Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 27 (1936)

Heft: 19

Artikel: La conception de moteurs de traction pour courants monophasés à la fréquence des réseaux de distribution de force et de lumière

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057526

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

prix sont très voisins. La zone III est celle des petits appareils thermique. Quant à la zone IV elle englobe les petits moteurs et les lampes qu'il est presque impossible de séparer, vu que les tarifs sont très souvent les mêmes pour les deux applications, et vu également la faible consommation des premiers, incapable par ce fait de modifier sensiblement l'allure de la courbe de l'éclairage.

Nous tenons à exprimer ici nos vifs remerciements à toutes les entreprises qui ont contribué à notre étude en remplissant consciencieusement les questionnaires d'enquête.

La conception de moteurs de traction pour courants monophasés à la fréquence des réseaux de distribution de force et de lumière.

Par *W. Kummer*, Zurich.

621.333.025.1

Après avoir démontré les difficultés du dimensionnement d'un bon moteur de traction à collecteur, alimenté directement par du courant monophasé de 50 pér./s, l'auteur décrit les mesures à prendre afin d'arriver à une solution pratique du problème. Un moteur jumelé de 300 CV, conçu par J. Döry et F. Ettling, et étudié dans tous ses détails, est prêt pour la fabrication immédiate.

Nach einer Erläuterung der grundsätzlichen Schwierigkeiten der Ausbildung von guten Einphasen-Kommutator-Bahnmotoren für 50 Per./s wird gezeigt, dass die Ausführung solcher Motoren doch nicht so aussichtslos ist, wie bisher allgemein angenommen wurde. Im Doppelmotor von J. Döry und F. Ettling für 300 PS Leistung wird das baureife Ausführungsbeispiel eines solchen Bahnmotors vorgeführt.

Jusqu'ici, l'alimentation directe des installations de lignes de contact des chemins de fer électriques à voie normale par du courant alternatif monophasé des réseaux de distribution de force et de lumière n'a donné de bons résultats pratiques qu'en utilisant des locomotives à convertisseur. Pour la fréquence normale de 50 pér./s d'usage courant en Europe, les Chemins de fer hongrois ont appliqué avec succès sur la ligne de Budapest à Hegyeshalom le convertisseur de phase de Kandó. De nos jours, la concurrence du trafic routier pour le transport des personnes et des marchandises oblige les entreprises ferroviaires à introduire des services légers avec horaires plus denses, qui ne peuvent pas être réalisés d'une façon satisfaisante avec les motrices à convertisseur. Les chemins de fer alimentés en courant monophasé fourni par des réseaux de distribution de force et de lumière ont donc grand besoin de pouvoir disposer de moteurs de traction qui puissent être alimentés directement à ces fréquences.

Le but de cet article est de montrer d'une part quelles sont les relations d'ordre général qui servent de base à l'établissement d'un moteur à collecteur de ce genre, et de mentionner d'autre part un projet d'un tel moteur étudié dans tous ses détails et prêt pour la fabrication immédiate [1]).

1° Les données fondamentales.

La compensation du champ rotorique, le champ de commutation à phase décalée et le choix de basses fréquences, surtout celle de $16^2/_3$ pér./s, ont permis d'utiliser avec succès le moteur à collecteur pour les services de traction à courant monophasé. Si l'emploi de ces moteurs est actuellement considéré avec un grand intérêt pour le courant monophasé à 50 pér./s, cela ne tient pas à une invention sensationnelle dans ce domaine, mais bien à un emploi judicieux des connaissances et des expériences déjà acquises et à une mise au point spéciale de la commande individuelle des essieux, qui a évidemment nécessité un esprit inventif. D'une façon générale, le problème se présente comme suit:

Le couple des machines électriques à la puissance nominale est défini par le produit $C \cdot L \cdot D^2$, où C est une constante de dimensionnement, L la longueur axiale du fer rotorique et D le diamètre du rotor; la grandeur C renferme comme facteurs dimensionnels la charge linéaire du courant rotorique et l'induction magnétique. Quand il s'est agit de dimensionner les moteurs de traction monophasés à $16^2/_3$ pér./s, la grandeur C fut sensiblement réduite par rapport à sa valeur habituelle pour d'autres machines électriques ayant le même couple nominal, ceci en réduisant l'induction magnétique dans le but d'obtenir une commutation pratiquement exempte d'étincelles au démarrage. On obtint ce résultat en réduisant la tension de transformation, c'est-à-dire le produit de la fréquence, de la surface polaire et de l'induction magnétique. Pour passer au courant monophasé de 50 pér./s, on pourrait ainsi maintenir la tension de transformation à une valeur constante en réduisant encore l'induction magnétique d'environ 67 %. Ainsi, sans une modification des dimensions du rotor, le couple nominal diminuerait d'autant, pour un poids donné du moteur. Or, une mesure de ce genre est inadmissible, d'autant plus que la très forte réduction de l'induction magnétique est déjà très désavantageuse pour les conditions de démarrage. On obtient cependant des bases de construction admissibles pour 50 pér./s, si l'on conserve pour les moteurs à 50 pér./s l'induction magnétique choisie pour $16^2/_3$ pér./s, tandis que l'on réduit la surface des pôles en réduisant en

[1]) Un essai de traction avec locomotives lourdes à grande puissance alimentées directement à 50 pér./s, et équipées de moteurs à collecteur, vient d'être tenté sur la ligne du Höllental et de Dreiseen dans la Forêt Noire, avec une locomotive d'essai des Siemens-Schuckertwerke; ce service d'essai des Chemins de fer allemands sera également assuré par des locomotives munies de redresseurs (systèmes AEG et BBC) et par une locomotive avec conversion partielle (système Krupp).

particulier la longueur L du rotor, de sorte que la tension de transformation pour $16^2/_3$ pér./s soit la même pour 50 pér./s. La réduction de L conduit naturellement à une réduction proportionnelle du couple nominal et ainsi à une réduction du poids du moteur; cette réduction est toutefois sensiblement moins proportionnelle à celle de la réduction de L, bien qu'assez notable pour que la disposition imaginée soit intéressante. En principe, la réduction de la dimension L d'un moteur pour 50 pér./s par rapport au moteur de même diamètre de rotor pour $16^2/_3$ pér./s fait que le premier est d'un type à moins grande vitesse, tant que celle-ci est caractérisée par le rapport $\frac{L}{D}$. Cependant, une fréquence f plus élevée rend désirable un nombre de tours n plus élevé également, c'est-à-dire une vitesse spécifique plus grande. D'une part, on obtient un facteur de puissance favorable en choisissant des valeurs aussi élevées que possible pour le degré δ de l'hyper-synchronisme:

$$\delta = \frac{p \cdot n}{f},$$

où un nombre élevé de paires de pôles p agit dans un sens favorable, de même qu'un nombre de tours élevé n. D'autre part, on peut également réaliser un accroissement du couple des essieux-moteurs, dans le cas de moteurs de traction avec trains d'engrenages, par une augmentation de n et du rapport de transmission entre arbre du moteur et essieu-moteur. Le moteur de traction pour 50 pér./s doit donc, malgré tout, posséder une vitesse de rotation supérieure à celle du moteur pour $16^2/_3$ pér./s, bien que le rapport réduit $\frac{L}{D}$ soit théoriquement un obstacle. La limite d'accroissement de n est déterminée par la résistance du rotor à la force centrifuge. Quant aux accroissements du nombre de pôles et du rapport de transmission des engrenages, qui pourraient éventuellement entrer en ligne de compte, leurs limites sont les suivantes: La limite d'accroissement du nombre de pôles, qui est également favorable à la consommation d'énergie déwattée lors du démarrage, est déterminée par l'obligation de tenir compte du collecteur et des enroulements; quant à la limite d'accroissement du rapport de transmission, elle dépend du fonctionnement des engrenages. Enfin, la réduction de la longueur L du rotor des moteurs pour 50 pér./s est tout appropriée à l'établissement de moteurs jumelés pour la commande individuelle des essieux. Des explications détaillées sont données au chapitre suivant pour une disposition de ce genre, qui fait part de la série des moteurs à suspension par le nez [2]).

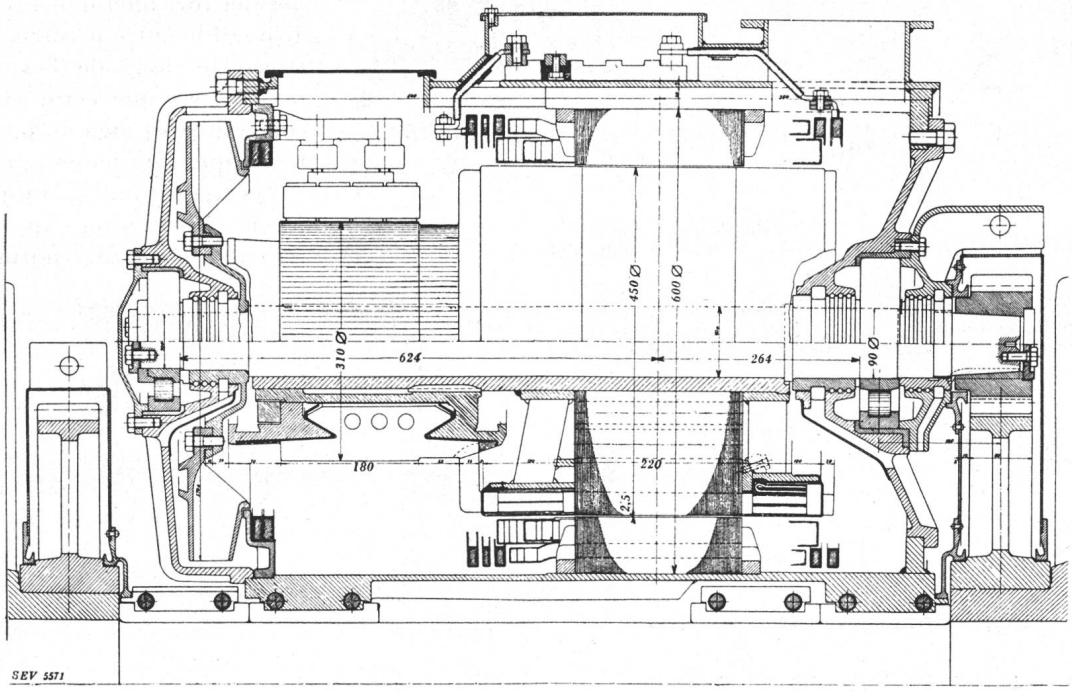


Fig. 1.
Coupe longitudinale du moteur individuel.

En résumé, les considérations ci-dessus permettent de constater qu'il est possible de construire pratiquement des moteurs de traction pour courant monophasé à 50 pér./s, tout en laissant une grande latitude aux constructeurs.

---

[2]) La locomotive d'essai des SSW mentionnée à la note [1]) est également munie de moteurs jumelés pour chaque essieu-moteur, soit au total 3000 CV environ pour les 4 essieux. L'emploi de moteurs jumelés pour chaque essieu-moteur est fort naturel, car leur couplage électrique en série compense en partie le désavantage d'une faible tension rotorique, qui résulte du flux polaire magnétique qui doit être nécessairement maintenu à une faible valeur pour des raisons de commutation, dans le cas de 50 pér./s.

2⁰ Le moteur Döry-Ettling à suspension par le nez.

Iwan Döry et Fritz Ettling ont soumis à notre expertise leurs calculs et leurs dessins de construction nous en reproduisons, avec l'autorisation des auteurs, les coupes et les dessins de montage (fig. 1, 2 et 3), afin d'attirer l'attention des spécialistes sur cette solution nouvelle et remarquable. Il s'agit d'un moteur jumelé à suspension par le nez, destiné à être monté sur un essieu-moteur d'un véhicule-moteur. Tandis que, pour les véhicules-moteurs à courant monophasé à 16²/₃ pér./s, on monte normalement un seul moteur de 300 CV par essieu-moteur, la nouvelle disposition pour 50 pér./s prévoit deux moteurs jumelés, de 150 CV chacun, par essieu-moteur. La réduction de la longueur axiale du fer du rotor permet fort bien d'utiliser la place disponible entre les deux roues motrices le long de l'essieu. Nous montrerons que cette solution est correcte aussi bien au point de vue technique qu'économique.

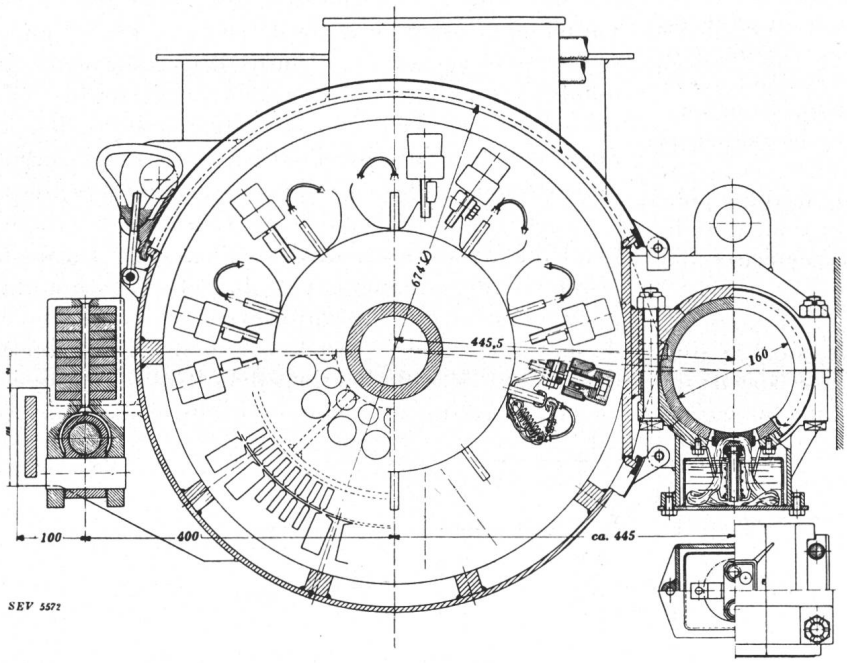
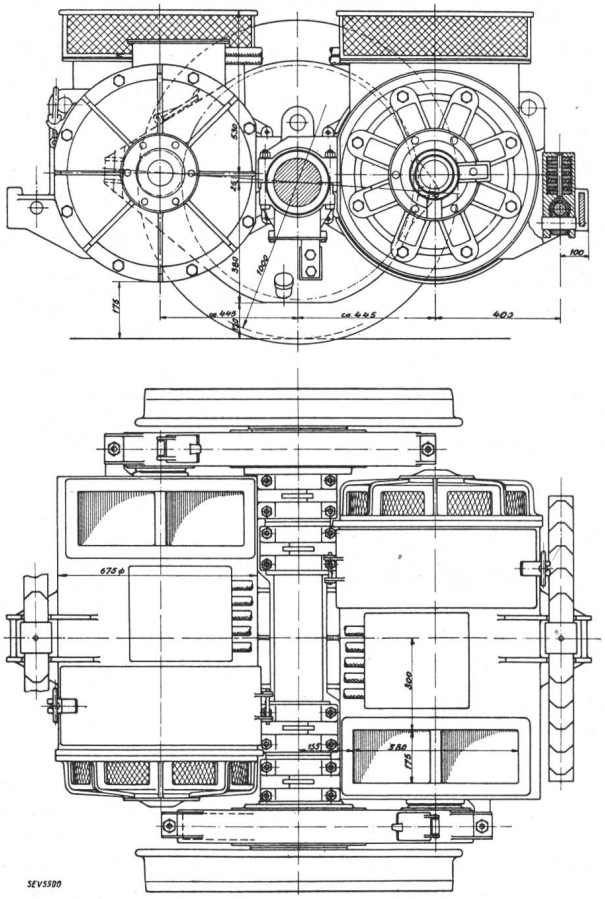


Fig. 2.
Coupe transversale du moteur individuel.

Les figures indiquent que le projet de construction s'applique à un essieu pour voie normale avec



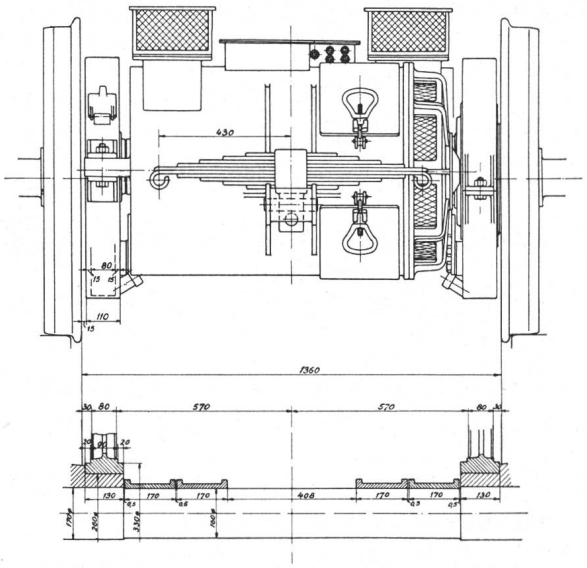


Fig. 3.
Dessins de montage du moteur jumelé dans les 3 projections.

Rapport de transmission	4,48 : 1
Ecartement des essieux	445,5 mm
Nombre de dents	82/17
Diamètre des roues motrices	1000 mm

détaillés d'un moteur jumelé de 300 CV pour 50 pér./s, 280 V et 1020 A. Après avoir constaté que cette nouvelle construction est correcte et utilisable, roues de 1000 mm de diamètre de roulement. Le rotor de chacun des deux moteurs a un diamètre de 450 mm et une longueur axiale de 220 mm; les deux moteurs, dont la longueur axiale totale du fer rotorique est de 440 mm, fournissent un couple nominal de 111 kgm. A titre de comparaison, mentionnons qu'un moteur de traction normal pour 16²/₃

pér./s fournit ce couple avec un rotor de même diamètre, mais d'une longueur de fer de 300 mm, la constante C étant ainsi de 32 % plus favorable, ce qui est dû uniquement au fait qu'il s'agit d'un modèle plus grand, car les valeurs numériques de la charge linéaire du courant rotorique et de l'induction magnétique à 50 et à $16^2/_3$ pér./s peuvent rester en principe à peu près les mêmes pour des modèles de même grandeur. Dans la comparaison qui nous intéresse, il s'agit toutefois pour $16^2/_3$ pér./s d'un modèle pour 111 kgm et, pour 50 pér./s, d'un modèle pour 55,5 kgm seulement. En ce qui concerne les poids des moteurs, on doit constater que, selon les calculs, le moteur jumelé projeté pour 50 pér./s atteint un poids d'environ 2720 kg, y compris les pignons, les boîtiers et les paliers de support sur l'essieu, c'est-à-dire 24,5 kg/kgm, tandis qu'un moteur normal avec le même équipement pour $16^2/_3$ pér./s n'atteint qu'environ 15,0 kg/kgm. Par rapport à la puissance, le moteur jumelé pour 50 pér./s sera moins défavorable, car il doit être dimensionné pour des vitesses beaucoup plus élevées. La vitesse nominale de 1930 t/min prévue dans le projet pour 300 CV correspond à 9,1 kg/CV par rapport à 7,8 kg/CV pour un moteur normal de 300 CV à $16^2/_3$ pér./s.

Les données électriques proprement-dites du moteur jumelé pour 50 pér./s sont également basées sur le fait qu'il s'agit de deux moteurs individuels à 10 pôles, dont les rotors possèdent chacun un enroulement bouclé à 10 circuits et un flux polaire de 1,04 million de maxwells au couple nominal. L'exigence fondamentale pour un démarrage pratiquement exempt d'étincelles est réalisée ainsi par la faible tension de transformation de 2,3 V seulement. Pour 45 conducteurs rotoriques en série, la force électromotrice du moteur atteint environ 108 V, ce qui correspond à la puissance individuelle de 110 kW = 150 CV pour l'intensité nominale de 1020 A. La tension appliquée aux bornes du groupe des deux moteurs individuels couplés en permanence en série est de $2 \times 140 = 280$ V. L'enroulement rotorique est logé dans 75 encoches demi-fermées. L'enroulement statorique comporte un enroulement d'excitation à 10 circuits parallèles avec 18 conducteurs en série, un enroulement de compensation à 5 circuits parallèles avec 24 conducteurs en série et un enroulement de commutation à 10 circuits parallèles avec 28 conducteurs en série. Le collecteur de 310 mm de diamètre comporte 225 lames. L'entrefer est de 2,5 mm.

Voici maintenant quelques indications sur le facteur de puissance et le rendement du moteur jumelé pour 50 pér./s. Dans son travail sur les moteurs monophasés de traction, publié en 1919 dans la «Collection Vieweg», volume 44, J. Döry a traité avec une grande clarté le calcul préalable du facteur de puissance. D'après les formules et les chiffres mentionnés dans ce travail, les moteurs du projet en question possèdent déjà à la vitesse synchrone de 600 t/min un facteur de puissance d'environ 0,8; à la vitesse nominale, ce facteur n'est que de quelques pourcents inférieur à 1. En ce qui concerne le facteur de puissance, le moteur jumelé pour 50 pér./s n'est donc pas inférieur à un moteur normal pour $16^2/_3$ pér./s. Par contre, le rendement du moteur normal pour $16^2/_3$ pér./s est de 1 à 2 % plus élevé.

Pour l'équipement électrique de véhicules-moteurs alimentés par courant monophasé, il y a lieu de tenir compte non seulement du poids des moteurs, mais également du poids du transformateur qui est très important. Pour 50 pér./s, le poids des moteurs augmente par rapport à la fréquence $16^2/_3$ pér./s; par contre le poids du transformateur tombe. Ainsi, pour les puissances de 300 CV par essieu-moteur de l'exemple en question, la réduction de poids, que subit le transformateur, suffit pour compenser le supplément de poids des moteurs pour 50 pér./s par rapport à la fréquence de $16^2/_3$ pér./s. Ce résultat important pour la pratique est sans doute valable aussi pour un certain nombre d'autres puissances d'essieux-moteurs, pour lesquelles les dispositions à $16^2/_3$ pér./s, et à 50 pér./s, étudiées pour 300 CV, peuvent se concurrencer. En tout cas, la disposition prévue pour une puissance de 300 CV peut être considérée comme parfaitement justifiée aussi bien au point de vue technique qu'économique.

Les exploitations de chemins de fer que l'on désire alimenter par un courant monophasé pris directement des réseaux de distribution de force et de lumière à fréquence normale, ont donc maintenant une bien plus grande raison d'être qu'autrefois, puisqu'elles pourront disposer dorénavant de moteurs de traction à collecteur d'un fonctionnement parfait pour 50 pér./s [3]). Si l'on considère que l'électrification des grandes lignes de chemins de fer de notre globe est encore relativement bien peu développée, on peut donc s'attendre à un sensible développement des exploitations ferroviaires alimentées par du courant monophasé à 50 pér./s.

---

[3]) Il va de soi que les exécutions de ces moteurs ne se bornent pas uniquement au type à suspension par le nez qui vient d'être décrit, mais également à d'autres types, les principes restant les mêmes.