

Fabrice, F4BJH  
Arnaud, SWL  
[f4bjh@compaqnet.fr](mailto:f4bjh@compaqnet.fr)  
[pat.ar@wanadoo.fr](mailto:pat.ar@wanadoo.fr)

# Balises Renard à base de microcontrôleur PIC





# Objectifs et cahier des charges

## ***But du projet***

Le but du projet consiste à réaliser un jeu de balises dans le cadre d'activités de radiogoniométrie sportive.

Ce projet comprend la conception et la réalisation de 6 balises Radiofréquence VHF (5 balises et 1 balise de secours à indicatif configurable) de taille aussi réduite que possible pour un prix de revient de l'ensemble réduit au maximum.

Les caractéristiques électriques devant être le plus proche possible de celles retenues par l'ARDF (Annexe 1)

Le projet sera décomposé en 5 parties, chacune étroitement liées :

- Mécanique  
Boîtier, antenne, batteries, intégration, connectique
- Electronique  
Radio (partie RF), logique de commande
- Logiciel  
Gestion PLL, Timing, Autotest
- Accessoires  
Chargeur de batterie, clef de mise en route, sac de transport, boîte de rangement, fanions, pince
- Approvisionnement composants  
Liste des composants, recherche fournisseurs et prix, évaluation du coût

## ***Cahier des charges***

### **Introduction**

La partie mécanique doit présenter un boîtier standard, résistant, inviolable, et monobloc

La partie Electronique doit être fiable, simple, utiliser des composants courants et d'une faible consommation.

La partie logiciel doit être sans erreurs de programmation.

### **Constitution**

Eléments	Objectifs recherché	Caractéristique retenue
<b>MECANIQUE</b>		
Boîtier	Solidité Coût faible Facilité de réalisation Contrainte d'environnement Blindage électromagnétique Inviolabilité Discrétion	Aluminium moulé Format standard Étanche au ruissellement Fermeture efficace Peinture camouflage
Antenne	Solidité Discrétion Sécurité Fiabilité	144MHz Incassable Couleur neutre Non démontable Passage de l'antenne étanche
Connectique chargeur	Coût faible Encombrement minimal	SMB
Témoins de fonctionnement	Consommation minimale Longévité Facilité d'intégration	LED mono ou bicolore
Système de mise en route	Étanchéité, solidité, Simplification mécanique Coût à vérifier	Interrupteur infra-rouge
Batterie		NIMH 3,6V 600mAH
Fixation des différents éléments	Solidité Démontabilité Accessibilité Test hors boîtier	

<b>Electronique</b>		
Partie RF	Modulation FM par PLL Grande stabilité de fréquence Puissance RF : 1W Consommation minimale	VCO : BFR93 PLL : UMA1022 PA : RF2173
Logique de commande	Consommation minimale	PIC 16F84 ou 16F876
Power management	Asservissement simple de la puissance	Logique de détection d'un niveau bas des batteries Adaptation de la puissance RF en conséquence
Interface IR	Gestion générale de la balise	Led IR TEMIC TSOP 1838

<b>Logicielle</b>
-------------------

Gestion PLL	Configuration de la PLL	
Timing	Séquencement des balises	
Autotest	Fonction de test avant mise en route	
Interface IR	Gestion générale de la balise	Led IR TEMIC TSOP 1838

Accessoires		
Chargeur de batterie		
Clef de mise en route		
Sac de transport		
Boîte de rangement		
Fanions		Taille et couleur réglementaire
Pinces		

## ***Partie Electronique***

### **Radio**

La puissance de l'émetteur sera de 1W (30dBm), modulée en fréquence, sur la bande radioamateur VHF. Par défaut, la fréquence des balises sera centrée sur 144,400MHz Elle utilisera une PLL UM1022 de chez Philips. Reconfigurable, la fréquence de la porteuse sera programmable au pas de 25kHz.

Le VCO sera conçu autour de transistor BFR92-93. L'amplificateur de sortie (PA), sera conçu autour d'un circuit intégré RF2173 de chez RFMD.

### **Logique de commande**

Elle sera conçue autour d'une unité centrale microcontrôleur PIC. D'utilisation simple, il devra consommer un courant d'intensité minimale.

Candidats : PIC16F627-PIC16F628-PIC16F84-PIC16F876

### **Interface IR**

Elle sera l'interface directe avec l'extérieur. A l'aide d'une liaison infrarouge, afin d'assurer une inviolabilité, doit permettre :

- Configurer les balises (fréquence et temps d'émission, mise en forme du signal de modulation)
- Démarrage et arrêt de la balise

## Power Management

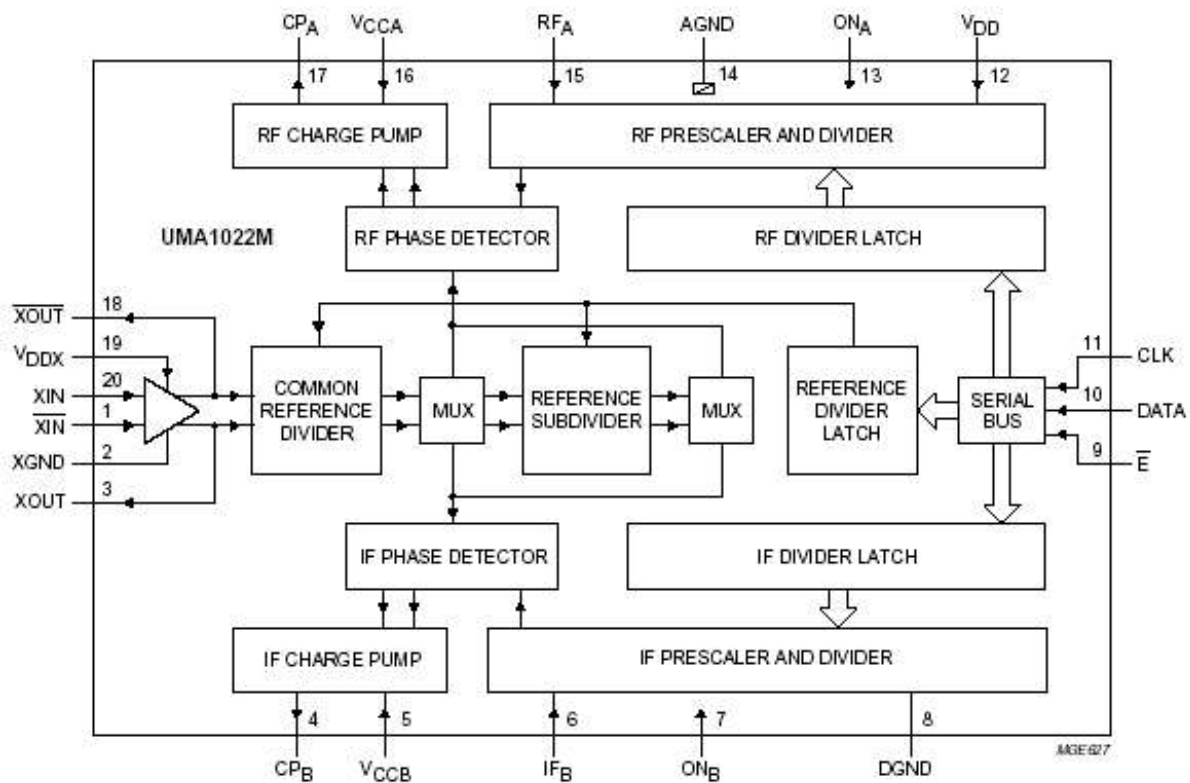
Ce circuit doit détecter un niveau bas de la tension d'alimentation ( $V_{bat}$ ). Dès qu'une décharge trop importante est constatée sur les batteries, un circuit doit commander le PA à une puissance d'émission plus faible (puissance QRP) et un signal de modulation continue sans interruption doit être émis.

Ce circuit devra être de conception simple et de consommation idéalement nulle.

## Partie Logicielle

### Configuration de la PLL

La PLL utilisée pour l'émetteur est une UMA1022M (Annexe 1).



Seule la partie IF est utilisée ici. Un bus série de 3 fils est requis.

- E : enable (logique inversée)
- DATA : données (fixe les taux de division)
- CLK : séquençement des bits de DATA

L'émetteur doit être de fréquence variable avec un pas de 25kHz. On se propose de rendre le diviseur de la boucle de retour réglable.

La boucle est verrouillée :  $\frac{f_e}{N_1} = \frac{f_s}{N}$ . On a  $N \rightarrow N + \Delta N$  et  $f_s \rightarrow f_s + \Delta f_s$ . Soit :

$$\frac{f_e}{N_1} = \frac{f_s + \Delta f_s}{N + \Delta N}$$

Il vient  $\frac{f_s}{N} = \frac{f_s + \Delta f_s}{N + \Delta N} \Rightarrow \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta f_s}{f_s}$

$f_s$	$\Delta f_s$	$N$	$\Delta N$	Commentaires
144.400MHz	25kHz	289	0,05	Fréquence de comparaison = 500kHz
144.400MHz	25kHz	5776	1	Incrémentation unitaire
144.400MHz	25kHz	1155 2	2	Incrémentation double
144.400MHz	25kHz	2310 4	4	Incrément 4

La fréquence du quartz est fixé à 4MHz, le taux de division de la boucle de retour à 5776, le taux de division de l'entrée à 160 pour obtenir une fréquence de comparaison de 25kHz (le pas de l'émetteur !)

La PLL contient 3 diviseurs programmables. Dans notre application, les « common reference divider » et « IF prescaler and divider » seront utilisés. Le premier est fixe (160-0010100000), et le deuxième variable par pas unitaire à partir de 5776-01011010010000.

Table 1 Bit allocation; note 1

REGISTER BIT ALLOCATION															LAST IN							
DATA FIELD															ADDRESS							
dt15	dt14	dt13	dt12	dt11	dt10	dt9	dt8	dt7	dt6	dt5	dt4	dt3	dt2	dt1	dt0	ad2	ad1	ad0				
Test bits <sup>(2)</sup>				CPI	S/D	XON <sup>(3)</sup>	X	X	X	X	P/A <sup>(4)</sup>	REFDIV2 <sup>(5)</sup>				0	1	1				
RF synthesizer main divider coefficient															P15	0	0	0				
X	X	X	X	X	X	R0 <sup>(6)</sup>					reference divider coefficient					R9	0	0	1			
X	X	A0 <sup>(6)</sup>												IF synthesizer main divider coefficient					A13	0	1	0

**Notes**

1. X = don't care.
2. The test bits (at address 011) should not be programmed with any other value except all zeros for normal operation.
3. Bit XON = power-on of crystal oscillator low-noise amplifier; logic 1 turns on circuit block.
4. Bit P/A = 1 selects the output of the reference subdivider to the RF synthesizer and the output of the common reference divider to the IF synthesizer.
5. The coefficient REFDIV2 (4 bits) selects the phase comparison ratio (1 to 16) between IF and RF synthesizers (see Table 2).
6. P0 is the LSB of the RF main divider coefficient; R0 is the LSB of the reference divider coefficient; A0 is the LSB of the IF main divider.

dt15	dt14	dt13	dt12	dt11	dt10	dt9	dt8	dt7	dt6	dt5	dt4	dt3	dt2	dt1	dt0	ad2	ad1	ad0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0



1<sup>er</sup> bit



Dernier bit

Soit , en équivalent hexadécimal :

\$5083
\$0000
\$00A
1
\$12D
2

Seuls les 19 premiers reçus sont pris en compte par la PLL

**Timing**

- Signal PTT

C'est le signal autorisant le passage en émission. Cette commande sera connectée sur un élément à logique positive :

PTT	Tension	Résultat
0	0V	Emission coupée
1	3V	Passage en émission

Ce signal dépend directement du numéro d'identification de la balise et de son ordre de passage .

Notation : ce signal s'appellera PTT.

- BF

Le signal BF est le signal modulant. Sa forme dépend directement de l'identifiant de la balise.

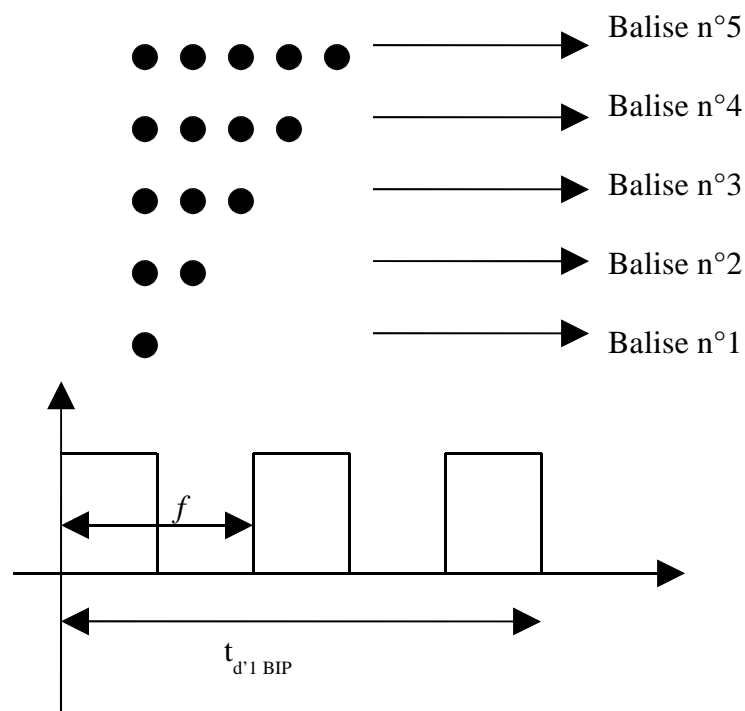
On peut faire une analogie avec un signal modulé en CW :

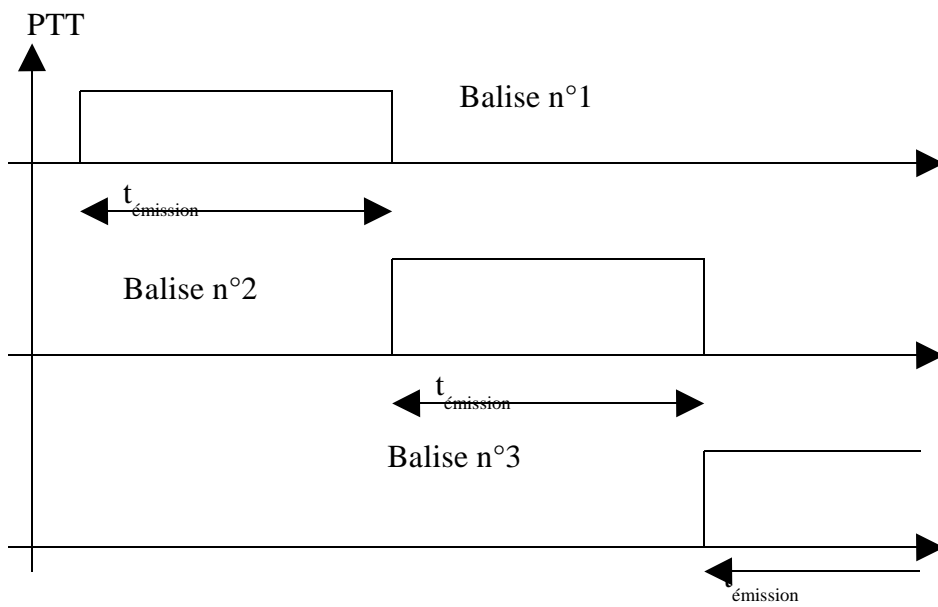
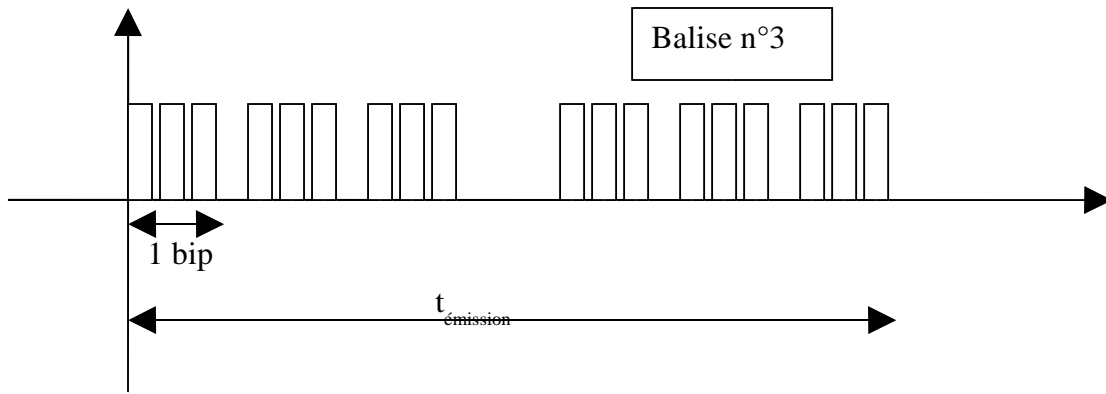
Forme élémentaire du signal modulant :

La fréquence sonore du BIP est fixée par la fréquence du carré (audible, entre 20Hz et 20kHz). La durée est fixée en interne et ne dépend d'aucun paramètre.

Ce signal doit être répété de la façon suivante :

Notation : Ce signal sera appelé MOD.





## Power Management

Le PIC choisi devra contenir un comparateur analogique (16F84 et 16F62x pour les plus simples)

La partie logicielle doit générer un signal pouvant prendre 3 cas :

- **Si PTT=0**

La sortie doit être de tension rigoureusement nulle. Par la même occasion, la fonction PTT est renforcée au niveau du PA

- **Si PTT=1**

Notation :  $V_{bat}$  : tension des batteries

$V_{ref}$  : tension de référence pour la comparaison

*Si  $V_{bat} > V_{ref}$ , la sortie du PM (Power Management) doit être constante est égale à 2,8V*

*Si  $V_{bat} < V_{ref}$ , la sortie du PM doit être un signal carrée, dont la fréquence sera déterminée par la conception électronique du PM.*

Notation : ce signal sera noté PM

## Interface IR

Elle sera l'interface directe avec l'extérieur. Elle permettra la mise en route ou l'arrêt d'une balise, sa programmation (fréquence RF, paramètres de modulation), le passage en autotest. Le protocole, généralement choisi par les constructeurs, est le RC5.

Notation : le signal entrant, issu du récepteur IR sera noté RX\_IR

# CONCEPTION

## Partie Electronique

### Emetteur FM 144MHz

#### VCO à base de BFR93

Les balises comprennent un VCO, dont il faut en déterminer les éléments. Il reçoit une tension continue qui, en fonction de son niveau, donne une fréquence d'oscillation variable autour de 144MHz. L'oscillateur est du type Colpitts.

- Contraintes techniques

L'oscillateur doit être alimenté sous 3V, et sa consommation réduite au maximum. Les transistors utilisés sont des BFR93, particulièrement adaptés aux applications VHF, dont les caractéristiques intrinsèques sont les suivantes :

$$h_{FE}=90$$
$$I_c=5\text{mA}$$

Le VCO se décompose en 2 parties. L'oscillateur par lui-même constitue le premier étage à transistor. Vient ensuite un amplificateur, polarisé en classe C.

- Polarisation des étages

Tous les étages seront polarisés sous une tension collecteur-émetteur égale à la moitié de la tension d'alimentation pour assurer un maximum de dynamique.

Le schéma de base proposait une polarisation de la base de façon symétrique:  $R_3=R_4=47\text{k}\Omega$

Pour assurer une consommation minimale, on choisit un courant de polarisation dans le collecteur de 5mA.

Les lois de l'électrocinétique donnent :

$$\frac{V_{cc}}{2} = V_{BE0} + I_{C0} R_3 \Rightarrow R_3 = 100 \Omega$$

$$V_{CE0} = V_{cc} - I_{C0} (R_3 + R_6) \Rightarrow R_6 = 100 \Omega$$

$$R_3=100\Omega$$
$$R_6=100\Omega$$

Il faut placer le point de polarisation de la base dans les négatifs pour l'amplificateur. Néanmoins, des morceaux de sinusoïde du signal d'entrée doivent être transmis à travers le

transistor. Un filtre doit ensuite permettre de choisir un harmonique de ce signal pour obtenir une sinusoïde à la fréquence désirée.

Le maximum de dynamique de sortie de l'oscillateur est de 1,5V. En considérant le transistor passant pour une portion de sinusoïde comprise en 1V et 1,5V, il vient que la tension de polarisation de la base doit être de  $V_{BE0} = -0,4V$ .

D'après les lois de l'électrocinétique, il vient :

$$I_{C0} = h_{FE} \frac{V_{cc} - \eta V_{BE0}}{R_1 + h_{FE} R_{22}}$$

$$V_{CE0} = \frac{V_{cc} R_1 - I_{C0} R_C R_1 + V_{BE0} R_c}{R_1 + R_C}$$

$$\eta = \frac{R_1 + R_2 + R_c}{R_2}$$

Condition de stabilité :  $\frac{R_8}{R_{22}} < < h_{FE} \Rightarrow R_8 = 10 R_{22}$

$R_{22} = 270\Omega$   
 $R_8 = 2,7k\Omega$   
 $R_7 = 1,6k\Omega$

- Etage oscillateur

L'oscillateur est du type Colpitts. La fréquence d'oscillation dépend à la fois des valeurs de  $C_2, C_3$ . On appelle C le condensateur équivalent au branchement série de ces capacités.

La bobine L est choisie variable autour de 100nH

On obtient

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{L(2\pi f_0)^2} = 12 \text{ pF} .$$

Il faut, de plus, imposer un rapport de 1 à 3 entre les 2 condensateurs  $C_4$  et  $C_5$  pour assurer le démarrage de l'oscillateur.

$C_4 = 15\text{pF}$   
 $C_5 = 47\text{pF}$

$C_3$  a ici un rôle de condensateur de liaison (1pF)

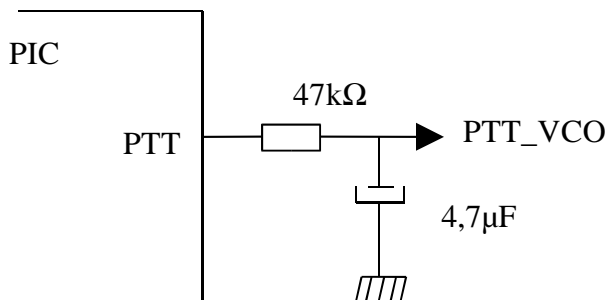
- Filtre de l'amplificateur

L'amplificateur classe C fournit un signal non sinusoïdal. Il s'agit donc d'en filtrer le fondamental.

Il faut donc un filtre passe bas. Un deuxième ordre atténuera l'harmonique 2 d'environ 10dB, et la bande UHF 430MHz avec environ 20dB correspondant à l'harmonique 3.

Pour centrer le filtre sur 144MHz, il vient  $L=1nH$  et  $C=1nH$

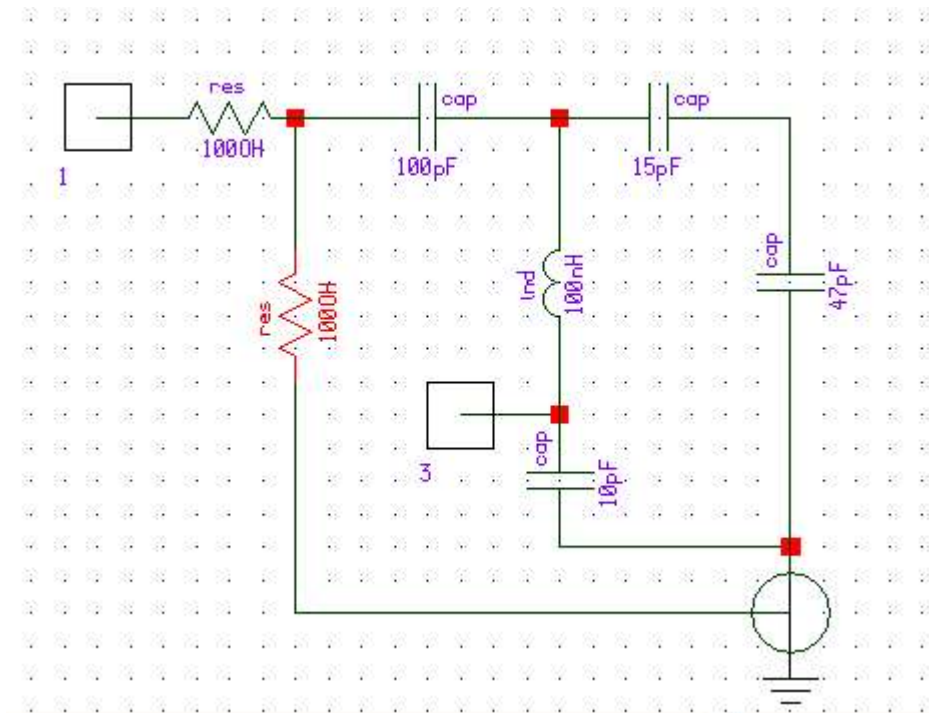
- Application PTT

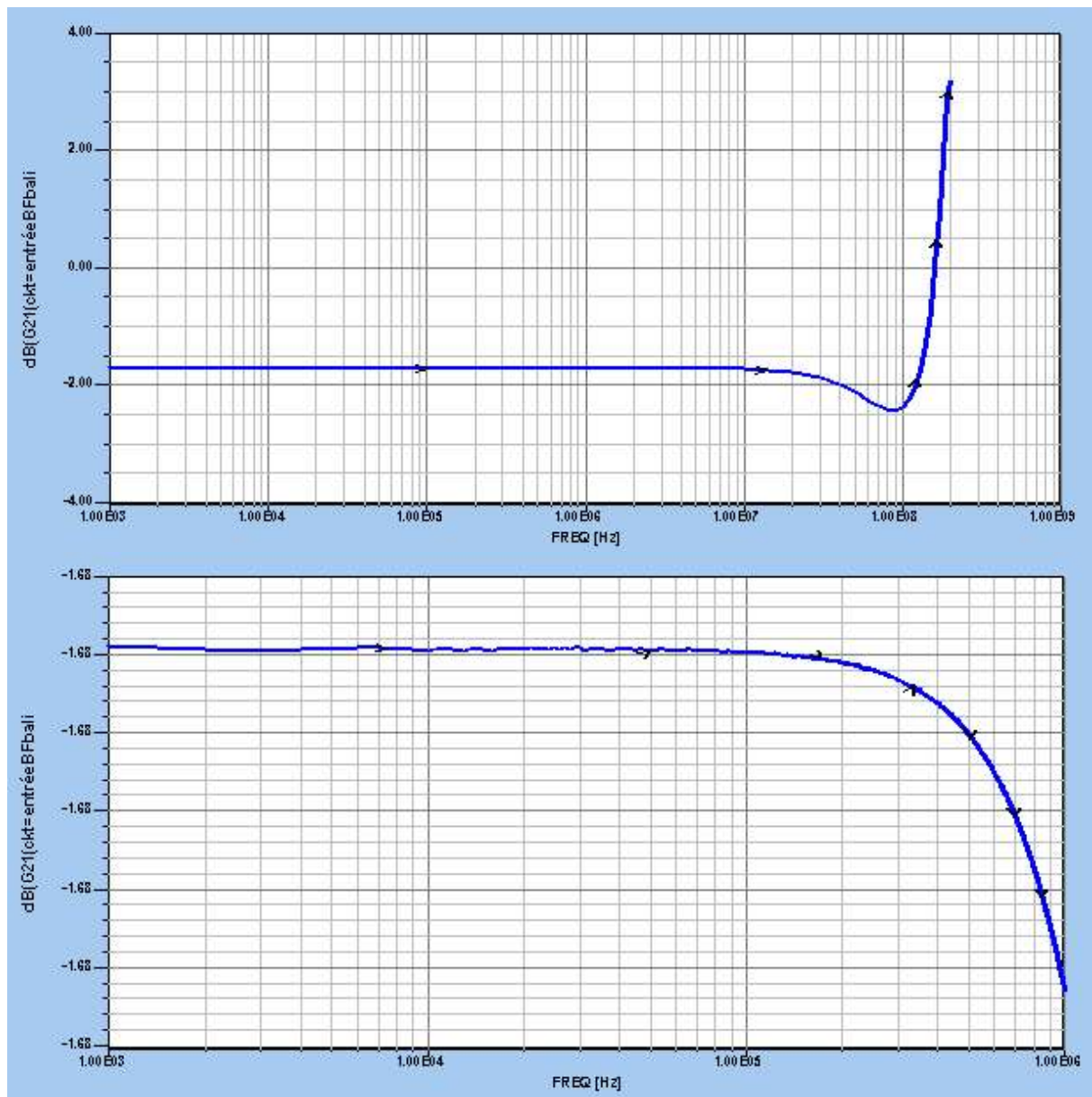


La sortie du PIC sera vue, du côté RF, comme étant une forte impédance.

Un condensateur de forte capacité est nécessaire pour s'affranchir des éventuelles pollutions numériques du PIC.

- Entrée BF





Le schéma de départ proposait une liaison d'entrée BF fondée sur un pont diviseur de tension, suivi d'une capacité de liaison (se reporter en annexe pour une justification théorique). L'entrée du VCO a été simulée comme étant le schéma équivalent petit signal de l'oscillateur pour prendre en considération son impédance d'entrée.

Les schémas et graphes représentés ci-dessus donnent la réponse de l'entrée BF. La forme en réjection autour des fréquences VHF vient d'une erreur de signe imposée par la simulation. La réponse graphique donnée par Serenade d'ANSOFT, est la réponse fréquentielle du transfert entre la tension sur la diode varicap et l'amplitude de l'entrée BF.

La réponse est plate dans une large bande de fréquence, mais de gain négatif, sans grande conséquence ici.

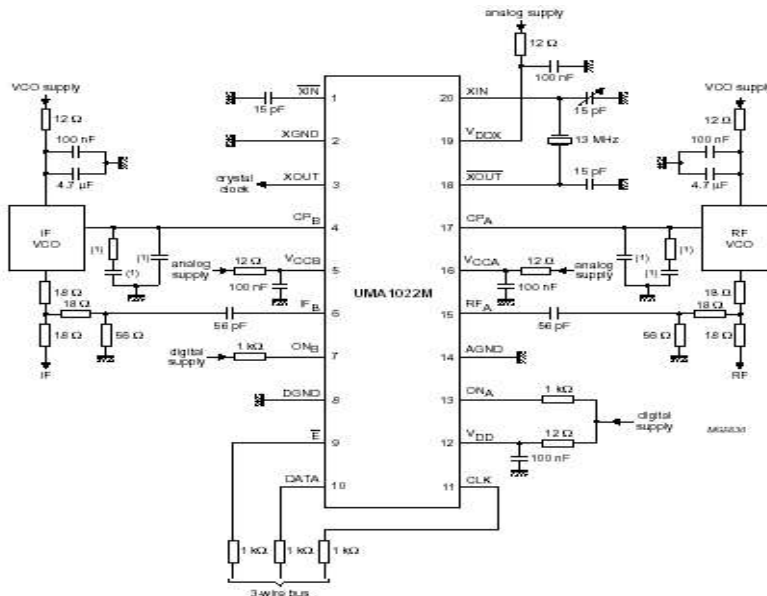
- Notations

L'alimentation du VCO sera notée VCC\_VCO

Le signal PTT du VCO, alimentant la base de la partie oscillateur du VCO sera noté PTT\_VCO.

## PLL UMA1022M

- Structure générale du schéma



- Filtre de boucle

## RF2516

### Logique de commande

Deux possibilités sont envisageables pour la logique de commande :

PIC16F84  
PIC16F627-628

Ce sera le PIC16F627-628 qui sera gardé, car sa consommation est particulièrement adaptée à l'application.

## ***Power Management***



## **Partie Logicielle**

Reprendre le travail de Gulk dans le détail, et compléter et corriger si nécessaire.

### ***Gestion PLL***

Faire un synoptique

### ***Timing***

Inclure séquençement des balises et RC5

Idem (mais à voir si faisable avec RC5)

### ***Autotest***

Idem

## **Partie Mécanique**

### ***Le boîtier***

Cf gotronic...

### ***Antenne***

Voir Pierre F1FDD

### ***Batteries***

Caractéristiques batteries

## ***Divers***

Connectique et intégration  
Dimensions des cartes max et min, etc...

## ***Accessoires***

Chargeur de batterie  
Sac de transport, fanions, pince

## ***Approvisionnement composants***

Donner adresse de gotronic  
Liste des composants (détaillé : électronique et autres)  
Prix

## **Réalisation et essais**

## ANNEXE

### **Annexe 1 : Modulation FM et PLL**