SUJET

**Option B Électronique et Communication**

Partie 2 Sciences Physiques

Durée 2h - Coefficient 2

Le sujet est composé de 4 parties indépendantes :

Partie A : capteur infrarouge de détection de flamme.

Partie B : suppression de fausses alertes.

Partie C : ligne de transmission

Partie D : décodage 100BASE-TX

Le détecteur de flamme a pour rôle d’avertir le plus tôt possible de la naissance d’un feu. Pour ce faire, il détecte les rayonnements infrarouges caractéristiques émis par les molécules de dioxyde de carbone (CO2) excitées qui sont produites durant la combustion de composés carbonés (n-heptane, méthane, propane…).

**Figure 1**

 Détecteur de flamme de la centrale de sécurité

(extrait de la documentation technique Chubb)

La chaîne de traitement du détecteur de flamme est présentée à la **figure 2**.

Rayonnements
électromagnétiques

Alerte

Capteur
infrarouge
accordé

Microcontrôleur

Convertisseur
analogique
numérique

Filtre
numérique

Comparateur

Filtre
anti-
repliement

**Figure 2**

## Capteur infrarouge de détection de flamme

#### Justification de la plage de longueurs d’onde détectée par le capteur

Les vibrations de la molécule de CO2 s’accompagnent d’émissions dans la bande infrarouge à des longueurs d’ondes caractéristiques de sa géométrie. Ce phénomène étant réversible, cette molécule est sensible à ces mêmes longueurs d’ondes en absorption.

La courbe de la **figure 3** représente l’absorbance de la molécule de CO2 en fonction du nombre d’onde σ défini par  , où λ est la longueur d’onde.

**Figure 3**

La Figure 4 rappelle les noms donnés aux différentes bandes de longueurs d’ondes infrarouges dans le spectre électromagnétique.

**Figure 4**

λ [µm]

8

3

15

0,75

1,4

infrarouge proche

infrarouge
ondes courtes

infrarouge
ondes moyennes

infrarouge
grandes ondes

infrarouge
lointain

L’efficacité maximale de détection de la présence du CO2 correspond au maximum de la courbe d’absorbance de la molécule.

1. Relever sur la **figure 3**, la plage de nombre d’onde [σmin; σmax] correspondant à ce maximum d’absorbance.
2. Déduire la plage de longueurs d’ondes [λmin ; λmax] associée.
3. Indiquer le nom de la bande de longueurs d’ondes infrarouges à laquelle appartient ce rayonnement.

## Suppression de fausses alertes

Le rayonnement des flammes à détecter a une fréquence de scintillement caractéristique comprise dans la plage 7 Hz à 15 Hz. Mais d’autres sources peuvent apparaître dans le spectre du signal issu du capteur. On considère ici les 2 sources perturbatrices suivantes :

* éclairage ambiant naturel : ajout d’une composante continue,
* alimentation secteur : ajout d’une composante à 50 Hz.

La suppression de ces fréquences parasites s’effectue à l’aide d’un filtre numérique.

#### Synthèse du filtre numérique

Le but est de synthétiser un filtre numérique dont le comportement correspond à celui du filtre analogique dont la transmittance isochrone vaut :



où :

* Q est le coefficient de qualité défini par  ;
* f0 = 10 Hz est la fréquence de résonance ;
* Δf est la bande passante à -3 dB.

Le gain G(f) de ce filtre analogique est représenté sur le **document réponses DR-SP1**.

1. Donner la nature de ce filtre.
2. Déterminer le coefficient de qualité Q du filtre analogique en faisant apparaître les constructions géométriques sur le **document réponses DR-SP1**.

L’approximation bilinéaire permet d’obtenir le filtre numérique dont la transmittance en z est :



* X(z) et Y(z) sont respectivement les transformées en z des signaux d’entrée xn et de sortie yn du filtre.

xn

Filtre

numérique

yn

* Les signaux sont échantillonnés à une fréquence fe = 100 Hz.

**Figure 5**

1. Déterminer la relation de récurrence liant les échantillons de sortie yn, yn-1, yn-2 et les échantillons d’entrée xn, xn-1, xn-2.

La réponse indicielle de ce filtre est dessinée sur la **figure 6**.

**Figure 6**

1. Donner, en la justifiant, la nature du filtre numérique (passe-bas, passe-haut, passe-bande ou coupe-bande) en utilisant la **figure 6**.

La réponse impulsionnelle de ce filtre est représentée sur la **figure 7**.

 **Figure 7**

1. Préciser si le filtre est stable.
2. Justifier votre réponse sachant que la transmittance du filtre numérique a deux pôles :  et .

La représentation du module de la fonction de transfert en fonction de la fréquence est donnée sur le graphe du **document réponses DR-SP2**.

1. Représenter les limites de la bande passante Δf = [fcmin ; fcmax] du filtre numérique sur le **document réponses DR-SP2** et en déduire la valeur du coefficient de qualité Q’.
2. Justifier que le filtre remplit le cahier des charges.

## Ligne de transmission

La communication de données entre la centrale de sécurité et l’extérieur se fait par le réseau informatique Ethernet 100BASE-TX du barrage hydroélectrique.

Afin de valider certaines caractéristiques des câbles Ethernet utilisés sur le réseau informatique de la centrale, on émet un signal impulsionnel à l’entrée d’une des 4 paires torsadées, d’une longueur de 25 m, refermée sur une résistance R de valeur variable.

**Figure 8** – Dispositif de mesure sur une paire torsadée

GBF

R

Y

Les chronogrammes de la **figure 9** et de la **figure 10** ci-après ont été obtenus en entrée de la ligne pour deux valeurs de résistance R :

|  |  |
| --- | --- |
|  **Figure 9** - R = 32 Ω 0,5V/div 50ns/div | 0,5V/div 50ns/div**Figure 10** - R = 104 Ω |

On rappelle que la vitesse d’une onde dans le vide vaut c = 3.108 m∙s-1.

1. Donner, en la justifiant, la valeur de l’impédance caractéristique ZC à partir de ces chronogrammes.
2. Déterminer la vitesse v du signal dans la paire torsadée en utilisant le chronogramme approprié.
3. Préciser si les valeurs de ZC et *v* trouvées précédemment sont cohérentes avec celles de la **documentation SP1 (page DOC21)**.

## Décodage 100BASE-TX

Le réseau informatique de la centrale utilise la norme Ethernet 100BASE-TX.

Cette dernière spécifie un processus de décodage en 3 étapes (voir figure 11) réalisé au niveau de la couche physique du modèle OSI.

{dk}

{ek}

u(t)

Décodage

MLT-3

Suppression du brouillage

Décodage

5B4B

{fk}

{bk’}

Générateur de bruit pseudo-aléatoire

 **Figure 11**

Processus de décodage 100BASE-TX

#### Validation de la bande-passante du câble

Le codage MLT-3 est une variante du codage NRZI (Non Retour à Zéro Inversé) qui utilise 3 niveaux de tension : à chaque bit est associée une tension constante d’une durée Tb (période bit) :



Avec ce type de codage, la fréquence fondamentale maximale est obtenue lors de la transmission d’une succession de 1 (ligne au repos : IDLE) comme représenté sur la **figure 12**.

**Figure 12**

Oscillogramme d’une ligne au repos (non brouillée)

1. Donner un avantage du code MLT-3 par rapport à un code NRZ (codage d’un 0 par 0V et d’un 1 par 1V) lors de la transmission d’une longue suite de 1.
2. Mesurer la fréquence f1 du fondamental du signal de repos périodique de la **figure 12.**

Le fondamental et l’harmonique de rang 3 suffisent pour réaliser un décodage de trame correct.

1. Montrer, à l’aide de la **documentation SP1,** que l’atténuation pour l’harmonique de rang 3 dans un câble de longueur 25 m est de l’ordre de 8 dB.
2. Relever la période bit Tb sur la **figure 12** et déduire la valeur de la fréquence de l’horloge de transmission fb.
3. Décoder la suite de bits {dk} correspondant au signal Ethernet du **document réponses DR-SP3**.

#### Diminution des perturbations électromagnétiques

L’opération de suppression du brouillage nécessite la génération d’une suite de données aléatoires par un générateur (LFSR : registre à décalage à rétroaction linéaire. Ce générateur est constitué comme indiqué sur la figure 13.



**Figure 13**

* une partie filtre numérique a pour relation de récurrence : bk = bk-9 + bk-11 ;
* un bloc Mod2 réalise l’opération : 
* Les 11 premières valeurs de bk définissent de manière unique la suite d’échantillons de bruit {b’k} qui se répète au bout de 2047 échantillons.
1. Compléter le tableau d’échantillons {bk} et {b’k} sur le **document réponses DR-SP4**.

La suppression du brouillage s’obtient en effectuant un ou-exclusif (xor) bit à bit entre les données {dk} issues du décodeur MLT-3 et la séquence de bruit pseudo-aléatoire synchronisée {b’k} (la technique de synchronisation du décodeur n’est pas abordée ici).

1. Réaliser l’opération de suppression du brouillage sur les données {dk} en complétant le tableau du **document réponses DR-SP5**.

Les spectres de puissance d’une ligne au repos (transmission d’une séquence de 1) avec et sans brouillage sont fournis respectivement sur les **figure 14** et **figure 15**.

**Figure 14**

Spectre d’une ligne au repos (IDLE) codée en MLT-3 **sans brouillage**

**Figure 15**

Spectre d’une ligne au repos (IDLE) codée en MLT-3 **avec brouillage**

Les signaux créent d’autant plus de perturbations électromagnétiques que leurs spectres contiennent des raies hautes fréquences avec une puissance crête importante.

1. Comparer les puissances maximales pour les deux spectres représentés **figure 14** et **figure 15**.
2. Comparer les fréquences maximales pour les deux spectres de la **figure 14** et **figure 15**.
3. Conclure sur l’intérêt du brouillage.

#### Débit utile de la norme 100BASE-TX

Le principe du décodage 5B4B consiste à décomposer la séquence {ek} en groupe de 5 bits consécutifs puis à les interpréter à l’aide d’un tableau de correspondance dont deux lignes sont données en exemple :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Code** | **Avant décodage** | **Après décodage** |
| 3 | 10101 | 0011 (donnée) |
| B | 10111 | 1011 (donnée) |

On constate que 4 bits de données utiles proviennent de 5 bits de séquence {ek}.

1. Sachant que les bits {ek} avant décodage sont reçus avec un débit de 125 Mbps, déterminer le débit Du de données utiles {fk}après décodage 5B4B.
2. Conclure sur l’inconvénient de ce codage.