

Répercussions économiques du choix des paramètres électriques

Autor(en): **Chatelain, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **51 (1960)**

Heft 7

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-917027>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Répercussions économiques du choix des paramètres électriques¹⁾

Conférence donnée à l'assemblée de discussion organisée par l'ASE le 18 novembre 1959 à Berne,
par J. Chatelain, Genève

621.313.322-82.003

1. Introduction

Une fois achevée l'étude des conditions hydrauliques d'une nouvelle centrale, la puissance active à fournir par les générateurs étant déterminée, il reste à définir un certain nombre de paramètres électriques dont le choix peut modifier dans d'assez larges limites le prix des machines. Ces paramètres, choisis par les ingénieurs étudiant le projet, figurent dans la spécification adressée aux constructeurs de machines qui doivent en tenir compte dans le dimensionnement de l'alternateur. Ces paramètres sont: la tension, le facteur de puissance et les réactances. Une autre valeur caractéristique importante pour le fonctionnement du groupe turbine-alternateur est représentée par la constante d'inertie (ou temps d'accélération) fixée par le constructeur de la turbine, paramètre qui n'entre pas à proprement parler dans le cadre de cet exposé. Nous supposons dans la suite de l'étude que la constante d'inertie a été fixée à une valeur raisonnable, voisine de la valeur naturelle. Parmi les paramètres précités, les deux derniers à savoir le facteur de puissance ($\cos \varphi$) et le rapport de court-circuit (K_c) qui conditionne les réactances, sont les plus susceptibles de modifier le dimensionnement des alternateurs et d'avoir des répercussions économiques importantes.

Dans la gamme des machines de moyenne puissance, par exemple jusqu'à 50 MVA à des vitesses inférieures à 600 t./min, l'obtention de valeurs très conventionnelles, telles que 0,8 pour le facteur de puissance et environ 1 pour le rapport de court-circuit, est relativement aisée, la construction de la machine ne présentant pas de difficultés particulières quant aux contraintes mécaniques. Il n'en est plus de même pour des unités de l'ordre de 100 MVA et plus pour lesquelles la vitesse périphérique du rotor en cas d'emballage peut atteindre 145 à 150 m/s pour des jantes empilées, 170 à 180 m/s pour des jantes en acier forgé. Ces valeurs limites, bien connues des constructeurs, sont imposées par le souci de ne pas dépasser un pourcentage raisonnable de la limite élastique du matériau constituant les pôles et la jante rotorique. Pour des pièces en acier forgé ou coulé, l'usage recommande de ne pas dépasser 65 à 70 %, tandis que pour les jantes empilées, constituées par un matériau très homogène dont on peut contrôler exactement les propriétés, il est possible d'admettre jusqu'à 75 % de la limite élastique. Le but de cet exposé est de montrer à l'aide d'un exemple numérique comment varient le poids, les pertes et le prix d'un alternateur de puissance active donnée et constante quand on fait varier le facteur de puissance ou le rapport de court-circuit.

2. Base de l'étude

Comme base de l'étude, il a été choisi un alternateur de 80 MW tournant à 500 t./min, c'est-à-dire à 12 pôles. La disposition du groupe est horizontale, à 2

turbines Pelton en porte à faux de chaque côté. La vitesse d'emballage est de 900 t./min, soit 1,8 fois la vitesse nominale. Le temps de lancer, c'est-à-dire le temps nécessaire pour amener le groupe de l'arrêt à la vitesse nominale en lui appliquant un couple moteur égal au couple nominal de la turbine, est fixé à 5 s, c'est-à-dire à une valeur proche de la valeur naturelle.

Pour des machines de cette importance, il est de plus en plus fréquent de laisser au constructeur le choix de la tension statorique en vue d'obtenir un enroulement aussi sûr et économique que possible, étant admis que l'alternateur est couplé directement sur le transformateur associé (couplage-bloc). Suivant la variante considérée, la tension varie entre 9 et 14 kV.

La puissance choisie est en passe de devenir usuelle en Europe pour de puissantes installations hydro-électriques et en Suisse même, deux centrales (Bisasca et Nendaz) sont équipées de machines de cet ordre de grandeur.

La construction du rotor est identique à celle de l'alternateur actuellement en montage dans la centrale de Nendaz de la Grande Dixence. Elle est caractérisée par un arbre en 3 parties (2 bouts d'arbres bridés sur un moyeu central en acier coulé), une jante comportant un certain nombre d'anneaux en acier forgé frettés sur le moyeu et distancés de façon à permettre une amenée d'air radiale à l'intérieur de l'alésage, des pôles massifs en acier coulé fixés sur la jante au moyen de griffes et de clavettes cylindriques et enfin par des bobines excitatrices doubles ventilées intérieurement et extérieurement.

3. Influence du facteur de puissance

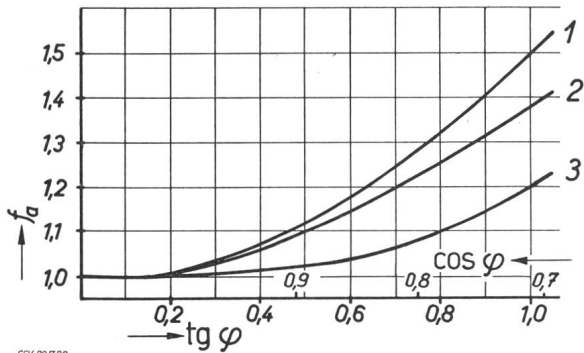
Dans des réseaux peu développés, la surexcitation des machines synchrones contribue à améliorer la stabilité dynamique du réseau, et la fourniture de l'énergie réactive à partir des alternateurs présente un aspect technique. Par contre, dans les grands réseaux maillés ou interconnectés, le problème de la fourniture d'énergie réactive est avant tout d'ordre économique. Cette fourniture entraîne un supplément d'investissement du fait de la puissance apparente variant comme $1/\cos \varphi$ et un accroissement des pertes dans les machines et dans les lignes. L'importance du supplément d'investissement et de pertes dû au transport de l'énergie réactive varie naturellement beaucoup avec le réseau considéré. Aussi l'étude présentée ici est-elle limitée aux données accessibles au constructeur de la machine, c'est-à-dire ne considère que la capitalisation du supplément de pertes dans l'alternateur même provoqué par le régime inductif demandé à la machine.

La capitalisation des pertes a été effectuée sur la base des statistiques relatives aux fournitures moyennes en hiver et en été de centrales à bassin d'accumulation. L'utilisation a été admise à 2000 h par année et le prix moyen, calculé en tenant compte

¹⁾ Schriftprobe Nr. 5.

des fournitures de pointes, des heures pleines et des heures creuses en hiver et en été, s'établit à environ 3,7 ct./kWh. Le taux des frais annuels du matériel électro-mécanique a été fixé à 10 % soit : 3,5 % d'intérêts, 4,5 % d'amortissement et 2 % d'entretien. Tout calcul fait, le coût d'investissement correspondant à 1 kW de pertes s'établit à environ 750 Fr.

Soit dit en passant, il serait souhaitable que soit indiqué plus souvent dans les cahiers de charges le taux de capitalisation des pertes. Cette pratique est courante pour les transformateurs et cette indication au moment de l'appel d'offre pour de nouveaux alternateurs serait très appréciée par les calculateurs de machines afin d'orienter le choix des solutions techniques ou des matériaux.



SEV 28728

Fig. 1

Influence de φ sur le prix, le poids et les pertes d'un alternateur de 80 MW

1 prix; 2 poids; 3 pertes; f_a facteur d'augmentation
 $\cos \varphi$ en $\frac{\text{MW}}{\text{MVA}}$ $\text{tg } \varphi$ en $\frac{\text{MVar}}{\text{MW}}$

La fourniture d'énergie réactive étant avant tout une fourniture marginale, les courbes de la fig. 1 ont été établies en fonction de $\text{tg } \varphi$, c'est-à-dire du rapport puissance réactive/puissance active. Elles représentent respectivement l'influence du déphasage sur le poids, les pertes et le prix (compte tenu de la capitalisation du surplus de pertes par rapport à la machine dimensionnée seulement pour la fourniture d'énergie active). Sans la capitalisation des pertes, le prix de la machine varie légèrement moins vite que le poids.

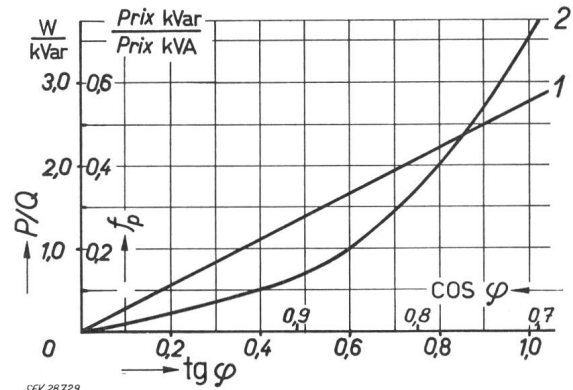
L'examen de ces courbes montre que la tranche d'énergie réactive 0,2 à 0,45 P_w ne représente qu'un supplément modeste du prix soit 10 % pour $\cos \varphi = 0,9$ tandis que le choix de $\cos \varphi = 0,8$ l'augmente de près de 27 %. Autrement dit, le choix d'un $\cos \varphi$ égal à 0,9 au lieu du classique 0,8 permet une économie d'environ 13 %.

La variation rapide du coût de l'alternateur considéré en fonction du facteur de puissance s'explique comme suit:

La vitesse périphérique à l'emballement est voisine de 160 m/s, c'est-à-dire proche de la limite admissible. L'augmentation des ampères-tours d'excitation pour des $\cos \varphi$ décroissants exige un volume de cuivre croissant de l'enroulement d'excitation, volume qui devient incompatible avec le maintien à une valeur raisonnable des contraintes dans la fixation des pôles et dans la jante. Il devient donc indispensable de réduire la force magnéto-motrice en charge par la réduction d'un des éléments constitu-

tifs des ampères-tours en charge, à savoir les ampères-tours de réaction d'induit. Ceci conduit à une diminution de la densité linéique en A/cm au stator, donc du coefficient d'utilisation.

Les courbes sont établies pour un rapport de court-circuit constant de 0,8, la variation en fonction de φ restant d'ailleurs pratiquement identique pour des valeurs de K_c comprises entre 0,7 et 1,3.



SEV 28729

Fig. 2

Pertes $\frac{P}{Q}$ et rapport f_p des prix $\frac{\text{kVar}}{\text{kVA}}$ en fonction de $\text{tg } \varphi$

1 prix; 2 pertes; $\text{tg } \varphi$ en $\frac{\text{MVar}}{\text{MW}}$; $\cos \varphi$ en $\frac{\text{MW}}{\text{MVA}}$

La fig. 2 représente les pertes en W/kVar et le prix du kVar par rapport au prix du kVA de base en fonction de $\text{tg } \varphi$, c'est-à-dire en fonction du rapport MVar/MW. Il est bien précisé que les pertes considérées représentent le supplément de pertes par rapport aux pertes d'une machine ne fournissant que de l'énergie active. L'adoption du prix du kVA de base comme référence est d'une part commode car pratiquement constant et d'autre part logique. En effet, si pour chaque variante considérée (à puissance apparente croissante) on met au seul compte de l'énergie active, les pertes de base et le coût de l'équipement, ce calcul avantage considérablement la puissance réactive et conduit à un résultat contraire à la réalité physique bien connue des exploitants selon laquelle un kVar est toujours plus coûteux en équipement et en pertes qu'un kW.

L'examen de la courbe de pertes par kVar en fonction du pourcentage d'énergie réactive amène à comparer la fourniture d'énergie réactive par surexcitation des alternateurs à celle produite par des batteries de condensateurs ou des compensateurs tournants. Les pertes dans les condensateurs haute-tension sont de l'ordre de 1 % soit 1 W/kVar tandis que celles d'un compensateur tournant dans l'hydrogène muni de tous les raffinements en vue de réduire les pertes, restent au mieux de l'ordre de 1 % soit environ 10 W/kVar. De l'examen de la courbe de la fig. 2, il ressort que jusqu'à $\cos \varphi = 0,85$, la production d'énergie réactive par les alternateurs hydrauliques reste compétitive avec celle des condensateurs, du point de vue pertes tout au moins, pour autant que les pertes de transport soient négligées. En fait, la possibilité de placer les batteries de condensateur au voisinage des points de consommation et d'éviter aussi les pertes de transport ramène la valeur du facteur de puissance économique des alternateurs au voisinage de 0,9 sinon 0,95. Quant à

l'emploi de compensateurs tournants, il ne se justifie que pour des unités importantes et seulement lorsque la stabilité et la régulation de tension d'un transport d'énergie à longue distance exige la présence en un point particulier du réseau d'un élément dynamique susceptible, par le jeu de son excitation, de fournir ou d'absorber de la puissance réactive.

4. Influence du rapport de court-circuit

Il est d'usage de spécifier dans les cahiers des charges de grands alternateurs une valeur du rapport de court-circuit K_c ou, ce qui revient au même, de la réactance synchrone longitudinale x_d .

Le rapport de court-circuit est défini comme le rapport du courant d'excitation produisant la tension nominale à vide au courant d'excitation produisant le courant nominal en court-circuit. L'inverse du rapport de court-circuit donne la valeur saturée de la réactance synchrone, la valeur non-saturée étant supérieure d'environ 10 %.

La réactance synchrone longitudinale x_d détermine la limite de la stabilité statique naturelle, c'est-à-dire la puissance maximum transmissible sans rupture de synchronisme entre machine et réseau lors d'une variation lente de charge, sans intervention manuelle ni automatique sur le circuit d'excitation, c'est-à-dire à courant d'excitation constant. Ce mode de fonctionnement est impensable dans une exploitation actuelle et le maintien de la stabilité statique dans les cas critiques doit être confié au régulateur de tension en y introduisant par exemple un élément détecteur de l'angle de la roue polaire (régulateur d'angle).

Il convient d'attacher plus d'importance à la stabilité dynamique, c'est-à-dire à la limite de stabilité qui se manifeste lors des variations brusques de charge. Si l'on adopte ce point de vue, c'est la réactance transitoire longitudinale x_d' que l'on doit préciser.

Il existe naturellement un certain parallélisme entre la variation de x_d et celle de x_d' comme l'indique le tableau ci-dessous:

K_c	0,7	0,9	1,1	1,3
x_d (en p. u.)	1,53	1,2	0,97	0,81
x_d' (en p. u.)	0,49	0,42	0,36	0,32

Une réduction de la réactance transitoire semble naturellement avantageuse, mais il convient toutefois de ne pas en surestimer l'importance; en effet x_d' ne représente qu'une fraction de la réactance totale à introduire dans l'étude des phénomènes transitoires (réactances transitoires des machines, réactances de fuite des transformateurs et réactances des lignes). Aussi doit-on considérer si le supplément de poids et de prix provoqué par la diminution de x_d' , c'est-à-dire l'augmentation de K_c , est justifié par le gain, souvent minime, sur la réactance totale du système. L'usage d'une table à calcul de réseaux peut s'avérer très utile dans ce cas en permettant d'étudier très rapidement les améliorations réelles apportées par une diminution de la réactance transitoire x_d' . Il semble d'après les résultats d'exploitation des grands réseaux européens qu'une valeur de la réactance transitoire x_d' comprise entre 0,45 et 0,40 (valeurs non saturées) (K_c 0,8...0,95) donne

des résultats absolument satisfaisants et qu'une diminution de cette réactance en dessous de 0,4, c'est-à-dire l'adoption d'un rapport de court-circuit supérieur à 1 ne se justifie du point de vue stabilité dynamique qu'en présence de longues lignes (réseaux suédois en particulier).

Par ailleurs, une limite inférieure de la réactance transitoire est déterminée par la valeur de la réactance subtransitoire x_d'' . En règle générale, le rapport x_d''/x_d' est de l'ordre de 0,7 et si l'on se fixe comme valeur du courant de court-circuit instantané asymétrique environ 15 fois le courant nominal, on trouve pour x_d'' une valeur de 0,18 p.u. et pour x_d' environ 0,25 p.u.

La réactance synchrone x_d caractérise également l'aptitude de la machine à absorber de la puissance réactive. La nécessité d'assurer la mise sous tension d'une longue ligne à vide amène souvent les exploitants à fixer une valeur de x_d telle que x_d soit inférieure à la réactance capacitive x_c de la ligne. Cette façon de procéder est très conservatrice. Elle correspond au désir de maintenir pendant ce fonctionnement un courant d'excitation encore positif, c'est-à-dire de se mettre à l'abri d'un auto-amorçage. En fait, les régulateurs rapides sont à même de maîtriser ce phénomène et permettent de tirer un meilleur parti des possibilités de l'alternateur à pôles saillants pour lequel la réactance synchrone transversale x_q est environ 65 % seulement de x_d . En choisissant des réactances synchrones (donc un rapport de court-circuit) telles que $x_q < x_c < x_d$ on travaille naturellement dans un domaine où l'auto-excitation est théoriquement possible, mais ce cas de fonctionnement étant malgré tout de courte durée, sinon exceptionnel, il paraît illogique de ne pas exploiter tous les avantages d'un régulateur moderne lorsqu'on connaît l'incidence du rapport de court-circuit sur le prix des machines. La fig. 3

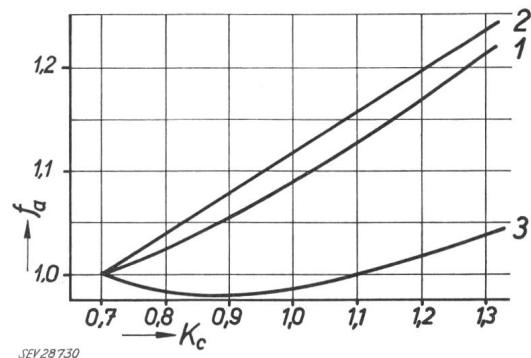


Fig. 3
Influence de K_c sur le prix, le poids et les pertes d'un alternateur de 80 MW
1 prix; 2 poids; 3 pertes; f_a facteur d'augmentation;
 K_c rapport de court-circuit

montre la variation du prix (y compris la capitalisation du surplus de pertes par rapport à $K_c = 0,7$) du poids et des pertes en fonction de K_c . On remarquera que les pertes présentent un minimum au voisinage de $K_c = 0,85$ dans l'exemple choisi. Pour des rapports de court-circuit plus petits, la diminution de l'entrefer provoque un accroissement des pertes supplémentaires sur les épanouissements polaires qui n'est pas compensé par la diminution des pertes d'excitation.

L'usage de la contre-excitation n'est pas une découverte récente, car il s'agit là d'une propriété inhérente aux pôles saillants, et un rapport présenté en 1952 à la CIGRE par la firme Brown, Boveri fait état d'un régulateur pour compensateur synchrone à excitation négative en régime capacitif du réseau. La fig. 4 représente le dispositif d'excitation et de

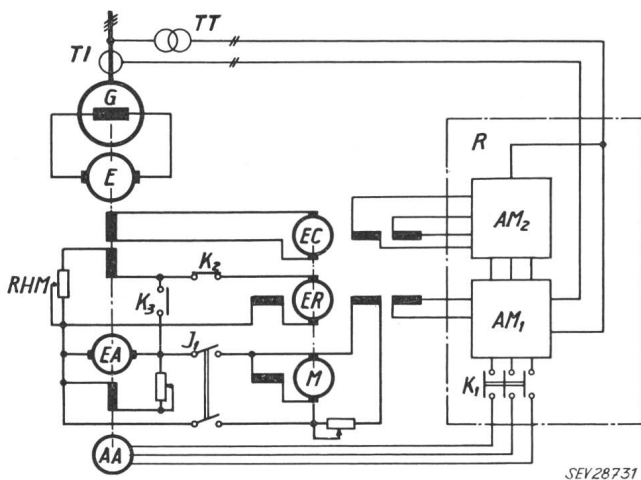


Fig. 4

Schéma d'excitation des alternateurs de Nendaz (Suisse)

G Alternateur; E Excitatrice principale; EA Excitatrice auxiliaire; AA Alternateur auxiliaire; EC Excitatrice de choc; ER Excitatrice de réglage; M Moteur d'entraînement; AM₁, AM₂ Amplificateurs magnétiques; R Régulateur «Transex»; TI, TT Transformateurs de mesure; RHM Résistance d'ajustage; K₁, K₂, K₃ Contacteurs

réglage prévu par les Ateliers de Sécheron pour les alternateurs de Nendaz et étudié pour le mode de fonctionnement avec excitation négative en régime capacitif. L'excitatrice principale comporte deux enroulements d'excitation, l'un à constante de temps normale alimenté par une excitatrice réactive de réglage, l'autre à constante de temps très courte alimentée par une excitatrice de choc. Les enroulements d'excitation de ces excitatrices sont alimentés par un régulateur à amplificateurs magnétiques dont l'une des chaînes de réglage est à action proportionnelle et dérivée (boucle de réglage), la seconde à action dérivée uniquement (boucle de choc).

Dans cette installation, le cas de fonctionnement le plus défavorable correspond à la mise sous tension par une seule unité d'une ligne à 2 ternes de 250 km sous une tension constante de 225 kV à l'extrémité réceptrice. La puissance capacitive est d'environ 58 MVar soit 73 % de la puissance apparente nominale d'un groupe, sous une tension aux bornes de l'alternateur égale à 75 % de la tension nominale.

La condition de maintenir une excitation positive aurait conduit à une valeur de $x_d < x_c = (0,75)^2 / 0,73 = 0,77$ p.u., soit à un rapport de court-circuit de l'ordre de 1,35. Le réglage proposé, contrôlé sur un micro-réseau, a permis de réduire le rapport de court-circuit à 1,05 ($x_d = 1,04$ p.u.; $x_q = 0,62$ p.u.) c'est-à-dire de diminuer d'environ 10 % le prix de la machine (capitalisation des pertes comprise).

Il est à noter que dans le fonctionnement précité, l'alternateur dispose encore d'une marge de sécurité confortable (20 %) par rapport à la puissance capacitive limite $U^2/x_q = (0,75)^2/0,62 = 0,91$.

5. Influences conjuguées du facteur de puissance et du rapport de court-circuit

Les courbes représentées sur les fig. 5 et 6 sont une synthèse des courbes 1 et 3 et expriment la variation du poids et du prix d'alternateurs de même puis-

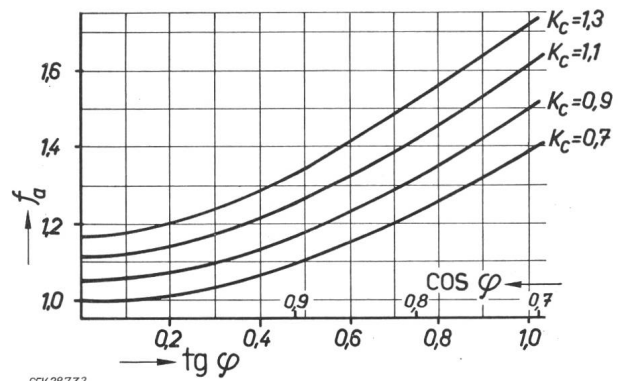


Fig. 5

Variation du poids d'alternateurs de même puissance active en fonction du cos φ

f_a facteur d'augmentation du poids; K_c rapport de court-circuit
 $\cos \varphi$ en $\frac{MW}{MVA}$ $tg \varphi$ en $\frac{MVar}{MW}$

sance active pour des valeurs du $\cos \varphi$ variant entre 0,7 et 1 et des valeurs de K_c comprises entre 0,7 et 1,3. L'obtention simultanée d'un $\cos \varphi$ faible et d'un rapport de court-circuit élevé conduit à un surdimensionnement important du stator dont les grandeurs caractéristiques: induction dans l'entrefer et surtout densité linéique, doivent être sensiblement réduites par rapport aux valeurs «naturelles» pour tenir compte des possibilités de réalisation du rotor.

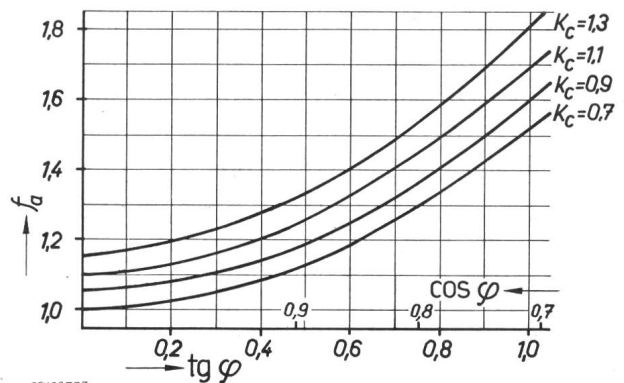


Fig. 6

Variation du prix d'alternateurs de même puissance active en fonction du cos φ

f_a facteur d'augmentation du prix
 $\cos \varphi$ en $\frac{MW}{MVA}$ $tg \varphi$ en $\frac{MVar}{MW}$

6. Puissance limite

Quelles sont les limitations imposées aux constructeurs de machines par les matériaux ou les dispositions constructives: tout d'abord, la vitesse périphérique-limite à l'emballement (environ 170 m/s pour les jantes en acier forgé) déterminée par la condition de ne pas dépasser un certain pourcentage de la limite élastique des matériaux constituant la jante et les pôles. Pour des machines à 50 Hz, la vitesse périphérique normale en m/s est exprimée par le même nombre que le pas polaire en cm. Donc $\tau_p =$

95 cm pour $v_a = 170$ m/s. Le diamètre maximum est donc fixé pour une polarité et une vitesse d'emballage déterminées. Les conditions de ventilation et de refroidissement de la machine imposent une seconde limitation dans les dimensions, à savoir la longueur axiale de la machine. Il est difficile de fixer exactement cette limite qui dépend des conceptions constructives de la firme considérée, mais un rapport de longueur au pas polaire voisin de 3,5 paraît raisonnable. Or, la puissance électrique interne apparente d'une machine électrique peut se mettre sous la forme bien connue:

$$P_s = C D^2 l_i n A B \delta$$

La signification des termes est la suivante:

- C constante
- D alésage
- l_i longueur idéale de l'induit, peu différente de la longueur totale de l'empilage
- n fréquence de rotation
- A densité linéique
- $B\delta$ induction dans l'entrefer

Les dimensions D et l étant fixées pour une polarité donnée par la vitesse périphérique maximum admissible, le seul moyen d'augmenter la puissance consiste à augmenter A et $B\delta$. En fait, la valeur de l'induction dans l'entrefer $B\delta$ est toujours choisie la plus élevée possible et il n'existe que peu de possibilité de ce côté. Elle est limitée vers le haut par l'induction admissible sans pertes exagérées dans la denture du circuit magnétique statorique. Reste la densité linéique A . Cette grandeur conditionne directement la réaction d'induit, c'est-à-dire l'action démagnétisante exercée par les courants statoriques lorsque l'alternateur fournit une certaine quantité d'énergie réactive. Il existe une relation précise entre le produit de la densité linéique A par le pas polaire τ_p et les ampères-tours en charge, et ceci en fonction du facteur de puissance et du rapport de court-circuit. En fin de compte la puissance apparente d'une machine synchrone de volume statorique donné ne dépend que des ampères-tours d'excitation en charge que l'on peut loger sur un pôle.

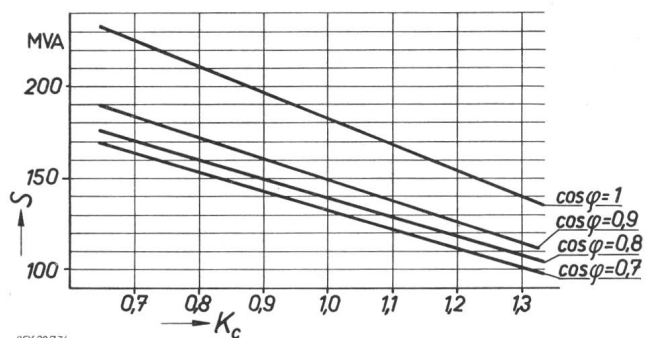


Fig. 7

Puissance apparente-limite S d'alternateurs à 12 pôles en fonction de K_c et du $\cos \varphi$ pour $n_a = 1,8 n_n$

Pour des machines de puissance-limite, le volume maximum de cuivre par unité de longueur peut être déterminé de façon précise compte tenu des possibilités de fixation des pôles. Le respect d'un échauf-

fement fixé par les normes détermine la densité de courant admissible, et nous arrivons à la conclusion que les machines-limites sont caractérisées par un volume de courant d'excitation (AT totaux) maximum bien déterminé. Par exemple, cette valeur est de l'ordre de 55 000 A par pôle pour un alternateur à 500 t./min. Les ampères-tours en charge étant la résultante géométrique des ampères-tours magnétisants et des ampères-tours nécessaires à la compensation de la réaction d'induit, toute diminution du $\cos \varphi$ ou augmentation du rapport de court-circuit entraîne obligatoirement une diminution du coefficient d'utilisation de la machine, c'est-à-dire le choix d'une densité linéique inférieure à la valeur «naturelle». La fig. 7 représente la puissance-limite en MVA que l'on peut tirer d'un alternateur à 12 pôles (500 t./min), en fonction des $\cos \varphi$ et K_c pour $n_a = 1,8 n_n$.

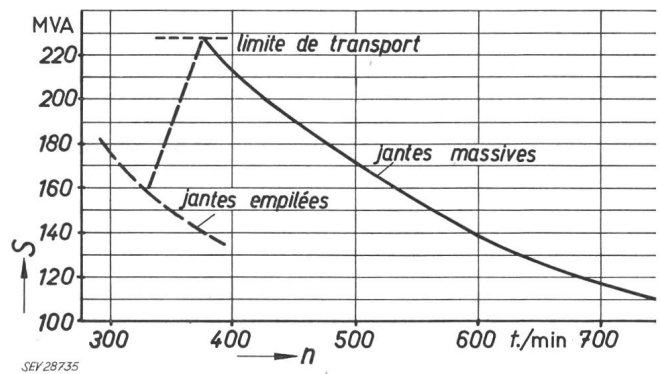


Fig. 8

Puissance apparente-limite S d'alternateurs à jantes en acier forgé en fonction de la fréquence de rotation n , pour $\cos \varphi = 0,9$ et $K_c = 0,8$

La fig. 8 représente les puissances-limites pour des machines à jantes en acier forgé, pour $\cos \varphi = 0,9$ et $K_c = 0,8$, valeurs que l'on peut considérer comme «normales».

7. Conclusion

Par cette étude l'auteur s'est fixé pour but d'attirer l'attention des exploitants sur les conséquences économiques d'un choix trop conventionnel de certains paramètres tels que: $\cos \varphi$ et rapport de court-circuit. Il paraît indispensable de souligner encore une fois le caractère fallacieux du rapport de court-circuit dans le choix duquel interviennent trop souvent des considérations rendues périmées par les performances des régulateurs modernes. La tendance à la réalisation de groupes hydro-électriques de puissance unitaire croissante sera facilitée par un examen serré des conditions réelles d'exploitation (détermination plus précise des besoins en énergie réactive et fourniture de cette énergie par des condensateurs statiques à proximité du consommateur) et par un choix de marges de sécurité raisonnables mais non surabondantes dans la détermination des réactances.

Adresse de l'auteur:

J. Chatelain, professeur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, ingénieur à la S. A. des Ateliers de Sécheron, case postale, Genève 21.