



VAPO HYDRAULICS CONCOIT

Un élévateur hydraulique d'une précision de 0,1 mm

À première vue, l'hydraulique semble être une technologie traditionnellement connue qui a toujours sa place dans la lourde construction de machines et dans d'autres applications. Certains profanes ne réalisent toutefois pas que le fonctionnement de l'hydraulique n'est pas linéaire. La constante de ressort du système d'huile hydraulique est par exemple assez stable dans le cas d'une courte longueur de course mais elle diminue en fonction de la longueur de course. Control & Automation Magazine s'est entretenue avec Stijn Schacht de VAPO Hydraulics, un constructeur belge de vérins hydrauliques qui a récemment fourni à la société irlandaise CFS une installation d'élévateur hydraulique pour éléments en béton préfabriqué.



En sous-traitance pour Construx, VAPO a conçu, construit et réglé un élévateur hydraulique de marchandises pour le fabricant de produits préfabriqués irlandais CFS. Le but du projet était de déposer dans l'entrepôt de chargement une plaque de béton frais, encore dans son moule sur un chariot. La plaque de béton ne pouvait absolument pas être inclinée, afin de conserver le béton frais dans le moule. Le moule avec le béton pèse au total vingt tonnes et est soulevé par quatre vérins synchronisés. La vitesse de l'élévateur de marchandises est de 45 mm par seconde, pour une précision de positionnement inférieure à 0,1 mm. L'entrepôt, réparti des deux côtés de l'élévateur, dispose de dix positions dans lesquelles les éléments en béton peuvent faire leur prise. Chaque position a une hauteur de 55 cm. "Notre client produit des plaques de béton préfabriqué, qui doivent sécher durant 24 heures avant de pouvoir être retirées de leurs 'plateaux' et empilées verticalement. Afin d'économiser de l'espace, un système de stockage composé de dix étagères, toutes placées autour d'un élévateur central, a été construit. Notre tâche consistait à

développer un élévateur capable d'amener ces plaques vers un des deux entrepôts. À l'inverse, l'élévateur peut aussi enlever une plaque sèche de l'entrepôt et la replacer sur les stations situées au sol" explique Stijn Schacht.

L'usine dispose de neuf stations de travail au niveau du sol. On y place successivement les armatures du béton et le coffrage, on verse le béton, on le vibre, pour enfin faire entrer la table avec le béton frais dans l'élévateur.

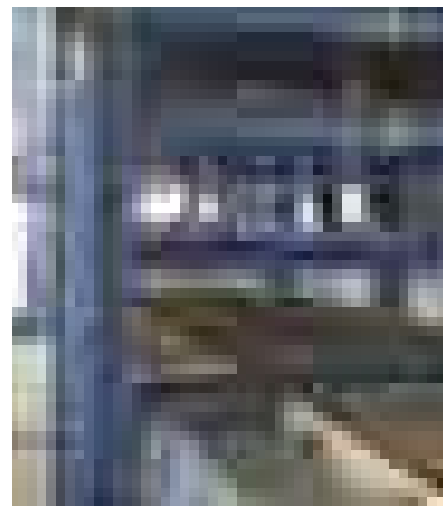
Hydraulique adaptée

En fonction des exigences très strictes, la société a déterminé par calcul qu'une synchronisation hydraulique serait incapable de résoudre le problème. L'élasticité de l'huile engendre en effet une trop grande imprécision. Pour résoudre ce problème, VAPO a opté pour une approche basée sur une régulation. Elle a ainsi développé quatre vérins DN120.095.2750 affichant une course de trois mètres, dimensionnés en fonction de la flexion et dotés d'une vanne de régulation. Cette vanne a été montée sur le manteau afin de réduire autant que possible les volumes

de conduite morts. "Les moules de béton font 12 x 2,50 mètres et pèsent dix tonnes à vide. Une plaque de béton complète pèse normalement dix tonnes. L'ensemble peut donc facilement peser vingt tonnes. L'élévateur est en outre déplacé via un réducteur à chaîne. Cela veut dire que la force que subissent les vérins est double mais qu'ils ne bougent qu'à mi-vitesse. Afin de ne pas gaspiller de béton, le moule – rempli jusqu'à ras bord – ne peut pas s'incliner de plus de deux millimètres durant le levage. Tenant compte de la perte dans la vanne et de la vitesse nécessaire de l'élévateur, la puissance de l'ensemble a été définie à 74 kW, puissance délivrée par deux moteurs de 37 kW et convertie en énergie hydraulique par les pompes à piston axiales réglées en pression. Cet ensemble, avec refroidisseur et installation de filtre en ligne, a été entièrement conçu, fabriqué et installé sur place par nos soins. Nous nous sommes également chargés du raccordement électrique. Pour la régulation, nous avons utilisé une commande de retour d'état complète : quatre régulateurs de pression non linéaires régulent la force des vérins et un régulateur linéaire de boucle principale, à entrées multiples et sorties multiples, pilote ces quatre régulateurs de pression afin d'amener l'élévateur dans la position souhaitée. Le tout dépend entièrement du bon choix des composants. Sur la base de notre très longue expérience, nous avons effectué une sélection soignée de la vanne de régulation et des capteurs de position et de pression. La lecture de ces capteurs est assurée par un bus numérique afin d'agrandir la compatibilité électromagnétique du système."

Contrôle hydraulique

Le contrôle hydraulique est souvent con-



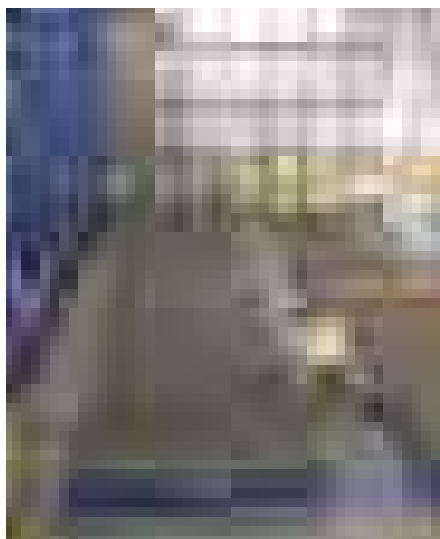


sidéré comme un système de contrôle aisé. Cependant pour positionner avec précision les vérins hydrauliques sur toute la plage, il faut disposer de vastes connaissances et d'une bonne intelligence de contrôle car, de par nature, les systèmes hydrauliques ne sont pas linéaires. Le comportement dynamique d'un vérin à sa position de départ n'est pas comparable à son comportement dynamique à sa position intermédiaire ou finale. Sa rigidité et sa fréquence de résonance varient selon la position de l'axe, en raison des caractéristiques de compression du liquide hydraulique. "Pour résoudre ce problème, nous devons prendre en compte la fréquence de résonance afin de rencontrer les exigences de précision du système (lourd). Une simple régulation PID n'était pas envisageable. Par conséquent, nous devons faire appel à des techniques de régulation plus complexes que ne permet pas un simple PLC. Afin d'obtenir un contrôle précis de nos vérins hydrauliques, nous avons besoin d'un algorithme de contrôle non linéaire, basé sur un régulateur quadratique linéaire (LQR), des contrôleurs H-infinis ou des contrôleurs basés sur des modèles (MBC). Ces algorithmes de contrôle permettent en effet d'assurer une tolérance de processus plus stricte, un déroulement plus rapide, un plus petit dépassement et des possibilités de 'réglage' plus efficaces. Après une sérieuse évaluation, nous sommes arrivés à la conclusion que nous pouvions obtenir les meilleurs résultats avec un algorithme de contrôle de 'retour d'état' complet. Nous avons donc également décidé – sur la base des bonnes expériences que nous avons eues - de faire appel à l'équipement de National Instruments. Nous avons alors conçu une stratégie de mesure dans LabVIEW que nous avons ensuite transposée vers la plate-forme CompactRIO de NI " poursuit Stijn Schacht.

CompactRIO est une plate-forme matérielle permettant de construire un contrôleur d'automatismes programmable. Dans ce cas, la version embarquée LabVIEW Real Time est utilisée comme logiciel de contrôle dans le contrôleur basé sur des microprocesseurs. D'autre part, le 'fond de panier' de CompactRIO intègre un circuit FPGA, librement programmable, qui peut être commuté entre les E/S et le contrôleur. La compilation d'un programme pour un FPGA peut se faire hors ligne, sans qu'il ne faille de liaison directe entre l'ordinateur sur lequel le programme est développé et le FPGA. Dès que la compilation est terminée, cette nouvelle fonctionnalité peut être installée en quelques secondes sur le FPGA.

Installation du système

L'installation du système comprend donc une interface opérateur et un contrôleur CompactRIO. L'interface utilisateur est réalisée à l'aide d'un pupitre tactile qui communique via Ethernet avec CompactRIO. Ce dernier combine un FPGA temps réel reconfigurable et des modules d'E/S industriels. Tous les éléments sont programmés à l'aide du logiciel graphique LabVIEW. Dans cette application, le



Un élévateur hydraulique de marchandises pour le fabricant de produits préfabriqués irlandais CFS.

FPGA est utilisé avec les E/S, comme unité de calcul matérielle rapide à traitement parallèle. Ainsi, les signaux des capteurs numériques, notamment de positionnement des vérins, sont par exemple convertis en valeurs de mesure utilisées dans le programme temps réel. " Dans notre application, le FPGA dans le CompactRIO est utilisé comme unité de traitement parallèle adaptée, au fonctionnement rapide. Via une interface sérielle synchrone (SSI), le FPGA lit les signaux numériques de chaque encodeur de vérin et les traduit en positions actuelles qui sont ensuite transférées vers le processeur temps réel. Ce protocole de communication exige du 'maître' le transfert de 26 signaux d'horloge. Après le premier signal d'horloge, un bit est envoyé à chaque impulsion d'horloge qui suit. Ces bits sont ensuite décodés. Un module d'E/S numériques permet d'effectuer la liaison avec le capteur et d'implémenter le protocole de communication via le FPGA. Toutes les cinquante microsecondes (200 Hz), le FPGA lit les bits des capteurs à une vitesse de 1 MHz et les commutent vers sa position et vitesse actuelles. Ensuite, il les envoie au processeur

temps réel. En parallèle, le FPGA utilise aussi différentes lignes d'E/S pour la régulation des arrêts d'urgence, le cas échéant. Afin d'éviter tout dégât éventuel au matériel, les vérins doivent pouvoir être arrêtés rapidement et en toute sécurité. Nous utilisons par ailleurs aussi le FPGA pour 'échantillonner' seize capteurs d'entrées analogiques afin de réguler la pression nécessaire dans les vérins.

Ce qui est spécial dans tout cela, c'est que 'l'horloge' du contrôleur – qui veille à ce que chaque cycle de calcul se fasse au bon moment, ce qui permet de maintenir un retour d'information en phase avec la réalité – n'est pas l'horloge du processus interne mais le signal d'horloge à 40 MHz du FPGA. Via un 'interrupt', le FPGA appelle périodiquement la boucle principale. Ainsi, les quatre boucles de régulation parallèles peuvent être réalisées toutes les 5 microsecondes, exactement au même moment.

Interface opérateur

L'opérateur contrôle l'élévateur à l'aide d'un écran tactile, tandis que la communication avec le système CompactRIO a été implémentée à l'aide d'un Ethernet TCP/IP. L'interface opérateur a été écrite avec LabVIEW sur un écran tactile tournant sous Windows CE. L'application utilise un menu clair et donne uniquement la position qu'elle souhaite atteindre. L'élévateur fait son travail de manière totalement automatique. Une fonction de diagnostic est également programmée. En cas d'anomalie éventuelle, un technicien (d'entreprise) peut détecter l'erreur sans grands problèmes. Il est aussi possible de se connecter à distance et de suivre les diagnostics en ligne. Et Stijn Schacht de conclure: "Après l'installation, nous avons découvert que notre système hydraulique – que nous avons développé en seulement deux mois – était à même de soulever les moules pleins avec une précision de 0,1 mm et à une vitesse de 45 mm/s. La conception modulaire du logiciel nous permet de le réutiliser en grande partie. Moyennant de petites adaptations, il peut être réutilisé en quelques semaines pour d'autres nouveaux systèmes." <<