

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Bienvenue sur le cours de F6KGL

La séance de ce soir porte sur

Technique

Chapitre 7 – 2ème partie

Etages spécifiques Radio Fréquences (RF)

Ce document a servi pour le cours enregistré le **05/04/2019**

Ce document (*PDF*), le fichier audio (*MP3*) et les liens des vidéos (*Youtube*) sont disponibles sur la page <http://f6kgl-f5kff.fr/lespodcasts/index.html>



7-5) oscillateurs

- Un oscillateur est un circuit **générateur de signaux périodiques** (*sinusoïdaux dans le monde de la radio*) de fréquence calculée. Il existe des oscillateurs
 - à fréquence fixe (à quartz) (**VXO**)
 - à fréquence variable commandés
 - mécaniquement avec un condensateur variable (**VFO**),
 - par la variation de tension sur une diode Varicap (**VCO**)
 - électroniquement
 - avec un synthétiseur (**PLL**)
 - et plus récemment par traitement numérique (**DDS**)
 - Le **fréquencemètre** mesure la fréquence d'un signal en comptant les périodes pendant une durée de référence connue et stable.



- plus cette durée est longue, plus l'affichage de la fréquence mesurée est fin.
- la précision de l'instrument dépend de l'oscillateur générant la durée de référence.



7-5) oscillateurs

- *Le quartz se trouve à l'état naturel sous forme de cristaux de silice (SiO_2). Le composant nommé **quartz** est constitué*

- *d'une lamelle de roche de quartz coincée entre les deux plaques d'un condensateur.*

- *schéma*



- *le courant circule à vitesse très réduite dans le quartz (environ 5700 m/s)*

- *l'axe de taille des quartz est important (axes X)*

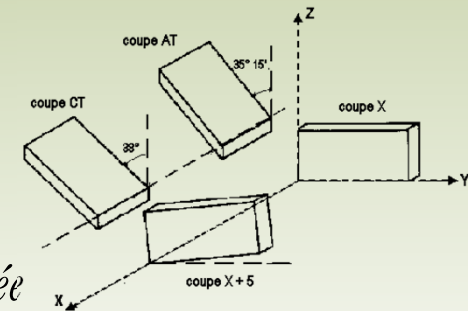
- *la fréquence dépend de l'épaisseur de la lamelle utilisée*

- *Les quartz fonctionnent grâce à l'effet piézo-électrique du matériau.*

- *du grec πιέζειν (piézéin) : presser, appuyer*

- *lors d'une pression, des charges électriques apparaissent sur les faces.*

- *inversement, si une tension est appliquée aux faces du quartz, la lame se dilate ou se contracte selon la polarité appliquée.*

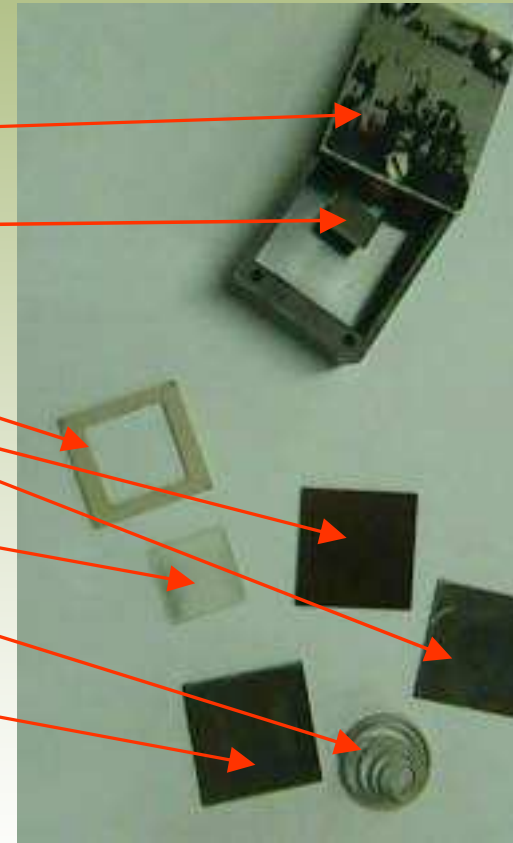




7-5) oscillateurs

Autopsie d'un Quartz

- *Boîtier*
- *Pattes de connexion*
- *Cadre de maintien*
- *Plaques (condensateur)*
- *Lamelle de Quartz*
- *Ressort de compression*
- *Isolant (bakélite)*



Les Quartz interchangeables pour un émetteur-récepteur multi-canaux (vers 1960)



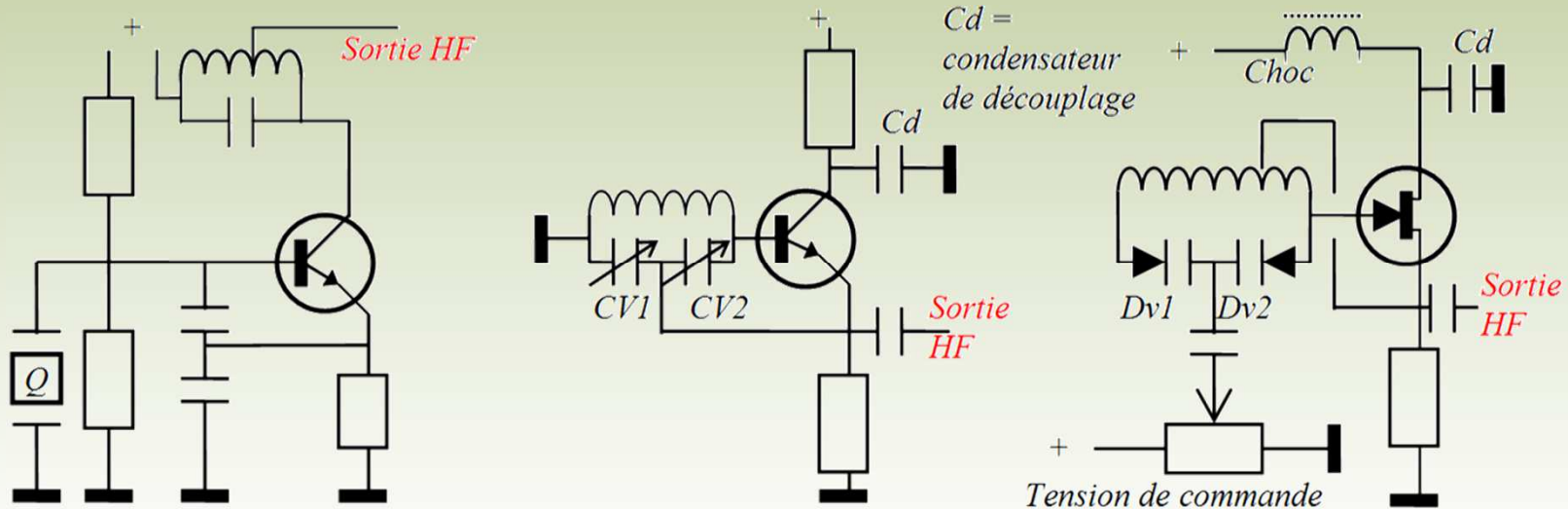
7-5) oscillateurs

- Les schémas fonctionnels ne sont pas au programme de l'examen. Seuls les schémas de principe du PLL et du DDS sont au programme (*voir plus loin*). Les principaux montages sont :

Colpitts

Clapp

Hartley



- Un oscillateur fonctionne grâce à la réinjection en phase d'une partie du signal amplifié sur l'entrée du circuit.



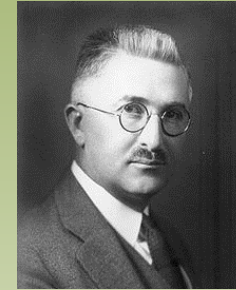
7-5) oscillateurs



Edwin H. Colpitts
1872 - 1949
Brevet du "générateur
d'oscillation" (1920)



James K. Clapp
1897 - 1965
Autre configuration de
l'oscillateur « Colpitts »
(1948)



Ralph V. L. Hartley
1888 - 1970
Travaux et publications
sur les oscillateurs
(1920-1936)

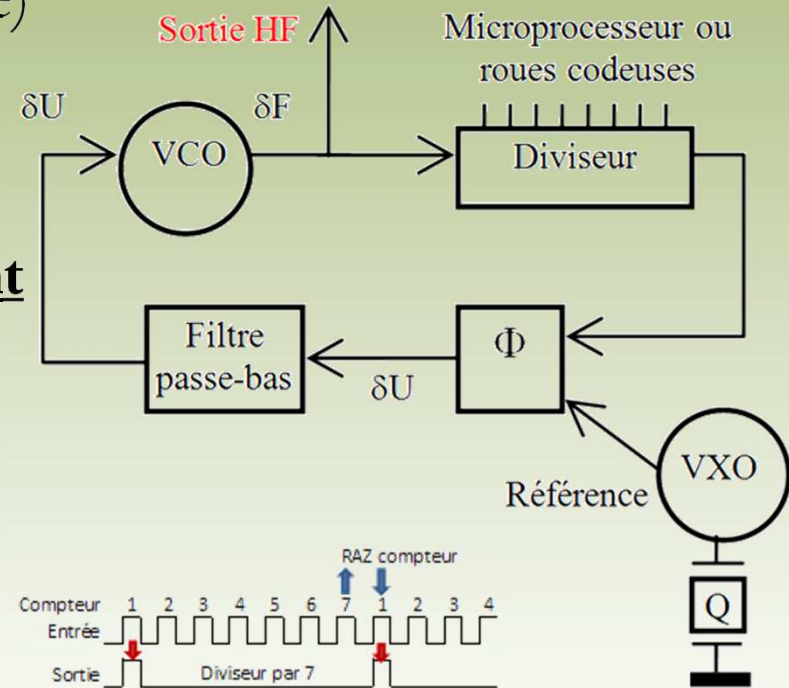
- Les facteurs affectant les conditions de stabilité des oscillateurs sont :
 - les variations de la tension d'alimentation,
 - les variations de température des composants
 - en particulier des transistors
 - et des quartz
 - les défauts de blindage des boîtiers contenant le montage (effet de main).



7-5) oscillateurs

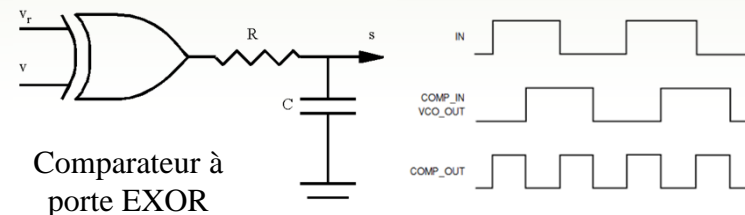
- Analyse du schéma synoptique d'un **PLL** (*Phase Lock Loop*, boucle à verrouillage de phase)

- Principe de fonctionnement



- Notions complémentaires :

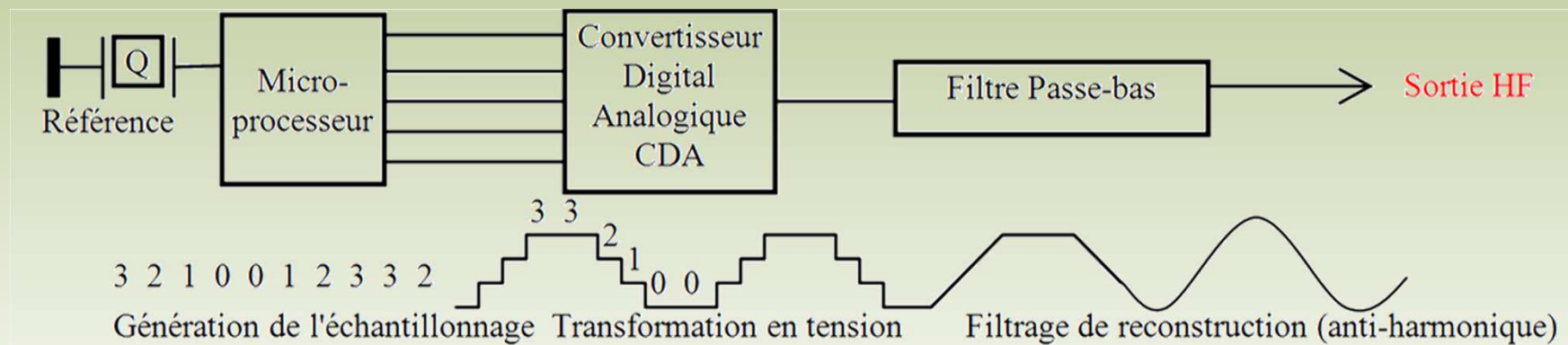
- diviseur logique (*nombre entier*)
- oscillateur de référence
- comparateur de phase
(*les portes logiques seront vues au § 8-4*)



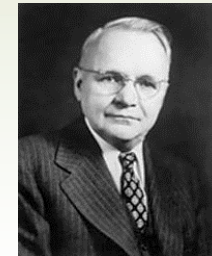


7-5) oscillateurs

- Analyse du schéma synoptique d'un **DDS** (*Direct Digital Synthesis*, synthèse numérique directe)
- Principe de fonctionnement**



- Notions complémentaires :**
 - algorithme
 - échantillonnage
 - crénelage
 - théorème de Nyquist
 - ces notions seront revues en détail au §8-5*

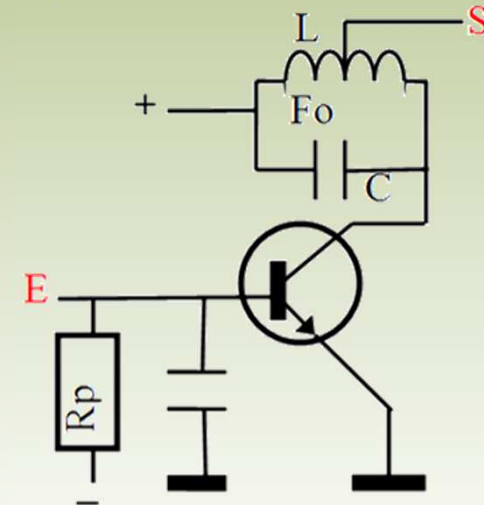


Harry Nyquist 1889 - 1976
 détermine qu'un signal analogique doit être échantillonné à au moins deux fois la plus haute fréquence le constituant si on veut le convertir en un signal numérique correspondant (1927)



7-6) multiplicateurs de fréquences

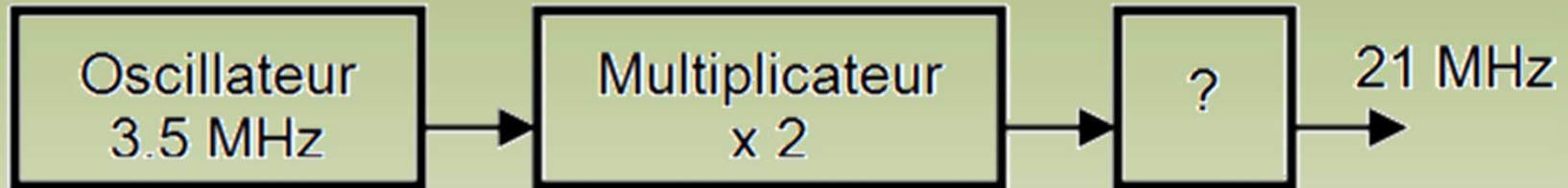
- Un **multiplicateur de fréquence** est un circuit amplificateur RF monté en classe C (générateur de très fortes distorsions harmoniques) dont le filtre de sortie est accordé sur un des harmoniques de la fréquence d'entrée :
 - x 2
 - x 3
 - ou x 5 maximum
 - nombre entier
 - si la fréquence doit être multipliée par 9, deux multiplicateurs par 3 seront montés à la suite l'un de l'autre.
- *le spectre d'un signal passant par un multiplicateur est modifié :*
 - *en FM, l'excursion du signal est augmentée mais le signal reste « démodulable »*
 - *en AM ou en BLU, seules les crêtes du signal sont amplifiées (montage en classe C) ce qui rend le signal transmis inexploitable.*





7-6) multiplicateurs de fréquences

- **Exemple** : quel est l'étage marqué ?



- Réponse : l'oscillateur génère du 3,5 MHz et la fréquence de sortie est 21 MHz. La fréquence de l'oscillateur est donc multipliée par 6 ($21 / 3,5 = 6$). Un multiplicateur par 2 est déjà représenté. L'étage marqué ? est donc un **étage multiplicateur par 3**.



7-7) mélangeurs

- Un mélangeur est un circuit multiplicateur de tension:

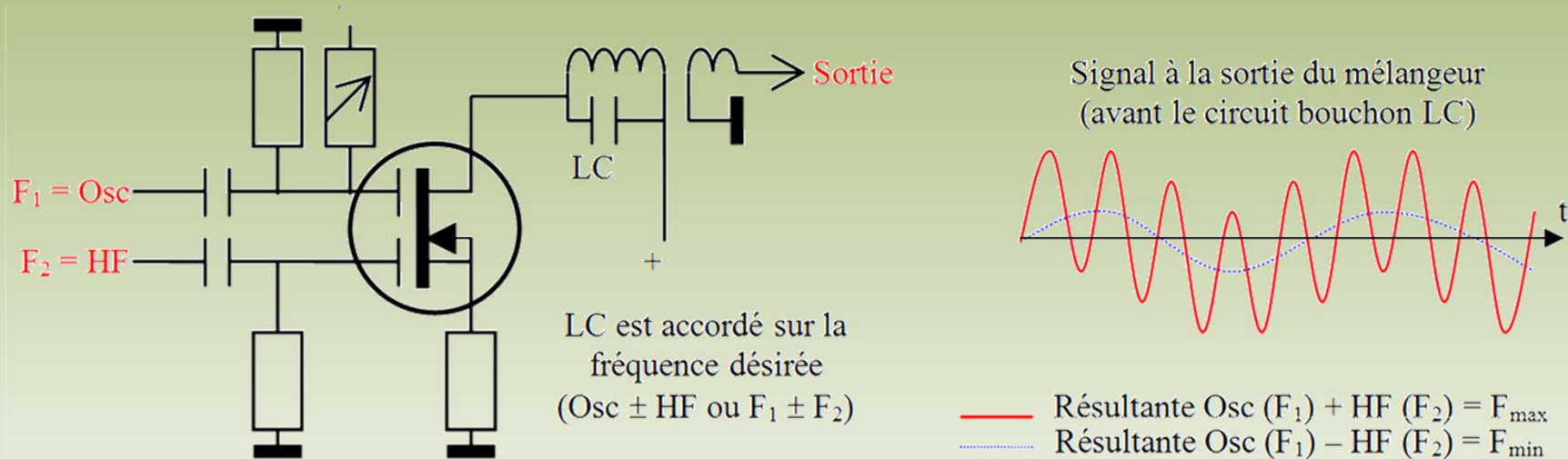


- l'amplificateur n'est pas linéaire et la distorsion particulière du circuit (distorsion quadratique) nous permettra de récupérer en sortie un mélange de fréquences.
- le filtre de sortie sélectionne une des deux fréquences.
- soient F1 et F2 deux fréquences présentes aux entrées du mélangeur.
 - à la sortie du mélangeur, deux fréquences sont générées :
 - **$F_{\max} = F1 + F2$ (somme)**
 - **$F_{\min} = F1 - F2$ (différence)**



7-7) mélangeurs

- *Le schéma du mélangeur n'est pas à connaître pour l'examen*



- *Pour trouver les fréquences d'entrée (F_1 et F_2) à partir des fréquences de sortie :*
 - $F_1 = (F_{max} - F_{min}) / 2$ (moitié de la différence)
 - $F_2 = F_{max} - F_1$ (puisque $F_{max} = F_1 + F_2$)



7-7) mélangeurs

- **Exemple 1** : à l'entrée d'un mélangeur, on a 5 MHz et 8 MHz. Quelles fréquences trouve-t-on à la sortie du mélangeur ?
 - $F_{\max} = 5 + 8 \text{ MHz} = \mathbf{13 \text{ MHz}}$
 - $F_{\min} = 5 - 8 \text{ MHz (ou } 8 - 5 \text{ MHz)} = \mathbf{3 \text{ MHz}}$
- **Exemple 2** : à la sortie d'un mélangeur, on a 2 MHz et 22 MHz. Quelles sont les fréquences d'entrée du mélangeur ?
 - $F_1 = (F_{\max} - F_{\min}) / 2 = (22 - 2) / 2 = 20 / 2 = \mathbf{10 \text{ MHz}}$
 - $F_2 = F_{\max} - F_1 = 22 - 10 = \mathbf{12 \text{ MHz}}$
 - $F_1 + F_2 = 10 + 12 = \mathbf{22}$
 - $F_2 - F_1 = 12 - 10 = \mathbf{2}$

vérification



7-7) mélangeurs

- **Lorsque le mélangeur n'est pas parfait** (ou lorsqu'un amplificateur n'est pas linéaire), il ne multiplie pas exactement les tensions présentes à son entrée et on trouvera à sa sortie :
 - les mélanges « classiques » $F1 + F2$ et $F1 - F2$ (mélanges du 2nd ordre) mais, comme pour les distorsions harmoniques d'un amplificateur linéaire, (voir le cours précédent) nous trouverons aussi :
 - les fréquences $F1$ et $F2$ et leurs harmoniques
 - s'il n'y a que les harmoniques 2 ($2 \times F1$ et $2 \times F2$) ou paires, ce sont des distorsions quadratiques (qui sont une forme de distorsion harmonique)
 - ainsi que d'autres combinaisons comme par exemple :
 - $[(2 \times F1) + F2]$ ou $[(2 \times F1) - F2]$ (mélanges du 3^{ème} ordre ou distorsions cubiques, une autre forme de distorsion harmonique).
- Les **mélangeurs équilibrés** ont des caractéristiques particulières
 - ils sont constitués de diodes montées « en anneau »
 - ils seront étudiés en détail au chapitre 12 (modulateur BLU)

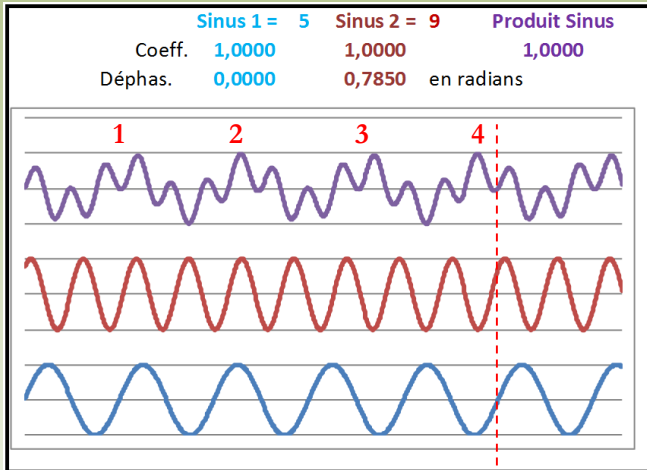
Voir article CNFRA sur ces mélangeurs dans Radio-REF de février 2009



7-7) mélangeurs

- La fonction Graphiques d'Excel (<http://f6kgl.free.fr/Excel.xlsx>, onglet « Mélanges ») simule le signal en sortie de mélangeur avec $F1 = 5$ et $F2 = 9$; fréquences de sorties : **14** ($9+5$) et **4** ($9-5$)

déphasage
45°



signal de sortie d'un mélangeur parfait

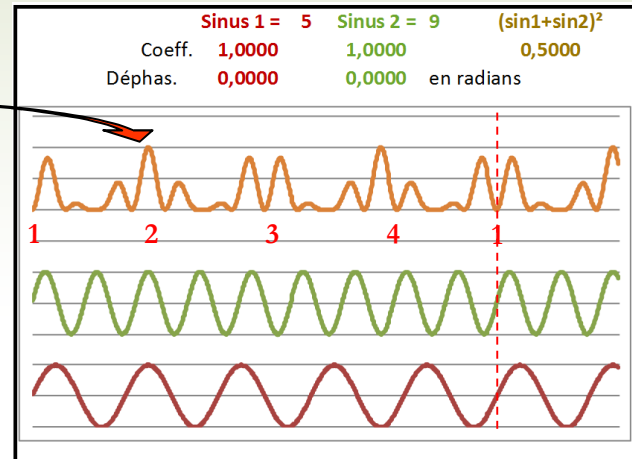
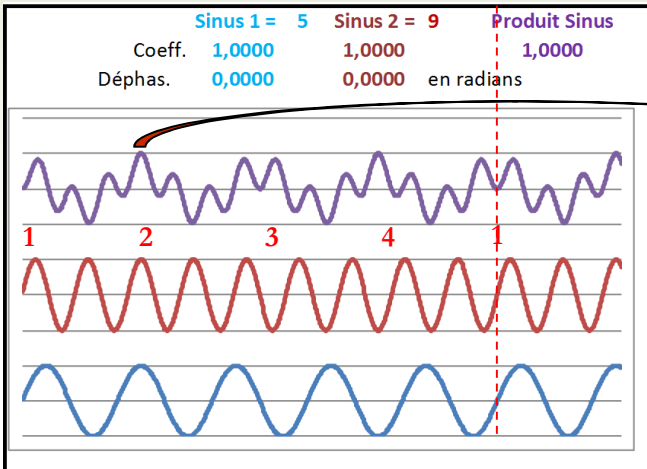
sinusoïde du haut = signal en sortie du mélangeur composé de la superposition des signaux F_{max} et F_{min} avec :

$F_{max} = 14$ maxima par cycle

$F_{min} = 4$ maxima par cycle

signal de sortie d'un mélangeur non parfait
fonction de transfert = $\frac{1}{2} (\sin 1 + \sin 2)^2$

pas de déphasage

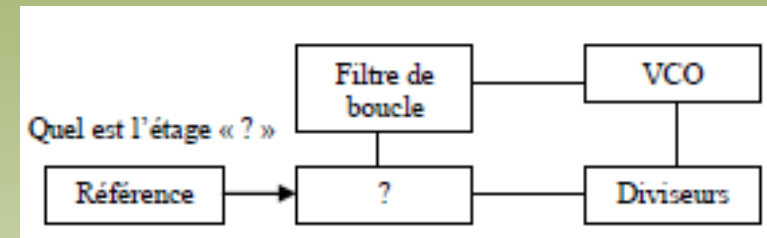




Les questions posées à l'examen

- **Quel est l'étage marqué « ? »**

- oscillateur à Quartz
- limiteur
- comparateur de phase
- modulateur FM



- **Un signal FM avec 4 kHz de bande passante passe dans un multiplicateur par 2, quelle largeur aura le signal en sortie du multiplicateur ?**

- 8 kHz
- 4 kHz
- 2 kHz
- 40 kHz

- **Un mélangeur est :**

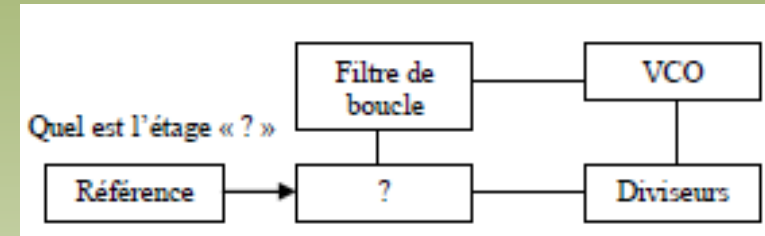
- un oscillateur de fréquences
- un additionneur / soustracteur de fréquences
- un limiteur d'amplitude de signal
- un modulateur de fréquence.



Les questions posées à l'examen

- Quel est l'étage marqué « ? »
 - oscillateur à Quartz
 - limiteur
 - comparateur de phase – *bonne réponse*
 - modulateur FM

Le schéma représente un oscillateur à boucle PLL.



- Un signal FM avec 4 kHz de bande passante passe dans un multiplicateur par 2, quelle largeur aura le signal en sortie du multiplicateur ?
 - 8 kHz – *bonne réponse*
 - 4 kHz
 - 2 kHz
 - 40 kHz
- Un mélangeur est :
 - un oscillateur de fréquences
 - un additionneur / soustracteur de fréquences – *bonne réponse*
 - un limiteur d'amplitude de signal
 - un modulateur de fréquence.

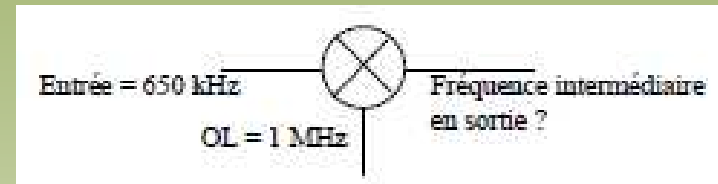
Le mélange s'effectue par une multiplication des tensions des fréquences à mélanger



Les questions posées à l'examen

- **Fréquence Intermédiaire en sortie ?**

- 350 kHz
- 650 kHz
- 1.100 kHz
- 1.300 kHz



- **Distorsion quadratique avec 2 kHz et 100 kHz ?**

- 50 et 200 kHz
- 100 et 200 kHz
- 104 et 202 kHz
- 2, 4, 98, 100, 102 et 200 kHz

- **Quelle est la fréquence issue d'un mélange du 3^{ème} ordre avec F1 = 145 MHz et F2 = 150 MHz**

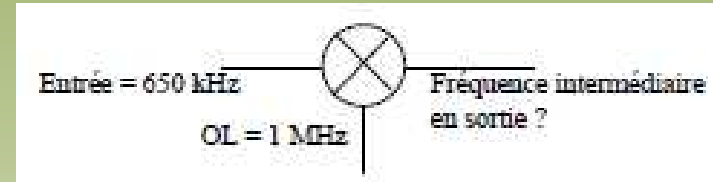
- 155 MHz
- 160 MHz
- 290 MHz
- 300 MHz



Les questions posées à l'examen

- **Fréquence Intermédiaire en sortie ?**

- 350 kHz – *bonne réponse*
- 650 kHz
- 1.100 kHz
- 1.300 kHz



En sortie du mélangeur, on a $1\ 000 + 650 = 1\ 650\ kHz$ et $1\ 000 - 650 = 350\ kHz$.

- **Distorsion quadratique avec 2 kHz et 100 kHz ?**

- 50 et 200 kHz
- 100 et 200 kHz
- 104 et 202 kHz
- 2, 4, 98, 100, 102 et 200 kHz – *bonne réponse*

- **Quelle est la fréquence issue d'un mélange du 3^{ème} ordre avec F1 = 145 MHz et F2 = 150 MHz**

- 155 MHz – *bonne réponse*
- 160 MHz
- 290 MHz
- 300 MHz

Un produit du 3^{ème} ordre (distorsion cubique) est un mélange du type $(2 \times A) + B$ ou $(2 \times A) - B$

Le premier mélange nous amène à plus de 400 MHz (aucune réponse)

Avec le second mélange, une seule réponse possible : 155 MHz, soit $(150 \times 2) - 145$

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Le cours de F6KGL

était présenté par F6GPX

Bon week-end à tous et à la semaine prochaine !

Retrouvez-nous tous les vendredis soir au Radio-Club de la Haute Île à Neuilly sur Marne (93) F5KFF-F6KGL, sur 144,575 MHz (FM) ou sur Internet.

Tous les renseignements sur ce cours et d'autres documents sont disponibles sur notre site Internet, onglet "*Formation F6GPX*"

f6kgl.f5kff@free.fr

<http://www.f6kgl-f5kff.fr>