

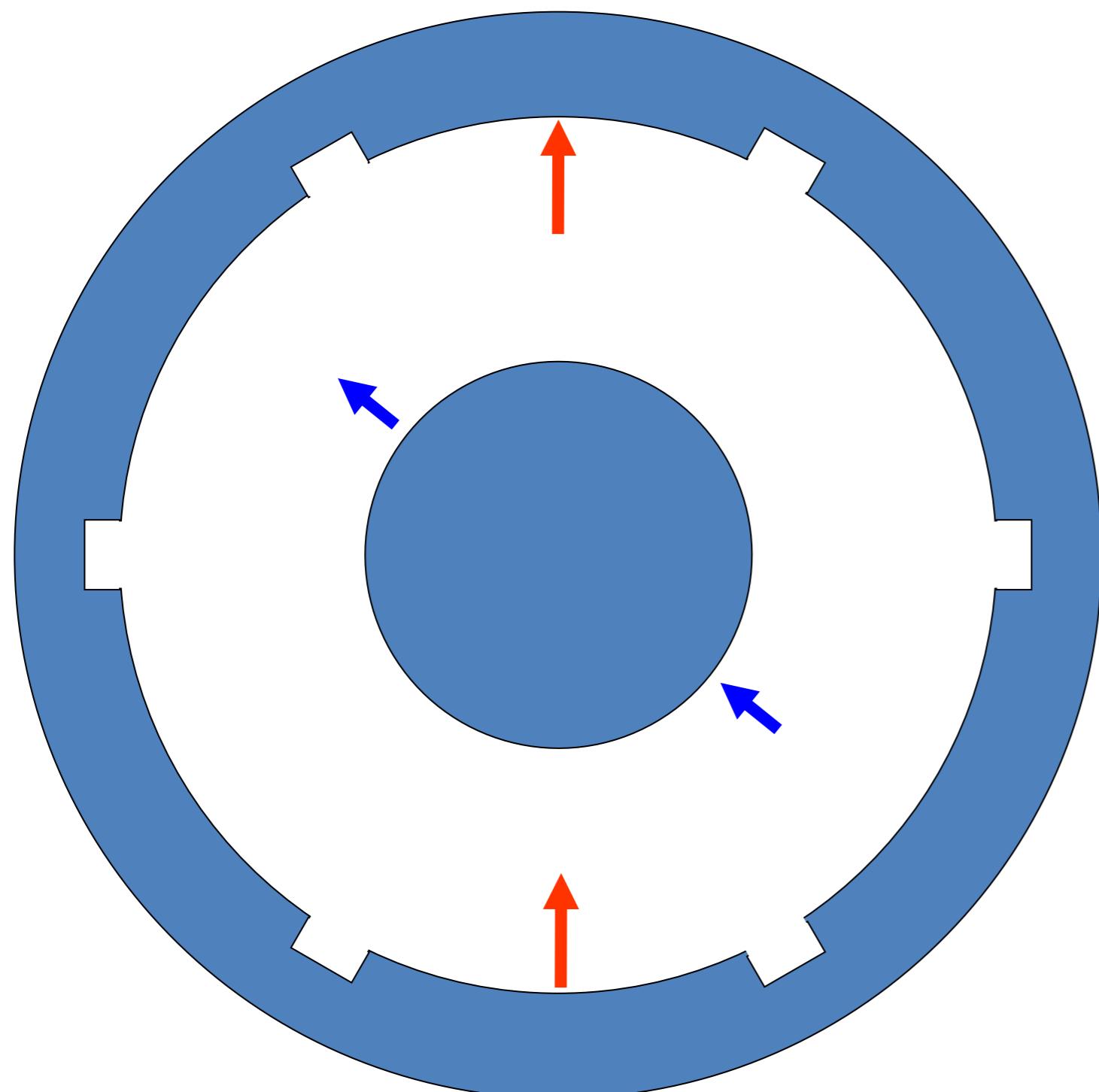
Moteur asynchrone

Actionneurs et systèmes électromagnétiques II

Christian Koechli

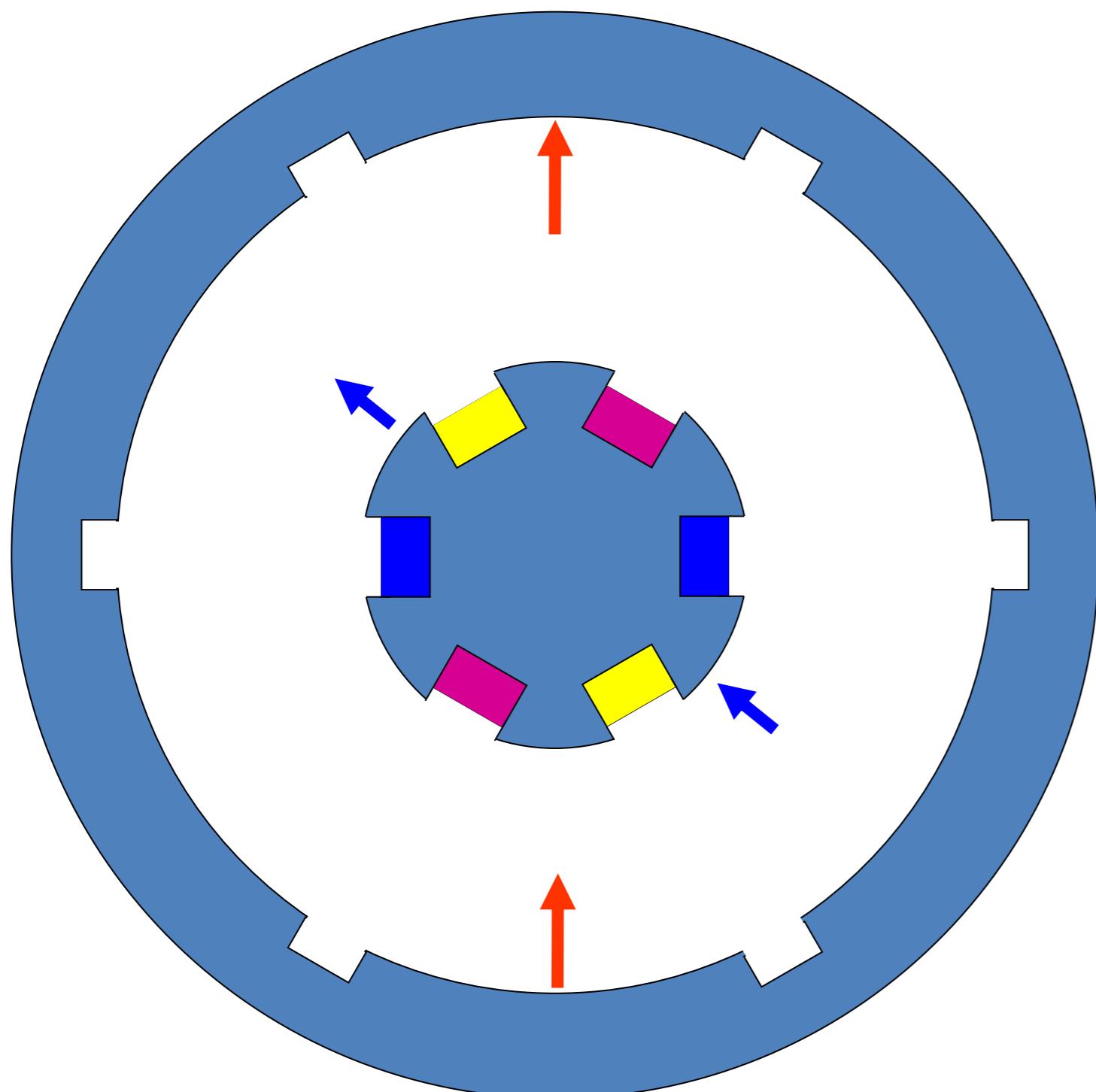
- Principe de fonctionnement
- Structure
- Equation de tension et équivalent de Thévenin
- Schéma électrique équivalent
- Calcul du couple
- Caractéristique de couple

Rappel: conditions d'obtention d'un couple



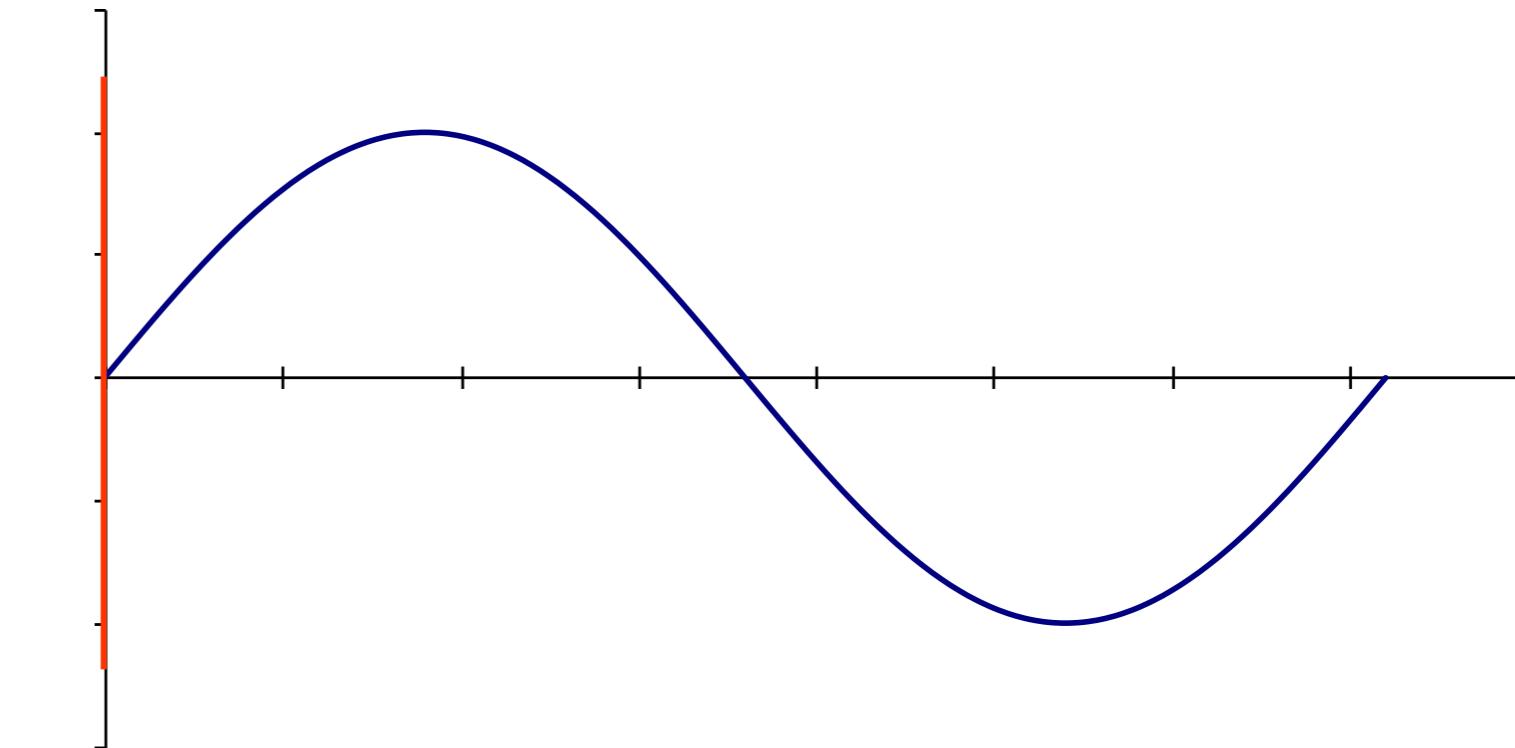
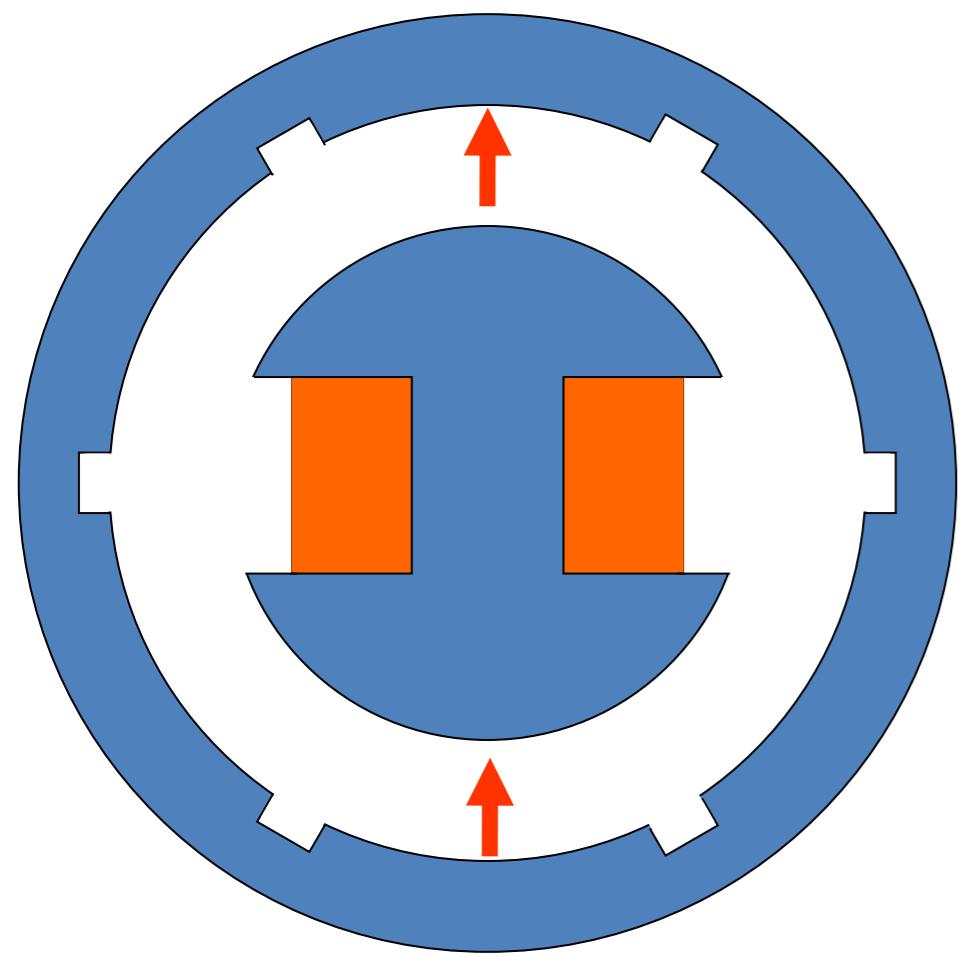
- Champ tournant **statorique**
- Champ tournant **rotorique**:
 - de même polarité que le champ statorique
 - déphasé par à lui
 - tournant à la même vitesse
 - créé par un aimant ou par un bobinage
- $\omega_r = \omega_s - \Omega p$

Particularités du moteur asynchrone



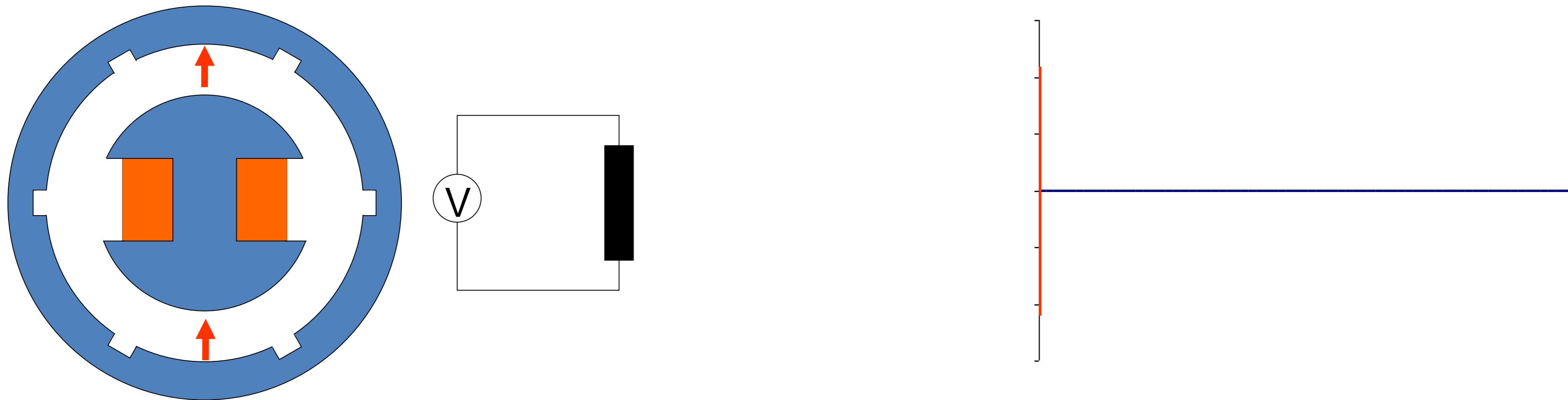
- Le rotor ne tourne pas à la vitesse synchrone
- Le bobinage du rotor est en court-circuit

Référentiel rotorique, rotor à l'arrêt



La bobine rotorique « voit » un flux alternatif de pulsation ω_s
=> tension induite de fréquence $\omega_s/2\pi$

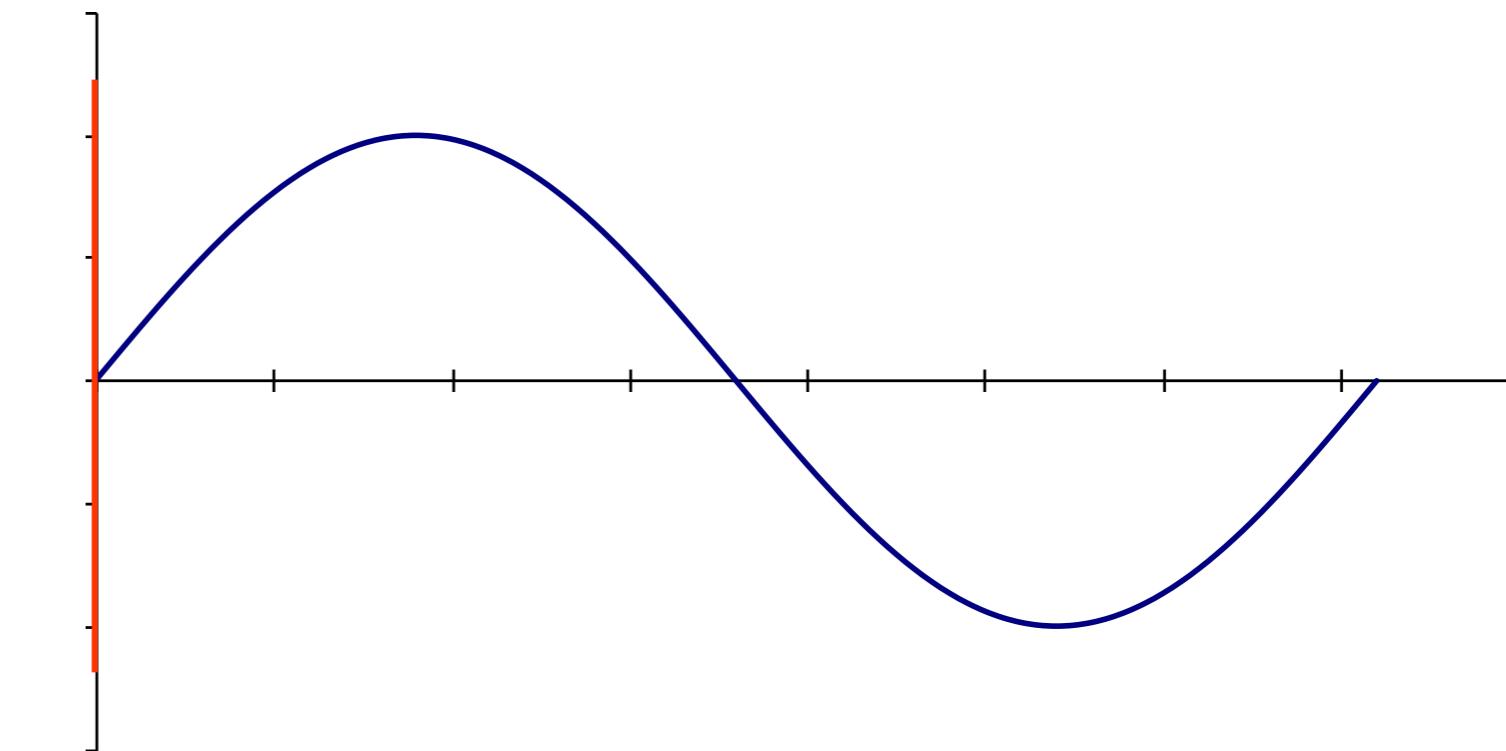
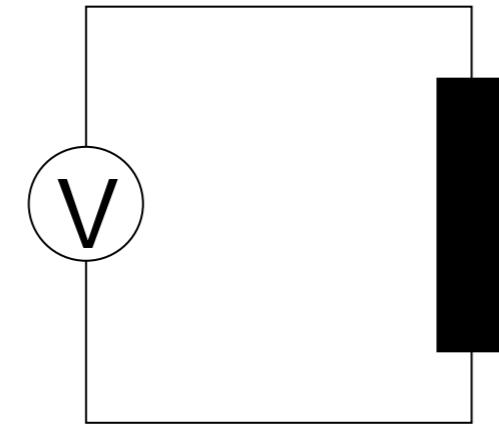
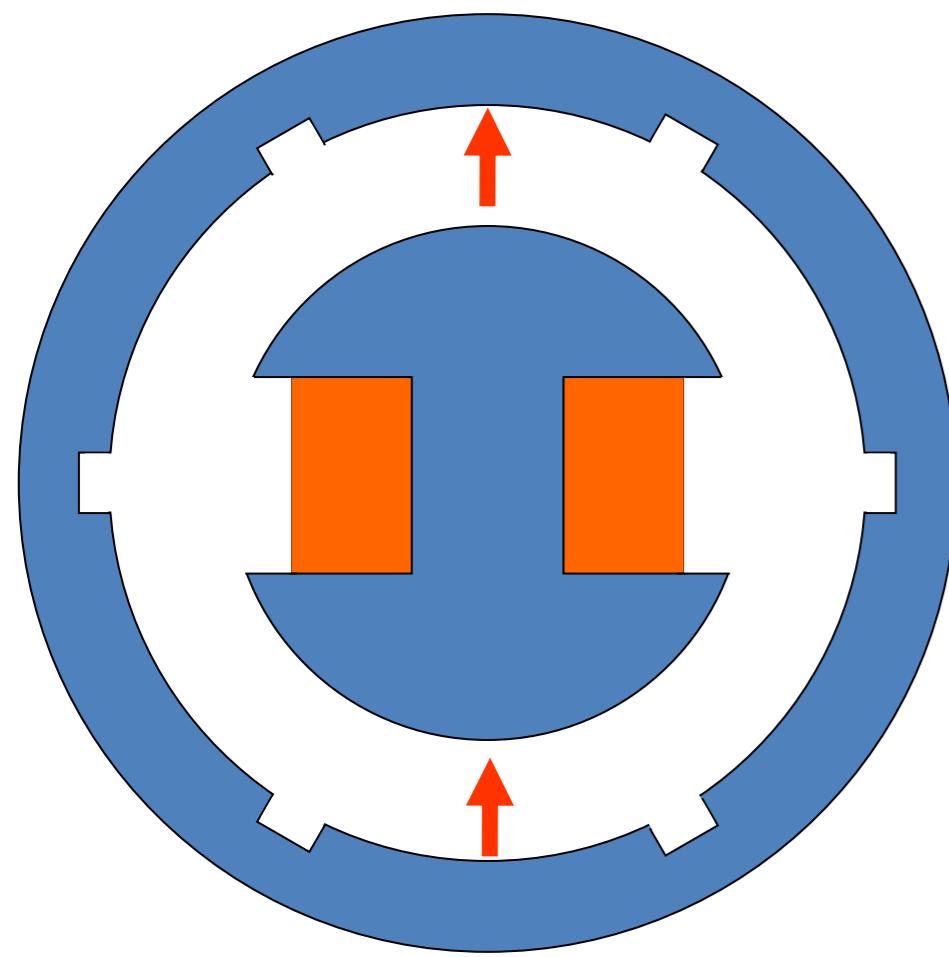
Le rotor tourne à la vitesse du champ tournant



La bobine rotorique « voit » un flux continu =>
tension induite nulle

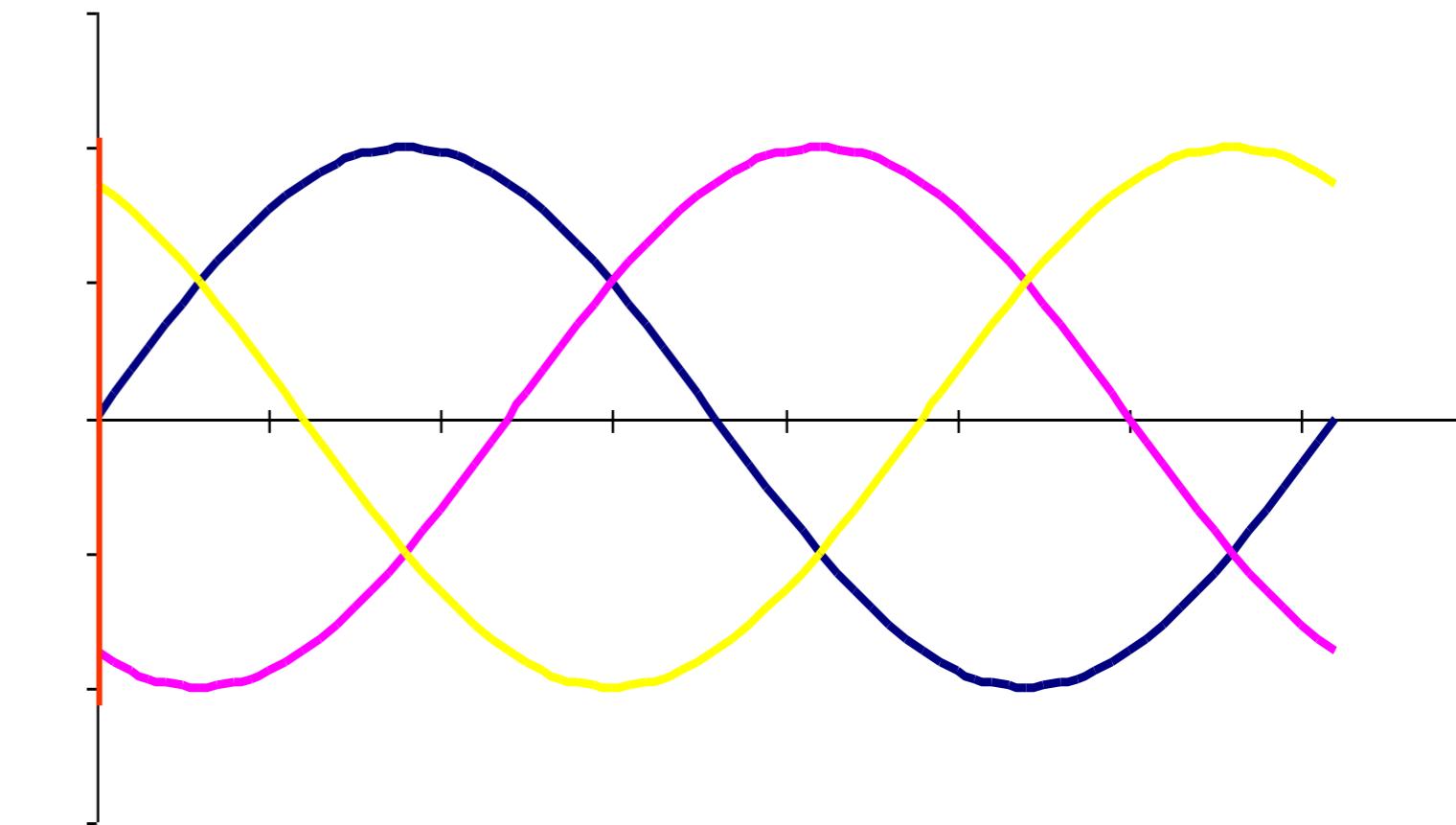
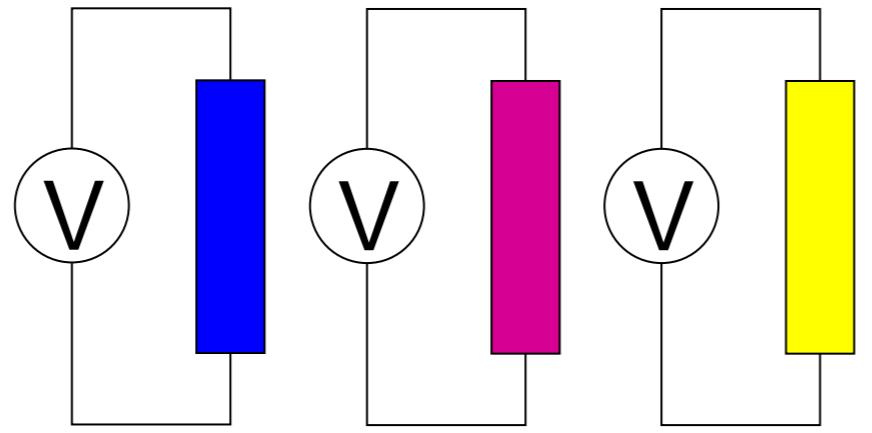
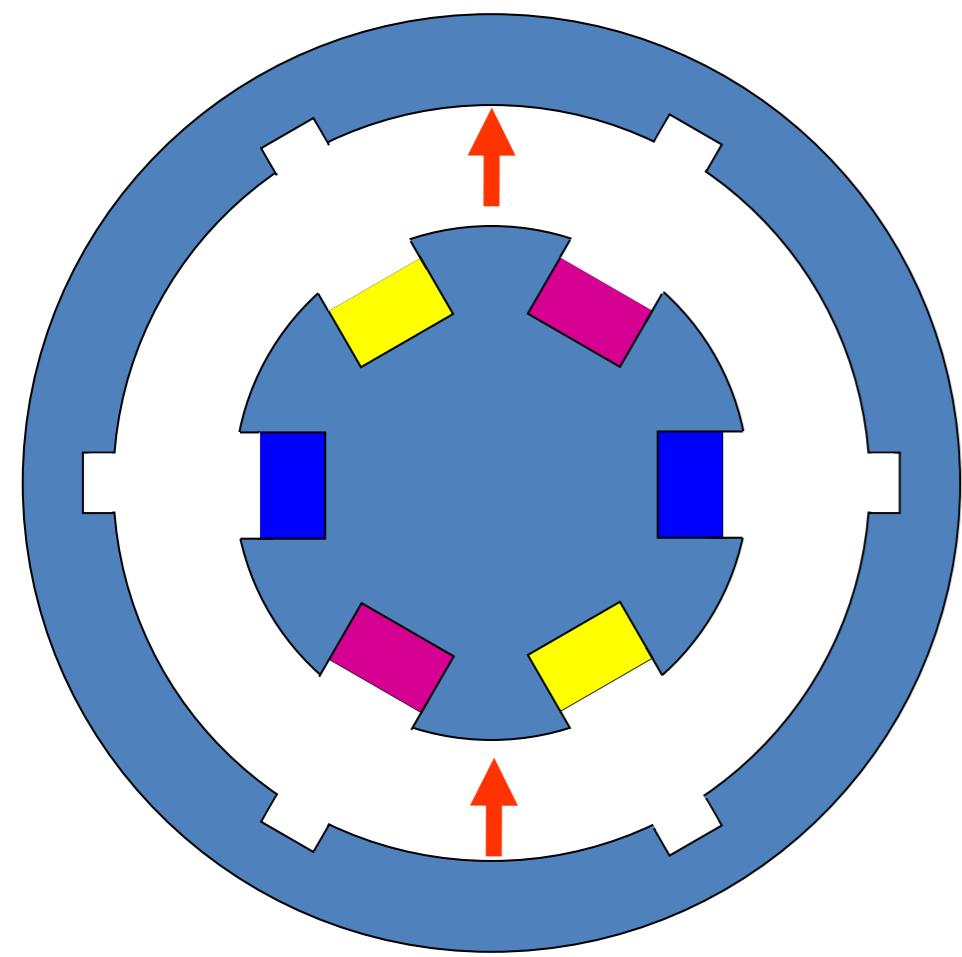
Vitesse rotor différente de celle du champ tournant

EPFL



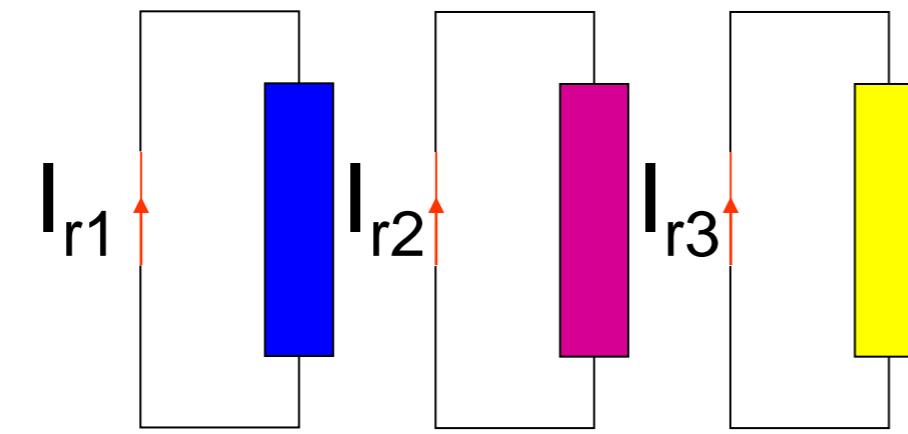
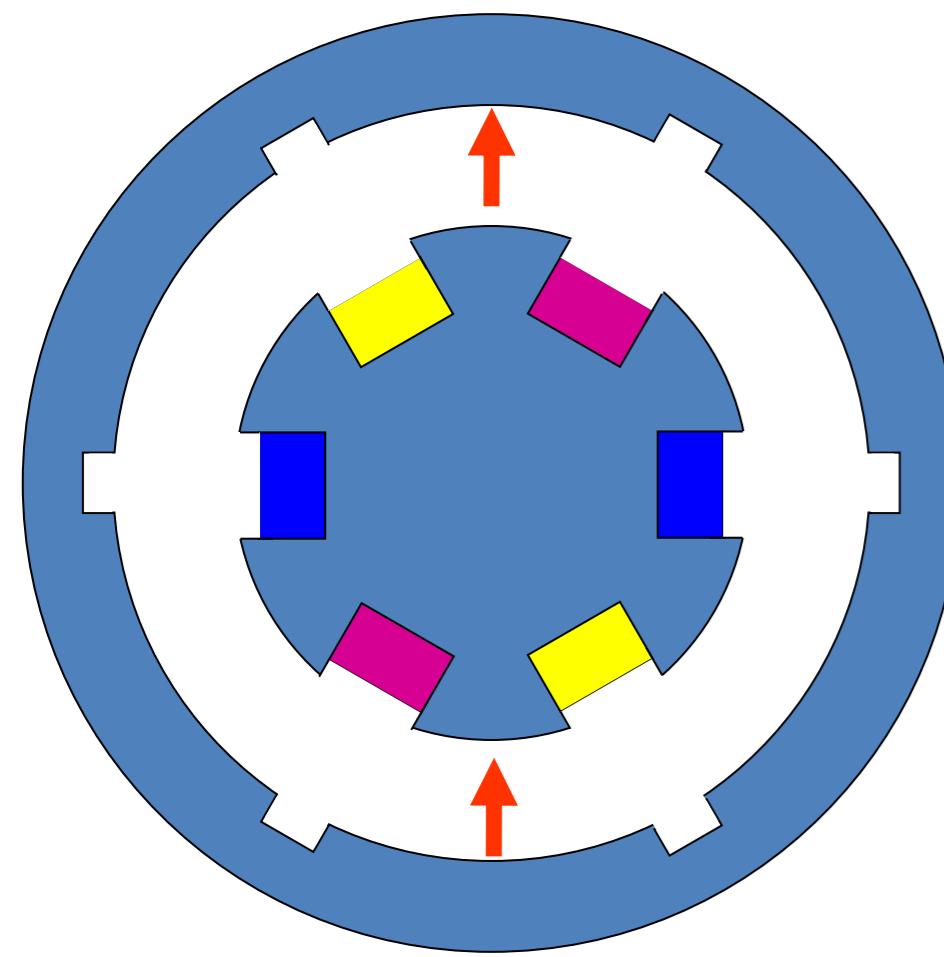
La bobine rotorique « voit » un flux alternatif de pulsation
 $\omega_r = \omega_s - \Omega_p$

Bobinage rotorique triphasé

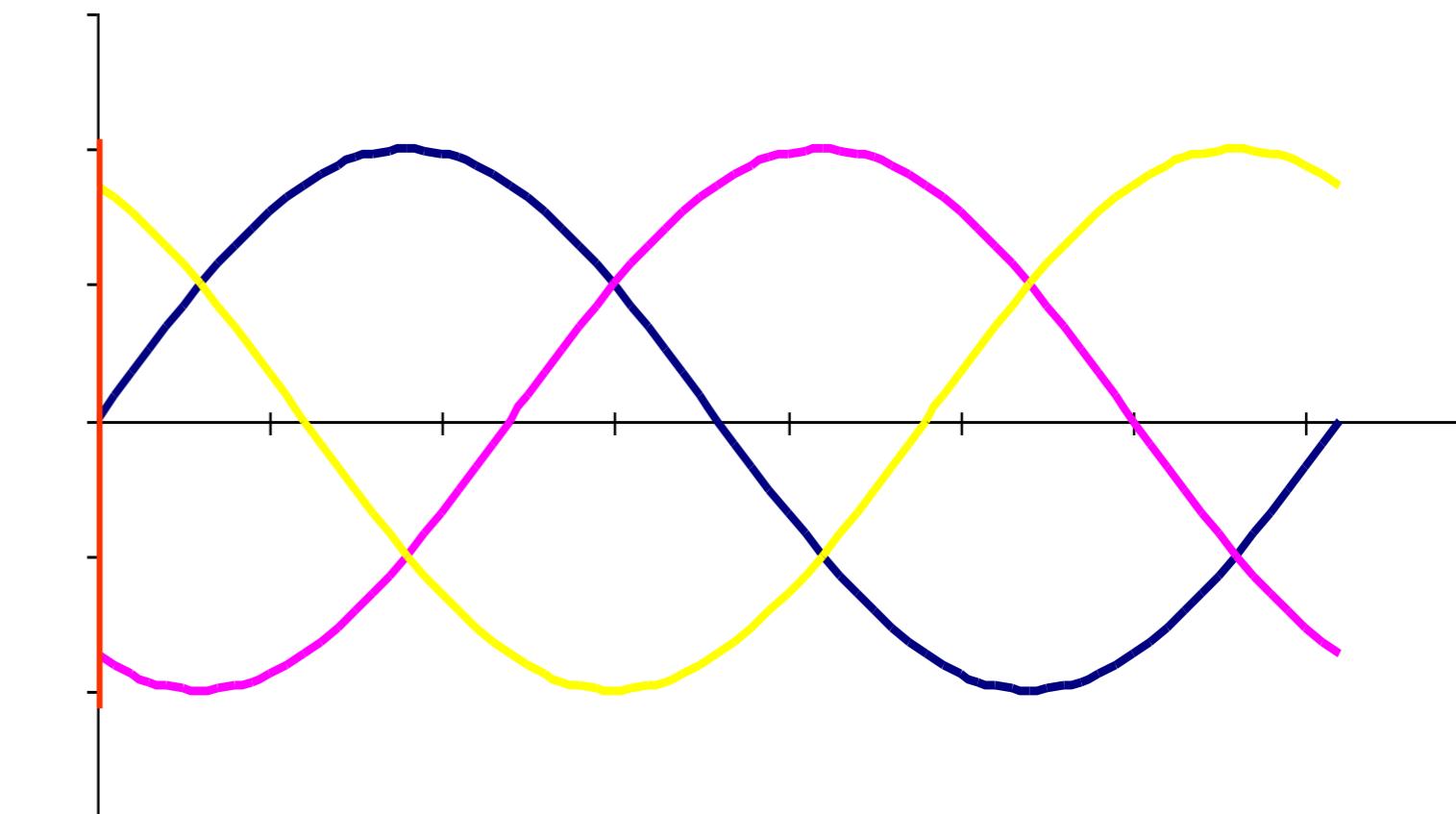


Les bobines rotoriques « voient » un flux alternatif de pulsation
 $\omega_r = \omega_s - \Omega_p$

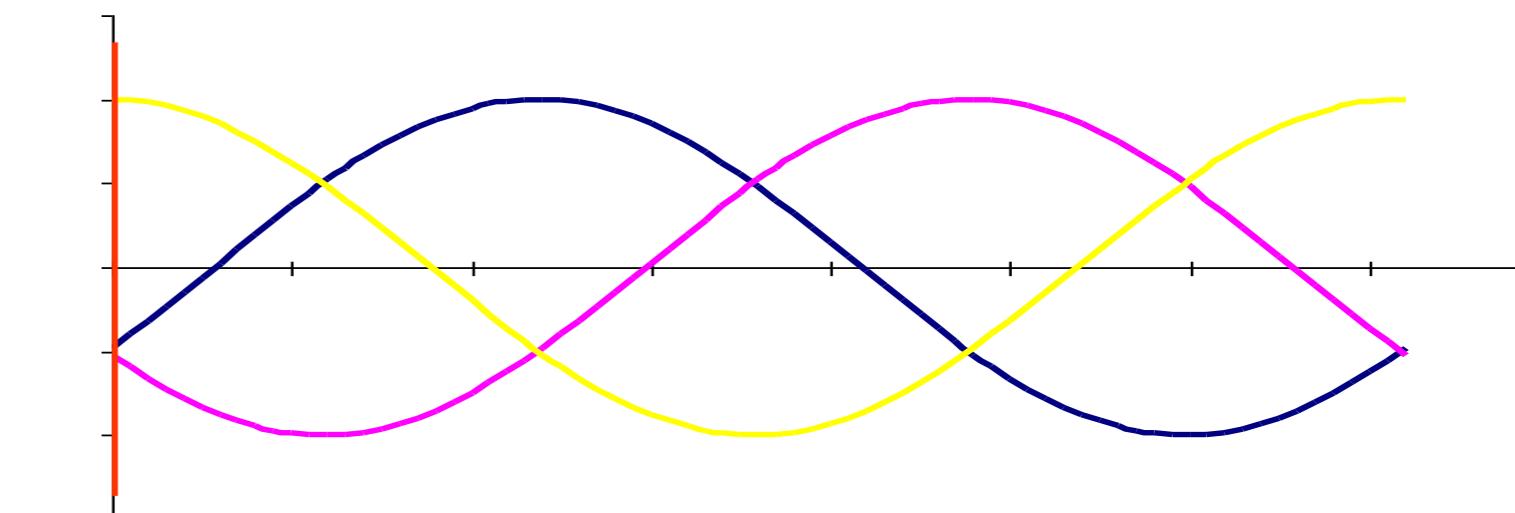
Bobinage rotorique triphasé en court circuit



Tensions induites

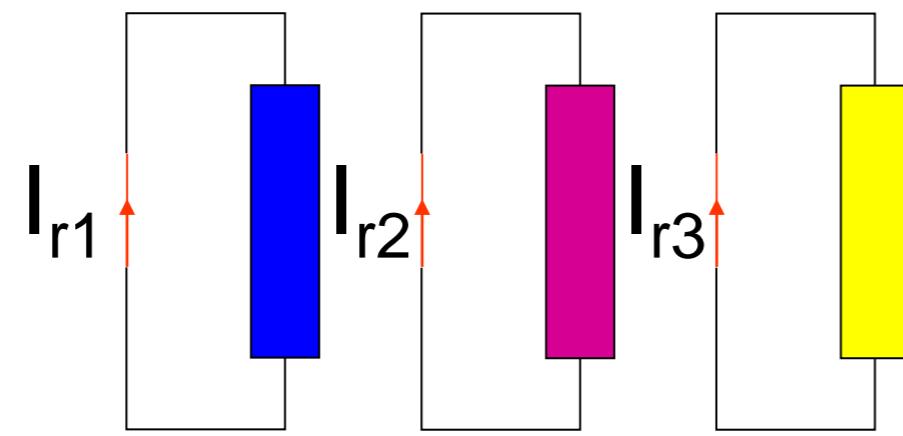
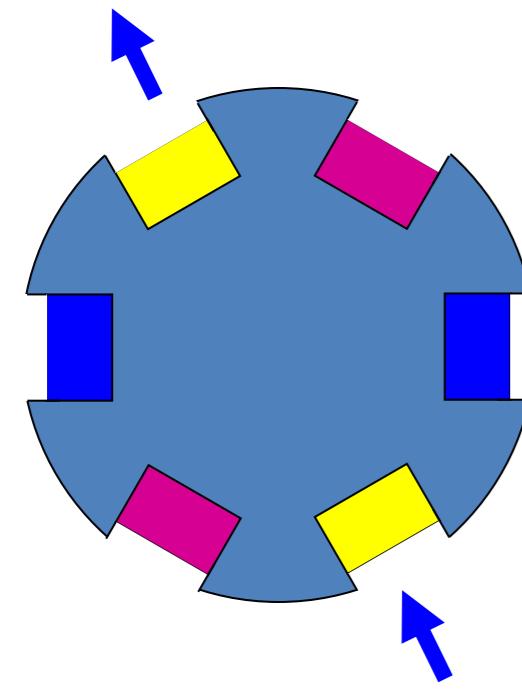


Courants induits

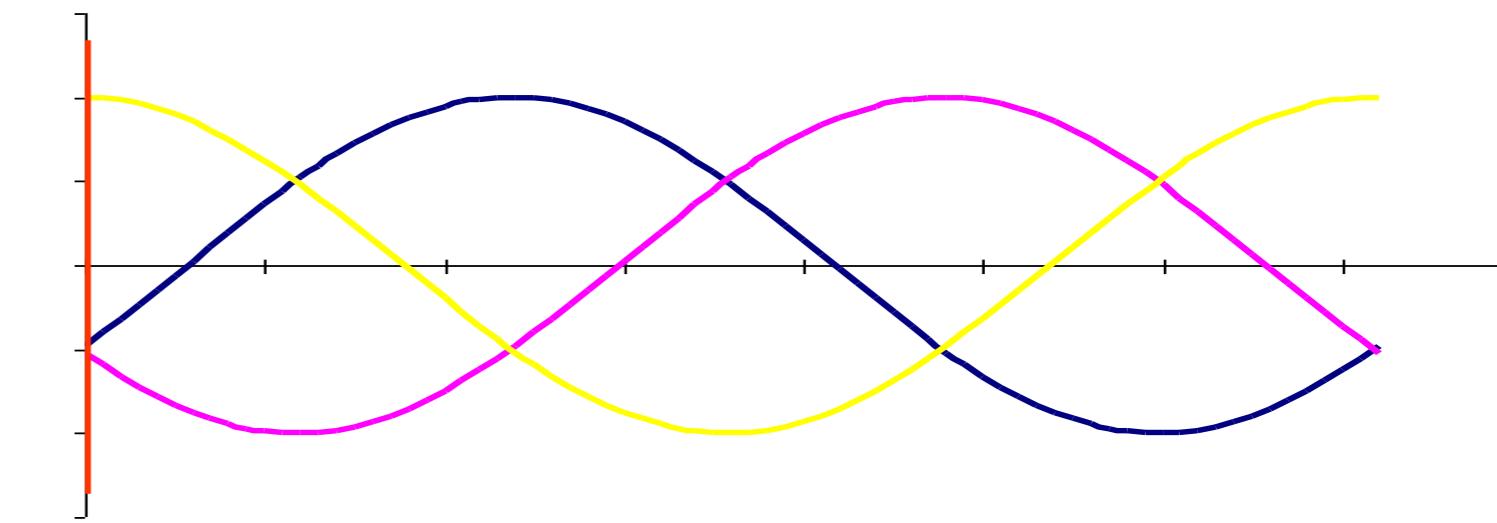


Un courant s'établi dans les phases rotoriques

Création d'un champ tournant rotorique

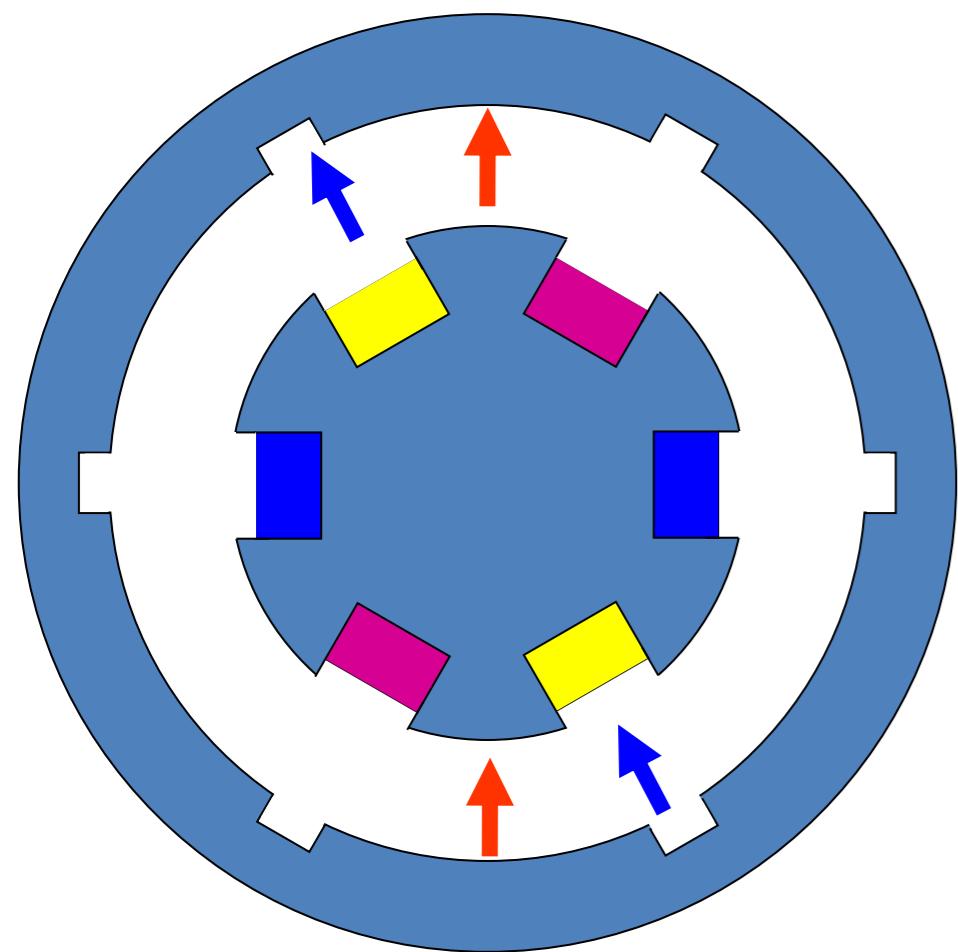


Courants induits



Les courants rotoriques induits par la différence de vitesse entre le champ statorique et le rotor créent à leur tour un champ tournant rotorique de vitesse $\Omega_r = \omega_r/p = \omega_s/p - \Omega$

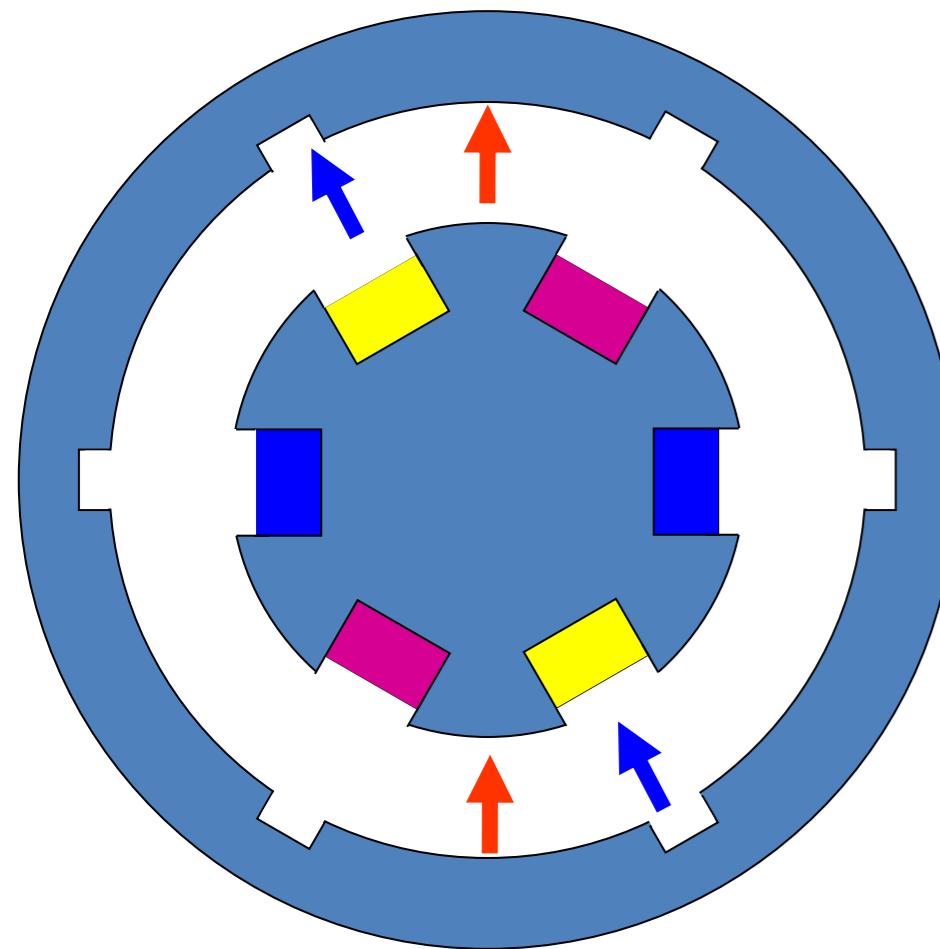
Interaction entre les champs tournants



Vitesse du champ tournant dans le référentiel rotorique: $\Omega_r = \omega_r/p = \omega_s/p - \Omega$

Vitesse du rotor: Ω

Référentiel statorique, interaction



Vitesse du champ tournant dans le référentiel rotorique: $\Omega_r = \omega_r/p = \omega_s/p - \Omega$

Vitesse du rotor: Ω

Vitesse du champ tournant dans le référentiel statorique: $\Omega_{rs} = \Omega_r + \Omega = \omega_s/p = \Omega_s$

Les champs tournants statorique et rotorique tournent à la même vitesse, ils sont synchrones.

Principe de fonctionnement

Fonctionnement moteur asynchrone:

- Bobinage statorique => champ tournant statorique
- Bobinage rotorique en CC => courant induits si Ω différent de la vitesse synchrone
- Champ tournant rotorique tournant à la vitesse synchrone
- Couple dû à l'interaction des deux champs tournants

- Stator bobiné
- Rotor
 - Cage d'écureuil
 - Rotor bobiné

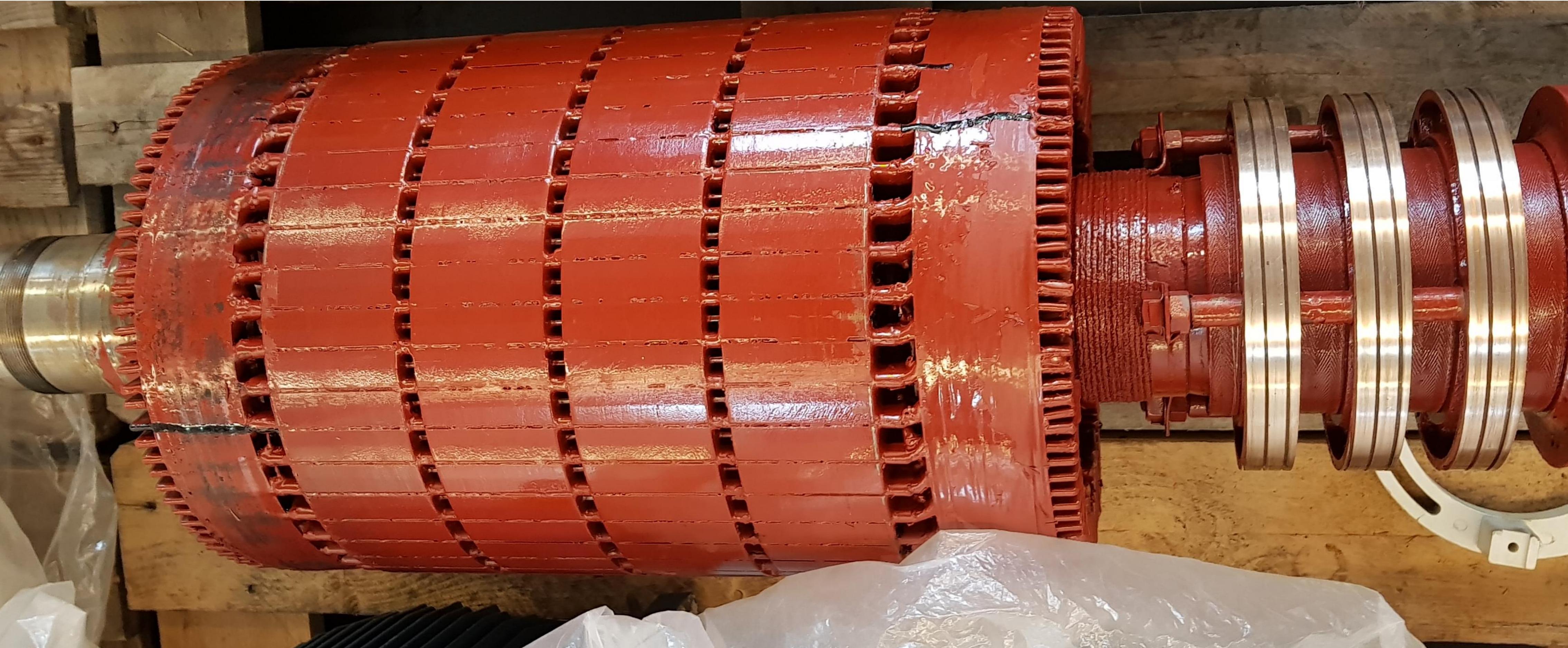
Rotor bobiné



Source: Valélectric Farmer SA

Rotor bobiné

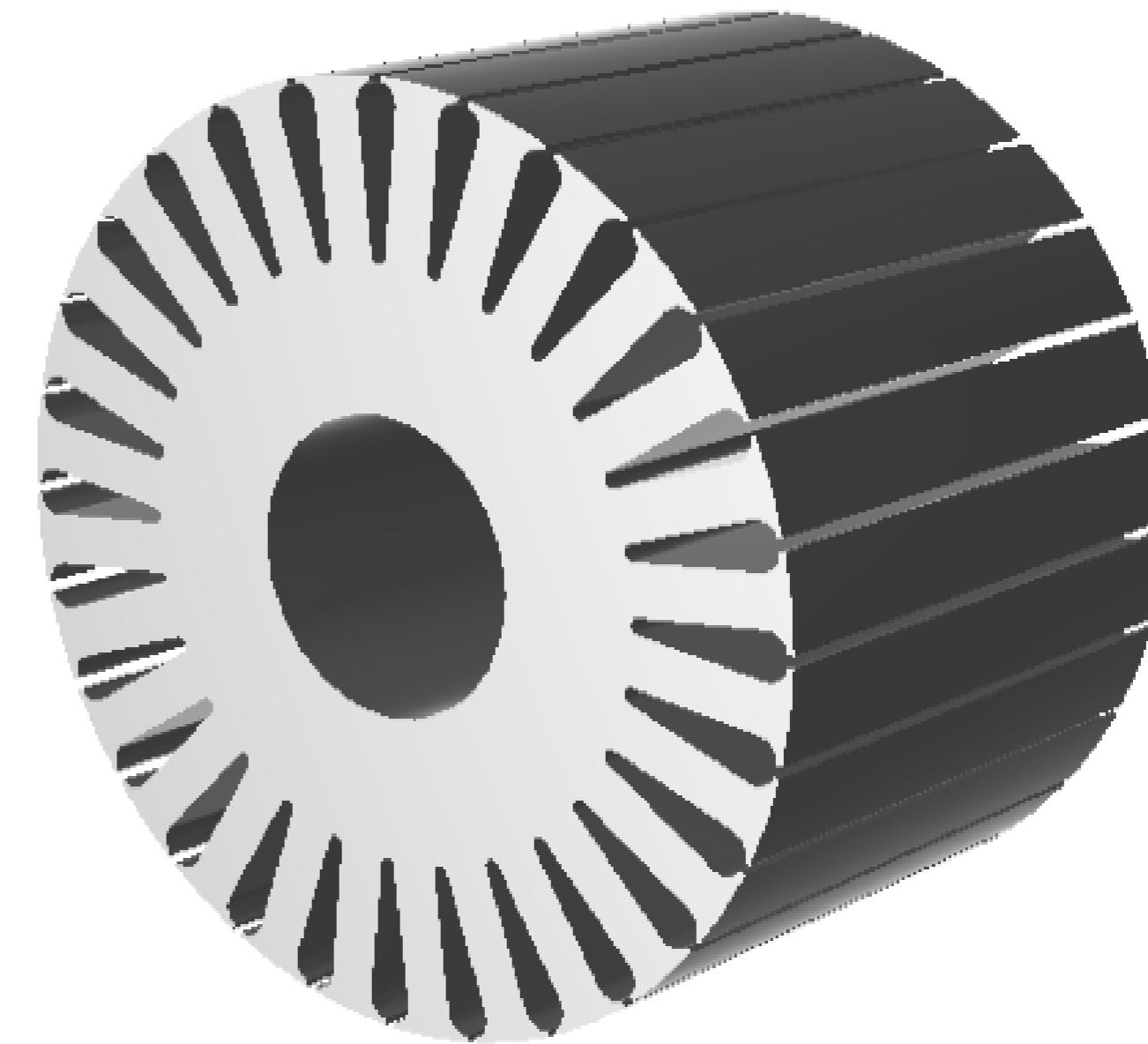
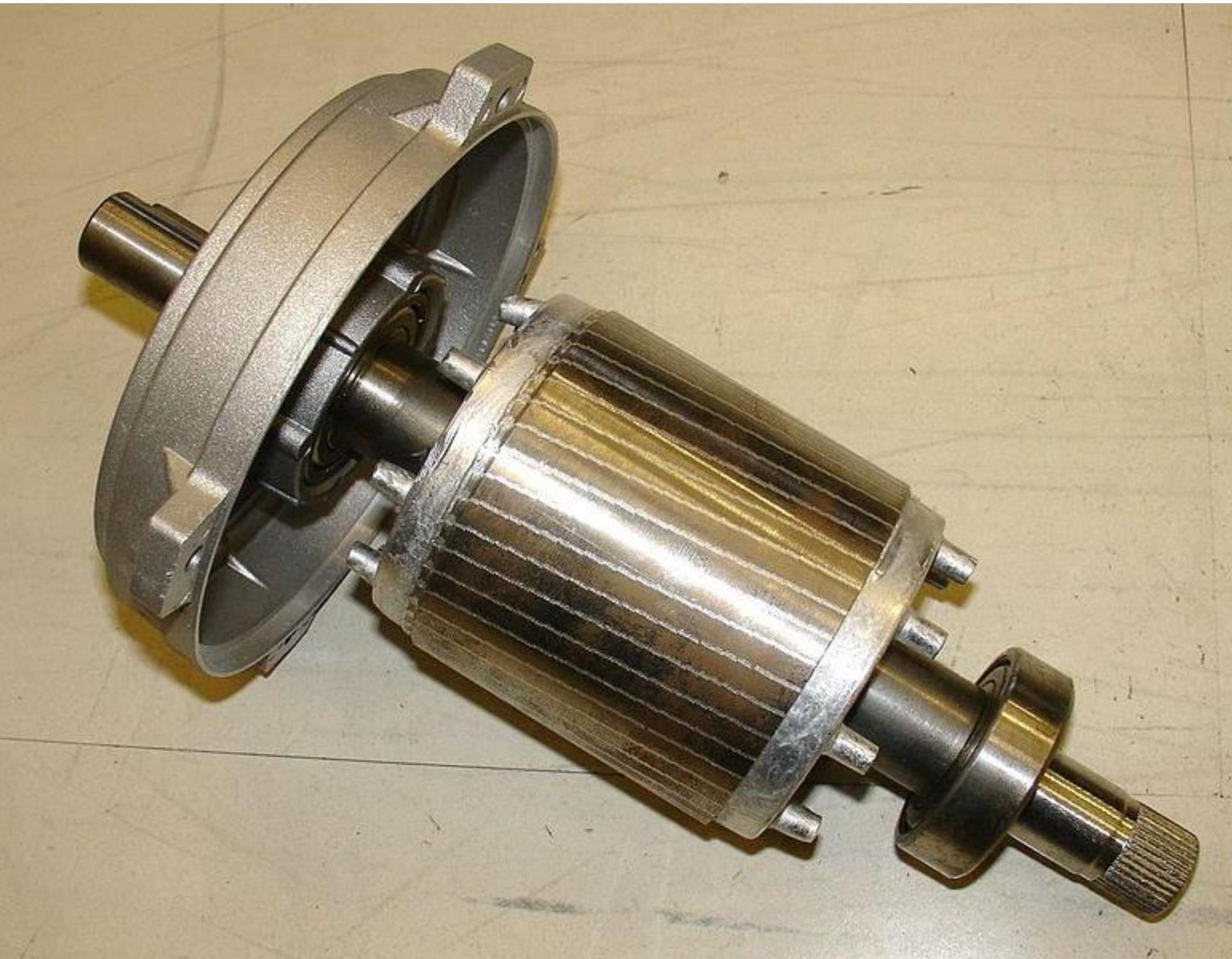
EPFL



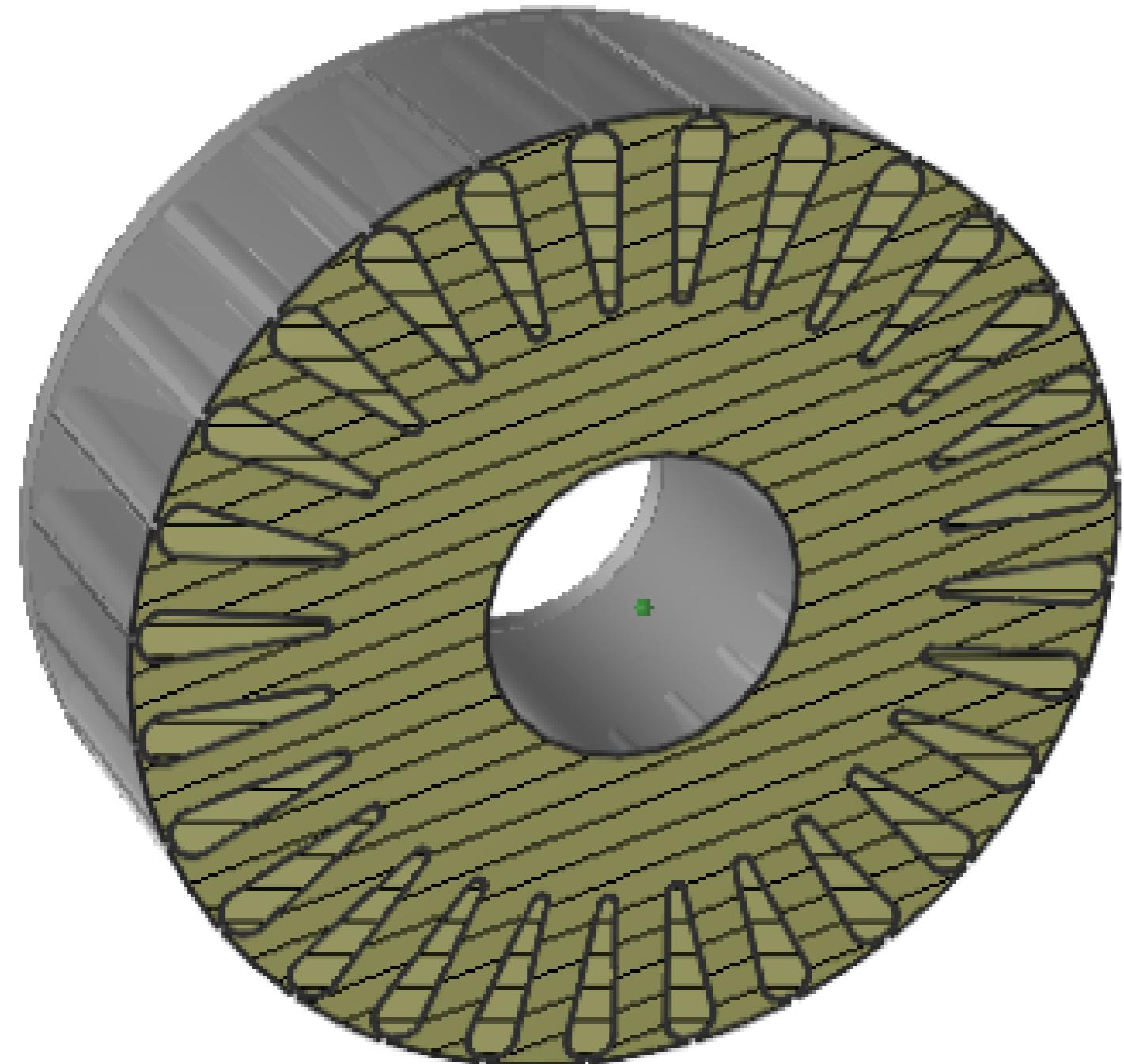
Source: Valélectric Farner SA

Rotor à cage d'écureuil

EPFL



Rotor à cage d'écureuil



Moteur asynchrone: équations de tension

Glissement

$$s = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

Pulsation rotorique

$$\omega_r = \omega_s - \Omega p$$

Bobinages équivalents, équations de tension

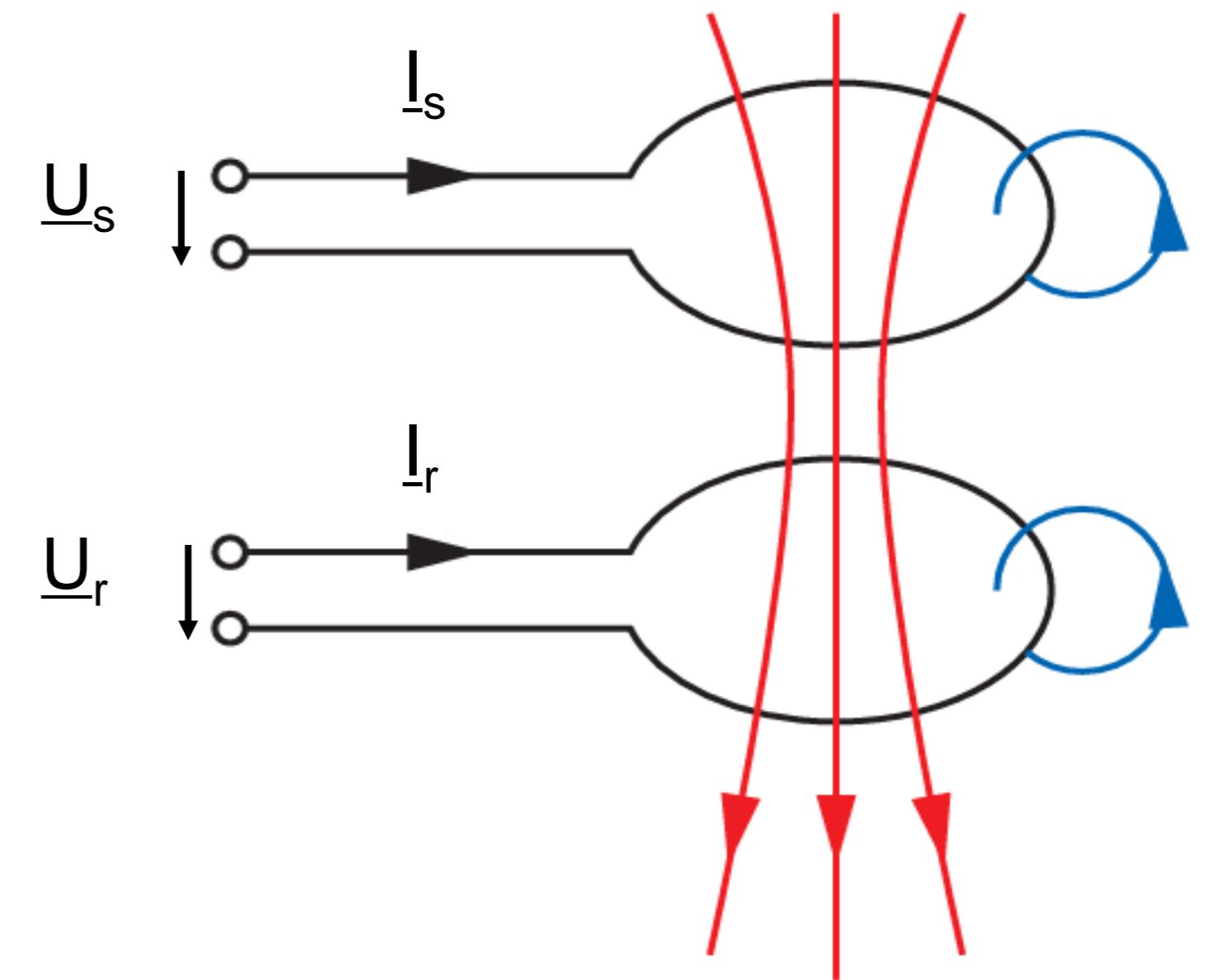
Stator: tension d'une phase

$$u_s = R_s i_s + \frac{d\Psi_s}{dt}$$

$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega \underline{\Psi}_s$$

$$\underline{\Psi}_s = L_s \underline{I}_s + L_{sr} \underline{I}_r$$

$$L_s = L_{hs} + L_{\sigma s}$$



Bobinages équivalents, équations de tension

Rotor: tension d'une phase

$$\underline{U}_r = R_r \underline{I}_r + j s \omega \Psi_r$$

$$\Psi_r = L_r \underline{I}_r + L_{sr} \underline{I}_s$$

$$L_r = L_{hr} + L_{\sigma r}$$

$$\underline{U}_r = R_r \underline{I}_r + j s \omega L_{\sigma r} \underline{I}_r + j s \omega L_{hr} \underline{I}_r + j s \omega L_{sr} \underline{I}_s$$

Équations de tension

- Définition : glissement

$$s = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

- Pulsation tension/courant rotorique

$$\omega_r = s\omega$$

- Équations de tension
 - Statorique
 - Rotorique

Équations de tension, grandeurs rapportées

EPFL

$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} \underline{I}_s + j\omega L_{sr} \underline{I}_r$$

$$L_{\sigma s} = N_s^2 \Lambda_{\sigma s}$$

$$\underline{U}_r = R_r \underline{I}_r + js\omega L_{\sigma r} \underline{I}_r + js\omega L_{hr} \underline{I}_r + js\omega L_{sr} \underline{I}_s$$

$$L_{\sigma r} = N_r^2 \Lambda_{\sigma r}$$

Grandeurs rapportées

$$L_{hs} = N_s^2 \Lambda_h$$

$$\underline{U}'_r = \underline{U}_r \frac{N_s}{N_r} \quad \underline{I}'_r = \underline{I}_r \frac{N_r}{N_s} \Rightarrow \underline{I}_r = \underline{I}'_r \frac{N_s}{N_r}$$

$$L_{hr} = N_r^2 \Lambda_h$$

$$\underline{Z}'_r = \underline{Z}_r \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2$$

$$L_{sr} = N_s N_r \Lambda_h$$

$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} \underline{I}_s + j\omega L_{sr} \frac{N_s}{N_r} \underline{I}'_r = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)$$

$$\underline{U}'_r = \underline{U}_r \frac{N_s}{N_r} = R_r \frac{N_s}{N_r} \frac{N_s}{N_r} \underline{I}'_r + js\omega L_{\sigma r} \frac{N_s}{N_r} \frac{N_s}{N_r} \underline{I}'_r + js\omega L_{hr} \frac{N_s}{N_r} \frac{N_s}{N_r} \underline{I}'_r + js\omega \frac{N_s}{N_r} L_{sr} \underline{I}_s$$

Schéma électrique équivalent

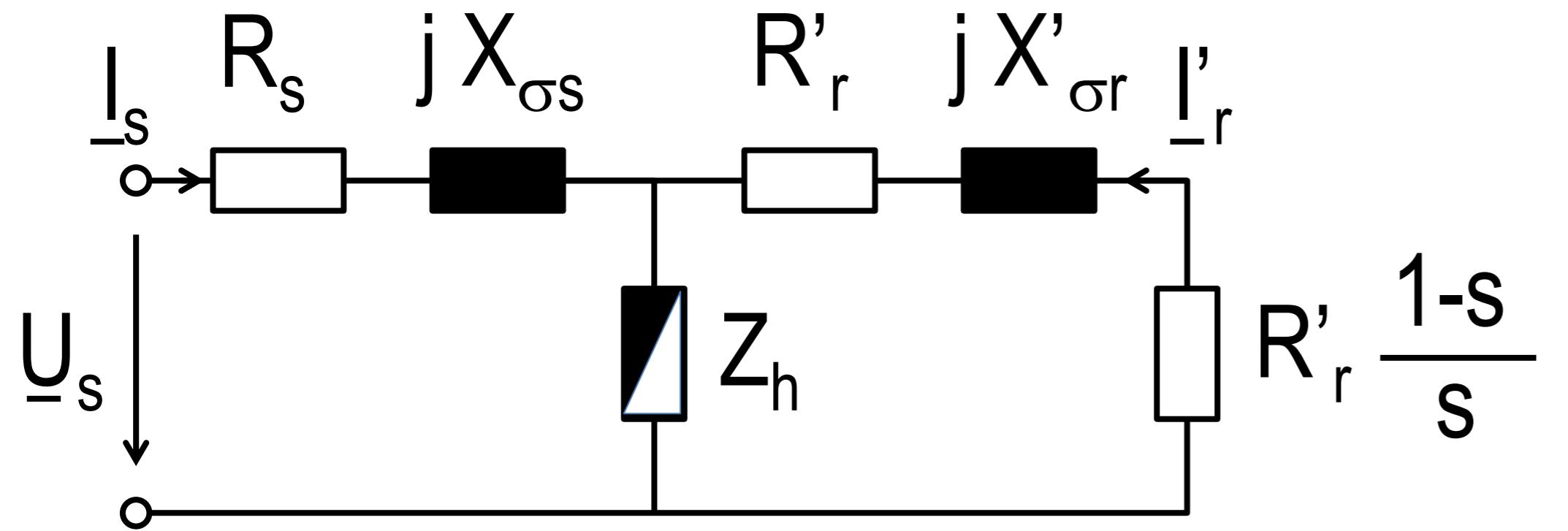
$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)$$

$$\underline{U}'_r = R'_r \underline{I}'_r + js\omega L'_{\sigma r} \underline{I}'_r + js\omega L_{hs} (\underline{I}'_r + \underline{I}_s)$$

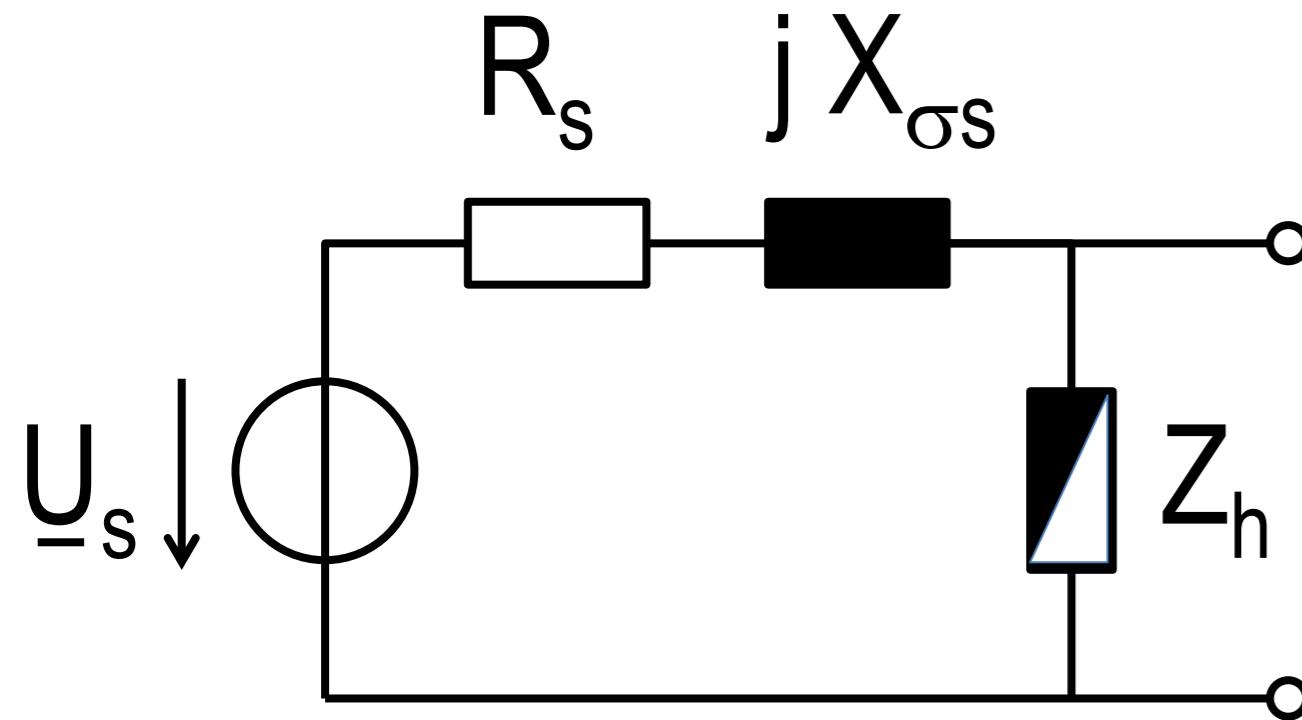
$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + jX_{\sigma s} \underline{I}_s + jX_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)$$

$$0 = \frac{R'_r}{s} \underline{I}'_r + jX'_{\sigma r} \underline{I}'_r + jX_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)$$

Bilan de puissance

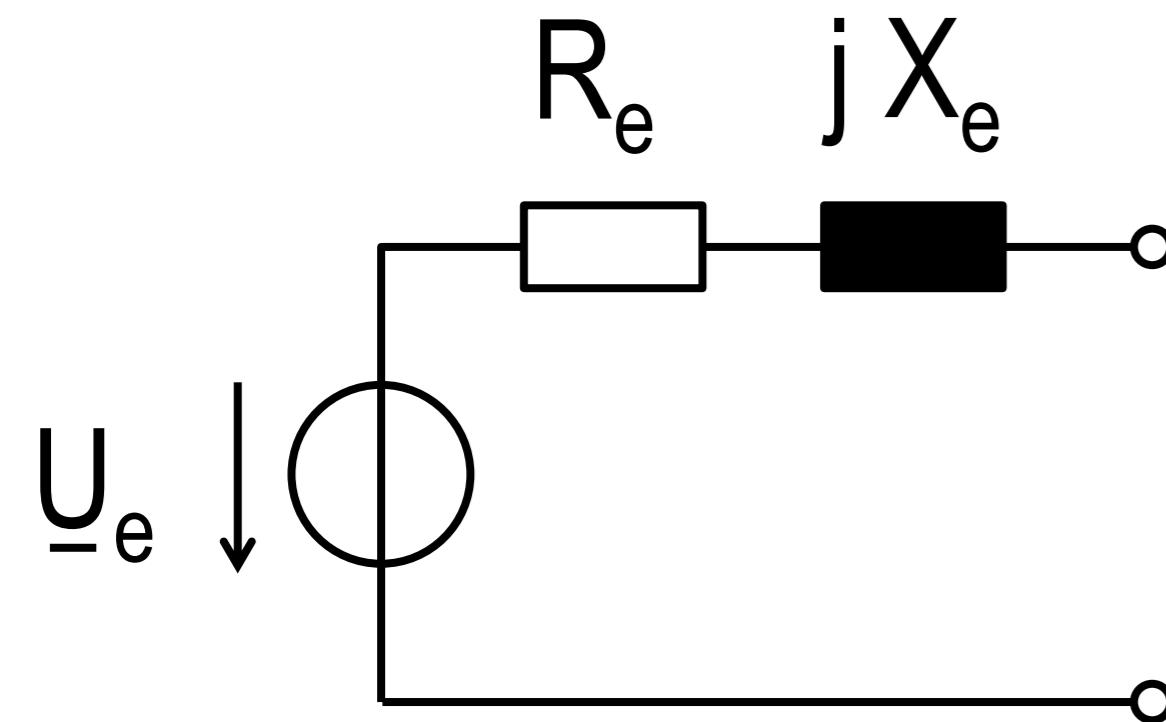


Équivalent de Thévenin



$$\underline{U}_e = \underline{U}_0 = \underline{U}_s \frac{\underline{Z}_h}{R_s + jX_{\sigma s} + \underline{Z}_h} = \underline{U}_s \underline{\sigma}_s$$

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



$$I_{cc} = \frac{\underline{U}_s}{R_s + jX_{\sigma s}}$$

$$\underline{Z}_e = \frac{\underline{\sigma}_s \underline{U}_s}{\frac{\underline{U}_s}{R_s + jX_{\sigma s}}} = \underline{\sigma}_s (R_s + jX_{\sigma s})$$

$$R_e + jX_e = \underline{\sigma}_s (R_s + jX_{\sigma s})$$

Expression du couple

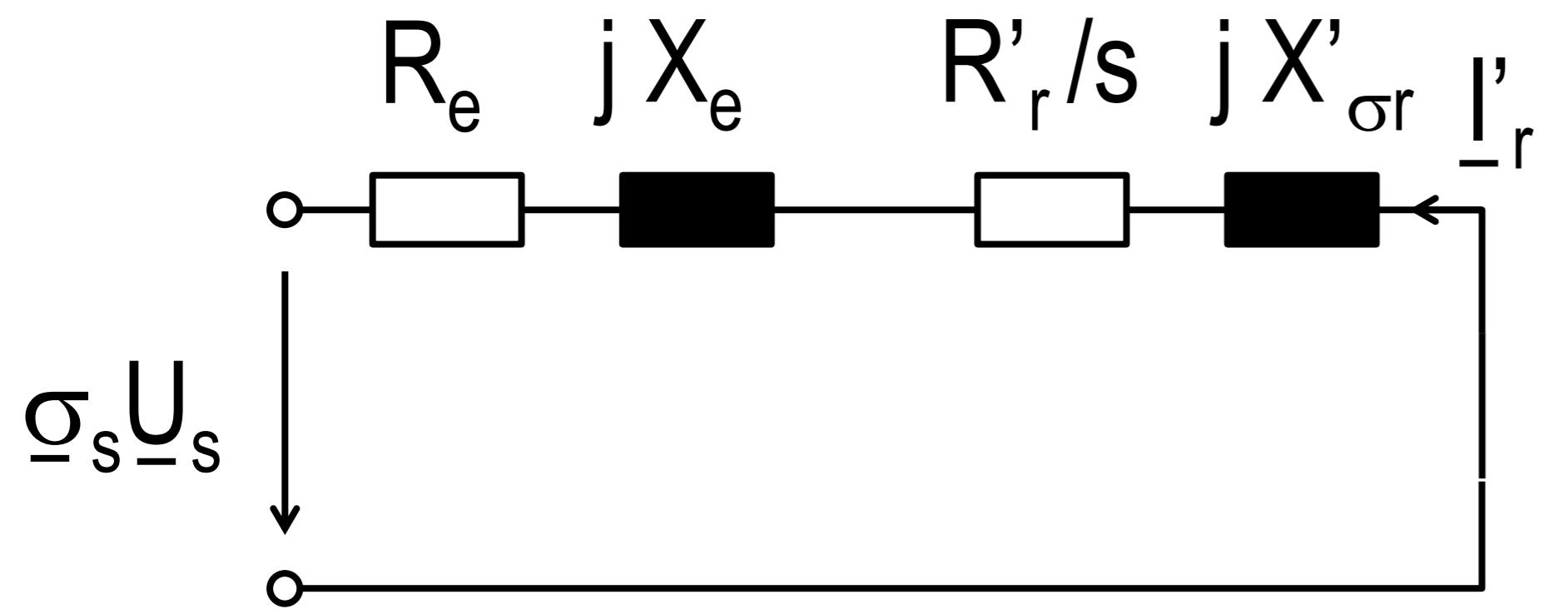


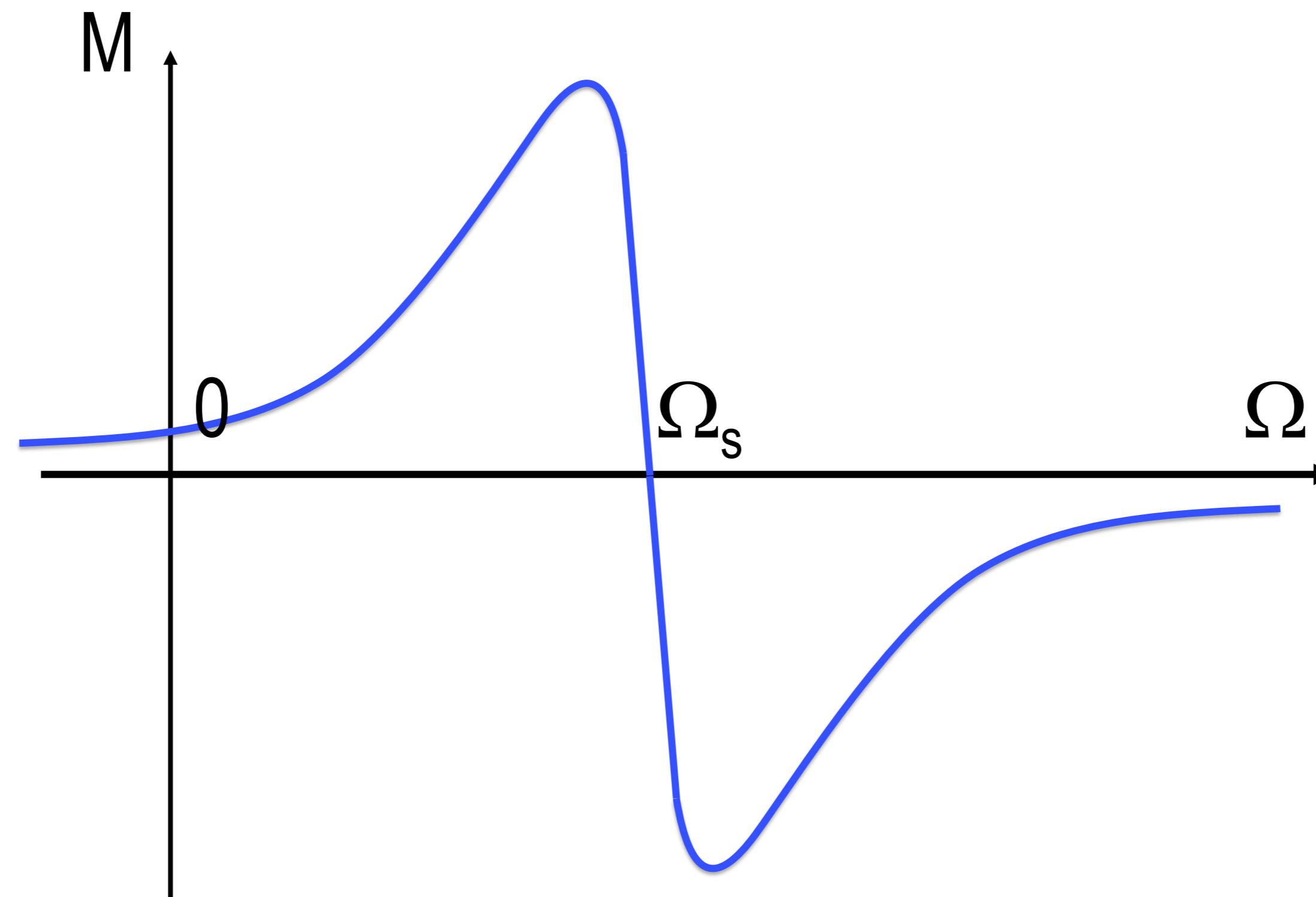
Schéma équivalent et calcul du couple

- Schéma équivalent similaire à un transformateur
- Bilan de puissance
- Expression du couple
- Couple proportionnel aux pertes Joule rotorique

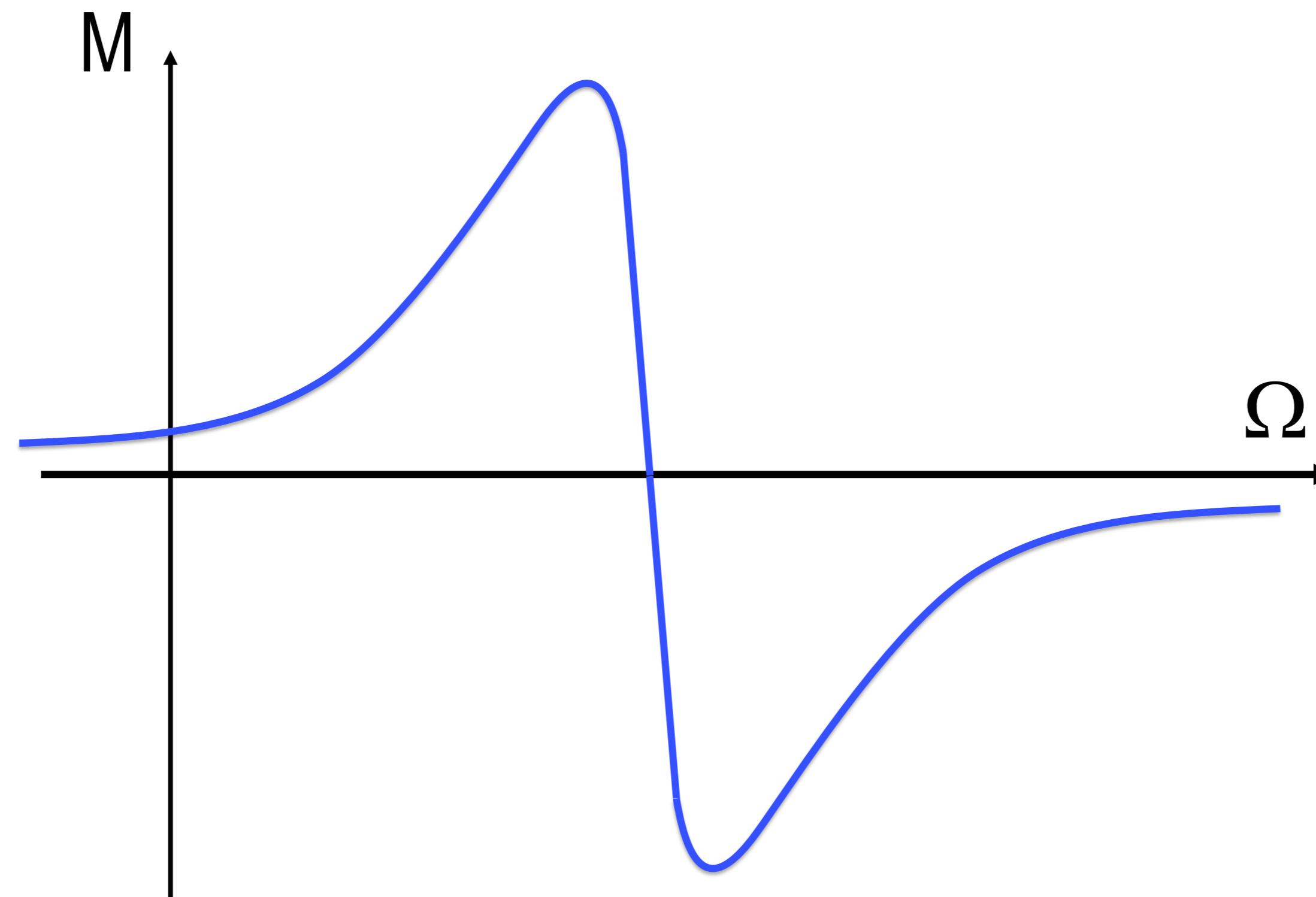
Analyse du couple

$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[\left(R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

Caractéristique de couple



Démarrage, décrochage



Démarrage, décrochage

$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 {U_s}^2}{\left[\left(R_e + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

Exemple

Un moteur asynchrone est tel que selon le schéma transformé de Thévenin, on a:

$$X'_{\sigma s} = X'_{\sigma r}$$

$$R'_s = R'_r = 1/4 X'_{\sigma r}$$

Déterminer les couples de démarrage et de décrochage à une tension réduite égale à 70% de la tension nominale sachant que le couple nominal vaut 620Nm à $s=3\%$