

# Alternateur triphasé

N. Baiboun

November 12, 2020

## 1 Alternateur triphasé

L'alternateur triphasé est une machine synchrone fonctionnant en génératrice. La machine synchrone est une machine tournante et réversible fonctionnant en alternatif.

### 1.1 Construction

La machine synchrone est constituée d'un stator triphasé et d'un rotor, comme toutes les machines tournantes.

#### 1.1.1 Stator

Le stator de la machine synchrone est semblable à celui de la machine asynchrone. Il est rappelé dans la figure ci-dessous:

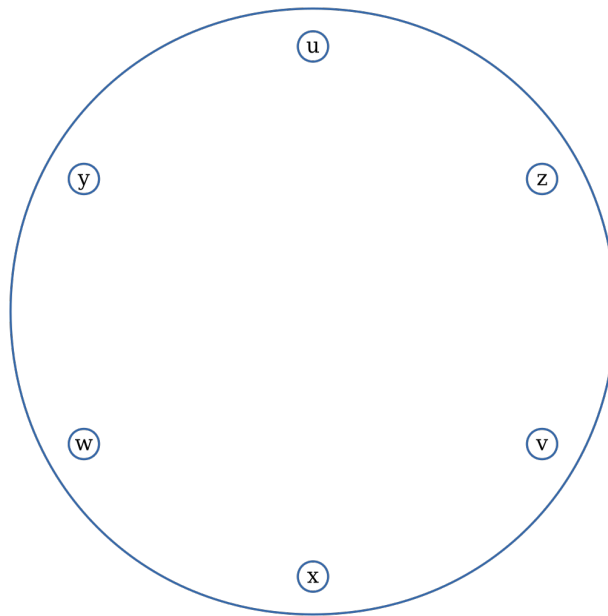


Figure 1: Stator de machine triphasée

#### 1.1.2 Rotor

Le rotor existe sous 2 formes:

- le rotor à pôles lisses

- le rotor à pôles saillants

Le rotor à pôles lisses consiste simplement en un rotor possédant des encoches, dans lesquelles sont insérés des conducteurs.

Le rotor à pôles saillants, par contre, possède des pôles magnétiques visibles. La figure suivante représente un rotor à une paire de pôles:

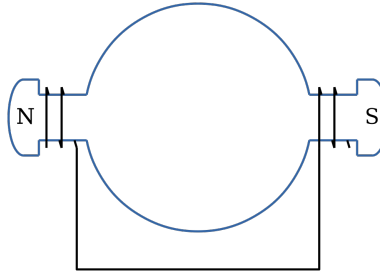


Figure 2: Rotor à pôles saillants

## 1.2 Fonctionnement

L'alternateur a pour objectif de transformer une source d'énergie mécanique en source d'énergie électrique triphasée équilibrée.

### 1.2.1 A vide

Le fonctionnement de l'alternateur à vide est illustré à la figure suivante:

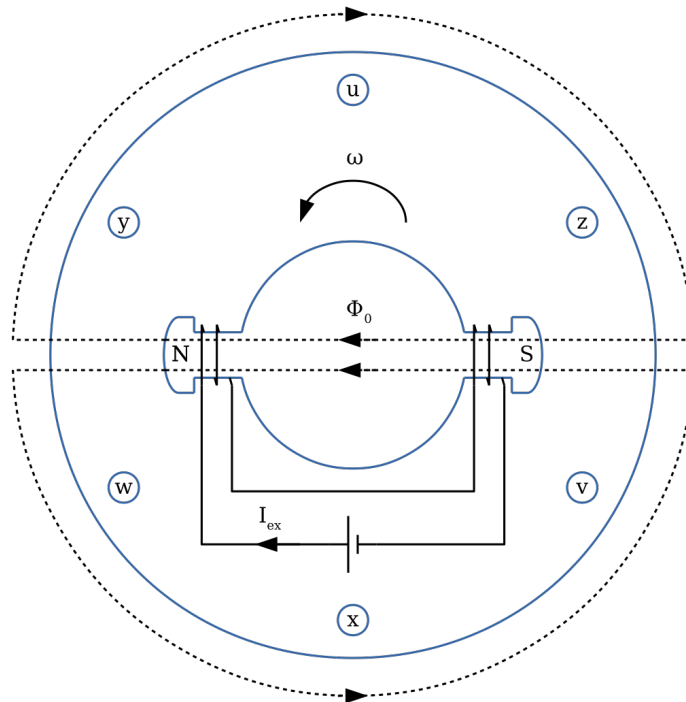


Figure 3: Fonctionnement de l'alternateur à vide

L'alternateur est d'abord mis en rotation par un couple extérieur. Une fois l'accélération terminée, l'alternateur tourne à vitesse constante  $\omega_r$ .

Un courant continu, appelé courant d'excitation, est injecté dans les conducteurs du rotor. Un flux constant est donc généré par le rotor.

Les conducteurs du stator se retrouvent alors dans un flux tournant, générant une force électromotrice (tension) à leurs bornes. Les bobines du stator ne perçoivent que la composante cosinusoidale du flux.

Comme le flux tourne à vitesse constante, les bobines voient un flux cosinusoidal les traversant. Par la loi de Lenz-Faraday, on a:

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

La tension générée au stator est donc sinusoïdale, de fréquence  $\omega = \omega_r$ .

Comme le stator possède 3 bobines décalées spatialement de  $\frac{2\pi}{3}$ , chaque bobine verra le même flux la traverser, retardé de  $\frac{2\pi}{3}$ . La tension triphasée générée est donc bien équilibrée.

**Cas de paires de pôles multiples** Dans le cas d'un nombre de paires de pôles supérieur à 1 ( $p > 1$ ), on peut aisément montrer que la pulsation de la tension générée sera égale à:

$$\omega = p * \omega_r$$

La figure suivante montre un rotor à 2 paires de pôles:

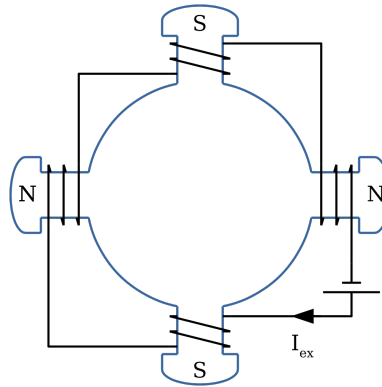


Figure 4: Rotor à pôles saillants à 2 paires de pôles

On remarque qu'il ne suffit plus que d'un demi-tour avant que le stator ne voit à nouveau la même configuration magnétique.

### 1.2.2 En charge

Lorsque l'alternateur est mis en charge, un courant se met à circuler depuis le stator vers la charge triphasée.

Ce courant génère à son tour un champ magnétique: on appelle ce phénomène *la réaction d'induit*.

En alternatif, il existe 3 cas de charges:

- Résistif
- Inductif
- Capacitif

La figure suivante représente l'alternateur dans les différents cas de charge:

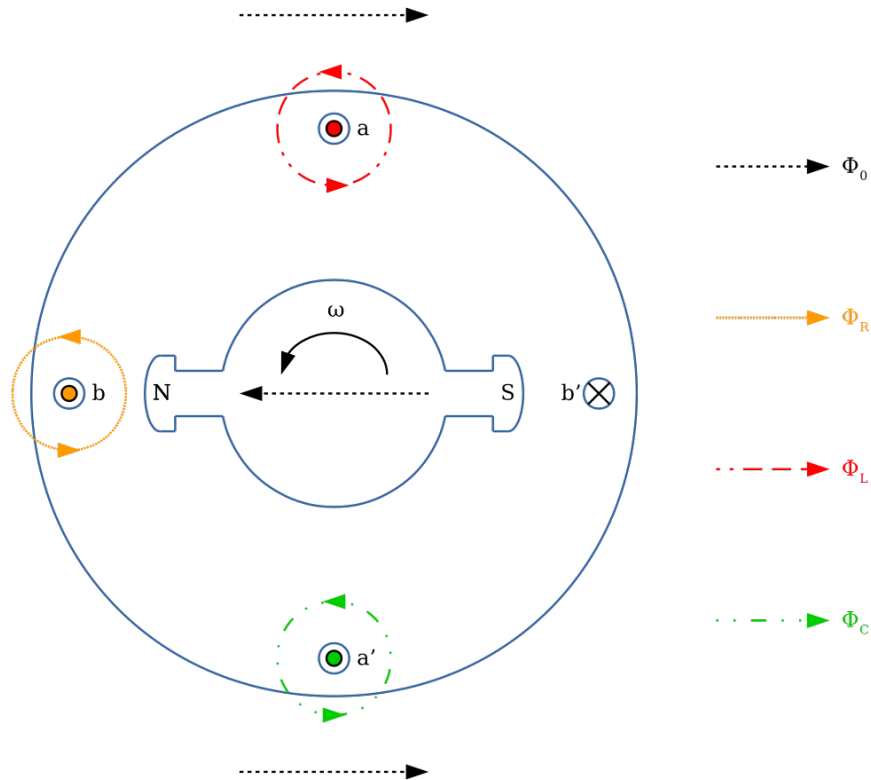


Figure 5: Fonctionnement de l'alternateur en charge

Analysons chaque cas de charge séparément.

**Charge résistive** La méthodologie appliquée est la suivante:

- la réaction d'induit dépend de l'intensité du courant d'armature  $I$
- le courant  $I$  étant sinusoïdal, la réaction d'induit varie sinusoïdalement en fonction du temps; elle possède donc un maximum
- l'effet maximal de la réaction d'induit est perçu lorsque le courant circulant dans un conducteur est maximum

Cherchons donc le conducteur dans lequel circule le courant maximum.

Tout d'abord, il est à remarquer que dans la situation proposée dans la figure, la tension est maximale sortante sur le conducteur  $b$  et maximale entrante sur le conducteur  $b'$ . La tension ne dépendant pas de la charge, cette affirmation sera aussi vraie dans les cas suivants.

Comme le courant et la tension sont en phase dans une charge résistive, cela signifie qu'à l'instant représenté dans la figure, le courant est sortat en  $b$ . La réaction d'induit est représentée par la ligne de champ orangée.

On retrouve le cas d'une génératrice DC; le haut de la machine se magnétise alors que le bas se démagnétise. A cause de la saturation du matériau, la démagnétisation a un effet plus important que la magnétisation. Le flux total diminue donc.

**Charge inductive** Cette fois-ci, le courant est en retard de  $\frac{\pi}{2}$  par rapport à la tension. Comme la machine ne possède qu'une paire de pôles, les angles mécaniques et électriques sont égaux. Le courant maximal se trouve donc sur le conducteur  $a$ .

Le champ représenté en rouge montre une réaction d'induit fortement démagnétisante; les lignes de champ générées s'opposent au flux principal dans le rotor et dans le stator.

**Charge capacitive** Cette fois-ci, le courant est en avance de  $\frac{\pi}{2}$  par rapport à la tension. Comme la machine ne possède qu'une paire de pôles, les angles mécaniques et électriques sont égaux. Le courant maximal se trouve donc sur le conducteur  $a'$ .

Le champ représenté en vert montre une réaction d'induit magnétisante; les lignes de champ générées s'ajoutent au flux principal dans le rotor et dans le stator. Cependant, à cause de la saturation du matériau, la réaction d'induit sera limitée.

**Résumé** L'effet de la réaction en fonction du cas de charge est résumé dans le tableau suivant:

Charge	Réaction d'induit
R	démagnétisante
L	démagnétisante ++
C	magnétisante

### 1.3 Schéma équivalent

Tout comme pour les autres machines, la machine synchrone est représentée par un schéma électrique équivalent. Ce dernier représente *une phase de l'étoile équivalente de la machine synchrone*.

Le schéma équivalent est donné dans la figure suivante:

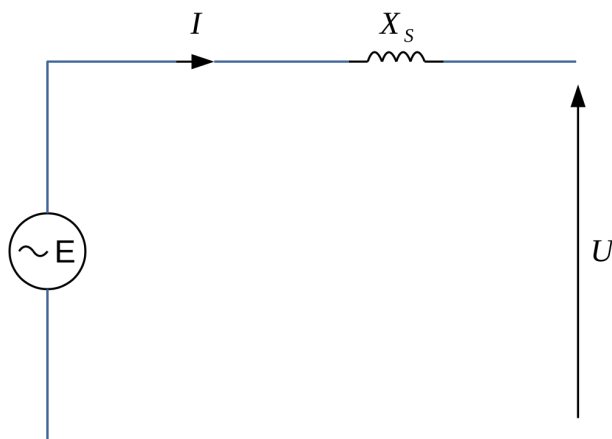


Figure 6: Schéma équivalent de l'alternateur

Ce schéma est très simple. Il ne possède que 2 éléments:

- $E$ : la force électromotrice (tension) générée par les bobines statoriques
- $X_S$ : la réactance synchrone, représentant l'inductance de fuite du stator et la réaction d'induit, mises en série

La résistance statorique étant généralement faible comparée à  $X_S$ , elle est négligée dans le schéma équivalent.