

# VARIATION DE VITESSE D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU

## 1. Premier exemple

La broche du tour à commande numérique est mise en mouvement par un moteur capable de variation de vitesse. C'est un moteur à courant continu alimenté par un dispositif spécial que nous allons étudier.

### 1.1. Mise au point

L'expression vitesse du moteur est, en toute rigueur impropre, il faut parler de fréquence de rotation. Cette grandeur s'exprime en tours par seconde dont l'unité est ( $s^{-1}$ ) et non (tr/s). Dans certains cas il est très avantageux de l'exprimer en radians par seconde, on parle alors de pulsation de rotation. Cependant tout le monde parle de vitesse du moteur et exprime cette grandeur en tr/mn. Cela laisse prévoir des "crises de conversions".

### 1.2. Nécessité de la variation de vitesse

Dans le cas d'un tour, ou plus généralement pour un usinage par enlèvement de matière, la vitesse<sup>1</sup> de coupe est un paramètre important pour la qualité de l'usinage. Cette vitesse est une constante qui dépend du type de l'outil et de la nature du matériau usiné.

La broche d'une machine-outil doit donc être capable de variation de fréquence de rotation.

#### Conclusions :

À chaque diamètre usiné doit correspondre une fréquence de rotation.

#### Exercice :

Exprimez la relation qui, pour un usinage par tournage, lie la vitesse de coupe à la fréquence de rotation exprimée en tr/mn et au diamètre de la pièce. On prendra les notations suivantes :  $V_c$  vitesse de coupe,  $N$  fréquence de rotation de la broche et  $D$  diamètre du cylindre usiné.

Quelle conséquence, sur la fréquence de rotation, peut-on en tirer lorsque l'usinage est un dressage ? De là découle une fonction importante des tours à commande numérique modernes.

## 2. La variation de vitesse des autres types de moteurs

L'électronique de puissance permet de réaliser facilement la variation de vitesse de tous les types de moteurs électriques quelle que soit leurs puissances.

Il n'est donc pas nécessaire de mettre en œuvre un moteur à courant continu pour disposer d'une "vitesse" variable.

## 3. Cahier des charges simplifié

Il s'agit d'étudier un dispositif de commande qui permet la variation de vitesse d'un moteur à courant continu. Le sens de rotation est imposé et toujours le même. La consigne de vitesse est réalisée manuellement par un potentiomètre avec affichage de la vitesse en tr/mn.

Prévoir la possibilité de faire fonctionner le dispositif dans une boucle de régulation de vitesse.

Un dispositif microprogrammé n'est pas à exclure, dans ce cas la consigne peut être donnée par des boutons poussoirs.

## 4. Analyse du système de variation de vitesse

L'analyse est une étape importante de la conception d'un objet technique. Il s'agit de décrire ce que doit être l'objet étudié.

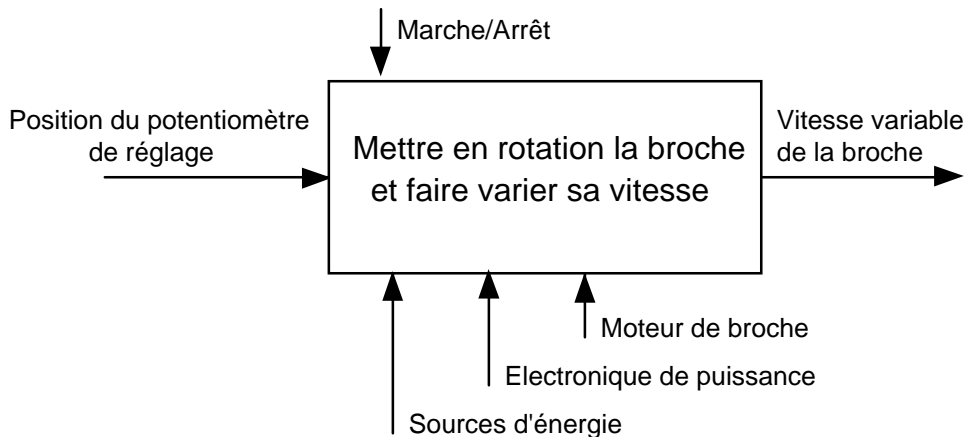
L'analyse doit faire apparaître les fonctions et non les réalisations techniques.

Des méthodes ont été développées afin d'assurer une analyse rigoureuse, elles limitent les erreurs et les oublis. La méthode SADT est de celles-là. Cette méthode est très codifiée et ne consiste pas seulement à tracer des rectangles et des flèches.

---

<sup>1</sup> Ici, vitesse est prise au sens propre c'est-à-dire la distance parcourue par unité de temps.

#### 4.1. Le dispositif dans son environnement

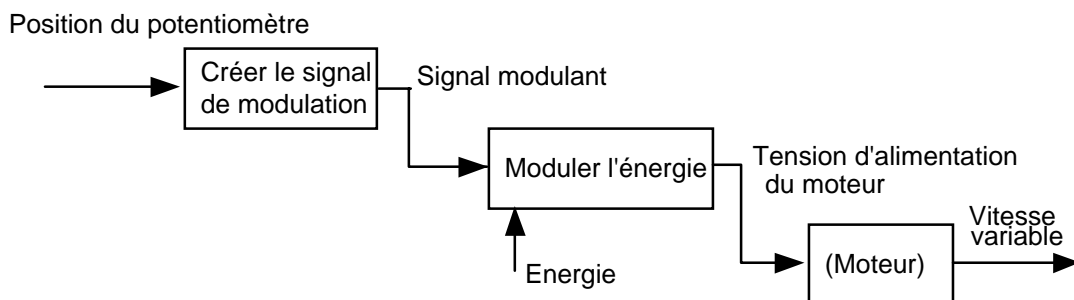


#### 4.2. Commentaires sur cette première étape

La grandeur d'entrée est la position du potentiomètre. La grandeur de sortie étant la vitesse variable de la broche.

Les dispositifs physiques qui permettent la réalisation de cette fonction sont : le moteur, l'électronique de puissance et les sources d'énergie.

#### 4.3. Les fonctions principales



Nous allons étudier le générateur de signal de commande qui, à partir de la position du curseur du potentiomètre, crée le signal modulant. Cette tension commande le sous-ensemble de puissance afin de fournir au moteur la tension d'alimentation convenable.

### 5. Commentaires sur les blocs précédents

#### 5.1. Le moteur

C'est un moteur à courant continu.

#### 5.2. Moduler l'énergie

Ce bloc permet d'alimenter le moteur en créant une tension capable de faire varier sa vitesse. La représentation montre bien l'arrivée de l'énergie qui est une source de tension continue, cette source est capable de fournir la puissance nécessaire au fonctionnement du moteur<sup>2</sup>. Le signal d'entrée est issu du bloc que nous étudions. La puissance en entrée est bien inférieure à la puissance de sortie.

La réalisation technologique de ce bloc porte le nom de **hacheur**. C'est un des composants de l'électronique de puissance.

#### 5.3. Créer le signal de modulation

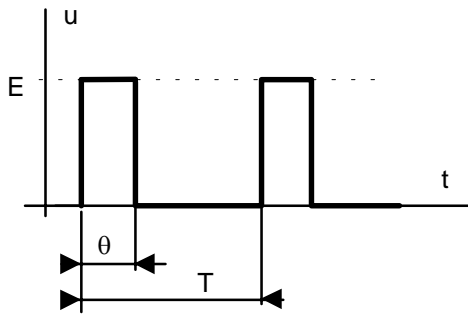
Ce bloc est purement électronique, les puissances mises en œuvre sont faibles. Sa réalisation pratique peut prendre plusieurs formes, analogique, numérique, microprogrammée comme nous allons le voir dans la suite.

<sup>2</sup> En l'absence de documentation, on peut estimer cette puissance à une centaine de Watts

## 6. Créer le signal de modulation

### 6.1. Signal de modulation

C'est la grandeur de sortie du bloc que l'on étudie. Je dois vous donner la forme de ce signal qui commande le hacheur.



La tension délivrée ne prend que deux valeurs, soit la tension d'alimentation soit la tension nulle.

Le réglage se fait par la modification du rapport cyclique c'est-à-dire le rapport  $\theta/T$

L'action sur le potentiomètre doit donc faire varier la durée  $\theta$  tout en maintenant la période  $T$  constante. La "vitesse" du moteur sera proportionnelle au rapport cyclique.

La tension d'alimentation du moteur est de même forme, seule la valeur de  $E$  change.

## 7. Les réalisations du bloc

Plusieurs techniques sont possibles, nous allons les classer selon leur principe.

### 7.1. Variation de résistance

Ce principe répond à la description qui est faite de ce bloc dans l'analyse. Le potentiomètre intervient dans le circuit par sa résistance. Là encore il y a plusieurs possibilités, vous avez tous les éléments pour en donner une.

Malheureusement ce principe ne permet pas d'inclure le bloc dans une chaîne de régulation de vitesse.

#### Questions :

Le principe de base est de faire une correspondance entre une résistance et un temps.

- Grâce à quel(s) composant(s) peut-on faire cette correspondance ?
- Recherchez, dans votre documentation un schéma qui pourrait convenir
- Adaptez ce schéma au bloc qui vous voulez construire
- Réalisez le montage et vérifiez vos hypothèses

### 7.2. Variation de tension

Ici le potentiomètre délivre une tension réglable, le rapport cyclique souhaité est représenté par une tension, c'est la **consigne** de vitesse.

Grâce à la génératrice tachymétrique, la vitesse réelle du moteur est traduite en une tension. Le hacheur est commandé par une tension comme nous l'avons vu plus haut. La vitesse du moteur est, en première approximation, proportionnelle à sa tension d'alimentation. Il est très facile de comparer l'image de la vitesse à la consigne. Toutes ces grandeurs sont des tensions.

Ceci nous permet de traiter des tensions tout au long de la chaîne de régulation.

Ici le principe de base est de faire **correspondre une durée à une tension**. Nous n'avons jamais vu ce principe. Pour en savoir plus, je vous donne rendez-vous au paragraphe suivant.

### 7.3. Système microprogrammé

Les constructeurs mettent à notre disposition des composants et des matériels qui permettent d'introduire l'informatique dans tous les systèmes électroniques. Les avantages sont considérables : concision du matériel, facilité de modifier un programme, adjonction de fonctions secondaires qui rendent l'utilisation plus agréable, mise en place de fonctions nouvelles.

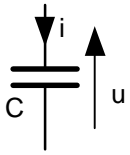
À condition d'être réalisés selon les règles de l'art, la fiabilité des systèmes microprogrammés est excellente. On n'hésite plus à confier des fonctions de sécurité à des systèmes microprogrammés.

Pour travailler avec des systèmes microprogrammés, l'électronicien doit modifier ses "réflexes", il doit apprendre un nouveau langage, de nouvelles techniques.

## 8. Correspondance entre durée et tension

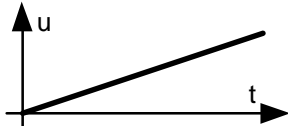
La correspondance la plus pratique est la proportionnalité. Il s'agit de créer une tension proportionnelle au temps.

### 8.1. La tension aux bornes d'un condensateur



L'intensité du courant traversant le condensateur est lié à la tension à ses bornes par la relation :  $i = C \frac{du}{dt}$  c'est-à-dire que l'intensité du courant est proportionnelle à la vitesse de variation de la tension.

### 8.2. Proportionnalité

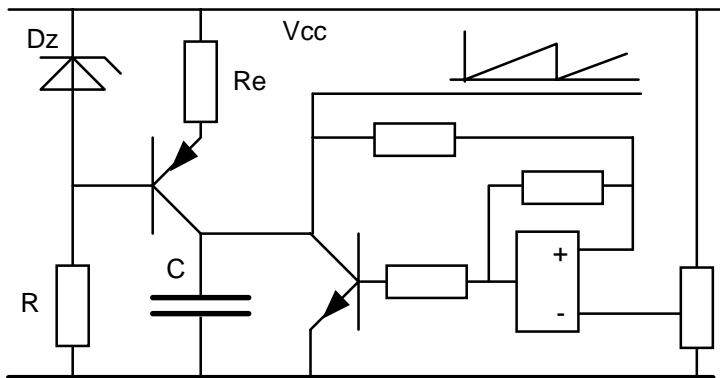


Nous souhaitons que la tension aux bornes du condensateur soit proportionnelle au temps.

On peut voir que la dérivée de la tension par rapport au temps est constante.

Si nous voulons que la tension croisse proportionnellement au temps, il faut que l'intensité du courant traversant le condensateur soit constante. Nous devons utiliser un générateur de courant constant pour charger le condensateur.

### 8.3. Générateur de rampe périodique

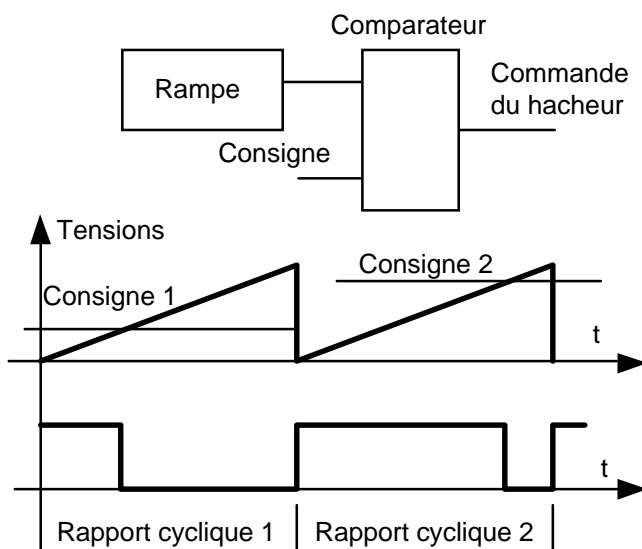


La tension en forme de rampe croit proportionnellement au temps.

### 8.4. La durée proportionnelle à la tension

Le principe de base de ce générateur de commande est la comparaison entre une rampe et une tension continue réglable qui est l'image de la vitesse souhaitée.

Le schéma de principe de ce générateur est le suivant :



la représentation du haut montre la rampe périodique et deux valeurs de la tension de consigne.

En bas la tension de commande du hacheur. Il est facile de voir que le rapport cyclique est proportionnel à la consigne.

### 8.5. Réalisation pratique

Le montage représenté ci-dessus fonctionne très bien comme vous pourrez le voir lors des TP. Il est important de connaître le principe de création d'un générateur à modulation de largeur d'impulsion. Vous pourrez constater que la mise au point est délicate c'est pourquoi les constructeurs mettent à notre disposition des circuits intégrés spécialisés qui intègrent ces fonctions et d'autres ce qui rend très simple la réalisation d'un générateur de qualité. Le prix d'un tel circuit est de quelques euros.

## 9. Un générateur microprogrammé

Les constructeurs proposent des microcontrôleurs<sup>3</sup> avec une fonction PWM<sup>4</sup> et des circuits spécifiques qui permettent de construire facilement un hacheur.

Le principe de base du générateur PWM est le suivant :

Un compteur interne au microcontrôleur est programmé par deux nombres, le premier fixe la durée du niveau haut et le second la durée du niveau bas. Il y a proportionnalité entre ces nombres et des durées.

La commande ne se fait généralement plus par un potentiomètre mais par des boutons poussoirs pour incrémenter ou décrémenter les nombres.

---

<sup>3</sup> voir les feuilles "Microcontrôleur"

<sup>4</sup> c'est la modulation de largeur d'impulsion anglaise