



**Electrical engineering**

2 hours

The use of a calculator is allowed

You have to pick **3** topics among the **5** proposed in this text.

You are not allowed to take more than **3** topics.

Please answer to each of the 3 topics you have chosen on different paper sheets.

**Topic 1** Analog electronics

**Topic 2** Electric Power

**Topic 3** Logic and Digital Systems

**Topic 4** Automation and Systems

**Topic 5** Signal Processing

# Topic 1 Analog electronics

This topic is composed of 3 exercises. If you choose this topic, you have to do all the exercises.

## Exercise 1:

The circuit presented in figure 1 is a key block for many applications.

- 1) What is the global function achieved by the circuit presented in figure 1.
- 2) What is the purpose of each block (1), (2), (3) and (4)?

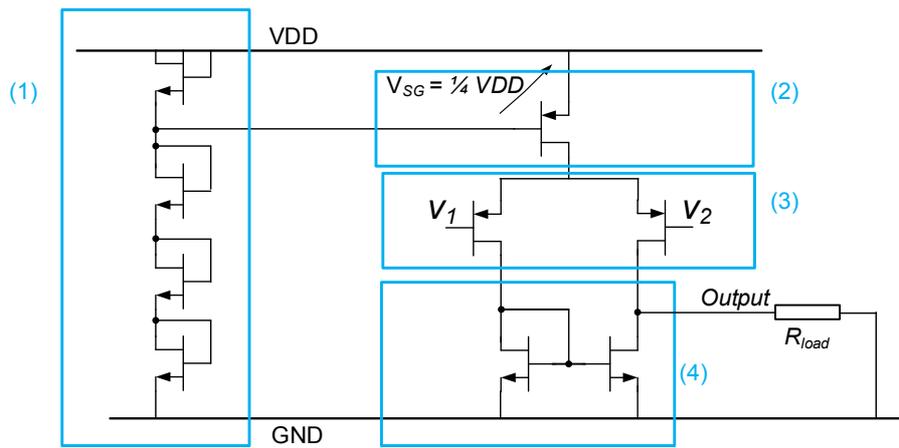


Figure 1

## Exercise 2:

The circuit presented in figure 2 is an adder circuit. It has the following data:  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ,  $K_n = \mu_n C_{ox} = 250 \mu\text{A}/\text{V}^2$ ,  $E_{g10} = E_{g20} = 1,5 \text{ V}$ ,  $V_T = 1 \text{ V}$ ,  $W/L = 10$ .

We recall that the current in the transistors in saturation region can be expressed as:

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2 L} (V_{GS} - V_T)^2$$

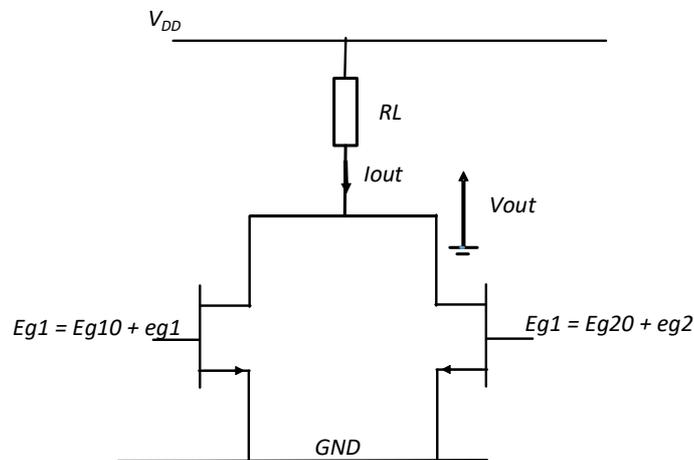


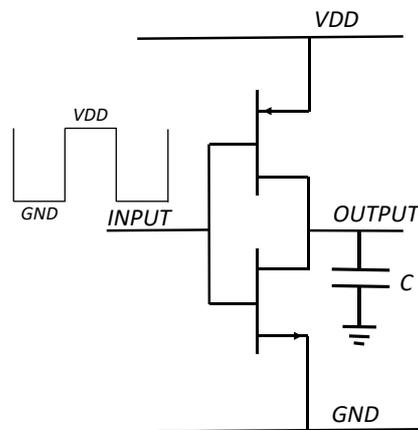
Figure 2: Adder circuit

- 1) Calculate the bias point of this circuit (map of potentials and currents)
- 2) Give the expression of  $V_{out}$ , depending on  $g_{m1}$ ,  $g_{m2}$ ,  $E_{g10}$  and  $E_{g20}$ , based on a linear model.
- 3) Calculate the output impedance

**Exercise 3:**

Consider the circuit presented in figure 3.  $C$  models the output parasitic capacitance of the circuit.

- 1) What is the function achieved by this circuit?
- 2) In which region these transistors are functioning?
- 3) Provide and justify the expression of the rise time ( $t_{PLH}$ ) and the fall time ( $t_{PHL}$ )



**Figure 3**

## Topic 2 Electric Power

A DC machine with a rotor winding resistance  $R_a = 0.6$  ohm and a field winding resistance  $R_f = 0.4$  ohm is to be used as a motor to power a fan. When the motor is powering the fan and when its armature is supplied by a DC source at 220V, it draws 33,3 A and turns at a speed of 700 rpm. The magnetic circuit can be considered to behave linearly and the mechanical and magnetic losses may be neglected.

1. Calculate the machine counter-emf  $E$  and the voltage coefficient  $k\Phi$  in V/s.
2. Calculate the power and torque delivered to the fan, and the efficiency of the motor neglecting this time any losses in the field winding.
3. Knowing that the field winding is supplied at a voltage of 13.3V, calculate the value of the constant  $I$  (where  $k\Phi = I I_f$ ), then calculate the overall efficiency of the motor.
4. The fan turns at 700 rpm when the torque calculated in part (2) is applied. The fan requires 7 N·m at startup and its torque is proportional to the square of its speed plus this constant value. We now want the fan to run at 500 rpm. Calculate the voltage needed to be applied to the rotor windings to maintain this speed. Calculate the value for overall efficiency of the motor at this rotating speed.
5. Instead of changing the armature voltage to get the rotating speed value equal to 500 rpm, we decide to change the field winding voltage. Calculate the value of the field winding voltage to be applied when the armature voltage is maintained at 220 V. What will be the motor overall efficiency in these conditions?

# Topic 3 Logic and Digital Systems

**Important: as you are requested to complete a timing diagram directly on the examination sheet, do not forget to write your name on it and attach it to your examination papers. Please use blue or red ink to complete the timing diagrams in order to make your contributions clearly visible.**

## Synchronous edge detection system

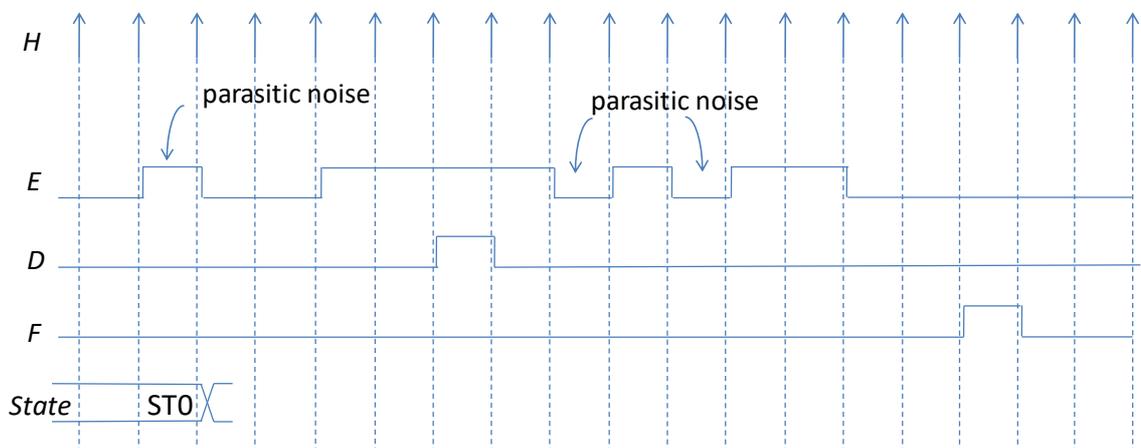
The purpose is to detect the beginning (meaning the transition from 0 to 1) and the end (meaning the transition from 1 to 0) of an external pulse signal E (that may be noisy) thanks to a detection circuit synchronous with a clock H. The output signals of the detector should be one clock period width pulses:

- D indicating the recognition of a relevant positive pulse on E
- F indicating the recognition of the end of this pulse

Signal E is assumed to be synchronous with H, meaning that there is no transition of E at the time of an active edge of the clock and that the setup and hold time constraints are satisfied. Furthermore the width of relevant positive pulses (E at 1) are quite long compared to a clock period.

The parasitic noises that disturb E are on the contrary rather short and cause parasitic pulses with a width close to a clock period, so that patterns like « 0 1 0 » or « 1 0 1 » can be observed (see Figure 2)

In order to take account of the relevant signal properties and those of the parasitic signal, the detector uses a « double test » technique, meaning that it always considers two consecutive E samples to recognize a relevant behavior. Thus the patterns like « 0 1 0 » or « 1 0 1 » will not cause pulses on the outputs D or F.



1. Do the specifications make it possible to use a Moore machine to design the detector?

2. Draw the state diagram of the detector. The states will be denominated ST<sub>0</sub> to ST<sub>n-1</sub> in the order in which they appear in figure 2.

How many separate states *n* are needed ?

Give the state table and the output table.

Complete the behavior of the detector state in the figure.

3. Synthesize the machine by choosing a one-hot coding technique (1 bit per state) so that State<sub>0</sub>=00...01, State<sub>1</sub>=00...10, etc. Rising-edge triggered D flip-flops will be used for the state variables. It is assumed that the system is initialized in State<sub>0</sub> upon the general system Reset. Indicate the additional inputs that the flip-flops should have in order to achieve this appropriate initialization.

Note: For the synthesis, signal  $\bar{E}$  is available and perfectly in opposition of phase with E.

Determine the excitation equations of D flip-flops and the output logic expressions. Provide the machine diagram with assembling flip-flops and gates by using only those that are listed in Table I.

	tpLH (ns)			tpHL (ns)			tset-up (ns)	thold (ns)
	min	typ	max	min	typ	max		
D-type Flip-Flop D to Clock Pulse CP to Q or \Q	-	12	20	-	18	30	20	5
3-input OR Gate	-	15	20	-	15	20		
3-input AND Gate	-	9	13	-	8	11		
Inverter	-	5	8	-	5	8		

**Table I**

4. Determine the maximal clock frequency that guarantees a correct operation of the synchronous detector.

5. If signal E is not synchronous to the clock, propose a solution to re-synchronize it. Why do we have to do this re-synchronization.

# Topic 4 Automation and Systems

In this problem we consider a simplified and linearized model of the thermal behavior of a room. This model is specified by the block diagram in figure SS.1:

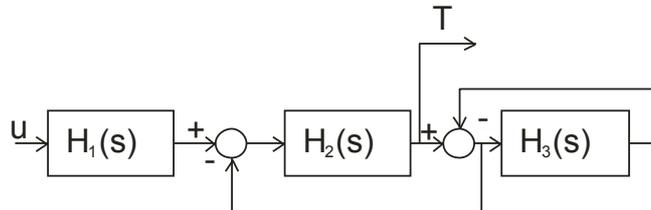


Figure SS.1 : Block Diagram model

where:

$$H_1(s) = \frac{1}{1+10s} \text{ models the behavior of the heater,}$$

$$H_2(s) = \frac{1}{1+60s} \text{ models the behavior of the air in the room,}$$

$$H_3(s) = \frac{1}{1+200s} \text{ models the behavior of walls.}$$

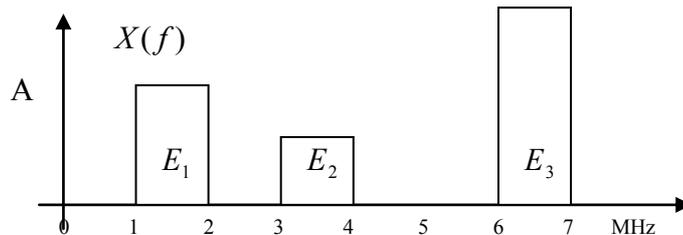
- 1) Give the formal equation (using  $H_1(s)$ ,  $H_2(s)$  and  $H_3(s)$ ) of the transfer function  $\frac{T(s)}{U(s)}$  and its numerical expression.
- 2) Give the Bode plot of the frequency response of the system  $\frac{T(s)}{U(s)}$ .
- 3) Give a state space model of this system.
- 4) A proportional controller is added. This system generates the control  $u$  relative to the difference between the temperature reference and the mesure temperature
 
$$u = k(T_c - T)$$
  - a) Give the block diagram of the new system (with input  $T_c$ ) composed by the room and the controller.
  - b) Give the transfer function of the system  $\frac{T(s)}{T_c(s)}$
  - c) Give the final value of the temperature  $T$  when the reference  $T_c$  is a step with amplitude 2.
  - d) Is the system  $\frac{T(s)}{T_c(s)}$  stable for all values of  $k$ ?

# Topic 5 Signal Processing

*There are 2 exercises in this topic. If you choose this topic, you have to do the 2 exercises.*

## Exercise 1.

Consider a radio signal obtained by the presence or not of transmitters using the following bands: [1MHz, 2MHz], [3MHz, 4MHz], [6MHz, 7MHz].



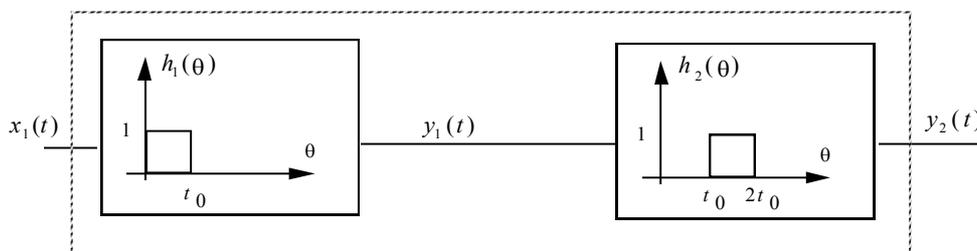
We want to detect the presence of transmitters using FFT and weighting the acquired sequence by a Hanning window.

1. The chosen sampling frequency is 16MHz. Justify this choice.
2. Choose the smallest sequence length of acquisition to assure the separation of different transmitters.
3. What is the advantage of using a Hanning window instead of a rectangular window?
4. Draw approximately the shape of the obtained TFR.

Reminder: with normalized frequency, the Fourier transform of a Hanning window of length  $N$ , can be approached by a triangle of unity area and height  $N/2$ .

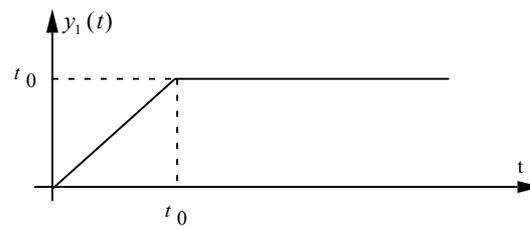
## Exercise 2.

Consider the LTI continuous-time system obtained with the connection of the following two subsystems:



1. What is the time support of the global impulse response  $h(\theta)$ ? Draw  $h(\theta)$  and then the step response.

2. We observe in the output of the first subsystem the following signal:



To which input signal does this output correspond to?

3. Determine  $TF\{y_1(t)\}$  using the properties of the differentiation.



**Electrical engineering**

2 heures

L'utilisation de la calculatrice est autorisée

Vous devez choisir **3** sujets parmi les **5** proposés dans ce texte.

Vous ne pouvez pas prendre plus de **3** sujets.

Veillez répondre à chacun des 3 sujets choisis sur des copies séparées.

**Sujet 1** Electronique analogique

**Sujet 2** Electrotechnique

**Sujet 3** Systèmes logiques et numériques

**Sujet 4** Automatique et systèmes

**Sujet 5** Traitement du signal

# Sujet 1 Electronique analogique

Ce sujet est composé de 3 exercices. Si vous choisissez ce sujet vous devez faire tous les exercices.

## Exercice 1:

Le circuit présenté en figure 1 est fondamental pour plusieurs applications

- 1) Quelle est sa fonction globale?
- 2) Quelle est la fonction de chaque sous-bloc (1), (2), (3) et (4)?

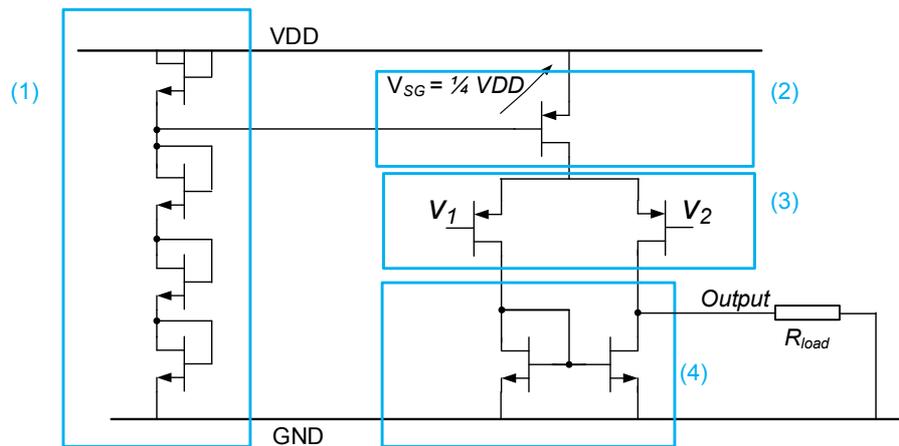


Figure 1

## Exercice 2:

Le circuit de la figure 2 est un additionneur. Il a les données suivantes:  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ,  $K_n = \mu_n C_{ox} = 250 \mu\text{A}/\text{V}^2$ ,  $E_{g10} = E_{g20} = 1,5 \text{ V}$ ,  $V_T = 1 \text{ V}$ ,  $W/L = 10$ .

Nous rappelons que le courant dans le transistor en saturation peut être exprimé de la manière suivante:

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2 L} (V_{GS} - V_T)^2$$

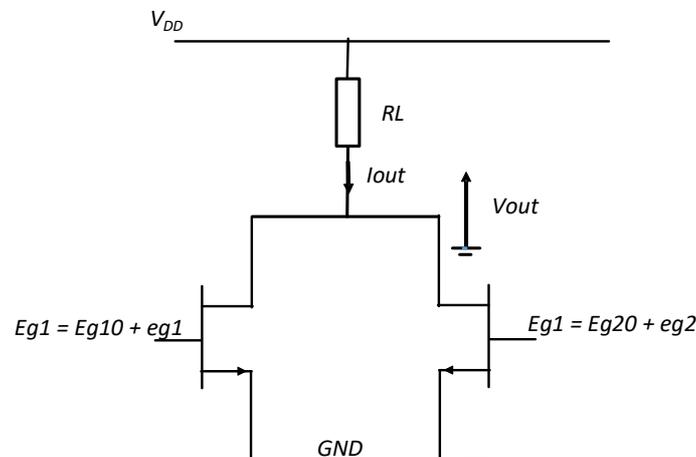


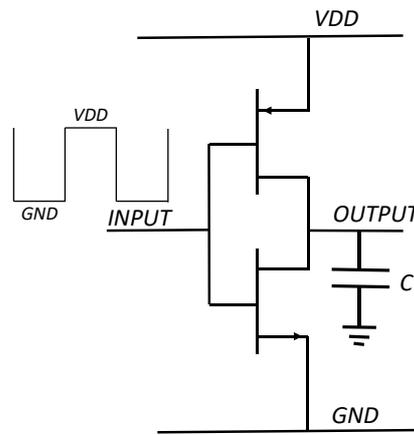
Figure 2: Adder circuit

- 1) Calculer le point de polarisation de ce circuit (carte des potentiels et des courants).
- 2) Donner l'expression  $V_{out}$ , dépendant de  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $E_{g10}$  et  $E_{g20}$ , avec un modèle linéaire.
- 3) Calculer l'impédance de sortie.

**Exercise 3:**

Considérons le circuit de la figure 3.  $C$  représente la capacité de sortie parasite du circuit.

- 1) Quelle est la fonction de ce circuit?
- 2) Dans quel régime ces transistors fonctionnent-ils?
- 3) Donner en justifiant l'expression du temps de montée ( $t_{PLH}$ ) et de descente ( $t_{PHL}$ )



**Figure 3**

## Sujet 2 Electrotechnique

Une machine à courant continu dont la résistance du circuit induit au rotor est  $R_o = 0.6$  ohm et la résistance du circuit inducteur vaut  $R_f = 0.4$  ohm est utilisé pour entrainer un ventilateur. Lorsque le moteur entraine le ventilateur et que son circuit induit est alimenté par une source à courant continu valant 220 V, il consomme un courant de 33,3 A et tourne à 700 t/mn. Le circuit magnétique sera considéré comme ayant un comportement linéaire et les pertes d'origine magnétique seront négligées.

1. Calculer la force électromotrice  $E$  et le coefficient de fem  $k\Phi$  en V/s.
2. Calculer la puissance et le couple fournis au ventilateur, ainsi que le rendement du moteur en négligeant ici les pertes dans le circuit inducteur.
3. Sachant que l'enroulement inducteur est alimenté sous une tension de 13,3 V, calculer la valeur de la constante  $I$  (où  $k\Phi = I I_f$ ), calculer aussi le rendement global du moteur.
4. Quand le couple calculé à la question 2 est appliqué par le moteur, le ventilateur tourne à 700 t/mn. Le ventilateur demande 7 Nm pour démarrer. Son couple est la somme d'une part proportionnelle au carré de la vitesse avec cette valeur constante demandée pour le démarrage. On souhaite maintenant faire tourner le ventilateur à 500 t/mn. Calculer la tension à appliquer aux bornes des balais du rotor pour avoir cette vitesse. Calculer la nouvelle valeur du rendement global du moteur à cette vitesse de rotation.
5. Au lieu de changer la valeur de la tension d'alimentation du rotor pour avoir une vitesse de 500 t/mn, on choisit de changer la valeur de la tension aux bornes du circuit inducteur. Calculer la valeur de la tension à appliquer aux bornes du circuit inducteur pour amener la vitesse à 500 t/mn en ayant la tension aux bornes des balais maintenue à 220 V. Quelle sera la valeur du rendement global du moteur dans ces conditions ?

# Sujet 3 Systèmes logiques et numériques

**Important: il vous est demandé de compléter un diagramme temporel directement sur la feuille du sujet, n'oubliez donc pas d'écrire votre nom dessus et de la joindre à votre copie. Merci d'utiliser de l'encre bleu ou rouge pour compléter le diagramme temporel afin de rendre votre contribution clairement visible.**

## Système de détection synchrone de front

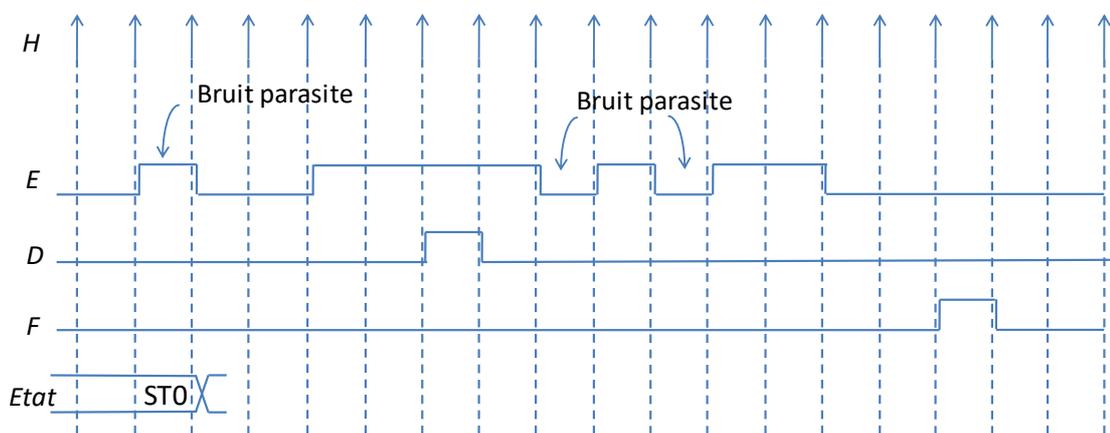
Le but est de détecter le début (c'est à dire la transition de 0 à 1) et la fin (c'est à dire la transition de 1 à 0) d'un signal externe E (qui peut être bruité) grâce à un circuit de détection synchrone, d'horloge H. Le signal de sortie du détecteur doit être une impulsion rectangulaire de largeur la période d'horloge :

- D indique la reconnaissance d'une véritable impulsion sur E
- F indique la reconnaissance de la fin de cette impulsion

Le signal E est supposé synchrone avec H, ce qui signifie qu'il n'y a pas de transition de E lors d'un front de l'horloge et que les contraintes sur les temps de setup et de hold sont satisfaites. De plus la largeur d'une véritable impulsion positive (E à 1) est suffisamment longue par rapport à une période d'horloge.

Le bruit parasite qui perturbe E est au contraire constitué d'impulsions plutôt courtes avec une largeur proche de la période d'horloge, ce qui fait que des patterns de la forme "0 1 0" ou "1 0 1" peuvent être observés (voir figure 2).

Afin de prendre en compte le fait qu'il y ait de véritables impulsions et d'autres qui proviennent d'un bruit parasite, le détecteur utilise la technique du « double test », ce qui signifie qu'il considère toujours deux échantillons successifs sur E afin de reconnaître le signal d'intérêt. Ainsi des patterns tels que « 0 1 0 » ou « 1 0 1 » ne causeront pas d'impulsions sur D ou F.



2.1 Est-ce que ces spécifications permettent d'utiliser une machine de Moore pour concevoir le détecteur ?

2.2 Dessiner le diagramme d'état du détecteur. Les états seront nommés ST0 à ST<sub>n-1</sub> dans l'ordre où ils apparaissent dans la figure 2.

Combien d'état  $n$  doivent être définis?

Donner la table des états et la table des sorties.

Compléter l'allure des états du détecteur sur la figure.

2.3 Synthétiser la machine en choisissant une technique de codage one-hot (1 bit par état) de tel manière à ce que State0=00...01, State1=00...10, etc. Des bascules D déclenchées sur fronts montants seront utilisées pour les variables d'état. Nous supposerons que le système est initialisé dans l'état State0 lors d'un Reset général du système. Indiquer les entrées additionnelles que les bascules flip-flop devraient avoir afin de pouvoir réaliser cette initiation.

Note: Pour la synthèse, le signal  $\bar{E}$  est disponible et parfaitement en opposition de phase avec E.

Déterminer les équations d'excitation des bascules flip-flops et les expressions des sorties logiques. Donner le diagramme de la machine en utilisant uniquement des bascules et des portes listées dans la Table I.

	tpLH (ns)			tpHL (ns)			t_setup (ns)	t_hold (ns)
	min	typ	max	min	typ	max		
D-type Flip-Flop D to Clock Pulse CP to Q or $\bar{Q}$	-	12	20	-	18	30	20	5
Porte 3-entrées OR	-	15	20	-	15	20		
Porte 3-entrées AND	-	9	13	-	8	11		
Inverseur	-	5	8	-	5	8		

**Table I**

2.4 Déterminer la fréquence d'horloge maximale qui garantit le bon fonctionnement du détecteur synchrone.

2.5 Si le signal E n'est pas synchrone avec l'horloge, proposer une solution pour le re-synchroniser. Pourquoi est-il nécessaire de faire cette re-synchronisation ?

## Sujet 4 Automatique et Systèmes

Dans ce problème on considère un modèle simplifié et linéarisé du comportement thermique d'une zone dans un bâtiment. Ce modèle est représenté par le schéma bloc de la figure SS.1:

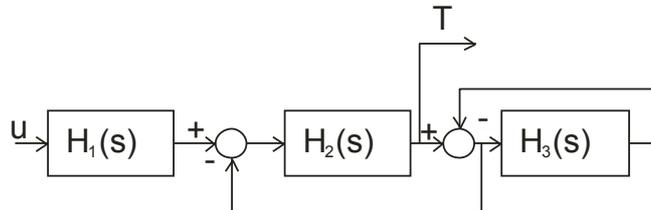


Figure SS.1 : représentation Schéma block du système

Où :

$$H_1(s) = \frac{1}{1+10s} \text{ correspond au modèle du convecteur,}$$

$$H_2(s) = \frac{1}{1+60s} \text{ correspond au modèle de l'air,}$$

$$H_3(s) = \frac{1}{1+200s} \text{ correspond au modèle des murs.}$$

- 1) Donner l'expression formelle (en fonction de  $H_1(s)$ ,  $H_2(s)$  et  $H_3(s)$ ) de la fonction de transfert  $\frac{T(s)}{U(s)}$  ainsi que son expression numérique.
- 2) Donner la représentation de Bode du comportement fréquentiel de ce système  $\frac{T(s)}{U(s)}$ .
- 3) Proposer une représentation d'état pour ce système.
- 4) On ajoute un contrôleur proportionnel au système. Celui-ci génère un signal de commande  $u$  en fonction de la différence entre la température dans la pièce et la température de consigne :

$$u = k(T_c - T)$$

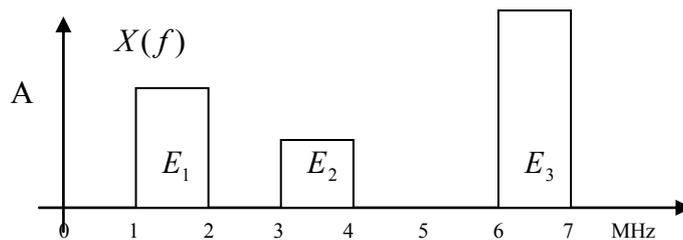
- a) Donner le schéma bloc correspondant à ce nouveau système (d'entrée  $T_c$ ) associant le contrôleur et la zone thermique.
- b) Donner la fonction de transfert  $\frac{T(s)}{T_c(s)}$
- c) Donner la valeur finale de la température  $T$  quand l'entrée de consigne ( $T_c$ ) est un échelon d'amplitude 2.
- d) Le système  $\frac{T(s)}{T_c(s)}$  est-il stable pour toutes les valeurs de  $k$  ?

# Sujet 5 Traitement du signal

*Ce sujet est composé de 2 exercices. Si vous choisissez ce sujet vous devez faire tous les exercices.*

## Exercice 1.

Soit un signal radio  $x(t)$  résultant de la présence ou non d'émetteurs occupant respectivement les bandes [1MHz, 2MHz], [3MHz, 4MHz], [6MHz, 7MHz].



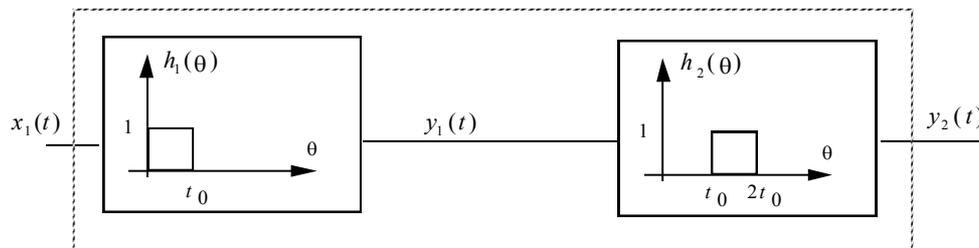
On souhaite détecter la présence ou non des différents émetteurs par TFR et en pondérant les séquences acquises par une fenêtre de Hanning.

1. On choisit d'échantillonner le signal à la fréquence 16MHz. Justifier ce choix.
2. Choisir la longueur la plus courte de la séquence à acquérir pour assurer la discrimination des différents émetteurs.
3. Quel est l'intérêt d'utiliser une fenêtre de Hanning plutôt qu'une fenêtre rectangulaire.
4. Donner l'allure de la TFR obtenue.

On rappelle qu'en fréquence normalisé la TF d'une fenêtre de Hanning de longueur  $N$  peut être assimilée à un triangle d'aire unité et de hauteur  $N/2$ .

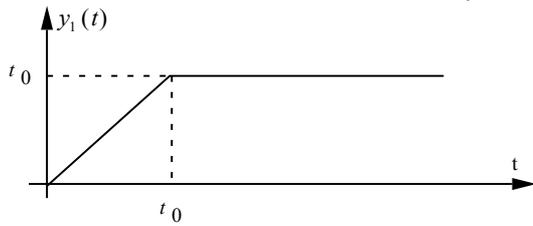
## Exercice 2.

Soit le SLI causal à temps continu constitué de la mise en cascade de 2 sous systèmes :



1. Quel est le support de la réponse impulsionnelle globale  $h(\theta)$  ? Construire graphiquement  $h(\theta)$  puis la réponse indicielle.

2. On observe, en sortie du 1er sous système, le signal suivant :



A quel signal d'entrée correspond cette réponse ?

3. Calculer  $TF\{y_1(t)\}$  en utilisant les propriétés de dérivation.