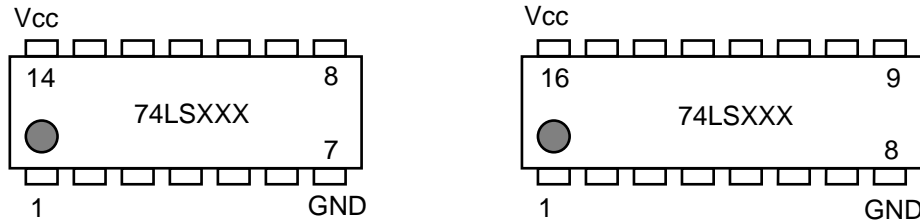


LES CIRCUITS LOGIQUES

1. Présentation des circuits intégrés logiques

1.1. L'aspect extérieur d'un circuit logique

Un circuit intégré logique se présente sous la forme d'un boîtier en plastique avec des pattes de connexion. Ce boîtier comporte généralement 14 ou 16 broches. Il contient parfois plusieurs opérateurs logiques. Le brochage est indiqué sur la documentation du constructeur.



Les circuits intégrés sont toujours représentés vus de dessus

1.2. Les indications présentes sur les circuits intégrés

- Un repère pour identifier la première patte
- Le logo du constructeur (*non représenté sur cette figure*)
- Le numéro repère permet de connaître la fonction du circuit (*représenté ici par XXX*)
- Identification de la technique de construction
 - 74 désigne la technique TTL, LS est une variante TTL
 - HC pour la technique CMOS
- La date de construction présentée sous la forme : numéro de semaine et année.

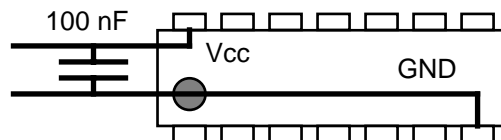
2. L'alimentation des circuits logiques

Les schémas ne montrent pas les lignes d'alimentation, il ne faut pas les oublier lorsque vous réalisez des montages.

Les circuits logiques sont alimentés par une tension simple. Pour les circuits TTL, cette tension est de 5V. Pour les circuits CMOS, elle peut varier de 5 à 15 V. Il faut donc connaître le type du circuit que vous utilisez. Les broches d'alimentation sont presque toujours les mêmes. Attention, pour les circuits CMOS, l'indication Vcc est remplacée par VDD et l'indication GND par VSS.

2.1. Le découplage des lignes d'alimentation

Lorsqu'un circuit logique fonctionne, il soutire une forte pointe de courant à l'alimentation, il se peut que cette pointe provoque une chute de tension gênante pour les autres circuits. Pour l'éviter, on place un condensateur sur les lignes d'alimentation au plus près du circuit. Ce condensateur joue le rôle d'un réservoir d'électrons dans lequel le circuit vient puiser.



Le découplage est rendu nécessaire par la présence d'un condensateur parasite d'environ 15 pF en sortie d'un opérateur. Dans un circuit TTL LS, ce condensateur doit se charger sous 5V en moins de 10 ns. Ce qui entraîne une pointe de courant donnée par :

$$i = C \cdot \frac{dV}{dt} \Rightarrow i = 15 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{5}{10^{-8}} = 75 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

La présence de ce condensateur parasite provoque une pointe de courant de 7,5 mA brève mais très gênante pour les autres circuits ; en effet la ligne d'alimentation est le siège d'une chute de tension qui peut perturber les informations sur les autres circuits.

3. Quels composants trouve-t-on ?

3.1. Les opérateurs¹

Ce sont les composants les plus simples, on trouve :

- les opérateurs NON
- les opérateurs OU
- les opérateurs ET
- les opérateurs NI (ou NOR)
- les opérateurs NAND

3.2. Les bascules

- Les bascules D
- Les latches
- Les bascules J-K
- Les registres à décalage

3.3. Les compteurs

- Les compteurs binaires (hexadécimaux de 0 à F)
- Les compteurs décimaux (de 0 à 9)
- Les compteurs et décompteurs avec ou sans chargement initial

3.4. Les autres circuits

- Les décodeurs
 - Les multiplexeurs
 - Les temporisateurs
- Et beaucoup d'autres

3.5. Les renseignements

Ils se trouvent sur la documentation des constructeurs. On y trouve le brochage, la fonction, les caractéristiques électriques et les procédures de test.

La fonction est souvent donnée sous forme de **table de vérité**. On peut également trouver une description sous forme d'équations.

4. La mise en œuvre d'un circuit logique

Un circuit logique ne doit jamais avoir d'entrée "en l'air". C'est à dire d'entrée reliée nulle part. Il faut absolument éviter cette situation, le potentiel de l'entrée n'est pas défini et peut introduire des parasites dans le circuit même si l'opérateur "en l'air" n'est pas utilisé. Ceci est valable aussi bien pour un montage d'essai que pour une réalisation définitive. Vous devez donc relier toutes les entrées inutilisées soit à la masse soit à Vcc (mais pas aux deux !). Attention aux pièges des boutons poussoir et des diodes.

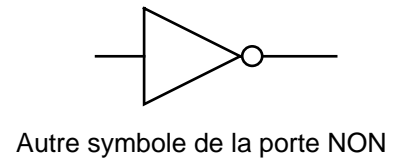
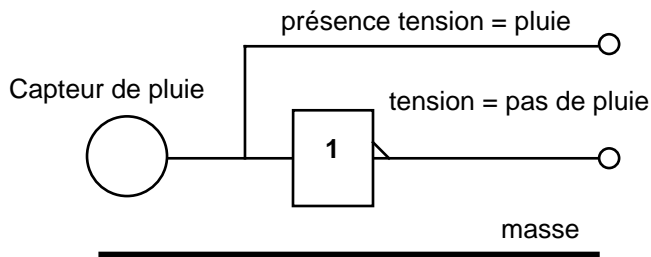
5. Les opérateurs logiques

Ils sont au nombre de cinq. Nous allons les étudier en donnant leur symbole, leur équation et la table de vérité.

5.1. L'opérateur NON

Il sert à transformer une information en son complément. Par exemple si un capteur nous indique par la présence de pluie par une tension de 5V, la fonction NON nous permet d'obtenir une tension de 5V dans le cas contraire (c'est à dire s'il ne pleut pas)

¹ Souvent appelés "portes" à cause d'une mauvaise traduction de l'anglais



L'équation : si **a** est l'entrée et **S** la sortie alors :

$$S = \bar{a}$$

La barre de surligné indique que l'information **a** subit l'action de l'opérateur NON.

5.2. L'opérateur OU

Il combine au moins deux informations pour en former une nouvelle. Par exemple, je considère que la présence de la pluie ou du vent constitue pour moi du mauvais temps. La seule présence d'au moins une des deux informations (pluie, vent) va provoquer l'apparition de l'information mauvais temps.

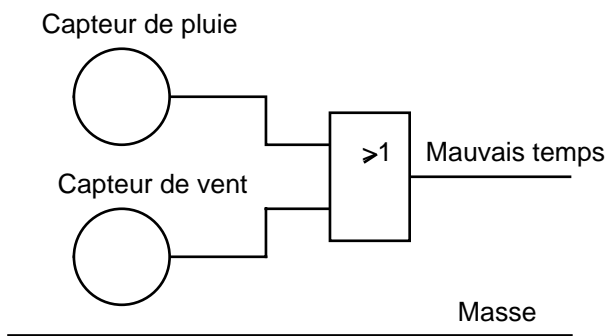


Table de vérité

a	b	OU
0	0	0
0	1	1
1	1	1
1	0	1

Si a et b sont les deux entrées, et si S est la sortie l'équation s'écrit :

$$S = a + b$$

Le signe + est le symbole couramment employé pour la fonction OU.

5.3. L'opérateur ET

Encore ici, l'opérateur combine au moins deux informations pour en former une nouvelle. Le père Noël m'apportera un beau cadeau si je suis sage et si je travaille bien à l'école. Il faut que toutes les informations d'entrée soient vraies en même temps pour que l'information de sortie soit vraie.

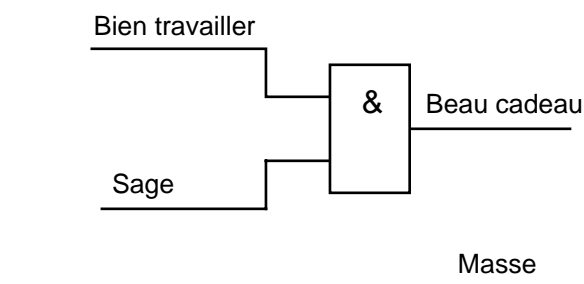


Table de vérité

a	b	ET
0	0	0
0	1	0
1	1	1
1	0	0

Si a et b sont les deux entrées, et si S est la sortie l'équation s'écrit :

$$S = a \cdot b$$

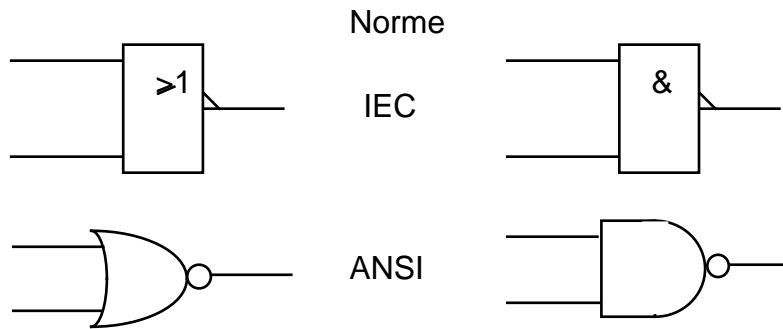
Le signe \cdot est le symbole couramment employé pour la fonction ET.

5.4. Les autres opérateurs

On trouve :

L'opérateur NI qui est l'association d'une OU suivie d'une NON.

L'opérateur NAND qui est l'association d'une ET suivie d'une NON.



on reconnaît les opérateurs OU et ET suivies du symbole de la complémentation

Questions :

Dressez les tables de vérité de chacun de ces opérateurs.

6. La logique combinatoire

Les opérateurs logiques font partie de la logique combinatoire. La logique combinatoire est une classe de la logique électronique caractérisée par sa façon de répondre à la sollicitation des entrées. Mathématiquement, la relation entre la sortie et les entrées peut être traduite par la formule suivante :

$$S = f(E)$$

où **E** représente l'ensemble des combinaisons logiques des entrées,
et **S** les divers états des sorties, réponses aux états des entrées.

Dans un circuit combinatoire, l'état de la sortie **S** est complètement défini par l'état de ses entrées.

L'application est résumée dans **une table de vérité**.

Remarque : je ne fais pas intervenir la durée de transfert c'est-à-dire le fait que l'opérateur ne répond pas instantanément aux entrées, cette durée est de l'ordre de la dizaine de nanosecondes.

6.1. Lecture de la table de vérité

Voici le principe de lecture d'une table de vérité

Combinaisons des entrées	États des sorties
Combinaison n°1	État n°1
Combinaison n°2	État n°2

Les opérateurs combinent les informations et fournissent leur résultat immédiatement². À une combinaison des entrées correspond un état des sorties.

² la durée d'élaboration de la tension de sortie est de l'ordre de la dizaine de nanosecondes.

6.2. L'équation

Le fonctionnement d'un ensemble logique peut être décrit par une équation à la manière de l'équation mathématique.

La logique obéit à l'algèbre binaire. Les opérateurs de base sont les relations **OU**, **ET**, **NON** qui sont représentées par des signes mathématiques **+ . /**

Le signe **plus** représente la relation **OU**, le **point**, la relation **ET**, la barre oblique, la relation **NON**. Il peut être nécessaire d'avoir recours à des parenthèses comme en algèbre ordinaire.

6.3. Le tableau de Karnaugh

Le tableau de Karnaugh³ donne les mêmes renseignements que la table de vérité mais sous une forme qui permet de tirer facilement les équations des sorties.

Question :

Quels sont les renseignements donnés par la table de vérité ou par le tableau de Karnaugh ?

7. Les circuits logiques séquentiels

Le circuit combinatoire agit "sans réfléchir", son comportement est simple : il voit une combinaison sur ses entrées et élabore la combinaison correspondante des sorties.

Il est possible de donner de la mémoire aux circuits logiques, on obtient alors une nouvelle classe de circuits : **les circuits séquentiels**.

7.1. Les circuits séquentiels

Ils sont plus complexes que les précédents. La relation liant les entrées aux sorties est définie par une équation du type :

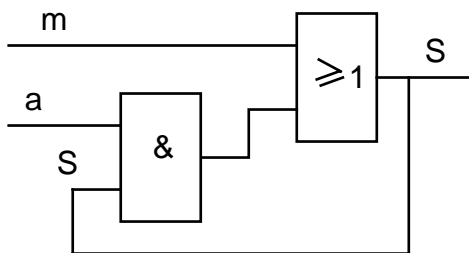
$$S = f(E, S_{-1})$$

C'est à dire que l'état présent des sorties (**S**) est déterminé par l'état des entrées (**E**) et par l'état passé des sorties (**S₋₁**). Souvent l'évolution est rythmée par une horloge, ce qui permet de parler de présent et de passé.

7.2. La fonction mémoire

Pour réagir de la sorte, le circuit logique doit être doué de **mémoire** afin de se souvenir⁴ de l'état présent entre deux ordres de l'horloge.

La fonction mémoire la plus simple



Cette fonction est composée d'un opérateur OU et d'un ET. Le OU réalise la mémorisation et le ET permet la remise à zéro.

Remarquez le retour de la sortie vers l'entrée.

Le fonctionnement est simple, à partir de $S = 0$ une action sur **m** fait passer la sortie à 1. Le comportement de l'opérateur OU fait que ce 1 est maintenu même si **m** est revenu à 0.

La remise à 0 de S se fait en mettant **a** à zéro.

On retrouve ici le fonctionnement de l'interrupteur classique : une action d'un côté allume la lampe, une action de l'autre côté l'éteint.

Ce montage donne la priorité à la marche ($S = 1$). Il existe une autre forme qui donne la priorité à l'arrêt.

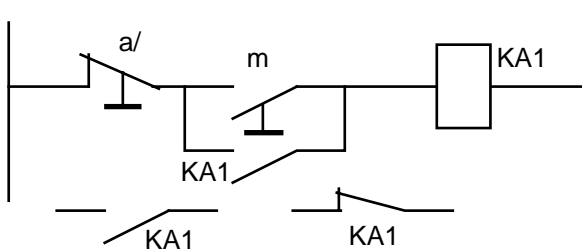
L'emploi d'une forme plutôt que l'autre est dicté par les conditions particulières de fonctionnement.

³ Voir les feuilles particulières à ce sujet

⁴ et pour maintenir cet état des sorties

La fonction mémoire des électriciens

Elle est très largement employée et est constituée de deux boutons poussoirs, d'un relais et de ses contacts.



le rectangle est le symbole de la bobine du relais⁵. Les boutons poussoirs sont désignés par **a** et **m**. la lettre **a** porte une barre de complémentation pour faire apparaître sa fabrication différente de **m**

Les contacts KA1 se ferment lors de l'action sur **m**. l'un d'entre eux court-circuite le bouton poussoir. L'autre fait partie du circuit d'utilisation.

à partir de l'arrêt, le montage se souvient d'une brève action sur **m**. Le retour au repos est obtenu soit par une action sur **a** soit par une coupure de l'alimentation en électricité.

C'est cette dernière propriété qui fait l'intérêt de ce montage pour des raisons de sécurité.

La bascule R-S

Les deux types de montages précédents peuvent être regroupés dans un seul bloc fonctionnel qui porte le nom générique de bascule R-S. Cette fonction est définie ci-dessous dans le paragraphe traitant des entrées asynchrones des bascules.

8. Les bascules avec horloge

Ces bascules sont des composants un peu plus complexes que les opérateurs de base. Leur principe est différent. On parle ici, de fonctionnement séquentiel.

Les bascules attendent un ordre pour fournir leur résultat. Cet ordre est donné par le signal d'horloge. Elles conservent l'état de leur sortie entre deux ordres de fonctionnement. Elles font partie des circuits dotés de mémoire.

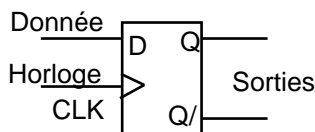
8.1. L'intérêt du principe d'horloge⁶

L'horloge est un signal périodique délivré par un oscillateur. Je pourrais comparer ce signal au centre nerveux du montage tout entier. Elle a le rôle important de rythmer le fonctionnement de l'ensemble des composants. Le signal d'horloge doit être unique pour tout le montage.

Le recours à une horloge a été imaginé pour résoudre un certain nombre de problèmes présents dans les circuits logiques combinatoires.

8.2. La bascule D

La lettre D est l'initiale de DATA c'est à dire Donnée.



Définition :

La sortie Q prend la valeur présente sur l'entrée D au moment de l'ordre CLK. La sortie Q/ donne la valeur complémentaire à Q.

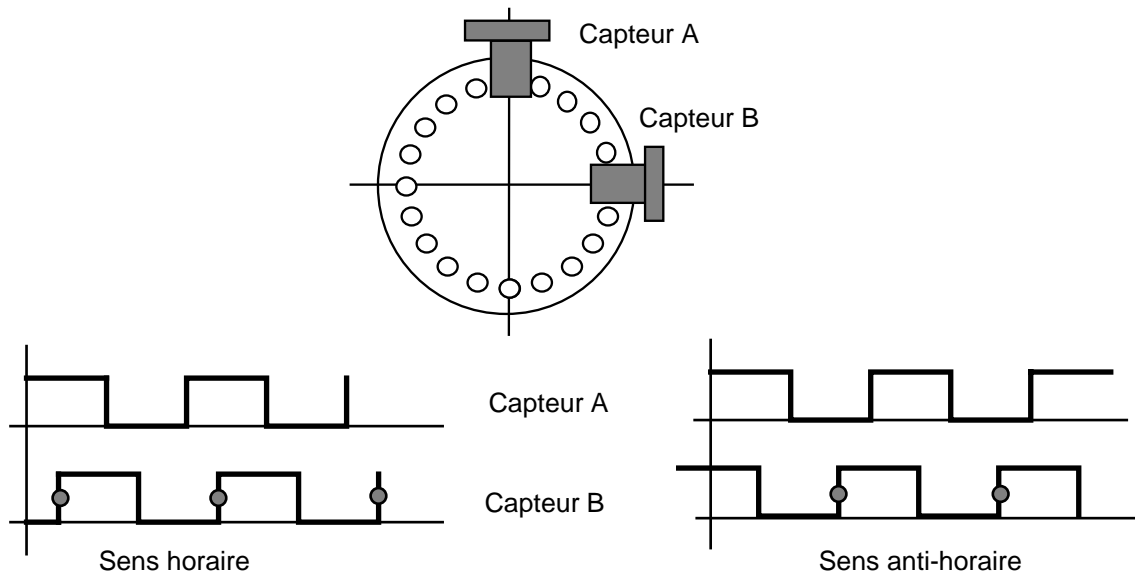
Le principe de mise en œuvre est donc de s'arranger pour que la donnée présente la valeur souhaitée lorsque le signal d'horloge arrive.

Exemple : détermination du sens de rotation d'un moteur à l'aide d'un capteur incrémental.

C'est tout simplement un disque portant des trous ou des fentes qui passe à l'intérieur de capteurs optoélectroniques.

⁵ voir les feuilles particulières sur le sujet

⁶ voir également le paragraphe en fin de texte.



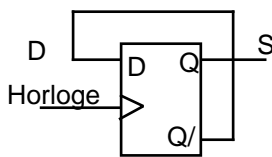
La roue incrémentale est équipée de deux capteurs qui "voient" les trous. La position des capteurs est telle que les informations qu'ils fournissent sont décalées comme le montre la figure ci-dessus.

Plaçons l'information issue du capteur A sur l'entrée D et l'information issue de B sur l'horloge d'une bascule. Le rond indique l'instant d'émission de l'ordre de prise en compte de la donnée D.

Questions :

Tracer l'information de sortie de la bascule, dans chaque sens de rotation.

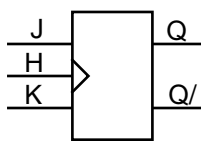
Exercice : Soit le montage suivant :



On suppose que S est mis à 0 automatiquement à la mise sous tension. Tracez le chronogramme de fonctionnement de ce montage. Aide : servez-vous de l'horloge comme base de travail.

8.3. La bascule J-K

Cette bascule possède deux entrées de donnée, une entrée d'horloge et deux sorties.



On peut décrire le fonctionnement par les équations suivantes :

$$\begin{aligned}
 H? J/ K/ : Q \rightarrow Q \\
 H? J K/ : 1 \rightarrow Q \\
 H? J/ K : 0 \rightarrow Q \\
 H? J K : Q/ \rightarrow Q
 \end{aligned}$$

Ce qui se lit ainsi :

Sur un front montant de l'horloge et

- si J et K valent 0, la sortie ne change pas
- si J et K valent 1, la sortie bascule (c'est-à-dire que si Q = 0 avant l'ordre elle devient 1 après)

Question : complétez la description des 2 équations restantes

8.4. Le registre à décalage

Le registre à décalage est un composant constitué de plusieurs bascules D mises en cascade⁷.

Bien sûr toutes les horloges sont reliées. On trouve également des entrées annexes comme la remise à zéro.

Il existe deux types de registres à décalage :

- Le registre à entrée série et à sortie parallèle
- Le registre à entrée parallèle et à sortie série

⁷ c'est-à-dire que la sortie de l'une est reliée à l'entrée de la suivante

Étudions le premier.

Questions :

Dessinez un registre à décalage constitué de trois bascules D.

On considère que l'on vient de réaliser une mise à zéro du registre. L'entrée d'horloge est pilotée par un signal adéquat. À l'instant 0, l'entrée de la première bascule reçoit un niveau logique 1 qu'elle conserve ensuite.

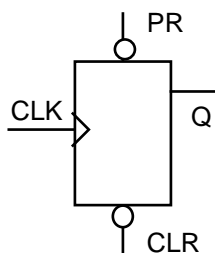
Tracez le chronogramme qui présente l'évolution des sorties des bascules lors des quatre périodes d'horloge suivant l'instant 0.

9. Les entrées synchrones, les entrées asynchrones

Vous avez remarqué que les entrées D de la première bascule et J et K de la deuxième, ne sont prises en compte que sur intervention d'un coup d'horloge. Ce sont des entrées **synchrones**.

Ces deux types de bascules sont également pourvues d'entrées **asynchrones**. Ces entrées ne requièrent pas l'intervention de l'horloge.

Les entrées asynchrones



Les entrées asynchrones typiques des bascules sont :

PR qui force la sortie Q à 1

CLR qui force la sortie Q à 0

Le cercle que vous voyez sur les entrées indique qu'elles sont actives au niveau bas.

Les équations partielles seraient :

$PR/ : 1 \rightarrow Q$

$CLR/ : 0 \rightarrow Q$

Questions :

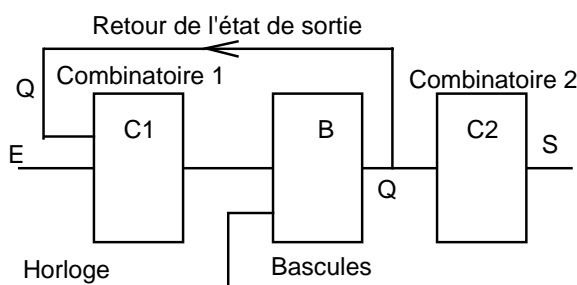
- Complétez les équations des deux types de bascules en groupant les types d'entrées
- Dessinez un chronogramme montrant le fonctionnement des entrées synchrones et asynchrones selon les explications données.

10. La machine de MOORE

La "machine" de MOORE est un modèle qui permet de concevoir des circuits logiques synchrones de façon rigoureuse.

Elle se décompose en trois parties :

- Une partie combinatoire à qui l'on peut attribuer "l'intelligence"
- La partie centrale qui serait la mémoire
- La dernière partie, optionnelle, chargée de l'adaptation vers les sorties.



Un trait peut représenter un ensemble de conducteurs

Le bloc B est un ensemble de bascules, C1 et C2 sont des circuits combinatoires.

L'état préparé par C1 avant le coup d'horloge est transféré en Q après le coup d'horloge. Il faut que C1 connaisse l'état de la machine avant un coup d'horloge afin de fournir les entrées au bloc des bascules.

La combinatoire C2 transforme les états Q en sorties définitives.

Le travail de conception consiste à étudier le bloc C1. Comme on le voit, un problème séquentiel est transformé en problème de combinatoire beaucoup plus simple à résoudre.

10.1. Le bloc B

Ce sous-ensemble peut être constitué de bascules D ou de bascules JK.

Questions :

Pourquoi trouve-t-on un retour d'informations de la sortie de B vers l'entrée de C1 ?

Quel est le rôle du bloc B ? (*lire le paragraphe "mise en pratique"*)

Résumez la technique de conception de C1 si B est constitué de bascules D.

10.2. Importance de la machine de Moore

Ce modèle est très puissant, il permet de réaliser des ensembles complexes. Il est largement utilisé dans la profession. Les logiciels de conception d'électronique logique sont conçus pour faciliter le travail avec le modèle de Moore.

10.3. Machine de Moore et Grafcet⁸

Le Grafcet est plus connu que la machine de Moore. On peut rapprocher ces deux modèles. Du point de vue du Grafcet, le comportement d'une machine est décomposé en plusieurs étapes, ces étapes peuvent être assimilées aux différentes combinaisons du bloc B. À chaque étape correspond un état des actionneurs. Le bloc C2 réalise cette fonction d'adaptation. C1 connaît l'état de la machine c'est-à-dire l'étape courante du fonctionnement. Il peut être vu comme la fonction s'occupant des transitions.

10.4. Mise en pratique

Nous allons réaliser un compteur décimal constitué de bascules D. C'est un dispositif qui compte de 0 à 9 puis revient à 0. La progression se fait au rythme d'une horloge. Il part automatiquement de 0 à la mise sous tension.

Questions :

Tracez le Grafcet correspondant à ce compteur.

Combien d'étapes comporte-t-il ?

Combien de bascules sont nécessaires pour compter ces étapes (*et donc les distinguer*)

Quelles sont les transitions ?

Quelles sont les entrées du bloc C1 ? Quelles sont ses sorties ? (*par rapport aux bascules*)

Dressez la table de vérité du bloc C1. *Aide : suivez pas à pas le Grafcet*

Tirez les équations de chaque entrée des bascules.

Le bloc C2 est très simple, à quoi se résume-t-il ?

Dessinez le schéma structurel à l'aide d'opérateurs et de bascules.

10.5. Autres réalisations possibles grâce à la machine de Moore

Circuit de commande d'un moteur pas à pas

Compteur à progression non consécutive (1, 2, 5, 3, 9, 2 ...)

Et bien d'autres, parfois très compliquées

11. Modélisation fonctionnelle des circuits logiques

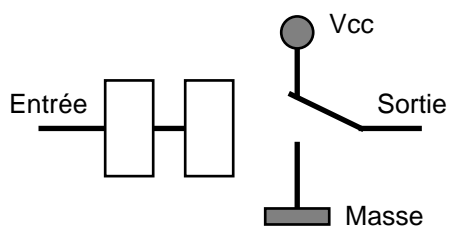
Le but de ce paragraphe est de présenter certaines fonctions qui constituent les circuits intégrés logiques. Il n'est bien sûr pas question de parler de la technique de réalisation. Nous restons dans le domaine fonctionnel. Nous emploierons des modèles simplifiés et des analogies.

11.1. Le modèle de l'étage de sortie (appelé "Totem Pole")

Sur le plan technologique, un circuit logique peut être divisé en trois parties :

- Un circuit d'entrée qui reçoit les signaux de commande
- Un circuit intermédiaire qui réalise la fonction elle-même,
- Un circuit de sortie qui met l'un des deux niveaux logiques à disposition de la sortie.

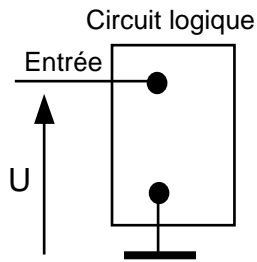
Le circuit de sortie classique a été nommé "Totem Pole" par les Anglo-saxons à cause de l'allure de son schéma. Ce schéma est complexe par contre le modèle équivalent habituel est très simple.



Le Totem Pole est équivalent à un inverseur qui met la sortie en communication avec la masse (0 logique) ou avec l'alimentation (1 logique)

⁸ lire les feuilles "Chronomètre"

11.2. Le circuit d'entrée d'un circuit CMOS⁹

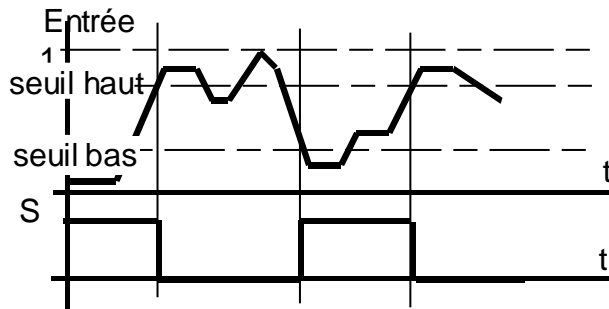


L'entrée d'un circuit logique CMOS absorbe un courant pratiquement nul, aussi bien au niveau haut qu'au niveau bas. Un modèle équivalent simplifié est un circuit ouvert.

Ce circuit est sensible uniquement à la tension.

Bien sûr l'entrée absorbe un courant mais tellement faible que ses effets sont négligeables

11.3. L'entrée à seuils (dite Trigger de Schmitt)



Les circuits logiques sont conçus pour travailler avec des signaux de forme bien précise. En dehors des plages de tension qui sont définies précisément, la durée de transition¹⁰ du signal doit être la plus brève possible, de l'ordre de la dizaine de nanosecondes. Un circuit logique ne devrait jamais être piloté par un signal "lent".

Les constructeurs ont mis au point de circuits dont les entrées acceptent des

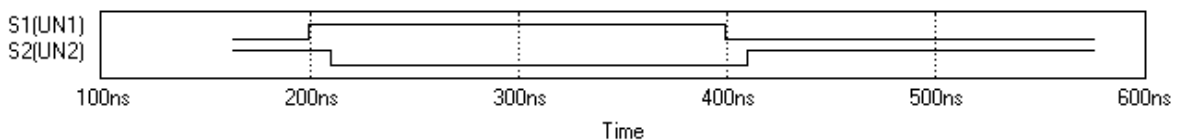
durées de transition plus importantes. Leur fonctionnement est caractérisé par la présence de deux seuils de basculement. Analysons un opérateur NON dont les entrées sont à seuils.

11.4. Les circuits combinatoires

Ces circuits présentent un inconvénient majeur. Nous allons le montrer par une simulation.

Considérons une fonction simple comme un inverseur, nous allons comparer le signal de sortie au signal d'entrée.

S1 est l'entrée, S2 la sortie. On constate un retard de la sortie sur l'entrée. Ce retard porte le nom de durée de propagation, il est fonction d'un grand nombre de paramètres comme la complexité du circuit. Ici cette durée est de 10 ns.



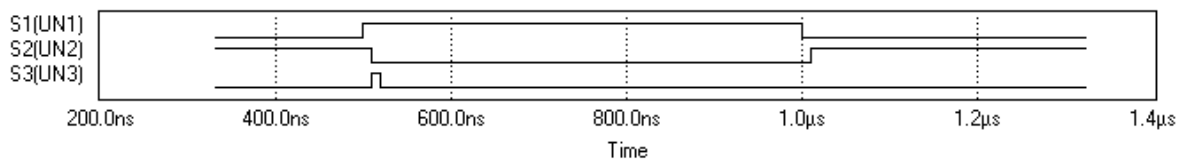
11.4.1. Quelles peuvent être les conséquences de ce retard ?

Ce retard est gênant lorsque

- les fréquences de fonctionnement sont élevées
- les circuits en aval sont très rapides.

11.4.2. Exemple de résultat gênant

Les signaux S1 et S2 sont les entrées d'une fonction ET. Le résultat théorique est une sortie S3 toujours à 0. La simulation montre un parasite dû aux durées de propagation. Ce parasite peut être gênant.



⁹ c'est une technique de réalisation

¹⁰ la transition est le passage d'un niveau logique à l'autre

11.5. Les circuits séquentiels

Les circuits séquentiels font intervenir une horloge. Une horloge est une sorte de métronome qui rythme le fonctionnement des circuits.

L'horloge peut agir sur un front ou bien encore sur un niveau. Nous détaillerons davantage cette notion très importante.

12. Pourquoi utiliser une horloge ?

12.1. Synchronisation du fonctionnement

Considérons un montage constitué d'un ensemble d'opérateurs logiques. Le problème vient de la durée de propagation de chaque circuit. Cela induit un court instant de cafouillis qui peut être gênant.

Question :

- Tracez un ensemble d'opérateurs logiques comportant plusieurs branches. Les diverses branches comptent un nombre d'opérateurs différents.

Chaque opérateur possède une durée de propagation. C'est-à-dire que la sortie est légèrement en retard sur l'entrée. Les durées de propagations habituelles sont de l'ordre de la dizaine de nanoseconde.

- Montrez, de façon qualitative, que cette configuration entraîne un instant de "flou" logique.

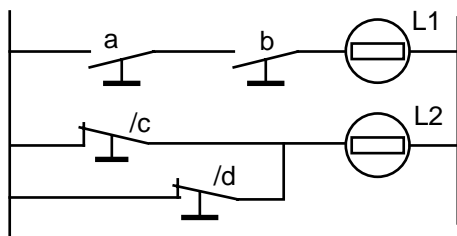
12.1.1. Intervention de l'horloge

Imaginons une course de haie dans laquelle les coureurs franchissent l'obstacle au coup de sifflet. Résultat tout le monde arrive en même temps. En effet les petits cafouillis sont masqués entre deux coups de sifflet.

L'horloge agit de la même façon. La progression se fait sur chaque coup d'horloge, les parasites ont le temps de s'éteindre pendant la période inactive de l'horloge.

13. Les fonctions logiques à contacts

Le câblage judicieux de boutons poussoirs ou de contacts permet de créer des fonctions logiques.



$$L1 = a \text{ ET } b$$

$$L1 = a \cdot b$$

$$L2 = /c \text{ OU } /d$$

$$L2 = /c + /d$$

La mise en série des contacts correspond à la fonction ET

La mise en parallèle des contacts correspond à la fonction OU

L'utilisation d'un contact fermé au repos correspond à la fonction NON

Questions

Montrez que la mise en série des contacts crée une fonction ET

Montrez que la mise en parallèle des contacts crée une fonction OU

Justifiez que L2 est assimilable au fonctionnement du plafonnier de voiture.

Montrez que l'utilisation d'un relais permet de créer une fonction NON à partir d'un bouton poussoir ouvert au repos.