

Le COMPTAGE dans l'industrie

7^{ème} PARTIE :

Les TROCHOTRONS

(Suite des numéros 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25 et 28)

par A. CLAVEIROLE

Les tubes à gaz utilisés dans les compteurs, dékatrons ou thyratrons à cathode froide, sont des éléments à longue durée de vie, d'un prix généralement modique, mais présentant un inconvénient inhérent à leur principe même : leur faible vitesse de commutation. Faiblesse relative, il est vrai, puisque certains dékatrons peuvent fonctionner jusqu'à 100 et même 300 kHz. Cependant, on demande de plus en plus souvent à un compteur électronique de pouvoir fonctionner jusqu'à des fréquences de l'ordre du mégahertz ou plus.

C'est ce besoin qui a donné naissance au trochotron, tube compteur décimal rapide auquel est consacré le présent article.

Une sorte de magnétron

Bien qu'il ne soit pas totalement inconnu des lecteurs de cette Revue (1), présentons rapidement le trochotron.

C'est un tube à vide constitué d'une cathode axiale à chauffage indirect autour de laquelle sont disposés 10 groupes d'électrodes tels que celui représenté à la figure 1. Chacun de ces groupes comporte trois électrodes appelées respectivement cible, ailette et grille.

L'ailette sert à former le faisceau électronique et à le verrouiller sur la cible; cette dernière est l'électrode de sortie, qui possède une caractéristique courant/tension semblable à celle d'une penthode. Quant à la grille (2), c'est une électrode de commutation permettant de faire sauter le faisceau d'une cible à une autre. Toutes les grilles portant un numéro pair sont connectées ensemble et sorties sur le culot; de même, les grilles portant un numéro impair sont ramenées à une broche commune.

(1) Cf. « Electronique Industrielle », n° 4, septembre-octobre 1955, page 145 : « Le trochotron coaxial RYG 10 ».

(2) Nous adoptons dans cet exposé, la terminologie américaine; en fait, le terme « grille » ne doit pas abuser, il ne s'agit en aucune façon d'une grille semblable à celle des tubes classiques, ni par sa forme, ni par son fonctionnement.

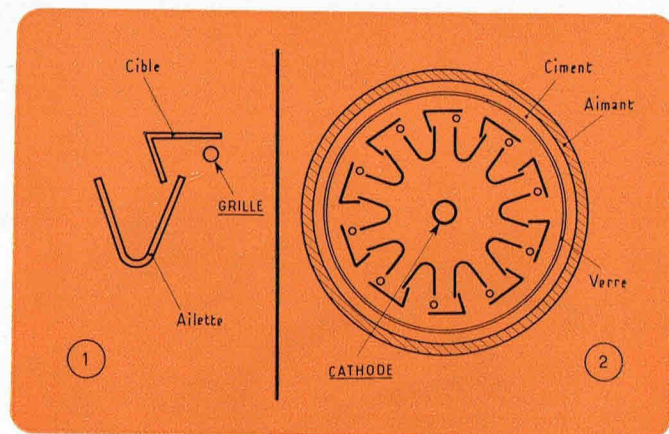
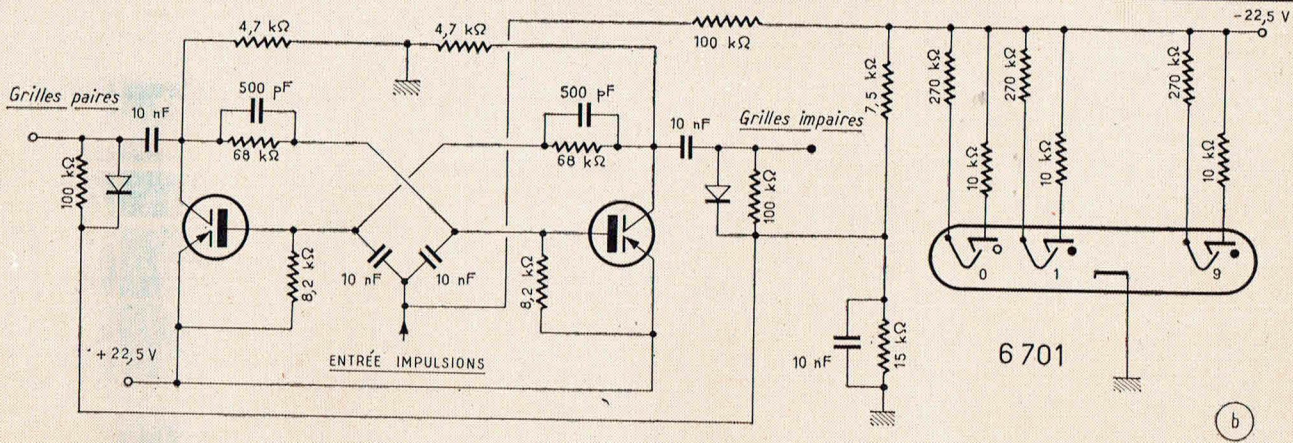
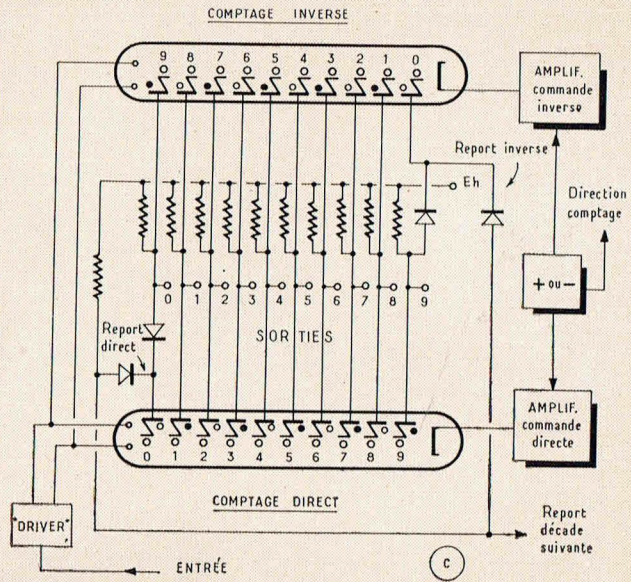
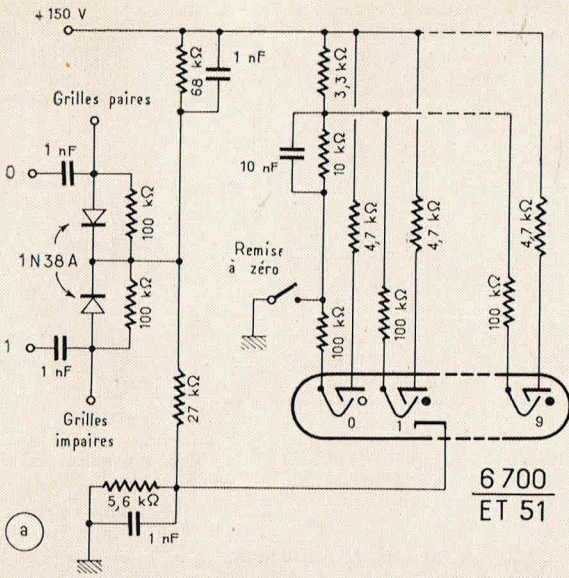


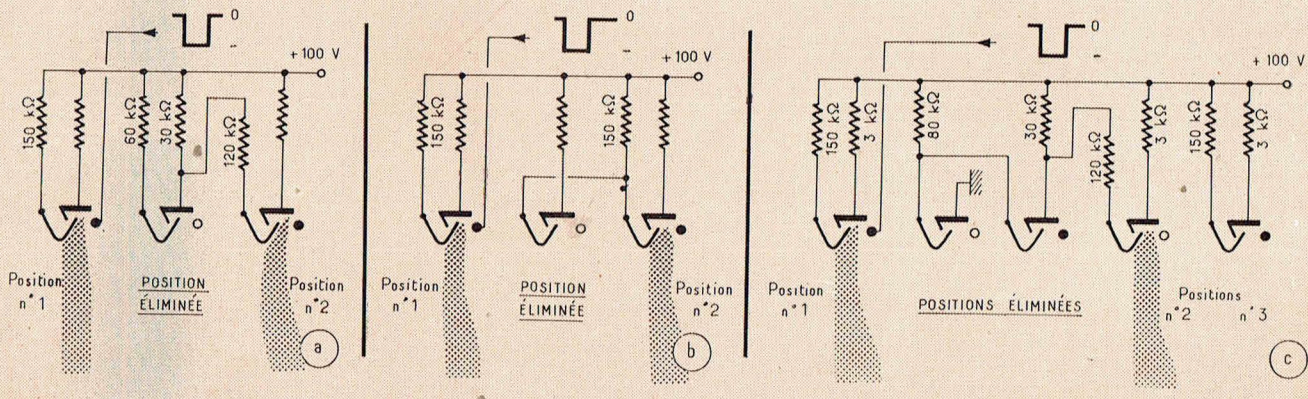
Fig. 1 et 2. — Un trochotron est constitué d'une cathode et de dix groupes d'électrodes tel que celui représenté en 1.

UTILISATION

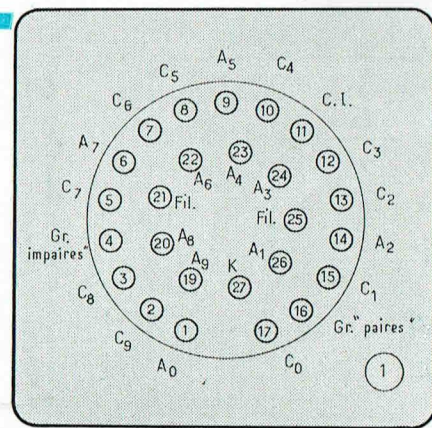
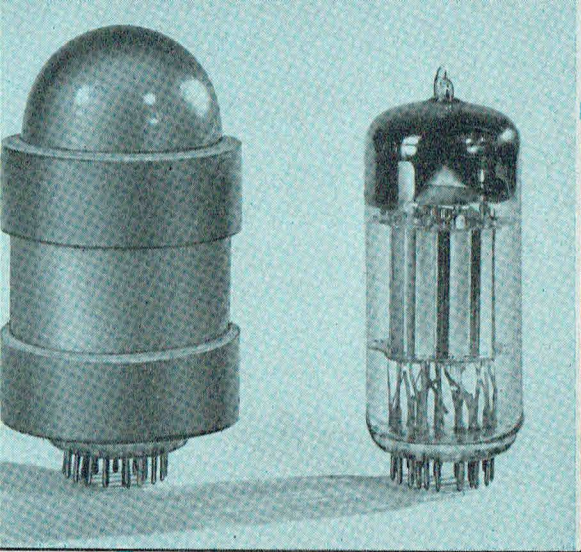


- a : Schéma type d'une décade équipée d'un trochotron ; l'attaque peut se faire en réunissant les anodes d'un Eccles-Jordan respectivement aux bornes 0 et 1.
- b : Un tube à basse tension, type 6701, par exemple, peut être facilement commandé par une bascule à transistors.
- c : Interconnexion de deux trochotrons BX 1 000 pour la constitution d'un compteur réversible.

SUPPRESSION DE POSITIONS



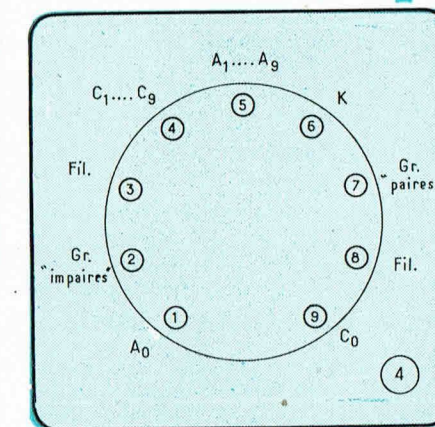
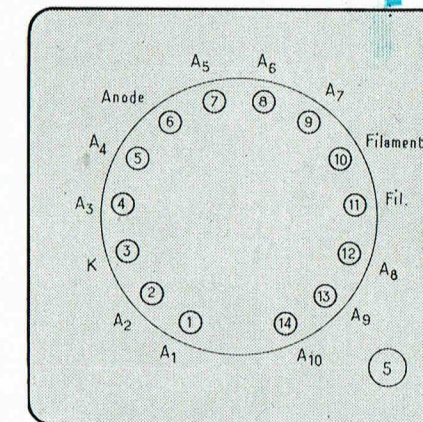
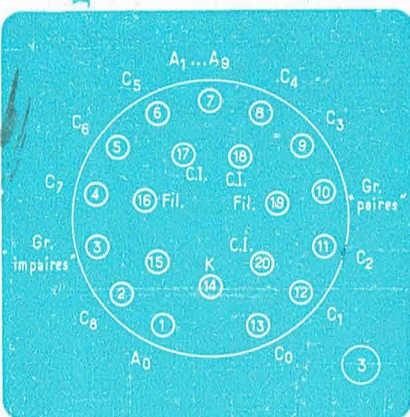
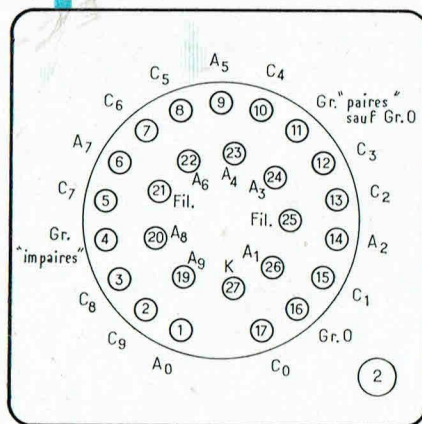
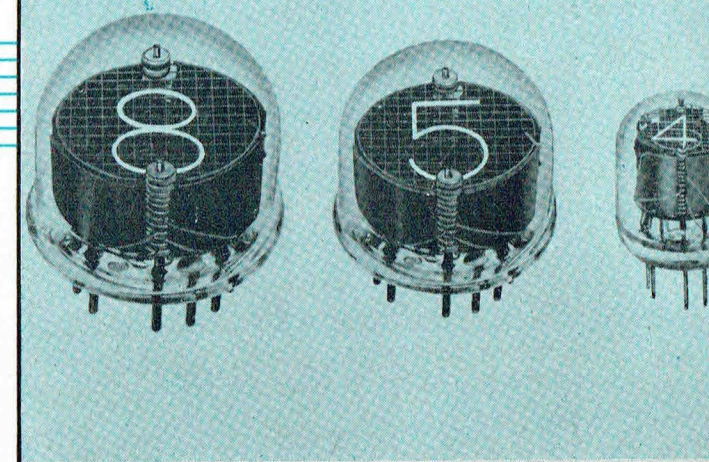
- a : Pour supprimer un certain nombre de positions, on peut utiliser la commutation d'ailette par commande de cible. Le courant de cible est utilisé pour abaisser la tension de l'ailette sur laquelle on veut que se forme le faisceau.
- b : Si l'on réunit des ailettes adjacentes, le faisceau se verrouillera sur l'ailette de rang le plus élevé.
- c : On peut combiner les deux méthodes précédentes et éliminer un nombre quelconque de positions.



Principaux types de TROCHOTRONS

À l'exception de la fréquence d'utilisation, qui est une caractéristique limite, toutes les valeurs données dans le tableau ci-dessous correspondent à des caractéristiques normales d'utilisation. On notera, en particulier, que pour un fonctionnement à la fréquence de comptage maximale, l'amplitude des impulsions d'entrée doit être supérieure à la valeur portée sur le tableau.

Les tubes non blindés doivent être montés à 5 cm au moins de tout matériau magnétique et à 10 cm au moins de tout tube similaire. Pour le BX1000, ces chiffres peuvent être réduits de moitié. Les tubes blindés peuvent être montés côte à côte, sans précaution spéciale d'espacement, mais sur un châssis en métal non magnétique.



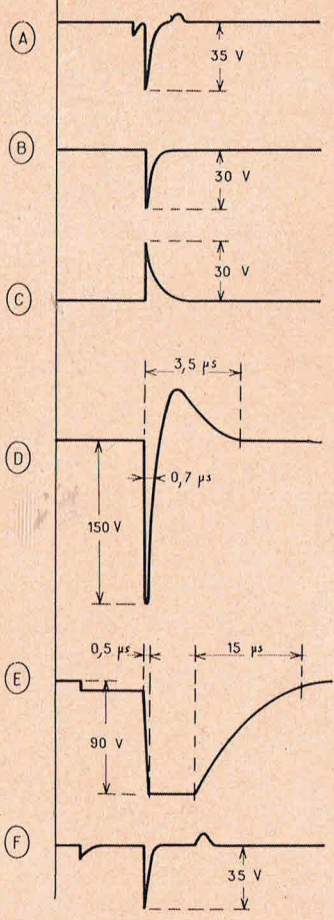
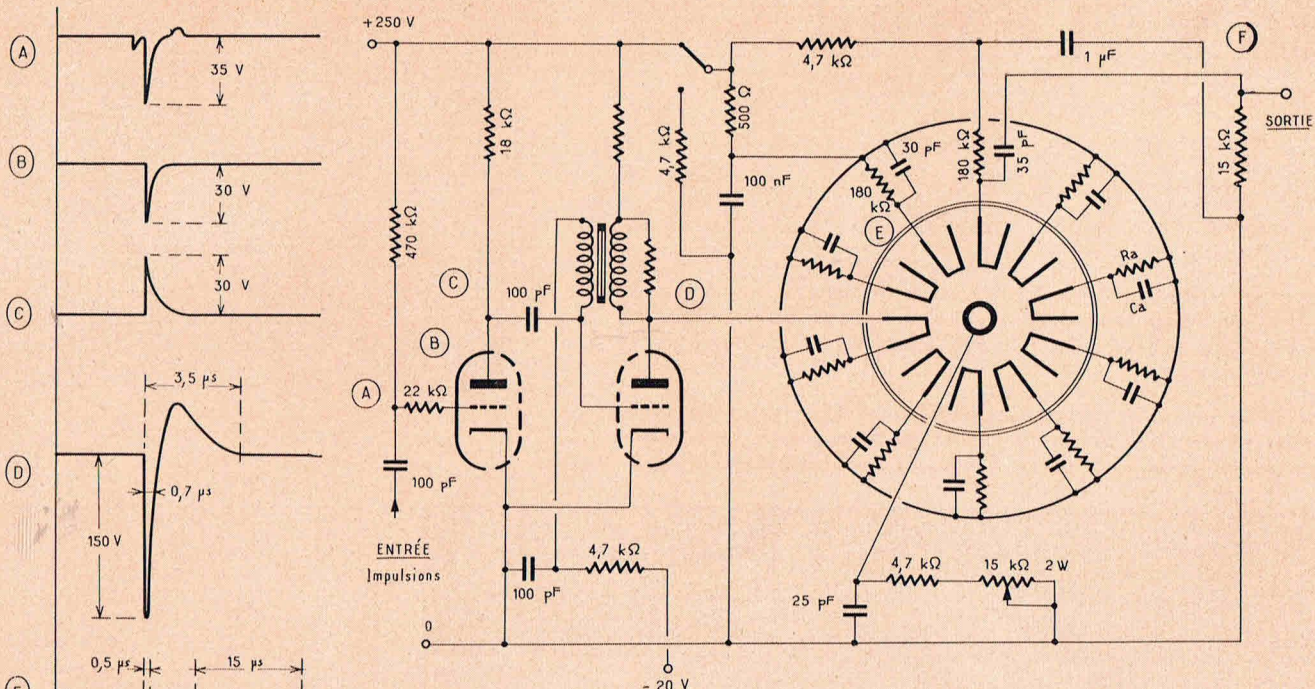
Nos illustrations : En haut à gauche, un trochotron avec et sans son aimant. En haut à droite, quelques tubes indicateurs Nixie à longue durée de vie. Le plus gros est le B 5031.

Fabricant	Type	Fréquence MHz	Broch. n° fig.	Chauffage		Adettes		Cibles			Grilles		Observations	
				Vf V	If A	Va V	Ra kΩ	Vc V	Rc kΩ	Ic mA	Vg V	Vin V		
ERICSSON	RYG 10*	1	5	6,3	0,3	100	200	Pas de cibles 1 anode (100 V)					Indication visuelle	
ERICSSON Etelco**	VS 10G	1	1	6,3	0,55	100	100	100	4,7	7,5	50	- 55		
LA RADIO- TECHNIQUE	ET 51	1	1	6,3	0,3	100	100	100	3,3	5,5	25	- 60		Identique à 6700 Burroughs
BURROUGHS	6700	2	1	6,3	0,3	100	100	100	3,3	6	25	- 50		
	6701	1	2	6,3	0,3	20	270	20	6,8	0,6	12	- 20		
	M0-10R	10	3	6,3	0,3	100	100 ⁽¹⁾	100	3,3	6	25	- 60	(1) incluse dans le tube	
	BD-203	1	2	6,3	0,15	55	130	55	3,3	3	25	- 50		miniature
	BD-300	2	2	6,3	0,3	100	100	100	3,3	6,5	25	- 50		Tube blindé
	BD-301	2	1	6,3	0,3	100	100	100	3,3	6,5	25	- 50		Tube blindé
	BD-308	1	2	6,3	0,3	20	270	20	6,8	0,6	12	- 20		Tube blindé
	BD-309	10	3	6,3	0,3	100	100 ⁽¹⁾	100	3,3	6	25	- 60	(1) incluse dans le tube	Tube blindé
	BD-311	2	1	6,3	0,3	130	82	130	3,3	10	30	- 70		
	BD-316	1	2	6,3	0,15	55	130	55	3,3	3	25	- 50		Tube blindé - miniature
DC-1R	5	4	6,3	0,3	100	100	100		7,5	30	- 40			
BX-1000	1	1	6,3	0,15	55	150	55	3,3	2 à 3,4	40	55		" Beam X " (voir texte)	

Les figures 1 à 5 de cette double page donnent les différents culots utilisés pour les trochotrons.

* Appellation de développement : AD3.

** Importateur : Etablissements TRANCHANT, 1, bd de Sébastopol, Paris-1^{er}.



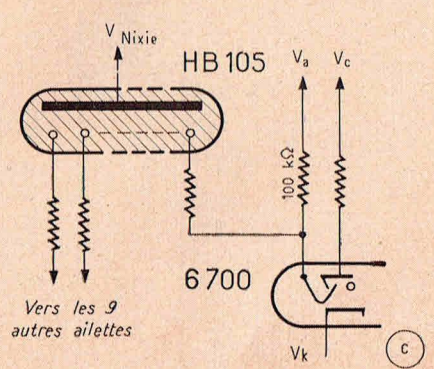
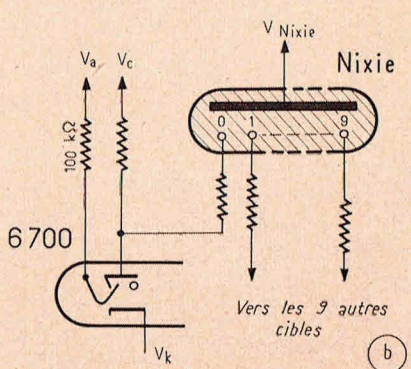
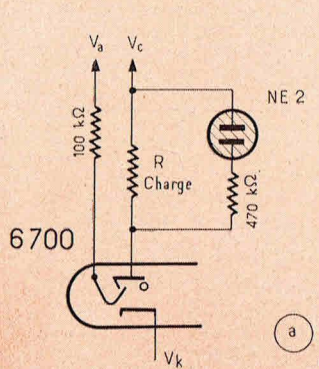
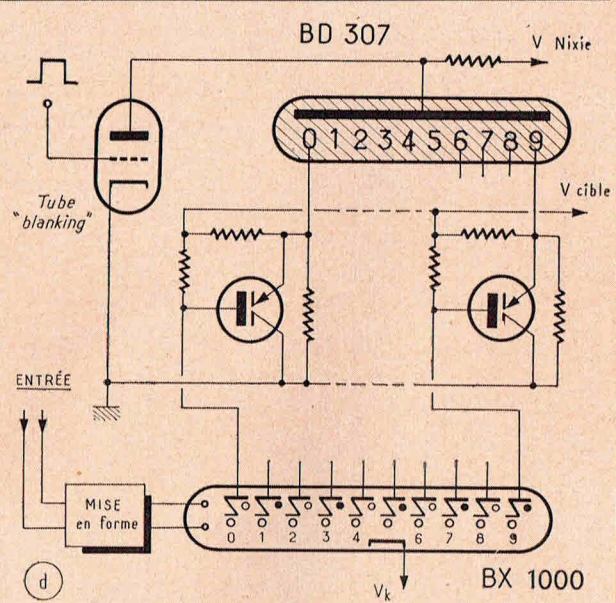
DÉCADE

Utilisation d'un trochotron RYG 10 pour la constitution d'un compteur à décade.

La vitesse maximale de comptage est de 300 000 impulsions par seconde.

AFFICHAGE

- a : Utilisation d'un tube à néon dans le circuit de cible.
- b : Affichage par tube Nixie dans le circuit de cible, avec pré-polarisation.
- c : Affichage par tube Nixie dans le circuit d'ailette.
- d : Affichage sur tube Nixie de grande dimension au moyen de transistors. Un dispositif d'effacement d'affichage pendant le comptage est prévu.



Fonctionnement

Supposons maintenant que l'on abaisse brusquement d'environ 60 % le potentiel de l'une des ailettes (0 par exemple), toutes les autres étant maintenues à + 100 V. Un courant cathode-ailette 0 s'établira ; il aura l'allure de la courbe de la figure 3, qui représente la caractéristique statique d'une ailette. Les ailettes étant supposées alimentées en haute tension à travers une résistance de charge de l'ordre de 100 k Ω , on peut tracer la droite de charge correspondante, qui coupe la courbe caractéristique en trois points : a, b, c.

Le point a correspond de toute évidence au cut-off. Le point c est atteint lorsque tout le faisceau électronique pénètre dans la chicane formée par le groupe d'électrodes 0. Dans ce cas, il pénètre jusqu'au fond du conduit et va frapper la cible correspondante. Si cette cible, portée initialement à 100 V, est alimentée à travers une résistance de quelques milliers d'ohms, elle draine alors la plus grande partie du courant issu de la cathode. La chute de tension aux bornes de cette résistance permet de connaître quelle est celle des cibles qui reçoit le faisceau et peut être utilisée pour la commande d'un circuit extérieur.

Lorsque le faisceau d'électrons frappe une cible, il reste verrouillé indéfiniment dans cette position. Le problème est maintenant de pouvoir le déplacer d'un groupe d'électrodes au groupe voisin. C'est à cela que servent les grilles. Ces électrodes sont normalement portées à une tension de + 25 V par rapport à la cathode. Lorsqu'on envoie une impulsion négative de 50 V sur la grille du groupe qui a capté le faisceau, une partie de celui-ci vient frapper l'ailette du groupe adjacent. Dès que cette ailette a commencé à capter le faisceau, son potentiel s'abaisse et le faisceau tout entier se déplace vers ce groupe d'électrodes sur lequel il se verrouille, tandis que l'ailette du groupe précédent voit son potentiel remonter de 0 à + 100 V avec une constante de temps dépendant du tube et des éléments du montage. Comme les grilles sont réunies en deux groupes, grilles paires et impaires alternées, le faisceau n'a aucune possibilité de sauter une case à pieds joints. C'est donc bien un déplacement pas à pas que l'on obtient. Pour faire franchir au faisceau un pas de plus, il suffira d'appliquer l'impulsion suivante au groupe de grilles paires si l'impulsion précédente avait été envoyée au groupe impair. A noter que la polarité du champ magnétique ne laisse pas au faisceau le choix de se déplacer vers le groupe de droite ou de gauche. Le faisceau saute forcément vers la droite puisqu'il se déplace toujours dans le sens des aiguilles d'une montre. Ceci est un avantage... et aussi un inconvénient : le trochotron n'est pas un tube compteur réversible. Pour réaliser un compteur comp-

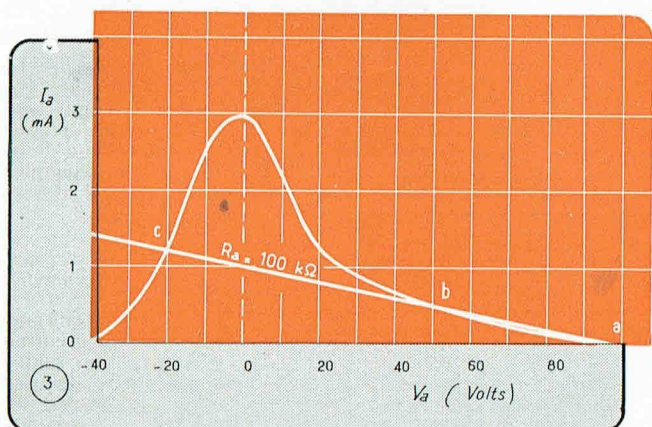


Fig. 3. — Allure de la caractéristique courant/tension d'une ailette portée à un potentiel voisin ou égal à celui de la cathode, toutes les autres ailettes étant à + 100 V. (a : cut-off ; b : position instable ; c : verrouillage.)

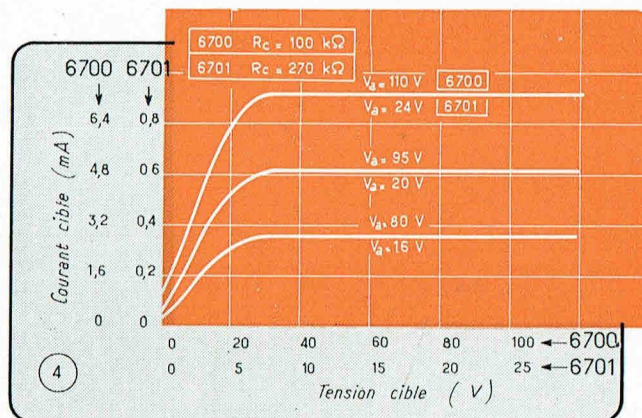


Fig. 4. — Caractéristique de cible pour deux trochotrons, types 6700 et 6701, et pour différentes valeurs de la tension d'ailette V_a .

tant et décomptant, il faut utiliser deux trochotrons (voir schéma dans les pages détachables de ce numéro).

Entrée et sortie

Le mode normal d'attaque d'un trochotron consiste à réunir les groupes de grilles pair et impair respectivement aux anodes de deux tubes montés en Eccles-Jordan. Cependant, les grilles peuvent être attaquées aussi par des signaux de formes diverses engendrés par des circuits très différents : signaux sinusoïdaux, impulsions de tension continue, etc.

L'un des avantages importants des trochotrons sur les autres tubes compteurs réside dans l'allure de la caractéristique de l'électrode de sortie (fig. 4), qui ressemble fort à celle d'une penthode. Cette particularité autorise un large choix entre des valeurs diverses de la résistance du circuit de cible et facilite beaucoup la commande directe d'un circuit extérieur (relais, par exemple). Signalons en passant l'excellent rendement des trochotrons, puisque, dans ces tubes 90 % du courant cathodique se retrouve sur la cible sur laquelle frappe le faisceau.

D'autre part, on comprend, en examinant les courbes de la figure 4, que la cible peut être utilisée également comme électrode de commutation, en travaillant en dessous du coude de la caractéristique et en choisissant convenablement la résistance d'ailette.

Cette propriété est mise à profit dans les circuits permettant d'éliminer des positions en vue d'un comptage sur une base inférieure à 10 (voir schémas dans les pages détachables).

Présélection et remise à zéro

La présélection n'offre aucune difficulté, cela découle immédiatement de ce qui a été dit plus haut. Pour verrouiller le faisceau sur un groupe déterminé, à partir de la position de repos ou de cut-off, il suffit d'abaisser de 60 % environ le potentiel de l'ailette relative au groupe choisi.

La remise à zéro n'est guère plus compliquée. Elle implique néanmoins deux opérations : la suppression du faisceau, puis son rétablissement sur l'ailette du groupe 0. Le schéma de la figure 5 montre comment ces manœuvres peuvent être réalisées de façon simple. En fermant l'interrupteur I, la tension de toutes les ailettes s'abaisse jusqu'à une valeur inférieure à la tension de cut-off et le faisceau disparaît. Lorsque l'on ouvre à nouveau l'interrupteur, toutes les ailettes sont immédiatement portées à + 100 V, à l'exception de l'ailette 0 dont la tension remonte avec un certain retard dû au condensateur de 1 nF. Le faisceau se reforme donc sur cette électrode.

Par suite de la parfaite symétrie du tube, il est évidemment possible de ramener le faisceau non pas à 0, mais sur tout autre chiffre déterminé à l'avance. Pour cela, il suffit de disposer le condensateur dans le circuit de l'ailette du groupe désiré.

Affichage des résultats

Les premiers trochotrons, conçus et développés en Suède, comportaient un dispositif d'affichage incorporé, aussi simple qu'ingénieux.

L'anode cylindrique était percée de 10 fentes, derrière lesquelles une petite cible en forme de coin débouchait sur une substance fluorescente déposée uniformément sur la face interne de l'ampoule, en son sommet.

La position du faisceau à l'intérieur du tube pouvait être repérée de l'extérieur par l'impact des électrons sur l'écran fluorescent, comme dans un indicateur visuel d'accord ou un tube cathodique.

Quelles considérations ont conduit les fabricants ultérieurs à abandonner ce système? Il est facile d'en imaginer plusieurs, sans pouvoir préciser pour autant quelle fut la raison prédominante.

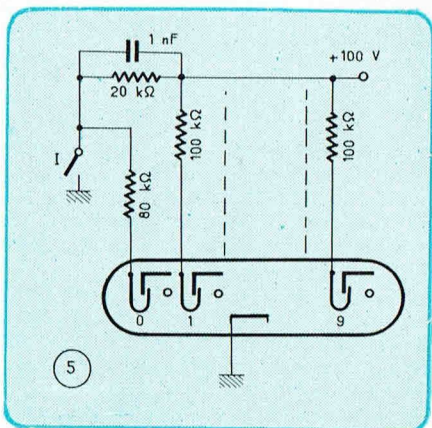


Fig. 5. — Montage utilisé pour la remise à zéro.

Tout d'abord, les trochotrons ne sont pas exclusivement destinés au comptage électronique. Leur structure originale et leurs performances élevées en matière de commutation en font d'excellents tubes sélecteurs; la plupart des relais pas à pas ne comportent pas de dispositif d'affichage, et personne ne s'en plaint. Mais là ne s'arrête pas le champ d'application des trochotrons, qui servent aussi de convertisseurs de code binaire/décimal, convertisseurs arithmétique/analogique, multiplexeurs, etc. Dans ces applications, l'indication visuelle est soit inutile, soit très particulière en fonction de l'utilisation. Presque toujours, ce n'est ni sur le tube, ni sous la forme d'une petite tache fluorescente qu'on la désire. Il était donc inopportun d'augmenter le coût du trochotron, tube à usages multiples, pour le seul profit des utilisations « comptage ».

D'autre part, le trochotron est un tube robuste dont la durée de vie atteint actuellement 50 000 heures et il est peu probable que le petit écran fluorescent, *accessoire*, dure aussi longtemps que le *cœur*. Dès lors, pourquoi ne pas le supprimer dès la fabrication?

Enfin, et cet argument fut peut-être prédominant, l'indication visuelle fournie par les RYG 10 était loin d'être parfaite; bonne de près, la lecture s'avérait impossible à quelques mètres. Il était donc préférable de lui substituer un dispositif d'affichage extérieur à l'organe de comptage, sur tube au néon ou, mieux, sur tube Nixie. Précisément, le fabricant des trochotrons aux U.S.A., *Burroughs*, est aussi le champion des tubes Nixie. Le mariage trochotron + Nixie était donc inévitable!

Certes, cela renchérit en fin de compte le coût d'une décade, mais aux fréquences où le trochotron est roi, le prix n'a plus la même importance que pour les compteurs moins rapides.

Voilà pourquoi les trochotrons actuels ne comportent plus de dispositif d'affichage inclus, et personne ne s'en plaint.

On affiche par l'un des procédés habituels : tube néon de signalisation, tube Nixie ou Pixie. La remarquable constance du courant de cible, dans un trochotron, convient parfaitement pour la commande d'un tube Nixie. Ce système d'affichage ne trouble en rien le fonctionnement du tube et n'empêche pas d'utiliser *simultanément* les cibles pour la commande d'un autre circuit, notamment l'attaque de la décade suivante. Rien n'interdit d'utiliser les ailettes pour la fonction d'affichage, si ce n'est que la capacité du tube indicateur s'ajoute à celle de l'ailette et empêche alors le trochotron de fonctionner à sa fréquence maximale.

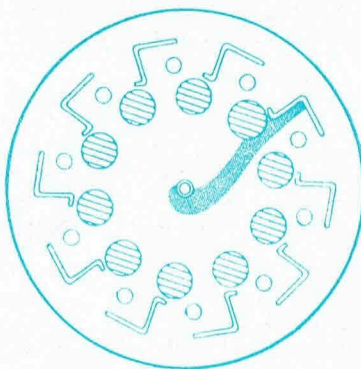


Fig. 6. — Vue schématique d'un trochotron BX 1000 à aimant incorporé.

On notera que certains trochotrons, comme le BX 1000, peuvent délivrer des impulsions de 200 V sur les cibles et sont donc parfaitement capables d'amorcer un tube Nixie sans aide extérieure. Cependant, on a tout intérêt à pré-polariser le tube indicateur à 50 ou 75 V; ainsi on ne réclamera au tube compteur qu'une impulsion de sortie réduite et il pourra fonctionner à une fréquence plus élevée.

Enfin, si l'on désire afficher sur des tubes Nixie de grandes dimensions (types « Super » et « Jumbo », par exemple), ou faire la répétition à distance de l'affichage, il est nécessaire d'amplifier le courant de cible. On trouvera, dans les pages détachables de ce numéro, un dispositif avec amplificateur à transistors répondant à ce besoin. Ce même schéma montre aussi une méthode d'effacement du tube Nixie pendant la période active de comptage, qui assure la non influence du dispositif d'affichage sur le fonctionnement du trochotron.

La famille des trochotrons

Nous avons déjà eu l'occasion de mentionner l'existence de trochotrons à affichage incorporé (RYG 10) et de tubes sans dispositif de lecture (6700). Mais il y a entre les différents types de tubes commutateurs d'autres particularités beaucoup plus importantes. Certains trochotrons ne requièrent qu'une faible tension d'ailette — ce sont les tubes basse tension (par exemple : 6701, BD 308, de *Burroughs* ou le très récent VS 10 K d'*Ericsson*); d'autres sont caractérisés par leur courant de cible important (BD 311). Enfin, comme pour les tubes à vide ordinaires, il existe des versions « normale » et « miniature ». Ces particularités, jointes à la vitesse maximale de comptage recherchée, guideront le choix des utilisateurs.

Utilisés en France et à l'étranger depuis des années, fabriqués dans notre pays depuis peu (*la Radiotechnique*), les trochotrons sont les compteurs décimaux les plus rapides et les plus simples à utiliser qui soient. La seule — mais rigoureuse — précaution d'emploi qu'ils réclament, est d'être placés à une distance d'au moins 5 cm de tout matériau magnétique et à 10 cm de tout autre trochotron. Cela, évidemment, en raison du rôle primordial que joue le champ magnétique de l'aimant indispensable à leur fonctionnement. Contrairement à beaucoup d'autres dispositifs de comptage électronique, ces tubes sont peu sensibles aux variations de la tension d'alimentation et acceptent de larges tolérances sur l'amplitude et la forme des impulsions de commande.

(Suite page 402)