

EXPLICATION

d'une constatation expérimentale faite au cours d'essais dans une usine hydro-électrique comportant plusieurs alternateurs couplés en parallèle.

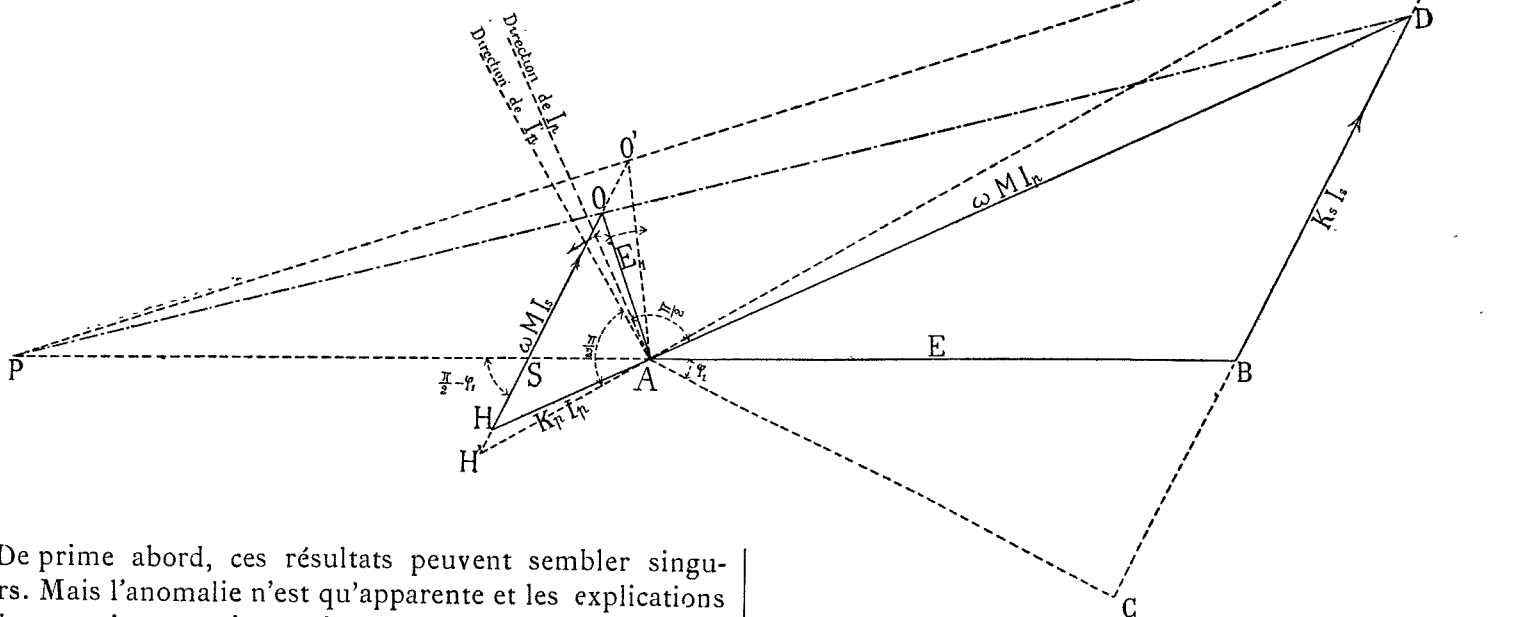
Au cours d'essais faits dans une usine hydro-électrique de la région dauphinoise où se trouvaient quatre alternateurs couplés en parallèle, on a été amené à surcharger l'un des alternateurs en agissant sur son aimantation.

Les quatre alternateurs, de construction identique, produisaient des courants triphasés sous la tension de 3000 volts ; des transformateurs élévateurs portaient cette tension à 15.000 volts sur les barres de départ.

Un watmètre se trouvant inséré dans le circuit de liaison de l'alternateur surchargé à son transformateur-élévateur, on a pu faire les constatations résumées dans le tableau suivant :

Kilovolt-ampères	Kilowatts	Cos φ	Puissances débitées (HP).
970,613	675,000	0,693	920
1125,765	735,000	0,655	999
1250,071	765,000	0,612	1025
1425,782	787,500	0,553	1070
851,104	633,750	0,743	862

On voit que le cosinus du décalage entre la force $e m.$ et le courant primaire va en diminuant quand la puissance débitée augmente, et réciproquement, en augmentant quand la puissance débitée diminue.



De prime abord, ces résultats peuvent sembler singuliers. Mais l'anomalie n'est qu'apparente et les explications qui vont suivre paraissent de nature à justifier les résultats obtenus.

Par mesure de simplification nous raisonnerons sur du courant monophasé ; les conclusions seraient évidemment applicables aux courants triphasés.

Soient E_1 l'alternateur surchargé et T_1 le transformateur-élévateur qui lui fait suite.

Désignons par les lettres :

K_p La réactance du circuit primaire, comprenant l'induit de l'alternateur E_1 , le primaire du transformateur T_1 , et les fils de liaison ;

K_s La réactance du circuit secondaire, comprenant le secondaire du transformateur T_1 et les fils aboutissant au point de couplage sur les barres de haute tension ;

M Le coefficient d'induction mutuelle des spires primaires et secondaires du transformateur ;

I_p Le courant primaire ;

I_s Le courant secondaire ;

E_1 La force électromotrice induite dans la machine E_1 ;

E La force électromotrice au point de couplage ;

φ_1 Le décalage entre la force électromotrice E et le courant I_s ;

ω La pulsation du courant.

On ne voit figurer dans cette nomenclature aucune résistance ohmique et de fait, la self des circuits primaire et secondaire précédemment définis étant nettement prépondérante, nous négligeons la résistance ohmique de ces circuits devant leur réactance.

Dans ces conditions, le diagramme des circuits primaire et secondaire s'établit comme l'indique la figure ci-après, pour une valeur donnée φ_1 du décalage entre la force électromotrice E et le courant secondaire (traits pleins de la figure).

Joignons DO et prolongeons cette droite jusqu'à sa rencontre en P avec le prolongement de BA .

Marquons d'autre part le point S , intersection de OH et de PB .

On peut écrire, les droites HO et BD étant parallèles :

$$(1) \quad \frac{HS}{BD} = \frac{AH}{AD} = \frac{K_p I_p}{\omega M I_p} = \frac{K_p}{\omega M} = \frac{AS}{AB}$$

D'autre part :

$$(2) \quad \frac{HO}{BD} = \frac{\omega M I_s}{K_s I_s} = \frac{\omega M}{K_s}$$

D'où, en retranchant (1) de (2) :

$$\frac{HO - HS}{BD} = \frac{SO}{BD} = \frac{\omega^2 M^2 - K_p K_s}{\omega M K_s}$$

et par suite :

$$(3) \quad \frac{PS}{PB} = \frac{SO}{BD} = \frac{\omega^2 M^2 - K_p K_s}{\omega M K_s}$$

Cela posé, quand on surexcite l'alternateur E_1 , on fait varier à la fois la force électromotrice, le courant et le décalage primaires; le courant secondaire subit une variation correspondante en grandeur, mais point n'est besoin de supposer qu'il varie encore en direction, comme conséquence des variations de la puissance primaire.

D'autre part, on peut admettre que la force électromotrice E , quintuple de E_1 à l'origine ($E = 15.000^v E_1 = 3.000^v$), subit des variations négligeables dans la limite des variations de E_1 afférentes à l'expérience.

Mais alors le point B est fixe et la droite BD invariable de position dans les divers diagrammes qui caractérisent tous les états de surexcitation de la machine E_1 .

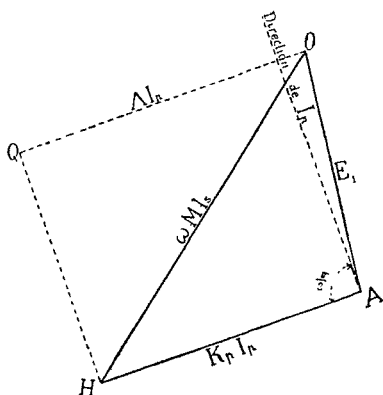
Puisque $\frac{AS}{AB}$ est constant (1), la droite HO est de même invariable de position et puisque $\frac{PS}{PB}$ est également constant (3), le point P est fixe.

Dès lors, pour passer d'un diagramme à un autre, il suffit d'effectuer les constructions pointillées de la figure ci-dessus.

Si on force l'excitation, HAD est remplacé par $H'AD'$, DP par $D'P$, HO par $H'O'$ et AO par AO' . D'autre part, la direction du courant I_p , perpendiculaire à AD , subit un déplacement angulaire égal à $\widehat{D'AD}$.

En résumé, le vecteur de la force électromotrice de l'alternateur surexcité tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, d'un angle égal à $\widehat{OAO'}$, tandis que le vecteur donnant la direction du courant primaire tourne en sens inverse d'un angle égal à $\widehat{DAD'}$.

Dans ces conditions, il est clair que si la force électromotrice était en retard sur le courant primaire, le décalage diminuera, tandis que si elle était en avance, le décalage augmentera.



Il faut en conclure que cette dernière circonstance se présentait dans les conditions de l'expérience. Il n'y a là d'ailleurs, rien d'anormal. Dans le cas où le secondaire d'un transformateur ne contient pas de force électromotrice agissante, cela signifierait que le coefficient de transformation est supérieur à la racine carrée du rapport des réactances des circuits primaire et secondaire. Il est facile de trouver,

dans le cas présent quelle inégalité doit être substituée à la précédente, par suite de l'existence de la force électromotrice E .

Reprenons en effet le diagramme du circuit primaire et traçons les droites OQ parallèle à AH et HQ , perpendiculaire à OQ . Désignons d'autre part par AI_p , la longueur OQ .

Il est visible que le triangle OQH , de la figure ci-dessus, et le triangle ACD de la figure précédente, sont semblables. On peut donc écrire :

$$\frac{OQ}{CD} = \frac{OH}{AD}$$

ou bien :

$$OQ = AI_p = CD \times \frac{OH}{AD} = (BC + BD) \frac{I_s}{I_p} = (E \sin \varphi_1 + K_s I_s) \frac{I_s}{I_p}$$

Or, il y a avance de la force électromotrice sur le courant parce que OQ est supérieur à AH , ou bien parce que Λ est supérieur à K_p . On peut donc écrire dans ce cas : $\Lambda > K_p$ ou bien, d'après ce qui précède :

$$(E \sin \varphi_1 + K_s I_s) \frac{I_s}{I_p} > K_p$$

$$K_s I_s^2 - K_p I_p^2 + E \sin \varphi_1 I_s > 0 \quad (1)$$

Pour une valeur donnée de φ_1 , il y aura donc avance de la force électromotrice E_1 sur le courant primaire, si les valeurs des courants primaire et secondaire satisfont à cette inégalité.

Si l'on remarque que l'on a dans le triangle ADB :

$$(1) \quad \omega^2 M^2 I_p^2 = K_s^2 I_s^2 + E^2 + 2 K_s I_s E \sin \varphi_1,$$

on pourra substituer à l'inégalité précédente, la suivante :

$$(2) \quad K_s^2 I_s^2 + (\omega^2 M^2 - 2 K_p K_s) I_p^2 - E^2 > 0$$

et des résultats de l'expérience réalisée, il faut simplement conclure que cette inégalité se trouvait satisfaite (2).

On peut aussi justifier l'accroissement de la puissance primaire avec la surexcitation, en remarquant que cette puissance est égale à $E_1 \cos (E_1, I_p) \times I_p$.

I_p augmente puisque AH' est supérieur à AH . D'autre part, $E_1 \cos (E_1, I_p)$ est égal à la projection de OA sur I_p . Or, pour un léger accroissement de l'excitation, à cause des grandeurs relatives de E_1 et de E , la variation angulaire $\widehat{D'AD}$ peut être négligée devant la variation angulaire $\widehat{OAO'}$. Donc, la projection de O est en deçà de celle de O' et, par suite, la quantité $E_1 \cos (E_1, I_p)$ est croissante. La puissance primaire, égale au produit de deux quantités croissantes, est, en conséquence, elle-même croissante.

P. DUMAS.

Ingenieur des Ponts et Chaussées.

(1) Si on fait $E = 0$, on voit que l'inégalité se réduit à $K_s I_s^2 - K_p I_p^2 > 0$ ou $\frac{I}{I_p} > \sqrt{\frac{K_p}{K_s}}$ comme nous le faisons observer ci-dessus.

(2) En portant dans l'inégalité (2) la valeur de I_s tirée de l'équation (1), on trouverait une relation bicarrée en I_p qui déterminerait les limites correspondantes des valeurs du courant primaire.