

Les alternateurs de la centrale hydraulique haute pression Bieudron

Le barrage du Val-des-Dix en Suisse permet d'accumuler 400 millions de mètres cubes d'eau. Pour utiliser cette réserve d'énergie optimalement, Grande Dixence SA a complété ses installations hydroélectriques existantes par la centrale-caverne de Bieudron. A cet effet, ABB a fourni trois alternateurs synchrones de 465 MVA entraînés par des turbines Pelton. Avec leurs 33,2 MVA par pôle et une vitesse nominale de 428,6 min⁻¹, il s'agit des alternateurs à entraînement hydraulique haute vitesse les plus grands du monde. Ils sont complètement refroidis à l'eau et ne possèdent que deux paliers.

La nouvelle centrale-caverne Bieudron est une installation des records mondiaux. Il suffit de mentionner:

- la plus grande chute du monde de 1883 m,
- par leurs 423 MW, les turbines Pelton les plus puissantes du monde,
- par les alternateurs de 33,2 MVA par pôle, les alternateurs haute vitesse les plus grands du monde.

Les principales caractéristiques de cette centrale hydraulique haute pression sont rendues dans le *tableau 1*.

Par cette centrale, l'exploitant, la société Grande Dixence SA, veut optimiser l'utilisation de ses précieuses réserves d'énergie qui reposent sous forme de 400 millions de m³ d'eau accumulés derrière le barrage haut de 285 m de la Grande Dixence. En particulier en hiver, il s'agit de tirer profit d'une plus grande partie d'énergie de pointe de haute valeur. L'installation sera mise en service en automne 1998.

ABB a livré les trois alternateurs synchrones. Ceux-ci sont conçus pour la fourniture d'énergie de pointe et sont entraînés avec une puissance de 423 MW par des turbines Pelton à cinq jets. Ces alternateurs triphasés verticaux ont une puissance de 465 MVA à la vitesse nominale de 428,6 min⁻¹ et un poids unitaire de 800 t. Les stators et rotors sont complètement re-

fridis à l'eau. Leurs caractéristiques techniques sont résumées dans le *tableau 2*.

Caractéristiques principales de la construction

La construction choisie est fondée sur des mesures effectuées sur des alternateurs analogues et sur les expériences d'exploitation acquises par ceux-ci.

Des études approfondies du concept de construction ont montré qu'il est possible de réaliser les groupes constitués d'une turbine et d'un alternateur avec seulement deux paliers.

Un palier guide et pivot combiné faisant partie de la livraison d'ABB Suisse se trouve au-dessus du stator et un palier uniquement guide en dessous de celui-ci. Ce second palier a été livré avec l'extrémité inférieure de l'arbre et la turbine **1**.

Le palier pivot est dimensionné pour supporter la charge de tous les composants tournants, c'est-à-dire environ 530 t. Il est conçu sous forme de paliers à seg-

ments pivotants (type Kingsbury), avec une surface de glissement en métal antifriction. Les différents segments du palier sont portés par des plaques de support individuelles à appui central. La charge de chaque segment est mesurable et réglable individuellement. Le palier guide supérieur est disposé sur le bord supérieur du palier pivot. Il s'agit d'un palier à segments pivotants autopompants qui aspire l'huile de lubrification du palier supérieur combiné à travers un refroidisseur huile/eau se trouvant en dehors de la fosse de l'alternateur.

L'accouplement entre l'arbre de l'alternateur et celui de la turbine se trouve immédiatement en au-dessus du palier guide inférieur.

A cause des grandes dimensions et des poids considérables, les alternateurs n'ont pu ni être assemblés en usine, ni transportés sous forme de composants assemblés pour leur montage dans la centrale. Les machines ont dû être complètement assemblées au lieu de destination. Vu que l'espace d'entreposage dans la caverne est limité, une planification approfondie du transport et du montage a été nécessaire pour assurer un déroulement sans accroc de l'opération **2**.

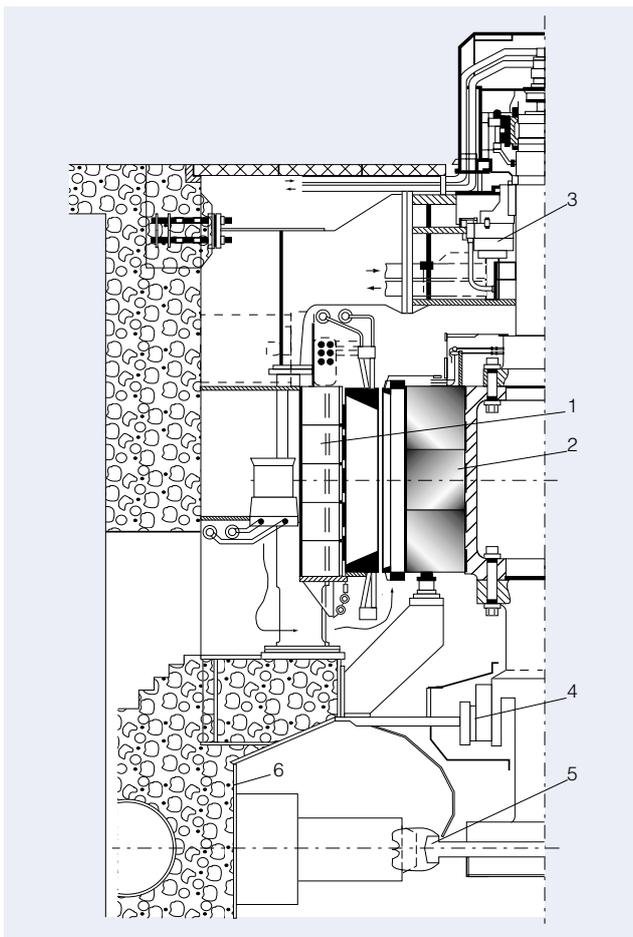
Stator

La carcasse du stator en exécution soudée est formée de trois parties pourvues de lames-ressorts obliques. Elle s'appuie directement sur le bâti de la turbine. Pour des raisons de transport, les travaux de soudage ne furent effectués que dans la fosse de l'alternateur. Suite à ces travaux, on a procédé au montage du paquet de tôles magnétiques. Les segments en tôle électrique à faible perte épais de 0,5 mm sont empilés sans fentes de ventilation et sans joints ouverts. Un paquet de tôles constitué de cette façon a l'avantage d'une résistance mécanique élevée, avec de faibles pertes par courant de Foucault.

L'enroulement statorique est formé de deux couches de barres Roebel isolées avec du Micadur®, une isolation à résine époxyde imprégnée sous vide de la classe d'isolation F. Pour obtenir une répartition régulière du potentiel dans les têtes de bobines avec une tension de 21 kV, il a été nécessaire de pourvoir la surface des barres avec une protection particulière contre les décharges par effet de couronne. Les enroulements sont refroidis à l'eau qui cir-

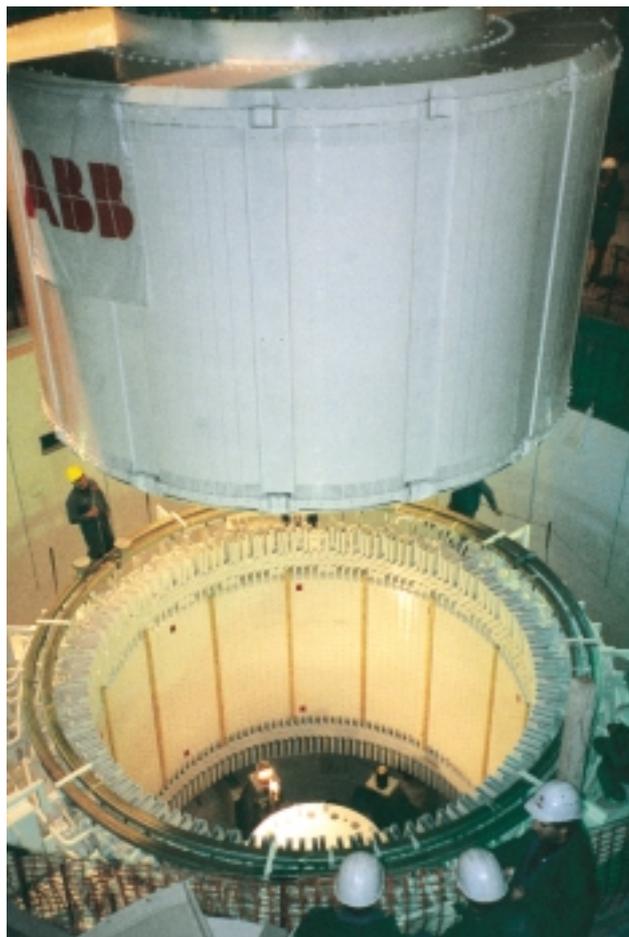
Walther Howald

ABB Production d'énergie SA



Coupe longitudinale à travers un alternateur hydroélectrique pour puissances jusqu'à 500 MVA

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1 Stator | 4 Palier-guide inférieur |
| 2 Rotor | 5 Roue Pelton |
| 3 Palier pivot et guide combiné | 6 Bâti de la turbine |



1 Montage d'un alternateur de 465 MVA dans la caverne de la centrale hydraulique Bieudron. Introduction avec une précision élevée du rotor d'un poids de 454 t dans le stator

cule à travers des conducteurs creux torsadés avec les barres Roebel. Ce refroidissement à eau éprouvé et réalisé un grand nombre de fois sur des alternateurs de centrales hydrauliques est fondé sur la vaste expérience d'ABB en matière d'enroulements statoriques refroidis à l'eau de turboalternateurs.

Rotor

La sollicitation des matériaux à la vitesse d'emballage de l'alternateur et celle de l'arbre lors d'un dérangement, par exemple en cas de court-circuit aux bornes, requièrent une grande rigidité en flexion de la ligne d'arbre. 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 et par deux bouts d'arbres bridés.

Quatre anneaux en acier forgé sont fretés sur le corps central. Les 14 pôles lamellés sont ancrés sur ces anneaux à l'aide de rainures à crabots. Les bobines polaires sont constituées de conducteurs creux en cuivre étiré. En exploitation, les bobines polaires sont refroidies par de l'eau déionisée qui circule à travers ces conducteurs. La liaison mutuelle des segments en cuivre forme un circuit d'amortissement fermé.

Disposition des paliers

Une condition préalable importante pour un comportement de marche impeccable d'un alternateur dans toute la gamme d'explo-

tation et des vitesses réside dans un logement stable du groupe. Sur les alternateurs destinés à la centrale de Bieudron, un croisillon à bras obliques breveté assure un jeu de lubrification constant du palier pendant la transition de l'état froid à l'état de service chaud, malgré la dilatation thermique des bras du palier. Cette disposition évite en outre des forces thermiques supplémentaires sur la fondation. Le croisillon à bras obliques obtient la rigidité nécessaire par le dimensionnement de la section des bras. L'échauffement du rotor en exploitation provoque à vrai dire une modification de longueur, mais la jonction avec la fondation est réalisée de telle manière que celle-ci ne puisse influencer la rigidité du logement.

Les forces agissant sur la fondation se composent du poids propre du groupe, des

Tableau 1:
Données principales de la centrale hydroélectrique Bieudron

Données de l'installation

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
Coûts de l'installation	env. 1 mia. SFr.

Données techniques

- 3 vannes sphériques comme organes de fermeture, diamètre 1,4 m, poids 120 t
- 3 turbines Pelton à 5 jets d'une puissance nominale de 420 MW, diamètre de la roue 4,65 m, poids 28 t, vitesse de l'eau à la sortie des jets 600 km/h
- 3 alternateurs synchrones triphasés, puissance nominale 465 MVA à 428,6 min⁻¹, entièrement refroidis à l'eau, poids 800 t chacun
- 3 transformateurs de bloc triphasés d'une puissance nominale de 465 MVA; rapport de transformation 21/410 kV

forces causées par la dilatation thermique en exploitation, du couple, ainsi que des forces et des couples provoqués en cas de dérangement. Différentes études ont été affectées à l'examen de cas de sollicitation critiques.

Refroidissement

Le refroidissement de l'alternateur est effectué uniquement avec de l'eau. Ce mode de refroidissement a permis de réduire le volume des machines. Puisque les alternateurs sont installés dans une caverne, les volumes représentaient un facteur de coût important pour l'ensemble du projet. De

l'eau déionisée circule à travers les enroulements statoriques et rotoriques, tandis que de l'eau brute paquet de tôles statoriques.

A partir de l'installation de préparation, l'eau de refroidissement de l'enroulement statorique passe dans un tuyau collecteur disposé sur la tête de bobine supérieure. De là, elle est répartie sur les différents circuits de refroidissement à eau. Ces circuits sont formés chacun de quatre barres statoriques branchées hydrauliquement en série. A la sortie du circuit de refroidissement, l'eau passe dans un second tuyau collecteur, puis dans un refroidisseur eau/eau et dans l'installation de prépara-

tion. La température de l'eau est surveillée à la sortie de chaque circuit de refroidissement.

L'eau de refroidissement de l'enroulement rotorique est transmise dans le rotor par un raccord tournant élastique monté sur l'extrémité supérieure de l'arbre. De l'air de refroidissement dissipe la chaleur provoquée par le frottement de l'air et les pertes supplémentaires à la surface des pôles. Cet air est soufflé axialement à travers l'alternateur par des ventilateurs à moteur, puis refroidi par six refroidisseurs air/eau montés dans le circuit aéraulique et disposés régulièrement dans la fosse de l'alternateur.

Excitation et régulation de la tension

Une installation d'excitation statique avec régulation de tension programmable fournit le courant d'excitation aux pôles par des bagues collectrices. Des balais en électro-graphite le transmettent aux bagues. La poussière de charbon produite est aspirée par sous-pression et collectée dans des filtres.

Le dispositif d'excitation statique est constitué de trois transformateurs monophasés avec redresseurs branchés en parallèle aux bornes de l'alternateur. Chaque unité de redresseur comprend quatre ponts de redresseurs parallèles. Si un pont devait tomber en panne, les autres sont capables de fournir le courant d'excitation requis.

Les régulateurs de tension sont équipés d'un limiteur, tant pour le courant statorique que rotorique et pour l'angle de charge. Ce faisant, on assure une fiabilité d'exploitation élevée.

Bibliographie

[1] Howald, W.; Stöckli, F.: Alternateurs pour la plus grande centrale hydroélectrique du monde. Revue ABB 10/94, 13-19.

Adresse de l'auteur

Walther Howald
ABB Production d'énergie SA
Case postale
CH-5242 Birr/Suisse
Téléfax. +41 (0) 56 466 51 21
E-mail:
walther.howald@chkra.mail.abb.com

Tableau 2:
Données techniques des alternateurs hydroélectriques

Puissance nominale	465 MVA
Puissance par pôle	33,2 MVA
Surcharge maximale 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	1 500 tm ²
Forme de construction	IM 8415
Poids du stator	281 t
Poids du rotor	454 t
Force axiale sur le palier pivot	5 189 kN
Machine d'entraînement	turbine Pelton
Système de refroidissement:	
Enroulement statorique	eau déionisée
Paquet de tôles statoriques	eau brute
Enroulement rotorique	eau déionisée