



Electrotechnique

Chapitre 6 Machine synchrone triphasée

© Fabrice Sincère ; version 3.0.4

<http://pagesperso-orange.fr/fabrice.sincere/>

Sommaire

1- Constitution

1-1- Rotor

1-2- Stator

2- Types de fonctionnement

2-1- Fonctionnement en moteur

2-2- Fonctionnement en génératrice : alternateur

3- Relation entre vitesse de rotation et fréquence des tensions

4- Etude de l'alternateur

4-1- Fonctionnement à vide

4-2- Fonctionnement en charge

5- Bilan de puissance de l'alternateur

6- Alternateur monophasé

Chapitre 6

Machine synchrone triphasée

1- Constitution

1-1- Rotor

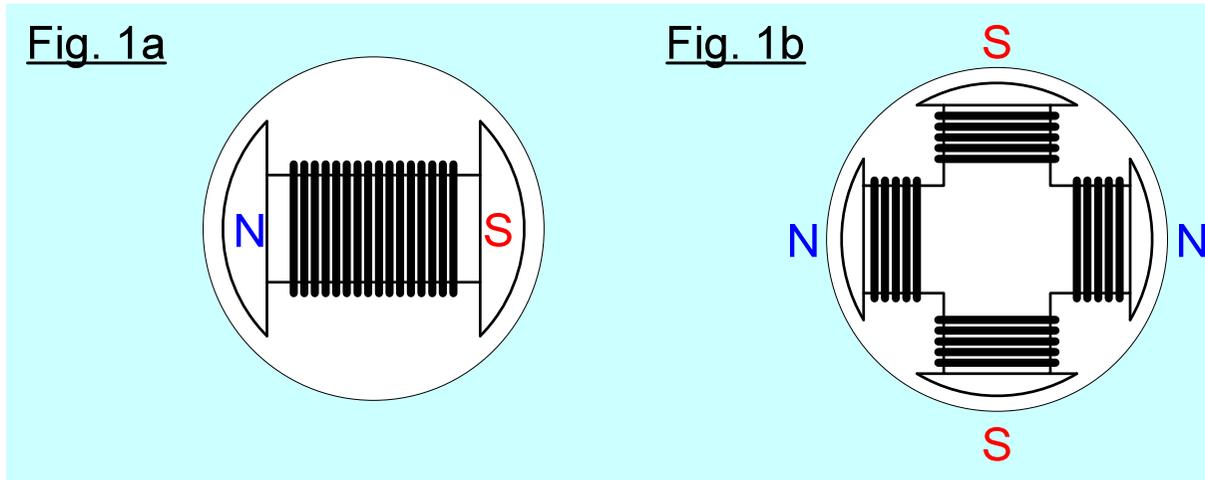
Au rotor, nous avons l'inducteur (ou excitation).

C'est un électroaimant alimenté en courant continu par l'intermédiaire de balais.

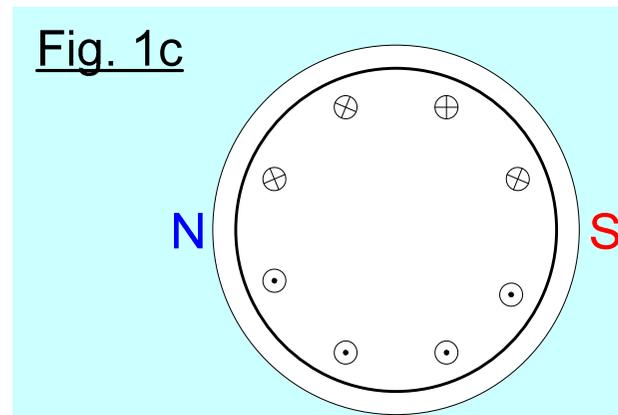
L'inducteur crée un champ tournant.

Deux grandes catégories de machines synchrones :

- Machines à pôles saillants



- Machines à pôles lisses

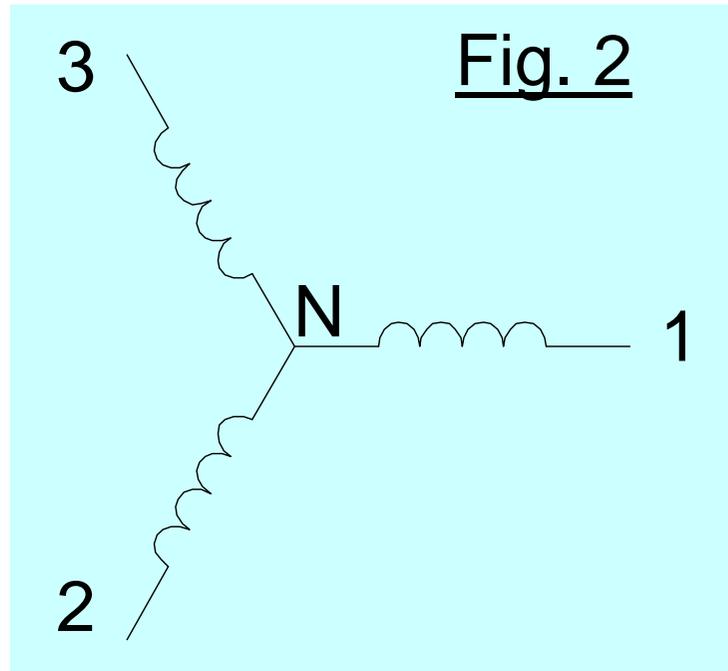


Le rotor est caractérisé par son *nombre de paires de pôles* p :

- $p = 1$ (2 pôles) : fig. 1a 1c
- $p = 2$ (4 pôles) : fig. 1b

1-2- Stator

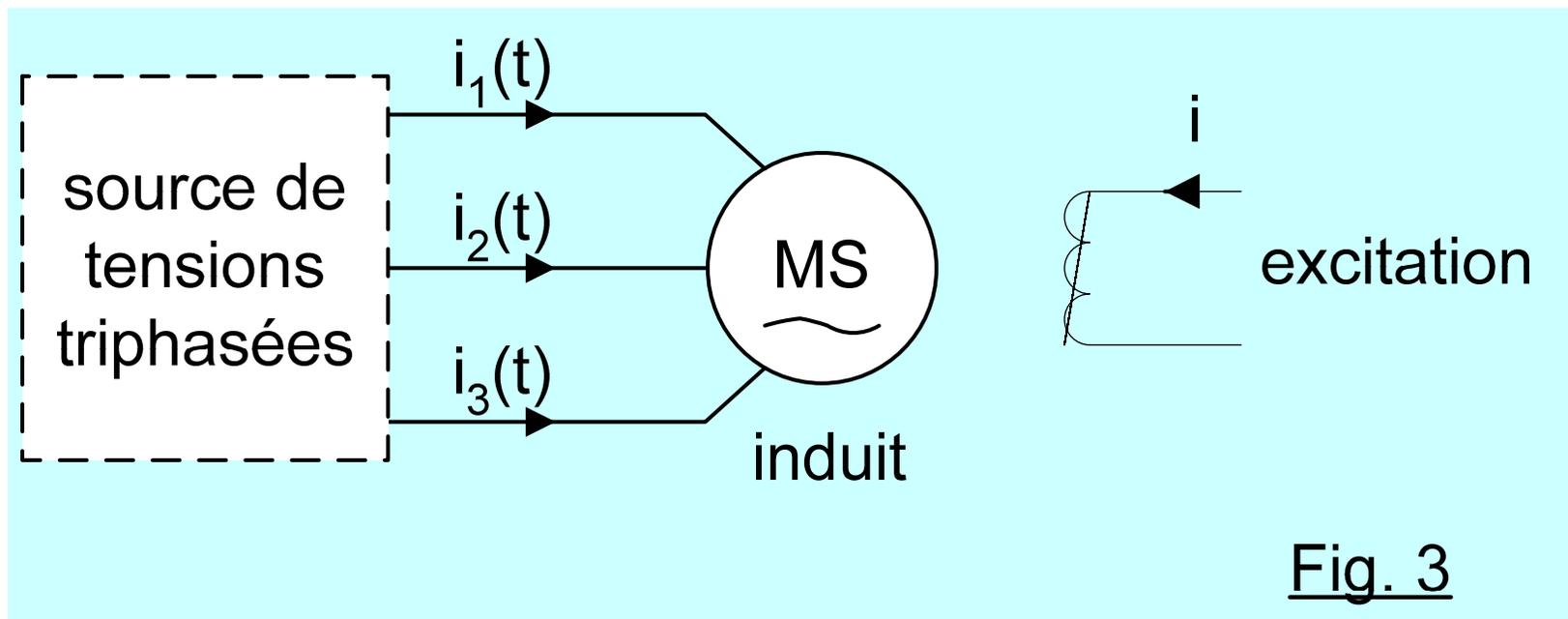
Au stator, nous avons l'induit (circuit de puissance).
C'est un bobinage triphasé, généralement couplé en étoile :



2- Types de fonctionnement

2-1- Fonctionnement en moteur

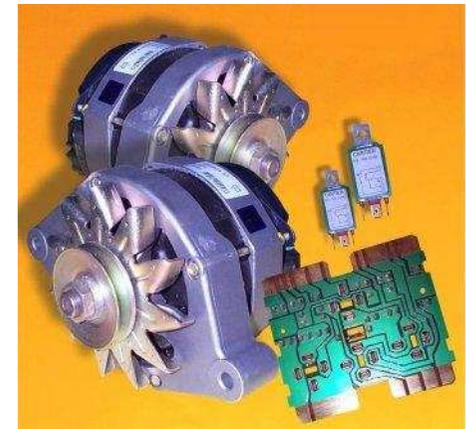
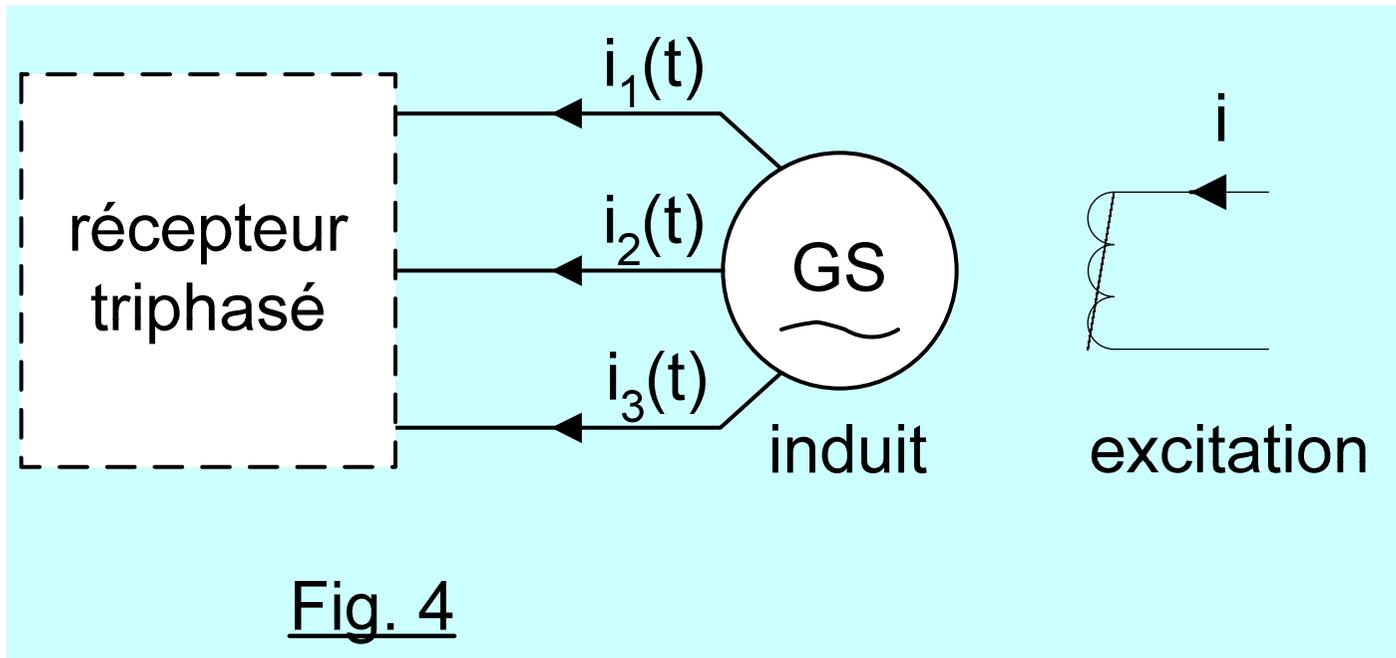
Le moteur alimenté en triphasé tourne :



Ex. moteurs synchrones "autopilotés" des TGV.

2-2- Fonctionnement en génératrice : alternateur

La *génératrice synchrone* est plus connue sous le nom d'*alternateur*.



Un système mécanique entraîne le rotor.
Il y a création d'un système de tensions triphasées dans les bobinages du stator.

3- Relation entre vitesse de rotation et fréquence des tensions triphasées

$$f = pn$$

avec :

f : fréquence (en Hz)

n : vitesse de rotation (en tr/s)

p : nombre de paires de pôles

- Autre relation

$$\omega = 2\pi f = p\Omega$$

avec :

ω : pulsation (en rad/s)

Ω : vitesse de rotation (en rad/s)

En France, $f = 50$ Hz.

Tableau 1

p	n (tr/s)	n (tr/min)	Ω (rad/s)
1	50	3000	314
2	25	1500	157
3	16,7	1000	105
4	12,5	750	79
25	2	120	12,6
50	1	60	6,3

- Remarques

La production de l'énergie électrique se fait avec des alternateurs de grandes puissances (jusqu'à 1450 MW) :

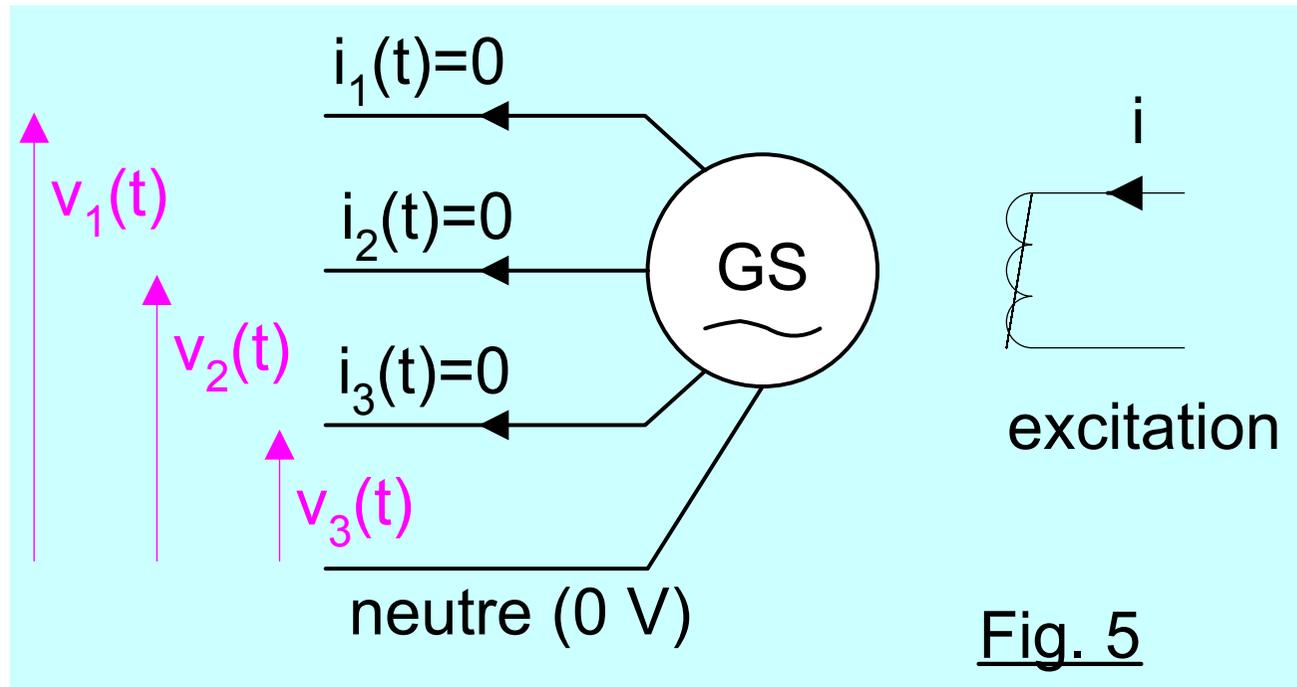
- turboalternateurs de centrales thermiques (à pôles lisses : $p = 2$ ou 1)
- hydroalternateurs de barrages hydrauliques (à pôles saillants : $p \gg 1$)

Ex. pour avoir $f = 50$ Hz :

- turboalternateur ($p = 2$) à 1500 tr/min
- hydroalternateur ($p = 40$) à 75 tr/min

4- Etude de l'alternateur

4-1- Fonctionnement à vide



A vide, les tensions générées correspondent aux fem induites dans les bobinages du stator par le champ tournant du rotor :

$$v_i(t) = e_i(t)$$

- Valeur efficace des fem induites

$$E = k\Phi\Omega$$

E : fem en volts

Φ : flux sous un pôle de l'inducteur

k : constante qui dépend de la machine

- Φ est proportionnel au courant inducteur i :

$$\Phi \propto i$$

4-2- Fonctionnement en charge

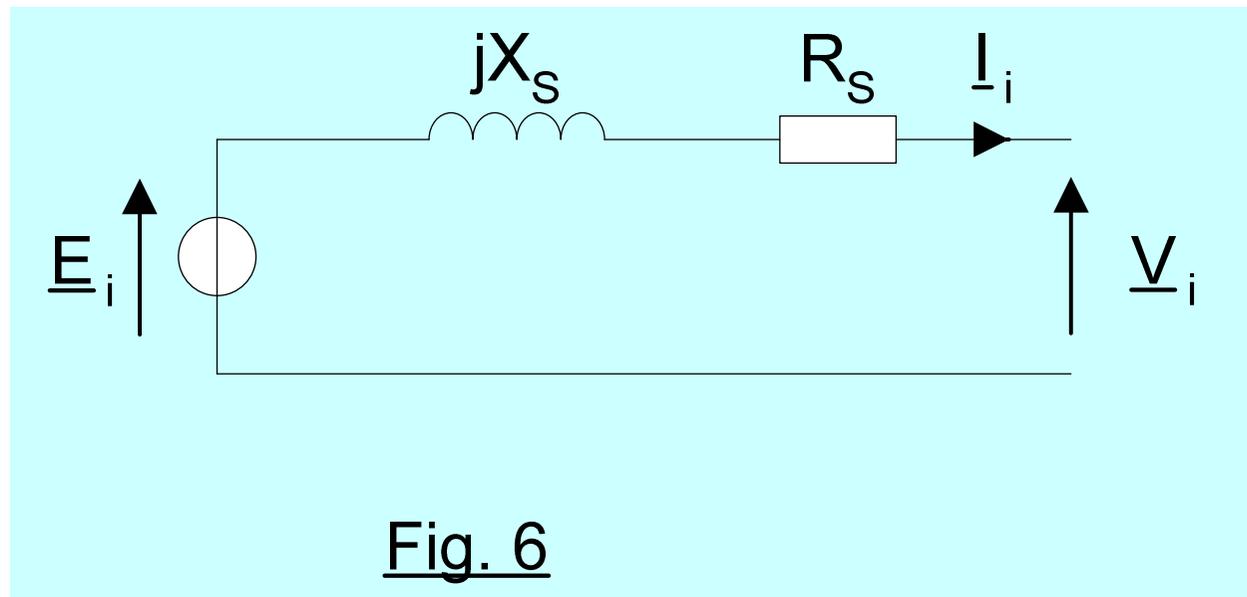
- Schéma électrique équivalent de Behn-Eschenburg

Hypothèse : circuit magnétique non saturé.

Au stator, le régime est sinusoïdal.

On utilise la notation complexe.

Pour la phase i :



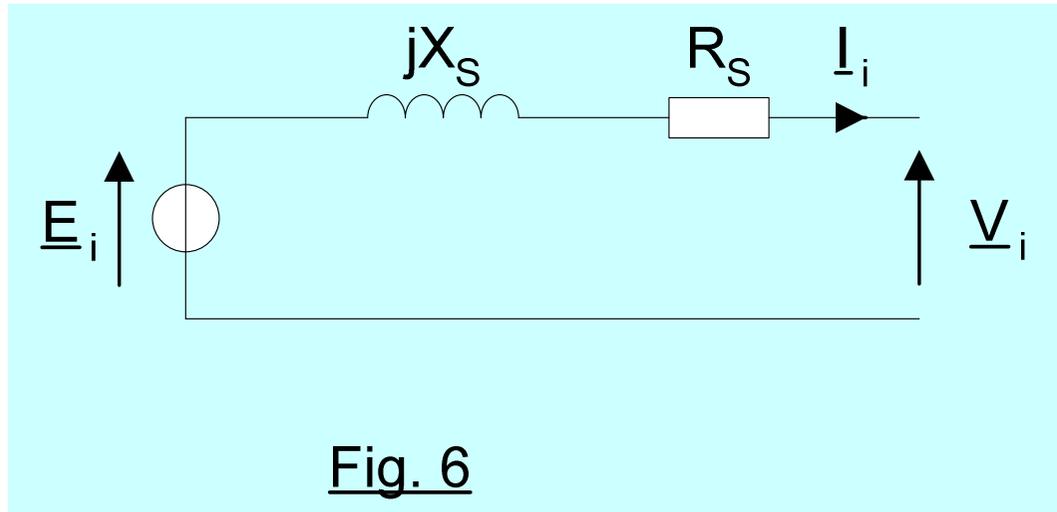


Fig. 6

E_i : fem induite

I_i : courant de ligne

V_i : tension entre phase et neutre

R_s : résistance d'un enroulement statorique (couplage Y)

$X_s = L_s \omega$: réactance *synchrone* d'un enroulement statorique

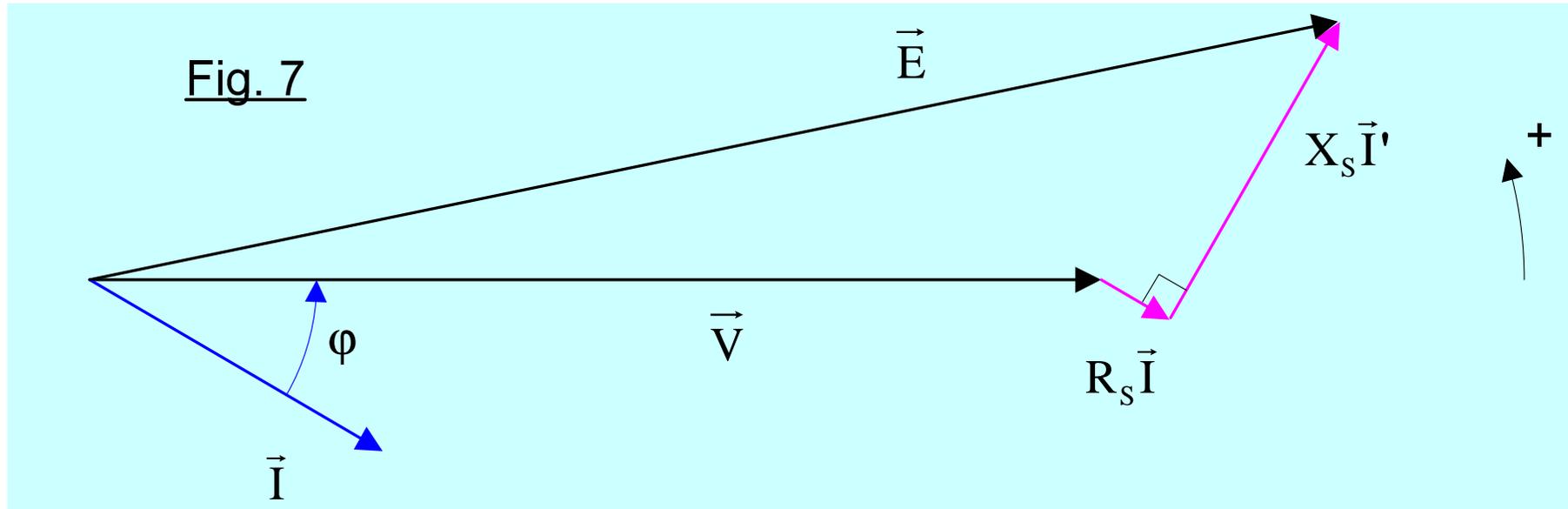
• Loi des branches : $\underline{V}_i = \underline{E}_i - (\underline{R}_s + j\underline{X}_s)\underline{I}_i$

• Remarques

X_s est proportionnelle à la vitesse de rotation.

En pratique $X_s \gg R_s$

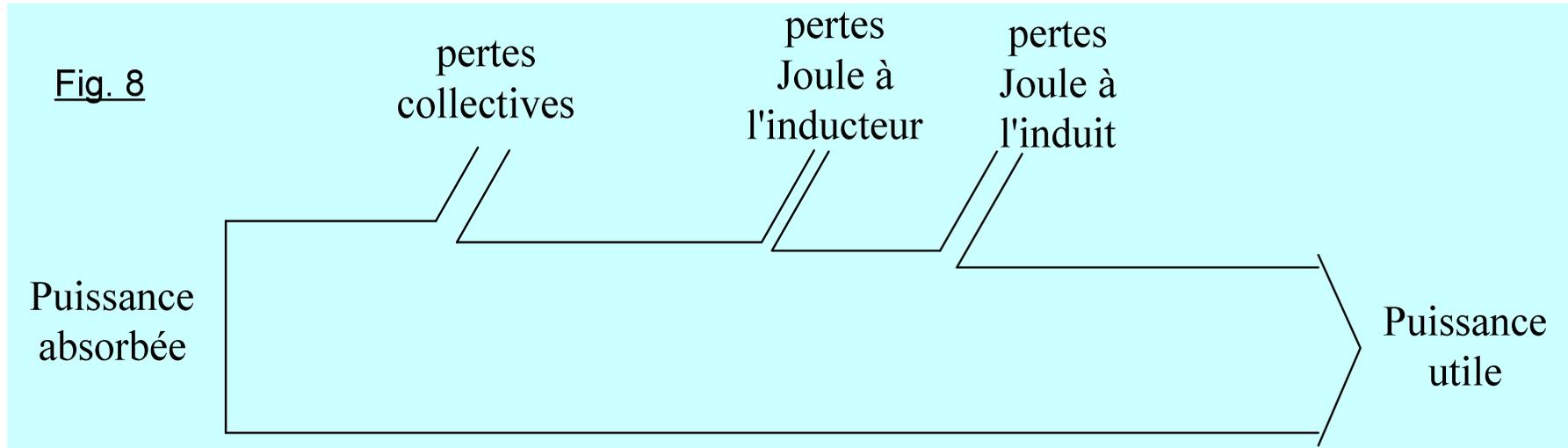
- Représentation vectorielle : diagramme de Behn-Eschenburg



$$\vec{V}_i = \vec{E}_i - (R_s \vec{I}_i + X_s \vec{I}_i')$$

- Chute de tension en charge : $\Delta V = E - V$

5- Bilan de puissance de l'alternateur



- Puissance absorbée =
 puissance mécanique reçue
 + puissance électrique consommée par l'inducteur
- Puissance utile = puissance électrique fournie à la charge triphasée

- pertes Joule

- dans l'induit : $3R_s I^2$

- dans l'inducteur : ri^2 (r : résistance du bobinage de l'inducteur)

- Rendement

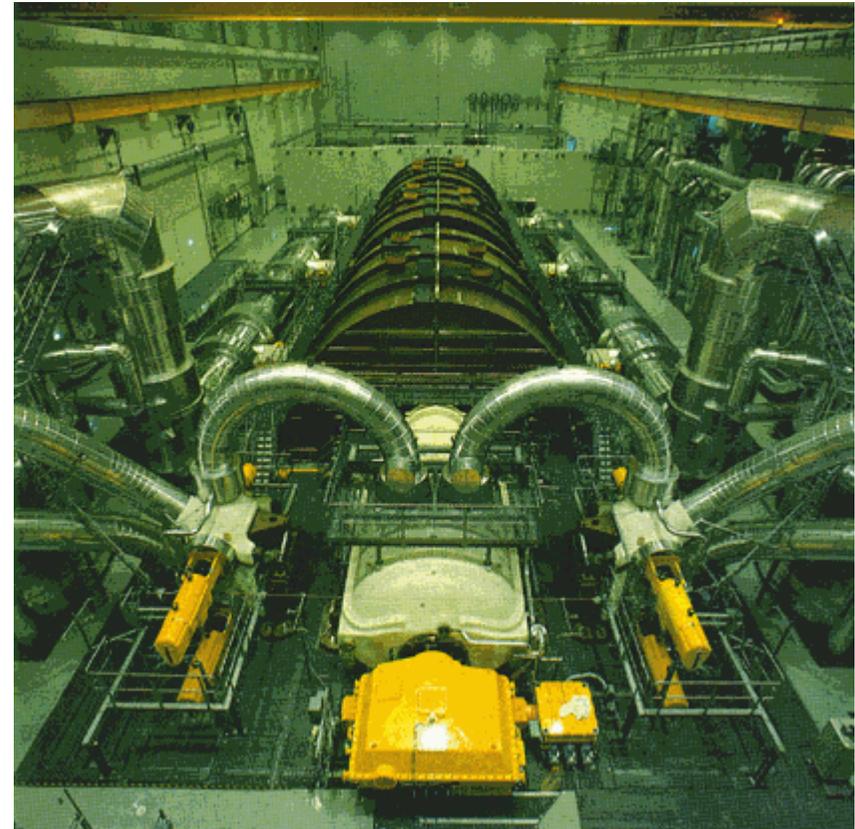
$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{\sqrt{3}UI \cos \varphi}{\sqrt{3}UI \cos \varphi + \sum \text{pertes}}$$

A.N. turboalternateur : $P_N = 1300 \text{ MW}$

$\eta_N = 95 \%$ 😊

5 % de pertes

65 MW transformés en chaleur !



6- Alternateur 1~

