

Formation « Du capteur à l'émetteur »

organisée par le Secteur Espace de Planète Sciences

les 7 et 8 février 2015

à l'Espace des Sciences Bernard Martin de Ris Orangis (91)

Livret stagiaire

Ce livret appartient à :

Sommaire

Introduction	3
Planning	4
Les ressources	6
Les présentations	7
Présentation du week-end	8
Présentation d'une chaîne de télémessure	10
Acquisition et encodage du signal	14
Modulation IRIG et FSK	21
Émetteurs et antennes	28
Construction d'un projet expérimental	34
Arduino vs Raspberry	37
Initiation à la compatibilité électromagnétique	40
Récupération et exploitation des données	47
Les travaux pratiques	51
TP électronique n°1 - Conditionnement des signaux - Montages autour de l'AO	
TP électronique n°2 - Réalisation d'un modulateur	
TP programmation n°1 - Programmation d'un microcontrôleur PIC16F876	
TP programmation n°2 - Conversion analogique numérique & envoi liaison série	
TP électronique /programmation - Intégration de chaînes complètes	
TP annexe - Etude de la dérive des composants	
Annexes	72
Notice du PIC16F876 (extraits de datasheet)	
Datasheet du VCO XR2206	
Datasheet de l'amplificateur opérationnel TL082/TL084 (extrait)	
Datasheet du régulateur de tension LM78XX (extrait)	
Datasheet de la référence de tension AD584 (extrait)	
Datasheet du capteur de pression MPX2200 (extrait)	
Glossaire	91

Introduction

Depuis 1999, une formation à la télémesure est proposée chaque année aux animateurs, suiveurs, enseignants, membres de clubs et autres adhérents espace. A l'origine consacrée à l'opération Un Ballon A l'Ecole, elle s'est depuis étendue à toutes les télémesures utilisées par les clubs en proposant depuis 2004 une formation à la télémesure numérique.

Le stage « niveau 2 » ou « perfectionnement » est prévu pour environ 20 stagiaires et 8 formateurs. Il a lieu le dernier week-end de janvier à Ris-Orangis (91).

En 2012, la formation est renommée « du capteur à l'émetteur » pour mieux traduire le contenu de cette formation qui s'adresse aux jeunes ayant des bonnes bases d'électronique et souhaitant réaliser leur propre système de télémesure dans leur ballon, leur fusée ou leur CanSat.

Objectifs :

- Savoir concevoir et réaliser une chaîne de mesure complète embarquée.
- Savoir utiliser les standards de télémesure IRIG ou FSK et l'émetteur Kiwi du CNES en modulation externe.

Déroulement :

En début de stage, les participants se divisent en deux groupes de travaux pratiques :

- Les TP électroniques consistent à réaliser les circuits électroniques intervenant dans une chaîne de télémesure entre le capteur et l'émetteur.
- Les TP informatiques consistent à programmer un microcontrôleur pour l'acquisition et la transmission des données de mesure au standard SNR.

En fin de stage, les productions sont assemblées pour réaliser des chaînes de télémesure complète, émettre des données provenant de capteurs réels et les recevoir et les décoder avec le matériel de réception de Planète Sciences.

En dehors des présentations théoriques et des travaux pratiques dirigés, des temps sont aménagés pour que les stagiaires se posent des questions sur leur propre projet expérimental et appliquent les notions apprises à leur problématique de l'année en cours. Ils peuvent discuter avec les formateurs et approfondir des sujets techniques le samedi soir s'ils le souhaitent.

Planning

Samedi 7 février 2015

Quoi	Quand	Qui
9h	Accueil des participants	
9h30	Présentation du week-end (objectifs, organisation)	
9h45	Présentation générale d'une chaîne de télémesure	
10h30	Acquisition et encodage du signal (conditionnement, numérisation, échantillonnage)	
11h15	TP1-E : Le conditionnement des signaux Montages autour de l'AO (Introduction)	TP1-P : Prise en main de l'environnement de développement et codage d'un programme simple (Introduction)
12h00	Repas	
13h15	TP1-E : (Manip)	TP1-P : (Manip)
14h45	Modulations IRIG et FSK	
15h30	TP2-E : Réalisation d'un modulateur FSK	TP2-P : Acquisition et génération de trames
17h30	Pause	
18h00	Présentation de l'émetteur Kiwi et des antennes	
18h30	Construction d'un projet expérimental (conseils et applications)	
19h45	Repas	
21h	Arduino vs Raspberry Pi : éléments de choix et démo	
21h30	Temps libre, bidouille en tous genres, discussions sur les projets	

Dimanche 8 février 2015

Quand	Quoi	Qui
9h	Accueil des participants	
9h30	Restitution des projets (5 min par projet)	
10h	Introduction à la compatibilité électromagnétique	
10h30	Réception et exploitation des résultats, exemple d'un projet réalisé	
11h	TP3 : Intégration de chaînes de télémétrie complètes (conditionnement + acquisition + modulation FSK + émetteur)	
13h	Repas	
14h	Essais de réception des télémétries (étalonnage, macrobaies, logiciels, antennes)	
15h15	Rangement	
15h45	Auto-évaluation	
16h15	Corrections et synthèse	
16h30	Fin et retours	

TP-E : travaux pratiques d'électronique ; TP-P : travaux pratiques de programmation

Les ressources

Les formateurs :

Prénom	Nom	Adresse e-mail
Alexandre	Simon	alexandre.simon@planete-sciences.org
Badr	Rmili	badr.rmili@planete-sciences.org
Frédéric	Douguet	frederic.douguet@ac-poitiers.fr
Jérôme	Hamm	jerome.hamm@planete-sciences.org
Olivier	Sterenberg	olivier.sterenberg@gmail.com
Tanguy	Jeanne	tanguy.jeanne@planete-sciences.org
Amandine	Gueurce	amandine.gueurce@planete-sciences.org

Pour toutes vos questions :

www.planete-sciences.org/espace/basedoc/
www.planete-sciences.org/forums/
espace@planete-sciences.org

Pour les plus passionnés :

inscription à la liste telemesure@planete-sciences.org

Les présentations



Week-end de formation à la télémesure - février 2015

- > Présentation du week-end
- > Principe des TP
- > Présentations des intervenants
- > Planning du week-end

Week-end de formation télémesure - Ris Orangis

Présentation du Week-end

- Pourquoi vous êtes là ?
- Objectifs du week-end
 - Se former à la conception et à la réalisation d'une télémesure analogique ou numérique.
 - Appréhender les problèmes liés à la mise en place de ces systèmes (erreurs, dérives, CEM,...)
 - Découvrir les différents outils proposés par Planète Sciences pour la mise en œuvre de ces télémesures (émission ou réception).
 - Découvrir la base technique, à la disposition des bénévoles et membres de clubs.
 - Se faire plaisir !

2

Présentation du week-end

- Qu'est-ce que vous allez faire ?
 - Assister à des présentations théoriques (en groupe)
 - Faire des TP (en binôme)
 - Planète Sciences fournit du matériel de développement, de test et de mesure.
 - Encadrement par des bénévoles compétents et motivés.
 - Travailler sur votre projet Espace de l'année (en équipe)
 - Mise en application directe et utile
 - Profiter de la base technique de Ris Orangis
 - Les locaux, le matériel, et le Nutella

3

Page 8 of 99

Les séances de TP

- Modalité
 - Une présentation des objectifs du TP en début de séance
 - 2 h pour faire les TP avec l'aide des formateurs
 - A la fin, présentation d'une solution qui marche.
- Deux groupes en parallèle
 - Groupe « TP analogiques » : montages électroniques de base, réalisation d'une chaîne de télémesure analogique
 - Groupe « TP numériques » : initiation au microcontrôleur PIC, réalisation d'une chaîne de télémesure numérique
- Contenu
 - Que ce soit en numérique ou analogique, ils permettent de découvrir des chaînes de télémesure complètes.
 - Chaque TP dispose de matériel de mesure adapté.

4

Les intervenants

Alexandre



Badr



Frédéric



Jérôme



Olivier



Tanguy

5

Planning du WE : samedi

- 9h30 Présentation du week-end, objectifs et organisation
- 9h45 Introduction à la télémesure
- 10h30 Acquisition et encodage du signal
- 11h15 TP 1 Binôme
- 12h30 Repas Tous
- 13h15 TP 1 Binôme
- 14h45 Les standards de télémesure
- 15h15 TP 2 Binôme
- 17h30 Pause Nutella
- 18h00 Emetteurs et Antennes
- 18h30 Construire son projet expérimental Equipes
- 19h45 Repas Tous
- 21h00 Arduino vs Rasperry : conseils, démo puis bidouille ! 6

Planning du WE : dimanche

- 9h00 Restitution des projets Tous
- 10h00 Introduction à la CEM
- 10h30 Récupération et exploitation des données
- 11h00 TP 3 Binôme
- 13h00 Repas Tous
- 14h00 Essai des chaînes de télémesure complètes Tous
- 15h15 Rangement Tous
- 15h45 Auto-évaluation Individuelle
- 16h15 Discussion et synthèse Tous
- 16h30 Fin et retours Tous

7



Présentation d'une chaîne de télémesure

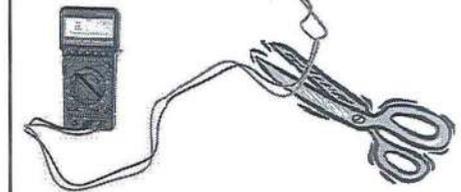
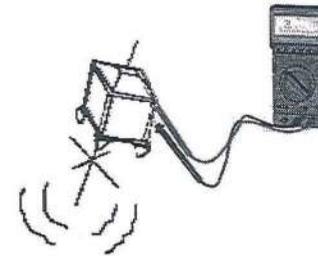
> Les différentes étapes du capteur à l'émetteur

Formation "Du capteur à l'émetteur" - Ris Orangis

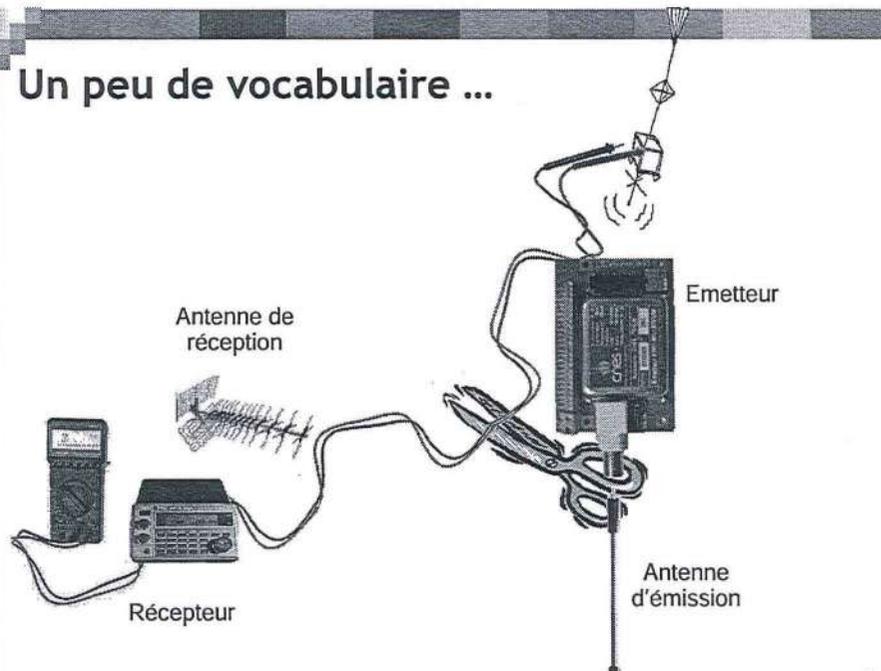
Vous avez dit "télémesure" ...

Dictionnaire : « transmission à distance d'un signal porteur d'un résultat de mesure »

CF : Télévision, Téléphone, télécommande ...



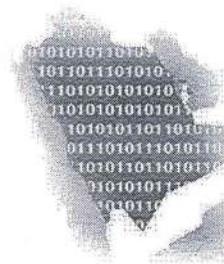
Un peu de vocabulaire ...



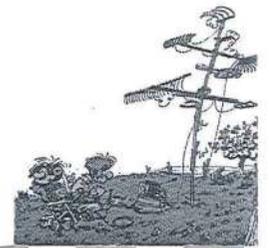
Pourquoi utiliser la télémesure ?

- Autres possibilités :
 - L'enregistrement à bord
 - ...

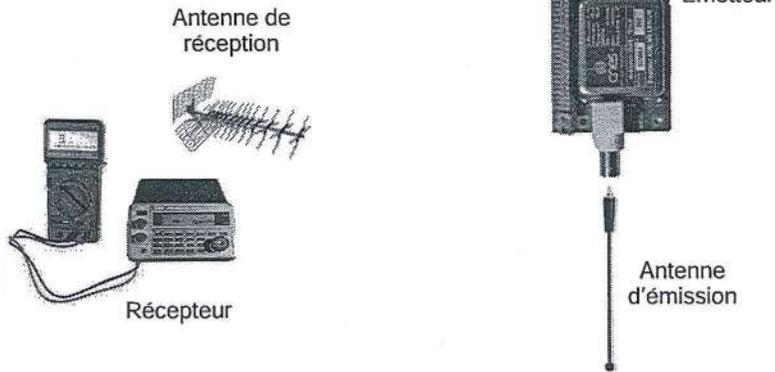
L'objectif premier d'un ballon ou d'une fusée expérimentale est l'obtention d'un résultat d'expérience exploitable.



Ballons perdus,
Vols Balistiques ...

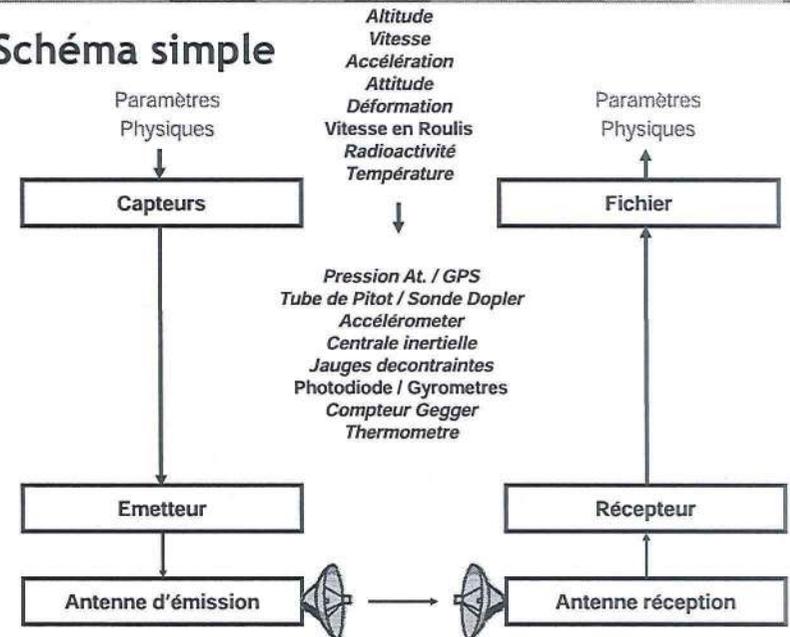


Et si on faisait un schéma logique...



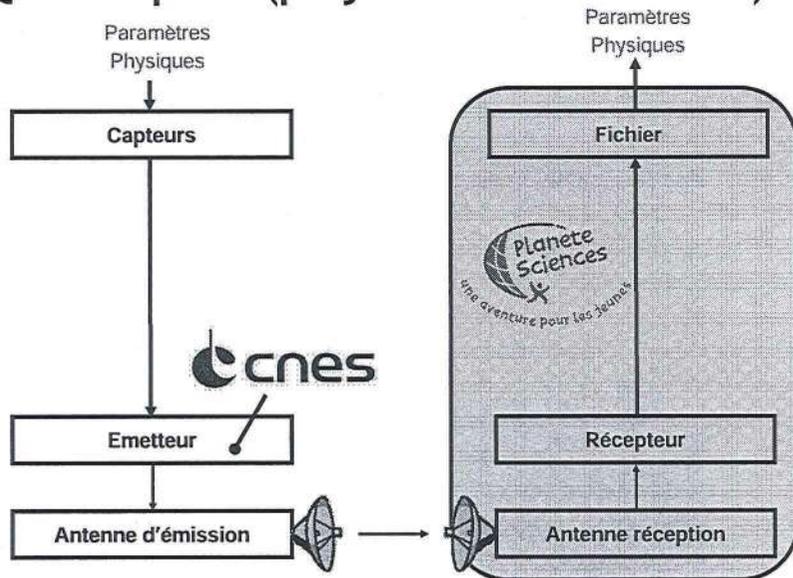
5

Schéma simple



6

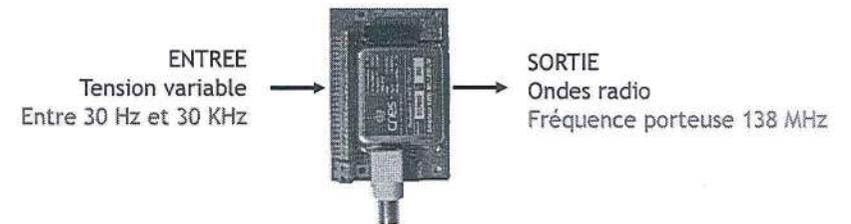
Qui fait quoi ? (projets fusées et ballons)



7

Page 11 of 99

Spécification du Kiwi Millénium



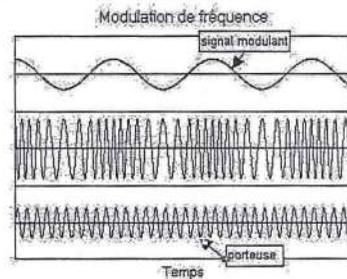
Il faut donc coder notre signal en fréquence entre 30Hz et 30kHz !

8

2 Solutions pour la codage du signal :

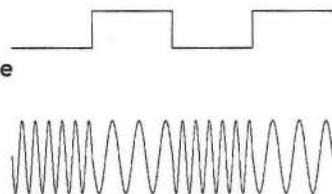
■ Modulation Analogique :

- Modulation de fréquence continue
- 1 Tension = 1 Fréquence



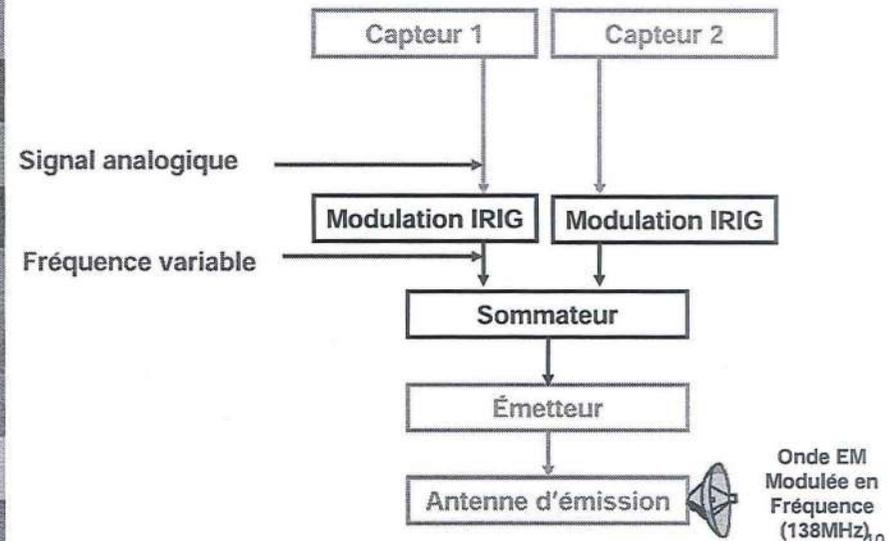
■ Modulation Numérique :

- Modulation de fréquence discontinue
- 1 Tension = 1 Fréquence
- Seulement 2 tensions possibles
« 1 ou 0 »



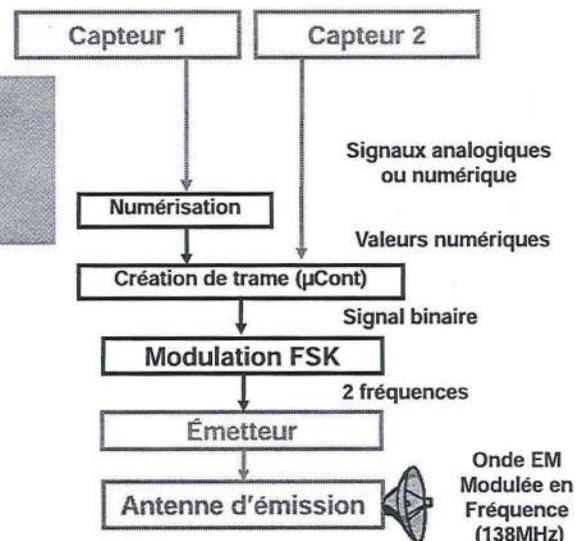
9

Modulation analogique



Modulation numérique

- Capteurs analogiques :
- Température
 - Pression
- Capteurs numériques :
- GPS



11

Page 12 of 99

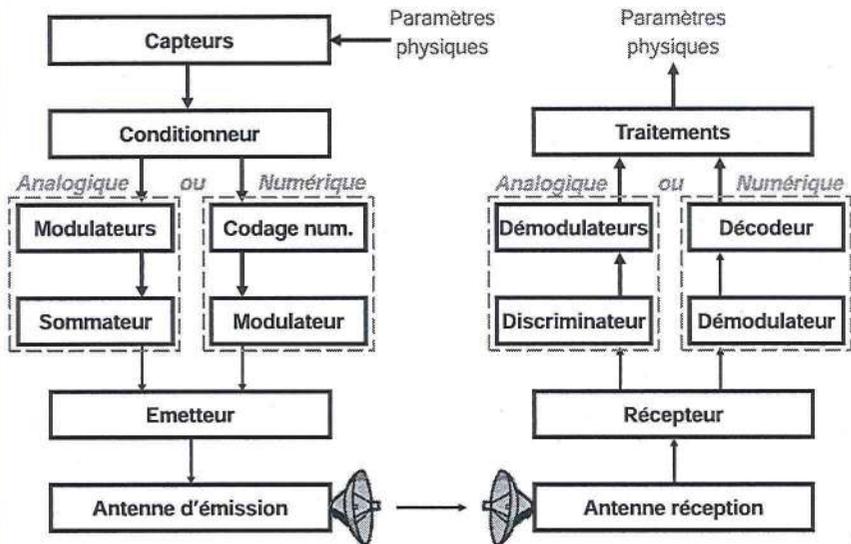
Différence entre Modulateur FSK et IRIG

	FSK (télé numérique)	IRIG (télé Analogique)
Nombre de voies de mesure	Infini	4 maximum
Type de données	Analogique & Numérique	Analogique
Nb de Modulateurs	1	autant que de voies
Nom du composant électronique	XR2206	XR2206
Tension d'entrée	0V → 5V	0V → 5V

Il nous faut donc une interface entre capteur et modulateur : le conditionneur.

12

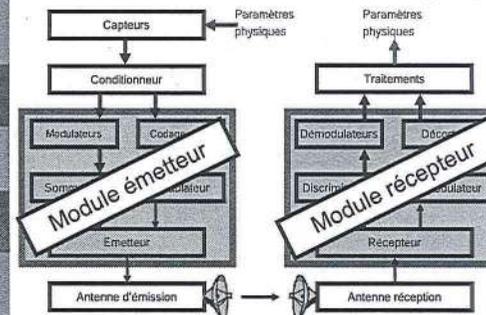
Schéma complet



13

La télémesure pour les CanSat

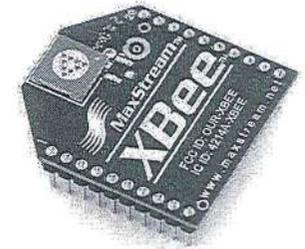
Un module tout intégré, des clubs autonomes



- Interférence avec les réseaux WIFI ?
- Portée limitée
 - Puissance bridée
 - Orientation de l'antenne non optimisée

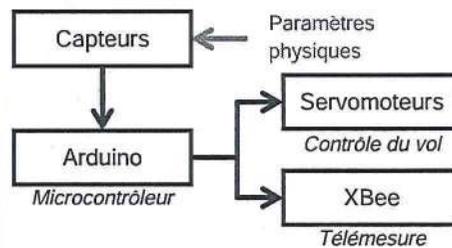
■ Caractéristiques Xbee

- Transmission de chaîne de caractère
- 2,4GHz (protocole ZigBee)
- 10mW en sortie (norme européenne)
- 9,6kbps
- Antenne patch



La télémesure pour les CanSat

L'architecture électrique



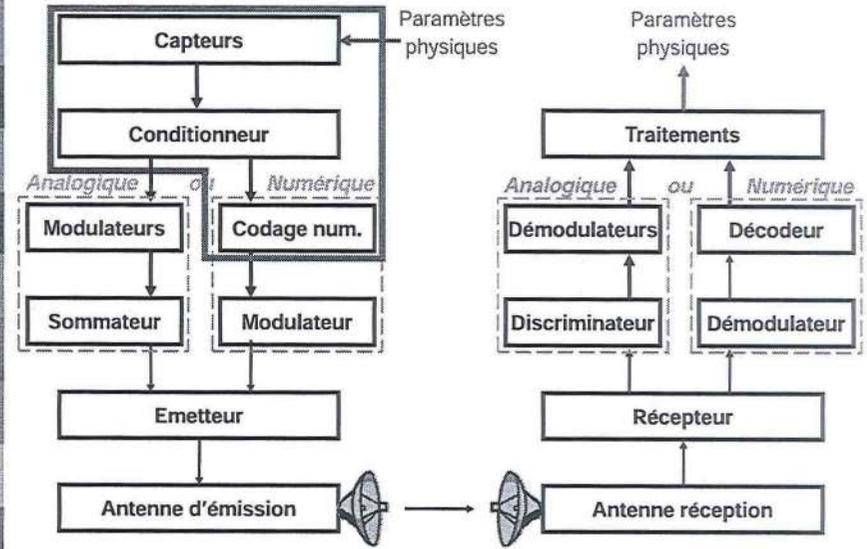


Acquisition et encodage du signal

- > Le conditionnement des capteurs
- > L'échantillonnage
- > La conversion numérique

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Position dans la chaîne télem



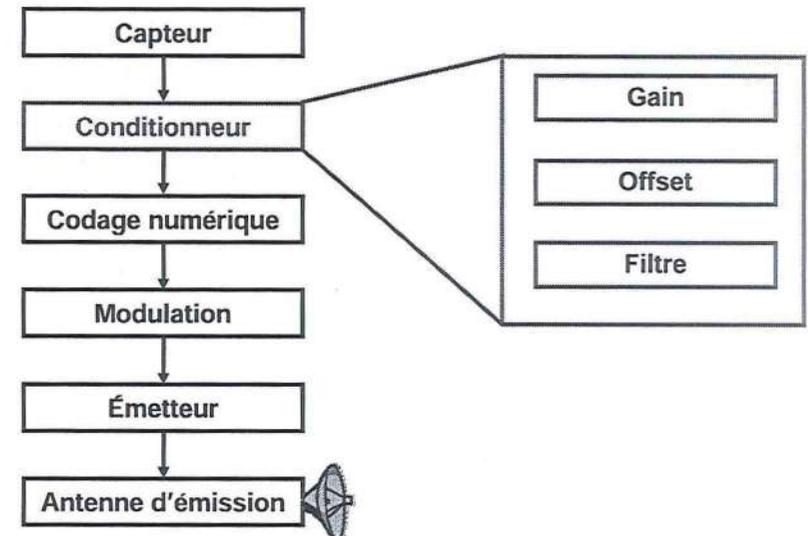
2

Pourquoi conditionner le signal du capteur ?

- Pour convertir les données du capteur en une tension
 - photodiode : Courant
 - photomultiplicateur : Charge
 - roue codeuse : Fréquence
 - jauge de contrainte : Résistance
 - accéléromètre piézoélectrique : Capacité
- Pour occuper la plus grande plage de mesure possible
 - Typiquement, 0-5V en télémessure FSK ou Kiwi Millénium
 - Le signal du capteur est souvent faible (mV)
- Pour améliorer le rapport signal sur bruit
 - Fiabilité, qualité de la mesure

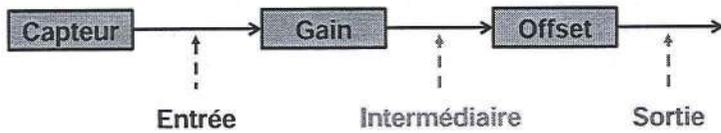
3

Mettre en forme du signal



4

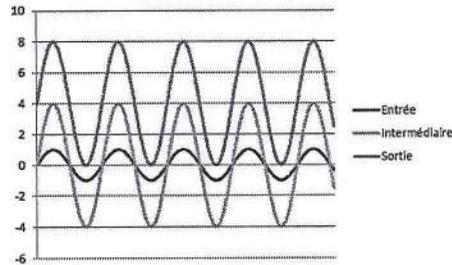
Gain / Offset : Montage Idéal



Gain : Multiplication par « G » de l'amplitude du signal

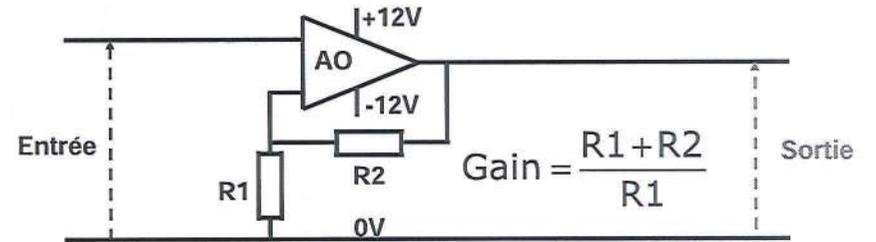
Offset : Ajout de « o » à l'amplitude du signal

$$\text{Sortie} = \text{Entrée} * G + o$$



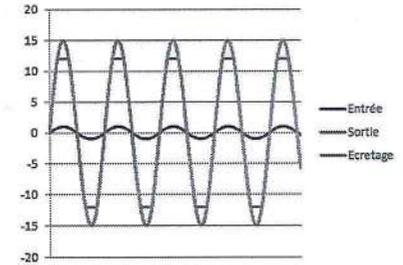
5

Gain : Saturation / Bande passante



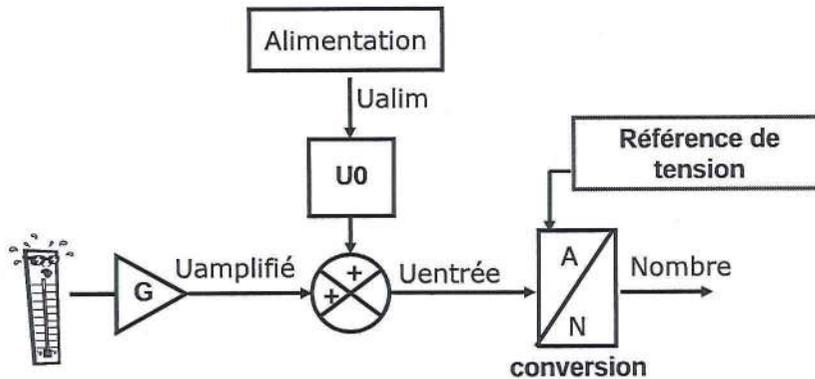
GBW (Gain Bandwidth Product) : Correspond à la bande passante pour un gain de 1

VO (Output Voltage Swing) : Correspond à la plage de tension de sortie en fonction des tensions d'alimentations



6

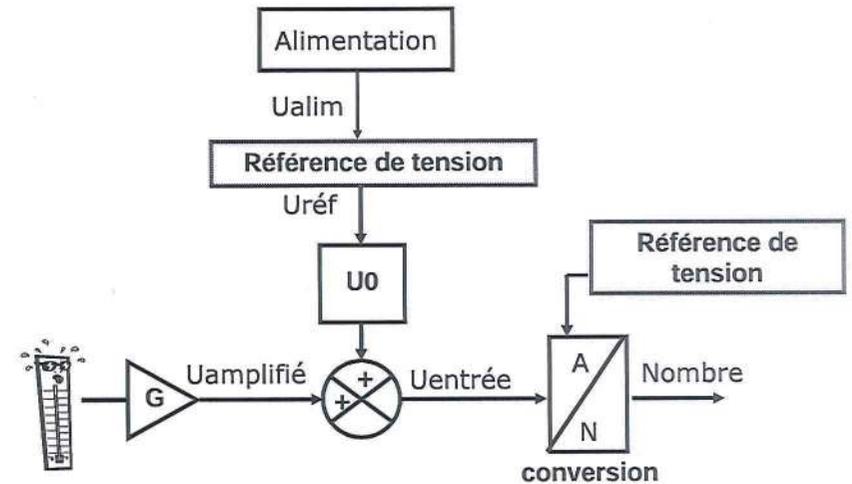
Offset : réjection de l'alimentation



Une tension d'alimentation est précise à 10 %, le résultat final ne sera donc précis qu'à 10 % !!!

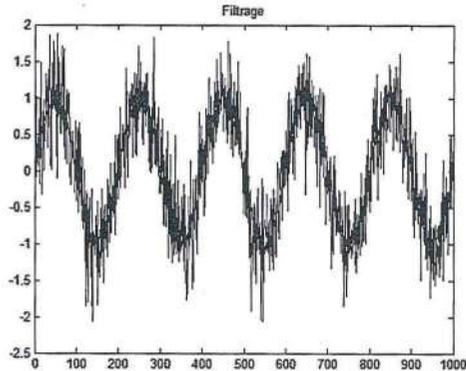
7

Offset : mise en oeuvre



8

Filtrage : objectifs

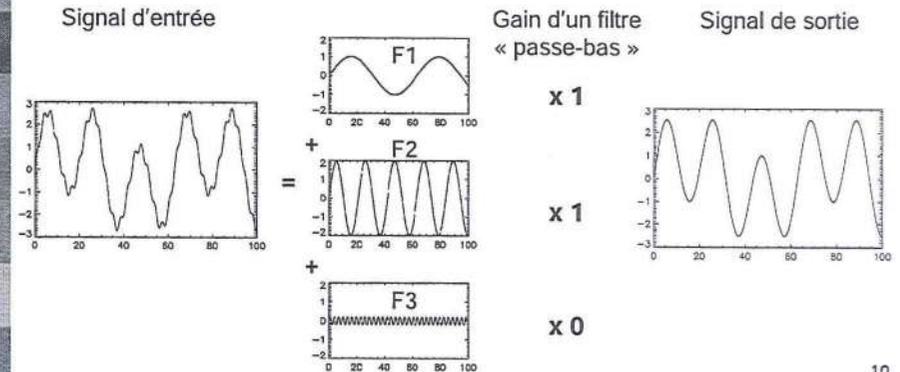


- Filtrage du bruit
- Filtrage anti-repliement : étape indispensable avant échantillonnage

9

Fréquences d'un signal

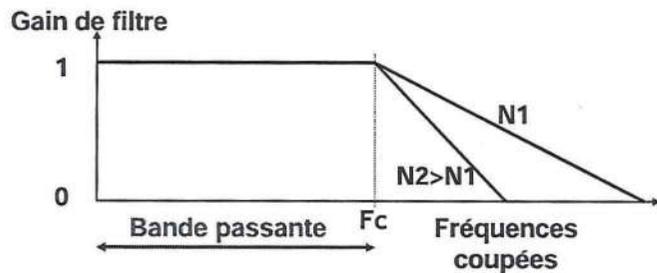
- Un signal peut être décomposé en signaux de différentes fréquences.
- Les filtres permettent de couper certaines fréquences.



10

Dimensionnement d'un filtre

- Fréquence de coupure F_c
 - Le filtre (passe-bas) atténue toutes les fréquences supérieures à F_c
- Ordre du filtre N
 - Le filtre idéal coupe complètement toutes les fréquences après F_c . Le filtre réel coupe d'autant plus vite les fréquences hautes que son ordre N est élevé.



11

Page 16 of 99

Réalisation d'un filtre

- Filtres passifs à base de résistances et de condensateurs



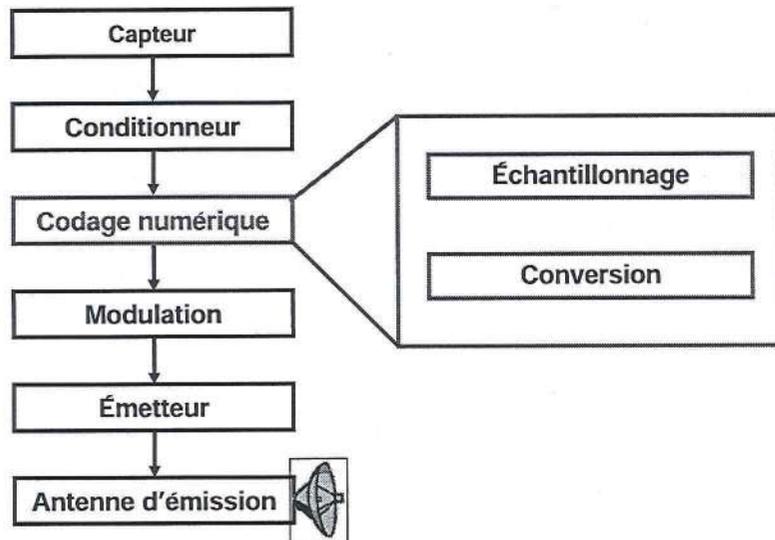
- Le plus simple : le filtre RC
- Fréquence de coupure $F_c = \frac{1}{2\pi RC}$
- Filtre d'ordre 1

- Filtres actifs à base d'amplificateur opérationnel

- Filtres d'ordre plus élevé
- Consommation électrique

12

Codage numérique, dans la chaîne

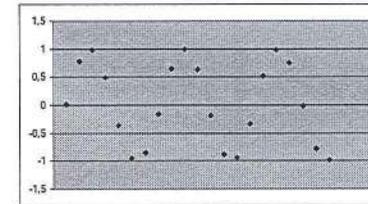
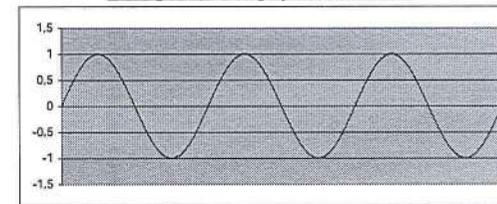


13

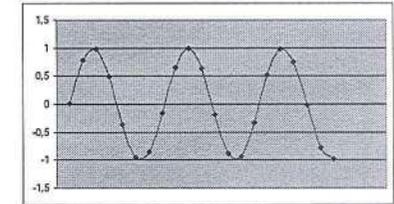
Le problème de l'échantillonnage (1/2)

Le repliement de spectre : des exemples concrets.

Le signal analogique en entrée.



Le signal échantillonné ($F_e = 7 \cdot F_{ana}$).

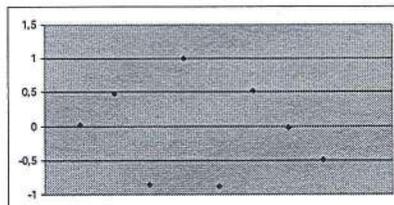
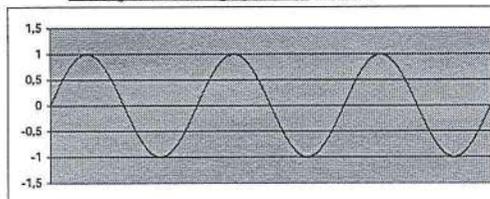


Le signal reconstitué.

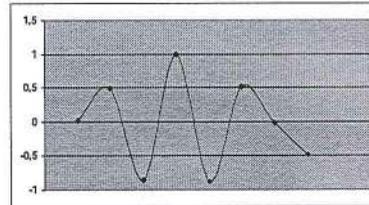
14

Le problème de l'échantillonnage (2/2)

Le signal analogique en entrée.



Le signal échantillonné ($F_e = 2.5 \cdot F_{ana}$).



Le signal reconstitué.

15

Page 17 of 99

Comment s'en prémunir ?

■ Théorie : Théorème de Shannon

■ $F_e > 2 \times BP$

- F_e = fréquence d'échantillonnage
- BP = Bande passante du signal analogique

■ Ou encore :

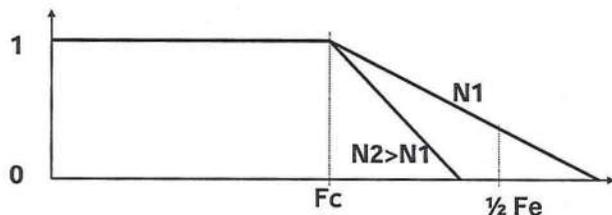
- « L'échantillonnage doit être 2 fois plus rapide que la vitesse de variation de ton signal. »

Pour pouvoir reconstruire correctement
un signal composé de fréquences allant de 0 à F_{BP} ,
il faut échantillonner à une fréquence de plus de $2 \times F_{BP}$

16

Le filtre anti-repliement

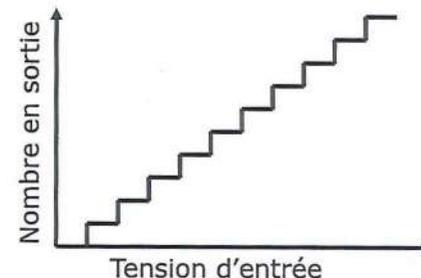
- Dans la pratique, le raisonnement est inversé :
 - On connaît la fréquence d'échantillonnage par rapport au capteur
 - Quelle vitesse typique de variation de mon capteur ?
 - On cherche la fréquence du filtre anti-repliement.
 - On filtre le signal pour qu'aucune fréquence ne soit supérieure à $\frac{1}{2} F_e$.
 - Sinon, les fréquences $> \frac{1}{2} F_e$ vont fausser mon acquisition
- Filtres non idéaux : Attention de choisir $F_c \ll \frac{1}{2} F_e$!!!



17

Convertisseur (1/4) : Généralités

- La numérisation
 - Ça consiste à relier une tension analogique d'entrée à un nombre entier en sortie.
 - Le pas de quantification est le delta de tension analogique qui fera évoluer d'une unité le nombre de sortie.



18

Convertisseur (2/4) : définitions

- Résolution du codeur
 - En électronique numérique, un nombre se représente en Bits
 - Pour un convertisseur, le nombre de bits est la résolution.
 - Ce nombre de bit va alors définir le nombre maximal : la dynamique

$$\text{Dynamique} = 2^N$$

- Le pas de quantification est donc :

$$\text{pas}_{\text{quantification}} = \frac{U_{\text{max}}}{\text{dynamique}}$$

- **Exemple** : le Kiwi Millénium possède des convertisseurs de résolutions 8 bits. Ces entrées acceptent une tension maximale de 5V.
 - Quelle est la dynamique ? Que vaut le pas de quantification ?

19

Page 18 of 99

Convertisseur (3/4) : Vocabulaire

- Temps d'échantillonnage (t_e)
 - C'est le temps que va mettre le convertisseur pour calculer le nombre (valeur numérique) en sortie.
 - Il dépend du convertisseur utilisé.

$$F_e = \frac{1}{t_e}$$

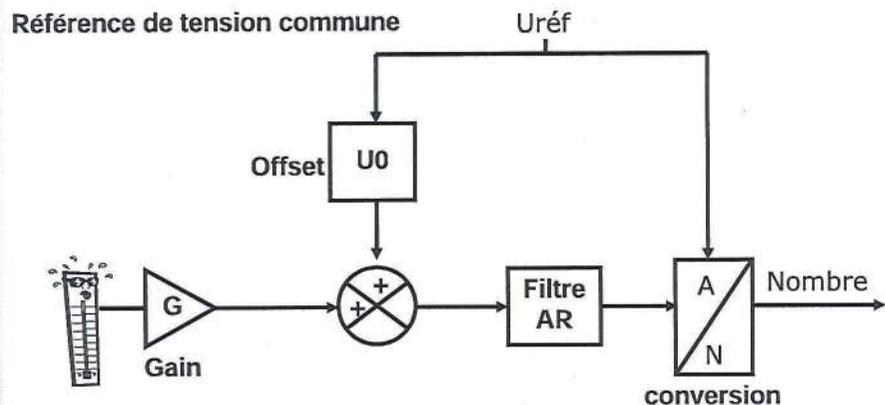
- Tension de référence
 - Un convertisseur n'est jamais absolu, mais toujours relatif.
 - Il compare par rapport à une tension de référence.

$$\text{Valeur}_{\text{binaire}} = 2^N \frac{U_{\text{entrée}}}{U_{\text{référence}}}$$

- La tension de référence peut être fournie par le convertisseur ou demandée par le convertisseur.
- Suite de l'exemple du Kiwi :
 - Quel nombre est codé pour $U=2,56V$? Pour $U=2,57V$?

20

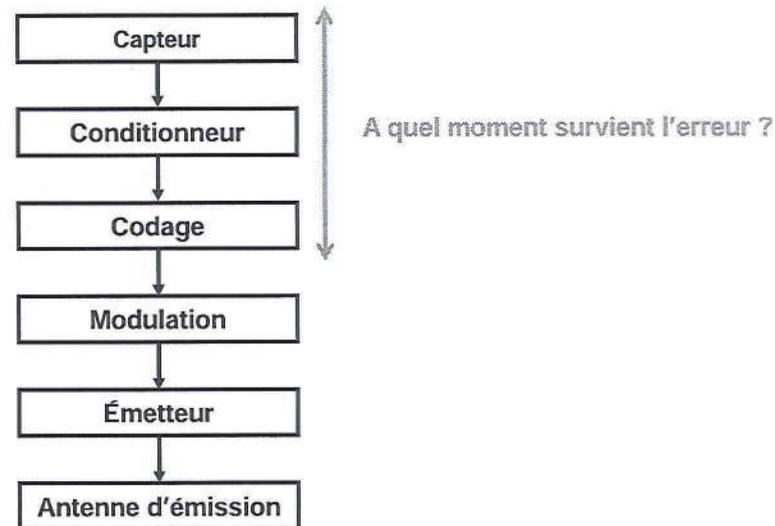
Retour sur le schéma de conditionnement



Si Uref dérive, l'offset dérivera de la même manière.
L'offset final sera donc toujours le même.

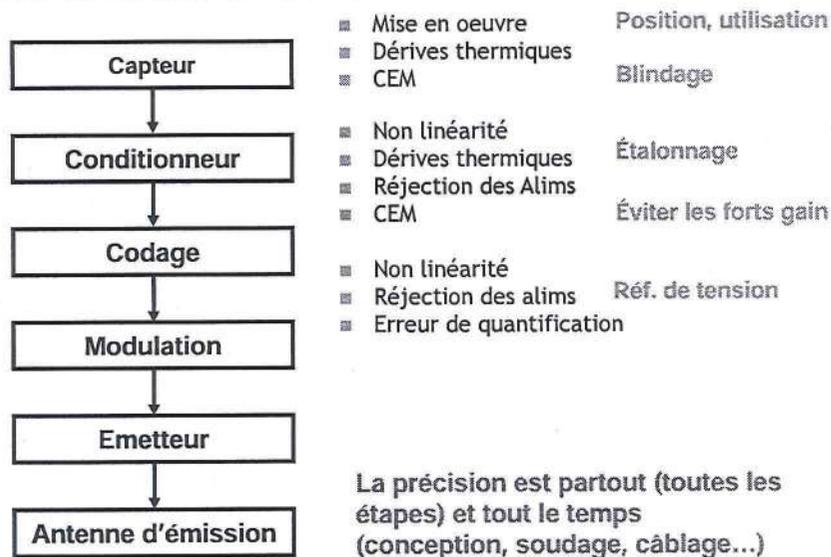
21

L'erreur



22

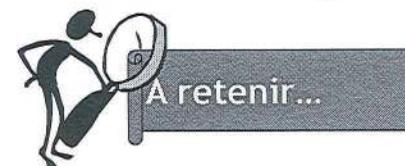
Les sources d'erreurs



23

Page 19 of 99

Acquisition et encodage du signal



- Conditionner le signal pour une conversion optimale
- Etalonner l'ensemble de la chaîne de mesure pour prendre en compte toutes les erreurs
- Ne pas oublier Shannon et son filtre anti-repliement

24

Mise en situation

- Je suppose que ma fusée tourne sur elle-même à moins de 10 tours par seconde.
 - A quelle fréquence minimale dois-je échantillonner mon capteur de luminosité ?
 - Si je veux réaliser un filtre anti-repliement RC avec $C = 1 \mu\text{F}$, quelles sont les valeurs possibles pour R ?

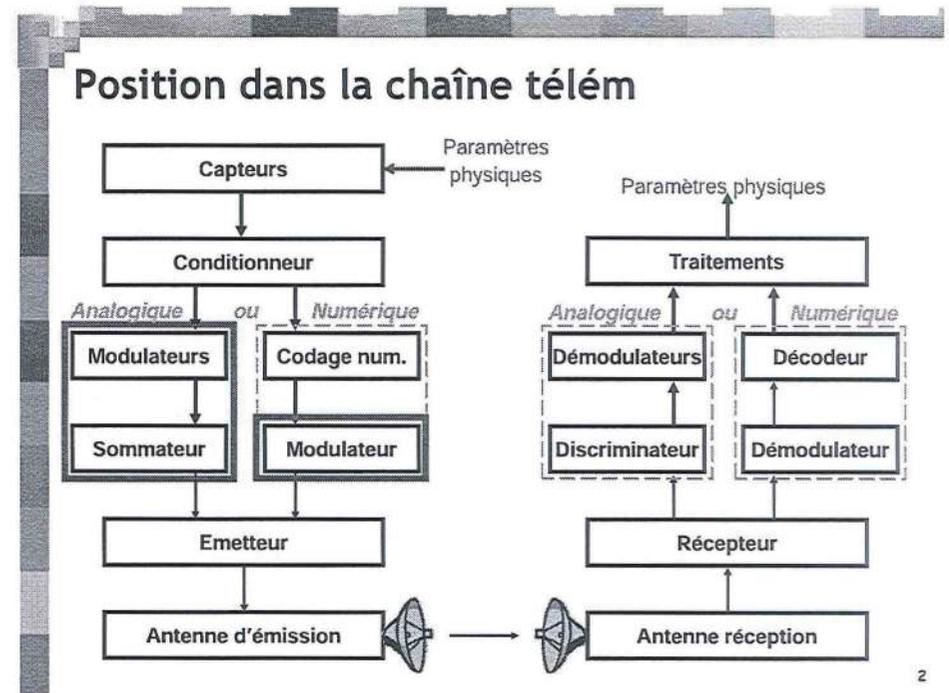
- Réponse :



Modulation IRIG et FSK

- > Pourquoi moduler ?
- > Modulation IRIG
- > Modulation FSK
- > Montage du VCO

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis



Pourquoi moduler ?

- Généralement, les capteurs fournissent une information sous forme de tension (exemple : 4V → 50°C ; 1V → 10°C).
- Les émetteurs proposés aux clubs ne peuvent pas transmettre de signaux continus.



- Il faut donc transformer l'information à transmettre par l'émetteur en un signal alternatif : C'est la modulation.

Les standards de modulations en fréquence

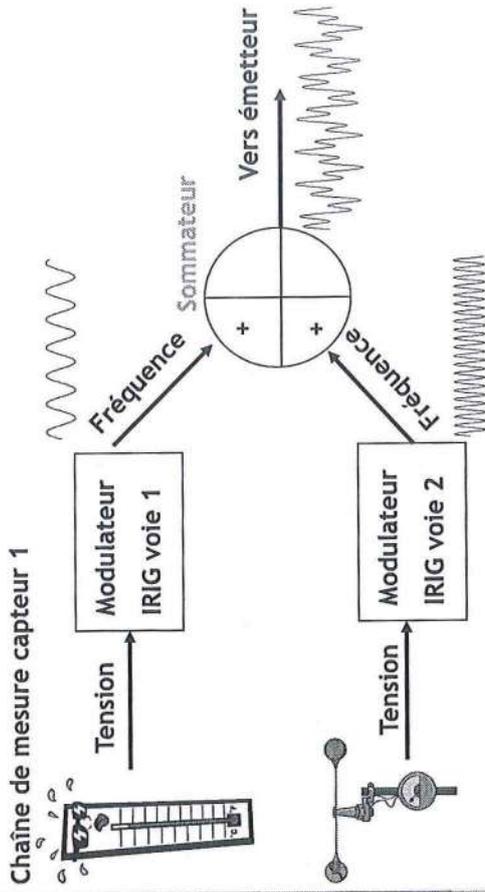
- IRIG (issu d'une norme internationale)
 - Une voie est définie par :
 - une fréquence de référence
 - une excursion min et max en fréquence
 - L'excursion en fréquence est l'écart entre la fréquence de référence (aussi appelée fréquence centrale) et les fréquences min et max (correspondant aux tensions min et max du signal).
- FSK (issu d'une convention internationale)
 - Les mesures sont codées dans une trame informatique. Ce codage répond à un standard Planète Sciences.
 - Les données informatiques sont modulées en fréquence :
 - 0 → fréquence F0
 - 1 → fréquence F1

Principe du standard IRIG

- Un modulateur IRIG transforme une tension donnée en une fréquence donnée.
- Si les fréquences ne se chevauchent pas, on peut appliquer plusieurs fréquences en même temps et donc obtenir plusieurs voies de mesures.
- C'est le rôle du sommeur

5

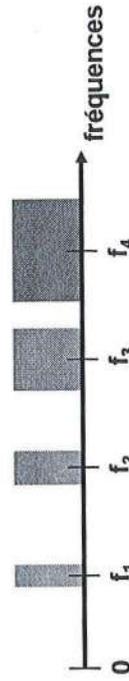
Synoptique d'une télémessure IRIG



6

Détail du standard IRIG

- Planète Sciences a défini son propre standard IRIG.
- 4 voies max
- excursion en fréquence de +/- 20%



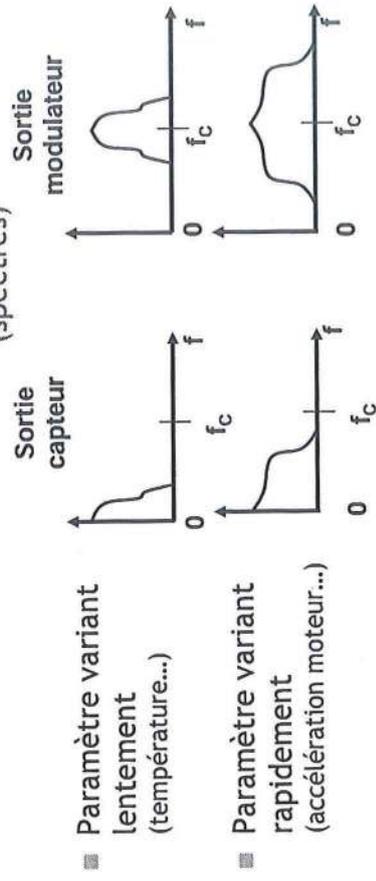
Voie	F min (Hz)	F centre (Hz)	F max (Hz)	Capteur lent	Capteur rapide
1	320	400	480		
2	1040	1300	1560		
3	3200	4000	4800		
4	10400	13000	15600		

Page 22 of 99

7

Choix de la voie IRIG

Représentation fréquentielle du signal (spectres)

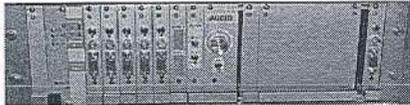


- Paramètre variant lentement (température...)
- Paramètre variant rapidement (accélération moteur...)
- Conclusion : privilégier les voies IRIG 3 et 4 pour les mesures rapides.

8

Réception d'une télémessure IRIG

- Carte son + Logiciel Klioutch
 - Limité par la Bande Passante de la carte son (44 000 échantillons/s)
 - Bande centrée sur 13 kHz impossible
- Carte IRIG du camion CNES
 - Conversion A/N de chaque voie sur 8 bits
 - Transmission par liaison série 38400bit/s
 - Fichier CSV avec ~766 points/s !

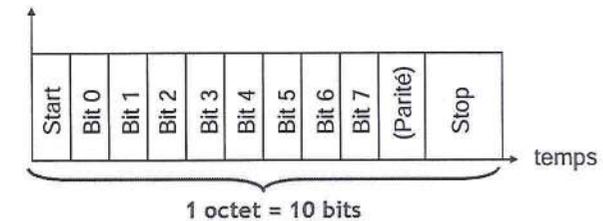


- Baie de réception identique ici à Planète Sciences

9

Détail du standard FSK : codage d'un mot

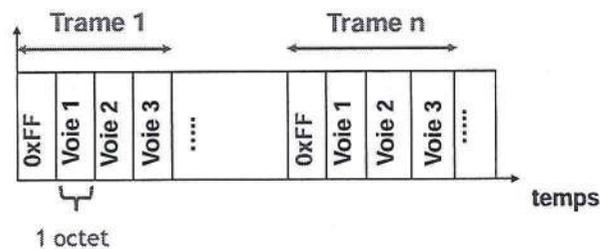
- Standard utilisé par tous les ordi et micro-contrôleurs
- Il transforme un entier 8 bits en un mot de 10 bits
 - Les 8 bits sont transmis les uns après les autres
 - Le mot commence toujours par un bit de start
 - Il peut se finir par un bit de parité (optionnel)
 - Pour finir le mot, on trouvera au moins 1 bit de stop
- Nous retiendrons que pour envoyer 1 octet de mesure, il faut transmettre un mot de 10 bits en série.



10

Détail du standard FSK : codage d'une trame

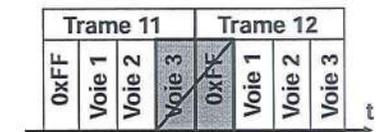
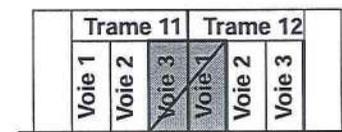
- La trame Planète Sciences
 - Le début de trame commence toujours par l'octet « 0xFF » (mot de synchronisation)
 - Les voies de mesure sont envoyées les unes après les autres.



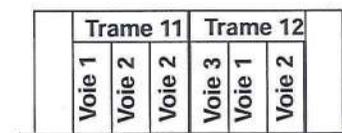
11

Standard FSK : intérêt de la synchronisation

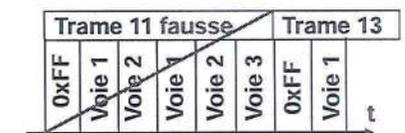
- Sans synchronisation
 - Émission avec pertes
- Avec synchronisation
 - Émission avec pertes



- Interprétation à la réception



- Interprétation à la réception



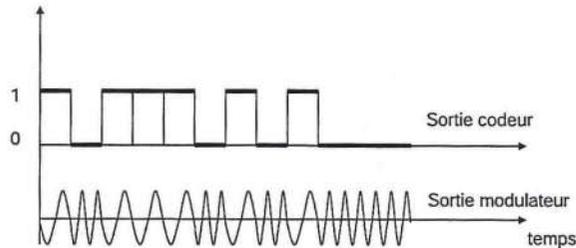
- Toutes les données suivantes sont corrompues.

- 2 trames perdues

12

Standard FSK : modulation

- La modulation FSK utilise des informations issues d'un codeur série (convertisseur analogique/numérique, module GPS...)
- Une fréquence est générée en fonction de la valeur du bit. Il y a donc 2 fréquences. Ce sont les « clés » de fréquences.
 - Ces fréquences dépendent du débit du codeur série et de la capacité de décodage du démodulateur.



13

Standard FSK : modulation

- Le débit s'exprime en Bauds : bits par seconde
- Les clés de fréquences standards

■ 600 Bauds	f0 = 900 Hz	f1 = 1500 Hz	(MFSK)
■ 1200 Bauds	f0 = 1200 Hz	f1 = 2200 Hz	(custom)
■ 4800 Bauds	f0 = 9000 Hz	f1 = 15000 Hz	(custom)
■ 9600 Bauds	f0 = 14400 Hz	f1 = 24000 Hz	(MFSK)
■ 14400 Bauds	f0 = 21600 Hz	f1 = 36000 Hz	(MFSK)

KIWI

- Le débit est limité par la bande passante à l'émission et la réception.
 - Les émetteurs Kiwi fournis par le CNES ont une bande passante allant de 30 Hz à 30 kHz.
 - La bande passante de certains récepteurs de télémétrie est limitée à 20 kHz.

14

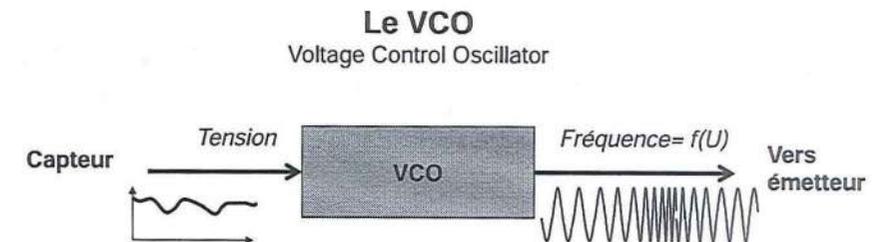
Comparatif Millénium / IRIG / FSK

Télémétrie	« Millénium »	Analogique	Numérique
Type de données	Tension 0-5 V	Tension	Valeurs numériques
Nombre de voies	8	$M \leq 4$	N
Modulation	interne	M modulateurs externes IRIG	1 modulateur externe FSK
Débit par voie	0.5 à 2 Hz	théorie: 20% Fc réel: 10 à 100Hz	$\frac{4800 \text{ bauds}}{10(N+1)}$
Logiciels réception	Kicapt, ...	klioutch, Carina	K-Com, Keasy, terminal, custom

15

Page 24 of 99

Réalisation de la modulation : Le VCO

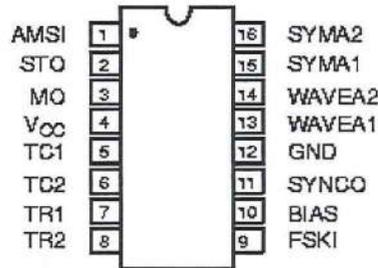


- Le VCO est un traducteur Tension / Fréquence
- Il produit un signal alternatif (généralement sinusoïdal) de sortie dont la fréquence est proportionnelle à la tension d'entrée.

16

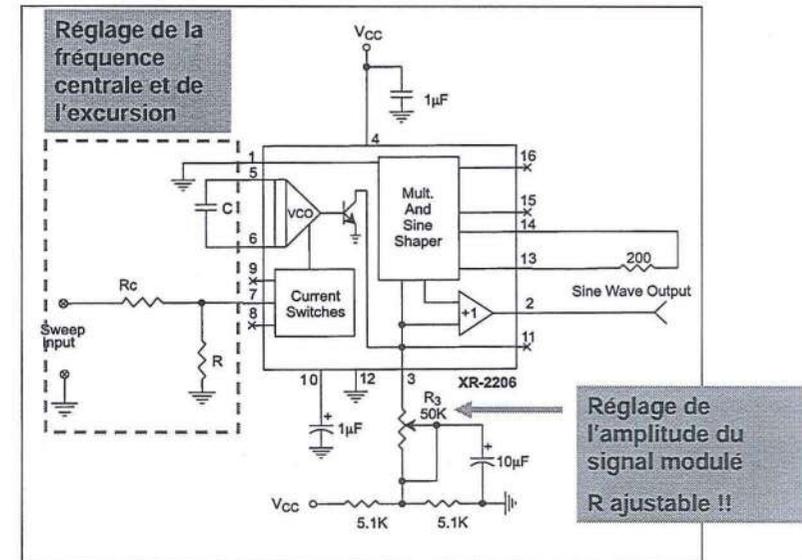
Le VCO à l'aide d'un XR2206

- Plusieurs composants permettent de réaliser un VCO.
 - A Planète Sciences, c'est le XR2206 qui est recommandé.
 - Cout ~8€.
- Le XR2206 se présente sous la forme d'un circuit intégré de 16 broches.



17

Modulation IRIG à base d'un XR2206



Montage permettant de régler la fréquence du signal de sortie en fonction d'une tension donnée 18

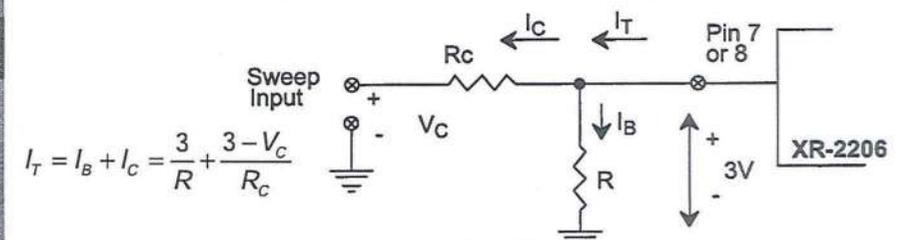
Choix des composants

- Dans un montage avec un XR2206,
 - La fréquence centrale vaut $F_c = \frac{1}{R.C}$
 - L'excursion vaut $\frac{F_{\max} - F_c}{F_c} = \frac{F_c - F_{\min}}{F_c} = \frac{R}{R_c}$
- Si l'on souhaite réaliser une modulation IRIG sur la voie 2 (centrée sur 1300 Hz, avec 20% d'excursion)
 - En choisissant $C = 10 \text{ nF}$
 - $F_c = \frac{1}{R.C} = 1300 \Rightarrow R = \frac{1}{1300 \cdot 10^{-8}} \approx 77 \text{ k}\Omega$
 - $\frac{R}{R_c} = \frac{1}{5} \Rightarrow R_c = 5R \approx 385 \text{ k}\Omega$

19

Pour réaliser un modulateur IRIG

- La broche 7 du XR2206 impose une tension fixe à 3V.
- La fréquence du signal de sortie est directement liée au courant d'entrée I_T de la patte 7.
- Un petit pont diviseur permet de faire varier le courant I_T en fonction de la tension d'entrée (Sweep Input ou V_c).



$$I_T = I_B + I_C = \frac{3}{R} + \frac{3 - V_c}{R_c}$$

$$V_c = 6V \Rightarrow I_T = 3/R - 3/R_c = I_{\min} \Rightarrow F = F_{\min}$$

$$V_c = 3V \Rightarrow I_T = 3/R \Rightarrow F = F_c$$

$$V_c = 0V \Rightarrow I_T = 3/R + 3/R_c = I_{\max} \Rightarrow F = F_{\max}$$

→ TP analogique

20

Pour réaliser un modulateur FSK (1/2)

- On adapte le schéma du VCO IRIG pour réaliser un modulateur FSK.
 - Cette fois, on va générer deux fréquences clés différentes qui correspondront à un 1 ou un 0, selon ce qui est codé dans la trame.
- On relie l'entrée 7 à la masse via une résistance R0 adéquate.
 - $F_0 = \frac{1}{R_0.C}$
- De même, on relie l'entrée 8 à la masse via une résistance R1.
 - $F_1 = \frac{1}{R_1.C}$
- En utilisant la patte 9 du XR2206 comme entrée du modulateur FSK, on change la fréquence du signal de sortie de la patte 2 (F_0 ou F_1) en fonction de l'état de la patte 9 (bas ou haut)

→ TP numérique

21

Pour réaliser un modulateur FSK (1/2)

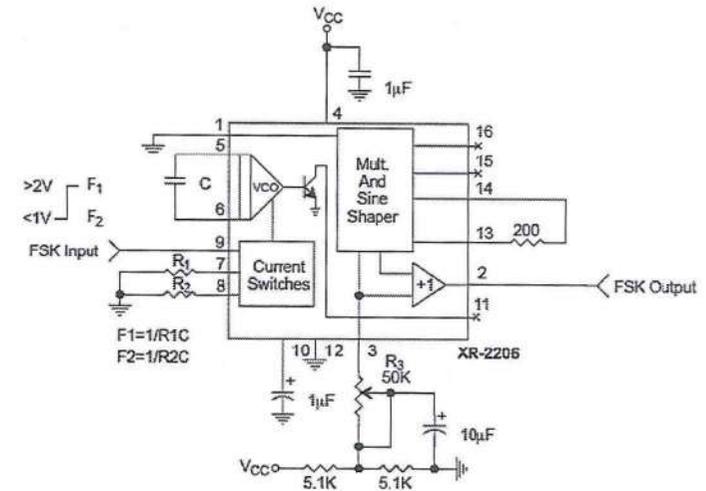
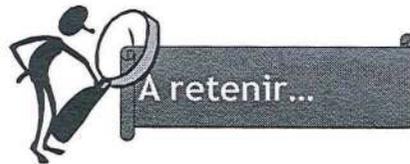


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

22

Modulation IRIG et FSK



- Un émetteur classique ne retransmet pas directement les mesures. Il faut toujours le moduler par un signal de fréquence bien définie.
- Deux standards existent à Planète Sciences. L'un permet de transmettre des signaux analogiques, l'autre une trame de données numériques.
- Le XR2206 permet de générer les signaux adéquats pour ces standards, en fonction des tensions présentes à son entrée.

23

Page 26 of 99

Mise en situation

- J'ai 5 mesures analogiques dans mon Cansat.
 - Quel standard de télémétrie vais-je choisir ?
 - Quelle est le débit maximum de données que je peux envoyer pour chaque capteur ?
- Réponse

24

Annexe : Le brochage du XR2206

Broche	Signal	Commentaires
1	Entrée AM	Reliée à la masse
2	Sortie signal utile	Sinusoïde ou triangle
3	Réglage niveau de sortie	V=60 mV par K Ω de R3
4	Alimentation - Entrée Vcc	12 V
5	Capacité de réglage de la fréquence centrale Fc	4.7 nF < C < 100 nF
6	Capacité de réglage Fo	10 K Ω < R < 100 K Ω
7	Entrée 1 (entre 0 et 6V)	
8	Entrée 2 (entre 0 et 6V)	NC
9	Sélection entrée (7 pour 1 ou NC / 8 pour 0)	Entrée FSK
10	Capacité 1 μ F à la masse	
11	Sortie signal carré	NC
12	Masse	
13	Résistances réglant la linéarité du signal de	R=200 Ω
14	sortie	Idem 13
15	Réglage de la symétrie du signal de sortie	NC.
16	Idem 15	Idem 15

25

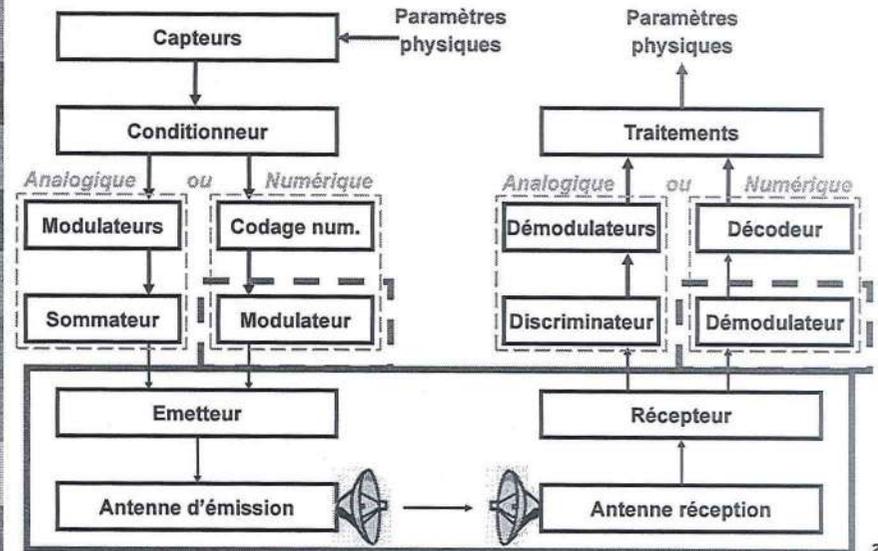


Émetteurs et antennes

- > Principe général d'un émetteur
- > Fréquences et portée des émetteurs commerciaux
- > L'émetteur Kiwi Millenium et ses dérivés (GPS...)
- > Les antennes d'émission, ant et baies de réception

Week-end de formation télémesure - Ris Orangis

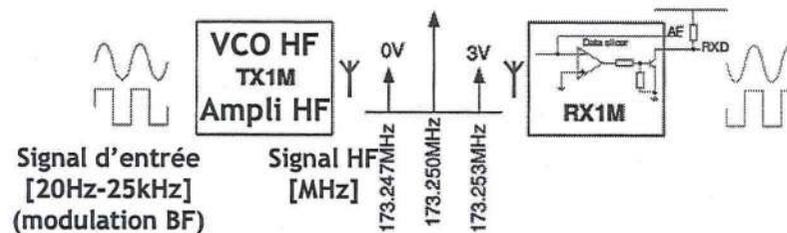
Position dans la chaîne télém



2

Un émetteur FM, c'est quoi ?

- Il transforme un signal en une variation de signal HF
 - Il utilise pour cela un VCO HF
 - Même principe que la modulation IRIG
- Il amplifie ce signal pour l'envoyer sur une antenne



3

Transcodage ou pré-modulation nécessaire

- Problème des VCO HF : ils n'acceptent pas de tension continue en entrée.
- On est obligé de moduler le signal pour transmettre une information (trouver une autre façon de la représenter)
- Opération linéaire analogique : modulation BF (IRIG, FSK ...) → émetteur FM-FM
- Opération numérique logique : transcodage (Manchester, NRZ, scrambling ...)
- Les « systèmes de télémesure » intègrent un codage

4

Fréquences : Bandes réglementées

MHz	Exemple d'attributions vers 138MHz
136 à 137	Mobile aéronautique (comm VHF) Recherche spatiale (espace vers terre) [2nd]
137 à 138	Météorologie par satellite (espace vers terre) Exploitation spatiale (espace vers terre) Mobile aéronautique (défense) Mobile par satellite LEO (espace vers terre)
[137.95]	Recherche spatiale (espace vers terre) [2nd]
138 à 144	Mobile aéronautique (défense)
[138.50]	Recherche spatiale (espace vers terre) [2nd]
144 à 146	Amateur (exclusivité, 10W (novice) à 120W)

Kiwi autorisé
via le CNES

- Autorités de régulation, tableaux des fréquences :
 - ONU : UIT ; Europe : CEPT ; France : ARCEP (ex-ART), ANFR, CSA

http://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/tnrbf/tableau_derive.html
<http://www.arcep.fr/index.php?id=8977 & 6834> (§ fréquences)

5

Portée = Puissance / Fréq / Débit * Antenne

$$\blacksquare \text{ Bilan de liaison : } P_{TX} + G_{antT} - P_{propag} + G_{antR} = P_{RX}$$

Portée	$\approx P_{TX}$	Fréq_HF	$B_{bande} P_{ass}$	G_{antR}	(use)
500km	300mW	138MHz	0.6kbps	Yagi	Ballon
10km	300mW	138MHz	9.6kbps	Yagi	Fusex
1km	500mW	869MHz	9.6kbps	$\lambda/4$	CanSat ?
200m	10mW	869MHz	9.6kbps	$\lambda/4$	-
1km ?	100mW	2.4GHz	100kbps	patch	-

Iso-perte par propagation :

MHz	140	440	869	2400
mW	10	80	250	2000

dBm	mW	Protocole	Débit	Portée
0	1	ZigBee	0.2Mbs	10m
10	10	Bluetooth	1Mbs	10m
20	100	WiFi	10Mbs	100m
30	1000	GMS-3G	1Mbs	10km

Sources : en.wikipedia.org/wiki/DBm
[Path loss](#) [Bilan de liaison](#)

Exemple courants, à 2.4GHz

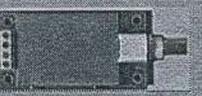
6

Les émetteurs CNES / Planète Sciences

Émetteur simple



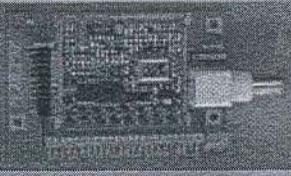
IBIS : modulation d'amplitude
 COLIBRI : modulation de fréquence
 TOUCAN: modulation de fréquence



Système de télémétrie



Kiwi : 1er système intégré

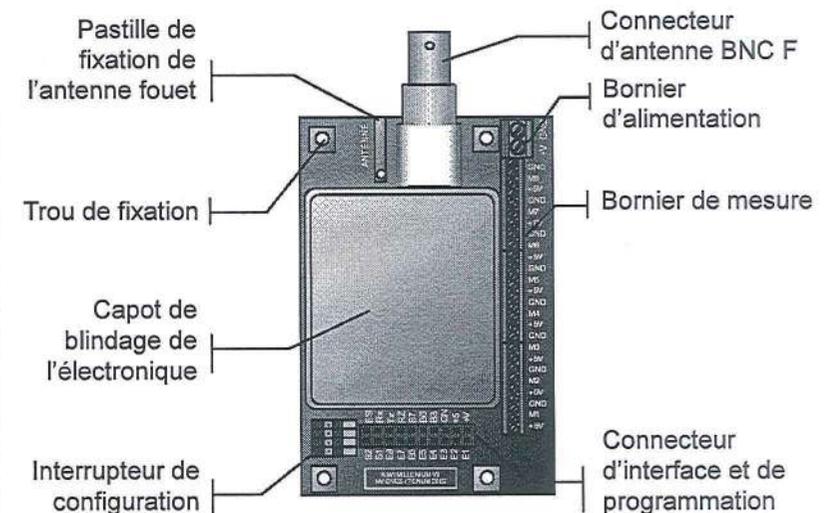


KIWI Millénium : émetteur et système de télémétrie

7

Page 29 of 99

Présentation du KiWi Millénium

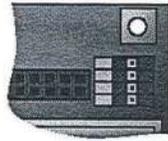
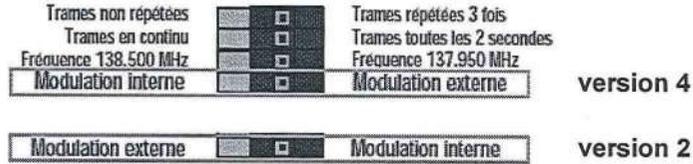


Note : Image issue du « Manuel de l'émetteur KIWI Millénium » de Nicolas Verdier disponible sur <http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/>

8

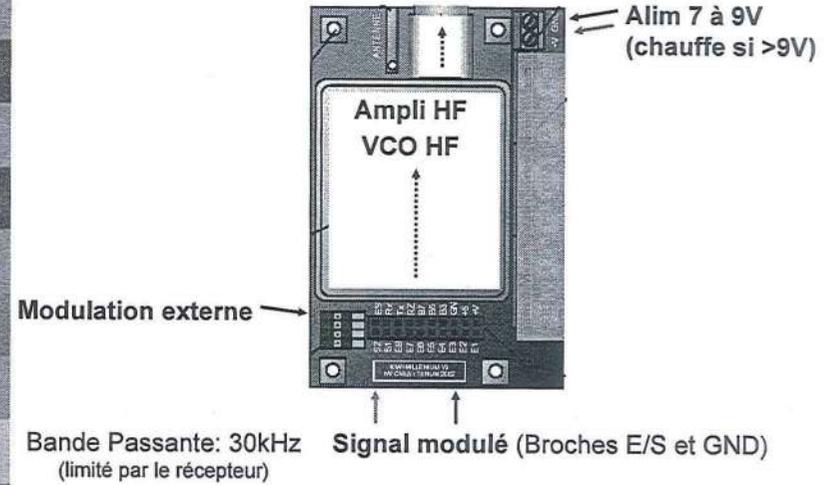
Utilisation du KiWi Millénium

■ Interrupteurs de configuration



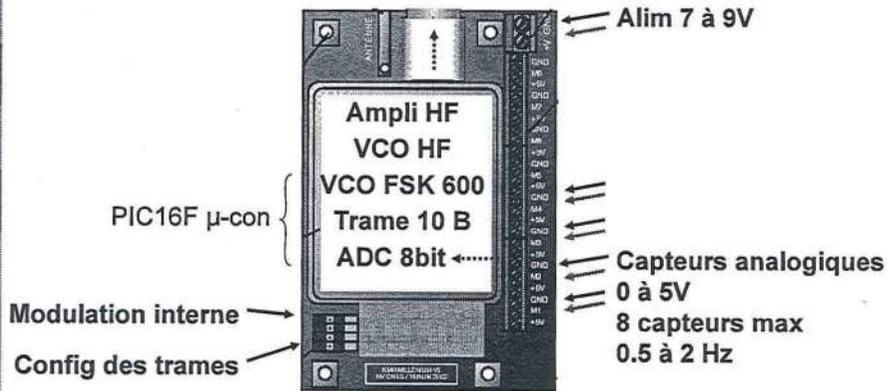
Plus d'informations dans : « Manuel de l'émetteur KIWI Millénium »
disponible sur <http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/>

Utilisation en émetteur simple, KiWi pour les Club, modulation externe



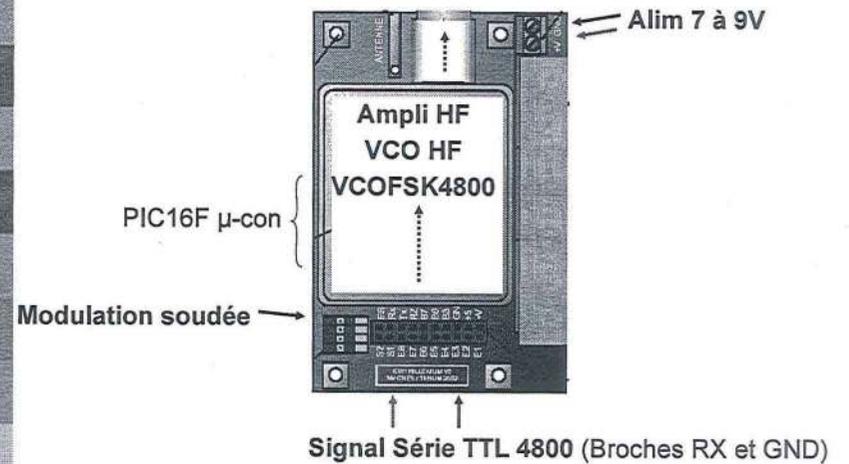
Plus d'informations dans : « Le système de télémétrie KIWI à l'usage des clubs »
disponible sur <http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/>

Utilisation en système de télémétrie (Millénium), KiWi pour les écoles/UBPE, modulation interne



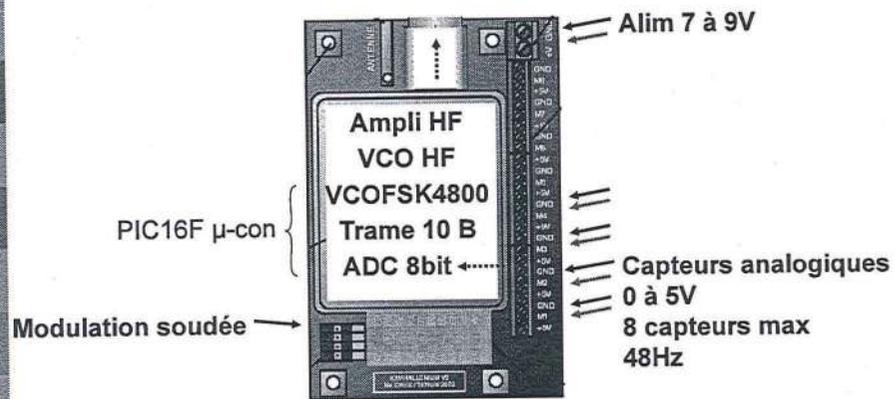
Plus d'informations dans : « Le système de télémétrie KIWI à l'usage des écoles »
disponible sur <http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/>

Exemple de Kiwi reprogrammé [Kiwi VCO FSK] Fusée sans XR2206



Pour plus d'informations : Léo Côme

Exemple de Kiwi reprogrammé [Kiwi Fu] : Millenium avec un débit Fusée

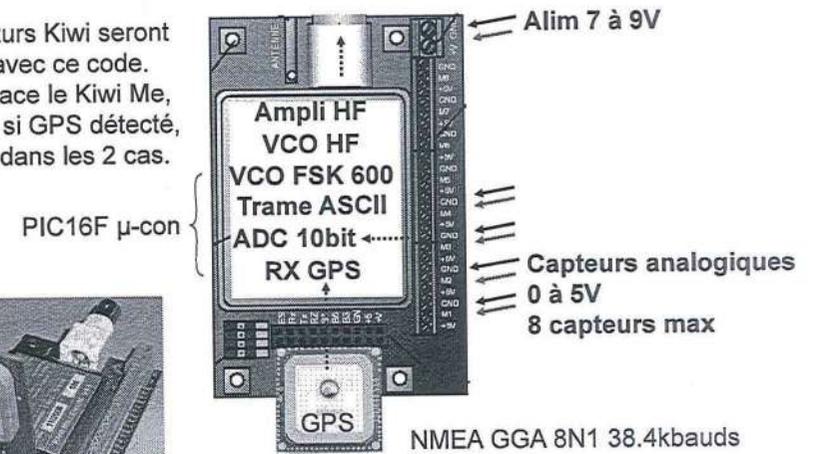
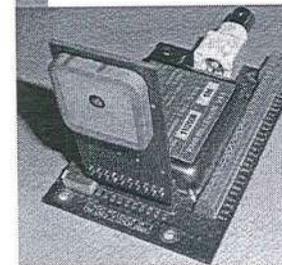


Pour plus d'informations : Léo Côme

13

Exemple de Kiwi reprogrammé [Kiwi GPS] : Carte à tout faire

Les futurs Kiwi seront livrés avec ce code.
Remplace le Kiwi Me,
+GGA si GPS détecté,
ASCII dans les 2 cas.

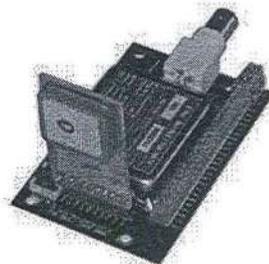


Pour plus d'informations : Nicolas Verdier

14

Le KIWI - GPS

- Carte Plug & Play
- Nouveau logiciel interne au KIWI
- Augmentation de la résolution des mesures
(10 bits)
- Numéro d'identification
- Nouveau logiciel de réception (localisation sur globe virtuel)



15

Page 31 of 99

Nouveau format de trame

```
NanoTerminal by Nico**
Fichier Edition Parametres Outils ?
[Icons]
Ouverture du port à 14/03/2010 10:38:11
$GPGGA,093820.00,4321.50140,N,00114.97666,E,1.08,0.96,00199,M,050,M,0.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0
$KWDAT,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0589,A001*39
$GPGGA,093824.00,4321.50129,N,00114.97656,E,1.07,1.01,00199,M,050,M,0.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0
$KWDAT,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0589,A001*38
$GPGGA,093828.00,4321.50111,N,00114.97673,E,1.08,0.96,00198,M,050,M,0.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0
$KWDAT,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0589,A001*39
$GPGGA,093832.00,4321.50107,N,00114.97708,E,1.08,0.96,00198,M,050,M,0.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0
$KWDAT,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0589,A001*39
$GPGGA,093836.00,4321.50102,N,00114.97745,E,2.08,0.96,00198,M,050,M,0.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0,0000.0
$KWDAT,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0001,0589,A001*39
Fermeture du port à 14/03/2010 10:38:31
Date UTC : 14/03/2010 09:38:35 COM3,600,8,N,1
```

16

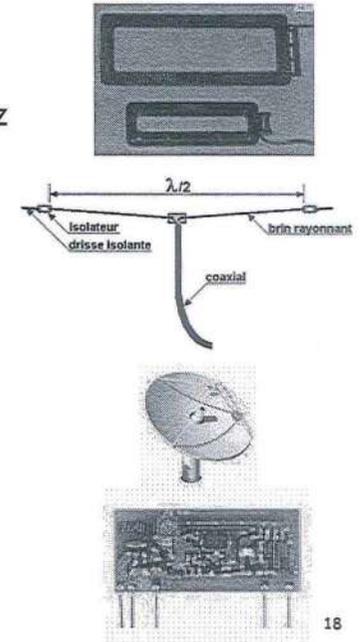
Et l'antenne ? C'est quoi ?

- C'est un coupleur de puissance entre l'énergie électrique du circuit et l'énergie électromagnétique (ondes propagés dans l'air)
- Coupleurs analogues de puissance
 - Acoustique : Microphone / Haut Parleur
 - Magnétique : Bobine
 - Mécanique : Moteur, Electrovanne...
 - Thermique : Résistance électrique, Radiateur

17

Les types d'antennes

- Cadre : Basses fréquences < 2 MHz
- Filaire : 1 Mhz - 3 Ghz
 - $\lambda/4$, $\lambda/2$, Yagi
- Parabolique : > 1 GHz
- Intégrée : > 1 Ghz



18

Antenne $\lambda/4$ (quart d'onde, ground plane)

- Principe de fonctionnement : Un plan de masse (plaque /boîtier/structure métallique, sol) réfléchit les ondes émises par l'antenne.

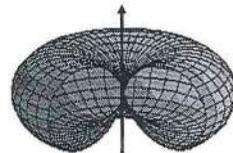
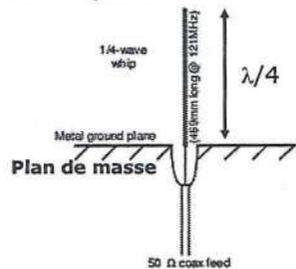


Diagramme de rayonnement

- Longueur d'onde $\lambda = c/F$
 - $c = 3.10^8$ m/s
 - $F =$ fréquence de l'émetteur

Kiwi : $\lambda/4 = 54$ cm

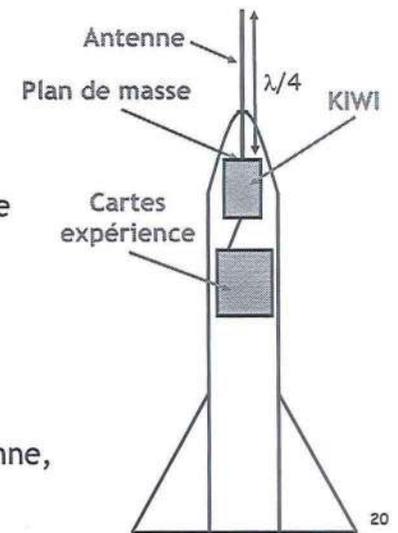
Gain typ. : 2.9 dBi

19

Page 32 of 99

Antenne pour les fusées

- Pas beaucoup de place pour mettre une antenne
 - Quart d'onde avec le boîtier servant de plan de masse
- Pas besoin d'une longue portée
 - Faible qualité possible
- Facile à réaliser ou à acheter
- Tube Pitot : fait office d'antenne, ou antenne déportée à côté

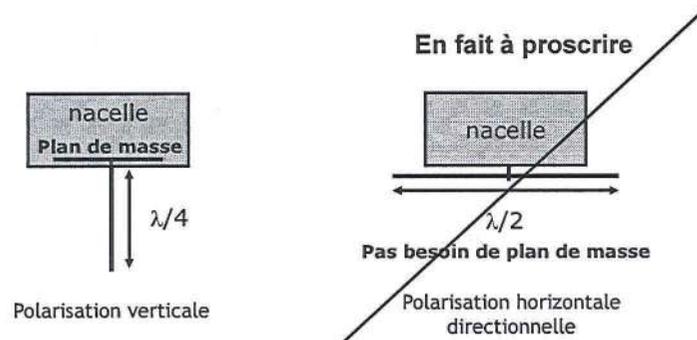


20

Antenne pour les ballons

- Ballons
 - Antenne $\lambda/2$ (pas de plan de masse) (« dipôle »)
 - Antenne $\lambda/4$ (avec plan de masse)

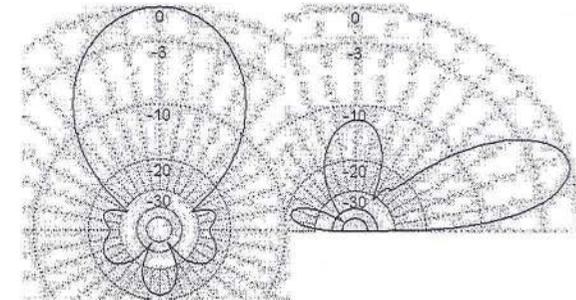
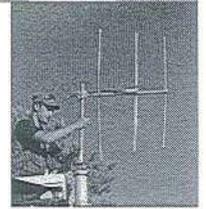
La longueur du brin doit être de 1/4 de lambda.



21

Antenne de réception

- Pas de contrainte d'encombrement ($\lambda/2$)
→ Antenne Yagi (« râteau ») à fort gain
- Fusex : 3 brins (8dBi), moyennement directive
- Ballon : 8 brins (13dBi), très directive (visé du ballon)



22

Les baies de réception et le Spatiobus

- Mini-baies pour le Kiwi Me 600bauds (ballon)
 - Anciens modèles : récepteur AR3000 + démodulateur XR2211
 - Nouveaux modèles : {récepteur + démod SW + USB} tout en 1
- Macro-baies pour les débits Fusex
 - Récepteurs IFR et AX-700-E (Porteuse < 1GHz)
 - Démodulateurs IRIG ou FSK 600/1200/4800/9600/14400bauds
 - PC 1U
- Le Spatiobus, camion de réception lors des lancements
 - Emplacement pour 1 macro-baie avec connections antenne/RS232
 - Antennes Yagi 138MHz sur mât, PC portables, et bien plus ...
- *Test is everything* : portée, bruit, gain, démodulation...

23

Page 33 of 99

Conclusion sur les émetteurs

- Le Kiwi présente un compromis puissance/portée très intéressant pour la plupart de nos activités. Le CNES prête l'émetteur et assure la réception. Les dérivés du Kiwi élargissent les utilisations possibles.
- D'autres systèmes sont envisageables (débit, volume), mais nécessitent quelques précautions (légal, portée...). Informez Planète Sciences de vos démarches.

24



Construire son projet expérimental

- > Les étapes d'un projet expérimental
- > Mise en situation

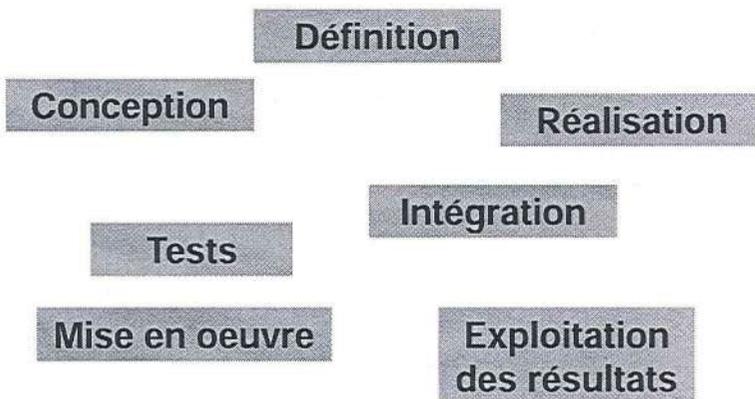
Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Objectifs de la séquence

- Mettre en application le contenu de la formation sur votre projet expérimental Espace (en deux temps).
- Un temps de préparation en équipe projet
 - 45 minutes avant dîner puis investissement suivant votre envie (temps libre après dîner)
 - Moyens : discussion avec les formateurs et les autres stagiaires
- Un temps de restitution où vous présentez au reste du groupe votre travail
 - 10 minutes par projet dimanche matin
 - Moyens : tableau Velleda, vidéoprojecteur

2

Les gros mots du projet

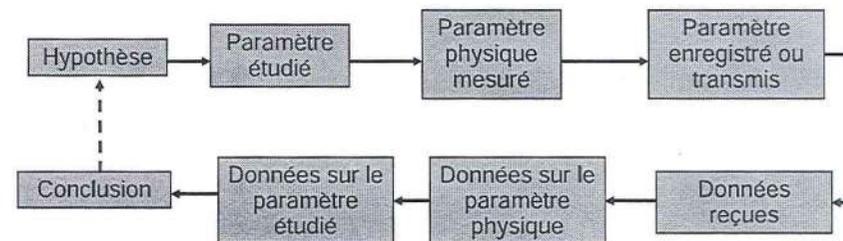


- Mais en pratique, comment ça veut dire quoi ?
- Comment s'articulent les étapes ?

3

Définition de l'expérience

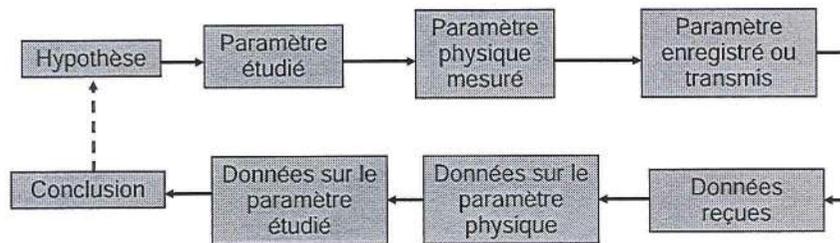
- Quel est l'objectif ? Quels sont les résultats attendus ?
- Définir l'expérience, c'est identifier les paramètres qui interviennent dans la chaîne de mesure (les boîtes) pour répondre à une question initiale



4

Conception de l'expérience

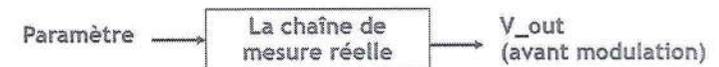
- Concevoir l'expérience, c'est déterminer comment scientifiquement et techniquement je passe d'un paramètre à un autre (les flèches). Cela inclut :
 - Le choix des composants (capteurs, filtres...)
 - L'architecture électrique et mécanique
 - La méthode d'exploitation des résultats



5

Réalisation - Tests - Intégration

- Attention aux délais d'approvisionnement
- Les tests interviennent à plusieurs étapes :
 - Débug après câblage des composants (court-circuits...)
 - Tests fonctionnels d'une carte complète
 - Tests après intégration de toute la chaîne de mesure
 - Tests avec émetteur
- Une étape importante des tests est l'étalonnage :
 - Principe : faire varier le paramètre d'entrée et enregistrer le paramètre de sortie de la chaîne réalisée



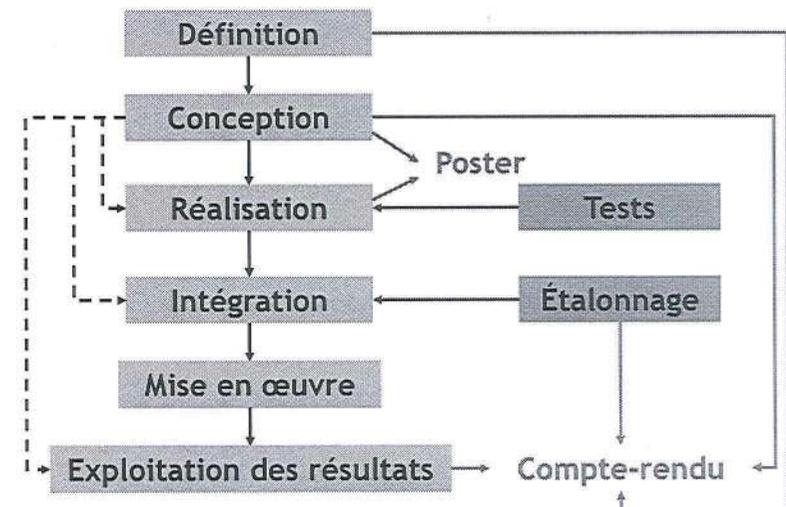
6

Les activités non techniques du projet

- La gestion du projet
 - Définir les grandes étapes du projet et le nombre de personnes nécessaire et suivre l'avancement pour être dans les temps.
- La communication
 - Rechercher les moyens financiers, matériels (sponsors, partenariats), humains (recrutement de nouveaux membres).

7

Votre projet expérimental



8

Votre projet expérimental

- **Aujourd'hui, vous allez travailler sur la partie expérimentale et nous la présenter demain.**

- **Définissez votre projet :**
 - Quelles mesures ?

- **Présentez vos choix de conception justifiés :**
 - Quelle architecture électrique ?
 - Quelles solutions de télémessure ?
 - Quelles méthodes d'étalonnage ?
 - Quels points critiques identifiez-vous ? (approvisionnement, compétences techniques, planning)

9

Votre projet expérimental

A vous de jouer !

10



Arduino vs Raspberry Pi

o Le choix du cœur et le choix du cerveau

Week-end de formation télémesure - Ris Orangis

La question

- Je veux réaliser une expérience qui me demande de faire des mesures physiques, il me faut donc
 - Un capteur pour transformer la grandeur physique en grandeur électrique
 - Un processeur pour lire le capteur, le mettre en forme
 - Un moyen de stockage pour récupérer les mesures
 - Une transmission sans fil au cas où les données stockées ne sont pas récupérables

2

Le choix de l'architecture (1/3)

- Utilisation de modules à assembler (Arduino, RPi, ...)
 - ⊕ Pas de conception de carte électronique
 - ⊕ Souvent des exemples de logiciel facilement adaptables
 - ⊕ Besoin de moins de matériel spécifique
 - ⊕ Possibilité d'avoir une énorme puissance de calcul
 - ⊖ Potentiellement difficile à intégrer
 - ⊖ Présence de composants inutiles
 - ⊖ Ne fait pas toujours ce qu'on veut et on ne sait pas toujours précisément ce que ça fait
 - ⊖ Difficile de debugger des pannes (on ne connaît pas toute la carte)

3

Le choix de l'architecture (2/3)

- Utilisation de puces et conception d'un circuit imprimé
 - ⊕ Solution permettant de répondre le mieux au besoin
 - ⊕ Solution la plus difficile à mettre en œuvre mais la plus formatrice
 - ⊕ Plus facile de debugger des pannes (on a créé la carte, donc on la connaît par cœur)
 - ⊖ Conception et réalisation de la carte électronique
 - ⊖ Besoin de matériel spécifique (montage, programmation, test, etc...)
 - ⊖ Difficile voire impossible de mettre en œuvre des puces trop complexes (BGA)

4

Le choix de l'architecture (3/3)

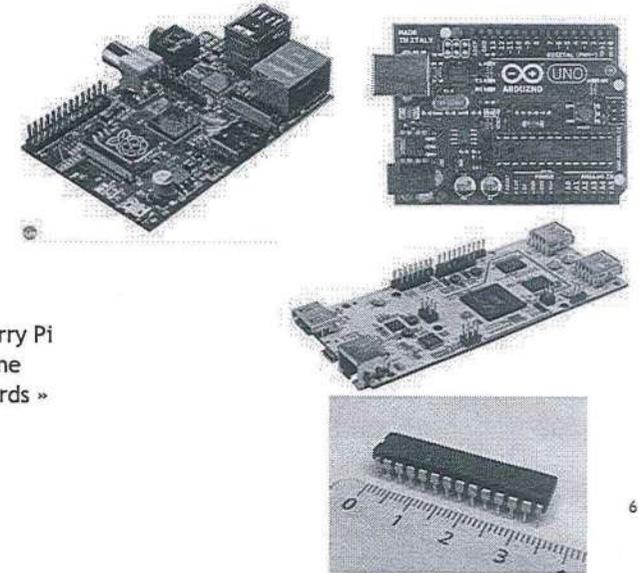
Un mélange des deux

- ⊕ Possibilité d'utiliser des modules puissants, mais en maîtrisant les interconnexions
- ⊕ Carte électronique plus facile à concevoir et à réaliser
- ⊕ Intégration plus facile que la solution 1
- ⊕ Facile de debugger la carte réalisée
- ⊖ Intégration plus difficile que la solution 2
- ⊖ Besoin de matériel spécifique (montage, programmation, test, etc...)
- ⊖ Plus difficile de debugger les modules

5

Quelques exemples

- Modules CPU:
 - Arduino
 - Raspberry Pi
 - Beaglebone
 - PC Duino
- Puces CPU:
 - PIC
 - ATmega
- Modules capteur:
 - Shields Arduino
 - Modules Raspberry Pi
 - Capes Beaglebone
 - « Break-out boards »
- Puces capteur
- Capteurs maison



6

Comment faire son choix ?

- Avantages et inconvénients de chacun.
- Historique des clubs
- Affinité de chacun
- Nous allons parler un peu de l'Arduino et du Raspberry

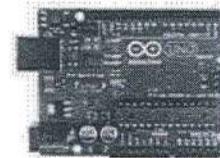
7

Page 38 of 99

Comparaison

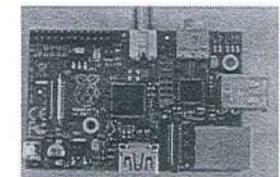
Arduino Uno

- Prix : 30€
- Processeur: Atmega328 8bits, D'Atmel à 16 MHz (OC 20MHz)
- Mémoires: 2Ko Ram, 1Ko Eeprom
- Mémoire Flash 32 ko
- Langage de Programmation: C++
- OS: surcouche de C++ (pas TR)
- E/S: 14 numériques dont 6 PWM et 6 analogique



Raspberry Pi

- Prix : 40€
- Processeur: BCM2835 basé sur un ARM11 à 700 MHz (OC 1GHz)
- Mémoires: 512 Mo SDRAM
- Mémoire Flash: sur carte SD
- Langage de Programmation: Tous
- OS: Linux (pas Temps Réel)
- E/S: 8 numériques, USB2, Ethernet, Video, ..., 0 analogique

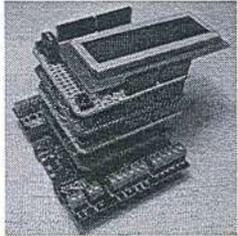


8

Arduino Uno

Avantages

- Facile à prendre en main
- Nombreux Shields
- Nombreux exemples disponibles
- Communauté nombreuse



Inconvénients

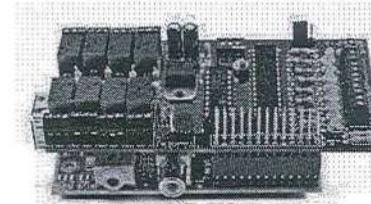
- Boite noire
- Difficulté d'intégration
- Avec les shields: aucune idée des configurations des fonctions prédéfinies.

9

Raspberry Pi

Avantages

- Plus grande liberté de programmation
- Tous les langages de prog utilisables



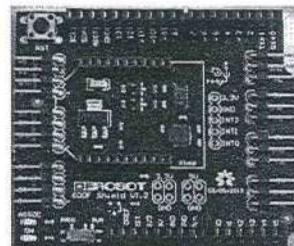
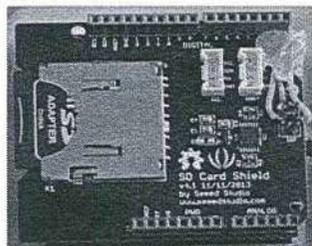
Inconvénients

- Difficulté d'intégration
- Prise en main difficile
- Gros connecteurs
- Pas de convertisseur analogique numérique
- Obligé de rajouter un CAN -> investissement plus lourd
- Système d'exploitation Linux lourd et complexe

10

Arduino : un exemple concret

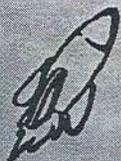
- Carte SD et carte IMU
 - Les signaux SPI passent par le connecteur de prog
 - Pas super explicite sur le schéma
 - Pas de connecteur de prog sur carte IMU



11

UN PETIT ESSAI EN LIVE ???

12



Mise en œuvre des circuits électroniques Initiation à la CEM

- > Les sources d'interférence
- > Évaluer la sensibilité de l'électronique
- > Principes simples de CEM
- > Se protéger par des méthodes simples
- > Éviter les problèmes

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Suspecter un problème de CEM quand :

- « Des fois ça marche, des fois ça marche pas... »
 - « Ca marche, mais faudra embarquer le doigt avec... ».
 - « C'est bizarre cette mesure : on dirait le grand Huit. »
 - Kiwi OFF : « OK ! » KIWI ON : « Heu..., bah... »
 - « Quand tu es là, ça marche jamais... »
 - « Appelle le 15... »
 - « Lancement dans une heure » « Heu, attend, Y a un problème ».
- La CEM est le corollaire de la loi de Murphy appliquée à l'électronique. C'est pour ça qu'il faut y faire attention dès la conception.

2

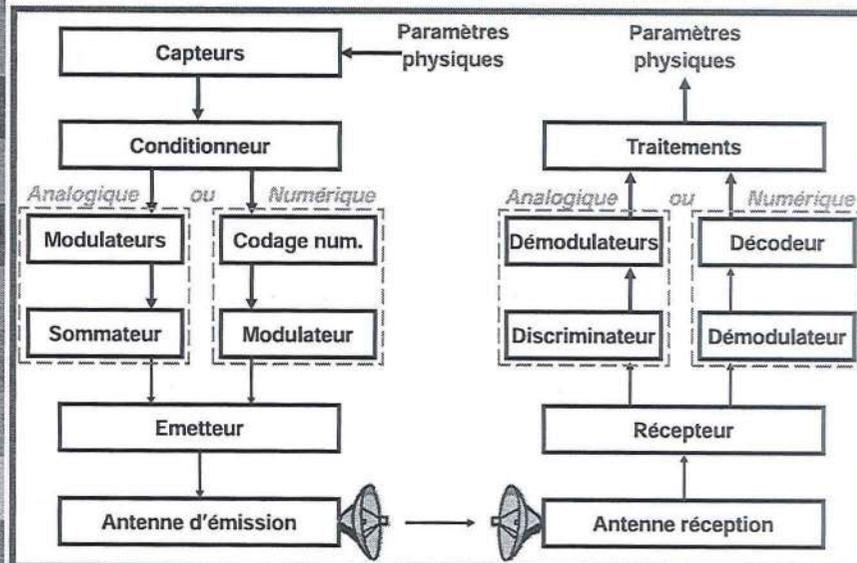
Les sources d'interférences

- Interférences rayonnées
 - Les émetteurs hertziens (Le Kiwi Millénium !!)
 - Moteurs à courant continu & thermiques
 - Transformateurs (50 Hz...)
 - Câbles
- Interférences conduites
 - Alimentations à découpage
 - (hacheurs, puissance, etc....)
 - Electroniques rapides
 - Émetteurs (Le Kiwi Millénium !!)
 - Parasites du réseau EDF

3

Page 40 of 99

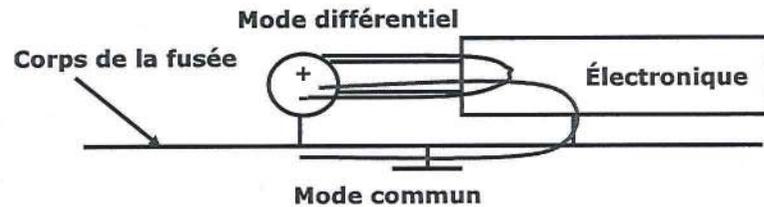
Position dans la chaîne télém



4

Les deux types de parasitage

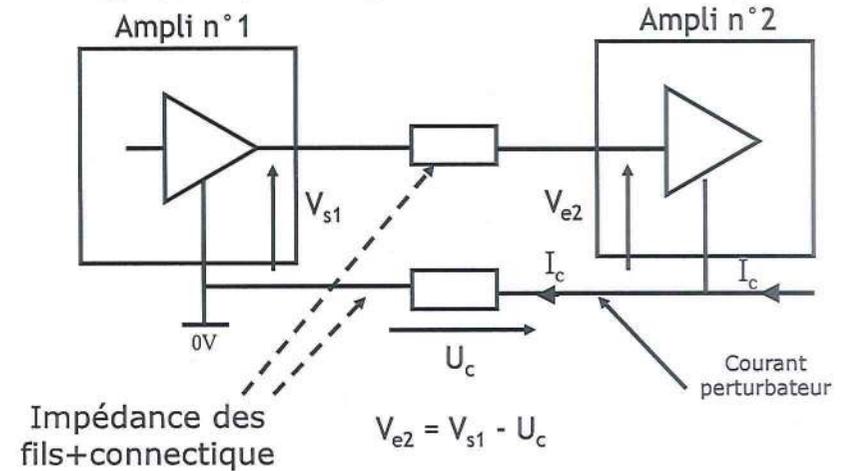
- Parasitage en mode différentiel
 - L'interférence entre par la borne + et sort par la borne -
- Parasitage en mode commun
 - L'interférence entre par les bornes + et - (indifféremment) et sort par la masse mécanique (terre)



5

Couplage par impédance commune

Cas typique : parasitage d'une liaison numérique



6

Le couplage par mode commun

- Il est très fréquent : pourquoi ?
- **Un fil n'est pas un fil !!!**
 - Un fil est une résistance : 1 ohm.m^{-1}
 - Un fil est une inductance : $1 \text{ } \mu\text{H.m}^{-1}$
 - Un fil est une capacité : $30\text{pF}-100\text{pF.m}^{-1}$ (fil sur plan de masse)
 - Un fil est donc « impédant » :
il n'est pas forcément equipotentiel
lorsqu'il est parcouru par un courant.

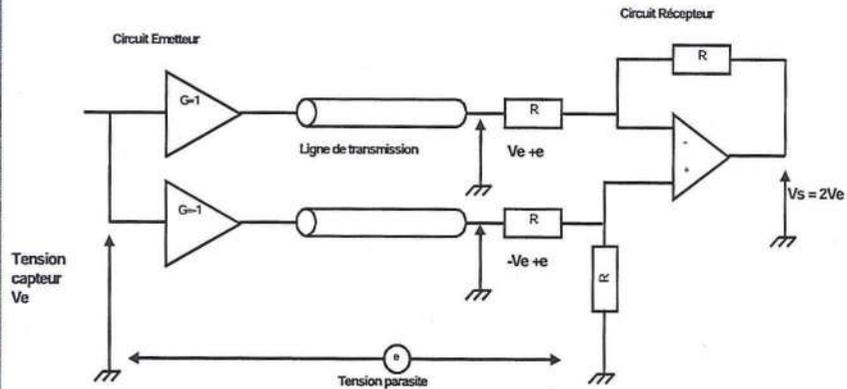
7

Comment s'en protéger ? (1/3)

- Éviter la multitude de cartes
 - Nombreuses cartes = nombreux fils = impédances
- Câbler & router au plus court
- Pour communiquer sur des longs fils :
 - Numérique : utiliser des drivers / récepteurs de lignes différentiel 26C31/ 26C32 + paire torsadée pour les fils > 75cm (principe de l'ADSL)
 - Analogique : utiliser des amplificateurs différentiels / instrumentation + paire torsadée pour les longs fils
 - HF : câble coaxial
 - Puissance : augmenter le diamètre des pistes
- Lors de la conception, toujours penser : Un fil est une impédance ! Il peut donc être le siège de tensions parasites.

8

Principe d'une liaison différentielle



- A utiliser pour la transmission sur longs fils > 1 m ou pour les capteurs sensibles

9

Comment s'en protéger ? (2/4)

- Séparer les fonctions
 - Électronique très bruyante d'un côté...
 - HF, alimentation à découpage
 - Électronique bruyante de l'autre...
 - numérique, microprocesseurs
 - et électronique très sensible isolée
 - analogique, capteurs, instrumentation

10

Comment s'en protéger ? (3/4)

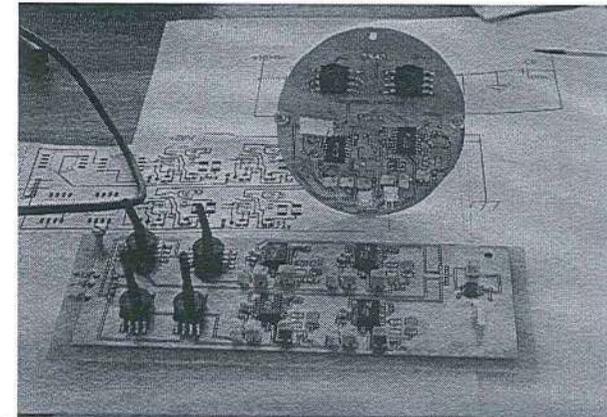
- Éviter que les courants perturbateurs des uns traversent les autres.
 - Deviner le parcours du signal de retour.
- En haute fréquence (signaux numériques)
 - Le courant revient sous la piste. S'il ne le peut pas, il rayonnera !
- En basse fréquence (signaux de puissance)
 - Le courant revient par le chemin le moins impédant.
- Attention, le cheminement des courants peut changer à l'intégration de la carte dans la fusée (repliement, empilage des cartes).

11

Page 42 of 99

Comment s'en protéger ? (4/4)

- Utiliser des plans de masse (obligatoire)
 - Un plan est moins « impédant » qu'un fil en HF...
 - Interdiction de « fendre » le plan de masse.



12

Découplage des circuits

- Découplez vos circuits ... mais pas n'importe comment !
- Une cellule logique ou un microprocesseur peut demander plusieurs watts pendant quelques nanosecondes à chaque commutation.
 - Ligne → inductance : fourniture du courant instantané limitée
 - Régulateurs / convertisseurs : puissance instantanée limitée.
 - Ce sont les condensateurs qui fournissent cette puissance instantanée.

13

Découplage des circuits

- Choisir la bonne famille
 - Faible puissance : condensateurs tantales
 - Forte puissance : condensateurs spéciaux (faible ESR)
 - Numérique & HF : capacités céramiques de 33 - 100 nF
Attention: tantale, chimique, ça ne vaut rien en HF !
 - Emetteur : tantales + céramique
- Très près du composant, et relié à la masse très court
 - 1 à 2 mm pour les faibles valeurs (céramiques)
 - Jusqu'à 3 cm pour les fortes valeurs (tantales)
- Les capacités de découplage sont à placer en premier lors du routage de la carte.

14

Parasitage par rayonnement

- Très courant avec un Kiwi Millenium....!!



- Fils...
- Boucles....
- Le champ électromagnétique induit des courants perturbateurs.
- en mode commun et différentiel.

15

Page 43 of 99

Pourquoi ?

- Par induction, le champ électromagnétique crée :
 - des tensions parasites (fils) : pistes, câbles, blindages.
 - des courants parasites (boucles : réseau d'alimentation, de masse).

A retenir : Fil, boucle = Antenne !!!

16

Pas d'impédances élevées

- Éviter d'utiliser des impédances fortes : création d'antennes (cellule logique CMOS, amplificateurs opérationnels, I/O d'un CPU)
- Couper l'impédance des entrées avec 100 à 1 kOhm pour les longs câbles (> 30 cm)
- Éviter les fortes valeurs de résistance sur les montages à AOP (> 100 kOhms)

17

Pas de boucles de fil

- Éviter les boucles (type guirlandes de sapin)
 - Tous les signaux se transportent par deux (aller et retour).
 - Torsader tous les fils (aller avec retour) et les plaquer sur le corps de la fusée.
 - Dans les câbles nappes : un signal sur deux pour le 0 V.
 - Tous les câbles sont attachés au corps de la fusée.

18

Utilisation des câbles blindés

- Utiliser du câble blindé...
 - mais pas n'importe comment !!
 - A réserver aux signaux sensibles ou perturbants
- Le blindage doit être relié intimement à la masse des deux côtés du câble par une bague de serrage... sinon le blindage réalise une antenne et est nocif!!
- Utiliser des capots de connecteur métalliques. Relier les verrouillages à la masse de la carte.

19

Page 44 of 99

Utiliser des circuits adaptés au besoin

- Utiliser la logique la plus lente possible
 - (pas de AC, ABT...)
 - Choisir LS, 4000, C, TTL, HC, HCT.
 - Sinon ajout d'une résistance série de 100 ohms sur les sorties.
- Utiliser des amplificateurs opérationnels lents
 - Mesures lentes (température, pression) : UA741, LM124, TL084, OP400, OP484...
- Proscrire les composants spécialisés pour les utilisations vidéo ou télécommunications.
- Attention aux composants dernier cri des fabricants

20

Conception des alimentations

- Utiliser quand c'est possible des régulateurs linéaires classiques (7805, LM317, etc...)
- Eviter les régulateurs à découpage & les convertisseurs type TRACO sources de bruit. S'ils sont obligatoires, les sorties doivent être filtrées.
- Un plan d'alimentation pour le 5V ou 3.3V numérique est un plus mais est réservé aux circuits > 4 couches.
- Alimentation des circuits propres par les circuits « sales » (l'analogique est au plus loin de l'alimentation)

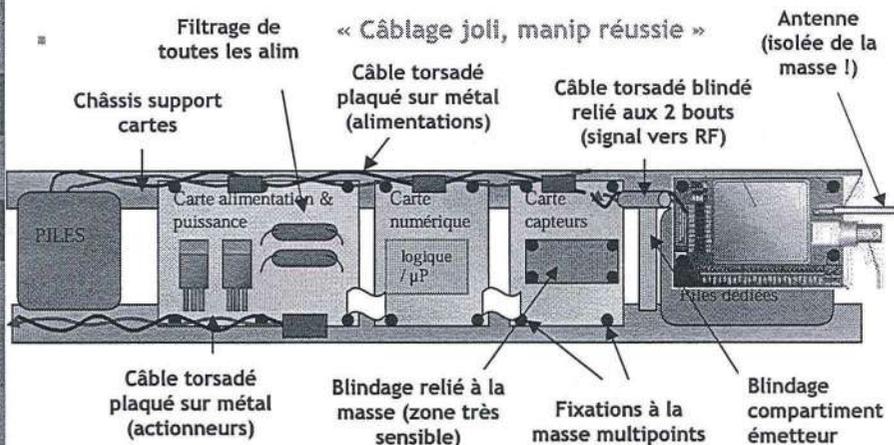
21

Routage de la masse électrique

- **Surtout pas de masse en étoile**
 - Technique conseillée par les vieux bouquins...
 - Cette technique consiste à relier le 0V en un point au châssis.
 - La technique de masse en étoile est réservée aux systèmes BF sans électronique numérique ni télémessure. Interdit pour les systèmes avec télémessure
- Les plans de masse numériques doivent être reliés par de nombreuses vis au corps de la fusée.

22

Ce qu'il faut faire...



Capteurs : câble torsadé sur métal

Capteurs sensibles & signaux vidéo : câble torsadé blindé relié aux 2 bouts

Numérique : nappe sur métal

Les 8 recommandations

- Utiliser un plan de masse pour chaque carte
- Réduire le nombre de carte & éviter les nombreuses connexions
- Découpler les circuits au plus court
- Filtrer les alimentations à découpage
- Penser à la circulation des courants HF et BF
- Torsader voire blinder les fils
- Utiliser de la logique lente et des composants adaptés à la fonctionnalité
- Séparer l'alimentation de l'émetteur, le relier intimement à la masse.

Page 45 of 99

24

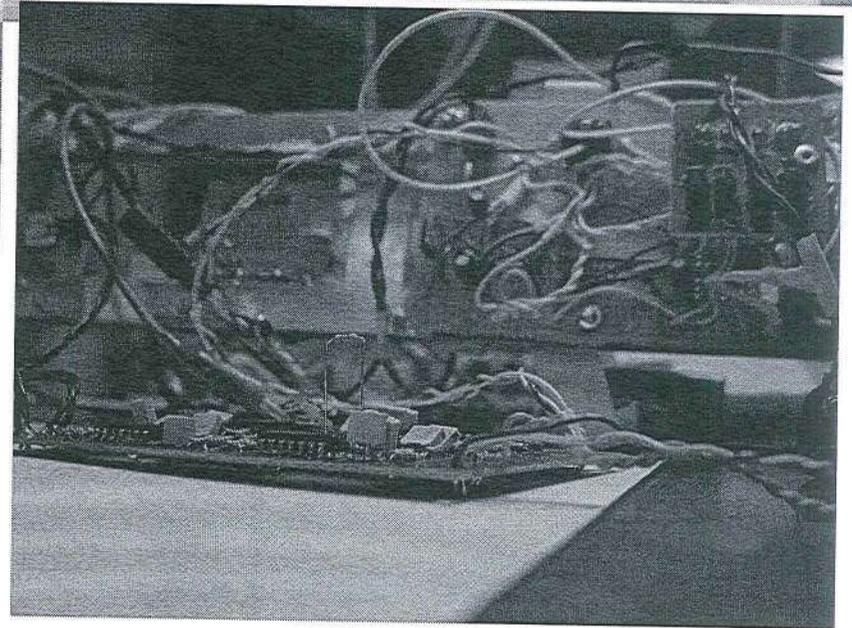
Introduction à la CEM



A retenir...

- « Câblage joli, manip réussie » (N. Verdier)
 - « courants maîtrisés, dangers écartés »
 - « composants adaptés, problèmes évités »
-
- Cf. publication sur la « Compatibilité électromagnétique »
www.planete-sciences.org/espace/basedoc/

25



26

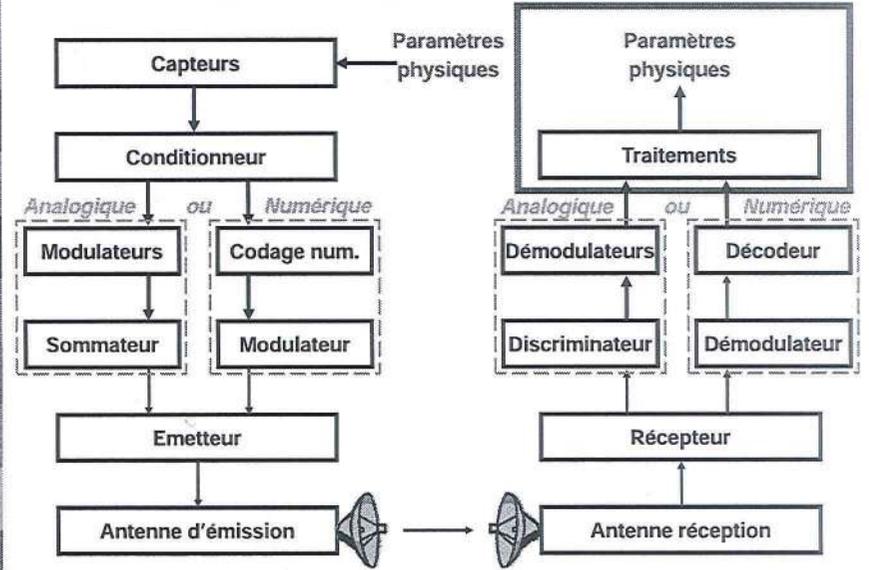


Récupération et exploitation des résultats

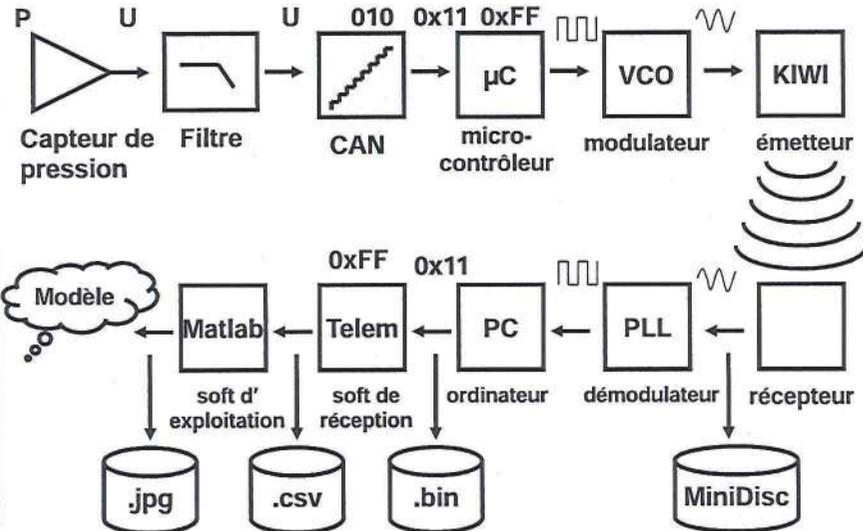
- > Les différentes informations récupérables et leurs formes
- > Le traitement des données

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Position dans la chaîne télem

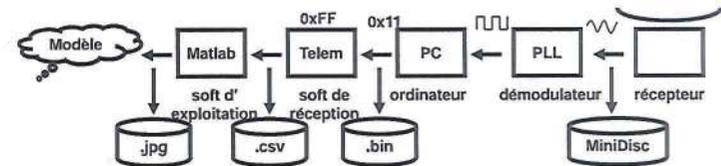


Les formats de données



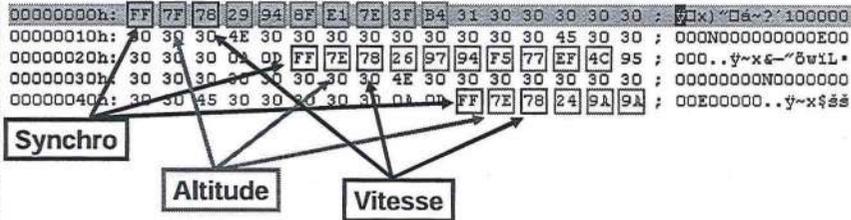
Les formats de sauvegarde (1/3)

- Audio (.wav, audacity)
 - Format audio, juste après le récepteur,
 - A subi le moins de transformations,
 - Le "plus sûr",
 - Le plus difficile à exploiter.



Les formats de sauvegarde (2/3)

- Binaire (.bin, Realterm)
 - Les bits viennent juste d'être réassemblés,
 - Format numérique qui a subi le moins de transformations,
 - Assez difficile à exploiter,
 - Les octets n'ont pas de "sens".



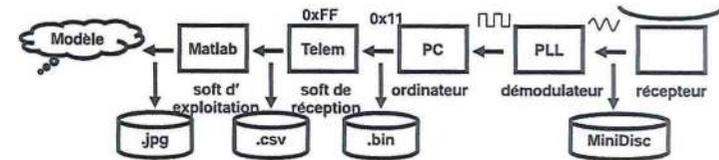
5

Les formats de sauvegarde (3/3)

- Tables (.csv, kcom)
 - Les données ont été reconnues à partir de données de synchro.
 - Lisibles par des humains et d'autres programmes.

```

Altitude,Vitesse,Pression,Température extérieure,Température intérieure
127,120,41,148
126,120,38,151
126,120,36,154
    
```



6

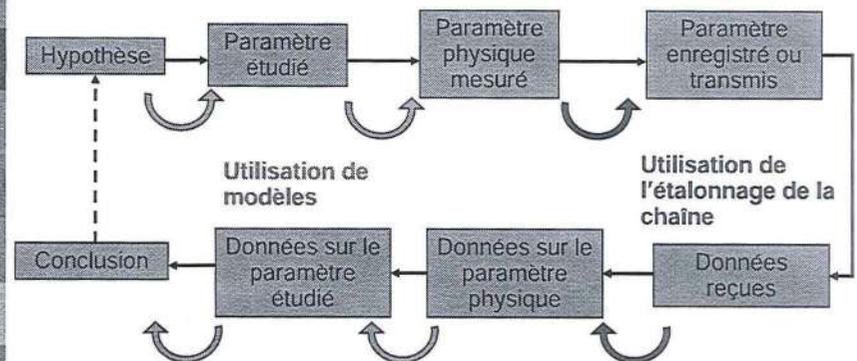
Qu'est-ce que l'exploitation des résultats ?

- Donner un sens aux données recueillies (données brutes)
- Tirer des conclusions des données générées (données traitées)
 - Vérifier nos hypothèses
 - Forger de nouvelles hypothèses

7

Le traitement des données

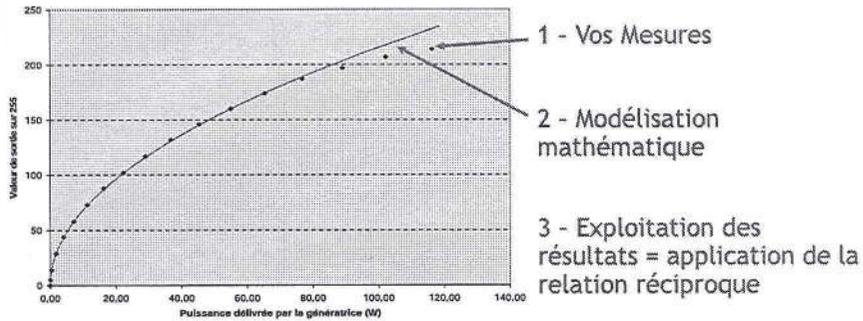
- Pour revenir à des paramètres physiques et donner un sens à ses données brutes, il faut avoir réfléchi à l'exploitation des données avant le vol.



8

Objectif 1 de l'étalonnage

- Exploiter et interpréter de façon rigoureuse les résultats



9

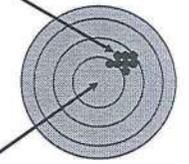
Objectif 2 de l'étalonnage

- Maîtriser les imperfections de la chaîne de mesure

Les défauts de justesse

- La chaîne présente un biais de mesure
- L'étalonnage permet de connaître la correction à appliquer

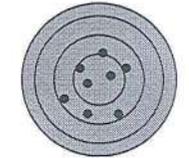
Valeurs mesurées



Valeur réelle du paramètre

Les défauts de fidélité

- La chaîne ne donne pas toujours la même valeur dans des conditions données
- Cela est dû au bruit électronique, à la dérive des composants...
- L'étalonnage permet de connaître l'erreur (incertitude) de la chaîne de mesure → barres d'erreurs dans les résultats



10

Utiliser un modèle

- Le modèle décrit le monde réel de façon simplifié.
 - Loi de pression de l'atmosphère
 - Trajectoire d'un objet en chute libre avec vitesse initiale
- Comment choisir son modèle ?
 - Dans quelles conditions s'applique-t-il ?
 - Quelle est sa précision ?
 - Quelle est sa complexité ?

$$z = (T_0/0.0065) * (1 - (P/P_0)^{0.0065 * R/g_0})$$

11

Comparer ses résultats à la théorie

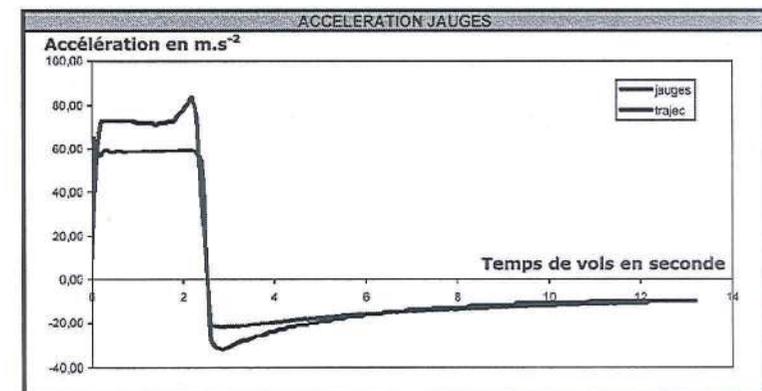


Figure 22 : Evolution de l'accélération en fonction du temps et comparaison théorie/expérience

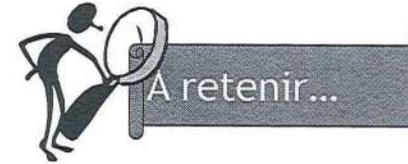
12

Valorisation du projet

- Vous ne faites pas de la bidouille embarquée, vous faites un projet.
- Valoriser son projet, c'est communiquer sur la démarche employée, sur les résultats obtenus.
 - Pourquoi ? Pour laisser des traces aux suivants et éviter de répéter les erreurs, pour aider des jeunes qui débutent sur ce type de projet, pour obtenir des financements (prix, sponsoring)...
 - Comment ? Un poster devant son stand, un compte-rendu d'expérience, la participation aux prix Espace & Industrie 2011, une plaquette pour vos partenaires...

13

Récupération et exploitation des résultats



- Bien penser avant le vol à toute sa chaîne expérimentale jusqu'à l'interprétation (modèles + étalonnage).
- Choisir un modèle, c'est faire un compromis entre précision et complexité.

L'interprétation est la vraie valeur de votre projet !

14

Les travaux pratiques

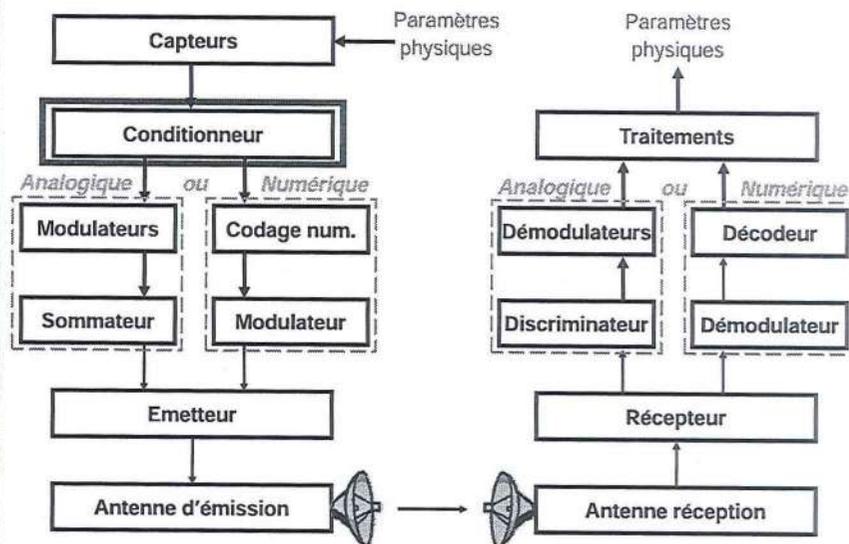


TP Electronique n° 1 Conditionnement des signaux

> Montages autour de l'amplificateur opérationnel

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Position dans la chaîne télécom



2

Objectifs du TP

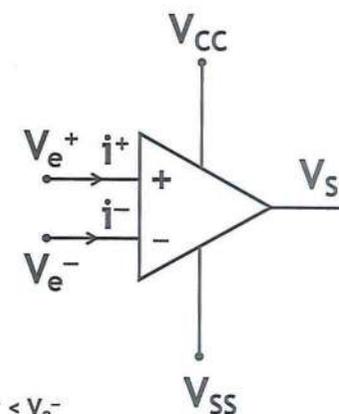
- Comprendre le principe de fonctionnement d'un amplificateur opérationnel (AO)
- Concevoir le conditionnement d'un capteur connaissant l'expérience et les contraintes d'acquisition
- Réaliser un montage électronique et le tester

- Matériel : exemple de montages avec un AO, datasheet du capteur, plaque à bidouille, composants, voltmètre, oscilloscope, GBF

3

L'amplificateur opérationnel

- Composant actif
 - Alimentation symétrique ($V_{SS} = -V_{CC}$) ou non ($V_{SS} = 0$) : cf. datasheet
- Caractéristiques de l'AO idéal
 - Courant nul sur les entrées : $i^+ = i^- = 0$
 - Deux régimes de fonctionnement
- Régime linéaire
 - $V_e^+ = V_e^-$
 - Fonctions linéaires : \times , $+$, $-$
- Régime saturé
 - $V_S = +V_{sat}$ si $V_e^+ > V_e^-$ et $V_S = -V_{sat}$ si $V_e^+ < V_e^-$
 - Fonctions logiques : comparateur
→ non utilisé dans cette formation



4

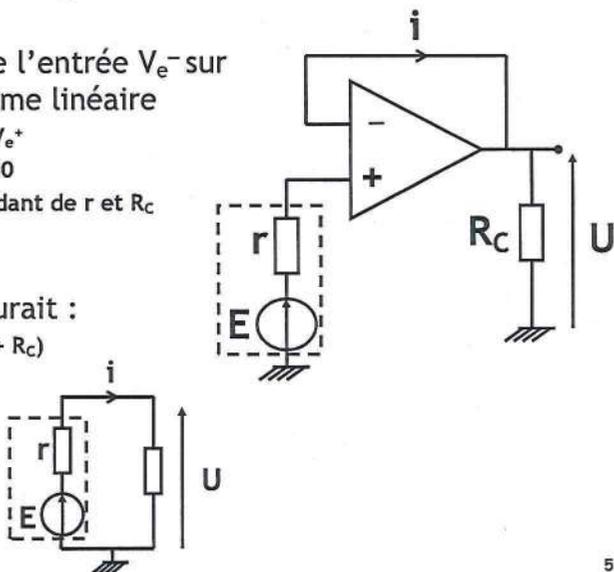
Premier montage avec un AO : le suiveur

- Rétroaction de l'entrée V_e^- sur la sortie : régime linéaire

- $U = V_s = V_e^- = V_e^+$
- $V_e^+ = E$ car $i^+ = 0$
- $U = E$ indépendant de r et R_c

- Sans AO, on aurait :

- $U = E \times R_c / (r + R_c)$



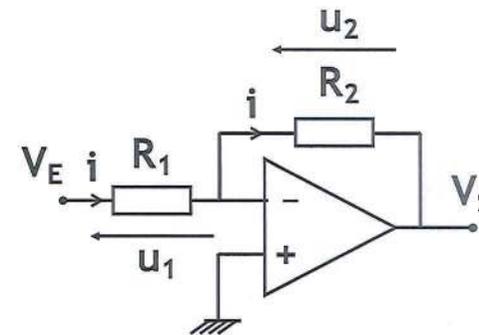
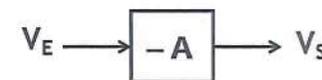
5

Montage amplificateur inverseur

- $u_1 = V_E - V_e^- = V_E$
- $u_2 = V_e^- - V_s = -V_s$
- $u_1 = R_1 \cdot i$
- $u_2 = R_2 \cdot i$
- $i = V_E / R_1 = -V_s / R_2$

$$V_s = -\frac{R_2}{R_1} V_E$$

⇒ Réalisation d'un gain négatif



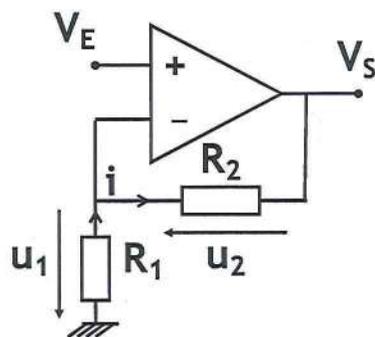
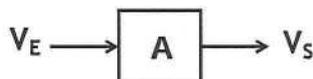
6

Montage amplificateur non inverseur

- $u_1 = -V_E = R_1 \cdot i$
- $u_2 = V_E - V_s = R_2 \cdot i$
- $u_1 + u_2 = -V_s = (R_1 + R_2) \cdot i$
- $i = -V_E / R_1$

$$V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_E$$

⇒ Réalisation d'un gain positif



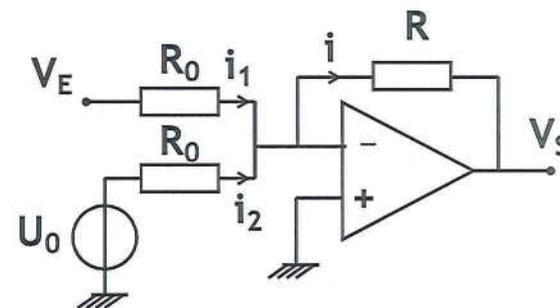
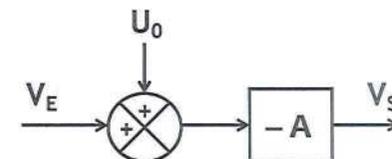
7

Montage sommateur

- $i_1 + i_2 = i$
- $V_E / R_0 + U_0 / R_0 = -V_s / R$

$$V_s = -\frac{R}{R_0} (V_E + U_0)$$

⇒ Réalisation d'un offset



8

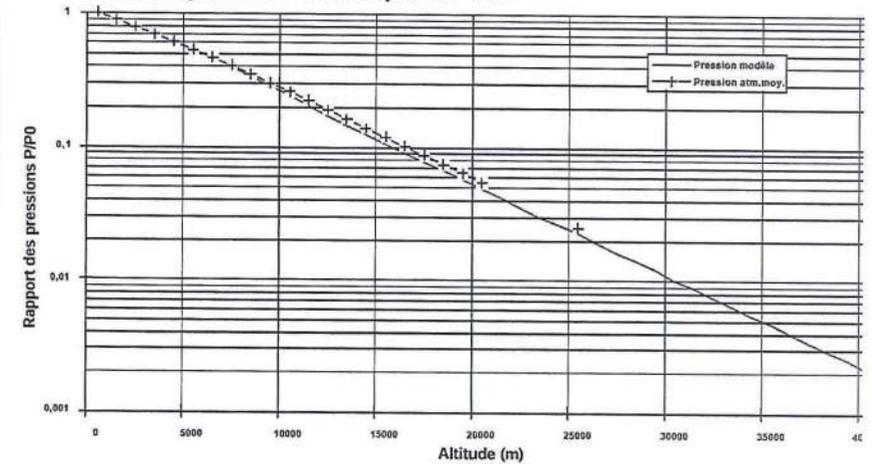
Le problème à résoudre

- Je souhaite suivre au cours du temps l'altitude de mon ballon stratosphérique.
- Dans notre projet, on a déjà choisi :
 - Le capteur : capteur de pression MPX2200
 - Le mode d'acquisition : convertisseur A/N 8 bits 5 V du microcontrôleur.
- Je dois concevoir la carte électronique de l'expérience.

9

Modèle de pression dans l'atmosphère

Extrait du document Planète Sciences/CNES « Caractéristiques de l'atmosphère & Mécanique du vol »



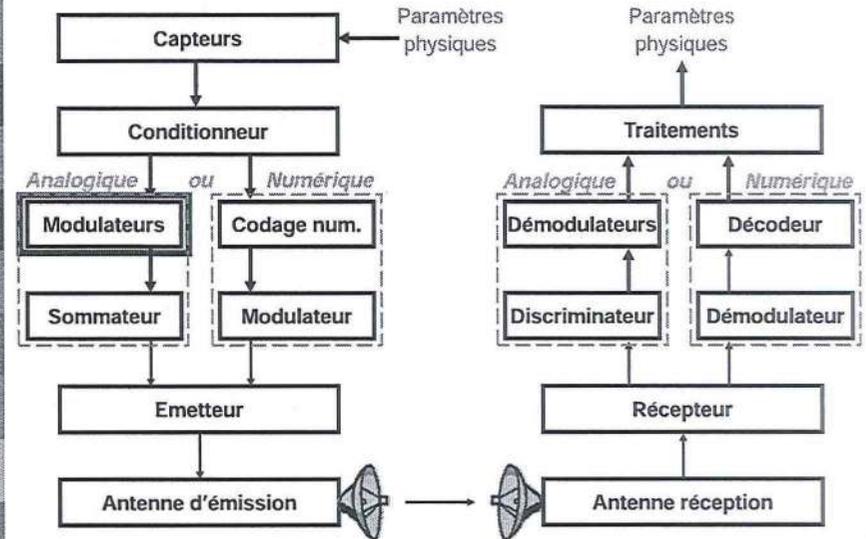
10



TP Electronique n°2 Réalisation d'un modulateur

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Position dans la chaîne télém

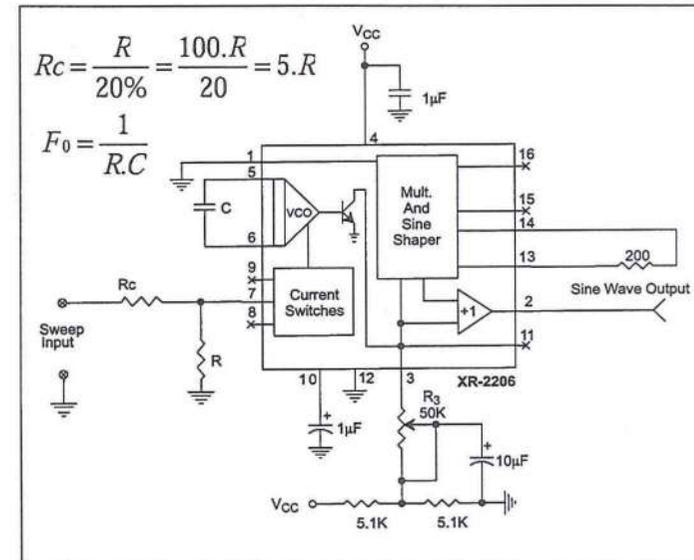


2

Objectifs du TP

- Réaliser un modulateur IRIG ou FSK avec un XR2206
- Savoir régler un modulateur (fréquence, amplitude, distorsion)
- Connaître l'effet des perturbations CEM sur la modulation

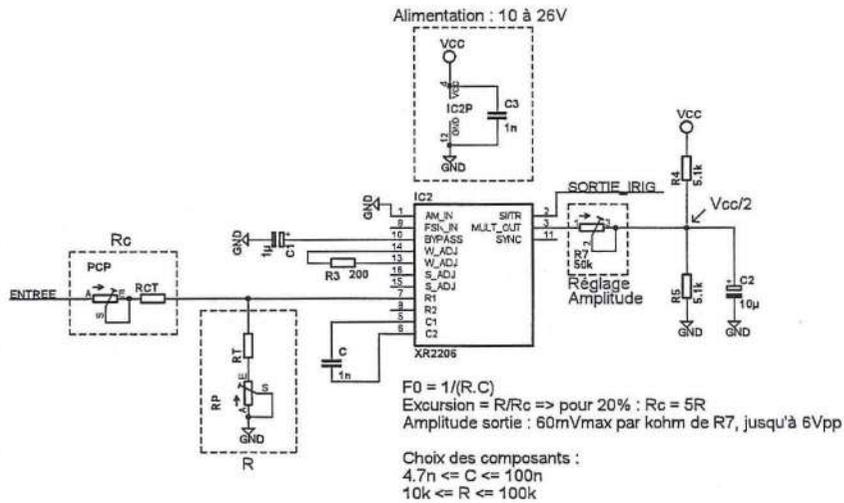
Modulateur IRIG



3

4

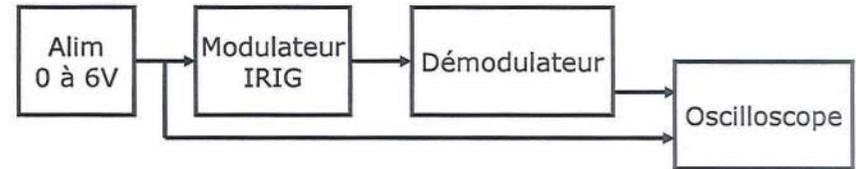
Annexe : Un modulateur IRIG



5

Avec vos mimines ...

- Câblez le circuit.
- Réglez l'amplitude du signal.
- Réglez la fréquence centrale.
- Réglez l'excursion du signal.
- Branchez le modulateur sur le démodulateur Planète Sciences
- Faites varier l'entrée entre 0 et 6V et analyser le résultat



6

Modulateur FSK

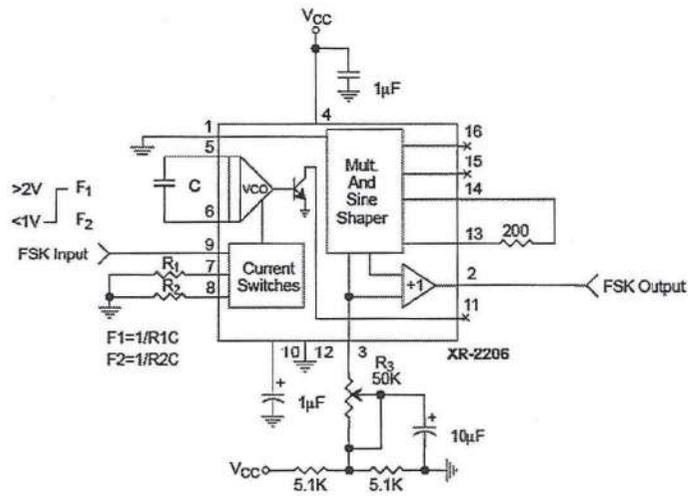


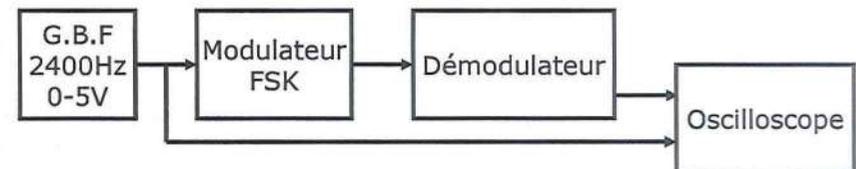
Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

7

Page 56 of 99

Avec vos mimines ...

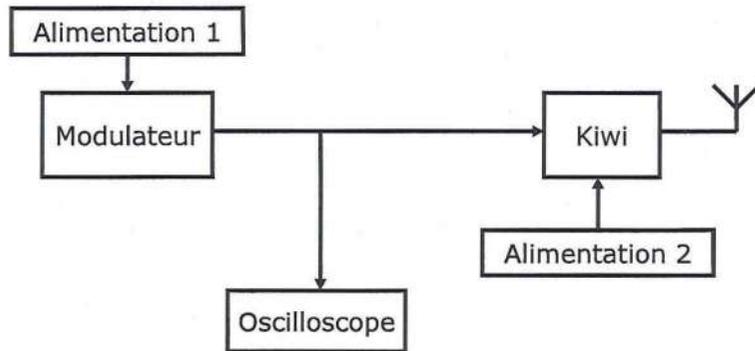
- Câblez le circuit
- Réglez les fréquences F1 & F2
- Réglez l'amplitude du signal
- Branchez le modulateur sur le démodulateur Planète Sciences
- Injectez un signal carré à 2400Hz sur l'entrée FSK et observer la sortie du démodulateur



8

CEM (1/3)

- Observer les perturbations sur le modulateur
 - Réaliser le montage suivant :



9

CEM (2/3)

Perturbation directe sur le modulateur

- On utilisera la configuration suivante :
 - Alimentations du modulateur et émetteur séparées
 - Fils torsadés pour les alimentations.
 - On fixera l'entrée du XR2206 à 3V
- Observer le signal avec et sans émetteur.
- Changer la valeur des résistances de pied de l'oscillateur dans un rapport 20 tout en conservant la même fréquence. Comparer à nouveau avec et sans émetteur.

10

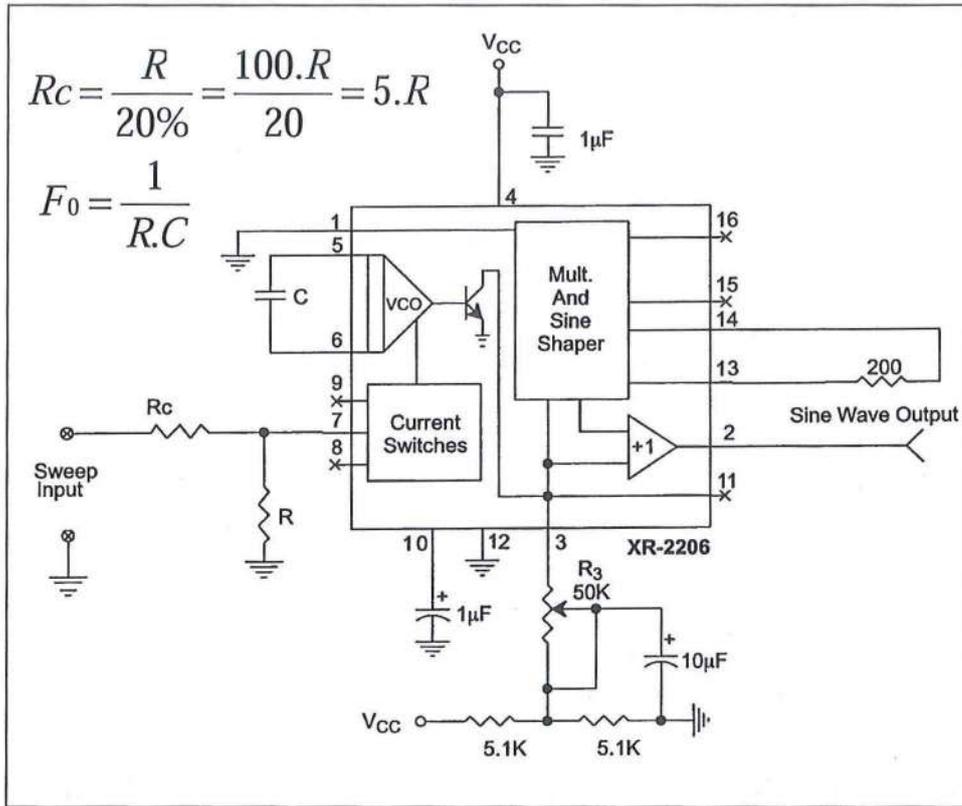
CEM (3/3)

Perturbation par l'alimentation du modulateur

- On utilisera la configuration suivante :
 - Alimentations du modulateur et émetteur **NON** séparées
 - Fils torsadés pour les alimentations.
 - On fixera l'entrée du XR2206 à 3V
 - Valeurs initiales des résistances de pieds.
- Observer le signal avec et sans émetteur.

11

Modulateur IRIG



12

Modulateur FSK

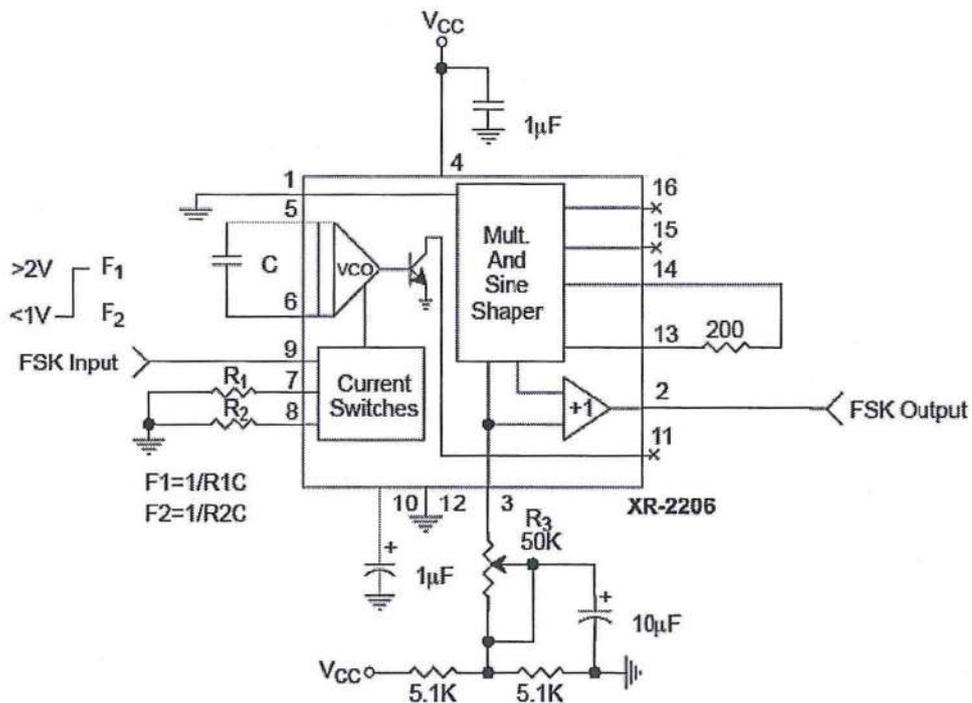


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

13



TP Electronique n° 3 Intégration d'une chaîne complète

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Objectifs du TP

- Intégrer des sous-systèmes réalisés lors des TP électroniques et informatiques précédentes pour faire une chaîne complète de télémesure.
- Découvrir les moyens de réception
- Réaliser un étalonnage
- Connaître l'effet des perturbations CEM sur la qualité de la mesure

2

La télémesure numérique (1/3)

- Câbler le circuit ci-dessous

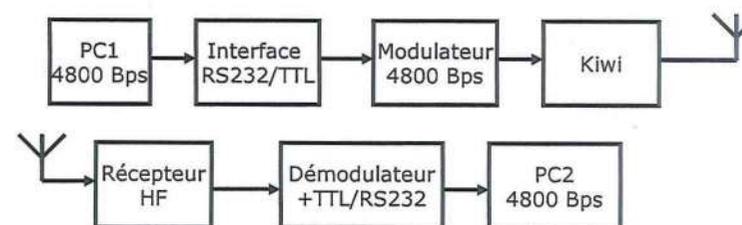


- Lancer le terminal Windows sur les 2 PCs
- Envoyer un message du PC1 vers le PC2

3

Le télémesure numérique (2/3)

- Câbler le circuit ci-dessous

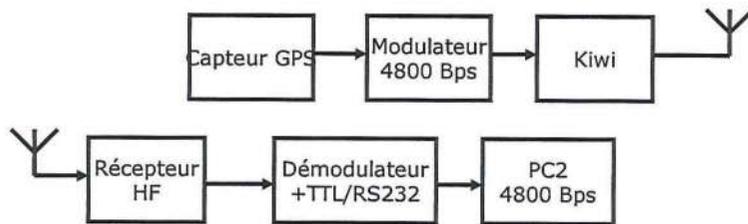


- Lancer le terminal Windows sur les 2 PCs
- Envoyer un message du PC1 vers le PC2.

4

Le télémesure numérique (3/3)

- Remplacer le PC1 par un récepteur GPS



5

La télémesure analogique (1/2)

- Construire la chaîne suivante

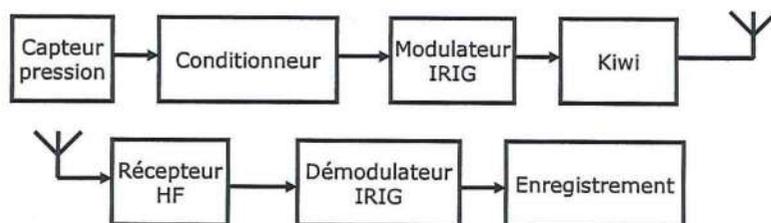


- Etalonner le capteur de pression à la sortie du conditionneur et à la sortie du démodulateur

6

Le télémesure analogique (2/2)

- Câbler le circuit ci-dessous



- Etalonner le capteur de pression à la sortie du conditionneur et à la sortie du démodulateur

7

TP informatique n° 1 : Programmation d'un microcontrôleur PIC18F2620

- > Le microcontrôleur
- > Le C
- > La mise en oeuvre

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

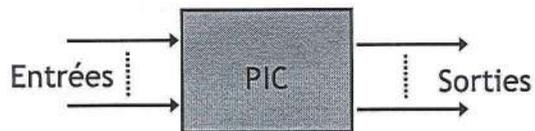
Objectifs du TP

- Découvrir les fonctions d'un microcontrôleur PIC
- Découvrir les bases du langage C
- Découvrir les outils de développement utilisés
- Savoir initialiser un PIC et modifier l'état des entrées-sorties

2

Présentation du microcontrôleur

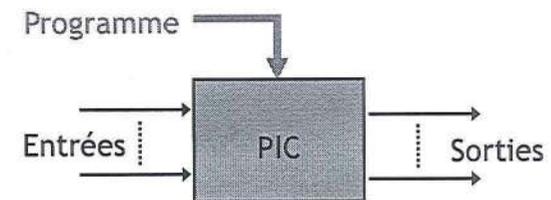
- Le monde



- Pour le PIC, le monde est divisé en deux parties : lui-même et tout le reste.
- Le PIC ne connaît et ne travaille qu'avec des incréments (nombres entiers).
- Il ne connaît le monde extérieur qu'à travers des capteurs qui, à un certain moment, convertissent les grandeurs physiques en incréments.

3

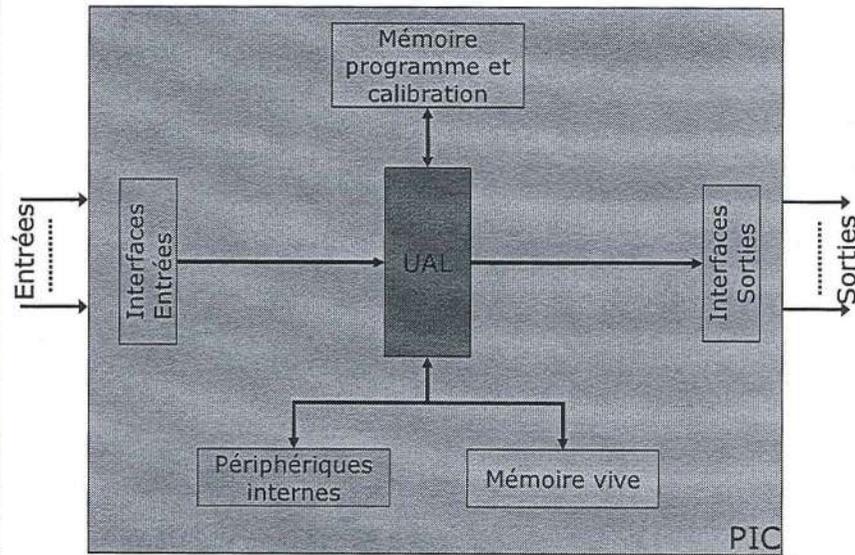
Présentation du microcontrôleur



- Le PIC va manipuler de l'information sous la forme d'incréments :
 - le PIC va manipuler ses sorties (actionneurs) en fonction de ses entrées (capteurs).
 - Cette fonction (en certains points comparable à une fonction mathématique, mais pas totalement) est décrite sous la forme de ce qu'on appelle le programme.

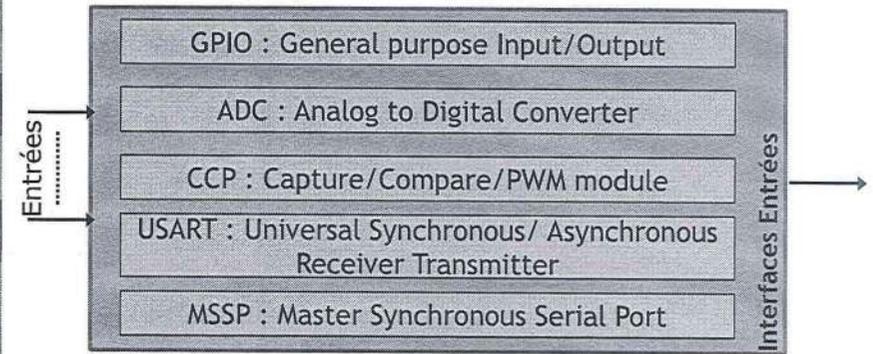
4

Le microcontrôleur

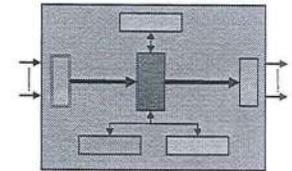


5

Les entrées

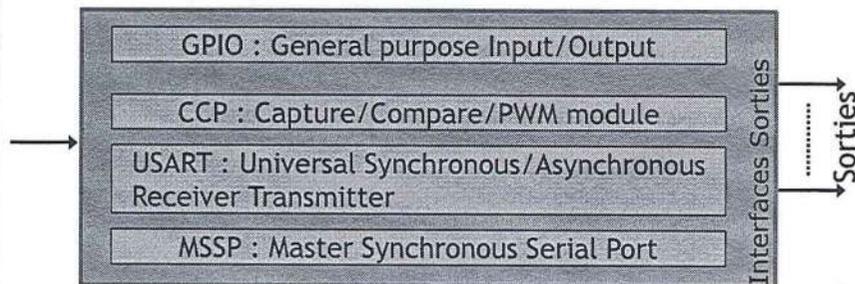


- Entrées TTL/CMOS
- Entrées analogiques
- Compteurs et comparateurs
- Ports séries

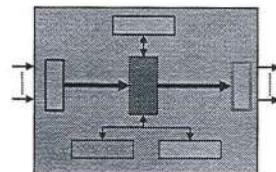


6

Les sorties



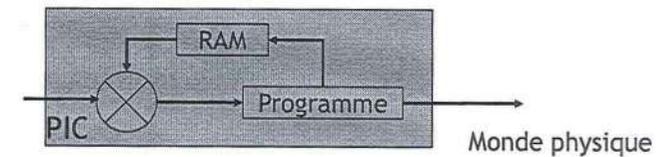
- Modulation en Largeur d'Impulsion
- Sorties CMOS
- Ports séries



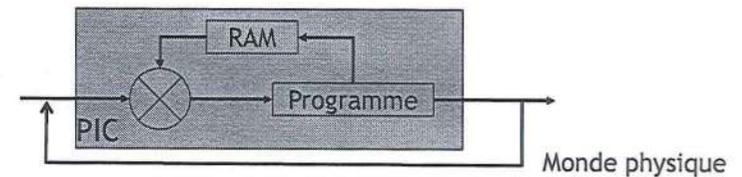
7

Modélisation du fonctionnement d'un microcontrôleur (1/2)

- Fonctionnement en boucle ouverte :



- Fonctionnement en boucle fermée :

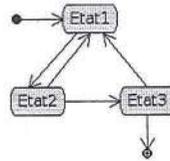


8

Modélisation du fonctionnement d'un microcontrôleur (2/2)

■ Modélisation sous la forme d'un automate à états finis

- **Nombre fini d'états**
(c-à-d de modes de fonctionnement)
- **Nombre fini de transitions**
(c-à-d de possibilités de passage d'un état à un autre)

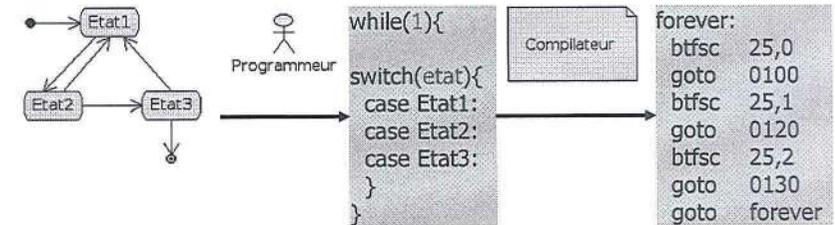


- Une **transition** se déroule lorsqu'un certain nombre de conditions sont remplies (paramètres physiques, temps, état précédent...).
- Toutes les transitions entre tous les états ne sont pas forcément possibles ou permises (dépend du système et de sa programmation).

9

Spécification du programme du µ-contrôleur

- Les différents comportements et transitions peuvent être spécifiés grâce à ce que l'on appelle un langage de programmation, cette spécification (textuelle) pourra être transformée en instructions compréhensibles par l'Unité Arithmétique et Logique.



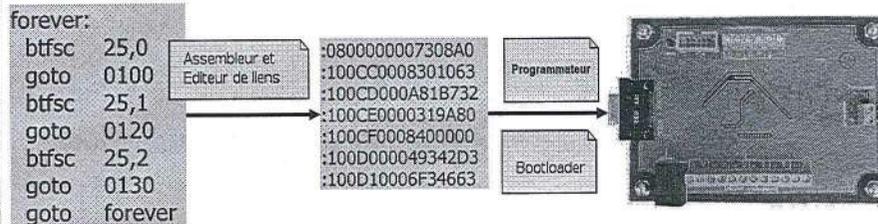
Spécification
(graphique) du
programme

Spécification
en C du
programme

Spécification en
Assembleur du
programme

10

Programmation du microcontrôleur



Spécification en
Assembleur du
programme

Fichier .hex

Circuit d'utilisation

Pour acheter un programmeur :
<http://www.microchip.com/pickit2> (50€)
<http://www.microchip.com/ICD2> (100€)

11

Page 63 of 99

Le langage C : introduction

- Ce langage a une certaine syntaxe.
 - Ex. ; à la fin d'une ligne
- Le langage dispose d'un certain nombre de mots-clefs qui ne peuvent pas être redéfinis.
- Chaque entité doit être déclarée avant d'être utilisée.
- C'est un langage fonctionnel : tout comportement est modélisé par et contenu dans une fonction.

12

Le langage C : déclaration

- Déclaration d'une fonction

```
type_retour nom_fonction(type param1, ... type paramN);
```

 - `type_retour` est le **type de données** que retourne la fonction
 - `nom_fonction` est le nom par lequel la fonction est référencée (on dit appelée lorsqu'elle est utilisée)
 - `type` est le **type de données** du paramètre de la fonction qui suit immédiatement
 - `paramN` sont les paramètres de la fonction.
- Type de données
 - `char` (8 bits signé),
 - `unsigned char` (8 bits non signé),
 - `int` (16 bits signé),
 - `unsigned int` (16 bits non signé).

13

Le langage C : définition

- Définition d'une fonction :

```
type_retour nom_fonction(type param1, ... type paramN){  
...  
}
```

 - C'est ici (à la place des ...) qu'est décrit le comportement de la fonction.
 - Une fonction doit avoir le même **prototype** dans sa déclaration et dans sa définition.
 - Les accolades qui entourent la définition d'une fonction en font un **bloc**.

14

Le langage C : variables

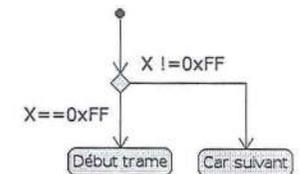
- Les variables temporaires
 - Elles servent comme intermédiaires de calcul par exemple, leur durée de validité et de visibilité ne dépasse pas le **bloc** qui les contient.
 - `char` compteur;
- Les variables d'état
 - Leur validité est toujours garantie, mais elles ne sont accessibles que dans le **bloc** qui les contient.
 - `static int filtre = 0;`
- Les variables globales
 - Elles sont accessibles et valides de partout et sont déclarées à l'extérieur de tout bloc.
 - `unsigned char` heure;

15

Page 64 of 99

Le langage C : structures de contrôle

- `if(<condition>){
...
}else{
...
}`
 - Seul l'un des deux blocs est exécuté.
- `while(<condition>){
...
}`
 - La boucle est exécutée tant que la condition est vraie.
- NB. : Il existe d'autres structures de contrôle, mais elles peuvent être exprimées en fonction des deux présentées.



16

Le langage C : les conditions (tests)

- test d'égalité
 - opérande == opérande
- test d'inégalité
 - opérande != opérande
- test de supériorité stricte
 - opérande > opérande
- test d'infériorité stricte
 - opérande < opérande
- test de supériorité
 - opérande >= opérande
- test d'infériorité
 - opérande <= opérande

17

Le langage C : écriture d'un programme

- Appel de fonction
 - `putch('A');`
- Commentaires
 - Il est possible d'introduire du texte parmi le code C, principalement dans un but d'explication. Un tel texte est ignoré, commence par `/*` et se termine par `*/`.
- Point d'entrée
 - Une fonction spéciale détermine l'endroit où va commencer le programme à la mise sous tension ou après un *Reset*:
`void main(void)`

18

Mise en oeuvre du PIC

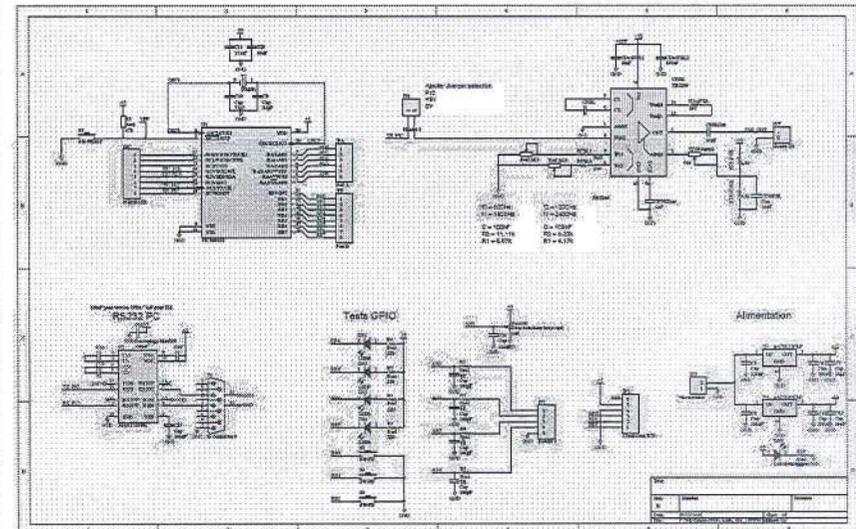
- Les GPIO
 - Les ports sont bidirectionnels : il faut décider de leur sens avant de les utiliser.
- Le module UART (communication avec un PC par RS-232)
 - La vitesse et le type de transmission sont configurables.
- Le module ADC
 - Certaines *Pin* sont à la fois des GPIO et des ADC, il faut donc définir leur rôle.
- Le module Timer
 - La durée de comptage est configurable.
- Utilisation des bibliothèques fournies avec C18 :
www.microchip.com/C18

MPLAB C18 Libraries Documentation

19

Page 65 of 99

La carte de test



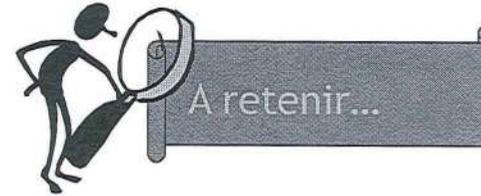
20

Mise en Oeuvre du TP

- Bootloader
 - C'est un programme qui possède à la fois une partie sur le PIC et une partie sur le PC et qui permet de transférer le programme sur le PIC.
 - Nota : un programmeur matériel est nécessaire la 1^{ère} fois pour envoyer le code du Bootloader dans le PIC
- Elements à installer (tous ces outils sont gratuits)
 - IDE : Microchip MPLAB www.microchip.com/mplab
 - Compilateur : Microchip C18 www.microchip.com/C18
 - Bootloader : Tiny-bootloader www.google.com/search?q=Tiny-bootloader

21

Programmation d'un PIC18F2620



- Toujours bien **spécifier** (définir) son programme avant de commencer à le **coder**;
- Essayer de concevoir des parties de code réutilisables.

22



TP informatique n° 2 Conversion A/N et envoi sur la liaison série

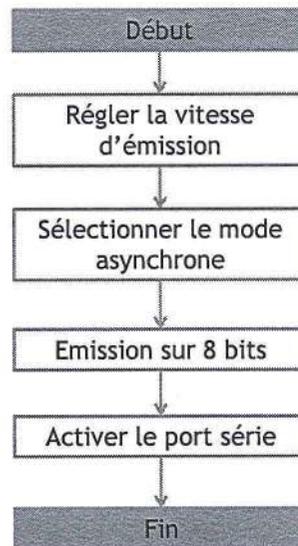
Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Objectifs du TP

- Comprendre le fonctionnement de la conversion analogique/numérique
- Acquérir une tension et la transmettre par le port série sous forme de trame au PC
- Découvrir les problèmes liés à la fréquence d'échantillonnage

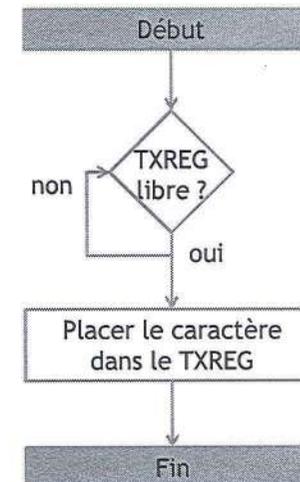
2

Initialisation de la liaison série



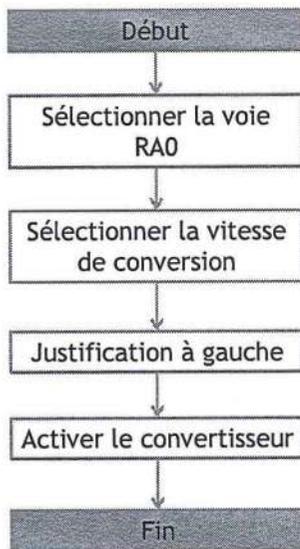
3

Envoi d'un caractère sur la liaison série



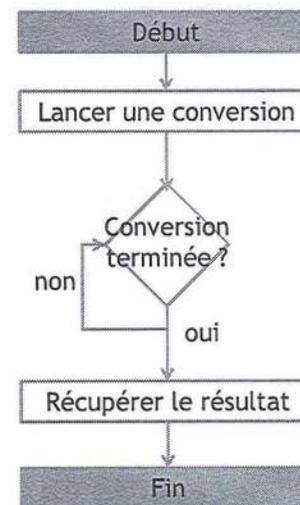
4

Initialisation du convertisseur

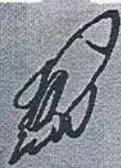


5

Effectuer une conversion



6



TP Electronique/Informatique n°3 Intégration d'une chaîne complète

Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

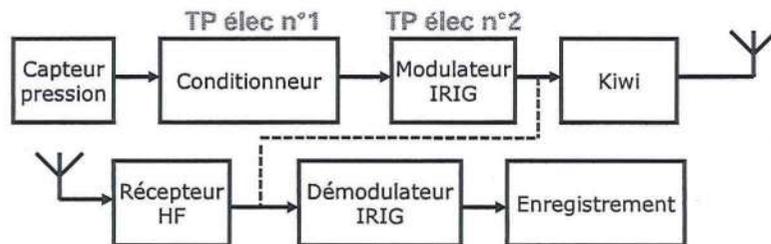
Objectifs du TP

- Intégrer des sous-systèmes réalisés lors des TP électroniques et informatiques précédentes pour faire une chaîne complète de télémétrie.
- Découvrir les moyens de réception
- Réaliser un étalonnage
- Connaître l'effet des perturbations CEM sur la qualité de la mesure

2

Variante 1

- Câbler le circuit ci-dessous
 - D'abord sans les éléments hautes fréquences (chemin pointillé)

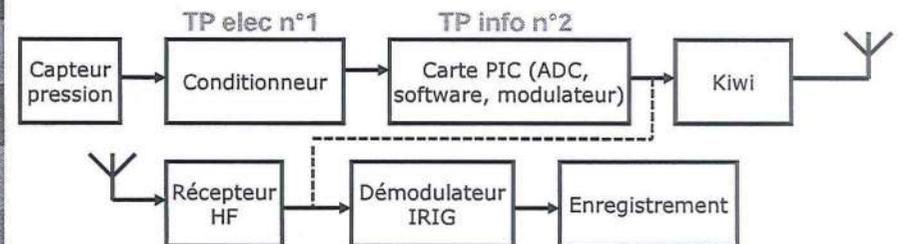


- Etalonner le capteur de pression à la sortie du conditionneur et à la sortie du démodulateur (avec et sans émetteur)

3

Variante 2

- Câbler le circuit ci-dessous
 - D'abord sans les éléments hautes fréquences (chemin pointillé)

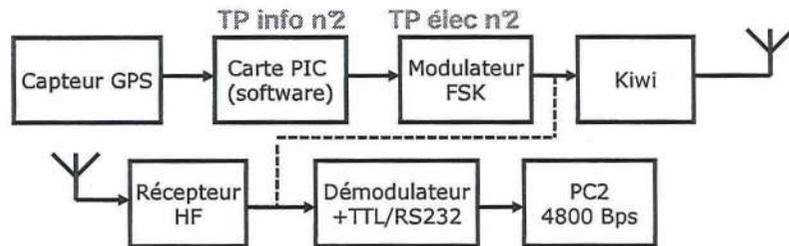


- Etalonner le capteur de pression à la sortie du conditionneur et à la sortie du démodulateur (avec et sans émetteur)

4

Variante 3

- Câbler le circuit ci-dessous
 - D'abord sans les éléments hautes fréquences (chemin pointillé)



- Décoder les trames NMEA



TP Annexe étude de la dérive des composants

> Expérimentation avec l'étuve



Formation « Du capteur à l'émetteur » - Ris Orangis

Annexes

PIC18F (18FX620)

Caractéristiques générales

CPU :

Fréquence : jusqu'à 40 Mhz (10 MIPS)
Oscillateur interne ou externe, 4x PLL
Jeu d'instruction RISC (79 instructions)
Débuggage temps réel par l'interface ICD

Mémoires :

Mémoire programme : 32Kw Flash (64Ko)
Mémoire RAM : 3986 Koctets

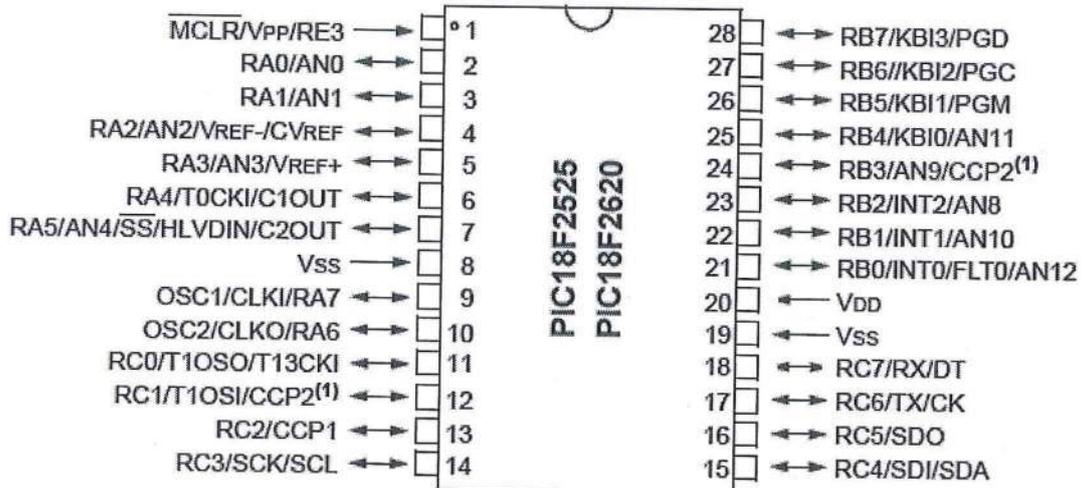
Interfaces, périphériques :

25 ou 36 I/O numériques (0-5V +/-25mA)
10 ou 13 entrées analogiques 10-bits
Port Série (USART, I²C/SPI)
4 Timers (compteurs)

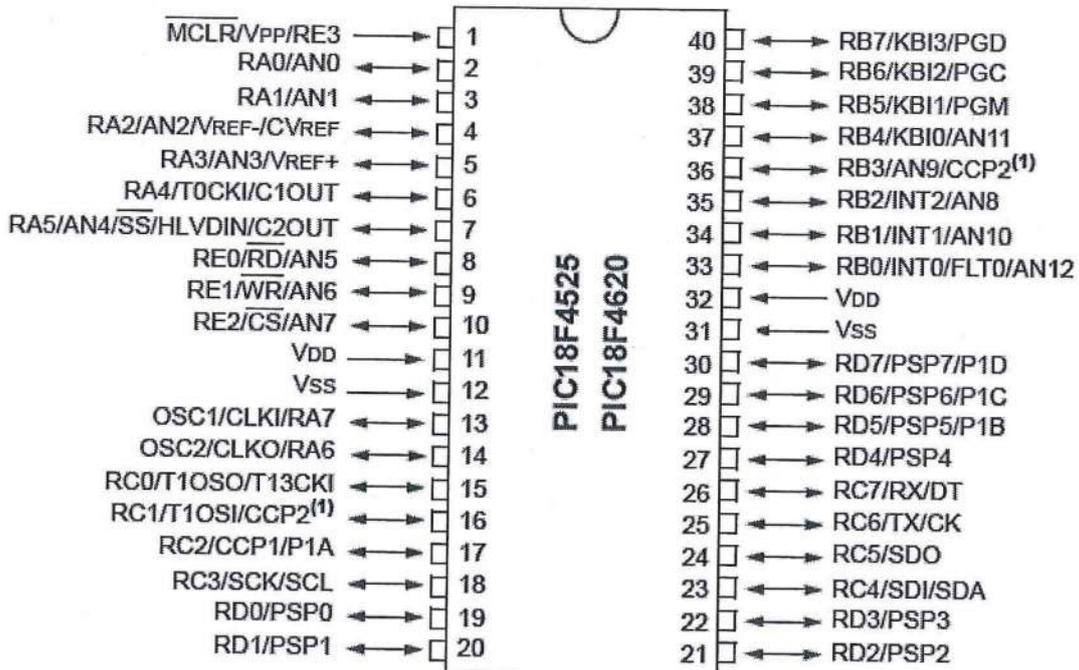
PIC18F (18FX620)

Brochage

28-Pin SPDIP, SOIC



40-Pin PDIP



PIC18F (18FX620)

La configuration générale

En dur (valable dès la mise sous tension) : **LES BITS DE CONFIGURATION**

TABLE 23-1: CONFIGURATION BITS AND DEVICE IDs

File Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Default/ Unprogrammed Value	
300001h	CONFIG1H	IESO	FCMEN	—	—	FOSC3	FOSC2	FOSC1	FOSC0	00-- 0111
300002h	CONFIG2L	—	—	—	BORV1	BORV0	BOREN1	BOREN0	PWRTEN	---1 1111
300003h	CONFIG2H	—	—	—	WDTPS3	WDTPS2	WDTPS1	WDTPS0	WDTEN	---1 1111
300005h	CONFIG3H	MCLRE	—	—	—	—	LPT1OSC	PBADEN	CCP2MX	1--- -011
300006h	CONFIG4L	DEBUG	XINST	—	—	—	LVP	—	STVREN	10-- -1-1
300008h	CONFIG5L	—	—	—	—	CP3 ⁽¹⁾	CP2	CP1	CP0	---- 1111
300009h	CONFIG5H	CPD	CPB	—	—	—	—	—	—	11-- ----
30000Ah	CONFIG6L	—	—	—	—	WRT3 ⁽¹⁾	WRT2	WRT1	WRT0	---- 1111
30000Bh	CONFIG6H	WRD0	WRD1	WRD2	—	—	—	—	—	111- ----
30000Ch	CONFIG7L	—	—	—	—	EBTR3 ⁽¹⁾	EBTR2	EBTR1	EBTR0	---- 1111
30000Dh	CONFIG7H	—	EBTRB	—	—	—	—	—	—	-1-- ----

A configurer avant programmation :

FOSC3:0 : Oscillator = HS (High Speed - 20MHz external Quartz)

WDTEN : Watchdog Timer = Disabled

LVP : Low Voltage Program = Disabled

En RAM (changeable au cours du programme) : **LES REGISTRES**

SPECIAL FUNCTION REGISTER MAP FOR PIC18F2620 DEVICES

Name	Name	Name	Name
TOSU	INDF2 ⁽¹⁾	CCPR1H	IPR1
TOSH	POSTINC2 ⁽¹⁾	CCPR1L	PIR1
TOSL	POSTDEC2 ⁽¹⁾	CCP1CON	PIE1
STKPTR	PREINC2 ⁽¹⁾	CCPR2H	— ⁽²⁾
PCLATU	PLUSW2 ⁽¹⁾	CCPR2L	OSCTUNE
PCLATH	FSR2H	CCP2CON	— ⁽²⁾
PCL	FSR2L	— ⁽²⁾	— ⁽²⁾
TBLPTRU	STATUS	BAUDCON	— ⁽²⁾
TBLPTRH	TMR0H	PWM1CON ⁽³⁾	— ⁽²⁾
TBLPTRL	TMR0L	ECCP1AS ⁽³⁾	TRISE ⁽³⁾
TABLAT	T0CON	CVRCON	TRISD ⁽³⁾
PRODH	— ⁽²⁾	CMCON	TRISC
PRODL	OSCCON	TMR3H	TRISB
INTCON	HLVDCON	TMR3L	TRISA
INTCON2	WDTCON	T3CON	— ⁽²⁾

INTCON3	RCON	SPBRGH	— ⁽²⁾
INDF0 ⁽¹⁾	TMR1H	SPBRG	— ⁽²⁾
POSTINC0 ⁽¹⁾	TMR1L	RCREG	— ⁽²⁾
POSTDEC0 ⁽¹⁾	T1CON	TXREG	LATE ⁽³⁾
PREINC0 ⁽¹⁾	TMR2	TXSTA	LATD ⁽³⁾
PLUSW0 ⁽¹⁾	PR2	RCSTA	LATC
FSR0H	T2CON	EEADRH	LATB
FSR0L	SSPBUF	EEADR	LATA
WREG	SSPADD	EEDATA	— ⁽²⁾
INDF1 ⁽¹⁾	SSPSTAT	EECON2 ⁽¹⁾	— ⁽²⁾
POSTINC1 ⁽¹⁾	SSPCON1	EECON1	— ⁽²⁾
POSTDEC1 ⁽¹⁾	SSPCON2	— ⁽²⁾	— ⁽²⁾
PREINC1 ⁽¹⁾	ADRESH	— ⁽²⁾	PORTE ⁽³⁾
PLUSW1 ⁽¹⁾	ADRESL	— ⁽²⁾	PORTD ⁽³⁾
FSR1H	ADCON0	IPR2	PORTC
FSR1L	ADCON1	PIR2	PORTB
BSR	ADCON2	PIE2	PORTA

A initialiser dans le code au début du *main()* :

TRISA, TRISB, TRISC ... (sélection des entrées et sorties)

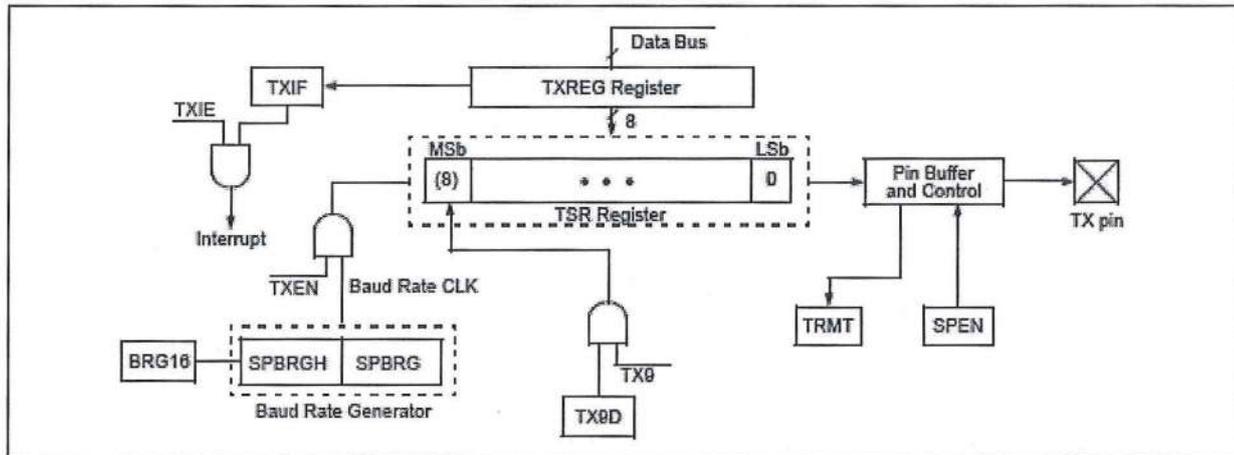
PIC18F (18FX620)

Le port série : l'USART en émission

Schéma de principe - Description

USART : Universal (Synchronous) Asynchronous (Receiver) Transmitter

FIGURE 18-3: EUSART TRANSMIT BLOCK DIAGRAM



Configuration

Mode Transmission asynchrone, Interruptions inactives,
 8-bit de données, polarité non-inversée,
 Réglage du débit souhaité :

TABLE 18-1: BAUD RATE FORMULAS

Configuration Bits			BRG/EUSART Mode	Baud Rate Formula
SYNC	BRG16	BRGH		
0	0	0	8-bit/Asynchronous	$F_{osc}/[64(n+1)]$
0	0	1	8-bit/Asynchronous	$F_{osc}/[16(n+1)]$
0	1	0	16-bit/Asynchronous	$F_{osc}/[4(n+1)]$
0	1	1	16-bit/Asynchronous	$F_{osc}/[4(n+1)]$

$n = SPBRG$ (8-bit mode) ou $n = SPBRGH_SPBRG$ (16-bit mode)

F_{osc} = Fréquence du Quartz (4MHz ou 20MHz par exemple)

Mise en œuvre

Attendre que TXREG soit libre (pool **TXIF**)

Charger l'octet à envoyer dans **TXREG**. La transmission commence aussitôt.

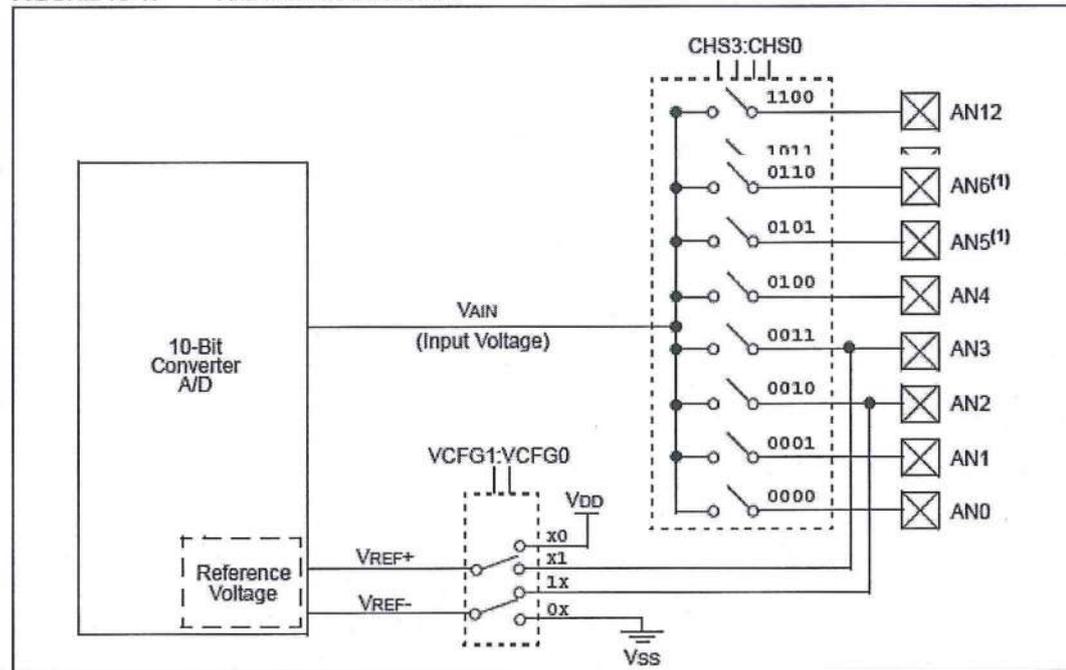
PIC18F (18FX620)

Convertisseur Analogique/Numérique (ADC)

Schéma de principe - Description

Le multiplexeur

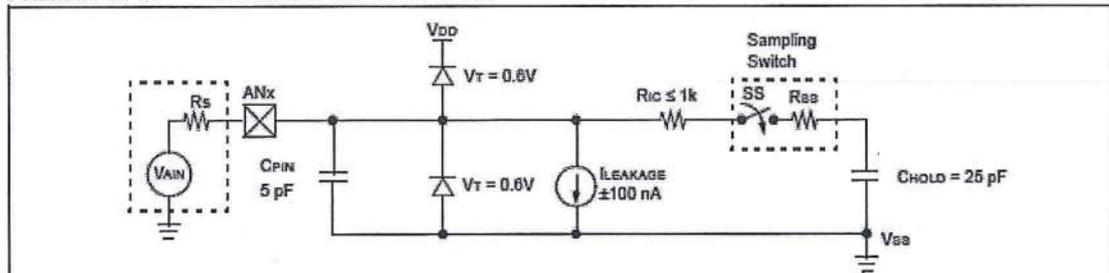
FIGURE 19-1: A/D BLOCK DIAGRAM



- X entrées multiplexées
- un seul convertisseur 10 bits
- tensions de référence internes (0-5V) ou externes (Vref- & Vref+)

Modélisation de l'échantillonneur bloqueur

FIGURE 19-3: ANALOG INPUT MODEL

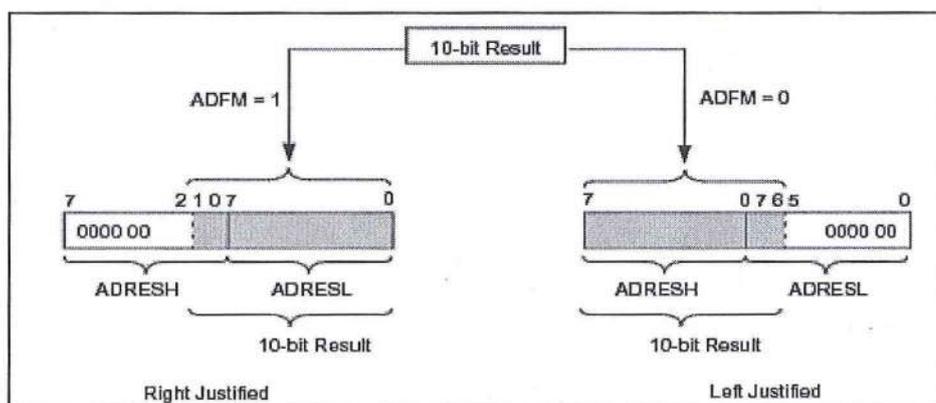


Impédance de la source (entrée analogique) : **2.5 kOhm maximum** recommandé.

PIC18F (18FX620)

Configuration du Convertisseur A/N

- Nombre d'entrées analogique,
- Sélection des tensions de références,
- Interruptions inactives,
- Régler l'horloge de conversion (conversion clock source), typ. $T_{AD} = 1\mu s$
 → cf tableau ci-dessous, ou calcul $T_{AD} = ? \times T_{osc}$ (avec $T_{osc} = 1/F_{quartz}$)
- Régler le temps d'acquisition (Acquisition Time), typ. $2.4\mu s$
 → si $T_{AD} \sim 1\mu s$, on peut prendre $T_{acq} = 2 \times T_{AD}$
- Justification à gauche pour avoir les 8 MSb dans ADRESH (cf ci-dessous)



ADRESH contient la partie haute (octet de poids fort) du résultat de la conversion.

TABLE 19-1: T_{AD} vs. DEVICE OPERATING FREQUENCIES

AD Clock Source (T_{AD})		Maximum Device Frequency	
Operation	ADCS2:ADCS0	PIC18F2X20/4X20	PIC18LF2X20/4X20 ⁽⁴⁾
2 T_{osc}	000	2.86 MHz	1.43 kHz
4 T_{osc}	100	5.71 MHz	2.86 MHz
8 T_{osc}	001	11.43 MHz	5.72 MHz
16 T_{osc}	101	22.86 MHz	11.43 MHz
32 T_{osc}	010	40.0 MHz	22.86 MHz

Utilisation du Convertisseur A/N

- Sélectionner la voie (*channel*) à acquérir,
- Lancer l'acquisition, qui se déroule en deux temps :
 - Attente que le condensateur se charge (Acquisition Time, typ. $2.4\mu s$)
 - Exécution de la conversion A/N par dichotomie ($12 \times T_{AD}$, où $T_{AD} = 1\mu s$ typ.)
- Attendre la fin de la conversion
- Lire le résultat dans ADRESH

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability 20ppm/°C, Typical
- Wide Sweep Range 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity 0.01%V, Typical
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	PDIP	0°C to +70°C
XR-2206CP	PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	SOIC (JEDEC)	0°C to +70°C Only in Wide Body .3"

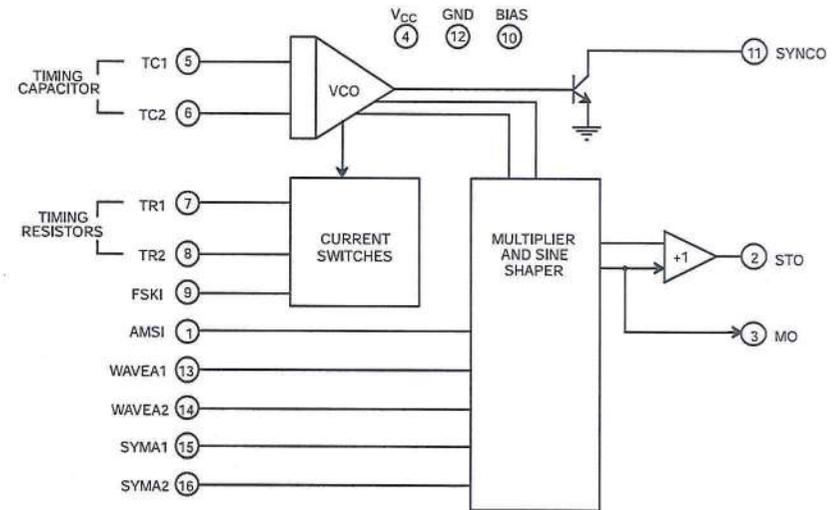
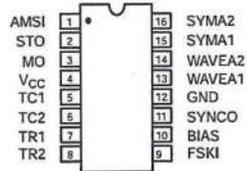
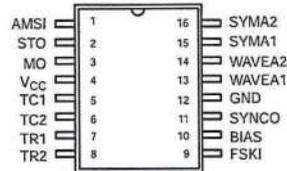


Figure 1. XR-2206 Block Diagram.



16 Pin PDIP, CDIP



16 Pin SOIC (JEDEC)

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{CC}	-	Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is an open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} .
12	GND	-	Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 2. V_{CC} = 12V, T_A = 25°C, C = 0.01μF, R₁ = 100kΩ, R₂ = 10kΩ, R₃ = 25kΩ unless otherwise specified. S₁ open for triangle, closed for sine wave.

PARAMETERS	XR-2206M			XR-2206C			UNITS	CONDITIONS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
GENERAL CHARACTERISTICS								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	±5		±13	±5		±13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	R ₁ ≥ 10kΩ
OSCILLATOR SECTION								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	C = 1000pF, R ₁ = 1kΩ
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	C = 50μF, R ₁ = 2MΩ
Frequency Accuracy		±1	±4		±2		% of f ₀	f ₀ = 1/R ₁ C
Temperature Stability Frequency		±10	±50		±20		ppm/°C	0°C ≤ T _A ≤ 70°C R ₁ = R ₂ = 20kΩ
Sine Wave Amplitude Stability		4800			4800		ppm/°C	See Note 2.
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	V _{LOW} = 10V, V _{HIGH} = 20V, R ₁ = R ₂ = 20kΩ
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		f _H = f _L	f _H @ R ₁ = 1kΩ f _L @ R ₁ = 2MΩ
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	f _L = 1kHz, f _H = 10kHz
1000:1 Sweep		8			8		%	f _L = 100Hz, f _H = 100kHz
FM Distortion		0.1			0.1		%	±10% Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	Figure 5.
Timing Resistors: R ₁ & R ₂	1		2000	1		2000	kΩ	
Triangle Sine Wave Output								
Triangle Amplitude		160			160		mV/kΩ	Figure 2., S ₁ Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/kΩ	Figure 2., S ₁ Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	R ₁ = 30kΩ
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figure 7. and Figure 8.

Note: Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

PARAMETERS	XR-2206M			XR-2206C			UNITS	CONDITIONS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		kΩ	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		nsec	$C_L = 10\text{pF}$
Fall Time		50			50		nsec	$C_L = 10\text{pF}$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2\text{mA}$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	$V_{CC} = 26\text{V}$
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Note 1: Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.
 Note 2: For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V	Total Timing Current	6mA
Power Dissipation	750mW	Storage Temperature	-65°C to +150°C
Derate Above 25°C	5mW/°C		

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

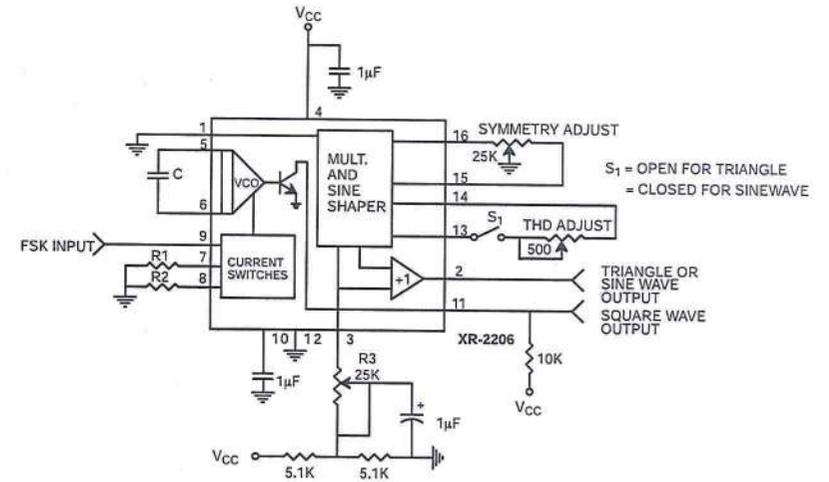


Figure 2. Basic Test Circuit.

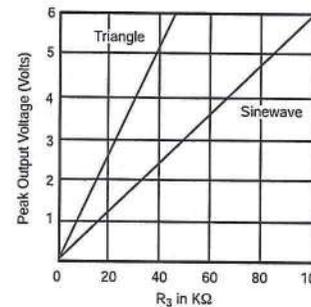


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R_3 , at Pin 3.

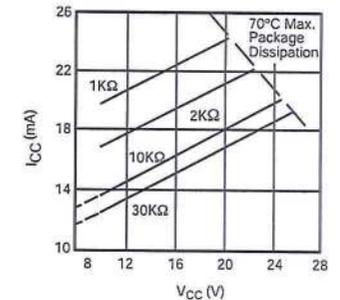


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R.

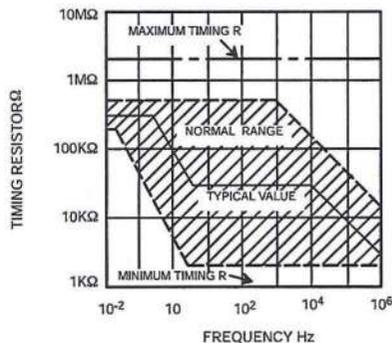


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

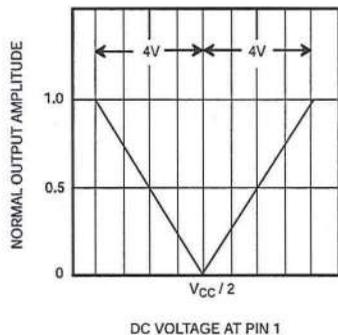


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

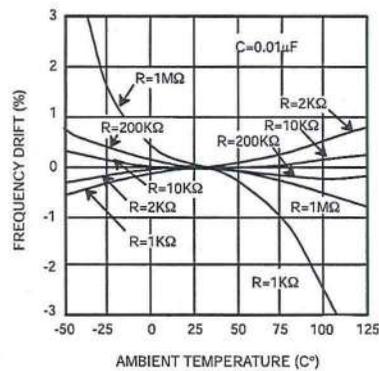


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

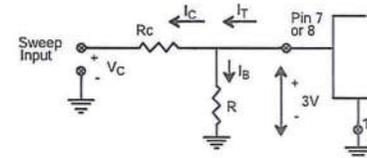


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

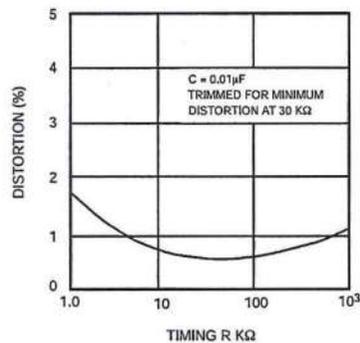


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

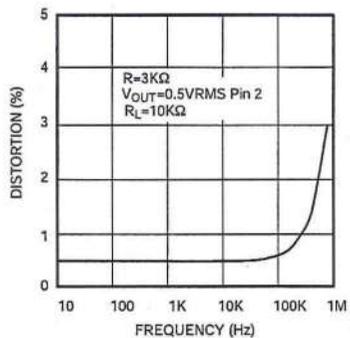


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

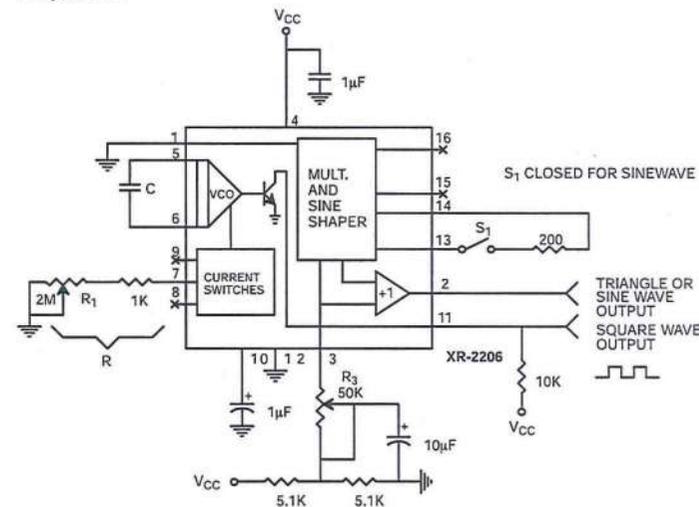


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3. for Choice of R₃)

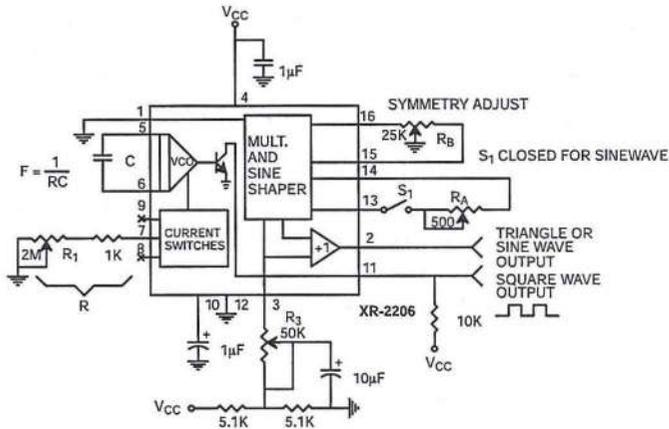


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. (R₃ Determines Output Swing - See Figure 3.)

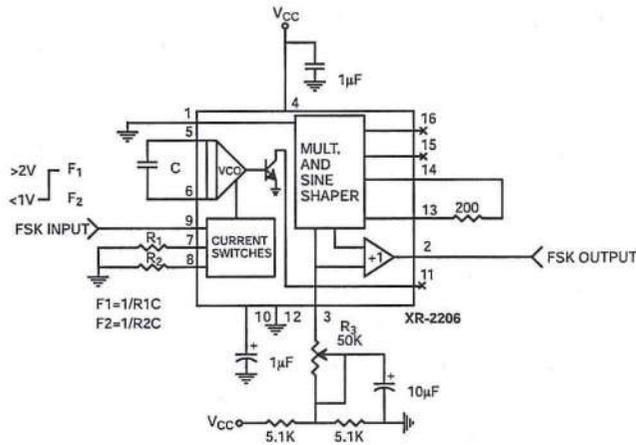


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

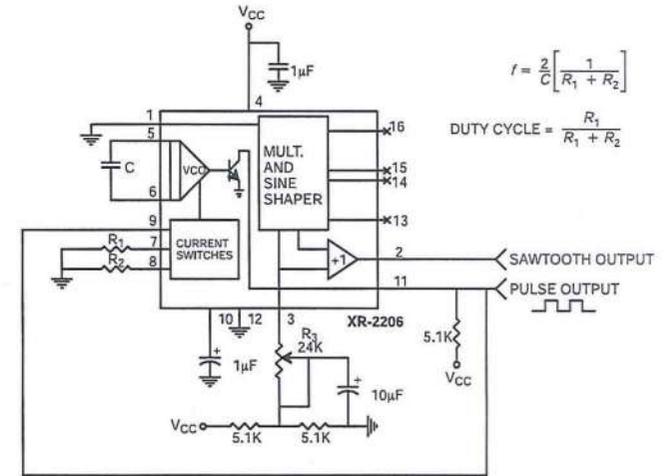


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

$$f = \frac{2}{C} \left[\frac{1}{R_1 + R_2} \right]$$

$$\text{DUTY CYCLE} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Frequency-Shift Keying:

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R₁ and R₂, connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage ≥ 2V, only R₁ is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is ≤ 1V, only R₂ is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels, f₁ and f₂, as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V⁻.

Output DC Level Control:

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figure 11., Figure 12. and Figure 13., Pin 3 is biased midway between V⁺ and ground, to give an output dc level of ≈ V⁺/2.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment:

Figure 11. shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R₁ at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than V⁺/2, and the typical distortion (THD) is < 2.5%. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 11. can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V⁻. For split-supply operation, R₃ can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in Figure 12. The potentiometer, R_A, adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at midpoint and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

Triangle Wave Generation

The circuits of Figure 11, and Figure 12, can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S₁ open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13, shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R₁ and R₂; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V₋.

Pulse and Ramp Generation

NO TAG shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R₁ and R₂. The values of R₁ and R₂ should be in the range of 1kΩ to 2MΩ.

PRINCIPLES OF OPERATION

Description of Controls

Frequency of Operation:

The frequency of oscillation, f₀, is determined by the external timing capacitor, C, across Pin 5 and 6, and by the timing resistor, R, connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C. The recommended values of R, for a given frequency range, as shown in Figure 5. Temperature stability is optimum for 4kΩ < R < 200kΩ. Recommended values of C are from 1000pF to 100μF.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T, drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320I_T(\text{mA})}{C(\mu\text{F})} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with I_T, over a wide range of current values, from 1μA to 3mA. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C, to the activated timing pin as shown in Figure 10. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_c}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K, is given as:

$$K = \partial f / \partial V_c = - \frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$$

CAUTION: For safety operation of the circuit, I_T should be limited to ≤ 3mA.

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R₃, connected to Pin 3 (see Figure 3.) For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per kΩ of R₃; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per kΩ of R₃. Thus, for example, R₃ = 50kΩ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance

at Pin 1 is approximately 100kΩ. Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of V_{CC}/2 as shown in Figure 6. As this bias level approaches V_{CC}/2, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of V_{CC}.

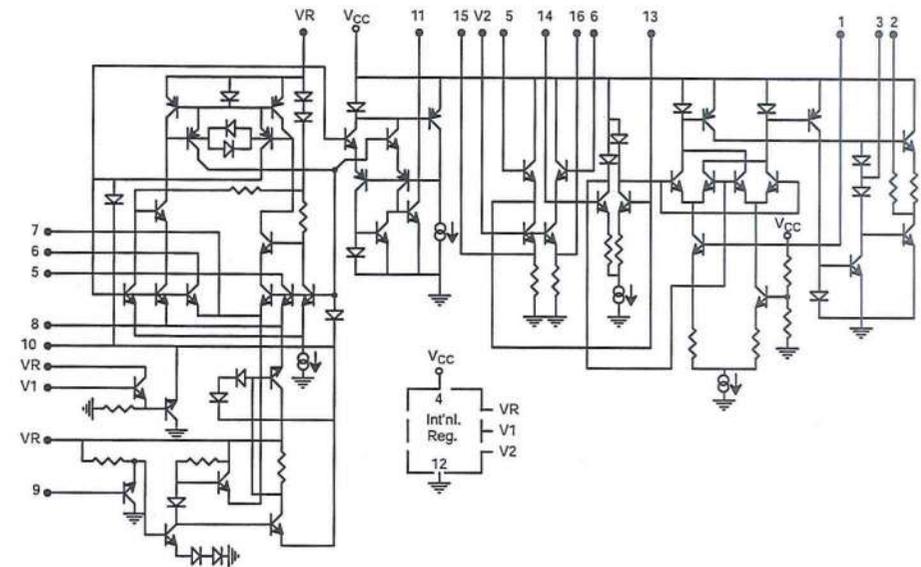


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL084, TL084A, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ μ s Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC+}

description/ordering information

The TL08x JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset-voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
0°C to 70°C	15 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081CP	TL081CP
			Tube of 50	TL082CP	TL082CP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084CN	TL084CN
			Tube of 75	TL081CD	TL081C
		SOIC (D)	Reel of 2500	TL081CDR	
			Tube of 75	TL082CD	TL082C
			Reel of 2500	TL082CDR	
			Tube of 50	TL084CD	TL084C
		Reel of 2500	TL084CDR		
		SOP (PS)	Reel of 2000	TL081CPSR	T081
			Reel of 2000	TL082CPSR	T082
		SOP (NS)	Reel of 2000	TL084CNSR	TL084
		TSSOP (PW)	Tube of 150	TL082CPW	T082
			Reel of 2000	TL082CPWR	
			Tube of 90	TL084CPW	T084
			Reel of 2000	TL084CPWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL084, TL084A, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING			
0°C to 70°C	6 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081ACP	TL081ACP		
			Tube of 50	TL082ACP	TL082ACP		
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084ACN	TL084ACN		
			Tube of 75	TL081ACD	081AC		
		SOIC (D)	Reel of 2500	TL081ACDR			
			Tube of 75	TL082ACD	082AC		
			Reel of 2500	TL082ACDR			
			Tube of 50	TL084ACD	TL084AC		
		Reel of 2500	TL084ACDR				
		SOP (PS)	Reel of 2000	TL082ACPSR	T082A		
		SOP (NS)	Reel of 2000	TL084ACNSR	TL084A		
		-40°C to 85°C	6 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081BCP	TL081BCP
					Tube of 50	TL082BCP	TL082BCP
				PDIP (N)	Tube of 25	TL084BCN	TL084BCN
Tube of 75	TL081BCD				081BC		
SOIC (D)	Reel of 2500			TL081BCDR			
	Tube of 75			TL082BCD	082BC		
	Reel of 2500			TL082BCDR			
	Tube of 50			TL084BCD	TL084BC		
Reel of 2500	TL084BCDR						
-40°C to 85°C	6 mV			PDIP (P)	Tube of 50	TL081IP	TL081IP
		Tube of 50	TL082IP		TL082IP		
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084IN	TL084IN		
			Tube of 75	TL081ID	TL081I		
		SOIC (D)	Reel of 2500	TL081IDR			
			Tube of 75	TL082ID	TL082I		
			Reel of 2500	TL082IDR			
			Tube of 50	TL084ID	TL084I		
		Reel of 2500	TL084IDR				
		TSSOP (PW)	Reel of 2000	TL082IPWR	Z082		
-40°C to 125°C	9 mV	SOIC (D)	Tube of 50	TL084QD	TL084QD		
			Reel of 2500	TL084QDR			
-55°C to 125°C	9 mV	CDIP (J)	Tube of 25	TL084MJ	TL084MJ		
		LCCC (FK)	Reel of 55	TL084FK	TL084FK		
	6 mV	CDIP (JG)	Tube of 50	TL082MJG	TL082MJG		
		LCCC (FK)	Tube of 55	TL082MFK	TL082MFK		

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

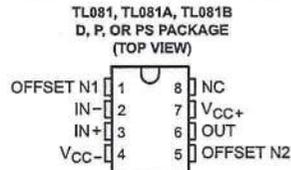
Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.



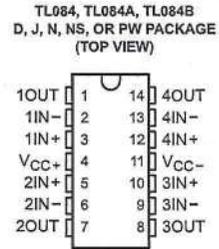
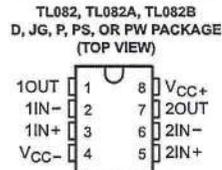
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL084, TL084A, TL084B**
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

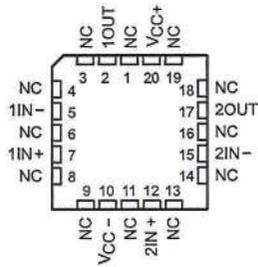
SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004



NC - No internal connection

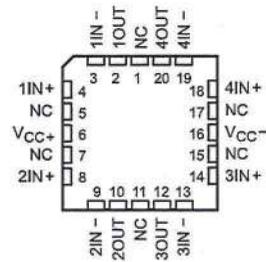


TL082M... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



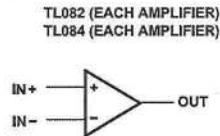
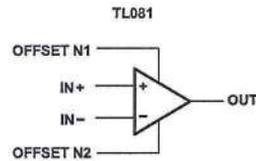
NC - No internal connection

TL084M... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

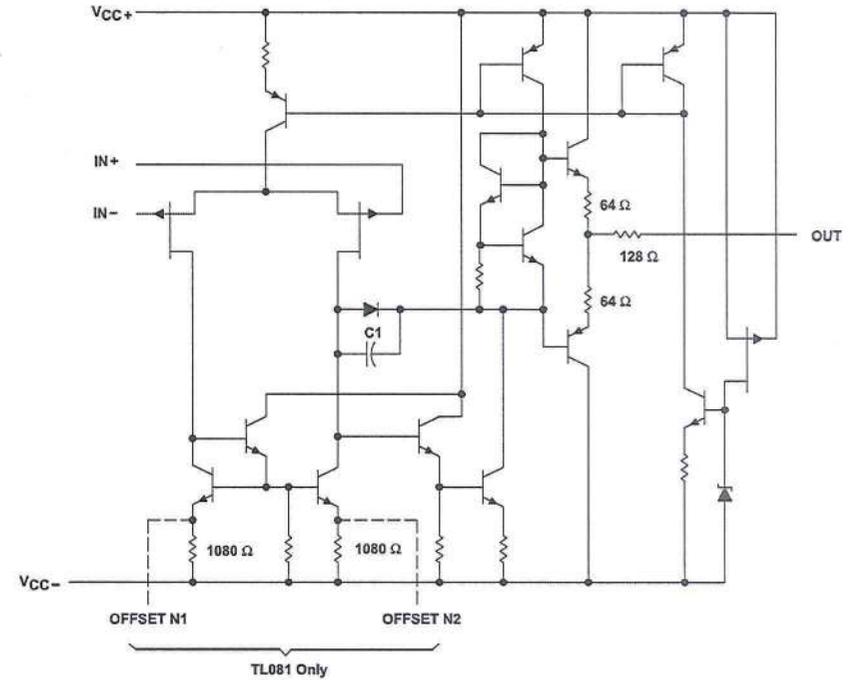
symbols



**TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL084, TL084A, TL084B**
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

schematic (each amplifier)



Component values shown are nominal.

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

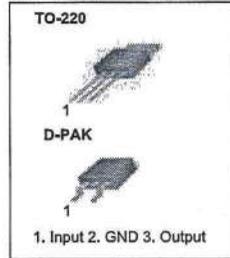
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

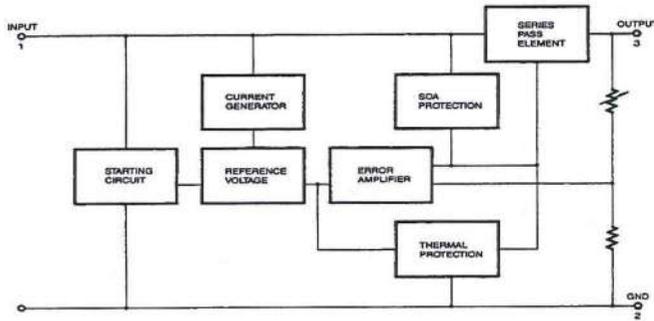
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_I	35 40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	°C/W
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	°C/W
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^\circ\text{C} < T_J < 125^\circ\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^\circ\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^\circ\text{C}$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^\circ\text{C}$	$I_O = 5.0\text{mA}$ to 1.5A	-	9	100	mV
			$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^\circ\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1.0A	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100KHz , $T_A = +25^\circ\text{C}$	-	42	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	15	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^\circ\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^\circ\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.



Pin Programmable Precision Voltage Reference

AD584*

FEATURES

- Four Programmable Output Voltages: 10.000 V, 7.500 V, 5.000 V, 2.500 V
- Laser-Trimmed to High Accuracies
- No External Components Required
- Trimmed Temperature Coefficient: 5 ppm/°C max, 0°C to +70°C (AD584L) 15 ppm/°C max, -55°C to +125°C (AD584T)
- Zero Output Strobe Terminal Provided
- Two Terminal Negative Reference Capability (5 V & Above)
- Output Sources or Sinks Current
- Low Quiescent Current: 1.0 mA max
- 10 mA Current Output Capability
- MIL-STD-883 Compliant Versions Available

GENERAL DESCRIPTION

The AD584 is an eight-terminal precision voltage reference offering pin-programmable selection of four popular output voltages: 10.000 V, 7.500 V, 5.000 V and 2.500 V. Other output voltages, above, below or between the four standard outputs, are available by the addition of external resistors. Input voltage may vary between 4.5 and 30 volts.

Laser Wafer Trimming (LWT) is used to adjust the pin-programmable output levels and temperature coefficients, resulting in the most flexible high precision voltage reference available in monolithic form.

In addition to the programmable output voltages, the AD584 offers a unique strobe terminal which permits the device to be turned on or off. When the AD584 is used as a power supply reference, the supply can be switched off with a single, low-power signal. In the "off" state the current drain by the AD584 is reduced to about 100 µA. In the "on" state the total supply current is typically 750 µA including the output buffer amplifier.

The AD584 is recommended for use as a reference for 8-, 10- or 12-bit D/A converters which require an external precision reference. The device is also ideal for all types of A/D converters of up to 14-bit accuracy, either successive approximation or integrating designs, and in general can offer better performance than that provided by standard self-contained references.

The AD584J, K and L are specified for operation from 0°C to +70°C; the AD584S and T are specified for the -55°C to +125°C range. All grades are packaged in a hermetically sealed eight-terminal TO-99 metal can; the AD584 J and K are also available in an 8-pin plastic DIP.

*Protected by U.S. Patent No. 3,887,863; RE 30,586

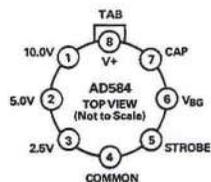
REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

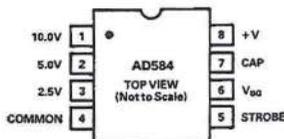
One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

PIN CONFIGURATIONS

8-Pin TO-99



8-Pin DIP



PRODUCT HIGHLIGHTS

- The flexibility of the AD584 eliminates the need to design-in and inventory several different voltage references. Furthermore one AD584 can serve as several references simultaneously when buffered properly.
- Laser trimming of both initial accuracy and temperature coefficient results in very low errors over temperature without the use of external components. The AD584LH has a maximum deviation from 10.000 volts of ±7.25 mV from 0°C to +70°C.
- The AD584 can be operated in a two-terminal "Zener" mode at 5 volts output and above. By connecting the input and the output, the AD584 can be used in this "Zener" configuration as a negative reference.
- The output of the AD584 is configured to sink or source currents. This means that small reverse currents can be tolerated in circuits using the AD584 without damage to the reference and without disturbing the output voltage (10 V, 7.5 V and 5 V outputs).
- The AD584 is available in versions compliant with MIL-STD-883. Refer to the Analog Devices Military Products Databook or current AD584/883B data sheet for detailed specifications.

AD584

USING THE STROBE TERMINAL

The AD584 has a strobe input which can be used to zero the output. This unique feature permits a variety of new applications in signal and power conditioning circuits.

Figure 9 illustrates the strobe connection. A simple NPN switch can be used to translate a TTL logic signal into a strobe of the output. The AD584 operates normally when there is no current drawn from Pin 5. Bringing this terminal low, to less than 200 mV, will allow the output voltage to go to zero. In this mode the AD584 should not be required to source or sink current (unless a 0.7 V residual output is permissible). If the AD584 is required to sink a transient current while strobed off, the strobe terminal input current should be limited by a 100 Ω resistor as shown in Figure 9.

The strobe terminal will tolerate up to 5 µA leakage and its driver should be capable of sinking 500 µA continuous. A low leakage open collector gate can be used to drive the strobe terminal directly, provided the gate can withstand the AD584 output voltage plus one volt.

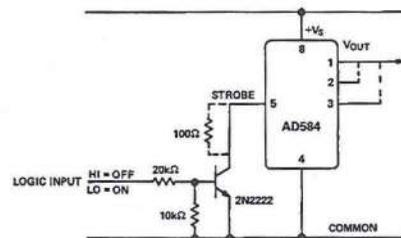


Figure 9. Use of the Strobe Terminal

PRECISION HIGH CURRENT SUPPLY

The AD584 can be easily connected to a power PNP or power Darlington PNP device to provide much greater output current capability. The circuit shown in Figure 10 delivers a precision 10 volt output with up to 4 amperes supplied to the load. The 0.1 µF capacitor is required only if the load has a significant capacitive component. If the load is purely resistive, improved high frequency supply rejection results from removing the capacitor.

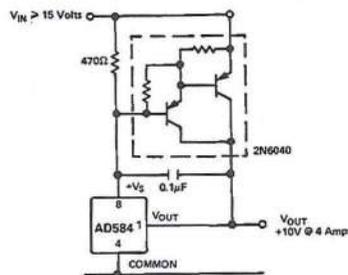


Figure 10. High Current Precision Supply

The AD584 can also use an NPN or Darlington NPN transistor to boost its output current. Simply connect the 10 V output terminal of the AD584 to the base of the NPN booster and take the output from the booster emitter as shown in Figure 11. The 5.0 V or 2.5 V pin must connect to the actual output in this configuration. Variable or adjustable outputs (as shown in Figures 1 and 2) may be combined with +5.0 V connection to obtain outputs above +5.0 V.

THE AD584 AS A CURRENT LIMITER

The AD584 represents an alternative to current limiter diodes which require factory selection to achieve a desired current. Use of current limiting diodes often results in temperature coefficients of 1%/°C. Use of the AD584 in this mode is not limited to a set current limit; it can be programmed from 0.75 mA to 5 mA with the insertion of a single external resistor (see Figure 12). Of course, the minimum voltage required to drive the connection is 5 volts.

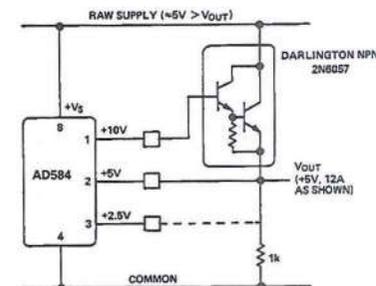


Figure 11. NPN Output Current Booster

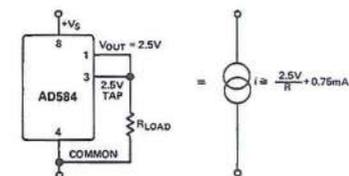


Figure 12. A Two-Component Precision Current Limiter

NEGATIVE REFERENCE VOLTAGES FROM AN AD584

The AD584 can also be used in a two-terminal "Zener" mode to provide a precision -10 volt, -7.5 volt or -5.0 volt reference. As shown in Figure 13, the V_{IN} and V_{OUT} terminals are connected together to the positive supply (in this case, ground). The AD584 common pin is connected through a resistor to the negative supply. The output is now taken from the common pin instead of V_{OUT}. With 1 mA flowing through the AD584 in this mode, a typical unit will show a 2 mV increase in output level over that produced in the three-terminal mode. Note also that the effective output impedance in this connection increases from 0.2 Ω typical to 2 Ω. It is essential to arrange the output load and the supply resistor, R_S, so that the net current through the AD584 is always between 1 mA and 5 mA (between 2 mA and 5 mA for operation beyond +85°C). The temperature character-



200 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Pressure Sensors

The MPX2200 and MPX2201 series device is a silicon piezoresistive pressure sensor providing a highly accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. The sensor is a single monolithic silicon diaphragm with the strain gauge and a thin-film resistor network integrated on-chip. The chip is laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation. They are designed for use in applications such as pump/motor controllers, robotics, level indicators, medical diagnostics, pressure switching, barometers, altimeters, etc.

Features

- Temperature Compensated Over 0°C to +85°C
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- ±0.25% Linearity (MPX2200D)
- Easy to Use Chip Carrier Package
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations

Application Examples

- Pump/Motor Controllers
- Robotics
- Level Indicators
- Medical Diagnostics
- Pressure Switching
- Barometers
- Altimeters

Figure 1 illustrates a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

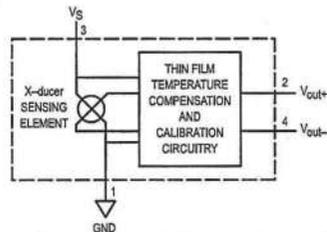


Figure 1. Temperature Compensated Pressure Sensor Schematic

VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The differential voltage output of the X-ducer is directly proportional to the differential pressure applied.

The absolute sensor has a built-in reference vacuum. The output voltage will decrease as vacuum, relative to ambient, is drawn on the pressure (P1) side.

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure (P1) side relative to the vacuum (P2) side. Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum (P2) side relative to the pressure (P1) side.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Sensēon and X-ducer are trademarks of Motorola, Inc.
REV 7

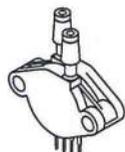
MPX2200 MPX2201 SERIES

Motorola Preferred Device

0 to 200 kPa (0 to 29 psi)
40 mV FULL SCALE SPAN
(TYPICAL)



BASIC CHIP
CARRIER ELEMENT
CASE 344-15, STYLE 1



DIFFERENTIAL
PORT OPTION
CASE 344C-01, STYLE 1

NOTE: Pin 1 is the notched pin.

PIN NUMBER			
1	Gnd	3	V _S
2	+V _{out}	4	-V _{out}

MPX2200 MPX2201 SERIES

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Overpressure ⁽⁸⁾ (P1 > P2)	P _{max}	400	kPa
Burst Pressure ⁽⁸⁾ (P1 > P2)	P _{burst}	2000	kPa
Storage Temperature	T _{stg}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T _A	-40 to +125	°C

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 10 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	P _{OP}	0	—	200	kPa
Supply Voltage	V _S	—	10	16	Vdc
Supply Current	I _o	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span ⁽³⁾	V _{FSS}	38.5 37.5	40 40	41.5 42.5	mV
Offset ⁽⁴⁾	V _{off}	-1.0 -2.0 -3.0	—	1.0 2.0 3.0	mV
Sensitivity	ΔV/ΔP	—	0.2	—	mV/kPa
Linearity ⁽⁵⁾		-0.25 -1.0 -0.5 -2.0	—	0.25 1.0 0.5 2.0	%V _{FSS}
Pressure Hysteresis ⁽⁵⁾ (0 to 200 kPa)	—	—	±0.1	—	%V _{FSS}
Temperature Hysteresis ⁽⁵⁾ (-40°C to +125°C)	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}
Temperature Effect on Full Scale Span ⁽⁵⁾	TCV _{FSS}	-1.0	—	1.0	%V _{FSS}
Temperature Effect on Offset ⁽⁵⁾	TCV _{off}	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z _{in}	1300	—	2500	Ω
Output Impedance	Z _{out}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁶⁾ (10% to 90%)	t _R	—	1.0	—	ms
Warm-Up	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁹⁾	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight, (Basic Element Case 344-15)	—	—	2.0	—	Grams
Common Mode Line Pressure ⁽⁷⁾	—	—	—	690	kPa

NOTES:

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Common mode pressures beyond specified may result in leakage at the case-to-lead interface.
- Exposure beyond these limits may cause permanent damage or degradation to the device.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

MPX2200 MPX2201 SERIES

LINEARITY

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation: $V_{out} = V_{off} + \text{sensitivity} \times P$ over the operating pressure range. There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit (see Figure 2) or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user. Motorola's specified pressure sensor linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

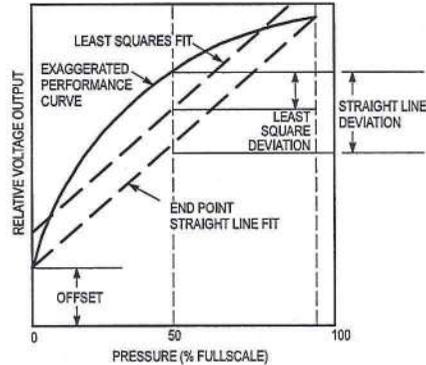


Figure 2. Linearity Specification Comparison

ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION and CALIBRATION

Figure 3 shows the output characteristics of the MPX2200 series at 25°C. The output is directly proportional to the differential pressure and is essentially a straight line.

The effects of temperature on Full Scale Span and Offset are very small and are shown under Operating Characteristics.

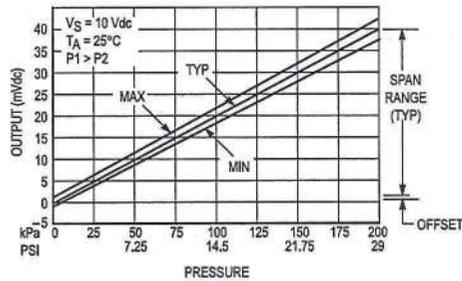


Figure 3. Output versus Pressure Differential

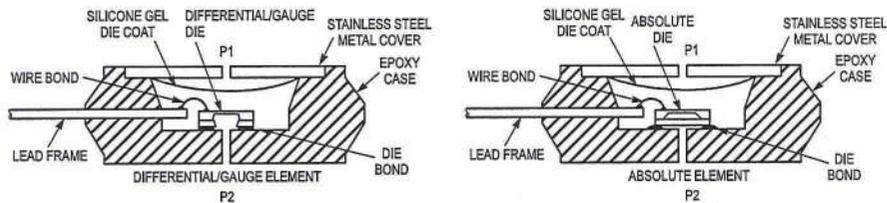


Figure 4. Cross-Sectional Diagrams (Not to Scale)

Figure 4 illustrates an absolute sensing die (right) and the differential or gauge die in the basic chip carrier (Case 344-15). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX2200 series pressure sensor operating charac-

teristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

MPX2200 MPX2201 SERIES

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing the silicone gel which isolates the die from the environment. The differential or gauge sensor is designed to operate with positive differen-

tial pressure applied, $P1 > P2$. The absolute sensor is designed for vacuum applied to P1 side.

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

Part Number				Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX2200A	MPX2200D			344-15	Stainless Steel Cap
MPX2200DP		MPX2201DP		344C-01	Side with Part Marking
MPX2200AP	MPX2200GP		MPX2201GP	344B-01	Side with Port Attached
MPX2200GVP				344D-01	Stainless Steel Cap
MPX2200AS	MPX2200GS			344E-01	Side with Port Attached
MPX2200GVS				344A-01	Stainless Steel Cap
MPX2200ASX	MPX2200GSX		MPX2201GSX	344F-01	Side with Port Attached

ORDERING INFORMATION

MPX2200 series pressure sensors are available in absolute, differential and gauge configurations. Devices are available in the basic element package or with pressure port fittings which provide printed circuit board mounting ease and barbed hose pressure connections.

Device Type	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Absolute, Differential	Case 344-15	MPX2200A	MPX2200A
			MPX2200D	MPX2200D
Ported Elements	Differential	Case 344C-01	MPX2200DP MPX2201DP	MPX2200DP MPX2201DP
	Absolute, Gauge	Case 344B-01	MPX2200AP MPX2200GP MPX2201GP	MPX2200AP MPX2200GP MPX2201GP
	Gauge Vacuum	Case 344D-01	MPX2200GVP	MPX2200GVP
	Absolute, Gauge Stove Pipe	Case 344E-01	MPX2200AS MPX2200GS	MPX2200A MPX2200D
	Gauge Vacuum Stove Pipe	Case 344A-01	MPX2200GVS	MPX2200D
	Absolute, Gauge Axial	Case 344F-01	MPX2200ASX MPX2200GSX MPX2201GSX	MPX2200A MPX2200D MPX2201D

Glossaire

Glossaire

Termes de CEM

Perturbation de mode commun

Se dit d'une perturbation qui crée un courant qui circule sur le fil + (phase) et sur le fil - (neutre) et qui se reboucle par la terre ou le châssis.

Perturbation de mode différentiel

Se dit d'une perturbation qui crée un courant qui circule sur le fil + (phase) et se reboucle sur le fil - (neutre).

Perturbation rayonnée

Parasitage sous forme de rayonnement hertzien (ou électromagnétique). Produit par exemple par un émetteur radio, la foudre, les transformateurs, l'allumage d'un moteur thermique, une boucle magnétique ou un fil isolé soumis à des variations rapides de tension.

Perturbation conduite

Parasitage sous forme de courants ou tensions parasites sur les fils. Produit par exemple par une alimentation à découpage, un circuit d'électronique de puissance, de logique rapide ou d'électronique HF.

Susceptibilité

Capacité d'un système à encaisser les parasites tout en maintenant un fonctionnement et des performances nominales.

Capacités de découplage (« bypass »)

Capacités (sous forme de condensateurs) qui bloquent les signaux variables pour ne laisser passer que la valeur continue. Elles sont utilisées en particulier pour diminuer les fluctuations d'entrée.

Inductance de choc

Inductances qui bloquent les variations de courants pour ne laisser passer que la valeur continue. Elles sont souvent utilisées dans les émetteurs et récepteurs.

Termes d'électronique radio

Bande spectrale

Plage de fréquence occupée par un signal. Par exemple une sinusoïde occupe une bande spectrale infiniment fine (signal bande étroite), alors qu'une impulsion ou un bruit occupent une bande spectrale infiniment grande.

Bande étroite

Se dit d'un signal qui occupe une bande spectrale inférieure à la bande passante de l'appareil de mesure.

Bande large

Se dit d'un signal qui occupe une bande spectrale supérieure à la bande passante de l'appareil de mesure.

TOS : Taux d'ondes stationnaires

Coefficient de réflexion entre onde incidente et onde réfléchie (au bout d'un coaxial ou au pied de l'antenne par exemple) lors d'une désadaptation d'une ligne de transmission. Le TOS est toujours inférieur à 1 et vaut 0 pour une ligne parfaitement adaptée.

ROS : Rapport des Ondes Stationnaires

Le Rapport des Ondes Stationnaires est défini à partir du TOS :

$$ROS = \frac{1 + TOS}{1 - TOS}$$

Pour une ligne adaptée, ROS = 1.

L'adaptation commence à être franchement mauvaise pour un ROS supérieur à 2

Diagramme de rayonnement (d'une antenne)

Graphique représentant les performances de rayonnement en 3D de l'antenne dans un repère sphérique. Il est donc composé de deux graphiques (horizontal et vertical)

Impédance (Z)

Rapport $U(f)/I(f)$. Dépend de la fréquence considérée.

Résistance (R)

Rapport U/I en continu (pour toute fréquence).

Impédance de ligne (ou impédance caractéristique)

Rien à voir avec l'impédance électrique !!!!

C'est l'impédance que présente un câble à l'impulsion brève d'un générateur (plus courte que le temps de propagation du câble).

Autre définition :

Charge qu'il faut placer en série au générateur et en charge pour transmettre tout signal numérique sans déformations ni réflexion.

Par exemple, un câble 50 ohms ne transmet qu'un signal correctement en HF que s'il est chargé par 50 ohms et alimenté par un générateur HF 50 ohms.

Ligne adaptée

Ligne chargée par une impédance valant son impédance caractéristique.

Standard SNR

Le standard numérique de transmission utilisé par PLANETES SCIENCES.
Constitué d'un préfixe (0xFF) et de n octets, transmis à 1200 bauds ou 4800 bauds en UART (1 bit de start, deux bits de stop).

Standard IRIG

Le standard analogique de transmission utilisé par PLANETES SCIENCES.
Il est réalisé par un multiplexage de signaux audio modulés en fréquence.

Termes relatifs aux amplificateurs opérationnels

Courant de bias

Courant entrant (ou sortant) en quantité identique par les entrées V+ et V- d'un amplificateur opérationnel et servant à polariser les étages d'entrée des amplis op.

Ordre de grandeur : qq 10 pA pour les amplificateurs JFET, jusqu'à qq 10 nA pour les amplificateurs bipolaires.

Le Courant de bias se compense facilement en dimensionnant le circuit de telle façon que l'impédance à l'entrée V+ soit égale à l'entrée V-.

Les fabricants spécifient aussi la dérive en température du courant de bias qui représente sa variation en température.

Courant d'offset

Valeur absolue de la différence du courant entrant (ou sortant) des entrées V+ et V- d'un amplificateur opérationnel.

Ordre de grandeur : qq pA pour les amplificateurs JFET à quelques nA pour les amplificateurs bipolaires.

Impossible à compenser de façon systématique (sans potentiomètre). Gênant pour les amplificateurs à fort gain et les intégrateurs.

Les fabricants spécifient aussi la dérive en température du courant de d'offset qui représente sa variation en température.

Tension d'offset

Tension à appliquer entre V+ et V- pour obtenir 0V en sortie de l'amplificateur.

Typiquement de qq 10 μ V à qq mV pour les amplificateurs.

Très gênant pour les amplificateurs à fort gain. En effet, la tension d'offset est multipliée par le gain, et donc un amplificateur de gain 1000 peut présenter une tension de décalage 1000 fois supérieure en sortie. Se règle parfois par des broches extérieures (uA741 par exemple), sans que cela soit conseillé.

TRMC

Taux de réjection du mode commun.

Pour un amplificateur différentiel, rapport entre le gain en différentiel ($V_{e1} - V_{e2}$) et le gain en mode commun ($(V_{e1} + V_{e2})/2$).

Caractéristique importante pour les amplificateurs différentiels et d'instrumentation.

Réjection d'alimentation

Représente la capacité de l'AOP à rejeter les variations d'alimentation pour un montage en suiveur définit par $20 \cdot \log\left(\frac{\Delta V_s}{\Delta V_{cc}}\right)$

Caractéristique très importante pour les amplificateurs à fort gain. En effet, un amplificateur de gain 1000 présente une réjection d'alimentation 1000 fois moins bonne que le montage suiveur. Diminue rapidement en haute fréquence.

Bruit équivalent en entrée

Bruit que génère systématiquement un amplificateur. Spécifié en racine de la bande passante de l'amplificateur. Ce bruit est ramené à un bruit équivalent qui serait présenté à l'entrée de l'amplificateur.

Slew Rate

Rapidité de montée ou descente de la sortie d'un amplificateur, d'un comparateur ou d'une porte logique.

Bande passante unitaire

Ensemble de fréquences inférieures à la fréquence qui est amplifiée par un gain de 1 de l'amplificateur.

Polarisation

Valeur de tension continue présentée aux entrées d'un circuit fonctionnant avec des signaux variables.

Termes relatifs à la mesure

Sensibilité

Capacité d'un système (récepteur, amplificateur) à distinguer un faible signal du bruit. La baisse de sensibilité peut être créée par le pas de numérisation d'un convertisseur analogique / numérique (LSB), le niveau de bruit, le parasitage.

Précision

Incertitude de la mesure. Les postes d'incertitude sont l'étalonnage, les tolérances des composants, la numérisation, l'effet température, vieillissement, etc...

Résolution

Pas élémentaire de réglage, de mesure ou de numérisation.

Stabilité

Quantifie la dérive d'un système (caractéristique, mesure) en fonction du temps ou de la température.

Signal / Bruit

Quantifie la qualité du signal. C'est le rapport d'amplitude entre le signal et le niveau de bruit.

Bruit

Quantité de signal aléatoire, par analogie avec un bruit sonore. Le bruit existe naturellement dans les circuits à cause de l'agitation thermique des électrons.

Termes relatifs à la modulation

VCO

Voltage Controlled Oscillator : Oscillateur contrôlé par une tension

Un VCO est un générateur de tension sinusoïdale dont la fréquence est déterminée par une tension en entrée du VCO. L'entrée du VCO est donc une tension. La sortie est une tension sinusoïdale dont la fréquence dépend de la tension d'entrée.

FSK

Modulation Frequency Shift Keying : Modulation par déplacement de clés de fréquences

Le codage des informations binaires est fait en associant le 0 et le 1 le logique à deux fréquences distinctes. Pour faire cela, on utilise souvent un VCO

PSK

Idem FSK sauf qu'il s'agit d'une modulation de phase. Appelée QPSK quand il s'agit d'une modulation avec 4 phases distinctes (ce qui permet de coder deux bits simultanément).

Distorsion

C'est un terme qui permet de mesurer la qualité d'un sinus sortant d'un VCO par exemple.

Plus la « distorsion » est faible, plus le sinus est un sinus mathématique (pure). Un signal triangulaire est par exemple un sinus « vu de très loin ». Mais il aura une très mauvaise distorsion. On peut forcer la distorsion du sinusoïde. C'est ce que font les joueurs de guitare électrique.

Quartz

C'est un composant basé sur du cristal (de quartz)

Ce composant, placé dans un oscillateur permet de fixer très précisément la fréquence.

Contrairement au condensateur, sa fréquence est aussi beaucoup plus stable en fonction de la température. C'est d'ailleurs pour cela que l'on fabrique des montres à Quartz et non pas des montres à condensateurs !

Par contre, il n'est pas très souvent utilisé dans les VCO. Sa fréquence est tellement stable qu'on ne peut donc pas la faire varier.

Termes relatifs aux microcontrôleurs

Bit : Binary digIT

Unité de base de l'électronique numérique. Prend deux états : 1 ou 0, généralement associés à une tension positive (1) et nulle (0)

Octet

Groupe de 8 bits.

Binaire

Binaire = base 2

En numérique, l'utilisation du binaire s'impose assez vite. L'électronique manipule beaucoup plus simplement les niveaux 1 et 0. On a donc deux chiffres de base, à comparer aux 10 du système décimal.

La représentation binaire d'un nombre est donc son expression en base 2 :

Puissance	n	3	2	1	0
Poids	2^n	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
Bits (1 ou 0)	B_n	B_3	B_2	B_1	B_0

On passe en décimal en calculant : $D = B_n \cdot 2^n + B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + B_0 \cdot 2^0$

Pour un octet, $n = 7$

Exemples :

Hexadécimal

L'hexadécimal est la représentation des nombres en base 16. Comme on n'a que 10 chiffres dans notre système décimal, on complète en utilisant l'alphabet.

Le passage décimal – hexadécimal n'est pas évident. Par contre l'hexadécimal se prête très bien au passage binaire – hexadécimal. Pour cela, on groupe les bits par blocs de quatre bits en partant de la droite, qu'on convertit en hexadécimal. On juxtapose ensuite les conversions de chaque bloc de 4 bits.

'Graphiquement', on a donc la conversion :

Binaire	Décimal	Hexa
0000	0	0
	...	
1001	9	9
1010	10	A
1011	11	B
1100	12	C
1101	13	D
1110	14	E
1111	15	F

Pour indiquer qu'un nombre est écrit en hexadécimal, on peut le faire précéder du caractère \$ (assembleur), 0x (langage C), ... Il n'y a pas vraiment de règle.

Exemples :

0x80 = 1000 0000 = 128
0x3E = 0011 1110 = 62
0xFF = 1111 1111 = 255

Pour 11010101

1101 = 13 = B

0101 = 5 = 5

et on juxtapose : 11010101 = B5

UART : Universal Asynchronous Receiver / Transmitter

Périphérique intégré dans un microcontrôleur ou composant dédié qui assure les liaisons séries asynchrones.

USART : Universal Synchronous / Asynchronous Receiver / Transmitter

Comme une UART, mais peut aussi gérer les liaisons séries synchrones.

Liaison série synchrone

Liaison série : les octets sont transmis en série, en envoyant successivement les bits.

Le synchronisme est mis en place par l'ajout d'un signal d'horloge, généralement au prix une liaison supplémentaire, qui permet de synchroniser l'émetteur et le récepteur sur une même horloge.

Quelques standards utilisant une liaison série synchrone:

- Le bus I2C
A l'origine développé par Philips, maintenant largement utilisé par d'autres fabricants. Permet de connecter plusieurs composants entre eux au moyen d'un bus à 2 fils (l'un étant l'horloge, l'autre les données, la masse devant être commune). Il fonctionne selon une architecture maître / esclave, un seul maître et plusieurs esclave pouvant être sur le même bus.
- Le bus SPI
Permet des échanges plus rapides que l'I2C. Le protocole ne gère pas l'accès à plusieurs composants sur un même bus, c'est au contrôleur d'arbitrer quel composant est le destinataire, au moyen d'un signal de « Chip Select ». Il se compose, en plus de la masse et du chip select, d'un fil pour les transferts montants, un pour les descendants, et un troisième pour l'horloge.

Liaison série asynchrone

Liaison série : les octets sont transmis en série, en envoyant successivement les bits.

Par contre il n'y a pas de liaison assurant la synchronisation des horloges de l'émetteur et du récepteur pendant la durée de l'envoi. La synchronisation est assurée par un réglage assez précis de l'horloge du récepteur sur celle de l'émetteur.

Cette phase de synchronisation peut se faire soit par l'envoi d'une séquence sur laquelle le récepteur se synchronise (par exemple : 10101010), soit par le réglage fixe de la fréquence du récepteur et de l'émetteur.

Quelques liaisons asynchrones

- Liaison **RS232**

C'est le port série des PCs. Il faut distinguer la norme RS232, qui décrit le port série depuis la couche physique jusqu'au protocole, des liaisons « types RS232 », qui en général ne partagent pas les mêmes caractéristiques physiques. Par exemple, le niveau 0 d'une liaison RS232 est représenté par une tension entre +7V et +15V, tandis qu'une liaison asynchrone d'un microcontrôleur, « type RS232 », utilise généralement 0V pour le niveau logique 0.

Les baudrates standards des liaisons séries sont de 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 57600

- Bus **USB**

Le bus USB est une liaison asynchrone, la synchronisation des horloges se faisant par l'envoi d'une séquence de synchronisation spécifique. La norme USB englobe aussi des couches de haut-niveau, qui en font une liaison très puissante mais aussi très complexe.

Baud/s ou Bauds

Nombre de symboles transmis en une seconde.

Mais un seul symbole peut transporter plusieurs bits ! Il faut donc bien distinguer le nombre de bauds, qui donne le nombre de cycles par seconde dans la transmission, du « bitrate » (en bps, bits par seconde) qui donne le nombre de bits effectivement transmis

Si pour la plupart des liaisons séries on a généralement 1 bauds = 1 bps (bit/s), les modems utilisés en télécommunications ont en revanche des rapports très différents ! (penser qu'une ligne téléphonique est dimensionnée pour transmettre de la voix à une bande passante de 3kHz ~ 3000 bauds, mais que la modulation d'un modem classique permet de transférer 56K !!)

Compilateur

Logiciel permet de traduire un langage de développement (C,...) en code machine exécutable par le processeur.

Opération booléenne

L'algèbre de Boole décrit les opérations élémentaires (addition, soustraction, opérations ET, OU, NON,...) en base 2.

En C, on utilise fréquemment ces opérations pour travailler sur les bits

Unités

- Henry : Unité d'inductance. Forte unité. Typiquement entre 10nH et 10mH.
- Farad : Unité de Capacité. Très forte unité. Typiquement entre 10pF et 1000µF.
- Ohm. Unité de résistance.
- Siemens. Unité de conductance (inverse de résistance)
- Watt. Unité de puissance délivrée par un signal d'un ampère sous un volt.
- Joule. Unité d'énergie. Energie délivrée par une puissance de un watt pendant une seconde.
- Décibel. Un dixième de Bel (Bel : unité jamais utilisée). C'est dix fois le logarithme décimal d'un rapport entre deux puissances, ou vingt fois le logarithme décimal d'un rapport entre deux amplitudes.
- A partir du décibel (qui est sans unité), on a décliné des unités souvent utilisées en radio :
 - DBm -> dix fois le logarithme décimal d'un rapport entre une puissance et 1 mW
 - DBµV -> dix fois le logarithme décimal d'un rapport entre une puissance et 1 µV
 - DBµA -> dix fois le logarithme décimal d'un rapport entre une puissance et 1 µA
 - Etc...

