

Machines électriques

pour Génie Mécanique

Machine asynchrone

André Hodder

Sommaire

- Introduction
- Circuit magnétique
- Transformateur
- Éléments de base des machines
- **Machine asynchrone**
- Machine à courant continu
- Machine synchrone
- Moteur synchrone à aimants permanents
- Moteur pas à pas

Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

La machine asynchrone

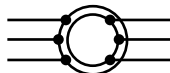
Selon la définition du Vocabulaire Electrotechnique International (IEV 411-31-09) :

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont la vitesse en charge et la fréquence du réseau auquel elle est reliée ne sont pas dans un rapport constant.

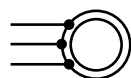
Les anglophones l'appellent "induction machine".

Le rotor peut être soit :

- bobiné (enroulement triphasé)

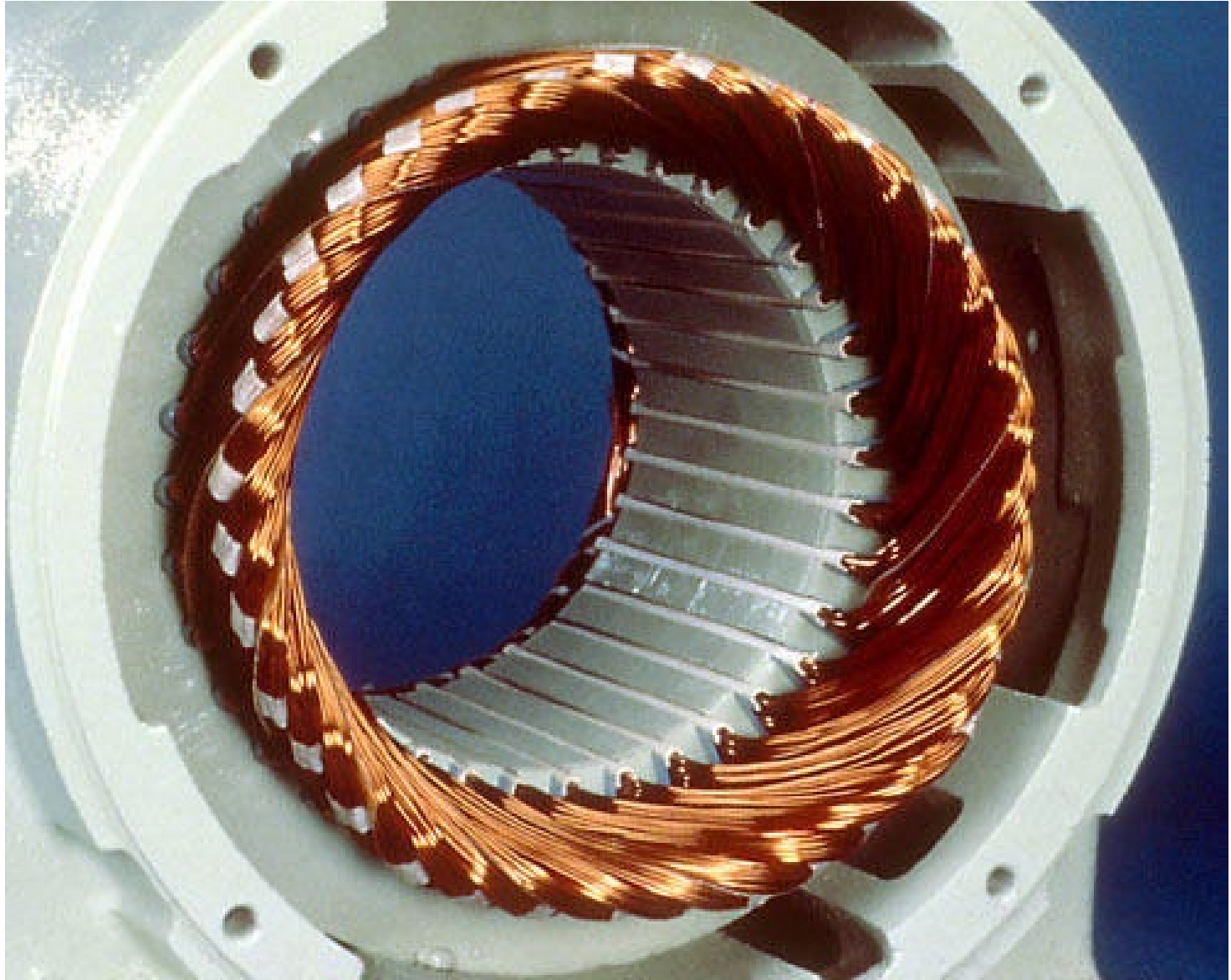


- à cage d'écureuil

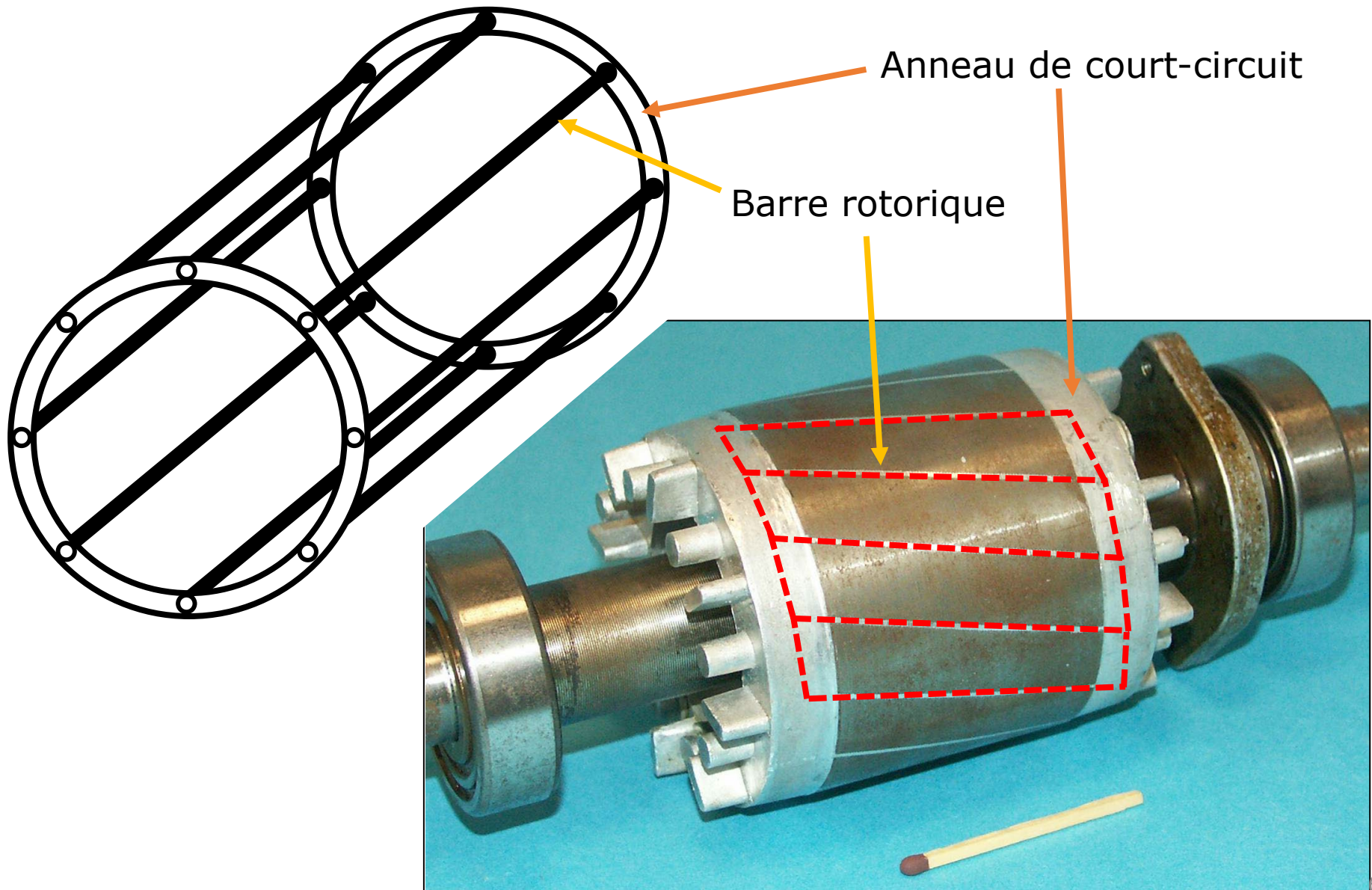


electropedia.org

Stator d'une machine asynchrone



Rotor d'une machine asynchrone à cage d'écureuil



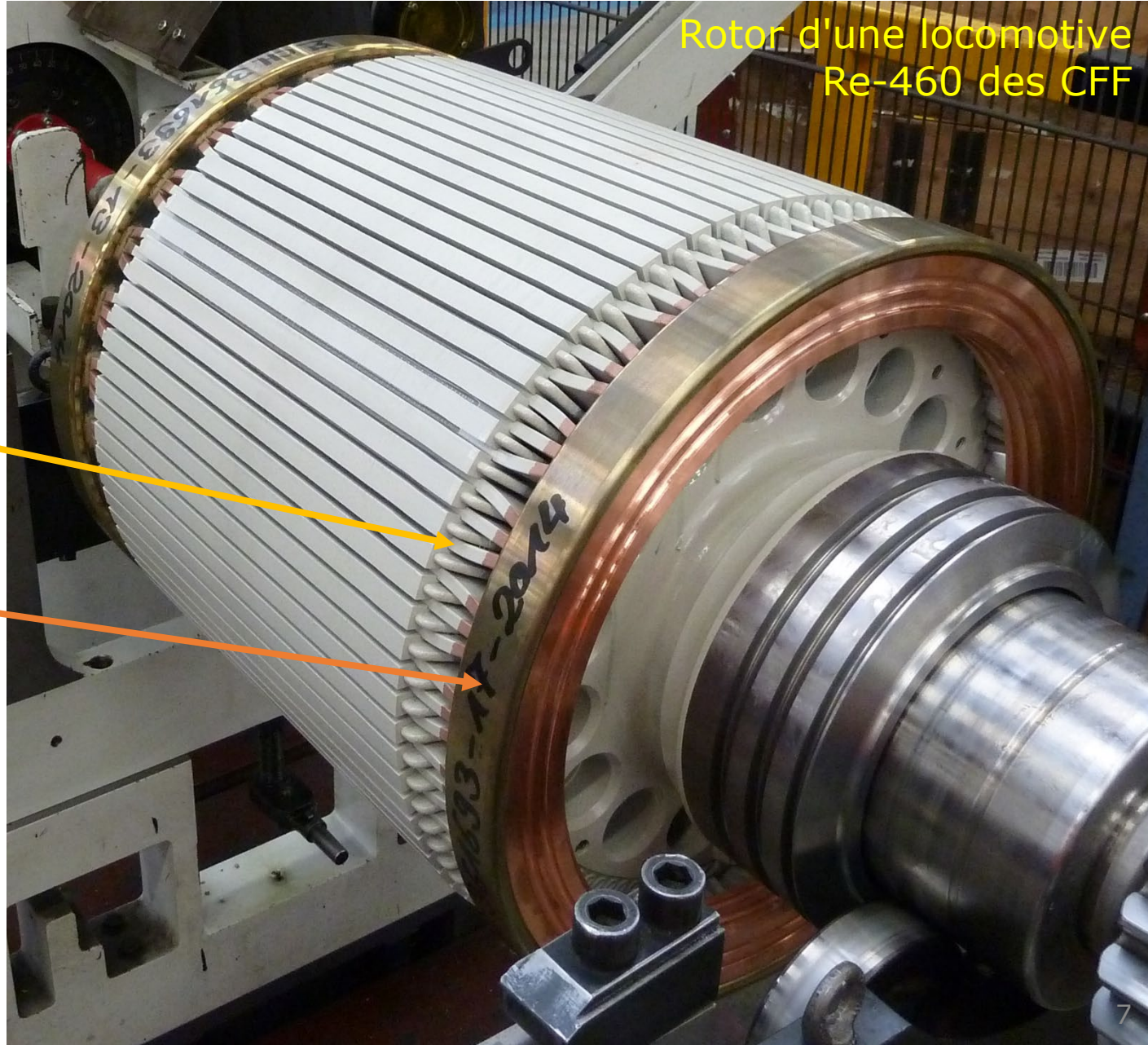
Rotor d'une machine asynchrone à cage



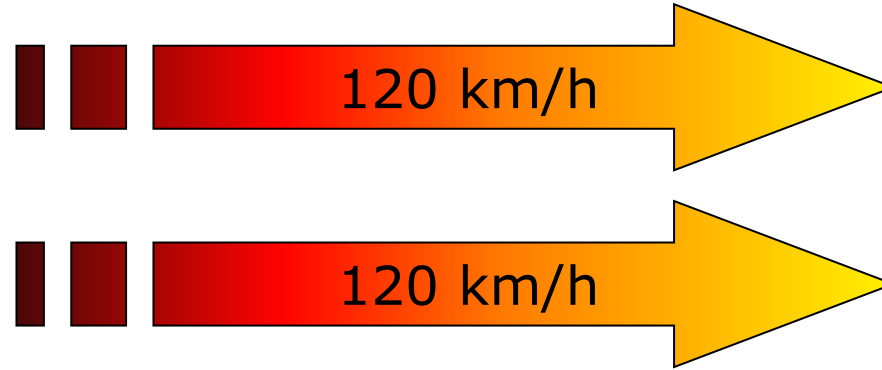
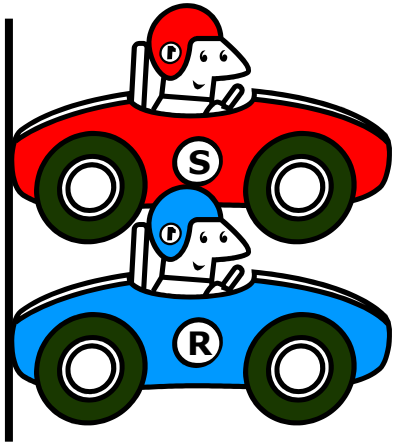
Rotor d'une locomotive
Re-460 des CFF

Barre rotorique

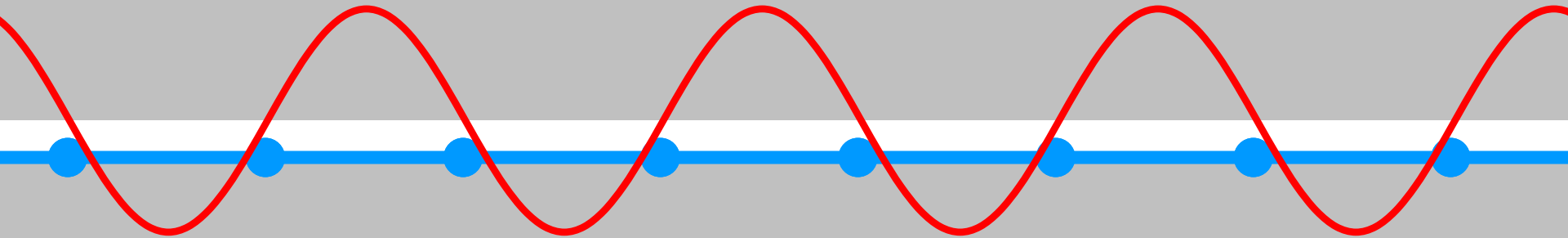
Anneau de
court-circuit



Principe de fonctionnement

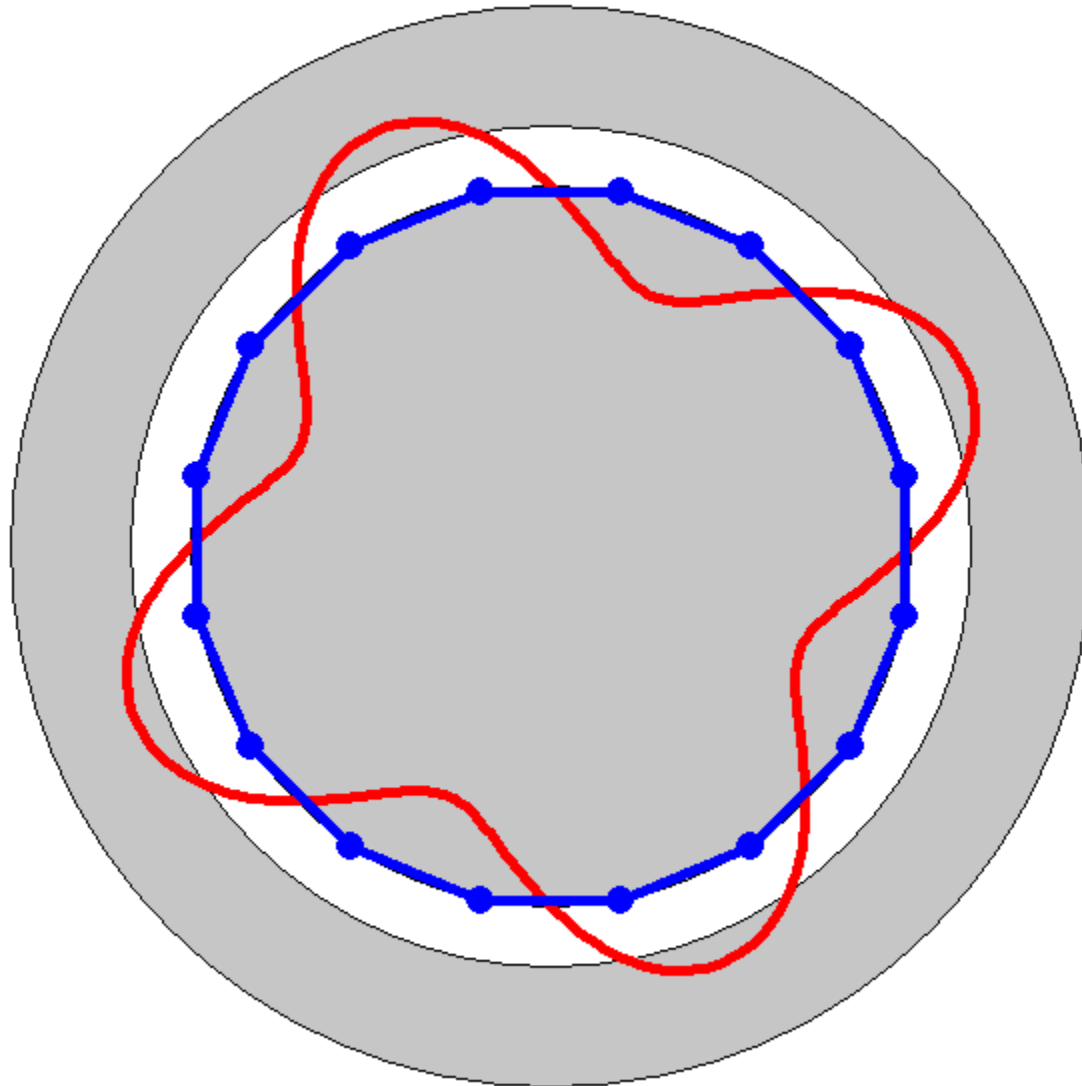


Stator



Rotor

Principe de fonctionnement

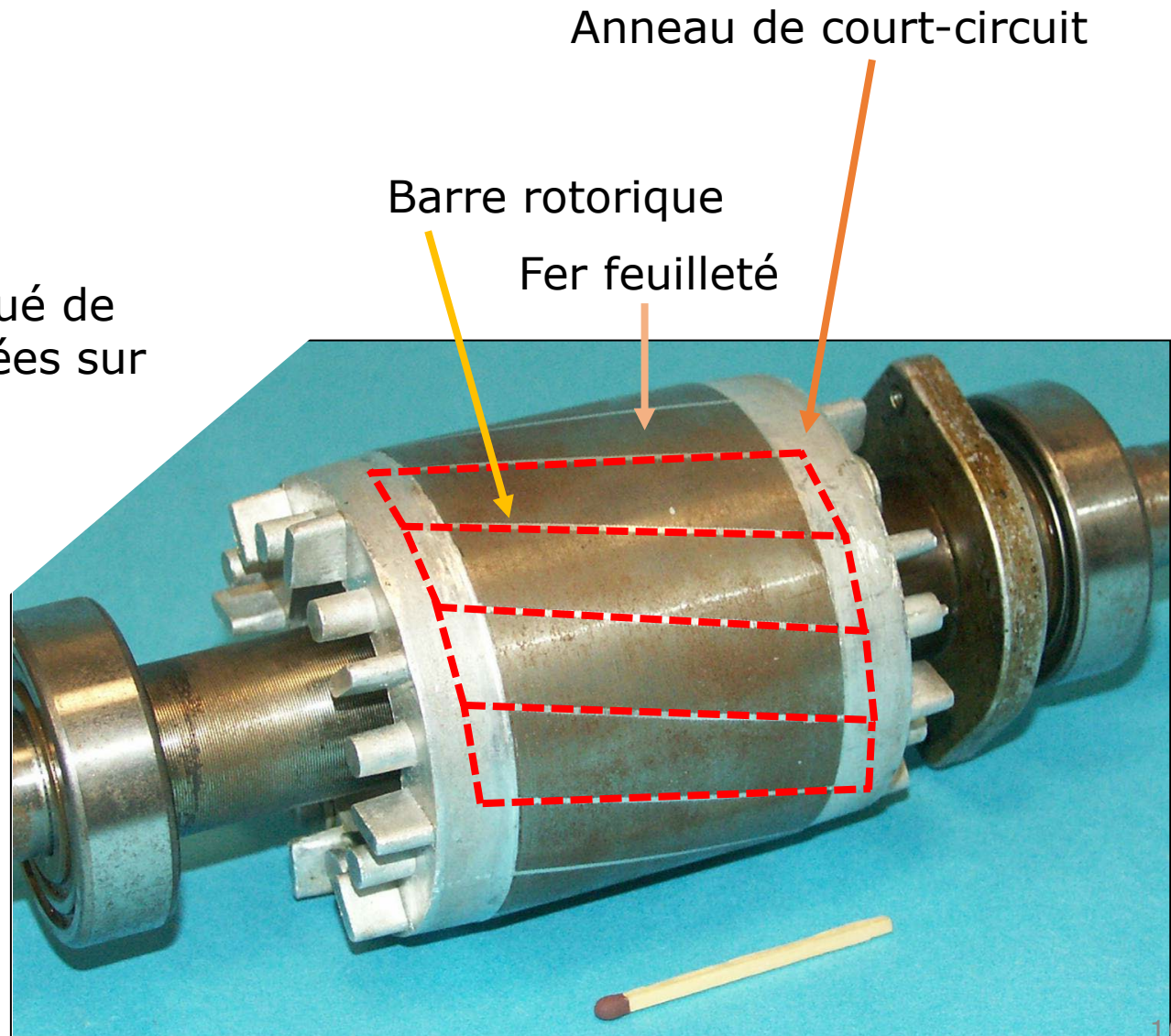


Rotor d'une machine asynchrone à cage d'écureuil

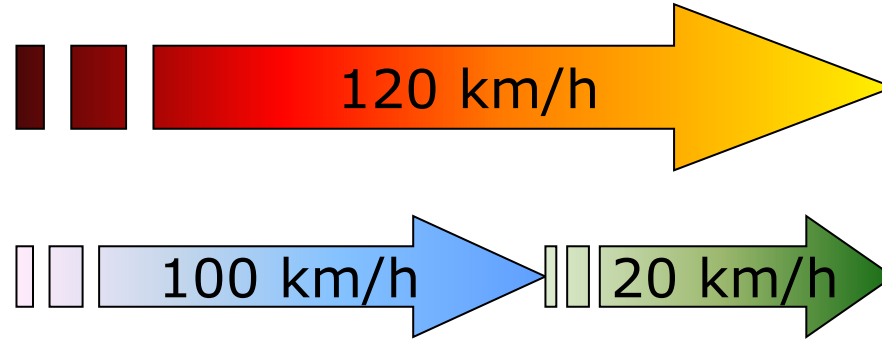
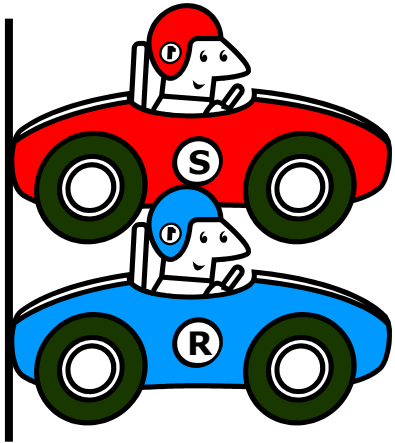
$$u_r = R_r i_r + \frac{d\Psi}{dt}$$

Le rotor est constitué de spires court-circuitées sur elles mêmes

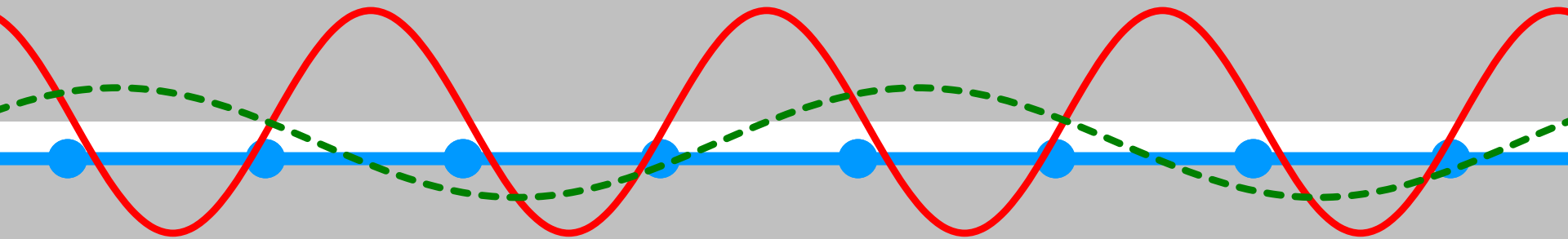
$$0 = R_r i_r + \frac{d\Psi}{dt}$$



Principe de fonctionnement

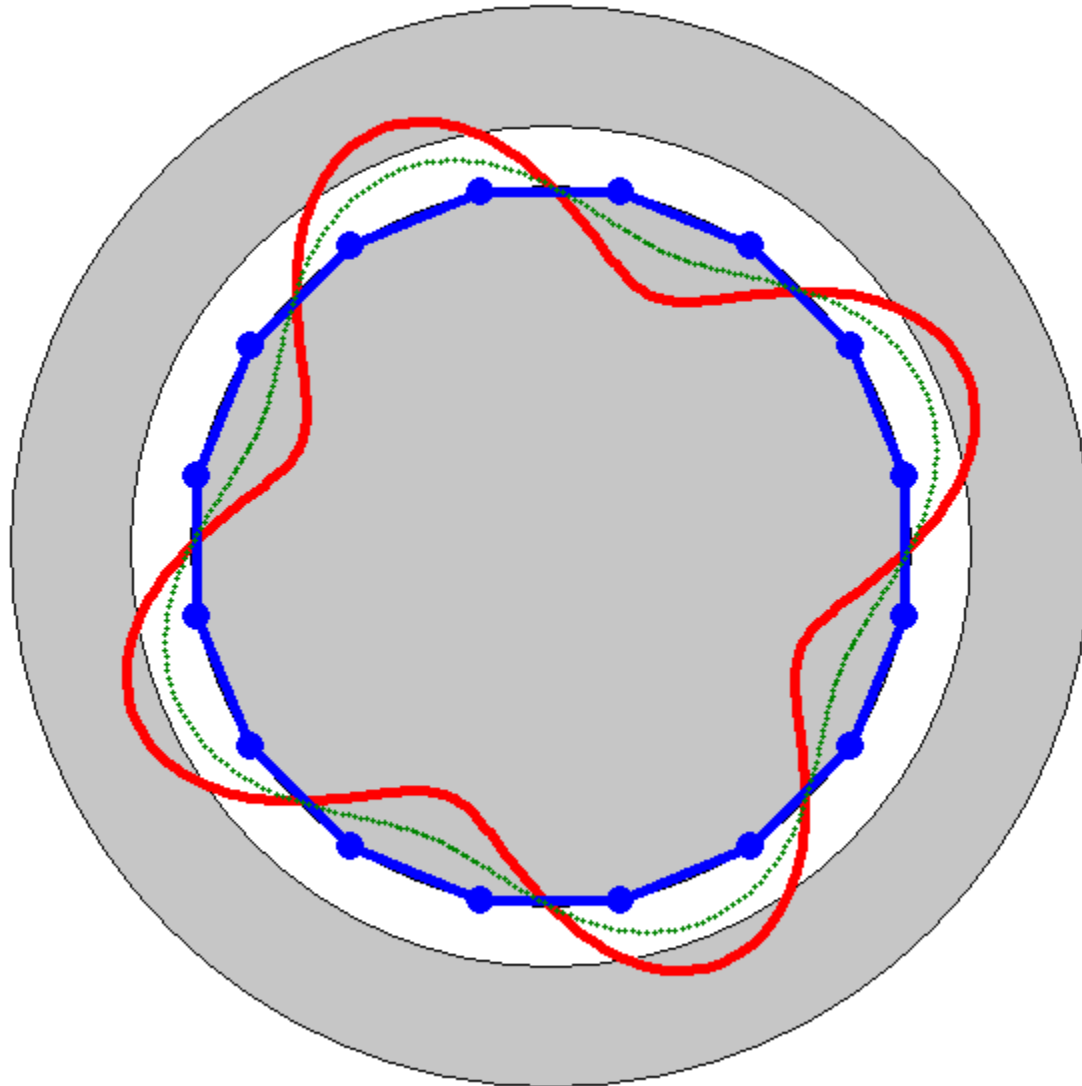


Stator

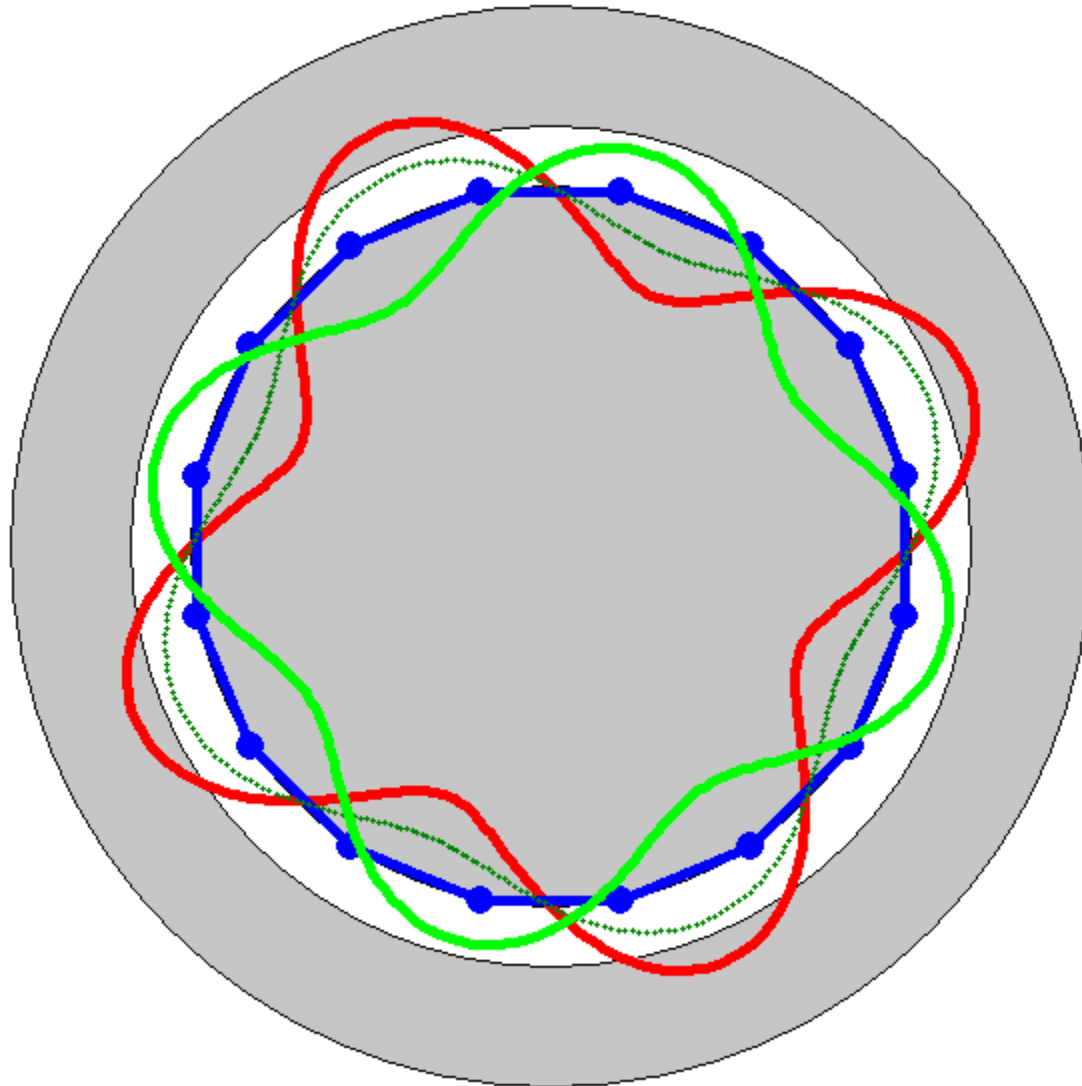


Rotor

Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement

En raisonnant en fréquence électrique

$$\left. \begin{array}{l} f_s = 50 \text{ Hz} \\ f_m = 48 \text{ Hz} \end{array} \right\} f_s - f_m = 2 \text{ Hz}$$

Le courant induit au rotor a une fréquence de 2 Hz dans le rotor

Quelle est la fréquence de ce courant vu du stator ?

Les deux champs stator et rotor ont la même fréquence et leur interaction génère le couple.

2 Hz dans le rotor
mais le rotor tourne à 48 Hz
donc $48 \text{ Hz} + 2 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$

Plus le glissement est grand, plus le courant induit est grand, et donc plus le champ B est grand et plus le couple est grand.

Avec

$$\Theta = N i$$

$$\Theta = \int H \, dl$$

$$B = \mu H \longrightarrow f_B = 50 \text{ Hz}$$

Principe de fonctionnement

Les deux champs stator et rotor ont la même fréquence et leur interaction génère le couple.

Plus le glissement est grand, plus le courant induit est grand, et donc plus le champ B est grand et plus le couple est grand.

$$T_{em} = k \hat{B}_s \hat{B}_r p \sin \delta$$

↑
nombre de paires de pôles

2 conditions :

- Même nombre de pôles (paires de pôles)
- Même vitesse (les champs sont dit synchrones)

Glissement

Par définition le glissement est l'écart de vitesse entre le champ tournant statorique et la vitesse mécanique du rotor, rapporté à la vitesse du champ tournant statorique.

Il est noté s et est sans dimension.

$$s = \frac{\Omega_s - \Omega_m}{\Omega_s} = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{N_s - N_m}{N_s} = \frac{f_s - f_m}{f_s} [-]$$

$\uparrow$ $[\text{rad} / \text{s}]$ méca.	$\uparrow$ $[\text{rad} / \text{s}]$ élec.	$\uparrow$ $[\text{tr} / \text{s}]$ méca.	$\uparrow$ $[\text{tr} / \text{min}]$ méca.	$\uparrow$ $[\text{Hz}]$ élec.
--	--	---	---	--------------------------------------

$$n = \frac{f}{p}$$

↙
nombre de paires de pôles

Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

Schéma équivalent du transformateur

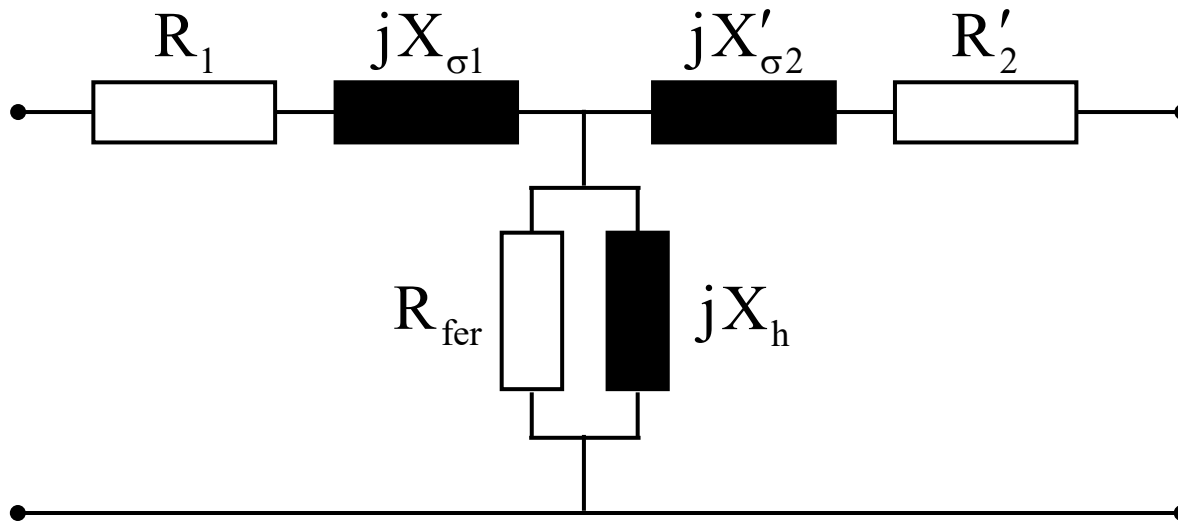


Schéma équivalent d'un transformateur

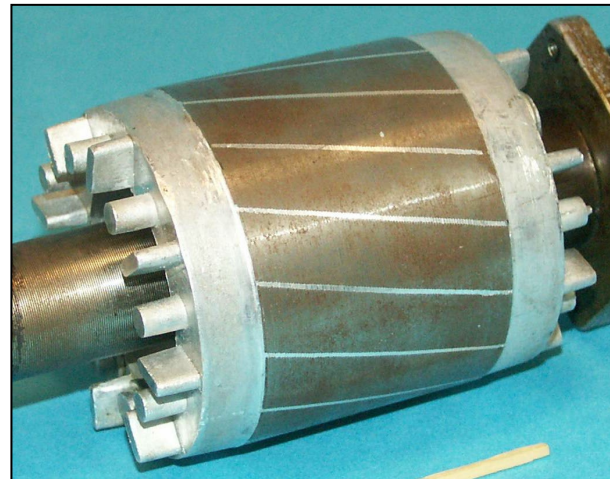
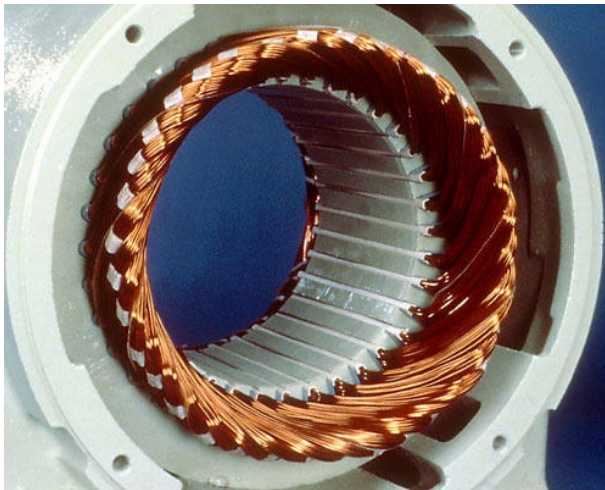
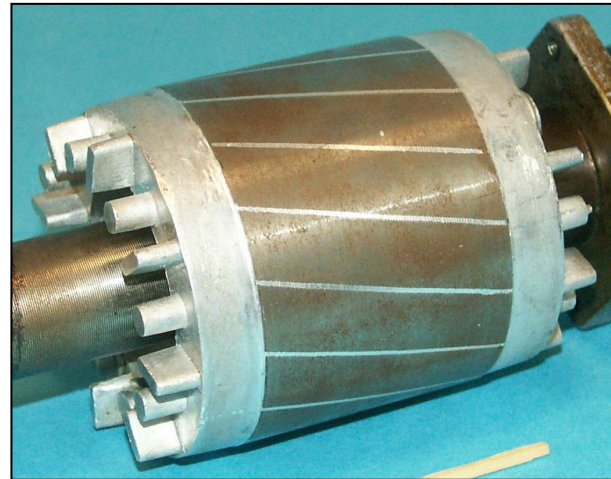
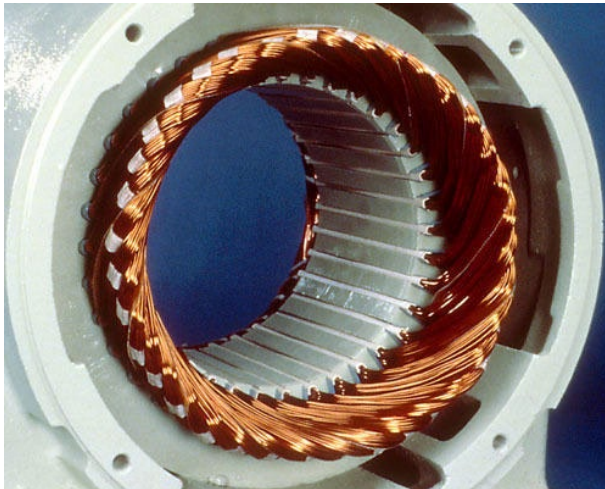
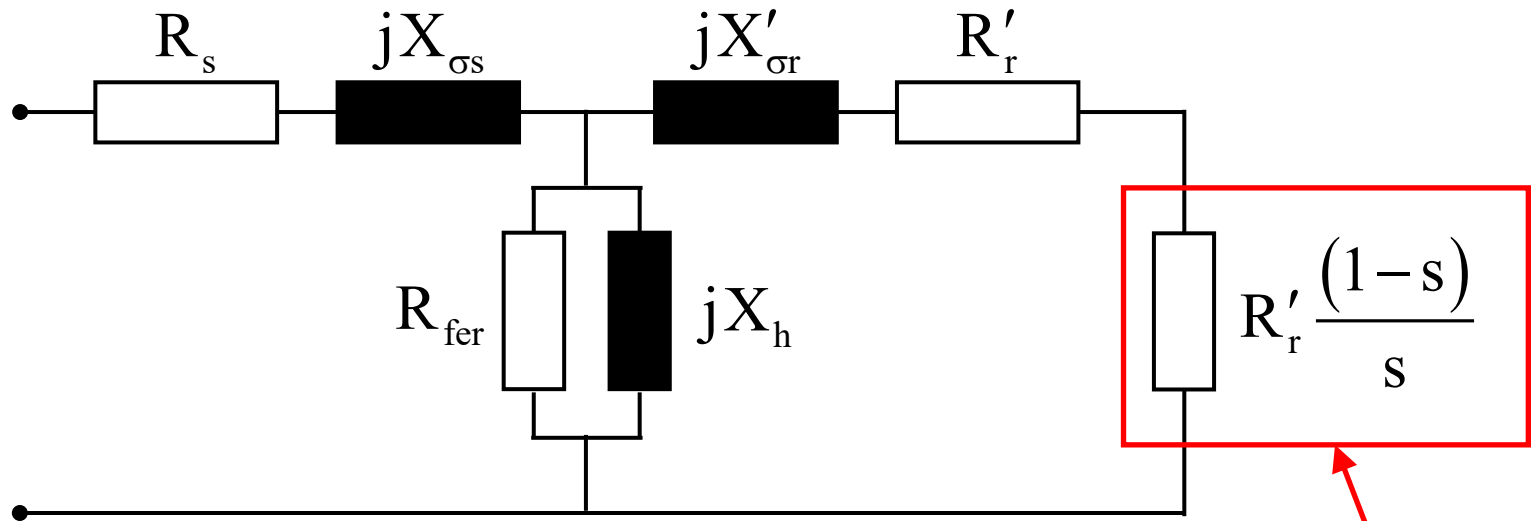


Schéma équivalent de la machine asynchrone



Modélisation
de la charge

Schéma équivalent de la machine asynchrone

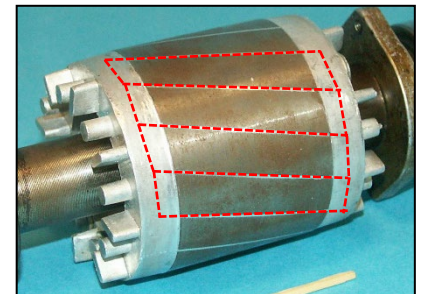
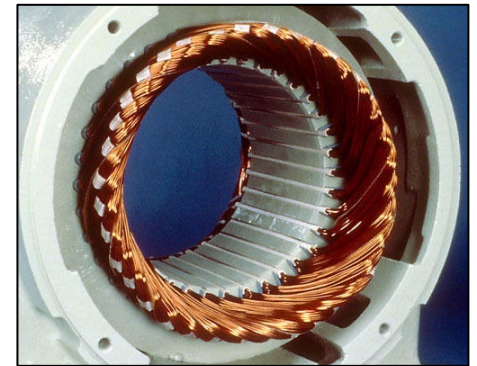
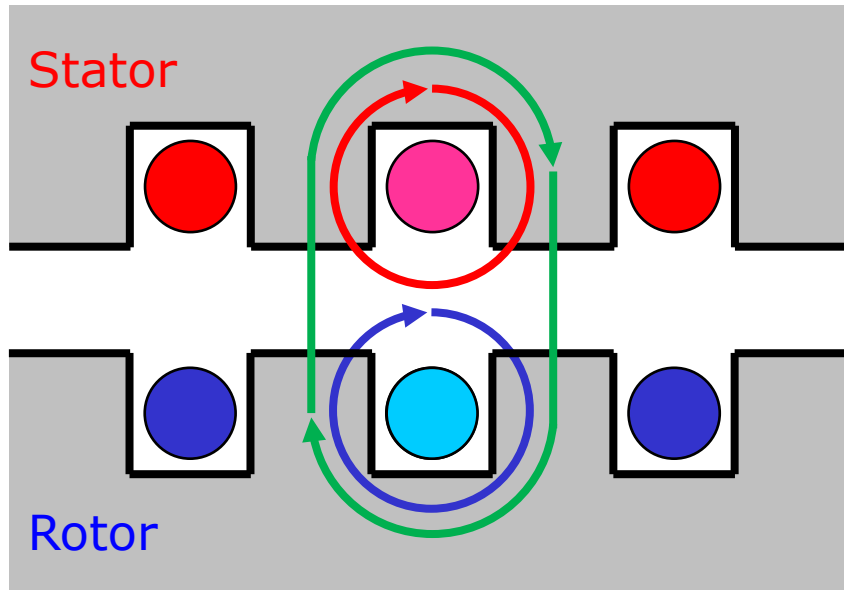
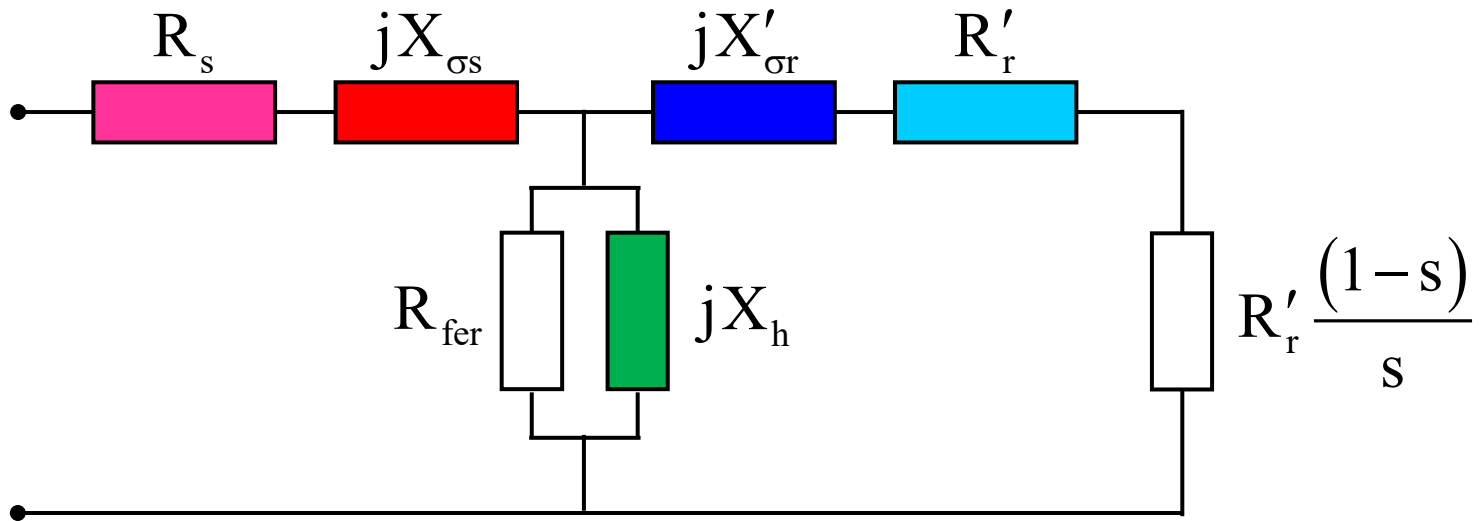


Schéma équivalent de la machine asynchrone

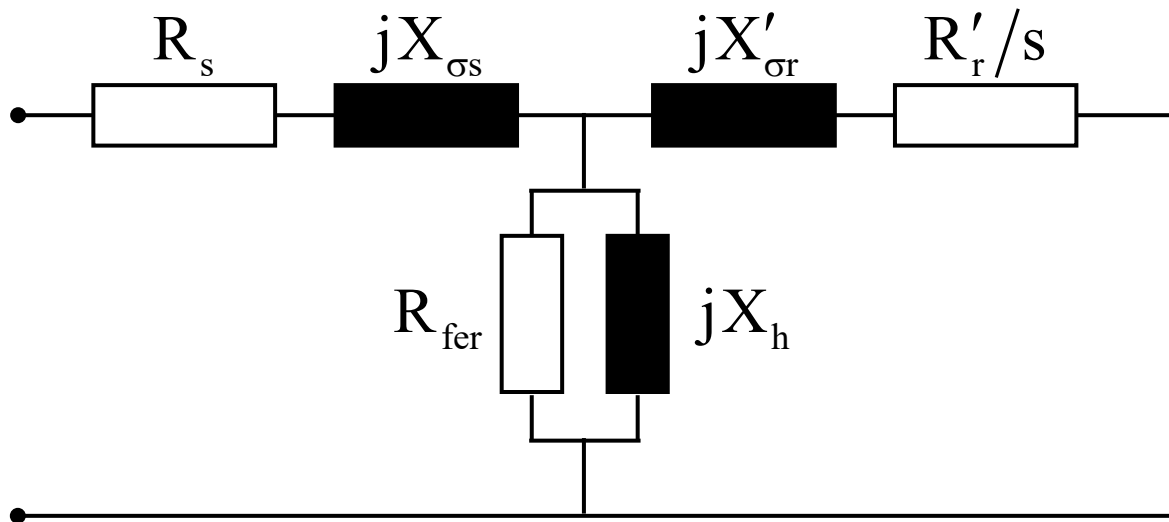
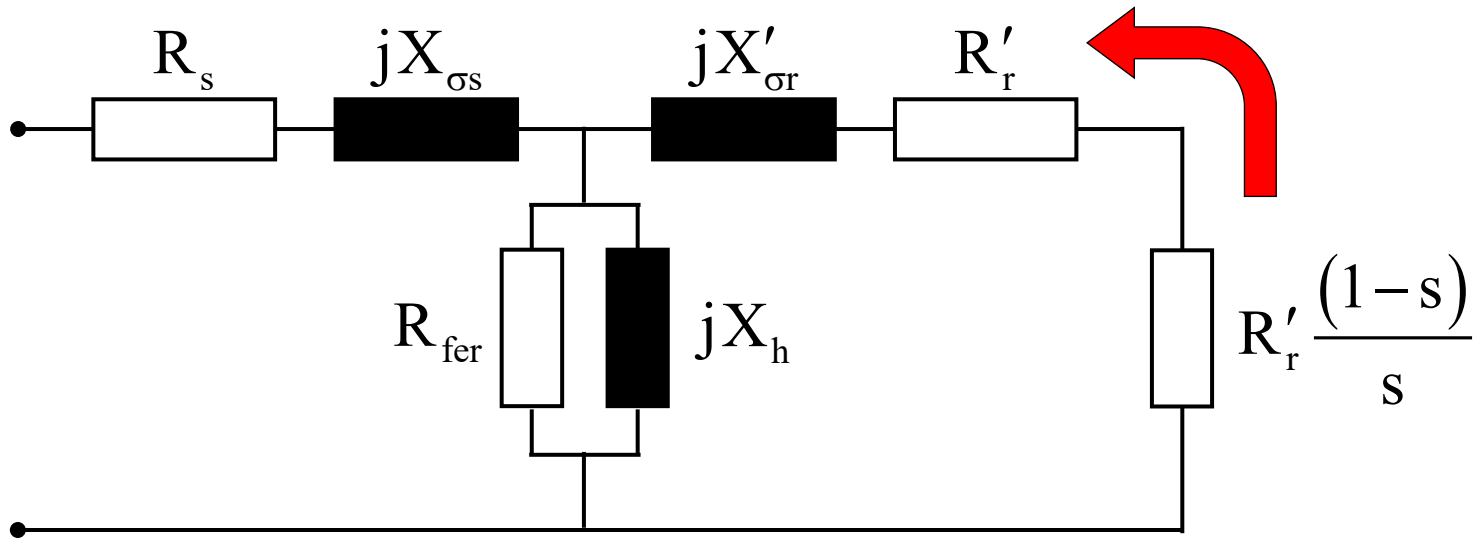
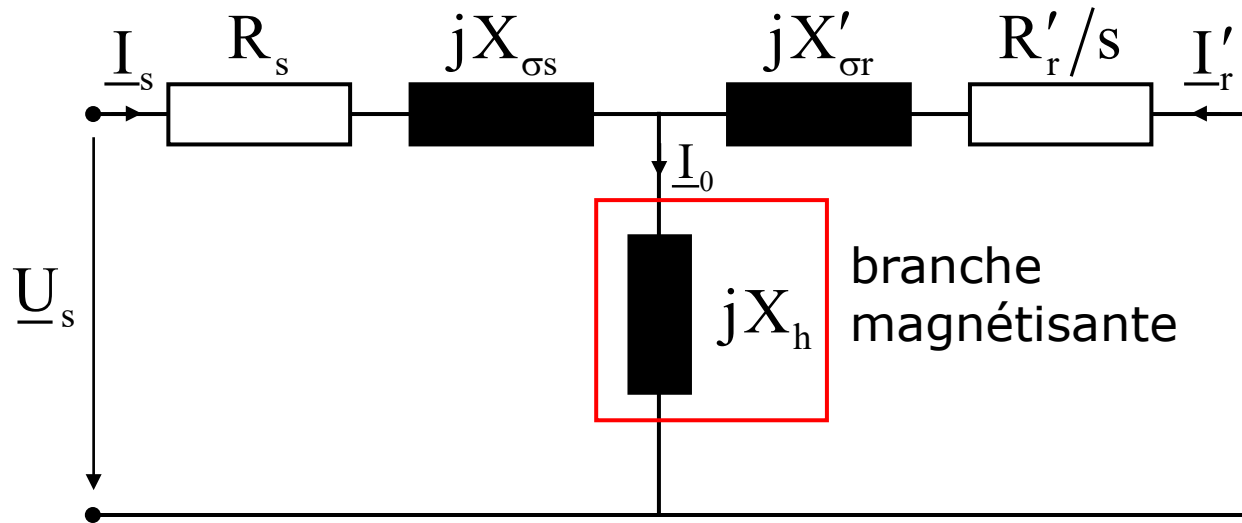
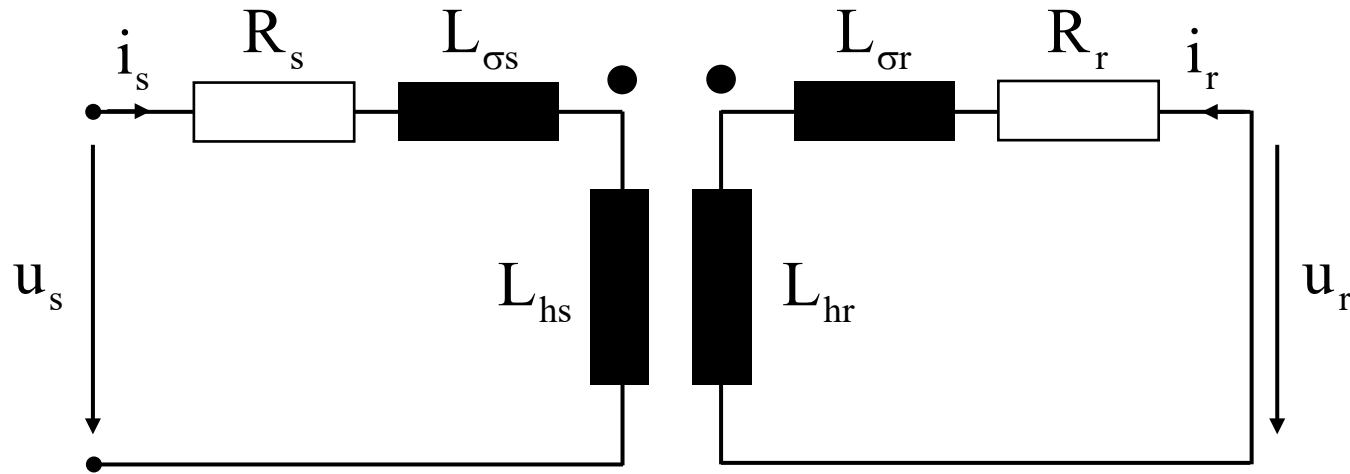


Schéma équivalent de la machine asynchrone



$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

Equations de tension



$$\begin{cases} u_s = R_s i_s + \frac{d\Psi_s}{dt} \\ u_r = 0 = R_r i_r + \frac{d\Psi_r}{dt} \end{cases} \quad \begin{aligned} L_{hs} &= N_s N_s \Lambda_h \\ L_{hr} &= N_r N_r \Lambda_h \\ L_{sr} &= L_{rs} = N_s N_r \Lambda_h \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \Psi_s = L_s i_s + L_{sr} i_r = (L_{hs} + L_{\sigma s}) i_s + L_{sr} i_r \\ \Psi_r = L_r i_r + L_{rs} i_s = (L_{hr} + L_{\sigma r}) i_r + L_{rs} i_s \end{cases}$$

Equations de tension

alimentation
sinusoïdale

$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j \omega_s L_{\sigma s} \underline{I}_s + j \omega_s L_{hs} \underline{I}_s + j \omega_s L_{sr} \underline{I}_r \\ \underline{U}_r = 0 = R_r \underline{I}_r + j \omega_r L_{\sigma r} \underline{I}_r + j \omega_r L_{hr} \underline{I}_r + j \omega_r L_{sr} \underline{I}_s \end{cases}$$

grandeurs
rapportées
au primaire

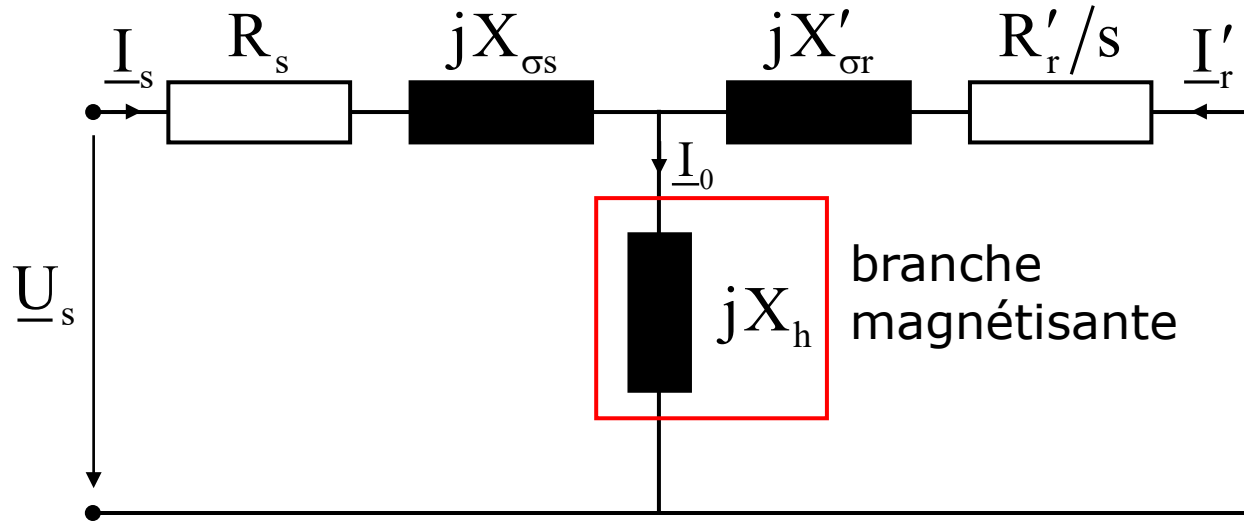
$$\ddot{u} = \frac{N_s k_{ws}}{N_r k_{wr}} \longrightarrow \begin{aligned} L_{hs} &= \ddot{u} L_{sr} \\ L'_{hr} &= L_{hs} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j \omega_s L_{\sigma s} \underline{I}_s + j \omega_s L_{hs} \underline{I}_s + j \omega_s L_{hs} \underline{I}'_r \\ 0 = R'_r \underline{I}'_r + j \omega_r L'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j \omega_r L'_{hr} \underline{I}'_r + j \omega_r L_{hs} \underline{I}_s \end{cases}$$

$$\omega_r = s \omega_s \longrightarrow \begin{aligned} X_{\sigma s} &= \omega_s L_{\sigma s} \\ X_h &= \omega_s L_{hs} \\ X'_{\sigma r} &= \omega_s L'_{\sigma r} \end{aligned}$$

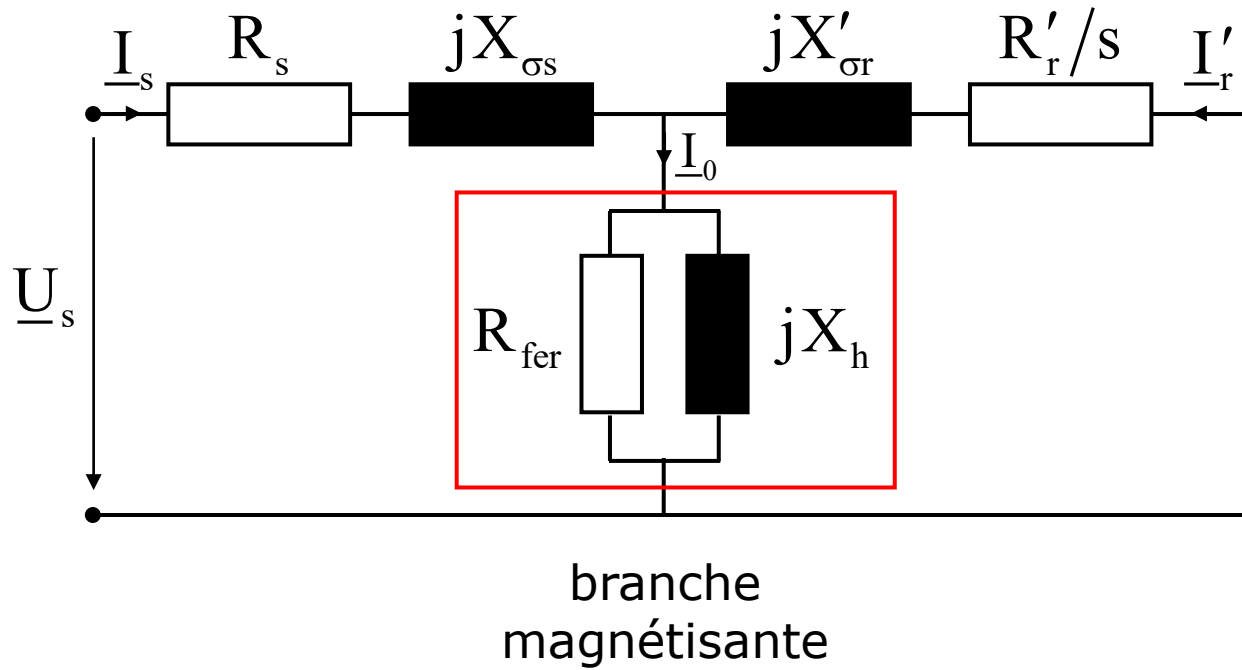
$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

Schéma équivalent

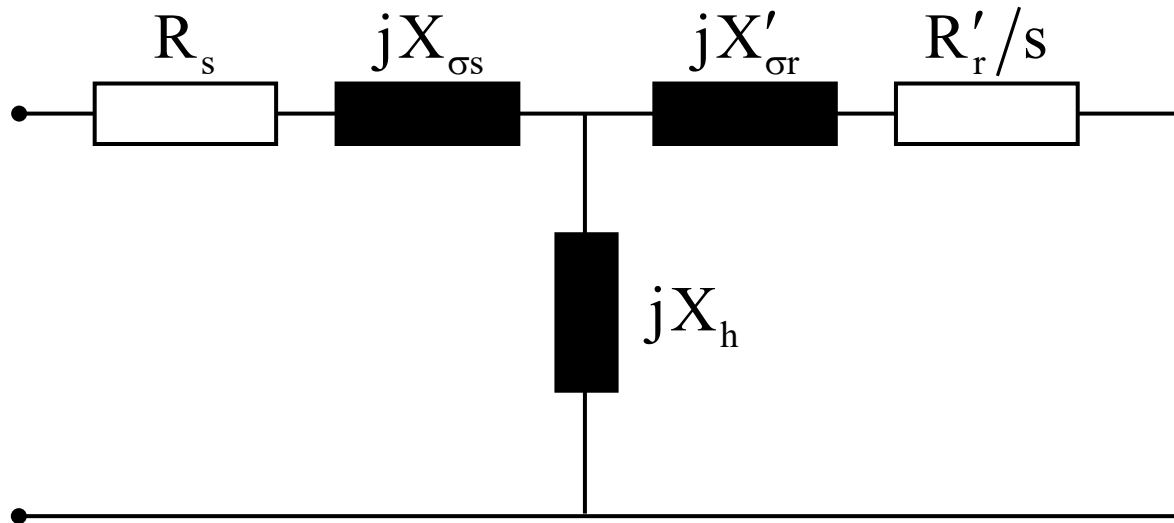


$$\begin{cases} \underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j X_{\sigma s} \underline{I}_s + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \\ 0 = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + j X'_{\sigma r} \underline{I}'_r + j X_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r) \end{cases}$$

Schéma équivalent



Paramètres du schéma équivalent



$$r_s \rightarrow 0.01 - 0.03 \text{ [p.u]}$$

$$x_{\sigma s} \rightarrow 0.08 - 0.12 \text{ [p.u]}$$

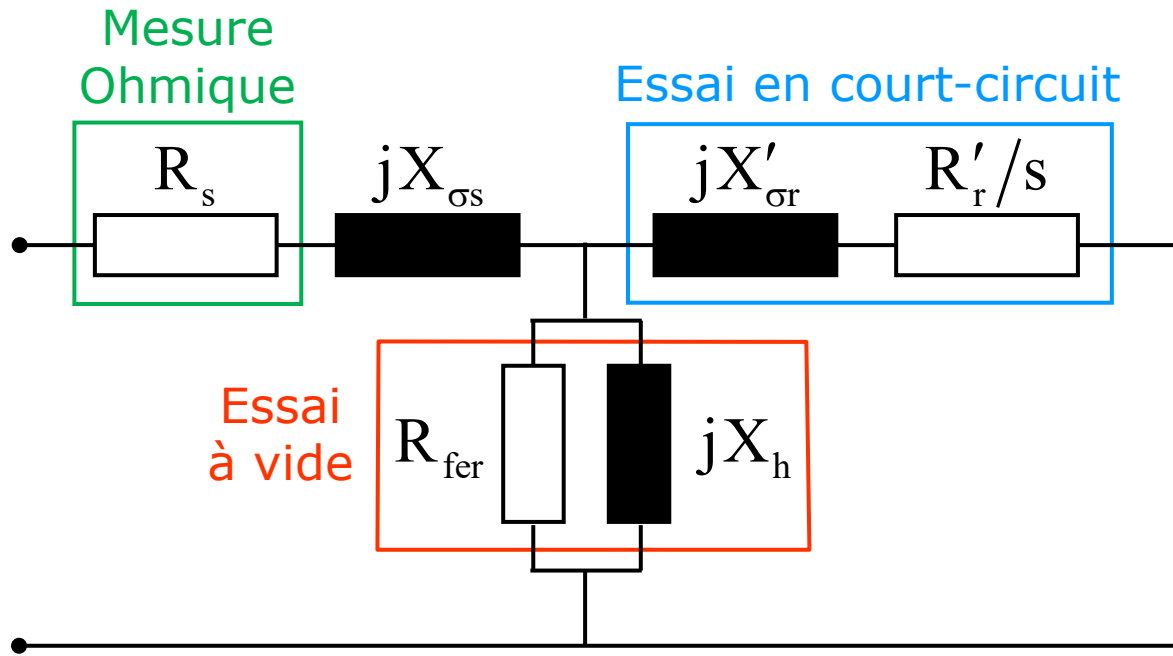
$$x_h \rightarrow 2.5 - 4 \text{ [p.u]}$$

$$x'_{\sigma r} \rightarrow 0.08 - 0.10 \text{ [p.u]}$$

$$r'_r \rightarrow 0.01 - 0.03 \text{ [p.u]}$$

Paramètres du schéma équivalent

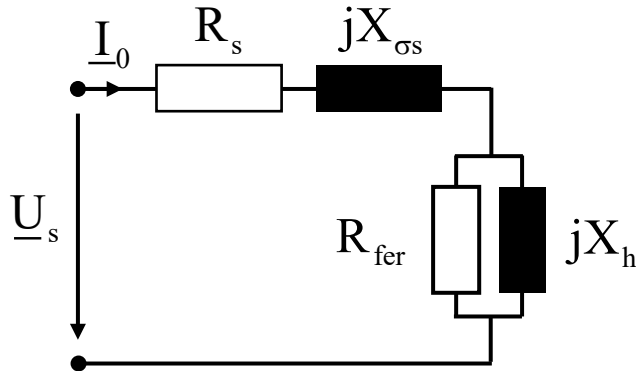
Les paramètres se déterminent par différents essais



$$\begin{aligned} r_s &\rightarrow 0.01 - 0.03 \text{ [p.u]} \\ x_{\sigma s} &\rightarrow 0.08 - 0.12 \text{ [p.u]} \\ x_h &\rightarrow 2.5 - 4 \text{ [p.u]} \\ x'_{\sigma r} &\rightarrow 0.08 - 0.10 \text{ [p.u]} \\ r'_r &\rightarrow 0.01 - 0.03 \text{ [p.u]} \end{aligned}$$

Détermination des paramètres

Essai à vide



- P_0 = la puissance active totale
- U_s = la tension stator de phase
- I_0 = le courant stator de phase

$$\underline{Z}_0 = R_s + jX_{\sigma s} + \frac{jR_{fer} X_h}{R_{fer} + jX_h} = R_0 + jX_0$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_0 - (R_s + jX_{\sigma s})} = \frac{1}{R_{fer}} + \frac{1}{jX_h}$$

$$\begin{cases} R_{fer} = \frac{(R_0 - R_s)^2 + (X_0 - X_{\sigma s})^2}{(R_0 - R_s)} \\ X_h = \frac{(R_0 - R_s)^2 + (X_0 - X_{\sigma s})^2}{(X_0 - X_{\sigma s})} \end{cases}$$

$$|\underline{Z}_0| = \frac{U_s}{I_0}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_0 - P_{fv}}{3 U_s I_0}$$

$$\sin \varphi = \sin(\cos^{-1}(\cos \varphi))$$

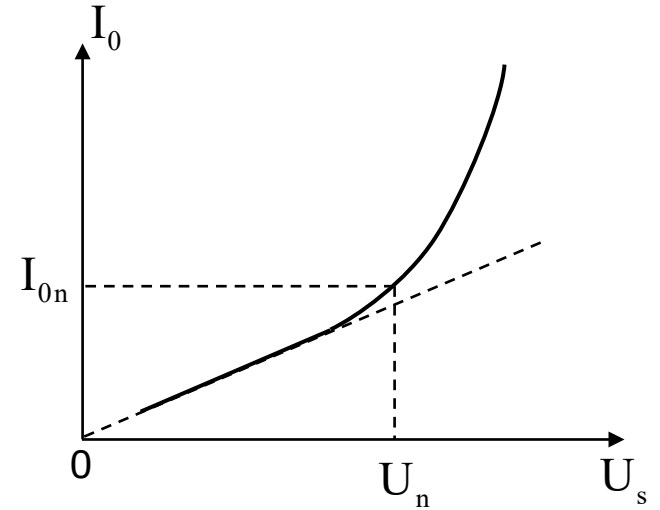
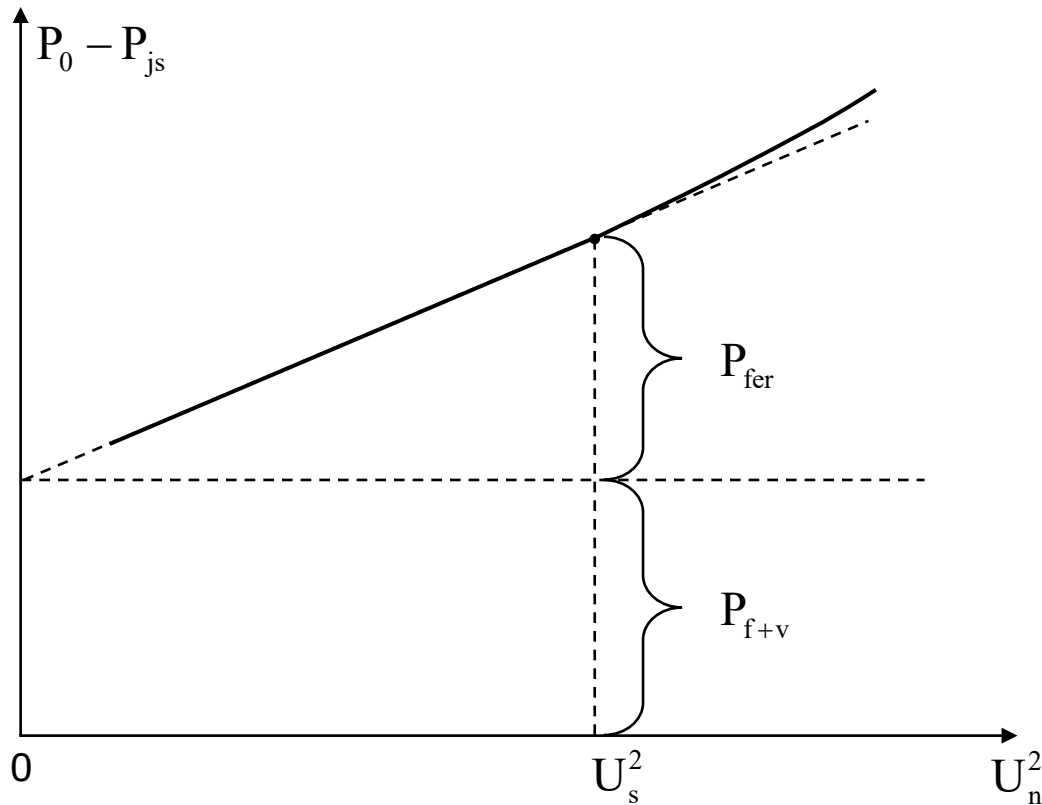
$$\begin{cases} R_0 = |\underline{Z}_0| \cos \varphi \\ X_0 = |\underline{Z}_0| \sin \varphi \end{cases}$$

Détermination des paramètres

Essai à vide

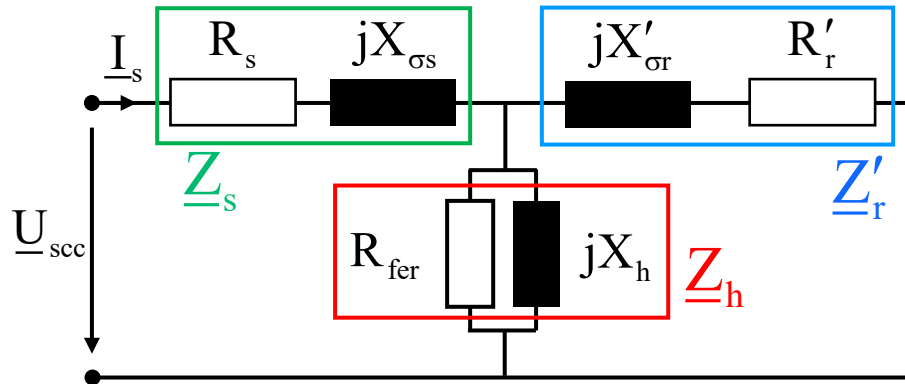
$$P_0 = P_{js} + P_{fer} + P_{fv}$$

$$P_{js} = 3 R_s I_0^2$$



Détermination des paramètres

Essai en court-circuit (à rotor bloqué)



- P_{cc} = la puissance active totale
- U_{scc} = la tension stator de phase
- I_s = le courant stator de phase

$$\underline{Z}_{cc} = \underline{Z}_s + \frac{\underline{Z}_h \underline{Z}'_r}{\underline{Z}_h + \underline{Z}'_r} = R_{cc} + jX_{cc}$$

$$\begin{cases} \underline{Z}_s = R_s + jX_{\sigma s} \\ \underline{Z}_h = \frac{jR_{fer} X_h}{R_{fer} + jX_h} \\ \underline{Z}'_r = R'_r + jX'_{or} \end{cases}$$

$$\begin{cases} R'_r = \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{\frac{1}{(\underline{Z}_{cc} - \underline{Z}_s)} - \frac{1}{\underline{Z}_h}} \right\} \\ X'_{or} = \operatorname{Im} \left\{ \frac{1}{\frac{1}{(\underline{Z}_{cc} - \underline{Z}_s)} - \frac{1}{\underline{Z}_h}} \right\} \end{cases}$$

$$|\underline{Z}_{cc}| = \frac{U_{scc}}{I_s}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{cc}}{3 U_{scc} I_s}$$

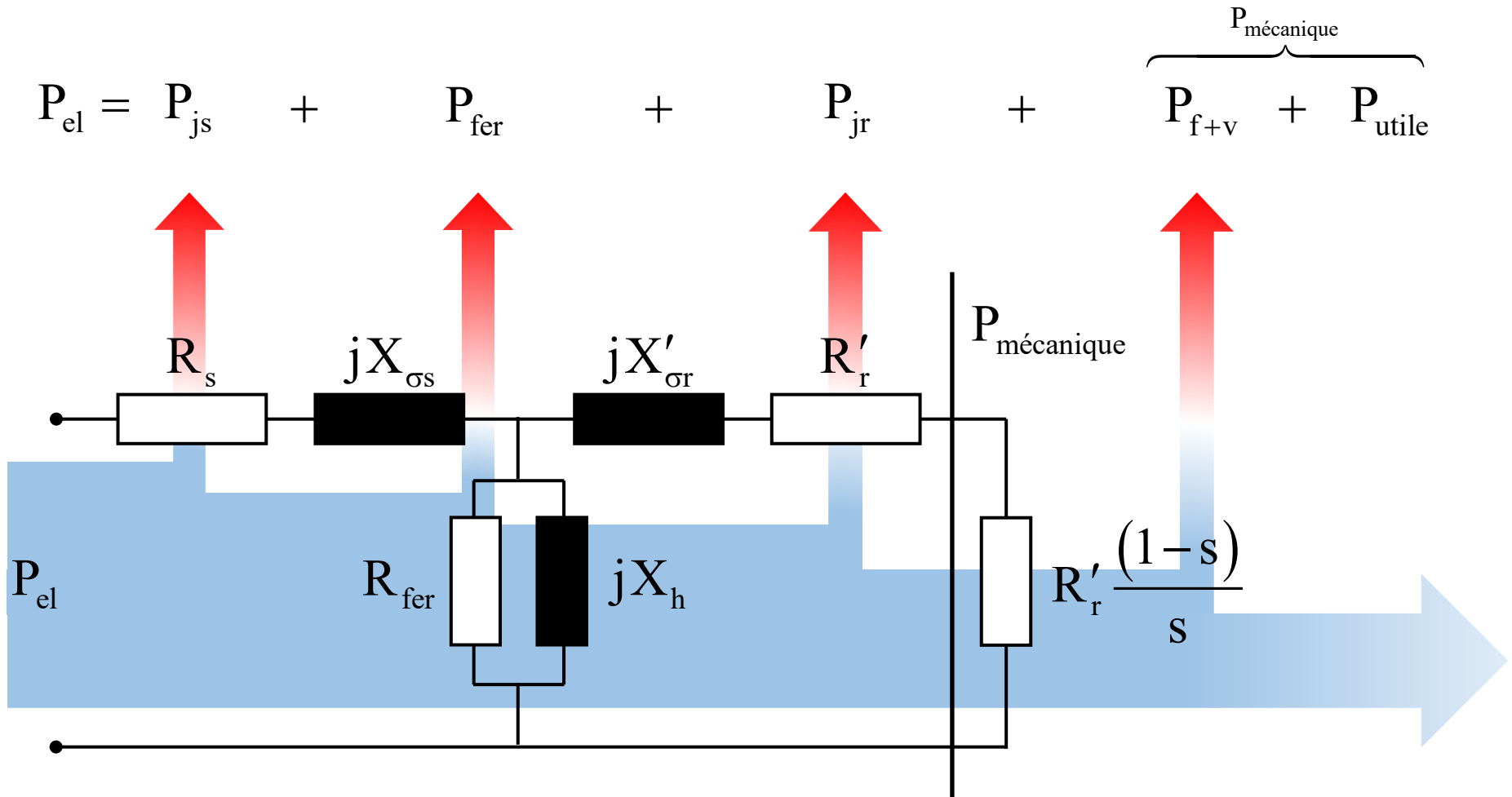
$$\sin \varphi = \sin(\cos^{-1}(\cos \varphi))$$

$$\begin{cases} R_{cc} = |\underline{Z}_{cc}| \cos \varphi \\ X_{cc} = |\underline{Z}_{cc}| \sin \varphi \end{cases}$$

Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

Bilan de puissance – Moteur

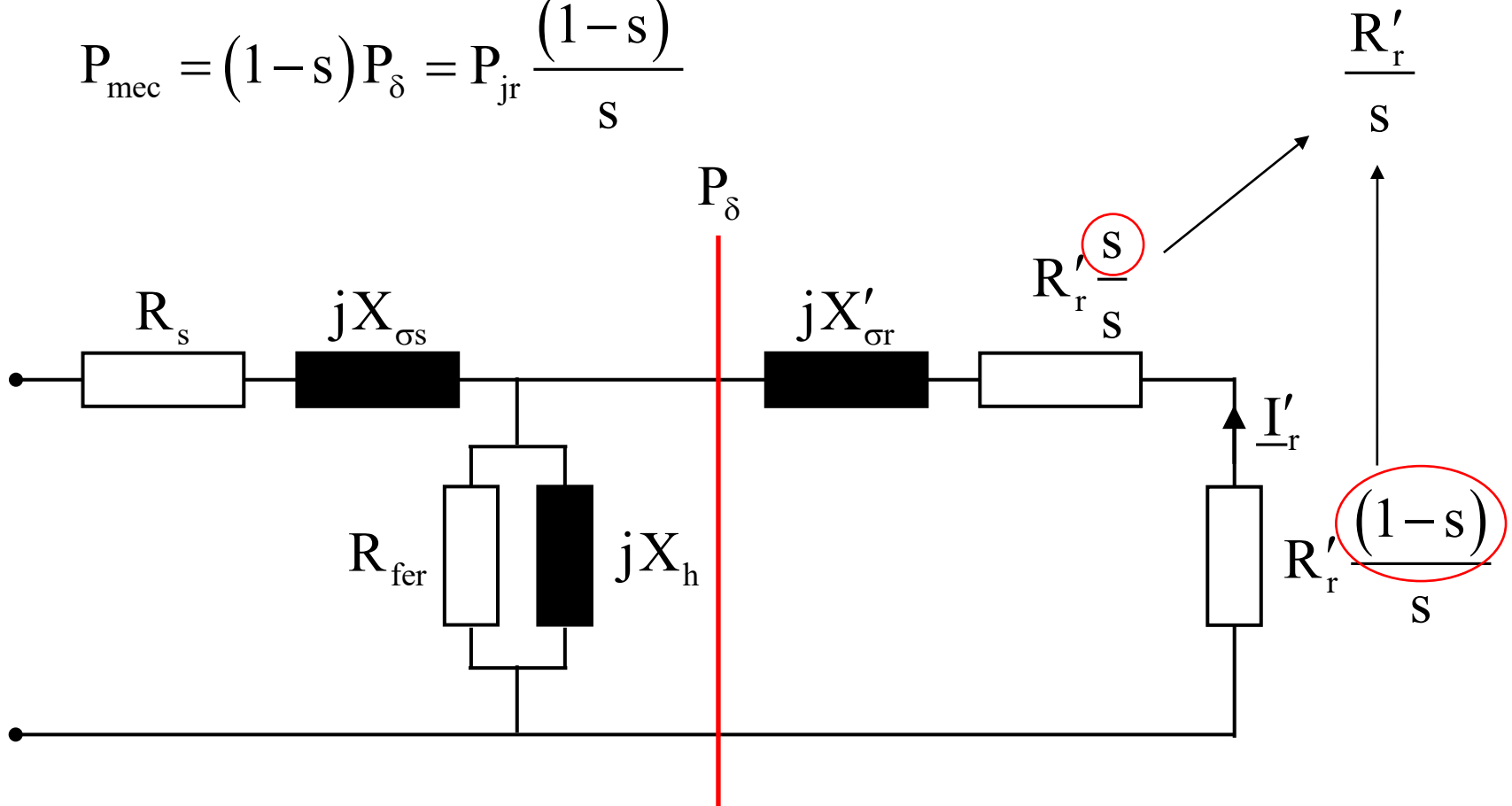


Puissance d'entrefer

$$P_{\delta} = P_{el} - P_{js} - P_{fer} = P_{mec} + P_{jr} = 3 \frac{R'_r}{s} I_r'^2$$

$$P_{jr} = s P_{\delta}$$

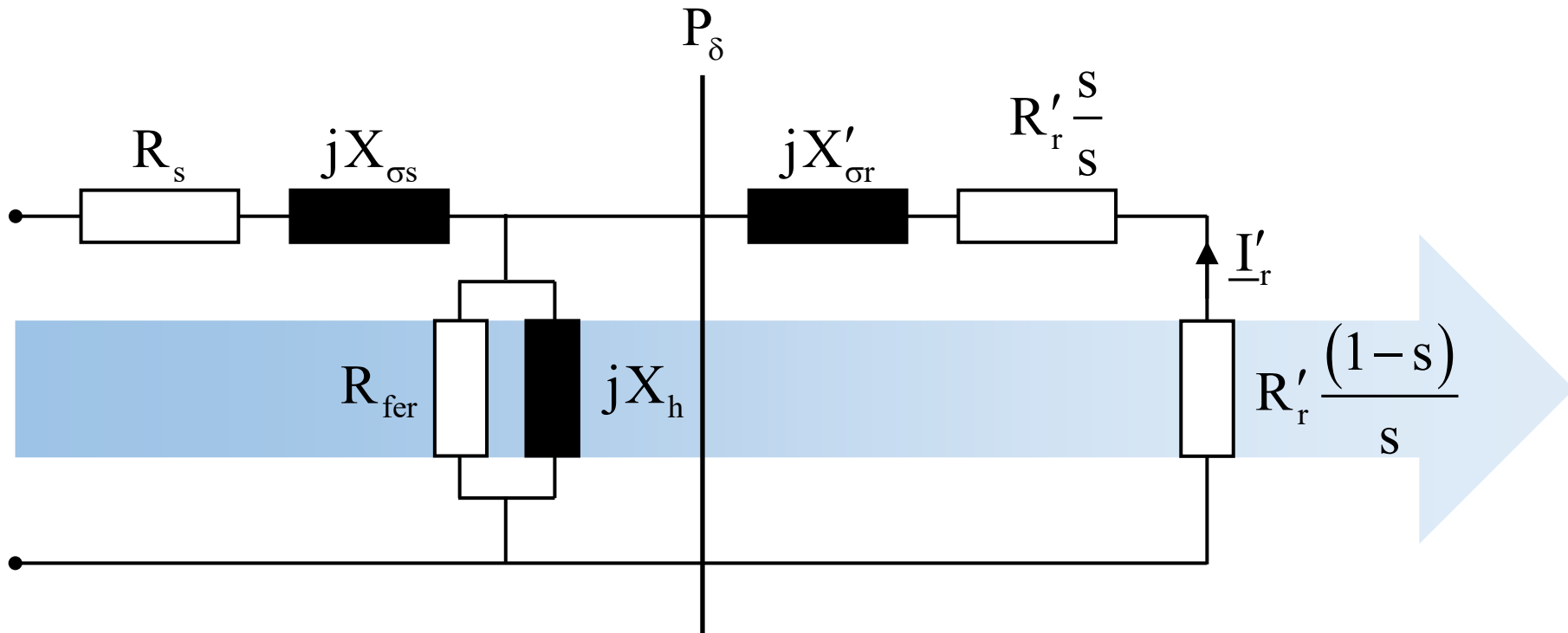
$$P_{mec} = (1-s) P_{\delta} = P_{jr} \frac{(1-s)}{s}$$



Bilan de puissance – Moteur

$$P_{el} = P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + \underbrace{P_{f+v} + P_{utile}}_{P_{m\acute{e}canique}}$$

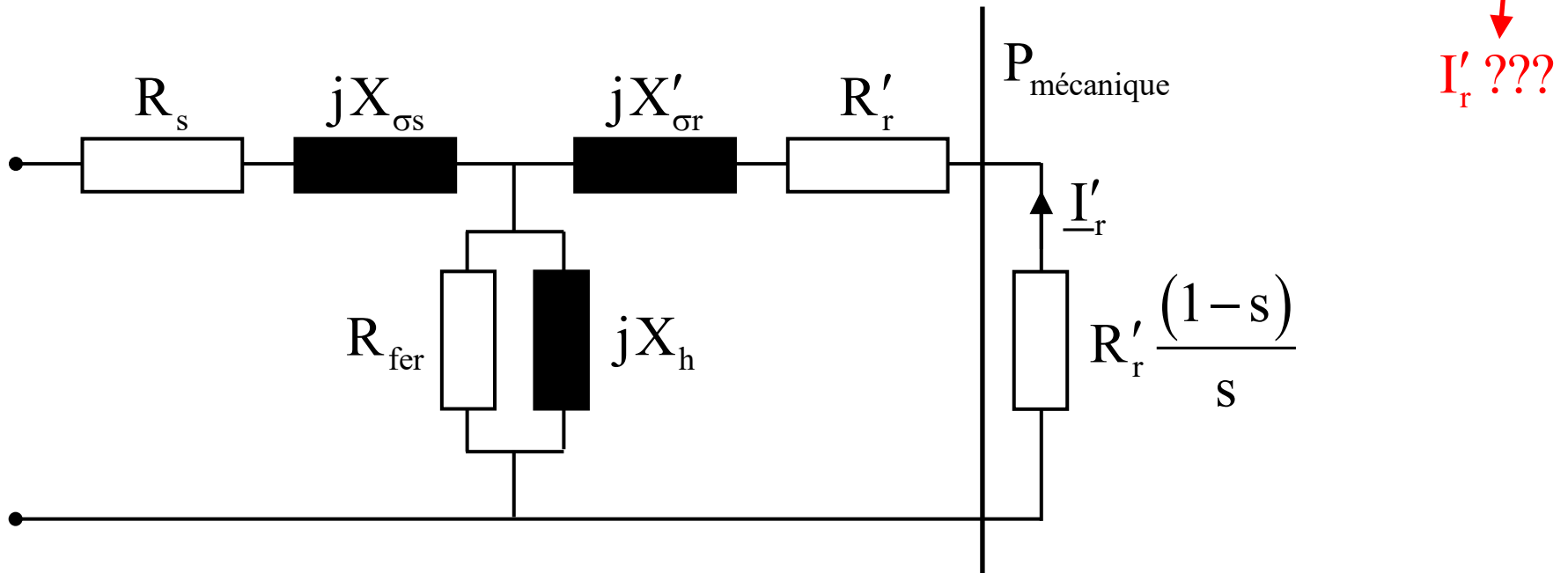
$$P_{el} = P_{js} + P_{fer} + P_{\delta} \quad \Bigg| \quad P_{\delta} = P_{jr} + \underbrace{P_{f+v} + P_{utile}}_{P_{m\acute{e}canique}}$$



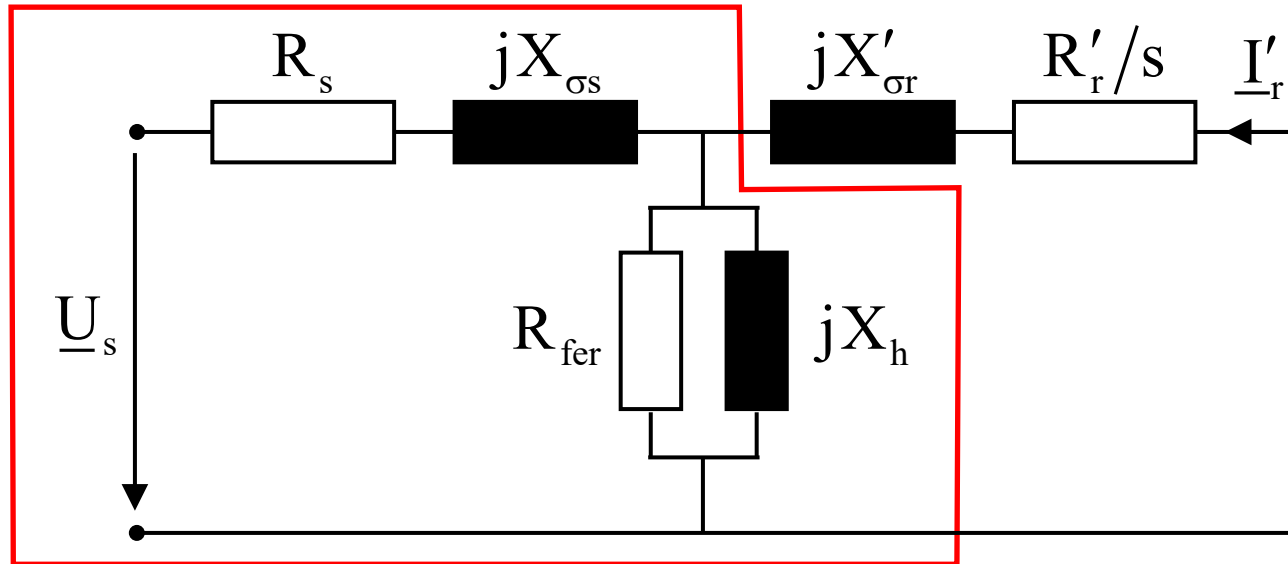
Couple électromagnétique

$$P_{\text{mec}} = \Omega_m T_{\text{em}} = 3 R'_r \frac{(1-s)}{s} I_r'^2$$

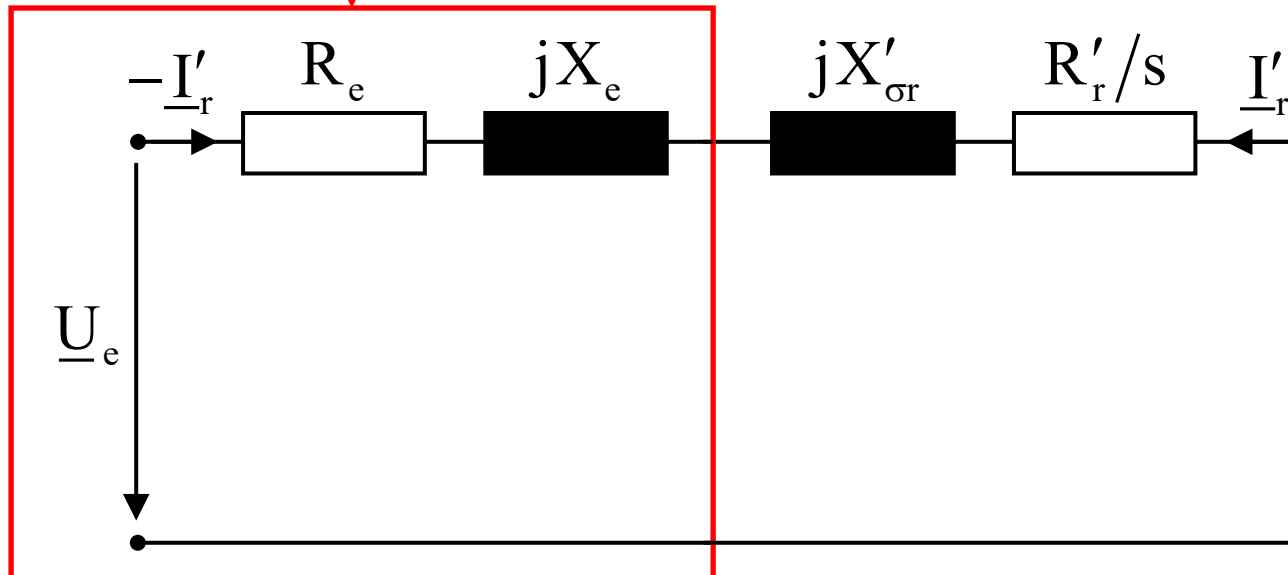
$$T_{\text{em}} = \frac{1}{\Omega_m} 3 R'_r \frac{(1-s)}{s} I_r'^2 \xrightarrow{\Omega_m = \Omega_s (1-s)} T_{\text{em}} = 3 \frac{1}{\Omega_s} \frac{R'_r}{s} I_r'^2$$



Equivalent de Thévenin



Théorème de Thévenin



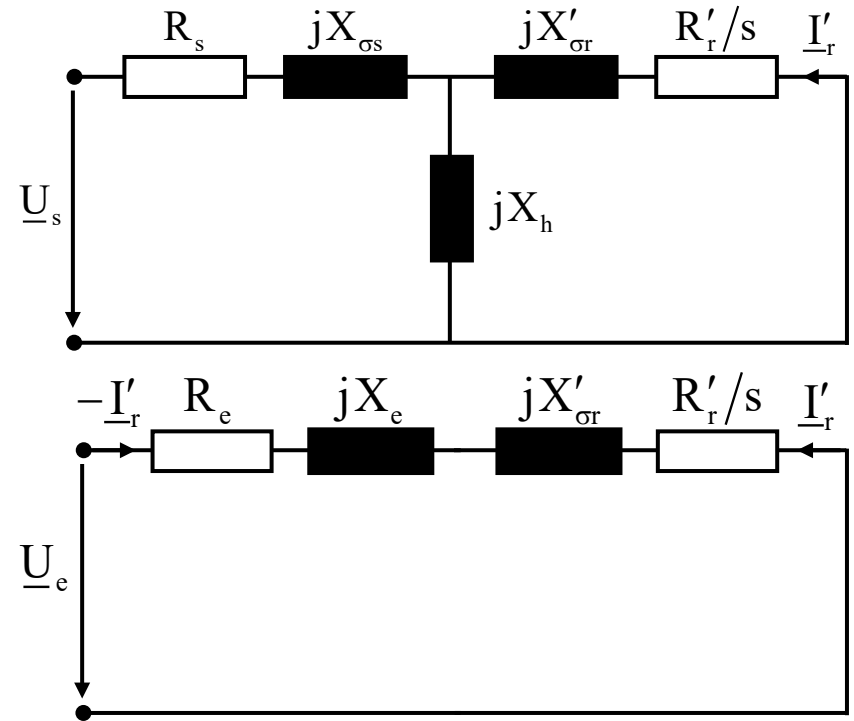
Equivalent de Thévenin

$$\underline{U}_e = \underline{U}_s \frac{j X_h}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_e &= j X_h \frac{R_s + j X_{\sigma s}}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)} \\ &= R_e + j X_e \end{aligned}$$

$$-\underline{I}'_r = \frac{\underline{U}_e}{\underline{Z}_e + \frac{R'_r}{s} + j X'_{\sigma r}} = \frac{\underline{U}_e}{\left(R_e + \frac{R'_r}{s}\right) + j(X_e + X'_{\sigma r})}$$

$$T_{em} = 3 \frac{1}{\Omega_s} \frac{R'_r}{s} I_r'^2$$



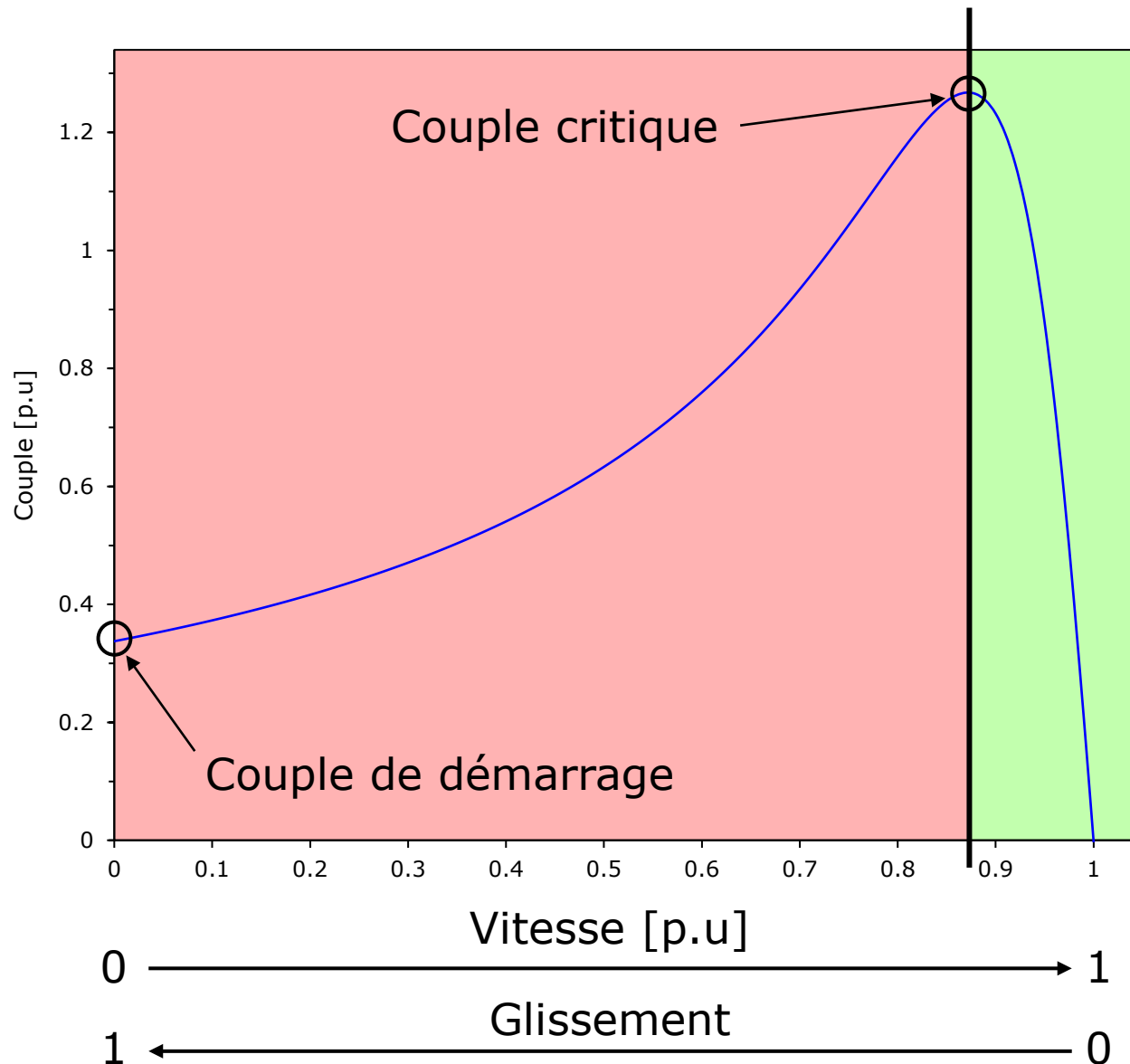
Couple électromagnétique

$$\underline{U}_e = \underline{U}_s \frac{j X_h}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)}$$

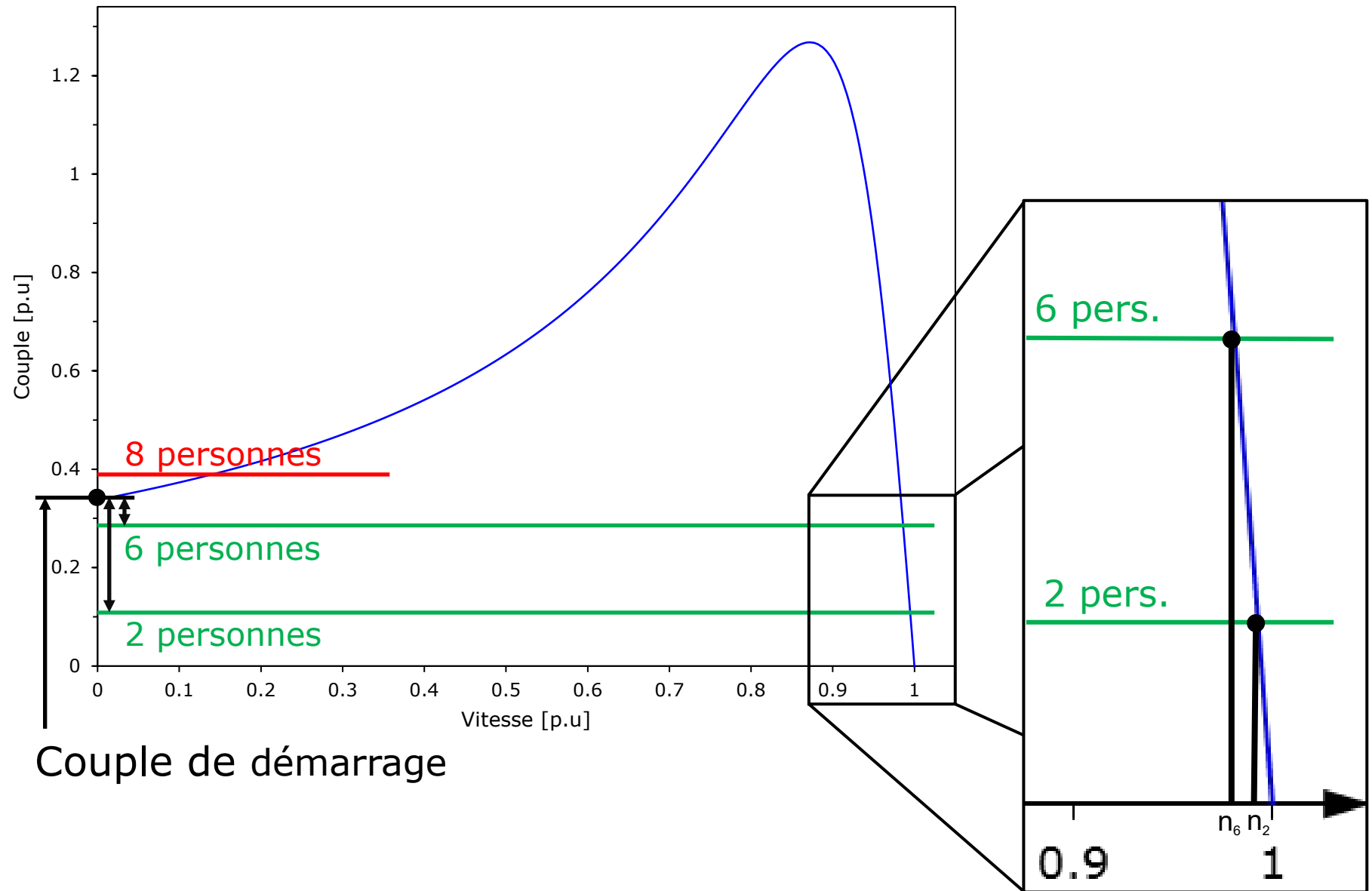
$$\underline{Z}_e = j X_h \frac{R_s + j X_{\sigma s}}{R_s + j(X_{\sigma s} + X_h)} = R_e + j X_e$$

$$T_{em} = \frac{P_\delta}{\Omega_s} = \frac{P_{jr}}{s \Omega_s} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[\left(R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$

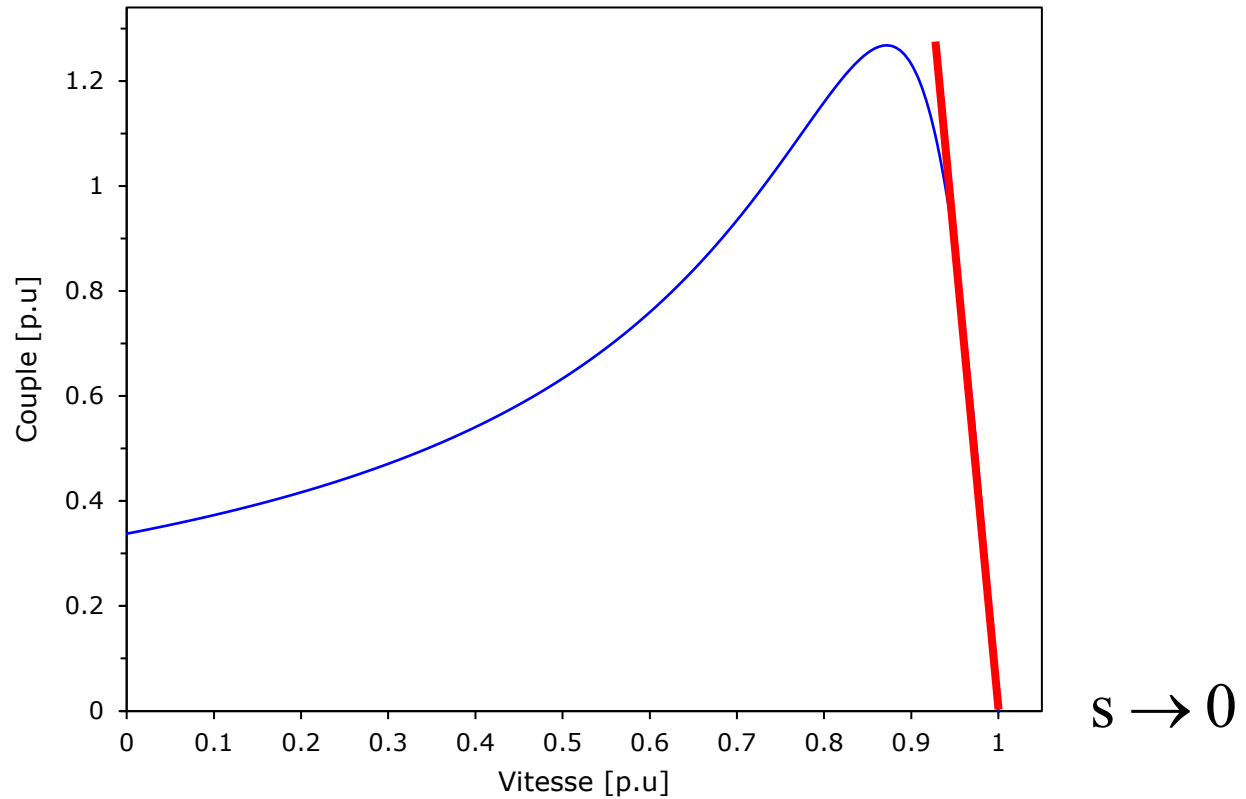
Caractéristique de couple



Caractéristique de couple



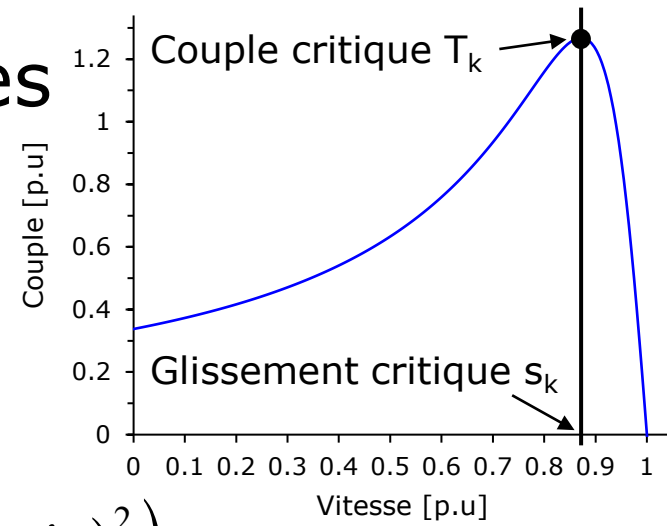
$$T_{em} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[\left(R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$



$$T_{em} \cong \frac{3 U_e^2}{\Omega_s} \frac{s}{R'_r}$$

Couple et glissement critiques

$$T_{em} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[\left(R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$



$$\frac{dT_{em}}{ds} = \frac{3U_e^2 R'_r}{\Omega_s} \frac{R_r'^2 - s^2 (R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2)}{\left(s^2 (R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2) + 2R_e R'_r s + R_r'^2 \right)^2}$$

$$\frac{dT_{em}}{ds} = 0$$

$$s_k = \frac{R'_r}{\sqrt{R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2}}$$

$$T_k = \frac{3U_e^2}{2 \Omega_s \left[R_e + \sqrt{R_e^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2} \right]}$$

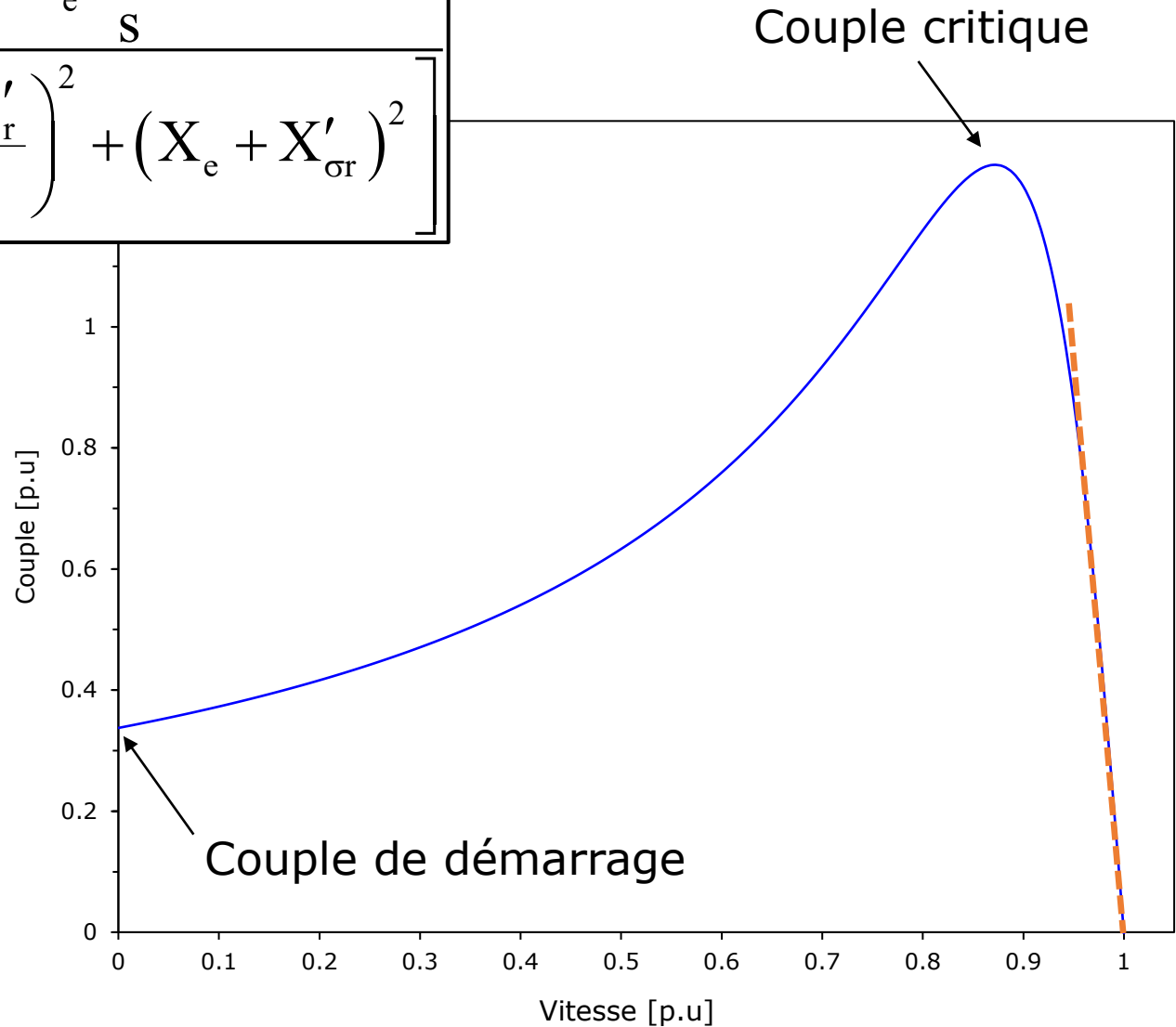
Résolution par le théorème d'échange de puissance maximum entre le réseau et la charge représentée par R'_r / s

$$|\underline{Z}_e + jX'_{\sigma r}| = \frac{R'_r}{s_k}$$

Caractéristique de couple

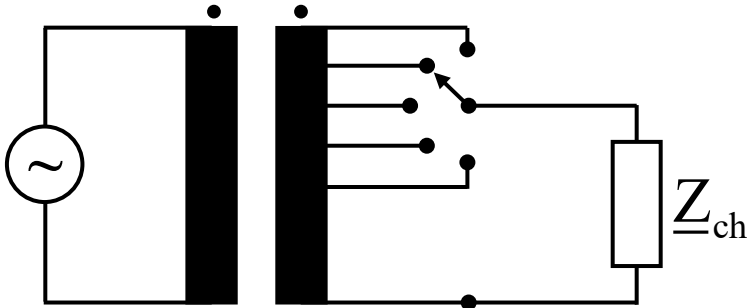
$$T_{em} = \frac{3 U_e^2 \frac{R'_r}{s}}{\Omega_s \left[\left(R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_e + X'_{\sigma r})^2 \right]}$$

$$T_{em} \cong \frac{3 U_e^2}{\Omega_s} \frac{s}{R'_r}$$

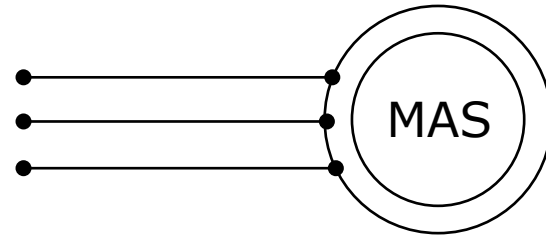
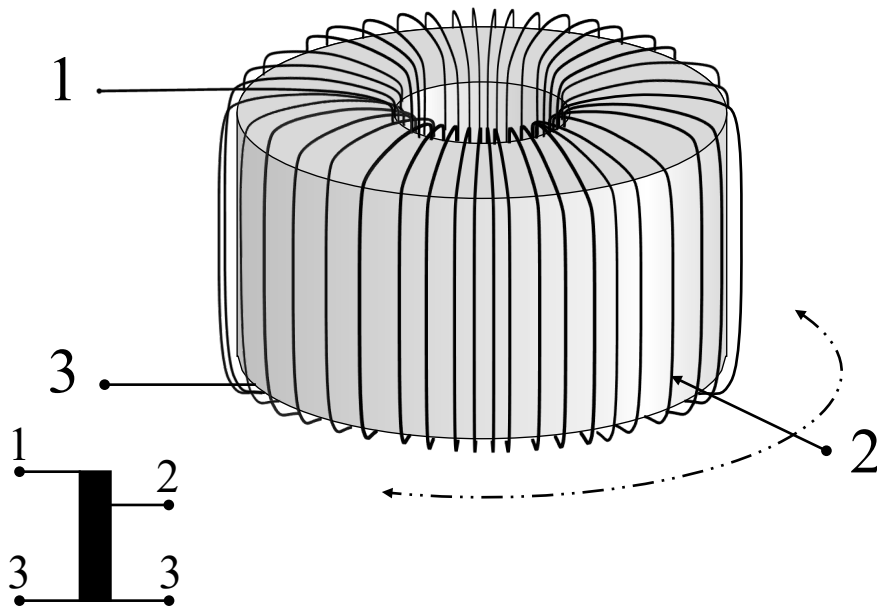


Alimentation à tension variable

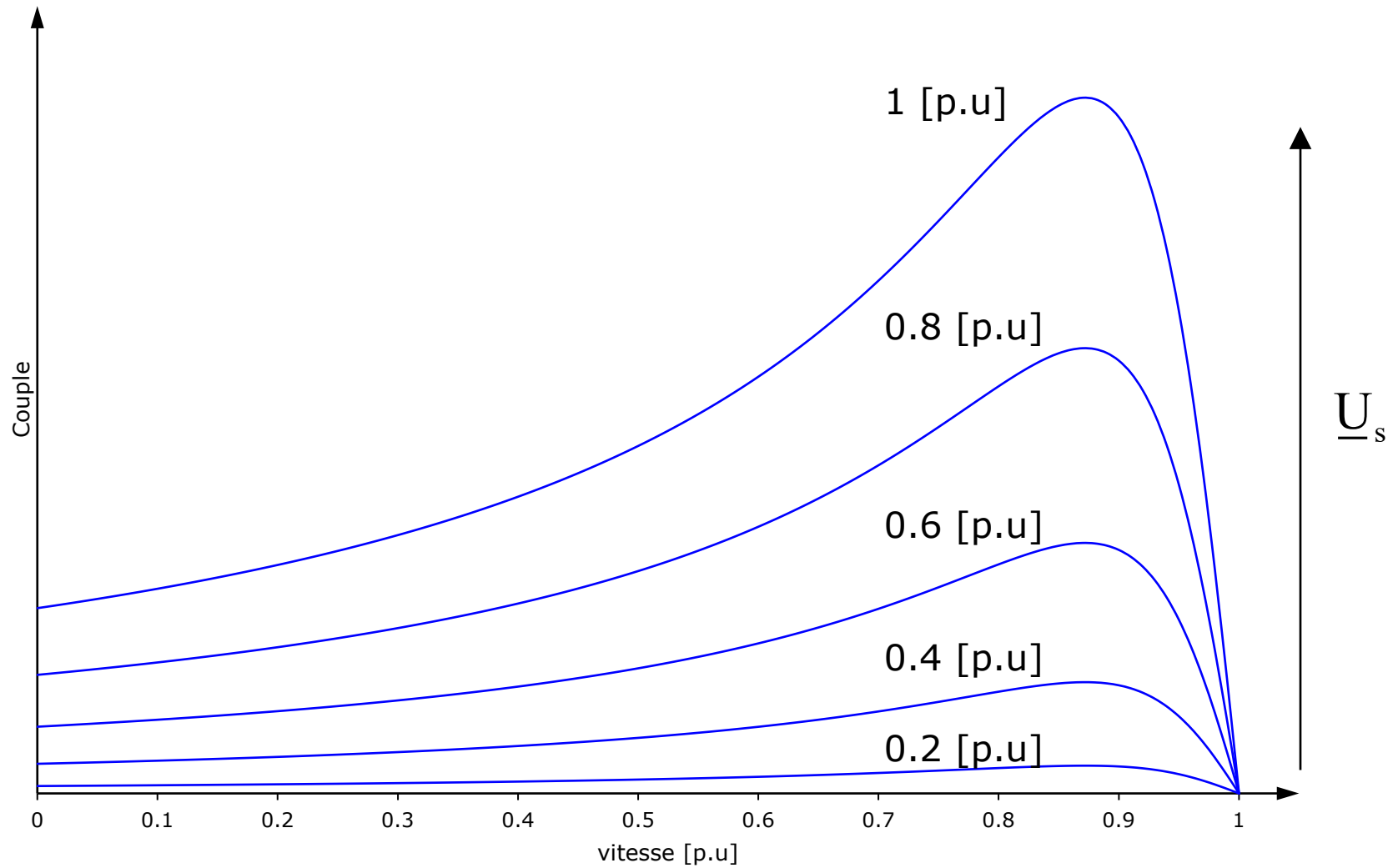
Transformateur à gradins



Le variac



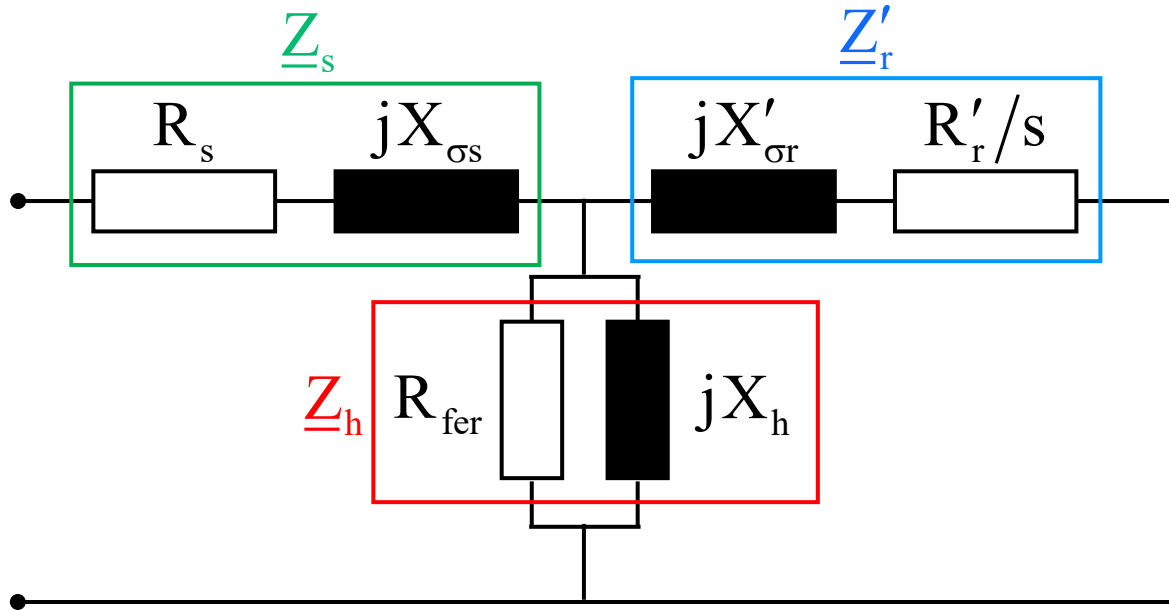
Alimentation à tension variable



Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

Impédance équivalente



$$\underline{Z}_{eq} = \underline{Z}_s + \frac{\underline{Z}_h \underline{Z}'_r}{\underline{Z}_h + \underline{Z}'_r}$$

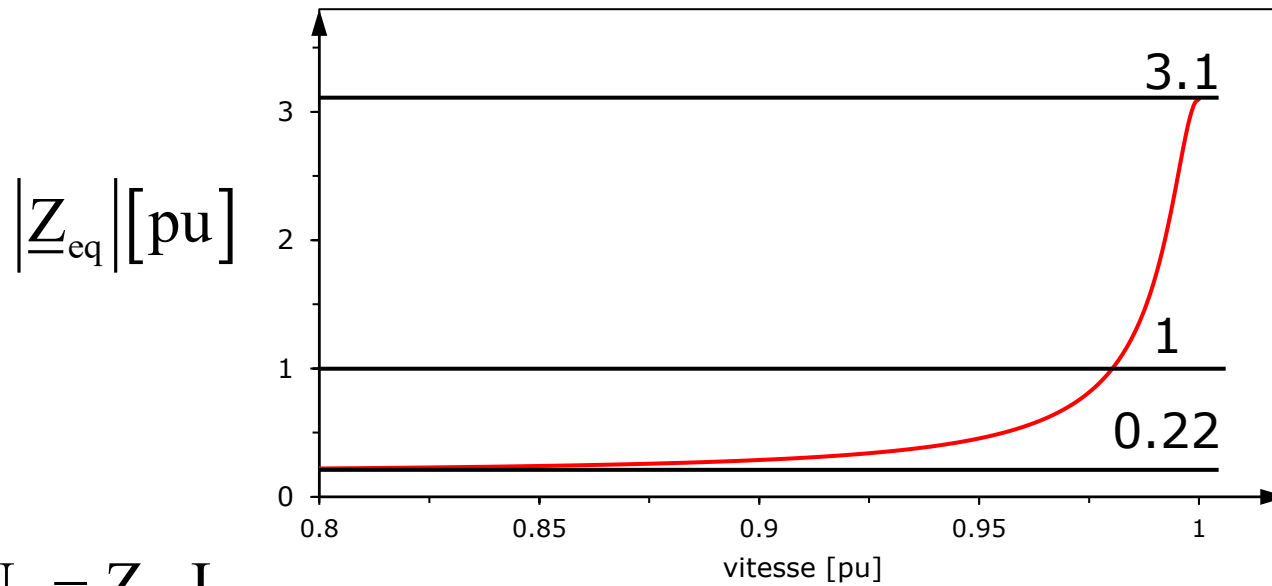
$$\underline{Z}_s = R_s + jX_{\sigma s}$$

$$\underline{Z}'_r = \frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r}$$

$$\underline{Z}_h = jX_h \longrightarrow R_{fer} \gg X_h$$

$$\underline{Z}_{eq} = R_s + jX_{\sigma s} + \frac{jX_h \left(\frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r} \right)}{jX_h + \left(\frac{R'_r}{s} + jX'_{\sigma r} \right)}$$

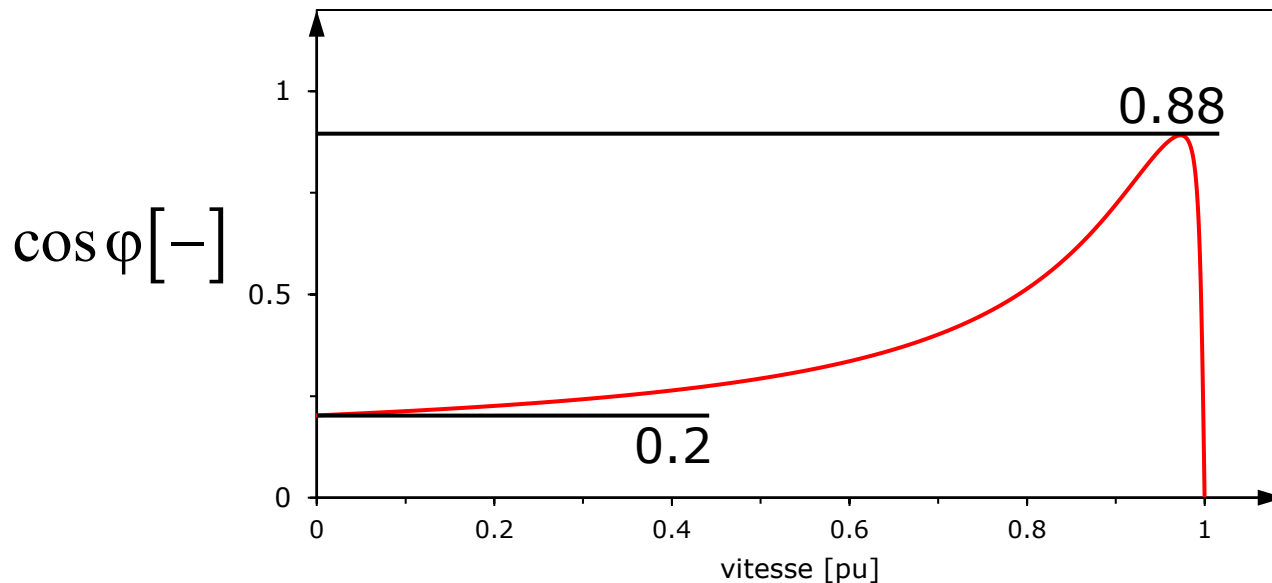
Impédance équivalente en fonction du glissement



$$\frac{1}{0.22} \cong 4.5$$

$$\frac{1}{3.1} \cong 0.33$$

$$\underline{U}_s = \underline{Z}_{eq} \underline{I}_s$$

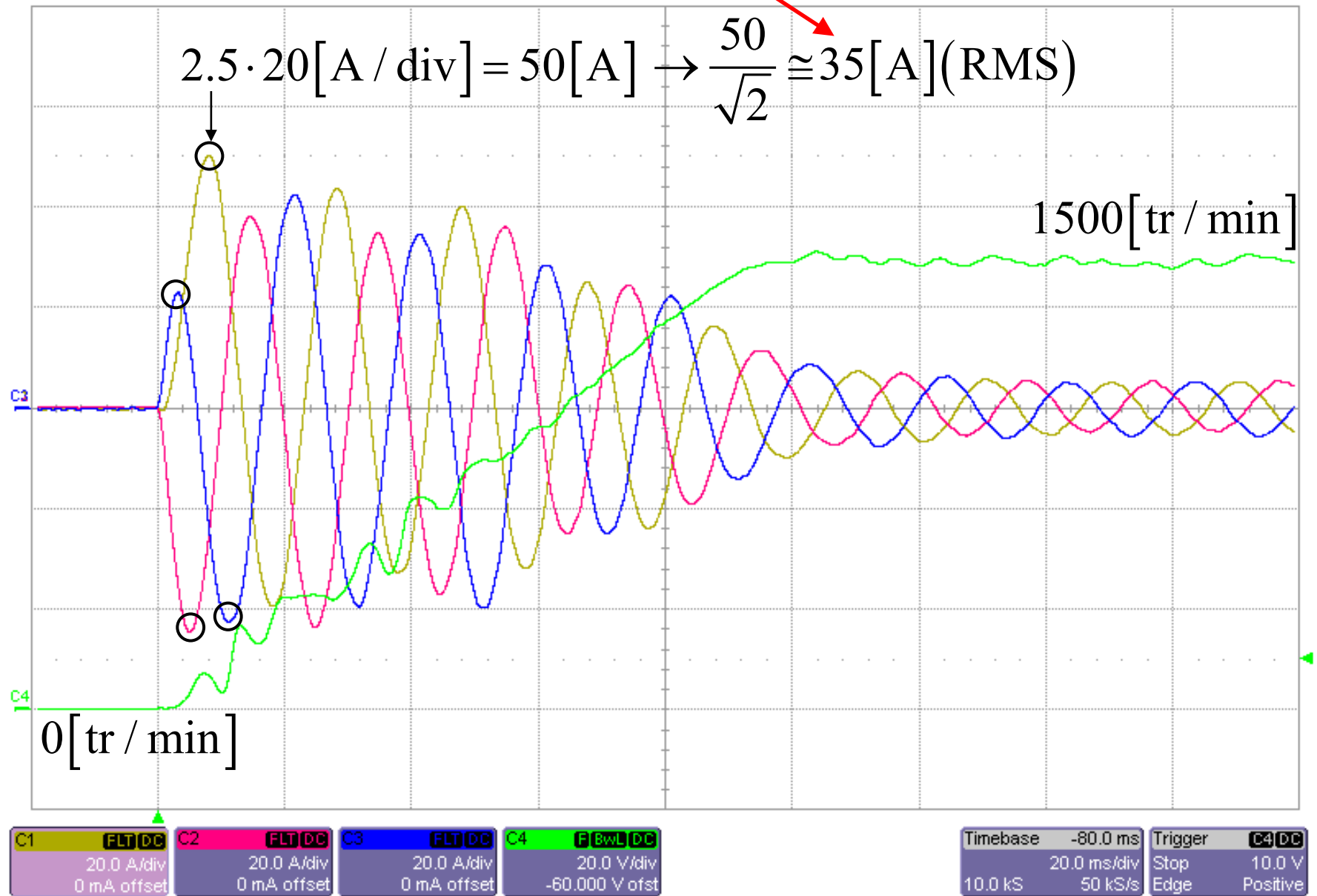


consomme
du réactif !

Sommaire

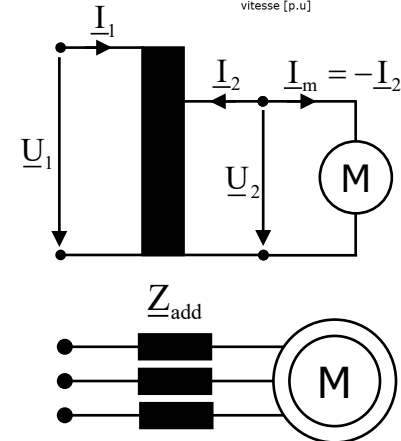
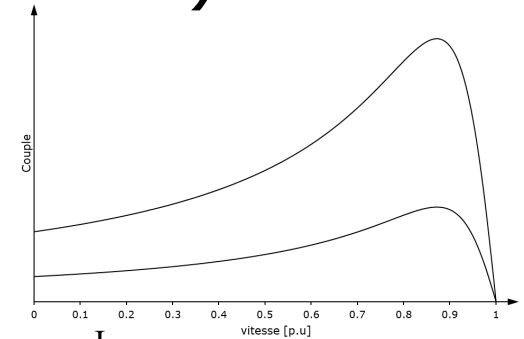
- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

Démarrage d'un moteur asynchrone 2.2 kW ($I_n = 5A$)



Différentes techniques existent pour réduire le courant au démarrage (in rush current)

- Démarrage étoile-triangle
 - Un moteur prévu pour fonctionner en triangle est câblé en étoile lors du démarrage.
- Démarrage par autotransformateur
 - Un transformateur abaisseur de tension est inséré entre le réseau et le moteur.
- Démarrage par impédance additionnelle
 - Une résistance ou une inductance est ajoutée en série avec le stator.
- Soft starter
 - Utilisation d'un convertisseur de puissance possédant des triacs. Contrôle du courant (limitation du courant).



3RW3013-1BB04 - Soft Starter SIRIUS S00 3.6A 400V 1.5kW 24VAC/DC, Siemens

Distrelec Article Number: 137-65-965 Manufacturer Part Number: 3RW3013-1BB04 Brand: Siemens Product family



PRICE PER PIECE
CHF 142.64 (inc. VAT)
CHF 132.44 (exc. VAT)

1 + CHF 132.44
5 + CHF 129.13

- 1 + Add to Cart

1 min order

Image is for illustrative purposes only. Please refer to product description.

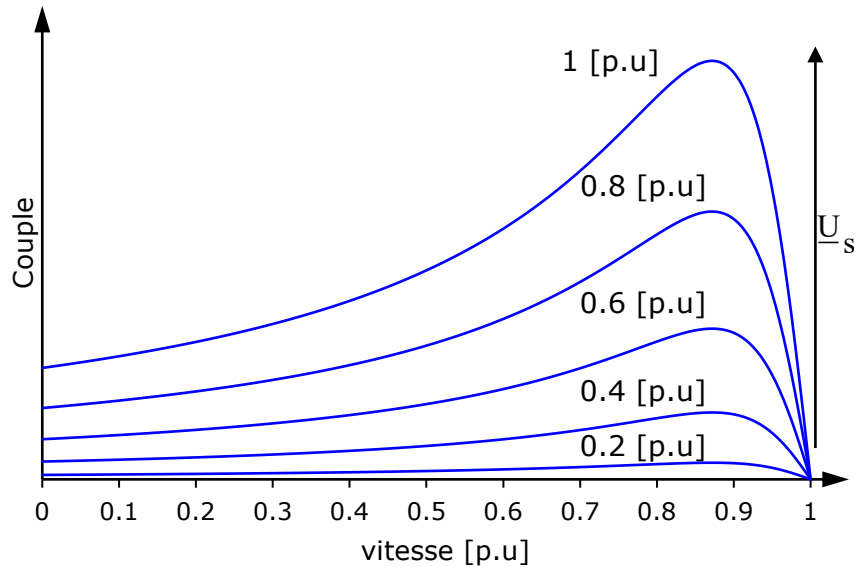
Shopping list Compare

Sommaire

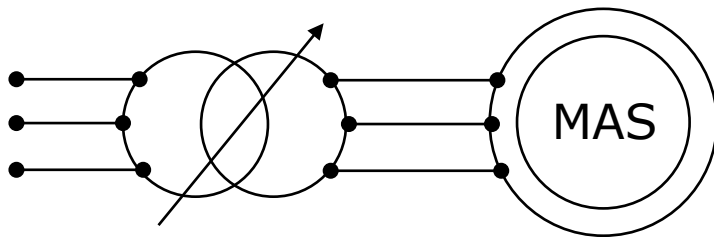
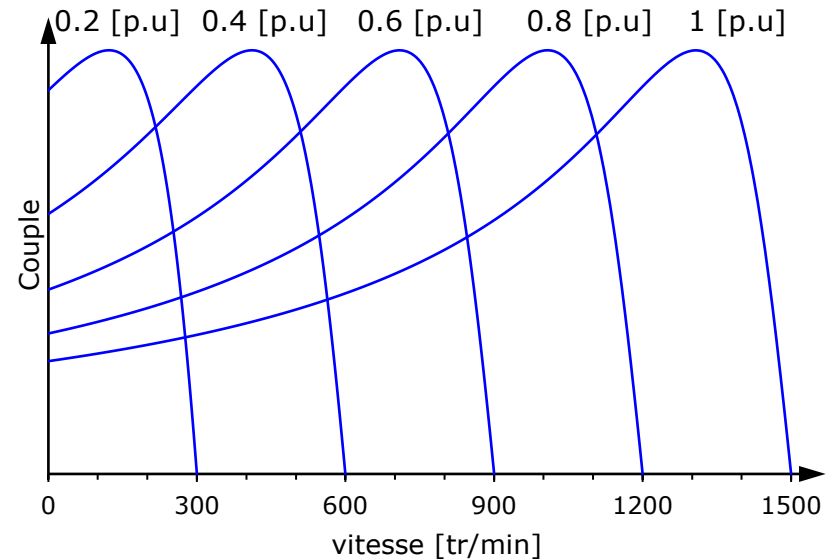
- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

Alimentation à tension et fréquence variables

Alimentation à tension variable

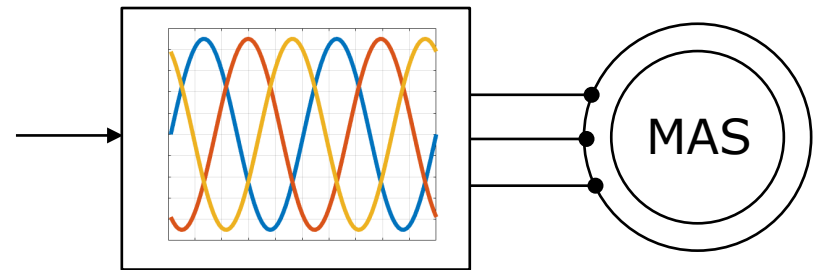


Alimentation à U/f constant



Permet de faire varier U_s en amplitude

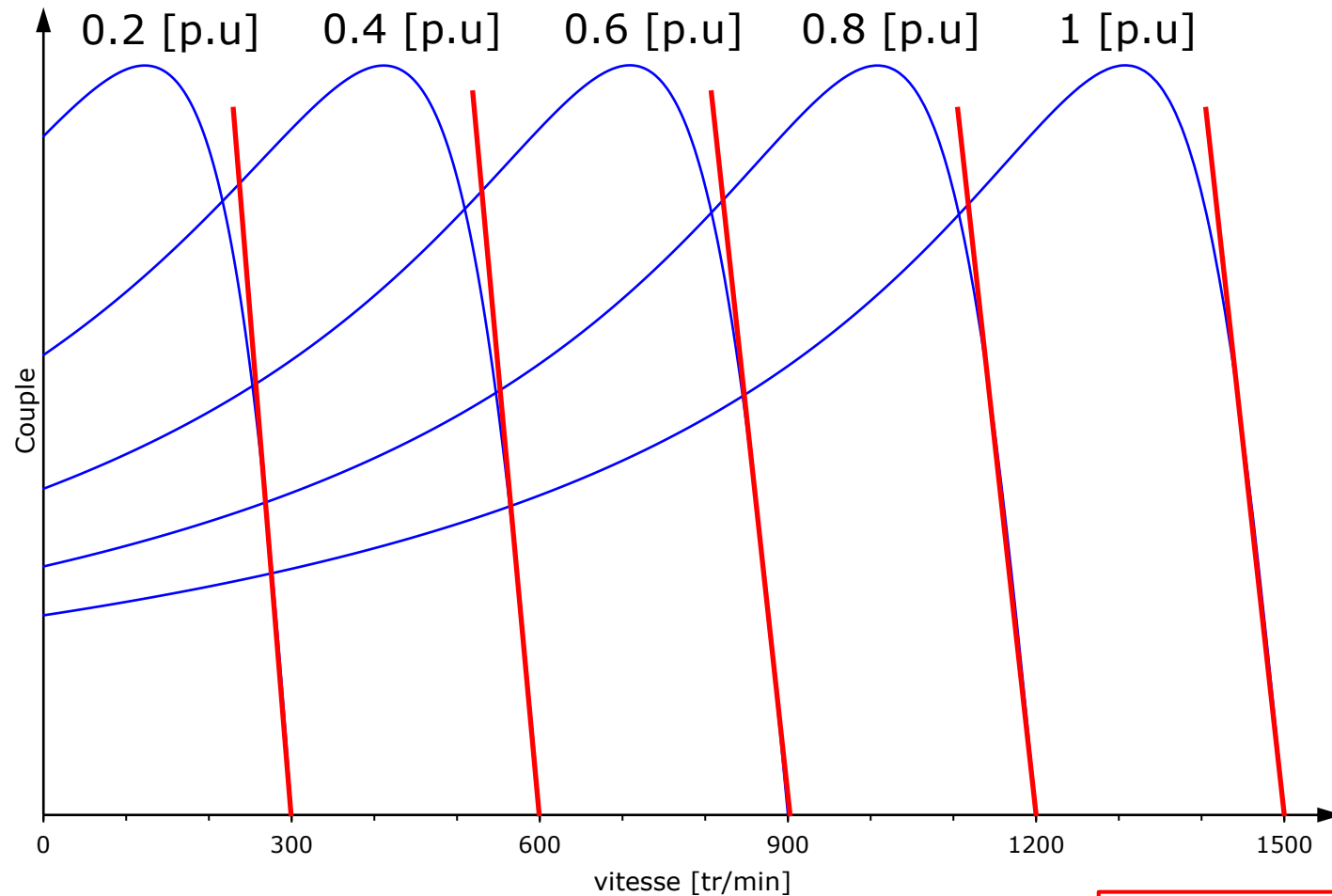
VSI



Permet de générer un système triphasé (U_s) variable en amplitude et en fréquence

Alimentation à tension et fréquence variables

Alimentation à U/f constant

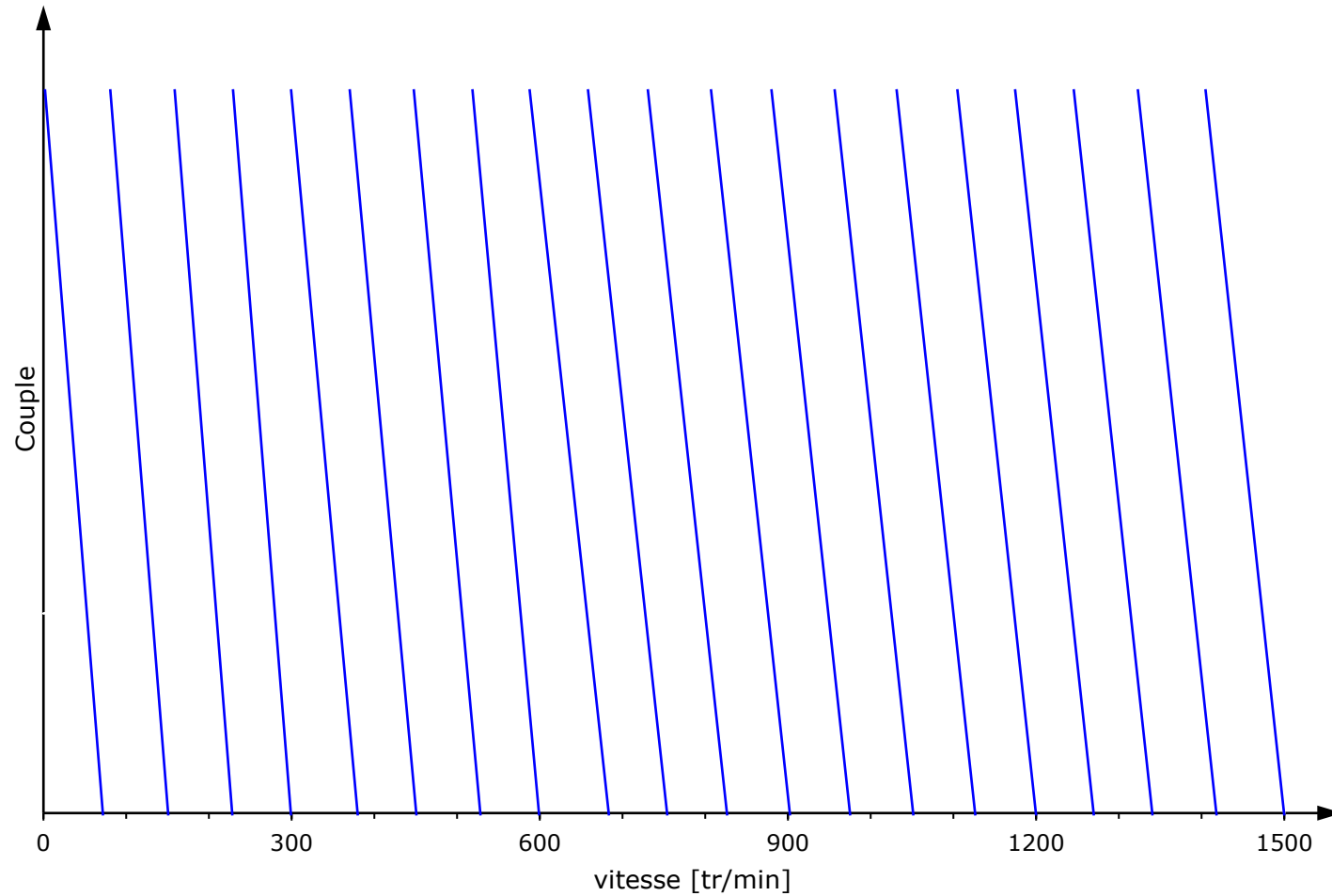


Exemple : $\frac{230 \text{ V}}{50 \text{ Hz}} \rightarrow 0.5 \rightarrow \frac{115 \text{ V}}{25 \text{ Hz}}$

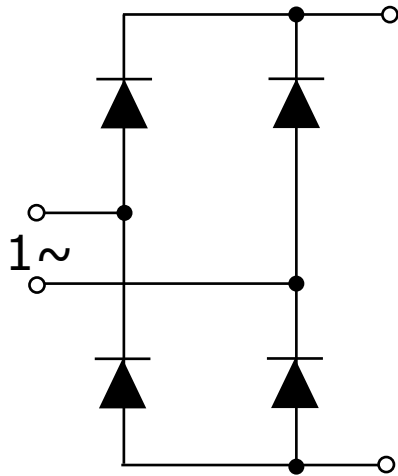
$$T_{\text{em}} \cong \frac{3 U_e^2}{\Omega_s} \frac{s}{R'_r}$$

Alimentation à tension et fréquence variables

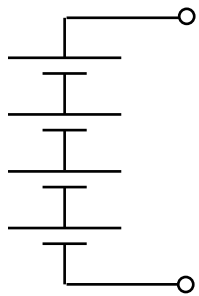
Alimentation à U/f constant



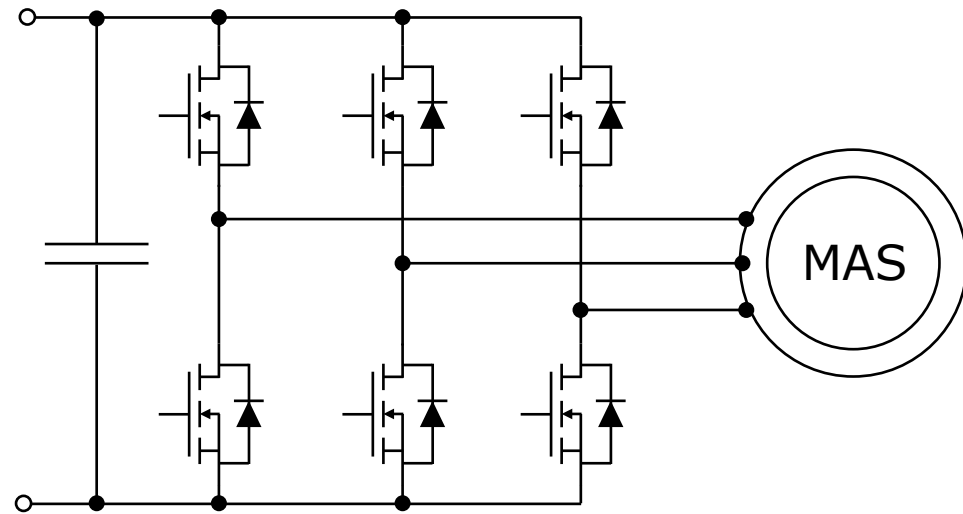
Alimentation à tension et fréquence variables



- Redresseur à diodes
- Pont de diodes



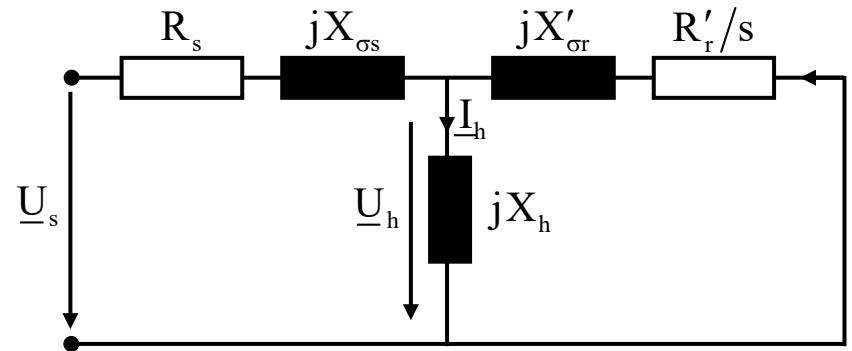
Batteries



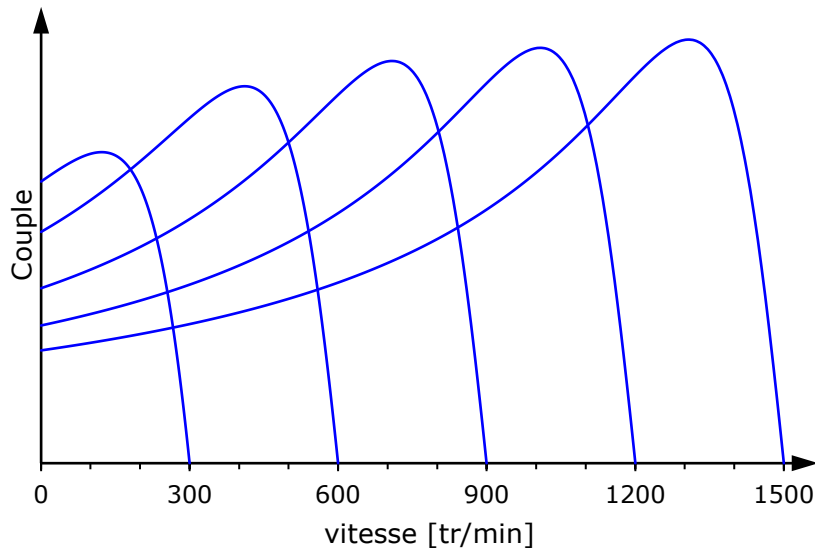
- VSI (Voltage Source Inverter)
- Onduleur
- Convertisseur de tension
- Pont à 6 transistors

Alimentation à tension et fréquence variables

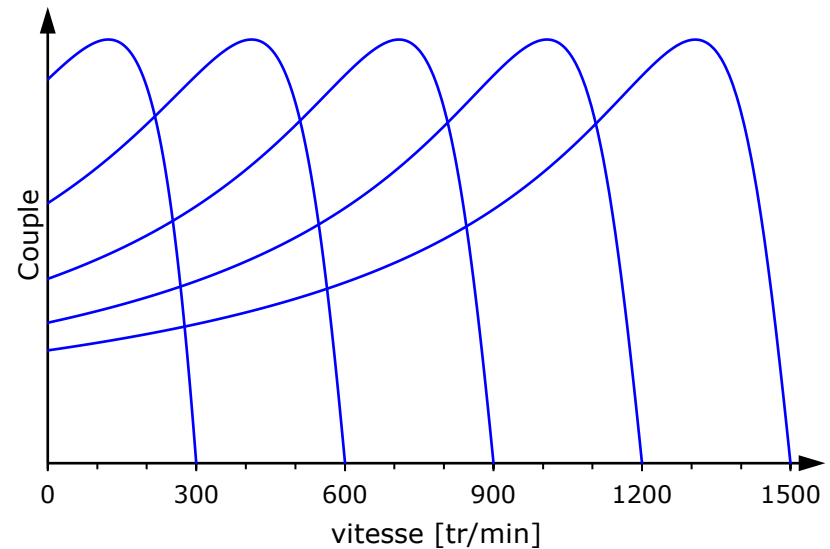
$$\Psi_h = L_h I_h = \frac{X_h}{2\pi f} I_h = \frac{U_h}{2\pi f}$$



$$U_s / f = \text{cste}$$



$$U_h / f = \text{cste}$$

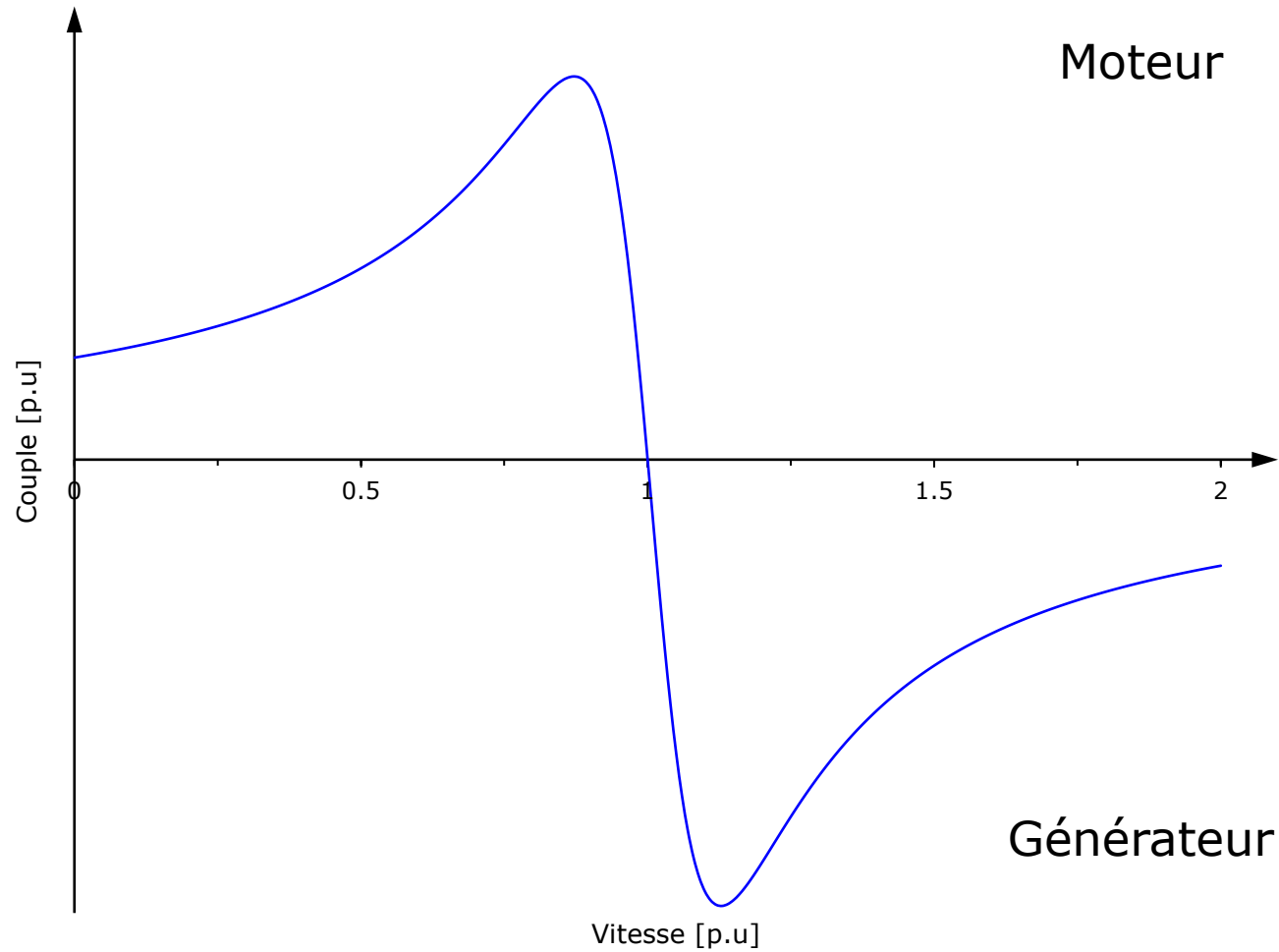


<https://www.youtube.com/watch?v= ZztDN5XX5o>

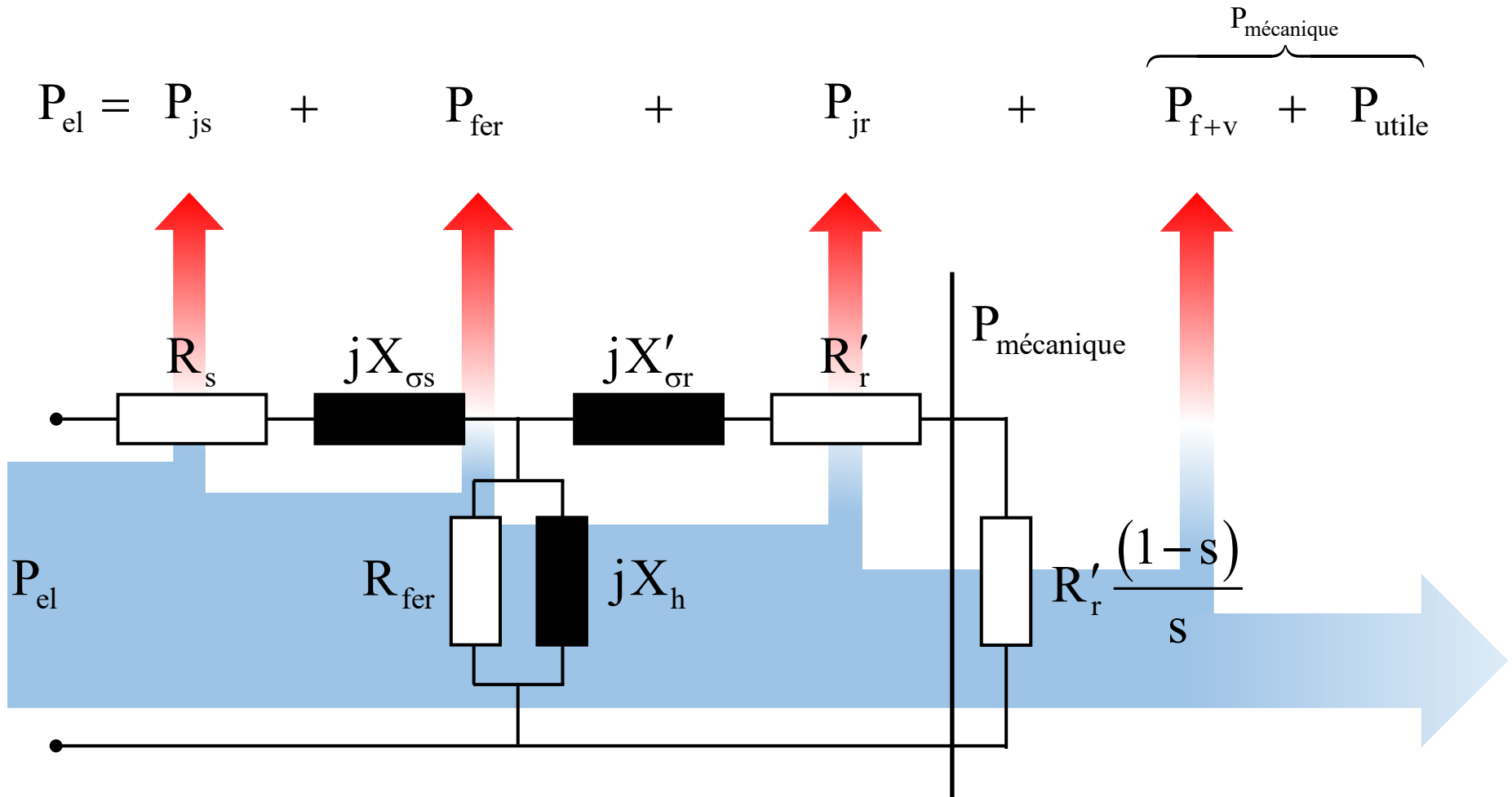
Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance

Caractéristique de couple et modes de fonctionnement



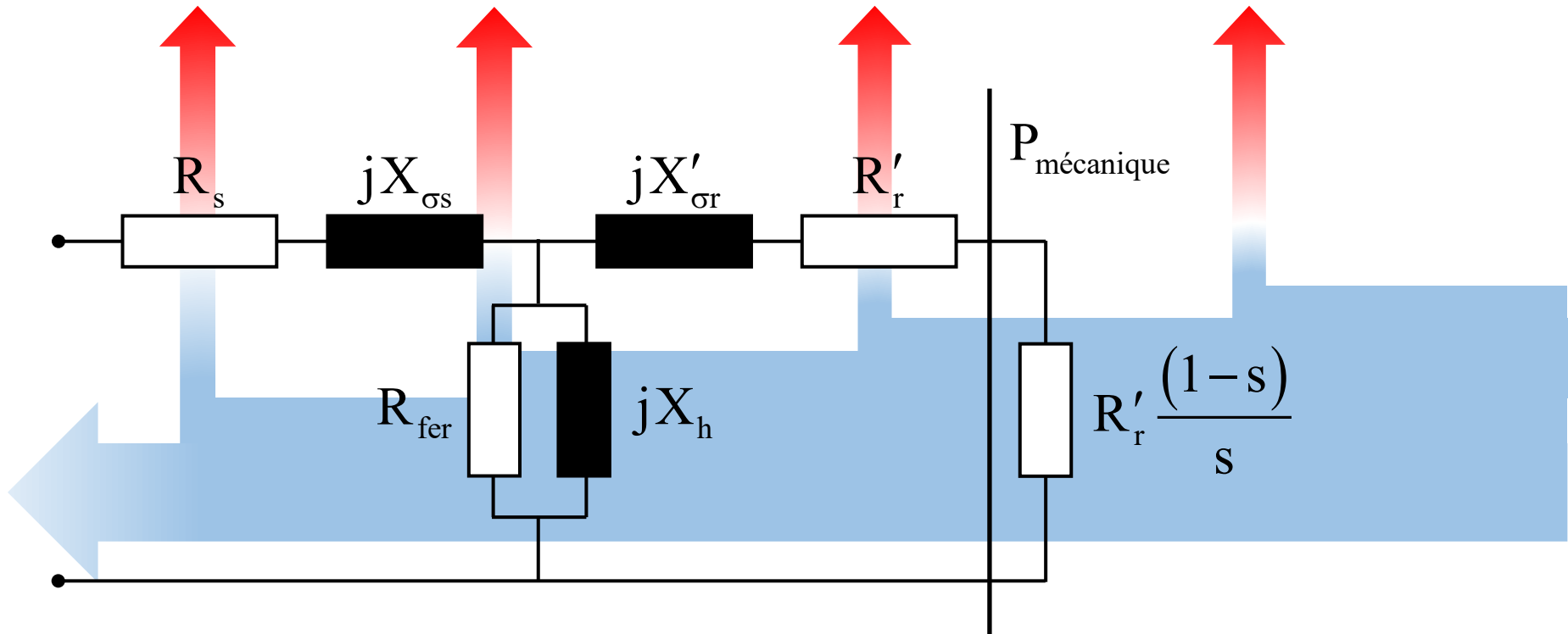
Bilan de puissance – Moteur



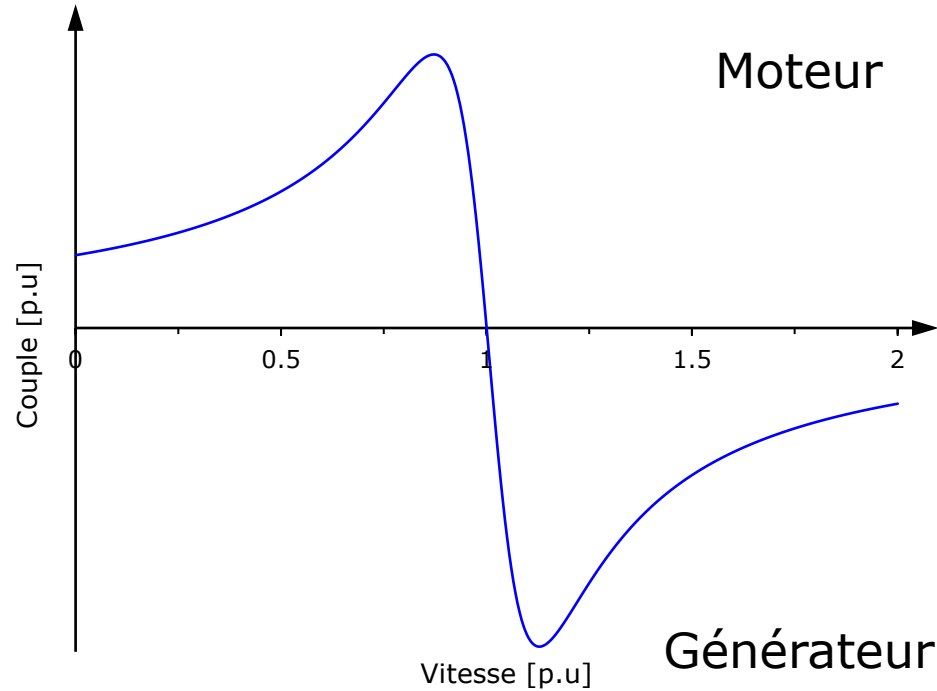
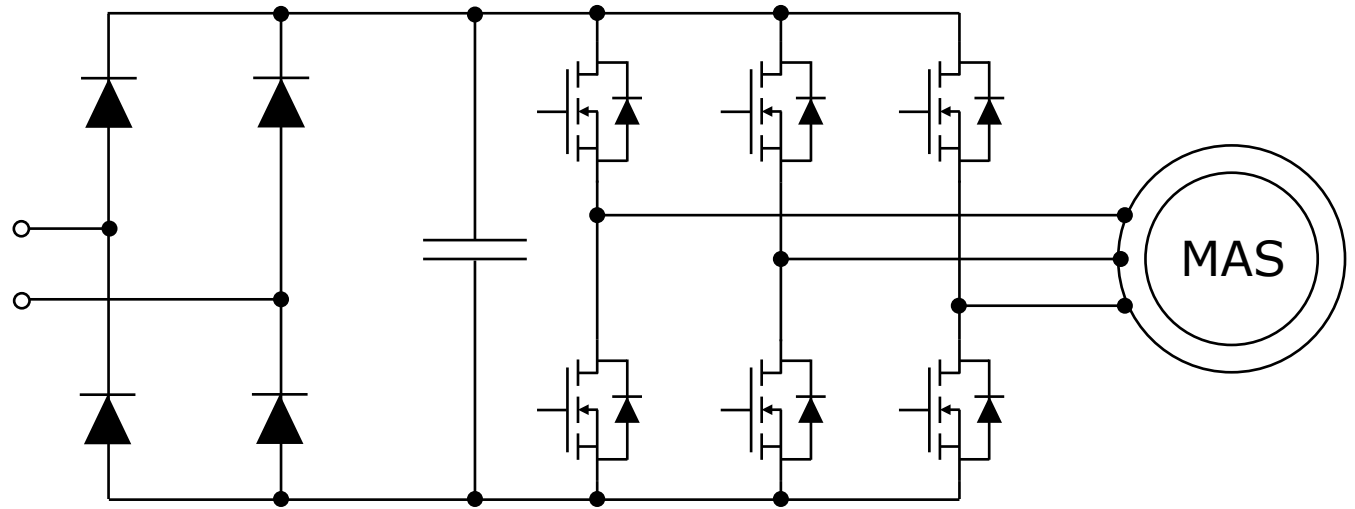
Bilan de puissance – Génératrice

$$P_{el} = P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + \overbrace{P_{f+v} + P_{utile}}^{P_{m\acute{e}canique}}$$

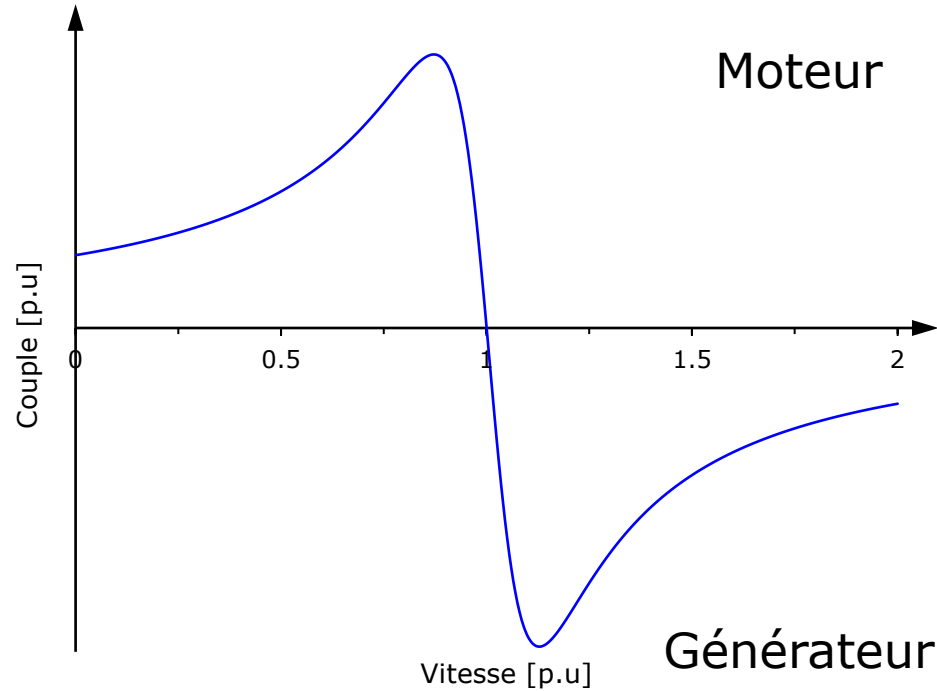
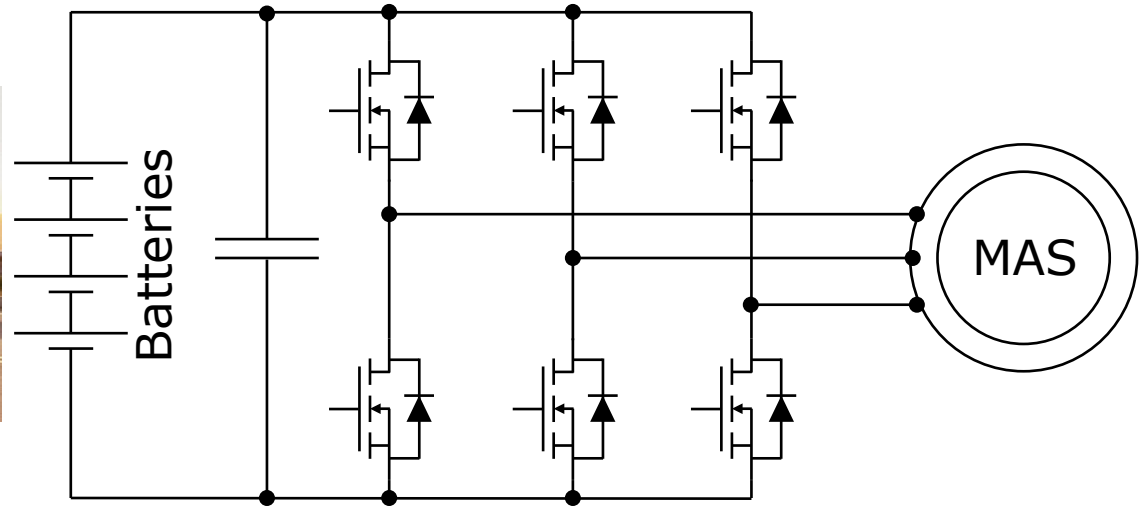
P_{utile} et P_{el}
sont négatif



Considération sur les modes de fonctionnement I



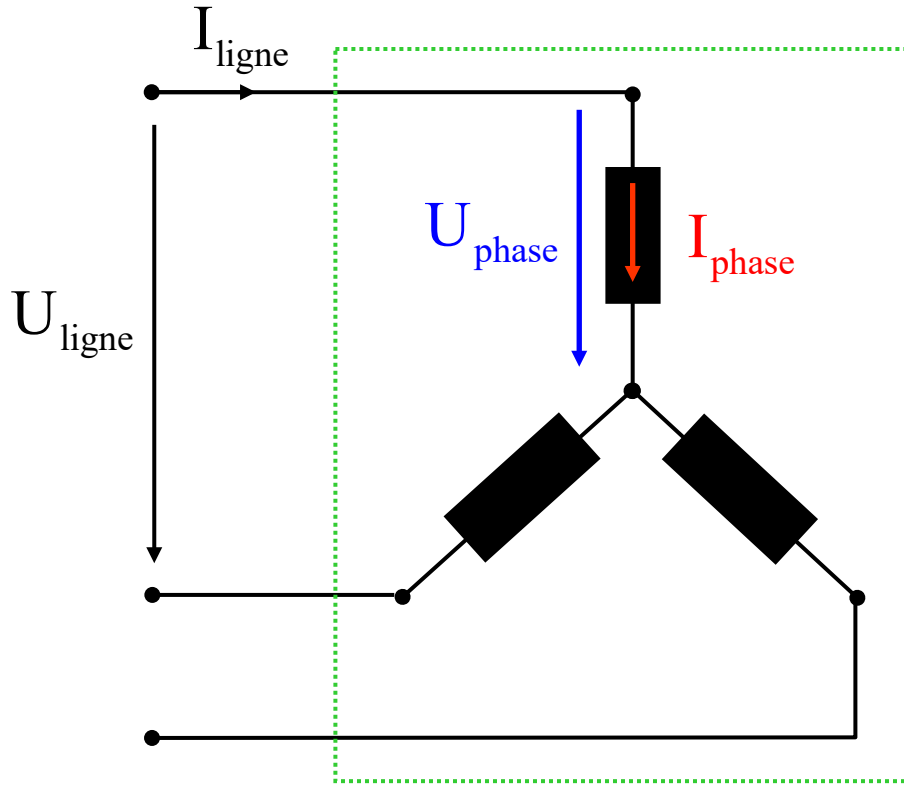
Considération sur les modes de fonctionnement II



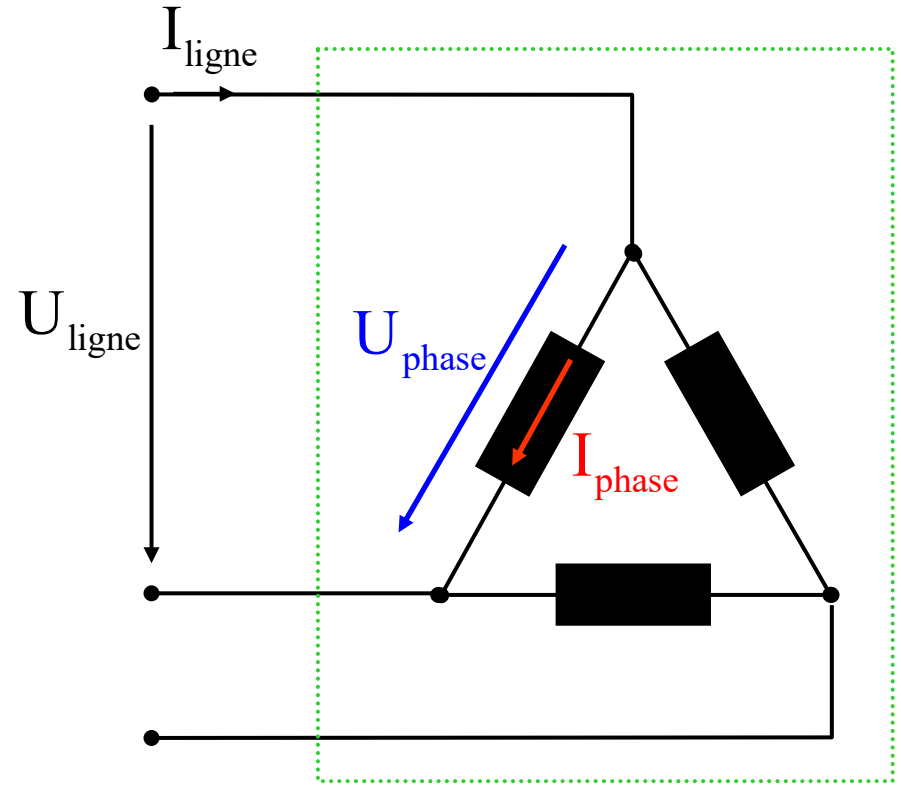
Sommaire

- Principe de fonctionnement
- Schéma équivalent
- Caractéristique de couple
- Impédance équivalente
- Démarrage des moteurs à cage
- Alimentation à tension et fréquence variables
- Modes de fonctionnement et bilan de puissance
- Complément sur le montage étoile et triangle

Rappel sur les couplages étoile-triangle

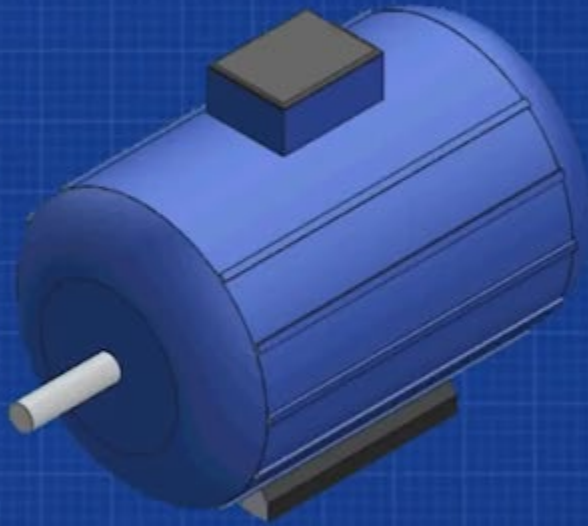


$$\begin{cases} U_{\text{phase}} = U_{\text{ligne}} / \sqrt{3} \\ I_{\text{phase}} = I_{\text{ligne}} \end{cases}$$

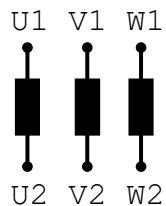


$$\begin{cases} U_{\text{phase}} = U_{\text{ligne}} \\ I_{\text{phase}} = I_{\text{ligne}} / \sqrt{3} \end{cases}$$

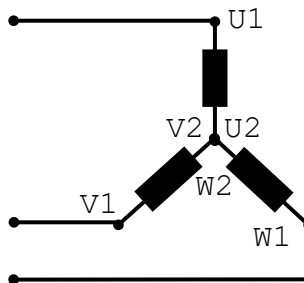
Explication de l'étoile-triangle



MentaliteIngenieur.com



Etoile



Triangle

