

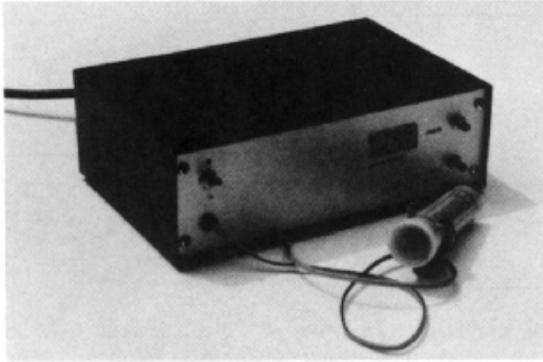
Compteur Geiger-Müller

par Jean BERTHIER
Professeur au Lycée Hector Berlioz, 94307 Vincennes Cedex

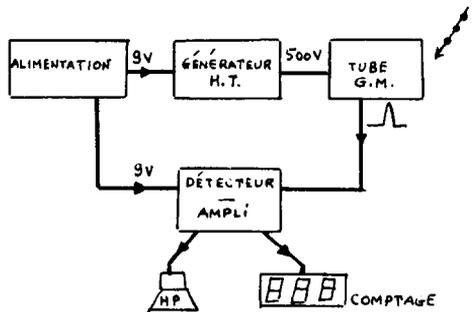
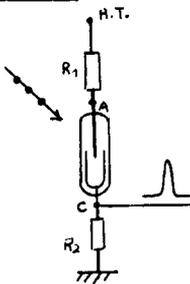
Le prix du revient assez modéré de cet appareil (1000 F) permet sa réalisation en plusieurs exemplaires pour un établissement.

1. PRINCIPE

Des travaux pratiques sont ainsi possibles tant en première A-B qu'en terminales et ce, en utilisant des sources radioactives que l'on trouve partout.



I PRINCİPE



Le tube G.M., sensible aux causes ionisantes individuelles (α , β , γ) délivre une impulsion pour chaque rayonnement capté : il permet ainsi la détection par haut-parleur et le comptage par afficheurs numériques.

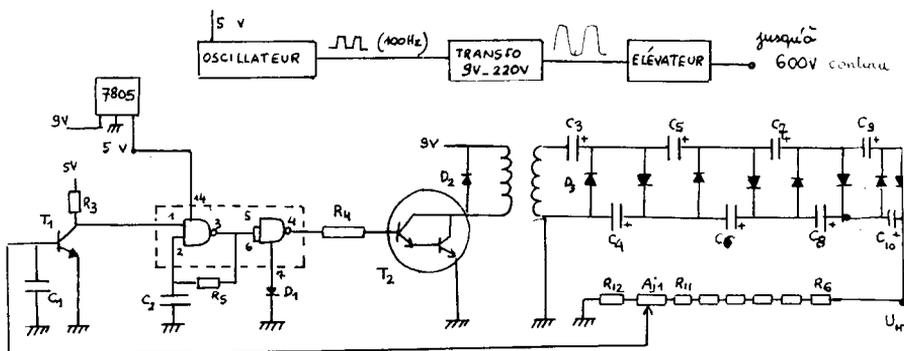
2. FONCTIONNEMENT

2.1. Alimentation 9V

Destiné à une utilisation en salle de cours ou T.P., notre compteur est équipé d'une petite alimentation stabilisée (voir annexe 1).

La consommation assez réduite de l'appareil (100 mA) autorise l'utilisation de piles (5 ou 6 piles R14) si l'on souhaite s'affranchir du secteur.

2.2. Générateur H.T.



Le circuit oscillateur (2 portes NAND d'un circuit C-MOS 4093, R_5 , C_2) fournit un signal en créneaux. Comme la fréquence dépend un peu de la tension d'alimentation donc de l'état des piles éventuelles, ce circuit est alimenté par une tension stabilisée à 5 V.

Ce signal est appliqué par l'intermédiaire d'un darlington à un transformateur 9V - 220V utilisé en élévateur. La tension obtenue (180V environ crête à crête, déformée) est encore trop faible.

L'élévateur de tension est constitué de 8 condensateurs (chimiques $2 \mu\text{F}$ - 350V) et de 8 diodes de redressement. L'examen du schéma montre que les diodes n'autorisent la charge des condensateurs que selon la polarité prévue. Ainsi la tension U_{HT} est sensiblement quadruple de la tension aux bornes d'un seul condensateur celle-ci étant elle-même égale à la tension maximale délivrée par le secondaire du transformateur.

Réglage de U_{HT} : le constructeur du tube G.M. impose une valeur de U_{HT} qui varie d'un type de tube à un autre (entre 400V et 600V). Un réglage du U_{HT} est donc nécessaire. Il repose sur le fait que le circuit intégré ne peut produire des oscillations que lorsque son entrée 1 est au potentiel 5V. Ceci est le cas lorsque le transistor T_1 est bloqué.

Voyons le principe de contrôle : un pont diviseur (R_6 à R_{12}) permet à un ajustable de fournir un potentiel V_B compris entre 0,4 et 1,2V environ.

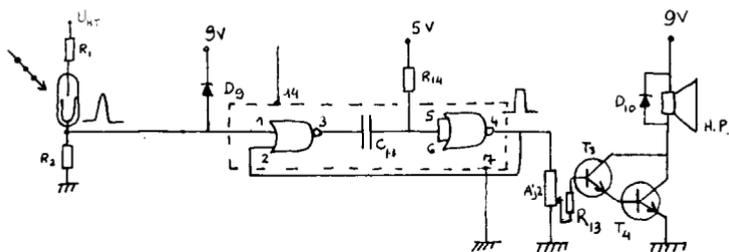
Supposons cet ajustable dans une position milieu.

Si U_{HT} est inférieure à la valeur correspondante au réglage, V_B sera faible, T_1 bloqué et l'entrée 1 au potentiel 5V ; l'oscillateur fonctionne et U_{HT} augmente.

Si U_{HT} atteint une valeur trop élevée, V_B sera suffisant pour débloquent T_1 et l'entrée 1 passant au potentiel 0, l'oscillateur ne fonctionne plus entraînant la diminution de U_{HT} .

On choisit donc la valeur de la haute tension (entre 400 et 600V) par action sur l'ajustable qui, relié à T_1 pilote l'oscillateur. La précision du réglage est de quelques volts.

2.3. Détection des impulsions, production de tops sonores

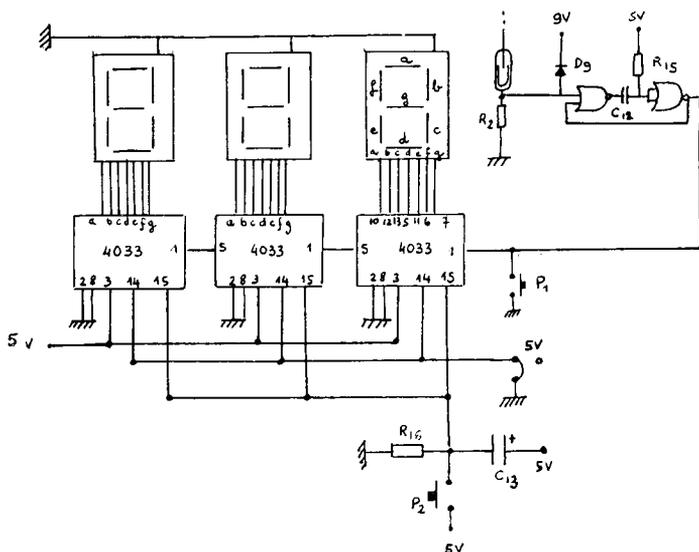


Chaque événement ionisant produit une impulsion.

Un monostable (2 portes NOR d'un circuit 4001, C_{10} , R_{14}) en permet la mise en forme en réalisant à son tour une impulsion de durée constante ($\approx 10^{-3}$ s). L'amplificateur constitué de 2 transistors permet un courant suffisant pour le H.P. On pourra choisir le volume sonore grâce à l'ajustable Aj_2 .

2.4. Comptage à afficheurs numériques (0 à 999 impulsions)

L'ensemble est constitué d'un monostable identique au précédent pour mettre en forme les signaux de 3 circuits intégrés compteur - codeur (4033) et de 3 afficheurs 7 segments à cathodes communes. Si on le souhaite, le comptage peut aller jusqu'à 9999 avec un circuit et un afficheur de plus.



Les trois afficheurs, de droite à gauche, correspondent aux unités, dizaines, centaines. A la première impulsion reçue, le circuit 4033 commande l'allumage des segments b et c, à la deuxième a b g e d... de l'afficheur unité. On peut compter les dizaines à condition de relier la broche 5 du compteur unités à la broche 1 de celui des dizaines etc...

Le bouton poussoir P_2 permet la remise à zéro des 3 afficheurs.

P_1 permet l'arrêt du comptage pour effectuer une lecture.

Le rôle de C_{13} et R_{16} est de forcer l'affichage «0 0 0» à chaque mise sous tension du compteur.

3. RÉALISATION

- 1°) Se procurer la documentation «Tubes Geiger-Müller» en la demandant à R.T.C. 117, quai du Président Roosevelt - BP 75 - 92134

Issy les Moulineaux Cedex (40.93.81.42) ainsi que la liste des distributeurs (nous nous sommes adressés à RTF Diffusion 59/63 rue Desnouettes 75015 Paris (45.31.16.50).

On apprend ainsi qu'il existe une bonne vingtaine de modèles. Pour notre part nous avons choisi le ZP1401 qui est un tube à fenêtre de mica polyvalent puisqu'il permet de détecter les 3 types de rayonnement. D'autres, un peu moins chers et moins fragiles, dits cylindriques ne détectent que β et γ .

Pour le ZP 1401 qui vaut 600F, la tension préconisée est 500V et la valeur de R_1 : $10M\Omega$.

2°) Liste des composants utilisés

Résistances (1/4W - 5%) Ajustables (à plat)

R_1 : $10M\Omega$

Aj1 : $220k\Omega$

R_2 : $330k\Omega$

Aj2 : $10k\Omega$

R_3 : $4,7k\Omega$

Condensateurs

R_4 : $1k\Omega$

C_1 : $100nF$

R_5 : $82k\Omega$

C_2 : $200nF$

R_6 à R_{11} : $10M\Omega$

C_3 à C_{10} : $2\mu F$ - 350V (électrolytique)

R_{12} : $47k\Omega$

C_{11} et C_{12} : $150nF$

R_{13} : $4,7k\Omega$

C_{13} : $10\mu F$ (électrolytique radial)

R_{14} : $10k\Omega$

R_{15} : $10k\Omega$

R_{16} : $10k\Omega$

Diodes

D_1 et D_{11} : 1N4148

D_2 à D_{10} : 1N4007

D_{12} : 1N4001...7

Semi-conducteurs

Régulateur 7805

CI_1 : CD4093

CI_2 : CD4001

CI_3 à CI_5 : CD4033

T_1 et T_3 : BC108

T_2 : BD679

T_4 : 2N1711

Divers

3 afficheurs à cathode commune (voir texte)

1 haut-parleur 8Ω ; 0,2W

1 transformateur à picots 220V/9V, 1,6V.A.

Nous avons utilisé un 220/2 \times 9V ;

3V.A en ne prenant qu'un seul enroulement 9V

1 boîtier (par ex ESM 24-08)

1 interrupteur

2 boutons poussoirs miniatures.

Prévoir aussi picots, connecteurs, entretoises, vis, supports pour circuits intégrés, fil.

Pour une alimentation à partir du secteur, il faut :

1 transformateur 220-12V, 3 ou 5V.A. ; fusible - porte-fusible - cordon d'alimentation ; 1 condensateur $1000\mu\text{F}$ 16 ou 25V ; 1 pont redresseur ; 1 régulateur 7809 ; 1 condensateur $1\mu\text{F}$ tantale.

- 3°) Graver les circuits imprimés d'après modèles proposés en adaptant éventuellement pour que le transformateur à picots trouve bien sa place. Les négociants en fournitures électroniques peuvent se charger de ce travail si l'on n'est pas équipé pour le faire (compter 100F environ).
- 4°) Percer avec des forets de section adaptée.
- 5°) Souder les 10 picots ainsi que les 18 straps (constitués de fil monobrin dénudé) et enfin les 5 supports des circuits intégrés.

Pour la suite on procédera par étapes avec test de fonctionnement à l'issue de chacune d'elles.

- 6°) Souder tous les composants correspondant à la production de la HT SAUF LE TRANSISTOR T_1 en respectant bien les polarités des diodes (D_1 à D_{10}) des condensateurs chimiques (C_3 à C_{10}) en identifiant bien les broches du darlington et en plaçant bien le C.I. sur son support. Appliquer une tension de 9V entre les 2 picots prévus à cet effet et relier les picots A et C à un voltmètre = de calibre suffisant.

ATTENTION : PRÉSENCE DE HAUTE TENSION qui subsistera après que l'on ait déconnecté l'alimentation 9V. On évitera de court-circuiter A et C autrement que par un conducteur de quelques $k\Omega$.

Après quelques secondes (durée de charge des condensateurs) la tension mesurée doit être de l'ordre de 600V.

- 7°) Souder le transistor T_1 .

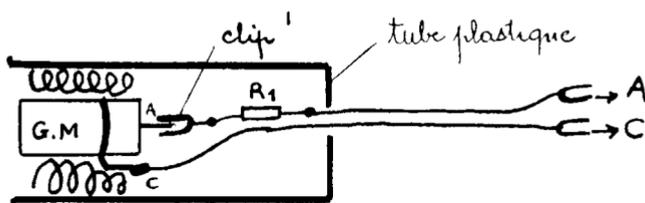
En manœuvrant l'ajustable 1, on peut régler à volonté la tension entre 400 et 600V environ.

Ajuster cette tension à la valeur conseillée pour le tube.

- 8°) Retirer le CI 4093 de son support (plus de H.T.) et souder les composants permettant de produire les tops sonores.

Avec un Générateur BF, on pourra tester la partie détection de la manière suivante : appliquer un signal en créneaux de quelques Hz, d'amplitude suffisante entre la masse et C : le haut parleur doit émettre un son analogue à celui d'un métronome. Régler le volume du H.P au niveau souhaité.

- 9°) A ce moment-là on pourra tester l'ensemble (avec tube G.M.)



Celui-ci étant fragile, des précautions s'imposent.

- a) Retirer le clip de la broche d'anode livré avec le tube.

Y souder la résistance préconisée ($10M\Omega$ pour le ZP1401).

Remettre le clip sur la broche d'anode.

- b) La paroi du tube constitue la cathode. Une bande de Nickel est prévue pour le raccordement par soudure.

Nous avons entouré le tube G.M. de mousse de nylon et placé l'ensemble dans un tube plastique (médicament) muni d'un bouchon.

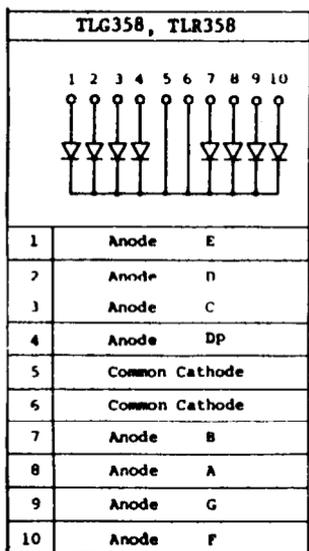
Relier les cosses A et C aux picots A et C prévus sur le circuit imprimé.

Remettre le CI 4093, la tension 9V. Tester.

- 10°) Comptage - affichage

Souder R_{15} , C_{12} , R_{16} , C_{13} et les trois afficheurs.

Le plan proposé dans cet article correspond à l'utilisation d'afficheurs à cathode commune à 5 broches au dessus et en dessous. Demander le schéma de brochage au revendeur car il n'est pas standard. Voici le schéma fourni avec l'afficheur TLR 358 :



Il s'agit de relier chaque broche à celle correspondante du circuit compteur - codeur 4033. Chaque liaison est réalisée au moyen de fil monobrin d'une douzaine de cm ou plus dénudé aux deux extrémités. Si l'on dispose de fils de 8 couleurs différentes, il est assez commode de les regrouper avec un ruban adhésif et de constituer ainsi 3 faisceaux.

Commencer par les unités :

relier 5 à M (2 soudures) puis 5 et 6 sous le circuit imprimé,

relier 8 à a relier 7 à b relier 9 à g Tester.

Poursuivre par les dizaines :

relier 5 et 6 à la masse déjà présente sur l'afficheur des unités,

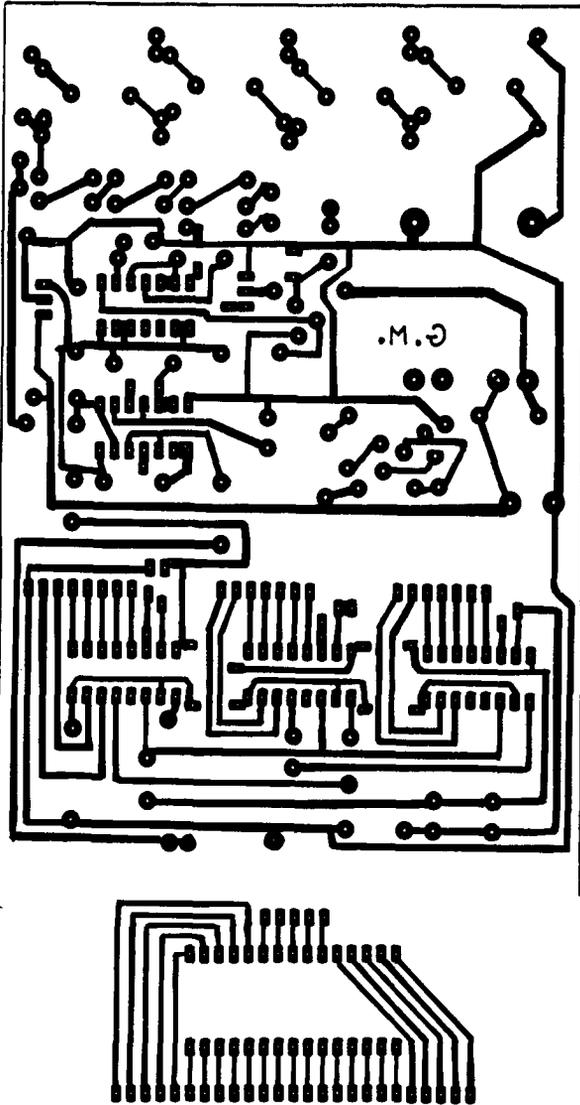
réaliser les 7 liaisons aux sorties prévues du 2^e CD 4033.

Tester.

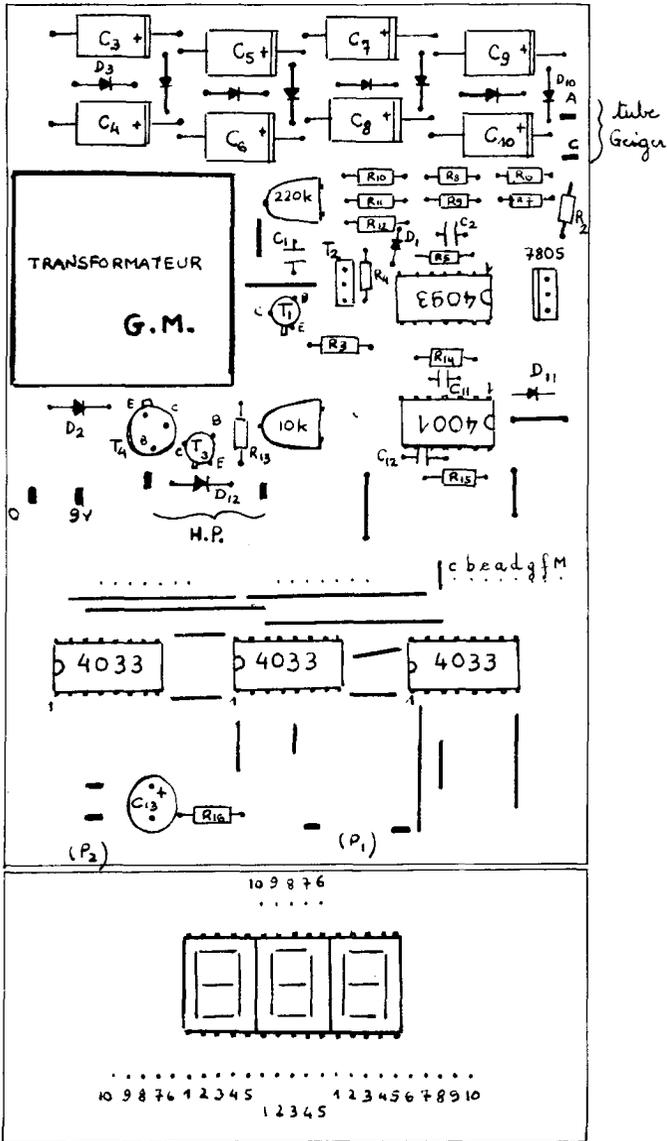
Procéder de même pour les centaines.

On peut utiliser d'autres afficheurs à cathode commune que le TLR358 : il suffit d'utiliser le tableau de brochage selon le même procédé.

11°) Mise en boîtier.



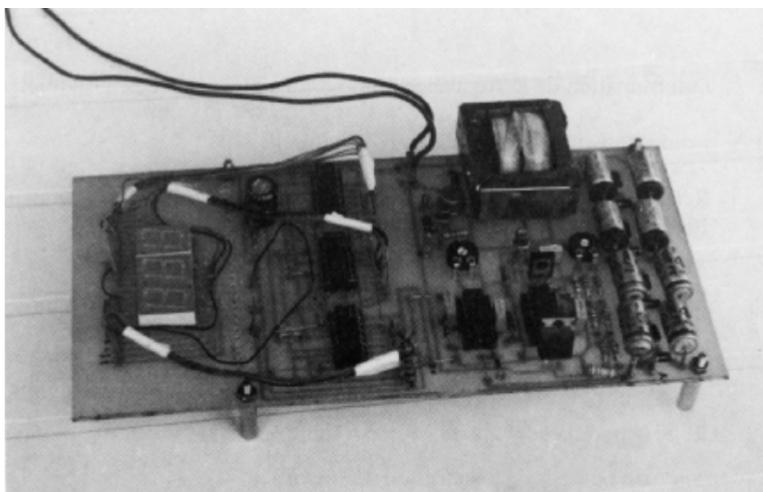
Circuit imprimé côté cuivre



Implantation des composants



L'appareil terminé



Le circuit imprimé

4. UTILISATIONS

4.1. Si l'on ne dispose d'aucune source.

Se procurer un manchon à incandescence utilisé pour les lampes à gaz (vendu sous la marque Camping gaz) très facile à trouver en magasin.

Ce manchon renferme du thorium faiblement radioactif (α , β , γ).

On ne le sortira pas de son sachet transparent sous risque de contaminer le tube par des parcelles de substances radioactives.

a – placer le tube G.M. à proximité du manchon : on compte plusieurs centaines d'impulsions par minute.

Etudier comment varie ce nombre quand on l'éloigne.

b – Détermination d'une fréquence d'impulsions (nombre d'impulsions par unité de temps N/t)

t (min)	N	N/t
0,25		
0,5		
1		
⋮		

c – Détermination de la fréquence d'impulsions du rayonnement naturel.

d – Etude statistique de la radioactivité naturelle

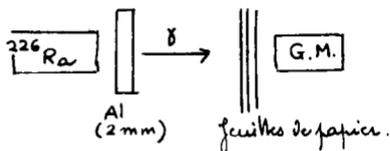
Relever par exemple 100 fois de suite le nombre d'impulsions pendant 10s

nombre d'impulsions	0	1	2	3
fréquence d'apparition	$N_0 =$	$N_1 =$...		

Représentation graphique.

4.2. Si l'on dispose d'autres sources (voir annexe 3).

a – Etude du pouvoir de pénétration des rayons γ



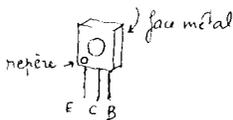
fréquence d'impulsions	nombre de feuilles
	0
	5
	10
	15
	⋮

b - Absorption des rayons γ

Placer entre la source et le tube différents écrans (Al, Pb...) de différentes épaisseurs. Comparer.

Annexe 1

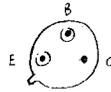
Des schémas sont parus à plusieurs reprises dans le Bulletin, par ex. n° 675 p. 1245 ; n° 683 p. 703. Voir aussi nouveaux livres de première.

Annexe 2 : brochages

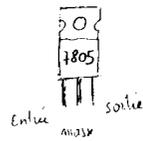
BD 679



BC 108



2N 1711



(vus de dessous)

Annexe 3

Pour se procurer des sources radio actives :

- 1 - catalogue RANCHET
2 rue Denis Papin
BP 28 69740 GENAS
- 2 - O.R.I.S. Industrie
C.E.N. Saclay
BP n° 2 91190 GIF SUR YVETTE