

Partie A : Oscillateur 3RC

Le montage d'étude est représenté sur la figure 1 ci-dessous.

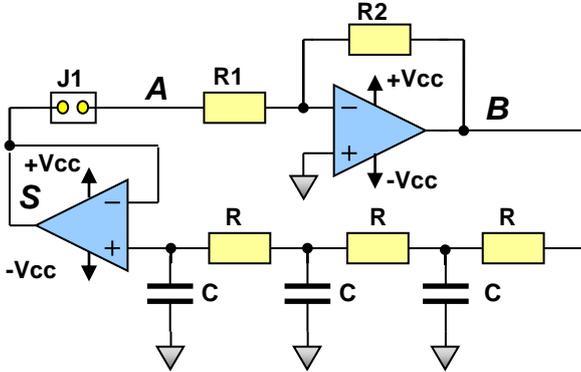


Figure 1 : Oscillateur 3RC

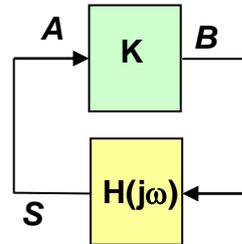


Figure 2 : Système bouclé

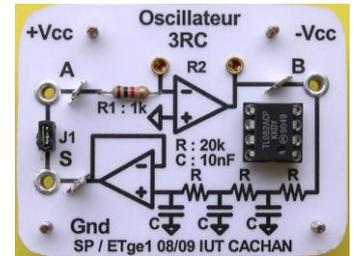


Photo : Mini module

Analyse de l'oscillateur 3RC

Le schéma de la figure 1 peut se mettre sous la forme du système bouclé représenté sur la figure 2 avec :

$$K = -\frac{R2}{R1} \text{ et } H(j\omega) = \frac{1}{1 + 6jRC\omega + 5(jRC\omega)^2 + (jRC\omega)^3}$$

L'application du critère de Barkhausen permet de montrer que la fréquence des oscillations est $f_{osc} = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$ et

que le démarrage des oscillations est possible pour $\frac{R2}{R1} > 29$.

Pour la réalisation pratique on vous propose le mini-module dont la photo est représentée ci-dessus. On donne les valeurs suivantes : $R1 = 1k\Omega$ $R2$: au choix de l'utilisateur $R=20k\Omega$ et $C=10nF$. On fixe l'alimentation symétrique à une valeur de $\pm 9V$.

Etude en boucle ouverte

On vous propose d'effectuer dans un premier temps l'étude en boucle ouverte de cet oscillateur afin de déterminer la fréquence des oscillations et la condition d'oscillation. Pour cela on enlève le cavalier J1 et on fixe $R2=10k\Omega$.

□ On vous propose de rechercher la fréquence des oscillations de telle sorte à obtenir les signaux S et A rigoureusement en phase. Comme on souhaite rester dans la zone linéaire il est alors indispensable d'appliquer un signal sinusoïdal sur l'entrée A dont l'amplitude ne provoque pas la saturation de l'amplificateur opérationnel. Prévoir par calcul la valeur de f_{osc} et ajuster votre générateur afin de rechercher cette fréquence de manière expérimentale. Justifier les différences éventuelles.

□ Pour déterminer la condition des oscillations et en reprenant le point de mesure précédent déterminer la valeur de l'amplification supplémentaire qui permet d'obtenir en A et en S deux signaux sinusoïdaux de même amplitude. Vérifier la cohérence de vos résultats avec la condition énoncée au début du TP.

Mise en œuvre de l'oscillateur

Cette fois ci on reboucle la sortie S sur l'entrée A de l'amplificateur en positionnant le cavalier sur J1 et **on déconnecte bien évidemment le générateur** utilisé pour la caractérisation précédente.

□ Vérifier que les oscillations apparaissent pour une valeur de $R2$ supérieure à la valeur limite déterminée précédemment.

□ Relever l'ensemble des chronogrammes du montage pour une résistance $R2=33k\Omega$. Mesurer la fréquence des oscillations et interpréter le résultat obtenu.

□ En quel endroit du montage le signal est-il le « plus sinusoïdal » ? Justifier votre réponse en relevant les spectres (analyse FFT) des signaux S et B. Que se passe-t-il si l'on augmente la résistance R2 (R2=47kΩ par exemple).

Partie B : Oscillateur de Pierce

Contexte de l'étude

Le signal composite utilisé dans les transmissions FM pour transmettre l'information stéréo et RDS requiert une fréquence pilote de 19kHz ainsi que 2 fréquences multiples 38kHz et 57kHz. Nous vous proposons donc la réalisation d'un oscillateur de référence à 456kHz permettant d'obtenir par simple division les 3 valeurs de fréquences souhaitées.

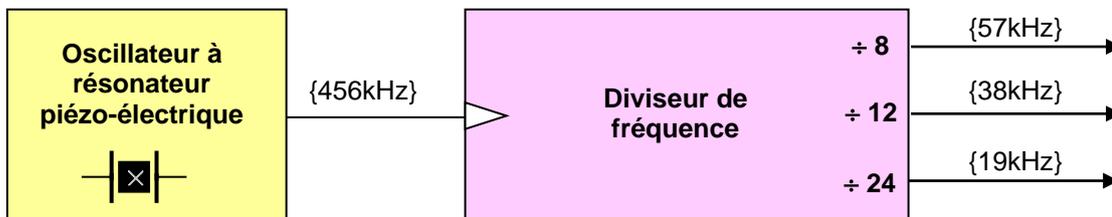


Figure 1 : Contexte de l'étude

Pour la mise en œuvre de l'oscillateur, nous ne disposons malheureusement que des classiques résonateurs à 455kHz. L'objectif de cette partie de TP consiste donc à étudier et caractériser l'impédance de ce résonateur. A l'issue de cette mesure, il sera possible de dimensionner les éléments externes pour utiliser ce résonateur dans un oscillateur de Pierce qui est l'oscillateur certainement le plus utilisé dans les dispositifs électroniques. Pour vous aider à travers cette partie de TP vous consulterez avec intérêt les articles proposés sur ce sujet sur le site poujouly.net.

A propos des quartz & résonateurs

Certains matériaux anisotropes (quartz, tourmaline,...) présentent la propriété de se polariser électriquement lorsqu'on les comprime : cet effet est appelé piézo-électrique. Cet effet est aussi réversible, c'est à dire qu'une lame (ou cristal) d'un tel matériau subi des déformations lorsque l'on applique un champ électrique. En fixant des électrodes de part et d'autre du cristal, on forme ainsi un résonateur mécanique. L'application d'une tension provoque une excitation mécanique qui entraîne un déplacement de charges et donc la création d'un courant. Ce dipôle peut être modélisé par le schéma équivalent suivant au voisinage de la fréquence de résonance du cristal :

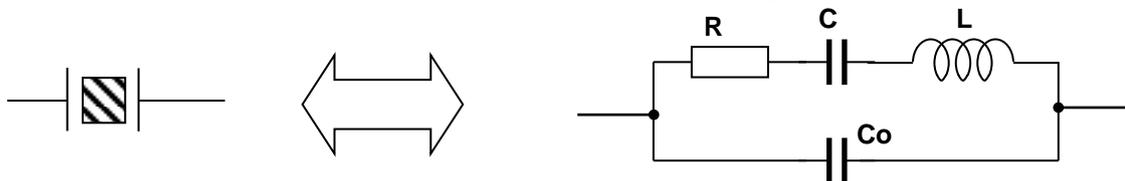


Figure 2 : Schéma équivalent d'un résonateur

Les éléments R, L et C ne sont que des équivalents électriques au phénomène de résonance mécanique : Il s'agit d'éléments motionnels. La capacité Co représente la capacité électrostatique entre les deux électrodes.

L'impédance complexe Z de ce dipôle peut s'écrire sous la forme :
$$Z = \frac{1}{jCo\omega} \cdot \frac{1 + jQs \left(\frac{\omega}{\omega s} - \frac{\omega s}{\omega} \right)}{1 + jQp \left(\frac{\omega}{\omega p} - \frac{\omega p}{\omega} \right)}$$

avec : $\omega s = \frac{1}{\sqrt{LC}}$: Pulsation de résonance série $\omega p = \frac{1}{\sqrt{L \cdot \frac{C \cdot Co}{C + Co}}}$: Pulsation de résonance parallèle

$Qs = \frac{L\omega s}{R}$ Facteur de qualité série $Qp = \frac{L\omega p}{R}$ Facteur de qualité parallèle

Tracé de l'impédance théorique

Notre étude est basée sur l'utilisation d'un résonateur piézoélectrique à 455kHz dont une caractérisation à titre indicatif nous donne les paramètres suivants : Co=260.71pF R=8.91Ω L=7,286mH C=17.76pF

□ En utilisant le logiciel de simulation LTSpiceIV, tracer le module et la phase de l'impédance du résonateur pour des fréquences variant entre 430kHz et 470kHz. Le fichier de simulation se trouve sur le site de l'auteur.

Concernant le module de l'impédance vous opterez pour une échelle logarithmique en conservant une échelle linéaire pour la fréquence. La caractéristique ainsi obtenue permet de faire apparaître beaucoup plus nettement les grandeurs importantes.

Justifier le résultat obtenu et indiquer le comportement (capacitif ou inductif) du résonateur en fonction de la fréquence.

Mesure des caractéristiques du résonateur

Afin de vérifier les résultats précédents, on vous propose d'effectuer une mesure des caractéristiques de votre résonateur piézoélectrique en utilisant l'analyseur d'impédance HIOKI IM3560 disponible dans la salle de travaux pratiques.

Vous effectuerez la mesure à tour de rôle avec votre enseignant et vous sauvegarderez le résultat sous la forme d'une image et d'un fichier csv contenant l'ensemble des points de mesure sur une clef USB.



Photo : Analyseur d'impédance HIOKI IM3570

Présentation de l'oscillateur de Pierce

On utilise dans cette partie le résonateur piézoélectrique pour réaliser un oscillateur de Pierce dont le schéma est rappelé ci dessous :

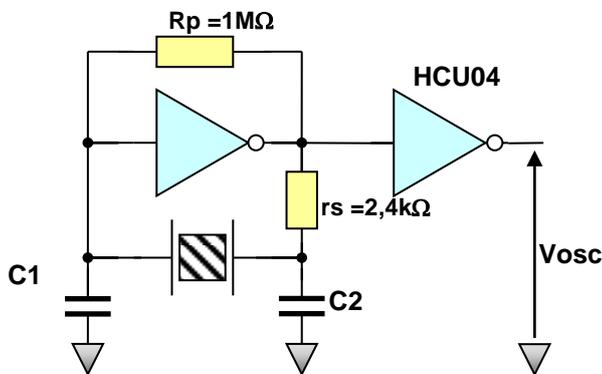


Figure 3 : Oscillateur de Pierce

8.2 Oscillator Configurations

8.2.1 OSCILLATOR TYPES

The PIC16F8X can be operated in four different oscillator modes. The user can program two configuration bits (FOSC1 and FOSC0) to select one of these four modes:

- LP Low Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- HS High Speed Crystal/Resonator
- RC Resistor/Capacitor

8.2.2 CRYSTAL OSCILLATOR / CERAMIC RESONATORS

In XT, LP or HS modes a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1/CLKIN and OSC2/CLKOUT pins to establish oscillation (Figure 8-3).

FIGURE 8-3: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (HS, XT OR LP OSC CONFIGURATION)

Note1: See Table 8-1 for recommended values of C1 and C2.
 2: A series resistor (RS) may be required for AT strip cut crystals.
 3: RF varies with the crystal chosen.

The PIC16F8X oscillator design requires the use of a parallel cut crystal. Use of a series cut crystal may give a frequency out of the crystal manufacturers specifications. When in XT, LP or HS modes, the device can have an external clock source to drive the OSC1/CLKIN pin (Figure 8-4).

Extrait d'une documentation constructeur

On rencontre ce type d'oscillateur dans de nombreux systèmes électroniques : qu'il s'agisse de votre montre (à quartz) en passant par votre téléphone portable, jusqu'à votre machine à laver on rencontre très couramment ce type d'oscillateur. Le cadre ci dessus donne un extrait d'une documentation d'un microcontrôleur PIC16F84, dont l'horloge de fonctionnement peut être établie à partir d'un quartz ou d'un résonateur piézo-électrique où l'on retrouve un oscillateur de Pierce.

Caractérisation de la porte logiqu

Avant de mettre en œuvre l'oscillateur, il est indispensable de caractériser le montage utilisant la porte logique HCU04. La maquette support est alimentée sous 9V mais la porte logique est alimentée sous 5V avec le régulateur de tension. Vérifier que le régulateur est correctement positionné en utilisant les informations contenues sur la page 5.

Relever la caractéristique de transfert V_{out} en fonction de V_{in} (mode XY de l'oscilloscope) en appliquant sur l'entrée du montage représenté sur la figure 4 ci-contre un signal triangulaire évoluant entre 0 et 5V et de fréquence 1kHz.

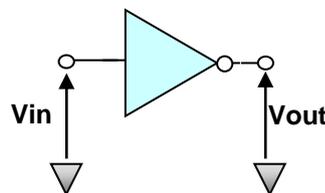


Figure 4 : Caractérisation de la porte logique

Sur le second montage proposé, mesurer la tension de sortie V_{out} lorsque aucun signal n'est connecté sur l'entrée. Quel est donc l'intérêt de la résistance R_p ?

Appliquer sur l'entrée V_{in} un signal sinusoïdal de fréquence 455kHz et d'amplitude 100mV crête à crête. Relever le signal de sortie en concordance de temps et en déduire l'amplification A de ce montage.

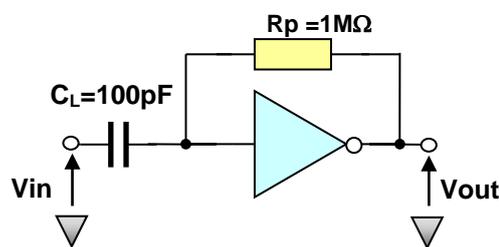


Figure 5 : Montage amplificateur

Mise en œuvre de l'oscillateur de Pierce

Si l'on néglige les pertes dans le modèle du résonateur piézoélectrique ($R=0$), le montage peut se mettre sous la forme suivante dans lequel le terme $XQ(\omega)$ représente la réactance du résonateur.

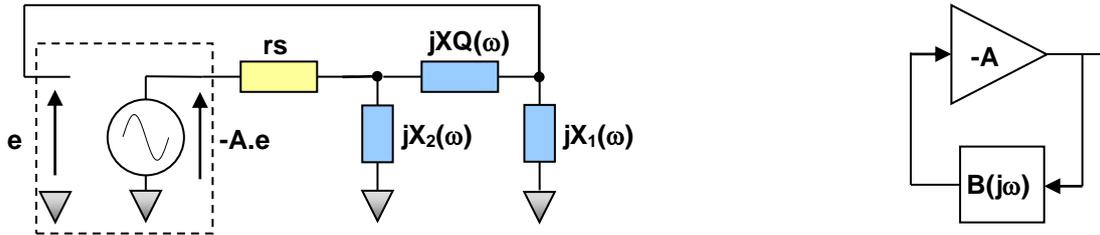


Figure 6 : Modélisation de l'oscillateur de Pierce

Cet oscillateur peut alors se mettre sous la forme du schéma bloc représenté ci-dessus. On montre alors que la recherche de la pulsation des oscillations s'obtient en résolvant l'équation suivante :

$$XQ(\omega_{osc}) + X1(\omega_{osc}) + X2(\omega_{osc}) = 0 \text{ soit dans le cas de la cellule de Pierce } XQ(\omega_{osc}) = \frac{1}{Ceq.\omega_{osc}}$$

□ Traduire cette dernière équation dans une représentation graphique.

Afin de vérifier la dépendance de la fréquence d'oscillation en fonction des 2 capacités C1 et C2, vous utiliserez la maquette didactique HCU04 (alimentée sous 9 Volts avec régulateur de tension) afin d'obtenir un oscillateur de Pierce.

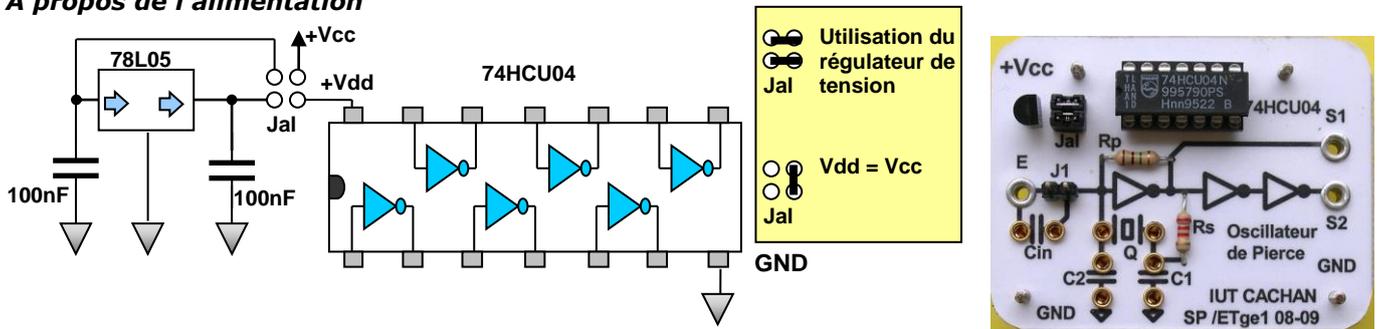
□ Relever la fréquence d'oscillation pour différentes valeurs de C1 et C2 et justifier les résultats obtenus. On propose les valeurs suivantes.

$$C1 = C2 = 68\text{pF} \quad C1 = C2 = 100\text{pF} \quad C1 = C2 = 150\text{pF} \quad C1 = C2 = 220\text{pF}$$

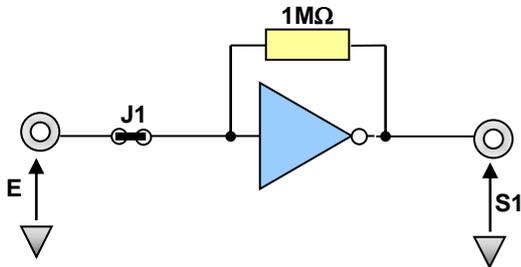
□ Montrer que l'oscillateur de Pierce utilisé avec un résonateur piézoélectrique à 455kHz convient bien pour l'application présentée dans le contexte de l'étude proposée.

Mini module Oscillateur de Pierce

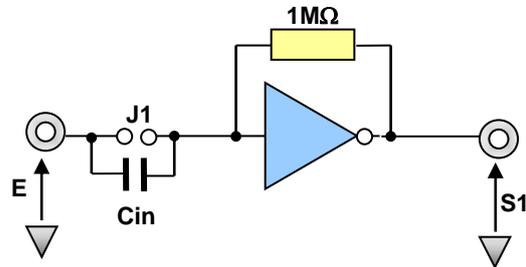
A propos de l'alimentation



Caractérisation de la porte logique



Utilisation de la porte logique en amplificateur



Partie C : Oscillateur à résistance négative & VCO

Le schéma de principe d'un oscillateur à résistance négative est représenté ci-dessous dans lequel R_p désigne la résistance de perte du circuit LC bouchon.

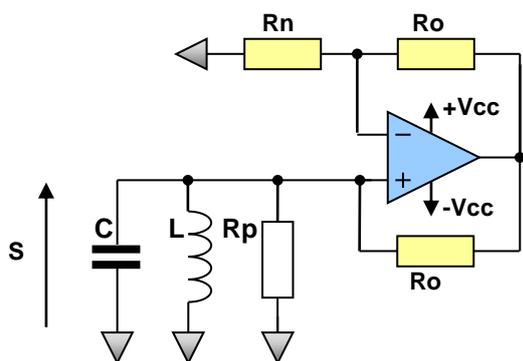


Figure 1

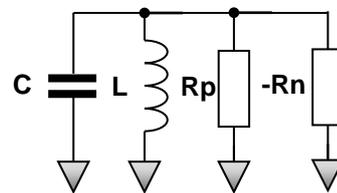


Figure 2

Principe d'un oscillateur à résistance négative

□ Montrer que le montage à amplificateur opérationnel se comporte comme une résistance négative.

□ Quelle est la condition sur la valeur de R_n pour que le montage devienne un oscillateur ?

□ En limite de stabilité montrer que la fréquence d'oscillation est définie par : $f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Indications pratiques

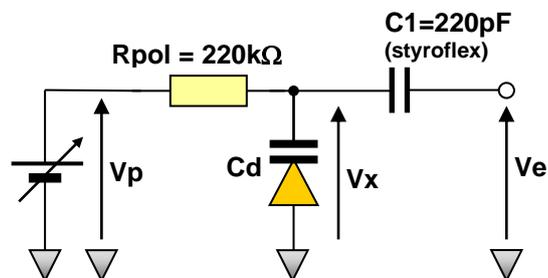
A partir de l'oscillateur à résistance négative et en utilisant une diode varicap on désire réaliser un oscillateur contrôlé en tension (Voltage Controlled Oscillator = VCO). Son utilisation est destinée à la réalisation d'une transmission en modulation de fréquence autour de 135kHz pour une application de type Interphone secteur. Nous allons dans un premier temps caractériser cette diode varicap seule, puis dans un circuit sélectif LC. Enfin nous réaliserons la fonction VCO.

Caractérisation d'une diode varicap

On utilise une diode varicap BB112 dont la documentation constructeur est fournie en annexe.

□ Quel est le rôle de la résistance R_{pol} dans le montage représenté ci contre ?

On connecte sur l'entrée V_e du montage une source sinusoïdale de fréquence 135kHz et d'amplitude 1V crête.



□ Représenter alors le schéma équivalent petit signaux de ce montage en justifiant que l'on peut négliger l'influence de R_{pol} .

□ Montrer alors que la détermination de la valeur de la capacité équivalente C_d peut s'obtenir en mesurant $V_{x_{cac}}$ et $V_{e_{cac}}$.

Tracé de la caractéristique de la diode varicap

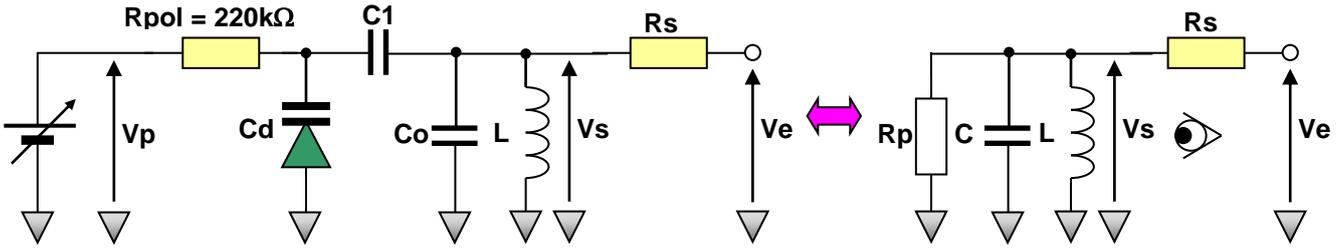
□ Câbler le montage précédent sur une plaque d'essais.

□ Pour une tension V_p évoluant entre 0,5V et 8V, mesurer V_{scac} et en déduire la valeur de la capacité équivalente C_d .

□ Tracer alors la caractéristique de la diode Varicap C_d en fonction de V_p et comparer vos résultats avec les données constructeurs.

Caractérisation du circuit résonnant LC

On propose le montage suivant, utilisant la diode varicap associée à un circuit sélectif LC.



On désire dans cette partie, mesurer la résistance équivalente de perte Rp du montage comme l'indique la figure ci-dessus.

On donne les valeurs suivantes :

C1 : condensateur styroflex 1nF

L : Inductance 2,2mH

Co : condensateur styroflex 330pF

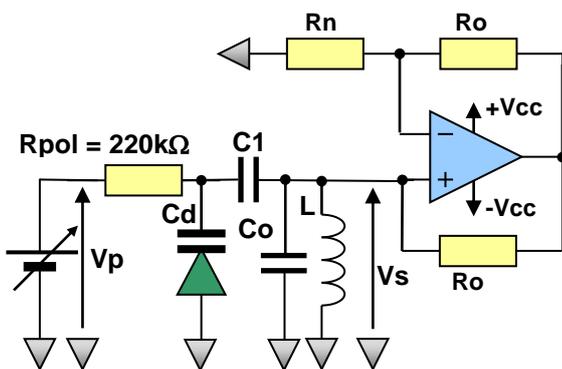
Rs : 220kΩ

On applique sur l'entrée Ve un signal sinusoïdal d'amplitude 1V crête.

- Pour une tension $V_p=2V$, relever le diagramme de Bode (uniquement en gain) de la fonction de transfert V_s/V_e autour de la fréquence de résonance f_0 de ce circuit.
- Justifier la valeur de f_0 en calculant la valeur de C en fonction de Cd, C1 et Co.
- A partir de la mesure précédente, en déduire la valeur de la résistance de perte Rp.
- Pour $V_p=1V$ puis $V_p=3V$, mesurer la valeur de la résistance de perte Rp et en déduire la validité du modèle retenu pour le circuit sélectif LC.

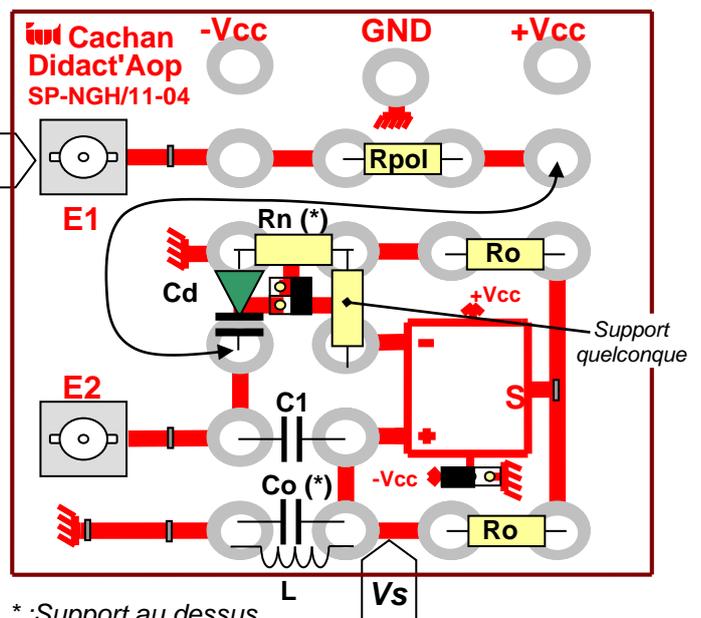
Mise en œuvre de l'oscillateur

- Câbler le montage sur la maquette didact'Aop conformément aux indications données ci-dessous. **La maquette est alimentée sous +/-5V**



On donne $R_o=390k\Omega$

- Quelle valeur de Rn doit-on choisir pour provoquer le démarrage de l'oscillateur ?
- Vérifier le choix de la résistance Rn et donc du bon fonctionnement de l'oscillateur en choisissant une tension de polarisation $V_p=1V$.



- Relever alors la caractéristique du VCO en traçant f_{osc} en fonction de V_p pour une tension de polarisation évoluant entre 0,5V et 6V. En déduire alors le gain de conversion du VCO dans la « partie linéaire ». Justifier alors le résultat obtenu.

Document constructeur BB112

FEATURES

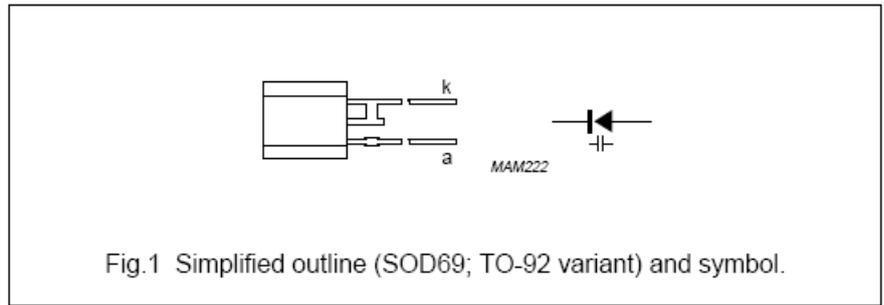
- Matched to 3%
- Leaded plastic package
- C8.5: 23 pF; ratio: 21.

APPLICATIONS

- Electronic tuning in AM radio applications
- VCO.

DESCRIPTION

The BB112 is a variable capacitance diode, fabricated in planar technology, and encapsulated in the SOD69 (TO-92 variant) leaded plastic package.



LIMITING VALUES

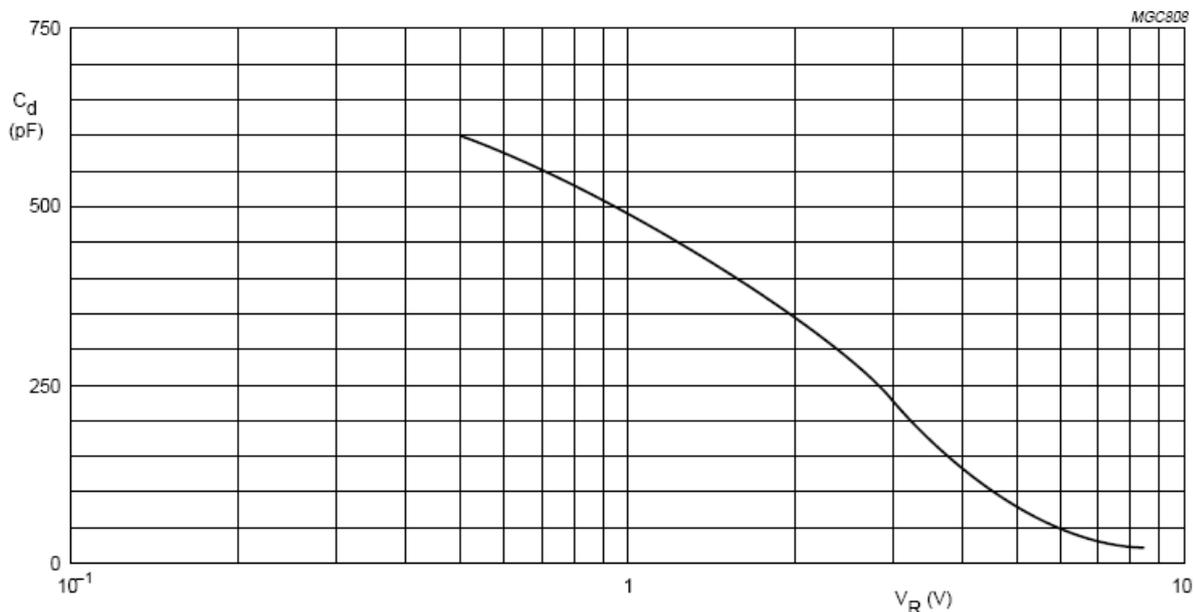
In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_R	continuous reverse voltage	–	12	V
I_F	continuous forward current	–	50	mA
T_{stg}	storage temperature	–55	+125	°C
T_j	operating junction temperature	–55	+85	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ °C}$; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_R	reverse current	$V_R = 12\text{ V}$; see Fig.3	–	–	50	nA
		$V_R = 12\text{ V}$; $T_j = 85\text{ °C}$; see Fig.3	–	–	300	nA
r_s	diode series resistance	$f = 500\text{ kHz}$; note 1	–	–	1.5	Ω
C_d	diode capacitance	$V_R = 1\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$; see Figs 2 and 4	440	–	540	pF
		$V_R = 8.5\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$; see Figs 2 and 4	17	–	29	pF
$\frac{C_{d(1V)}}{C_{d(8.5V)}}$	capacitance ratio	$f = 1\text{ MHz}$	–	18	–	
$\frac{\Delta C_d}{C_d}$	capacitance matching	$V_R = 1\text{ to }9\text{ V}$; note 2	–	–	3	%



Partie D : Caractérisation d'un VCO intégré

Dans le cadre de la réalisation d'un modulateur FM, nous vous proposons dans cette partie la caractérisation et la mise en œuvre d'un VCO POS50 (Mini module avec face avant) ou POS25 (Mini module sans face avant) de la société MiniCircuit. Vous trouverez ci-dessous un extrait de la documentation constructeur. Compte tenu des tolérances sur la caractéristique de transfert de ce VCO, il est indispensable d'effectuer une caractérisation pratique du VCO mis à votre disposition afin d'effectuer sa mise en œuvre.



Electrical Specifications

FREQUENCY (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	TUNING VOLTAGE (V)		PHASE NOISE (dBc/Hz) SSB at offset frequencies: Typ.				PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	TUNING SENSITIVITY (MHz/V)	HARMONICS (dBc)		3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	DC OPERATING POWER	
Min.	Max.	Typ.	Min.	Max.	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Max.	Typ.	Vcc (volts)	Current (mA) Max.
25	50	+8.5	1	16	-88	-110	-130	-150	0.06	0.04	2.0-2.6	-19	-12	0.1	12	20

Tableau 1 : Caractéristique du VCO POS50

Electrical Specifications

FREQUENCY (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	TUNING VOLTAGE (V)		PHASE NOISE (dBc/Hz) SSB at offset frequencies: Typ.				PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	TUNING SENSITIVITY (MHz/V)	HARMONICS (dBc)		3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	DC OPERATING POWER	
Min.	Max.	Typ.	Min.	Max.	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Max.	Typ.	Vcc (volts)	Current (mA) Max.
15	25	+7.0	1	11	-86	-105	-125	-145	0.06	0.04	1-4	-26	-15	0.06	12	20

Tableau 2 : Caractéristique du VCO POS25

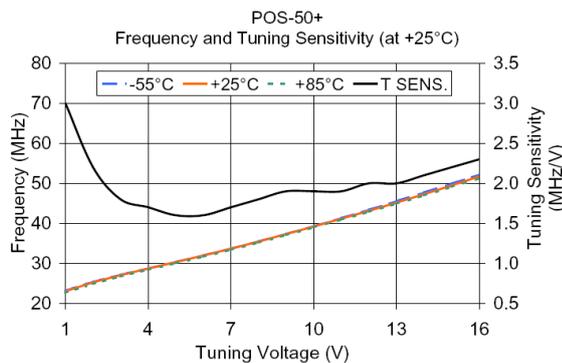


Figure 1 : Caractéristique du VCO POS50

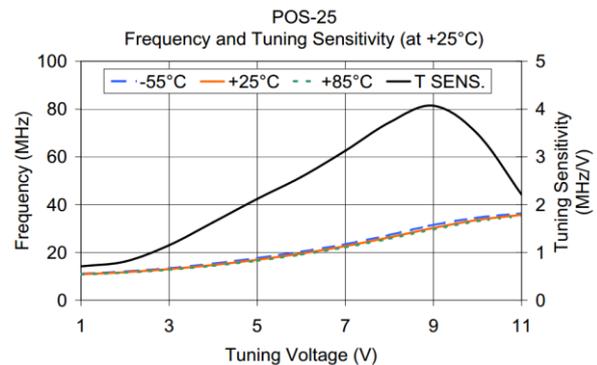


Figure 2 : Caractéristique du VCO POS25

La maquette support recevant le mini module POS25 ou POS50 est alimentée sous une tension simple 0-12V. Afin de caractériser simplement le VCO on connecte sa sortie sur un oscilloscope avec un té et un bouchon de 50Ω. Veillez à bien positionner le jumper J1 pour appliquer sur l'entrée E1 le signal de commande du VCO.

- Proposer un mode opératoire afin de relever la caractéristique de transfert pour une tension de commande variant entre 1V et 12V. Comparer vos résultats aux caractéristiques annoncés par le constructeur.
- Pour une tension de commande constante de 5V, que se passe-t-il si la charge de sortie change ? Même question si la tension d'alimentation change légèrement (11,9V ou 12,1V par exemple). Quelles sont les paramètres à observer sur la documentation constructeur.
- Afin de caractériser le VCO d'un point de vue harmonique, on connecte la sortie sur les analyseurs de spectres FS300. Avant de connecter le moindre signal sur l'entrée RF, quelles sont les étapes à effectuer sur l'analyseur de spectre ?
- Effectuer les réglages sur l'analyseur de spectre afin de mettre en évidence les harmoniques présents sur la sortie et comparer les résultats obtenus aux données du constructeur.