



Systemes de communication sans fil (bande de base)

2A Filière TELECOM - Année Scolaire 2019-2020(S1)

Contrôle de Connaissances

Durée 1h30 - Documents et calculatrice autorisés

Exercices

Exercice Récepteur RF pour BLE	1
Exercice Bruit de phase d'une PLL	2
Exercice RF receiver for BLE	2
Exercice Bruit de phase d'une PLL	3

Exercice 1 - Récepteur RF pour BLE

Le standard Bluetooth Low energy (BLE) est un standard faible énergie adapté à une grande palette d'applications comme la santé, l'IoT et les divertissements domestiques. Dans cet exercice, nous allons cibler la conception d'un récepteur radio BLE. Nous utiliserons l'architecture "Low-IF" telle que sur la figure 2.

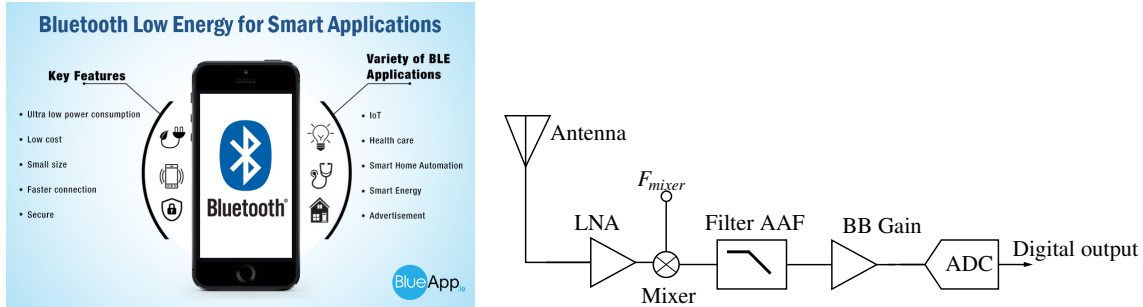


FIGURE 1 – Left) Bluetooth low energy application Right) Rx architecture

La bande du signal est $B = 2$ MHz et elle est centrée autour de 2.4 GHz. Le récepteur est adapté avec une résistance de 50Ω . L'étude est faite à une température $T = 290$ K. Nous souhaitons décoder correctement des signaux dont la puissance est comprise entre un minimum de -80 dBm et un maximum de -40 dBm. Le rapport signal sur bruit (SNR) requis à la sortie du récepteur est 12 dB.

Question 1.1 Calculez la puissance du bruit thermique à l'entrée du récepteur. En déduire la plage du SNR à l'entrée du récepteur.

Question 1.2 Quel est le facteur de bruit (NF) maximum autorisé pour l'ensemble du récepteur ?

L'amplificateur faible bruit (LNA) utilisé a un facteur de bruit de 8 dB et un IIP3 de -20 dBm . l'amplificateur en bande de base possède un facteur de bruit de 30 dB et un IIP3 de -10 dBm.

Question 1.3 En supposant que les autres blocs de la chaîne sont idéaux, quel est le gain minimal pour le LNA G_{min} qui permet d'obtenir le SNR requis à la sortie du récepteur. Discutez brièvement les avantages et les inconvénients d'augmenter le gain du LNA au-delà de G_{min} .

A présent, étudions le filtre passe bas anti-repliement. Ce filtre doit avoir une variation de gain de moins de 0.5 dB dans la bande utile et doit atténuer les fréquences supérieures à 4 MHz de plus de 40 dB.

Question 1.4 Tracez le gabarit d'atténuation de ce filtre et calculez son paramètre de sélectivité Ω_s .

Le filtre est construit en utilisant l'approximation de Tchebycheff. Les polynômes de Tchebycheff sont exprimés par :

$$\forall x \geq 1, T_n(x) = \text{ch}(n \text{ argch}(x)),$$

où $\text{ch}(\cdot)$ représente la fonction cosinus hyperbolique et $\text{argch}(\cdot)$ l'argument du cosinus hyperbolique¹, la fonction inverse de $\text{ch}(\cdot)$.

Question 1.5 En déduire l'ordre minimum du filtre permettant de respecter les spécifications.

A présent, concentrons nous sur le CAN (ou ADC), sa pleine échelle est de ± 1 V et il est échantillonné à 4 MHz. Le signal BLE possède un rapport puissance pic à puissance moyenne (PAPR) de 5^2 .

Question 1.6 Déterminez le gain total requis pour la chaîne.

Question 1.7 Déterminez le nombre minimum de bits nécessaire pour le CAN si tous les autres blocs de la chaîne sont considérés comme idéaux.

1. $\text{argch}(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$ pour $x \geq 1$

2. $\text{PAPR} = 20 \text{Log} \left(\frac{V_{peak}}{V_{rms}} \right)$, où V_{peak} est la tension maximale et V_{rms} la valeur carrée moyenne.

Exercice 2 - Bruit de phase d'une PLL

On utilise pour l'oscillateur local d'un récepteur une boucle de phase (PLL) avec un diviseur de fréquence entier N . On considère, dans un premier temps, que le bruit de phase de la PLL est uniquement lié à l'oscillateur contrôlé de la boucle. Celui-ci est donné, dans la bande de fréquence considérée au voisinage de la fréquence synthétisée f_o , par :

$$L(\Delta f) = -80 - 20 \log_{10}(\Delta f)$$

où L est exprimé en dBc/Hz et Δf est l'écart par rapport à f_o en kHz.

Pour simplifier l'analyse, on supposera dans tout l'exercice que la boucle est du premier ordre (filtre de boucle $H = 1$) et on notera K le gain de boucle

Question 2.1 Quel type de filtrage est exercé par la PLL sur le bruit de phase de l'oscillateur contrôlé ?

Question 2.2 Sachant que la PLL a une fréquence de coupure $f_c = 10 \text{ kHz}$, en déduire le bruit de phase en sortie la boucle pour $\Delta f = 100 \text{ kHz}$.

La fréquence de référence est fournie par un oscillateur à quartz qui a un bruit de phase $L_r = -130 \text{ dBc/Hz}$ à $\Delta f = 10 \text{ kHz}$ de la fréquence de référence. La PLL utilise un diviseur de fréquence par $N=30$.

Question 2.3 Quel type de filtrage est exercé par la PLL sur le bruit de phase de l'oscillateur de référence ?

Question 2.4 Comparer, en sortie de la PLL et à $\Delta f = f_c = 10 \text{ kHz}$ de la fréquence f_o , le bruit de phase de la référence à celui de l'oscillateur contrôlé.

ENGLISH VERSION

Exercice 1 - RF receiver for BLE

Bluetooth low energy (BLE) standard is a low power standard suited for a wide variety of applications such as healthcare, IoT and home entertainment. In this exercise, we will focus on the design of a BLE radio receiver. We will use the " low-IF " architecture shown in figure 2.

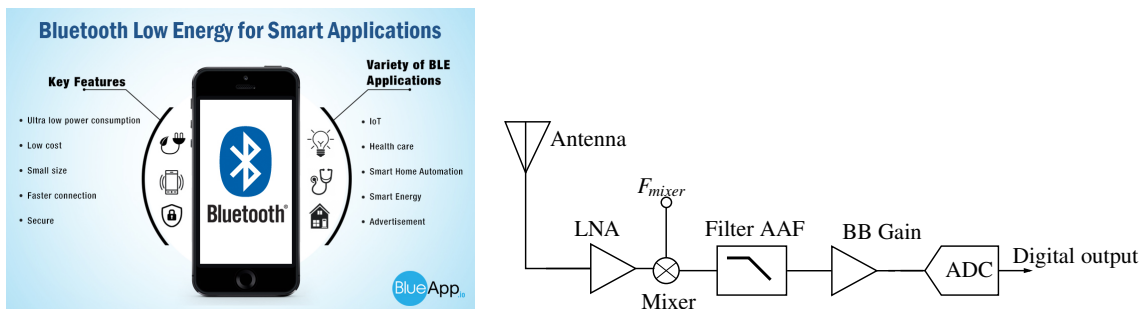


FIGURE 2 – Left) Bluetooth low energy application Right) Rx architecture

The signal bandwidth is $B = 2 \text{ MHz}$ and centered around 2.4 GHz . The receiver is matched with a resistance of 50Ω . We will do our study at a temperature $T = 290 \text{ K}$.

We would like to decode correctly signals with power higher than -80 dBm up to a maximum power of -40 dBm . The needed signal-to-noise ratio (SNR) at the receiver output is 12 dB .

Question 1.1 Calculate the power of the thermal noise at the receiver input. Deduce the range of the signal-to-noise ratio at the receiver input.

Question 1.2 What is the maximum allowed Noise Figure for the receiver.

The used low noise amplifier has a noise figure of 8 dB and an IIP3 of -20 dBm . The baseband amplifier has a noise figure of 30 dB and an IIP3 of -10 dBm.

Question 1.3 Assuming the other blocks of the chain ideal, what is the minimum LNA gain G_{min} that allows to achieve the needed SNR at the receiver output. Discuss briefly the advantages and drawbacks of increasing the LNA gain higher than G_{min} .

Now let us study the anti-aliasing low pass filter. This filter should have a gain variation less than 0.5 dB in the useful bandwidth and shall attenuate frequencies above 4 MHz by more than 40 dB.

Question 1.4 Plot the attenuation template of this filter and calculate its selectivity parameter Ω_s .

The filter is built using a Tchebycheff approximation. Tchebycheff polynomials are expressed by :

$$\forall x \geq 1, T_n(x) = \text{ch}(n \text{ arch}(x)),$$

where $\text{ch}(\cdot)$ represents the hyperbolic cosine function and $\text{arch}(\cdot)$ the hyperbolic cosine argument³, the inverse function of $\text{ch}(\cdot)$.

Question 1.5 Deduce the minimum order of the filter that achieves the desired specifications.

Now let us focus on the ADC, it has a full scale of ± 1 V and is sampled at 4 MHz. The BLE signal has a peak to average power ratio (PAPR) of 5 dB⁴.

Question 1.6 Determine the overall gain needed for the chain.

Question 1.7 Determine the minimum number of bits needed for the ADC if all the other blocks of the chain were considered ideal.

Exercice 2 - Bruit de phase d'une PLL

A phase locked loop (PLL) with an integer N frequency divider is used for the receiver local oscillator.

Firstly, the phase noise of the PLL is considered only linked to the controlled oscillator of the loop. This is given, in the frequency band considered in the vicinity of the synthesized frequency f_o , by :

$$L(\Delta f) = -80 - 20 \log_{10}(\Delta f)$$

where L is expressed in dBc/Hz and Δf is the deviation from f_o in kHz.

To simplify the analysis, we will assume throughout the exercise that the loop is of the first order (loop filter $H = 1$) and we will denote by K the loop gain

Question 2.1 What type of filtering is carried out by the PLL on the phase noise of the controlled oscillator ?

Question 2.2 Knowing that the PLL has a cutoff frequency $f_c = 10 \text{ kHz}$, deduce the phase noise at the loop output for $\Delta f = 100 \text{ kHz}$.

The reference frequency is provided by a crystal oscillator which has a phase noise $L_r = -130 \text{ dBc/Hz}$ at $\Delta f = 10 \text{ kHz}$ of the reference frequency. The PLL uses a frequency divider by $N = 30$.

Question 2.3 What type of filtering is carried out by the PLL on the phase noise of the reference oscillator ?

Question 2.4 Compare, at the output of the PLL and at $\Delta f = f_c = 10 \text{ kHz}$ of the frequency f_o , the phase noise of the reference to that of the controlled oscillator.

3. $\text{arch}(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$ for $x \geq 1$

4. $\text{PAPR} = 20 \text{Log} \left(\frac{V_{peak}}{V_{rms}} \right)$, where V_{peak} is the maximum voltage and V_{rms} the mean square value.