



2023

18. Circuits intégrés

R2 : Guide SCRAPY

Numéro de projet: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue pas une approbation du contenu, qui reflète uniquement les points de vue des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de toute utilisation qui pourrait être faite des informations contenues dans ce document.



**Co-funded by
the European Union**

ECAM EPMI

30/04/2023

Table des matières

1. Introduction	2
2 À l'intérieur du CI.....	2
3 paquets IC.....	4
4 Marquage de polarité et numérotation des broches.....	4
5 styles de montage	5
5.1 DIP (packages doubles en ligne)	5
5.2 Boîtiers à montage en surface (SMD/SMT).....	7
5.3 Petit contour (SOP).....	7
5.4 Forfaits Quad Flat	7
5.5 Réseaux de grilles à billes	8
6 CI courants.....	9
6.1 Portes logiques, minuteriers, registres à décalage, etc.	9
6.2 Microcontrôleurs, microprocesseurs, FPGA, etc.	10
6.3 Capteurs	10
7. Conclusion	10

1. Introduction

Les circuits intégrés (CI) sont la clé de voûte de l'électronique moderne. Ils constituent le cœur et le cerveau de la plupart des circuits. Ce sont les petites « puces » noires omniprésentes que l'on trouve sur presque tous les circuits imprimés. À moins que vous ne soyez une sorte de magicien fou de l'électronique analogique, vous aurez probablement au moins un circuit intégré dans chaque projet électronique que vous construisez, il est donc important de les comprendre, de fond en comble.



Les circuits intégrés sont de petites « puces » noires que l'on retrouve partout dans l'électronique embarquée.

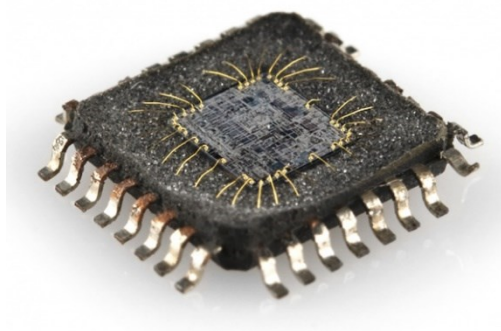
Un circuit intégré est un ensemble de composants électroniques (résistances, transistors, condensateurs, etc.) tous regroupés dans une minuscule puce et connectés pour atteindre un objectif commun. Il en existe de toutes sortes : portes logiques à circuit unique, amplificateurs opérationnels, minuteries 555, régulateurs de tension, contrôleurs de moteur, microcontrôleurs, microprocesseurs, FPGA... la liste est longue.

Abordé dans cette leçon :

- La composition d'un CI
- Paquets IC courants
- Identifier les circuits intégrés
- CI couramment utilisés

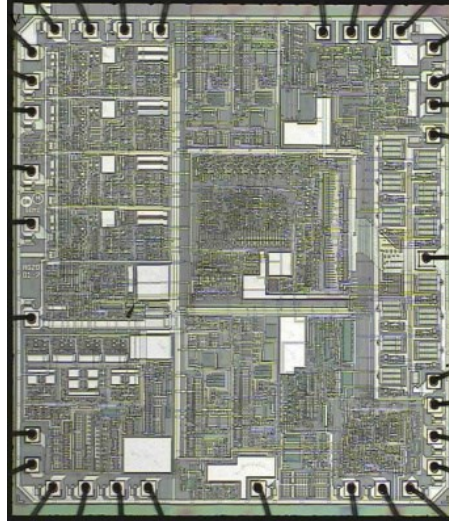
2 À l'intérieur du CI

Quand on pense aux circuits intégrés, ce sont de petites puces noires qui nous viennent à l'esprit. Mais qu'y a-t-il à l'intérieur de cette boîte noire ?



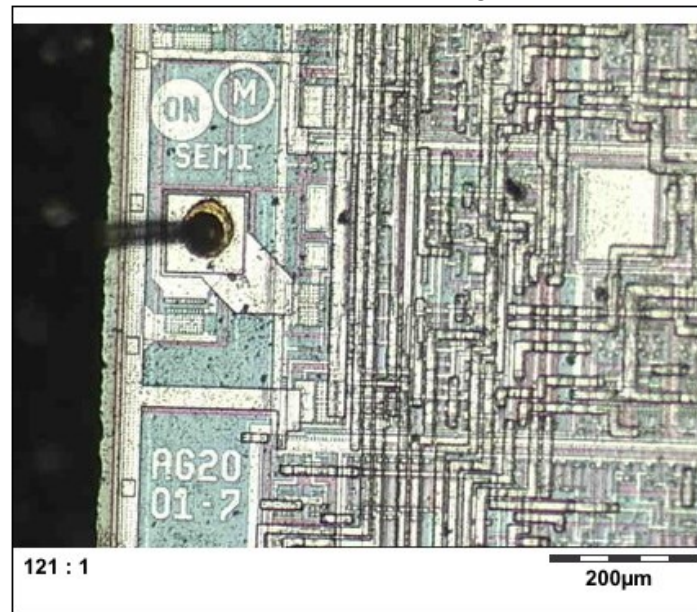
Les entrailles d'un circuit intégré sont visibles après avoir retiré le dessus.

La véritable « chair » d'un circuit intégré est une stratification complexe de plaquettes semi-conductrices, de cuivre et d'autres matériaux, qui s'interconnectent pour former des transistors, des résistances ou d'autres composants dans un circuit. La combinaison découpée et formée de ces tranches est appelée matrice.



Un aperçu d'une puce IC.

Bien que le circuit intégré lui-même soit minuscule, les tranches de semi-conducteurs et les couches de cuivre qui le composent sont incroyablement fines. Les connexions entre les couches sont très complexes. Voici une section agrandie du dé ci-dessus :



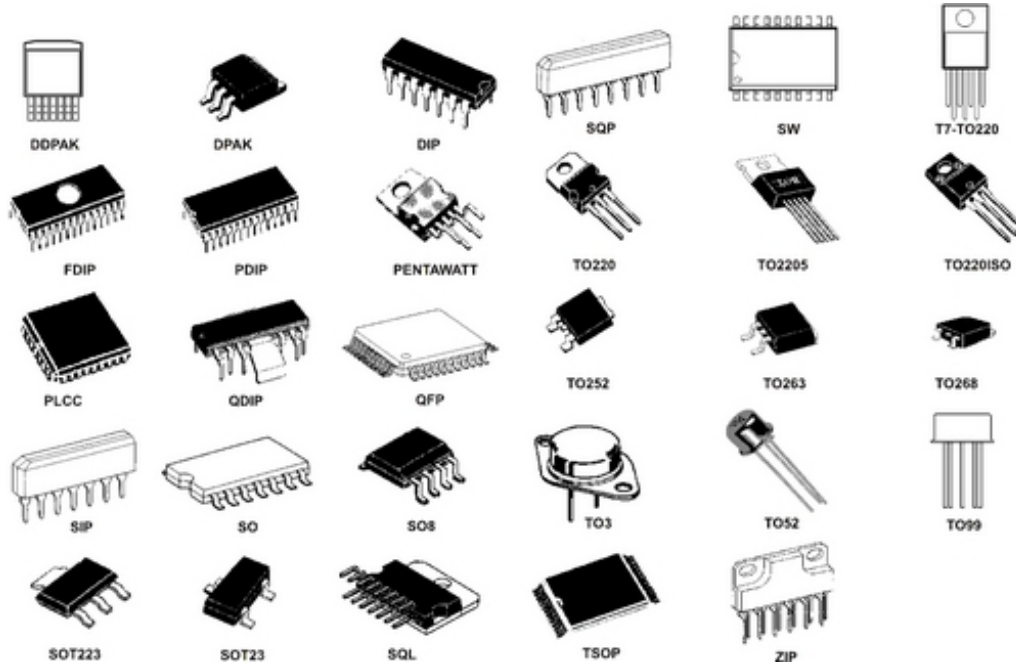
Une puce IC zoomée

Une puce IC est le circuit dans sa forme la plus petite, trop petit pour être soudé ou connecté. Pour faciliter notre travail de connexion au circuit intégré, nous emballons la puce. Le boîtier IC transforme le petit dé délicat en la puce noire que nous connaissons tous.

3 paquets IC

Le boîtier est ce qui encapsule la puce du circuit intégré et la répartit dans un appareil auquel nous pouvons nous connecter plus facilement. Chaque connexion externe de la puce est connectée via un petit morceau de fil d'or à une pastille ou une broche sur l'emballage. Les broches sont les bornes extrudées en argent d'un circuit intégré, qui se connectent ensuite à d'autres parties d'un circuit. Ceux-ci sont de la plus haute importance pour nous car ce sont eux qui seront connectés au reste des composants et des fils d'un circuit.

Il existe de nombreux types de boîtiers différents, chacun ayant des dimensions, des types de montage et/ou un nombre de broches uniques.



Différents types de packages IC.

4 Marquage de polarité et numérotation des broches

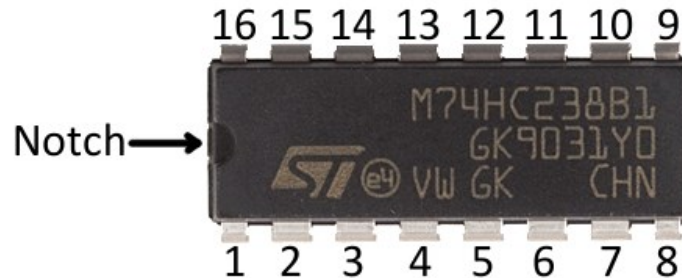
Tous les circuits intégrés sont polarisés et chaque broche est unique en termes d'emplacement et de fonction. Cela signifie que le package doit avoir un moyen de transmettre quelle broche correspond à laquelle. La plupart des circuits intégrés utilisent soit une encoche, soit un point pour indiquer quelle broche est la première broche. (Parfois les deux, parfois l'un ou l'autre.)

Une fois que vous savez où se trouve la première broche, les numéros de broches restants augmentent séquentiellement à mesure que vous vous déplacez dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour de la puce.


Marquage de polarité et numérotation des broches

5 styles de montage

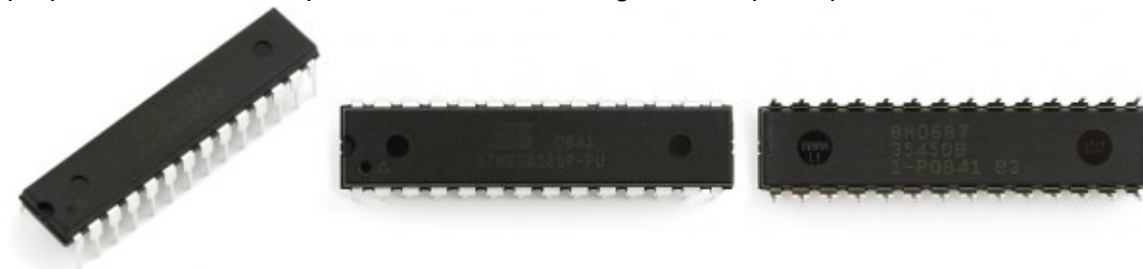
L'une des principales caractéristiques distinctives des types de boîtiers est la manière dont ils sont montés sur un circuit imprimé. Tous les packages se répartissent en deux types de montage : traversant (PTH) ou montage en surface (SMD ou SMT). Les packages traversants sont plus gros et beaucoup plus faciles à utiliser. Ils sont conçus pour être collés sur un côté d'une carte et soudés de l'autre côté.


Style de montage

Montage en surface la taille des emballages varie de petite à minuscule. Ils sont tous conçus pour reposer sur un côté d'un circuit imprimé et être soudés à la surface. Les broches d'un boîtier CMS sont soit extrudées sur le côté, perpendiculairement à la puce, soit parfois disposées en matrice au bas de la puce. Les circuits intégrés dans ce format ne sont pas très « faciles à assembler manuellement ». Ils nécessitent généralement des outils spéciaux pour faciliter le processus.

5.1 DIP (packages doubles en ligne)

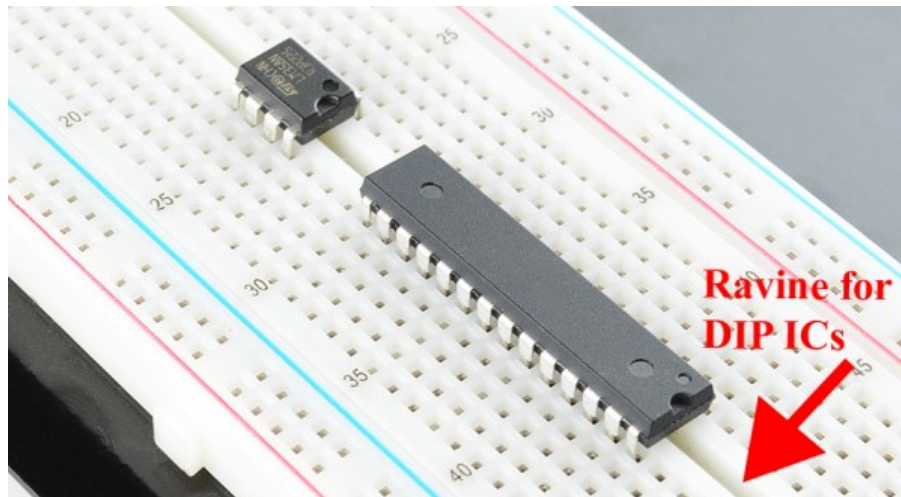
DIP, abréviation de Dual In-Line Package, est le boîtier IC traversant le plus courant que vous rencontrerez. Ces petites puces ont deux rangées parallèles de broches s'étendant perpendiculairement à partir d'un boîtier rectangulaire en plastique noir.



L'ATmega328 à 28 broches est l'un des microcontrôleurs en boîtier DIP les plus populaires.

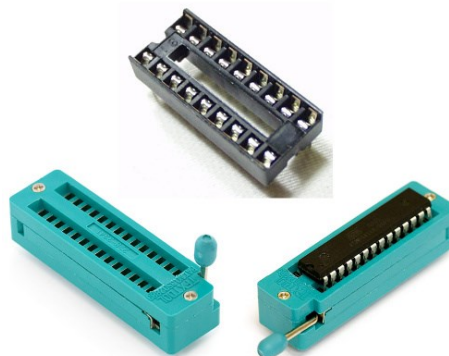
Chacune des broches d'un DIP IC est espacée de 0,1" (2,54 mm), ce qui est un espacement standard et parfait pour s'adapter aux planches à pain et autres cartes de prototypage. Les dimensions globales d'un boîtier DIP dépendent de son nombre de broches, qui peut être entre quatre et 64 pins.

La zone entre chaque rangée de broches est parfaitement espacée pour permettre aux circuits intégrés DIP de chevaucher la zone centrale d'une planche à pain. Cela donne à chacune des broches sa rangée dans le tableau et garantit qu'elles ne se court-circuitent pas.



Ci utilisés dans les planches à pain

En plus d'être utilisés dans les planches à pain, les circuits intégrés DIP peuvent également être soudés dans les PCB. Ils sont insérés d'un côté de la carte et soudés de l'autre côté. Parfois, au lieu de souder directement sur le circuit intégré, c'est une bonne idée de brancher la puce. L'utilisation de prises permet de retirer et de remplacer un circuit intégré DIP s'il "laisse s'échapper sa fumée bleue".



Une prise DIP ordinaire (en haut) et une prise ZIF avec et sans IC.

5.2 Boîtiers à montage en surface (SMD/SMT)

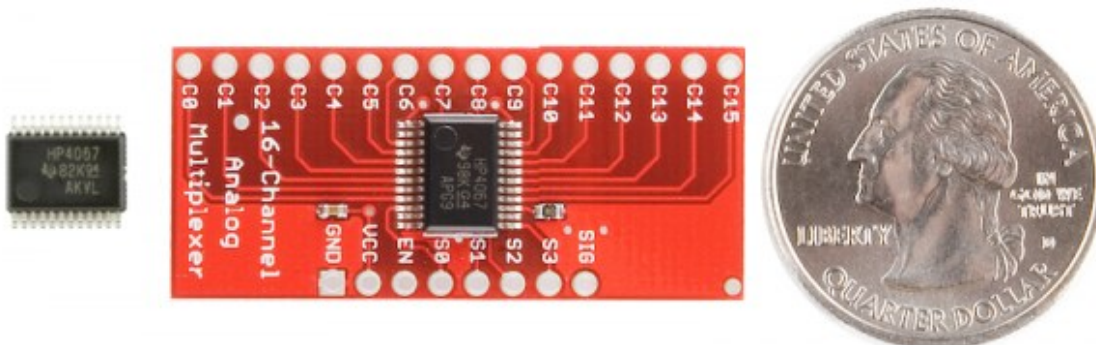
Il existe aujourd'hui une grande variété de types de boîtiers à montage en surface. Pour travailler avec des circuits intégrés montés en surface, vous avez généralement besoin d'une carte de circuit imprimé (PCB) personnalisée conçue pour eux, qui présente un motif de cuivre correspondant sur lequel ils sont soudés.

Voici quelques-uns des types de boîtiers CMS les plus courants, allant de "réalisable" à "réalisable, mais uniquement avec des outils spéciaux" à "réalisable uniquement avec des outils très spéciaux, généralement automatisés".

5.3 Petit contour (SOP)

Les boîtiers IC à petit contour (SOIC) sont le cousin monté en surface du DIP. C'est ce que vous obtiendriez si vous pliez toutes les broches d'un DIP vers l'extérieur et le réduisiez à sa taille. Avec une main ferme et un œil fermé, ces boîtiers font partie des pièces CMS les plus faciles à souder à la main. Sur les boîtiers SOIC, chaque broche est généralement espacée d'environ 0,05" (1,27 mm) de la suivante.

Le SSOP (shrink small-outline package) est une version encore plus petite des packages SOIC. D'autres packages IC similaires incluent TSOP (boîtier mince à petit contour) et TSSOP (boîtier mince à petit contour).

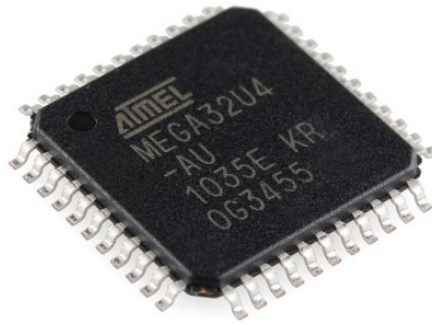


Un multiplexeur à 16 canaux (CD74HC4067) dans un boîtier SSOP à 24 broches. Monté sur une planche au milieu (quart ajouté pour comparaison de taille).

La plupart des circuits intégrés les plus simples et orientés vers une tâche unique, comme le MAX232 ou les multiplexeurs, se présentent sous la forme SOIC ou SSOP.

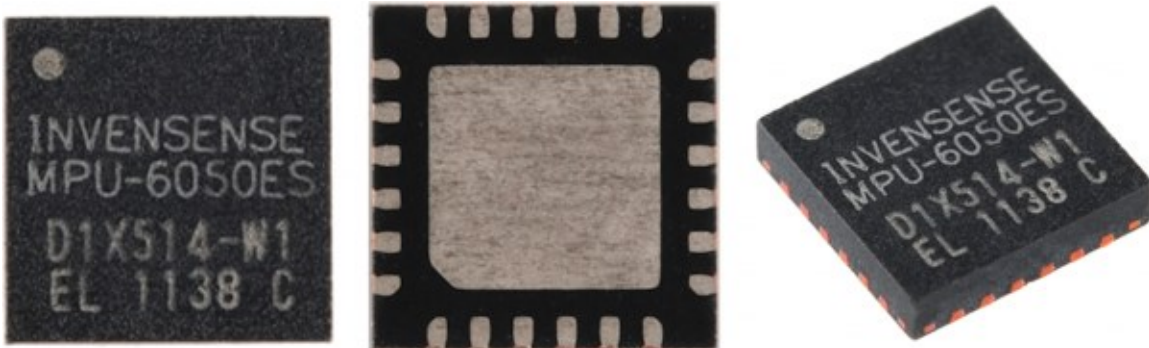
5.4 Forfaits Quad Flat

En écartant les broches IC dans les quatre directions, vous obtenez quelque chose qui pourrait ressembler à un boîtier quad-flat (QFP). Les circuits intégrés QFP peuvent avoir entre huit broches par côté (32 au total) et plus de soixante-dix (plus de 300 au total). Les broches d'un CI QFP sont généralement espacées de 0,4 mm à 1 mm. Les variantes plus petites du package QFP standard incluent les packages minces (TQFP), très fins (VQFP) et low-profile (LQFP).



L'ATmega32U4 est dans un boîtier TQFP à 44 broches (11 de chaque côté).

Si vous poncez les pattes d'un circuit intégré QFP, vous obtenez quelque chose qui pourrait ressembler à un boîtier quad-plat sans fil (QFN). Les connexions sur les boîtiers QFN sont de minuscules plages exposées situées sur les bords inférieurs du circuit intégré. Parfois, ils s'enroulent et sont exposés à la fois sur le côté et sur le dessous, d'autres emballages n'exposent que le tampon situé au bas de la puce.



Le capteur IMU MPU-6050 aux multiples talents est livré dans un petit boîtier QFN, avec 24 broches au total cachées sur le bord inférieur du circuit intégré.

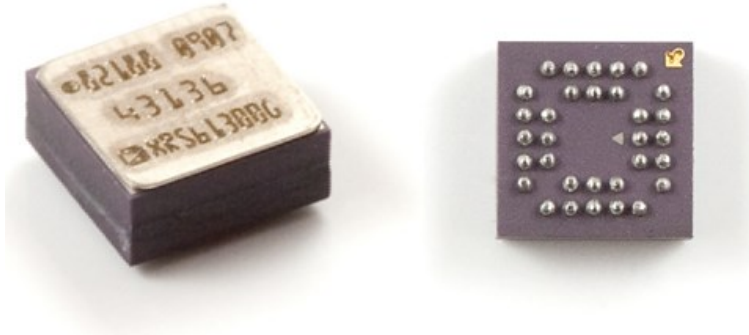
Les boîtiers minces (TQFN), très fins (VQFN) et micro-plomb (MLF) sont des variantes plus petites du boîtier QFN standard. Il existe même des boîtiers Dual No-Lead (DFN) et Thin-Dual No-Lead (TDFN), qui ont des broches sur seulement deux côtés.

De nombreux microprocesseurs, capteurs et autres circuits intégrés modernes sont disponibles en boîtiers QFP ou QFN. Le populaire microcontrôleur ATmega328 est proposé à la fois dans un boîtier TQFP et sous une forme de type QFN (MLF), tandis qu'un minuscule accéléromètre/gyroscope comme le MPU-6050 se présente sous une forme minuscule QFN.

5.5 Réseaux de grilles à billes

Enfin, pour les circuits intégrés vraiment avancés, il existe des packages BGA (Ball Grid Array). Ce sont des petits boîtiers incroyablement complexes dans lesquels de petites

billes de soudure sont disposées dans une grille 2D au bas du circuit intégré. Parfois, les billes de soudure sont fixées directement sur la matrice !



Réseaux de grilles à billes IC

Les packages BGA sont généralement réservés aux microprocesseurs avancés, comme ceux du pcDuino ou du Raspberry Pi.

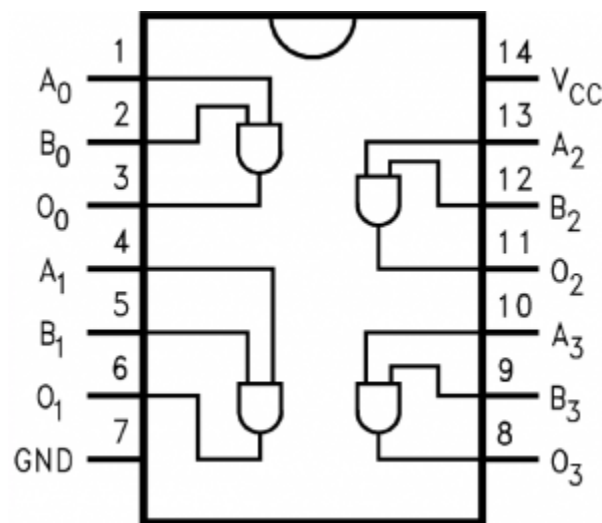
Si vous pouvez souder à la main un circuit intégré en boîtier BGA, considérez-vous comme un soudeur expert. Habituellement, la mise en place de ces boîtiers sur un PCB nécessite une procédure automatisée impliquant des machines de transfert et des fours de refusion.

6 CI courants

Les circuits intégrés sont répandus sous tellement de formes dans l'électronique qu'il est difficile de tout couvrir. Voici quelques-uns des circuits intégrés les plus courants que vous pourriez rencontrer dans le domaine de l'électronique pédagogique.

6.1 Portes logiques, minuteriers, registres à décalage, etc.

Les portes logiques, éléments constitutifs de bien plus de circuits intégrés eux-mêmes, peuvent être intégrées dans leur circuit intégré. Certains circuits intégrés de porte logique peuvent contenir une poignée de portes dans un seul boîtier, comme cette porte ET à quatre entrées :



Portes logiques à l'intérieur d'un circuit intégré

Les portes logiques peuvent être connectées à l'intérieur d'un circuit intégré pour créer des minuteries, des compteurs, des verrous, des registres à décalage et d'autres circuits logiques de base. La plupart de ces circuits simples peuvent être trouvés dans les packages DIP, ainsi que dans SOIC et SSOP.

6.2 Microcontrôleurs, microprocesseurs, FPGA, etc.

Les microcontrôleurs, les microprocesseurs et les FPGA, qui regroupent tous des milliers, des millions, voire des milliards de transistors dans de minuscules puces, sont tous des circuits intégrés. Ces composants existent dans une large gamme de fonctionnalités, de complexité et de taille ; d'un microcontrôleur 8 bits comme l'ATmega328 dans un Arduino, à un microprocesseur multicœur 64 bits complexe organisant l'activité dans votre ordinateur.

Ces composants constituent généralement le plus grand circuit intégré d'un circuit. Des microcontrôleurs simples peuvent être trouvés dans des packages allant de DIP à QFN/QFP, avec un nombre de broches compris entre huit et cent. À mesure que ces composants deviennent de plus en plus complexes, le package devient tout aussi complexe. Les FPGA et les microprocesseurs complexes peuvent avoir plus d'un millier de broches et ne sont disponibles que dans des packages avancés tels que QFN, LGA ou BGA.

6.3 Capteurs

Les capteurs numériques modernes, comme les capteurs de température, les accéléromètres et les gyroscopes, sont tous regroupés dans un circuit intégré.

Ces circuits intégrés sont généralement plus petits que les microcontrôleurs ou d'autres circuits intégrés sur une carte de circuit imprimé, avec un nombre de broches compris entre trois et vingt. Les circuits intégrés de capteurs DIP deviennent rares, car les composants modernes se trouvent généralement dans les boîtiers QFP, QFN et même BGA.

7. Conclusion

Les circuits intégrés sont présents dans presque tous les circuits. Maintenant que vous êtes familier avec les circuits intégrés, pourquoi ne pas découvrir certains de ces concepts connexes :

- **Bases des PCB** -Les circuits intégrés doivent être connectés à un circuit d'une manière ou d'une autre. Habituellement, nous soudons un circuit intégré à une carte de circuit imprimé (PCB). Consultez ce tutoriel pour en savoir plus sur ces petits tableaux verts.
- **Communication série, interface périphérique série (SPI) et I2C**- Ces trois protocoles de communication sont utilisés par les circuits intégrés pour communiquer entre eux.