

Démarrage des moteurs asynchrones.

Plan :

**Rappel sur la vitesse permanente (dite également "de régime")
Rappel sur la vitesse de démarrage et le couple d'accélération.**

- 1. Démarrage direct.**
- 2. Démarrage étoile / triangle.**
- 3. Démarrage par autotransformateur.**
- 4. Démarrage par résistances statoriques.**
- 5. Démarrage par résistances rotoriques.**

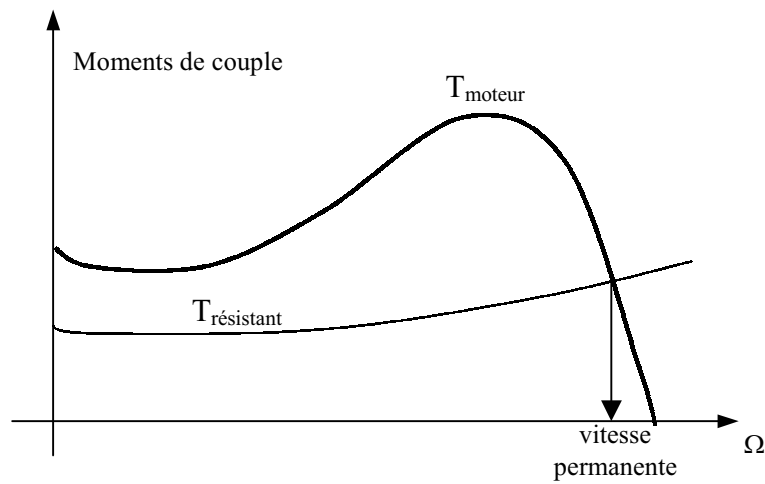
Rappel sur la vitesse permanente.

C'est la vitesse du moteur vue en Terminal : le moteur est lancé depuis suffisamment longtemps pour que sa vitesse se soit stabilisée (on ne s'est pas intéressé à son démarrage). Cette vitesse peut être une vitesse à vide ou une vitesse en charge (la vitesse nominale en est un cas particulier).

Avant d'observer une vitesse permanente, il faut lancer le moteur : le moteur va accélérer et l'on parlera alors de vitesse "transitoire" (c'est - à - dire une vitesse qui varie au cours du temps). Lors du freinage du moteur il y aura une décélération, et donc également une vitesse transitoire.

Ces phases d'accélération et de décélération sont étudiées en BTS. Elles font intervenir le moment d'inertie (résistance à l'accélération) de l'ensemble moteur + charge (lié à la masse entraînée), alors que l'étude de la vitesse permanente ne dépend pas du moment d'inertie mais seulement du moment de couple résistant (résistance à l'entraînement).

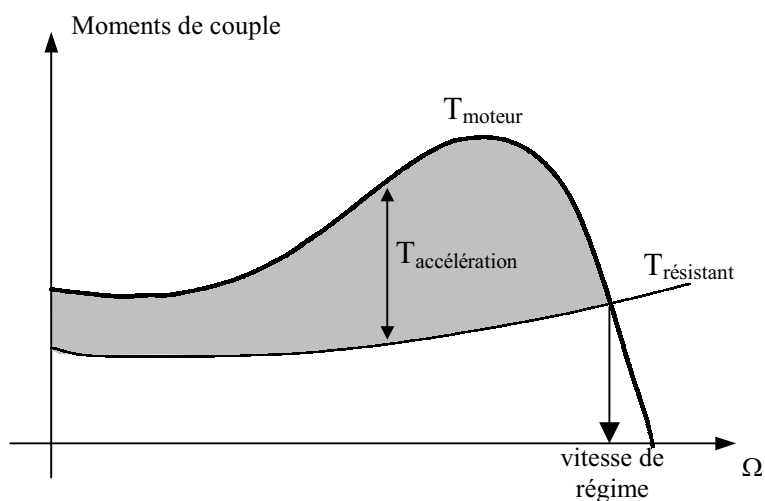
La vitesse se stabilise lorsque $C_{\text{moteur}} = C_{\text{résistant}}$ (avec les conditions de stabilité vues en Terminale).



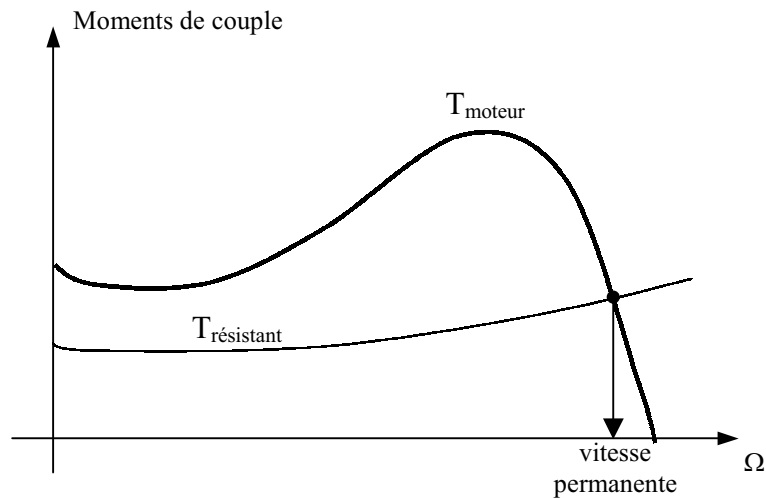
Rappel sur la vitesse de démarrage et le couple d'accélération.

La vitesse de démarrage correspond en fait à la durée de démarrage (ce n'est pas une vitesse). Pour ce qui est de la vitesse on parle plutôt de *vitesse transitoire* qui évolue au cours du temps et n'a donc pas de valeur fixe comme la vitesse permanente. Sa vitesse d'évolution (c'est *l'accélération*) est liée au moment de couple d'accélération (abusivement appelé *couple d'accélération*).

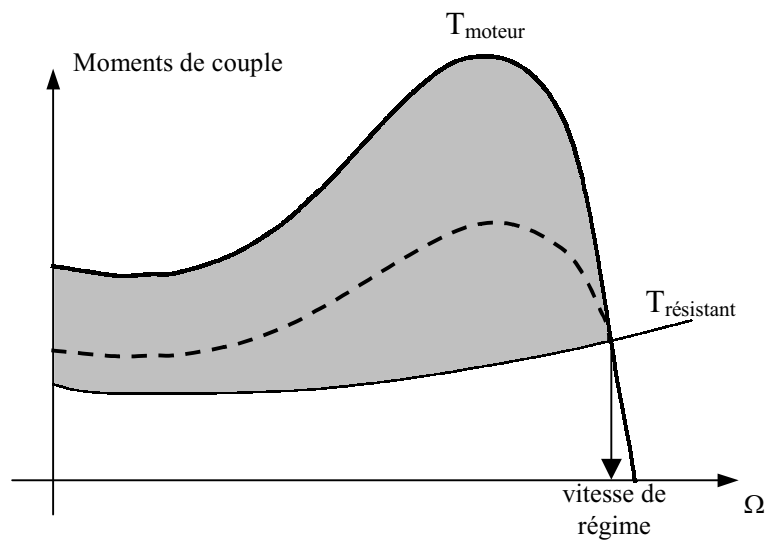
Le couple d'accélération est donné par la différence entre le moment du couple moteur et le moment du couple résistant (il dépend de la vitesse du moteur) :



Au démarrage ($\Omega = 0$) le couple d'accélération est positif ce qui signifie que la vitesse va augmenter (plus ou moins rapidement selon la valeur du couple d'accélération). La vitesse se stabilise quand le couple d'accélération devient nul, c'est à dire au moment les courbes des moments de couple se rejoignent :



La durée démarrage sera d'autant plus courte ("vitesse de démarrage" rapide) que le couple d'accélération sera élevé pour chaque vitesse rencontrée :



Ici la vitesse de régime est identique pour les 2 moteurs, mais la durée de démarrage n'est pas la même.

1. Démarrage direct.

Voir courbe données par la suite : le courant de ligne vaut $7 \times$ le courant final de régime : il faut dimensionner les protections mais surtout cela occasionne une chute de tension qui risque de perturber le fonctionnement des appareils connectés sur la ligne et sur le bon fonctionnement du moteur lui-même : ce dernier risque de ne plus démarrer (la courbe du couple moteur s'effondre pour devenir inférieur au couple résistant). En outre le couple d'accélération est relativement élevé : il y a un à-coup au démarrage (ce n'est jamais très bon pour la mécanique !).

Avantages : simplicité de l'appareillage, rapidité de la mise en régime.

Inconvénient : démarrage brutal, courant d'appel élevé ce qui perturbe les appareils branchés sur la même ligne (outre la chute de couple qui résulte de la chute de tension). Procédé utilisé pour des puissances $< 10 \times$ la puissance apparente du réseau ou des moteurs de petite puissance (EDF impose une puissance utile $\leq 1,5$ kW sur le réseau grand public basse tension).

2. Démarrage étoile / triangle.

Il consiste à réduire par $\sqrt{3}$ la tension aux bornes du moteur grâce à une connexion étoile lors de la phase de démarrage : le courant de ligne est alors divisé par 3, comme le couple moteur : le démarrage est plus doux, le courant d'appel plus faible. Il faut cependant s'assurer que le couple de démarrage (= couple d'accélération à $\Omega = 0$) est suffisant pour démarrer le moteur. En outre il faut commuter en triangle lorsque la vitesse se stabilise pour éviter l'échauffement du moteur proportionnel à $T_{\text{moteur}} \times (\Omega_s - \Omega)$.

Avantage : relativement bon marché.

Inconvénient : couple de démarrage fixé par l'alimentation, couple réduit au tiers de sa valeur sur toute l'excursion de vitesse \Rightarrow mise en régime plus longue et limité au machine qui démarrent à vide (machine-outils). Coupure brutale puis augmentation brutale du courant lors du passage étoile en triangle (surtensions inductives, à-coup du moteur, phénomènes transitoires qui apparaissent sur le réseau...).

Démarrage utilisé pour les engins qui ont un faible couple résistant au démarrage (ventilateurs, pompes centrifuges, machines-outils...)

3. Démarrage par autotransformateur

Cela consiste à réduire la tension d'alimentation en modifiant le nombre de spires secondaires d'un autotransformateur (2 ou 3 rapports de transformations sont ordinairement utilisés) : le démarrage s'établit donc en 2 ou 3 temps.

Avantage : possibilité de choisir le couple de démarrage, réduit dans le même rapport que le courant d'appel. Passage des divers temps de démarrage sans coupure de courant (absence de surtensions). S'utilise quand le procédé étoile /triangle abaisse trop le couple de démarrage.

Inconvénient : onéreux, et donc réservé pour des puissances ≥ 50 kW approximativement.

4. Démarrage par résistances statoriques.

Cela consiste à abaisser la tension de ligne en insérant des résistances en série avec les enroulements statoriques. On réduit alors ces résistances au fur et à mesure de la lancée du moteur (soit par fraction, soit en une seule fois si c'est suffisant). La tension statorique ne reste pas constante lors du démarrage : elle augmente progressivement, ce qui assure, même avec des résistances non fractionnée, un démarrage doux. En fait les courbes du transparent (données ci-dessous) supposent que la tension statorique n'évolue pas lorsque Ω augmente : les sauts d'une courbe à l'autre sont, en réalité, beaucoup plus faibles.

Avantage : possibilité de choisir le couple de démarrage et le passage des différents temps de démarrage sans coupure de courant. Le courant de démarrage peut être choisi avec précision.

Inconvénient : si le courant est divisé par 3 alors le couple est divisé par 9 !

En pratique il est peu utilisé car c'est finalement un procédé médiocre, ne peut s'utiliser que pour les couples résistants faibles (pompes centrifugeuses, ventilateurs...).

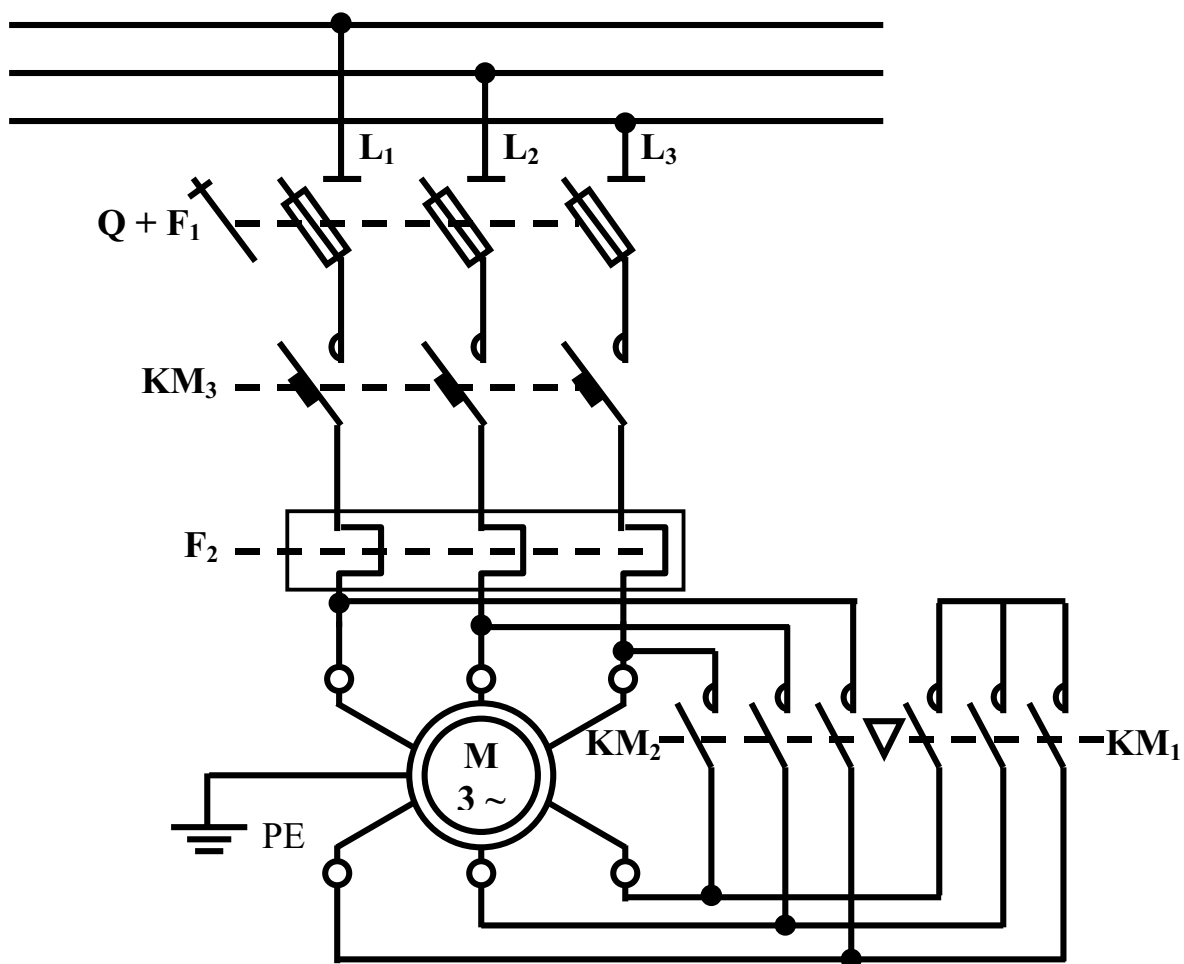
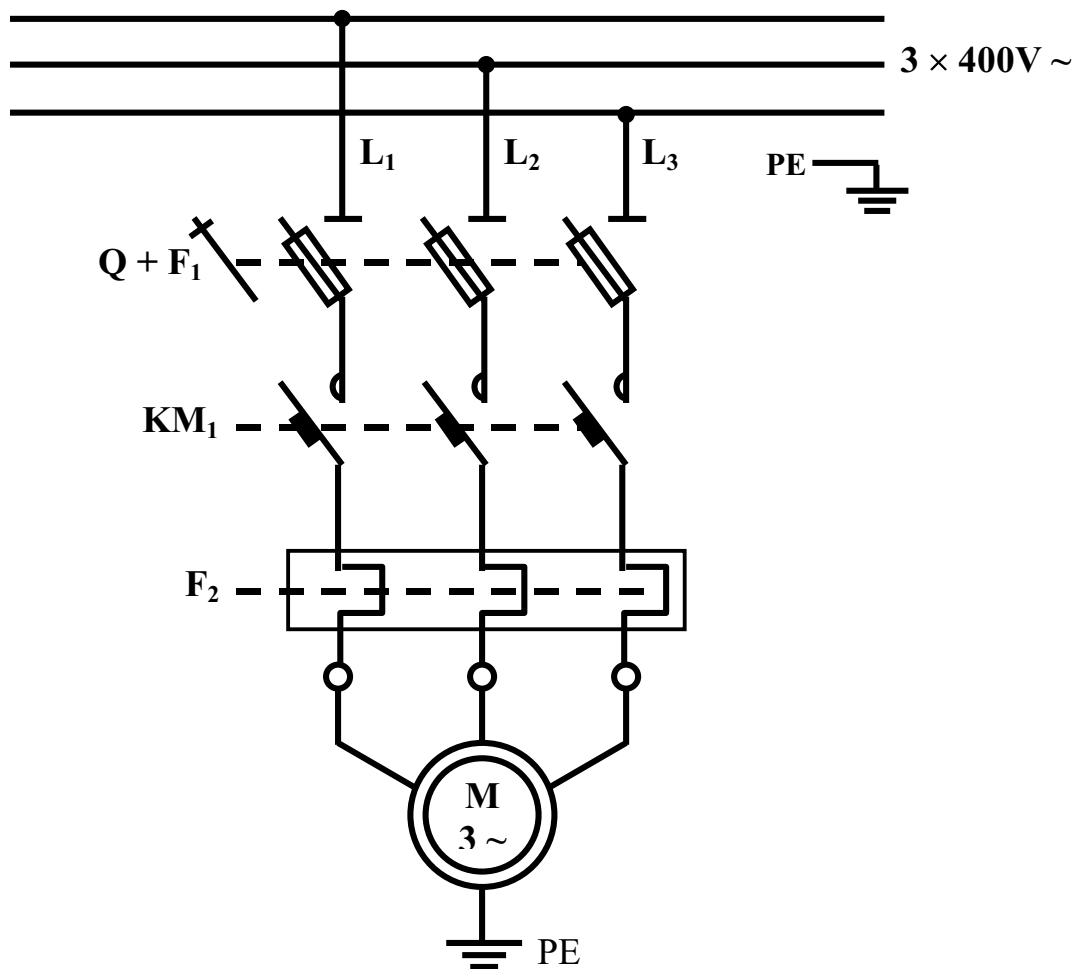
5. Démarrage par résistances rotoriques

Pour les moteurs à rotor bobiné uniquement.

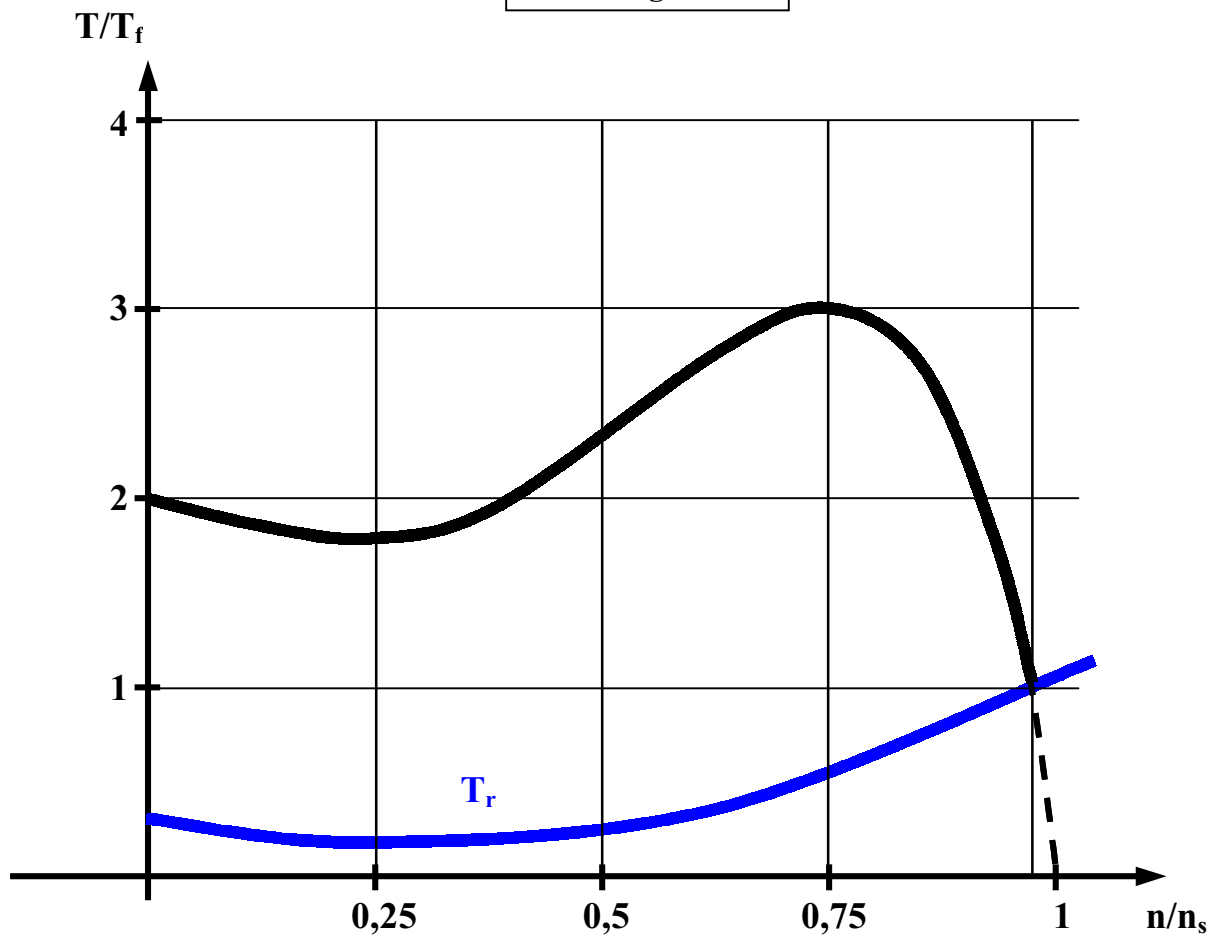
Avantage : par rapport à tous les autres procédés de démarrage, l'appel de courant est le plus faible pour un couple de démarrage donné. Possibilité de choisir le couple de démarrage (qui peut atteindre le couple maximal vu au couplage direct) et le nombre de temps de démarrage (démarrage en douceur !).

Inconvénient : cher pour des puissance ≤ 50 kW approximativement.

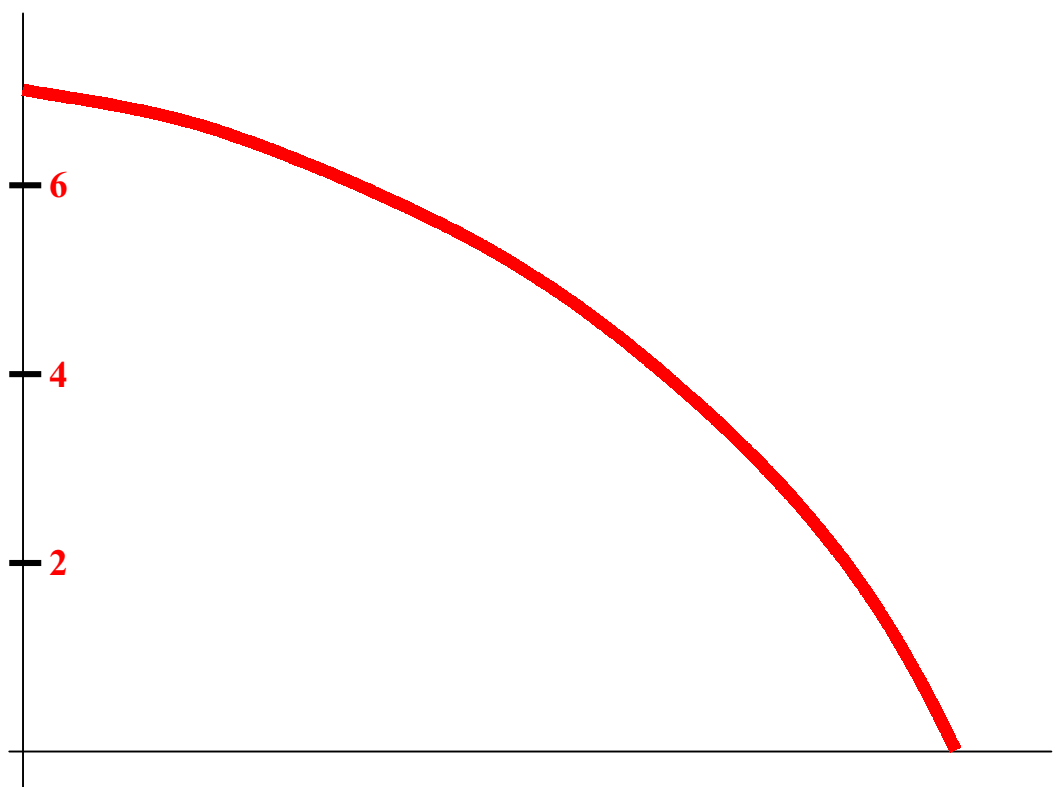
En général ce procédé est réservé pour les démarrages difficiles : lorsqu'un couple de démarrage élevé est exigé (broyeurs, malaxeurs...), pour des machines qui ont un grand moment d'inertie (grosses pompes) ou lorsqu'un démarrage progressif est nécessaire (ascenseurs...)



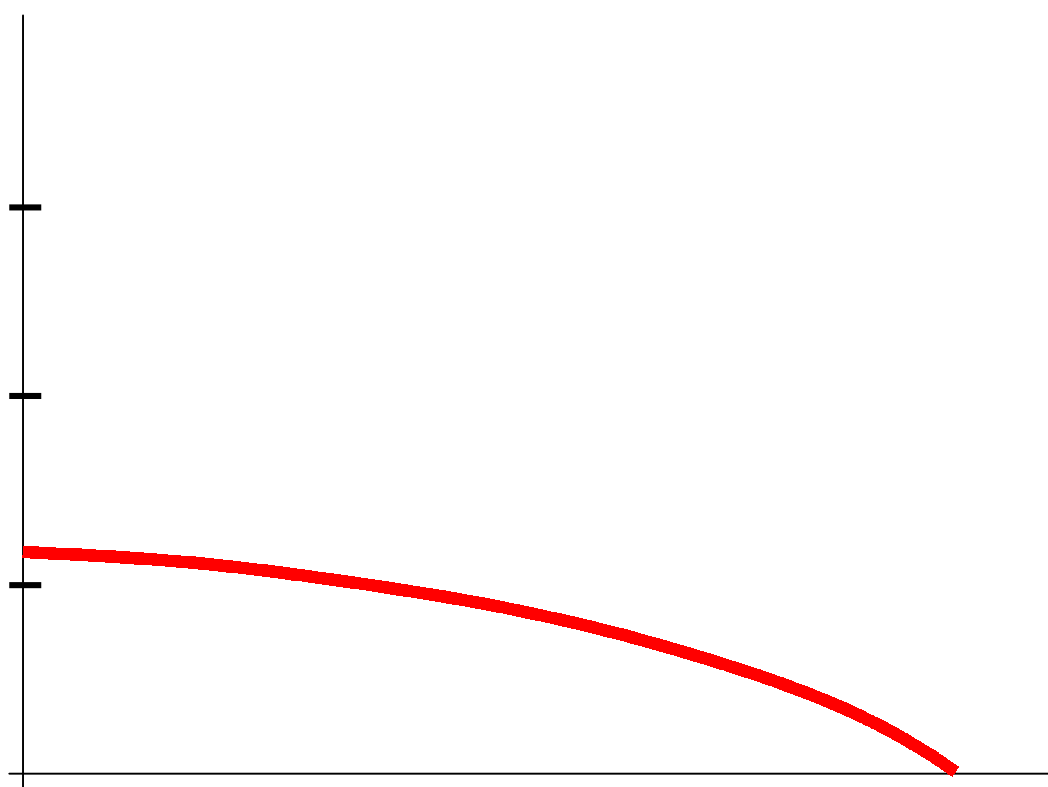
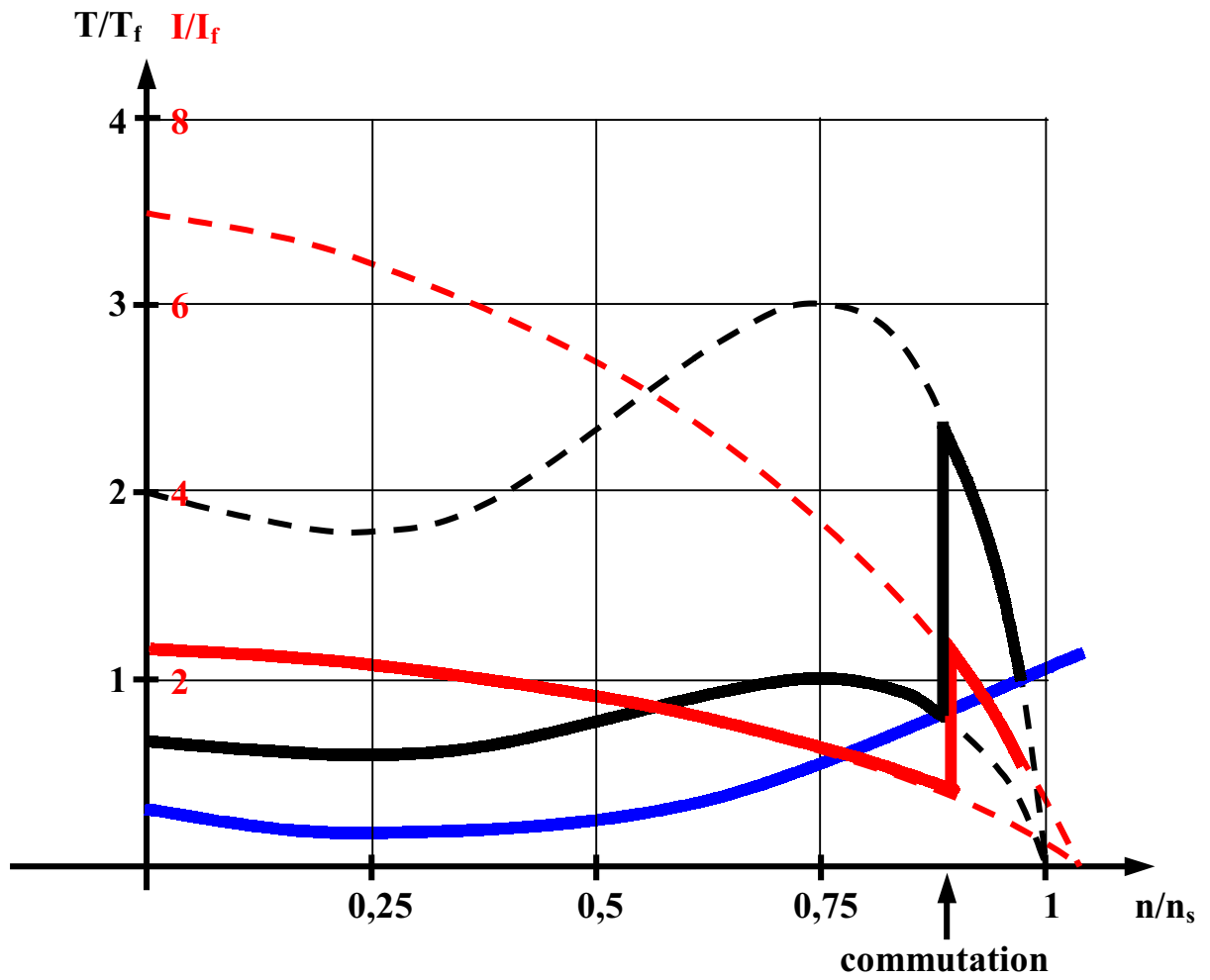
Démarrage direct



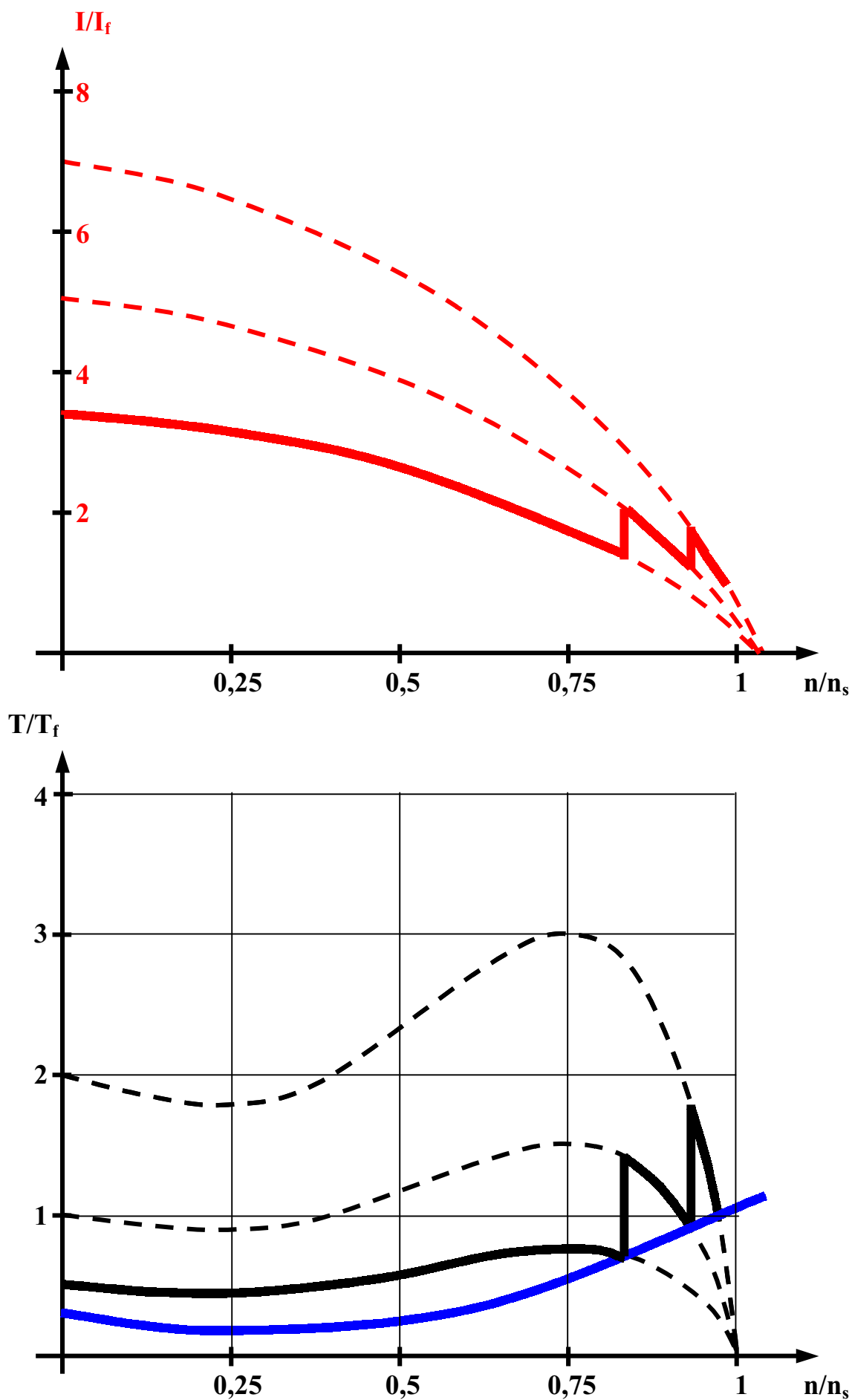
I/I_f

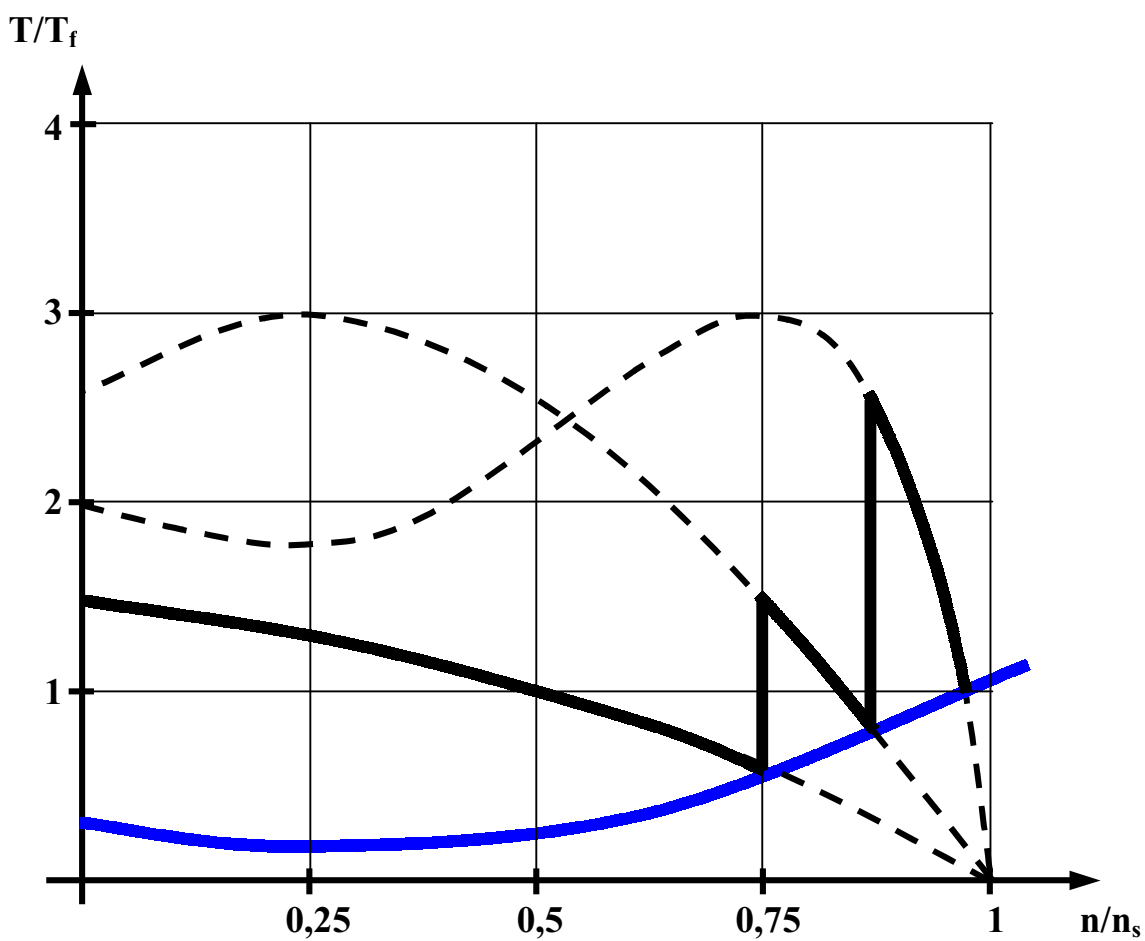
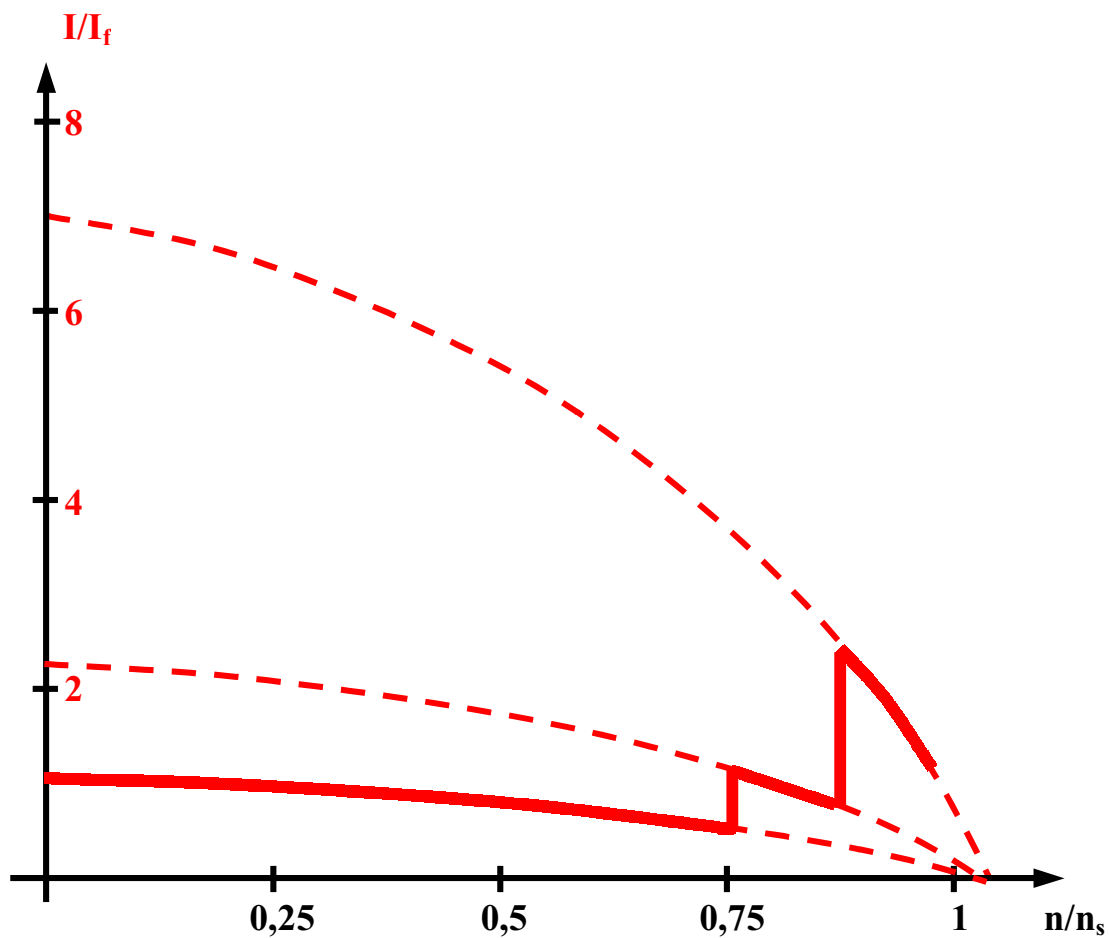


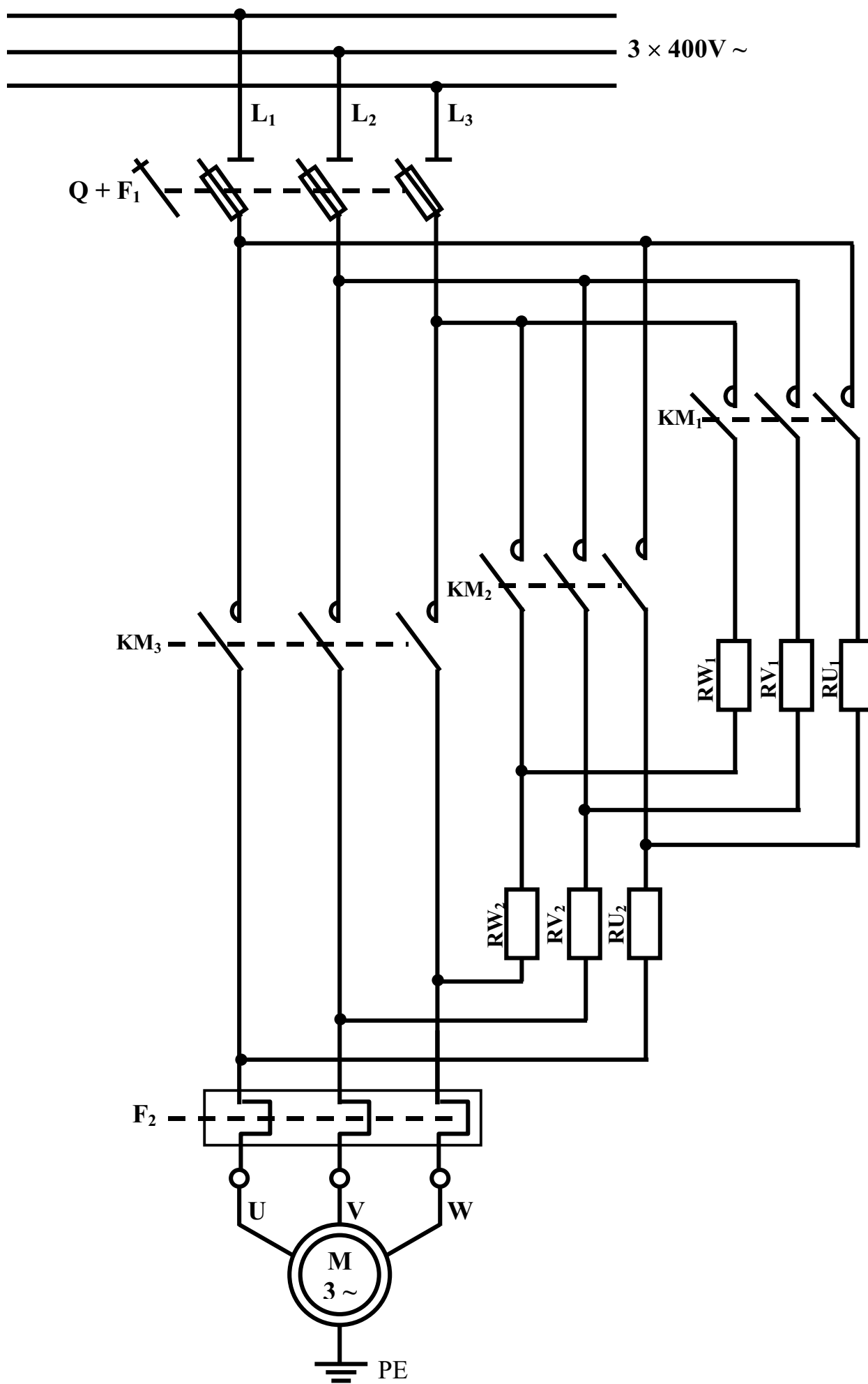
démarrage étoile-triangle

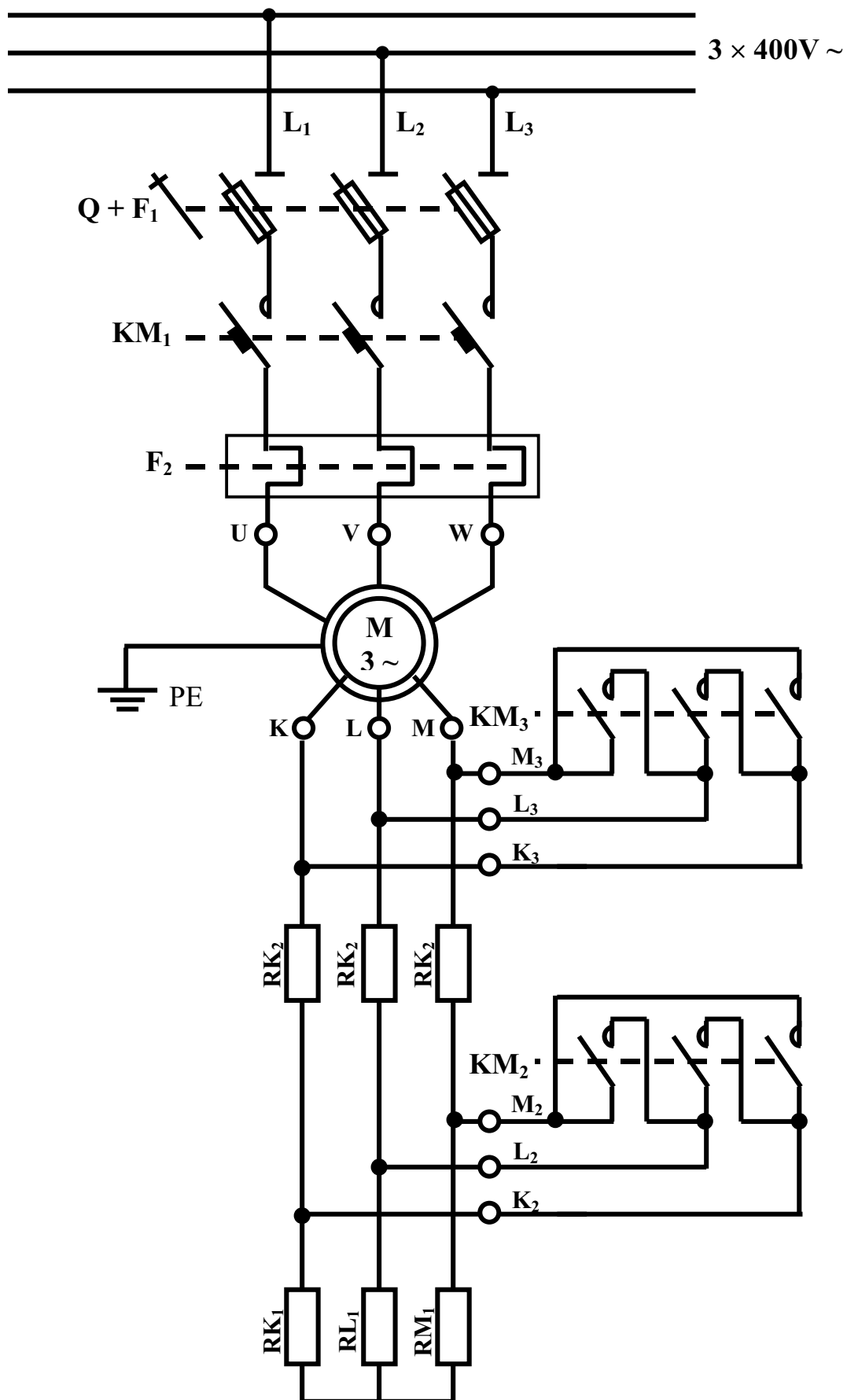


démarrage avec résistances statoriques









Commentaires :1^{ère} chose

Le fait de montrer des transparents ne permet pas une prise de notes efficace car le débit d'informations est trop élevé. En fait cette technique est utilisée lorsqu'on fait un exposé qui n'est pas destiné à être appris (exposé de soutenance de stage par exemple).

Pour un cours, il vaut mieux faire un panachage entre transparents et écriture au tableau, qui permet de ralentir le débit et donc de prendre plus efficacement des notes. Lorsque des transparents sont montrés au tableau, il faut en donner une copie aux étudiants (ou au Jury de la soutenance).

2^{ème} chose

Il s'agissait ici d'un cours...d'électrotechnique et non pas de physique. Les courbes ne sont pas expliquées mais seulement exposées : on ne sait pas quelles relations elles illustrent, il n'y a aucun argument théorique. Elles visaient à comprendre les raisons des différentes méthodes de démarrage et à exposer les différentes techniques utilisées, leurs avantages et leurs inconvénients.

Rappel : un cours de Physique est là pour "décortiquer" un phénomène et non pas uniquement pour l'exposer. En physique on doit exhiber des relations mathématiques explicatives de l'allure des courbes obtenues afin de comprendre l'effet des procédés utilisés en pratique.