

ENCODEUR DE POSITION

A. van der Schueren, P. Têtu

J.J. Aebi, L. Bernard, M. Sartorio

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
I. INTRODUCTION	2
II. DONNEES DU PROBLEME	2
III. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	4
IV. APPLICATIONS	5
IV.1. Multiplexage	5
IV.2. Commandes	5
IV.3. Liaisons avec ordinateurs	6
APPENDICE	8
1. Généralités sur les encodeurs	8
2. Ambiguités intrinsèques au disque	9
2.1. Transcodeur	10
3. Ambiguités disque à disque	11
3.1. Mécanique de l'encodeur	11
3.2. Principe utilisé	12
3.3. Commutation contacts avant-arrière	13

I. INTRODUCTION

Nous décrivons un ensemble de codage digital d'un système mécanique mobile à des fins de contrôle par ordinateur. La description comprend en particulier :

- celle d'un encodeur de position angulaire,
- celle de l'électronique associée de transcodage et d'affichage,
- celle du système de liaison avec l'ordinateur.

Nous exposerons tout d'abord les données du problème tel qu'il s'est posé au linac; nous indiquerons ensuite les caractéristiques de l'encodeur; nous citerons les différentes applications que nous envisageons et nous donnerons en appendice des détails sur les différents problèmes que pose la logique d'un encodeur en général et du notre en particulier en insistant sur les ambiguïtés que l'on risque de voir apparaître au cours du développement d'un encodeur.

II. DONNEES DU PROBLEME

Le linac utilise un ensemble de volets à fentes variables dont on veut connaître et commander l'ouverture et la position au 1/10 de millimètre près.

Généralement, pour des raisons pratiques prenant en considération la précision de la mécanique d'une part et la vitesse du déplacement d'autre part, la vis entraînant les plaques de ces volets est au pas de 1 mm par tour. Si nous voulons utiliser un encodeur et le relier mécaniquement de façon simple à cette vis, il est nécessaire que le nombre d'états par tour de l'encodeur corresponde au nombre d'états par tour de la vis que nous voulons discriminer (soit 10 dans notre cas). Nous éviterons ainsi d'utiliser des engrenages d'une part et ayant d'autre part une plage de 36° d'angle par état à discriminer le réglage de l'ensemble mécanique-encodeur sera facilité.

Les déplacements maxima étant de l'ordre de 140 mm nous avons été conduits à élaborer un encodeur ayant les caractéristiques suivantes et dont la Figure 1 montre une vue photographique.

- a) Nombre de décades : 4 ,
- b) Un digit doit représenter 36° d'angle de l'axe du codeur,
- c) La vitesse de déplacement du système mécanique est de l'ordre de 60 à 120 millimètres à la minute soit pour l'encodeur un nombre de tours de 120 à la minute sur l'axe de commande,
- d) L'ensemble doit être à mémoire non destructive,
- e) Les dimensions extérieures pour des raisons de place disponible sur certains ensembles ne peuvent excéder $100 \times 60 \times 50$ mm,
- f) La fiabilité doit représenter une utilisation opérationnelle normale sans révision durant 2 années,
- g) La fabrication en petite série doit être rendue aisée par l'utilisation de matières relativement peu coûteuses et de procédé d'usinage simple,
- h) Un seul système de commande et d'acquisition doit pouvoir se brancher par un multiplexage sur n'importe quel ensemble mécanique-encodeur,
- i) L'acquisition et la programmation des déplacements doivent être possibles par ordinateur.

III. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ENCODEUR

a)	Poids	350 grammes
b)	Dimensions extérieures :	
	dimensions frontales	60 x 54 mm ²
	longueur	88 mm
c)	Diamètre de l'axe de commande	∅ 6 mm
d)	Couple d'entraînement	130 gr . cm
e)	Nombre d'états discriminés par tour	10
f)	Vitesse maximum de rotation	1500 tours par minute 400
g)	Cames :	
	nombre de cames	4 à 4 pistes
	diamètre	∅ 30 mm
h)	Contacts :	
	rupteur en bronze berillium	
	type de contact en argent	
	poids appliqué sur les contacts	30 gr
i)	Contacts extérieurs par prise Amphenol	57 - 40360

IV. APPLICATIONS

IV.1. MULTIPLEXAGE

Un des intérêts majeurs de l'encodeur travaillant en impédance (contacts) réside dans le fait qu'une mise en parallèle des bits homologues d'une série d'encodeurs peut être réalisée. L'isolation des encodeurs entre eux étant réalisée par diodes seul le courant inverse de fuite de ces dernières limitera le nombre dans la chaîne multiplexée. L'aspect capacitif des lignes en parallèle n'entrant pas en considération étant donné la réponse lente des systèmes mécaniques impliqués.

La philosophie de l'ensemble utilisé au Linac peut se concrétiser de la façon suivante : un équipement situé à la position de contrôle permet d'effectuer la sélection d'une lecture de positionnement mécanique quelconque; cette sélection impliquant également la mise en ligne de l'organe de commande de ce même positionnement. Une action ne peut donc être prise que sur le seul paramètre sélectionné.

L'ensemble se compose donc d'un poste de sélection, lecture et commande; de trois lignes de transmission :

- a) ligne d'adresse et retour des sécurités,
- b) ligne de lecture,
- c) ligne de commande moteur.

Tout au long de ces lignes se trouve un certain nombre de boîtes de jonction desservant les différents éléments mécaniques impliqués (Fig. 2).

IV.2. COMMANDES

Chaque équipement mécanique comporte un certain nombre de moteurs pas à pas dont le mode opératoire est essentiellement déterminé par le type de mesure envisagé par cet équipement.

Nous avons envisagé :

- a) 3 modes opératoires manuels, à savoir :
 1. commande progressive : permettant à l'opérateur d'agir d'une façon continue sur le mouvement tout en observant l'affichage de position,
 2. commande par train : permettant par l'intervention de l'opérateur d'effectuer les sauts conditionnés de positionnement suivant une pré-sélection pré-établie,
 3. commande asservie : permettant par le choix d'une pré-sélection manuelle d'atteindre un positionnement déterminé.
- b) 1 mode opératoire par voie automatique.

IV.3. LIAISON AVEC ORDINATEUR

L'accès à l'ordinateur IBM 1800 utilisé dans le cadre du contrôle automatique du synchrotron [1] via les lignes de transmission STAR permettra d'effectuer dans un avenir proche une programmation de positionnement d'éléments mécaniques : le processus de fonctionnement faisant appel à la transmission par voie d'acquisition et de contrôle implique les éléments suivants :

- a) Acquisition de l'information de position :

l'acquisition de cette dernière nécessite la transmission de 2 mots vers l'ordinateur, à savoir :

 - 1) information quantitative ou valeur absolue de positionnement,
 - 2) information qualitative déterminant la provenance de cette même valeur.
- b) Contrôle automatique de positionnement :

celui-ci nécessite également 2 mots, en provenance cette fois de l'ordinateur, à savoir :

 - 1) information qualitative : déterminant l'adresse à laquelle doit être effectué le changement de position,

- 2) information quantitative: qui via le récepteur de commande du terminal contrôle, pilotera en valeur absolue et dans le sens prédéterminé l'élément mécanique impliqué.

REMERCIEMENTS

Nous tenons particulièrement à remercier E. Asséo qui, par ses innombrables suggestions, nous a permis de mener à bien ce travail.

REFERENCES

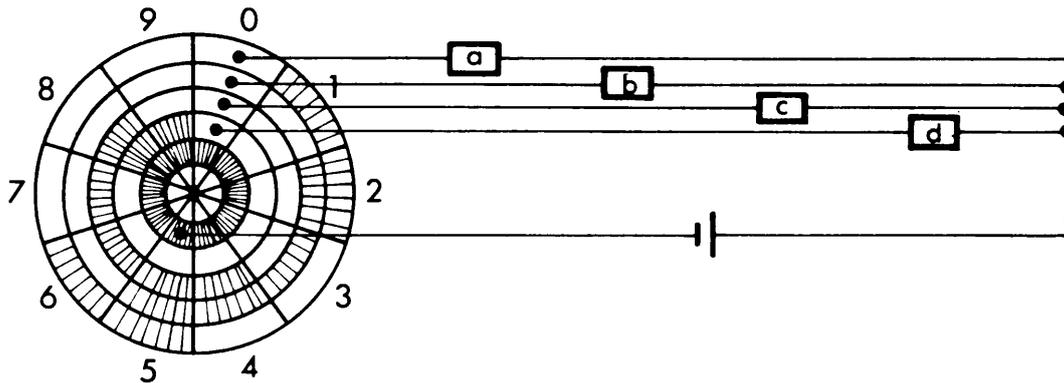
- [1] E. Asséo, S. Battisti, H. van der Beken, J. Bosser, K. Kohler. Contrôle automatique du synchrotron à protons du CERN par l'ordinateur IBM 1800. Colloque international sur la télé-informatique, Paris, Mars 1969.
- [2] E. Asséo. Méthodes de transcodage par pesée. Colloque international sur l'électronique nucléaire, Versailles, Septembre 1968.

Distribution (ouverte)

APPENDICE

1. GENERALITES

Un encodeur de positions est généralement constitué par un disque ayant un certain nombre de pistes formées de surfaces conductrices et isolées. Les surfaces conductrices sont elles-mêmes en contact électrique avec un collecteur à anneau tel que l'on peut le voir sur la figure ci-dessous.



Sur chaque piste glisse un balai donnant une configuration de signaux binaires en sortie fonction de la position angulaire du disque. L'encodeur de positions représente donc intrinséquement un convertisseur du type analogue digital. Généralement le mouvement de rotation de l'axe imprime un mouvement mécanique linéaire dont on veut connaître la position non pas dans le système à base 2 ou binaire, mais dans le système décimal à base 10, or la représentation d'un chiffre dans cette dernière nécessite au minimum 4 informations binaires simultanées - en réalité ces 4 informations donnent lieu à 2^4 moments binaires soit 16 dont 6 peuvent être ignorés dans le cas qui nous préoccupe. Le disque de base comprendra donc un collecteur central et 4 pistes divisées en 10 secteurs de 36° (conducteurs ou non) et sur lesquelles gliseront respectivement 4 balais dont les informations permettront après décodage de restituer les 10 états énergétiques usités dans le code décimal (0, 1, 2, ..., 9).

L'encodeur comporte généralement plusieurs disques dont les mouvements respectifs seront dans le rapport des poids de la base considérée (unités, dizaines, centaines,).

Des considérations d'ordre technologique ont montré cependant qu'il était préférable d'utiliser non pas une série de disques mais une série de cames à 4 pistes codées (Fig. 1).

Un tel système présente deux inconvénients auxquels on peut pallier suivant différents principes originaux dont l'un est explicité ci-après.

2. AMBIGUITES INTRINSEQUES AU DISQUE

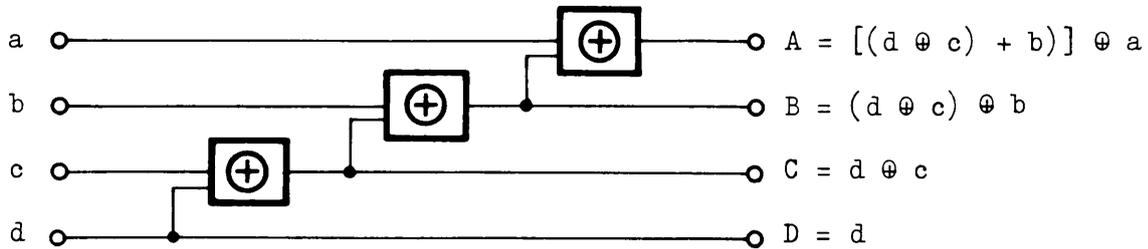
L'utilisation d'un code pondéré du type binaire codé décimal présente de par sa structure plusieurs changements simultanés des états binaires des 4 pistes lors des passages aux transitions impliquant dès lors une série d'ambiguïtés de lecture possibles. Seul le code cyclique ou code Gray ne provoquant qu'un seul changement d'état aux transitions pourra être pris en considération.

Un transcodage de ce dernier sera dès lors nécessaire pour assurer une compatibilité avec les organes de lecture digitaux classiques et les voies d'accès vers l'ordinateur.

<u>Code cyclique adopté</u>	<u>Code BCD 1 2 4 8</u>	<u>Décimal</u>
d c b a	D C B A	
0 0 0 0	0 0 0 0	0
0 0 0 1	0 0 0 1	1
0 0 1 1	0 0 1 0	2
0 0 1 0	0 0 1 1	3
0 1 1 0	0 1 0 0	4
0 1 1 1	0 1 0 1	5
0 1 0 1	0 1 1 0	6
0 1 0 0	0 1 1 1	7
1 1 0 0	1 0 0 0	8
1 0 0 0	1 0 0 1	9

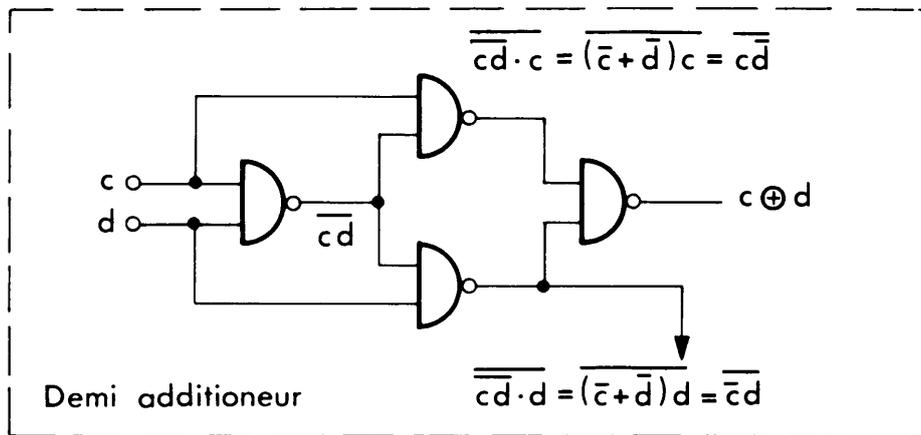
2.1. Transcodeur

Le réseau itératif et purement combinatoire suivant montre la simplicité du transcodeur : il utilise en effet 3 demi-additionneurs par décade [2].



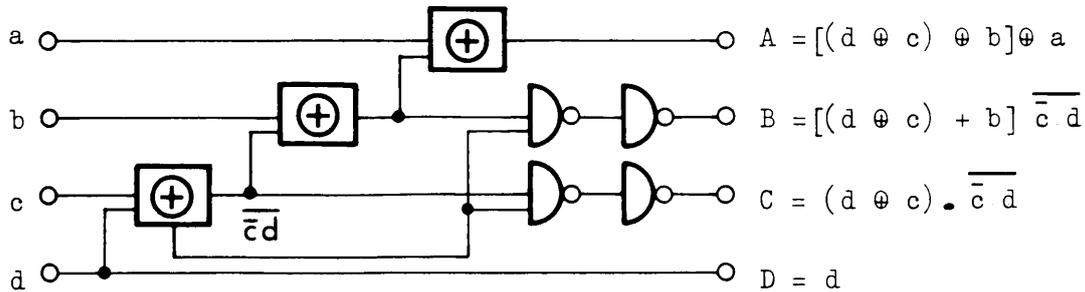
On voit cependant que ce circuit ne transcode pas correctement le dixième état du code : en effet l'addition des poids $c \oplus d$ devrait également nous donner un zéro ce qui n'est pas le cas.

En examinant de plus près le dixième état du code cyclique nous remarquons que la configuration $\bar{c} d$ n'existe que dans ce cas particulier; de plus l'analyse intrinsèque d'un demi-additionneur montre que cette configuration peut être très aisément extraite de ce dernier et ce sous sa forme inverse $\overline{\bar{c} d}$.



Cette dernière fonction étant égale à zéro lorsque $c = 0$ et $d = 1$ et uniquement dans ce cas, c'est-à-dire dans le cas du dixième état du code cyclique impliqué. Il suffit dès lors d'extraire la fonction $\bar{c} d$ dans le transcodeur pour créer une inhibition à la sortie C et B et nous aurons réalisé le transcodeur complet pour une décade.

Nous serons donc amenés à la logique suivante :



L'ensemble du transcodeur se compose donc de 4 boîtiers intégrés comprenant chacun 4 portes Nand.

3. AMBIGUITES DE DISQUE A DISQUE

L'encodeur complet doit comporter 4 décades (dans notre cas). Le deuxième inconvénient mentionné plus haut se fait dès lors pressentir. En effet nous avons mentionné que les mouvements respectifs des disques codés étaient dans le rapport des poids de la base autrement dit lorsque le premier disque (unités) a fait un tour, le deuxième a parcouru 36° d'arc et si l'on suppose un système parfait ce qui malheureusement n'est que théorique, le passage du 9 au 0 du premier disque devrait entraîner le passage du 0 au 1 du disque de poids supérieur. On voit donc à nouveau apparaître une ambiguïté possible à chaque transition entre les unités et dizaines, dizaines-centaines, etc. Il est également clair que le nombre d'aléas aux transitions croît très vite lorsque le nombre de décades de l'encodeur augmente. On a donc été amené à élaborer un circuit redondant comportant pour les cames codées de poids supérieur aux unités un système à contacts doubles comme il a été explicité ci-avant.

3.1. Mécanique de l'encodeur

On utilise 4 cames à 4 pistes; mécaniquement entre chaque came se trouve un train d'engrenage qui réduit d'un facteur 10 la vitesse de rotation par rapport à la came précédente. Nous avons choisi un système à cames permettant d'ouvrir ou fermer un contact du même type que ceux utilisés dans les relais de façon à avoir une ouverture et fermeture des contacts franches. Ce système éliminant le problème d'usure de contact et le rebondissement aux transitions.

3.2. Principe utilisé

Pour les 4 cames à 4 pistes on utilise un code cyclique; la dernière fait un tour pour mille tours de la première, qui elle possède une série de 4 contacts tandis que les 3 autres en possèdent 2 séries séparées par $1/2$ secteur, soit 18° d'angle. On règle la position relative des cames les unes par rapport aux autres de telle façon que lorsque la première came a ses contacts à la limite des secteurs correspondants au 9 et au 0, les 2 séries de contacts des autres cames soient décallés de $\pm 1/4$ de secteur par rapport à une transition.

On peut justifier les considérations ci-dessus par la méthode analytique suivante : (voir Fig. 3)

Représentons le déplacement linéaire d'un balai de la décade de poids $n + 1$, en fonction d'un balai de la décade de poids n . Nous obtenons une droite C (Fig. 3) qui coupe la première transition de la décade $n + 1$ au point A. Le synchronisme parfait des mouvements d'une décade par rapport à l'autre est irréalisable, d'où ambiguïté à la transition.

On est donc amené à délimiter une zone d'interdiction de part et d'autre d'une transition. Supposons deux balais décallés d'une fraction de secteur r . Leur mouvement sera représenté par deux droites parallèles à C : C' et C". Pour éviter les zones interdites on doit prendre l'information de C' ou C" lorsque ceux-ci se trouvent dans la zone permise du secteur. En exploitant l'information en provenance de C' pour les positions 0, 1, 2, 3, 4 de la décade n et celle en provenance de C" pour les positions 5, 6, 7, 8, 9 de cette même décade, on aura résolu le problème.

On voit graphiquement que la condition optimum de sécurité sera obtenue pour une zone d'interdiction de $\pm 1/4$ de secteur, c'est-à-dire pour $r = 1/2$, car c'est la seule condition pour que le balai utilisé reste toujours à une distance supérieure ou égale à $1/4$ de secteur de la transition.

3.3. Commutation contacts avant-arrière

La commutation des informations en provenance des contacts avant ou arrière d'une décade de poids supérieur est opérée électroniquement à partir d'une logique qui, pour les positions 0,1,2,3,4 de la décade inférieure, libère l'information en provenance des contacts avant et bloque l'information en provenance des contacts arrière et opère inversement pour les positions 5,6,7,8,9 de cette même décade inférieure. La Figure 4 a, b montre l'ensemble fonctionnel de cette opération. Le décodeur de positions élaboré à partir du diagramme de Karnaugh pour simplification est obtenu de la façon suivante : la fonction logique $f(a, b, c, d)$ doit nous donner un 1 logique au passage des positions 0,1,2,3,4, pour libérer les contacts avant et incidemment bloquer les contacts arrière, d'autre part nous donner un zéro logique au passage des positions 5,6,7,8,9 pour bloquer les contacts avant et libérer les contacts arrière.

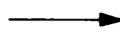
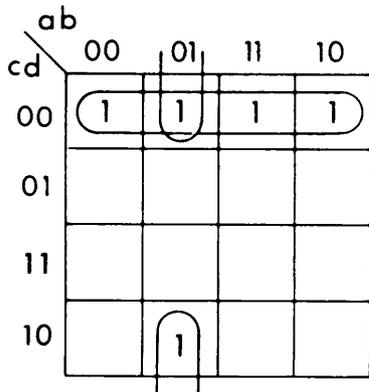
Code cyclique

	d	c	b	a
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	1
3	0	0	1	0
4	0	1	1	0
5	0	1	1	1
6	0	1	0	1
7	0	1	0	0
8	1	1	0	0
9	1	0	0	0

En nous référant au code cyclique nous pouvons écrire la forme canonique de somme relative à la donnée du problème

$$f_{(a,b,c,d)} = \bar{a} \bar{b} \bar{c} \bar{d} + a \bar{b} \bar{c} \bar{d} + a b \bar{c} \bar{d} + \bar{a} b \bar{c} \bar{d} + \bar{a} b c \bar{d}$$

ce qui sur le diagramme de Karnaugh se simplifie de la façon suivante :

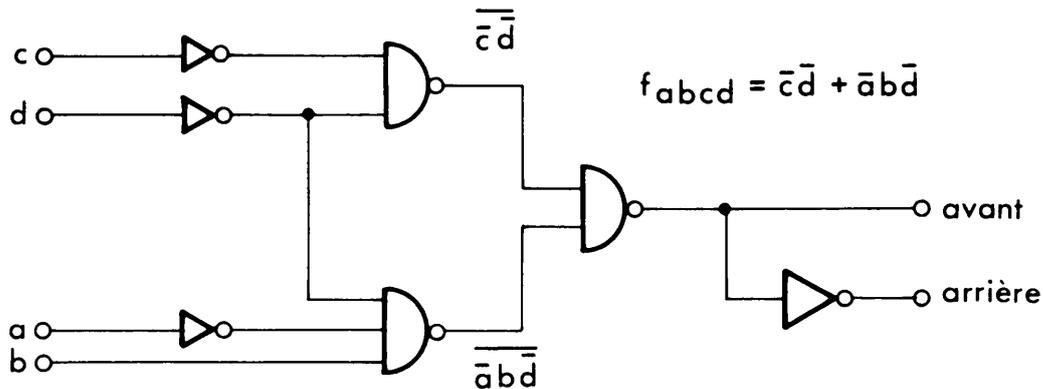


$$f_{a, b, c, d} = \bar{c}\bar{d} + \bar{a}b\bar{d}$$

Ayant les circuits Nand à notre disposition nous pouvons encore transformer cette expression de façon à l'appliquer directement à ces derniers. On a :

$$f_{abcd} = \bar{c}\bar{d} + \bar{a}b\bar{d} = (\bar{c} \downarrow \bar{d}) \downarrow (\bar{a} \downarrow b \downarrow \bar{d})$$

d'où le circuit :

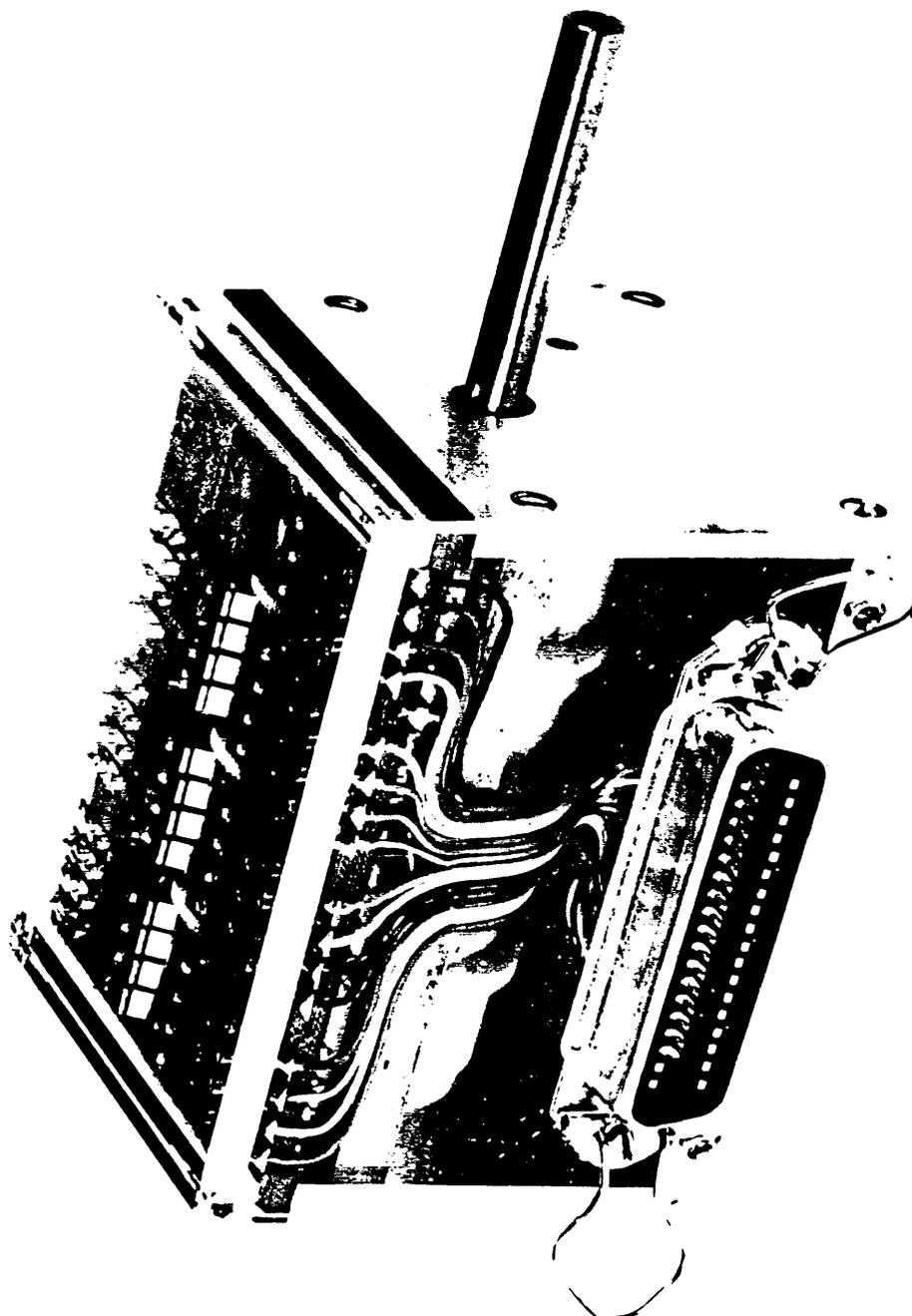


L'ensemble logique nécessaire à la lecture sans ambiguïté d'une décade se compose donc essentiellement de 3 fonctions * :

- 1) le commutateur avant-arrière,
- 2) le transcodeur cyclique - BCD 1 2 4 8,
- 3) le décodeur de positions.

La Figure 5 montre le diagramme relatif à la lecture d'une décade. La Figure 6 montre l'ensemble des circuits relatif à la lecture d'un encodeur à 4 décades.

* La fonction 1 n'étant pas nécessaire dans le cas de la décade de plus faible poids, de même la fonction 3 n'est pas indispensable dans le cas de la décade de plus haut poids.



Réf. 178-1-69

Fig. 1

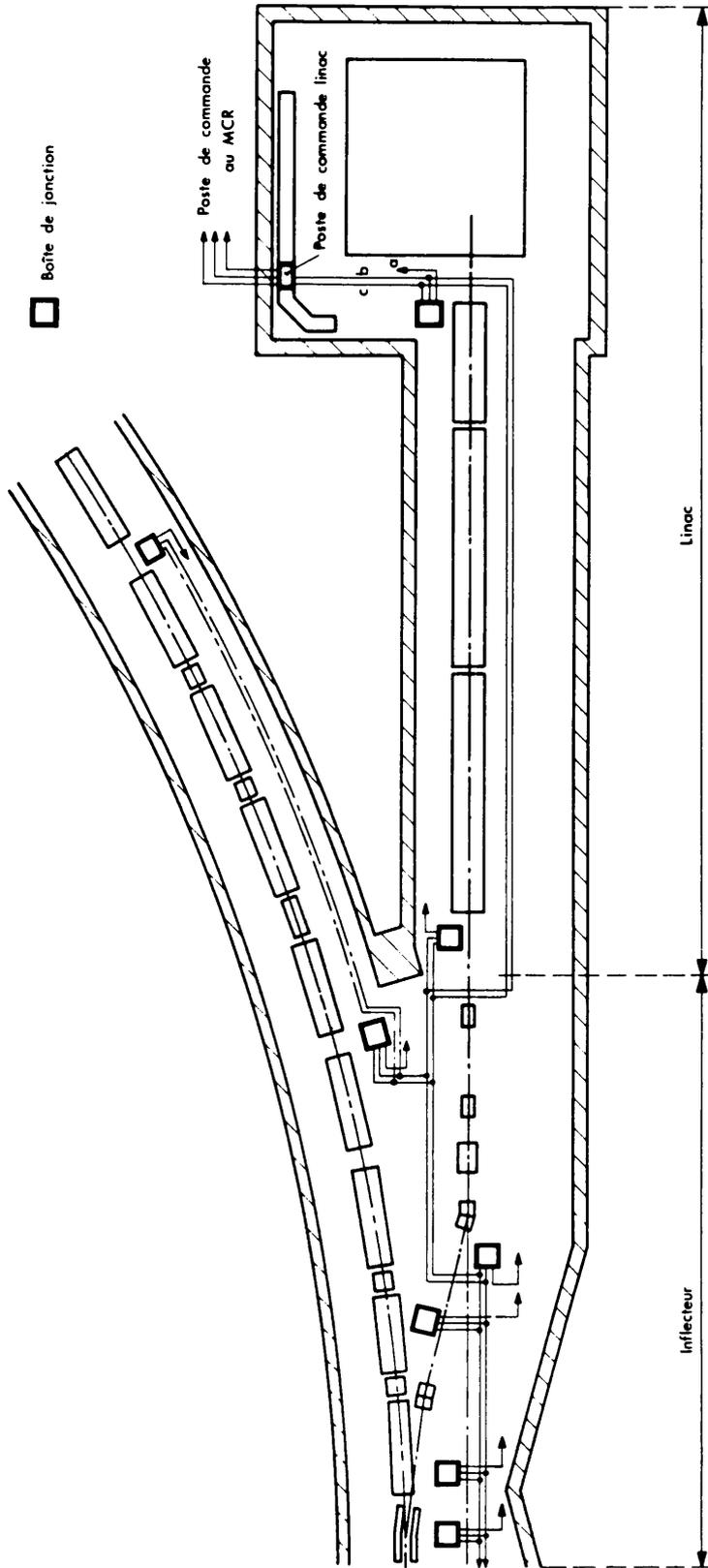


Fig. 2 : Disposition générale

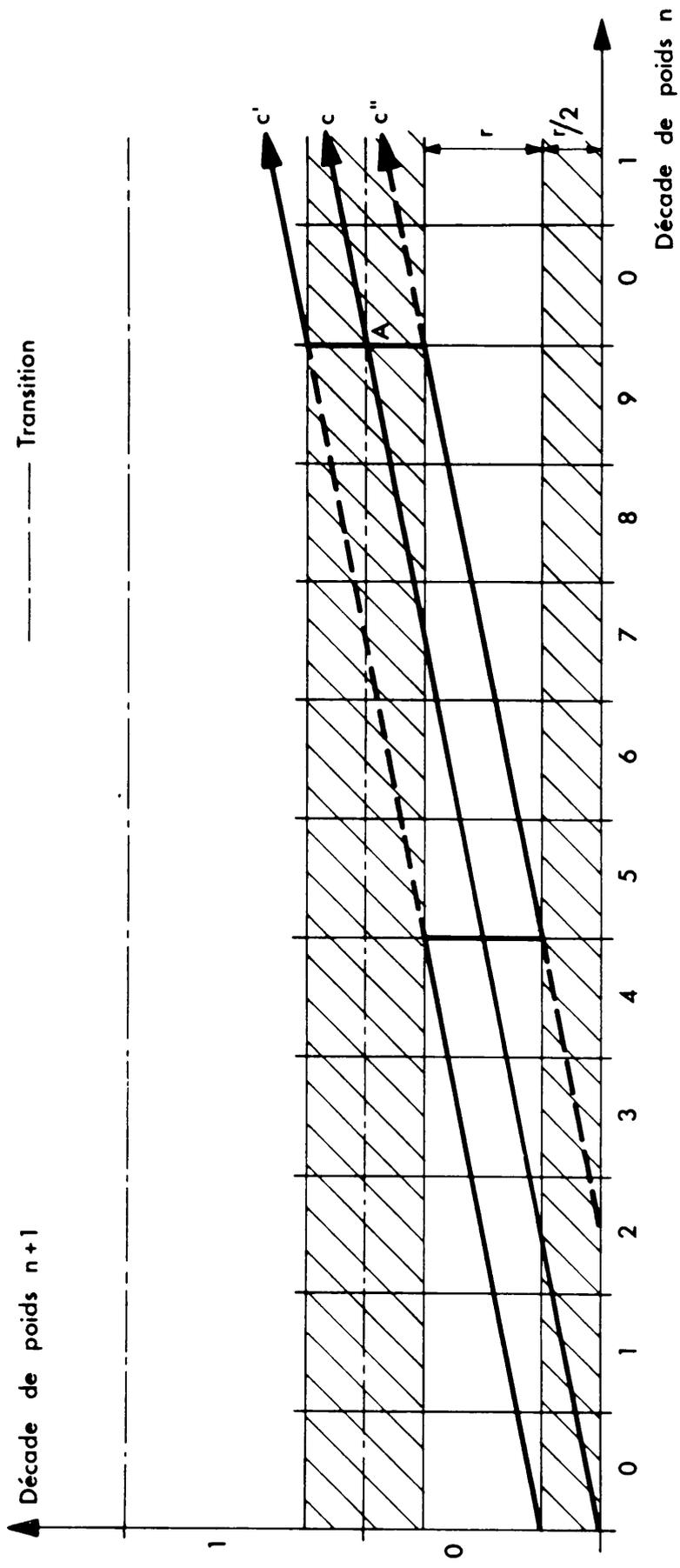
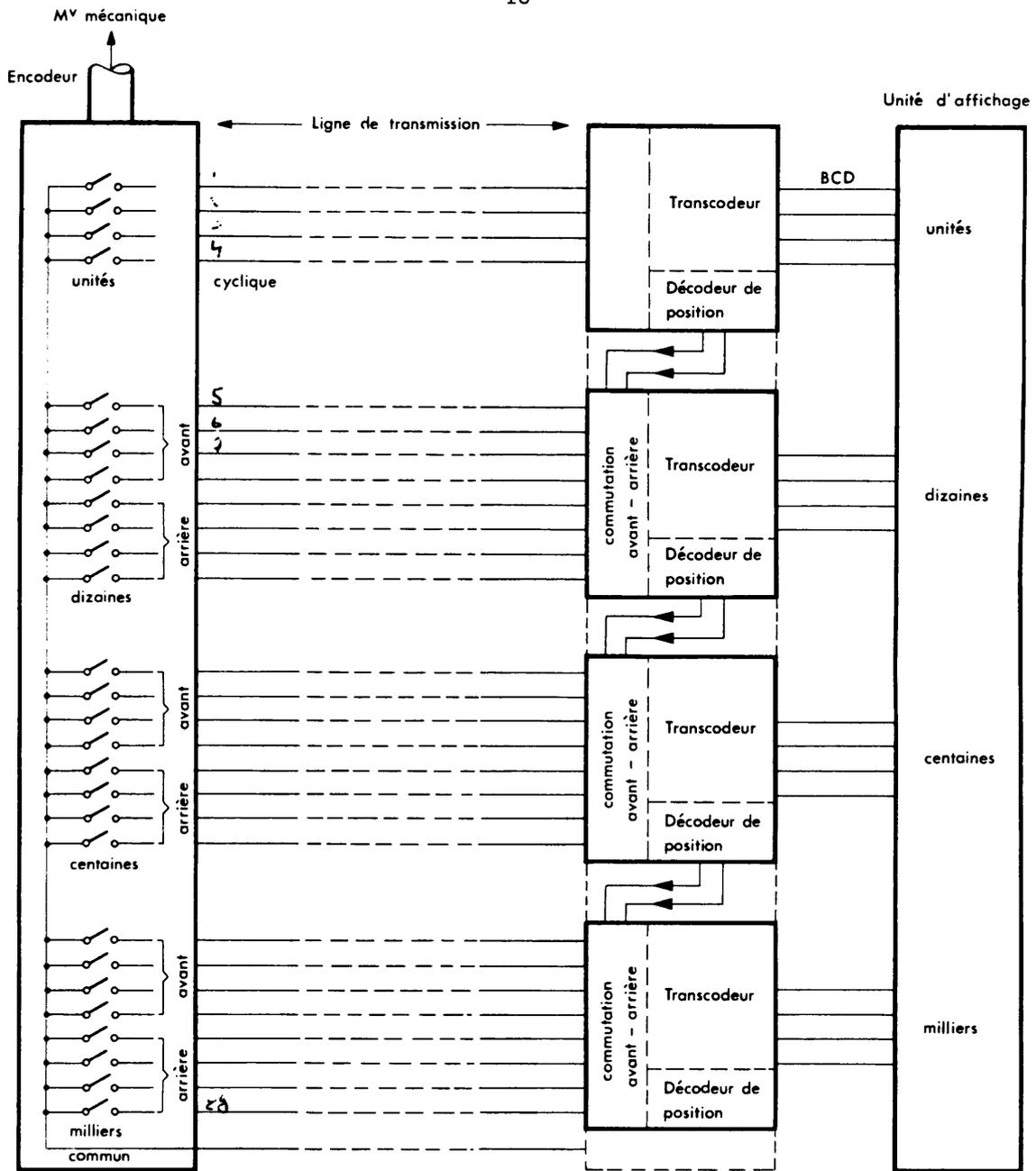
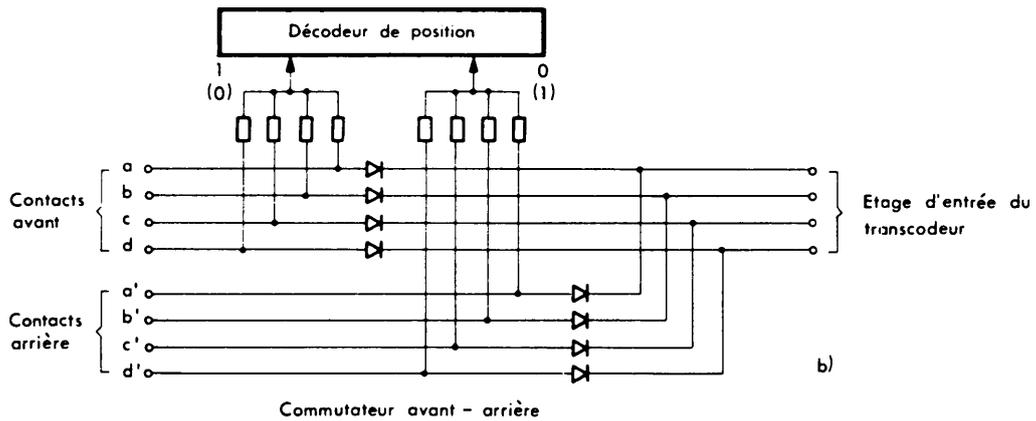


Fig. 3 : Représentation graphique de la méthode de levée des ambiguïtés entre décades



a)



b)

Fig. 4

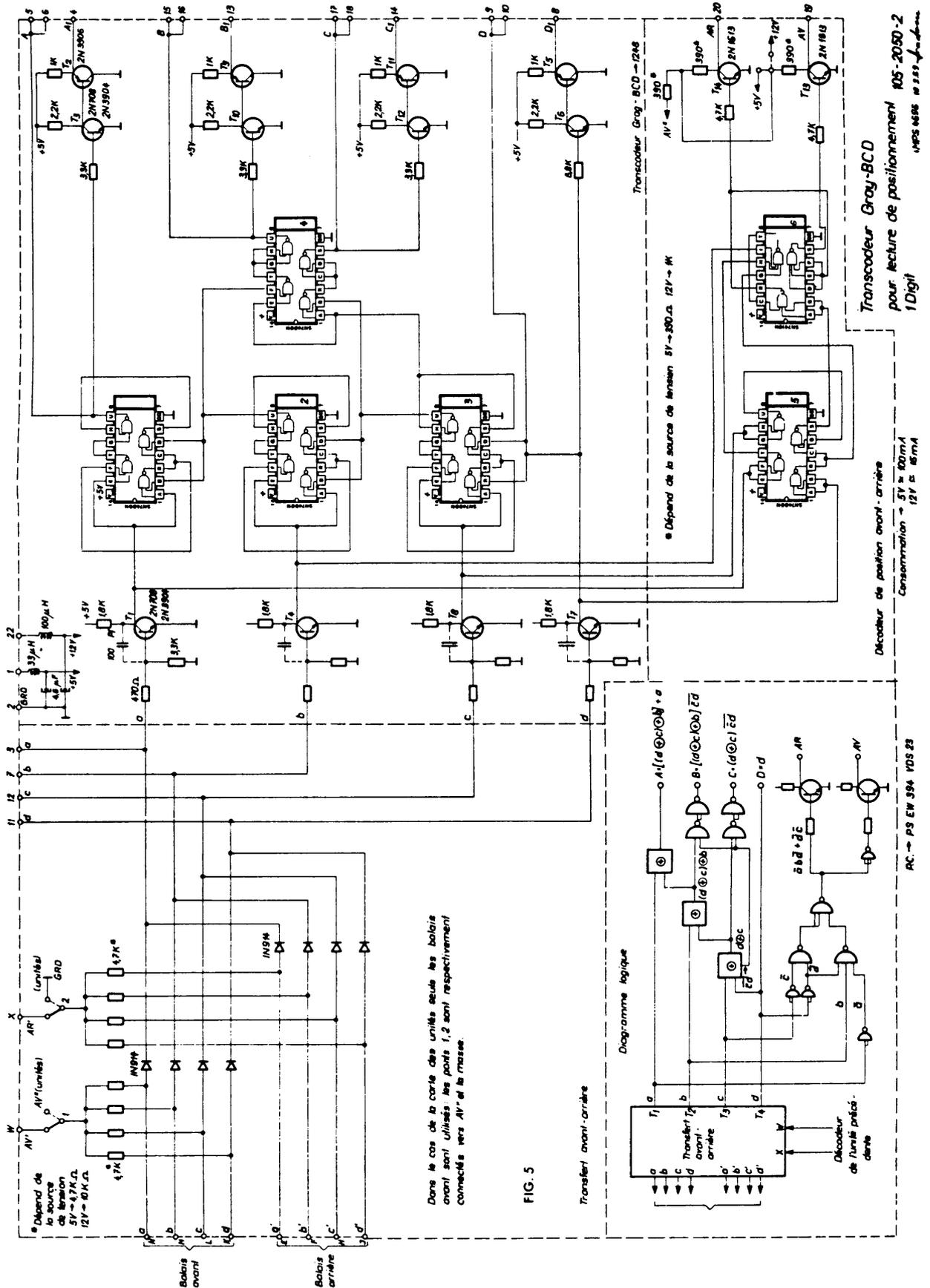


FIG. 5

