

LES SYSTEMES DIGITAUX PROGRAMMABLES

P. MAILLACH*

1. LES CONCEPTS ELECTRONIQUES

La technologie électronique fait appel à deux concepts distincts :

- l'électronique analogique
- l'électronique logique.

On entend par "analogique" l'ensemble des techniques de traitement continu du signal électrique, tel que par exemple l'amplification ou la conversion en une autre grandeur (tension, courant, fréquence...). On dispose à l'heure actuelle d'un nombre important de fonctions plus ou moins complexes intégrées sous la forme de composants ou de circuits tels que des générateurs de tension, des amplificateurs opérationnels ou des opérateurs mathématiques.

L'arrangement de ces fonctions et l'exploitation des caractéristiques des composants permet de réaliser des fonctions spécifiques dont le résultat est exprimé sous la forme d'une grandeur électrique continue, d'une sensibilité infinie.

La principale difficulté rencontrée dans la mise en oeuvre d'une telle technologie concerne la précision. Les circuits électroniques sont constitués d'éléments semi-conducteurs dont les caractéristiques sont affectées par la température et le vieillissement. Ces dérives constituent des sources d'erreurs importantes qu'il faut minimiser.

Une autre difficulté est la disparité des caractéristiques et des dérives différentes pour des composants d'un même type.

Ce manque de constance fait qu'une dérive constatée sur un montage n'est pas nécessairement applicable au suivant, et donc ne peut pas être systématiquement compensée de la même façon.

* Directeur de la Société ELSYDE

93, Route de Corbeil - 91700 Ste GENEVIEVE DES BOIS

Il est cependant possible de modéliser un montage à partir de son schéma et des spécifications maximum fournies par les constructeurs pour chaque type de circuit intégré. On obtient une valeur de dérive maximum positive et négative affectant la grandeur de sortie.

Les composants sont généralement disponibles en plusieurs gammes de température définissant leur exploitation :

- commerciale (0 à 70°C)
- industrielle (-40 à + 85°C)
- militaire (-55 à + 125°C)

Une des applications principales de l'électronique analogique concerne la mise en forme et le traitement des signaux émis par des capteurs physiques.

Nous aborderons dans le chapitre suivant le cas typique de la sonde limnimétrique SPI-2 utilisant un capteur de pression à semi-conducteur.

Le développement de systèmes analogiques est fréquemment complexe et aboutit à une fonction figée pour une application précise. Les évolutions ou la disparité des environnements amènent le plus souvent à redéfinir l'ensemble du montage. Néanmoins, l'électronique analogique présente de telles caractéristiques de rapidité et de continuité de transfert qu'elle reste irremplaçable. Elle constitue un maillon indispensable de la chaîne de traitement électronique de bon nombre d'applications.

Par opposition à l'analogique, l'électronique "logique" traite exclusivement des signaux de tension "tout ou rien" qualifiant des informations binaires représentées par les chiffres 1 et 0.

Le seul lien réunissant ces deux technologies se situe au niveau de la définition des informations binaires d'un point de vue électronique.

Cette définition est variable en fonction de la technologie utilisée et de la tension d'alimentation des composants logiques.

En logique CMOS 5 V, (faible consommation), on considère généralement qu'une tension comprise entre 0 et 1,5 V constitue un niveau logique 0 et qu'une tension comprise entre 2,5 V et 5 V constitue un niveau logique 1. La zone intermédiaire est considérée instable et n'est pas définie.

On conçoit que de telles plages admissibles mettent l'électronique logique à l'abri des problèmes de dérive thermique des composants.

On traite en logique un certain nombre de fonctions élémentaires définissant des opérations telles que ET, OU, NON ET, OU EXCLUSIF...L'assemblage de ces opérations peut créer des fonctions complexes de mémorisation, de conversion ou de décodage binaire produites sous la forme de circuits intégrés.

L'ensemble de ces circuits possède des caractéristiques de performance, de consommation, d'impédance et de capacité définissant leur limite d'utilisation et faisant référence à des principes électroniques analogiques.

On distingue dès lors deux formes d'électronique logique :

- la logique séquentielle
- la logique programmable

La logique séquentielle exploite des composants discrets pour réaliser une fonction précise pouvant être relativement complexe. L'assemblage de ces composants constitués de circuits intégrés permet d'optimiser par exemple le temps d'exécution des opérations du fait qu'elles sont construites en utilisant uniquement les fonctions logiques élémentaires nécessaires dans le contexte de l'application.

Les temps d'exécution peuvent être extrêmement courts et s'expriment fréquemment en nano ou micro-secondes.

Le niveau d'intégration de telles fonctions est relativement faible du fait du volume de chaque circuit intégré élémentaire.

Les standards de production des composants ayant évolué, l'avènement des circuits intégrés CMS destinés au montage en surface sur les circuits imprimés améliore considérablement l'intégration des cartes logiques.

Les fonctions réalisées de cette façon sont figées et leur évolution nécessite fréquemment des modifications importantes du montage. Leur développement est complexe et les possibilités de traitement sont limitées. La logique séquentielle est néanmoins la seule technologie applicable dans le domaine des traitements rapides de signaux tels que par exemple les échantillonnages et stockages d'informations ainsi que les calculs rapides.

Le domaine d'application de la logique programmable est le plus vaste. Il est uniquement limité par les temps d'exécution des opérations qui peuvent ne plus être compatibles avec la rapidité imposée par l'application.

La principale application de la logique programmable est l'utilisation des micro-processeurs.

Elle se caractérise par un très haut niveau d'intégration et donc un faible nombre de composants. Elle permet la mise en oeuvre de traitements logiques extrêmement complexes et évolutifs.

Le développement d'un système à micro-processeur fait intervenir des concepts électroniques traditionnels liés à l'architecture du montage et des techniques de programmation et d'analyse puissantes.

L'évolution de la technologie permet la conception de processeurs de plus en plus rapides repoussant leur limite d'utilisation.

La facilité de réalisation électronique constitue un atout fondamental.

2 LES APPLICATIONS DE LA LOGIQUE PROGRAMMABLE

On peut distinguer deux familles d'applications des systèmes à micro-processeur :

- les micro-ordinateurs
- les micro-contrôleurs ou automates.

Les micro-ordinateurs sont conçus comme des outils de traitement, d'exécution des logiciels de calcul, de manipulation de données ou de gestion. La priorité est par conséquent donnée à la vitesse d'exécution et à la capacité mémoire. L'intégration et la consommation constituent des critères de second ordre.

Les micro-contrôleurs et les automates ont pour vocation de gérer des processus ou d'acquérir et traiter des informations. Les critères principaux sont le fonctionnement en environnement sévère, la consommation limitée, les possibilités d'entrées-sorties et le faible encombrement. La rapidité d'opération est également une caractéristique importante pour piloter des processus adaptés à des phénomènes physiques.

La programmation ainsi que l'architecture des systèmes sont spécifiques à la fonction que doit remplir le matériel : il s'agit donc d'une conception différente de celle des micro-ordinateurs.

Des micro-processeurs ont été développés pour l'une ou l'autre des applications, c'est à dire la conception d'unités centrales performantes et rapides ou la réalisation de matériels autonomes.

Dans cette dernière application, qui est celle nous concernant plus particulièrement, la technologie la plus adaptée est celle des micro-processeurs monochip CMOS 8 ou 16 bits.

Leur particularité est de réunir en un composant unique les fonctions complètes d'un ordinateur, c'est-à-dire un espace mémoire de programme, un espace mémoire de données et des entrées-sorties.

Ils sont en plus dotés d'un répertoire d'instructions adapté à la manipulation de registres et à la gestion des entrées-sorties optimisant les vitesses de traitement.

Les micro-ordinateurs monochip sont fréquemment programmés en langage assembleur ou dans des langages évolués à haut rendement de type PL/M INTEL.

Nous allons dans le chapitre suivant, décrire l'architecture et le fonctionnement des micro-processeurs monochip utilisés dans les matériels CHLOE/OEDIPE/SPI ORSTOM-ELSYDE.

3 DESCRIPTION D'UN MICRO-PROCESSEUR MONOCHIP

Les systèmes CHLOE/OEDIPE & SPI sont bâtis autour d'un micro-processeur monochip INTEL 80C49.

Ce composant, bien qu'étant maintenant d'une conception relativement ancienne, présente un certain nombre de particularités qu'il est intéressant de présenter à titre d'exemple.

Il s'agit d'un circuit au standard DIL 40 broches réalisé en technologie CMOS, donc de faible consommation. Il est alimenté par une tension continue $5 V \pm 5\%$ unique et son oscillateur interne est activé par un quartz implanté directement entre deux broches du composant.

Ce processeur possède les caractéristiques suivantes (fig. 1) :

- 4 Koctets de codes-programmes
- 128 octets de mémoire de données

- 2 ports 8 bits d'entrées/sorties bi-directionnelles
- 2 entrées testables directement par logiciel
- 1 entrée d'interruption
- 1 timer/compteur 8 bits.

Le registre d'instruction est optimisé pour limiter le nombre d'octets de code-programme. Environ 50% des opérations ne nécessitent qu'un octet de code (mouvement entre les registres et l'accumulateur -direct et indirect-, addition entre un registre et l'accumulateur, gestion du timer/compteur...). Le reste des instructions est codé sur deux octets (addition ou opération logique avec une valeur numérique, sauts conditionnels ou absolus, appel d'un sous-programme...).

Le 8049 est pourvu d'un certain nombre d'instructions remarquables exécutant des commandes relativement complexes en une opération : Il est par exemple possible de décrémenter un registre et d'effectuer un saut conditionnel si la valeur de ce registre est différente de 0 (DJNZ, adresse). Cette commande utilise deux octets.

Une autre instruction permet de piocher une valeur dans une table en utilisant le contenu de l'accumulateur comme adresse (MOVP3 A, @A).

Un composant spécifique d'entrées/sorties a été conçu pour être directement connecté au 8049. Un répertoire d'instructions est adapté à ce composant.

Le 80C49 fonctionne avec un oscillateur de fréquence maximum 11 Mhz permettant l'exécution d'une instruction en 1,36 µs.

La consommation est fonction de la fréquence d'oscillateur choisie. A 3 Mhz, elle est typiquement de 2,5 mA, mais elle peut être limitée à environ 500 µA en mode HALT et à 1 µA en mode STOP avec une tension d'alimentation réduite à 2 V.

Une version du 8049 inclut une mémoire-programme EPROM (effaçable aux U.V.) résidente dans le composant. La version de base (80C39) nécessite d'implanter le logiciel dans une mémoire externe. Etant donné son faible coût, cette dernière version est la plus répandue.

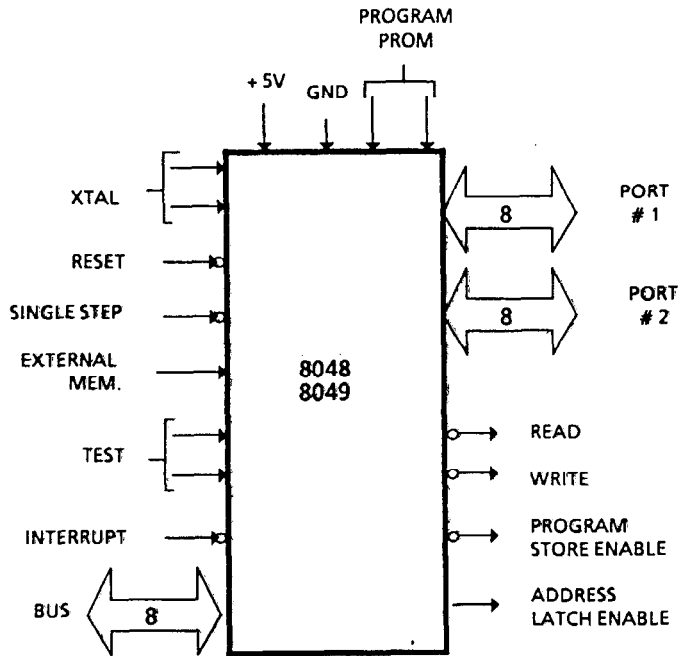


Fig. 1 : Architecture d'un microprocesseur INTEL 8048

4 ARCHITECTURE D'UN SYSTEME "CHLOE"

CHLOE est une centrale d'acquisition et d'enregistrement de données.

Elle inclut une carte électronique unique sur laquelle est implanté le processeur ainsi que ses circuits associés et les alimentations (fig. 2).

Le processeur employé est un 80C39 auquel sont associés un certain nombre de périphériques assurant des fonctions telles que l'extension d'entrées/sorties et la génération de la base de temps calendaire.

Le schéma général est le suivant :

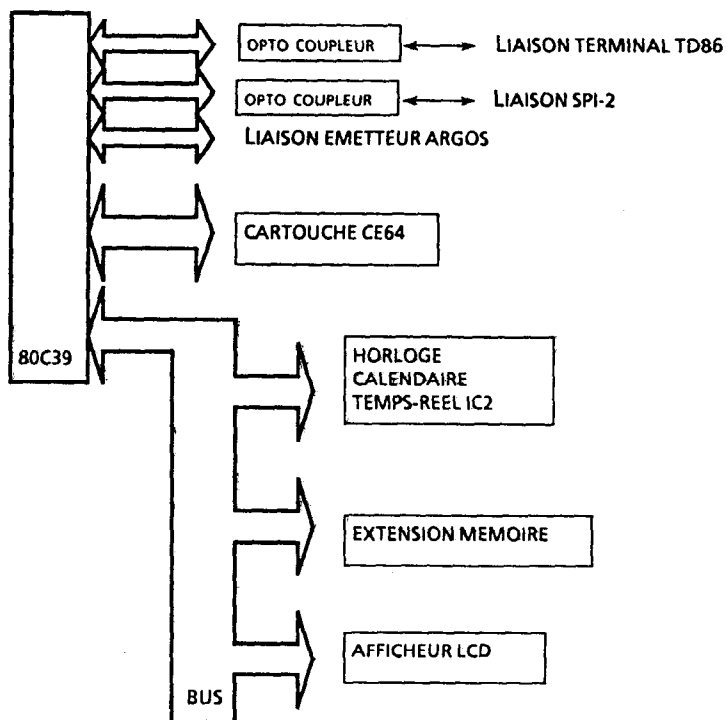


Fig. 2 Architecture du système CHLOE C

Le 8039 gère l'intégralité du fonctionnement du système.

Le circuit horloge (IC2) assure de façon autonome la génération du calendrier et du temps. Elle est connectée sur le bus d'adresse et de données et est exploitée comme une mémoire externe possédant des espaces d'entrée et de sortie et une procédure précise d'accès par le logiciel. L'horloge et les performances des composants sont en perpétuelle évolution.

La conception du 8049 remonte environ à 10 ans. Certaines améliorations ont été réalisées telles que le passage à la technologie CMOS pour la faible consommation, l'extension de la mémoire interne de données et l'adjonction de nouvelles instructions. Cependant, les possibilités demeuraient limitées du fait de la faible capacité de traitement (4 Koctets de programme adressable au maximum).

Le concept du micro-processeur monochip a considérablement évolué avec l'apparition du 8051 INTEL dont les caractéristiques électroniques et logicielles permettent de l'utiliser dans la conception des micro-contrôleurs aussi bien que dans la réalisation d'unités centrales d'ordinateurs.

A titre d'exemple, on peut énumérer les caractéristiques principales :

- 4 Koctets de mémoire-programme interne
- 28 octets de mémoire de données interne
- 64 Koctets adressables directement en programme externe
- 64 Koctets adressables directement en mémoire de données externe
- 32 bits d'entrées/sorties
- 2 timer/compteur 16 bits
- 5 sources d'interruption dont 2 externes
- 1 port de communication série asynchrone ou synchrone (RS232 ou multi-processeur)
- instruction de multiplication et de division interne (4 μ s à 12 Mhz)
- Mode faible consommation (4 mA en fonction, 50 μ A en STOP)
- Temps de cycle = 1 μ s à 12 Mhz.

L'architecture du 80C51 est remarquable car elle intègre deux processeurs en un seul composant.

Le premier fonctionne en unité arithmétique et logique 8 bits et le second en opération booléennes. Le processeur booléen permet de considérer bit à bit, l'ensemble des entrées/sorties et des registres-mémoire, et de réaliser des fonctions logiques directement en logiciel (la retenue (CY) joue le rôle d'accumulateur bit).

Le 80C51 est maintenant lui-même technologiquement dépassé par le 8096 INTEL qui constitue une véritable unité centrale 16 bits pouvant être utilisée en monochip. Il reprend les principales caractéristiques du 8051 et lui adjoint (entre autres) un convertisseur analogique/numérique.