Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 86 (1995)

Heft: 2

Artikel: Alternateurs pour la plus grande central hydroélectrique à haute pression du monde

Autor: Howald, Walther / Stöckli, Franz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902416

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: 09.12.2025

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

Le barrage du Val des Dix dans le canton du Valais, Suisse, permet d'accumuler 400 millions de mètres cubes d'eau. Afin de pouvoir fournir davantage d'énergie de haute valeur pour la couverture des charges de pointe en hiver, l'installation hydroélectrique de la Grande Dixence S.A. est actuellement agrandie par la centrale-caverne de Bieudron. ABB fournit à cet effet trois alternateurs synchrones de 465 MVA entraînés par des turbines Pelton. Avec leurs 33,2 MVA par pôle, il s'agira des alternateurs à entraînement hydraulique de haute vitesse les plus grands du monde.

Alternateurs pour la plus grande centrale hydroélectrique à haute pression du monde

■ Walther Howald, Franz Stöckli

Avec sa hauteur de 285 m, le barrage de la Grande Dixence, construit pendant les années 1955 à 1961, est le plus haut du monde (figure 1). En amont de celui-ci, 400 millions de mètres cubes d'eau ou 20% de toute l'énergie hydraulique accumulée de la Suisse, attendent de pouvoir être transformés en courant électrique dans les deux centrales de Fionnay (6 × 60 MVA) et de Nendaz (6 × 80 MVA). Cette puissance disponible à Fionnay et à Nendaz n'atteint pourtant qu'environ 8% de la puissance totale des centrales de la Suisse. Les réserves d'énergie de la Grande Dixence ne sont donc pas utilisées optimalement.

Déjà au milieu des années 70, la *S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse* (EOS) et la *Grande Dixence S.A.* ont recherché des solutions pour utiliser plus économiquement l'eau accumulée et pour mettre à disposition davantage d'énergie de pointe de haute valeur, spécialement en hiver. Le projet Bieudron est alors issu d'un grand nombre de variantes.

Dans la nouvelle centrale de Bieudron à construire (figure 2, tableau 1), l'eau sera utilisée dans un seul étage compris entre le barrage de la Grande Dixence et le Rhône, en complément et parallèlement aux cen-

Figure 1 Le barrage de la Grande Dixence/VS (photo Germond).

Adresse des auteurs:
Walther Howald, Franz Stöckli,
ABB Production d'énergie S.A., case postale,
5442 Birr/Suisse.

Données de l'installation	
Hauteur de chute brute maximale	1883 m
Débit d'eau nominal total	75 m^3/s
Puissance maximale de l'installation	1180 MW
Durée des travaux	6 ans
Coût de l'installation	env. 1 milliard de francs suisses

Données techniques

- 3 vannes sphériques comme organes de fermeture (diamètre 1,4 m, poids 120 t)
- 3 turbines Pelton à 5 buses d'une puissance nominale de 420 MW (diamètre 4,65 m, poids 28 t, vitesse de l'eau à la sortie des jets 690 km/h)
- 3 alternateurs synchrones triphasés, puissance nominale 465 MVA à 428,6 min^{-1}, entièrement refroidis à l'eau (poids total 800 t par unité)
- 3 transformateurs de bloc triphasés d'une puissance nominale de 465 MVA

Tableau 1 Données principales de la nouvelle centrale hydroélectrique de Bieudron.

trales existantes de Fionnay et de Nendaz. Les travaux de construction, qui ont débuté à la fin de 1992, comprennent une galerie d'amenée de 15,85 km et un puits blindé de 4,23 km, ainsi que la centrale, elle aussi, souterraine. La mise en service est prévue pour l'année 1998.

La nouvelle centrale-caverne de Bieudron est un des ouvrages mondiaux exceptionnels:

- par la plus grande chute du monde de 1883 m
- par les turbines Pelton de 420 MW les plus puissantes du monde
- par les alternateurs à haute vitesse de 33,2 MVA par pôle les plus grands du monde

Les alternateurs hydroélectriques de 465 MVA à haute vitesse

Les alternateurs sont construits sous forme de machines synchrones à axe vertical pour la production d'énergie de pointe. Leurs principales données techniques sont rendues dans le tableau 2.

Les turbines Pelton à cinq jets entraîneront les alternateurs. L'utilisation de seulement deux ou trois jets voisins n'est pas permise.

Les alternateurs et les transformateurs sont couplés en bloc et travailleront par le poste de couplage de Chamoson sur le réseau de 220/380 kV du canton du Valais.

Etant donné que les alternateurs sont installés dans une caverne (figure 3), leur volume de construction influence fortement les coûts. Un petit volume des machines est donc très important. De petites dimensions peuvent s'obtenir par un refroidissement entièrement à eau et par une hauteur aussi faible que possible des machines.

Jusqu'ici, les machines de cette classe de puissance (> 300 MVA) ont été construites sous forme de groupe à trois paliers. Vu que le poids des masses en rotation (rotor de l'alternateur, roue de la turbine Pelton et arbre de la turbine) ne dépasse pas 600 t, le palier pivot au-dessus du stator de l'alternateur est normalement construit sous forme de palier pivot et guide combiné. Le palier-guide inférieur se trouve sous le rotor de l'alternateur. Un arbre intermédiaire avec la roue de la turbine y fait suite, avec le troisième palier immédiatement en dessus.

Par cette disposition, on peut en général respecter la condition que la vitesse critique de flexion se trouve en dessus de la vitesse d'emballement. Des études approfondies ont permis d'élucider les conditions qui se présentent sur les machines synchrones à haute vitesse de 465 MVA en question.

Dimensionnement et concept mécanique des machines synchrones pour des puissances jusqu'à 500 MVA

La machine synchrone (figure 4) est équipée de deux paliers: au-dessus du rotor avec un palier pivot et guide combiné, et sous le rotor avec un palier-guide. L'accouplement de l'arbre de l'alternateur et de la turbine Pelton se trouve immédiatement en dessous de ce dernier.

Stator

Pour des raisons de transport, la carcasse du stator avec les colonnes à ressorts obliques est construite en plusieurs parties qui sont soudées dans l'installation même. On procède ensuite au montage du corps des tôles magnétiques, à savoir en forme d'anneaux et sans séparations, de manière à obtenir la plus grande stabilité possible.

L'enroulement statorique est isolé avec du Micadur et monté dans la centrale. Le refroidissement s'effectue par de l'eau circulant dans des conducteurs creux logés dans les barres statoriques. Des procédés développés pour les grands turbo-alternateurs [1] ont fourni la base de la conception et de la fabrication de cet enroulement refroidi directement à l'eau.

Rotor

La sollicitation des matériaux lors de l'emballement de l'alternateur et le comportement de la ligne d'arbres en cas de dérangements tels que des courts-circuits aux bornes, des courts-circuits à la terre doubles sur la roue polaire ou des erreurs de synchronisation, requièrent une grande rigidité en flexion du train d'arbres. Le rotor ne doit en aucun cas toucher le stator. Cette grande rigidité en flexion a été obtenue par l'exécution du rotor en trois parties, c'est-à-dire avec un corps central et deux bouts d'arbres bridés.

Trois bagues en acier forgé sont clavetées sur le corps central. Les 14 pôles sont ancrés sur ces bagues à l'aide de rainures à crabots. Les bobines polaires sont formées de profilés creux en cuivre refroidis en exploitation directement avec de l'eau pure.

Logement

Une condition préalable importante pour un comportement de marche impeccable dans toute la gamme d'exploitation et des vitesses réside dans une suspension stable du groupe. Avec le croisillon à bras obliques breveté, le jeu du palier peut être maintenu constant entre l'état froid jusqu'à celui de la température de service, malgré un allongement des bras du croisillon dû à la température. Par cette méthode, on n'a pas de forces de pression supplémentaires sur la fondation par suite de causes thermiques. Par le dimensionnement adéquat de la section des bras, l'étoile de palier à bras obliques (figure 5) obtient la rigidité nécessaire. La jonction avec la fondation est réalisée de telle manière que les réchauffements dus à l'exploitation, qui provoquent une modification de longueur du stator, n'influencent pas la rigidité du logement.

Refroidissement

L'alternateur est complètement fermé. Les enroulements du stator et du rotor sont refroidis directement avec de l'eau déionisée. Un second circuit de refroidissement avec de l'eau fraîche non traitée sert au refroidissement de la partie extérieure du paquet des tôles statoriques. Pour l'élimination des pertes de ventilation du rotor et des pertes supplémentaires qui se produisent sur la surface des pôles, un groupe de ventilateurs à moteurs refoule l'air de refroidissement requis à travers l'alternateur. Cet air est refroidi dans un échangeur de chaleur eau/air se trouvant dans le circuit fermé.

Examen des cas de sollicitations critiques

Les cas de sollicitations critiques ont été examinés par différentes études:

Vitesse de rotation critique en flexion

Comme mentionné, le groupe d'alternateur et de turbine est construit avec deux paliers. La faisabilité de cette solution a dû être confirmée. Dans l'exécution à trois paliers, le palier-guide inférieur peut être placé plus près de l'alternateur, de sorte qu'il en résulte une distance plus courte entre les paliers et une vitesse critique en flexion plus élevée. Pour des raisons physiques, il n'est pourtant pas possible de choisir la rigidité du rotor et des paliers de manière si élevée que la vitesse critique se trouve au-dessus de la vitesse d'emballement. Ce faisant, la position de la vitesse critique en flexion doit être fixée de façon à ce qu'elle se trouve en toute sûreté au-dessus de la vitesse de déclenchement maximale.

A la suite de mesures effectuées sur des machines livrées, on dispose de bonnes bases au sujet de la rigidité des différents éléments de la construction. A l'aide de ces mesures sur des machines de grandeur maximale, on a pu vérifier et affiner les programmes de calcul, de sorte que la vitesse critique en flexion a pu être déterminée selon la figure 6. Ce faisant, on a bien entendu aussi tenu compte de toutes les influences annexes importantes, telles que la masse du stator, le film et la température du film d'huile, la rigidité des paliers et de la fondation. La figure 7 montre le modèle physique.

Puissance nominale	465 MVA
Puissance par pôle	33,2 MVA
Surcharge permanente	500 MVA
Tension nominale	21 kV ± 10%
Courant nominal	12 784 A
Facteur de puissance	0,9/0,84
Fréquence	50 Hz ± 2%
Vitesse nominale	428,6 min^{-1}
Vitesse d'emballement	800 min^{-1}
Moment d'inertie	1500 tm^2
Forme de construction	IM 8415
Poids du stator	281 t
Poids du rotor	454 t
Force axiale sur le palier pivot	5198 kN
Machine d'entraînement	turbine Pelton
Système de refroidissement:	
Enroulement statorique	eau pure
Paquet des tôles statoriques	eau brute
Enroulement rotorique	eau pure

Tableau 2 Données techniques des alternateurs hydroélectriques.

Forces agissant sur la fondation

Les forces agissant sur la fondation résultent du poids propre du groupe, de l'échauffement en exploitation, du couple, ainsi que des forces et des couples en cas de dérangement.

En exploitation normale, l'alternateur de l'installation de Bieudron ne fournit que de petites forces dynamiques par le balourd résiduel et la traction magnétique unilatérale éventuelle. Toutes les autres forces d'exploitation sont constantes ou quasi constantes. De grandes forces dynamiques ne se produisent qu'en cas de dérangement.

Par la disposition oblique du croisillon palier et du piétement de la carcasse du stator, des différences de température entre le palier et la fondation ne provoquent que de petites forces. En outre, par le dimensionnement correct des pieds obliques du stator, on peut placer la fréquence de rotation propre du stator à une valeur précise, de telle sorte que les couples perturbateurs de courts-circuits et de défauts de synchronisation soient suffisamment réduits [2].

Les forces émanant des pieds du stator et du palier inférieur sont menées directement sur la construction métallique de la fondation de la turbine. Seule une partie doit être absorbée par la construction.

Forces perturbatrices tournantes

Les balourds se manifestent par des forces perturbatrices tournantes et sont transmis sur la fondation par les paliers. Ces forces s'accroissent avec le carré de la vitesse. Les plus grandes forces d'excitation se produisent à la vitesse d'emballement. Elles ne sont pourtant pas fortement renforcées lorsqu'on traverse la vitesse critique en flexion. Lors de la montée en vitesse de l'alternateur, cette zone est franchie très rapidement, si bien qu'aucune résonance ne peut se produire. Lors du ralentissement, ce franchissement s'effectue un peu plus lentement, de sorte que l'alternateur tourne pendant un temps prolongé dans la zone de résonance. Il est donc important que le balourd soit maintenu aussi petit que possible et que les paliers de la machine soient adaptés à ces conditions.

En cas de court-circuit à la terre de l'enroulement polaire, aucune force agissant sur la fondation ne se produit. Si par contre deux courts-circuits à la terre décalés de 180° se produisent en même temps sur la roue polaire, on parle de courts-circuits à la terre doubles sur la roue polaire. De grandes forces magnétiques se présentent alors entre le stator et le rotor. Les forces du rotor sont transmises à la fondation par les paliers, celles du stator par les pieds de celui-ci. Vu que le système de protection saisit les courts-circuits de la roue polaire, les courts-circuits doubles sur celle-ci sont très peu probables.

Couples perturbateurs

Les couples perturbateurs peuvent se produire par des courts-circuits aux bornes du stator et par des erreurs de synchronisation. Dans les deux cas, ces couples contiennent des composantes sinusoïdales de différentes fréquences qui s'atténuent au cours du temps. Les couples perturbateurs agissent entre le rotor et le stator. Dans le rotor, ils provoquent une oscillation en torsion et des couples pulsants. Ceux-ci sont pris en compte lors du dimensionnement de la ligne d'arbres et des accouplements.

La transmission des couples du stator sur la fondation dépend du rapport entre la fréquence perturbatrice et la fréquence propre du stator. Avec le ressort à lames obliques développé par ABB, le pied du stator peut être dimensionné optimalement comme élément de jonction entre le stator et la fondation, ce qui se manifeste par une réduction des forces à transmettre sur celle-ci.

L'erreur de synchronisation (si on considère le cas le plus défavorable) provoque les forces les plus élevées qui agissent sur la fondation. Par la conception adéquate de la construction en acier, ces forces peuvent également être absorbées sans endommagement de la partie mécanique de l'installation.

La figure 8 montre une vue d'ensemble des forces qui se produisent par les différents cas de dérangements.

La sécurité d'exploitation est assurée

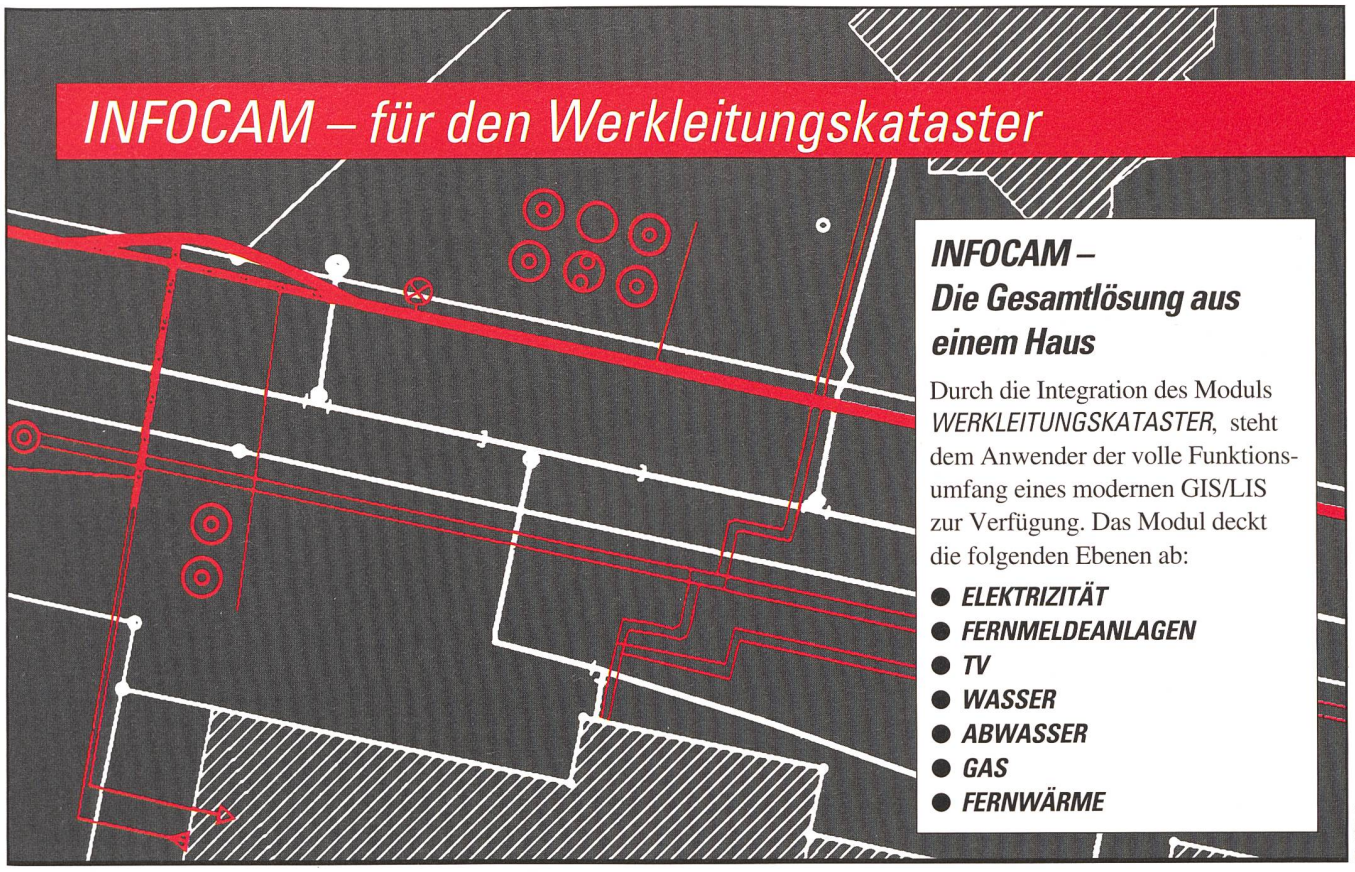
Des études approfondies ont abouti au concept définitif de la construction de ces alternateurs de grandeur maximale. On a pu constater qu'il est possible de construire ces grands groupes de machines en exécution à deux paliers. Une contribution importante a été fournie par des mesures et les données émanant des expériences d'exploitation acquises sur des installations analogues. Grâce aux quelque dix années d'expérience acquise avec le concept des bras et des ressorts obliques, la sécurité d'exploitation de ces machines entièrement refroidies à l'eau peut être garantie.

Bibliographie

[1] Generatoren für grosse Dampfkraftwerke. Imprimé ABB CH-T 070 022 D.

[2] *Kellenberger, W.*: L'angle optimal d'appui d'alternateurs hydrauliques à axe vertical avec bras ou ressorts à lames obliques. Revue Brown Boveri 67 (1980) 2, 108–116.

INFOCAM – für den Werkleitungskataster



INFOCAM – Die Gesamtlösung aus einem Haus

Durch die Integration des Moduls *WERKLEITUNGSKATASTER*, steht dem Anwender der volle Funktionsumfang eines modernen GIS/LIS zur Verfügung. Das Modul deckt die folgenden Ebenen ab:

- *ELEKTRIZITÄT*
- *FERNMELDEANLAGEN*
- *TV*
- *WASSER*
- *ABWASSER*
- *GAS*
- *FERNWÄRME*

P 8/2-d

Leica AG
Verkaufsgesellschaft

Kanalstrasse 21, 8152 Glattbrugg, Tel. 01/ 809 33 11, Fax 01/ 810 79 37
Rue de Lausanne 60, 1020 Renens, Tel. 021/ 635 35 53, Fax 021/ 634 91 55

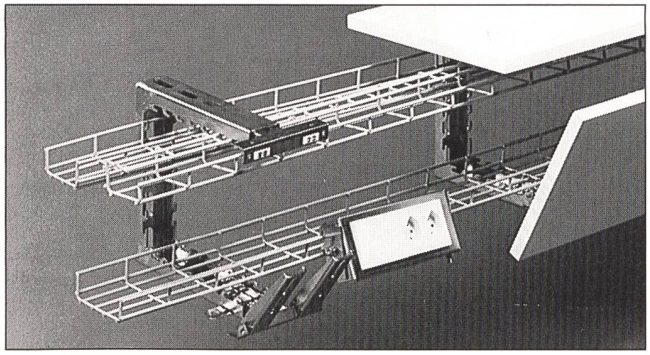
Leica

Das neue RADOX-Kabel XX-plus funktioniert im Brandfall* mindestens 90 Minuten!

Weitere Eigenschaften: halogenfrei, keine Brandweiterleitung, minimale Rauchentwicklung, frei von korrosiven Gasen und bis zu 40% reduzierter Kabeldurchmesser. RADOX XX-plus-Kabel sind äusserst preisgünstig und ab Lager lieferbar.

*(Test IEC 331)

HUBER+SUHNER AG
Geschäftsbereich Energie- und Signalübertragung
CH-9100 Herisau
Tel. 071 53 41 11, Fax 071 53 44 44
CH-8330 Pfäffikon/ZH
Tel. 01 952 22 11, Fax 01 952 24 24



NOUVEAU Canaux d'allèges LANZ

Les nouveaux canaux d'allèges astucieux de LANZ (brev. dép.) aux multiples avantages:

- **différentes dimensions dès 150×200 mm. Prises de courant invisibles à l'intérieur**
- **problèmes d'accessibilité et de séparation parfaitement résolus**
- **revêtement avec le matériel de votre choix, pour un design parfait**

Constatez par vous-même combien la planification et l'installation avec les canaux d'allèges LANZ sont meilleures et plus simples. Téléphonez-nous:
lanz oensingen 062/78 21 21 fax 062/76 31 79

☐ **Les canaux d'allèges de LANZ** m'intéressent. Veuillez me faire parvenir votre documentation.

☐ **Pourriez-vous me/nous rendre visite, avec préavis s.v.p.?**

Nom/adresse: _____

bk

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen · téléphone 062 78 21 21

Rundsteuersysteme sind unsere Spezialität.
Mit bald 50 Jahren Erfahrung gehören wir
weltweit zu den drei grössten Herstellern
in diesem Bereich.

Dank dem Know-how von Enermet auf dem Gebiet der
Energieerfassung und Zweiweg-Kommunikation
ermöglicht dies zusammen mit der Zellweger-Rundsteuerung
zukunftsweisende Entwicklungen
für ein umfassendes und
systemorientiertes
Energie-Management.

ENERMET

ENERMET-ZELLWEGER ENERGIETECHNIK AG
UNDERMÜLISTRASSE 28 ■ 8320 FEHRALTORF ■ TELEFON 01 954 81 11 ■ TELEFAX 01 954 82 01