

T.P. numéro 23 : moteur pas à pas (stepper motor).

But : le but de ce TP est la découverte des moteurs pas à pas. On débutera par une étude générale, puis on s'intéressera au mode d'alimentation des enroulements et on finira par l'étude d'un composant permettant de commander les phases du moteur pas à pas : le SAA 1027.

I - Principe général des moteurs pas à pas.

On ira lire dans l'annexe 1 le principe général de fonctionnement des moteurs pas à pas et on répondra aux questions suivantes :

- donner les deux grands types de moteur pas à pas.
- donner deux exemples d'utilisation de ces moteurs.
- selon quel principe physique ces moteurs fonctionnent-ils ?
- le moteur utilisé est un moteur à aimants permanents 4 phases et un angle de pas de $7,5^\circ$: donner le nombre de positions différentes que peut prendre le rotor en un tour.
- compléter l'annexe 2 en remplissant correctement les tableaux donnant l'ordre d'alimentation des enroulements.

II - Etude du moteur.

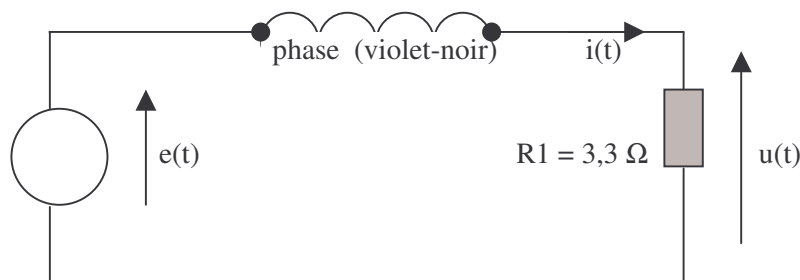
On veut étudier une des quatre phases du moteur.

Pour cela, on lira l'annexe 3 donnant le principe général d'alimentation des phases d'un moteur pas à pas.

On modélise chaque phase du moteur par une résistance R en série avec une inductance L .

On effectuera deux essais sur une des phases (par exemple le violet-noir) :

- un essai en continu en faisant varier I de 0 à 0,4 A et en mesurant I et U (utiliser la limitation de courant).
- un essai avec une alimentation $e(t)$ en créneau 0-10 V et une fréquence d'alimentation de $f = 1$ Hz suivant le schéma ci-dessous. On pourra se placer en monocoup et visualiser $u(t)$, image de $i(t)$, avec un calibre horizontal de $250 \mu\text{s}$ et un calibre vertical de 55 mV.

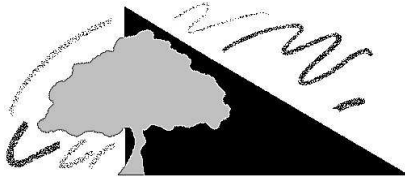


Ecrire l'équation différentielle reliant $i(t)$ à $e(t)$.

En utilisant les deux essais ci-dessus et en s'aidant de l'annexe 3, en déduire la valeur de R et de L correspondant à une des phases du moteur.

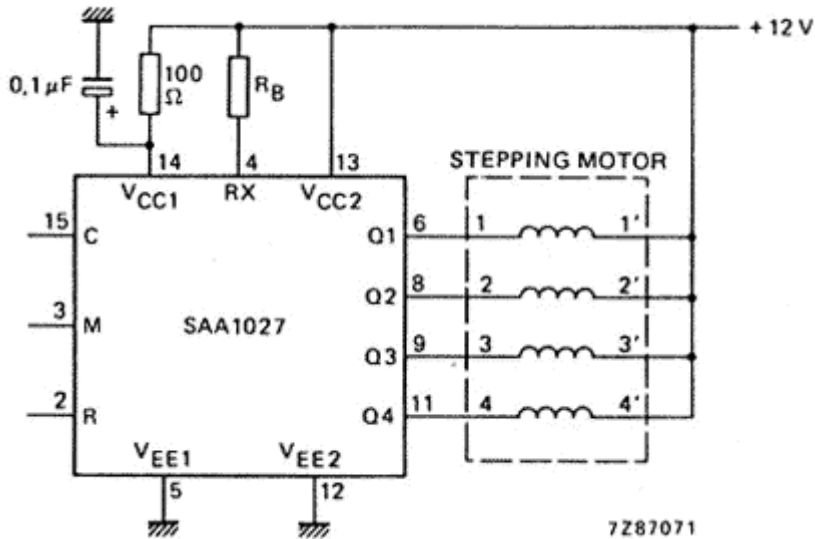
Repérage des quatre phases du moteur : on veut repérer l'ordre dans lequel il faut alimenter le moteur pour qu'il tourne. On alimente donc les phases successivement avec du 12 V pour que le rotor tourne dans le même sens. Vérifier sur votre moteur que l'ordre est bien le suivant : Rouge-Jaune-Violet-Bleu (si ce n'est pas la cas, trouver l'ordre sur votre moteur)

Que se passe-t-il si on envoie successivement des impulsions de 10 V dans l'ordre inverse ? Essayer.



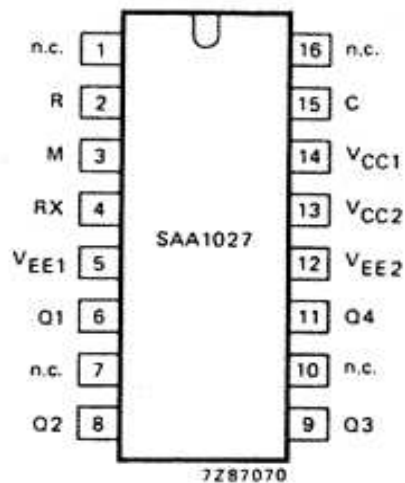
III - Etude du composant de commande : le SAA 1027.

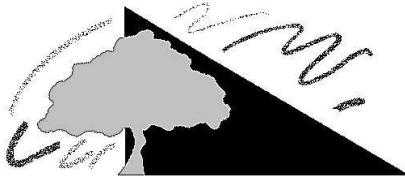
Le composant SAA 1027 est un composant spécifique utilisé pour la commande des moteurs pas à pas.
Le schéma de câblage de la maquette est le suivant :



Les données constructeurs fournissent :

Pinning





Functional Description

Count input C (pin 15)

The outputs change state after each L to H signal transition at the count input.

Mode input M (pin 3)

With the mode input the sequence of output signals, and hence the direction of the stepping motor, can be chosen, as shown in the following table.

Counting sequence	M = L				M = H			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
0	L	H	L	H	L	H	L	H
1	H	L	L	H	L	H	H	L
2	H	L	H	L	H	L	H	L
3	L	H	H	L	H	L	L	H
0	L	H	L	H	L	H	L	H

Reset input (pin 2)

A LOW level at the R input resets the counter to zero. The outputs take on the levels shown in the upper and lower line of the table above.

If this facility is not used the R input should be connected to the supply.

External resistor pin RX (pin 4)

The External resistor pin R4 connected to RX sets the base current of the output transistors. Its value has to be chosen in accordance with the required output current (see Fig. 5).

Outputs Q1 to Q4 (pins 6, 8, 9, and 11)

The circuit has open-collector outputs. To prevent damage by an overshooting output voltage the outputs are protected by diodes connected to VCC2, pin 13. High output currents mainly determine the total power dissipation, see Fig. 3.

Sur quelles bornes peut-on récupérer les sorties à envoyer sur les 4 phases?

A quoi correspondent les bornes C, R et M ?

Faire le schéma proposé sans placer le moteur en plaçant comme compteur une entrée C carrée de 0-10 V à la fréquence de $f = 10$ Hz.

Visualiser les tensions de sortie $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$ et $\Phi 4$ en synchronisme (on gardera une tension sur la voie 1 de l'oscillo et on mettra deux tensions en mémoire).

A partir de ces chronogrammes, donner l'ordre d'alimentation des phases (avec les couleurs).

Visualiser en concordance les tensions issues des bornes jaune (voie 1) et de la borne C (voie 2) : conclusions ?

Câbler ensuite le moteur au composant SAA 1027. (Attention, la borne noire doit être reliée au +12V)

Placer comme compteur une entrée C carrée de 0-10 V à la fréquence de $f = 1$ Hz.

Vérifier que le moteur tourne régulièrement.

Vérifier que l'interrupteur "Remise à zéro" stoppe bien le moteur.

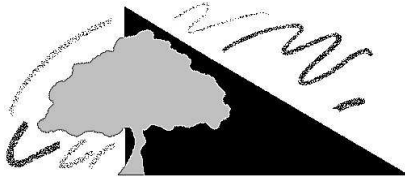
Vérifier que l'interrupteur "Mode entrée" permet de choisir le sens de rotation.

Pour $f = 1$ Hz, dans quel mode le moteur fonctionne-t-il ? (voir annexe 3)

Augmenter f et décrire l'évolution de la vitesse et du comportement du moteur.

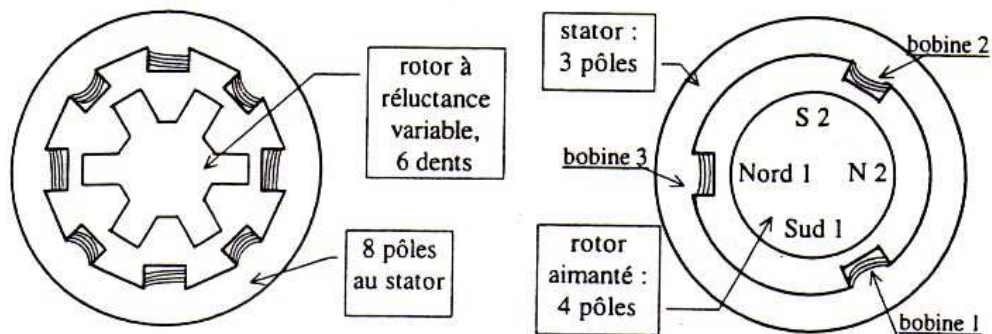
On notera la fréquence pour laquelle le moteur entre en survitesse et la fréquence pour laquelle le moteur perd visiblement des pas.

Comparer vos fréquences avec $(1 / t_e)$ où t_e est le temps d'établissement du courant (voir annexe 3).



Annexe 1 : principe de fonctionnement des moteurs pas à pas.

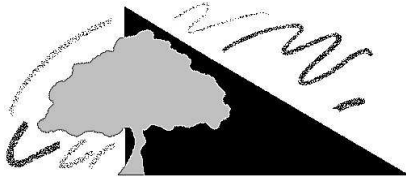
- Le moteur pas à pas permet un positionnement précis ; on l'utilise dans les imprimantes, les tables traçantes, dans les machines-outils ou l'horlogerie.
- Le stator est constitué de bobines, dont une seule à la fois est alimentée. On trouve deux sortes de moteurs pas à pas différenciés par leurs rotors : les moteurs à réluctance variable et les moteurs à aimant permanent (voir les schémas ci-dessous).



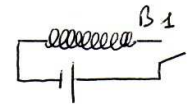
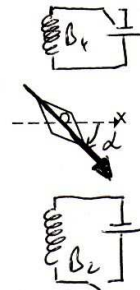
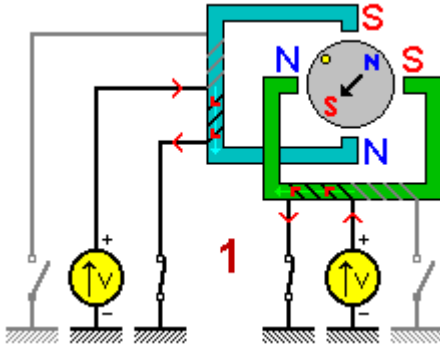
Les bobines du moteur à réluctance variable sont alimentées par des créneaux de tension positifs, tandis que l'alimentation des moteurs à aimant permanent est positive, nulle et négative.

- Les moteurs pas à pas obéissent à la règle du flux maximal : le rotor tourne de façon à se placer face à un pôle du stator, pour que le flux soit maximal. En fonction du nombre de pôles au stator et au rotor, on définit un certain nombre de pas. Les moteurs pas à pas ont 24, 48 ou 200 pas par tour ; les angles de rotation élémentaires sont donc de 15° , $7,5^\circ$ ou $1,8^\circ$.
- La fréquence de rotation peut varier de quelques dizaines à quelques milliers de tr.min^{-1} , et le moment du couple de quelques mN.m à quelques N.m . Pour les fréquences de rotation élevées, le fonctionnement du moteur pas à pas est comparable à celui du moteur synchrone, car sa fréquence de rotation est proportionnelle à la fréquence des tensions d'alimentation.

On pourra également s'aider des fichiers présents dans le répertoire "moteurspap" du PC.



Annexe 2 : alimentation des différentes phases.



Fonctionnement dans le sens horaire.

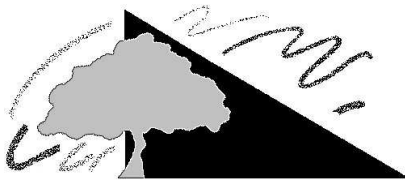
Bobine 1	Bobine 2	Bobine 3	Bobine 4	Angle de déviation
1	0	0	0	0°

Fonctionnement dans le sens trigonométrique.

Bobine 1	Bobine 2	Bobine 3	Bobine 4	Angle de déviation
1	0	0	0	0°

Fonctionnement dans le sens horaire et en demi-pas.

Bobine 1	Bobine 2	Bobine 3	Bobine 4	Angle de déviation
1	0	0	0	0°

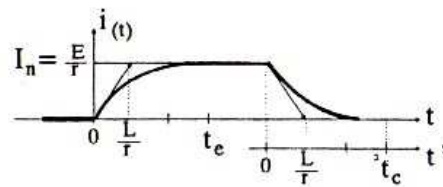
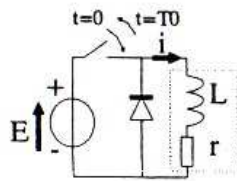


Annexe 3 : techniques d'alimentation : courants dans chaque phase.

Le passage d'un pas à un autre est obtenu par commutation du courant dans les enroulements (voir annexe2).

Or, les circuits électriques étant inductifs, les discontinuités de courant à la fermeture et surtout à l'ouverture des interrupteurs sont difficiles à obtenir. On modélise une phase du moteur par une bobine (L, r) et on doit mettre une diode de roue libre en parallèle pour permettre à l'énergie contenue dans L de s'évacuer sans danger.

Schéma de principe et allure du courant :



Expressions du courant dans l'enroulement:

à l'établissement du courant: $i(t) = \frac{E}{r} (1 - e^{-\frac{t}{L/r}})$	à la coupure du courant: $i(t) = \frac{E}{r} (e^{-\frac{t}{L/r}})$
--	---

Temps d'établissement et de coupure:

$$t_e = t_c \approx 3 \frac{L}{r}$$

On considère que la constante de temps électrique (L/r) est beaucoup plus petite que la constante de temps mécanique, c'est à dire que le courant aura atteint sa valeur finale avant que le rotor n'ait débuté sa rotation.

Cependant, si le temps séparant le passage d'un pas à un autre est supérieure au temps de réponse t_r , le rotor s'arrête à chaque pas. On dit alors que le moteur fonctionne en mode : "marche-arrêt".

Si l'enchaînement des pas a lieu à une vitesse croissante, le rotor ne s'arrête plus à chaque pas et fonctionne en "entraînement" ou en "survitesse". Il ne peut pas dans ce cas s'arrêter brusquement ou changer de sens sans perdre des pas.