

EPFL

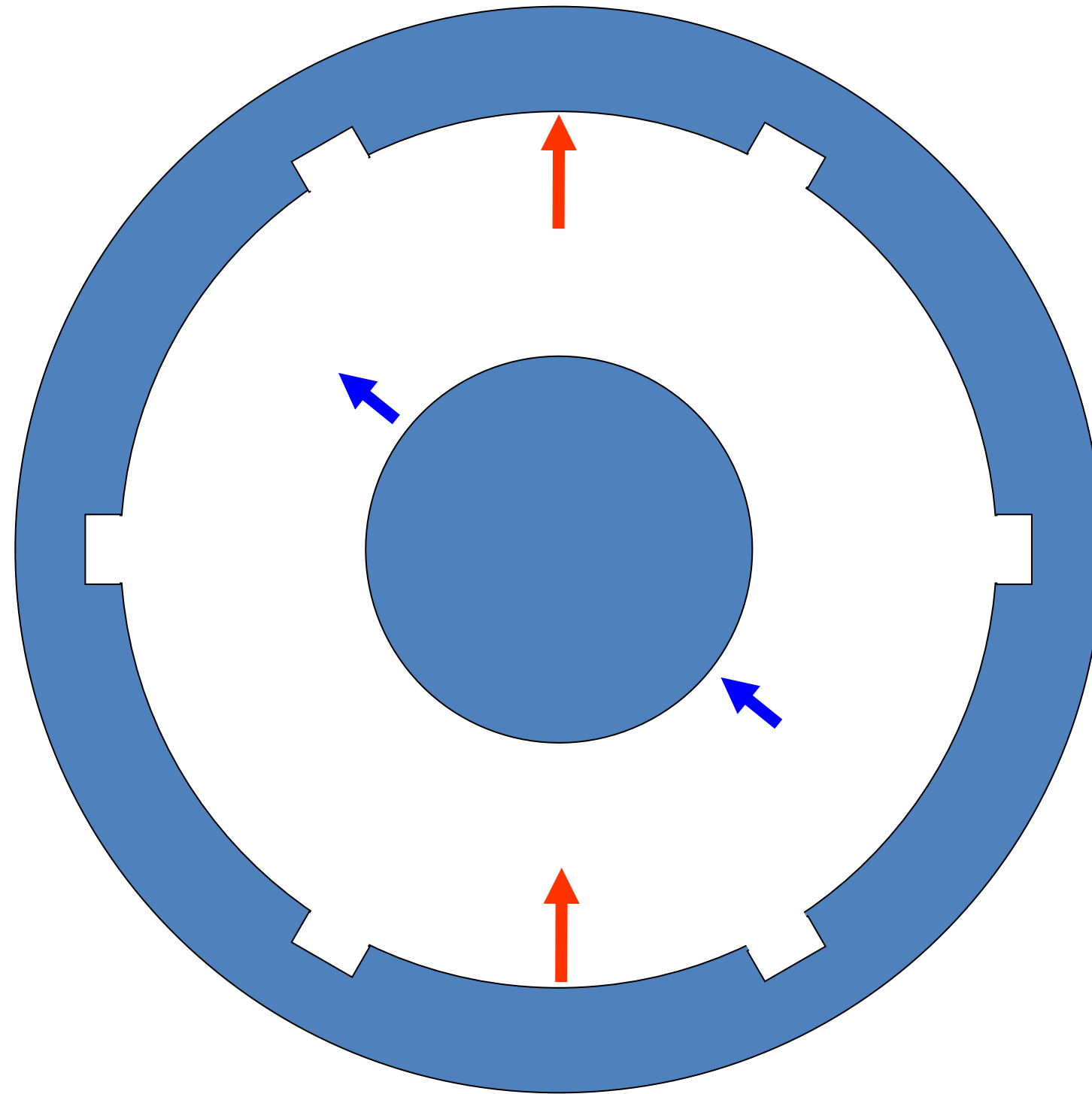
Moteur asynchrone

Actionneurs et systèmes électromagnétiques II

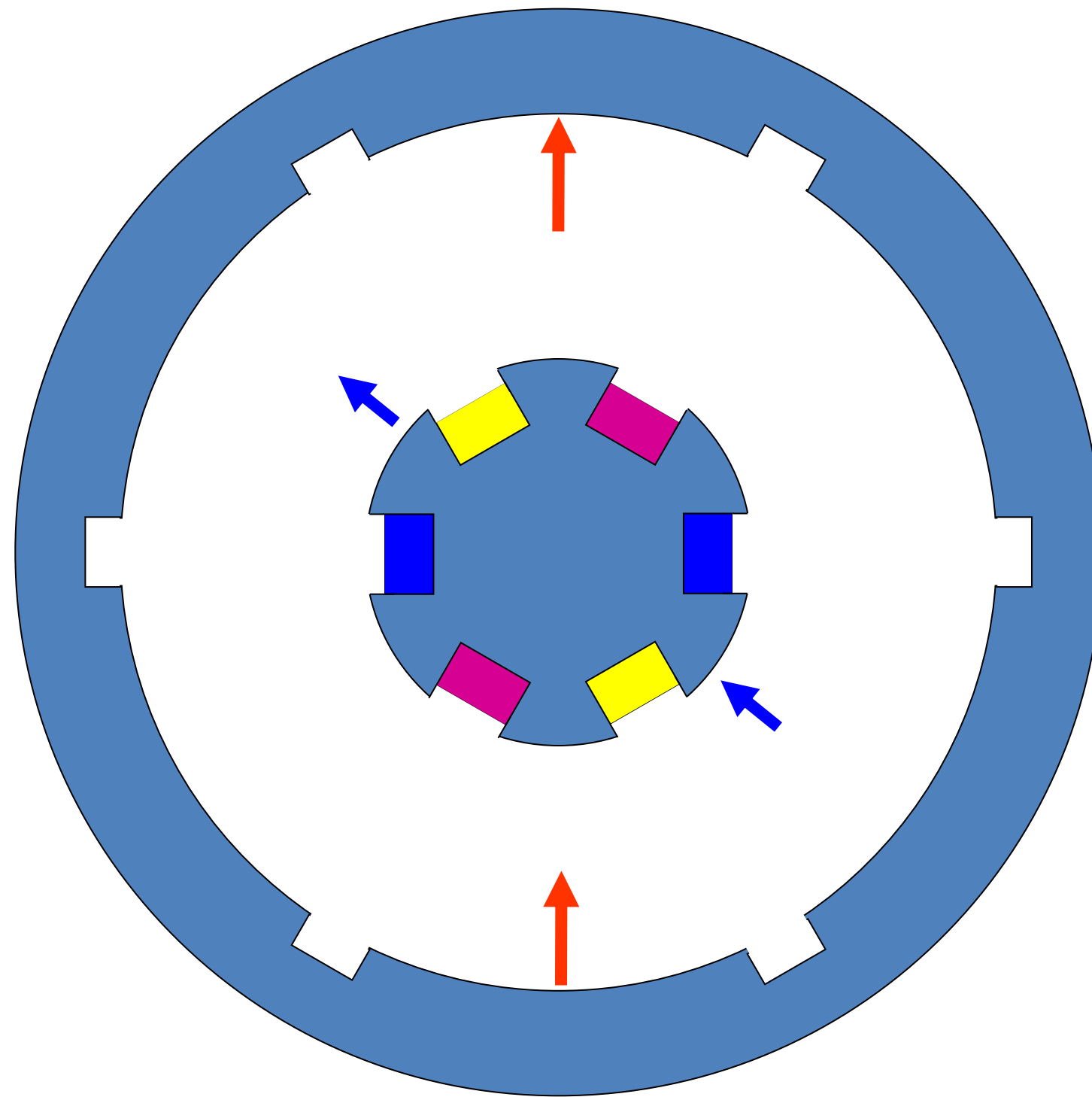
Christian Koechli

- 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 α à lui
 - tournant à la même vitesse
 - créé par un aimant ou par un bobinage
- $\omega_r = \omega_s - \Omega p$



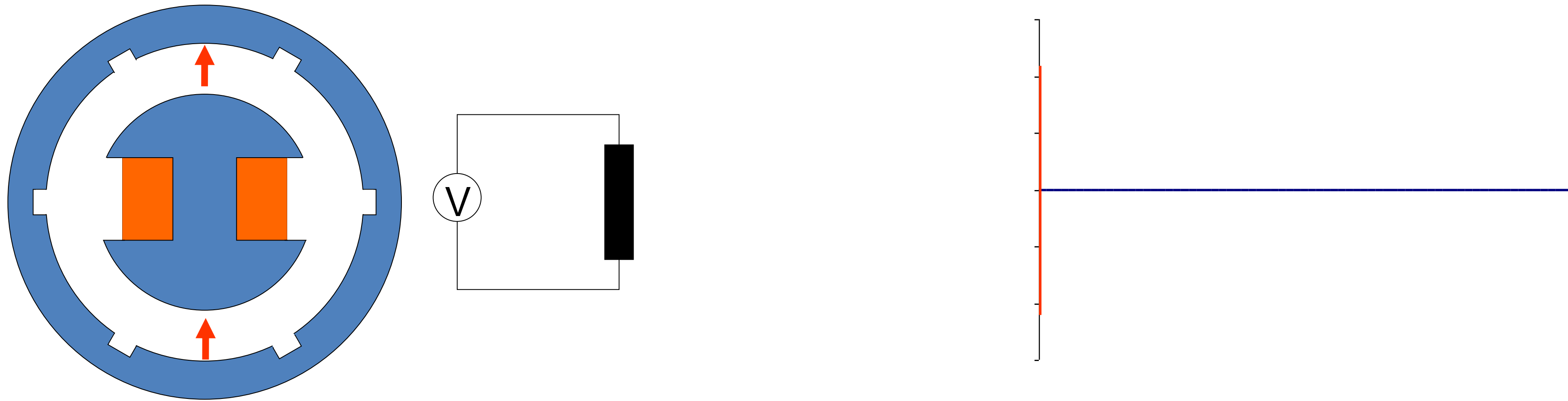
- Le rotor ne tourne pas à la vitesse synchrone
- Le bobinage du rotor est en court-circuit

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

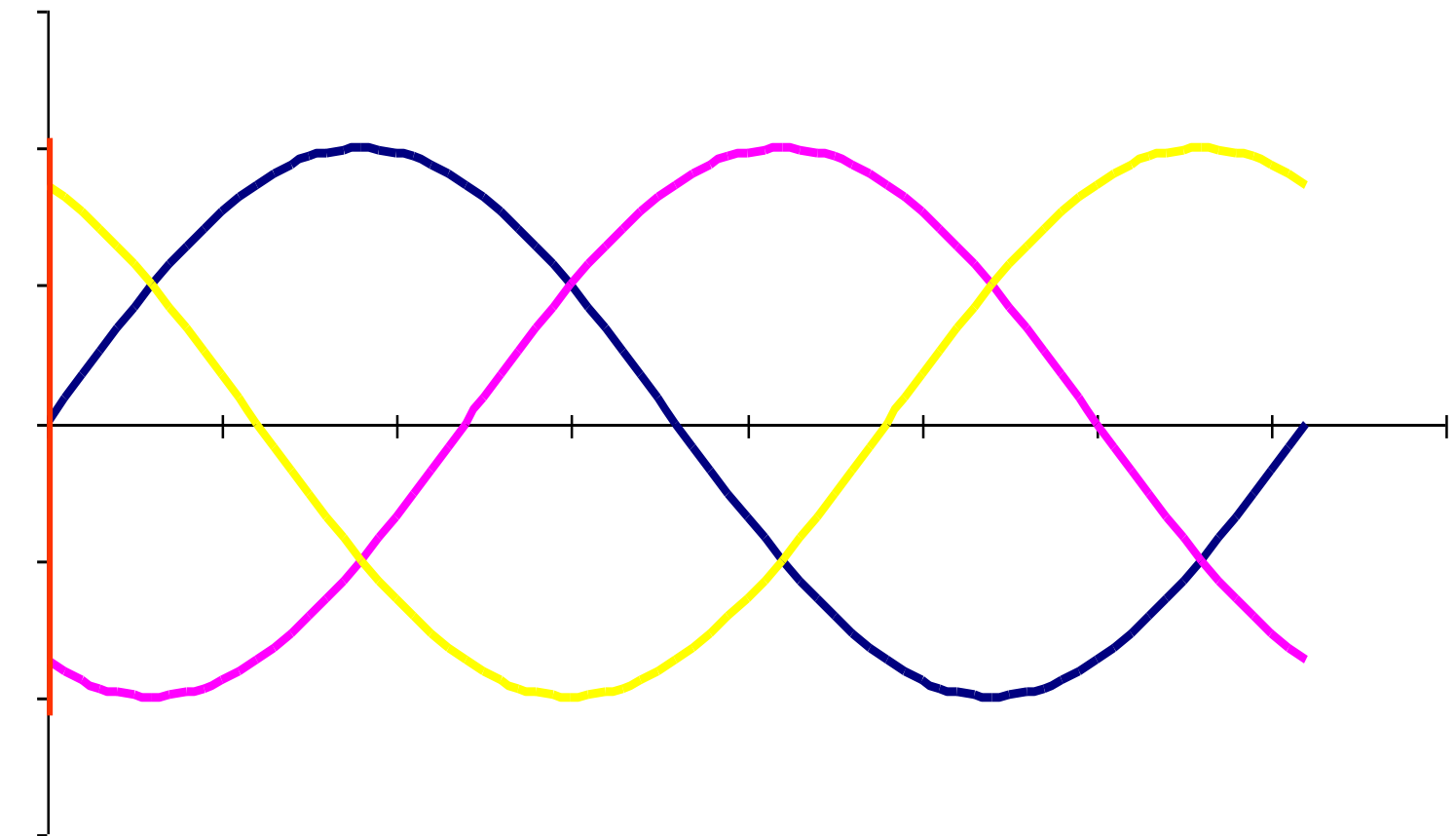
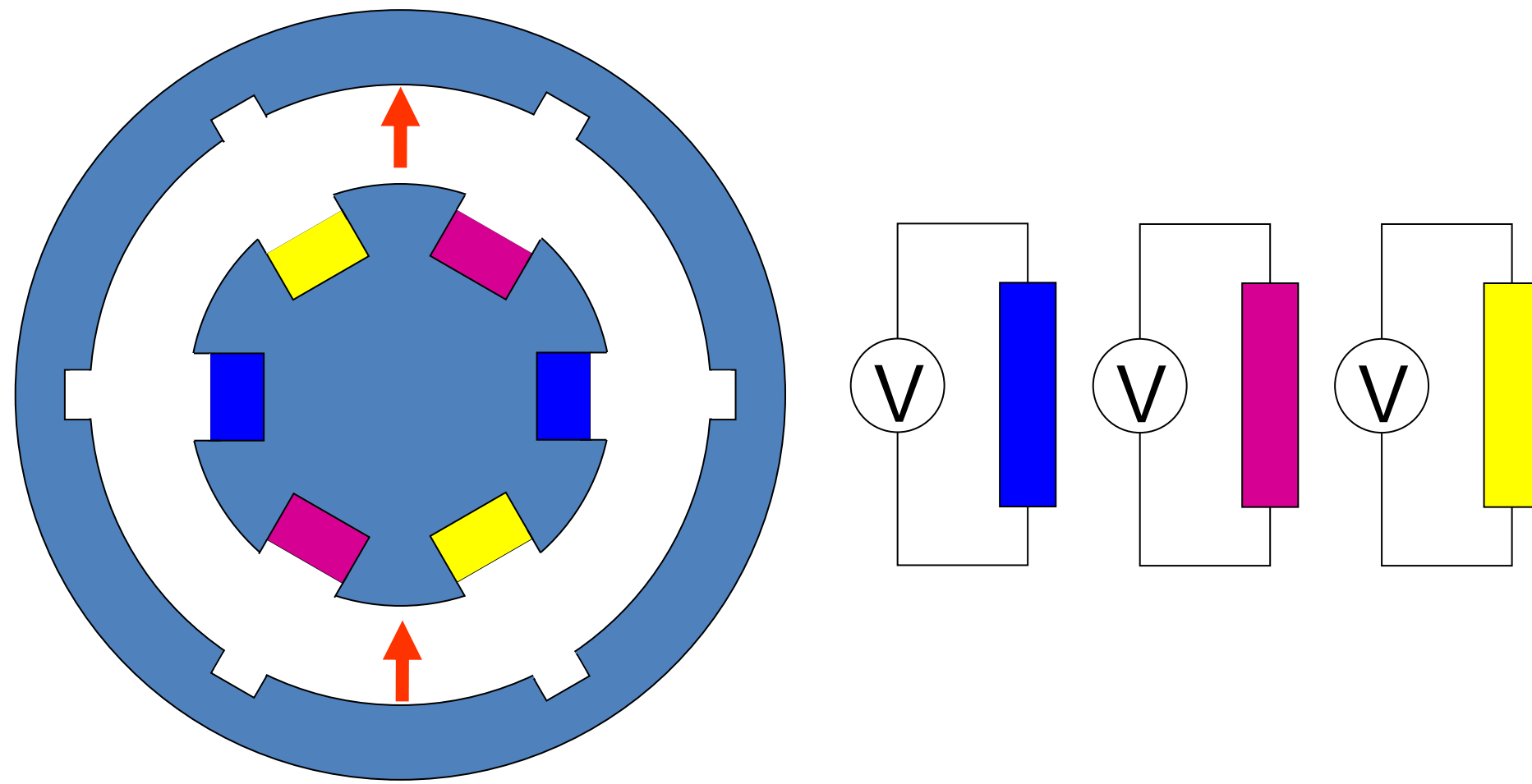
Vitesse rotor différente de celle du champ tournant **EPFL**



La bobine rotorique « voit » un flux alternatif de pulsation

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

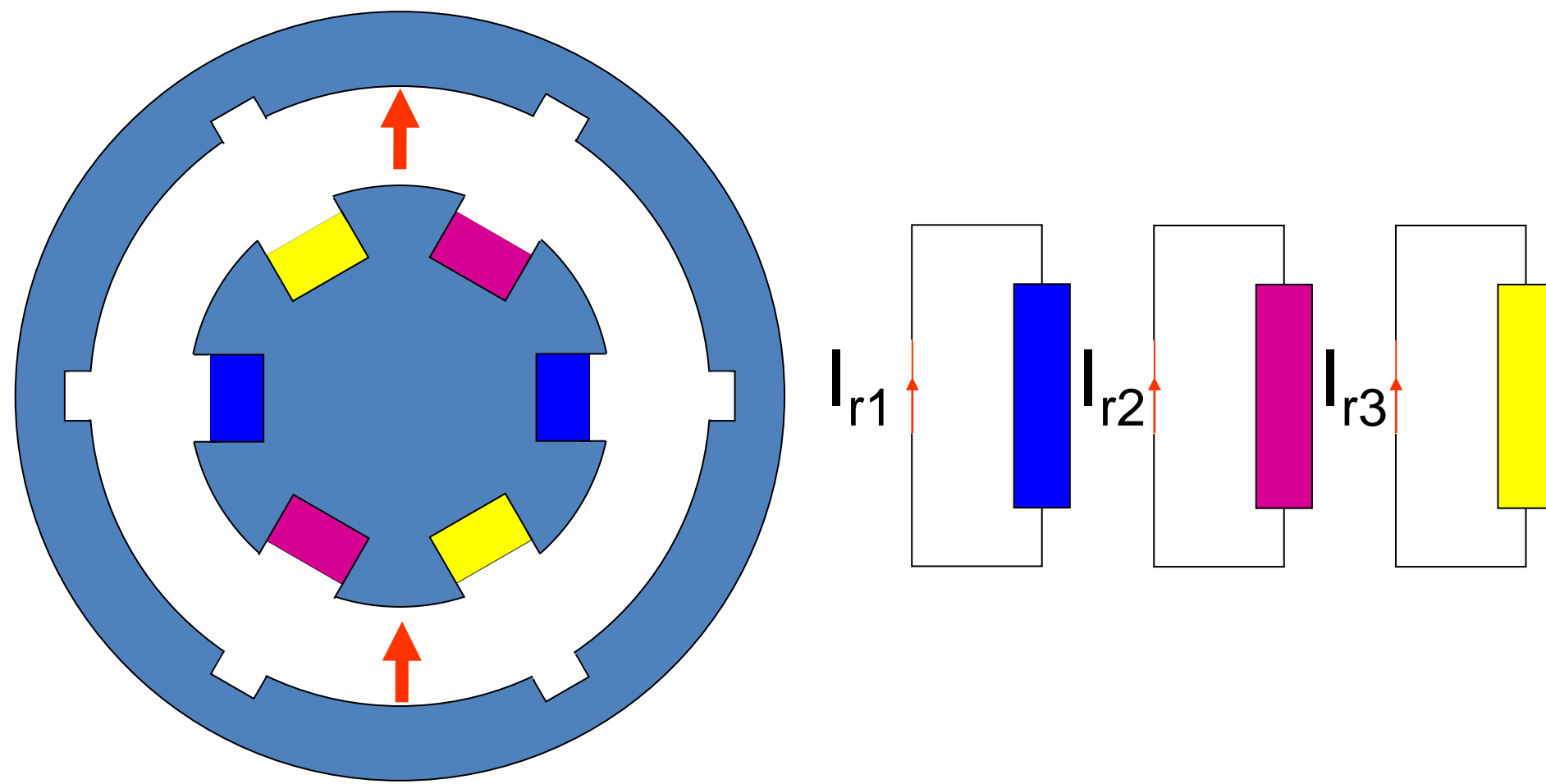
Bobinage rotorique triphasé



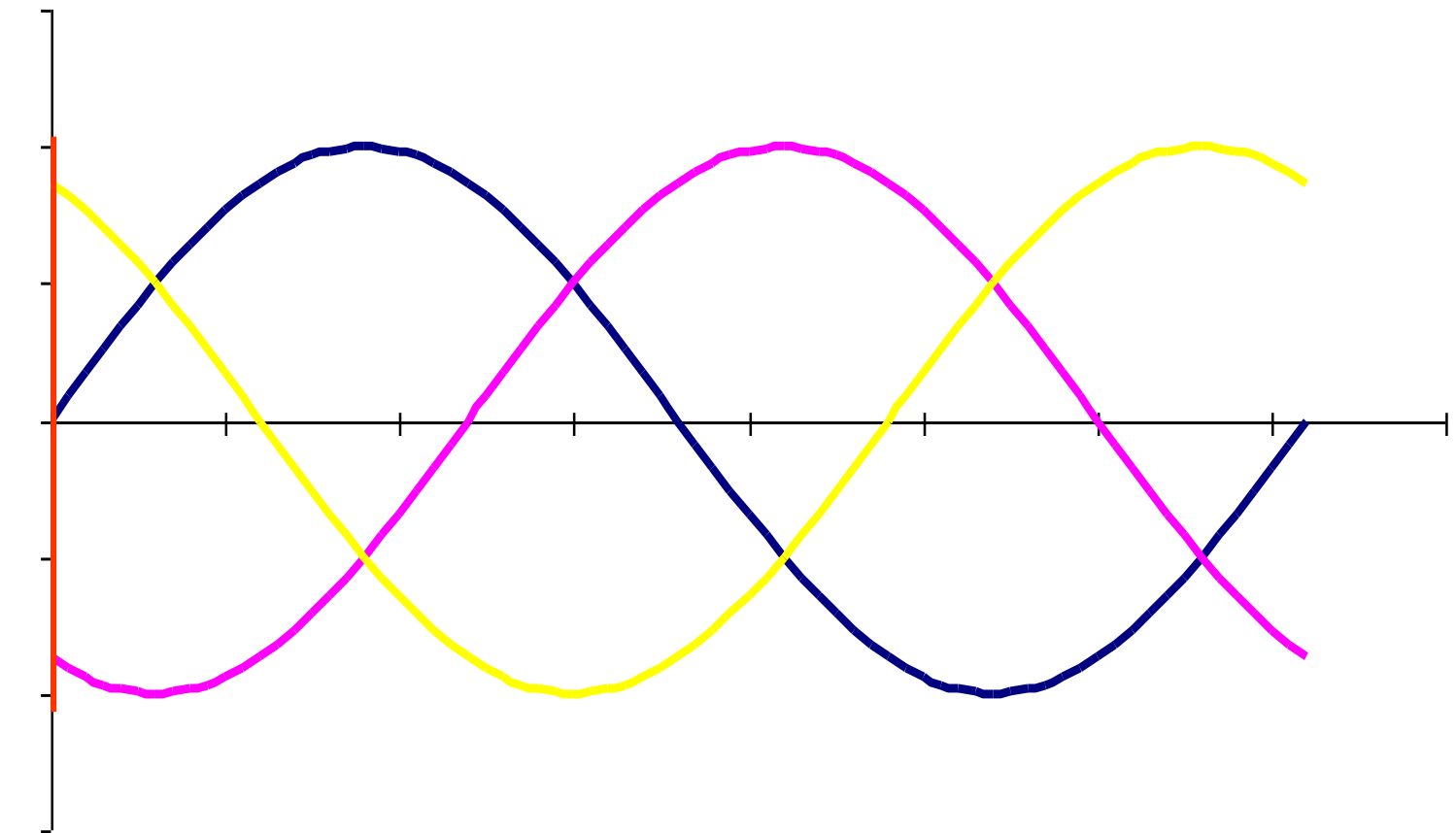
Les bobines rotoriques « voient » un flux alternatif de pulsation

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

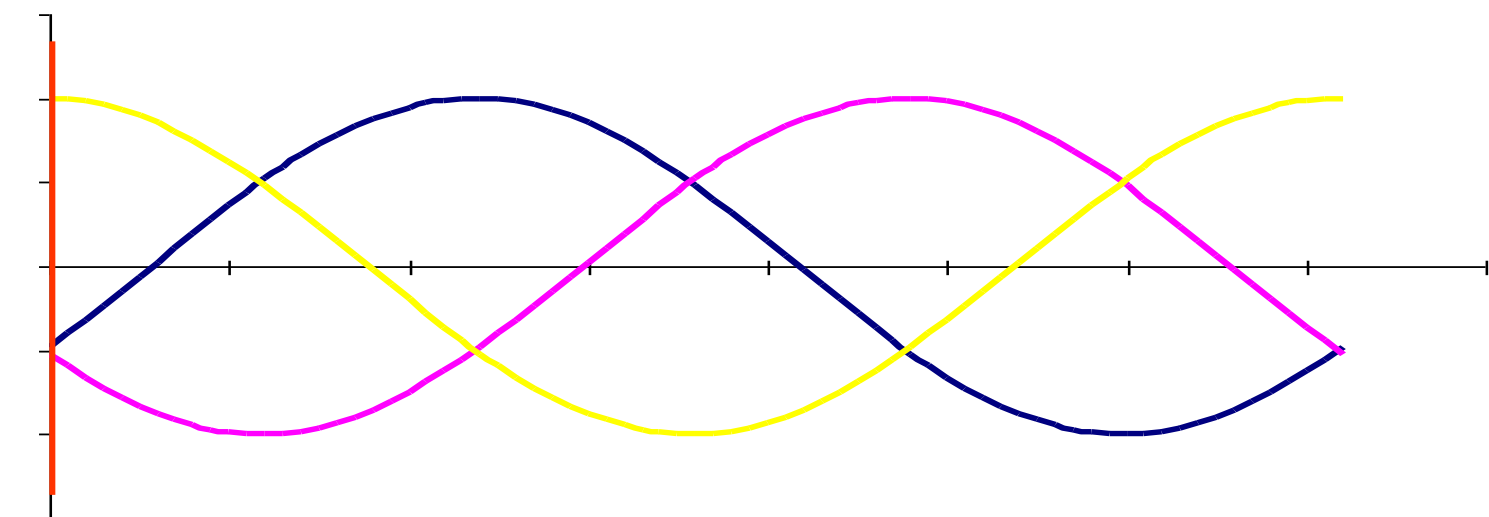
Bobinage rotorique triphasé en court circuit



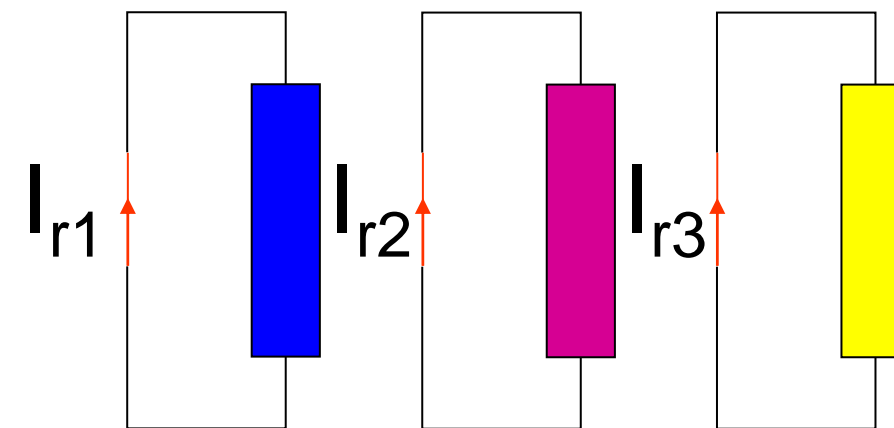
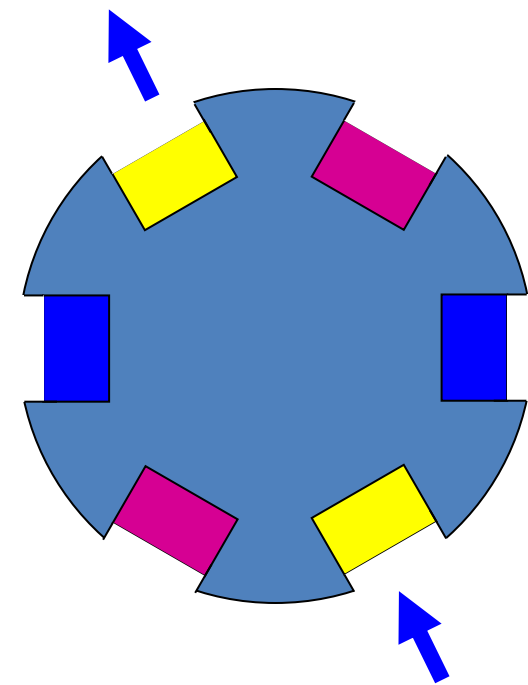
Tensions induites



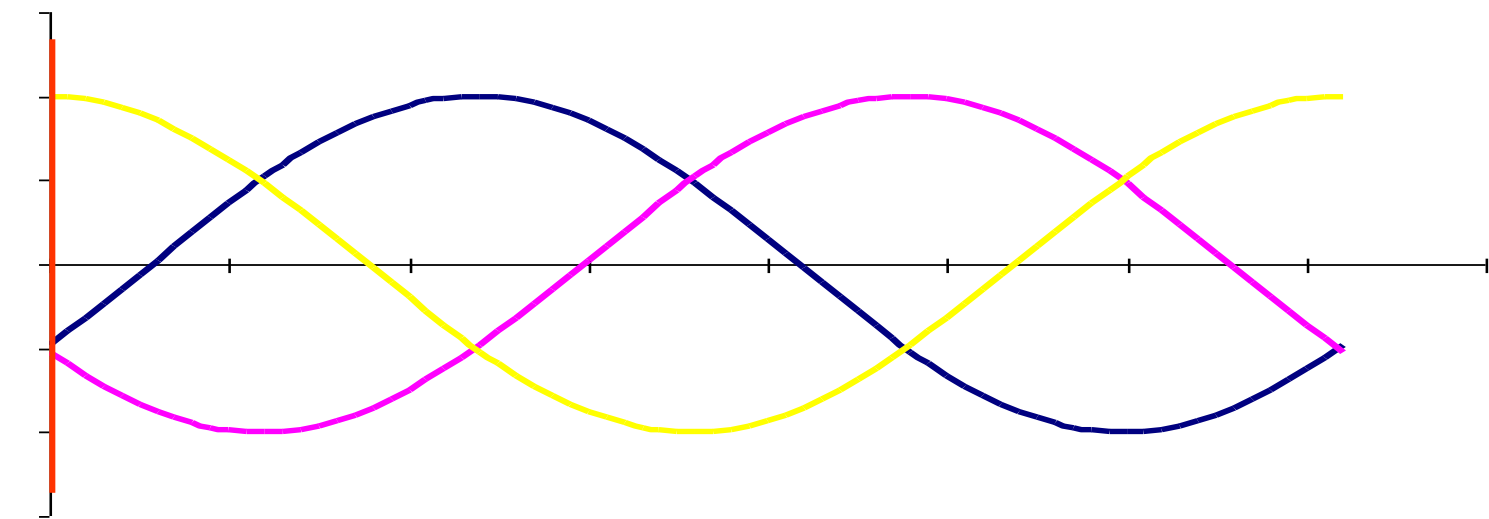
Courants induits



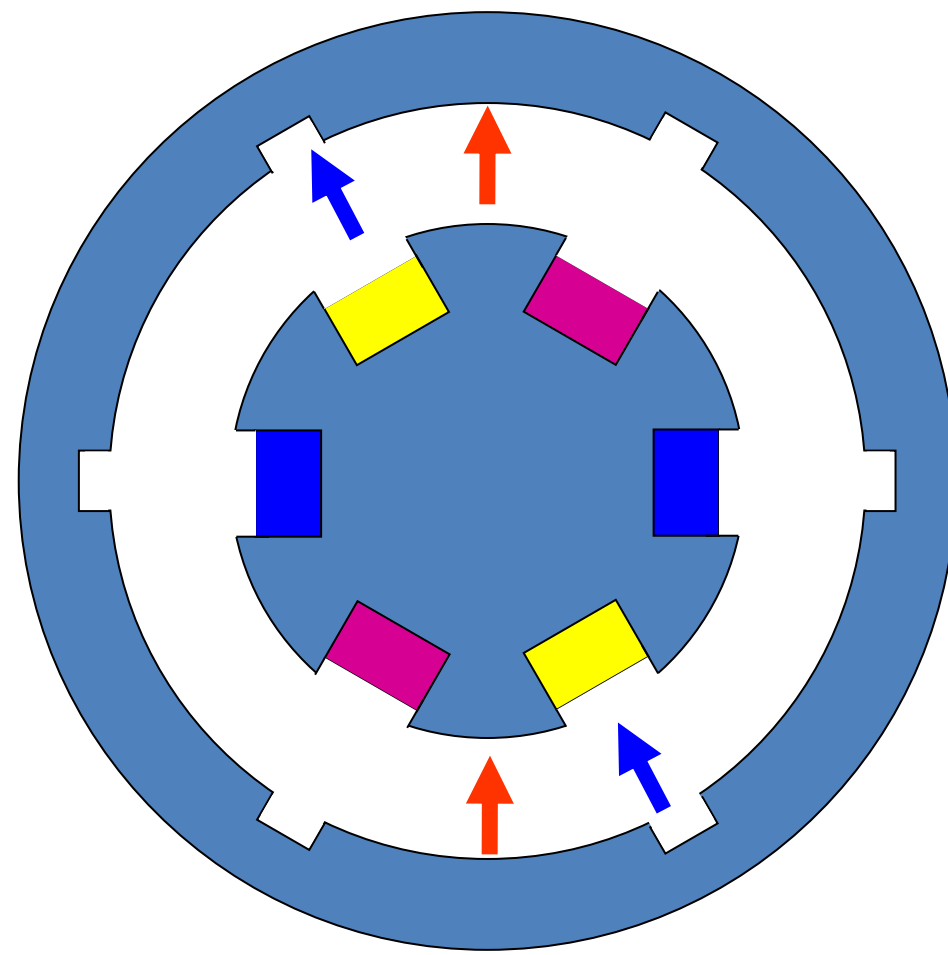
Un courant s'établit dans les phases rotoriques



Courants induits

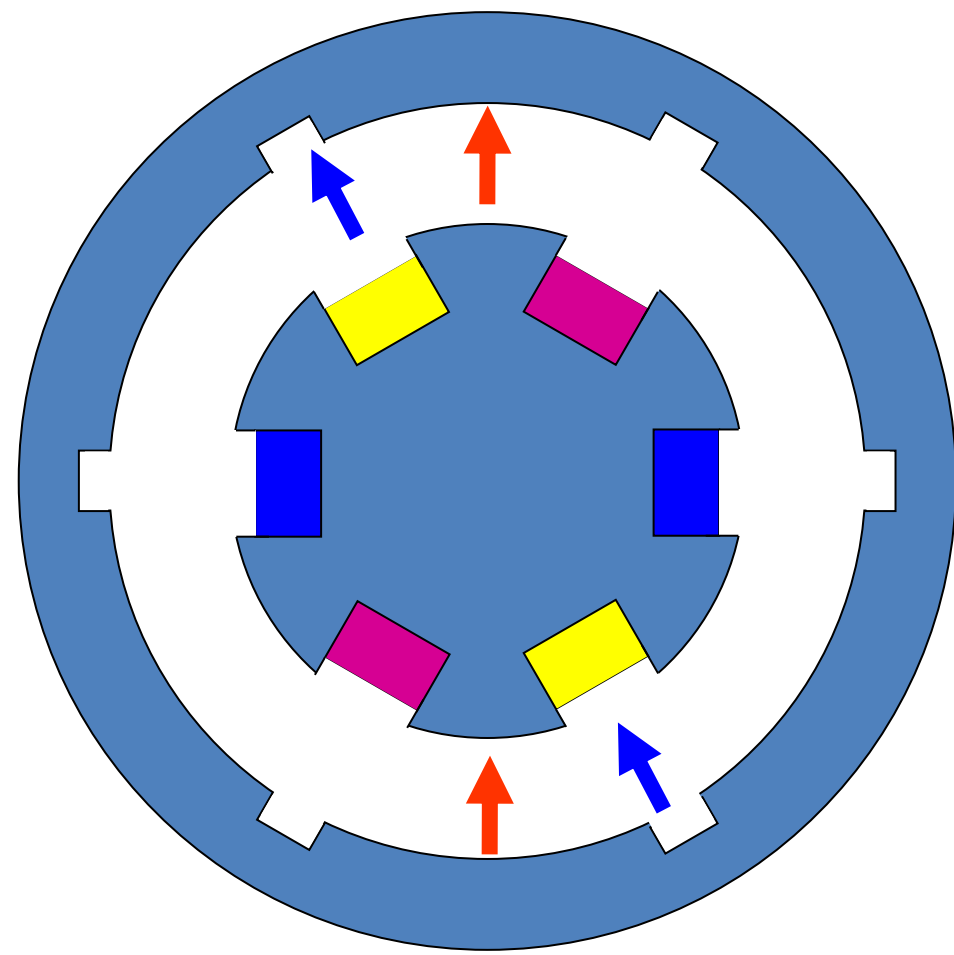


Les courants rotoriques induits par la différence de vitesse entre le champ statorique et le rotor créent à leur tour un champ tournant rotorique de vitesse $\Omega_r = \omega_r/p = \omega_s/p - \Omega$



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 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.

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



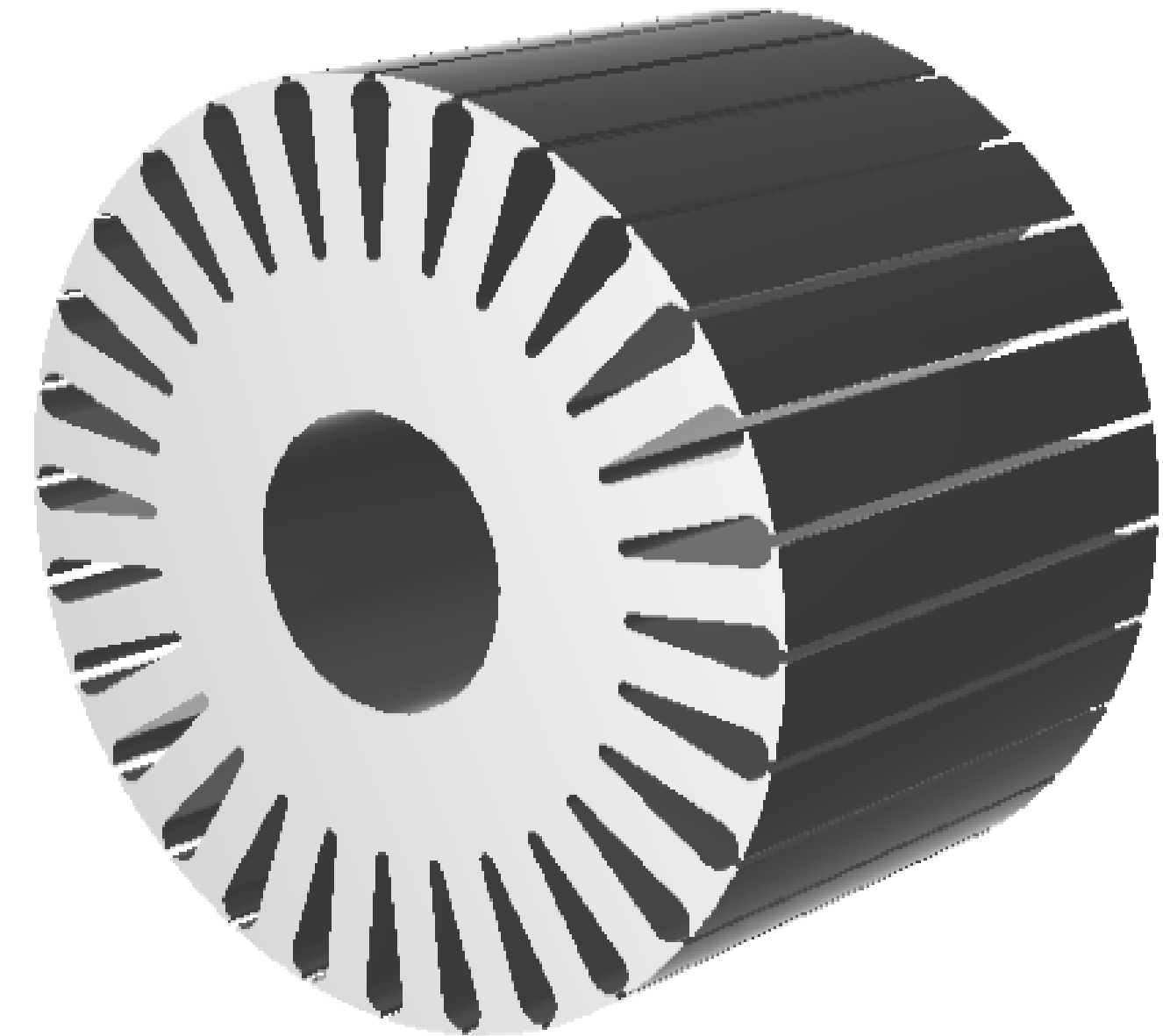
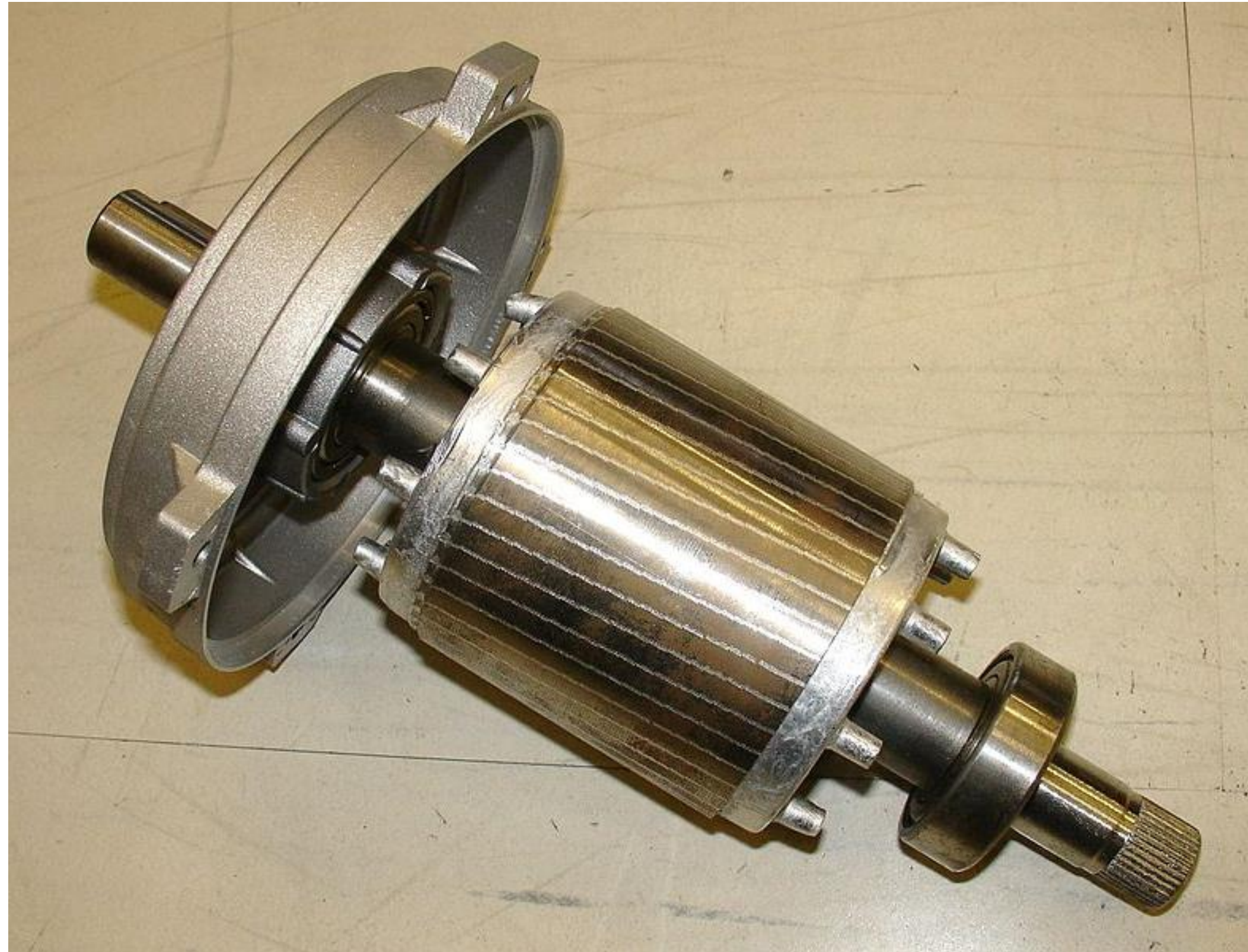
Source: Valéelectric Farner SA

Rotor bobiné

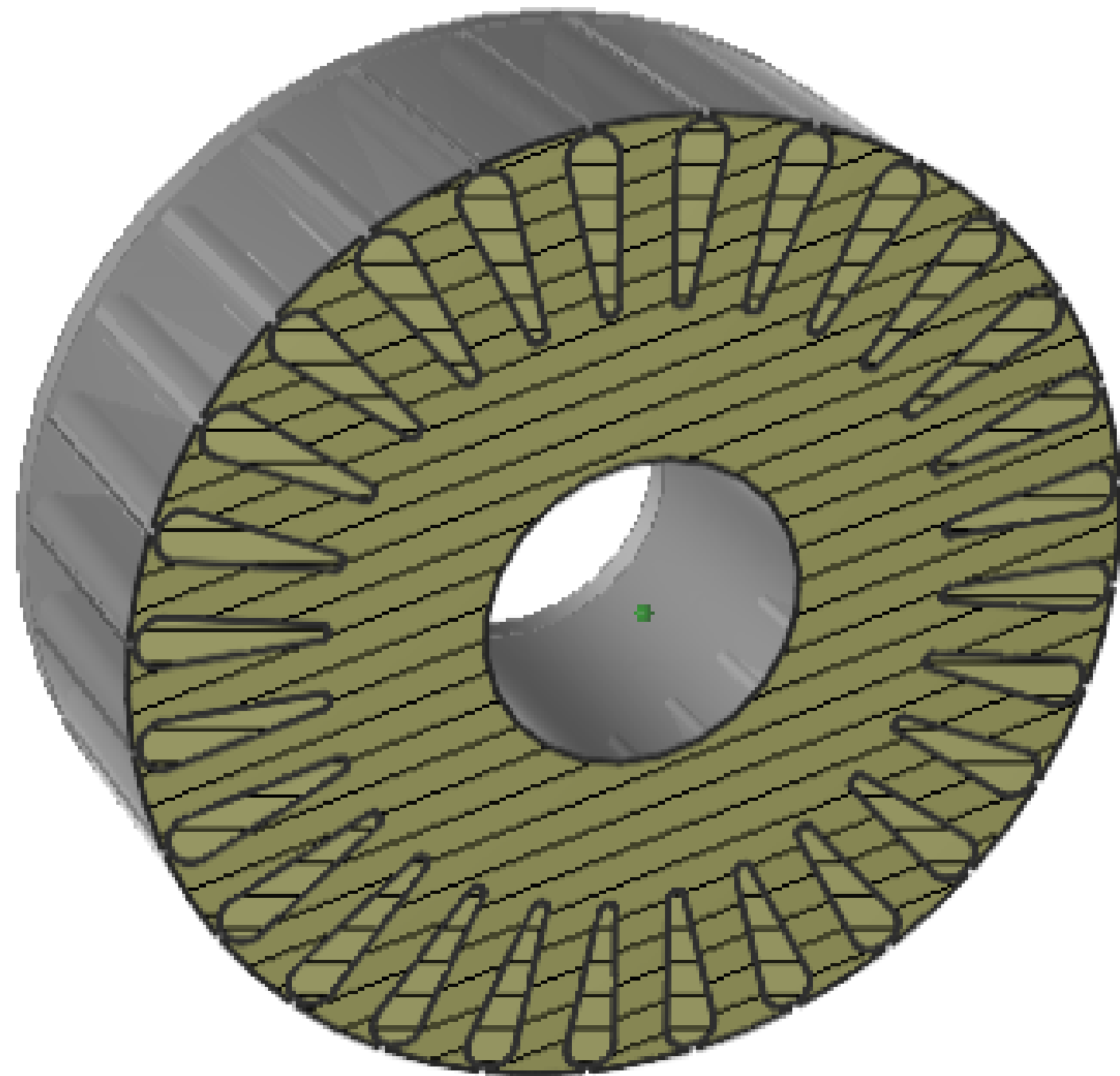


Source: Valéelectric Farner SA

Rotor à cage d'écureuil



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

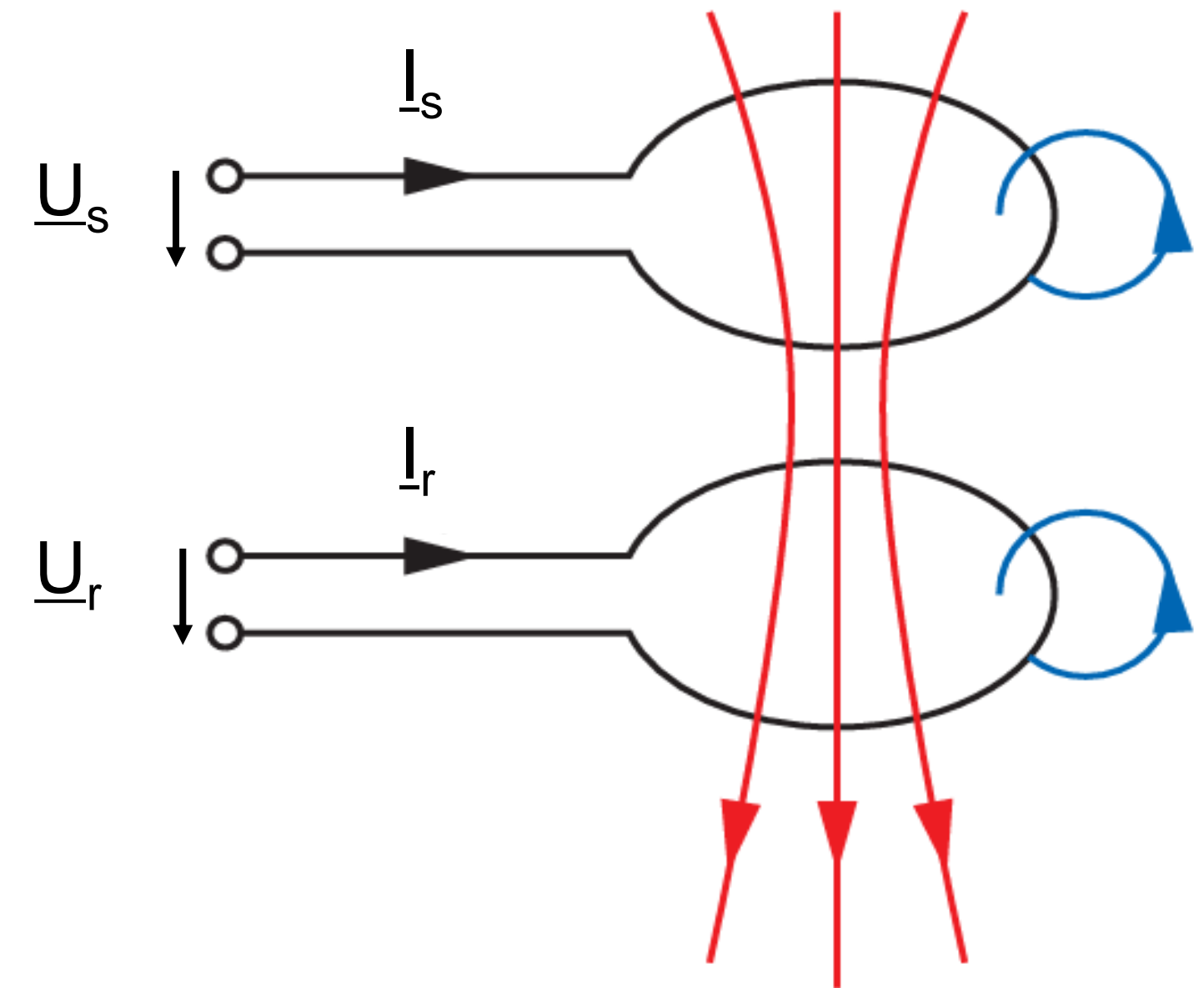
Stator: tension d'une phase

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

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

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

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



Rotor: tension d'une phase

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

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

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

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

- Définition : glissement

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

- Pulsation tension/courant rotorique

$$\omega_r = s\omega$$

- Equations de tension

- Statorique
- Rotorique

Équations de tension, grandeurs rapportées

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

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

Grandeurs rapportées

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Schéma électrique équivalent

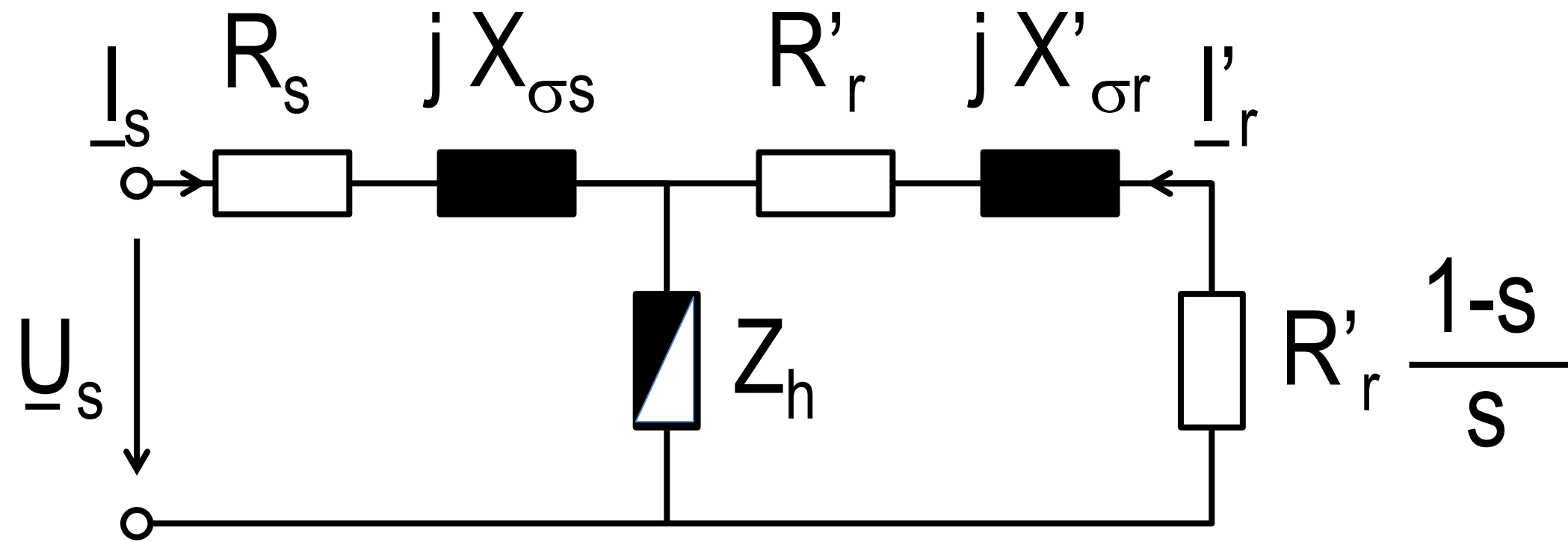
$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega L_{hs} (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)$$

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

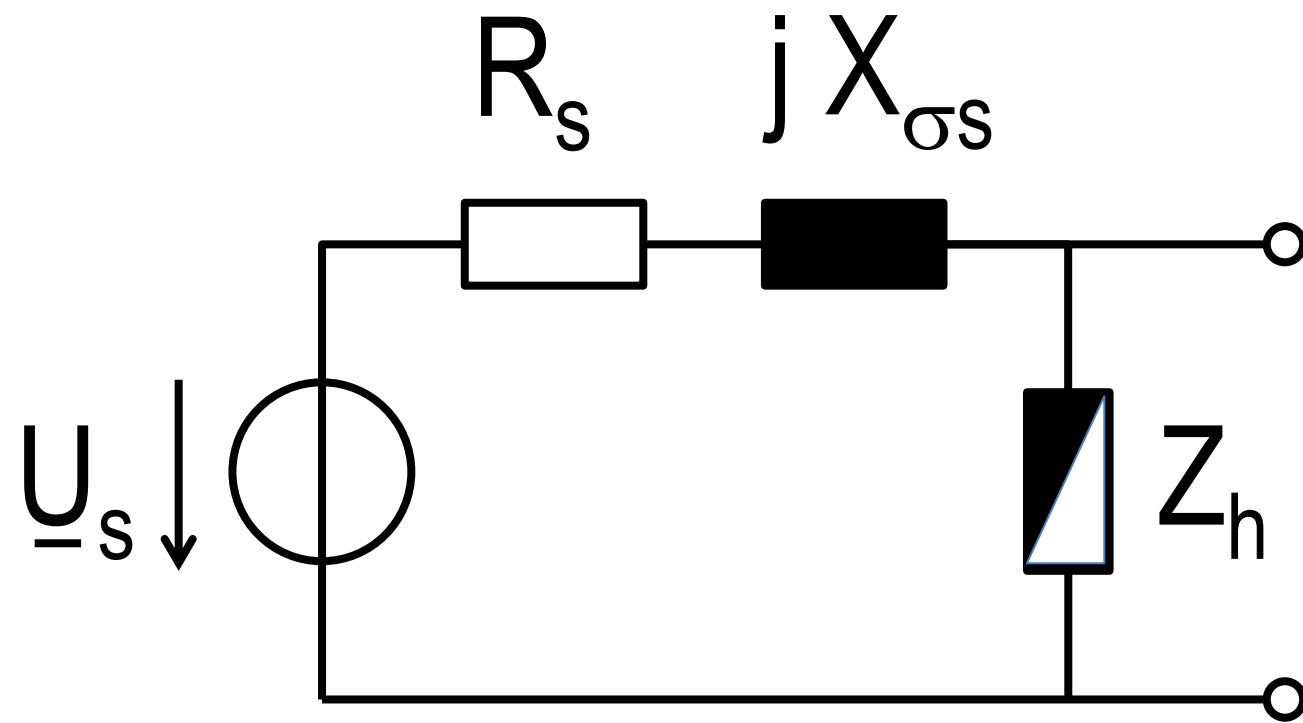
$$\underline{U}_s = R_s \underline{I}_s + jX_{\sigma s} \underline{I}_s + jX_h (\underline{I}_s + \underline{I}'_r)$$

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

Bilan de puissance



Équivalent de Thévenin



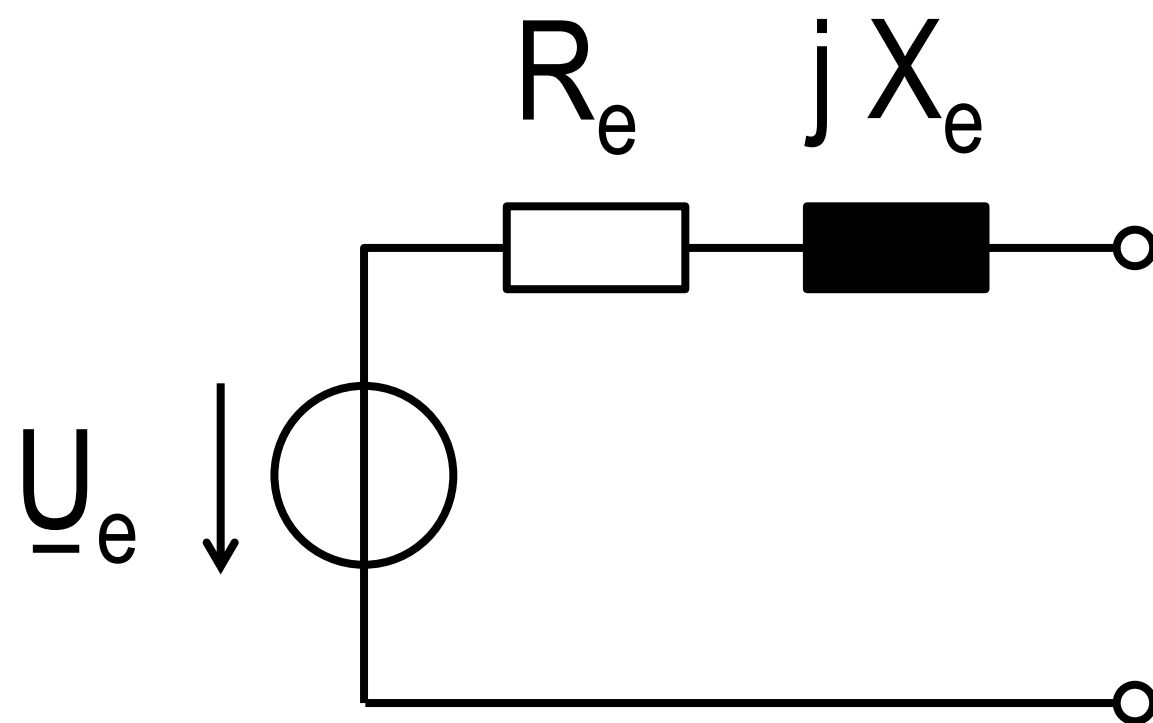
$$\underline{U}_e = \underline{U}_0 = \underline{U}_s \frac{\underline{Z}_h}{R_s + jX_{\sigma s} + \underline{Z}_h} = \underline{U}_s \underline{\sigma}_s$$

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

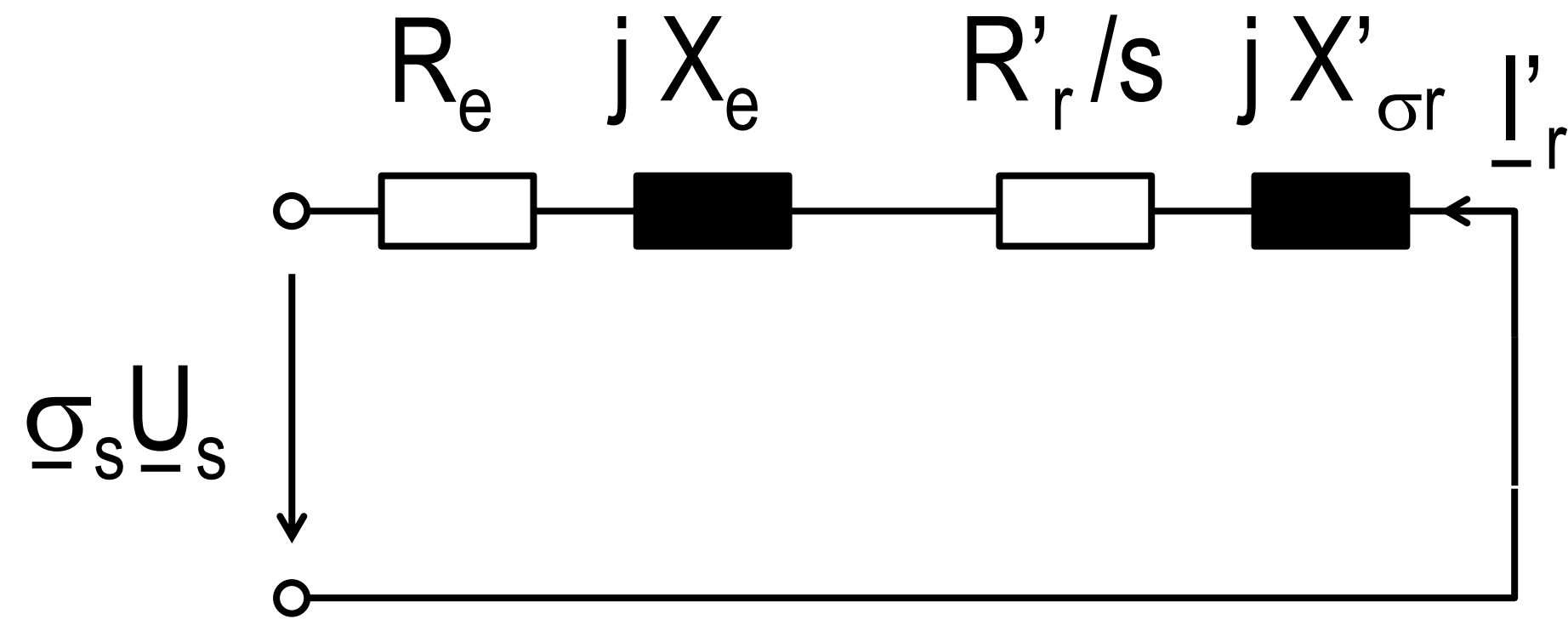
$$\underline{I}_{cc} = \frac{\underline{U}_s}{R_s + jX_{\sigma s}}$$

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

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



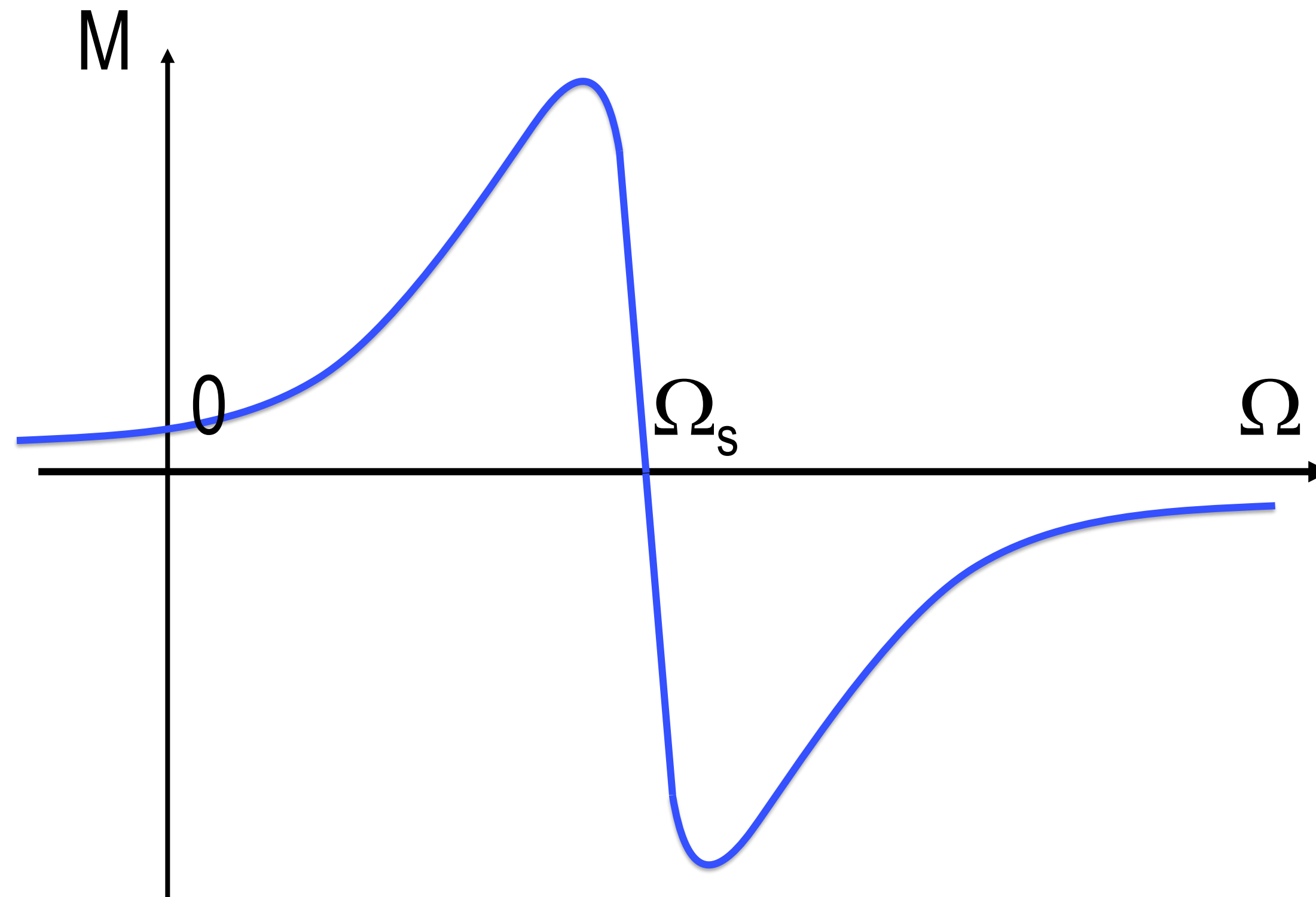
Expression du couple



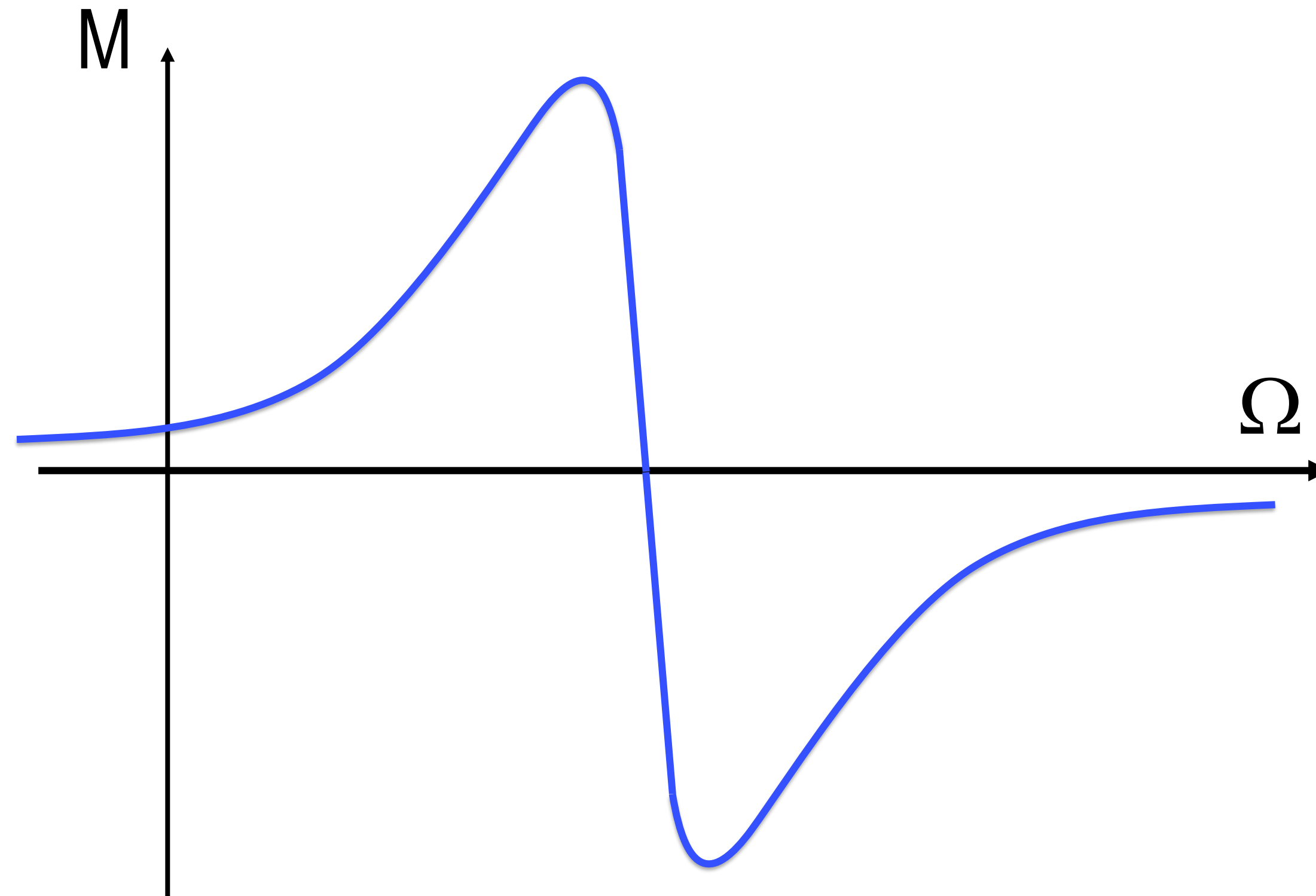
- Schéma équivalent similaire à un transformateur
- Bilan de puissance
- Expression du couple
- Couple proportionnel aux pertes Joule rotorique

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

Caractéristique de couple



Démarrage, décrochage



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

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 $s=3\%$