

Figure 13

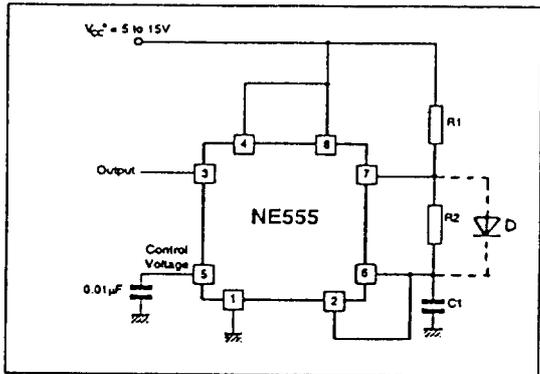


Figure 14 shows actual waveforms generated in this mode of operation.

The charge time (output HIGH) is given by :

$$t_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

and the discharge time (output LOW) by :

$$t_2 = 0.693 (R_2) C_1$$

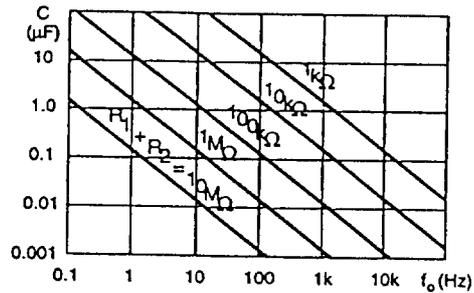
Thus the total period T is given by :

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_1 + 2R_2) C_1$$

With D:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

Figure 15 : Free Running Frequency versus R_1 , R_2 and C_1



PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 16 shows the circuit.

Figure 16 : Pulse Width Modulator.

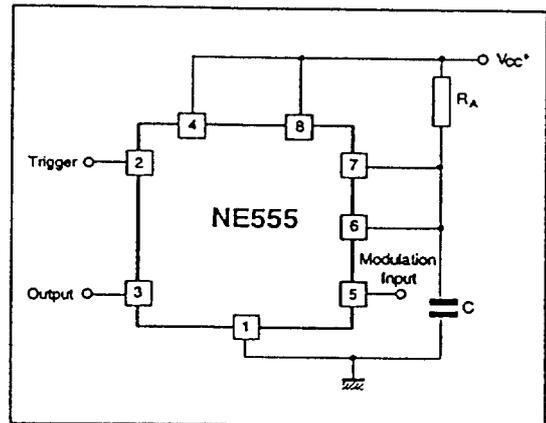
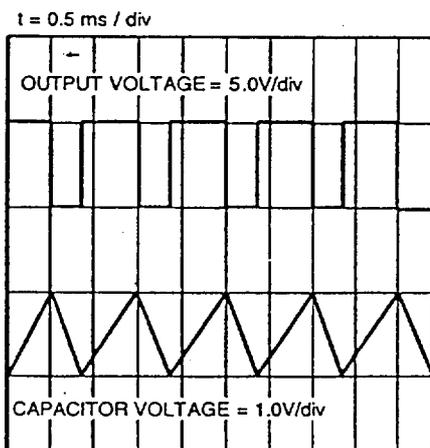


Figure 14



$R_1 = R_2 = 4.8k\Omega$, $C_1 = 0.1\mu F$, $R_L = 1k\Omega$

NE555/SA555/SE555

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 17 shows a circuit configuration that will perform this function.

Figure 17.

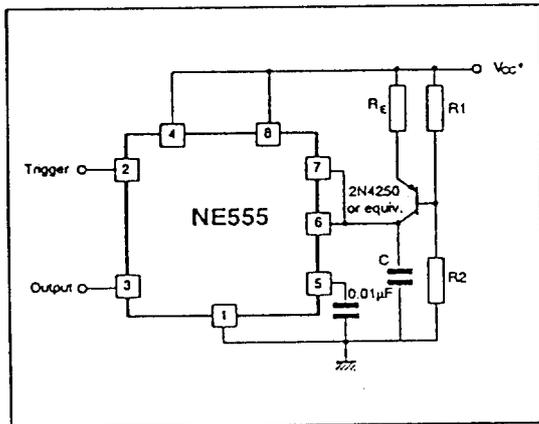
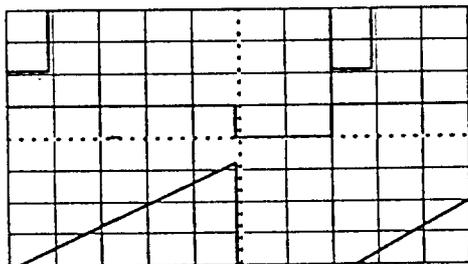


Figure 18 shows waveforms generated by the linear ramp.

The time interval is given by :

$$T = \frac{(2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} \pm V_{BE} (R_1 + R_2)} \quad V_{BE} = 0.6V$$

Figure 18 : Linear Ramp.



$V_{CC} = 5V$
Time = 20µs/DIV
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_E = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top trace : input 3V/DIV
Middle trace : output 5V/DIV
Bottom trace : output 5V/DIV
Bottom trace : capacitor voltage 1V/DIV

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle the resistors R_A and R_E may be connected as in figure 19. The time period for the output high is the same as previous,

$$t_1 = 0.693 R_A C.$$

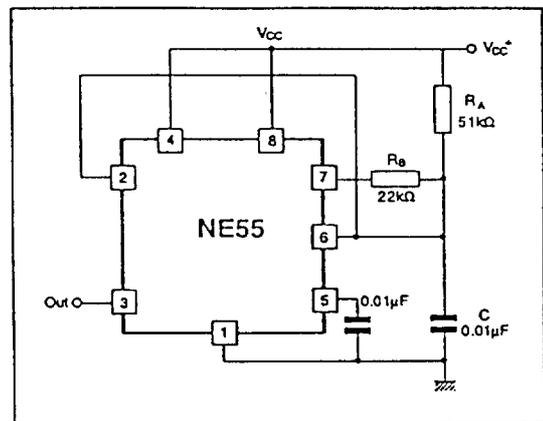
For the output low it is $t_2 =$

$$[(R_A R_B) / (R_A + R_B)] \text{ CLn} \left[\frac{R_B \pm 2R_A}{2R_B \pm R_A} \right]$$

$$\text{Thus the frequency of oscillation is } f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater

Figure 19 : 50% Duty Cycle Oscillator.



than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu F$ in parallel with $1\mu F$ electrolytic.

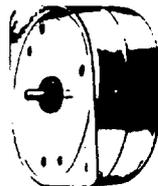
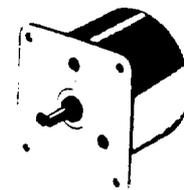
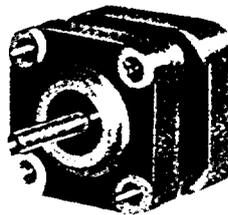
Les moteurs pas à pas

Pendant très longtemps, les moteurs pas à pas n'ont présenté aucun intérêt face aux moteurs à courant continu asservis en position (servo-moteurs).

Grâce à l'amélioration de leurs caractéristiques (Puissance, vitesse, valeur et précision de l'angle de pas, encombrement), ils sont devenus de plus en plus utilisés.

Le moteur pas à pas est l'interface idéal entre l'électronique digitale et la mécanique. Avec l'avènement des micro-processeurs, son rôle est maintenant prépondérant.

D'autre part, ses remarquables possibilités d'adaptation lui permettent de pouvoir travailler selon le cas à vitesse continue ou variable, et également en moteur synchrone.

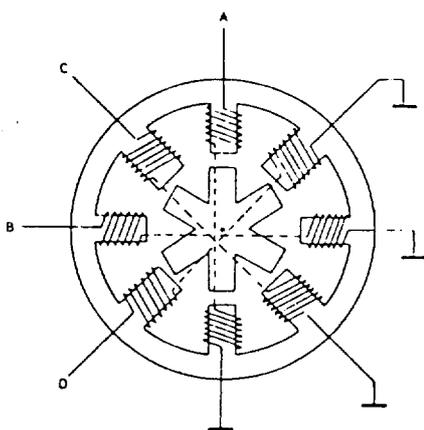


Présentation

Il existe trois principes de moteurs pas à pas.

Les moteurs à réluctance variable

Ces moteurs comportent un rotor à encoches qui se positionne dans la direction de la plus faible réluctance.



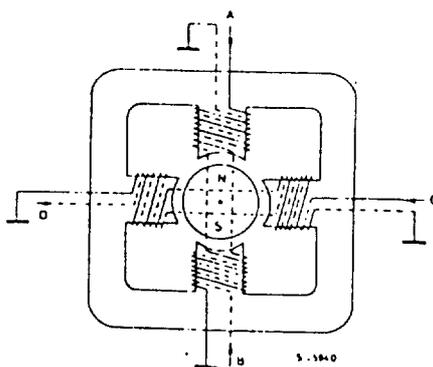
Un moteur à réluctance variable a un rotor en acier doux non magnétisé qui comporte moins de pôles qu'il n'y a de

stators. Un pilotage du type unipolaire est utilisé et l'avance du moteur est obtenue en excitant une paire de pôles du stator.

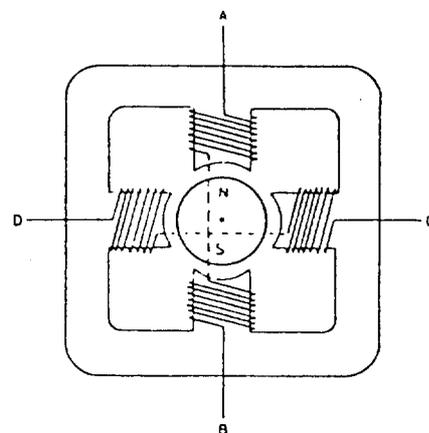
Les moteurs à aimant permanent

Ces moteurs comportent un rotor qui se positionne dans la direction du plus grand flux.

Ces deux principes sont à la limite similaires, puisqu'un circuit magnétique dans lequel passe le plus grand flux est justement celui qui présente la plus faible réluctance.



Structure d'un moteur unipolaire



Structure d'un moteur bipolaire

Simplifié à l'extrême, un moteur à aimant permanent consiste en un aimant permanent tournant, entouré par une paire de pôles qui véhiculent le champ d'entraînement.

Ces moteurs souffrent de l'effet de force électromotrice générée par le rotor qui limite la vitesse de rotation.

Par contre ces moteurs sont très simples à réaliser.

SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

Les moteurs hybrides

Ces moteurs sont une combinaison des deux principes précédents.

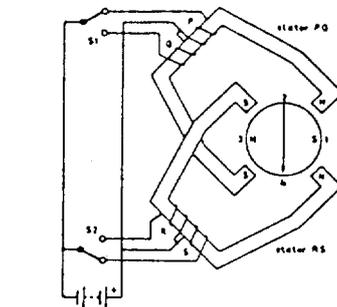
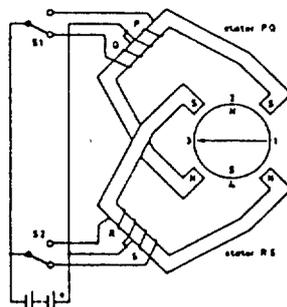
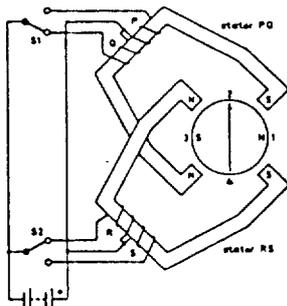
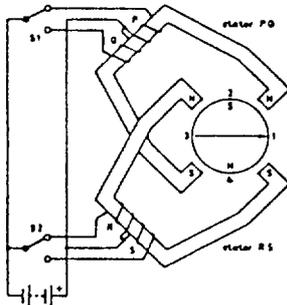
Cette combinaison permet d'améliorer les caractéristiques (Augmentation du couple, réduction du pas).

Les moteurs à aimant permanent

Pour comprendre le fonctionnement d'un moteur pas à pas, le moteur à aimant permanent est celui qui se prête le mieux aux explications.

Comme il en a déjà été question au chapitre précédent, il existe deux grandes catégories de moteurs à aimant permanent.

Le moteur unipolaire



Le moteur représenté possède un stator à deux enroulements à point milieu et un rotor à une paire de pôles (N - S).

Les commutateurs S1 et S2 permettent quatre combinaisons d'alimentation des enroulements, ceci par demi enroulement.

En fait, ce moteur peut être considéré comme ayant quatre enroulements indépendants ou quatre phases.

Ce mode d'alimentation est dit "unipolaire" parce que la même polarité de tension est toujours appliquée aux mêmes bornes des enroulements.

La disposition des champs magnétiques est effectuée de telle façon que le rotor s'anime d'un mouvement angulaire, en fonction de l'excitation des bobines du stator.

Par exemple, lorsque les phase P et R sont alimentées, les pôles ou circuits magnétiques sont tels que le rotor occupe la position 1.

Si ce sont les phases Q et R qui sont alimentées, il y a rotation de 90° de l'ensemble de la polarisation des circuits magnétiques, ce qui consécutivement entraîne le rotor en position 2.

En alimentant les phases Q et S, le rotor est en position 3.

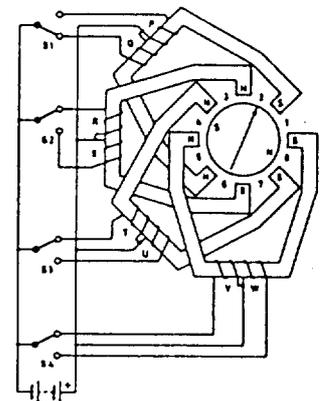
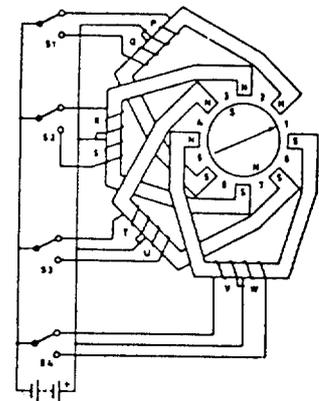
En alimentant les phases S et P, le rotor est en position 4.

Phases excitées	Position du rotor	Sens de rotation	
P - R	1	↑ horaire ↓ antihoraire	 antihoraire horaire
Q - R	2		
Q - S	3		
S - P	4		

Le sens de rotation du stator est fonction de l'ordre dans lequel sont excitées les bobines du stator.

Dans l'exemple ci-dessus, le rotor peut prendre 4 positions possibles. La valeur d'un pas est dans ce cas précis de 90°.

Pour augmenter le nombre de positions, une solution consiste à augmenter le nombre de phases.



Sur ce moteur, le nombre d'enroulements a été doublé. Il peut donc être considéré comme ayant 8 enroulements ou 8 phases.

Lorsque les phases P-R-T-V sont alimentées, les pôles du circuit magnétique sont tels que le rotor occupe la position 1.

Si ce sont les phase Q-R-T-V qui sont alimentées, le rotor occupe la position 2.

Il y a ainsi 8 combinaisons possibles de commutations assurant 8 pas de positionnement, la rotation pouvant être horaire ou antihoraire en fonction du sens dans lequel s'effectue la séquence de commutation.

Phases excitées	Position du rotor	Sens de rotation	
P - R - T - V	1	↑ horaire ↓ antihoraire	 antihoraire horaire
Q - R - T - V	2		
Q - S - T - V	3		
Q - S - U - V	4		
Q - S - U - W	5		
P - S - U - W	6		
P - R - U - W	7		
P - R - T - W	8		

Dans l'exemple ci-dessus, comme le rotor peut prendre 8 positions possibles, la valeur d'un pas est dans ce cas précis de 45°.

Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

EP1
EP2

S
2000

DR
21/37

SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

En passant de 4 phases à 8 phases, le nombre de positions possibles pour le rotor a été multiplié par deux. Une possibilité pour augmenter le nombre de positions serait encore d'augmenter le nombre de phases. Malheureusement, une paire de pôles du stator a un encombrement non négligeable et déjà avec huit phases, les limites physiques sont atteintes. Il n'y a pas possibilité de passer à seize.

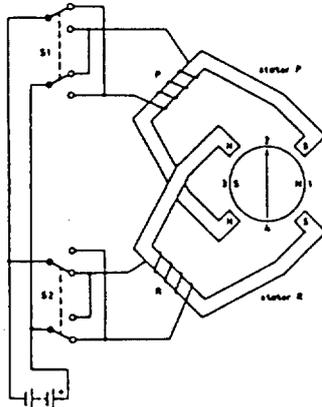
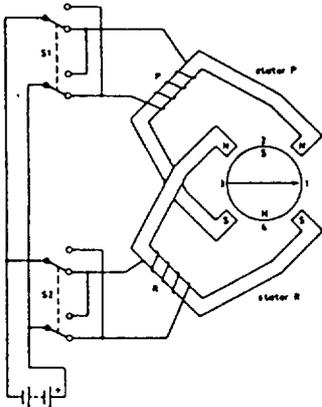
Il faut donc trouver une autre solution. Le stator étant figé, reste le rotor. La solution est d'augmenter le nombre de pôles magnétiques, en fractionnant son aimant.

Le nombre de positions devient alors égal au produit du nombre de phases du stator par le nombre de paires de pôles du rotor.

Comme il est plus simple d'augmenter le nombre de paires de pôles sur le rotor, c'est donc essentiellement sur lui que portera la fragmentation.

Par exemple, un moteur 4 phases, 12 paires de pôles pourra occuper 48 positions différentes. Le pas est alors de $7,5^\circ$.

Le moteur bipolaire

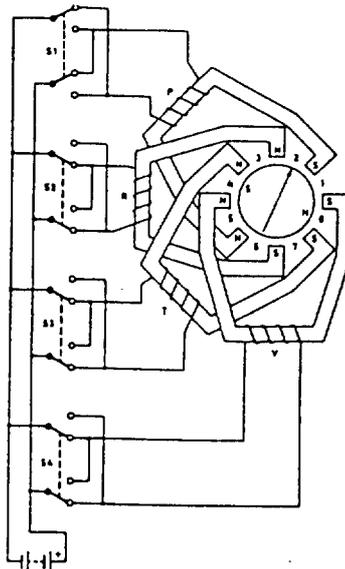
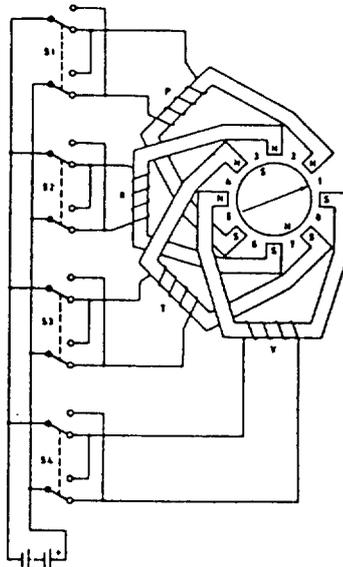


Le fonctionnement est identique au moteur unipolaire. La seule différence se situe au niveau de l'alimentation des enroulements. Sur le moteur bipolaire, le point milieu des deux demi-bobines a disparu, laissant place à une seule bobine.

Si dans le cas du moteur unipolaire, le courant circulait toujours dans le même sens au niveau de chaque demi-bobine, sur le moteur bipolaire, le sens du courant est inversé. L'alimentation est dite "bipolaire" car la polarité de la tension appliquée aux bornes peut être positive ou négative, ceci en fonction de la position des inverseurs S.

Dans l'exemple précédent, le moteur ne comporte que 2 bobines. C'est donc un moteur bipolaire à deux phases.

Tout comme le moteur unipolaire, le nombre de phases peut être doublé. On obtient alors un moteur bipolaire à 4 phases.

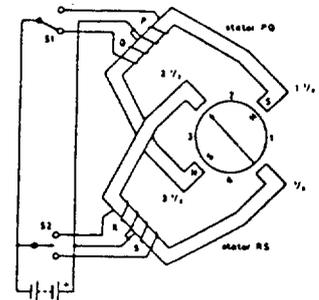
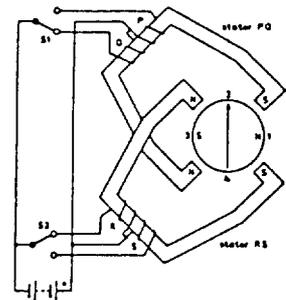


L'avantage du moteur bipolaire est d'avoir tous ses enroulements sous tension simultanément. Dans le cas du moteur unipolaire, seulement la moitié des enroulements est alimenté. Il en résulte donc un couple d'entraînement beaucoup plus faible pour le moteur unipolaire avec un encombrement identique à celui du moteur bipolaire.

Fonctionnement en demi-pas

Il est possible de faire fonctionner un moteur en demi-pas, c'est à dire diviser par deux l'angle de déplacement.

Prenons comme exemple le moteur unipolaire quatre phases.



Si les phases Q et R sont sous tension, le rotor occupe la position 2.

Si maintenant seule la phase Q est alimentée, le rotor tourne d'un demi pas dans le sens antihoraire et vient en position $2 \frac{1}{2}$. Si seule la phase R est alimentée, le rotor tourne d'un demi pas dans le sens horaire et vient en position $1 \frac{1}{2}$.

Le même raisonnement peut être appliqué sur un moteur unipolaire huit phases. En n'alimentant pas une des phases, le rotor se déplace d'un demi-pas. Il en est de même pour les moteurs bipolaires.

Il convient de souligner que ce mode de fonctionnement en demi pas ne permet pas l'utilisation du moteur au maximum de ses possibilités puisque la moitié des positions est obtenue en ayant au moins un circuit stator non magnétisé. Pour ces positions, le couple disponible s'en trouve réduit.

Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques Industrielles Dossier Ressources

EP1
EP2

S
2000

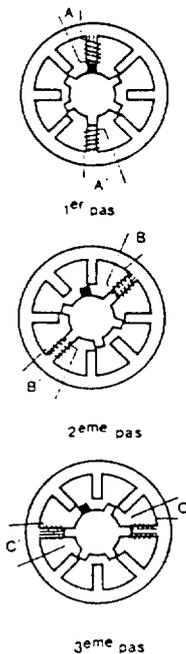
DR
22/37

Ce fonctionnement, quelque peu irrégulier du moteur, a pour effet également d'altérer la précision quant au positionnement du rotor.

C'est pour ces différentes raisons que ce mode de fonctionnement est très rarement utilisé.

Le moteur à réluctance variable

Après ce qui a été vu sur le moteur à aimant permanent, le principe du moteur à réluctance variable est simple à assimiler.



Au départ c'est la bobine D qui est sous tension (non représentée). Quand la bobine A est activée, le rotor avance d'un pas dans le sens antihoraire. L'activation de la bobine B puis ensuite de la bobine C provoque l'avance du rotor du nombre de pas escomptés. Le retour à la bobine D complète le cycle. L'exemple ci-dessus illustre un moteur à 24 pas, soit une avance de 15° par pas.

Il est évident que ce type de moteur est beaucoup plus complexe à réaliser que le moteur à aimant permanent.

Caractéristiques d'un moteur pas à pas

La rotation d'un moteur pas à pas s'obtient en modifiant, dans un ordre bien précis, l'alimentation des bobines. Toutes

ces étapes sont appelées cycles de commutations.

Un premier paramètre important, qui définit un moteur pas à pas, est la force qu'il est capable de vaincre afin d'entraîner l'élément extérieur. Comme il s'agit d'une rotation, le mot couple est mieux adapté.

Le rotor étant à l'arrêt, trois informations peuvent déjà être définies.

- **Le couple de détente** : c'est le couple maximal qui peut être appliqué sur l'axe du moteur et qui ne provoque pas de rotation quand ce moteur n'est pas alimenté.

- **Le couple de maintien** : c'est le couple maximal qui peut être appliqué sur l'axe du moteur et qui ne provoque pas de rotation quand ce moteur est alimenté.

- **L'écart angle de puissance** : c'est l'angle de retard (ou d'avance) du rotor à partir de sa position à vide lorsqu'un certain couple extérieur est appliqué sur l'axe du moteur alimenté.

Le couple de maintien est obtenu quand le rotor est dans la position optimale des différents champs magnétiques entre eux. Si le champ provoqué par le stator se déplace par rapport à celui généré par le rotor, il y a alors déplacement du rotor pour retrouver sa position optimale.

Le but d'un moteur pas à pas est de venir positionner un élément extérieur dans une position bien précise. Or qui dit élément extérieur, dit masse et qui dit masse dit inertie.

Cette inertie est le résultat de l'effet de la masse à la variation de vitesse.

La première limite physique est fournie par le moteur lui-même. Le rotor possède sa propre masse qu'il va déjà devoir vaincre. Dans un premier temps, il faut admettre que l'élément extérieur a une masse nulle pour déjà définir le cas limite absolue du moteur.

Il y a deux manières d'aborder le problème.

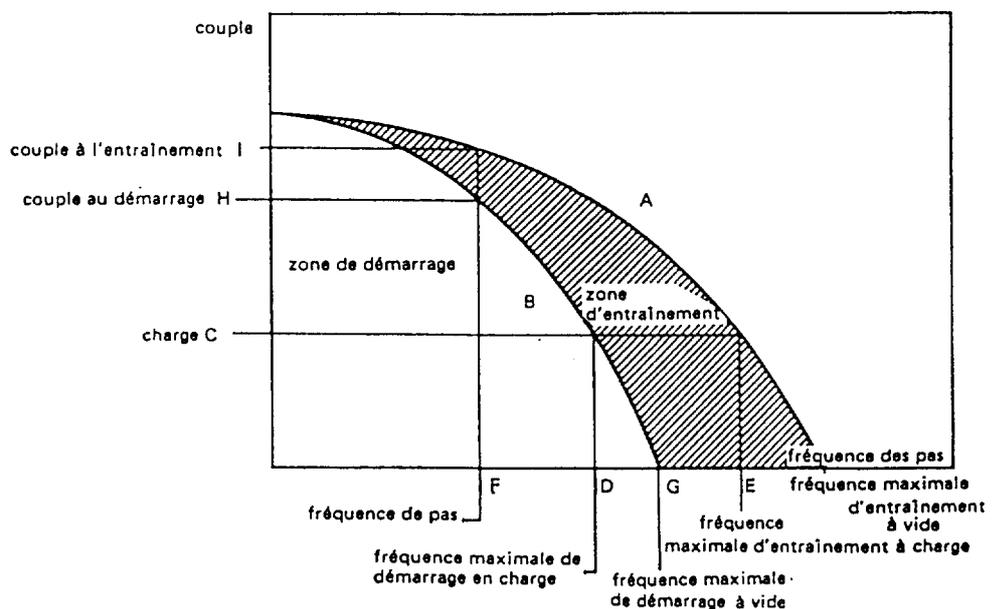
- **La charge fixe** : ce cas est représenté par la courbe d'une charge C. Dans ce cas, le moteur ne peut démarrer sans perte de pas que si la fréquence est au plus égale à D (Zone de démarrage). Après quoi il peut être accéléré jusqu'à une fréquence E (zone d'entraînement) qui est une valeur limite supérieure.

L'arrêt sans perte de pas lorsque le moteur est en zone d'entraînement doit se pratiquer par un retour à la fréquence D (Dans cette zone, les forces d'inertie du rotor sont supérieures à celle fournies par le couple de maintien).

Par la suite, le moteur peut être arrêté soit par décélération progressive, soit par suppression brusque des impulsions de commandes.

En faisant tendre la charge C vers 0, le moteur présente alors une fréquence maximale de démarrage à vide et une fréquence maximale d'entraînement à vide.

- **La fréquence fixe** : pour une fréquence F donnée, le moteur ne peut démarrer sans perte de pas que si la charge est au plus égale à H; cette charge peut ensuite s'accroître jusqu'à I. L'arrêt sans perte de pas ne doit se pratiquer que



lorsque le couple est revenu à une valeur égale ou inférieure à H.

En faisant tendre la fréquence F vers 0, on retrouve la valeur du couple de maintien.

Si l'inertie du moteur augmente, il y a inflexion de la courbe de démarrage et la fréquence de démarrage s'en trouve réduite.

La masse de l'élément extérieur peut être intégrée à celle du rotor. Dans ce cas la fréquence de démarrage peut être déterminée par la relation :

$$F_c = F_0 \sqrt{\frac{I_0}{I_0 + I_c}}$$

avec :

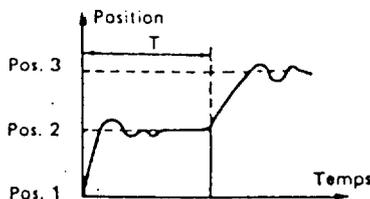
- F_c = fréquence de démarrage en charge
- F_0 = fréquence de démarrage à vide
- I_0 = inertie du moteur utilisé
- I_c = inertie de la charge extérieure.

Lorsque le moteur travaille à vitesse constante, dans la zone d'entraînement, l'inertie à vaincre n'intervient pratiquement plus, le couple s'assimile à un couple de friction et la fréquence d'entraînement n'est pas modifiée.

Comportement d'un moteur pas à pas

Si le moteur est caractérisé par des fréquences limites de fonctionnement, d'autres phénomènes apparaissent quand celui-ci travaille en basse fréquence. Le déplacement du rotor s'accompagne de phénomènes d'oscillations.

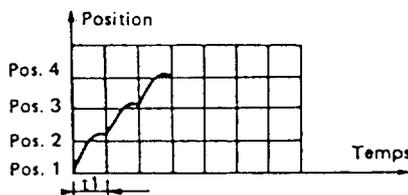
Il faut toujours avoir à l'esprit que la commande de déplacement n'est pas linéaire, mais de type pulsatif (déplacement instantané du champ magnétique du stator). L'inertie du rotor fait que celui-ci n'atteint pas sa nouvelle position instantanément. Il va prendre de la vitesse pour pouvoir y aller et quand cette position est atteinte sa vitesse est maximum. L'inertie du rotor (toujours elle) fait que celui-ci ne peut pas s'arrêter instantanément. Il va donc dépasser sa position d'équilibre et s'arrêter beaucoup plus loin. Les forces exercées par les champs magnétiques vont agir sur le rotor pour qu'il puisse atteindre cette position d'équilibre. D'où nouvelle prise de vitesse et dépassement du point d'équilibre (dans l'autre sens cette fois). Le phénomène va se répéter jusqu'à ce que cette position soit atteinte, l'amplitude des dépassements diminuant à chaque passage en raison des phénomènes de frottements.



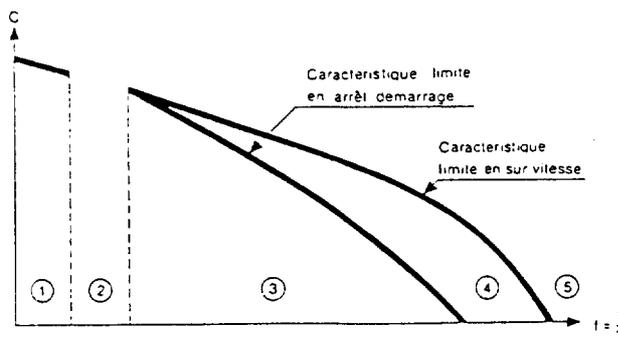
Pour réduire ce phénomène, il importe alors de réduire l'inertie du système et/ou d'accroître le couple résistant, ce qui est assimilable alors à un accroissement du couple de friction.

La durée pendant laquelle le rotor oscille détermine la zone de résonance du système. C'est une zone basse fréquence et il est fortement déconseillé de commander le rotor par une fréquence similaire (Risque de perte de pas).

Ces phénomènes d'oscillation disparaissent dès que la fréquence croît. La fréquence minimale est alors définie par le moment où le rotor atteint sa position d'équilibre.



Cette instabilité peut être réduite en utilisant des réseaux de compensation RC sur les bobinages des moteurs.



- Zone 1**
Fonctionnement possible mais risque de génération trop importante de bruit due aux à coups du moteur.
- Zone 2**
Risque de perte de synchronisme : résonance basse fréquence.
- Zone 3**
Zone d'arrêt-démarrage.
Démarrage et arrêt du moteur dans cette zone sans perte de pas.
- Zone 4**
Zone de survitesse.
Fonctionnement possible si arrêt et démarrage dans la zone 3.
- Zone 5**
Fonctionnement impossible.

Aux vues de tous ces phénomènes, la plage de fonctionnement d'un moteur pas à pas peut être découpée en cinq zones distinctes qui sont résumées en bas de page.

Commande des moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas fonctionnent à partir d'une alimentation à courant continu suivie d'un système assurant la commutation des signaux d'entrée sur les enroulements du stator.

Le système de commutation, commandé depuis l'extérieur, doit permettre de réaliser une rotation dans le sens antihoraire, dans le sens horaire et maintenir l'arrêt autrement.

L'organe de commutation peut être mécanique (système à cames), électromécanique (système à relais) ou électronique.

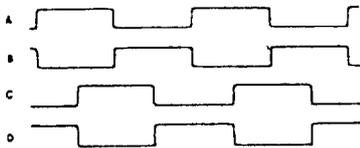
De tous ces systèmes, c'est l'organe électronique qui est le plus utilisé car il permet :

- une rapidité de commutation
- une grande vitesse de fonctionnement
- une grande fiabilité
- une faible consommation

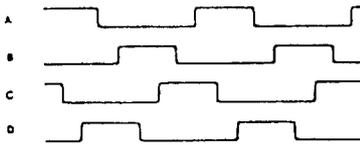
Code examen: 51025504	BEP ELECTRONIQUE Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources	EP1 EP2	S 2000	DR 24/37
------------------------------	--	--------------------------	-------------------------	---------------------------

SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

Les cycles de commutations conduisent à appliquer les tensions électriques sur les bobinages dans un ordre bien précis.



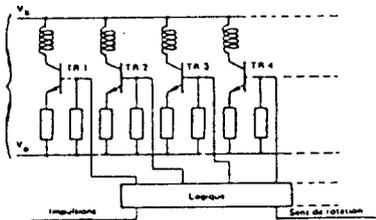
Mode pas complets



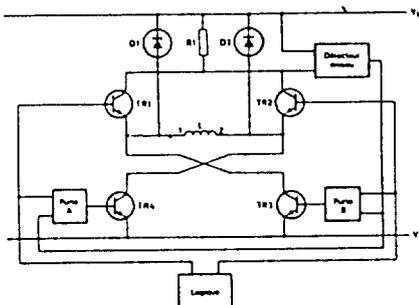
Mode demi-pas

La nature des signaux est la même que le moteur soit unipolaire ou bipolaire, seule change la manière de câbler les enroulements.

Dans le cas du mode demi-pas, la mise hors tension d'un enroulement peut être obtenue de deux manières différentes : soit en appliquant la même tension de chaque côté de la bobine (Commande en basse impédance), soit en n'appliquant aucune tension (Commande en haute impédance).



Câblage d'un moteur unipolaire



Câblage d'un moteur bipolaire

Dans le cas d'un moteur unipolaire, la commutation n'est autre que la mise sous tension ou hors tension de l'enroulement correspondant. Un simple jeu de transistors permet de la réaliser.

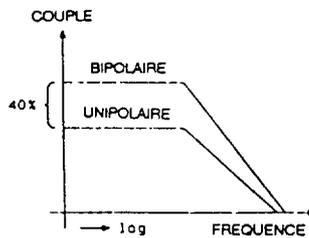
Dans le cas du moteur bipolaire, ce n'est plus une mise sous ou hors tension qui est utilisée mais une inversion du sens de courant. L'effet est obtenu par deux paires de transistors qui travaillent en complémentaire.

Influence du courant sur le couple

Revenons un peu en arrière. Le couple d'un moteur pas à pas est proportionnel à l'intensité du champ magnétique développé par le stator. Il ne peut être augmenté qu'en ajoutant des enroulements ou en augmentant le courant.

Une limite physique contre toute augmentation du courant est le danger de saturation du noyau en acier. Ce risque est en fait de moindre importance devant l'élévation de température du moteur, due à la perte de puissance dans les enroulements du stator. C'est l'avantage du moteur bipolaire sur le système unipolaire, qui présente une résistance d'enroulement moitié en raison de la section double du fil. Le courant de commande peut alors être multiplié par un facteur $\sqrt{2}$ qui influe alors directement sur le couple disponible.

Pour les mêmes pertes de puissance, un moteur bipolaire peut fournir jusqu'à 40% de couple en plus qu'un moteur unipolaire de même taille.

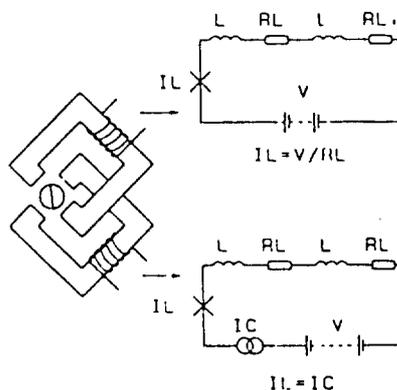


Si le couple maximal n'est pas nécessaire, on peut soit réduire la taille du moteur, soit réduire les pertes en puissance.

Pour réduire ces pertes de puissances dans des limites raisonnables, l'une des solutions est de réduire le courant dans les enroulements.

Commande à courant constant

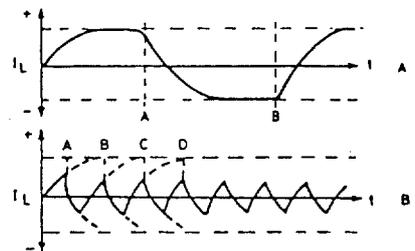
La méthode la plus simple est d'utiliser la résistance de l'enroulement pour limiter ce courant. Il suffit d'alimenter le moteur avec la tension correspondante.



Une méthode plus compliquée mais beaucoup plus efficace est d'insérer un générateur de courant constant dans le circuit. Dans ce cas la tension d'alimentation doit être supérieure que dans le cas précédent.

L'enroulement du stator peut être assimilé à une self L avec sa résistance RL en série. Quand un tel dispositif est soumis à une tension continue, le courant qui apparaît dans la bobine n'est pas instantané (comme la tension) mais présente l'allure d'une exponentielle.

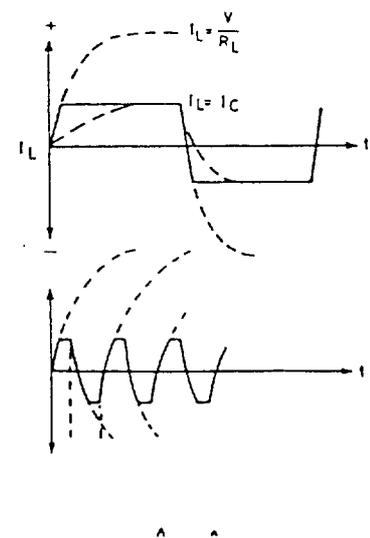
Considérons le montage commandé en tension. Quand la fréquence de commutation est faible, ce courant monte jusqu'à sa valeur nominale définie par V_L/RL . Au changement de commutation (moteur bipolaire), le courant s'inverse. Si les commutations sont trop rapides, le courant n'a plus l'occasion d'atteindre sa valeur de saturation.



Il en résulte une réduction de la puissance dissipée, mais surtout une réduction du couple disponible.

Amélioration du couple à fréquence élevée

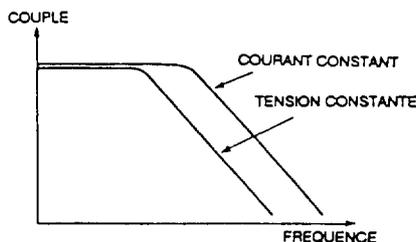
Le couple peut être amélioré en utilisant un générateur à courant constant. Dans ce cas, la tension d'alimentation doit être choisie la plus élevée possible pour accélérer la variation de courant. Quand le courant programmé est atteint, c'est le générateur qui se charge de le limiter.



SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

Le temps nécessaire pour atteindre le courant désiré étant alors plus faible, la fréquence de commutation peut donc être plus élevée.

Il y a donc moyen de travailler à des fréquences de commutation plus importantes tout en conservant le même couple.

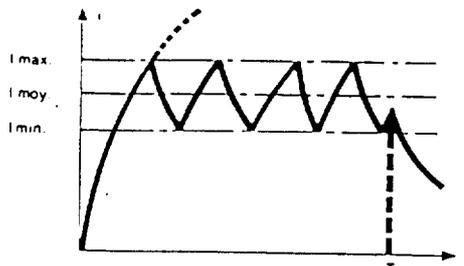
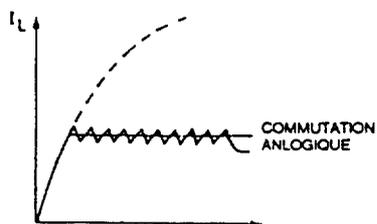
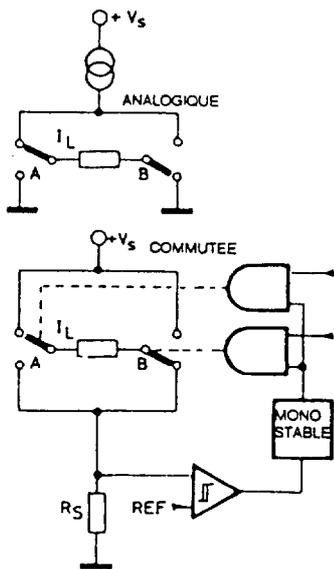


Rendement : le facteur décisif

Le générateur de courant associé à une tension d'alimentation supérieure garantit cette commutation plus rapide.

Dans le cas de fréquences de commutation très faibles ou en mode statique, la perte de puissance dans le générateur de courant augmente dangereusement, alors que celle du moteur ne change pas. Le rendement de ce dispositif, dans ce type d'utilisation est extrêmement mauvais.

La solution va être obtenue grâce à une régulation de courant commuté qui utilise le principe des alimentations à découpage.

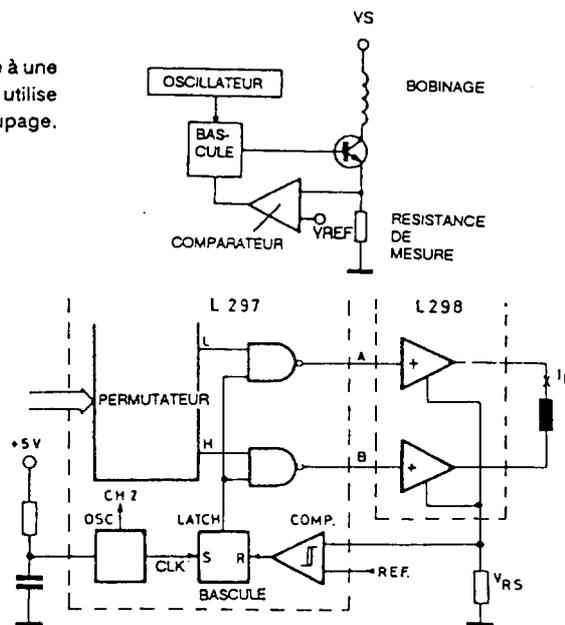


La mesure du courant qui circule dans la bobine est prise sur la résistance R_s .

Quand elle atteint la valeur du seuil supérieur du trigger de Schmitt, le commutateur A est ouvert, provoquant ainsi une annulation de la tension d'alimentation de la bobine.

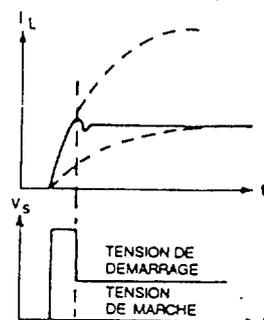
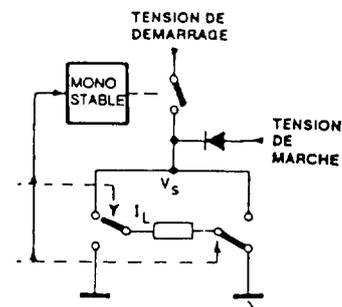
Le courant dans celle-ci va essayer de s'opposer à la disparition de tension (Principe de l'auto-induction). Il va donc diminuer tout en ayant le même sens dans la résistance (La continuité électrique étant assurée par les diodes d'antisurtension).

Quand la tension aux bornes de la résistance aura atteint le seuil inférieur du trigger de Schmitt, le commutateur A est à nouveau fermé afin de maintenir un courant moyen constant dans l'enroulement du stator.



Cette méthode, si elle a l'avantage d'être efficace, impose de rajouter un nombre non négligeable de composants. Une autre méthode plus simple consiste à utiliser une commande bi-tension.

Le principe est relativement simple. A chaque commutation, une tension élevée est appliquée sur l'enroulement pour une durée déterminée. A la fin de cette durée, la tension élevée est retirée et la tension normale est à nouveau appliquée grâce à



un dispositif à diode. Il peut être assimilé au principe de l'alimentation stabilisée.

Si ce dispositif est plus simple à mettre en oeuvre, il est tributaire de la durée d'application de la tension élevée.

Si tous ces principes peuvent paraître "barbares" à réaliser, il ne faut pas s'inquiéter pour autant. Des circuits intégrés spécialisés se chargent de remplir toutes ces fonctions.

Conclusions

Ainsi se termine la présentation sur les moteurs pas à pas.

Les domaines d'utilisation deviennent de plus en plus importants, essentiellement au niveau de l'informatique (Imprimantes, tables traçantes, etc.) et de la robotique.

L'aspect numérique de la commande les rendent très facilement pilotables par des systèmes à microprocesseurs.

Le seul problème est de savoir où il se trouve positionné. Il est donc nécessaire d'ajouter un dispositif d'initialisation de position de départ mais surtout de ne pas perdre de pas en cours de route d'où l'obligation de respecter la fréquence de démarrage.

Des exemples pratiques seront analysés le mois prochain.

E. DERET

Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

EP1	S	DR
EP2	2000	26/37

SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

LE MOTEUR ELECTRIQUE

PAS A PAS

Présenté par LE GOTHIGA, L.P Lavoisier de Méru 60

I. Sommaire

- I Sommaire.
- II Introduction.
- III Qu'est-ce qu'un moteur pas à pas.
- IV Les trois types de moteur pas à pas.
- V Commande de base.
- VI Commande par circuit intégré et μ processeur.

II. Introduction

Les moteurs prennent dans notre société moderne une place assez importante. Aujourd'hui ils sont devenus indispensables dans notre vie de tous les jours. En effet, depuis votre robot ménager jusqu'à votre imprimante, les moteurs électriques sont présents tout au long de votre journée.

Le moteur pas à pas, est un petit pas pour l'homme, mais un grand pas pour les petits électroniciens que nous sommes. En effet, un moteur pas à pas - stepping motor en anglais - n'est rien d'autre qu'un moteur électrique de précision. Et quelle précision ? Nous pouvons atteindre des déplacements de quelques degrés seulement.

Un moteur classique n'est pas assez précis pour certaines applications. Dans le cas d'une imprimante par exemple, il est nécessaire de pouvoir déplacer le rouleau qui guide le papier d'une même distance à chaque fois et cela, au millimètre près.

Imaginons quel serait le monde informatique s'il n'y avait pas de tels moteurs. Les imprimantes telles que celles que nous présentent les grandes marques comme HP, Canon, ou Epson, ne seraient qu'illusions voyageant de-ci de-là dans le cerveau des ingénieurs anxieux de voir avancer la technologie.

Avec un moteur à courant continu, même en envoyant une impulsion électrique de durée très précise, il est impossible de réaliser cette opération sans que des erreurs d'angle de rotation du rouleau n'aient lieu; cela est dû au fait que le moteur DC possède une certaine inertie qui ne permet pas de prévoir quel angle de rotation serait engendré entre le début de l'impulsion et la fin de celle-ci.

Tandis qu'avec un moteur pas-à-pas, chaque impulsion de commande occasionne un déplacement d'un seul pas, ce qui correspond à un angle de rotation très précis.

Tout cela est bien beau mais comme toujours rien n'est parfait. Les moteurs pas à pas ont un gros problème : leur circuit de commande est très complexe. Il l'est encore plus si on veut utiliser des composants discrets. Par contre, en utilisant des circuits intégrés, on arrive plus vite à un résultat satisfaisant.

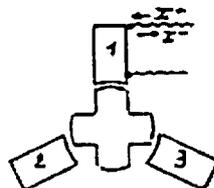
Code examen: 51025504	BEP ELECTRONIQUE Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources	EP1 EP2	S 2000	DR 27/37
------------------------------	--	--------------------------	------------------	---------------------------

III Qu'est ce qu'un moteur pas à pas ?



Bien qu'existant depuis 1930, les moteurs pas à pas n'ont vraiment connu leur développement qu'avec celui de la micro-informatique.

Du point de vue de l'utilisateur, un moteur pas à pas est un moteur à courant continu qui avance d'un seul pas lorsque le sens du courant dans une des phases change de sens.



Chaque phase (1 - 2 - 3) du stator reçoit tour à tour une impulsion électrique, conventionnellement positive ou négative selon le sens du courant dans la bobine. Ces impulsions électriques arrivent à chacune des bobines suivant un ordre prédéterminé de distribution (ex : 1 ->2 -> 3 -> 1...) et suivant une fréquence prédestinée et réglable (ex : une impulsion par ms). Chacune de ces impulsions correspond alors à un déplacement angulaire bien déterminé appelé " pas " ou " step ". L'ordre prédéterminé de distribution des impulsions aux bobines engendre un champ tournant analogue à celui obtenu avec un enroulement triphasé. Ce champ étant obtenu par une suite d'impulsion électrique est un champ saccadé ; la rotation du rotor l'est aussi. Le rotor suit fidèlement (en principe) le champ sa vitesse est donc variable.

Les moteurs pas à pas agissent comme des convertisseurs d'impulsions électriques en grandeurs analogiques, le rotor se déplace donc d'une quantité angulaire à chaque impulsion de commande. Ces moteurs apparaissent donc comme une sorte d'interface naturelle pour un ordinateur.

Les moteurs pas à pas sont d'excellents organes de position, ils trouvent donc de multiples applications en :

- robotique : servomécanisme
- micro-informatique : commande d'imprimantes ou de table traçante X-Y.
- machine outils à commande numérique : positionnement du chariot
- en régulation : ouverture / fermeture précises de vannes
- dans les secteurs alimentaires : dosage
- dans les secteurs médicaux : motorisation de seringues pour la délivrance ultra-précise de micro-volume de liquide
- dans les secteurs militaires : réglage des tirs.

Ces moteurs peuvent être aussi employés comme moteurs électriques classiques vu leur quasi absence totale d'entretien mais attention à l'électronique sophistiquée de commande. Ils ne conviennent pas à toutes les applications vu le caractère saccadé de rotation du moteur, même si le moteur possède un grand nombre de pas par tour. Il n'est pas question par exemple d'entraîner une bande magnétique.

Code examen: 51025504	BEP ELECTRONIQUE Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources	EP1 EP2	S 2000	DR 28/37
------------------------------	---	--------------------------	-------------------------	---------------------------

IV. Le moteur pas à pas dans les détails

Il existe trois sortes de moteur pas à pas, à aimant permanent, à réluctance variable et en hybride.

1. Aimant permanent.

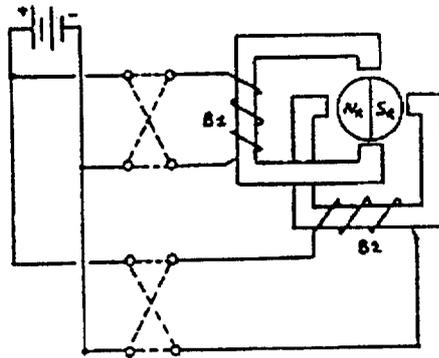
Constitution

- Le rotor : c'est un aimant permanent de forme cylindrique à pôles périphériques, exécuté le plus souvent en ferrite moulée à champ coercitif élevé.
- - Le stator : il est constitué d'un circuit magnétique denté en tôle ferromagnétique, qui supporte plusieurs bobines ou phases soit individuelles soit alimentées en courant continu en régime impulsif et individuel.

Fonctionnement

A. Alimentation Bipolaire

Soit un moteur pas à pas à deux phases statoriques (c'est à dire bobinées sur le stator) sans point milieu, pouvant être soit en alimentation bipolaire, soit déconnectées, grâce à l'interrupteur - commutateur – inverseur autrement dit la commande.



Le principe est simple, on alimente d'abord B1 avec un courant positif, le rotor tourne alors de 90° pour se positionner en position d'équilibre en direction du flux maximal. Ensuite on alimente B2 par un courant positif également, le rotor tourne à nouveau de 90°.

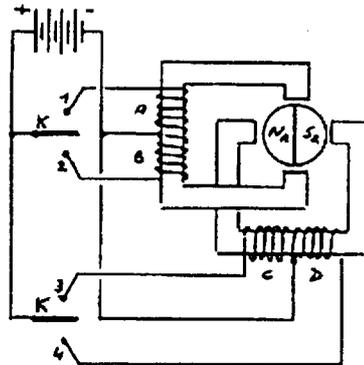
Alimentons maintenant B1 avec un courant négatif, une fois encore le rotor fait un pas de 90°.

Enfin, alimentons B2 avec un courant négatif. Le rotor reprend sa position initiale. Nous avons effectué un cycle complet.

Code examen: 51025504	BEP ELECTRONIQUE Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources	EP1 EP2	S 2000	DR 29/37
------------------------------	--	--------------------------	------------------	---------------------------

B. Alimentation unipolaire

Pour simplifier l'électronique de commande on construit des moteurs pas à pas à alimentation unipolaire, constitués de deux bobinages à point milieu soit quatre demi-phases, dont cinq fils sont sortis si les points milieux sont réunis.



Les commutateurs K1-2 et K3-4 permettent l'alimentation des bobines en régime impulsionnel individuel (état 1 ou 0). Nous prenons, à nouveau, un rotor bipolaire.

Le principe n'est pas beaucoup plus compliqué. Fermons K1-2 sur la position 1. Un courant positif circule dans la 1/2 phase A.

Le rotor tourne d'un pas de 90° pour adopter une position d'équilibre statorique statique stable soit dans la direction du flux maximal. **Il restera dans cette position tant que les interrupteurs resteront dans cette position.**

Fermons, ensuite, K 3-4 sur la position 3. Un courant positif circule dans la 1/2 phase C provoquant une nouvelle rotation du rotor d'un pas de 90°.

Fermons maintenant K 1-2 sur la position 2, un courant positif circule dans la 1/2 phase B entraînant le rotor d'un autre pas de 90°.

Fermons, enfin, K-3-4 sur la position 4. Un courant positif circule dans la 1/2 phase D positionnant le rotor à sa position initiale. Ici aussi, nous avons effectué un tour complet.

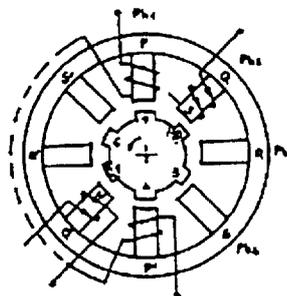
Ce système de commande est plus intéressant parce qu'il ne dépend pas de l'ordre d'alimentation des phases. Mais les performances sont nettement plus médiocres en ce qui concerne le couple et la puissance pour un même encombrement.

De plus, le rotor peut être maintenu avec précision sur sa nouvelle position en gardant les phases commutées après la mise en rotation.

2. Réductance variable.

Constitution

- Le rotor : Il est constitué de deux flasques circulaires dentés, en fer doux, calés sur l'axe de façon telle que les dentures s'imbriquent alternativement l'une dans l'autre
- Le stator : Il est denté (pôles) et supporte les bobinages ou phases. Le nombre de dents est différent au rotor et au stator. Le nombre de dents est différent au rotor et au stator.



SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

Fonctionnement

Alimentons uniquement la phase 2, les dents 2 et 5 du rotor qui sont les plus proches respectivement de Q et Q' s'aimantent par influence avec des polarités inverses de celles qui apparaissent sur les faces de Q et Q'.

Les polarités de noms contraires s'attirant, les dents 2 et 5 du rotor viennent se placer en regard des faces internes Q et Q' pour réduire la longueur de l'entrefer entre la dent 2 et la face Q et la dent 5 et la face Q'. Le rotor a donc fait un pas.

Alimentons maintenant la phase 3. Quelle que soit la polarité qui apparaît sur la face R, une polarité inverse apparaît sur la face R' vu le sens des enroulements. Les dents 3 et 6 viennent se placer en face respectivement de R et R' ; le moteur a effectué un nouveau pas.

La séquence est donc identique à celle du moteur à aimant permanent, mais la grosse différence est que le sens du courant à travers les bobines n'est plus imposé car les dents du rotor sont indifféremment attirées par un pôle N ou un pôle S. Le système d'alimentation des bobines est donc simplifié. Le couple du moteur n'est pas fonction du signe du courant.

Un nombre minimal de 3 phases est indispensable pour assurer une rotation continue dans les deux sens.

3. Hybride.

Constitution

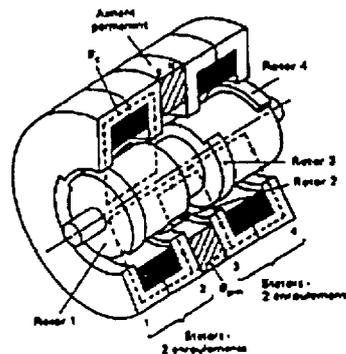
Il s'associe les deux principes précédents, à savoir : un aimant permanent circulaire en ferrite est inséré axialement entre deux flasques circulaires dentés.

Constitution pratique

Différentes conceptions existent.

A. Aimant permanent au Stator.

Il est constitué d'un rotor magnétisé axialement par un aimant en ferrite orienté concentrique situé entre les stators.



Le rotor en fer doux massif comporte 4 couronnes dentées décalées angulairement dans le présent modèle.

Les stators à 4 enroulements bobinés en anneaux concentriques à l'axe du moteur, sont logés dans des coupelles réalisant ainsi 4 stators dentés.

La répartition des flux de l'aimant permanent et l'enroulement du stator alimenté sont montrées sur le schéma. Le positionnement du rotor se fait suivant la plus faible réluctance, donc au flux résultant maximum.

Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

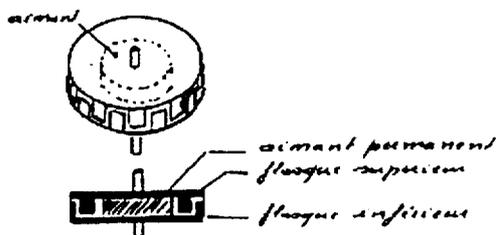
EP1
EP2

S
2000

DR
31/37

B. Aimant permanent au Rotor

L'aimant permanent peut être situé au niveau du rotor ainsi que le montre le schéma suivant :



Les performances des moteurs hybrides sont remarquables en résolution, en couple et en précision et leur encombrement est réduit.

Comparaison entre les moteurs pas à pas à aimant permanent, à réluctance variable et hybride.

CARACTERISTIQUES	Aimant permanent.	Réluctance variable	Hybride
Nombre de pas par tour	2 à 24	12 à 72	24 à 400
Couple moteur	fort	faible	très élevé

Précision : L'un des avantages, et non des moindres, des moteurs pas à pas, réside dans le fait qu'il est possible de maintenir le rotor (avec fermeté) dans la position qu'il vient de prendre, en laissant les phases alimentées pendant toute la durée de maintien désirée.

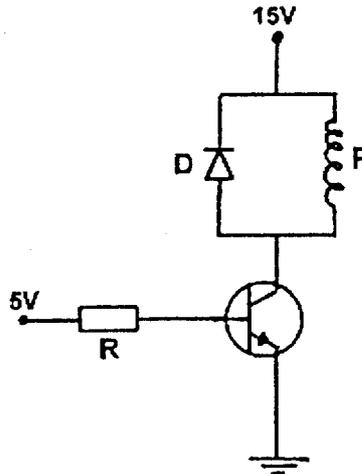
V. Commande de base

La commande peut-être réalisée avec des circuits intégrés mais il est important de comprendre le fonctionnement de base d'une commande en composants discrets.

Premier montage

Il s'agit de réaliser un interrupteur électronique qui conditionne le passage du courant dans une phase pour commencer.

Le schéma ci-dessous montre que le transistor une fois saturé, commute à la masse la phase P.



Ce circuit est assez simple, mais a le mérite de montrer comment le transistor T est saturé grâce à la tension appliquée à sa base, et laisse ainsi passer le courant dans la phase du moteur.

Le rotor est mis en face d'une phase et reste bloqué à cet endroit.

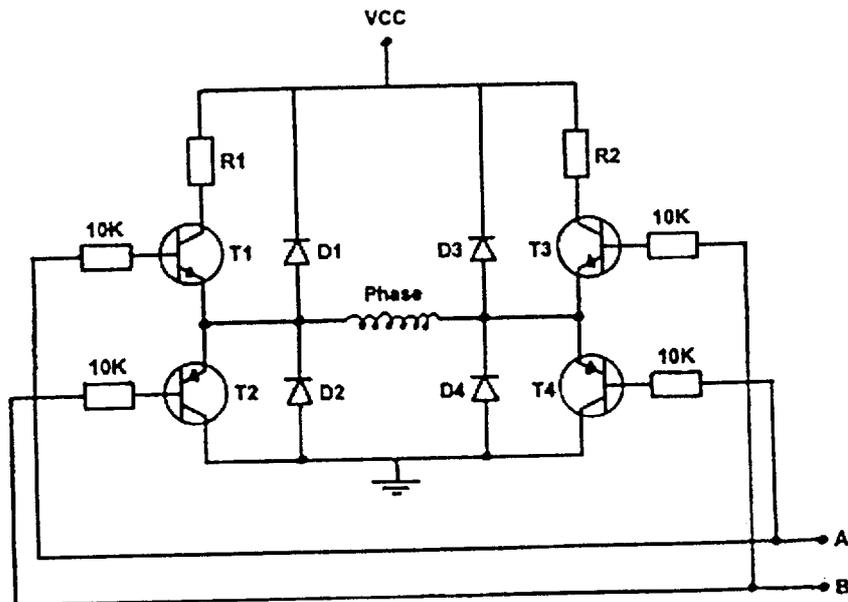
Code examen: 51025504	BEP ELECTRONIQUE Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources	EP1 EP2	S 2000	DR 33/37
------------------------------	--	------------	-----------	--------------------

SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

Deuxième montage

Alimentation bipolaire commandant une seule phase.

Le problème qui se pose est situé au niveau du sens de passage du courant, le principe d'une alimentation bipolaire réside à ce que les phases soient alimentées par un courant circulant une fois dans un sens, une fois dans l'autre.



Ce schéma est le circuit type pour ce genre d'opération.

Lorsque T1 et T4 sont commandés par leurs bases pour laisser passer le courant, celui-ci circule depuis Vcc, et passe par R1, T1, «Phase», T4 pour aboutir à la masse.

Le fait de saturer brusquement les transistors, provoque dans la bobine, un effet de self induction qui produit un courant inverse qui ne peut s'écouler que dans les diodes D2 et D3, qui protègent ainsi les transistors contre les surtensions que ce phénomène provoque irrémédiablement. *Ces diodes sont dites diodes de roues libres*

Si nous inversons les broches d'alimentation, ce qui est normalement effectué par le circuit de commande logique programmé, ce sont cette fois les transistors T2 et T3 qui sont saturés. Dans ce cas, le courant emprunte le chemin Vcc, R2, T3, Phase, T2 et finira à la masse. (Ce sont les diodes D4 et D1 qui assureront alors la protection de ces transistors).

Le courant a donc changé de sens dans la phase.

Le résultat est maintenant plus intéressant. En inversant les broches A et B le rotor tourne. Mais pour obtenir un résultat plus significatif il faudrait alimenter toutes les phases du moteur.

Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

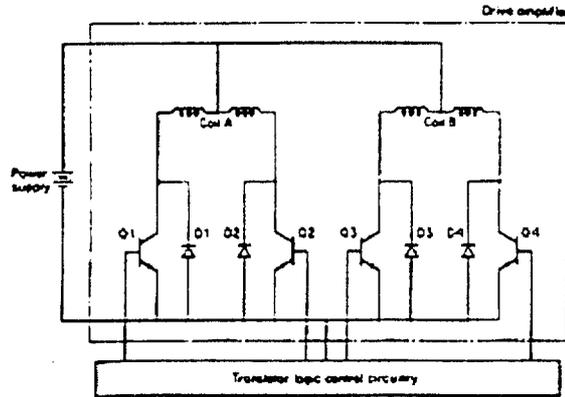
EP1
EP2

S
2000

DR
34/37

SYSTÈME D'ALIMENTATION PARENTÉRALE.

Voici le schéma de principe dans son ensemble.



Les diodes de roue libre D1 à D4 ont toujours pour but de protéger les transistors bipolaires contre les surtensions induites au moment de la commutation et/ou du blocage des transistors.

Lorsque le courant circule dans la $\frac{1}{2}$ section gauche de la bobine A et que quelques instants plus tard le transistor Q1 se bloque, une tension négative apparaît à l'extrémité droite de la $\frac{1}{2}$ bobine de droite (par effet transformateur).

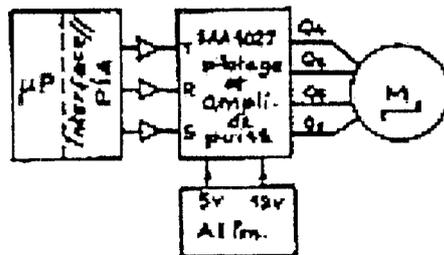
La diode D2 devient alors conductrice et l'extra-courant de rupture peut s'écouler par le chemin : extrémité droite de la $\frac{1}{2}$ section droite, sortie par le point milieu, bower-supply, diode D2, retour au point extrême droit de la $\frac{1}{2}$ bobine de droite.

La force électromotrice de chaque $\frac{1}{2}$ bobine agit sur le même circuit magnétique.

VI. Commande par circuits intégrés

Utilisation d'une commande en logique programmée.

Interfacé à un micro-ordinateur, le moteur pas à pas pourra être pris intégralement en charge par logiciel.



Un programme écrit dans un langage quelconque pourra faire exécuter à peu près n'importe quoi au moteur sans changement au niveau des circuits électroniques.

La vitesse de rotation sera cependant limitée par la rapidité du langage utilisé: En "Basic", il ne faudra pas espérer dépasser quelques dizaines de tours par minute, mais l'assembleur suffira pour beaucoup d'usages.

Ceci prouve que l'informatique n'est pas toujours la panacée universelle : Un microprocesseur est très lent à côté de simples bascules ou compteurs TTL, mais il est plus "intelligent".

Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

EP1
EP2

S
2000

DR
35/37

Moteurs pas à pas unipolaires 12V c.c./7,5°

Premotec



- Gamme de moteurs à commande pas à pas unipolaires, 12 V c.c. à rotor magnétique permanent.
- Ces moteurs possèdent une force de maintien ou frein lorsqu'ils ne sont pas alimentés, due au rotor magnétique permanent.
- La vitesse maximum indiquée dans les spécifications est donnée moteur à vide, pouvant démarrer sans perdre de pas.
- Sens de rotation réversible.
- La réf. 9904 112 32001 possède les sorties sur fils de longueur 175 mm avec code couleur.

Spécifications techniques

	332-947	332-953
Code:	332-947	332-953
Tension:	12 V c.c.	12 V c.c.
Puissance:	2 W	5,3 W
Angle de pas:	7,5°	7,5°
Nombre de pas/tours:	48	48
Tolérance angle:	±40 mn	±20 mn
Couple max.:	6 mNm	57 mNm
Couple de maintien:	10 mNm	85 mNm
Vitesse max. (à vide):	350 pas/s	130 pas/s
Résistance entre phase:	100 Ω/phase	47 Ω/phase
Inductance (à 200 pas/s):	160 mH/phase	400 mH/phase
Courant par bobine:	120 mA	240 mA
Inertie rotor:	2,6 g/cm ²	45 g/cm ²
Poids:	80 g	300 g

Température d'utilisation: -20°C à +70°C

332-947: idéal pour les applications à faible couple, ou couplage avec boîte démultiplicatrice

332-953: possède un couple plus important, et permet la commande directe

code	description	couple max.
332-947	Moteur connexion par fils	6 mNm
332-953	Moteur connexion par cosses	57 mNm

Code examen: 51025504

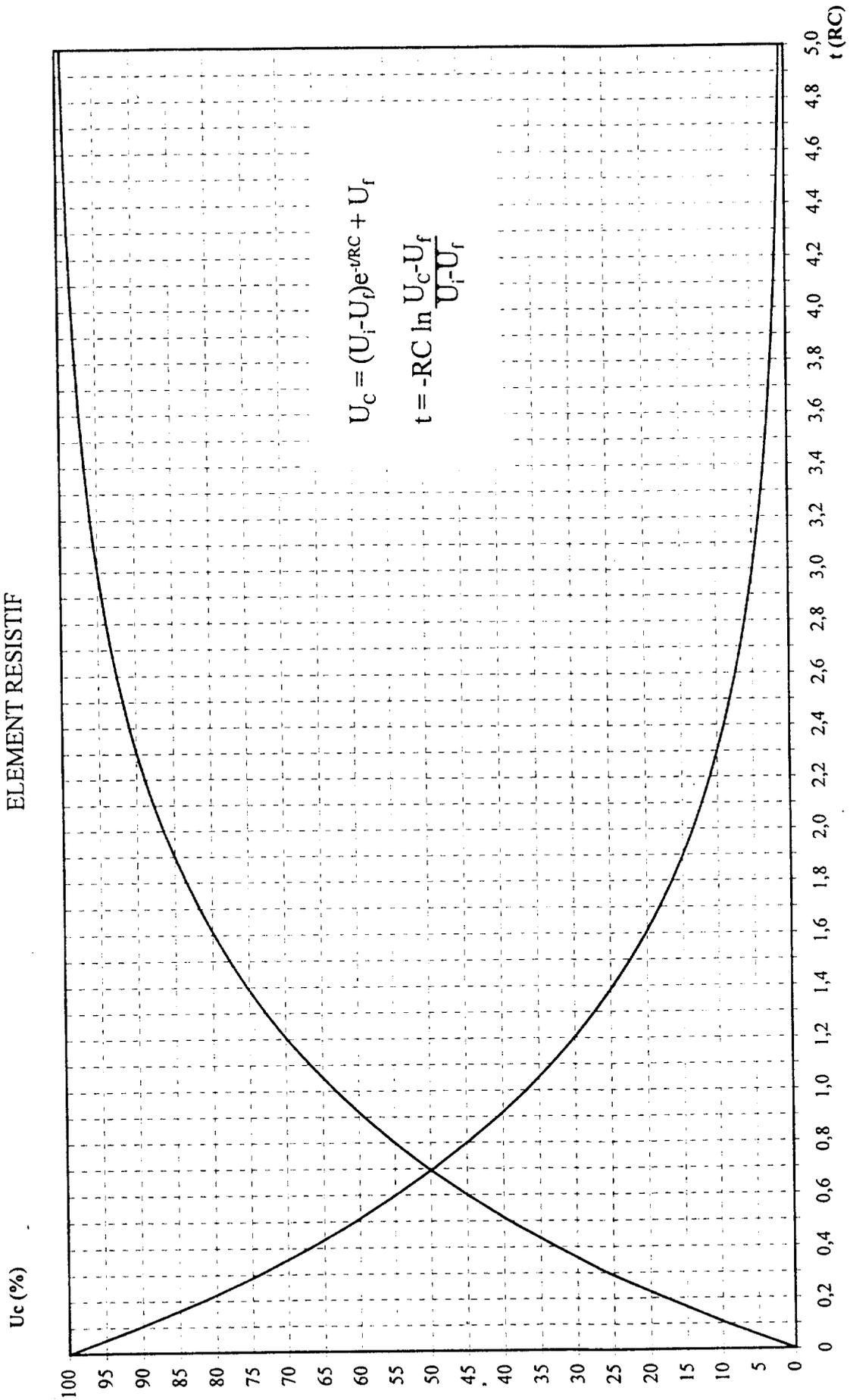
BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

EP1
EP2

S
2000

DR
36/37

COURBE UNIVERSELLE DE CHARGE ET DE DECHARGE D'UN CONDENSATEUR A TRAVERS UN ELEMENT RESISTIF



Code examen: 51025504

BEP ELECTRONIQUE
Sciences et techniques industrielles Dossier Ressources

EP1
EP2

S
2000

DR
37/37