

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen  |
| <b>Band:</b>        | 69 (1978)   |
| <b>Heft:</b>        | 10  |
| <b>Artikel:</b>     | Came électronique pour régulateurs de turbines hydrauliques   |
| <b>Autor:</b>       | Philippe, M.  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-914889">https://doi.org/10.5169/seals-914889</a>   |

### 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:** 16.01.2026

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

# Came électronique pour régulateurs de turbines hydrauliques

Par M. Philippe

621.224 : 681.51;

Après un rappel du problème posé par la commande de certaines turbines hydrauliques, et de sa solution par des moyens mécaniques, on montre comment l'électronique a permis de réaliser un système plus élégant et plus souple. L'utilisation d'un tel dispositif n'est d'ailleurs pas limité aux seules turbines hydrauliques.

Im ersten Teil wird das Problem der Steuerung gewisser Wasserturbinen sowie dessen Lösung mit mechanischen Mitteln dargestellt. Anschliessend zeigt der Autor, wie mit der Elektronik ein eleganter und leichter anzupassendes System gebaut werden konnte. Die Anwendung einer derartigen Anlage ist nicht nur auf Wasserturbinen beschränkt.

## 1. Généralités

Dans certains systèmes de réglage de vitesse et de puissance pour turbines hydrauliques, comme dans le cas d'une turbine Kaplan telle que celle représentée sur la figure 1, deux organes participent au réglage selon une disposition désignée par «système à double réglage». Ce sont :

a) *le vannage*, qui comporte un certain nombre d'aubes directrices réglant l'admission d'eau dans la turbine, et actionnées par un ou des servo-moteurs du vannage grâce à un mécanisme approprié.

b) *les pales de la roue* manœuvrées au moyen du servo-moteur de la roue incorporé à la partie tournante de la turbine.

Pour ce type de turbine, la position du vannage ainsi que celle des pales de la roue doivent être réglées afin d'obtenir un rendement optimum de la turbine. Ainsi, à une position du vannage doit correspondre une position bien déterminée des pales de la roue, la loi liant ces deux mouvements n'étant pas linéaire, mais définie à partir des courbes du comportement hydraulique de ces deux organes.

Cette loi, dite de conjugaison roue/vannage est généralement matérialisée par une came intégrée dans le système de réglage tel que celui symbolisé par le diagramme fonctionnel de la fig. 2:

Le régleur 1 commande le positionnement du vannage par l'intermédiaire de l'actionneur 2, du tiroir de distribution 3

et du servo-moteur 4. La position du vannage détermine à son tour, par l'intermédiaire de la came de conjugaison 5, la position que devront prendre les pales de la roue, grâce au tiroir de distribution 6 et du servo-moteur 7.

Une amélioration, figurée par la ligne pointillée, peut être apportée à ce système en faisant agir également l'actionneur directement sur la commande des pales de la roue afin d'améliorer le comportement dynamique de l'ensemble. A l'état d'équilibre, le positionnement relatif des deux organes de réglage reste défini par la came de conjugaison.

## 2. Réalisation mécanique

Les systèmes de conjugaison réalisés jusqu'à présent, sont soit entièrement mécaniques grâce à l'utilisation d'une came agissant par des leviers sur un tiroir de distribution, soit partiellement mécaniques et électriques, par l'emploi d'une came agissant sur un variomètre ou tout autre convertisseur mécanique/électrique commandant un tiroir de distribution par l'intermédiaire d'un amplificateur et d'un actuateur.

La came nécessitée par l'une ou l'autre de ces dispositions doit tout d'abord être exécutée selon un profil établi à partir des caractéristiques hydrauliques de la turbine.

Aux essais en centrale, on doit vérifier la conjugaison optimale roue/vannage et apporter les corrections éventuelles

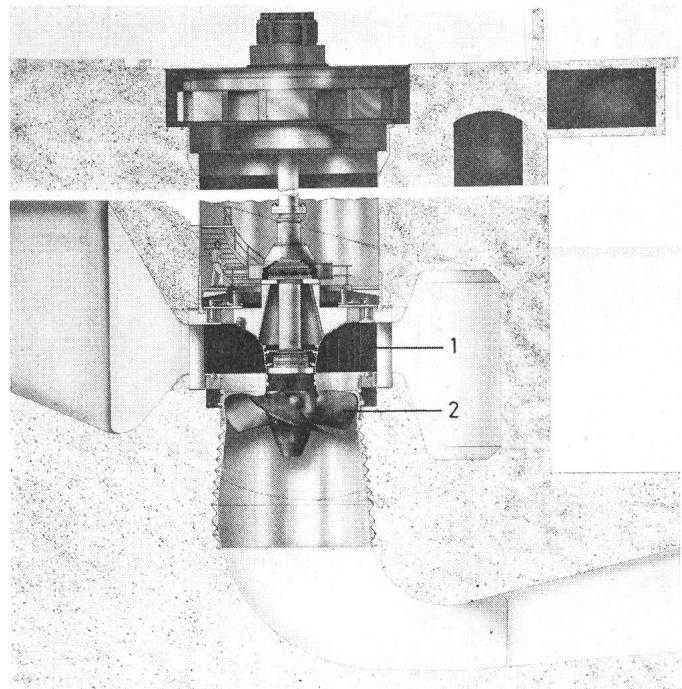


Fig. 1 Exemple de turbine Kaplan

1 Aube directrice du vannage 2 Pale de la roue

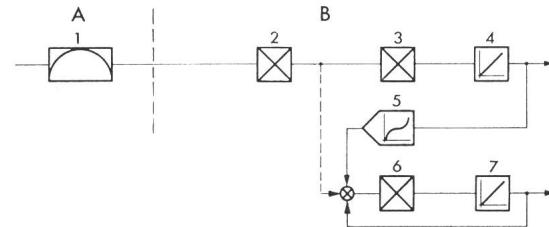


Fig. 2 Schéma fonctionnel d'une conjugaison roue/vannage dans un régulateur mécanique

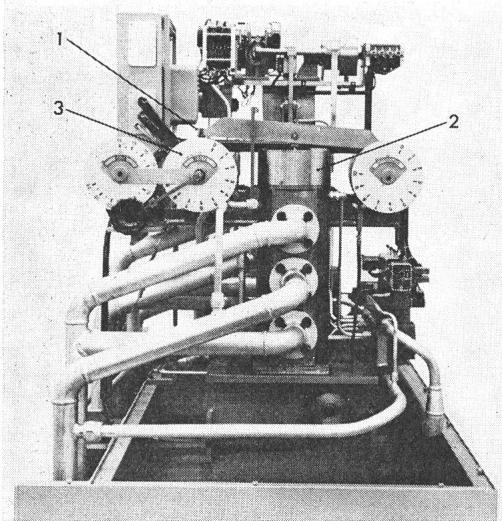
A Partie électrique ou électronique

B Partie mécanique

- |        |                         |
|--------|-------------------------|
| 1      | Régleur électronique    |
| 2      | Actionneur              |
| 3 et 6 | Tiroirs de distribution |
| 4      | Servo-moteur du vannage |
| 5      | Came de conjugaison     |
| 7      | Servo-moteur de la roue |

nécessaires. Mais celles-ci ne sont possibles, pratiquement, que par limage, meulage ou fraisage, c'est-à-dire par enlèvement de matière. D'où la nécessité, soit de prévoir à la fabrication des surépaisseurs suffisantes permettant ces retouches, soit de refaire une came.

De plus, dans le cas où la courbe de conjugaison varie en fonction de la hauteur de chute, le réglage doit se faire selon



**Fig. 3 Régulateur mécanique pour la commande d'une turbine Kaplan**

Le galet 1 du levier situé au-dessus du tiroir de distribution 2 roule sur la came-tambour placée derrière le cadran 3

une troisième dimension. On utilise pour cela une came «tambour», réalisée par empilage de plusieurs cames plates, ou au moyen d'un bloc coulé ou fraisé. On conçoit aisément que, dans ce cas, les difficultés mentionnées plus haut s'en trouvent multipliées.

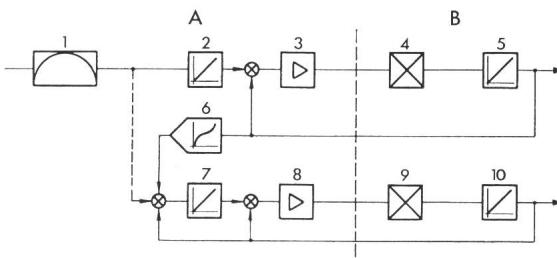
La fig. 3 montre un exemple de réalisation d'un régulateur avec conjugaison mécanique au moyen d'une came «tambour».

### 3. Réalisation électronique

Dans le cadre des études visant à l'amélioration des ensembles de réglage, on a cherché de quelle façon il était possible à la fois de simplifier ce système de conjugaison tout en améliorant ses performances et en facilitant la mise au point. Le système décrit ici utilise les vastes ressources de la technique électronique et montre une réalisation intégrée à un ensemble de réglage réalisé selon le schéma fonctionnel de la fig. 4. On voit qu'il s'agit d'une transposition de celui de la fig. 2 où la frontière partie électrique/partie mécanique a été déplacée. Comme la came reçoit et fournit un signal électrique, la commande de la roue comporte maintenant un intégrateur électronique 7 suivi d'un amplificateur 8, pour commander l'actionneur avec tiroir de distribution 9 du servo-moteur 10. La chaîne de commande du vannage est d'ailleurs semblable avec les éléments 2, 3, 4 et 5.

La came électronique proprement dite est présentée de manière plus détaillée sur la fig. 5. Le signal analogique d'entrée, image de la position prise par le vannage arrive, après adaptation par l'amplificateur 1, dans le convertisseur analogique/numérique 2. Celui-ci délivre un «chiffre» correspondant à la valeur du signal d'entrée, «chiffre» qui est introduit comme adresse, dans la mémoire 3. A la sortie de cette dernière, on obtient un «chiffre» de sortie, fonction de la programmation de la mémoire et qui, après passage dans le convertisseur numérique/analogique 4 et adaptation dans l'amplificateur 5 donne le signal analogique de sortie.

La plage utile du signal d'entrée a été divisée en un certain nombre  $n$  de points, fonction de la capacité de la mémoire, ce qui donne à la sortie du convertisseur 2,  $n$  «chiffres» d'entrée. La mémoire est programmée de façon à faire corres-



**Fig. 4 Schéma fonctionnel d'une conjugaison roue/vannage avec came électronique**

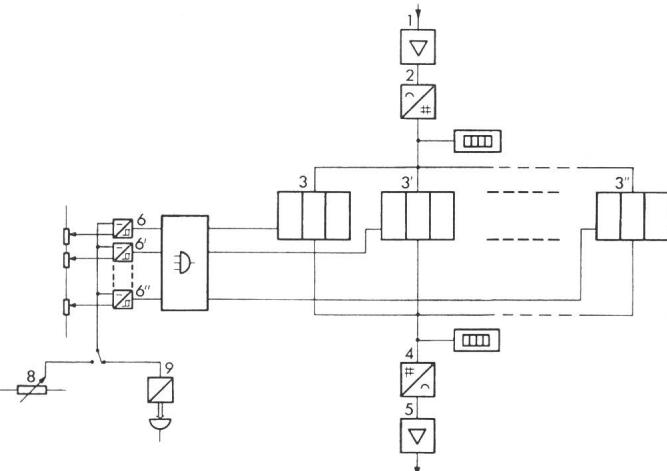
A Partie électronique  
B Partie mécanique

- 1 Régleur électronique
- 2 et 7 Intégrateurs
- 3 et 8 Amplificateurs
- 4 et 9 Actionneurs et tiroirs de distribution
- 5 Servo-moteur du vannage
- 6 Came électronique
- 10 Servo-moteur de la roue

pondre un certain chiffre de sortie à chacun des chiffres d'entrée, selon la loi désirée. Le signal de sortie est ainsi généré à partir des  $n$  valeurs des chiffres de sortie.

Si l'on désire pouvoir choisir une courbe parmi plusieurs représentant des lois différentes, un circuit sélecteur constitué de comparateurs 6, 6', ... 6'' suivis d'une logique de commande 7 permet d'effectuer ce choix en fonction d'un signal auxiliaire. Le circuit sélecteur choisit alors la mémoire (3, 3' ou ... 3'') devant être utilisée. Dans le cas d'une conjugaison pour turbine Kaplan, le changement de courbe se fait par exemple en fonction de la hauteur de chute et peut être réalisé soit manuellement au moyen du potentiomètre 8, soit automatiquement par un manomètre à transmetteur 9.

Comme cela a déjà été mentionné, les courbes désirées sont déterminées théoriquement puis vérifiées expérimentalement. Dans le système décrit ici, les courbes sont d'abord program-



**Fig. 5 Schéma fonctionnel de la came électronique**

- 1 Amplificateur d'entrée
- 2 Convertisseur analogique/numérique
- 3, 3', 3'' Mémoires
- 4 Convertisseur numérique/analogique
- 5 Amplificateur de sortie
- 6 Comparateurs
- 7 Logique de commande
- 8 Potentiomètre (choix manuel)
- 9 Manomètre à transmetteur (choix automatique)

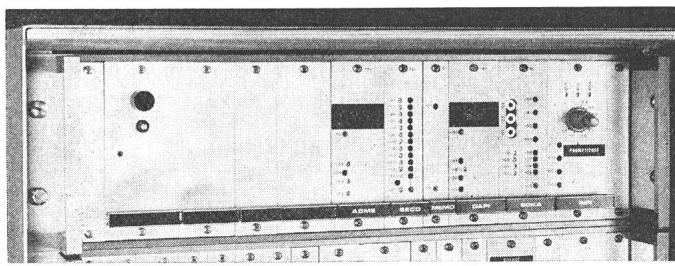


Fig. 6 Vue partielle d'un régulateur électronique pour turbine Kaplan

mées dans les mémoires 3, 3'...3" selon le tracé théorique. Lors de la mise en service de l'installation on fait un relevé des courbes réelles nécessaires permettant d'obtenir tout au long de chacune d'elles, le rendement optimum de la turbine. Ce relevé est effectué en utilisant un circuit auxiliaire de commande manuelle permettant de positionner la roue indépendamment du vannage de manière à travailler «hors conjugaison». Lorsque toutes les courbes ont ainsi été vérifiées et notées, il suffit d'effacer les mémoires et de reprogrammer les nouvelles valeurs pour obtenir les courbes définitives.

L'utilisation d'une telle came électronique apporte ainsi une simplification du système par :

- la suppression de la came mécanique et l'élimination de la nécessité d'une correction par limage ou fraisage;
- la suppression des tringleries ou des rubans d'asservissement;
- la suppression des leviers ou palonniers de commande du tiroir de distribution de la roue;
- la facilité avec laquelle il est possible de réaliser ou de modifier une courbe quelconque.

En outre, la partie mécanique du régulateur s'en trouve simplifiée et réduite à deux systèmes de copiage, l'un pour le vannage et l'autre pour les pales de la roue.

L'utilisation d'intégrateurs électroniques permet d'ajuster de façon aisée et indépendante les promptitudes de réglage du vannage et des pales de la roue sans avoir à modifier mécaniquement les tiroirs de distribution de ces deux organes. Il est ainsi possible de trouver rapidement les paramètres per-

mettant d'obtenir les meilleures caractéristiques de réponse dynamique de la turbine.

La fig. 6 montre une réalisation de came électronique, incorporée à un régulateur électronique pour turbine Kaplan. Les tiroirs embrochables contenant les circuits nécessaires sont montés dans le châssis supérieur du coffret. Le premier tiroir à gauche est un tiroir d'alimentation. On trouve ensuite un tiroir (ADME) contenant l'amplificateur d'entrée, le convertisseur analogique/numérique et la première mémoire. On aperçoit également l'indicateur numérique du «chiffre» d'entrée, soit la position du vannage de la turbine. Le tiroir suivant (SECO) contient les comparateurs et la logique de commande pour la sélection des différentes courbes mémorisées. Dans le tiroir suivant (MEMO), se trouvent les mémoires, tandis que le 4<sup>e</sup> tiroir (DAPI) contient le convertisseur numérique-analogique et l'amplificateur de sortie. Ce tiroir comporte également un indicateur numérique du «chiffre» de sortie, en l'occurrence la position des pales de la roue. Les deux derniers tiroirs de ce châssis font partie du régulateur proprement dit.

#### 4. Conclusion

Une telle came électronique peut également être utilisée dans tout système de réglage ou autre dispositif nécessitant une relation ou une transformation non-linéaire d'un signal soit analogique soit numérique.

L'échantillonage des courbes en un grand nombre de points en fait un élément plus souple et plus précis qu'un générateur de fonction à segments. En effet, dans ce type de circuit, le nombre et les possibilités d'ajustage des segments sont, en général, faibles pour rester dans des limites acceptables de réalisation, alors que l'utilisation de mémoires à grande capacité autorise une définition élevée du système.

On voit ainsi que certains dispositifs mécaniques peuvent avantageusement être remplacés par des circuits électroniques permettant le plus souvent une amélioration des performances et une plus grande facilité d'ajustage et d'adaptation.

#### Adresse de l'auteur

Maurice Philippe, Ateliers des Charmilles S.A., 109, rue de Lyon, 1211 Genève 3.

## Literatur – Bibliographie

DK: 621.39 : 621.398 : 681.3.01 : 681.327.8 SEV-Nr. A 637/II

**Datenübertragung.** Nachrichtentechnik in Datenfernverarbeitungssystemen. Von Peter Bocker. Bd. II: Einrichtungen und Systeme. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1977; 8°, X/263 S., 111 Fig., 19 Tab. Preis: geb. DM 84.—

Im Bull. SEV/VSE 68(1977)17 ist der erste Band (Grundlagen) dieses zweibändigen Werkes vorgestellt worden. Nun ist auch der zweite Band erschienen. Er enthält eine anwenderbezogene Darstellung der technischen Mittel für den Datentransport auf elektrischem Wege, wobei von den im Band 1 zusammengestellten nachrichtentechnischen Grundbegriffen ausgegangen wird. Im Vordergrund stehen Merkmale und Eigenschaften der Schnittstellen zwischen den Datenübertragungseinrichtungen beim Teilnehmer und den Datenendeinrichtungen und die verschiedenen Ausführungen von Modems aller Übertragungsgeschwindigkeiten. Ein sehr breiter Raum wird jener Art von Datennetzen gewährt, die in Zukunft zur Hauptsache als Bestandteil des öffentlichen Fernmeldenetzes Anwendung finden werden.

Dabei wird ein Überblick über die Vermittlungseinrichtungen in Datennetzen gegeben. Weiter werden die wesentlichen Merkmale der Datennetze selbst geschildert. Ein eigenes Kapitel ist den Besonderheiten der Datenübertragung auf Kurzwellen-Funkverbindungen gewidmet, welche für den Einsatz in mobilen Anlagen, insbesondere auf Schiffen und Fahrzeugen des zivilen und militärischen Bereichs, Bedeutung haben. Eine Erläuterung der Kriterien und Hilfsmittel für die Überwachung und Wartung schliesst die Darstellung der technischen Mittel für die Datenübertragung ab. In einem Anhang sind die internationalen (CCITT, ISO) und nationalen (DIN) Richtlinien und Vereinbarungen zusammengestellt.

Das Buch wendet sich an alle Leser, die sich mit der Planung und dem Betrieb von Datennetzen befassen, insbesondere an jene, die entweder als Inhaber oder Abonnent an grossen öffentlichen oder privaten Datennetzen teilhaben. Eine besondere Hilfe bietet das Buch beim Zurechtfinden im umfangreichen Normenwerk.

P. A. Zumstein