

Architecture des systèmes numériques et informatiques

TD 5 : Circuits Séquentiels

Halim Djerroud

23 octobre 2025

Exercice 1 : Bascule RS asynchrone

Une bascule RS est construite avec deux portes NOR croisées.

1. Rappeler le principe de fonctionnement d'une bascule RS.
2. Établir la table de vérité complète avec S , R , Q (état présent) et Q^+ (état suivant).
3. Donner l'équation caractéristique : $Q^+ = f(S, R, Q)$
4. Analyser pas à pas la séquence suivante :

Instant	S	R	Q
t_0	0	0	0
t_1	1	0	?
t_2	0	0	?
t_3	0	1	?
t_4	0	0	?

5. Pourquoi la combinaison $S = R = 1$ est-elle interdite ?
6. Que se passe-t-il si on applique momentanément $S = R = 1$ puis on revient à $S = R = 0$?

Exercice 2 : Bascule RS synchrone

On ajoute une entrée d'horloge H à la bascule RS.

1. Dessiner le schéma logique d'une bascule RS synchrone (utiliser des portes AND).
2. Établir la table de vérité avec l'horloge.
3. Compléter le chronogramme suivant :

Instant	H	S	R	Q
t_0	0	1	0	0
t_1	1	1	0	?
t_2	0	0	1	?
t_3	1	0	1	?
t_4	0	0	0	?

4. Quelle est la différence entre déclenchement sur niveau et sur front ?
5. Proposer une modification pour rendre la bascule sensible au front montant uniquement.

Exercice 3 : Bascule JK

La bascule JK élimine l'état interdit de la RS en le remplaçant par un mode Toggle.

1. Établir la table de vérité complète de la bascule JK.
2. Vérifier l'équation caractéristique : $Q^+ = J\bar{Q} + \bar{K}Q$
3. Analyser la séquence (bascule déclenchée sur front montant \uparrow) :

Coup d'horloge	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>Q</i> (avant)	<i>Q</i> (après)
1	0	0	0	?
2	1	0	?	?
3	0	0	?	?
4	1	1	?	?
5	1	1	?	?
6	0	1	?	?

4. Application : Utiliser une bascule JK en mode Toggle ($J = K = 1$) pour diviser une fréquence par 2.
5. Comment obtenir un diviseur par 4 ? Par 8 ?

Exercice 4 : Bascule D

La bascule D (Data/Delay) est la plus simple : elle recopie l'entrée *D* en sortie *Q*.

1. Établir la table de vérité de la bascule D.
2. Donner l'équation caractéristique : $Q^+ = ?$
3. Comment construire une bascule D à partir d'une bascule JK ?
4. Compléter le chronogramme (front montant) :

H: | | | | | | | |
 D: | | | | | | |
 Q: -----

5. Application : Concevoir un registre 4 bits avec des bascules D.
6. Quelle est la différence entre un latch et un flip-flop ?

Exercice 5 : Conversion entre bascules

On dispose de bascules JK et on souhaite implémenter d'autres types.

1. Bascule D avec JK : donner les connexions.
2. Bascule T (Toggle) avec JK : donner les connexions.
3. Bascule RS avec JK : exprimer *J* et *K* en fonction de *S* et *R*.
4. Inversement, convertir une bascule D en bascule T :
 - Table de vérité de T : si $T = 0 \rightarrow$ mémoire, si $T = 1 \rightarrow$ toggle
 - Exprimer *D* en fonction de *T* et *Q*
5. Pourquoi la bascule JK est-elle considérée comme "universelle" ?

Exercice 6 : Registre à décalage série

Un registre à décalage de 4 bits est construit avec 4 bascules D en cascade.

1. Dessiner le schéma du registre (entrée série, sortie série).
2. On veut charger la séquence 1011 (MSB en premier). Compléter le tableau :

Cycle	Entrée	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	-	0	0	0	0
1	1	?	?	?	?
2	0	?	?	?	?
3	1	?	?	?	?
4	1	?	?	?	?

3. Combien de cycles faut-il pour charger complètement le registre ?
4. Comment modifier le circuit pour permettre un chargement parallèle ?
5. Application : Utiliser ce registre pour une transmission série (UART).

Exercice 7 : Registre à décalage universel

Un registre universel peut fonctionner dans plusieurs modes.

Modes de fonctionnement :

- Mode 0 : Maintien (pas de changement)
- Mode 1 : Décalage à droite
- Mode 2 : Décalage à gauche
- Mode 3 : Chargement parallèle

1. Proposer un schéma bloc pour un registre 4 bits universel.
2. Combien de multiplexeurs sont nécessaires ?
3. Simuler les opérations suivantes (état initial = 0000) :

Cycle	Mode	Entrées	État
0	-	-	0000
1	3	1101	?
2	1	0	?
3	1	0	?
4	2	1	?

4. Application : Utiliser ce registre pour effectuer des multiplications/divisions par 2.

Exercice 8 : Compteur asynchrone 3 bits

Un compteur asynchrone (ripple counter) utilise des bascules JK en mode Toggle.

1. Dessiner le schéma d'un compteur asynchrone 3 bits ($Q_2Q_1Q_0$).
2. Établir la séquence de comptage de 000 à 111 puis retour à 000.
3. Tracer le chronogramme de l'horloge et des sorties Q_0, Q_1, Q_2 .
4. Calculer le délai de propagation total si chaque bascule a un délai de 10 ns.
5. Quelle est la fréquence maximale d'horloge si on tolère un délai de 30 ns ?
6. Expliquer pourquoi ce compteur est appelé "asynchrone".
7. Comment créer un compteur modulo-6 (comptant de 0 à 5) ?

Exercice 9 : Compteur synchrone 4 bits

Dans un compteur synchrone, toutes les bascules partagent la même horloge.

1. Pour un compteur binaire synchrone, établir la logique de contrôle :
 - $T_0 = ?$ (bascule de poids faible)
 - $T_1 = ?$
 - $T_2 = ?$
 - $T_3 = ?$
2. Dessiner le schéma logique du compteur 4 bits.
3. Vérifier la séquence pour les transitions :
 - $0111 \rightarrow 1000$ ($7 \rightarrow 8$)
 - $1111 \rightarrow 0000$ ($15 \rightarrow 0$)
4. Quel est l'avantage principal par rapport au compteur asynchrone ?
5. Calculer le délai critique (délai d'une bascule + délai logique).
6. Estimer la fréquence maximale.

Exercice 10 : Compteur modulo-10 (BCD)

Un compteur décimal compte de 0 à 9 puis revient à 0.

1. Concevoir un compteur asynchrone 4 bits qui se réinitialise à 10.
2. Quelle porte logique détecter l'état 10 (1010_2) ?

3. Établir la table d'états complète (0 à 9).
4. Tracer le chronogramme des sorties $Q_3Q_2Q_1Q_0$.
5. L'état 10 apparaît-il réellement en sortie ? Pourquoi ?
6. Application : Cascader deux compteurs modulo-10 pour compter de 0 à 99.
7. Comment créer un compteur modulo-N quelconque ?

Exercice 11 : Compteur up/down

Un compteur bidirectionnel peut compter en avant ou en arrière.

1. Modifier un compteur synchrone 3 bits pour ajouter une entrée UP/DOWN :
 - UP/DOWN = 1 : comptage croissant
 - UP/DOWN = 0 : décomptage
2. Établir la logique de contrôle modifiée pour les entrées T_i .
3. Simuler la séquence (état initial = 100) :

Impulsion	UP/DOWN	État
0	-	100
1	1	?
2	1	?
3	0	?
4	0	?
5	0	?

4. Comment détecter un débordement (overflow/underflow) ?
5. Application : Utiliser ce compteur comme minuteur programmable.

Exercice 12 : Machine à états - Détecteur de séquence

Concevoir une machine à états finis qui détecte la séquence "101" dans un flux binaire.

Spécifications :

- Entrée : X (bit d'entrée série)
 - Sortie : Z (vaut 1 quand "101" est détecté)
 - Détection avec chevauchement (ex : "10101" donne 2 détections)
1. Dessiner le diagramme d'états (Moore ou Mealy).
 2. Établir la table d'états.
 3. Déterminer le nombre de bascules nécessaires.
 4. Choisir un encodage des états.
 5. Établir les tables de vérité pour :
 - Les entrées des bascules (état suivant)
 - La sortie Z
 6. Simplifier les équations avec des K-maps.
 7. Dessiner le circuit complet.
 8. Tester avec la séquence d'entrée : $X = 10101100$

Exercice 13 : Horloge numérique

Concevoir un système d'horloge simple (secondes et minutes).

Spécifications :

- Compteur de secondes : 0-59 (modulo-60)
 - Compteur de minutes : 0-59
 - Horloge de base : 1 Hz
 - Affichage BCD (2 chiffres par compteur)
1. Dessiner le schéma bloc global.

2. Comment créer un compteur modulo-60 ?
 - Avec deux compteurs modulo-10 ?
 - Avec un compteur modulo-6 et un modulo-10 ?
3. Comment générer l'impulsion pour le compteur de minutes ?
4. Ajouter une fonction de remise à zéro globale.
5. (Bonus) Ajouter des compteurs d'heures (modulo-24).
6. Estimer le nombre total de bascules nécessaires.

Exercice 14 : Projet - Feu de circulation

Concevoir un contrôleur de feu de circulation avec machine à états.

Spécifications :

- 2 feux : Nord-Sud (NS) et Est-Ouest (EO)
- Séquence : NS vert → NS jaune → EO vert → EO jaune → (boucle)
- Durées : Vert 30s, Jaune 5s
- Capteur voiture : peut modifier la durée

États des feux :

- État 0 : NS vert, EO rouge (30s)
- État 1 : NS jaune, EO rouge (5s)
- État 2 : NS rouge, EO vert (30s)
- État 3 : NS rouge, EO jaune (5s)

1. Dessiner le diagramme d'états.
2. Établir la table d'états complète.
3. Concevoir le système de temporisation (compteur).
4. Définir les équations pour les sorties (6 LEDs : R, J, V × 2).
5. Comment intégrer le capteur de voiture ?
6. Simuler une séquence complète.
7. (Bonus) Ajouter un mode piéton avec bouton.