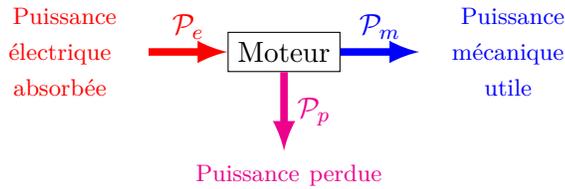
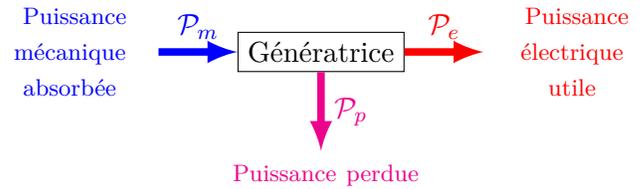


4 Notions d'électrotechnique

Fonctionnement moteur : L'énergie électrique est convertie en énergie mécanique.

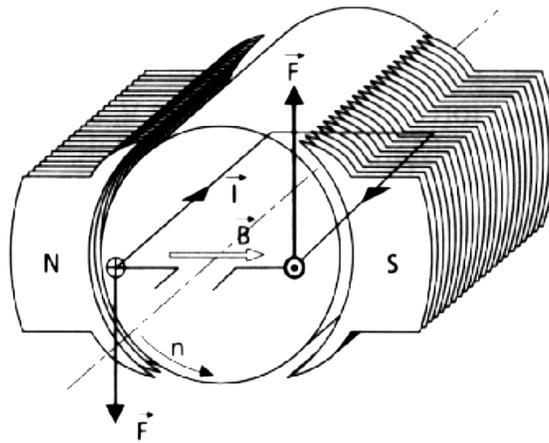


Fonctionnement génératrice : L'énergie mécanique est convertie en énergie électrique.



4.1 La machine à courant continu

Dans une machine à courant continu, le stator crée un champ magnétique fixe (à l'aide d'aimants permanents ou de bobines). Le rotor est constitué de spires conductrices.



Le passage d'un courant continu I dans les spires génère un moment magnétique \mathfrak{M} , proportionnel à I .

Pour que la spire tourne et ne se contente pas de s'aligner sur le champ, il faut changer le sens de \mathfrak{M} : on utilise pour cela un collecteur.

La spire subit donc un couple proportionnel à I :

$$C = KI$$

La mise en rotation de la spire provoque l'apparition d'une force électromotrice induite e , et on peut montrer qu'elle est proportionnelle à la vitesse de rotation angulaire (comme pour les rails de Laplace), avec :

$$e = K\omega$$

La machine à courant continu fonctionne aussi en génératrice, c'est le principe de la dynamo.

Avantage : Jusqu'aux années 1970-1980, c'était la seule solution permettant d'obtenir des vitesses variables (avec inversion possible du sens). C'est son principal avantage. Il s'adapte aussi facilement à la charge car $C\omega = ui$: il n'est pas nécessaire d'avoir une boîte de vitesse.

Limitations :

- vitesse maximale de 3000 tr/min ;
- tension d'alimentation $< 1500V$;

- puissance maximale $< 1\text{MW}$;
- nécessite un entretien régulier (usure des balais et du collecteur) ;
- impossibilité d'utilisation en atmosphère explosive (arcs électriques au collecteur).

Applications : Malgré ces limitations, les MCC restent fortement employés dans les situations suivantes :

- lorsque l'on ne dispose que d'une tension continue (appareils à pile, jouets, ...)
- lorsqu'une précision élevée en vitesse est demandée ;
- Lorsqu'on veut un couple élevé à l'arrêt.

Le moteur à courant continu était (et est encore) utilisé dans les premiers TGV (TGV Sud Est avec 12 MCC de 535 kW) et locomotives (années 1980).

4.2 Machine synchrone

Dans un moteur synchrone, le stator crée un champ magnétique tournant. Le rotor est constitué d'un aimant (permanent ou électroaimant). Le couple subit par le rotor est :

$$\Gamma = (\vec{\mathfrak{M}} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{u}_z = \mathfrak{M}B \sin \alpha$$

À vitesse angulaire constante, ce couple s'oppose au couple résistant imposé par l'extérieur. La vitesse de rotation est égale à la fréquence du secteur (50 tours par seconde).

La machine synchrone peut également fonctionner en génératrice.

Avantage :

- très bon rendement ;
- robustesse ;
- vitesse angulaire précise.

Limitations :

- la machine synchrone nécessite d'être lancée ;
- le contrôle de la vitesse nécessite de l'électronique de puissance pour ajuster la fréquence d'alimentation ;

Applications :

- locomotives années 1990, TGV atlantique ;
- voitures électriques (Renault Zoé, Peugeot iOn) ;
- commandes de disques durs.

4.3 Machine asynchrone

Dans un moteur synchrone, le stator crée un champ magnétique tournant. Le rotor est constitué d'un bobinage qui n'est pas alimenté. L'existence d'un champ magnétique variable induit un phénomène d'induction. Une force de Laplace apparaît grâce à ces courants et au champ statorique. Le rotor se met à tourner à la vitesse ω légèrement inférieure à celle du champ tournant ω_s . En effet, s'ils tournent à la même vitesse, le flux magnétique dans le stator est constant et il n'y a plus de courants induits. Le glissement est défini comme :

$$g = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

Le glissement est proportionnel au couple. Le moteur ralentit lorsque le couple imposé est important.

La machine synchrone peut également fonctionner en génératrice.

Avantage :

- très facile à fabriquer et robuste ;
- pas d'alimentation du rotor ;
- démarrage autonome.

Limitations :

- contrôle de la vitesse difficile.

Applications : très larges.

- machines-outils ;
- locomotives années 2000, Eurostar, TGV est et duplex ;
- moteurs variés de puissance autour du kW.

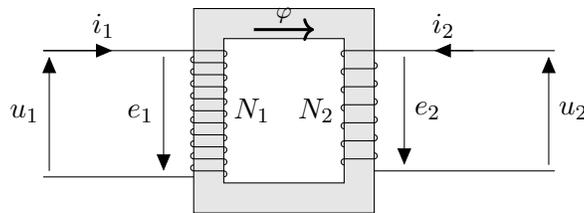
5 Le transformateur électrique

5.1 Constitution

Définition. Un transformateur monophasé est constitué d'un matériau ferromagnétique sur lequel sont bobinés deux enroulements électriques indépendants électriquement.

- L'enroulement qui est relié à la source d'alimentation est appelé enroulement **primaire**, les grandeurs associées seront notées u_1, i_1 , etc...
- L'autre enroulement, relié à la charge, est appelé enroulement **secondaire**, les grandeurs associées seront notées u_2, i_2 , etc...

Le rôle du circuit magnétique est d'assurer une canalisation optimale des lignes de champ magnétique afin d'obtenir un couplage maximal entre les deux enroulements. Cela veut dire que le flux magnétique traversant une spire du circuit 1 est égal à celui traversant une spire du circuit 2.



On schématise ainsi un transformateur :



Définition. Dans le cadre du modèle du transformateur parfait :

- la résistance des enroulements est négligées ;
- il n'y a aucune perte de flux magnétique entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire.

5.2 Loi des tensions

Le flux à travers une spire au primaire est égal à celui dans une spire au secondaire. Ainsi, le flux total à travers le premier enroulement est :

$$\Phi_{1,\text{tot}} = N_1 \varphi$$

Et à travers le second :

$$\Phi_{2,\text{tot}} = N_2 \varphi$$

où $\varphi = BS$ est le flux à travers un seul tour. Les forces électromotrices au niveau des circuits 1 et 2 sont donc :

$$e_1 = -\frac{d\Phi_{1,\text{tot}}}{dt} = -N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{et} \quad e_2 = -\frac{d\Phi_{2,\text{tot}}}{dt} = -N_2 \frac{d\varphi}{dt}$$

Donc :

$$u_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{et} \quad u_2 = N_2 \frac{d\varphi}{dt}$$

Dans un transformateur idéal, les tensions au primaire et au secondaire sont liées par la relation

$$\frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{N_2}{N_1} = m$$

où m se nomme le **rapport de transformation**. Un transformateur permet de diminuer ou d'augmenter la tension.

Lorsque la tension au secondaire est plus élevée qu'au primaire, on parle d'**élévateur de tension** (à la sortie d'une centrale par exemple). Dans le cas contraire, on parle d'**abaisseur de tension** (transformateur de quartier par exemple). Il existe aussi des transformateurs où la tension est identique au primaire et au secondaire : un tel transformateur est appelé **transformateur d'isolement** et permet d'isoler la masse de la terre : on évite ainsi des électrocutions en milieu humide (salle de bain par exemple).

5.3 Loi des courants

Si le transformateur est idéal, il transfère la totalité de la puissance électrique. La puissance reçue est :

$$\mathcal{P}_r = u_1 i_1$$

Le puissance fournie par le transformateur est :

$$\mathcal{P}_f = -u_2 i_2$$

Donc, comme $\mathcal{P}_r = \mathcal{P}_f$:

$$u_1 i_1 = -u_2 i_2 \quad \text{soit} \quad \frac{i_2}{i_1} = -\frac{u_1}{u_2}$$

Loi des courants. Dans un transformateur idéal, les courants au primaire et au secondaire sont liés par la relation

$$\frac{i_2(t)}{i_1(t)} = -\frac{N_1}{N_2} = -\frac{1}{m}$$

Remarque. Le signe a peu d'importance car un transformateur fonctionne avec des tensions alternatives. Il dépend du sens de l'enroulement choisi sur le schéma (arbitrairement). Seule la valeur efficace nous intéresse.