

MP21 – PRODUCTION ET CONVERSION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

4 juin 2021

Deleuze Julie & Jocteur Tristan

Niveau : Classes préparatoires

Bibliographie

- ♣ *Fascicule de TP Electromagnétisme, Partie Matériaux,*
Quelqu'un-e
- ♣ *Fascicule de TP Optique, Partie Photorécepteurs,*
Quelqu'un-e

Table des matières

1	Production d'énergie électrique : la génératrice	2
1.1	Étude à vide	2
1.2	Étude en charge	2
1.3	Rendement	3
2	Conversion alternatif-alternatif : le transformateur	3
2.1	Transformateur idéal	4
2.2	Transformateur réel	4

Remarques sur les montages précédents

2014 à 2017 : Le principe de fonctionnement des dispositifs utilisés (moteurs, tachymètres, variateurs, ...) doivent être connus afin que la présentation illustre pleinement le sujet et ne se limite pas à des mesures de rendement. D'autre part, lors de l'étude de dispositifs de production et de conversion d'énergie électrique, la notion de point de fonctionnement nominal est importante; en particulier, des mesures de puissance de l'ordre du mW ne sont pas réalistes. Enfin, les modèles utilisés pour décrire ces dispositifs ne doivent pas être trop simplifiés, au risque d'obtenir des écarts excessifs entre les modèles et les systèmes réels.

Introduction

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

↗ Palermo pp76-81 et Quaranta ↗ Schémas HPrépa p77, et le Quaranta p349

1.1 Étude à vide



Étude électrique à vide de la génératrice



Alimenter les inducteurs du moteur et de la génératrice en parallèle sous la tension nominale $U_e = 110 \text{ V}$. 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 110 V), 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 (on trouve environ 0,60 V.s/rad)

1.2 Étude en charge



Étude en charge de la génératrice



Brancher un rhéostat de 100Ω P61.9 sur l'induit de la génératrice, et mesurer la tension U_g à ses bornes et l'intensité I_g dans ce circuit. Pour plusieurs valeurs de résistance R , ajuster la tension injectée dans l'induit du moteur de façon à retrouver une fréquence de rotation $f = 10 \text{ Hz}$ (en vérifiant que I_g ne devienne pas trop importante), puis mesurer le couple C , la tension U_g et les intensités I_g et I_e , et la tension U_e (I_e et U_e correspondant à l'inducteur, U_g et I_g à l'induit) Prendre BEAUCOUP de points pour faire le rendement ensuite. Tracer l'évolution de U_g en fonction de I_g , et réaliser la régression linéaire $U_g = k\phi_g\omega - r_g I_g$ pour retrouver $k\phi_g$ (identique au précédent) et obtenir r_g (quelques ohms). Tracer l'évolution du couple C en fonction de I_g , et réaliser la régression linéaire $C = k\phi_g I_g + C_r$ pour retrouver $k\phi_g$ et obtenir C_r (de l'ordre de 0,1 N.m).

1.3 Rendement

Le rendement η_g de la génératrice est défini comme le rapport de la puissance électrique utile P_u sur la puissance totale fournie P_{tot} :

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

Rendement de la génératrice



Tracer l'évolution du rendement 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 $f = 10$ Hz. En déduire le couple nominal C_n , la tension nominale dans l'induit $U_{g,n}$ et l'intensité nominale dans l'induit $I_{g,n}$.

Discussions des pertes HPrépa pp84-85 Avec tous ces paramètres, on peut estimer les pertes (induit, inducteur, frottement, magnétiques), grosses incertitudes car provient de la mesure de six autres paramètres.

- Pertes Joule dans l'induit : $r_g I_g^2$
- Pertes Joule dans l'inducteur : $r_e I_e^2$
- Pertes par frottement mécanique : $C_r \omega_n$
- Les autres pertes sont dues aux pertes de flux et aux pertes par hystérésis dans le matériau ferromagnétique.

Principale perte = dans les câbles du rotor.

Avantages et inconvénients de la MCC A Palermo pp111-112 La MCC 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. Mais la fragilité des balais du collecteur nécessite un entretien régulier. Elles ont été largement utilisées par le passé, en particulier pour la propulsion des locomotives électriques (premiers TGV, métro lyonnais...). On les retrouve aujourd'hui plutôt dans des applications à faible puissance (ventilateur, photocopieuse, essuieglace...) avec des stators composés d'aimants permanents. Les moteurs à fortes puissances sont maintenant constitués de machines à courant alternatif.

Avantages	Inconvénients
Commande simple	Collecteur
Facilement réversible	Cout de fabrication
Stabilisation de vitesse	Cout d'entretien
Stabilisation de puissance	

Maintenant qu'on a produit l'électricité, sous forme de tension alternative, il faut la transporter. Pour cela, il faut le mettre sous très haute tension. Il faut donc élever la tension à la sortie des centrales et l'abaisser pour la distribuer aux utilisateurs.

2 Conversion alternatif-alternatif : le transformateur

Précis Bréal p5

Pourquoi l'électricité doit-elle être transportée sous haute tension ?

La puissance produite est $\mathcal{P}_p = U_{HT} I$ et La puissance dissipée dans les câbles est $\mathcal{P}_d = RI = R \frac{\mathcal{P}_p^2}{U_{HT}^2}$. Donc

$$\frac{\mathcal{P}_d}{\mathcal{P}_p} = R \frac{\mathcal{P}_p}{U_{HT}^2}$$

2.1 Transformateur idéal

Principe Circuit primaire/secondaire Lien entre rapport des tensions/courants et rapport des nombres de spires. Tension : provient de la conservation du flux magnétique total dans le noyau magnétique et de l'application de la loi de Faraday sur l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire Courant : provient de l'hypothèse d'une transmission intégrale de la puissance du primaire vers le secondaire, ce qui se traduit par $U_1 I_1 = U_2 I_2$. Elle est moins robuste que la première et est mise immédiatement en défaut en essai secondaire à vide.

Rapport de transformation



Pour constituer un transformateur, prendre deux bobines dont le nombre de spires est connu (par exemple 500 spires P60.20 et 250 spires P60.19) et les insérer dans un circuit magnétique fermé (éléments P60.30 et P60.16 feuilletés). On détermine le rapport de transformation en tension (on dit que c'est pareil en courant).

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).



On ne trouve pas le bon rapport expérimentalement, nous allons l'expliquer.

2.2 Transformateur réel

c réel

➤ Précis Bréal pp66-81, Duffait pp115-120

Nous avons fait plusieurs hypothèses pour définir le modèle du transformateur parfait, qui ne sont pas toujours vérifiées lors de l'utilisation pratique d'un transformateur.

- Le couplage entre le primaire et le secondaire n'est pas parfait : une partie du flux qui traverse le primaire ne traverse pas le secondaire et inversement : ces fuites sont prises en compte par l'ajout de deux inductances L_1 et L_2
- Les résistances des enroulements ne sont pas négligeables : on prend en compte les résistances des enroulements primaire et secondaire R_1 et R_2 : ces résistances peuvent être mesurées à l'ohmmètre. Les pertes dues à la présence de ces résistances sont nommées pertes cuivre.
- On nomme pertes fer et on note P_F les pertes d'énergie sous forme de chaleur dans le matériau ferromagnétique à cause des phénomènes d'hystérésis et des courants de Foucault : ces pertes ne sont pas négligeables. On peut représenter ces pertes par une résistance équivalente R_F telle que $P_F = e_1^2 / R_F$.



Nous allons quantifier l'effet des pertes cuivre et fer. Pour les déterminer, on va utiliser la méthode des pertes séparées.

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 du transformateur permet de déterminer les pertes cuivre dues à l'effet Joule dans les bobinages qui dépendent de l'intensité au primaire I_1 . Ces déterminations sont appelées méthodes des pertes séparées : dans l'essai à vide, les courants sont faibles et les pertes cuivres sont négligeables, dans l'essai en charge, la tension est faible et les pertes fer sont négligeables. On peut montrer que le rendement du transformateur est maximum si $P_F = P_{Cu}$.

$$\mathcal{P}_1 = \frac{1}{2} \Re(u_1 i_1^*) = \Re\left(\frac{1}{Z_F}\right) U_1^2 = \frac{1}{R_F} U_1^2$$

$$I_1 = \left|\frac{1}{Z_F}\right| U_1 = \sqrt{\frac{1}{R_F^2} + \frac{1}{L^2 \omega^2}} U_1$$

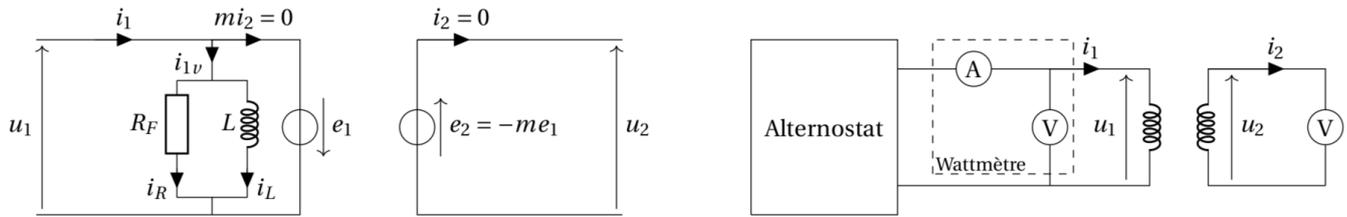


FIGURE 1 – Approximation du transformateur lors de l'étude à vide (à gauche) et circuit pour l'étude à vide (à droite).

Estimation des pertes fer à vide



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



Estimation des pertes Cuivre en court-circuit



Utiliser le même montage mais remplacer le voltmètre par un ampèremètre. Relever au wattmètre les valeurs U_1 , I_1 pour différents courants d'entrée I_1 compris entre 0 et 2A. Représenter P_1 en fonction de I_1 pour en déduire $(R_1 + R_2)/m^2$ et trouver m . Représenter U_1 en fonction de I_1 pour trouver Z_1 et vérifier qu'on a $Z_1 \ll Z_F$.

cf le montage de camille pour les questions