

MP21 - Production et conversion d'énergie électrique

19 Janvier 2021

Valentin Dorel & Antoine Chauchat

Bibliographie

⚡ *poly d'électromagnétisme,* $\longrightarrow$

Expériences

☕ Génératrice à courant continu

☕ Transformateur

☕ Redressement et lissage

Table des matières

1	Production : la génératrice à courant continu	2
1.1	Étude à vide	2
1.2	Étude en charge	2
2	Conversion : étude du transformateur	3
2.1	Gain en intensité et en courant	3
2.2	Pertes fer	3
3	Conversion : de l'alternatif au continu, redressement et lissage	3
4	Questions et commentaires	4
4.1	Questions	4
4.2	Commentaires	5

Introduction

Objectif : Illustrer le fonctionnement des composants principaux de la grille réseau EDF.

1 Production : la génératrice à courant continu

1.1 Étude à vide

$$U_g = k\Phi_g\omega - r_g I_g \quad (1)$$

$$C = k\Phi_g I_g + C_r \quad (2)$$

Mesure à vide de $k\Phi_g$

 poly d'électromagnétisme



Alimenter les inducteurs du moteur et de la génératrice en parallèle sous la tension nominale $U_e = 110$ V. 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 et mesurer U_g .

Pour différentes tensions U_m dans l'induit du moteur et donc différentes vitesses angulaires ω , mesurer la tension à l'induit de la génératrice U_g .

On mesure f et U_g , à vide, $U_g = k\Phi_g\omega$ donc on remonte à $k\Phi_g$.

↓ Après cette première mesure à vide qui donne accès à $k\Phi_g$ on va accéder aux autres paramètres avec une mesure en charge.

1.2 Étude en charge

Mesure en charge de $k\Phi_g$, I_g et C_r

 poly d'électromagnétisme



Brancher un rhéostat de $100\ \Omega$ sur l'induit de la génératrice et mesurer la tension à ses bornes et le courant qui le traverse : U_g et I_g .

Pour plusieurs valeurs de résistance R , ajuster la tension dans l'induit du moteur de façon à retrouver une fréquence de rotation $f = 10$ Hz en vérifiant que l'intensité I_g ne grille par le rhéostat.

On mesure C , U_g , I_g et I_e . On note la valeur du paramètre U_e .

On trace $U_g = f(I_g)$. Par régression linéaire on retrouve $k\Phi_g$ et r_g .

On trace $C = f(I_g)$. Par régression linéaire on retrouve $k\Phi_g$ et C_r .

On a ainsi pu mesurer $k\Phi_g$ à 3 reprises et complètement caractérisé la génératrice.

En réalité le courant produit par les turbines dans les centrales est alternatifs. Pour le transmettre on utilise des lignes hautes tensions, il faut utiliser un transformateur.



2 Conversion : étude du transformateur

2.1 Gain en intensité et en courant

Le transformateur idéal est tel que

$$n_1 i_1 = n_2 i_2 \quad (3)$$

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Mesure à vide du rapport de transformation m

 poly d'électromagnétisme



On branche l'alternostat au primaire du transformateur maison (bobines 250 et 500 et entrefer feuilleté), on mesure l'intensité et la tension au primaire.

En sortie on branche un multimètre.

- En Voltmètre on mesure u_1 et u_2 en faisant varier u_1 , on trace $u_2 = f(u_1)$ et on compare la pente à $\frac{1}{m}$. Cette mesure sous-estime le rapport de transformation.
- En Ampèremètre on mesure i_1 et i_2 en faisant varier i_1 , on trace $i_2 = f(i_1)$ et on compare la pente à m . Cette mesure sur-estime le rapport de transformation.



En réalité le transformateur est loin d'être idéal, il existe des pertes dans les bobines et dans l'entrefer. On s'intéresse à ces dernières grâce à la méthode des pertes séparées.

2.2 Pertes fer

Avec le schéma équivalent prenant en compte les pertes, le transformateur vérifie pour les pertes fer,

$$\mathcal{P}_1 = \frac{1}{R_F} u_1^2 \quad (5)$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{1}{R_F^2} + \frac{1}{L^2 \omega^2}} u_1 \quad (6)$$

Mesure à vide des pertes fer

 poly d'électromagnétisme



On fait l'étude à vide pour étudier les pertes fer. On branche au primaire un wattmètre et un voltmètre au secondaire.

On fait varier u_1 jusqu'à ce que le bruit soit trop fort et on relève $u_1, i_1, \mathcal{P}_1$.

On trace $\mathcal{P}_1 = f(U_1^2)$ et $i_1 = f(u_1)$. On remonte aux caractéristiques des pertes fer.



Une fois acheminé à la maison le courant doit être redressé en continu pour par exemple charger un téléphone.

3 Conversion : de l'alternatif au continu, redressement et lissage

Lissage par pont de Graetz

 poly d'électromagnétisme



On monte un pont de Graetz à 4 diodes et on place à sa sortie la résistance de charge : un rhéostat de 1000Ω et une boîte de capacités chimiques, 20, 30 et $50\mu\text{F}$. On observe à l'oscilloscope avec un boîtier d'isolement, la sortie de l'alternostat et la tension aux bornes du condensateur. On constate le lissage. On acquiert la sortie en AC sur la voie 1 et en DC sur la voie 2 et on mesure ΔU l'amplitude crête à crête du signal relevé et U sa valeur moyenne pour les trois valeurs de capacité.

On trace $\frac{\Delta U}{U} = f\left(\frac{1}{C}\right)$ on s'attend à une droite passant par l'origine.

Conclusion

4 Questions et commentaires

4.1 Questions

- Pourquoi le préfacteur est le même dans les deux expressions de U_g et C ? → Ces expressions viennent de l'induction (loi de Faraday)
- Si on étudie le moteur, que deviendraient ces deux équations? → On change les signes devant les termes de perte.
- On aurait quoi comme autres sources de pertes dans la génératrice? → Pertes cuivre dans le rotor
- C'est quoi l'entrefer dans ta machine à CC? Tu as fait l'erreur plusieurs fois. Dans le transformateur il n'y a pas d'entrefer. On parle plus de carcasse ferromagnétique, de cadre ferromagnétique
- Tu as dit que tu mettais l'induit sous puissance nominale? ça veut dire quoi? Pourquoi 110 V est le nominal? → tension pour laquelle on a le meilleur rendement. On trace quoi pour étudier le rendement de la machine? → on trace $\frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{elec}}}$
- à quelle unité correspond le V.s → le Weber
- Dans ton montage l'induit de la génératrice est alimentée, comment on fait dans la vraie vie? → pour des petites puissances on utilise des aimants permanents
- Et du coup pour des grandes puissances on fait comment? → On met le rotor en série avec le stator, il faut démarrer la machine avec une batterie externe et l'aimantation rémanente permet d'entraîner la machine ensuite.
- Peux-tu commenter les ordres de grandeurs de ce que tu as trouvé? Elle correspond à quoi la résistance interne de la génératrice? → la résistance des bobinages mais surtout des balais
- Un couple résistif de 90 mN.m c'est beaucoup? → ça fait une force de 9 N c'est raisonnable
- Pourquoi tu utilises un rhéostat de démarrage? → c'est pour éviter les surintensités
- On peut voir qu'il y aura des surintensités initialement avec les formules que tu as écrites? → oui lorsque ω tend vers 0 on voit que I_g peut devenir très grand car r_g faible. → en vrai tu peux démarrer la machine à courant continu sans rhéostat de démarrage en y allant doucement
- Sur le transformateur lorsque tu évalues le rapport de transformation avec le rapport des tensions tu trouves moins que 2 c'est normal? → oui c'est du au pertes
- Pourquoi on fait la méthode des pertes séparées? pourquoi ne pas juste faire un bilan de puissance global du transformateur? → on identifie les sources des pertes → en fait dans un transfo industriel le rendement est tellement grand qu'avec le puissancemètre les pertes sont dans les barres d'incertitudes si on ne les sépare pas.
- tu penses quoi du modèle électrocinétique des pertes fer? Pourquoi c'est des dipôles au primaire, et pourquoi ils sont en parallèle? → R_f c'est la résistance due aux courants de Foucault dans la carcasse, L est due au fait que la perméabilité magnétique du matériau est pas infinie du coup les lignes de champ peuvent s'échapper → Ici à B fini vu que μ_r est pas infini on a H fini, or on a $\vec{\text{rot}}(\mathbf{H}) = \mathbf{j}_{\text{libre}}$ ainsi on consomme de l'intensité pour produire ce H . On appelle ça inductance magnétisante. Dans R_f il y a également des pertes par cycle d'hystérésis, énergie donnée pour aimanter puis désaimanter. Du coup R_f dépend de plein de trucs, en fonction de l'intensité que tu

mets, R_f change. En plus R_f dépend de f vu que tu parcoures tes cycles. Et pour finir R_f dépend des courants de Foucault donc de la tension mise à la première bobine. Ainsi cette modélisation a un sens physique bancal, il faut être prudent avec. Si on l'utilise il faut s'attendre à des questions dessus. C'est dur de calculer des OdG des résultats attendus pour les comparer à ce que l'on trouve. Globalement c'est le morceau dur, les pertes cuivre sont beaucoup plus simples à interpréter.

- Pourquoi ça fait du bruit quand on envoie beaucoup de puissance dans le transformateur ? → c'est le serre-joint qui vibre. Pourquoi ? → le champ créé par la première bobine aimante le ferromagnétique et du coup l'autre bobine subit une force de Laplace en ω^2 et du coup le bruit entendu devrait être à 100 Hz.
- à quoi ça sert d'avoir fait un pont de diode plutôt qu'une simple diode ? → on a un redressement double alternance
- Par exemple une locomotive reçoit une tension de 2500 V continue mais au démarrage elle a besoin d'une tension faible. Quel dispositif on utilise pour pouvoir faire varier continuellement cette tension entre 0 et 2500 V ? → c'est un hacheur
- Montage surprise : mesurer le coefficient d'inductance mutuelle entre deux bobines. On a les bobines, un GBF, un oscille, une boîte à décades, un multimètre et un barreau de fer doux. → on fait un circuit RL, on soumet les bobines à un courant continu, la réponse va prendre un temps caractéristique proportionnel à $(L_1 + L_2 + 2M)/R$. Mais on connaît pas L_1 et L_2 . Si on change le sens du câblage d'une bobine on change le signe de M et ainsi en la différence des temps de montée est lié à $4M/R$. On fait l'expérience, on remarque l'influence d'un barreau de fer doux entre les bobines qui augment significativement la mutuelle.

4.2 Commentaires

- L'introduction est très bien, rajoute juste que l'on augmente la tension pour diminuer I et ainsi minimiser les pertes par effet Joule en RI^2 .
- Globalement c'est très bien vu d'essayer de calculer des OdG des résultats attendus pour pouvoir comparer ce que l'on trouve par l'expérience. Tu peux notamment le faire pour la génératrice.
- Les mesures que tu choisis de faire sur la génératrice sont bien
- Attention au modèle électrocinétique des pertes fer, pourquoi pas essayer de calculer des OdG de ce qu'on attend, c'est plus facile avec les pertes cuivre.
- Regressi a bugué, pourquoi pas développer une routine Python pour toute la classe pour éviter ces bugs
- Tu as dit 220 V dans les prises en France c'est 230 V.
- L'expérience du lissage juste qualitative est très bien et je suis content qu'elle soit là elle est bien pour l'histoire racontée. Si on veut faire du quanti dessus le mieux serait d'évaluer son rendement.