

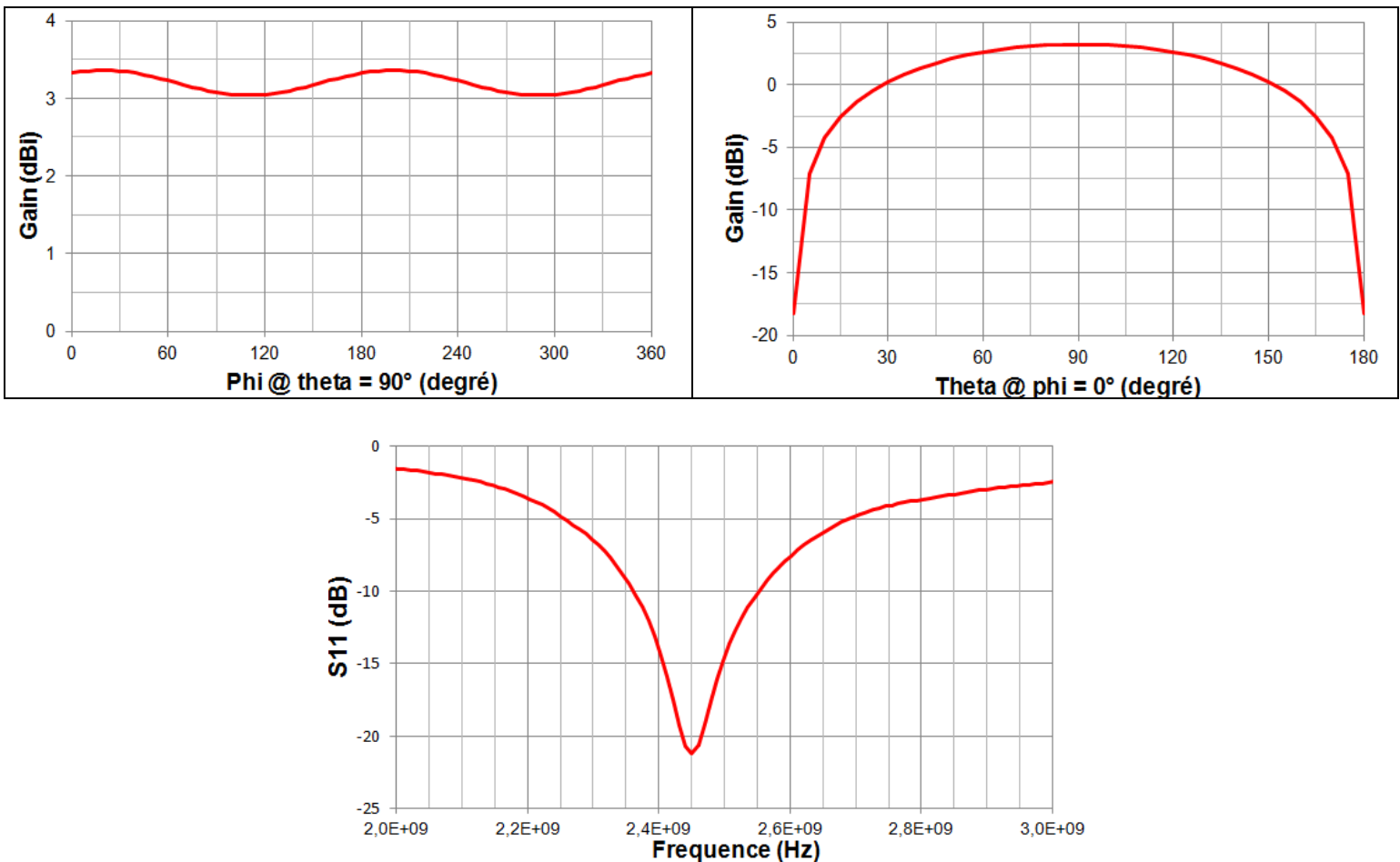
Tous documents autorisés

Le barème est donné à titre indicatif.

Il sera tenu compte des justifications apportées à chaque réponse, ainsi que de la présentation.

On s'intéresse au remplacement d'une antenne pour une application de type Bluetooth Low Energy et son impact sur la portée radio. L'émetteur-récepteur fonctionne sur la bande ISM 2400–2483.5 MHz. La puissance électrique maximale en sortie est de 0 dBm. Le seuil de sensibilité est de -90 dBm. L'impédance d'entrée de l'émetteur-récepteur est de 50 Ω.

L'antenne initiale est de type fouet demi-onde. Son diagramme de rayonnement est présenté ci-dessous ainsi que la mesure de son coefficient de réflexion en entrée. On souhaite la remplacer par une antenne de type IFA (Inverted F Antenna).



1. Quelle est la longueur approximative de l'antenne fouet. (2 pts)

Longueur physique proche de $\lambda/2$ à la résonance, qui se situe à 2400 MHz $\rightarrow L = c/(2 \cdot f_{res}) = 6.25 \text{ cm}$

2. Peut-on négliger les pertes liées à la désadaptation ? (2 pts)

Oui car le coefficient de réflexion est très faible sur la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne (moins de 15 dB \rightarrow pertes = moins de 4 % de la puissance électrique disponible).

3. Quel est le gain de l'antenne initiale ? Calculez le PIRE maximum de l'émetteur. (2 pts)

Environ 3.2 dBi

PIRE max = 3.2 + 0 = 3.2 dBm.

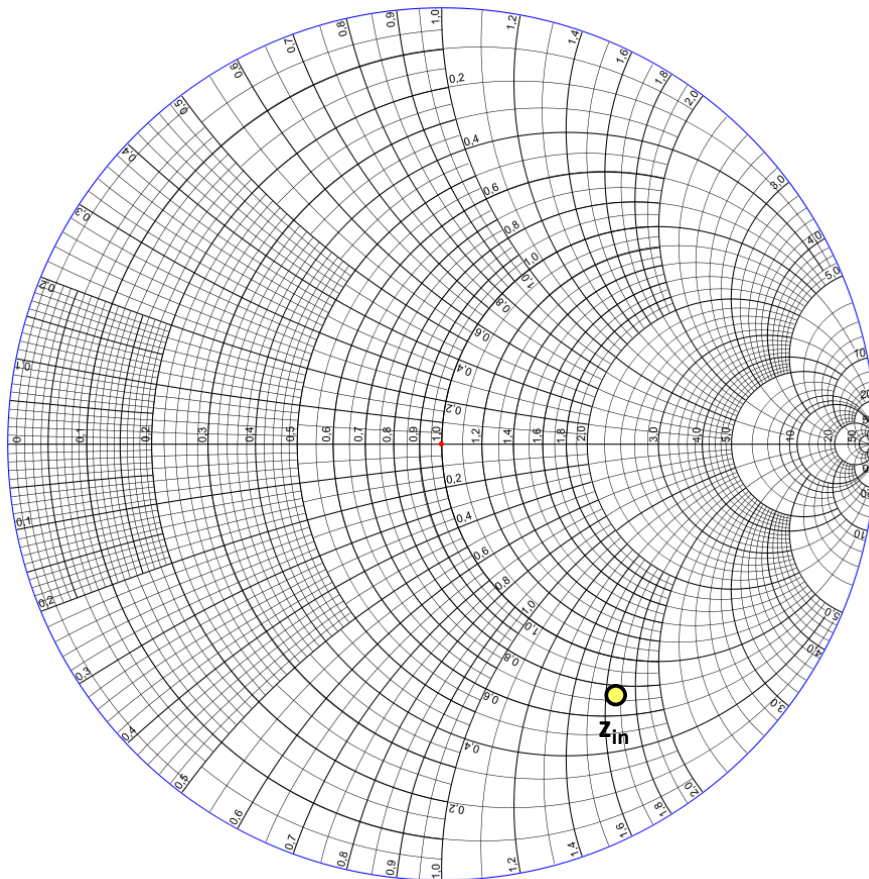
4. Quelle est la longueur approximative de la nouvelle antenne ? Est-elle omnidirectionnelle ? Quelle est sa polarisation ? (3 pts)

Longueur physique proche de $\lambda/4$ à la résonance, donc sa longueur devrait être moitié moindre que l'antenne fouet \rightarrow soit 3.125 cm

Elle est quasi omnidirectionnelle, et sa polarisation est rectiligne, comme l'antenne fouet.

5. Un premier prototype d'antenne est réalisé. L'impédance d'entrée de l'antenne mesurée à 2400 MHz donne : $Z_{in} = 37 - j.84$. Placez le point sur le diagramme de Smith et déterminez le coefficient de réflexion. Quelle est la perte de puissance liée à la désadaptation ? (3 pts)

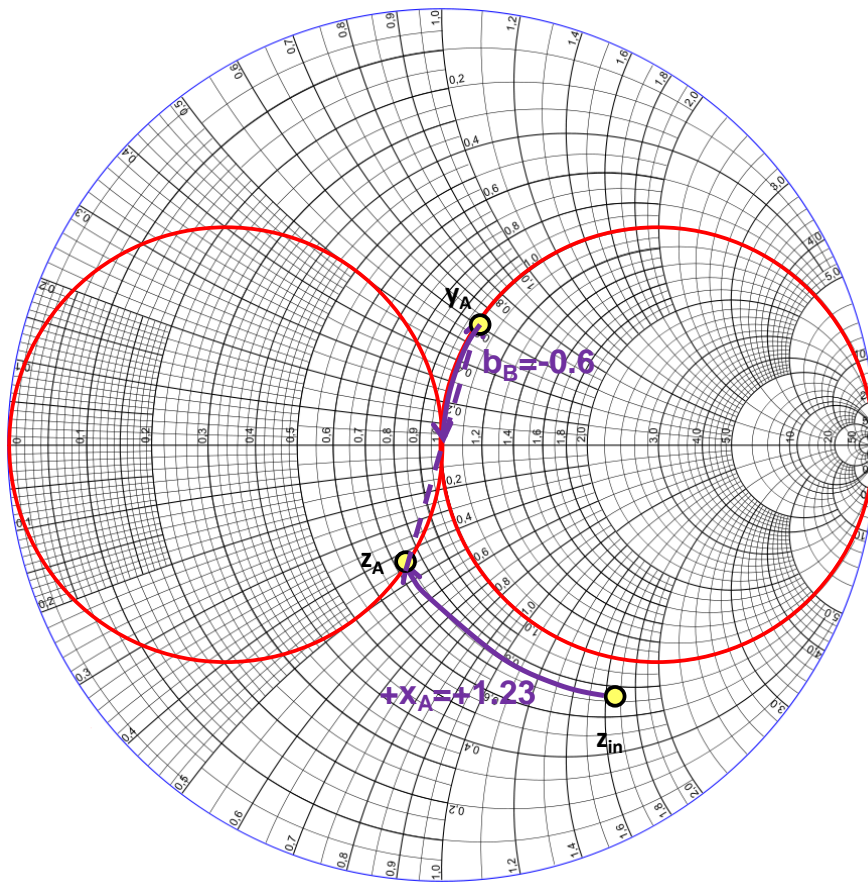
*Impédance réduite : $z_{in} = 0.74 - j.1.68$. Par lecture sur le diag de Smith, le coefficient de réflexion vaut : $\Gamma = 0.41 - j.0.57 \rightarrow |\Gamma| = 0.7$. La perte par désadaptation représente : $100 * |\Gamma|^2 = 50\%$ de la puissance électrique disponible.*



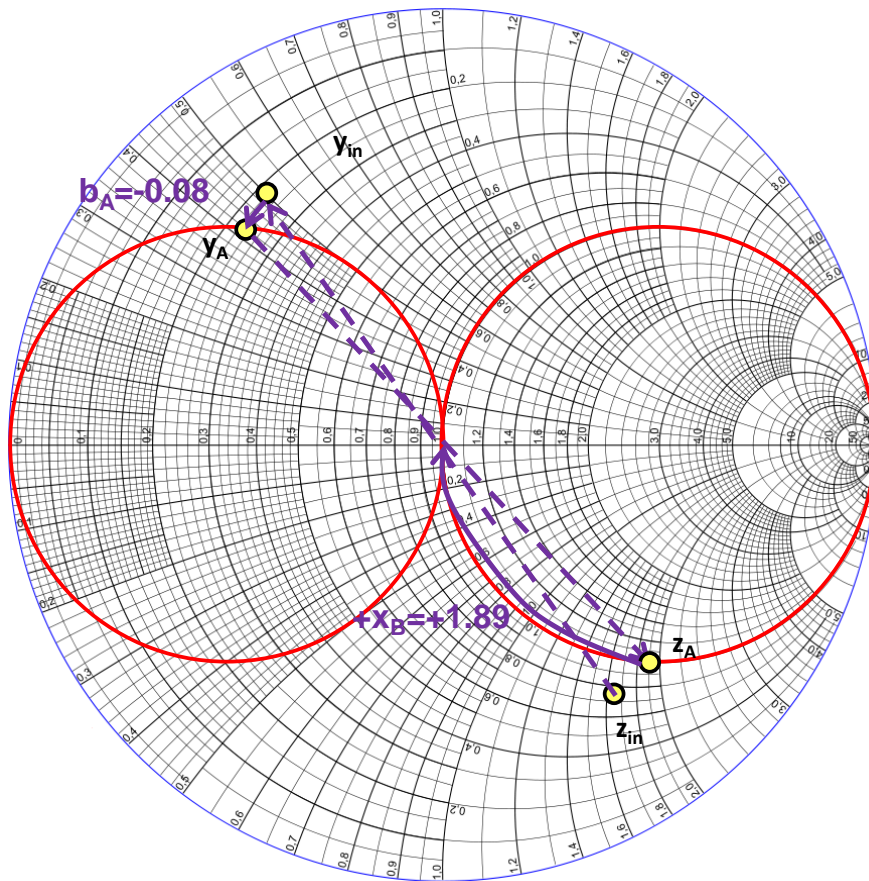
6. En utilisant le diagramme de Smith qui vous est fourni, proposez un réseau d'adaptation réalisé à partir de composants passifs discrets : donnez la structure du réseau et les valeurs des composants. (4 pts)

Deux solutions possibles :

*Solution 1 : ajout d'une inductance série ($x_A = 1.23 \rightarrow L_A = 1.23 \cdot 50 / (2\pi \cdot 2.4 \cdot 10^9) = 4.1 \text{ nH}$)
 puis d'une inductance parallèle ($b_B = -0.6 \rightarrow L_A = 50 / (0.6 \cdot 2\pi \cdot 2.4 \cdot 10^9) = 5.5 \text{ nH}$)*



Solution 2 : ajout d'une inductance parallèle ($b_A = -0.08 \rightarrow L_A = 50 / (0.08 \cdot 2\pi \cdot 2.4 \cdot 10^9) = 41.4 \text{ nH}$) puis d'une inductance série ($x_B = 1.89 \rightarrow L_B = 1.89 \cdot 50 / (2\pi \cdot 2.4 \cdot 10^9) = 6.3 \text{ nH}$)



7. Une fois le réseau d'adaptation installé, une mesure de gain a donné la valeur suivante : 0.5 dBi. Calculez les pertes de propagation maximales du système, avec l'antenne initiale et la nouvelle antenne. (2 pts)

*Antenne initiale : $L_{pmax} = 0 + 90 + 2 * 3.2 = 96.4 \text{ dB}$*

*Nouvelle antenne : $L_{pmax} = 0 + 90 + 2 * 0.5 = 91 \text{ dB}$*

8. En considérant le modèle de propagation en espace libre, comparez les portées radio attendues lorsque l'antenne initiale puis la nouvelle antenne est montée sur l'émetteur-récepteur. (2 pts)

En espace libre : $d_{max} (km) = 10^{((L_{pmax} - 32.4 - 20 \log(f(MHz))) / 20)}$

Antenne initiale : $d_{max} = 0.37 \text{ km} = 370 \text{ m}$

Nouvelle antenne : $d_{max} = 0.199 \text{ km} = 199 \text{ m}$