

# Initiation à la pratique de l'électronique

## Les capteurs de position (4)

Notre codeur optique est presque au point : il ne reste plus qu'à convertir l'encodage original par une logique qui assurera l'absence de faux codes sur les transitions.

Plus adaptés aux déplacements en translation, les capteurs inductifs (dont le plus répandu, sous le vocable LVDT) font l'objet d'une première description.

### Les « mystères » du code reflex

Pour passer du code binaire au code reflex, on commence par écrire le nombre binaire selon la disposition habituelle, en mettant le plus à gauche le chiffre « poids » maximal (ou « MSB », qui signifie *Most Significant Bit* = chiffre le plus significatif).

Par exemple, onze s'écrira 1011 (une « huitaine », zéro « quatraine », une « deuxaine » et une unité :  $8 + 2 + 1 = 11$ ). Les chiffres successifs seront alors désignés par  $B_1$  (le MSB),  $B_2... B_n$ , le nombre ayant  $n$  chiffres binaires. Le chiffre  $B_n$  sera le chiffre des unités, soit ici le « LSB » (*Least Significant Bit* = chiffre le moins significatif).

Nous allons utiliser maintenant la notion de « somme binaire sans retenue ». Il s'agit tout simplement d'un chiffre qui est :

- 1 si l'on a additionné sans retenue un nombre impair de 1 ;
- 0 si l'on a additionné sans retenue un nombre pair de 1.

Par exemple, l'addition binaire sans retenue de 1 et 1 donne 0. S'il s'agit de 1 et 1 et 1 et 1 (cinq fois), on obtient 1.

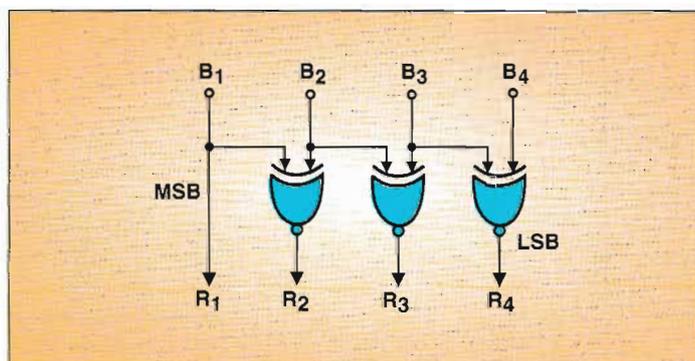


Fig. 21. - A partir des chiffres  $B_1$  à  $B_4$  d'un nombre binaire, on obtient les chiffres  $R_1$  à  $R_4$  du nombre « reflex » correspondant par trois circuits « ou exclusifs ».

Une fois le nombre binaire écrit, on met, sous le MSB,  $B_1$ , le même chiffre (ici 1), qui sera  $R_1$ , le premier chiffre reflex. Puis, sous chaque chiffre binaire  $B_p$ , on inscrit la somme binaire sans retenue de ce chiffre et de  $B_{p-1}$ , qui est juste à sa gauche, et ce jusqu'au dernier chiffre binaire.

Cela nous donne ici :

binaire (onze) : 1 0 1 1  
 reflex : 1 1 1 0

En effet, le deuxième et le troisième chiffres reflex sont 1 (somme binaire sans retenue de 1 et 1).

Comme l'addition binaire sans retenue de deux chiffres peut se faire avec un circuit « ou exclusif », on convertira un nombre binaire de  $n$  chiffres en nombre reflex de  $n$  chiffres en utilisant  $(n-1)$  circuit « ou

exclusifs », ainsi que le montre la figure 21 (valable pour des nombres de quatre chiffres, mais l'extension à un nombre quelconque de chiffres est immédiate).

Si, maintenant, vous appliquez ce principe de conversion aux douze premiers nombres binaires (en commençant par le nombre 0001, soit un), vous verrez que les douze premiers nombres reflex sont : 0001 0011 0010 0110 0111 0101 0100 1100 1101 0111 1110 1010, et l'on peut vérifier que, en passant d'un nombre au suivant, il y a toujours un chiffre et un seul qui change. On reconnaît immédiatement un disque codeur réalisé en code reflex parce que, comme le montre la figure 22, les séparations des secteurs de la

piste numéro p-1 tombent au milieu des secteurs de la piste p.

## Du reflex vers le binaire

Le passage du code reflex au binaire est, lui aussi, fort simple. Si l'on écrit le nombre en code reflex, avec le MSB ( $R_1$ ) à gauche, suivi des chiffres  $R_2, R_3, \dots, R_n$ , on recopie le MSB,  $R_1$ , qui devient  $B_1$ . Ensuite, pour avoir le chiffre binaire  $B_p$ , on écrit sa valeur comme le résultat de l'addition binaire sans retenue des chiffres  $R_1, R_2, \dots, R_p$ .

Par exemple, le nombre douze, soit 1010 en reflex, donnera :

reflex : 1 0 1 0  
binaire : 1 1 0 0

Le MSB est le même que le MSB reflex : c'est 1. Ensuite, le binaire  $B_2$  est 1 (somme binaire sans retenue du reflex  $R_1$ , qui est 1, et du reflex  $R_2$ , qui est 0). Le binaire  $B_3$  sera la somme binaire sans retenue de  $R_1, R_2$  et  $R_3$ , qui valent 1, 0 et 1. Ce sera 0 (et il en sera de même du binaire  $B_4$ , puisque, en ajoutant sans retenue les quatre chiffres reflex, soit 1, 0, 1 et 0, on trouve 0).

L'inconvénient de cette méthode, c'est qu'elle nécessite de faire des sommes binaires sans retenues de plus de deux chiffres. Alors, on peut changer un peu la méthode de conversion, en disant que : le binaire  $B_p$  est le résultat de l'addition binaire sans retenue du binaire  $B_{p-1}$  et du reflex  $R_p$ . On utilise alors, pour la conversion d'un nombre reflex de n chiffres le montage à n - 1) circuits « ou exclusifs » selon le schéma de la figure 23. On peut démontrer qu'une petite erreur sur la position de la ligne lumineuse donnée par une lampe sur une piste donnée n'entraîne, sur le nombre binaire obtenu après conversion du nombre reflex lu, qu'une erreur correspondant à

l'écart de position de la ligne, pas plus.

En codage binaire pur, nous avons vu que, lors du passage de la position n° 127 à la position n° 128, une erreur d'une fraction de degré sur la position d'un trait lumineux de lecture pouvait nous donner une valeur égale à 257, soit une erreur d'environ quarante-cinq degrés (dans le cas d'un codeur à huit pistes). Le code reflex ne dispense pas de la nécessité de bien placer les traits lumineux de lecture, mais les imprécisions d'emplacement ne conduisent qu'à des erreurs de l'ordre de grandeur de ces imprécisions.

## Pourquoi ces engins sont-ils si chers ?

L'utilisation du code reflex a bien simplifié la réalisation des disques codeurs, en supportant les erreurs qui surviennent lors des franchissements simultanés, mais il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'une réalisation de haute précision, dès que l'on veut avoir une bonne précision, donc dès que l'on doit utiliser un grand nombre de pistes.

On imagine généralement que la réalisation du disque se fera par réduction photographique d'un dessin à très grande échelle, ce dernier étant d'autant plus facile à réaliser que les pistes fortement divisées sont la répétition de motifs identiques.

Hélas ! si la méthode de réduction photographique est idéale pour réaliser les masques de circuits intégrés, elle se prête mal à l'obtention des disques codés, pour des problèmes de centrage que nous ne détaillerons pas ici.

On est donc obligé de fixer définitivement sur l'axe du codeur une plaque photosensible, dont le plan doit être rigoureusement perpendicu-

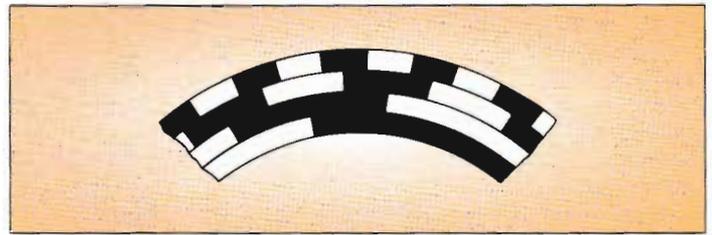


Fig. 22. - Sur un encodeur de position réalisé en code reflex, on voit immédiatement que les limites des zones opaques et des zones transparentes pour la piste  $P_n$  arrivent en face des milieux des zones opaques de la piste  $P_n + 1$ . Il n'y a jamais deux limites de zones alignées avec le centre sur deux pistes différentes, contrairement au cas du disque binaire.

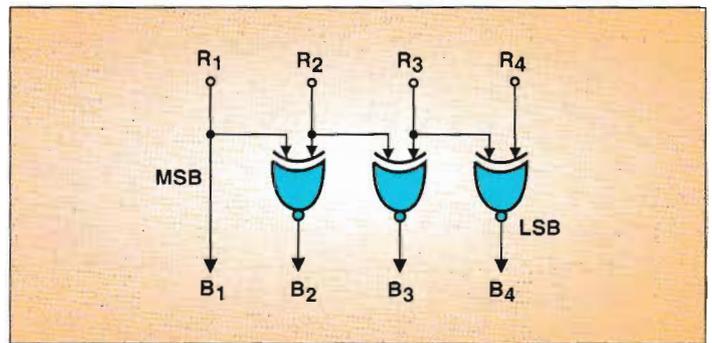


Fig. 23. - Pour passer du nombre reflex au nombre binaire, on le fait également avec des « ou exclusifs », mais le branchement est un peu différent de celui qui avait servi pour la conversion opposée.

laire à cet axe. Ensuite, on entraîne la plaque par des rotations connues de l'axe, au moyen d'un plateau diviseur, pendant que des diodes laser qui s'allument et s'éteignent, suivant un rythme commandé par un ordinateur, impressionnent les secteurs, qui seront ensuite traités comme une photographie, toujours avec la plaque définitivement liée à l'axe.

Des systèmes optiques de haute précision vont donner, sur les pistes, des traits lumineux calés à quelques micromètres près.

Avec toutes ces précisions, on arrive alors à des encodeurs de position à seize pistes (65 536 positions pour un tour, soit une incertitude proche de 1/200 de degré. L'encodeur en question dépasse alors le prix d'une grosse automobile de luxe.

En se limitant à huit pistes seulement (précision inférieure à 1,5°), l'encodeur a déjà un prix qui ne peut s'écrire qu'avec quatre chiffres (en dollars).

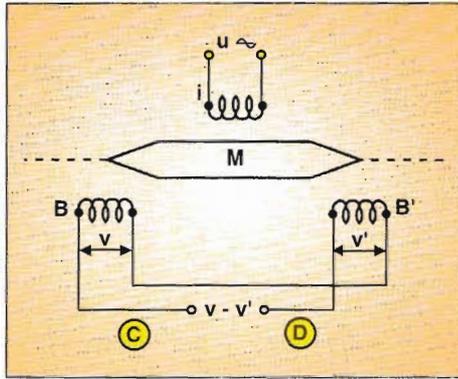
Mais, évidemment, de tels capteurs de position représentent la perfection et donnent la position de l'axe dès la mise sous tension, sans avoir à recourir au système du « top de remise à zéro » que nous avons évoqué plus haut.

Précisons également que la méthode de codage optique peut s'appliquer à un objet autre qu'un disque. On peut, en effet, envisager des pistes droites, parallèles, pour un déplacement linéaire : on emploie souvent cette technique pour les machines-outils à commande numérique.

## Autres capteurs de position

On n'en finirait pas de faire la liste des différents capteurs de position. Avant de terminer cette revue (forcément très incomplète) des différents systèmes électroniques permettant de connaître la position d'un objet, en parlant un peu du « transformateur différen-

Fig. 24. - Dans le « transformateur différentiel », le déplacement du noyau magnétique  $M$  fait varier les amplitudes des tensions  $v$  et  $v'$  induites dans les bobinages  $B$  et  $B'$ . Un démodulateur cohérent, attaqué par la tension  $v-v'$ , donne une tension qui indique la position du noyau  $M$ .



tiel », indiquons certains moyens utilisés pour repérer où se trouve un mobile donné. On peut, par exemple, utiliser la variation de self-induction d'un bobinage déformable en fonction de cette déformation. On sait en effet qu'un bobinage ayant un nombre de tours donné, un diamètre donné, a un coefficient de self-induction qui diminue quand sa longueur augmente. On peut donc mesurer le coefficient de self-induction d'un

bobinage qui forme une sorte de ressort à boudin : sa valeur indiquera l'allongement du ressort.

La variation de capacité entre une lame mobile et une lame fixe est aussi un moyen de connaître la position de la lame mobile.

Le dernier capteur que nous décrivons ici est nommé le « transformateur différentiel ». Il s'agit (fig. 4) d'un système comportant trois bobinages. Le premier,  $I$ , est nommé « in-

ducteur », on lui applique une tension alternative  $u$ . Les deux autres sont les « induits »,  $B$  et  $B'$ , dans lesquels le champ alternatif produit par  $I$  induit des tensions alternatives  $v$  et  $v'$ . Les deux enroulements  $B$  et  $B'$  sont montés « en opposition », de telle sorte que l'on dispose ainsi, entre les points  $(C)$  et  $(D)$ , d'une tension  $v-v'$ .

Pour canaliser le flux de  $I$  vers les bobinages  $B$  et  $B'$ , on utilise un noyau magnétique mobile  $M$ , qui peut se déplacer suivant la direction indiquée en pointillés. Ses deux extrémités sont en forme de pointes, d'un profil soigneusement étudié.

Quand le noyau se déplace vers la gauche, la tension  $v$  augmente, car le couplage entre  $I$  et  $B$  est amélioré, tandis que  $v'$  diminue, du fait de la réduction du couplage entre  $I$  et  $B'$ . A l'opposé, si le noyau  $M$  se déplace vers la droite,

c'est  $v'$  qui augmente et  $v$  qui diminue.

Quand le noyau  $M$  est dans sa position médiane,  $v = v'$  et il n'y a pas de tension entre  $(C)$  et  $(D)$ . Suivant que le noyau se déplace vers la gauche ou vers la droite, la tension  $v - v'$  est en phase ou en opposition de phase avec  $u$ . Si la forme du noyau et la position des bobinages ont été bien étudiées, la variation d'amplitude de  $v-v'$  est proportionnelle au déplacement de  $M$ , en tous cas pour un déplacement inférieur à un certain maximum.

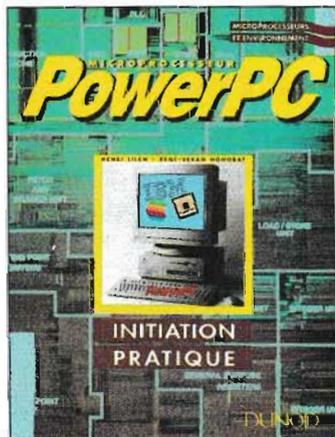
On doit donc, là encore, utiliser, pour « exploiter » l'information donnée par la tension  $v-v'$ , une démodulation cohérente. On peut alors obtenir une tension continue, positive ou négative suivant le sens de déplacement de  $M$ , et proportionnelle (en valeur absolue) à ce déplacement.

J.-P. Cehmichen

## bibliographies

### Micro- processeur Power-PC : initiation pratique

Par Henri LILEN, René-  
Véran HONORAT



Destiné à un public de techniciens, d'ingénieurs, de chercheurs et d'étudiants, cet ouvrage important a pour ambition de dévoiler les caractéristiques, les avantages et le fonctionnement des microprocesseurs Power-PC. Les auteurs l'ont conçu à la fois comme un guide de parcours du monde Power-PC et comme un outil de travail destiné aux professionnels. Ce livre a été rédigé en été 1994.

Il tient donc compte des plus récentes évolutions de la famille Power-PC.

Créé par IBM, Motorola et Apple, ce microprocesseur équipera les ordinateurs de demain (il équipe déjà certaines machines) qui verront ainsi leur puissance et leur rapidité augmenter considérablement.

Les premiers chapitres ont une tonalité technico-historique, les objectifs commerciaux et stratégiques sont développés ainsi que les concepts de base du RISC. Puis l'architecture Power-PC est détaillée. Plusieurs chapitres donnent tous les détails techniques du PPC 601 : architecture, programmation, jeux d'instructions et signaux. Idem pour les processeurs 603 et 604. Pour terminer, *Microprocesseur Power-PC*, donne tous les renseignements utiles sur la famille des microcontrôleurs MPC 500 et sur le circuit d'interface MPC 105.

Editeur : Dunod.

Prix : 195 F.

### World radio-TV Handbook 1995

Rappel : l'édition 1995 de la bible des radioamateurs et des amateurs d'ondes courtes est disponible dans les librairies spécialisées depuis fin février.

Distribution en France : Dunod.

Prix : 175 F.

**LE HAUT-PARLEUR**

**SUR  
MINITEL**

**3615  
Code HP**