

C39192

Ecole Normale Supérieure de Cachan

61 avenue du président Wilson
94230 CACHAN

Concours d'admission en 3^{ème} année
GÉNIE ÉLECTRIQUE
Session 2009

Épreuve de
TECHNIQUES NUMÉRIQUES ET AUTOMATIQUE

Durée : 4 heures

Aucun document n'est autorisé.

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé selon la circulaire n°99018 du 1^{er} février 1999. De plus, une seule calculatrice est admise sur la table, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats. »

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'épreuve est constituée de 2 parties indépendantes (techniques numériques et automatique) qui doivent être obligatoirement traitées et rédigées sur des copies séparées.

Problème A

(Durée : 2 heures)

Techniques numériques

Implantations matérielle et algorithmique d'une pile FIFO

A.1 Présentation

Les piles FIFO (First In First Out) sont des structures largement utilisées comme tampons d'entrée dans les communications de données, en particulier dans les concentrateurs (HUB). Selon les débits dans une application donnée, on pourra réaliser un implantation logicielle ou être contraint à une réalisation matérielle en logique câblée (évidemment implantée physiquement dans un composant programmable de type FPGA)

On se propose, dans ce problème, d'étudier les ressources nécessaires à l'implantation d'une pile FIFO et d'en faire les descriptions matérielle (en utilisant soit les fonctions de la logique câblée classique et/ou le langage VHDL) ou algorithmique (en utilisant le langage C ou C++).

Une pile FIFO est une mémoire double port de 2^M mots de N bits. L'un des ports est en écriture seule, et permet d'empiler un mot. Le second port est en lecture seule et permet de dépiler le plus ancien mot. Pour des raisons d'efficacité on exclue tout déplacement de mots à l'intérieur de la mémoire lors des opérations d'empilage ou de dépilage.

La FIFO doit fournir 2 indicateurs FV (FIFO Vide) et FP (FIFO Pleine) et doit pouvoir être purgée.

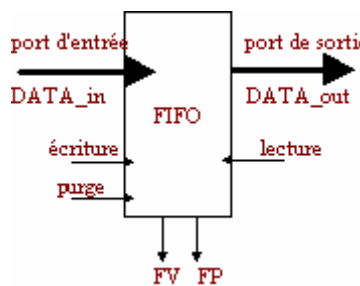


figure 1 : entrées/sorties d'une FIFO

Dans tout le devoir on prend $N=8$ et $M=7$, et on exclue toute utilisation aberrante de la FIFO (écriture dans une FIFO pleine ou lecture d'une FIFO vide).

A.2 Principe général d'accès

Pour adresser la mémoire en écriture et en lecture sans déplacer de mots à l'intérieur de celle-ci, on va utiliser 2 pointeurs, PTR_E et PTR_S, ceux-ci évoluant en adressage circulaire sur les 2^M adresses possibles.

Empiler un mot de données DATA consistera à enchaîner les opérations suivantes :

- DATA_in -> FIFO(PTR_E)
- Incrémenter PTR_E modulo 2^M .

Dépiler un mot de données consistera à enchaîner les opérations suivantes :

- FIFO(PTR_S) -> DATA_out
- Incrémenter PTR_S modulo 2^M .

Question 1) En quoi consistera l'opération de purge de la pile ?

Question 2) Donner les règles d'évolution des indicateurs FP et FV ?

A.3 Implantation matérielle

La pile FIFO matérielle est une structure séquentielle. Elle reçoit donc une horloge **H** qui sert de référence pour toute évolution. Aucun des autres signaux (**/WR** : écriture, **/RD** : lecture, **/RAZ** : purge) ne peut être utilisé comme entrée d'horloge.

La figure 1 donne la chronologie de différents signaux lors des accès à la FIFO. Les signaux **WR_en** (validation d'écriture), **RD_en** (validation de lecture), **INC_PTR_E** (incrémentement du pointeur PTR_E) et **INC_PTR_S** (incrémentement du pointeur PTR_S) sont des signaux internes à la pile FIFO, élaborés par un séquenceur à partir des signaux **/WR** et **/RD**

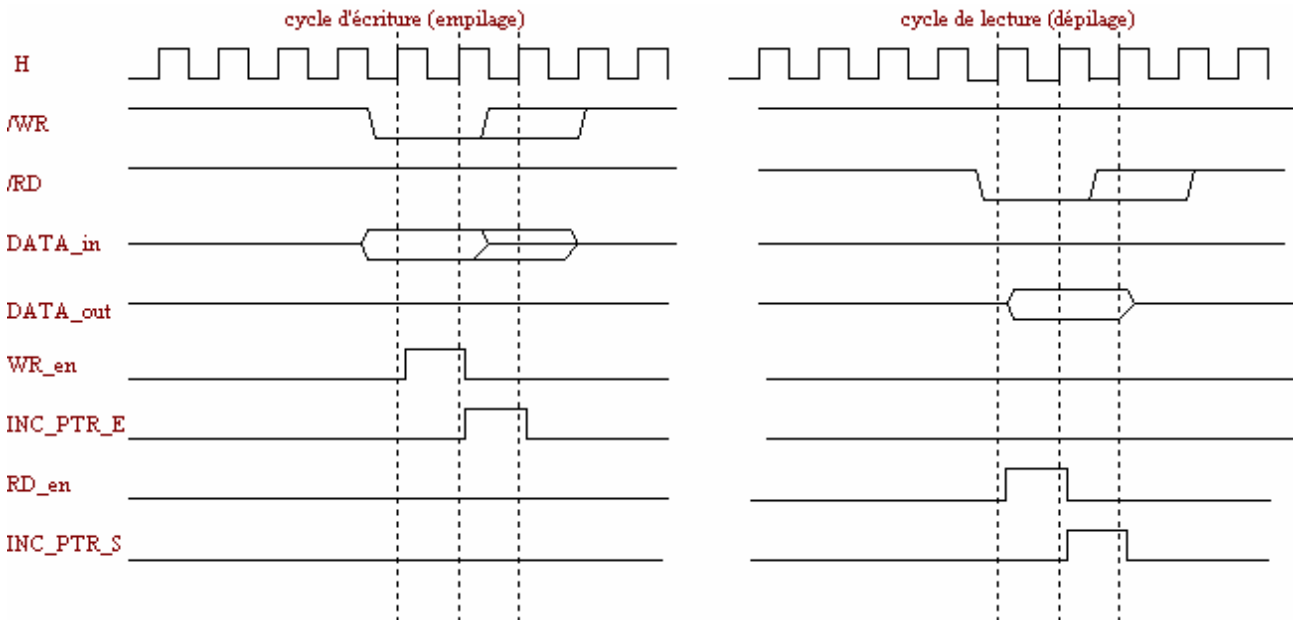


figure 2 : cycles de bus pour les opérations de lecture et d'écriture

La figure 3 donne le diagramme d'états du séquenceur synchrone (piloté par l'horloge H) qui élabore **WR_en** et **INC_PTR_E**

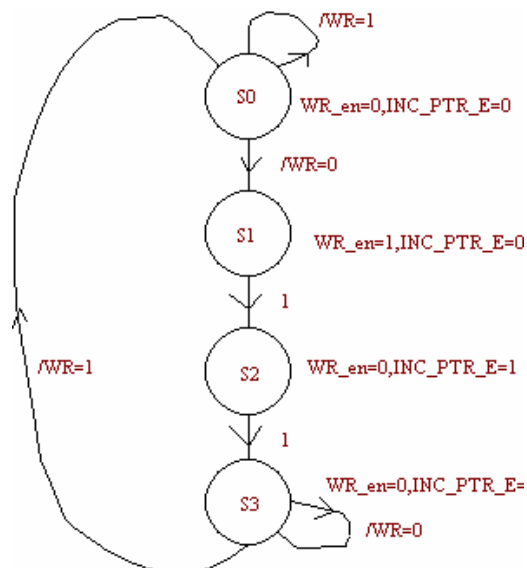


figure 3 : diagramme d'états du séquenceur élaborant **WR_en** et **INC_PTR_E**

Question 3) Effectuer la synthèse complète de ce séquenceur pour en donner l'organisation matérielle précise (nombre de bascules, équations des entrées de ces bascules, équations des sorties).

Question 4) Donner la description complète (entité et architecture) en langage VHDL de ce séquenceur.

Question 5) Comment gérer l'adressage circulaire ?

Question 6) Donner le diagramme d'états du séquenceur permettant d'élaborer l'indicateur FP (FIFO pleine)

La figure 4 donne la structure classique pour implanter, dans un composant programmable de type FPGA, l'un des pointeurs. Il s'agit d'un registre de N bits (bascules D), piloté par l'horloge H de référence, et dont l'entrée est câblée à la sortie d'un multiplexeur 4 vers 1. Par ailleurs un bloc combinatoire "incrémenteur" élabore la valeur d'entrée + 1.

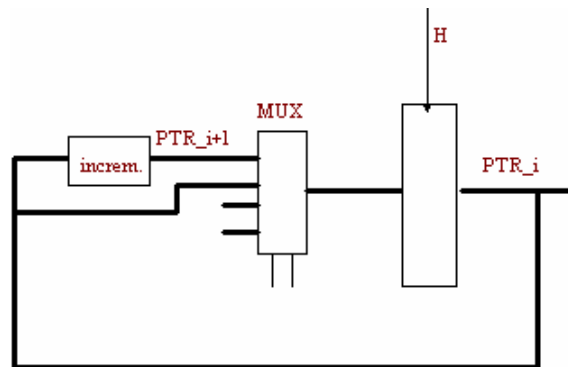


figure 4 : implantation matérielle d'un pointeur

Question 7) Reproduire et compléter le schéma de la figure 4 afin d'obtenir les fonctionnalités nécessaires à l'évolution de la pile FIFO

Question 8) Donner les équations combinatoires de l'incrémenteur.

A.4 Implantation logicielle en C standard

Bien que les déclarations nécessaires à l'implantation logicielle d'une pile FIFO puissent être très diverses, certains types de données manipulables par le C standard sont plus appropriés. On opte ici pour le type structure (*struct*)

Question 9) Donner la description complète de la structure permettant de manipuler une pile FIFO :

```
struct FIFO {
    ...
    ...
};
```

Question 10) Comment gérer l'adressage circulaire en C.

Question 11) Donner le corps des fonctions dont les prototypes sont donnés ci-dessous (ne pas oublier que ces fonctions doivent positionner les indicateurs FV et FP) :

```
void purge(struct FIFO *F);
void empile(struct FIFO *F, char DATA);
char depile(struct FIFO *F);
```

A.5 Implantation logicielle en C++

Une pile FIFO étant assimilable à un composant avec ses fonctionnalités visibles ou non de l'extérieur, l'implantation en tant qu'objet C++ est particulièrement adaptée.

Question 12) Décrire la classe complète FIFO en précisant bien les champs qui doivent être *public* ou *private* et en donnant seulement les prototypes des méthodes permettant de manipuler une pile FIFO

PROBLÈME B

DURÉE : 2 heures

AUTOMATIQUE

Le sujet est composé de 4 pages de texte.

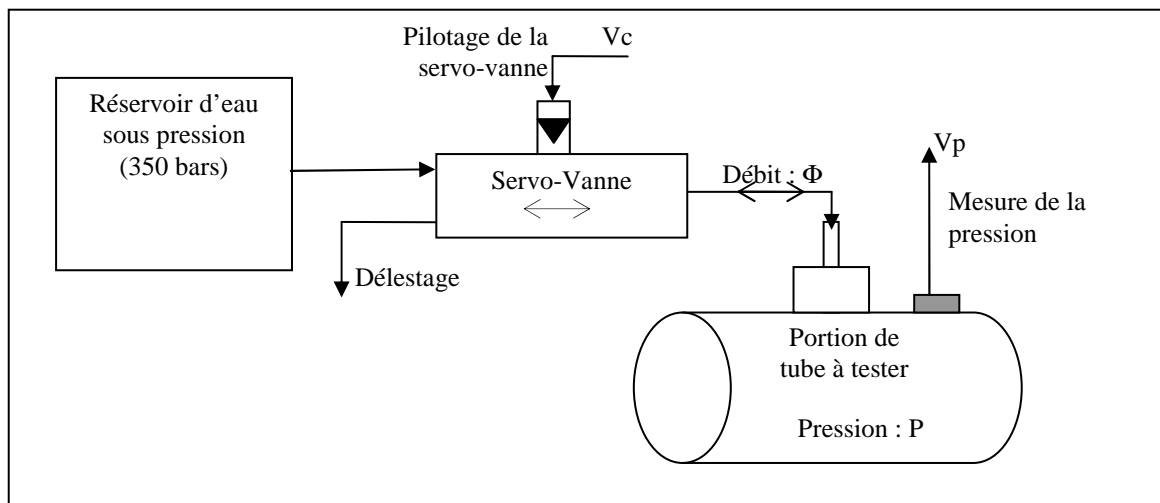
Les 5 parties du sujet sont très largement indépendantes

Pilotage d'un Banc d'essais hydrauliques de mise en pression de tube de transport de gaz

Le transport du gaz nécessite l'utilisation de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres de canalisation en acier. Pour répondre aux besoins d'intégrité et de sécurité de ces ouvrages, il est nécessaire de disposer de moyens d'essais permettant de tester la résistance des équipements sous pression et de valider les techniques de protection ou de réparation.

Des essais hydrostatiques sont ainsi effectués en faisant subir à des portions de tubes fermées des paliers de pression (durée de 30 secondes à 24 heures), ainsi que des rampes pouvant amener le tube à éclatement et pour des pressions pouvant aller jusqu'à 300 bars. Des essais de fatigue hydraulique permettent aussi des études de vieillissement à l'aide de cycles de pression de forme sinusoïdale.

La mise en œuvre de ces essais consiste à remplir complètement d'eau le tube à tester pour ensuite faire une mise en pression hydraulique du tube à l'aide d'une servo-vanne bidirectionnelle. Celle-ci injecte sous débit contrôlé un liquide (type eau), issu d'un réservoir sous pression, faisant ainsi gonfler le tube et le monter en pression.



L'objectif du sujet est d'étudier l'asservissement en pression du tube à partir de la commande de la servovanne. On notera dans toute la suite du sujet $P(p)$ la pression dans le tube, $\Phi(p)$ le débit de la servovanne. Le signal de commande de la servovanne sera noté $V_c(p)$ alors que le signal permettant d'avoir une lecture de la pression P dans le tube sera noté $V_p(p)$.

I Etude de la servovanne seule

On contrôle le débit d'eau injecté (Φ) dans le tube à partir d'une servo-vanne commandée par un signal (V_c). On note $H(p)$ la fonction de transfert qui relie Φ à V_c :

$$H(p) = \frac{\Phi(p)}{V_c(p)}$$

$H(p)$ est assimilé à une fonction de transfert de type passe bas du deuxième ordre de gain statique $K_\phi=10$ présentant un coefficient d'amortissement de valeur $m = 1,5$ et une pulsation propre $\omega_o = 12,5 \text{ rad / s}$.

1. Donner l'écriture générique de $H(p)$ faisant apparaître m et ω_o , entres autres.
2. Montrer que $H(p)$ peut se mettre sous la forme :

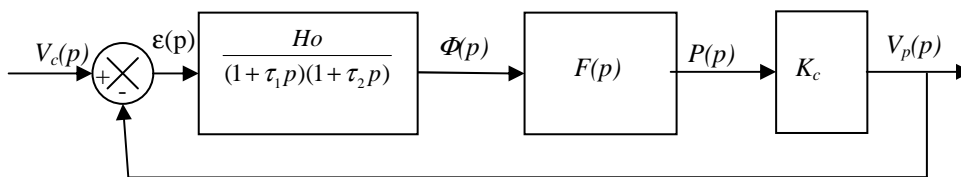
$$H(p) = \frac{H_o}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$$

Donner les expressions et valeurs de H_o , τ_1 et τ_2 .

3. Tracer le diagramme de Bode asymptotique de $H(p)$. Y placer les points remarquables. Tracer alors la courbe approchée de $H(p)$.
4. Calculer la réponse de $H(p)$ à un échelon de commande. Tracer alors son allure.
5. Que vaut le temps de réponse à 5%. On pourra proposer un calcul approché !

II. Etude de l'asservissement

La structure de la boucle d'asservissement de la pression est la suivante :



Pour les applications numériques, on prendre $H_o=10$, $\tau_1=0,25$ et $\tau_2=0,03$. K_c représente ici le gain du capteur de pression qui sera pris ici comme étant égal à 1 ($K_c=1$).

1. La fonction de transfert $F(p)$ qui relie le débit de la servovanne à la pression dans le tube à tester est telle que : $F(p) = \frac{K_v}{p}$.
 - a. Justifier cette expression.
 - b. Que représente physiquement le paramètre K_v .
2. On effectue une étude en boucle ouverte en prenant comme entrée du système le signal de commande V_c et comme sortie le signal de mesure V_p .
 - a. Donner l'expression de la fonction de transfert $T(p)$ en boucle ouverte :

$$T(p) = \frac{V_p(p)}{V_c(p)}$$

- b. Représenter dans le plan de Black la fonction de transfert $T(p)$. On prendra $K_v=1$.
- c. En déduire alors la marge de phase. Que peut-on en dire ?
- d. Faire de même pour la marge de gain. Que peut-on en dire ?
- e. Le paramètre K_v est susceptible de varier en fonction du tube à tester. Montrer qu'il existe une valeur limite pour K_v provoquant l'instabilité et donner la pulsation associée à cette instabilité.

III. Etude en boucle fermée

1. Donner l'expression en boucle fermée de la fonction de transfert :

$$F(p) = \frac{V_p(p)}{V_c(p)}$$

2. En déduire l'expression de l'erreur $\varepsilon(p)$ en sortie du comparateur.
3. Calculer alors l'erreur statique.
4. Calculer l'erreur de trainage encore appelée erreur dynamique.
5. Quelles seraient vos recommandations concernant les performances obtenues, notamment sur la mise en œuvre (ou non) d'un correcteur ?

IV. Etude d'un correcteur

On insère, en sortie du comparateur un correcteur ayant comme fonction de transfert :

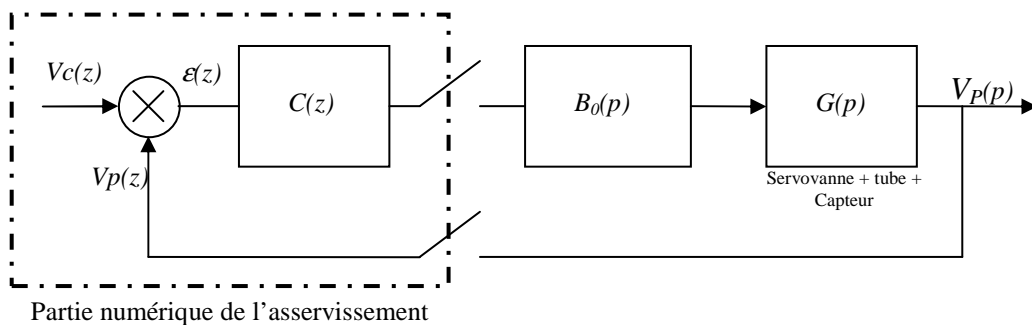
$$C(p) = \frac{1 + a\tau_c p}{1 + \tau_c p} \text{ avec } a > 1.$$

1. Tracer le diagramme de Bode de $C(p)$ pour $a=10$ et $\tau_c=0,1s$.
2. Quel est la nature de ce type de correcteur ? Justifier son utilisation.
3. Montrer qu'il existe une pulsation ω_ϕ pour laquelle l'argument de $C(p)$ est maximal. Donner l'expression de ω_ϕ en fonction de a et τ_c .
4. Proposer un couple de valeur pour a et τ_c si l'on souhaite que le correcteur apporte une phase supplémentaire maximale de $+20^\circ$ à la pulsation 5 rad/s.

V. Etude d'un asservissement numérique

Afin de moderniser le banc hydraulique, on met en place un asservissement numérique de la pression permettant la mise en œuvre d'un correcteur pouvant être paramétré selon la nature du tube à tester.

Pour l'étude, on simplifie le comportement de la servovanne en la considérant comme un système du premier ordre. Le schéma bloc ainsi considéré est :



Pour cette partie, **on prendra pour expression de G(p) :**

$$G(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{K}{1+p}$$

1. Le bloc $B_o(p)$ correspond à un bloqueur d'ordre zéro. Justifier sa présence et rappeler sa fonction de transfert. On notera Te la période d'échantillonnage du système.
2. Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte échantillonnée de $\overline{B_0G}(z)$. On mettra cette fonction de transfert sous la forme :

$$T(z) = \overline{B_0G}(z) = K' \frac{a.z + b}{(z-1)(z - e^{-Te})}$$

Donner l'expression de K' , a et b .

On considère dans un premier temps que $C(z)=Co$.

La période d'échantillonnage est ici fixée à $Te=1s$. On prend $K=10$.

3. En déduire l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée :

$$F(z) = \frac{V_p(z)}{V_c(z)}$$

4. En appliquant le critère de votre choix, établir les conditions de stabilité du système vis-à-vis de Co .

Pour la suite, on prend $Co=0,15$.

5. Donner l'équation de récurrence de la boucle d'asservissement qui relie les échantillons $Vc[n]$ de l'entrée aux échantillons $Vp[n]$ de la sortie.

6. Tracer la réponse à un échelon unitaire. Justifier l'allure obtenue.

7. Qu'en est-il de l'erreur statique ? Donner sa valeur.

8. De même pour l'erreur de traînage, donner sa valeur.

9. Que préconiseriez-vous vis-à-vis de la valeur de Co ici utilisée ?

Rappel de quelques transformées

Fonction de transfert	Transformée en z
$\frac{1}{p+a}$	$\frac{z}{z - e^{-aTe}}$
$\frac{1}{p^2}$	$\frac{T_e \cdot z}{(z-1)^2}$
$\frac{1}{p}$	$\frac{z}{z-1}$
