

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 64 (1973)
Heft: 24

Rubrik: Informationstagung über Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen : am 20./21. September 1973 in Lausanne

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

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

Informationstagung über Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen

am 20./21. September 1973 in Lausanne

Einführungsreferat

Aperçu de l'utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques

Par H. Bühler

061.3 : 681.3 : 62-503.55 : 621.311

Brève description de l'utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques, en considérant les problèmes hardware, software et les diverses possibilités d'emploi, avec, également, quelques réflexions nécessaires lors de l'introduction d'un ordinateur de processus.

Kurze Beschreibung des Einsatzes von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen, wobei die Probleme Hardware, Software und die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten gestreift werden. Es werden auch einige Überlegungen angegeben, die bei der Einführung eines Prozessrechners durchzuführen sind.

1. Généralités

L'ordinateur, c'est-à-dire, le calculateur numérique, construit à l'aide de circuits logiques électroniques, est devenu aujourd'hui indispensable dans les domaines scientifique, technique et administratif, pour effectuer des calculs numériques à large échelle. Cependant, ce même type de calculateur est utilisé de plus en plus aussi pour le contrôle et la commande de processus industriels. Dans ce cas, le calculateur est dénommé calculateur de processus et il présente quelques particularités par rapport à l'ordinateur normal.

Il existe plusieurs installations comprenant un calculateur de processus, par exemple, dans l'industrie lourde pour la production de l'acier et du ciment, ainsi que dans l'industrie des produits chimiques. Un champ d'application très important est offert par les centrales et les réseaux électriques. La complexité croissante des centrales modernes à puissance élevée et des réseaux de transmission fortement maillés demande un outil tel que le calculateur de processus, pour faciliter la tâche des opérateurs.

La disposition de principe d'un calculateur de processus est illustrée par la fig. 1. Le calculateur est relié au processus (par exemple, le réseau électrique) par des interfaces. Il s'agit de dispositifs destinés à la transformation et à la transmission des signaux, soit pour des grandeurs de mesure, soit pour des grandeurs de commande. Selon l'application du calculateur de processus et le degré de l'automatisation, seule une partie de ces signaux sont reliés directement.

Le pupitre de commande est un autre organe très important. Il permet à l'opérateur de dialoguer avec la machine, c'est-à-dire qu'il permet à l'opérateur, d'une part, de donner des ordres à l'installation et, d'autre part, de recevoir des informations précises sur son état.

Tous ces dispositifs (calculateur de processus, interfaces et pupitres de commande) forment le «hardware». Les problèmes liés à leur technologie et à leur emploi seront traités plus à fonds dans [1; 2; 3; 4].¹⁾

¹⁾ Voir la bibliographie à la fin de l'article.

Le «software» englobe, par contre, les programmes du calculateur de processus, y compris toutes les études et réflexions préliminaires nécessaires à l'établissement du programme principal. Les études préliminaires comprennent la définition des tâches qui seront à prendre en charge par le calculateur de processus, l'élaboration des bases théoriques servant à la programmation détaillée, ainsi que des réflexions sur la rentabilité. On reviendra à ces arguments plus tard encore (voir paragraphe 4). La conception des calculateurs de processus permet une subdivision du programme en plusieurs sous-programmes, facilitant la tâche du programmeur. Il existe, par exemple, des sous-programmes standards pour la lecture de données ou pour l'émission d'un ordre de commande. De plus, il est nécessaire d'établir des sous-programmes spéciaux, suivant le cas considéré.

Les calculateurs de processus présentent des particularités de fonctionnement par rapport aux ordinateurs normaux. Tous les calculs se déroulent en temps réel, c'est-à-dire que le commencement d'un certain calcul est déterminé, soit par un horaire, soit par la détection d'un état particulier du système (détection d'un dérangement, par exemple). En outre, les calculs doivent être terminés suffisamment rapidement, afin de pouvoir intervenir en temps utile dans le système.

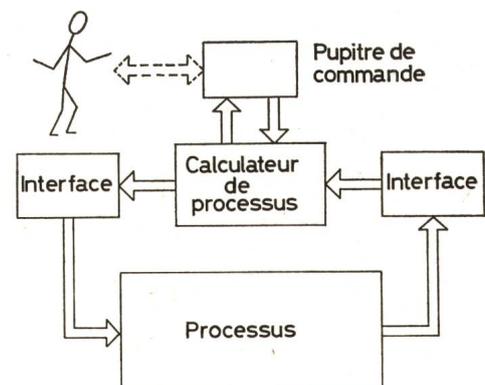


Fig. 1

Disposition de principe d'un calculateur de processus (Hardware)

Lorsque les divers sous-programmes possèdent une importance différente, les calculateurs de processus permettent le traitement des calculs avec des priorités différenciées

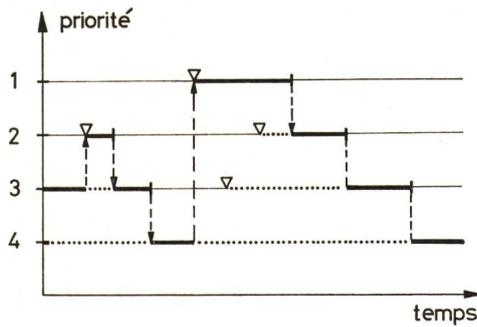


Fig. 2
Exécution de programmes de priorités différentes
▽ instant d'apparition d'une demande de commencer un calcul déterminé
— fin d'un calcul
... calcul en attente

(fig. 2). La demande de commencer un calcul ayant une priorité supérieure interrompt immédiatement le calcul en cours d'exécution, tandis qu'un calcul ayant une priorité inférieure doit attendre jusqu'à ce que le calcul de priorité supérieure soit terminé. Un calcul de priorité 1 est, par exemple, le traitement d'un signal d'alarme, tandis que l'élaboration de données à but purement statistique possède la priorité la plus faible. Ces passages d'un sous-programme à un autre posent naturellement des problèmes spéciaux en ce qui concerne l'organisation interne du calculateur de processus et la mémorisation des données, ainsi que des programmes interrompus.

2. Surveillance et commande

Les tâches confiées à un calculateur de processus sont très diverses. Lors de l'introduction d'un calculateur de processus dans une installation, il s'avère judicieux de procéder par étapes, suivant l'ordre croissant des difficultés.

Dans le cas le plus simple, le calculateur ne sert qu'à l'élaboration de données. Il s'agit ici, par exemple, de l'enregistrement des diverses grandeurs intéressantes à intervalles réguliers, tout en réduisant les données à des grandeurs caractéristiques, par exemple, détermination du rendement global d'un groupe thermo-électrique. Ainsi, le calculateur établit aussi un protocole des événements comprenant toutes les manipulations et perturbations se succédant en fonction du temps.

A un stade supérieur, le calculateur de processus peut donner des avertissements à l'opérateur lors de l'apparition de perturbations ou de dangers pouvant entraver le bon fonctionnement de la centrale ou du réseau électrique. Le calculateur de processus peut aussi déterminer, par exemple, les instants d'enclenchement et de déclenchement de groupes de turbines ou de pompage, afin d'obtenir une gestion optimale de l'eau dans un complexe d'usines hydrauliques. Dans cette étape, il reste toujours à l'opérateur la tâche d'intervenir sur l'installation pour effectuer les manœuvres nécessaires. L'opérateur a donc encore la possibilité d'utiliser son expérience et son jugement.

Dans une troisième étape, le calculateur de processus intervient directement sur l'installation en enclenchant ou en

déclenchant des organes ou en influençant la grandeur de réglage. Comme exemple d'application, on indique ici une commande séquentielle pour le démarrage et l'arrêt automatique de groupes turbo-alternateurs, ou le réglage digital direct (DDC = direct digital control) de chaudières, groupes turbo-alternateurs, etc. L'opérateur ne peut plus intervenir directement sur l'installation. Il ne lui reste qu'à donner l'ordre de départ pour la commande séquentielle et à introduire quelques valeurs de consigne pour le réglage digital direct.

Des exemples d'application sur ces trois étapes seront donnés pour des centrales thermiques et nucléaires dans [5], pour un complexe d'usines de pompage dans [6], pour la protection des réseaux électriques dans [7], et pour une analyse de l'allure d'une tension présentant des distorsions dans [8].

Dans chacun de ces cas, les calculs numériques à effectuer sont relativement modestes. On peut utiliser des calculateurs de processus de petite ou moyenne grandeur. Les mini-ordinateurs trouveront de plus en plus leur place pour résoudre des tâches spécifiques et restreintes.

3. Régulation et optimisation

Cependant, la gestion de grands réseaux de transmission interconnectés demande le traitement de problèmes plus complexes, comme l'identification de l'état actuel du réseau, la surveillance automatique, le réglage fréquence-puissance et la répartition optimale des puissances actives et réactives.

Pour l'identification de l'état actuel du réseau, il faut élaborer toutes les valeurs mesurées (valeurs effectives des tensions, puissances actives et réactives, etc.) parce que ces dernières sont entachées d'erreurs de mesure et de variations stochastiques, afin d'obtenir des valeurs fiables. En même temps, on peut aussi déterminer la valeur de certaines grandeurs non directement mesurables, comme, par exemple, l'angle des vecteurs de tension.

Avec la surveillance automatique, on analyse l'état actuel du réseau en détectant, par exemple, le rapprochement de surcharges sur les lignes de transmission. A l'aide d'une simulation digitale par le calculateur de processus, il est possible de déterminer l'existence éventuelle de situations critiques pour le réseau (surcharge ou perte de synchronisme) lors de l'augmentation de la charge ou lors d'un défaut (court-circuit temporaire, par exemple). Le cas échéant, le calculateur de processus intervient de manière à reporter le réseau à un état sûr.

Le réglage du réseau par le calculateur de processus sert avant tout au réglage fréquence-puissance, afin que soit maintenue la fréquence constante. Par des algorithmes de réglage spéciaux, on peut améliorer le comportement dynamique de la régulation, par exemple, par une faible intervention pour de petites variations de charge et une intervention plus forte et plus rapide pour des variations de charge plus importantes.

Finalement, la répartition optimale des puissances actives et réactives permet l'exploitation économique du réseau, de manière que les puissances nécessaires à la couverture de la demande par les charges sont distribuées aux diverses centrales, afin que soient maintenus au minimum les coûts totaux de production, ceci tout en respectant les limitations impo-

sées par le réseau (limitations de puissances sur les lignes de transmission, valeurs maximales et minimales de la tension dans les nœuds du réseau) ou les limitations imposées par les centrales (limites de production).

Les calculs nécessaires pour résoudre ces problèmes sont normalement très complexe et impliquent l'emploi de grands calculateurs de processus, possédant une grande capacité de mémoire et une grande vitesse de calcul, afin de permettre le traitement en temps réel. Les problèmes liés à ce genre d'application seront traités dans [9 à 13].

4. Etudes préliminaires

Lors de l'introduction d'un ordinateur de processus dans une centrale électrique ou dans un centre de distribution, plusieurs problèmes se posent qui doivent être soigneusement résolus, lors du choix du ordinateur de processus, par des études préliminaires approfondies. En premier lieu, il faut bien définir la tâche du futur ordinateur de processus (traitement de données, surveillance, intervention directe, réglage du réseau, optimisation, etc.). Le plus souvent, on envisage une réalisation par étapes en prévoyant un ordinateur permettant une extension progressive. Le choix d'un certain type de ordinateur dépend surtout du nombre de calculs à effectuer dans le cas le plus défavorable, dans un laps de temps donné. Cependant, il faut aussi prendre en considération la simplicité de la programmation et les possibilités existantes pour modifier ou changer un programme ou sous-programme au cours du fonctionnement normal. Simultanément, il s'avère indispensable de tenir compte aussi des organes périphériques et surtout des possibilités existantes pour l'échange de données entre le ordinateur et les organes périphériques. Il s'avère nécessaire de faire des études approfondies sur le nombre et le genre des valeurs de mesure qui sont à échanger entre les diverses centrales et les sous-stations, d'une part, et le ordinateur de processus, d'autre part. Il faudrait aussi tenir compte de la vitesse de transmission des données et de la fréquence de répétition. Selon les exigences, il faut faire appel à un système de télémesure et de télécommande approprié. Il y aura lieu également d'étudier avec un soin particulier les périphériques servant au dialogue homme-machine, c'est-à-dire opérateur-ordinateur de processus. L'opérateur ne devrait jamais avoir l'impression d'être dépassé par le ordinateur de processus; au contraire, il doit avoir en tout temps la possibilité de maîtriser toute l'installation.

Un autre argument à considérer lors de l'introduction d'un ordinateur de processus est sa rentabilité. En d'autres termes, on se demande si, oui ou non, le ordinateur de processus apporte aussi un avantage financier à long terme, par rapport à une installation classique. Il s'avère souvent très difficile de donner une réponse exacte à cette question, surtout parce qu'il n'est pas toujours possible de formuler un chiffre d'évaluation exact. Parfois, on doit se contenter d'estimations plus ou moins intuitives. Par exemple, l'emploi d'un ordinateur de processus est déjà justifié s'il permet d'éviter ou de réduire d'une manière sensible la probabilité d'un accident grave dans un groupe turbo-alternateur. Quand il s'agit d'équiper une installation existante d'un ordinateur de processus, par exemple, pour optimiser le fonctionnement d'une centrale ou d'un réseau électrique, on peut déter-

miner les avantages d'une manière assez exacte, à l'aide d'une simulation. On prend une période de fonctionnement réelle et significative pour laquelle on connaît toutes les grandeurs intéressantes et l'on simule, pour les mêmes charges, la répartition optimale. Il est possible ainsi d'évaluer les gains d'une telle optimisation. Les résultats ne sont pas spectaculaires en ce qui concerne le pourcentage de ce gain. Normalement, il n'est possible de réduire les frais de service que de quelques pourcents. Cependant, le gain absolu permet quand même l'amortissement du coût total au bout de quelques années. Il faut noter que ces études préliminaires demandent parfois un investissement en «software» assez important.

Dans le coût final d'installation d'un ordinateur de processus, une importance prépondérante est prise par les organes périphériques (interface entre le ordinateur et le processus, respectivement, entre le ordinateur et l'opérateur), ainsi que par le «software», c'est-à-dire la programmation, y com-

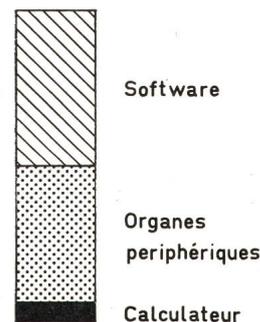


Fig. 3
Répartition approximative des coûts d'une installation avec un ordinateur de processus de petite ou moyenne importance

pris les études théoriques préliminaires, comme il en découle d'une représentation approximative donnée à la fig. 3. On constate que le prix d'achat du ordinateur de processus proprement dit ne représente que quelques pourcents des frais totaux.

5. Relations entre la théorie et la pratique

Pour terminer, on aimerait encore considérer un autre aspect de l'utilisation de ordinateurs de processus pour le réglage et la gestion optimale de grands réseaux électriques. L'établissement des programmes relatifs à ce genre d'application demande des bases théoriques assez élaborées.

Au cours de ces dernières années, beaucoup de travaux théoriques ont été développés dans le domaine de l'automatique, tels que l'identification de systèmes, le réglage de grands systèmes multivariables, ainsi que l'optimisation et le contrôle à niveaux multiples de systèmes.

La plupart de ces travaux sont d'ordre purement théorique et établis par des mathématiciens, sans but d'application précis. Cependant, leur application à des cas concrets suscite un grand intérêt chez les ingénieurs. Le réseau de transmission électrique interconnecté constitue le cas d'application par excellence, en raison de sa complexité et de l'intérêt technique et économique qu'il présente. Depuis plusieurs années déjà, on a entrepris des études spécialisées sur des réseaux électriques, afin, surtout, de simplifier les méthodes de calcul et de les rendre susceptibles d'applications pratiques. C'est devenu possible grâce aux grands ordinateurs de processus, qui permettent d'effectuer des calculs numériques volumineux en un temps restreint. Il se fait ainsi une interac-

tion fructueuse entre la théorie et la réalisation pratique. A son tour, cette dernière demande des méthodes simplifiées, par exemple, sous-optimales, mais de bonne approximation, qui sont réalisables au moyen de calculs raisonnables. Ainsi, on obtient un certain feedback de la pratique sur la théorie et l'on peut s'attendre certainement à une diminution de l'abîme séparant la théorie de la pratique. C'est la raison pour laquelle les centrales et réseaux électriques suscitent également un très grand intérêt chez l'automaticien théorique; ceci est tout à l'avantage de la gestion des réseaux électriques.

Bibliographie

- [1] *F. Tisi*: Systemkonzepte mit Prozessrechner in der Netzautomatisierung. In: Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen. Informationstagung 20./21. 9. 1973. Zürich, SEV, 1973; S. 13...31.
- [2] *B. Brösamle*: Automatisierung der Energieverteilung mit Rechnern in Unterwerken. In: Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen. Informationstagung 20./21. 9. 1973. Zürich, SEV, S. 32...44.
- [3] *M. Tripet*: Dialogue homme-machine dans un centre de télécontrôle. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 45...53.
- [4] *A. Anderloni*: Systèmes d'acquisition des informations dans les centrales et les réseaux électriques. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 54...69.
- [5] *B. Copin*: L'utilisation des calculateurs dans les centrales thermiques et nucléaires. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 70...88.
- [6] *G. Dayer*: Gestion en temps réel d'un complexe d'usines de pompage. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; 89...105.
- [7] *A. Taschini*: Protection des réseaux électriques à l'aide de calculateurs de processus se référant particulièrement à la protection des lignes. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'informations 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 106...127.
- [8] *J. Bruhin*: Analyse verzerrter Netzspannung mittels Prozessrechner. In: Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen. Informationstagung 20./21. 9. 1973. Zürich, SEV, 1973; S. 128...140.
- [9] *K. Reichert, H. Asal, J. J. Caneel und E. Handschin*: Die Überwachung eines Teils des schweizerischen Hochspannungsnetzes mit State Estimation, Prozessaufbau und praktische Erfahrungen. In: Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen. Informationstagung 20./21. 9. 1973. Zürich, SEV, 1973. S. 141...166.
- [10] *M. Cuénod*: Surveillance automatique de l'exploitation des réseaux électriques. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'informations 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 167...207.
- [11] *G. Quazza*: Les calculateurs dans le réglage du réseaux. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, p. 255...280.
- [12] *A. Merlin*: Distribution optimale de la puissance active. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 255...280.
- [13] *J. J. Morf*: Amélioration de la répartition des puissances actives. Dans: Utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques. Journées d'information 20./21. 9. 1973. Zurich, ASE, 1973; p. 208...254.

Adresse de l'auteur:

M. H. Bühler, prof.; Chaire d'électronique industrielle de l'EPFL, 16, ch. de Bellerive, 1007 Lausanne.

Résumé des conférences des Journées d'information sur «L'utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques»

Allocution de R. Richard, ingénieur diplômé, président de l'ASE

La bienvenue est tout d'abord souhaitée aux participants provenant des trois pays intéressés par ces journées: France, Italie et la Suisse. Des remerciements vont aux personnes qui ont permis la mise sur pied des journées consacrées à l'utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques, précisant que l'Association Suisse des Electriciens (ASE) avait œuvré en collaboration avec la Société des Electriciens, des Electroniciens et des Radioélectriciens (SEE-France), ainsi que l'Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana (AEI). L'exposé qui suivit, montra que les problèmes posés par les centrales de production d'énergie électrique de structure complexe (pompage-turbinage, thermique, nucléaire), l'interconnexion de plus en plus forte des réseaux de transport de l'énergie électrique et leur surcharge, ainsi que l'optimisation du coût de la production et du transport de l'énergie électrique ne pouvaient plus être traités par l'homme seul, mais que celui-ci devait être assisté dans ses tâches par des calculateurs de processus.

Conférence d'introduction de H. Bühler, professeur, chaire d'électronique industrielle, EPF-Lausanne, président des journées

(voir aussi page 1574 de ce numéro)

Aperçu de l'utilisation de calculateurs de processus dans les centrales et les réseaux électriques

L'exposé présente les calculateurs de processus industriels qui se distinguent des ordinateurs courants par le fait qu'ils travaillent en temps réel et qu'ils doivent donc posséder une disponibilité et une vitesse de calcul élevées. Les calculateurs de processus sont parfaitement adaptés à la commande des centrales et des réseaux électriques de grandes dimensions pour des tâches d'identification de données, de surveillance, de réglage et de répartition optimale. Le rôle du calculateur de processus étant tout d'abord d'interpréter les données puis de donner des avertissements et finalement d'intervenir directement sur le processus tout en tenant un journal de bord des opérations effectuées.

L'implémentation d'un ordinateur de processus nécessite tout d'abord des études préliminaires: définition des tâches, rentabilité, hardware (choix du calculateur et des organes périphériques), puis ensuite une partie software: programme principal, sous programmes standards et spéciaux nécessitant le développement d'un langage approprié. Le conférencier souligna l'importance du feed-back indispensable entre les réalisations pratiques et les bases théoriques dans le domaine des calculateurs de processus des centrales et des réseaux électriques.

A. Thème des conférences: Hardware

1. Concept d'automatisation des réseaux comportant un calculateur de processus (Systemkonzepte mit Prozessrechner in der Netzautomatisierung)

Conférencier: *F. Tisl*, Dr ès sc. techn., S.A. Brown Boveri & Cie, Baden

Le calculateur de processus étant devenu un instrument reconnu dans les réseaux électriques, il est utile d'en connaître les possibilités et les applications. On constate que le calculateur de processus proprement dit n'est qu'un élément de toute la chaîne

681.3 : 62-503.55 : 621.311 : 621.316.1

d'information à laquelle il est lié: télémessure, télécommande, périphériques.

Chaque cas particulier nécessitant une étude complète du calculateur de processus en fonction des différentes possibilités d'application et des problèmes à résoudre. Dans ce but, le conférencier définit quatre catégories d'unités centrales de calculateurs de processus: microcalculateur, petit calculateur, calculateur moyen et gros calculateur, tout en précisant leurs domaines d'application et leurs possibilités d'utilisations: «on-line», «off-line», en boucle ouverte ou fermée. Les exigences, pour un calculateur de processus, sont: «hardware» modulaire, facilité de programmation, possibilité d'extension, fiabilité, entretien simple.

Pour terminer, un réseau type avec périphériques au niveau de la distribution, direction régionale et direction centrale, est présenté afin de préciser les catégories d'ordinateur à implanter à chaque niveau pour satisfaire: la collection des données, la protection, la surveillance, la conduite, l'estimation d'état, le réglage, l'optimisation et la planification.

2. Automatisation de la répartition d'énergie dans les sous-stations au moyen de calculateurs de processus (Automatisierung der Energieverteilung mit Rechnern in Unterwerken)

Conférencier: *B. Brösamle*, ingénieur diplômé, Sprecher et Schuh S.A., Suhr

Les entreprises fournissant et transportant l'énergie électrique ont pour but d'assurer à leurs clients une alimentation de bonne qualité et sans interruption. Dans ce but, ont été développés des systèmes d'automatisation à hautes performances basés sur l'ordinateur, ainsi que des systèmes de transmission à grande capacité tels que télétransmissions et liaisons entre calculateurs de processus.

L'automatisation des sous-stations doit remplir les fonctions suivantes: commande manuelle avec ou sans protocollage automatique, protocollage, commande automatique. Une application particulière montre l'utilisation de deux mini-ordinateurs dont l'un sert à l'enregistrement de données et l'autre exécute les programmes de commutation séquentiels. Une intégration hiérarchique des sous-stations automatisées («supervisory control») permet: la standardisation de l'automatisme au niveau des sous-stations (optimisation des frais, entretien plus facile), des investissements échelonnés, une augmentation de la sécurité (en cas de dérangement de la transmission des données, les sous-stations peuvent continuer à fonctionner), la simplification d'un problème de commande complexe par subdivision en problèmes partiels clairement définis. Les possibilités d'action du personnel sont de plus en plus réduites au profit de routines entièrement automatisées. L'homme de quart supervise le système à l'aide d'imprimantes, de schémas synoptiques et d'écrans de visualisation.

Le conférencier termina son exposé en traitant la conduite et la surveillance du réseau 400/275 kV d'Angleterre centrale et du sud au moyen de calculateurs de processus.

3. Dialogue homme - machine dans un centre de télécontrôles

Conférencier: *M. Tripet*, ingénieur, Landis et Gyr S.A., Zoug

La complexité des installations de centrales et de réseaux électriques nécessite l'introduction de calculateurs de processus afin d'augmenter la vitesse d'information, le contrôle de la qualité de l'information et la fiabilité, tout en laissant à l'homme la

possibilité de suivre le processus et d'intervenir dans la mesure du possible.

Les réseaux de télécontrôles, ainsi que les postes subordonnés sont reliés aux calculateurs de processus, lui-même relié aux organes de visualisation et d'intervention du poste de commande.

La visualisation étant réalisée au moyen de schémas synoptiques très simplifiés, d'imprimantes et de consoles de visualisation, alors que les interventions humaines se font par l'intermédiaire du clavier de commande. Une solution présentant une bonne sécurité est la suivante: deux systèmes de calcul de structures identiques (unité centrale, mémoire, disques) reliés par un «buffer». En temps normal, le premier ordinateur est «on-line» alors que le deuxième ordinateur peut être utilisé «off-line», pour des tarifications ou des calculs scientifiques. En cas de panne, le deuxième ordinateur prend immédiatement la relève du premier durant la réparation.

C. Thème des conférences: Surveillance et commande

4. Systèmes d'acquisition des informations dans les centrales et les réseaux électriques

Conférencier: A. Anderloni, Dr ingénieur, Centro Ricerca di Automatica ENEL, Milan

Le conférencier présente les difficultés introduites dans les chaînes de réglage comportant des calculateurs de processus lors de l'apparition de perturbateurs sur les télétransmissions. Le schéma synoptique fondamental du traitement de grandeurs analogiques au moyen d'un système d'acquisition approprié est constitué par le capteur, le conditionneur de signaux, l'analyseur, l'adaptateur de signal, le convertisseur analogique/numérique, l'interface contrôlé et le mini-ordinateur.

Les convertisseurs analogiques/numériques pouvant être du type à résistance pondérée possédant une grande précision, une petite tension maximum en mode commun, un petit taux de rejection aux parasites, ou du type à double rampe possédant une grande précision, une grande tension maximum en mode commun, un grand taux de rejection aux parasites.

Les télétransmissions peuvent être améliorées quant au parasitage, par l'utilisation de blindages appropriés et une systématisation de l'isolement galvanique des circuits (par exemple: isolement optique).

L'interprétation des transmissions perturbées peut être améliorée par la méthode analogique du zéro décalé ou la méthode numérique du double bit.

Il faut en tout cas, dans la mesure du possible, réaliser la conversion analogique/numérique à proximité immédiate des capteurs dans le but de limiter les perturbations de transmission des données.

5. L'utilisation des calculateurs dans les centrales thermiques et nucléaires

Conférencier: B. Copin, ingénieur, Direction des Etudes et Recherches EDF, Chatou (France)

Le conférencier analyse, au vu des résultats acquis en France, si les calculateurs de processus peuvent être considérés comme sûrs et rentables, ceci en fonction du type de centrale concerné.

Deux exemples pilotes ont été choisis: la centrale nucléaire de St-Laurent des Eaux et la centrale thermique classique de St-Ouen (2^e tranche).

Un intérêt des calculateurs de processus est de pouvoir simuler des défauts sur une installation afin d'en prévoir les conséquences.

Les difficultés apparaissent toutefois avec les calculateurs de processus quant à la difficulté de trouver des informaticiens connaissant les problèmes liés aux centrales électriques, ainsi que la rapide obsolescence du matériel implémenté. La tendance actuelle est à la recherche, dans chaque cas, d'un niveau d'automatisme optimal tenant compte de facteurs technico-économiques. Il semble tout de même que la tendance actuelle soit plutôt basée sur un calquage des méthodes classiques au moyen de nouveaux matériels au lieu d'une recherche de solutions nouvelles, particulièrement adaptée à la technique de pointe.

Au vu des résultats acquis, on peut tirer les enseignements suivants: les calculateurs de processus sont nécessaires dans le cas de systèmes complexes (centrales nucléaires où beaucoup de paramètres entrent en jeu); les calculateurs de processus ne se justifient, dans une centrale classique, que si l'on veut obtenir un automatisme poussé.

6. Gestion en temps réel d'un complexe d'usines de pompage

Conférencier: G. Dayer, ingénieur, Grande Dixence S.A., Sion

Le conférencier présente tout d'abord le complexe hydro-électrique de la Grande Dixence (Valais, Suisse) possédant un lac artificiel d'une contenance de 300 millions de m³ d'eau pour l'alimentation duquel il a été nécessaire d'étendre le bassin versant naturel en recourant à des captages d'eau dans les vallées voisines, en ayant recours à une centaine de kilomètres de conduites souterraines, ainsi qu'à des stations de pompage.

Le centre d'exploitation, équipé de calculateurs de processus, se trouve à Sion et est relié aux différents points de mesure et de commande par un réseau de télécommunications à haute fréquence travaillant sur les lignes à haute tension.

Les tâches qui incombent aux calculateurs de processus sont: la surveillance des débits d'eau, du niveau des lacs et des bassins de compensation, la prévision des débits d'eau, la commande et la visualisation de l'état des pompes, turbines, disjoncteurs et sectionneurs, l'intervention en cas de pannes, le calcul du prix de revient de l'énergie et sa comptabilisation.

Au vu des expériences réalisées, on peut se rendre compte que le prix du «hardware» des calculateurs de processus a tendance à diminuer, à service égal, alors que le prix du «software» augmente.

7. Protection des réseaux électriques à l'aide de calculateurs de processus se référant particulièrement à la protection des lignes

Conférencier: A. Tschini, Dr ingénieur, Centro di Ricerca elettrica ENEL, Milan

La protection des lignes par calculateurs de processus nécessite une partie détection, constituée par un diviseur capacitif en parallèle sur la ligne permettant la mesure de la tension, un shunt en série dans la ligne permettant la mesure du courant, ainsi qu'une self en série dans la ligne permettant la mesure de la pente du courant en fonction du temps. Les diverses informations provenant des capteurs énoncés ci-dessus traversent ensuite un processeur, puis un convertisseur analogique/digital et aboutissent à l'unité centrale du calculateur de processus, entourée des organes nécessaires aux entrées-sorties, ainsi qu'à la mémorisation. La partie «software» est constituée par une hiérarchie de routines de protection énoncées ici dans l'ordre de priorités décroissantes: élimination du défaut, détection du défaut, arrêt de la routine de protection, protection différentielle des sous-stations, localisation du défaut, protection différentielle des barres omnibus et des transformateurs et protection des lignes.

Le calculateur de processus permet la simulation des régimes transitoires (court-circuit, manœuvre de disjoncteurs ...), afin de tester la logique des programmes de protection.

8. Analyse au moyen d'un ordinateur de la déformation de la tension d'un réseau électrique (Analyse verzerrter Netzspannung mittels Prozessrechner)

Conférencier: J. Bruhin, Dr ès sc. techn. Carl Maier & Cie., Schaffhouse

On constate que la sinusoïde de tension d'un réseau électrique est déformée par la charge de ce réseau (par exemple par les convertisseurs statiques). Dans les buts, de déterminer les valeurs admissibles de déformation de tension, de mettre à disposition des données pour l'établissement de normes sur les déformations admissibles de la tension, de surveiller la déformation de la courbe de tension d'un réseau et de déclencher des mesures

permettant l'élimination de cette déformation, un analyseur constitué par un calculateur de processus a été développé.

La déformation de l'onde peut être appréciée comme l'écart de l'amplitude de la tension déformée par rapport à la valeur momentanée de consigne ou, comme l'écart de la valeur efficace d'une demi-période de la tension déformée par rapport à sa valeur de consigne. La détermination de l'importance des déformations est basée sur la précision de la tenue de la valeur efficace de la tension, la largeur de bande des écarts momentanés et la probabilité cumulée des écarts momentanés.

D. Discussion générale concernant les conférences 1 à 8

Directeur des débats: *J.-J. Morf*, professeur,
Chaire d'Installations Electriques, EPF Lausanne

Rappel des principales questions posées aux conférenciers

Conférences No 1 (*F. Tisi*) et No 3 (*M. Tripet*)

- Quelle est l'attitude de l'homme dans son dialogue avec la machine?
- De quelle façon a lieu la commutation d'un calculateur de processus sur l'autre en cas de panne?
- La tendance va-t-elle vers l'installation de calculateurs de processus dans les sous-stations?
- Faut-il choisir des disques à tête fixe ou mobile?

Conférence No 5 (*B. Copin*)

- Est-il nécessaire de doubler les calculateurs de processus dans une centrale?
- L'indisponibilité d'un calculateur de processus entraîne-t-elle l'indisponibilité de la tranche?
- Quelles sont les origines des pannes «hardware» et «software».
- Est-il plus judicieux de développer ses propres «hardware» et «software»?

Conférences No 7 (*A. Taschini*) et No 8 (*J. Bruhin*)

- Une perturbation de la forme sinusoïdale de l'onde de tension introduite par des convertisseurs statiques, par exemple, n'entraîne-t-elle pas l'intervention malencontreuse de la routine de protection des lignes?

E. Thème des conférences: Régulation et optimisation

9. Estimation d'état dans les systèmes d'alimentation en énergie électrique (Zustandsberechnung in elektrischen Energieversorgungssystemen)

Conférenciers: *E. Handschin*, Dr ès techn.,
S.A. Brown Boveri & Cie, Baden, et *H. Asal*, Dr EGL, Laufenburg

1^{re} partie: *E. Handschin*

Dans le but de pratiquer l'estimation d'état, c'est-à-dire l'exploitation judicieuse des mesures, essentiellement par l'intermédiaire d'un programme de flux de charge, dans des buts de contrôle des données, de comptabilisation, de protection, de réglage de réseau et d'optimisation, il est nécessaire de disposer d'un calculateur de processus. Un problème crucial est l'élimination des erreurs de mesure dues à des défauts de détecteurs et surtout à des perturbations de la transmission que l'on peut résoudre en utilisant la méthode des moindres carrés et les méthodes d'identification. Pour le moment, les calculateurs de processus se bornent à la collection des données et des mesures, ainsi qu'à leur traitement en attendant la possibilité d'intervenir directement sur les centrales et les réseaux électriques.

2^e partie: *H. Asal*

Présentation de l'application de l'estimation d'état utilisée à partir de l'année 1972, grâce aux calculateurs de processus, par la Société Electrique de Laufenburg (EGL). Pour pouvoir fournir des informations statistiques concernant le réseau suisse à haute

tension, l'estimation d'état est renouvelée de 15 minutes en 15 minutes.

Une présentation de résultats sur télétype permet de se rendre compte de l'importance de la forme de présentation des résultats afin de simplifier le dialogue homme - machine.

10. Surveillance automatique de l'exploitation des réseaux électriques

Conférencier: *M. Cuénod*, Dr ès sc. techn., ingénieur,
Société générale pour l'industrie (SGI), Genève

L'introduction de centrales thermiques, la dépendance face à l'étranger, l'interconnexion, les problèmes écologiques et d'environnement sont tous des facteurs entraînant une diminution de la sécurité du réseau suisse. La surveillance automatique des réseaux permet de pallier à ces difficultés, en tout cas pour un certain temps.

Au niveau du «dispatching», la surveillance automatique comporte des mesures préventives, des interventions adaptatives et des interventions sur la structure du réseau.

Une surveillance automatique, par calculateurs de processus, doit aussi intervenir au niveau des centrales électriques et des postes de couplage. Un problème essentiel à résoudre est l'optimisation de la sécurité pour laquelle il est nécessaire d'introduire un coefficient d'indisponibilité pénalisant fortement le kWh défaillant.

11. Les calculateurs dans le réglage du réseau

Conférencier: *G. Quazza*, professeur, Dr, ingénieur,
Centro Ricerca di Automatica ENEL, Milan

L'une des tâches essentielles qui incombe au réglage des réseaux interconnectés est le réglage fréquence-puissance.

On peut constater que lors d'à-coups de la charge du réseau, le réglage primaire est lié à l'inertie des masses tournantes des machines du réseau interconnecté, alors que les calculateurs de processus peuvent intervenir sur le réglage secondaire des groupes tournants.

Les calculateurs de processus permettent également de choisir la bande de réglage, la valeur et la distribution des réserves tournantes, d'assurer la sécurité dynamique au moyen de la simulation en ligne d'incidents crédibles sur modèles simplifiés du comportement transitoire du réseau, ainsi que de détecter, en temps réel, des perturbations du réseau. On peut également opérer, grâce au calculateur de processus, la coordination de l'ilotage et du délestage centralisé, ainsi que la coordination de la reprise du service après une intervention.

12. Distribution optimale de la puissance active

Auteur: *A. Merlin*, ingénieur, Direction des Etudes
et Recherches EDF, Clamart (France)
Conférencier: *M. Augès*

Il est intéressant de connaître la répartition optimale des productions sur un réseau électrique pour résoudre les problèmes de conduite en temps réel, de gestion prévisionnelle des moyens de production et de planification des réseaux. Il est nécessaire de trouver un optimum entre des critères économiques de coût de production et des critères de sécurité de coût du temps de délestage.

La distribution optimale de la puissance active est étudiée au moyen de l'ordinateur grâce à un programme de flux de charge pouvant travailler «off-line» dans les cas de gestion prévisionnelle et «on-line» dans les cas de conduite en temps réel.

Le programme développé dans ce but à l'EDF permet de traiter des réseaux comportant jusqu'à 600 nœuds.

13. Amélioration de la répartition de la puissance réactive

Conférencier: *J.-J. Morf*, professeur, EPF Lausanne

Le conférencier montre en quoi les problèmes de répartition des puissances active et réactive sont semblables et en quoi ils diffèrent.

Similitude: l'optimisation des productions de puissances active ou réactive peut être réalisée en minimisant les fonctions de coût total.

Différences: dans le cas des puissances actives, un paramètre est commun, il s'agit de la fréquence que l'on doit maintenir, alors que dans le cas de puissances réactives on doit maintenir plusieurs tensions entre certaines limites. Les consignes des régulateurs des turbines sont nécessairement statiques, alors que les consignes des régulateurs de tension peuvent être astatiques.

Le coût horaire marginal du MW est facile à déterminer et presque constant, alors que le coût horaire marginal du Mvar est difficile à déterminer et non constant. Le coût horaire marginal du MW est relativement élevé alors que le coût horaire marginal du Mvar est relativement bas. L'écart de fréquence est très faible alors que l'écart des tensions peut atteindre $\pm 10\%$. Les turbines seules permettent de régler la puissance active, alors que la puissance réactive est liée aux alternateurs, aux transformateurs à gradins, aux condensateurs et inductances shunts et aux compensateurs synchrones. Les limites de puissance active sont bien connues pour chaque turbine, alors que les limites de puissance réactive sont moins bien connues.

On constate qu'un des problèmes essentiels pour l'amélioration de la répartition de la puissance réactive n'est pas un problème de calcul, facilement résolu à l'aide d'un programme de flux de charge, mais plutôt un problème de fixation d'un critère de pénalisation des écarts de tension.

F. Discussion générale concernant les conférences 9 à 13

Directeur des débats: *H. Bühler*, professeur,
Chaire d'Electronique Industrielle, EPF Lausanne

Rappel des principales questions posées aux conférenciers

Conférence No 9 (*E. Handschin et H. Asal*)

– La méthode des moindres carrés est-elle valable dans le cas d'erreurs systématiques?

Conférence No 10 (*M. Cuénod*)

- Est-il justifié de fixer le prix du kWh défaillant proportionnellement au prix de vente du kWh en régime normal?
- L'entraînement du personnel des centrales et des réseaux n'est-il pas plus judicieux, grâce à la simulation sur l'ordinateur du calculateur de processus de l'installation considérée, que lors de cours dans un centre d'entraînement par trop hors du contexte?

Conférence No 11 (*G. Quazza*)

- Est-il possible de régler véritablement, par le calculateur de processus, des échanges dans les lignes étant déjà sous fortes contraintes?
- Quelle est la méthode utilisée pour établir la fonction de transfert d'un réseau?

Conférence No 12 (*A. Merlin, M. Augès*)

- La courbe représentant les coûts de production valables pour les centrales thermiques s'applique-t-elle aux centrales nucléaires?
- La gestion des réservoirs est-elle envisagée?
- Existe-t-il une optimisation liée aux contraintes de sécurité en cas d'effondrement de certaines lignes?
- Est-il possible de tenir compte des centrales de pompage-turbinage?

Conférence No 13 (*J.-J. Morf*)

- La tolérance de $\pm 10\%$ sur la valeur de la tension ne pourrait-elle pas servir de critère afin d'optimiser la répartition de puissance réactive, constatant qu'en fait des fluctuations sont en général relativement faibles par rapport à cette bande de $\pm 10\%$?

M. Aguet

Wir machen darauf aufmerksam, dass ein Sonderdruck der vollständigen Tagungsbeiträge erhältlich ist. Eine gewisse Anzahl kann beim SEV, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich, zum Preise von Fr. 40.– (Fr. 25.– für Mitglieder) bezogen werden.