

## Chapitre 2 : Types de service des moteurs électriques

En principe, les moteurs triphasés à induction en service continu sont spécialement conçus pour tourner à la puissance nominale. La plupart des moteurs fonctionnent souvent en service non continu. 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.

### 3.1. Types de service principaux S1- S9

Aux fins de la conception, les informations relatives au type de service doivent être les plus précises possibles. Les types de service possibles sont théoriquement illimités. Pour permettre aux fabricants et aux opérateurs de parvenir à un accord, neuf types de services principaux, de S1 à S9 ont été spécifiés dans la norme CEI 34. 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 à démarrage
- S5: Service périodique intermittent à démarrage et freinage électrique
- S6: Service continu à charge intermittente
- S7: Service ininterrompu à démarrage et freinage électrique
- S8: Service ininterrompu à variations périodiques de charge/de vitesse
- S9: Service ininterrompu à variations non périodiques de charge/de vitesse

Les fabricants de moteurs doivent assigner la capacité de charge du moteur à l'un de ces types de service et fournir, le cas échéant, les valeurs relatives au temps de fonctionnement, à la période de charge ou au facteur de service relatif.

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 (%)
$\vartheta$	= température en °C	$t_S$	= durée du cycle en secondes
$\vartheta_{max}$	= 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 $kgm^2$		

La vitesse  $n$  est normalement exprimée en t/min. En général, la plaque signalétique contient les données relatives à la vitesse nominale  $n_n$  et à la charge nominale.

Les types de service de S1 à S9 couvrent bon nombre des applications qui se présentent dans la pratique.

### 3.1.1. S1: Service continu

Mode de fonctionnement à charge constante, comme l'indique la Figure 3.1, 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  $T$ .

#### Identification S1: Spécification de la puissance en kW, si nécessaire avec l'abréviation S1.

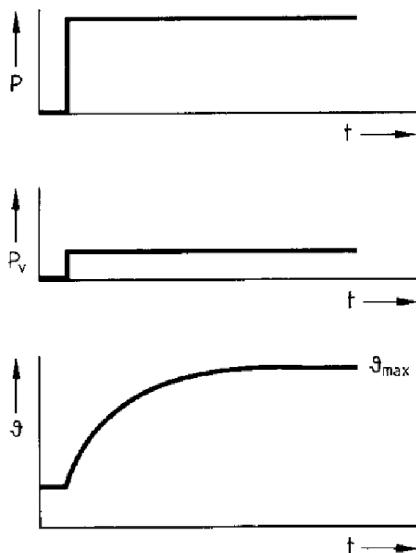


Figure 3.1 Type de service S1: service continu

### 3.1.2. S2: Service temporaire

Mode de fonctionnement à charge constante, comme l'indique la Figure 3.2, pendant un temps déterminé ne permettant pas d'atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un intervalle d'une durée suffisante pour rétablir à 2 °C près la température d'équilibre.

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.

#### Identification de S2: en spécifiant la période de charge $t_B$ et la puissance $P$ en kW

- Exemple: S2: 10 min, 11 kW.
- Des périodes de 10, 30, 60 et 90 min sont recommandées comme temps de fonctionnement  $t_B$ .

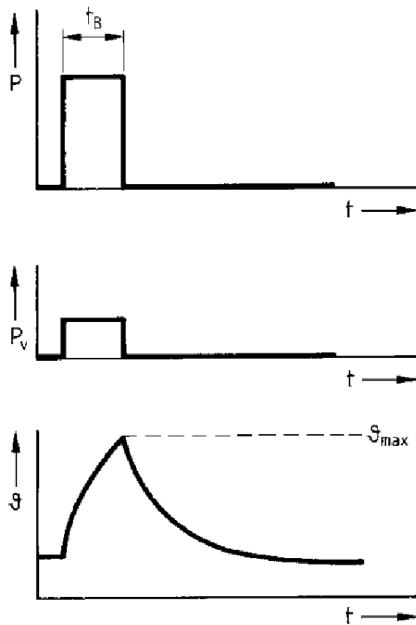


Figure 3.2 Type de service S2: service temporaire

### 3.1.3. S3: Service périodique intermittent sans démarrage

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure 3.3, en une séquence de cycles identiques comportant une durée du cycle  $t_s$  à charge constante et un temps d'arrêt trop court pour permettre d'atteindre l'équilibre thermique. Il s'ensuit que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative.

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

$t_B$  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

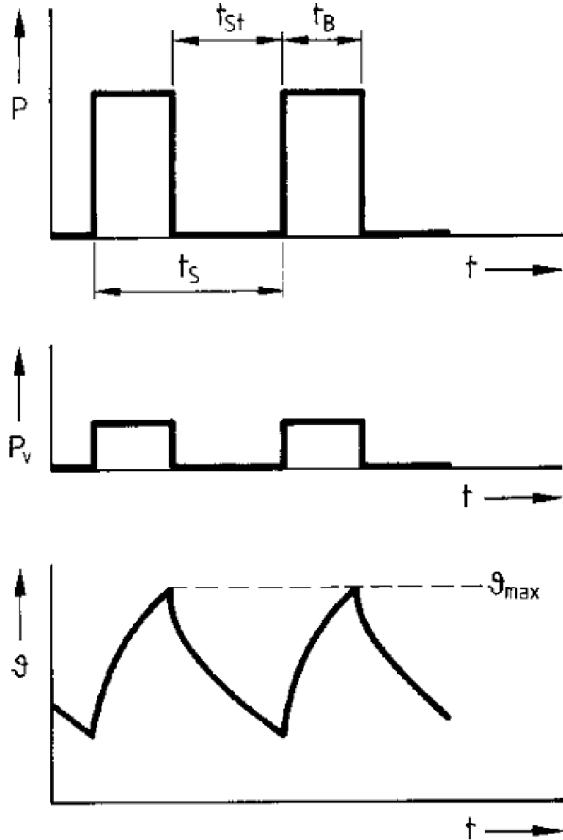


Figure 3.3 Type de service S3: service périodique intermittent sans démarrage

#### 3.1.4. S4: Service périodique intermittent avec démarrage

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure 3.4, en 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.

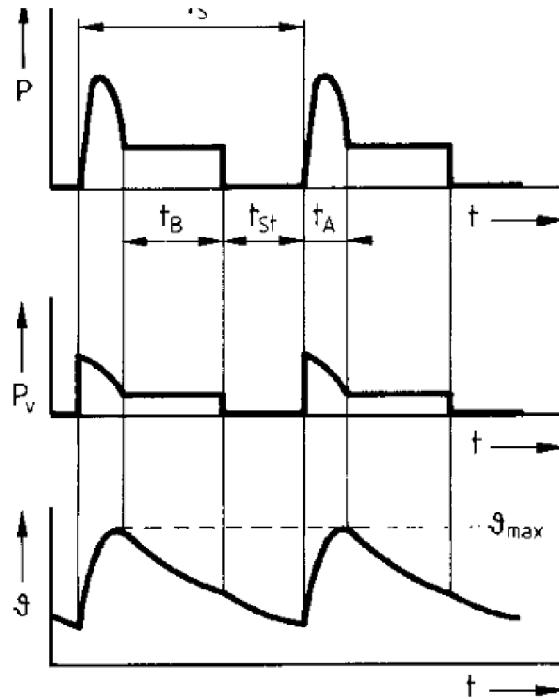


Figure 3.4 Type de service S4: service périodique intermittent avec démarrage

Il est important de vérifier, dans ce cas, si le moteur s'arrête à la fin du cycle par effet de la charge ou à cause d'un freinage mécanique. Il y a lieu d'indiquer également si le moteur continue de tourner, aussitôt son arrêt, ce permettant de refroidir sensiblement les enroulements. Sans cette indication, on suppose que le moteur s'arrête en un temps très court.

### 3.1.5. S5: Service périodique intermittent avec démarrage et freinage électrique

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure 3.5, en une séquence de cycles de services semblables de la durée  $t_s$ , dont chacun comporte un temps de démarrage distinct  $t_A$ , un temps  $t_B$  à charge constante et un temps  $t_{Br}$  de freinage électrique à haute vitesse. Il n'existe pas de temps d'arrêt.

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

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

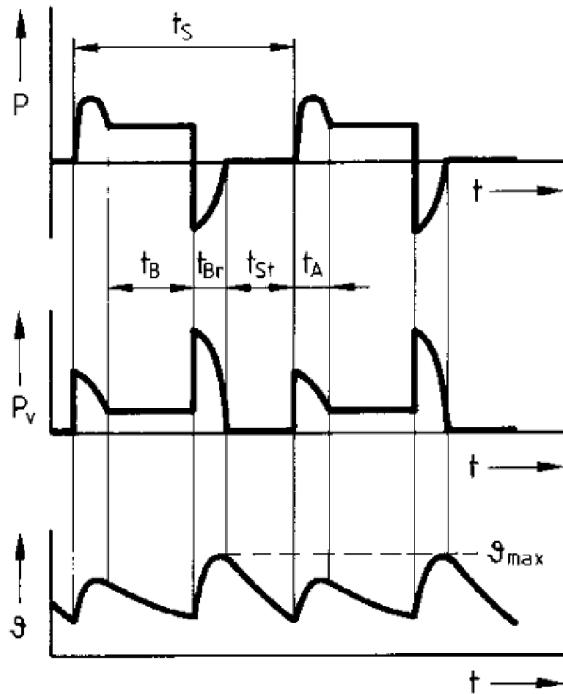


Figure 3.5 Type de service S5: service périodique intermittent avec démarrage et freinage électrique.

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

### 3.1.6. S6: Service continu à charge intermittente

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure 3.6, 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  $t_L$ .

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

$t_B$  = 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 appliquée.

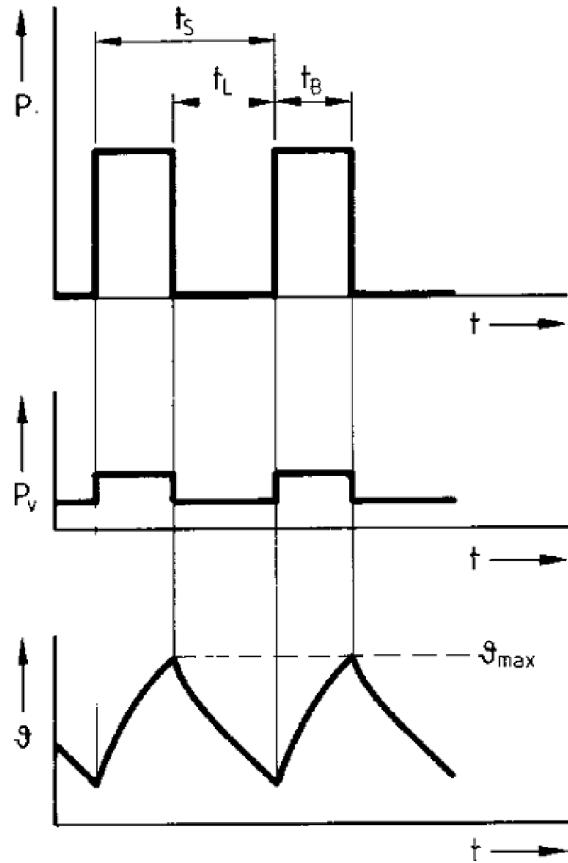


Figure 3.6 Type de service S6: service continu à charge intermittente

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

### 3.1.7. S7: Service intermittent avec démarrage et freinage électrique

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure 3.7 en une séquence de cycles de service semblables de la durée  $t_S$ , dont chacun comporte un temps de démarrage distinct  $t_A$ , un temps  $t_B$  à charge constante  $P$  et un temps  $t_{Br}$  de freinage électrique. Il n'existe pas de temps d'arrêt.

**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.

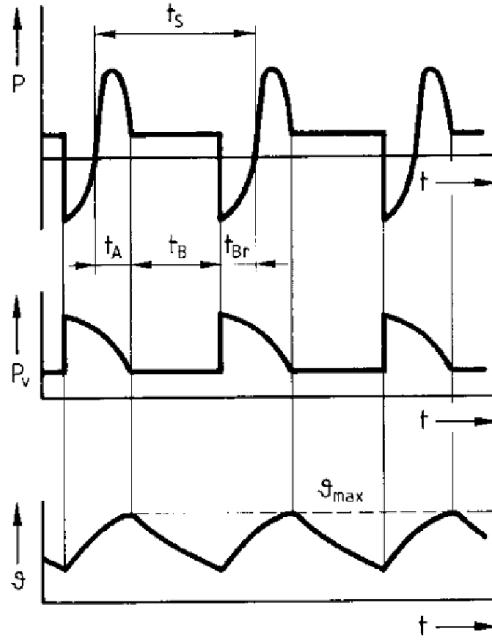


Figure 3.7 S7: Service intermittent à démarrage et freinage électrique

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

### 3.1.8. S8: Service ininterrompu à variations périodiques de charge et de vitesse

Ce mode de fonctionnement consiste, comme l'indique la Figure 3.8, en une séquence de cycles de services semblables de la durée  $t_s$ ; chacun de ce cycle comporte un temps à charge constante correspondant à une vitesse déterminée suivi d'un ou plusieurs temps à d'autres charges correspondant à autant de vitesses. Il n'existe pas de temps d'arrêt ni de temps d'inactivité. Ce mode ne peut pas être exprimé en une seule formule.

<b>Facteur de service</b> <b>relatif</b> $t_{r1} = \frac{(t_A + t_{B1}) \cdot 100}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}} = \frac{t_A + t_{B1}}{t_s} \cdot 100$	<b>Facteur de service</b> <b>relatif</b> $t_{r2} = \frac{(t_{Br1} + t_{B2}) \cdot 100}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}} = \frac{t_{Br1} + t_{B2}}{t_s} \cdot 100$
<b>Facteur de service</b> <b>relatif</b> $t_{r3} = \frac{(t_{Br2} + t_{B3}) \cdot 100}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}} = \frac{t_{Br2} + t_{B3}}{t_s} \cdot 100$	

$t_A$  = temps de démarrage s, min

$t_B$  = période de charge en s, min

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

$t_s$  = durée du cycle en s, min

$t_r$  = facteur de service relatif in %

**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.

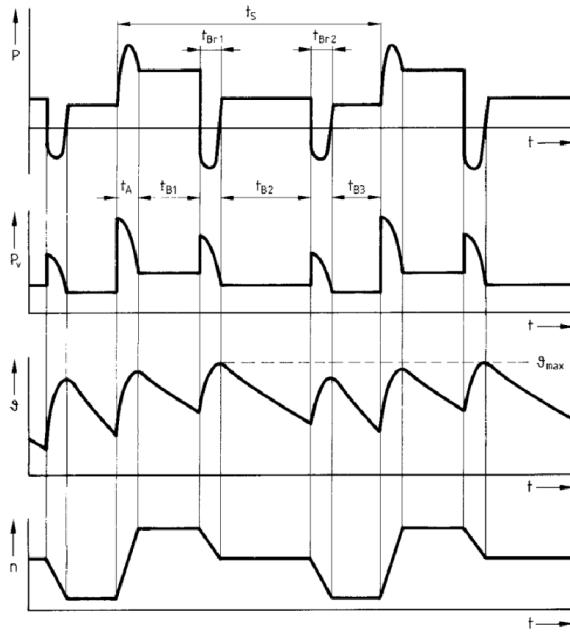


Figure 3.8 Type de service S8: Service ininterrompu à variations périodiques de charge et de vitesse

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.

### 3.1.9. S9: Service ininterrompu à variations non périodiques de charge et de vitesse

Ce mode de fonctionnement est caractérisé, comme l'indique la Figure 3.9 par des variations de charge et de vitesse non périodiques comprises dans la plage de fonctionnement maximale. Etant donné que des charges maximales nettement supérieures à la puissance nominale peuvent être atteintes assez souvent, on peut résoudre le problème de la surcharge par un surdimensionnement adéquat.

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.**

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

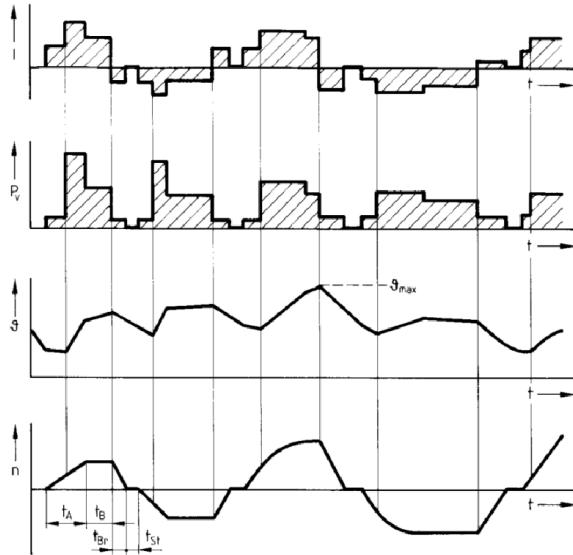


Figure 3.9 Type de service S9: service ininterrompu à variations non périodiques de charge et de vitesse

Par rapport au service continu S1, le rendement continu équivalent du type de service S9 peut être inférieur, égal ou même supérieur, en fonction des caractéristiques de la charge et la longueur des intervalles.

### 3.2. Valeurs moyennes de puissance, couple et intensité

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  $P_{mi}$ .

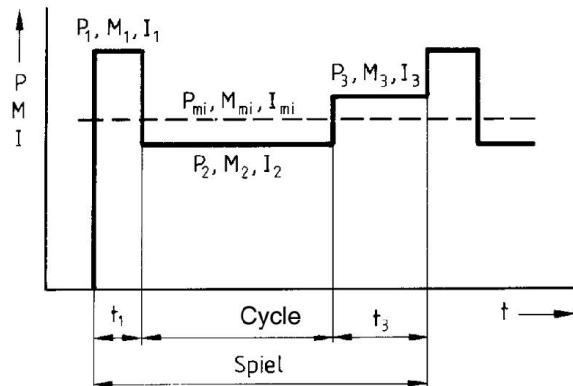


Figure 1.12.1 Détermination de la puissance moyenne  $P_{mi}$ , du couple moyen  $M_{mi}$  et de l'intensité moyenne  $I_{mi}$  ( $I_{eff}$ ).

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

Ces valeurs sont déterminées à l'aide d'une conversion du second degré, comme l'indique la Figure 3.10, 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.