

IV -1 introduction

Selon la qualité du réseau, des variations rapides du courant consommé, comme c'est le cas lors du démarrage d'un moteur, peuvent provoquer des chutes de tension qui perturbent les autres appareils alimentés par le même réseau :

- Fluctuations de luminosité des éclairages
- Influence sur les installations informatiques
- Défaillances des contacteurs et des relais

Lors des démarrages, les éléments mécaniques d'une machine ou installation sont fortement sollicités par l'impact du couple dû au démarrage. Avec les solutions traditionnelles telles que :

- Commutation étoile triangle
- Autotransformateur
- Bobines de self ou résistances,

la tension aux bornes du moteur ainsi que le courant ne peuvent être influencés que par étapes.

Le démarreur progressif gère en continu la tension depuis une valeur de départ sélectionnable jusqu'à cent pour-cent. Le couple et le courant augmentent ainsi de manière continue. Le démarreur progressif permet également un cycle d'arrêt continu du moteur sous charge. **[11]**

IV -2-1 Réalisation du démarrage progressif:

La caractéristique de couple du moteur permet d'expliquer comment obtenir un démarrage de moteur lent.

En comparant la caractéristique de charge avec la caractéristique du moteur, il apparaît que la caractéristique de couple du moteur se situe toujours au-dessus de la caractéristique du couple résistant, jusqu'à ce qu'elle coupe cette dernière. [8]

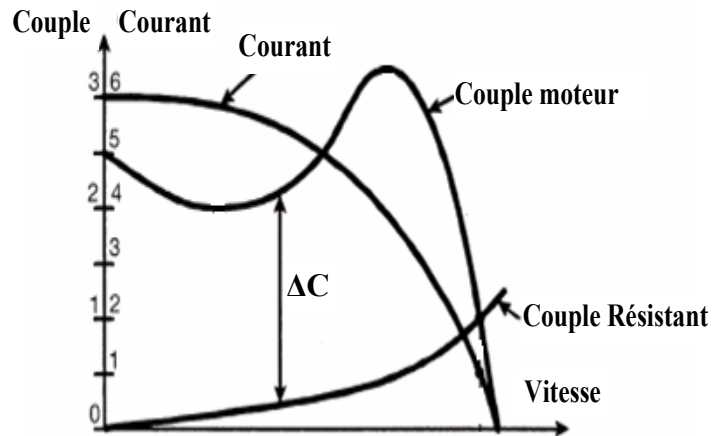


Figure IV -1 : Caractéristiques moteur

A ce moment du cycle, la charge nominale atteint la vitesse nominale. La différence entre la caractéristique du couple résistant et la caractéristique du couple moteur représente ce qu'on appelle le couple d'accélération (ΔC). Ce couple fournit l'énergie servant à commencer à faire tourner et à accélérer l'entraînement.

Le rapport entre les deux caractéristiques représente la mesure du temps de démarrage ou d'accélération d'un entraînement. Si le couple moteur est beaucoup plus grand que le couple résistant, l'énergie d'accélération est grande et donc le temps d'accélération est court. Si par contre le couple moteur est seulement un peu plus grand que le couple résistant, il fournit une faible énergie et le temps d'accélération est d'autant plus grand.

Le démarrage progressif est ainsi réalisé en diminuant le couple d'accélération [8].

IV -2-2 Diminution du couple moteur

Les caractéristiques représentées ne sont valables que lorsque toute la tension U_n est à disposition. Aussitôt qu'une tension plus petite est appliquée, le couple est réduit de manière quadratique. Si la tension effective du moteur est réduite de **50%**, le couple est alors réduit au quart de sa valeur. En comparant les caractéristiques du couple moteur et du couple résistant, on voit que l'écart est plus important en présence de la tension du réseau que pour la tension réduite U_{red} . Le couple moteur et donc la force d'accélération sont influencés par l'adaptation de la tension aux bornes du moteur. [9]

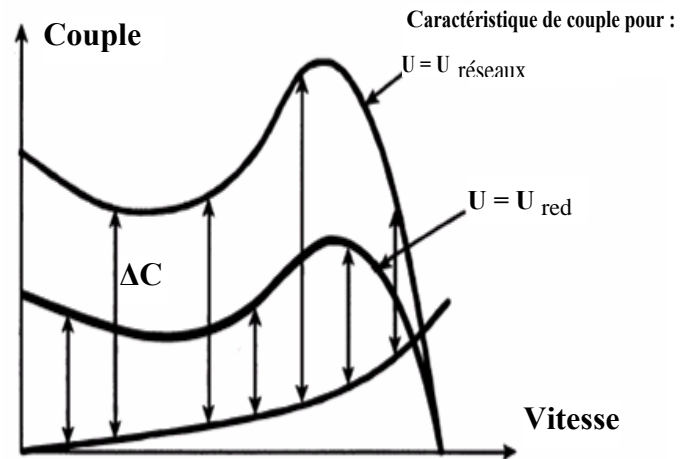


Figure IV -2 : Caractéristiques de couple

IV -2-3 Influence de la tension moteur

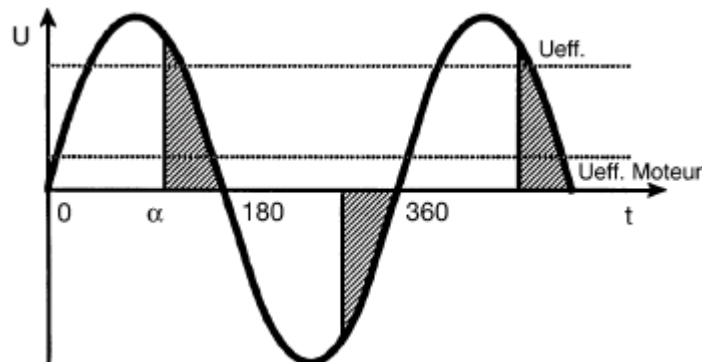


Figure IV -3 : Découpage de phase

La tension moteur est facilement modifiée avec une commande à découpage de phase. Au moyen d'un semi-conducteur, le thyristor, il est possible de n'appliquer au moteur qu'une partie de la tension, en coupant la demi alternance sinusoïdale.

A l'instant où le thyristor coupe la demi alternance sinusoïdale, on définit l'angle d'amorçage "**Alpha**". Si l'angle "**Alpha**" est grand, la tension U_{eff} , moteur est petite. En déplaçant petit à petit l'angle d'amorçage "**Alpha**" vers la gauche, la tension U_{eff} , moteur augmente. Avec la commande correspondante, le découpage de phase est une méthode simple et efficace pour modifier la tension moteur. [11]

IV -3 Types de démarrage

Il y a deux possibilités principales pour faire démarrer un moteur progressivement. Il s'agit du démarrage sur rampe de tension et du démarrage sur limite de courant.

IV -3-1 Démarrage sur rampe de tension

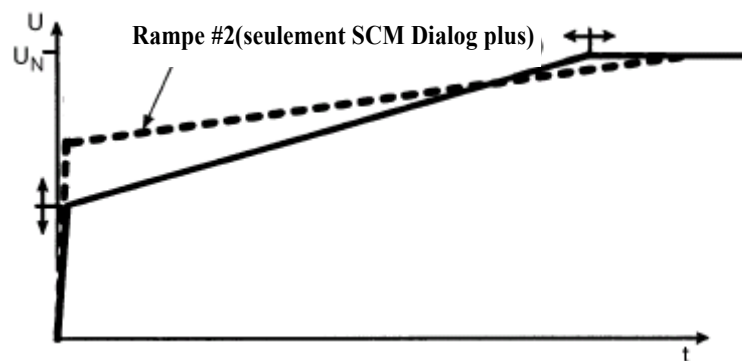


Figure IV -4 : Rampe de tension

Lors du démarrage sur rampe de tension, le temps de démarrage ou temps d'accélération et le couple initial de décollerment sont fixés. Le démarreur progressif augmente la tension aux bornes du moteur linéairement depuis une valeur prédéfinie (tension de départ) jusqu'à la tension entière du réseau. La faible tension moteur au départ du processus a pour conséquence un couple moteur plus faible et entraîne ainsi un cycle d'accélération progressif. La valeur de départ de la tension à appliquer est définie par le couple initial de décollerment = couple de départ du moteur. Avec la **commande Dialog Plus SMC**, il est possible de choisir entre deux profils de démarrage progressif avec des temps de rampe et des valeurs de couple de décollerment applicables séparément.

Le temps d'accélération du moteur résulte du réglage du temps d'accélération et du couple de décollerment. Si le couple de décollerment est choisi très grand ou le temps d'accélération très petit, on se rapproche alors du démarrage direct. Dans la pratique, on définit d'abord le temps

d'accélération (**10 sec.** environ pour les pompes) et ensuite le couple de décollement de manière à ce que le démarrage progressif soit réalisé. [13]

Le temps de réglage déterminé n'est pas le temps d'accélération effectif de l'entraînement; il est dépendant de la charge et du réglage du couple de décollement.

Lors d'un démarrage progressif sur rampe de tension, le courant augmente jusqu'à une valeur maximale et il redescend à la valeur I_n en atteignant la vitesse nominale du moteur. Le courant maximal ne peut pas être déterminé à l'avance; il dépend de chaque moteur. Cependant, si une certaine valeur de courant ne doit pas être dépassée, il est alors possible de choisir le démarrage sur limite de courant. [13]

IV -3-2 Démarrage sur limite de courant :

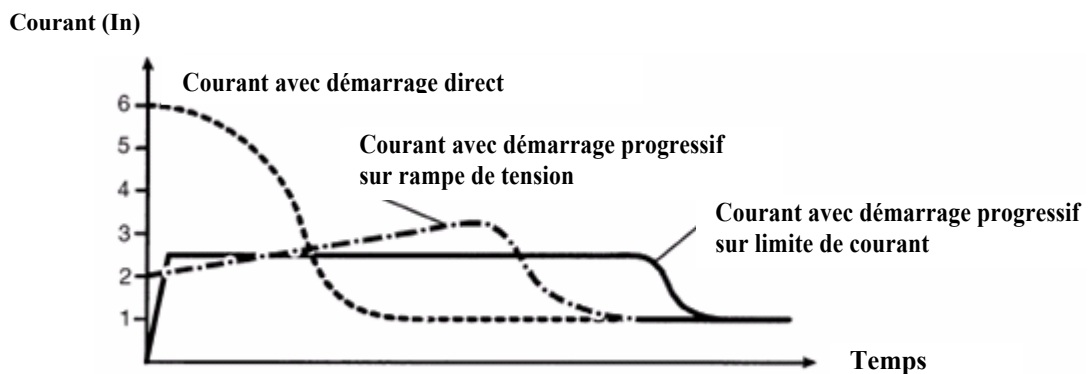


Figure IV -5 : Courbes de courant lors de l'accélération

Le courant augmente selon une certaine rampe jusqu'à la valeur maximale définie et il redescend à la valeur I_n en atteignant la vitesse nominale du moteur. Le moteur ne peut ainsi tirer qu'un certain courant de démarrage. Cette méthode de démarrage est souvent demandée par les distributeurs d'électricité dans les cas où un gros moteur (aération du foin, pompe) doit être connecté au réseau. [13]

IV -3-3 Couples :

Ce graphique montre les différents couples du moteur pour démarrage direct, démarrage progressif sur rampe de tension et sur limite de courant. [13]

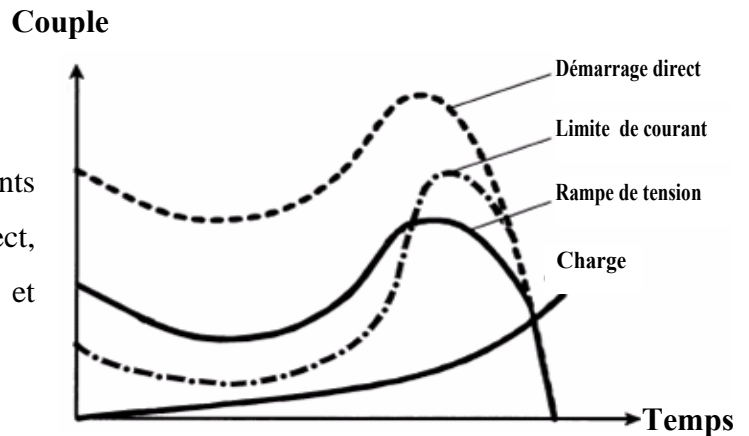


Figure IV -6 : Courbes de couple

IV -4 Types de démarreurs progressifs

La différence entre les différents types de démarreurs progressifs réside dans la construction de la partie puissance et la caractéristique de commande.

Comme déjà expliqué, le démarreur progressif est basé sur le principe du découpage de phase. Au moyen d'un thyristor, il est possible de n'appliquer qu'une partie de la tension au moteur, en coupant la demi alternance sinusoïdale.

Le thyristor ne laisse passer le courant que dans une direction. Un second semi conducteur polarisé en sens contraire conduisant le courant négatif (semi-conducteur monté tête-bêche) est donc nécessaire.

On différencie les démarreurs progressifs selon les deux critères suivants :

1. Nombre de phases commandées.

Une phase (démarreur progressif commandé sur une phase), deux phases (démarreur progressif commandé sur deux phases) ou trois phases (démarreur progressif commandé sur trois phases).

2. Types du second semi-conducteur polarisé inversement.

Si on choisit une diode, on parle alors d'un démarreur progressif commandé par demi alternance.

Si on choisit un thyristor, on parle alors d'un démarreur progressif commandé par alternance complète.

Comme les différents types influencent différemment la tension et le courant, on peut expliquer au moyen des trois schémas de principe qui suivent :

IV -4-1 Démarreur progressif commandé par alternance complète sur une phase

Dans le démarreur commandé sur une phase, le découpage de phase est réalisé sur une phase au moyen de deux thyristors placés tête-bêche (**phase L2**). Les phases **L1** et **L3** sont directement connectées au moteur.

Dans les phases **L1** et **L3**, lors du démarrage, circule toujours un courant de 6 fois le courant nominal du moteur. Il est possible de diminuer le courant à **3 fois** le courant nominal, seulement dans la phase commandée. [9]

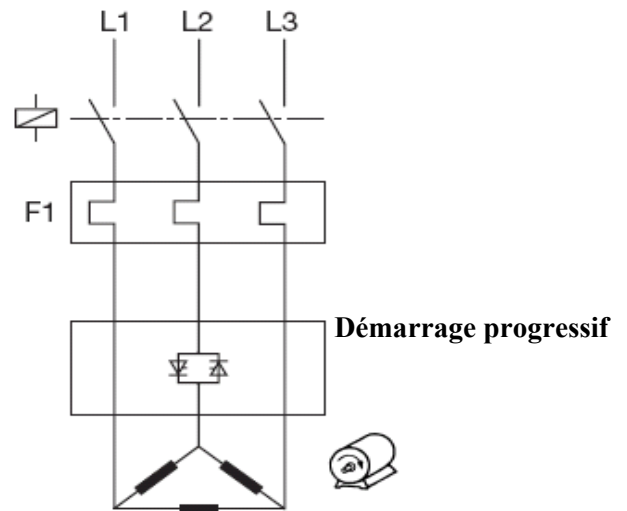


Figure IV -7 : Commande sur une phase

En comparant cette méthode avec le démarrage direct, on constate que le temps d'accélération est plus long mais que le courant moteur I_{eff} . N'est pas considérablement réduit. La conséquence est que le même courant environ que pour le démarrage direct circule à travers le moteur. Ce qui fait que le moteur s'échauffe. Comme une seule phase est découpée, le réseau est chargé asymétriquement pendant la phase de démarrage. Cette méthode correspond à la commutation classique.

Les démarreurs commandés sur une et deux phases sont principalement utilisés dans les domaines de puissances allant jusqu'à **5,5 kW** maximum. Ils sont seulement appropriés pour éviter les chocs mécaniques dans le système. Le courant de démarrage du moteur à courant alternatif n'est pas diminué avec cette méthode. [9]

IV-4-2 Démarreur progressif commandé par demi alternance sur trois phases :

Dans le démarreur progressif commandé par demi alternance sur trois phases, le découpage de phase est appliqué sur les trois phases. Comme semi-conducteur de puissance, un thyristor est monté tête-bêche avec une diode. Le découpage de phase se fait donc uniquement en demi alternance (commande par demi alternance). Ainsi, la tension n'est diminuée que lors de la demi alternance,

lorsque le thyristor est conducteur. Lors de la deuxième demi alternance, lorsque la diode est conductrice, la tension réseau entière est appliquée au moteur.

Dans la demi alternance non commandée (diode) les pointes de courant sont plus grandes que dans la demi alternance commandée. Les oscillations harmoniques ainsi générées entraînent un échauffement supplémentaire du moteur.

Comme les pointes de courant dans la demi alternance non commandée (diode) et les oscillations harmoniques conséquentes sont critiques pour des grandes puissances, les démarreurs progressifs commandés par demi alternance ne sont utilisables efficacement que jusqu'à environ **45 kW**. [9]

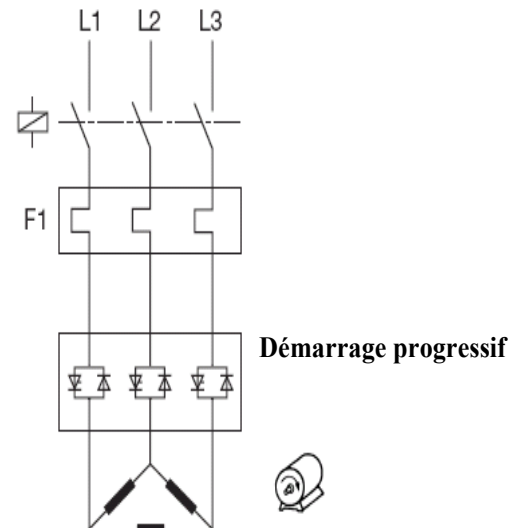


Figure IV -8 : Commande par demi alternance

IV -4-3 Démarreur progressif commandé par alternance complète sur trois phases

Dans ce type de démarreur, le découpage de phase se fait sur les trois phases. Comme semi-conducteur de puissance on utilise deux thyristors montés tête-bêche. La tension de phase est ainsi découpée dans les deux demi alternances (commande alternance complète). A cause des oscillations harmoniques créées lors du découpage de phases, le moteur, par contre, est thermiquement plus sollicité avec le démarrage progressif qu'avec le démarrage direct.

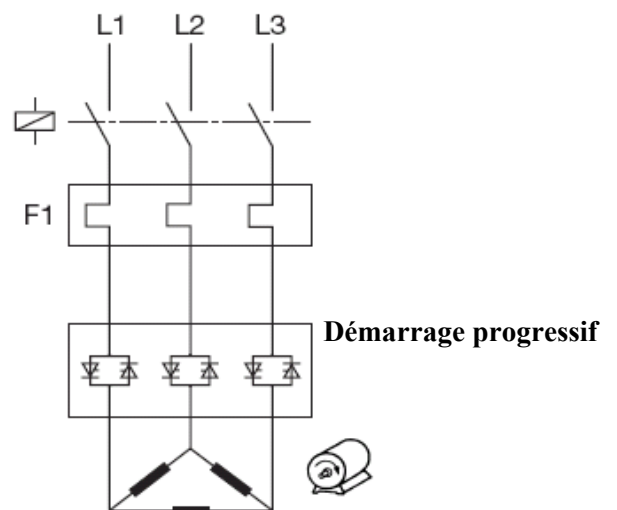


Figure IV -9 : Commande par alternance complète

Les démarreurs progressifs commandés par alternance complète sur trois phases sont utilisés pour des puissances allant jusqu'à environ 630 kW. [9]

IV -5 Charge thermique lors du démarrage

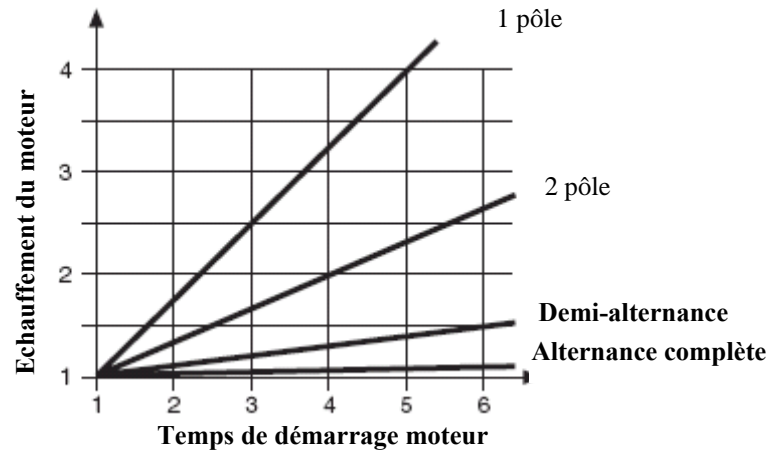


Figure IV -10 : Echauffement moteur

Ce graphique montre l'influence des différents types de démarreurs progressifs sur l'échauffement supplémentaire du moteur par rapport au démarrage direct.

Le point 1/1 représente l'échauffement du moteur après le démarrage direct. Sur l'axe X se trouve le coefficient de multiplication du temps de démarrage et sur l'axe Y le coefficient de multiplication de l'échauffement du moteur. Si par exemple on double le temps de démarrage par rapport au démarrage direct,

- L'échauffement du moteur est multiplié par **1,75** pour le démarreur progressif commandé sur une phase
- L'échauffement du moteur est multiplié par **1,3** pour le démarreur progressif commandé sur deux phases
- L'échauffement du moteur est multiplié par **1,1** pour le démarreur progressif commandé par demi alternance
- On ne constate pratiquement aucun échauffement supplémentaire pour le démarreur progressif commandé par alternance complète

Pour des temps de démarrage plus longs et pour des grandes puissances, seul le démarreur progressif commandé par alternance complète est applicable. [8]

IV -6 Avantages du démarreur progressif

Les caractéristiques d'un démarreur progressif, ont des avantages nous les allons citer :

- Grâce au démarrage lent, le démarreur progressif ménage le moteur et la machine.
- Le courant de démarrage est réduit ou peut être limité.
- Le couple est adapté à la charge correspondante.
- Pour les pompes, les ondes de pression au démarrage et à l'arrêt sont évitées.
- Les mouvements de retour et les chocs pouvant perturber un processus sont évités.
- L'usure des courroies, chaînes, entraînements et paliers est diminuée.
- Grâce aux différentes possibilités de commande, l'automatisation est facilitée.

On distingue deux différents types des avantages, avantages mécanique et électriques :

IV-6-1 Avantages mécaniques

Avec un démarrage direct, le moteur développe un couple de démarrage très important.

Normalement les valeurs des couples de démarrage sont de **150 à 300%** celles du couple nominal. Selon le type de démarrage et à cause du fort couple de démarrage, la mécanique de l'entraînement peut être sollicitée exagérément ("contrainte mécanique"), ou bien le processus de fabrication est perturbé par des chocs et des à-coups inutiles.

- Grâce à la mise en oeuvre d'un démarreur progressif, on évite les chocs subis par les parties mécaniques de la machine.
- La caractéristique de démarrage peut être adaptée à l'utilisation (par exemple commande de pompe).
- Câblage moteur facilité (seulement **3** conducteurs).

IV-6-2 Avantages électriques :

Le démarrage d'un moteur à courant alternatif entraîne dans le réseau des appels de courant importants (**6 à 7** fois le courant nominal). Il peut en résulter d'importantes chutes de tension qui perturbent les autres utilisateurs connectés sur ce réseau. Les distributeurs d'électricité imposent donc des limites pour les courants de démarrage des moteurs.

- Avec un démarreur progressif, il est possible de limiter le courant de démarrage du moteur, pour autant qu'un couple de démarrage élevé ne soit pas nécessaire.
- Les charges sur le réseau sont alors diminuées.
- Diminution éventuelle des frais de connexion au réseau.
- Dans de nombreux cas, une limitation du courant de démarrage est imposée par le distributeur d'électricité; les prescriptions correspondantes sont ainsi respectées. **[10]**

IV-7 Possibilités de mise en œuvre :

Les applications types sont :

- Ponts roulants, convoyeurs, mécanismes de roulement
- Mélangeurs, moulins, broyeurs
- Pompes, compresseurs, ventilateurs
- Entraînements avec réducteurs, chaînes, courroies, accouplements

Pompes :

Grâce à une commande spéciale de pompe, il est possible d'éliminer les chocs de pressions qui se produisent au démarrage et à l'arrêt.

Compresseurs :

Pour les compresseurs, lors d'un démarrage étoile triangle, la vitesse peut chuter à la commutation. Avec un démarreur progressif, on obtient un démarrage continu sans chute de vitesse.

Moteurs monophasés :

Si on veut exploiter un moteur monophasé avec un démarreur progressif, on peut utiliser un démarreur progressif commandé par alternance complète sur une phase.

En général :

Pour des raisons économiques, le démarreur progressif remplace avantageusement la commutation étoile triangle pour les entraînements de grande puissance. Avant tout, pour les applications avec des démarrages en charge (lorsque la charge ne peut pas être raccordée après l'accélération), il est préférable d'utiliser le démarrage progressif à la place de la commutation étoile triangle. [13]

IV-8 Convertisseur de fréquence

IV-8-1 Généralités

L'industrie exige des vitesses de production toujours plus élevées et des procédés plus efficaces sont couramment développés pour des installations de production toujours plus performantes. Les moteurs électriques sont des éléments importants de ces installations.

Pour cette raison, différentes méthodes pour faire varier la vitesse des moteurs asynchrones à courant alternatif ont été développées. La plupart de ces méthodes impliquent de grandes pertes de puissance ou des investissements importants. Avec le développement des convertisseurs de fréquence les moteurs à courant alternatif conventionnels peuvent être utilisés avantageusement pour des vitesses variables.

Un convertisseur de fréquence est un appareil électrique qui, en transformant la fréquence et la tension en grandeurs variables, commande la vitesse des moteurs à courant alternatif. Le moteur peut fournir alors un couple élevé à toutes les vitesses. [11]

IV-8-2 Construction:

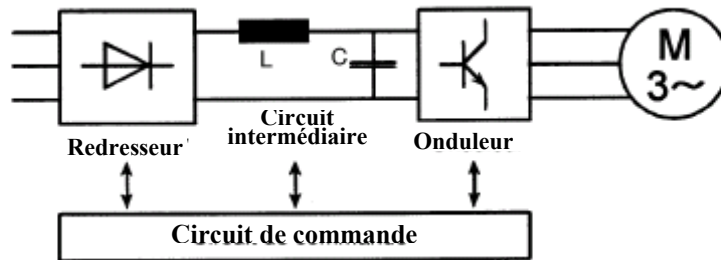


Figure IV -11 : Principe de construction

Le convertisseur de fréquence peut être subdivisé en trois parties principales.

Le redresseur :

Le redresseur est raccordé au réseau de courant alternatif et il fournit une tension continue pulsée.

Circuit intermédiaire :

Le circuit intermédiaire stocke et lisse la tension continue pulsée.

Onduleur :

A partir de la tension continue, l'onduleur génère de nouveau un courant alternatif, avec la fréquence et la tension voulues. Le moteur est connecté à la sortie de l'onduleur.

Circuit de commande :

L'électronique du circuit de commande peut recevoir et envoyer des signaux de, et en direction du redresseur, du circuit intermédiaire et de l'onduleur. Les signaux sont générés et exploités par un microprocesseur intégré dans l'appareil. [11]

IV-8-2-1 Redresseur de tension réseau :

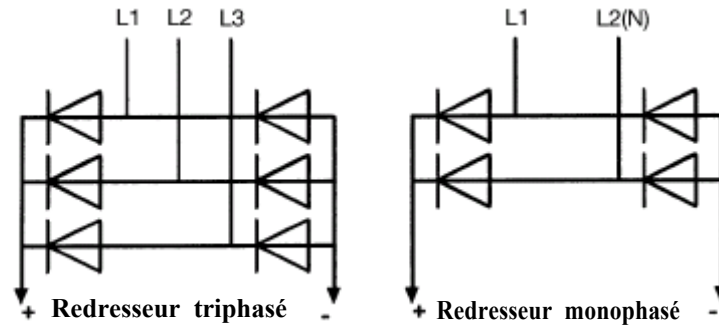


Figure IV -12 : Redresseurs de tension réseau

Le redresseur se compose d'un circuit en pont qui redresse la tension du réseau. La tension continue ainsi produite correspond toujours à la valeur de pointe de la tension de réseau connectée ($U_e \times \sqrt{2}$).

La grande différence entre un circuit en pont monophasé et un circuit en pont triphasé est la tension continue pulsée engendrée. Dans la pratique, pour des raisons de coût, on préfère la version monophasée pour des entraînements de petite puissance (jusqu'à environ **2,2 kW**). Pour des puissances plus importantes, cette version n'est pas appropriée pour les raisons suivantes :

Le pont monophasé représente une charge pour le réseau.

L'ondulation de la tension continue est beaucoup plus importante que pour l'exécution triphasée. Pour cette raison, le condensateur du circuit intermédiaire doit être plus fortement dimensionné.

Le redresseur du convertisseur de fréquence comprend soit des diodes, soit des thyristors. Le redresseur avec diodes est appelé un redresseur à commutation naturelle et celui avec des thyristors, un redresseur à commutation forcée. Les ponts avec diodes sont utilisés pour des puissances de moteur allant jusqu'à environ **22 kW**. [11]

- *Représentation de principe de la tension continue pulsée :*

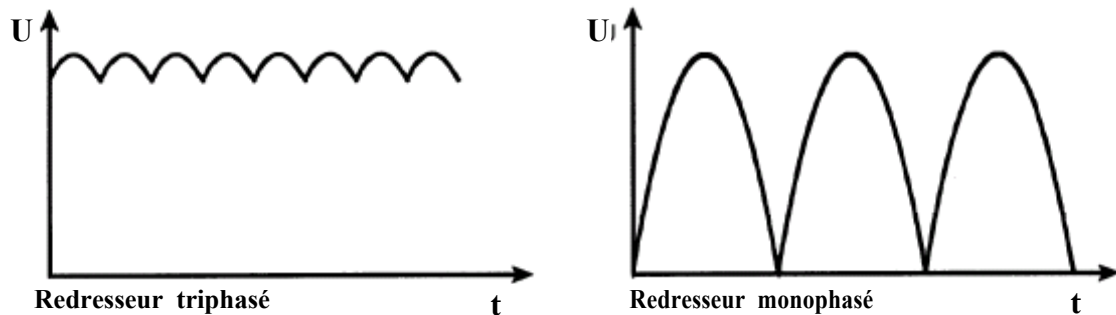


Figure IV -13 : Redresseurs de tension réseau

IV-8-2-2 Circuit intermédiaire

Le circuit intermédiaire peut être considéré comme un accumulateur dans lequel le moteur puise son énergie, en passant par l'onduleur. Le condensateur C du circuit intermédiaire stocke l'énergie côté réseau, ce qui nécessite une capacité importante. [1]

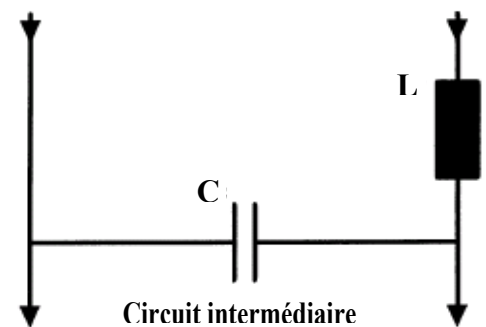


Figure IV -14 : Circuit intermédiaire courant continu

Le moteur connecté au convertisseur de fréquence soutire l'énergie du circuit intermédiaire, ce qui décharge partiellement le condensateur. La décharge du condensateur ne peut se produire que si la tension du réseau est plus élevée que la tension du circuit intermédiaire. L'énergie est ainsi tirée du réseau lorsque la tension du réseau est au voisinage de son maximum. Des pointes de courant sont générées et elles s'additionnent avec plusieurs convertisseurs de fréquence connectés en parallèle. Pour cette raison, pour des puissances plus grandes (à partir d'environ **5,5 kW**), une self est montée dans le circuit intermédiaire. Cette self sert à réduire la durée de flux du courant du côté réseau et elle diminue ainsi les pointes de courant. [11]

IV-8-2-3 Onduleur:

L'onduleur est le dernier élément du convertisseur de fréquence avant le moteur. (Pour des entraînements avec plusieurs moteurs, une protection supplémentaire avant le moteur est nécessaire). Il change le courant continu en courant alternatif avec une fréquence et une tension variables.

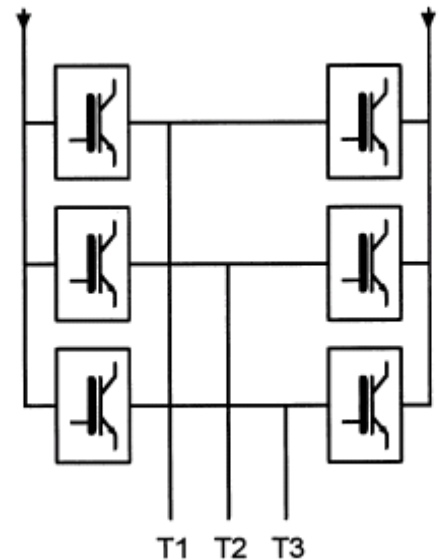


Figure IV -15 : Onduleur IGBT

Différents semi-conducteurs de puissance sont utilisés : **GTO** (Gate Turn Off Thyristor – thyristor blocable), **FET** (Field Effect Transistor - transistor à effet de champ), **IGBT** (Insulate Gate Bipolar Transistor – transistor bipolaire à grille isolée). Les convertisseurs de fréquence modernes sont équipés la plupart du temps avec des transistors **IGBT**. La nouvelle génération de ces semi-conducteurs permet de gérer des puissances allant jusqu'à environ **350 kW**.

Comment peut-on maintenant passer d'un réseau de tension continue à un réseau de tension alternative avec tension et fréquence variables? Les éléments de construction de l'onduleur travaillent comme des commutateurs (commandés par microprocesseur) et selon la fréquence, ils commutent la tension négative et la tension positive sur les enroulements des moteurs. La variation de fréquence et de tension se fait dans la plupart des convertisseurs de fréquence avec la modulation d'impulsions en durée **MID (MLI)**. [11]

- Représentation de principe de la modulation d'impulsions en durée

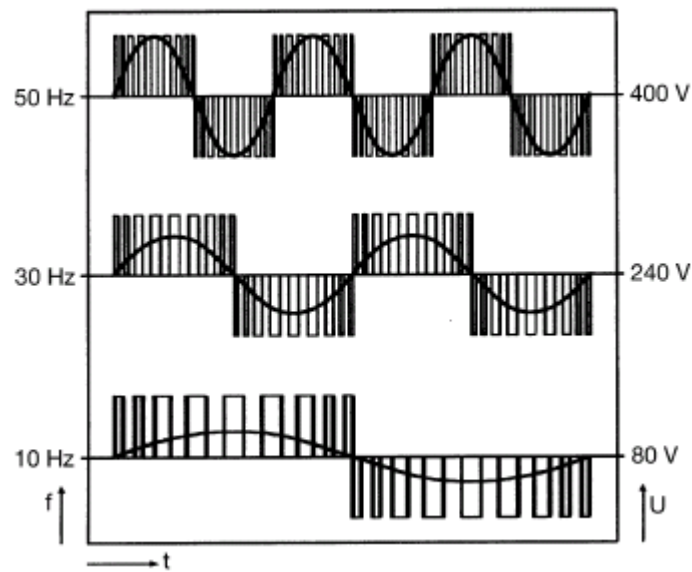


Figure IV -16 : Modulation d'impulsions en durée

IV-8-3 Relation fréquence - tension

En raccordant directement le moteur au réseau d'alimentation, on obtient les relations de fonctionnement idéales pour le moteur. En faisant varier la tension, le convertisseur de fréquence garantit une bonne approche de ces relations. [10]

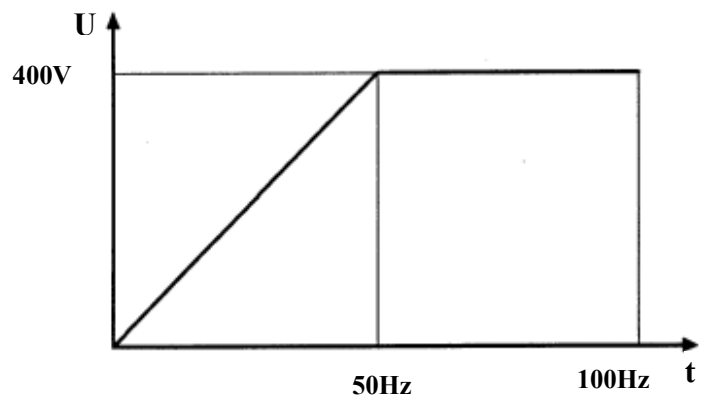


Figure IV -17 : Caractéristique U/f

En standard, il y a une caractéristique U/f de 0 à 50 Hz, resp. 400 V. Lorsque la fréquence augmente à plus de 50 Hz la tension n'augmente plus (tension du réseau). Le moteur ne peut pas développer la puissance nominale et il ne peut donc plus être sollicité à pleine charge.

Pour que la fréquence limite (normalement **50 Hz**) soit plus élevée, le moteur doit être dimensionné autrement.

230V - 50 Hz et **380 V - 87 Hz** sont des rapports tension – fréquence normalisés. Le moteur peut ainsi travailler avec la puissance nominale jusqu'à **87 Hz**. [10]

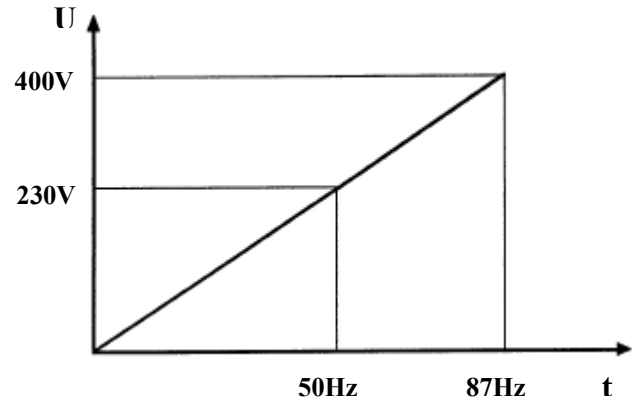


Figure IV -18 : Caractéristique U/f

IV-8-4 Avantages du convertisseur de fréquence

Economie d'énergie :

L'énergie est économisée car le moteur tourne avec une vitesse correspondant à son besoin momentané. Ceci est particulièrement valable pour les pompes et les ventilateurs. La consommation de courant est également moindre pour une vitesse plus faible et un couple plus élevé.

Optimisation des processus :

L'adaptation de la vitesse au processus de production apporte plusieurs avantages tels que production efficace et utilisation optimale des installations. La vitesse peut être adaptée de manière optimale à des conditions spéciales.

Fonctionnement souple du moteur :

Le nombre de démarrages et d'arrêts est réduit. On évite ainsi une sollicitation importante inutile des pièces mécaniques.

Frais d'entretien réduits :

Le convertisseur de fréquence ne nécessite aucun entretien.

Environnement de travail amélioré :

La vitesse d'un convoyeur peut être adaptée à la vitesse de travail. Des démarrages et des arrêts plus lents évitent que les produits transportés soient éjectés de la bande. [8]

IV-9 Choix du mode de démarrage

Le choix du mode de démarrage est conditionné par la bonne adéquation entre le couple moteur et le couple résistant de la charge.

Il nécessite la connaissance du couple résistant (. fig. IV -19).

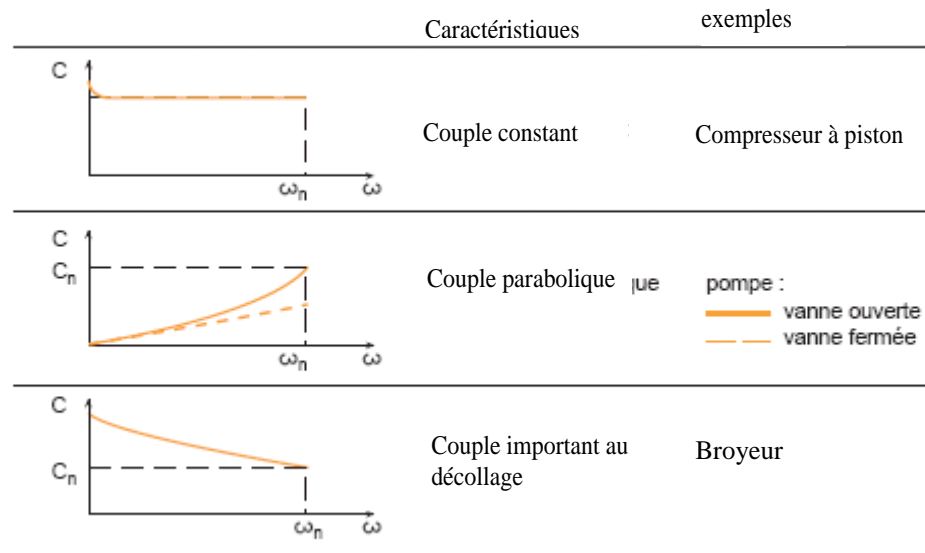


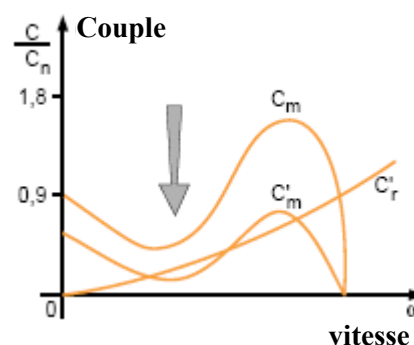
Figure IV -19 : rappel des courbes de couple résistant des machines à entraîner (charges).

IV-9-1 Conditions de démarrage

Compte tenu des caractéristiques du démarrage souhaité, il faut vérifier pour les types de démarrage envisagés que le démarrage peut effectivement avoir lieu dans de bonnes conditions au niveau du couple moteur, de l'appel de courant et de la durée de démarrage :

- Le couple moteur reste toujours supérieur au couple résistant (. fig. IV -20).
- L'appel de courant sur le réseau et la chute de tension correspondante sont admissibles par le réseau,
- Le temps de démarrage est compatible avec les matériels utilisés.

Figure IV -20 : cas de non démarrage.



IV-9-2 Tableau de choix du mode de démarrage

Le tableau résume les avantages et inconvénients des principaux modes de démarrage pour les différentes applications.

Pour un couple déterminé, l'intensité absorbée sur le réseau s'établit dans l'ordre croissant suivant :

- démarrage rotorique.
- démarrage par autotransformateur.
- démarrage par résistance statorique.
- démarrage direct.

Le choix d'un mode de démarrage nécessite une bonne communication entre le fournisseur d'énergie électrique, le constructeur du moteur et de la machine entraînée.

Les caractéristiques indispensables à ce choix sont :

- la puissance du réseau d'alimentation et l'appel de courant maximal autorisé,
- le couple et l'intensité du moteur à pleine tension en fonction de la vitesse de rotation,
- le couple résistant de la machine entraînée (fig. IV -19).
- le moment d'inertie des masses tournantes. [8]

Tableau de choix du mode de démarrage dans les cas les plus courants.

Besoins de l'application	Caractéristiques de l'application	Mode de démarrage	Avantages inconvénients
Process permanent ou quasi- permanent Démarrage < 1/ jour	Machine nécessitant un fort couple de démarrage	Direct	Simplicité, investissement réduit au démarrage :
Démarrage Fréquents > 1/ jour	Machine a faible appel de courant ou de faible puissance	Direct	-couple important -appel de courant important - fortes contraintes mécaniques
Pompes, ventilateurs compresseur Démarrages Fréquents	Machine démarrant sous faible couple	Statorique par réactance	Réduction et de l'appel de courant au démarrage (ajustage possible)
Optimisation des caractéristiques de démarrage	Lorsque l'intensité au démarrage doit être réduit tout en conservant le couple nécessaire au démarrage	Statorique par autotransformateur	Optimisation de couple (réduit) et de l'appelle de courant au démarrage (ajustage possible)
Optimisation des caractéristiques de démarrage de fort couple	Démarrages les plus difficiles	rotorique	Faible appel de courant et fort couple de démarrage

IV-9-3 Tableau comparatif des différents modes de démarrage des moteurs asynchrone triphasé : [8]

	Démarrage direct	Démarrage étoile triangle	Démarrage statorique	Démarrage par autotransformateur	Démarrage rotorique	Démarrage multi vitesses	Démarreur électronique	
							Démarreur progressif	convertisseur de fréquence
Réseau	fort	faible	moyen	Faible à moyen	moyen	Faible à moyen	Faible à moyen	Faible
Charge lors du démarrage	pleine	faible	Faible à moyenne	Faible à moyenne	Faible à moyenne	Moyenne à pleine	Faible à moyenne	Faible à moyenne
Courant de démarrage	100%	33%	50%	40/65/80%	70%	Selon moteur et commutation	150 à 750%	
Surcharge en ligne	4 à 8 In	1.3 à 1.6 In	4.5 In	1.7 à 4 In	<2.5 In	Selon moteur et commutation	1 à 1.5 In	
Couple en % de Cd	100%	33%	50%	40/65/80%		Selon moteur et commutation	10 à 50% (50 à 100% en 100ms)	
Couple initiale au démarrage	0.6 à 1.5Cn	0.2 à 0.5Cn	0.6 à 0.85Cn	0.4 à 0.85Cn	0.4 à 0.85Cn	Selon moteur et commutation	< 2.5Cn	
Commande	T.O.R	T.O.R	1 cran fixe	3 crans fixe	De 1 à 5 crans		électronique	
Temps accélération pour démarrage	0.2...5s	2...15s	2...20s	2...20s	2...20s	0.2...10s	0.5...10s	0.5...10s
Avantages	-démarreur simple et économique -couple au démarrage important	-économiques -bon rapport couple/courant	-possibilités de réglages des valeurs au démarrage	-bon rapport couple/courant -possibilités de réglages des valeurs au démarrage	-très bon rapport couple/courant -possibilités de réglages des valeurs au démarrage	-il peut fournir un couple de démarrage et courant de démarrage plus faible	-démarrage sans à coup -montée progressive en vitesse -limitation de l'appel de courant au démarrage	
Inconvénients	-pointe de courant très importante -démarrage brutal	-couple de démarrage faible -coupure d'alimentation au changement de couplage -moteur 6 bornes	-faible réduction de la pointe de courant au démarrage -nécessite des résistances volumineuses	-nécessite un autotransformateur onéreux -présente les risques de réseau perturbé	-moteur à bague plus onéreux	-onéreux pour des puissances < à 75 KW	-prix -génère des perturbations -échauffement du variateur	
Domaines d'utilisation	Entraînements avec réseaux forts permettant couple de démarrage élevé	Machines démarrant à vide Ventilateur et pompes centrifuges de petite puissance	Machine à forte inertie sans problèmes particuliers de couple et de courant au démarrage	Machine de forte puissance ou de forte inertie, dans les cas au la réduction de la pointe de courant est un critère important.	Machines démarrant en charge a démarrage progressif	Principalement pour fonctionnement dépende de la vitesse	Démarrage qui nécessitent des variations de couple douces et réglables (ou diminutions de courant)	-Principalement pour fonctionnement avec vitesse réglable. Remplace également démarrage progressif pour petites puissances

IV-10-Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé une étude sur les démarreurs électronique et les différents leurs types. Nous avons également cité un tableau puis résumé les avantages les inconvénients de chaque procédé et leur différents application.