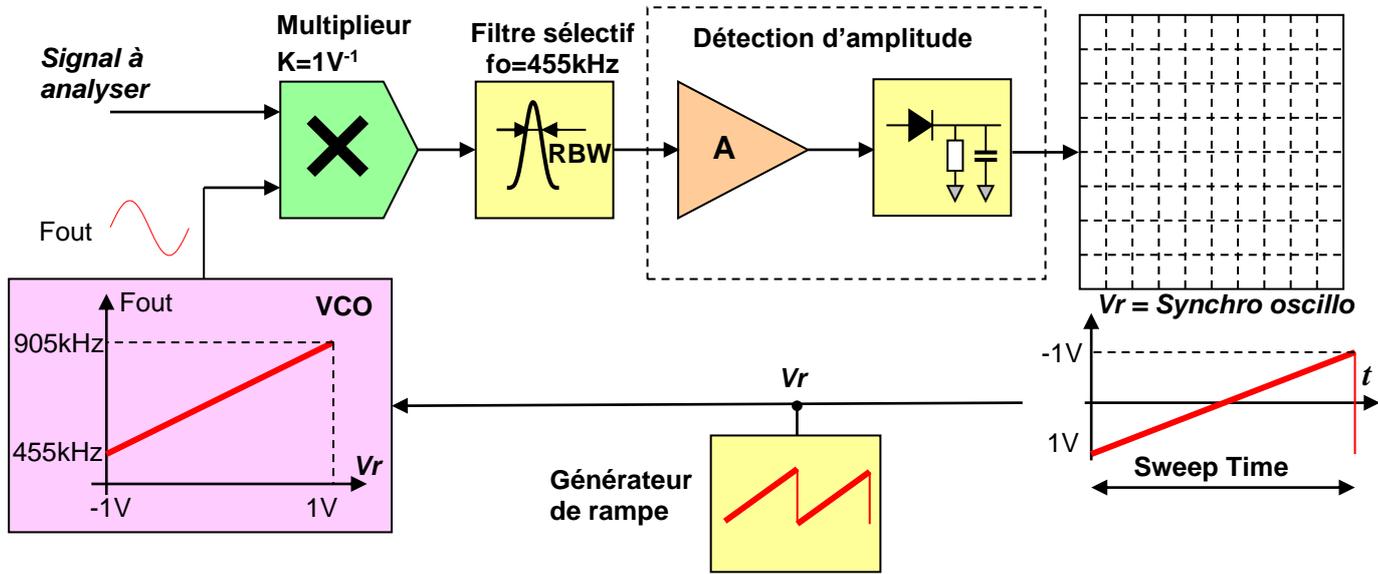


- Les analyseurs à changement de fréquence ou balayage : Tous les analyseurs de spectre RF et hyperfréquences utilisent ce principe. L'objectif de cette partie de TP est de découvrir le principe de fonctionnement de ce type d'analyseur en mettant en œuvre une version didactique simple.

**2 - Principe de fonctionnement d'un analyseur de spectre à balayage**

Le schéma de principe de cet analyseur de spectre est représenté sur la figure 1 ci dessous. Afin de simplifier l'étude théorique d'un tel dispositif, nous avons volontairement fixé des valeurs caractéristiques pour chacune des fonctions utilisées.

Le principe de cet analyseur consiste à utiliser un filtre sélectif unique devant lequel on transpose en fréquence le signal à analyser.



**Figure 1 :** Principe de l'analyseur de spectre à balayage

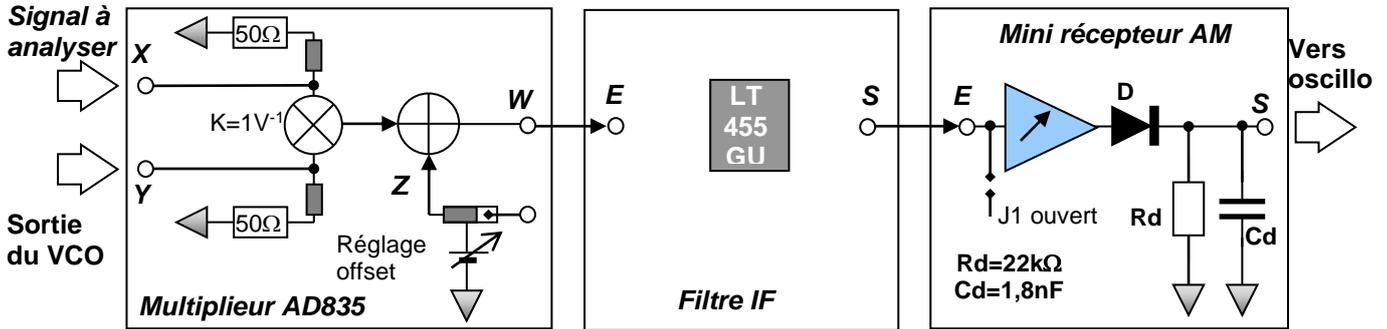
Analyser le fonctionnement du dispositif présenté sur la figure 1 lorsque l'entrée est un signal sinusoïdal d'amplitude 2V et de fréquence 90kHz.

Tracer alors la caractéristique obtenue sur l'écran de l'oscilloscope si l'on considère que la base de temps est réglée de telle sorte à obtenir une période de la rampe sur la totalité des 10 divisions sur l'échelle de temps.

Recommencer l'étude pour un signal carré de fréquence 90KHz

### 3 - Expérimentation & mise en œuvre

Pour la mise en œuvre de la partie principale de l'analyseur de spectre à balayage on utilise la structure changement de fréquence précédente comme le montre la figure 2 suivante.



**Figure 2 :** Changement de fréquence pour l'analyseur de spectre à balayage

Afin de simplifier la mise en œuvre de cet analyseur on va utiliser les possibilités de balayage en fréquence (mode Sweep) du générateur AFG3022. On effectue donc les réglages suivants :

- Sortie du VCO : Sortie CH1 du générateur AFG3022  
Signal sinusoïdal d'amplitude 1Vpp en mode Sweep  
Fréquence de départ : 450kHz Fréquence de fin : 900kHz  
Durée du balayage : 50ms Durée de retour & de maintien : 0ms

- Signal à analyser : Sortie CH2 du générateur AFG3022  
Signal sinusoïdal d'amplitude 2Vpp de fréquence 45kHz

- Observer et relever le signal en sortie du détecteur d'amplitude en fonction du temps et en synchronisant l'oscilloscope avec la sortie OUT TTL du générateur AFG3022 dont la période correspond à la durée du balayage. Vous choisirez une base de temps de telle sorte à obtenir une période complète sur les 10 divisions horizontales.
- Que se passe-t-il lorsque la fréquence du signal sur l'entrée du signal à analyser change ? Etalonner alors votre écran d'oscilloscope en graduant l'axe des temps qui représente en réalité un axe en fréquence.
- Si l'on dépasse la fréquence de 900kHz sur le signal d'entrée, que se passe-t-il ? Que faire pour supprimer ce problème ?
- Changer la forme du signal (Carré symétrique, triangle, rampe, impulsion de largeur variable) et relever l'ensemble des résultats obtenus en justifiant la position et l'amplitude des composantes fréquentielles obtenues.
- Connecter sur l'entrée du signal à analyser un signal modulé en amplitude de fréquence porteuse 225kHz avec un signal modulant sinusoïdal de fréquence 45kHz pour un taux de modulation de 100%. Justifier alors le résultat obtenu.

# Annexe : Caractéristique du filtre céramique IF

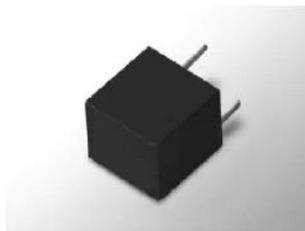


## Filter THT

### LT 450/455 U series

Features:

- For communication
- 4 elements
- 450/455 KHz



Specifications										
Part number	LT455AU	LT455BU	LT455CU	LT455DU	LT455EU	LT455FU	LT455GU	LT455HU	LT455IU	LT455HTU
Center frequency (KHz)	455±2.0	455±2.0	455±2.0	455±1.5	455±1.5	455±1.5	455±1.5	455±1.0	455±1.0	455±1.0
Insertion loss (dB) max	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
Pass band ripple (dB) max	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6dB bandwidth (KHz) min	±17.5	±15	±12.5	±10	±7.5	±6	±4.5	±3	±2	±3
40dB bandwidth (KHz) max	±35	±30	±24	±20	±15	±12.5	±10	±9	±7.5	±9
Stop band att. ±100KHz (dB) min	28	28	28	28	28	28	28	28	28	35
Input/output impedance (Ohm)	1000	1500	1500	1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000

