Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 9

Artikel: Mesure de charge et de force avec les axes dynamométriques à jauges de contrainte

Autor: Dupré, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904798

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: 09.12.2025

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

Mesure de charge et de force avec les axes dynamométriques à jauges de contrainte

B. Dupré

Les axes dynamométriques sont des capteurs de force à jauges de contrainte qui, grâce à leur géométrie particulière en forme d'axe, peuvent être directement intégrés comme éléments de construction lors de la fabrication de machines. Contrairement aux capteurs traditionnels de force et de pesage, ils ne posent aucun problème particulier de montage; cet avantage est tout particulièrement apprécié lorsque l'on monte des axes dynamométriques sur des installations existantes.

DMS-Lastmessbolzen sind spezielle Kraftaufnehmer auf der Basis von Dehnungsmessstreifen, die dank ihrer bolzenförmigen Geometrie direkt als Konstruktionselement des Maschinenbaus verwendet werden können. Damit ergeben sich für den Anwender keine besonderen Einbauprobleme wie bei der Verwendung von traditionellen Kraftaufnehmern oder Wägezellen. Dieser Vorteil wird besonders deutlich beim nachträglichen Einbau des Lastmessbolzens in bestehenden Anlagen.

Conférence présentée à la Journée d'information ASE «Les capteurs – base de l'automatique de demain», le 8 mars 1983 à l'EPFL, Ecublens.

Adresse de l'auteur

B. Dupré, ingénieur d'application, Vibro-Meter S. A., case postale 1071, 1701 Fribourg.

1. Introduction

Pour la mesure de charges (poids) et de forces on emploie les méthodes les plus diverses. On distingue en particulier le procédé purement mécanique (par exemple les balances conventionnelles), le procédé hydraulique (la grandeur de mesure est convertie en une pression proportionnelle d'un système hydraulique) et les systèmes de mesure basés sur des convertisseurs électromécaniques (capteurs de mesure). En raison du rôle prépondérant de l'électronique dans le traitement des données et la conception des systèmes de surveillance, les capteurs de force électromécaniques ont conquis une importance dominante dans la mesure industrielle de charges et de forces. Dans ce domaine ce sont encore les capteurs à jauges de contrainte qui sont le plus utilisés dans l'industrie. Ces capteurs sont connus sous le nom de «pesons», car on les emploie en premier lieu pour les balances électromécaniques en tous genres. Ils sont proposés sur le marché par un grand nombre de fabricants sous les formes les plus diverses: capteurs pour forces de tension ou de compression en forme de cylindre, d'anneau ou de brique, boîtes de charge à barre de flexion, etc. Sans ces boîtes de charge à jauges de contrainte, la technique de pesage ne serait pas ce qu'elle est actuellement: La précision à laquelle on parvient répond depuis plusieurs années déjà aux prescriptions légales concernant les balances de commerce soumises à l'étalonnage.

Cet exposé est toutefois consacré à un genre de capteurs de force à jauges de contrainte pour lesquels une précision de mesure maximale n'est pas l'objectif principal. Lors du développement de ces capteurs, on s'est plutôt préoccupé de savoir comment il est possible, dans le domaine de la construction des machines, de contourner les problèmes de montage bien connus des pesons conventionnels afin d'atteindre une précision de mesure d'environ 1% avec le minimum de coût de construction.

Ce degré de précision est largement suffisant pour de nombreuses applications, spécialement pour la surveillance des grues, treuils et autres dispositifs de levage, puisqu'il s'agit moins de peser avec précision une marchandise dans un but de facturation que de protéger des machines contre d'éventuelles surcharges ou de fournir au personnel (par exemple, le grutier) des informations susceptibles de lui faciliter la tâche tout en assurant la sécurité dans de strictes limites. En conséquence, pour ce type d'application, le capteur de force idéal doit revêtir la forme d'un élément de construction couramment utilisé par les constructeurs de machines et être pour ainsi dire un «double» de cette pièce avec, de surcroît, la capacité de mesurer. Pour des raisons techniques, le choix s'est porté sur un élément fréquemment employé: l'axe; c'est ainsi que: l'axe dynamométrique a été créé.

2. Structure d'un axe dynamométrique et rôle de l'élément capteur

Le constructeur de machines ne fera guère de différence entre l'axe dynamométrique (fig. 1) et un axe ordinaire. Tout au plus sera-t-il surpris que le diamètre de l'axe dynamométrique pour une charge nominale donnée soit un peu inférieur à celui d'un axe ordinaire (ceci est en relation avec la haute résistance de l'acier utilisé pour la fa-

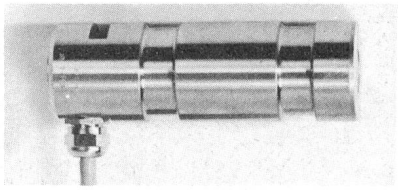

Fig. 1 Exemple d'un axe dynamométrique

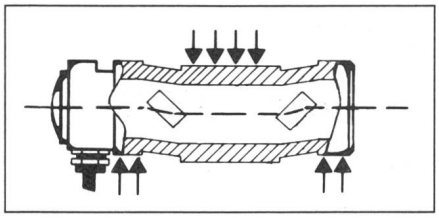

Fig. 2 Coupe d'un axe dynamométrique montrant l'emplacement des jauges de contrainte

brication de l'axe dynamométrique); il retrouve la rainure tangentielle dont il a besoin pour assurer la position de l'axe contre la rotation et le déplacement axial au moyen d'une plaque de fixation. Les seules nouveautés qu'il rencontrera sont le câble de raccordement qui sort radialement du presse-étoupe ainsi que deux dégagements en forme de rainures.

A l'intérieur, la différence est plus marquée (fig. 2). Sur la paroi d'un alésage centrique sont appliquées quatre jauges de contrainte. Ces jauges de contrainte se trouvent précisément, dans la position axiale, à la hauteur des dégagements pratiqués sur le diamètre extérieur de l'axe. Elles sont disposées d'une manière précise afin que aussi bien les contraintes de cisaillement que celles de flexion s'exerçant sur le matériel aient une influence sur la génération du signal de mesure. Sitôt les jauges de contrainte fixées – elles sont montées en pont complet de Wheatston – la cavité est obturée par une masse de remplissage.

La figure 3 montre que, sous une force donnée, le signal de sortie dépend de la direction radiale de cette force sur l'axe (la force est généralement répartie sur la portion centrale de l'axe; les deux forces d'appui des parties latérales maintiennent le tout en équilibre). L'axe dynamométrique a donc ce que l'on appelle un axe de mesure: c'est la direction radiale préférentielle dans laquelle la force génère le signal de mesure maximum. Le tracé sinusoïdal de la fonction de signal montre que l'axe dynamométrique mesure toujours avec précision la composante de force qui se trouve dans la direction de l'axe de mesure. Par contre, la composante de force qui lui est perpendiculaire n'est pas considérée. Il est important que ces forces latérales ne conduisent pas à un signal parasite par le biais d'effets secondaires (par exemple l'effet latéral bien connu sur les boîtes de pesage conventionnelles). Les axes qui utilisent exclusivement les contraintes de cisaillement dans le matériel ne possèdent pas non plus cet avantage pour des raisons théoriques de contrainte.

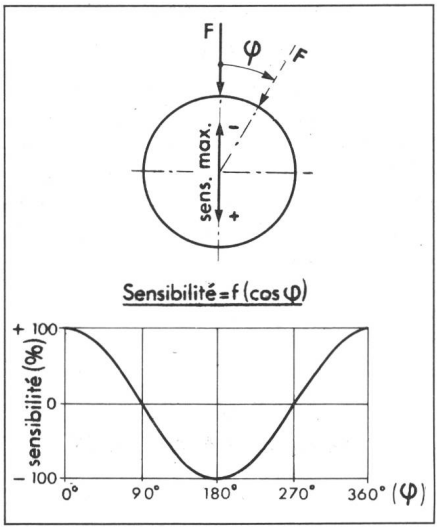

Fig. 3 Sensibilité de l'axe dynamométrique en fonction de l'angle entre l'axe de mesure et la force appliquée

3. Spécifications techniques

Le tableau I réunit les spécifications de l'axe. Il existe sept versions standard avec charges nominales comprises entre 20 kN et 1 MN. Pour tous ces axes, le matériau est soumis à des efforts de même intensité afin que, pour la charge nominale, le signal de mesure soit de 1 mV/V. Par ailleurs, les capteurs à jauges de contrainte sont des capteurs passifs qui nécessitent une tension d'alimentation; le signal de mesure dépend de la valeur de la tension d'alimentation et se rapporte généralement à 1 V de cette valeur.

Spécifications techniques Tableau I

Charge nominale:	2, 5, 10, 20, 40, 60, 100 t valeurs spéciales sur demande
Surcharge:	150% de la charge nominale
Sensibilité nominale:	1 mV/V
Erreur combinée:	typique 1% de la charge nominale
Reproductibilité:	1% de la charge nominale
Résistance d'entrée:	350 Ω
Tension d'alimentation:	5–10V DC ou AC
Plage de température:	–25 °C à + 70 °C –25 °C à + 200 °C sur demande
Matériau:	acier inoxydable nº 1.4057 (selon «La clé des aciers»)
Type de protection:	IP 66 selon DIN 40050

L'erreur de mesure totale est de 1% (ceci comprend linéarité, hystérèse et reproductibilité). On pourrait également inclure l'influence en température et on arriverait ainsi à une classe de précision 1. Cette précision correspond au but de l'axe dynamométrique de parvenir avec des moyens simples à une information suffisamment précise sur la grandeur de la charge. Pour les applications prévues, cela signifie 1 à 3% dans les cas les plus courants; 5% et même 10% suffisent également dans certains cas. Par contre, le fonctionnement doit être garanti même sous des conditions d'environnement difficiles; ceci est assuré grâce au vaste domaine en températures, au matériel 1.4057 résistant à la corrosion et à la classe de protection IP 66. C'est là que l'emplacement bien protégé des jauges à l'intérieur de l'axe et la protection contre l'infiltration d'humidité jouent un rôle déterminant. En ce qui concerne la résistance à la rupture, l'EMPA (Laboratoire Fédéral d'Essai de Matériaux et Institut de Recherches) a procédé en 1982 à des essais de charges. En premier lieu, il a été démontré que pour une charge statique allant jusqu'à deux fois la charge nominale le signal de mesure conserve sa relation linéaire avec la charge et revient exactement à zéro lorsque l'on retire cette charge; selon la spécification, la charge maximum admissible est de 150% de la charge nominale, ce qui du point de vue technique de mesure est une donnée très conservatrice. Ensuite, on a chargé statiquement des axes de toutes les grandeurs standard jusqu'à la rupture: selon la dimension des axes, les charges de rupture étaient sept à dix fois supérieures à la charge nominale. Enfin, on a soumis d'autres axes à un examen dynamique avec charge à pulsation de 6 Hz dont la valeur maximale allait jusqu'à la charge nominale. Après $2 \cdot 10^6$ cycles de charge prévus, les essais furent suspendus et les résultats furent qualifiés de positifs. Le signal de mesure de l'axe dynamométrique, constamment sous contrôle, a fonctionné pendant toute la durée des essais.

4. Exemples d'applications industrielles

Dans les ateliers, on installe très fréquemment des axes dynamométriques sur les palans à quatre câbles (ou plus) des ponts roulants et des grues portiques. Ces palans montés sur le chariot du pont roulant possèdent une poulie

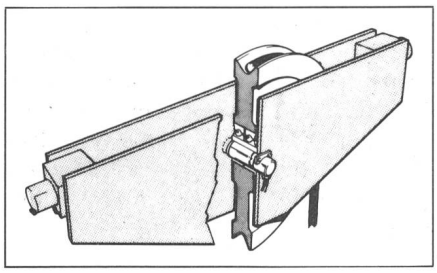

Fig. 4 Mesure de la charge sur la poulie d'équilibrage d'un pont roulant

de compensation (fig. 4) pour atteindre une répartition égale de la charge dans le câble. En fonctionnement, cette poulie ne fait que des mouvements de rotation peu importants pour l'équilibrage; son axe peut généralement fort bien être échangé contre un axe dynamométrique. Si n est le nombre de câbles, l'axe dynamométrique mesurera la partie $2/n$ de la charge soulevée. Le calibrage de l'affichage de la charge est fait de telle sorte que l'on puisse lire directement sur l'instrument d'affichage la charge totale soulevée. Si nécessaire, l'axe dynamométrique peut également être utilisé pour assujettir le bout de câble fixe, ce qui est le cas pour les petits dispositifs de levage à deux câbles.

Parfois, il arrive que l'on n'ait pas de point fixe où placer une installation de mesure de charge; il faut alors procéder à la mesure de la force sur le câble mobile. Pour cela, on se sert d'une installation à trois poulies qui force le câble hors de sa position tendue. Une force proportionnelle à la charge est exercée sur la poulie du milieu; en raison de la faible déviation du câble, cette force est de beaucoup inférieure à la force dans le câble. Pour la mesurer de manière satisfaisante, on monte la poulie du milieu sur un axe dynamométrique comme le montre la figure 5.

Sur les grues à flèche horizontale on veut, outre la charge, mesurer le moment de charge pour prévenir le danger de basculement de la grue. A cet effet, il existe des systèmes relativement

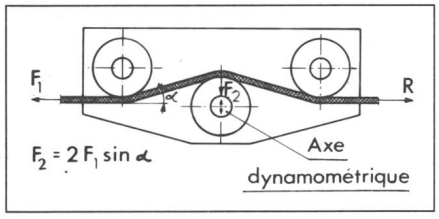

Fig. 5 Mesure de la charge sur un câble mobile au moyen d'une poulie de mesure

Fig. 6 Grue pivotante dont la flèche horizontale est fixée par trois axes au sommet de la grue

compliqués qui captent séparément la charge soulevée et la distance et avec lesquels la charge mesurée est évaluée en tenant compte de la charge limite admissible. De tels systèmes ont leur raison d'être lorsque le grutier doit disposer d'un affichage supplémentaire de la distance de la charge. Souvent, on se contente pourtant d'arrêter simplement le moteur de levage pour un moment de charge trop élevé ou bien on se satisfait d'un affichage qui indique au grutier de quel pourcentage du moment de charge admissible il se sert. Là, on peut aisément substituer un axe dynamométrique à un axe que l'on charge proportionnellement au moment de la charge. La figure 6 montre une grue pivotante sur laquelle la flèche horizontale est fixée par trois axes au sommet de la grue. Les forces horizontales dans l'axe captent le moment de la charge; l'échange de l'axe supérieur suffit pour la surveillance du moment de charge. On peut trouver des solutions semblables pour de nombreuses autres grues à flèche, par exemple les grues mobiles et les grues automotrices à flèche pivotante. L'axe du cylindre hydraulique peut aisément être remplacé par un axe dynamométrique; en orientant correctement l'axe de mesure de ce dernier, on obtient directement un signal proportionnel au moment de la charge.

On peut également utiliser les axes dynamométriques sur les chariots élévateurs lorsque l'on veut, selon besoin, capter la charge (p. ex. pour économiser le temps de pesage sur une plateforme) ou le couple de charge (afin d'éviter un basculement du chariot vers l'avant). Pour mesurer la charge, l'extrémité de la chaîne de levage est fixée au mât au moyen d'un axe dynamométrique. Pour la mesure du couple de

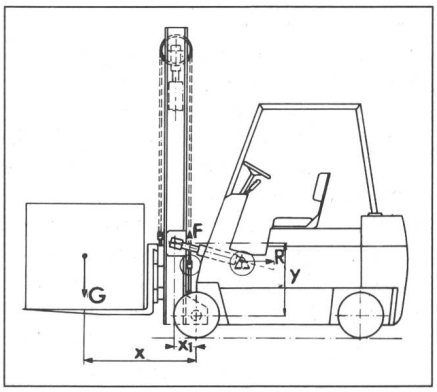

Fig. 7 Mesure de la charge et du moment de charge sur un chariot élévateur

charge, on dispose des deux cylindres pivotants. Sur la plupart des chariots, le mât pivote autour de l'essieu avant; ainsi, la composante horizontale de la force dans le cylindre hydraulique est proportionnelle au moment de charge (fig. 7). On peut remplacer les axes pivotants des deux cylindres hydrauliques par des axes dynamométriques en disposant les axes de mesure horizontalement.

Les plateformes de forage avec vérins de positionnement représentent une possibilité intéressante d'application des axes dynamométriques. Ces plateformes sont remorquées comme des îles flottantes jusqu'à leur lieu de travail, elles ancrent leur trois pieds dans le sol marin et se positionnent au-dessus du niveau de la mer. Ce gigantesque travail de levage est réalisé par un grand nombre de moteurs électriques qui procèdent au mouvement élévateur par l'intermédiaire d'engrenages et de transmissions à crémaillère. Chacun des pieds de la plateforme est équipé de 24 motoréducteurs (par exemple) qui travaillent simultanément, ce qui fait au total 72 motoréducteurs. La figure 8 montre l'un de

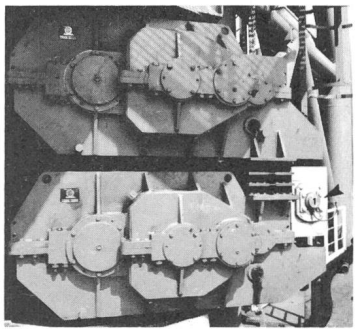

Fig. 8 Entraînement motoréducteur de positionnement d'une plateforme de forage muni d'axes dynamométriques

ces 72 entraînements. On comprend bien que dans un tel travail d'interdépendance la répartition des forces revête une importance énorme. Il est donc impérieux de mesurer les forces composantes de manière individuelle et de surveiller leurs valeurs limites minimales et maximales. Selon la figure 8, on voit que la mesure de force repose sur la détermination du couple de réaction résultant des motoréducteurs groupés par deux. Après que la plateforme de forage ait été montée dans sa position de travail, il importe de connaître la répartition de son poids sur les trois pieds. Pour ce faire, on affiche et on surveille la somme des charges partielles de chaque pied.

5. Electronique associée pour axes dynamométriques

On peut, en principe, raccorder tous les appareils de mesure pensés pour fonctionner avec les capteurs à jauges de contrainte puisque, du point de vue de l'électronique associée, il n'y a pas de différence avec les boîtes de charge et les autres capteurs à jauges de contrainte. On procède à l'amplification du signal du capteur (caractéristique du capteur 1 mV/V) de mV en V aussi près que possible du capteur de manière à garantir la transmission de signal contre l'influence des parasites. Il faut, bien sûr, pour cela que l'électronique soit protégée contre les intempéries comme, par exemple, l'appareil de la figure 9 qui travaille avec le réseau 50 Hz et possède au choix un ou deux détecteurs de niveau électroniques. La tension de sortie est rendue sous forme digitale par le redresseur A/D de l'affichage numérique: avec un calibrage adéquat de l'amplification on peut ainsi afficher la charge directement en grandeurs mécaniques (t, kN). Ceci se fait généralement en utilisant des instruments à encastrer. Parfois, on utilise aussi des affichages à grands chiffres pour la lecture à distance.

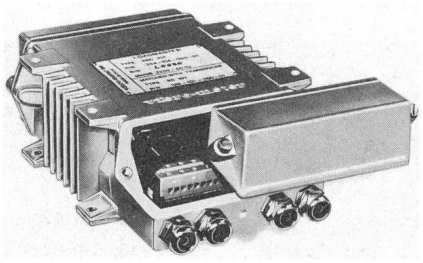

Fig. 9 Boîtier de l'électronique d'un axe dynamométrique

6. Conclusion

Si l'on avait essayé de résoudre le problème de mesure avec le montage de capteurs de force conventionnels, les frais occasionnés sur les machines précitées auraient été nettement plus importants. Il est donc intéressant de prendre en compte l'économie que permettent les axes dynamométriques car la simple comparaison de prix entre les divers capteurs de mesure ne ferait que donner une idée complètement fausse. Lorsque l'on peut se satisfaire d'une précision de mesure de 1%, l'emploi d'un axe dynamométrique en tant qu'élément de construction porteur devrait être pris en considération de façon sérieuse.