

Formules de calcul pour les machines électriques tournantes

**Moteur synchrone, générateur synchrone**

- $n$  Fréquence de rotation
- $n_s$  Fréquence de rotation synchrone
- $f$  Fréquence du réseau
- $p$  Nombre de paires de pôles (moitié du nombre de pôles)

$$n = n_s \tag{1}$$

$$n_s = \frac{f}{p} \tag{2}$$

**Moteur asynchrone, générateur asynchrone**

Signification des symboles des formules comme ci-dessus.  
En plus :

- $f_R$  Fréquence rotorique
  - $g$  Glissement (en %)
  - $M$  Couple
  - $M_d$  Couple de démarrage
  - $M_{max}$  Couple maximal
  - $M_N$  Couple assigné
  - $M_S$  Couple minimal pendant le démarrage
  - $g_m$  Glissement correspondant au couple maximal
  - $C_U$  Coefficient de couple de la machine
  - $U_p$  Tension aux bornes d'une phase
  - $I$  Intensité du courant en ligne
  - $P$  Puissance délivrée (mécanique)
  - $\eta$  Rendement
  - $U$  Tension composée de réseau
  - $\cos \varphi$  Facteur de puissance
- Calcul du courant de rotor de moteurs à bagues voir Démarreur pour moteurs électriques.

$$n_s = \frac{f}{p} \tag{3}$$

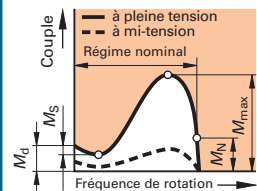
$$f_R = \frac{f \cdot g}{100\%} \tag{4}$$

$$g = \frac{(n_s - n) \cdot 100\%}{n_s} \tag{5}$$

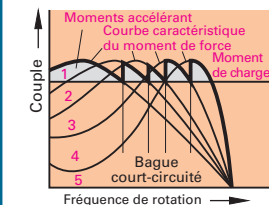
$$f_R = f - \frac{f \cdot n}{n_s} \tag{6}$$

$$\frac{M}{M_{max}} = \frac{2}{\frac{g}{g_m} + \frac{g_m}{g}} \tag{7}$$

$$n = \frac{f}{p} \left(1 - \frac{g}{100}\right) \tag{8}$$



**Caractéristiques M(n) d'un moteur à cage d'écurie**



**Caractéristiques M(n) d'un moteur à bagues**

$$M = C_M \cdot U_p^2 \tag{9}$$

Pour les moteurs monophasés :

$$I = \frac{P}{\eta \cdot U \cdot \cos \varphi} \tag{10}$$

Pour les moteurs triphasés :

$$I = \frac{P}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \tag{11}$$

**Moteur à excitation séparée**

Signification des symboles des formules comme ci-dessus.  
En plus :

- $s$  Perte en % par rapport au fonctionnement à vide
- $I_a$  Courant d'induit
- $M_a$  Couple à l'arrêt
- $I_{aa}$  Courant d'induit à l'arrêt
- $U_i$  Tension induite
- $C_U$  Coefficient de tension de la machine
- $\Phi_e$  Flux d'excitation
- $P_a$  Puissance d'induit mécanique
- $U_a$  Tension d'induit
- $R_a$  Résistance de l'induit
- $R_v$  Résistance série
- $I_e$  Courant d'excitation
- $U_e$  Tension d'excitation
- $R_e$  Résistance de l'enroulement d'excitation

$$s = \frac{M \cdot 100\%}{M_a} \tag{12}$$

$$s = \frac{I_a \cdot 100\%}{I_{aa}} \tag{13}$$

$$s = \frac{(n_s - n) \cdot 100\%}{n_s} \tag{14}$$

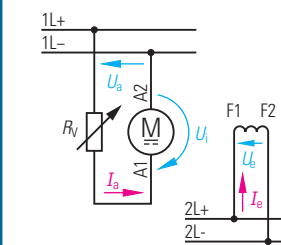
$$U_i = C_U \cdot \Phi_e \cdot n \tag{15}$$

$$U_i \approx \frac{P_a}{I_a} \tag{16}$$

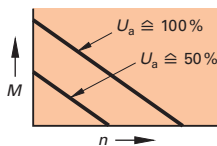
$$U_a = U_i + (R_a + R_v) \cdot I_a \tag{17}$$

$$I_{aa} = \frac{U_a}{R_a + R_v} \tag{18}$$

$$M = C_M \cdot \Phi_e \cdot I_a \tag{19}$$



**Circuit**



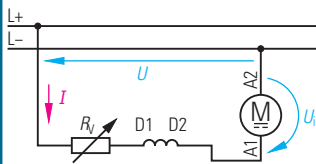
**Caractéristique mécanique selon la tension**

$$I_a = \frac{P_a}{\eta \cdot U_a} \tag{20}$$

$$I_e = \frac{U_e}{R_e} \tag{21}$$

**Moteur à excitation série**

Signification des symboles des formules comme ci-dessus.



$$I_{aa} = \frac{U}{R_e + R_v + R_a} \tag{22}$$

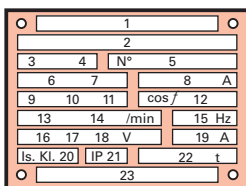
$$I = I_a \tag{23}$$

$$M = \frac{C_M}{n^2} \tag{24}$$

## Plaques signalétiques des machines électriques tournantes

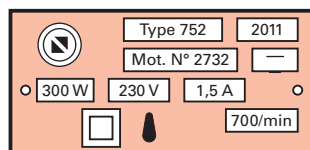
### Moteurs, générateurs, convertisseurs

Champ	Explication	Champ	Explication		
1	Marque du fabricant	12	Facteur de puissance assigné $\lambda$ ou $\cos \varphi$ . Pour les machines synchrones, le symbole u (sous-excité) doit être ajouté, lorsque qu'elles consomment de la puissance réactive.		
2	Indication du type de la machine				
3	Type de courant				
4	Mode de fonctionnement (p. ex. moteur, générateur)	13	Sens de rotation (indiqué sur le côté d'entraînement) : → (sens horaire) ← (sens anti-horaire)		
5	Numéro de fabrication				
6	Type de couplage de l'enroulement du stator pour les machines synchrones et asynchrones à savoir	14	Fréquence de rotation assignée. En outre, est indiqué : - pour les moteurs avec une caractéristique série la fréquence de rotation maximale $n_{max}$ ; - pour les générateurs entraînés par des turbines hydrauliques, la fréquence de rotation d'emballement $n_g$ de la turbine ; - pour les moteurs réducteurs la fréquence de rotation finale $n_f$ de la transmission.		
	Nombre de phases			Circuit	Symbole
	1 ~			Ouvert	
				Avec phase auxiliaire	⊥
	3 ~			Sans couplage	
				3 ~ avec couplage	Étoile
	Triangle				△
	Étoile avec neutre sorti				Y
	6 ~ avec couplage			Double triangle	☆
				Hexagone	⬡
Étoile		*			
2 ~	Sans couplage	<sup>2</sup>			
	Couplage, p. ex. circuit en L	L			
n ~	Sans couplage	<sup>n</sup>			
15	Fréquence assignée, fréquence nominale	16	Pour moteur à bague	Pour machines à courant continu et machines synchrones	
			17	Rotor	Excitation
18	Tension à vide du rotor en V	17	Type de couplage pour les circuits autres que triphasés	-	
			19	Tension d'excitation en V	Courant du rotor en fonctionnement assigné L'indication n'est pas nécessaire si les courants sont inférieurs à 10 A.
20	Classe du matériau isolant (Y, A, E, B, F, H, C). Si le stator et le rotor appartiennent à des classes, différentes la classe du stator est indiquée avant la classe du rotor (p. ex. E/F).	18			Tension d'excitation en V
			21	Indice de protection, p. ex. IP 23	
22	Indications supplémentaires, p. ex. VDE 0530/..., débit de fluide caloporteur avec une ventilation forcée et avec un refroidissement à eau.	20			Classe du matériau isolant (Y, A, E, B, F, H, C). Si le stator et le rotor appartiennent à des classes, différentes la classe du stator est indiquée avant la classe du rotor (p. ex. E/F).
			23	Indication de la masse approximative en tonnes (t). Non nécessaire si l'installation fait moins de 1 t.	
21	Indice de protection, p. ex. IP 23				
		22	Indications supplémentaires, p. ex. VDE 0530/..., débit de fluide caloporteur avec une ventilation forcée et avec un refroidissement à eau.		
23	Indication de la masse approximative en tonnes (t). Non nécessaire si l'installation fait moins de 1 t.				
		20	Classe du matériau isolant (Y, A, E, B, F, H, C). Si le stator et le rotor appartiennent à des classes, différentes la classe du stator est indiquée avant la classe du rotor (p. ex. E/F).		
18	Tension d'excitation en V				
		19	Tension d'excitation en V		
15	Fréquence assignée, fréquence nominale				
		14	Fréquence de rotation assignée. En outre, est indiqué : - pour les moteurs avec une caractéristique série la fréquence de rotation maximale $n_{max}$ ; - pour les générateurs entraînés par des turbines hydrauliques, la fréquence de rotation d'emballement $n_g$ de la turbine ; - pour les moteurs réducteurs la fréquence de rotation finale $n_f$ de la transmission.		
6	Type de couplage de l'enroulement du stator pour les machines synchrones et asynchrones à savoir				
		Nombre de phases	Circuit	Symbole	
1 ~	Ouvert				
	3 ~	Sans couplage			
3 ~ avec couplage		Étoile	Y		
	Triangle	△			
	Étoile avec neutre sorti	Y			
6 ~ avec couplage	Double triangle	☆			
	Hexagone	⬡			
	Étoile	*			
2 ~	Sans couplage	<sup>2</sup>			
	Couplage, p. ex. circuit en L	L			
n ~	Sans couplage	<sup>n</sup>			
7	Tension assignée, tension nominale	21	Indice de protection, p. ex. IP 23		
8	Courant assigné, courant nominal				
9	Puissance assignée (utile). Pour des générateurs synchrones en kVA ou VA, sinon en kW ou W.	22	Indication de la masse approximative en tonnes (t). Non nécessaire si l'installation fait moins de 1 t.		
10	Unités kW, W, kVA, VA				
11	Type de service (non indiqué pour S1 = service continu) et durée du fonctionnement assigné ou facteur de marche.	23	Indications supplémentaires, p. ex. VDE 0530/..., débit de fluide caloporteur avec une ventilation forcée et avec un refroidissement à eau.		
	Exemple : S2 30 min, S3 40%				





Si l'enroulement d'une machine est rebobiné ou modifié, une autre plaque doit en plus être appliquée, avec la marque de l'entreprise, l'année et le cas échéant de nouvelles indications.  
(plaque signalétique de transformateurs voir page 217).

### Appareils avec machines électriques



Plaque signalétique d'une perceuse à main

- Il faut indiquer en plus :
- la consommation assignée en W ;
  - le symbole  pour la classe de protection II ;
  - un symbole précisant type de protection contre l'humidité, p. ex. .

Pour des petits appareils, comme les outils électriques portatifs, les aspirateurs, les appareils de cuisine, les magnétophones, aucune plaque signalétique normalisée n'est utilisée. Les contenus des champs suivants sont cependant le plus souvent indiqués sur la plaque signalétique : 1, 2, 3, 6, 7, 11, 14, 15 (partiellement).

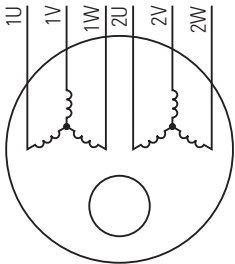
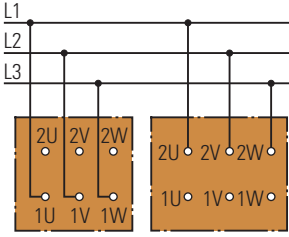
### Moteurs triphasés

Type de moteur	Moteur synchrone	Moteur asynchrone à bagues	Moteur asynchrone à cage
Symboles et branchement pour rotation dans le sens horaire			
Caractéristique mécanique			
Inversion du sens de rotation	En inversant deux conducteurs de ligne.		
Circuit sur les bornes	Le stator doit être branché comme pour le moteur à cage.		 Couplage étoile  Couplage triangle
	Bornes du rotor  Absents pour une excitation par aimant permanent	 Rotor en Y ou Δ  Rotor en V (à deux phases)	
Démarrage le plus fréquent	Avec amortisseurs : mise en marche directe sans excitation	Résistances de démarrage dans le circuit du rotor	Mise en marche directe (à faible vitesse si possible)
$M_d / M_N$	0,5 jusqu'à 1 avec amortisseurs	Petits moteurs jusqu'à 4, Gros moteurs jusqu'à 2	0,4 à 2
$I_d / I_N$	3 à 7	≈ 1 lors d'un essai avec $M_N$	3 à 7
Capacité de surcharge temporaire	1,5 à 4 fois	1,6 à 2,5 fois	1,6 à 3 fois
Commande de vitesse	Variation de la fréquence par un convertisseur de fréquence	Résistances supplémentaires au rotor	Changement de pôles, commande de fréquence
Plage de variation de la vitesse de rotation	Jusqu'à 1 : ∞ pour des servomoteurs Jusqu'à 1 : 10 pour des entraînements de bateaux	Avec des résistances supplémentaires au rotor jusqu'à 1 : 3	Avec un du changement de pôles en 4 étapes jusqu'à 1 : 8
	Avec une commande de la fréquence par un onduleur jusqu'à 1 : 100, avec un régulateur de vitesse jusqu'à 1 : ∞		
Freins électriques sans frein supplémentaire	Freinage par récupération avec du fonctionnement en générateur. Avec cage de démarrage, également freinage à contre-courant.	Freinage par récupération avec fonctionnement en générateur, en particulier lors du changement de pôles. Freinage sans récupération lors du freinage à contre-courant, ainsi que lors de l'alimentation du stator avec du courant continu ou du courant alternatif monophasé.	
Exemples d'application	Servomoteurs, compresseurs à piston, convertisseurs, moteurs de propulsion de bateaux	Élévateurs, convoyeurs, compresseurs, concasseurs, chariots de transfert	Machines-outils, machines de transformation, machines agricoles, élévateurs

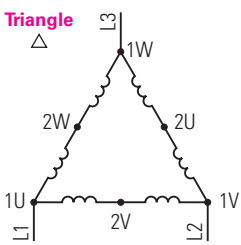
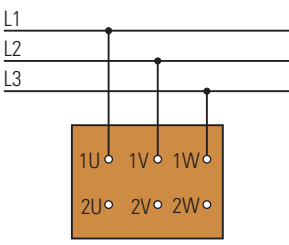
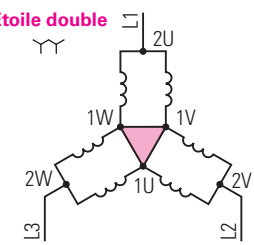
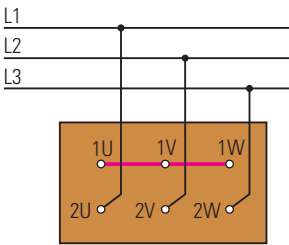
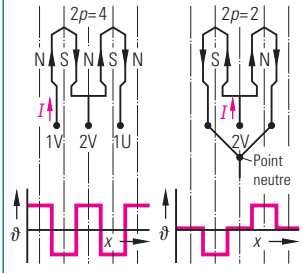
$I_d$  courant de démarrage,  $I_N$  intensité assignée,  $M$  couple,  $M_d$  couple de démarrage,  $M_N$  couple assigné,  $n$  fréquence de rotation,  $n_s$  fréquence de rotation synchrone,  $R_v$  résistance de démarrage, ∞ infini.

## Moteurs à changement de pôles

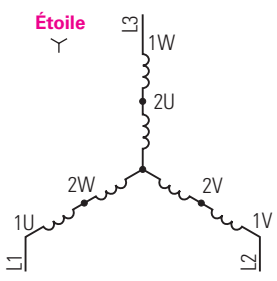
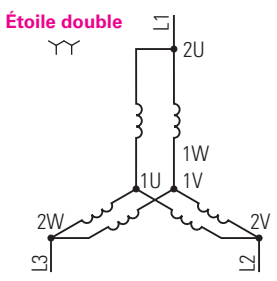
## Moteurs à changement du nombre de pôles avec deux enroulements séparés

Circuit	Plaque à bornes	Explication
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deux enroulements statoriques séparés avec deux nombres de pôles différents permettent 2 vitesses de rotation.</li> <li>• Les vitesses peuvent avoir un rapport entier quelconque, p. ex. 3/2.</li> <li>• Les moteurs avec des enroulements séparés nécessitent un investissement plus important pour les enroulements.</li> <li>• Machines utilisées : nombre de pôles : 2/4 ; 4/6 ; 4/8 ; 6/8</li> </ul>

Moteurs Dahlander avec enroulement commutable ( $\Delta/YY$ )

Circuit pour la basse vitesse	Plaque à bornes pour la basse vitesse	Explication
<p><b>Triangle</b></p> 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaque phase de l'enroulement du stator est divisée en deux parties (enroulement à point milieu).</li> <li>• Cette solution convient pour des charges présentant un couple résistant constant.</li> <li>• Circuit en triangle pour la basse vitesse.</li> <li>• Deux relais de protection de moteur nécessaires, parce qu'à vitesse élevée la consommation de puissance est supérieure.</li> </ul>
<p><b>Etoile double</b></p> 		<p>Tension magnétique d'entrefer</p> 

## Moteurs Dahlander avec enroulement commutable (Y/YY)

Circuit pour la basse vitesse	Circuit pour la vitesse élevée	Explication
<p><b>Étoile</b></p> 	<p><b>Étoile double</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaque phase de l'enroulement du stator est divisée en deux parties (enroulement à point milieu).</li> <li>• Cette solution convient pour des charges présentant un couple résistant variable.</li> </ul> <p>Enroulements de cette page représentés selon la norme EN 60034-8</p>