

INTRODUCTION

Les caractéristiques d'une machine électrique sont fournies par son constructeur pour une utilisation continue permettant d'atteindre l'équilibre thermique (correspond au service type1, comme un exemple). En principe, les moteurs triphasés à induction en service continu sont spécialement conçus pour tourner à la puissance nominale. Certains moteurs ne fonctionnent que pendant une brève période, d'autres tournent toute la journée mais avec une faible charge, et de nombreux moteurs doivent accélérer de fortes inerties ou sont freinés électriquement. Dans tous ces divers types de service, un moteur ne chauffe pas comme en cas de service continu. Par conséquent, tous ces processus spécifiques d'échauffement doivent être pris en compte pour éviter ainsi une surcharge qui endommagerait les enroulements du moteur.

II.1. TYPES DE SERVICES PRINCIPAUX : S1...S9 ;

La plupart des moteurs fonctionnent souvent en service non continu. Pour des raisons de conception et d'exploitation, les informations sur le type de service doivent être aussi précises . Les types de services possibles sont théoriquement illimités, le service des moteurs est indiqué sur la plaque signalétique. il indique le cycle de fonctionnement d'un moteur, correspondant à sa puissance nominale , pour permettre aux fabricants et aux opérateurs de parvenir à un accord complet, neuf principaux types de services, de S1 à S9, sont identifiés dans **la norme CEI 34**.

A l'opposé, si un moteur doit entraîner une charge de sur une durée très courte, avec très peu de démarrages à l'heure, la machine aura suffisamment de temps de refroidir entre chaque cycle, on pourra donc sous dimensionner le moteur pour un moindre coût à l'achat. La plupart des cas qui se présentent dans la pratique peuvent être ramenés à l'un de ces types de service :

- S1 : Service continu.
- S2 : Service temporaire.
- S3 : Service périodique intermittent sans démarrage.
- S4 : Service périodique intermittent avec démarrage .
- S5 : Service périodique intermittent à démarrage et freinage électrique .
- S6 : Service continu à charge intermittente .
- S7 : Service intermittent avec démarrage et freinage électrique.
- S8 : Service ininterrompu à variation périodique de charge /de vitesse.
- S9 : Service ininterrompu à variations non périodiques de charge /de vitesse.

Les descriptions et les diagrammes concernant les types de service de S1 à S9 présentent les symboles ci-après :

P	= puissance en kW	t_{Br}	= temps de freinage en s, min
P_v	= pertes en kW	t_L	= temps de fonctionnement à vide en s, min, ou h
n	= vitesse/min	t_r	= facteur de service relatif (%)
ϑ	= température en °C	t_S	= durée du cycle en secondes
ϑ_{max}	= temp. maximum en °C	t_{St}	= temps d'inactivité en s, min, ou h
t	= temps en s, min, ou h	T	= constante de temps thermique en min
t_B	= période de charge	t_A	= temps de démarrage en s, min
J_M	= moment d'inertie du moteur en kgm^2		
J_{ext}	= moment d'inertie de la charge par rapport à l'arbre moteur kgm^2		

II.1.1 Service continu S1

Mode de fonctionnement à charge constante, comme l'indique la Figure II.1, avec un temps suffisant pour que l'équilibre thermique soit atteint. La période de charge t_B est nettement supérieure à la constante de temps thermique T .

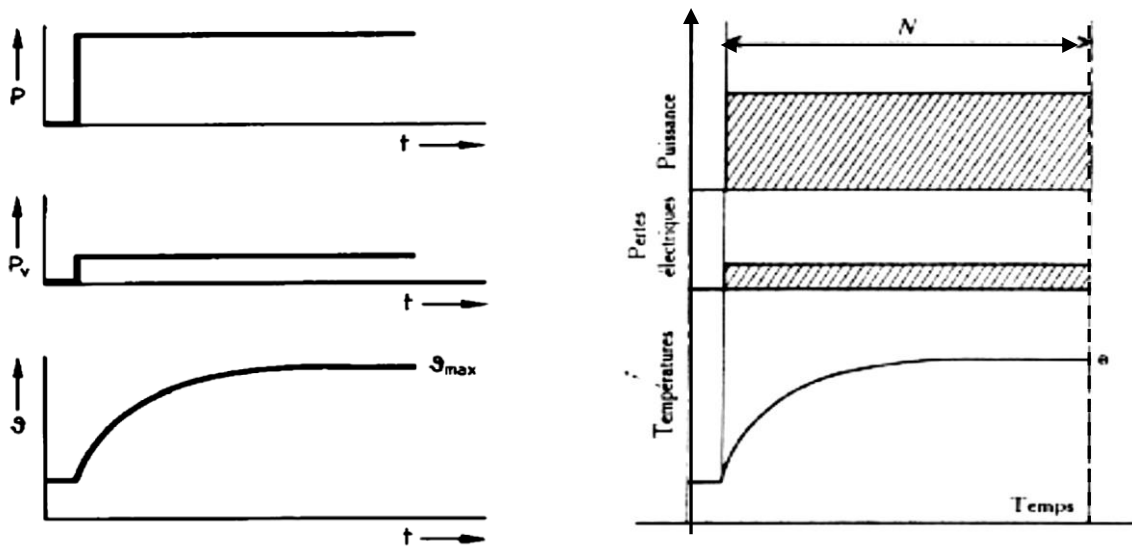


Figure II.1 Type de service S1: service continu

Avec :

- ❖ N = fonctionnement à charge constante.
- ❖ ϑ_{max} = température maximale atteinte.

II.1.2 Service temporaire S2

Fonctionnement à charge constante pendant un temps déterminé, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un repos d'une durée suffisante pour rétablir à 2 C^0 , après l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement (voir figure II. 2).

On parle de service temporaire, s'il affiche une période de charge de $t_B \leq 3 T$ (constante de temps thermique). Par rapport au service continu, le moteur doit fournir plus de puissance au cours de la période de charge.

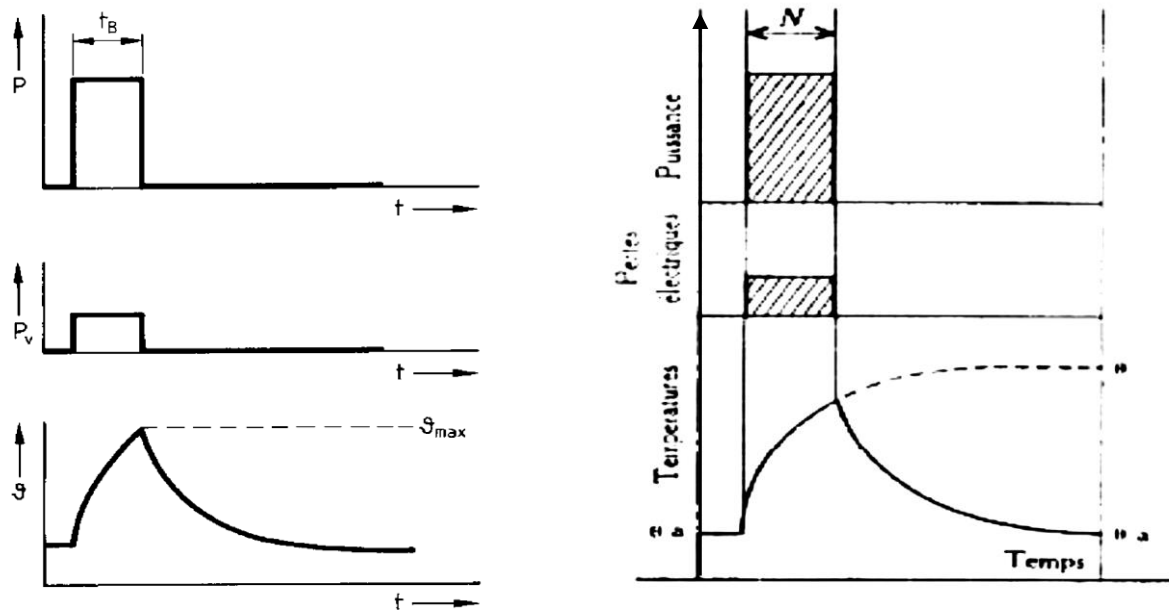


Figure II.2 Type de service S2: service temporaire

II.1.3 Service périodique intermittent sans démarrage S3

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante et une période de repos. Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative (voir figure II.3).

$$\text{Facteur de service relatif } t_r = \frac{t_B}{t_B + t_S} \cdot 100$$

t_B période de charge en s, min t_S = durée du cycle en s, min
 t_r = facteur de service relatif en %

Identification: en spécifiant la période de charge t_B , avec la durée du cycle t_S , et la puissance P , sans oublier de préciser le facteur de service relatif t_r en % et la durée du cycle.

- Exemple: S3: 15 min / 60 min. 11 kW
- Exemple: S3: 25%, 60 min. 11 kW

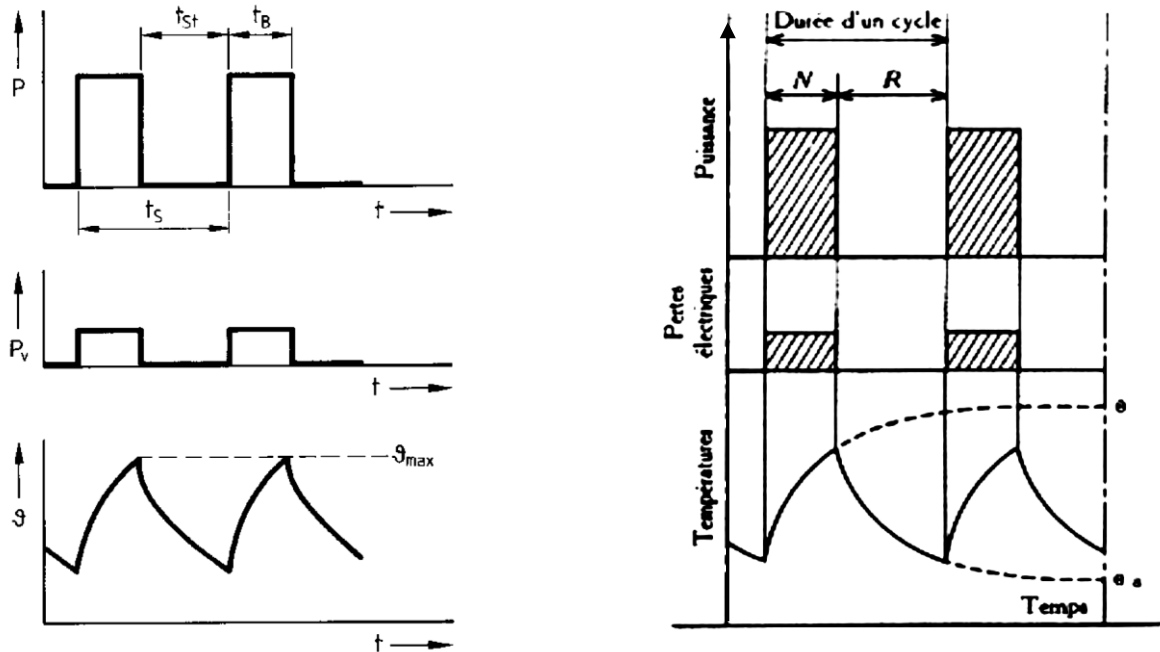


Figure II.3 Type de service S3: service périodique intermittent sans démarrage

II.1.4 Service périodique intermittent avec démarrage S4

Suite de cycles de service identiques comprenant une période appréciable de démarrage, une période de fonctionnement à charge constante et une période de repos (voir figure II. 4).

Avec une séquence de cycles de service identiques de la durée t_s , dont chacun comporte un temps de démarrage distinct t_A , un temps t_B à charge constante et temps sans charge t_{St} .

$$\text{Cycle de service relatif } t_r = \frac{(t_A + t_B) \cdot 100}{t_A + t_B + t_{St}} = \frac{t_A + t_B}{t_s} \cdot 100$$

t_A = temps de démarrage en s, min t_s = durée du cycle en s, min
 t_r = facteur de service relatif en % t_B = période de charge en s, min
 t_{St} = temps d'inactivité en s, min

Identification: en spécifiant le facteur de service relatif t_r en %, le nombre Z_L de démarrages/heure et la puissance P

- Exemple: S4: 25%, 500 démarrages/ heure, 11 kW
- et les informations relatives au moment d'inertie du moteur et à la charge J_M et J_{ext} au cours du démarrage.

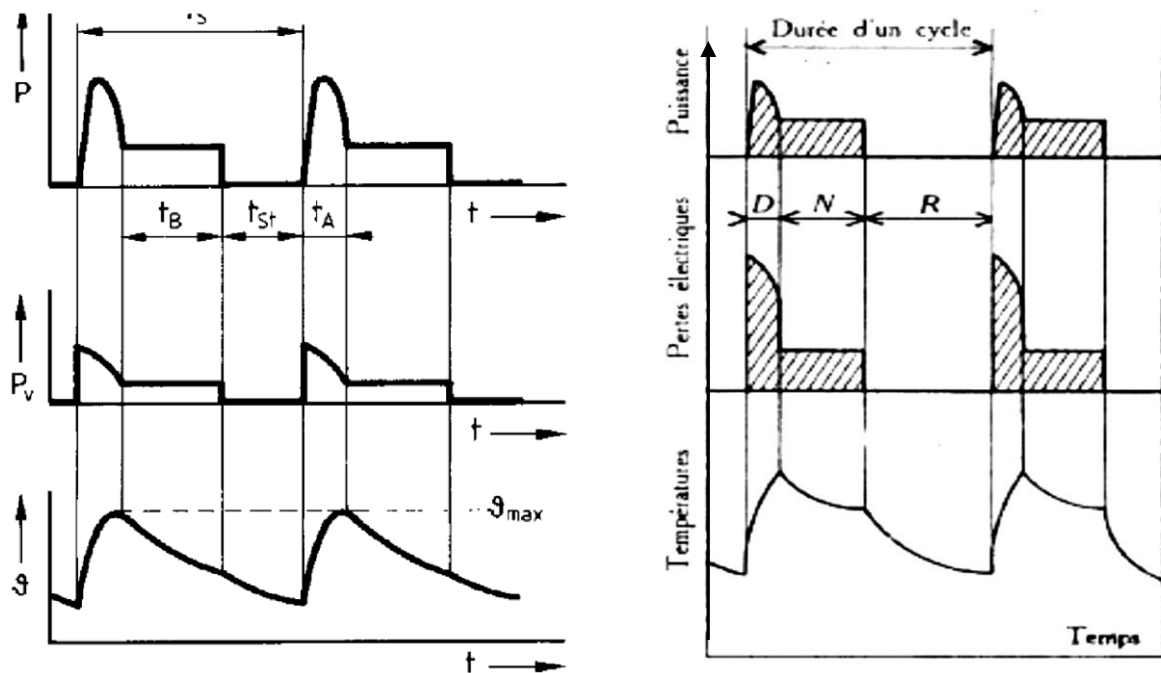


Figure II.4 Type de service S4: service périodique intermittent avec démarrage

II.1.5 Service périodique intermittent avec démarrage et freinage électrique S5

Suite de cycles de service périodiques t_s , comprenant chacun une période de démarrage t_A , une période de fonctionnement à charge constante t_B , avec une période de freinage électrique rapide t_{Br} , et une période de repos (voir figure II. 5).

$$\text{Facteur de service relatif } t_r = \frac{(t_A + t_B + t_{Br}) \cdot 100}{t_A + t_B + t_{Br} + t_{St}} = \frac{t_A + t_B + t_{Br}}{t_s} \cdot 100$$

t_A = temps de démarrage s, min

t_B = période de charge en s, min

t_s = durée du cycle en s, min

t_{St} = temps d'inactivité en s, min

t_r = facteur de service relatif en %

t_{Br} = temps de freinage en s, min

Identification: comme pour S4, mais il est nécessaire de spécifier le type de freinage (par inversion de phase, ou par récupération, etc.)

- En cas de doute et si les temps de démarrage et de freinage sont longs par rapport au temps de fonctionnement nominal, indiquer les trois intervalles de temps séparément.

- Exemple: S4: 25%, 500 démarrages/heure, freinage par inversion de phase, 11 kW

- Et des informations supplémentaires relatives au moment d'inertie du moteur et à la charge J_M et J_{ext} au cours du démarrage et du freinage.

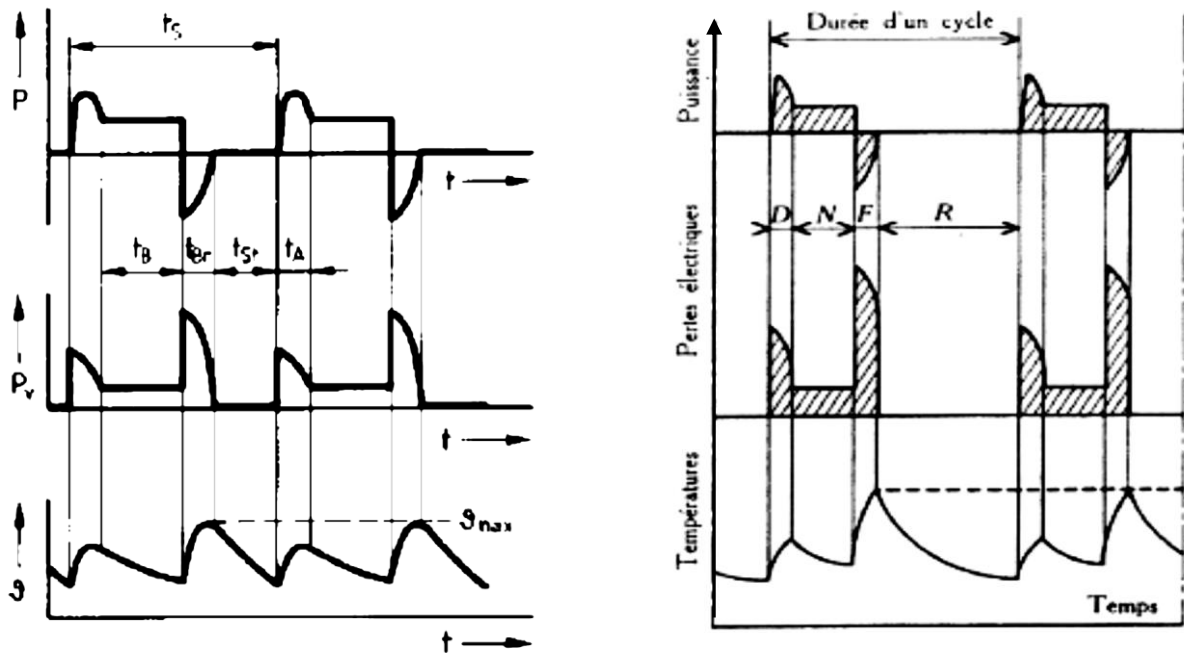


Figure II.5 Type de service S5: service périodique intermittent avec démarrage et freinage électrique.

Par rapport au service continu S1, une réduction de puissance est indispensable dans ce mode.

II.1.6 Service continu à charge intermittente S6

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure II.6, en une séquence de cycles de service semblables, de la durée t_s , dont chacun comprend un temps t_B à charge constante et un temps de fonctionnement à vide t_L , sans temps d'arrêt. Une fois le temps de fonctionnement t_B écoulé, le moteur continue de tourner à vide. Du fait des courants à vide, le moteur ne parvient pas à se refroidir jusqu'à la température d'équilibre mais il est ventilé pendant le temps de fonctionnement à vide t_L .

$$\text{Facteur de service relatif} \frac{t_B}{t_B + t_L} t_r = \cdot 100 = \frac{t_B}{t_s} \cdot 100$$

t_B = période de charge en s, min

t_L = temps de fonctionnement à vide en s, min

t_s = durée du cycle en s, min

t_r = facteur de service relatif en %

Identification: comme pour S3, en spécifiant le cycle de service t_B , la durée de cycle t_s , et la puissance P

- Exemple: S6: 25%, 40 min, 11 kW

- Si la durée de cycle n'est pas spécifiée la valeur, $t_s = 10$ min doit être appliqué.

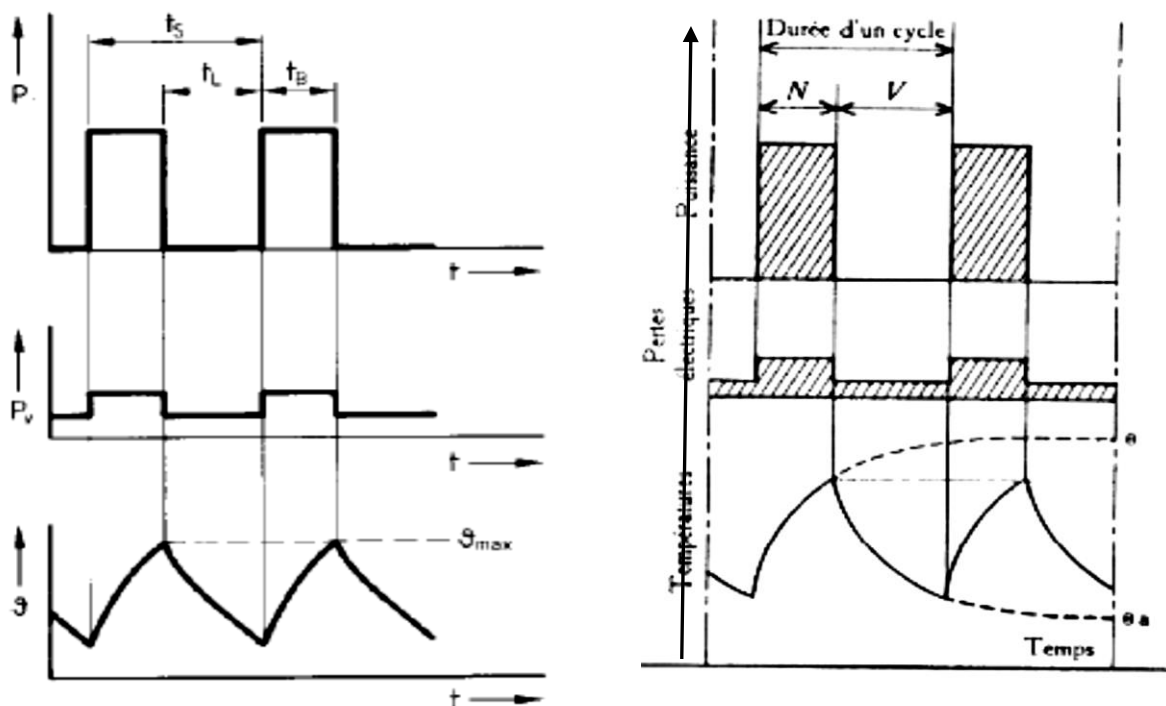


Figure II.6 Type de service S6: service continu à charge intermittente

Par rapport au service continu S1, il est possible de sélectionner une puissance plus élevée pendant le temps de fonctionnement t_B .

II.1.7. Service intermittent avec démarrage et freinage électrique S7

Suite de cycles de service identiques de la durée t_S , comprenant chacun une période de démarrage distinct t_A , un temps t_B période de fonctionnement à charge constante P , et un temps t_{Br} période de freinage électrique. Il n'existe pas de période de repos (voir figure II. 7).

Facteur de service relatif $t_r = 1$

Identification: comme pour S4, sans avoir à spécifier le facteur de service t_r , mais en précisant le type de freinage (par inversion de phase, par récupération, etc).

- En cas de doute et si les temps de démarrage et de freinage sont longs par rapport au temps de fonctionnement nominal, indiquer les trois intervalles de temps séparément.
- Exemple: S7: 500 cycles de service/heure, freinage par inversion de phase, 11 kW.
- Des informations supplémentaires relatives au moment d'inertie du moteur et à la charge J_M et J_{ext} au cours du démarrage et du freinage.

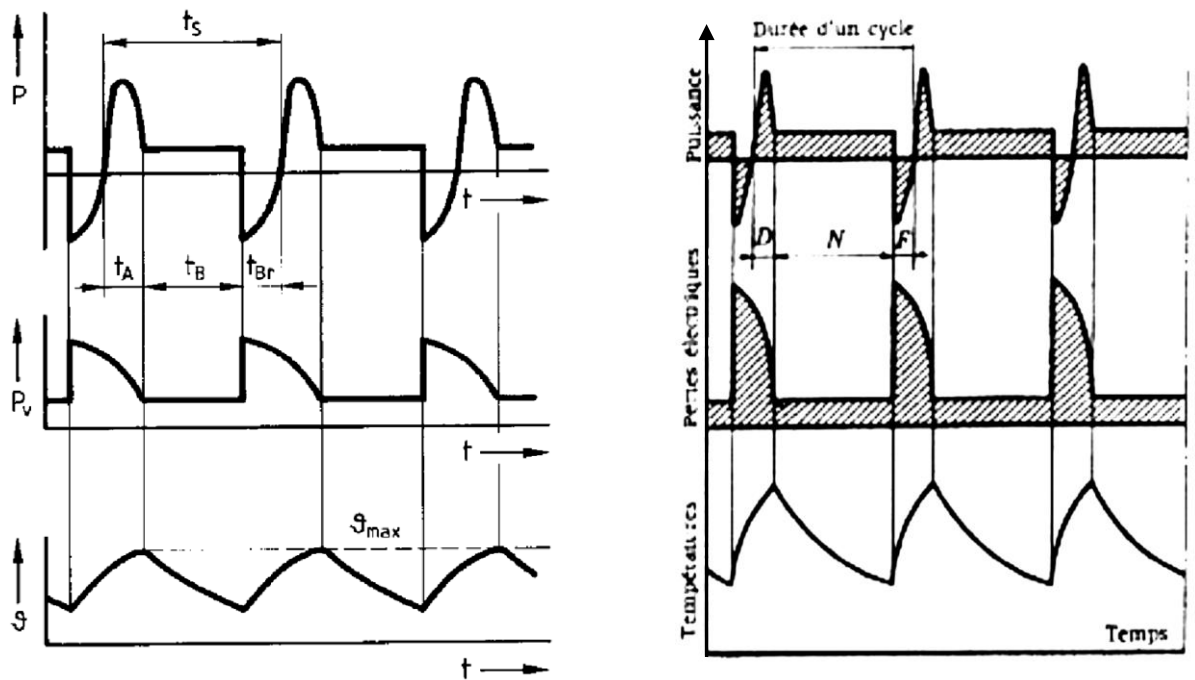


Figure II.7, Service intermittent à démarrage et freinage électrique S7

II.1.8 Service ininterrompu à variations périodiques de charge et de vitesse

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'une ou plusieurs périodes de fonctionnement à d'autres charges constantes correspondant à différentes vitesses de rotation (réalisées *par exemple* : par changement du nombre de pôles dans le cas des moteurs à induction), Il n'existe pas de période de repos.

Facteur de service relatif

$$t_{r1} = \frac{(t_A + t_{B1}) \cdot 100}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}} = \frac{t_A + t_{B1}}{t_S} \cdot 100$$

Facteur de service relatif

$$t_{r2} = \frac{(t_{Br1} + t_{B2}) \cdot 100}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}} = \frac{t_{Br1} + t_{B2}}{t_S} \cdot 100$$

Facteur de service relatif

$$t_{r3} = \frac{(t_{Br2} + t_{B3}) \cdot 100}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}} = \frac{t_{Br2} + t_{B3}}{t_S} \cdot 100$$

t_A = temps de démarrage s, min

t_S = durée du cycle en s, min

t_B = période de charge en s, min

t_r = facteur de service relatif in %

t_{Br} = temps de freinage en s, min

Identification: comme pour S5, mais il faut spécifier pour chaque vitesse le temps au cours duquel ces vitesses se produisent dans chaque période de cycle.

- Exemple: S8: 30%, 3000/m, 10 min, 1500/m 20 min. 2 cycles/ heure. 11 kW

- Des informations supplémentaires relatives au moment d'inertie du moteur et à la charge J_M et J_{ext} au cours du démarrage et du freinage.

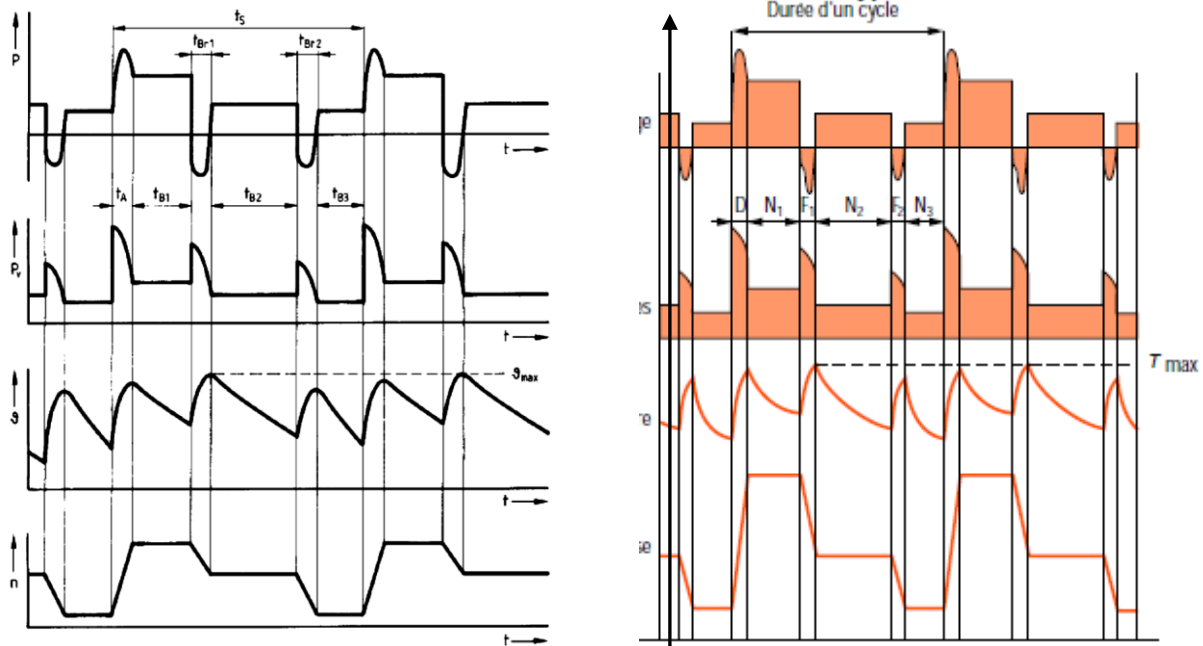


Figure II.8 Type de service S8: Service ininterrompu à variations périodiques de charge et de vitesse

Par rapport au service continu S1, une réduction de puissance est indispensable dans ce mode. Le calcul précis étant très complexe, il n'est possible que si le fabricant fournit des informations très détaillées.

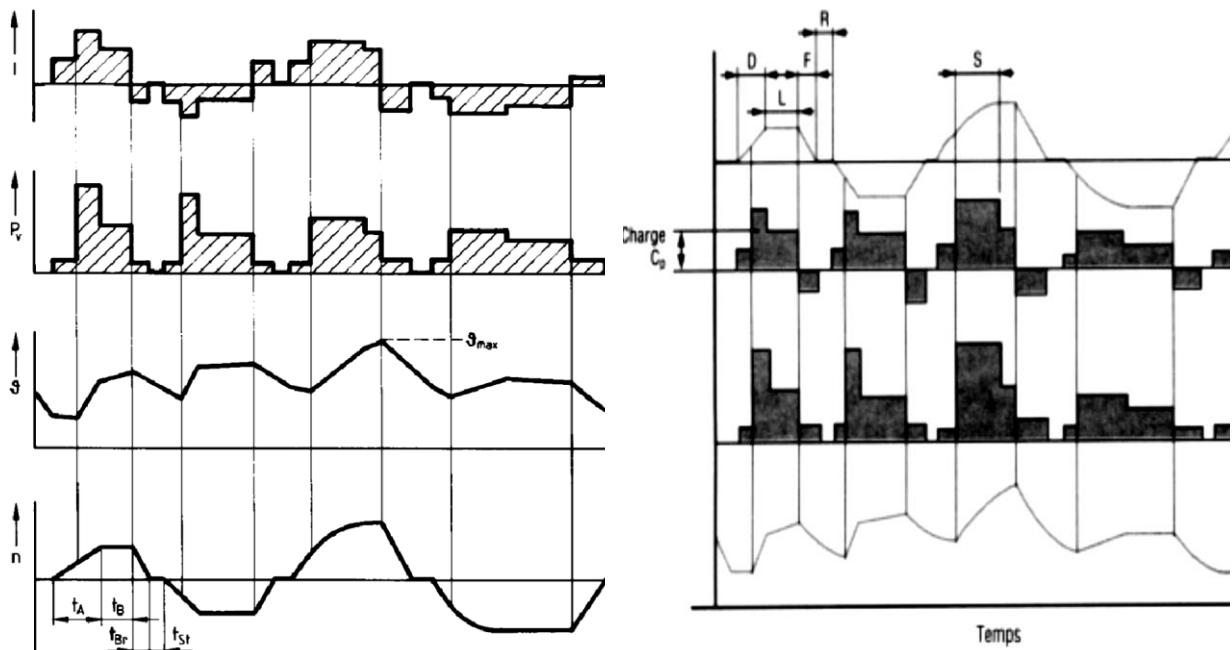
I.1.9 Service ininterrompu à variations non périodiques de charge et de vitesse S9

Service dans lequel généralement la charge et la vitesse ont une variation non périodique dans la plage de fonctionnement admissible. Ce service inclut fréquemment des surcharges appliquées qui peuvent être largement supérieures à la pleine charge (ou aux pleines charges). Pour ce service type, des valeurs appropriées à pleine charge devront être considérées comme bases du concept de surcharge.

Ce mode ne peut pas être exprimé en une seule formule. Il est nécessaire d'utiliser une charge continue appropriée comme référence pour le cycle de charge :

Identification: le fabricant et les utilisateurs conviennent habituellement une puissance continue équivalente ("equ") en lieu et place d'une charge qui varie en fonction des vitesses et d'un fonctionnement irrégulier y compris la surcharge.

Exemple: S9, 11 kW equ 740/min; 22 kW equ 1460/min



Fdm = 1. Calcul de P pour régime intermittent.

Figure II.9 Type de service S9: service ininterrompu à variations non périodiques de charge et de vitesse

II.2. VALEURS MOYENNES DE PUISSANCE, COUPLE ET INTENSITE

L'utilisation réelle d'un moteur diffère bien souvent des types de service S1 à S9 décrits au préalable car la puissance requise P ou le couple M_L et donc l'intensité I , ne sont pas constantes. Etant donné que les pertes P_v évoluent comme le carré de la charge, il est possible de remplacer les valeurs unitaires (puissances, couples et intensités) par une puissance moyenne P_{mi} .

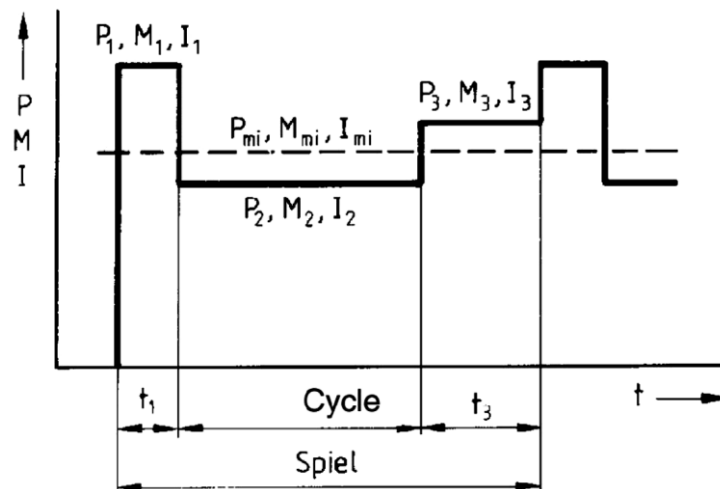


Figure II.10 , Détermination de la puissance moyenne P_{mi} , du couple moyen M_{mi} et de l'intensité moyenne I_{mi} (I_{eff}).

$$\text{Puissance moyenne } P_{mi} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

Ces valeurs sont déterminées à l'aide d'une conversion du second degré, en utilisant les puissances unitaires et les temps effectifs associés. Le couple maximal qui en résulte ne doit pas dépasser 80% du couple maximal au démarrage pour un moteur à induction triphasé. Le calcul de la valeur moyenne n'est plus possible si l'on opte pour la configuration S2.

Ces valeurs sont déterminées en utilisant les puissances unitaires et les temps effectifs associés.

$$\text{Couple moyenne } M_{mi} = \sqrt{\frac{M^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}}$$

II.3. PUISSANCE D'UN MOTEUR ET TYPES DE SERVICE

Calcul de la puissance équivalente –S1 en fonction des services S2 à S7 :

$$P_{S1} = \sqrt{\frac{n \times t_d \times \left(\frac{I_d}{I_n} \times P_n\right)^2 + (3600 - n \times t_d) \times P_u^2 \times F_{dm}}{3600}} \quad \text{avec : } \frac{I_d}{I_n} = \text{propriété du moteur}$$

Les paramètres n et F_{dm} sont définis pour chacun des services-types .

II.4 AUGMENTATION DE PUISSANCE PAR RAPPORT AU S1

Etant donné que dans les types de service S2, S3 et S6 la machine n'est pas actionnée continuellement à pleine charge, mais uniquement par intermittence, elle peut refroidir de nouveau pendant le temps d'inactivité t_{st}, et s'échauffer mécaniquement et thermiquement au cours de la période de charge t_B. Les variables suivantes jouent un rôle déterminant dans le calcul de l'augmentation maximum :

II.5 CAPACITE LIMITE MECANIQUE :

$$\text{Capacité limite mécanique } P_{mech} \leq \frac{M_K}{M_n} \cdot \frac{P_n}{1.76}$$

P_n = puissance nominale en W

M_n = couple nominal en Nm

M_k = couple maximal au démarrage en Nm

II.6 REDUCTION DE PUISSANCE PAR RAPPORT AU S1

Dans les types de service S4, S5, S7, S8 et S9, la puissance du moteur doit être réduite étant donné que les pertes au démarrage ou au freinage jouent un rôle essentiel dans ces cas. La méthode de calcul se base sur la fréquence de commutation à vide maximum z₀. Il s'agit du nombre maximum de commutations admissibles par heure sans que le moteur surchauffe. Il est possible de déterminer la fréquence de

commutation maximum admissible z pour une condition de charge donnée à l'aide de facteurs de réduction comme le facteur d'inertie, le facteur de contre-couple et le facteur de charge.

Le facteur d'inertie FI: prend en considération des moments d'inertie externes comme le moment d'inertie du moteur J_{Mot} et le moment d'inertie de la charge J_{Zus} :

$$\text{Facteur d'inertie FI} = \frac{J_{\text{Mot}} + J_{\text{Zus}}}{J_{\text{Mot}}}$$

J_{Mot} = moment d'inertie du moteur en kgm^2

J_{Zus} = moment d'inertie de la charge en kgm^2

Le facteur de contre-couple k_g : prend en considération un groupe de charge moyen M_L , présent au cours de l'accélération, devant être dépassé par le couple moyen du moteur M_{Mot} :

$$\text{Facteur de contre-couple } k_g = 1 - \frac{M_L}{M_{\text{Mot}}}$$

M_L = couple de charge

M_{Mot} = couple du moteur

Facteur de charge k_L : à prendre en considération avec la charge pendant le fonctionnement, dans les cas où les caractéristiques de la charge ne seraient pas connues précisément :

$$\text{Facteur de charge } k_L = 1 - (P / P_n)^2 \cdot \frac{(1 - k_0)t_r}{(1 - k_0)t_r + (1 - t_r)h}$$

k_L = Facteur de charge

P = Puissance requise en kW

P_n = Puissance nominale du moteur

k_0 = Rapport des pertes équivalentes à vide/en charge

h = Rapport de dissipation de chaleur ventilé/non ventilé

t_r = Facteur de cycle relatif (voir types de service S1 à S9)