

II. Réglage de la vitesse du moteur électrique :

II.1 Les principaux indices de réglage de la vitesse des moteurs d'entraînement :

Le réglage de la vitesse est une variation forcée de certains paramètres de la machine afin de :

- Répondre à certaines exigences du processus technologiques ;
- Améliorer la qualité de la production
- Optimiser le fonctionnement des installations.

Les principaux indices caractérisant les différentes méthodes de réglage de la vitesse sont les suivant :

- La gamme de réglage ;
- La progressivité de réglage ;
- La stabilité de fonctionnement à vitesse donnée ;
- La rentabilité du système de réglage ;
- Le sens de réglage de la vitesse ;
- La charge admissible sur l'arbre du moteur.

a- La gamme de réglage de la vitesse :

Les limites de réglage ----- limite supérieure ω_{\max}
 ----- Vitesses stables
 ----- Vitesses stables
 ----- limite inférieure ω_{\min}

$$D = \frac{w_{\max}}{w_{\min}}$$

La gamme de réglage de la vitesse est caractérisée par le rapport de la vitesse maximale w_{\max} à la vitesse minimale w_{\min} qui peuvent être obtenues lors de fonctionnement du moteur de commande. Les méthodes modernes de réglage du moteur de commande permettent d'élargir considérablement la gamme de réglage de vitesse de rotation. Les machines de production exigent différentes gammes

De réglages, par exemple, les machines outils en fonction de leurs distinctions fonctionnelles dans les limites de réglage $D= 4 : 1$ à $100 : 1$.

Lors de la fabrication du papier ordinaire la machine fonctionne dans les limites $D = 3 : 1$, et lors de fabrication du papier de qualité supérieure le D passe à $20 : 1$.

b- La progressivité de réglage :

La progressivité de réglage est caractérisée par le nombre de vitesses stables obtenues dans la gamme de réglage donnée. La progressivité est d'autant plus élevée que le bond de vitesse lors du passage d'une vitesse donnée à une vitesse voisine est plus petit. Nous présentons cet indice de réglage par un coefficient de progressivité $K_p = \frac{w_i}{w_{i-1}}$.

c- La stabilité de fonctionnement à une vitesse donnée :

La stabilité de fonctionnement à une vitesse donnée est caractérisée par la variation de la vitesse de rotation par un écart donné du couple résistant et dépend de la rigidité de la caractéristique mécanique du moteur. Elle est d'autant plus élevée que la rigidité de la caractéristique est plus grande. En effet, si le couple résistant oscille dans certaines limites $\pm \Delta C_r$, la vitesse du moteur ne reste pas constante et oscillera autour des valeurs moyennes w_1 et w_2 .

Remarque : En conséquence, un système de commande et de régulation sera nécessaire pour l'augmentation de la rigidité de la caractéristique mécanique et rendre la vitesse stable.

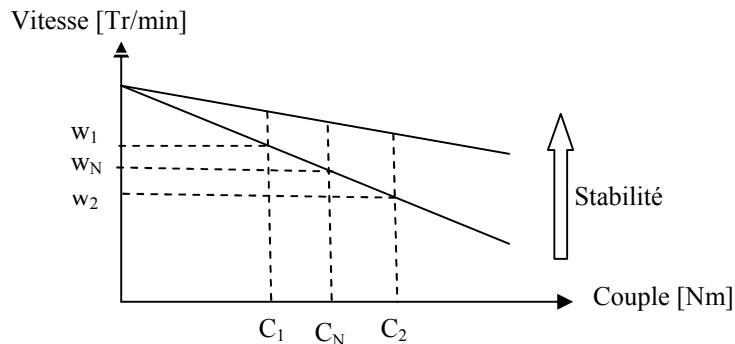


Figure .II.1 Oscillation du couple et de la vitesse

d- La rentabilité de réglage :

La rentabilité d'un système de réglage se caractérise par les dépenses liées à sa réalisation (coût d'investissement) et à son exploitation. Ce système sera d'autant plus rentable s'il assurera un amortissement rapide des dépenses et répond aux exigences des processus technologiques.

Exemple : un ventilateur de refroidissement qui fonctionne avec deux vitesses stables ne nécessite pas forcément un réglage de vitesse par un variateur de vitesse qui coûte plus chère. En revanche, un ventilateur de tirage qui nécessite plusieurs vitesses stables et précises, peut nécessiter un variateur de vitesse où l'investissement sera rentabilisé rapidement d'une façon indirecte vis-à-vis l'environnement et d'une façon directe par rapport à l'installation elle même.

e- Le sens de réglage de la vitesse :

La diminution ou l'augmentation de la vitesse par rapport à la valeur nominale dépend du mode de réglage utilisé. Le réglage de la vitesse à l'aide variation de la résistance d'induit pour le moteur à courant continu ou la résistance rotorique pour le moteur asynchrone à bagues ne peut être réalisé seulement dans le sens de la diminution de la vitesse au-dessous de la vitesse nominale. Par contre, si on agit sur le flux pour les deux types de machine à CC ou à CA, le réglage est assuré dans le sens de l'augmentation au-delà de la vitesse nominale.

Remarque : pour agir sur le flux dans la machine à courant continu, on doit varier la tension du circuit d'excitation. Pour le moteur asynchrone il faut augmenter la fréquence au-delà de la fréquence nominale.

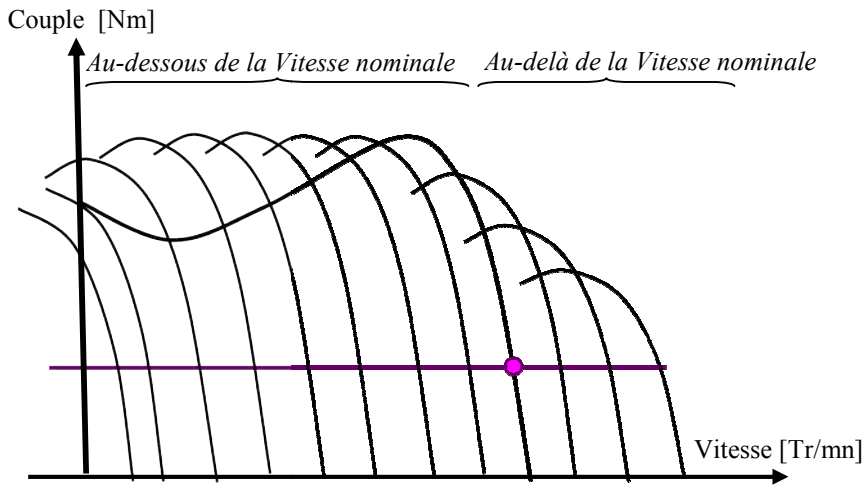


Figure .II.2 Sens de réglage de la vitesse (sur vitesse)

f- Charge admissible sur l'arbre du moteur

La charge admissible du moteur lors de réglage de la vitesse dépend du mode de réglage utilisé et l'intervalle de réglage de la vitesse. L'échauffement du moteur est déterminé par le courant consommé par celui-ci. Si le moteur est surchargé ($I > I_N$) il y aura l'échauffement admissible qui peut détériorer le moteur. La charge admissible du moteur est limitée par son échauffement, donc la condition requise pour la pleine utilisation du moteur lors de sa marche à différentes caractéristiques de réglage est la constance du courant de charge ($= I_N$).

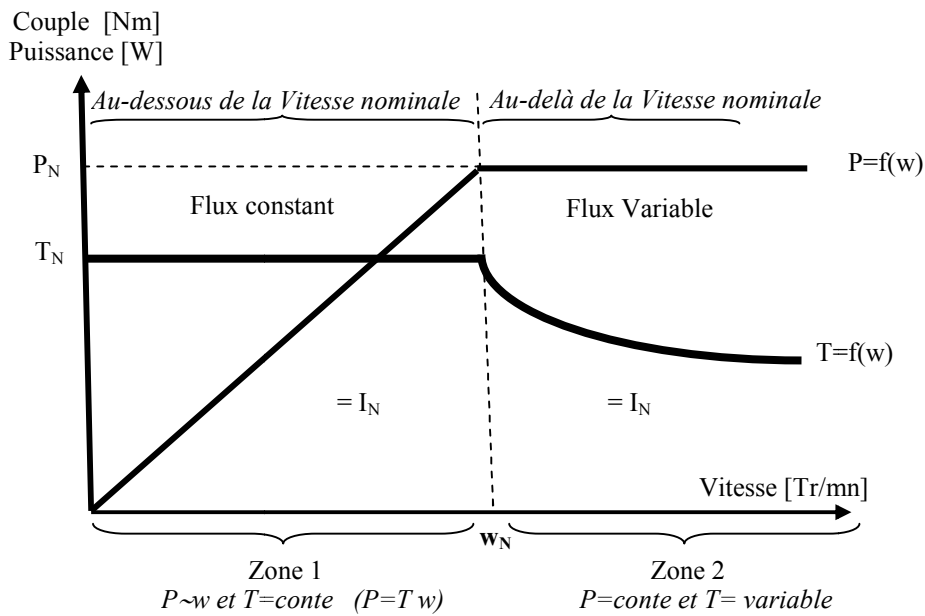


Figure .II.3 Couple et puissance en fonction de la vitesse (Charge admissible)

Zone 1 : dans cette zone on utilise le réglage de la vitesse par variation de la résistance ou par variation de la fréquence en gardant le flux constant. Dans ce cas on peut régler la vitesse de zéro jusqu'à la valeur nominale avec un couple nominal (le courant est aussi à sa valeur nominale).

Zone 2 : Pour obtenir une vitesse supérieure à la valeur nominale, on agit sur le flux en augmentant la fréquence au-delà de sa valeur nominale (en conséquence, le flux diminue de sa valeur nominale). Dans ces conditions, avec l'augmentation de la vitesse on doit diminuer le couple résistant afin de garder la puissance constante et égale à sa valeur nominale (le courant est égale à sa valeur nominale).

II.2 Variation de la vitesse d'un moteur asynchrone :

II.2.1 Moteur à vitesse variable et couple constant :

Pour un même flux mutuel Φ_m et une même vitesse de glissement n_g , le couple, aussi que le courant dans le rotor, demeurent constants. Indépendamment de la fréquence appliquée au stator. Ceci constitue un phénomène de base en ce qui concerne la commande de vitesse de tout moteur asynchrone.

Comme le moteur agit comme un transformateur tournant, le courant I_2 dans le rotor est réfléchi au stator comme un courant I_1 . On doit ajouter à ce courant le courant d'excitation I_0 pour obtenir le courant I_p tiré de la source. Puisque le flux mutuel est constant, il s'ensuit que I_0 demeure constant.

Il en résulte que pour un flux Φ_m donné, le couple et le courant I_p dans le stator dépendent uniquement de la vitesse de glissement n_g , peu importe la fréquence.

Toutefois, la fréquence détermine la vitesse synchrone n_s du moteur et dès lors sa vitesse $n = n_s - n_g$.

Remarque : les mêmes remarques s'appliquent lorsque la machine fonctionne comme générateur.

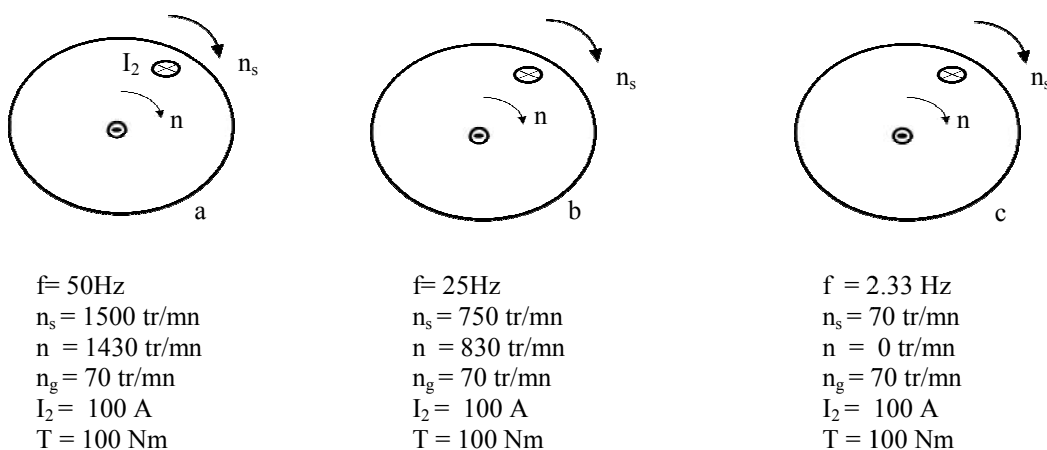


Figure .II.4 Flux constant : le couple et le courant dépendent uniquement de la vitesse de glissement

II.2.2 Couple et courant en fonction de la vitesse de glissement :

La figure .II.5 montre le circuit équivalent d'une phase d'un moteur asynchrone. On observe que la tension E_v est égale à la somme des tensions E_1 et E_{23} , or ces tensions correspondent respectivement aux tensions induites dans le stator par Φ_m et le flux de fuite Φ_{f1} .

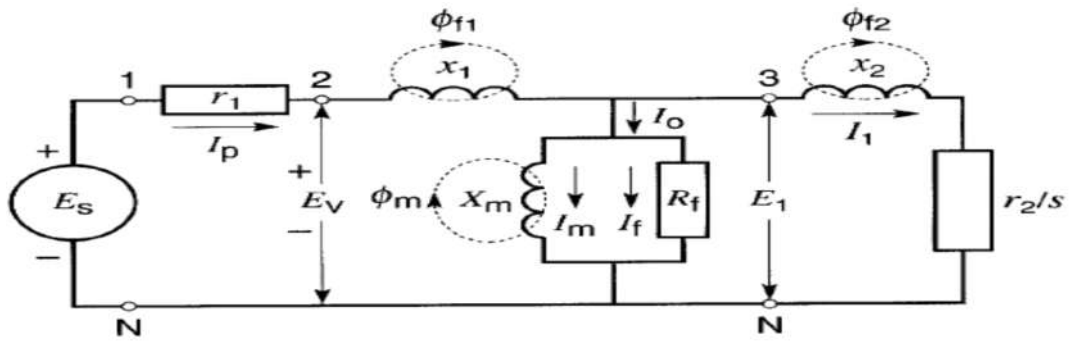


Figure .II.5 Schéma équivalent de la machine asynchrone

On peut simplifier le circuit en déplaçant la branche d'excitation en amont de la réactance x_1 comme le montre la figure .II.6.

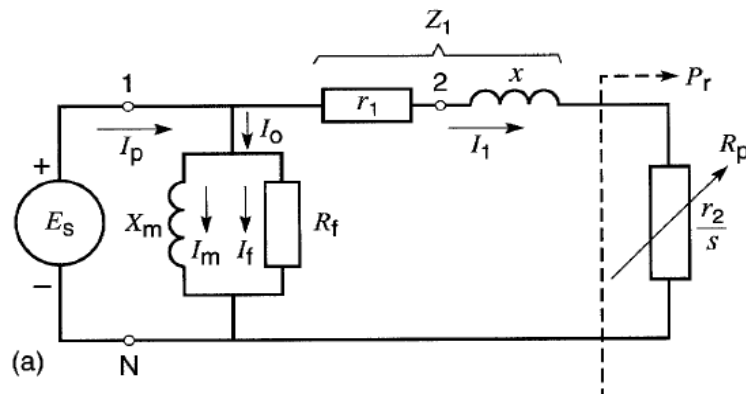


Figure .II.6 Schéma équivalent simplifié de la machine asynchrone

Noter qu'on peut exprimer la résistance $\frac{r_2}{s}$ en fonction de la vitesse de glissement n_g .

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2}{(n_s - n)/n_s} = \frac{n_s r_2}{n_s - n} = \frac{n_s r_2}{n_g}$$

Alors $\frac{r_2}{s} = \frac{n_s r_2}{n_g}$

En utilisant cette expression et le circuit équivalent simplifié, on peut déduire la courbe du couple T en fonction de la vitesse de glissement n_g .

Pour tracer cette courbe, on a utilisé une fréquence de 60 Hz et on a gardé la tension E_v strictement constante.

A cette fin, la tension E_s du stator a été légèrement réajustée à chaque point d'opération afin de compenser la chute de tension dans r_1 .

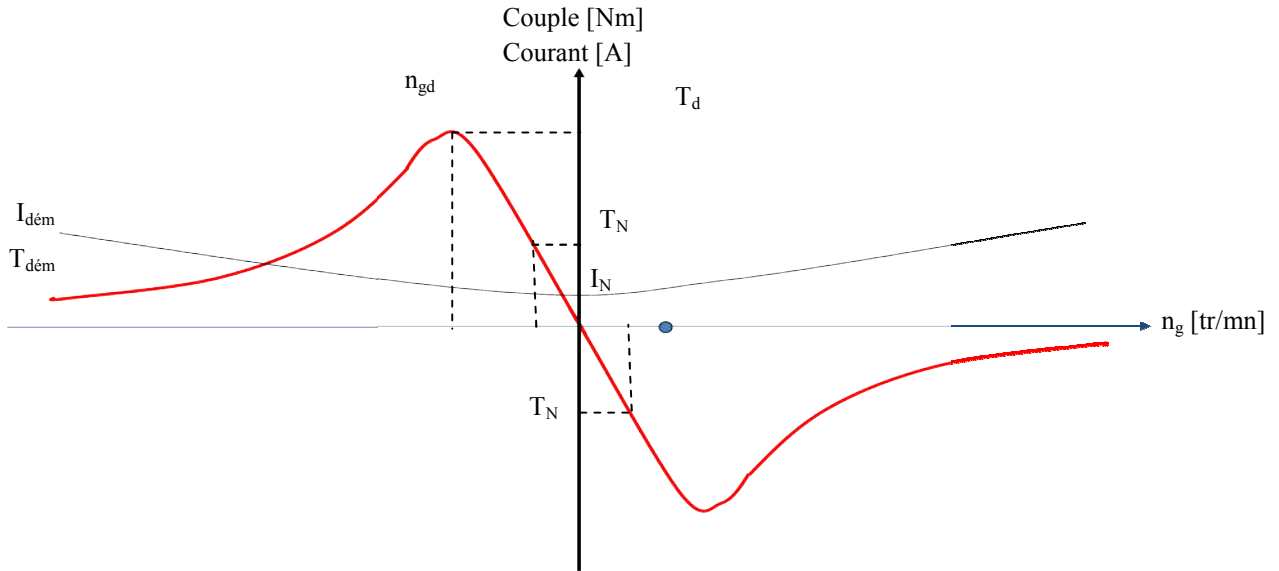
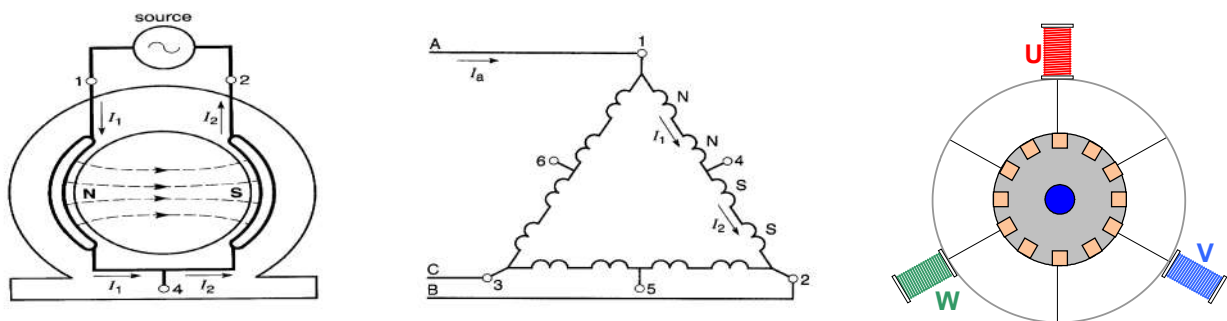


Figure II.7 Schéma équivalent simplifié de la machine asynchrone

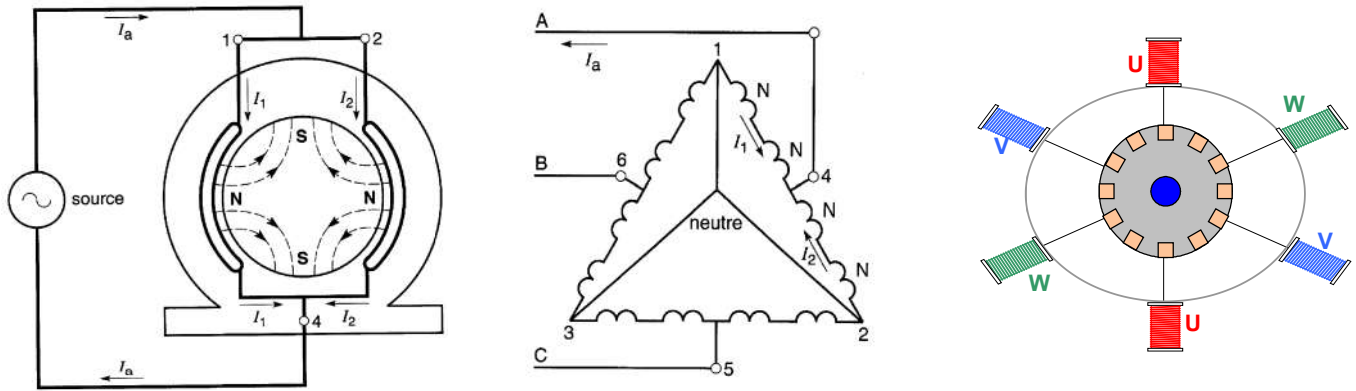
II.3 Variation de la vitesse par variation du nombre de paire de pôles (Moteurs à deux vitesses) :

On peut bobiner le stator d'un moteur à cage d'écureuil de telle sorte que le moteur tourne à deux vitesses. Ces moteurs sont utilisés pour les ventilateurs, les pompes et les perceuse à colonne. Une méthode simple consisterait à utiliser deux enroulements distincts.

C'est pourquoi on a inventé des enroulements spéciaux dont on peut faire varier le nombre de pôles simplement en changeant les connexions extérieures. Les vitesses synchrones ainsi obtenues sont toujours dans un rapport de 2 à 1 : 3000/1500 tr/mn , 1000/500,..Etc.



a- Connexion donnant deux pôles : $n_s = \frac{60 f}{1}$



b- Connexion donnant quatre pôles : $n_s = \frac{60 f}{2}$

Figure .II.8 Moteur à deux vitesses en changeant sa vitesse par connexion pour changer le nombre de paire de pôles

Dans la figure. Reliant les bornes 1 et 2 et branchant l'alimentation entre la jonction obtenue et la borne 4. Les courants I_1 et I_2 doivent donc circuler dans le sens indiqué. Cette connexion crée maintenant deux pôles de même polarité, soit deux pôles nord au moment où les courants alternatifs circulant dans le sens indiqué. D'autre part comme tout pôle nord implique l'existence d'un pôle sud, il se produit deux pôles sud intercalés entre ces deux pôles nord. Les pôles sud ainsi créés sont appelés pôles conséquents. la nouvelle connexion produit donc 4 pôles en tout (voir figure .II.9).

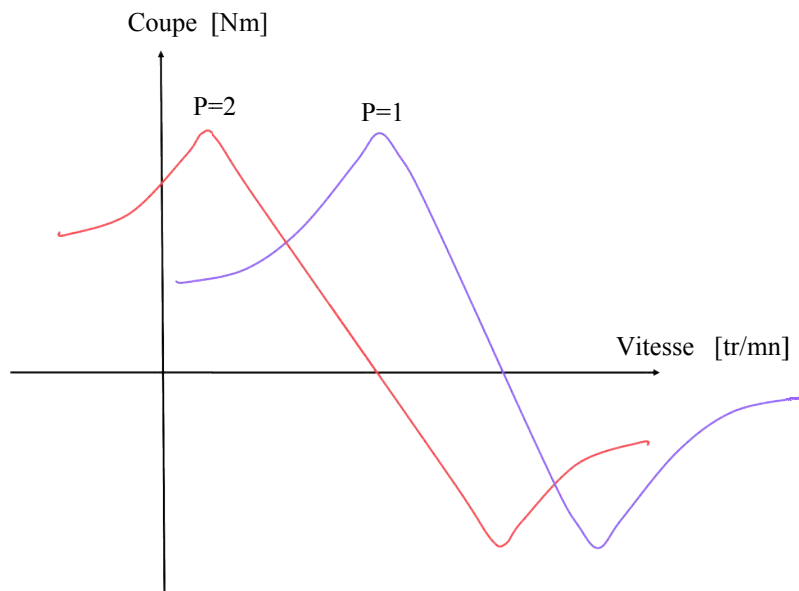


Figure .II.9 Moteur à deux vitesses en changeant sa vitesse par connexion pour changer le nombre de paire de pôles

II.4 Réglage de la vitesse par variation de la résistance rotorique :

L'insertion de la résistance dans le circuit rotorique du moteur asynchrone à bague, permet de régler sa vitesse, voir figure .II.10.

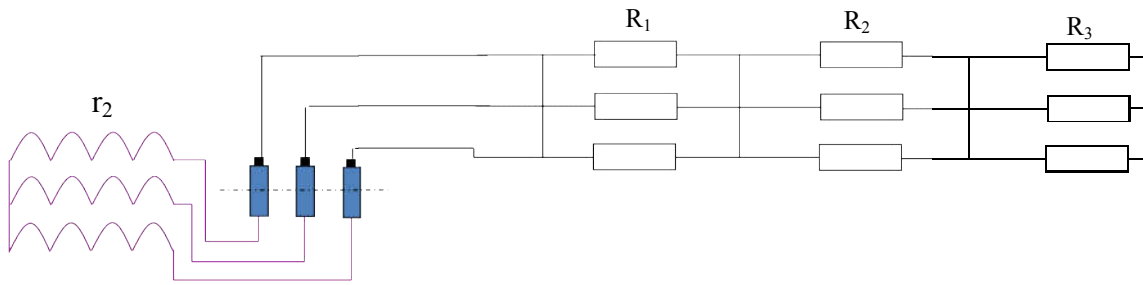


Figure .II.10 Mode de réglage de la vitesse du moteur asynchrone à bagues par résistance rotorique

Ce réglage se caractérise par des points suivant :

- La gamme de réglage n'est pas constante, dépend de la charge, elle peut atteindre de 2 à 3 :1.
- La progressivité de réglage dépend du nombre d'échelons dans le circuit rotorique.
- L'inconvénient de ce réglage réside dans la grande perte d'énergie, qui est proportionnelle à la résistance insérée. Cependant, ce mode de réglage est utilisé pour les moteurs de faible puissance et pour les mécanismes à service intermittent.

Les caractéristiques artificielles obtenues par ce mode de réglage sont montrés dans la figure .II.11

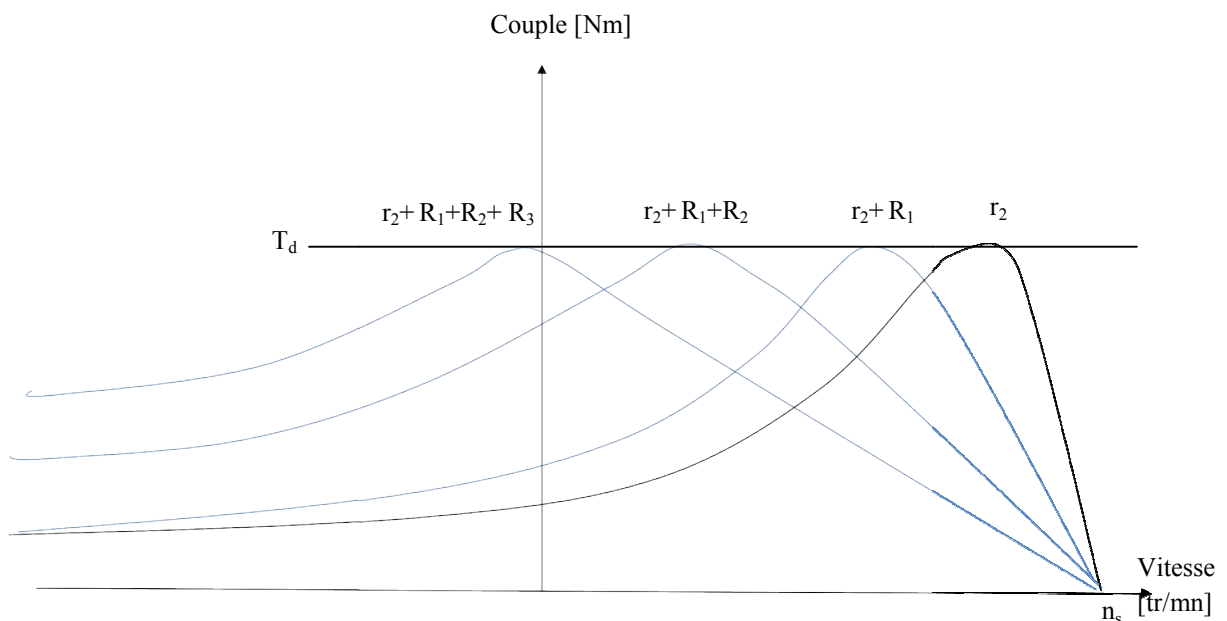


Figure II.11 Caractéristiques mécaniques obtenues par variation de la résistance rotorique.

Remarque : Dans le domaine de l'industrie, l'insertion des résistances dans le moteurs asynchrones à bagues (grandes puissances) sert au démarrage des charges de traction à savoir : les broyeurs et les concasseurs.

II.5 Variation de la vitesse par action sur la tension :

La mise en œuvre de ce procédé est très simple, il suffit d'interposer un gradateur triphasé entre le réseau et les bornes du moteur, voir figure .II.12

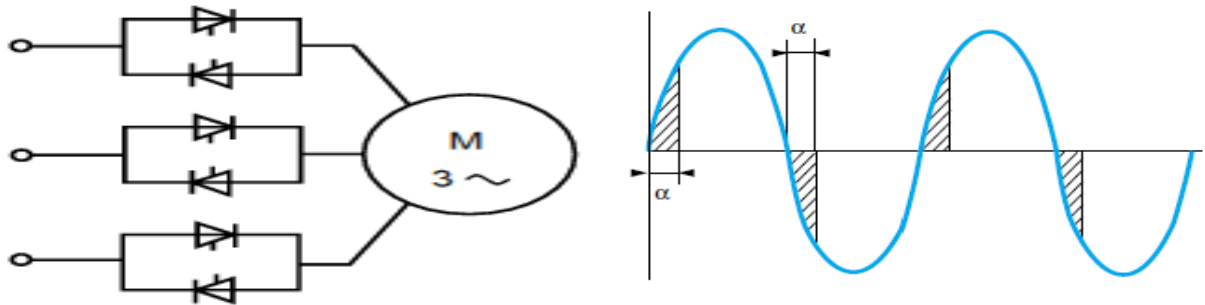


Figure .II.12 mode de réglage de MAS par action sur la tension (Gradateur)

Par phase deux thyristors montés tête bêche contrôlent l'un aller, l'autre retour du courant. En retardant à chaque alternance en conduction du gradateur correspondant, on diminue la tension appliquée au moteur.

A un glissement donné on a le couple est proportionnel au carré de la tension.

Ce procédé n'est utilisable que pour l'entraînement de charge dont le couple croît très vite avec la vitesse (exemple : ventilateur).

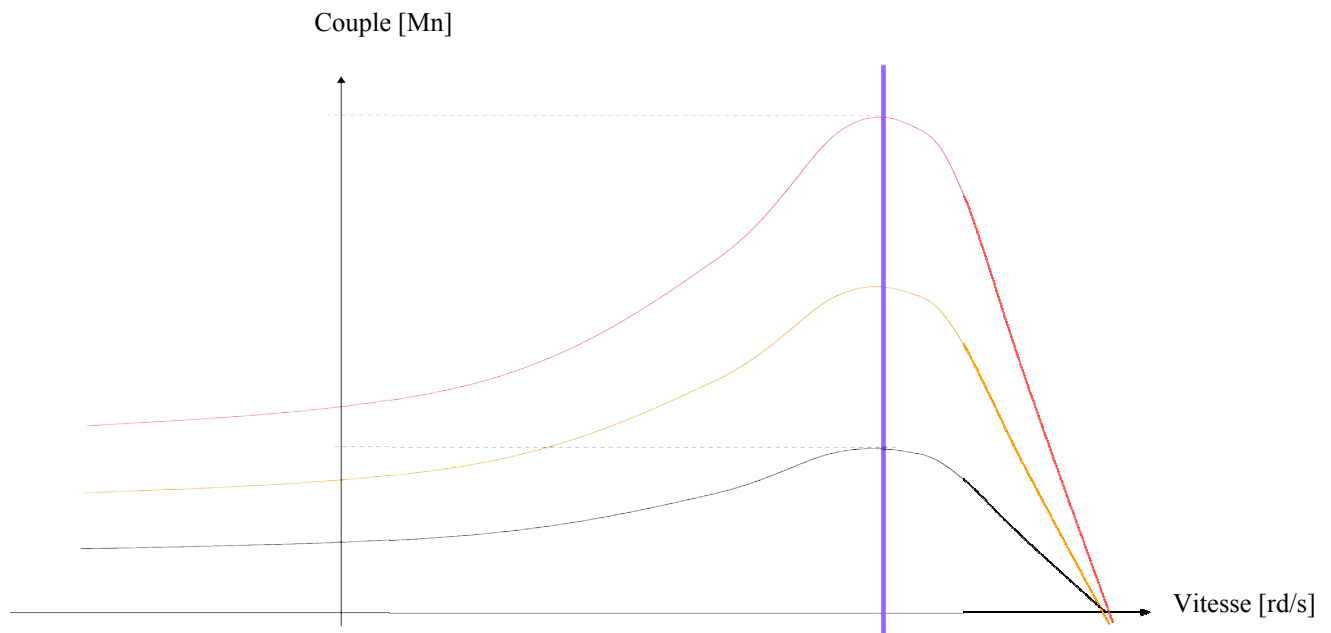


Figure .II.13 caractéristiques mécaniques obtenues par variation de la tension.

La marche à fort glissement correspond au fonctionnement dans la partie dite instable de la caractéristique mécanique du moteur.

Il n'est possible d'obtenir une intersection stable de cette caractéristique et celle de la charge que si le couple résistant croît plus vite en fonction de la vitesse que le couple développé par le moteur.

II.6 Variation de la vitesse par variation de la fréquence et le rapport Volt/Hertz :

Le flux total $\Phi_s = \Phi_m + \Phi_{f1}$ est celui accroché par les spires du stator et celui qui induit la tension E_v .

Tout comme dans un transformateur, la relation entre le flux et la tension induite dans un enroulement du stator (par phase) est donnée par :

$$E_v = 4.44 f N \Phi_s \quad (4.44 = \pi \sqrt{2})$$

En réarrangeant les termes, on obtient :

$$\Phi_s = \frac{1}{4.44} \left(\frac{E_v}{f} \right)$$

Cette équation indique que pour un nombre de spires N donné, le flux total dépend directement du rapport (E_v/f) . tant que ce rapport est gardé constant, le flux Φ_s demeure constant. Il en découle que pour maintenir un flux constant avec une fréquence variable, on doit augmenter ou diminuer la tension E_v dans les mêmes proportions que f . Alors, si la fréquence diminue de tiers, on doit réduire E_v de tiers.

Lorsque le moteur fonctionne à des fréquences comprises entre la fréquence nominale et le tiers (1/3) de celle-ci, la tension E_s appliquée au stator est proche de la tension induite, et reste presque proportionnelle à celle-ci. Pour cette raison, on peut indiquer l'amplitude du flux au moyen du rapport $\frac{E_s}{f}$ plutôt que $\frac{E_v}{f}$. Car E_s est plus facile à mesurer que E_v .

Cependant à basse vitesse, lorsque la fréquence et la tension E_v sont toutes inférieures à 10% de leurs valeurs nominales ; la chute de tension $r_1 I_p$ dans le stator prend de l'importance, car elle devient alors aussi grande et même plus grande que E_v .

Dans ces circonstances, si on désire maintenir le flux Φ_s à sa valeur nominale, la tension E_s de la source doit être considérablement plus grande que E_v . Donc, afin de garder E_v/f constant, on doit progressivement augmenter le rapport E_s/f à mesure que la fréquence diminue.

La correction est particulièrement importante lorsque la fréquence tend vers zéro. En effet, à pleine charge la tension E_s de la source est sensiblement égale à la somme $E_v + r_s I_p$.

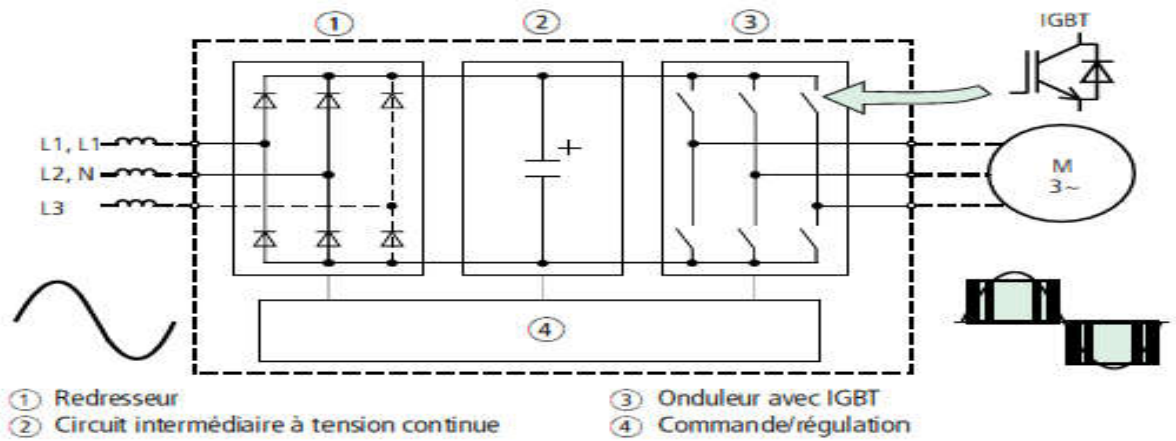


Figure .II.14 mode de réglage de MAS par action sur la fréquence (Variateur)

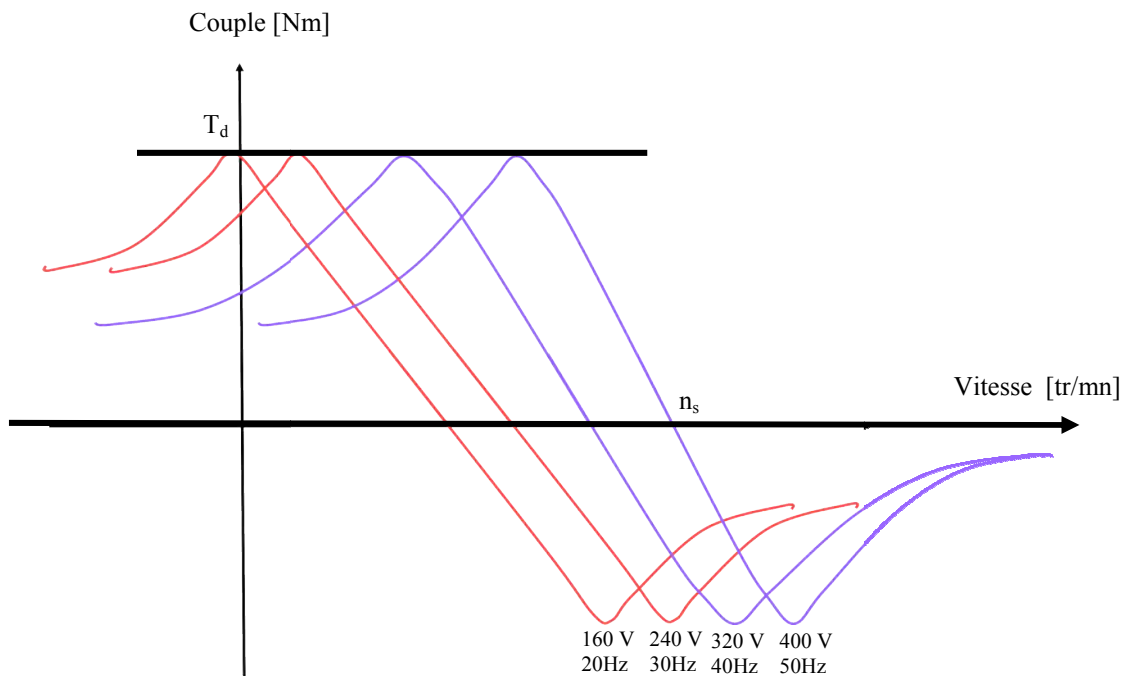


Figure .II.14 caractéristiques mécaniques obtenues par variation de la fréquence

La figure. 8, illustre les caractéristiques couple/vitesse obtenues lorsque l'on diminue simultanément le tension E_v et la fréquence aux bornes d'un moteur à cage.

Lorsqu'on réduit la tension et la fréquence, la courbe se déplace vers la gauche, tout en conservant la même forme.

En réduisant la fréquence à 20 Hz, on obtient donc un couple de démarrage plus grand avec un courant plus faible.

Cette dernière observation constitue un des avantages de la commande de vitesse par variation de la fréquence. Durant la période d'accélération, le système de commande peut être programmé de sorte que le moteur développe en tout temps, un couple proche du couple de décrochage. Cela assure un démarrage rapide avec un courant constant qui n'est pas trop élevé.