



© Pierre GILLARD/2009-P1000723

Principes de base en radiocommunication

Avant de débuter le cours ...



Merci !

Présentation du cours



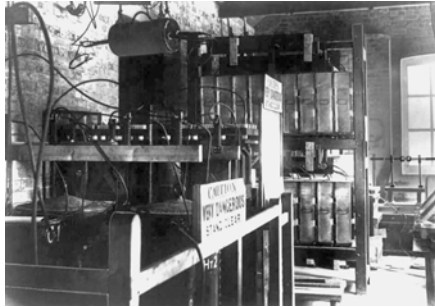
- Introduction.
- Historique des radiocommunications.
- La modulation des signaux.
- Définitions.
- Schéma-bloc d'un émetteur-récepteur.
- Les filtres.
- Les oscillateurs.
- Les synthétiseurs de fréquences.
- Rôle des radiocommunications en aéronautique.

Introduction

- Depuis que l'homme existe, il a toujours cherché à communiquer.
- Différents modes de communications ont été développés avec le temps : parole, écriture, téléphonie, télégraphie, radiocommunication, télévision, Internet, etc.
- En aviation également, il existe un besoin de communiquer tant des messages vocaux que numériques.



Historique des radiocommunications



ARRL



Phil Ottewill

- **1865** : création de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT).
- **1895** : première transmission sans fil (TSF).
- **1906** : conférence de l'UIT à Berlin et adoption du premier règlement des radiocommunications pour l'usage du spectre radio.
- **1912** : nauffrage du Titanic dont l'opérateur radio envoie des SOS. La conférence de Londres sur la sécurité en mer impose la présence de stations radios à bord des navires.

Historique des radiocommunications



Glenbow Museum Archives/NA-2903-FF

- **1927** : conférence de Washington : l'UIT crée le Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) et décide des premières attributions de fréquences.
- **1963** : Adoption à Atlantic City d'un nouveau Règlement des Radiocommunications. Création du Comité International d'Enregistrement des Fréquences (IFRB). Organisation du système international de contrôle des émissions.
- **1975** : Premier symposium en Europe sur la compatibilité des ondes électromagnétiques (EMC).

Historique des radiocommunications



- Les besoins en radiocommunications ont évolués avec la technologie.
- À la fin du XIXe siècle, on parlait de TSF ou de téléphonie sans fil; Guglielmo Marconi (1874-1937) a été un précurseur dans le développement et l'exploitation de celle-ci.
- Mais, en 1888, les ondes électromagnétiques avaient déjà été mises en évidence par Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) après avoir été prédites par James Clerk Maxwell (1831-1879).
- En 1895, Aleksandr Stepanovitch Popov (1859-1906) a découvert le principe de l'antenne.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

Historique des radiocommunications

- Quant à Karl Ferdinand Braun (1850-1918), il a effectué de nombreuses expériences au sujet de l'adaptation de l'impédance de l'antenne et des circuits sélectifs, ce qui permet en 1899 d'augmenter la portée des TSF de Marconi.



- Actuellement, les radiocommunications sont numériques et permettent d'effectuer une multitude d'opérations à l'aide d'un seul appareil utilisant les ondes radio.

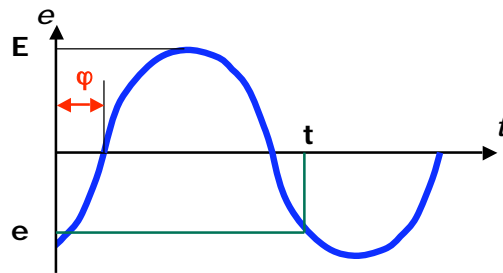
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

La modulation des signaux

- Chaque émetteur possède une fréquence d'émission particulière qui le caractérise et le signal sinusoïdal pur émis sur cette fréquence est appelé porteuse.
- Un signal sinusoïdal pur se caractérise par la relation mathématique :

$$e = E \sin (\omega t + \varphi) \text{ où } \omega = 2\pi f$$



La modulation des signaux

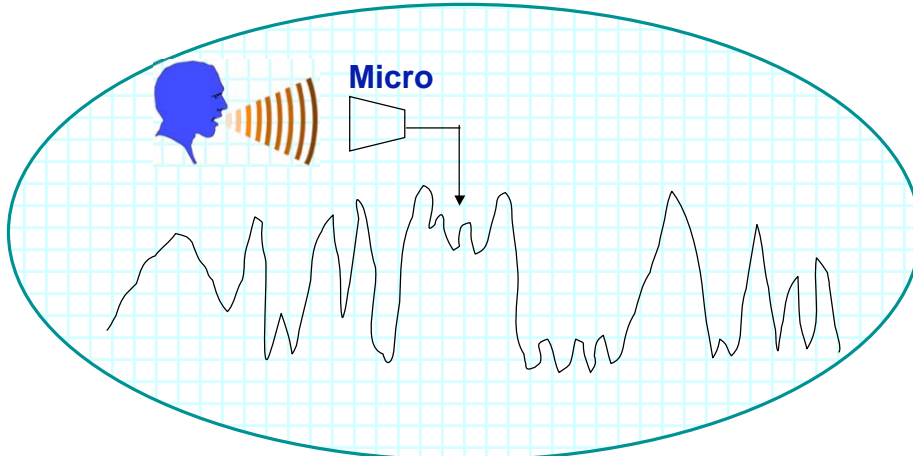
- La modulation des signaux radioélectriques consiste à faire varier un des paramètres de la porteuse à l'image du signal à transmettre.
- On dit que la porteuse est modulée par le signal.
- Il existe donc trois possibilités de faire varier un paramètre de la relation $e = E \sin (\omega t + \varphi)$ représentant la porteuse :

- Si nous modifions l'amplitude E : modulation d'amplitude.
- Si nous modifions la fréquence f : modulation de fréquence.
- Si nous modifions la phase φ : modulation de phase.

- Modulations d'amplitude et dérivée : AM - SSB ⇒ radiocommunication et radionavigation analogiques.
- Modulation de fréquence : FM ⇒ radiocommunication et radionavigation analogiques.
- Modulation de phase : PM ⇒ radiocommunication et radionavigation numériques.

La modulation des signaux

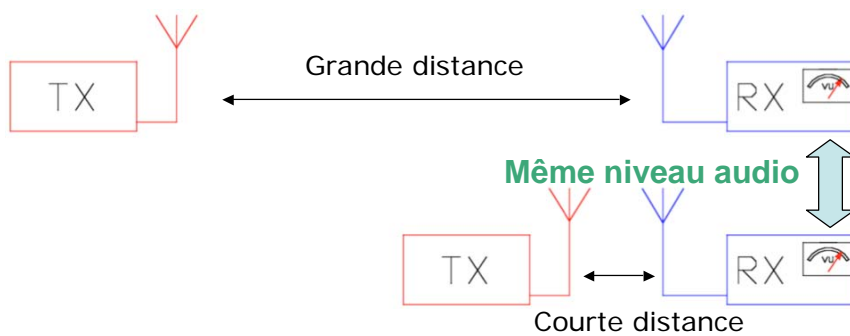
- La modulation, en radiocommunication analogique, sera très souvent un signal vocal :



Définitions

AGC - Automatic Gain Control

- Tous les récepteurs disposent d'un système de contrôle du gain automatique dans le but d'ajuster les signaux toujours au même niveau de sortie (audio) quelle que soit la valeur du signal d'antenne.



Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio avec accès direct aux fréquences :
VHF pour les communications aéronautiques.



Lorsqu'on tourne le sélecteur de fréquences ...

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio avec accès direct aux fréquences :
VHF pour les communications aéronautiques.



... on modifie les fréquences synthonisées !

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio sans accès direct aux fréquences : VHF/UHF pour les communications avec les services publics.



Il n'existe aucun sélecteur de fréquences !

Définitions

Accès direct aux fréquences (Agile)

- Exemple de système radio sans accès direct aux fréquences : VHF/UHF pour les communications avec les services publics.



Mais il existe une possibilité de programmation de canaux et de sélection ultérieure de ceux-ci

Définitions

Canal (Channel)

- Désigne une ou deux fréquences (suivant que l'on est en simplex ou en duplex) associées aux dispositifs d'appels sélectifs ou de cryptages éventuels.



Définitions

Canal (Channel)

- Désigne une ou deux fréquences (suivant que l'on est en simplex ou en duplex) associées aux dispositifs d'appels sélectifs ou de cryptages éventuels.

Exemple : VHF - AM aéronautique :

soit un canal dont la fréquence sélectionnée est 123.450 MHz sur une radio ayant un espacement de fréquences de 25 kHz :

- Le canal immédiatement inférieur = 123.425 MHz
- Le canal immédiatement supérieur = 123.475 MHz

Définitions

Canal (Channel)

- Désigne une ou deux fréquences (suivant que l'on est en simplex ou en duplex) associées aux dispositifs d'appels sélectifs ou de cryptages éventuels.



Un canal =

- numéro d'identification
- nom
- une ou deux fréquences
- tonalités CTCSS

Définitions

Cryptage

- Codage de communications militaires, de police ou d'autres agences gouvernementales.



Définitions

Cryptage

- Codage de communications militaires, de police ou d'autres agences gouvernementales.



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

Définitions

Tonalités DTMF - Dual Tone Multi Frequency

- Tonalités des systèmes de téléphonie.
- Ces tonalités sont toujours constituées de deux fréquences mélangées et sont audibles.



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Édouard-Montpetit École nationale d'aérotechnique

Définitions

Duplex

- Communication en duplex lorsque l'émission a lieu sur une fréquence différente de la réception.

Mobile 1 :
Tx : 155.000 MHz
Rx : 155.000 MHz

Base :
Tx : 150.000 MHz
Rx : 155.000 MHz

Mobile 2 :
Tx : 155.000 MHz
Rx : 155.000 MHz

Pas de communication possible entre les mobiles !

© Département d'avionique Document à des fins de formation


ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE COLLEGE EDOUARD-MONTPETIT

Collège Édouard-Montpetit École nationale d'aérotechnique


Définitions

Duplex

- Communication en duplex lorsque l'émission a lieu sur une fréquence différente de la réception.



Interrogation :
1030 MHz



Réponse :
1090 MHz

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Définitions

Fréquence de garde (*Guard Frequency*)

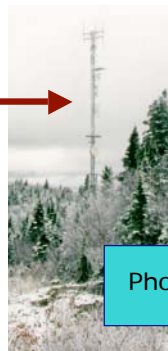
- Fréquence ou canal prioritaire.
- En cas d'appel sur cette fréquence, l'émetteur-récepteur doit automatiquement commuter sur cette fréquence ou ce canal.
- Cette fonction est souvent exigée sur les appareils effectuant la lutte contre les incendies de forêt.



Définitions

Relais téléphonique - *Phone Patch*

- Relais interface entre des communications radio FM et le réseau téléphonique.



Phone-Patch

Définitions

Balayage de fréquences - *Scanning*

- Balayage de fréquences ou de canaux présélectionnés lorsqu'on souhaite en écouter plusieurs simultanément et diffuser la première sur laquelle se présente un signal de réception.
- On peut accorder des priorités dans l'écoute des fréquences sélectionnées.



Définitions

Sidetone

- Dispositif permettant d'entendre sa propre voix dans un casque-écouteur lors d'une émission.



Définitions

Sidetone

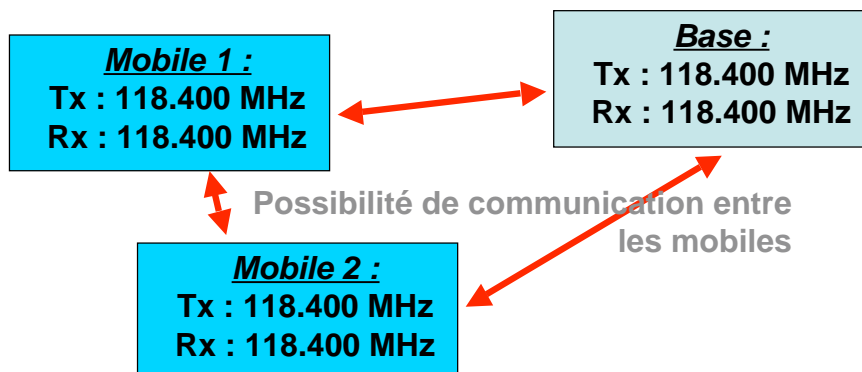
- Dispositif permettant d'entendre sa propre voix dans un casque-écouteur lors d'une émission.



Définitions

Simplex

- Communication simplex lorsque l'émission a lieu sur la même fréquence que la réception.



Définitions

Simplex

- Communication simplex lorsque l'émission a lieu sur la même fréquence que la réception.



Exemple : communications aéronautiques VHF-AM



Ce mode de communication est aussi connu sous le nom d'*Half Duplex*.

Définitions

Silencieux - Squelch

- Dispositif bloquant l'écoute d'un récepteur en l'absence de signal à l'antenne.



Silencieux

Définitions

Tonalités sub-audibles - CTCSS

NS ¹	PL	Hz	NS ¹	PL	Hz	NS ¹	PL	Hz
1	XZ	67.0	12	1Z	100.0			159.8
	WZ	² 69.3	13	1A	103.5			165.5
2	XA	71.9	14	1B	107.2			171.3
3	WA	74.4	15	2Z	110.9			177.3
4	XB	77.0	16	2A	114.8			183.5
5	WB	³ 79.7	17	2B	118.8			189.9
6	YZ	82.5	18	3Z	123.0			196.6
7	YA	85.4	19	3A	127.3	32	M1	203.5
8	YB	88.5	20	3B	131.8	33	M2	210.7
9	ZZ	91.5	21	4Z	136.5	34	M3	218.1
10	ZA	94.8	22	4A	141.3	35	M4	225.7
11	ZB	⁴ 97.4	23	4B	146.2	36	M5	233.6
			24	5Z	151.4	37	M6	241.8
			25	5A	156.7	38	M7	250.3
			26	5B	162.2			
			27	6Z	167.9			
			28	6A	173.8			
			29	6B	179.9			
			30	7Z	186.2			
			31	7A	192.8			
					199.5			
				0Z ⁵	206.5			
				6	213.8			
				6	221.3			
				9Z ⁶	229.1			
				6	237.1			
				6	245.5			
				0Z ⁶	254.1			

Notes

¹ Non-standard numerical codes. Many radios use a matching set of numerical codes to represent corresponding tones; however, there is no published standard and only partial industry adoption.

² Some radios use 69.4 Hz instead, which better fits the harmonic sequence, and this tone is often omitted as a choice.

³ Also known by the code SP.

⁴ Not actually in this harmonic sequence, but an average of the ZA and 1Z tones used to fill the gap between the lower and middle sequences. 95.1 Hz would be the tone after ZA, and the tone before 1Z would be 96.6 Hz, assuming the same harmonics were used.

⁵ The 0Z, 9Z, and 0Z ("zero-Z") tones are often omitted from radios that use the M1-M7 series of tones.

⁶ Not known to have been used, but included to place the 9Z and 0Z tones in the proper position in the harmonic series.

- Dispositif de silencieux verrouillé permettant d'effectuer des appels sélectifs.
- « CTCSS » signifie « *Continuous Tone Coded Squelch System* ».

Définitions

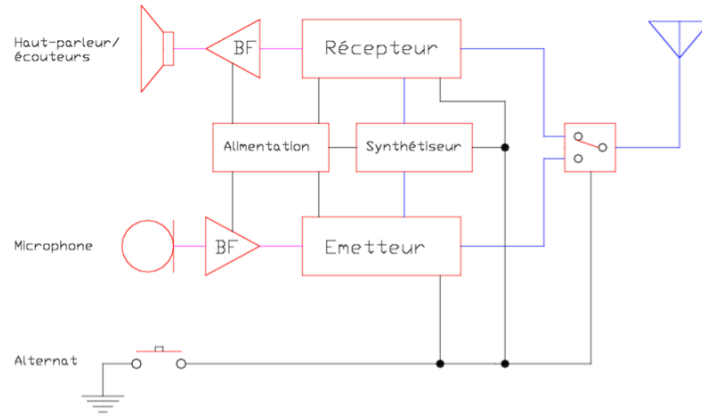
DCS - Digital-Coded Squelch

- Flot continu de données transmises en FSK à 134,4 bits par seconde.
- Ces données contiennent un code qui ne désactivera le silencieux (*Squelch*) que du récepteur ayant le même code programmé sur le canal considéré.
- Son fonctionnement est donc semblable au CTCSS.
- Suivant les fabricants de matériel de radiocommunication, le DCS peut s'appeler également DPL-Digital Private Line (Motorola), DCG-Digital Channel Guard (General Electric) et DTCS-Digital Tone Code Squelch (ICom).

Schéma-bloc d'un émetteur-récepteur

Étude du fonctionnement d'un émetteur-récepteur

- Description du schéma bloc simplifié :

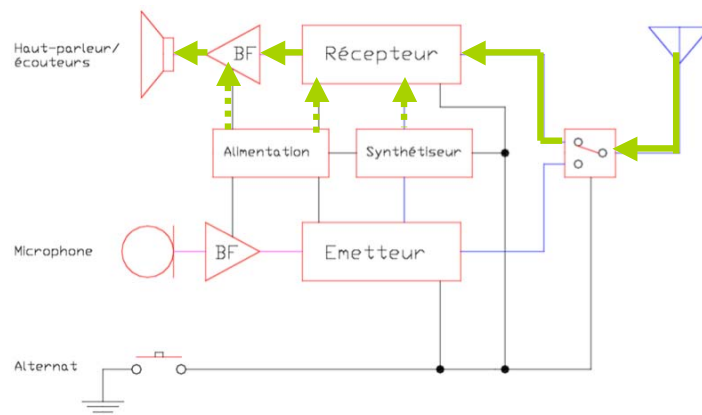


© Pierre GILLARD

Schéma-bloc d'un émetteur-récepteur

Étude du fonctionnement d'un émetteur-récepteur

- Mode écoute (réception) (RX) :



© Pierre GILLARD



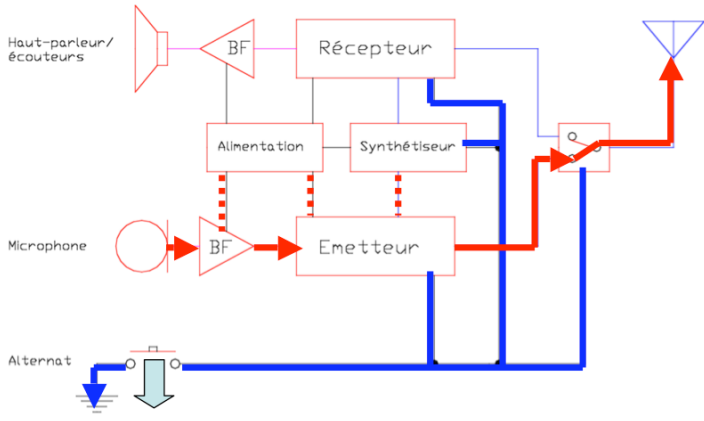



Schéma-bloc d'un émetteur-récepteur



Étude du fonctionnement d'un émetteur-récepteur

- Mode émission (TX) :



© Pierre GILLARD

© Département d'avionique
Document à des fins de formation

Les filtres

Rappels

- Impédance : $\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_C + \vec{X}_L$
- Réactance capacitive :
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Si la fréquence est **élevée** \Rightarrow la réactance capacitive est **faible**

« Un **condensateur** est un **court-circuit** à **haute fréquence** »

« Un **condensateur** est un **circuit ouvert** à **basse fréquence** »
- Réactance inductive :
$$X_L = 2\pi f L$$

Si la fréquence est **faible** \Rightarrow la réactance inductive est **faible**

« Une **bobine** est un **court-circuit** à **basse fréquence** »

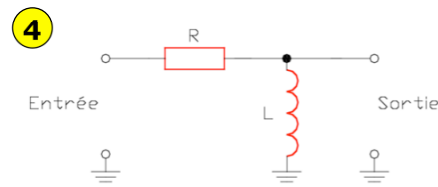
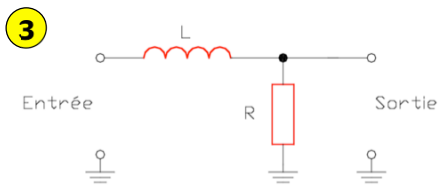
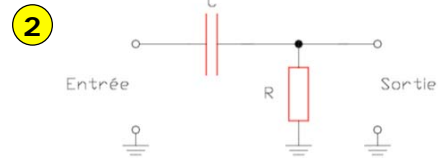
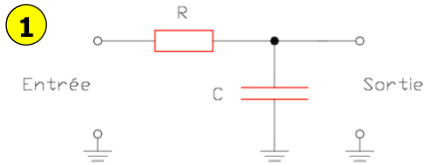
« Une **bobine** est un **circuit ouvert** à **haute fréquence** »

© Département d'avionique
Document à des fins de formation

Les filtres

Filtres passifs (rappel)

- Quelle est la fonction des filtres suivant ?

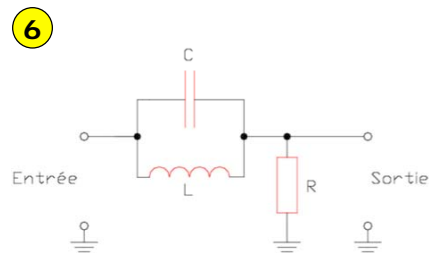
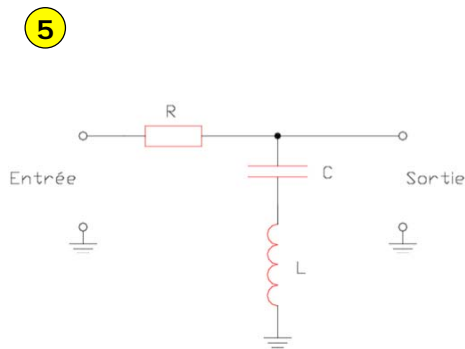


Schémas : Pierre GILLARD

Les filtres

Filtres passifs (rappel)

- Quelle est la fonction des filtres suivant ?



Schémas : Pierre GILLARD

Les filtres

Application : la bobine de choc

- Dans les fils d'alimentation des circuits RF, on insère une bobine de choc :

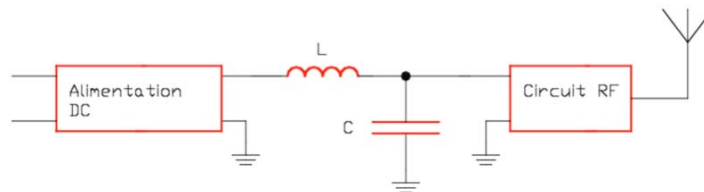


Schéma : Pierre GILLARD

La bobine de choc **L** empêche les radiofréquences parasites de remonter vers les circuits d'alimentation.

Le condensateur **C** « piège » ces radiofréquences vers la masse.

Les filtres

Les cristaux (quartz)

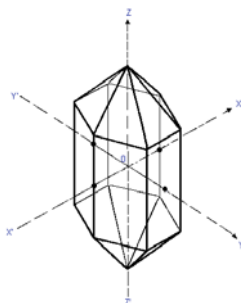


Image : électronique & informatique.fr



Photo : J. Daerme

- Un quartz (silice SiO_2) se crystallise sous la forme d'un prisme à section hexagonale régulière.
- Les extrémités ont la forme de pyramides à base hexagonale.
- On peut donc définir trois groupes d'axes de symétrie :

L'axe optique ZZ', reliant les sommets des deux pyramides aux extrémités.

Les axes mécaniques YY', du centre d'une face plane à son opposé.

Les axes électriques XX', joignant les sommets opposés des sections hexagonales.

Les filtres

Les cristaux (quartz)

Image : électronique & informatique.fr

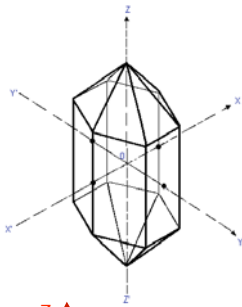
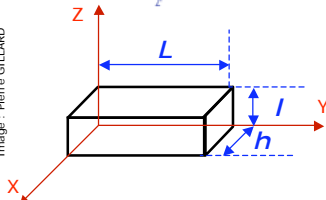


Image : Pierre GILLARD



- Effectuons une coupe dans le matériau telle que :

- La longueur L est parallèle à YY' .
- La longueur I est parallèle à ZZ' .
- L'épaisseur h est parallèle à XX' .

- Cette coupe est appelée « coupe de Curie » ou « coupe X ».
- À partir de cette coupe on peut définir la Loi de Curie.

Les filtres

Les cristaux (quartz)

Image : électronique & informatique.fr

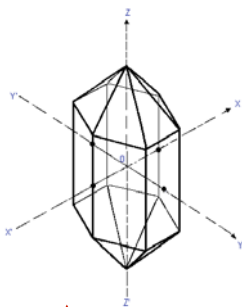
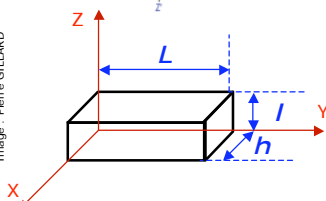


Image : Pierre GILLARD



- La loi de Curie :

- Si une force F_x est appliquée parallèlement à XX' , il apparaît sur les faces normales une charge électrique $Q_x = K F_x$.
- Si une force F_y est appliquée parallèlement à YY' , il apparaît sur les faces normales une charge électrique $Q_y = -K F_y (L/I)$.
- Si une force F_z est appliquée parallèlement à ZZ' , il n'apparaît aucune charge électrique.

- K est défini comme étant le module piézoélectrique.

Les filtres

Les cristaux (quartz)

Image : électronique & informatique.fr

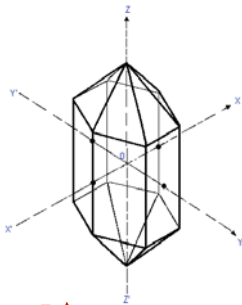
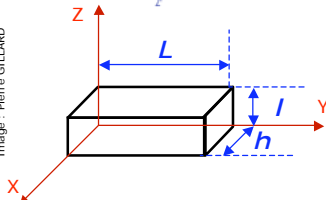


Image : Pierre GILLARD



- Selon les dimensions de la coupe, le matériau piézoélectrique oscille à une fréquence de résonance déterminée par la relation :

$$f = \left(\frac{1}{2L}\right) \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

- E est défini comme étant le module d'élasticité.
- ρ est la masse volumique du matériau.

Les filtres

Les cristaux (quartz)

Image : électronique & informatique.fr

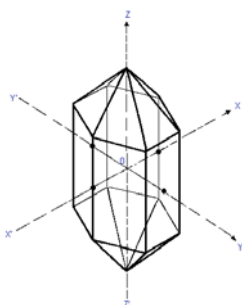
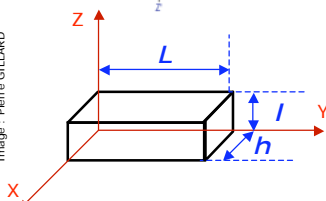


Image : Pierre GILLARD



- Nous avons vu qu'en appliquant une force, on obtient une charge électrique.
- Mais l'effet inverse est vrai aussi et se traduit par la loi de Lippmann :

Si on applique une différence de potentiel V entre les grande faces d'une coupe du matériau, on constate :

→ Parallèlement à XX' , une déformation $U = K V$.

→ Parallèlement à YY' , une déformation $v = K V (L/I)$.

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Le quartz est donc un composant qui oscille mécaniquement à une fréquence de résonance très précise lorsqu'il est stimulé électriquement.
- Selon l'orientation de la coupe (taille) du quartz selon les axes XX', YY' et ZZ', on utilise des dénominations particulières telles AC, AT, BT, CT, etc :

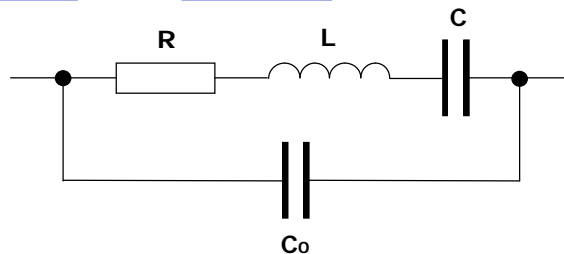
Propriétés de certaines coupes de quartz

Coupe :	Fréquences :	Facteur Q :	Remarques :
AT	0,5-150 MHz	0,1-5 M	Bonne stabilité en température
CT	300-700 KHz	> 0,1 M	Variation parabolique de la fréquence en fonction de la température
NT	4-100 KHz	0,1 M	

Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Électriquement, un quartz se comporte comme un circuit résonant série.
- Toutefois, en parallèle, il faut tenir compte de la capacité due aux électrodes et aux connexions.



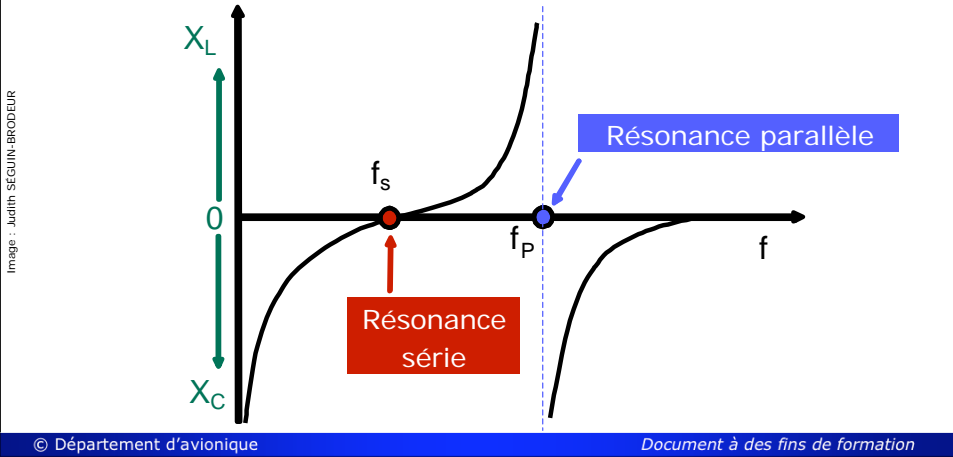
- La fréquence de résonance du circuit résonant série :

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Les filtres

Les cristaux (quartz)

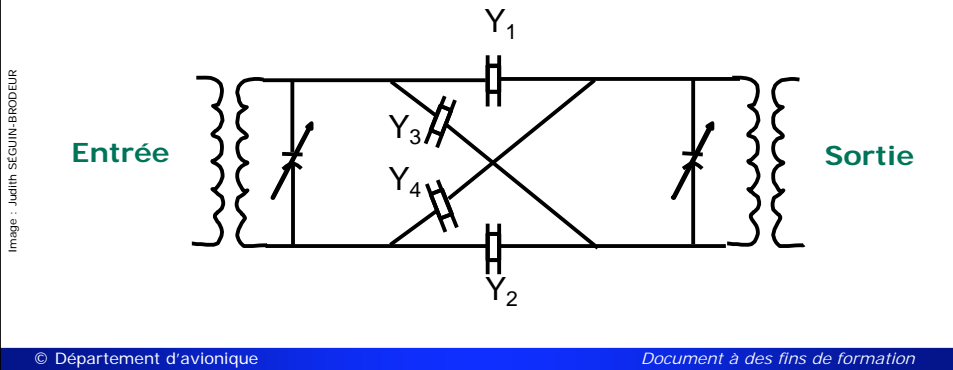
- Si l'on tient compte également de la capacité C_0 en parallèle, il y aura également une fréquence de résonance parallèle.



Les filtres

Les cristaux (quartz)

- En combinant plusieurs cristaux ayant des fréquences de résonance parallèle et série choisies, on peut construire des filtres présentant des largeurs de bande bien déterminées tout en présentant une sélectivité très élevée.



Les filtres

Les cristaux (quartz)

- Un autre type de montage est le montage en échelle : il s'agit aussi d'un filtre passe-bande où tous les cristaux résonnent à la même fréquence.
- Le nombre de cristaux et les condensateurs utilisés déterminent la bande passante globale du filtre.
- On utilise habituellement plus de six cristaux pour obtenir la sélectivité nécessaire.

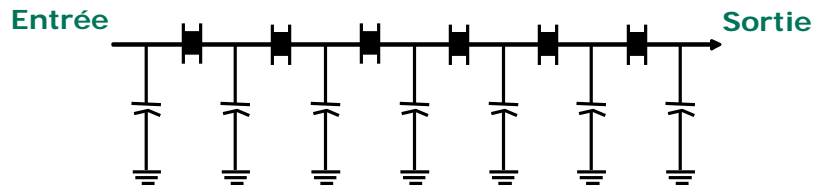


Image : Judith SEGUIN-BRODEUR

Les filtres

Les filtres céramiques

- Le facteur de qualité Q des filtres céramiques, dont la valeur est de l'ordre de quelques milliers, n'est pas aussi élevé que celui du quartz, mais il est toutefois beaucoup plus élevé que celui d'un filtre LC.
- On retrouve les filtres céramiques particulièrement dans les bandes de fréquences de 455 KHz à 10,7 MHz.

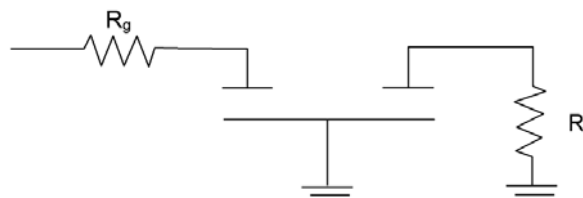


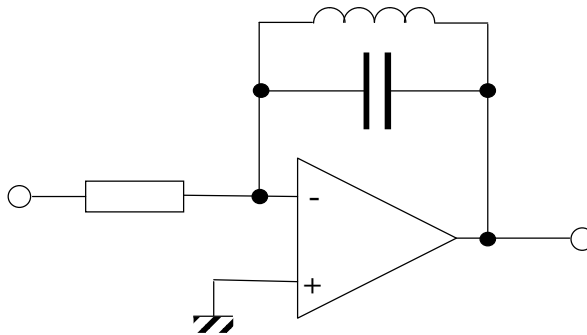
Image : Direct Industry

Schéma : Judith SEGUIN-BRODEUR

Les filtres

Les filtres actifs

- Le principe d'un filtre actif est d'introduire un filtre passif dans la boucle de contre réaction d'un amplificateur.
- Exemple :



Le gain est variable selon la fréquence !

Schéma : Pierre GILLARD

Les filtres

Les filtres actifs

- Exemple de filtre actif passe-bas de Butterworth du second ordre :

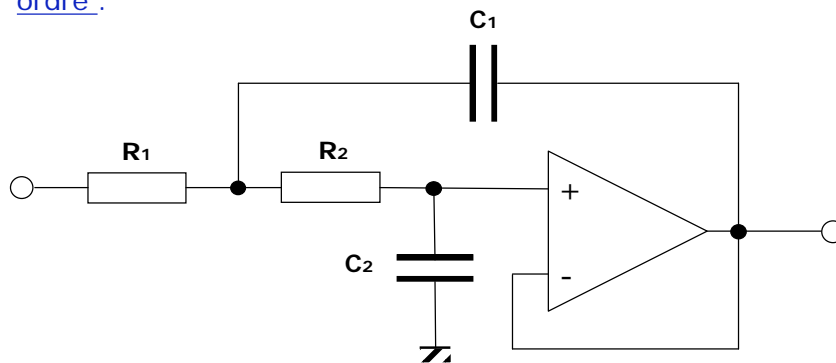
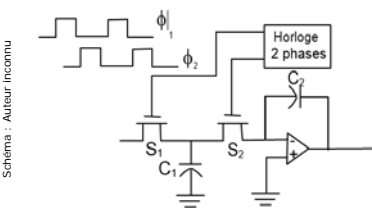


Schéma : Pierre GILLARD

Les filtres

Les filtres à commutation

- Il s'agit d'un filtre actif sous forme de circuit intégré composé d'un amplificateur opérationnel, de condensateurs et de transistors de commutation.
- On les retrouve dans la technologie MOS et CMOS.
- On peut les utiliser en passé-haut, passé-bas, passé-bande ou coupe-bande.

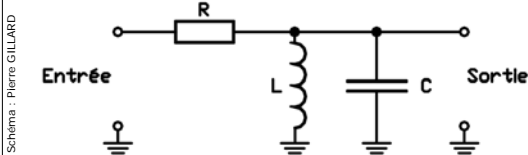


- Le principal avantage est de pouvoir produire un filtre à l'aide d'un simple circuit intégré sans avoir à utiliser des composants externes volumineux tels que résistances, inductances ou condensateurs.

Les oscillateurs

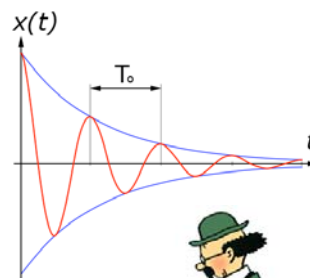
Principe de fonctionnement des oscillateurs

- Principe du circuit oscillant :



- Si on applique une impulsion à l'entrée de ce circuit, en sortie, on obtient une oscillation amortie de fréquence F_0 telle que :

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



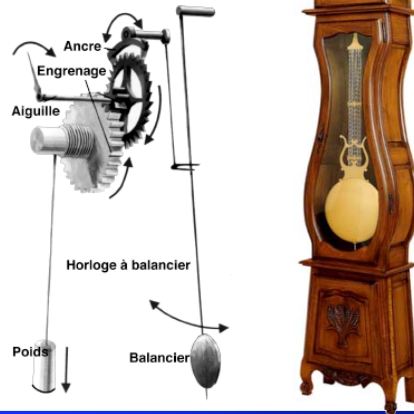
Les oscillateurs

Principe de fonctionnement des oscillateurs

- Si on souhaite entretenir l'oscillation, il faut trouver un moyen d'injecter de l'énergie dans le circuit :

Analogie :

L'énergie provient du poids entraînant le mécanisme

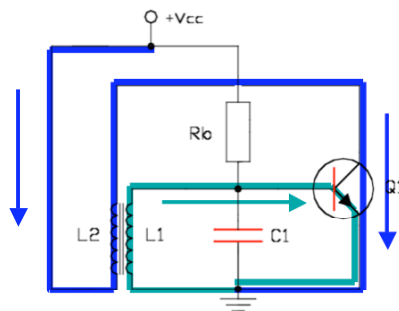


Images : auteur inconnu

Les oscillateurs

Principe de fonctionnement des oscillateurs

- Réaliser une réaction de la sortie vers l'entrée :

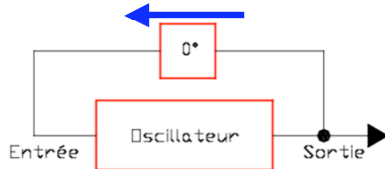


Pierre GILLARD

Les oscillateurs

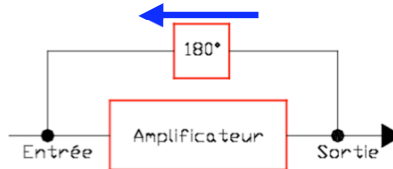
Réaction et contre-réaction

• Réaction :



- ✓ Signal injecté à l'entrée en phase.
- ✓ Effet « Larsen » (audio).
- ✓ **Instabilité.**
- ✓ Application : oscillateurs.

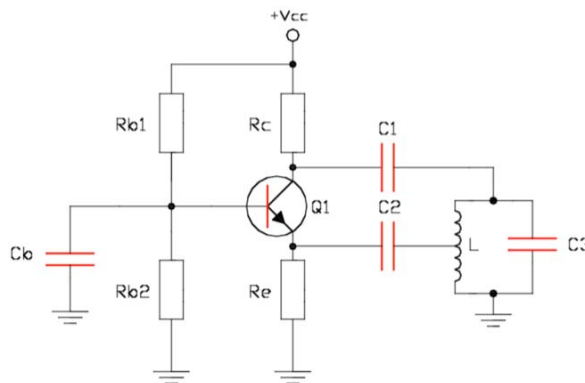
• Contre-réaction :



- ✓ Signal injecté à l'entrée en opposition phase.
- ✓ **Stabilité.**
- ✓ Application : amplificateurs.

Les oscillateurs

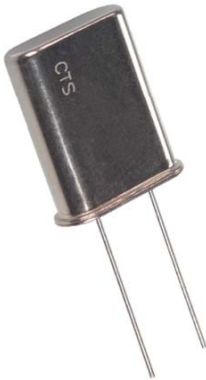
Oscillateur Hartley



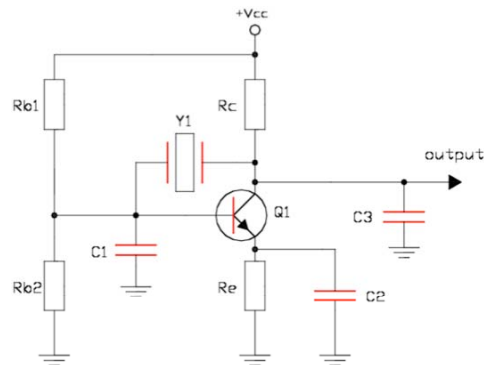
- *Inconvénient* : pas très précis (oscillation liée à la valeur et aux tolérances des composants) et pas très stable dans le temps.

Les oscillateurs

Oscillateur à quartz



- Un quartz peut être installé dans la boucle de réaction d'un oscillateur.
- Il s'agit d'oscillateurs très précis.

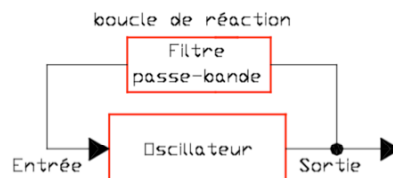


Les oscillateurs

Oscillateur à quartz



- Techniquement, il est impossible de produire des cristaux (quartz) pour des fréquences plus élevées que quelques dizaines de mégahertz.
- Il faut donc réaliser des oscillateurs fonctionnant en overtone si on désire obtenir des fréquences plus élevées.



Les oscillateurs

Contrôle de la température des oscillateurs à quartz

- Il existe trois formes de contrôle de la température des oscillateurs à cristaux :

RTXO – *Room-Temperature Crystal Oscillator*

- Aucune précaution particulière n'est prise pour contrôler la température de l'oscillateur.
- Il peut donc y avoir des variations de fréquence selon la température ambiante du circuit de l'oscillateur.
- Néanmoins, on arrive à obtenir des stabilités en fréquence de l'ordre de 2,5 ppm dans une gamme de température de 0°C à 50°C.
- Les RTXO sont utilisés dans les équipements où une grande précision de l'oscillateur n'est pas requise.

Les oscillateurs

Contrôle de la température des oscillateurs à quartz

- Il existe trois formes de contrôle de la température des oscillateurs à cristaux :

TCXO – *Temperature-Compensated Crystal Oscillator*

- La dérive en température des caractéristiques de certaines composants de l'oscillateur ont pour effet de compenser les dérives en fréquence du cristal.
- On obtient ainsi des stabilités en fréquence de l'ordre de 0,5 ppm dans une gamme de température de 0°C à 50°C.
- Le coût des TCXO a régulièrement diminué au fil du temps, ce qui fait que l'on peut obtenir des oscillateurs relativement précis dans des équipements bon marchés.

Les oscillateurs

Contrôle de la température des oscillateurs à quartz

- Il existe trois formes de contrôle de la température des oscillateurs à cristaux :

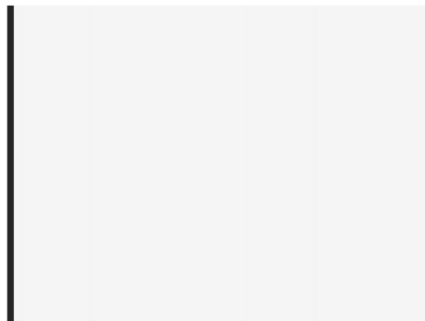
OCXO – *Oven-Controlled Crystal Oscillator*

- Le cristal est placé dans un four maintenant une température stable souvent située entre 70°C et 80°C.
- La température du four peut être réglée par action « tout ou rien (on-off) » ou par action proportionnelle continue.
- On obtient ainsi des stabilités en fréquence de l'ordre de 0,0002 ppm après un préchauffage d'une vingtaine de minutes et de 0,0001 ppm après 24 heures.
- Les OCXO sont utilisés dans les équipements où une grande précision est requis; évidemment, le coût est plus élevé.

Les oscillateurs

Horloges atomiques

- Lorsque des précisions temporelles extrêmes sont nécessaires, on aura recours aux horloges atomiques comme dans les systèmes GNSS (Galileo, GLONASS et GPS).



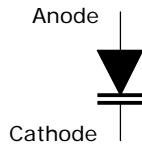
Vidéo : ESA

Les oscillateurs

VCO – Oscillateurs commandés en tension



Images : rf-microwave.com

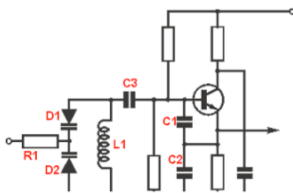


Dessin : Pierre GILLARD

- L'élément central d'un oscillateur commandé en tension (*VCO-Voltage Controlled Oscillator*) est la diode varicap ou *varactor*.
- Lorsque la diode est polarisée en inverse (bloquée), elle est équivalente à un condensateur dont la capacité varie en fonction de la tension appliquée.
- La capacité de la diode varicap est inversement proportionnelle à la racine carrée de la tension inverse appliquée à la diode.

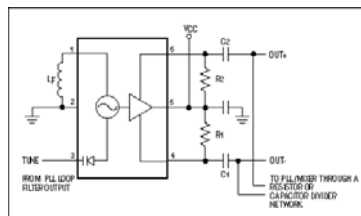
Les oscillateurs

VCO – Oscillateurs commandés en tension

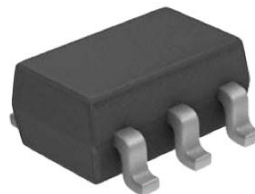


Schema : auteur inconnu

- Il existe de nombreuses variantes de circuit de VCO à varicaps.
- Certains existent sous forme de circuits intégrés où le seul composant externe important à utiliser est une bobine (*exemple : Maxim Integrated MAX-2605/2609*).



Schema & image : Maxim Integrated



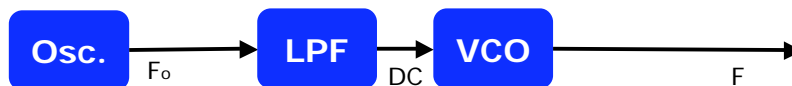
Les synthétiseurs de fréquences

- Un oscillateur ne peut produire qu'une seule fréquence.
- Les premières radios à fréquences multiples étaient à commutation de cristaux.
- Ces radios étaient limitées à quelques fréquences.
- Parfois, l'opérateur devait lui-même changer les cristaux pour obtenir de nouvelles fréquences.



Les synthétiseurs de fréquences

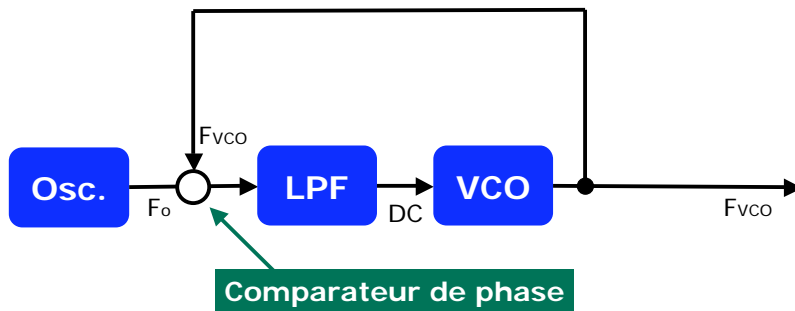
- En général, les synthétiseurs de fréquences fonctionnent à l'aide de boucles à verrouillage de phase (PLL-Phase Locked Loop) :



✓ Aucun intérêt, car on produit une fréquence non contrôlée !

Les synthétiseurs de fréquences

- En général, les synthétiseurs de fréquences fonctionnent à l'aide de boucles à verrouillage de phase (PLL-Phase Locked Loop) :

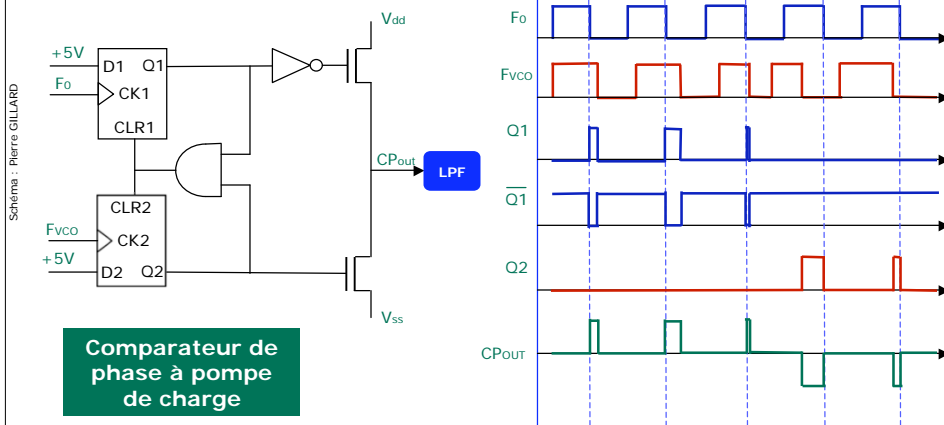


- On réalise une boucle en ajoutant un comparateur de phase.

Les synthétiseurs de fréquences

Comparateur de phase

- Exemple de comparateur de phase parmi les plus communs :

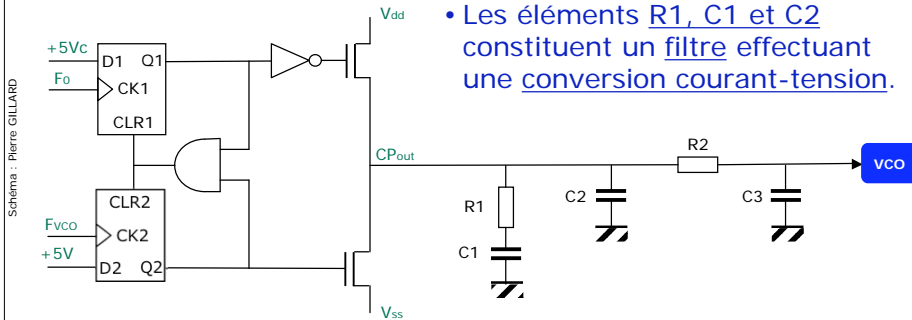


Comparateur de phase à pompe de charge

Les synthétiseurs de fréquences

Comparateur de phase

- Exemple de comparateur de phase parmi les plus communs :



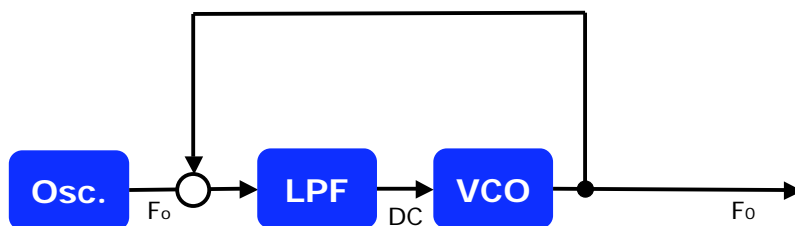
- Les éléments $R1$, $C1$ et $C2$ constituent un filtre effectuant une conversion courant-tension.

Comparateur de phase à pompe de charge

- Le condensateur $C2$ permet de limiter les variations de tensions transitoires.

Les synthétiseurs de fréquences

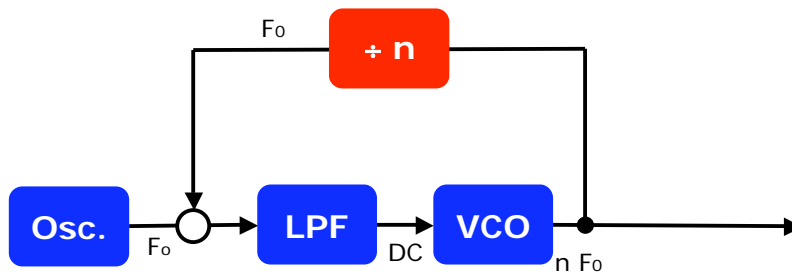
- Revenons à notre boucle à verrouillage de phase (PLL) :



✓ Aucun intérêt, car on reproduit la fréquence de l'oscillateur !

Les synthétiseurs de fréquences

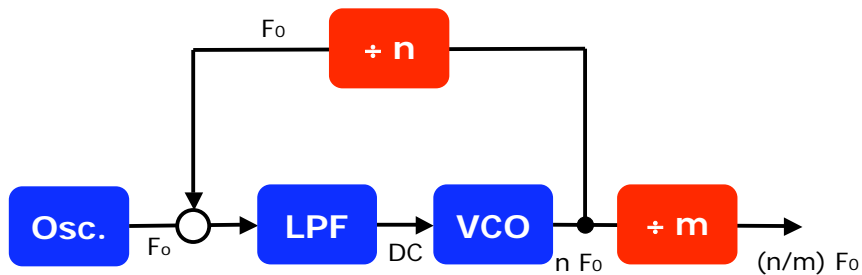
- Revenons à notre boucle à verrouillage de phase (PLL) :



✓ En ajustant « n » à volonté, on peut créer des fréquences multiples de F_0 .

Les synthétiseurs de fréquences

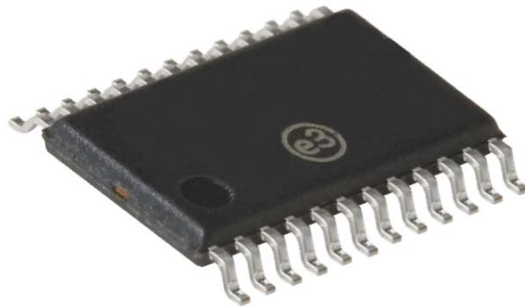
- Revenons à notre boucle à verrouillage de phase (PLL) :



✓ En ajustant « n » et « m » à volonté, on peut créer une multitude de fréquences inférieures ou supérieures F_0 .

Les synthétiseurs de fréquences

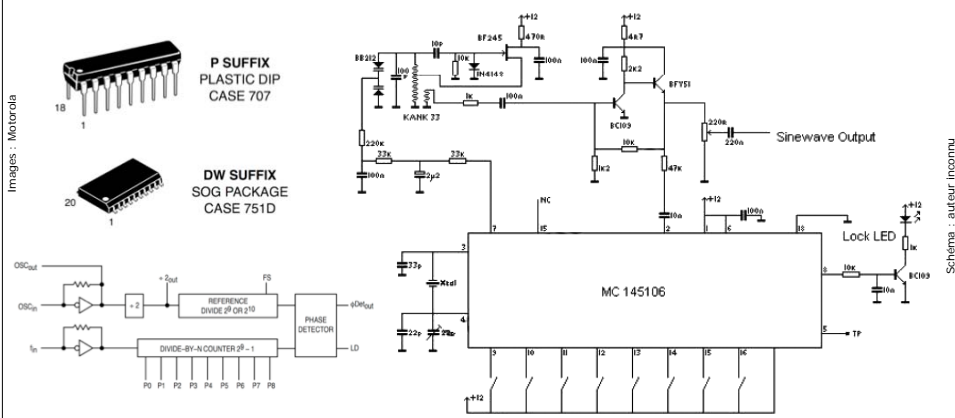
- Les synthétiseurs de fréquences se présentent sous forme de circuits intégrés comprenant une ou plusieurs boucles à verrouillage de phase dont il est possible de contrôler les diviseurs de fréquence.



© Digi-Key

Les synthétiseurs de fréquences

- Un synthétiseur de fréquences disponible en CI parmi les plus courants est le Motorola MC145106.
- Voici un exemple d'application :



Images : Motorola

Schema : auteur inconnu

Les synthétiseurs de fréquences

- Exemple de synthétiseur d'une radio VHF-COM :

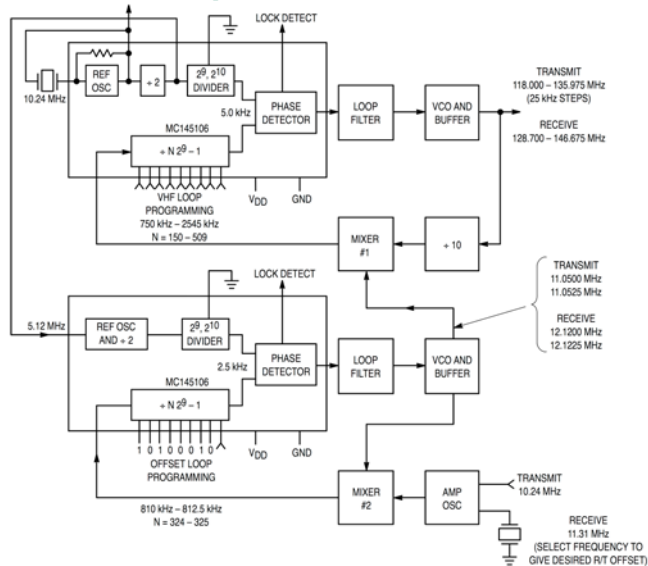


Schéma : Motorola

Rôles des communications aéronautiques

- Les radiocommunications aéronautiques permettent de transmettre et de recevoir des messages vocaux ou numériques :



© Pierre GILLARD/2007-1462

- ✓ Gestion du trafic aérien.
- ✓ Gestion des mouvements sur les aéroports.
- ✓ Information de positionnement.
- ✓ Messages d'urgence et signaux de détresse.
- ✓ Messages de compagnie.
- ✓ Transmission de données techniques.
- ✓ Informations relatives à la météo ou à la sécurité.
- ✓ Divertissement : télévision, Internet, etc.
- ✓ Autres communications.

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPÉTI

Collège Edouard-Montpetit
École nationale d'aérotechnique

Rôles des communications aéronautiques

- Les aéronefs peuvent communiquer entre eux ou avec d'autres véhicules ou stations radio :

The diagram illustrates four types of communication:

- Transmissions par satellites**: A satellite in space is connected to a Sabena airplane.
- Communications air-air bilatérales**: A blue arrow connects two airplanes.
- Communications air-mer bilatérales**: A yellow arrow connects a helicopter and a ship.
- Communications bilatérales avec les services publics**: An orange arrow connects an airplane to a ground service vehicle, and a red arrow connects an airplane to an air traffic control tower.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDOUARD-MONTPÉTI

Collège Edouard-Montpetit
École nationale d'aérotechnique

Types de radios utilisées en aéronautique

- Les principales sortes d'émetteurs-récepteurs utilisés pour les radiocommunications en aéronautique :

<ul style="list-style-type: none"> ✓ VHF-AM (civil et militaire). ✓ UHF-AM (militaire). ✓ VHF-FM (services publics). ✓ UHF-FM (services publics). ✓ HF-SSB (civil et militaire). ✓ SATCOM (civil et militaire). 	
---	--

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- Servent à gérer le trafic aérien ainsi que les mouvements tant d'aéronefs que de véhicules au sol.

Stations portables



Stations de base



Stations mobiles



Walter Dittler/Technismic Industries Ltd

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- La qualité des stations de base des organismes du contrôle aérien (ATC) doit être très élevée pour garantir des communications claires et sans ambiguïté.



© Pierre GILLARD/2008-18968

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

Types de radios utilisées en aéronautique

Stations de radiocommunication au sol

- Il existe aussi des stations émettrices automatisées servant à transmettre les informations d'aéroport et de météorologie (ATIS-Automatic Terminal Information Service) aux pilotes.



© Pierre GILLARD/2008-15973

© Département d'avionique

Document à des fins de formation



© Pierre GILLARD/2009-P1000719

Merci de votre attention

© Département d'avionique

Document à des fins de formation