

MP 21 : PRODUCTION ET CONVERSION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

03.04.18

*MP 21, MP 21, ce serait pas le montage sur lequel on
voulait faire une impasse ?*
JEANNE

Anne Missiaen & Jeanne Bernard

Bibliographie

- ⚡ *Capes de Sciences Physique Duffait* → Transformateur
- ⚡ *Electrotechnique Conversion de puissance, Précis Bréal* → Machine à courant continu et transformateur
- Brenders**
- ⚡ *Génie électrotechnique Mérat* → Transformateur
- ⚡ *BUP 709 Denis* → Transformateur
- ⚡ *H Prépa Electronique II* → Machine à courant continu.
- ⚡ *Le poly de TP EM Nos sauveurs* → Je n'ai pas réussi à trouver de biblio aussi claire que le poly...

Expériences

- 👤 Etude à vide de la génératrice à CC
- 👤 Etude électrique et mécanique en charge de la génératrice à CC
- 👤 Rendement de la génératrice à CC
- 👤 Etude à vide et pertes fer du transformateur
- 👤 Etude en court-circuit et pertes cuivre du transformateur
- 👤 Etude en charge du transformateur

Table des matières

1	Production d'énergie électrique : la génératrice à courant continu	2
1.1	Rappels	2
1.2	Étude électrique à vide : fem	2
1.3	Étude électrique et mécanique en charge : résistance de l'induit et couple résistif	3
1.4	Rendement de la génératrice	3
2	Le transformateur	4
2.1	Principe du transformateur	4
2.2	Étude à vide et pertes fer	4
2.3	Étude en court-circuit et pertes cuivre	5
2.4	Étude en charge et rendement	5

Introduction

✦ Précis Bréal

Plusieurs types d'énergie peuvent être converties en énergie électrique : l'énergie hydraulique, l'énergie thermique (charbon ou fuel) et l'énergie nucléaire. Les différentes étapes de la production sont caractérisés par des conversions mécanique-électrique ou électrique-électrique.

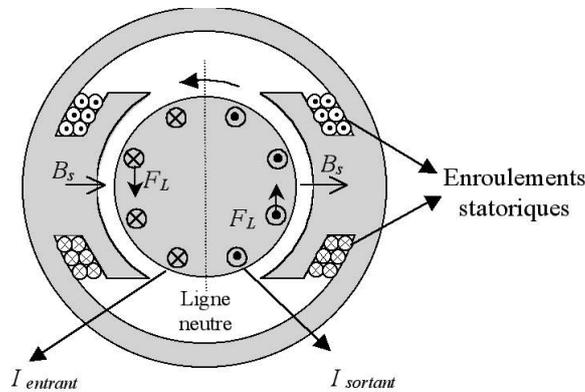
Rappelons que la plupart des appareils électriques fonctionnent sur du 220V efficaces à 50Hz. Cependant, l'électricité est transportée du lieu de production (centrales) vers les lieux de consommation (usines, foyers) dans des lignes à haute tension afin de minimiser les pertes énergétiques. Elle est convertie par des transformateurs.

Nous allons décrire dans ce montage les méthodes pour produire et convertir l'énergie électrique à travers l'étude de la génératrice à courant continu et celle du transformateur. Nous nous attacherons à caractériser les pertes et définir le fonctionnement nominal de chaque dispositif.

1 Production d'énergie électrique : la génératrice à courant continu

1.1 Rappels

✦ Précis Bréal et HPrépa



Une machine à courant continu est composé :

- d'un **inducteur** : c'est la source de champ magnétique. Il peut être réalisé soit à partir d'aimants permanents (cas des machines de faible puissance, qqes W), soit à l'aide d'un second bobinage. L'inducteur est souvent fixe et est appelé **stator**.
- d'un **induit** : c'est le circuit électrique soumis au champ magnétique et qui est mobile (**rotor**). Dans le cas du fonctionnement de la machine en moteur, l'induit produit un mouvement de rotation. Dans le cas du fonctionnement en génératrice, l'induit produit un courant électrique.

La machine à courant continu est réversible et peut être utilisée soit en moteur (alimentation électrique de l'induit et de l'inducteur pour récupérer une énergie mécanique), soit en génératrice/dynamo (alimentation électrique de l'inducteur et mécanique de l'axe du rotor de l'induit pour récupérer une énergie électrique).

On utilise ici un ensemble de deux génératrices, l'une d'elles est utilisée en moteur pour entraîner le rotor de l'autre.

1.2 Étude électrique à vide : fem

✦ Quaranta IV



Étude électrique à vide

✦ Quaranta IV

⊖ 5min

Alimenter les inducteurs du moteur et de la génératrice en parallèle sous la tension nominale $U_e = 110V$. Mesurer l'intensité I_e dans l'inducteur de la génératrice. Démarrer le moteur en alimentant son induit et en utilisant un rhéostat de démarrage, que l'on court-circuite par la suite. Laisser l'induit de la génératrice à vide (sans résistance) et mesurer sa tension U_g .

Pour différentes tensions U_m dans l'induit du moteur (inférieures à 110V), et donc différentes vitesses angulaires ω , mesurer la tension à l'induit de la génératrice U_g . Comme $I_g = 0$ lors de l'étude à vide, tracer U_g en fonction de ω et remonter à $k\Phi_g$ par régression linéaire.

En effet, pour l'induit de la génératrice :

$$U_g = E - r_g I_g \tag{1}$$

Or $I_g = 0$ lors de cette étude à vide. Donc :

$$U_g = E = k\Phi_g \times \omega$$

(2)

Résultats :

$$U_g = \dots \times \omega + \dots$$

Génératrice tachymétrique

L'appareil qui permet de mesurer la vitesse de rotation du moteur ω est une génératrice tachymétrique. C'est une machine à courant continu !

1.3 Étude électrique et mécanique en charge: résistance de l'induit et couple résistif

L'étude en charge s'effectue ici à vitesse de rotation ω constante.

Étude en charge

⚡ ?

⊖ 10min

Brancher un rhéostat de 100Ω sur l'induit de la génératrice, et mesurer la tension U_g à ses bornes et l'intensité I_g dans le circuit.

Pour plusieurs valeurs de résistance R , ajuster la tension injectée dans l'induit du moteur de façon à retrouver une fréquence de rotation $f = 10Hz$. Mesurer le couple C , la tension U_g et les intensités I_g et I_e .

- Tracer U_g en fonction de I_g pour retrouver $k\Phi_g$ et r_g . En effet :

$$U_g = k\Phi_g \times \omega - r_g I_g \tag{3}$$

- Tracer C en fonction de I_g pour retrouver $k\Phi_g$ et obtenir C_r . En effet :

$$C = k\Phi_g \times I_g + C_r \tag{4}$$

Résultats :

$$r_g = \dots$$

$$C_r = \dots$$

1.4 Rendement de la génératrice

Le rendement de la génératrice est définie comme suit :

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_{tot}} = \frac{U_g I_g}{C\omega + U_e I_e} \tag{5}$$

Rendement de la génératrice

⚡ ?

⊖ 5min

Tracer η_g en fonction de la puissance utile P_u .

On obtient une courbe en cloche, dont le maximum correspond au **fonctionnement nominal** de la génératrice pour $f = 10Hz$.

En déduire le couple nominal C_n , la tension nominale dans l'induit $U_{g,n}$ et l'intensité nominale dans l'induit $I_{g,n}$.

La machine à courant continu présente plusieurs avantages : elle est facilement réversible (moteur-génératrice), la vitesse de rotation est contrôlée par la tension de l'induit, et elle s'adapte à différentes charges. Cependant, la fragilité des balais du collecteur nécessite un entretien régulier.

Elles ont été largement utilisées par le passé, notamment pour la propulsion des locomotives électriques (premiers TGV, métro lyonnais). On les retrouve aujourd'hui plutôt dans les applications à faible puissance (ventilateurs, photocopieurs, essuie-glaces...) avec des stators composés d'aimants permanents. Les moteurs à fortes puissances sont maintenant constitués de machines à courant alternatif.

2 Le transformateur

2.1 Principe du transformateur



Rapport de transformation d'un transformateur maison

⚡ Précis Bréal

⊖ 5min

On construit un transformateur maison avec une bobine de 500 spires, une autre de 250 spires et un noyau de fer doux.

Vérifier la loi des tensions et/ou des intensités en traçant $U_2 = f(U_1)$ et/ou $I_2 = f(I_1)$.

Méthode des pertes séparées :

- L'étude à vide du transformateur permet de déterminer les **pertes fer** dues aux courants de Foucault dans le matériau ferromagnétique qui dépendent de la **tension au primaire** U_1 .
- L'étude en court-circuit permet de déterminer les **pertes cuivre** dues à l'effet Joule dans les bobinages qui dépendent de l'**intensité au primaire** I_1 .

Cette méthode est appelée méthode des pertes séparées :

- dans l'essai à vide, les courants sont faibles et les pertes cuivre sont négligeables ;
- dans l'essai en court-circuit, la tension est faible et les pertes sont négligeables.

2.2 Étude à vide et pertes fer

⚡ BUP 709 bif bof + autre ?



Étude à vide

⚡ BUP 709

⊖ 5min

Utiliser un transformateur d'étude P66.18 et un alternostat P57.6. Brancher un wattmètre au circuit primaire, et un voltmètre au secondaire. Relever au wattmètre les valeurs U_1 , I_1 , P_1 pour différentes tensions d'entrée U_1 comprises entre 0 et 220V.

Représenter P_1 en fonction de U_1^2 pour déterminer R_F , puis I_1 en fonction de U_1 pour déterminer L .

Mesurer directement à l'ohmmètre les résistances R_1 et R_2 .

En effet, nous avons d'une part :

$$P_1 = \frac{1}{2} \text{Re}(u_1 i_1^*) = \text{Re}\left(\frac{1}{Z_F}\right) U_1^2 \tag{6}$$

$$\boxed{P_1 = \frac{1}{R_F} U_1^2} \tag{7}$$

Résultats : $R_F = \dots \pm \dots \Omega$

D'autre part :

$$I_1 = \left| \frac{1}{Z_F} \right| U_1 \tag{8}$$

$$\boxed{I_1 = \sqrt{\frac{1}{R_F^2} + \frac{1}{L^2 \omega^2}} U_1} \tag{9}$$

Résultats : $L = \dots \pm \dots H$ avec $\omega = 2\pi \times 50Hz$.

2.3 Étude en court-circuit et pertes cuivre



Étude en court-circuit

⚡ BUP 709

⊖ 5min

Utiliser le même montage mais remplacer le voltmètre par un ampèremètre. Relever au wattmètre les valeurs U_1, I_1, P_1 pour différents courants d'entrée I_1 compris entre 0 et 2A.
 Représenter P_1 en fonction de I_1^2 pour en déduire $(R_1 + \frac{R_2}{m^2})$.
 Représenter U_1 en fonction de I_1 et en déduire $(L_1 + \frac{L_2}{m^2})$.

On utilise ici le modèle de Kapp car les courants i_1 et i_2 sont importants. On a alors :

$$u_1 = Z_1 i_1 - e_1 = Z_1 i_1 + \frac{e_2}{m} = Z_1 i_1 + \frac{Z_2 i_2}{m}$$

$$\boxed{u_1 = \left(Z_1 + \frac{Z_2}{m^2} \right) i_1} \tag{10}$$

D'une part :

$$P_1 = \frac{1}{2} \text{Re}(u_1 i_1^*) = \text{Re}\left(Z_1 + \frac{Z_2}{m^2} \right) I_1^2 \tag{11}$$

$$\boxed{P_1 = \left(R_1 + \frac{R_2}{m^2} \right) I_1^2} \tag{12}$$

Donc : $R_1 + \frac{R_2}{m^2} = \dots \pm \dots \Omega$

D'autre part :

$$\boxed{U_1 = |Z| I_1 = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{m^2} \right)^2 + \omega^2 \left(L_1 + \frac{L_2}{m^2} \right)^2} I_1} \tag{13}$$

Donc : $L_1 + \frac{L_2}{m^2} = \dots \pm \dots H$

2.4 Étude en charge et rendement



Étude en charge et valeurs nominales

⚡ ?

⊖ 10min

Ajouter un wattmètre au secondaire ainsi qu'une résistance de charge (rhéostat de puissance de 100Ω). Pour différentes tensions d'entrée, relever $U_1, I_1, P_1, U_2, I_2, P_2$. Représenter U_2 en fonction de U_1 , I_2 en fonction de I_1 et P_2 en fonction de P_1 pour obtenir le rapport des tensions, le rapport des intensités et le rendement.

Répéter l'opération pour plusieurs valeurs de résistance de charge R entre 5Ω et 50Ω . Tracer le rapport des tensions, des intensités et le rendement en fonction de R pour déterminer les **valeurs nominales de fonctionnement**.

En fonction des mesures de U_1 et I_2 , évaluer l'importance des pertes fer et cuivre et vérifier que l'on retrouve bien $P_1 = P_2 + P_{Cu} + P_F$.

Les pertes fer sont égales à :

$$P_F = \frac{e_1^2}{R_F} \simeq \frac{U_1^2}{R_F} \quad (14)$$

Les pertes cuivre sont égales à :

$$P_{Cu} = (R_2 + m^2 R_1) I_2^2 \quad (15)$$

On remarque que les lois des tensions et des courants apparaissent comme deux lois limites qui ne sont pas simultanément vérifiées :

- la loi des courants est d'autant mieux vérifiée que le courant est élevé (résistance de charge faible), et donc que le courant à vide est faible devant le courant "utile" ;
- la loi des tensions est d'autant mieux vérifiée que le courant est faible (résistance de charge élevée), et donc que l'on peut négliger l'impédance $Z_S = (R_2 + m^2 R_1) + j\omega(L_2 + m^2 L_1)$ devant l'impédance de charge R .

Pour un bon transformateur, dans les conditions nominales d'utilisation, ces deux lois sont relativement bien vérifiées, et le rendement est alors proche de 1.

Conclusion

Ouvrir sur la conversion alternatif/continu (redresseur) et la conversion continu/continu (hacheur).

Questions, commentaires, réponses à la question du sens de la vie et de la fin de l'agreg