

Les ordinateurs de commande et de sûreté des centrales nucléaires CANDU

Au Canada la réalisation de la troisième étape nécessite un système de mise à l'arrêt complètement automatisé

par R.S. Gilbert

L'industrie nucléo-énergétique a toujours fait preuve de prudence avant d'introduire des dispositifs numériques dans ses systèmes de commande. Dans la plupart des cas les constructeurs de centrales n'en ont pas vu la nécessité ou ont hésité à les doter de systèmes de commande numériques.

Contrairement à l'industrie nucléo-énergétique, les industries de transformation avec opérations commandées (par exemple les raffineries de pétrole) ont adopté les ordinateurs qui présentent de nombreux avantages pour

la commande des grands systèmes de transformation. Au début des années 1970 on inventa des systèmes de commande des opérations conçus autour d'un grand ordinateur central. Ce grand ordinateur recevait des renseignements recueillis par capteurs dans l'usine même et prenait toutes les décisions requises pour assurer directement la commande ou l'optimisation de l'exploitation. Toutefois, même dans ces installations, on avait prévu des systèmes manuels de secours pour commander le démarrage ou l'arrêt des opérations et pour assurer une exploitation ininterrompue au cas où l'ordinateur central ferait une erreur on tomberait en panne.

Les concepteurs des centrales nucléaires CANDU ont reconnu les avantages que présentait la commande par ordinateur et, pour en assurer l'exploitation, emploient des ordinateurs de commande depuis plus d'une quinzaine d'années déjà. Les fonctions accomplies par ces ordinateurs ont évolué et se sont développées avec chaque nouveau modèle. Au début de la réalisation des systèmes de commande des centrales CANDU, il s'agissait d'éliminer les systèmes de secours à commande manuelle en créant un système automatique de sûreté

M. Gilbert est le Chef du service des systèmes électroniques de l'Energie atomique du Canada, Sheridan Park Research Community, Mississauga, Ontario.

Les ouvrages de référence dont s'inspire le présent article sont: «Evolution of Computer-Based Surveillance, Control and Man-Machine Communication Systems in Nuclear Power Stations» de H.M. Wilkinson, décembre 1979; «Benefits from the Use of Computers in CANDU Shutdown Systems» présenté par N.M. Ichien lors de la Réunion de spécialistes de l'AIEA sur l'emploi de dispositifs de calcul numériques dans les systèmes importants pour la sûreté, Saclay (France), novembre 1984; et «The Use of Digital Computers in CANDU Shutdown Systems», de R.S. Gilbert et C.W. Komorowski, rédigé pour la même réunion de Saclay.

Tableau synoptique des stations nucléo-énergétiques

	Douglas Point	Pickering «A»	Bruce «A»	Pickering «B»	CANDU 600	Bruce «B»	Darlington
Production d'énergie électrique (mégawatts)	1 x 200 (200 MW)	4 x 540 (2160 MW)	4 x 750 (3000 MW)	4 x 540 (2160 MW)	1 x 680 (680 MW)	4 x 750 (3000 MW)	4 x 850 (3400 MW)
Date d'entrée en service (première et dernière tranche)	1962	1971/73	1977/79	1982/83	1982/83	1983/87	1987/90
Entrées numériques	80	400	512	448	1104	576	656
Entrées analogiques	550	1152	1408	1408	1728	1840	2080
Sorties numériques	46	272	408	256	712	504	448
Sorties analogiques	17	42	32	42	64	36	72
Tube d'affichage à rayon cathodique (par tranche)		2 écrans	10 écrans (noir/blanc)	9 écrans (couleur)	13 écrans (couleur)	10 écrans (couleur)	18 écrans (couleur)
Imprimante	3 machines à écrire	2	2	2	2	2	2
Nombre des principaux sous-programmes de logiciel en temps réel	4	10	18	14	17	18	19

Le système type de commande d'une centrale CANDU est très complexe. Un réacteur CANDU 600 compte environ 1700 entrées analogiques, 1100 entrées numériques, 64 sorties analogiques et 700 sorties numériques. Le système est également doté d'un dispositif de balayage qui surveille l'état de 2000 signaux numériques 300 fois par seconde. Si une quelconque des entrées change d'état, il transmet l'information à l'ordinateur de commande. La photo montre la centrale nucléaire Gentilly-2 (Québec) dont le réacteur de 645 MWe est entré en exploitation industrielle en 1983. (Photo: AECL)

Fonctions commandées par ordinateur dans plusieurs générations de centrales							
Fonction	Instruments de surveillance						
	Douglas Pt.	Pickering «A»	Bruce «A»	Pickering «B»	CANDU 600	Bruce «B»	Darlington
Balayage pour alarmes ponctuelles							
Surveillance de la température des canaux							
Surveillance ou prévision de présence de Xénon							
Système de régulation du réacteur							
Régulation de la puissance fournie par la tranche							
Commande de la pression de la chaudière							
Commande de la température du modérateur							
Réduction de la puissance du réacteur							
Surveillance et établissement des cartes de flux							
Surveillance de la turbine							
Lancement de la turbine							
Commande de l'alimentation en combustible							
Surveillance de la séquence des opérations							
Commande du transport de la chaleur primaire							
Commande du niveau de la chaudière							
Commande du dégazeur							
Message sur CRT (alpha numérique)							
Graphique sur CRT							
Stockage de données historiques							
Surveillance du système de sûreté							
Déclenchement du système de sûreté							

fiable et capable de tenir compte des erreurs humaines. Ces systèmes étant les premiers de leur genre, l'Energie atomique du Canada et l'industrie canadienne ont été les premières à acquérir une expérience dans la conception, l'homologation et l'installation de grands systèmes de commande numérique directe.

L'industrie nucléo-énergétique, toujours prudente, n'en a pas moins changé son attitude. Il ressort de conférences tenues récemment que l'usage de systèmes numériques se répand de plus en plus dans tous les systèmes à réacteurs. De fait, les centrales CANDU, comme d'autres d'ailleurs, ont recours à une logique informatisée pour assurer les fonctions de sûreté et de commande. Dans les centrales CANDU, les nouvelles applications liées à la sûreté tiennent compte de l'expérience acquise avec les ordinateurs pour assurer la commande de l'ensemble de la centrale. Cette tendance à employer des ordinateurs dans les systèmes spéciaux de sûreté est explicable: on escompte ainsi d'une part réduire les coûts et, d'autre part, accroître la production ainsi que la fiabilité et la sûreté du système.

On étudie actuellement un système très complet qui fait appel à des ordinateurs pour toutes les fonctions de mise à l'arrêt. On pense qu'il répondra aux espoirs qu'on met en lui et qu'il donnera des résultats aussi bons que ceux qu'on a obtenus jusqu'à ce jour avec des systèmes informatisés comparables. On pense également que les centrales CANDU intensifieront l'emploi des ordinateurs dans tous les domaines de la commande et qu'on pourra mettre pleinement à profit l'expérience

déjà acquise pour concevoir de nouveaux systèmes faisant intervenir des systèmes de téléacquisition de données et des voies réservées à la transmission de ces données.

Les centrales prototypes CANDU

La première centrale CANDU à employer des ordinateurs pour la commande a été la centrale prototype de Douglas Point. Elle était dotée d'un seul ordinateur du type Control Data 636 qui servait à effectuer les balayages permettant de déclencher l'alerte, à surveiller la température et à assurer la régulation de la puissance.

Le tableau ci-joint représente les fonctions de commande effectuées par ordinateur et mises en service dans plusieurs générations de centrales. Toutes les centrales CANDU construites après Douglas Point assuraient les fonctions de commande à l'aide de deux micro-ordinateurs montés selon une configuration ordinateur maître/ordinateur d'intervention appelés respectivement DCCX et DCCY. Avec cette configuration, les deux ordinateurs reçoivent toutes les informations recueillies par les capteurs et exécutent des programmes identiques de commande de la centrale.

Normalement, ce sont seulement les signaux de l'ordinateur maître (DCCX) qui assurent la commande des opérations de la centrale. Si une défaillance est détectée lors des contrôles qu'assurent eux-mêmes le matériel et le logiciel, la commande est automatiquement transférée à l'ordinateur d'intervention (DCCY). Pour cela, il y a déconnexion des signaux de commande du

premier et connexion des signaux de sortie du second sur les fonctions de la centrale. On peut transférer tout ou partie des fonctions de commande selon le type de défaillance détecté.

Jusqu'ici on a employé le système ordinateur maître/ordinateur d'intervention dans toutes les centrales CANDU de type industriel. Le système a permis d'assurer une disponibilité de 99,8% pour une durée d'exploitation de plus de cinquante années de réacteur.

Comme nous l'avons déjà dit, les centrales CANDU actuelles, ainsi que d'autres encore, utilisent dorénavant des ordinateurs dans leurs systèmes spéciaux de sûreté. Les systèmes spéciaux de sûreté sont entièrement séparés et indépendants du système de commande de la centrale représenté sur le tableau ci-joint. Jusqu'à une époque relativement récente, les systèmes de sûreté ne faisaient pas appel aux ordinateurs.

Cependant les avantages et les bénéfices qu'on a trouvés à employer les ordinateurs pour les fonctions de commande sont apparus tout aussi intéressants pour les systèmes spéciaux de sûreté. C'est pourquoi, dans les centrales les plus récentes, on a commencé à installer des ordinateurs dans les systèmes spéciaux de sûreté. Le système d'arrêt n° 1 (SDS1) et le système d'arrêt n° 2 (SDS2) sont deux systèmes dans lesquels on recourt le plus intensivement aux ordinateurs. Le système d'injection d'urgence de fluide de refroidissement est le troisième système spécial de sûreté pour lequel on a fait appel aux ordinateurs.

Principes élémentaires d'un système d'arrêt

Un système d'arrêt se compose de capteurs de surveillance des opérations, de dispositifs d'interruption de la réactivité (par exemple barres absorbantes tombant en chute libre) ainsi que d'instruments et d'une logique intermédiaires. Si les capteurs déclenchent que la centrale fonctionne dans des conditions qui risquent d'en compromettre la sûreté (par exemple puissance trop élevée, débit insuffisant du fluide de refroidissement) les dispositifs de commande de la réactivité interviennent de façon à arrêter rapidement la réaction en chaîne. Pour plus de fiabilité, les capteurs et la logique sont prévus en trois exemplaires.

Depuis le milieu des années 1970, des réacteurs CANDU emploient deux systèmes de mise à l'arrêt, indépendants et d'une égale efficacité. Chacun de ces systèmes est composé de trois chaînes d'instrumentation indépendantes et redondantes. Les données de sortie de ces trois chaînes sont combinées selon un système de décision prise à la majorité de deux sur trois qui sert alors à déclencher l'arrêt du réacteur.

Parmi les exigences importantes qui influent sur la conception de ces systèmes nous citerons:

- L'état de la centrale, ainsi que les mesures permettant de décider s'il faut l'arrêter et les points où elles ont été relevées, doivent être affichés en permanence dans la salle de commande centrale.
- Il faut pouvoir soumettre le système à des essais complets depuis la salle de commande centrale. Ces essais doivent donner la preuve que le système fonctionne bien, du capteur primaire au mécanisme de mise à l'arrêt.
- La logique doit pouvoir fonctionner dans des conditions éprouvantes (par exemple à haute température ou pendant un tremblement de terre).

- Le système doit être conçu pour satisfaire à un objectif d'indisponibilité fixé à 0,001. Ainsi le système est conçu et soumis régulièrement à des essais en sorte qu'il fonctionne 999 fois sur 1000.

- Chaque chaîne des deux systèmes de mise à l'arrêt doit fournir deux mesures différentes, afin qu'on puisse détecter tout accident de référence.

L'informatisation des systèmes de mise à l'arrêt s'est développée en trois étapes:

- surveillance des variables importantes du système de mise à l'arrêt;
- informatisation de certaines fonctions de déclenchement du système de mise à l'arrêt;
- informatisation complète du système de mise à l'arrêt couvrant la logique de déclenchement, les interfaces avec les opérateurs, les essais et la surveillance.

Les deux premières de ces étapes ont été achevées dans la fin des années 1970 et le début des années 1980. La troisième est en voie d'achèvement et un système entièrement automatisé de mise à l'arrêt sera mis en place en 1986.

Parmi les principaux avantages que présentent ces systèmes, nous citerons:

- frais généraux moins élevés;
- logique plus adaptable;
- meilleure procédure d'essais;
- meilleure interface homme-machine;
- disponibilité accrue (diminution des indisponibilités).

Pour mieux comprendre comment on utilise les ordinateurs dans les systèmes de sûreté des centrales CANDU nous en examinerons ci-après certaines applications particulières.

Surveillance du système de mise à l'arrêt: Phase 1

Il existe deux tranches CANDU de 4 X 750 mégawatts à la centrale Bruce (Ontario, Canada). Un système d'ordinateurs de surveillance a été mis au point pour chacune des centrales. Ces systèmes sont récemment entrés en service. Pour la centrale Bruce «B» le système a été mis en place avant le début des opérations; pour la centrale «A», il a été installé après coup.

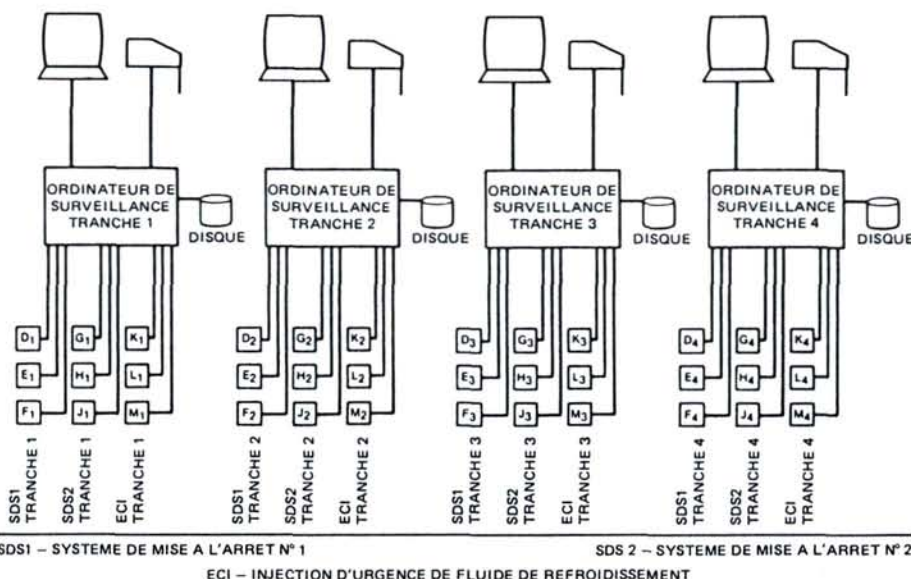
Ce système de surveillance est conçu de façon à présenter à l'opérateur, sur des tubes à rayons cathodiques, des renseignements en provenance de toutes les chaînes du système de sûreté. La raison qui a conduit à l'installation de ce système est que l'on voulait avoir des alarmes à la limite du déclenchement de l'arrêt et des affichages du flux. Cependant, à mesure que les études progressaient, on a ajouté de nouvelles fonctions pour améliorer la présentation des renseignements fournis à l'opérateur. Ces perfectionnements supplémentaires ont porté sur:

- la présentation des valeurs et des points de mesure;
- la présentation de données historiques mémorisées et des tendances;
- l'enregistrement des valeurs relevées au moment du déclenchement de l'arrêt lors des essais;
- les alarmes spéciales indiquant des dérèglements du système.

Déclenchement de l'arrêt: Phase 2

Les systèmes d'arrêt des réacteurs de 600 MW sont identiques à ceux des autres centrales CANDU, à une

CONFIGURATION DE L'ORDINATEUR DE SURVEILLANCE DE LA CENTRALE BRUCE «A»



Le figure représente le système de surveillance complet d'une station. L'ordinateur de surveillance central est un Data General MP-200 Micronova. Cet ordinateur est complètement isolé des diverses chaînes du système de mise à l'arrêt et reçoit les données transmises sur liaisons à fibres optiques par des multiplexeurs situés à distance. Chaque multiplexeur est du type Data General MP-100 Micronova. Les multiplexeurs recueillent les données provenant de chacune des chaînes du SDS1 et du SDS2 ainsi que du système d'injection d'urgence de fluide de refroidissement. Dans ces trois systèmes de sûreté, les organes qui déclenchent le système emploient des instruments analogiques et une logique à relais classiques. (Photo: AECL)

exception près. Certaines fonctions de déclenchement de l'arrêt des réacteurs CANDU 600 nécessitaient une logique spéciale de mise en condition et, à cette fin, on a eu recours à des micro-ordinateurs. On a appelé ces micro-ordinateurs comparateurs numériques programmables (CNP) parce qu'ils remplaçaient la fonction de comparateurs analogiques et leur mise en condition correspondante. Ces CNP sont en service depuis juillet 1972.

Contrairement au système à ordinateur de surveillance qui n'assure qu'une fonction de supervision sans faculté critique, le CNP accomplit la fonction de déclenchement de l'arrêt pour certaines variables de la valeur de déclenchement. Compte tenu de la faculté critique des CNP, on a adopté pour leur conception un certain nombre de mesures pour assurer leur fiabilité:

- Des sous-programmes du logiciel assurent de nombreux contrôles de la mémoire de l'ordinateur, des programmes et des données en mémoire, des signaux d'entrée et de sortie, ainsi que des instructions de l'ordinateur. Ces contrôles périodiques se font de manière continue, en direct et en cours d'exploitation normale.
- Chaque CNP est doté d'un contrôleur de séquences qui déclenche automatiquement l'arrêt quand il y a un dérèglement ou panne complète de l'ordinateur.
- Le logiciel reste très simple et est structuré en boucle unique, sans interruption. Un passage de programme sur deux, le logiciel de déclenchement d'arrêt emploie des données d'essais en mémoire et non des données recueillies sur le vif, afin de vérifier son propre fonctionnement.
- Chaque passage de programme comprend un contrôle qui assure que toutes les parties du logiciel sont exécutées dans l'ordre voulu.
- Les programmes sont stockés dans une mémoire morte programmable (PROM).
- Un certain nombre de modifications mécaniques et électriques ont été apportées pour que les CNP résistent aux séismes et pour qu'ils soient insensibles au bruit injecté électriquement.

Les comparateurs numériques programmables sont des Data General MP100 Micronovas à mémoire morte

programmable de 4K*. Il n'existe pas d'équipement périphérique autre que le dispositif d'entrée et de sortie qui sert d'interface à ces CNP. Ces derniers sont construits selon une configuration minimale de matériel afin d'accroître leur fiabilité.

Système de mise à l'arrêt complètement informatisé: Phase 3

La centrale Darlington «A» est une centrale à plusieurs tranches pour laquelle on s'est inspiré de la centrale Bruce «B» dont nous venons de parler. Elle est actuellement en construction et la première tranche entrera en service en 1987. Une caractéristique propre à cette station est que les systèmes de mise à l'arrêt (SDS1 et SDS2) emploient des ordinateurs pour toutes les fonctions d'arrêt, et ce de manière intégrée (voir l'encadré à la page 12 pour la description de la partie «matériel» de l'ordinateur).

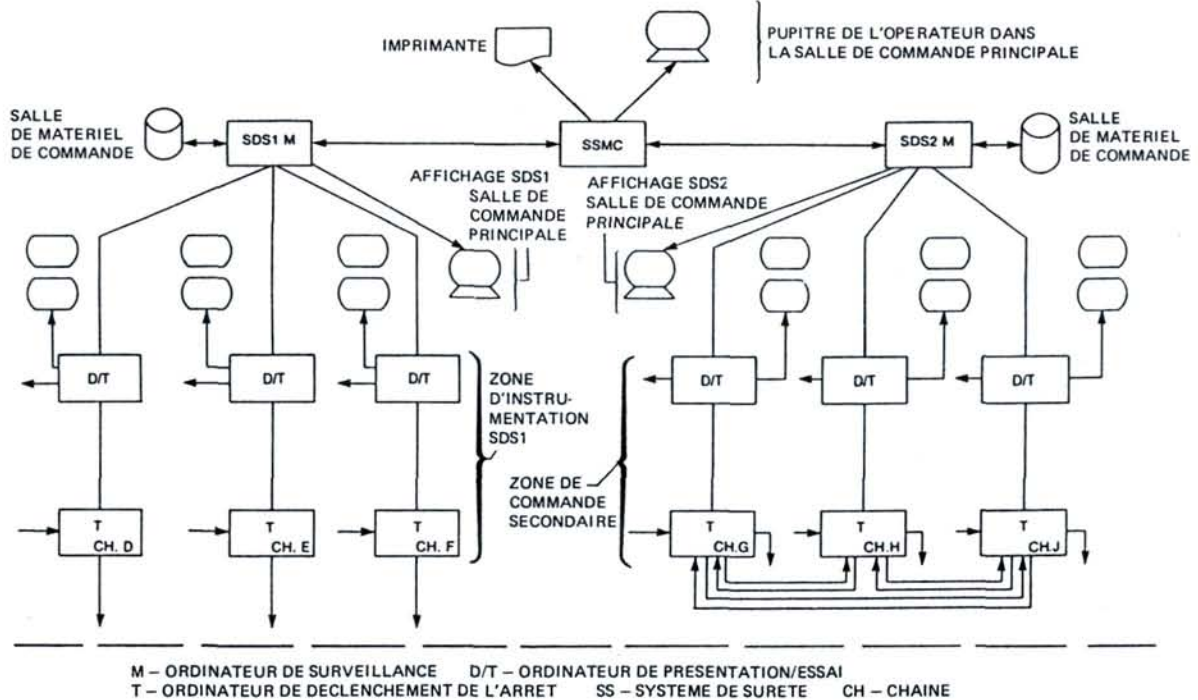
Des ordinateurs de surveillance séparés sont employés pour chaque système de mise à l'arrêt. Ces deux ordinateurs assurent des fonctions analogues à celles des ordinateurs de surveillance de la centrale Bruce. Chaque ordinateur fonctionne indépendamment et chacun reçoit les données de trois ordinateurs pour affichage des essais environ toutes les deux secondes. Dans le système de Darlington, ces ordinateurs de surveillance assurent en outre:

- une interface avec l'opérateur pour la commande des séquences périodiques d'essai;
- une interface avec l'opérateur pour le réétalonnage des détecteurs de flux de neutrons;
- un dispositif d'affichage de réserve pour la présentation des données provenant des diverses chaînes.

L'opérateur agit sur ces ordinateurs de surveillance de deux manières. Il peut obtenir des renseignements de l'un ou de l'autre ordinateur en passant ses demandes par l'ordinateur de surveillance du système de sûreté placé sur son pupitre de commande. Il peut en outre choisir les fonctions à l'aide de claviers spéciaux placés

* Kilomultiplier: unité de mémoire centrale valant 1024 multipliers.

CONFIGURATION DES SYSTEMES DE MISE A L'ARRET ENTIEREMENT INFORMATISES



La figure montre comment les ordinateurs sont agencés dans les systèmes de mise à l'arrêt d'une tranche de la centrale de Darlington: les systèmes de mise à l'arrêt un et deux (SDS1 et SDS2) emploient au total 15 ordinateurs isolés les uns des autres, la communication de données entre ordinateurs étant assurée par des liaisons à fibres optiques. Ces liaisons sont conçues pour fonctionner de manière asynchrone, à des débits pouvant atteindre 19,2 Kbit par seconde. Chaque liaison transmet normalement environ 500 multipléts par seconde.

L'ordinateur représenté en haut de la figure est appelé ordinateur de surveillance du système de sûreté (SSMC). Il est inclus dans la conception pour qu'il soit possible de présenter à l'opérateur, en un point central, les renseignements provenant des ordinateurs de surveillance SDS1 et SDS2. Ce processeur commande les périphériques depuis un pupitre d'opérateur qui se trouve au centre de la salle de commande principale. (Photo: AECL)

dans les deux parties de la salle de commande centrale réservées au SDS1 et au SDS2. A côté de chacun de ces claviers se trouvent des écrans à rayons cathodiques d'usage général, qui affichent l'information demandée. Ces écrans servent normalement à aider l'opérateur pour les procédures des séquences d'essais et de réétalonnage des détecteurs de flux.

Ordinateurs des chaînes de présentation/essai

Chaque chaîne des deux systèmes de mise à l'arrêt est dotée d'un ordinateur de présentation/essai. Ce processeur reçoit les données d'un ordinateur de déclenchement d'arrêt qui lui est associé. Ces données, une fois converties, servent à présenter des histogrammes ou les valeurs des paramètres de déclenchement relevés sur les écrans des diverses chaînes. Les mêmes données sont également transmises à l'ordinateur de surveillance approprié. Ces processeurs des résultats des essais donnent non seulement une présentation des résultats obtenus sur les écrans, ils servent en outre de tampons pour les commandes des essais et autres signaux d'entrée et de sortie qui doivent être isolés de l'ordinateur de surveillance ou de la salle de commande principale.

Ordinateurs de déclenchement d'arrêt

Les ordinateurs de déclenchement d'arrêt traitent tous les paramètres que leur fournissent les systèmes de mise à l'arrêt. Ils sont analogues au CNP des réacteurs CANDU 600 et assurent les fonctions suivantes:

- échantillonnage des entrées de signaux opérationnels;
- prise de toutes les décisions relatives au déclenchement de l'arrêt;
- compensation dynamique des relevés des détecteurs de flux;
- réception et application des facteurs de réétalonnage des détecteurs de flux;
- transmission des données à l'ordinateur de présentation des résultats des essais.

Tendances futures

Les succès obtenus dans l'application des ordinateurs à la commande de l'exploitation et, plus récemment, aux systèmes de sûreté ont continué à démontrer l'intérêt de l'intelligence artificielle dans les centrales CANDU. Les progrès rapides accomplis par l'industrie des ordinateurs ont également ouvert la voie à des innovations. A l'heure actuelle, il semble qu'il existe trois domaines où l'on puisse attendre des changements sensibles.

Tout d'abord on recourra à un système où l'acquisition des données et les fonctions de commande seront réparties afin de réduire les coûts de câblage et les délais de construction. On trouve un exemple de cette tendance dans le modèle actuel de réacteur CANDU 300 qui comprend un système de commande utilisant des canaux pour données et des multiplexeurs à distance.

Le deuxième domaine où interviendront des changements est celui du perfectionnement des interfaces homme-machine dans la salle de commande. Il existe

maintenant de nouvelles techniques d'affichage qui réduiront les coûts et amélioreront la qualité des interfaces homme-machine.

Le troisième domaine d'innovations est lié aux retombées des conditions exceptionnelles imposées pour certaines réalisations. Il existe des situations particulières

où l'expérience acquise avec le matériel et le logiciel ou les systèmes utilisés dans les centrales du type CANDU peuvent servir à d'autres applications. Nous citerons à titre d'exemple l'emploi des ordinateurs dans les dispositifs d'intervention d'urgence des centrales de faible puissance.

Matériel des ordinateurs employés pour le système de mise à l'arrêt des centrales CANDU

Les ordinateurs qui entrent dans un système de mise à l'arrêt entièrement informatisé sont des produits qu'on trouve couramment sur le marché. A l'exception du système de mise à l'arrêt n°2 (SDS2) tous les ordinateurs de déclenchement de l'arrêt sont des unités centrales de traitement de la série General Automation 250 connectés à du matériel entrée/sortie de General Automation. Les ordinateurs de déclenchement de l'arrêt SDS2 sont des processeurs DEC LSI 11/23 connectés à des entrées/sorties de Computer Products. Tous ces ordinateurs ont un processeur central de 16 bits. Les systèmes de mise à l'arrêt n°1 (SDS1) et les SDS2 de surveillance ont 64K de mémoire et un disque à 10,2 mégamultiplets.

Les ordinateurs de présentation/essai et l'ordinateur de surveillance du système de sûreté ont une mémoire à accès aléatoire (RAM) de 32K et une mémoire morte (ROM) de 16K. Le tableau ci-joint donne la liste des dispositifs d'entrée et de sortie types, ainsi que du matériel qui leur est associé. Ces ordinateurs ainsi que les ordinateurs de déclenchement de l'arrêt sont des dispositifs sans égaux qui exécutent les programmes en mémoire morte selon une boucle ininterrompue.

Dispositifs de présentation

Les générateurs de présentation vidéo (VDG) qui assurent la visualisation sur écrans sont de la marque RAMTEK, modèle 6210. Ils peuvent faire des présentations graphiques en couleurs ou alpha numériques avec une résolution maximale de 640 X 480 points.

Des tubes à rayons cathodiques conçus pour résister à l'environnement et aux séismes sont connectés aux VDG de présentation des résultats des essais. Les dispositifs d'affichage en couleurs des ordinateurs de surveillance ne sont pas conçus pour résister aux séismes. Les VDG de surveillance ont un dispositif supplémentaire doté d'un traceur de vecteurs qui permet de représenter des tendances.

Réception des signaux opérationnels

Tous les ordinateurs du système reçoivent les signaux opérationnels par un module de raccordement spécialement conçu à cet effet. Ce module, qui peut être utilisé avec différentes marques d'ordinateurs a été conçu pour assurer de manière passive un filtrage de tous les signaux d'entrée et de sortie de chaque ordinateur. Ce module renferme des transducteurs à fibres optiques, un indicateur d'état des entrées et sorties numériques, ainsi qu'un contrôleur de séquences pour chaque processeur.

Communications et verrouillage des liaisons

Dans ce système toutes les communications régulières sont traitées par des processeurs DEC LSI dans chaque ordinateur. L'information est transmise dans tous les cas de manière asynchrone et la plupart du temps dans une seule direction. Le système est conçu pour que l'opérateur puisse transmettre des données des ordinateurs de surveillance à un ordinateur de présentation/essai et à un ordinateur de déclenchement de l'arrêt. Cependant il existe un dispositif de verrouillage en sorte que, dans chaque système de mise à l'arrêt, la transmission des données vers l'aval ne puisse avoir lieu que sur une seule chaîne à la fois. Les dispositifs de verrouillage qui commandent ce type de transfert de données sont extérieurs aux

ordinateurs proprement dits et font partie des circuits de transducteurs à fibres optiques dont est doté chaque module de raccordement.

L'opérateur profite de la possibilité d'envoyer des données vers une chaîne donnée pour commander l'essai des instruments des diverses chaînes et pour réétalonner les signaux des détecteurs de flux dans un ordinateur de déclenchement d'arrêt.

**Système de mise à l'arrêt entièrement informatisé:
Caractéristiques distinctives du matériel**

Eléments de l'ordinateur	Surveillance du système de sûreté	Surveillance du système de mise à l'arrêt	Résultats des essais	Déclenchement de l'arrêt
RAM	32KW	64KW	32KW	16KW
ROM	16KW	—	16KW	16KW
Liaisons en série	3	5	4	1
Disque	—	1	—	—
Clavier	1	1	—	—
VDG	1	1	2	—
CRT couleur	1	1	—	—
Mono-chromatique	—	—	2	—
Entrée numérique	16	64	64	32
Sortie numérique	32	32	128	48
Entrée analogique	—	—	16	48
Sortie analogique	—	4	4	4
RAM: Mémoire à accès aléatoire	VDG: Générateur de présentation vidéo			
ROM: Mémoire morte	CRT: Tube à rayons cathodiques			

Logiciel

Tout le logiciel d'application de ce système a été spécialement conçu. La plupart des programmes, y compris le logiciel de déclenchement, sont écrits en FORTRAN. Les ordinateurs de surveillance emploient un système d'exploitation fourni par le fabricant.

Les processeurs des ordinateurs de surveillance du système de sûreté, de présentation/essai et de déclenchement de l'arrêt ont des logiciels d'une architecture très simple et exécutent généralement un passage dans une boucle de programme principal toutes les 30 à 100 ms.

Comme cela a été le cas pour les centrales précédentes, chaque ordinateur possédera plusieurs dispositifs d'auto-vérification. C'est dans les ordinateurs de déclenchement d'arrêt qu'on en trouve le plus et ils sont conçus en sorte que l'unité centrale de traitement, la mémoire et les dispositifs d'entrée et de sortie fonctionnent correctement. Si un ordinateur détecte lui-même une défaillance grave ou s'il ne parvient pas à exécuter son programme dans une période de temps prédéterminée, le contrôleur de séquences neutralise automatiquement les sorties.