

Accéléromètres et inclinomètres asservis

Les accéléromètres asservis (accéléromètres pendulaires asservis) sont des instruments utilisés pour les mesures accélérométriques de moyenne et haute précision.

Le mode de fonctionnement : la force d'origine inertielle appliquée à une masse d'épreuve qui a tendance à se déplacer est compensée par une force égale et opposée créée par un système moteur dont la commande constitue la mesure de l'accélération.

L'accéléromètre piézoélectrique mesure la dynamique du signal, il ne passe pas la composante continue et malgré les technologies, sa sensibilité et sa précision ne permettent pas une mesure assez précise pour, via les intégrations, donner une valeur précise de vitesse et de déplacement.

Des technologies

Les capteurs LVDT, les capteurs potentiométriques, les capteurs à reluctance variable ou les capteurs capacitifs permettent d'obtenir la composante continue du signal mais présentent des inconvénients inhérents aux technologies. Ces inconvénients sont principalement liés à l'imprécision puisque les déplacements des masses inertielles (sauf pour le capacitif) créent des erreurs de linéarité, d'hystérésis et de fidélité ainsi que des seuils minimum de déclenchement.

Les capacitifs ne présentent pas l'inconvénient d'importants déplacements comme les capteurs réalisés à partir de pont de Wheatstone mais ils ont dans tous les cas des seuils de déclenchement élevés et présentent une instabilité due, entre autre, aux effets de la température, au fluage et au vieillissement

Les capteurs à balance de forces permettent de mesurer la composante continue, les seuils de déclenchements sont très faibles, les masses sismiques ne se déplacent pas, les sensibilités sont très importantes et les erreurs de linéarité, hystérésis et fidélité sont particulièrement faibles.

Les effets de la température sont maîtrisés et la fiabilité à long terme est excellente.



Fonctionnement de base

La seconde loi de Newton : **$F = My$** .

Cette loi permet d'affirmer que si une masse subit une accélération, une force proportionnelle à cette accélération existe, l'accélération peut donc être déduite. Dans le cas de l'accéléromètre

pendulaire, la forme polaire de l'équation est applicable. Le couple de torsion T est égal à la masse pendulaire fois l'accélération ou : $T = Mly$

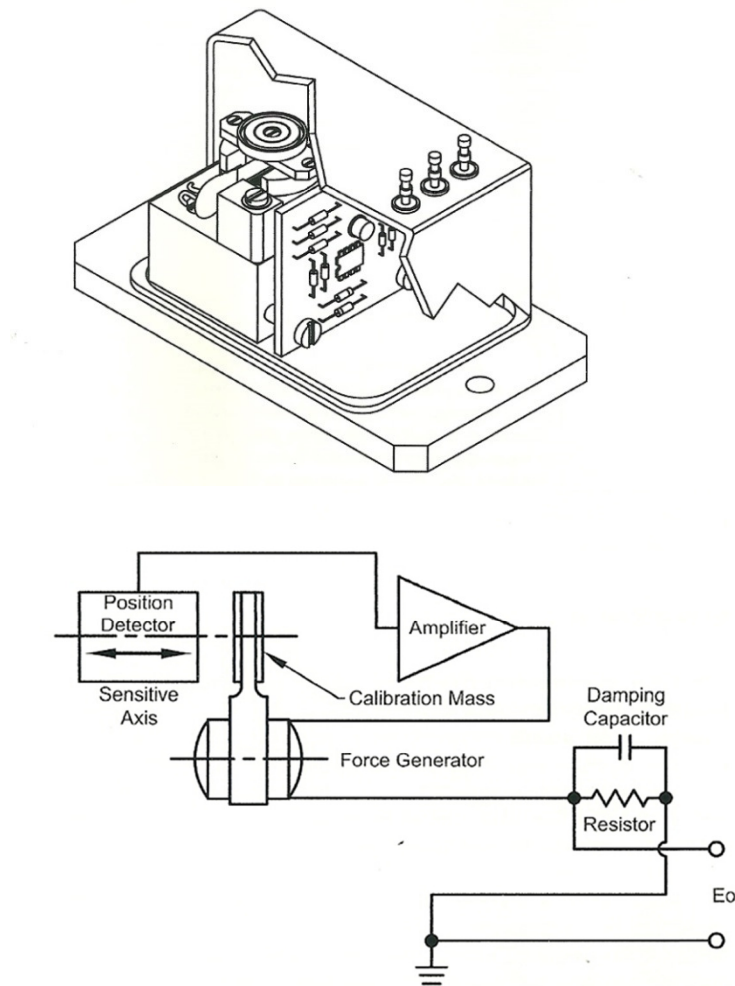
Le capteur de position capte la volonté de déplacement de la masse calibrée et son signal de sortie est réinjecté dans la bobine qui maintient la masse dans sa position initiale.

Le signal est proportionnel à l'accélération linéaire.

La masse pendulaire est suspendue à un axe dont les extrémités sont sur des paliers lisses ou rubis d'horlogerie.

Ce peut être des micro-roulements avec billes de céramique.

L'accéléromètre pendulaire est donc constitué d'un détecteur de position, pas nécessairement linéaire, d'un amplificateur et d'un système électromécanique. L'ensemble converti l'effort en courant proportionnel identique mais de signe opposé. Le signal de sortie du capteur est, en réalité, la mesure de courant au travers du générateur de force. Un amortissement électrique est réalisé avec une capacité mise en parallèle sur la résistance. Ce circuit élimine les hautes fréquences de l'amplificateur de tension, hautes fréquences par ailleurs indispensables pour le courant de restauration.

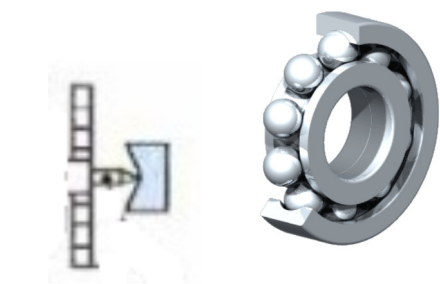


Masses suspendues

Un accéléromètre à balance de forces utilise une masse suspendue. Un dispositif doit être utilisé pour appliquer un courant au circuit de la bobine magnétique de sorte à contrebalancer la force induite par l'accélération. Cet ensemble est le forceur ou coupleur. Le plus gros problème pour ce coupleur réside dans la méthode de suspension de la masse. Cette suspension doit permettre le mouvement selon un seul axe et éliminer les mouvements transverses. Par ailleurs la suspension ne doit pas ajouter d'efforts de friction ou de ressort. Enfin le dispositif doit être suffisamment robuste pour survivre dans des environnements physiques sévères.

Trois méthodes existent : **bandes en flexion, bandes tendues et roulements ou pivots**. Les deux premiers concepts ne présentent pas de frottements mais la bande tendue est sujette aux accélérations transverses et doit impérativement être maintenue dans un fluide. Les deux dispositifs sont, de toutes façons fragiles, le dispositif en flexion peut être déformé irrémédiablement lors d'un choc induisant une erreur de biais du zéro, les modèles non métalliques peuvent casser et les ensembles rigides causent des erreurs de linéarité.

L'usage de pivots limite les frottements entre les extrémités de l'axe de suspension et le fond conique des pivots. Les transverses sont éliminées et l'inertie réduite à néant offrant l'avantage d'un seuil de déclenchement très faible. En contrepartie le dispositif peut se révéler fragile dans le cas de certaines applications.



Pour réaliser des capteurs hautes performances, les pivots sont remplacés par des roulements à billes micro-usinés. Ces roulements possèdent des billes céramiques aux tolérances d'usinage 20 fois supérieures à celles des pivots. Ce dispositif ne se détériore pas au fil du temps et offre une précision importante dans des environnements où les vibrations sont importantes et où les accélérations sont statiques.

Ce concept rivalise avec les barres de flexion et offre une tenue aux chocs et aux vibrations. Columbia propose ceci pour les instruments ' HP '.

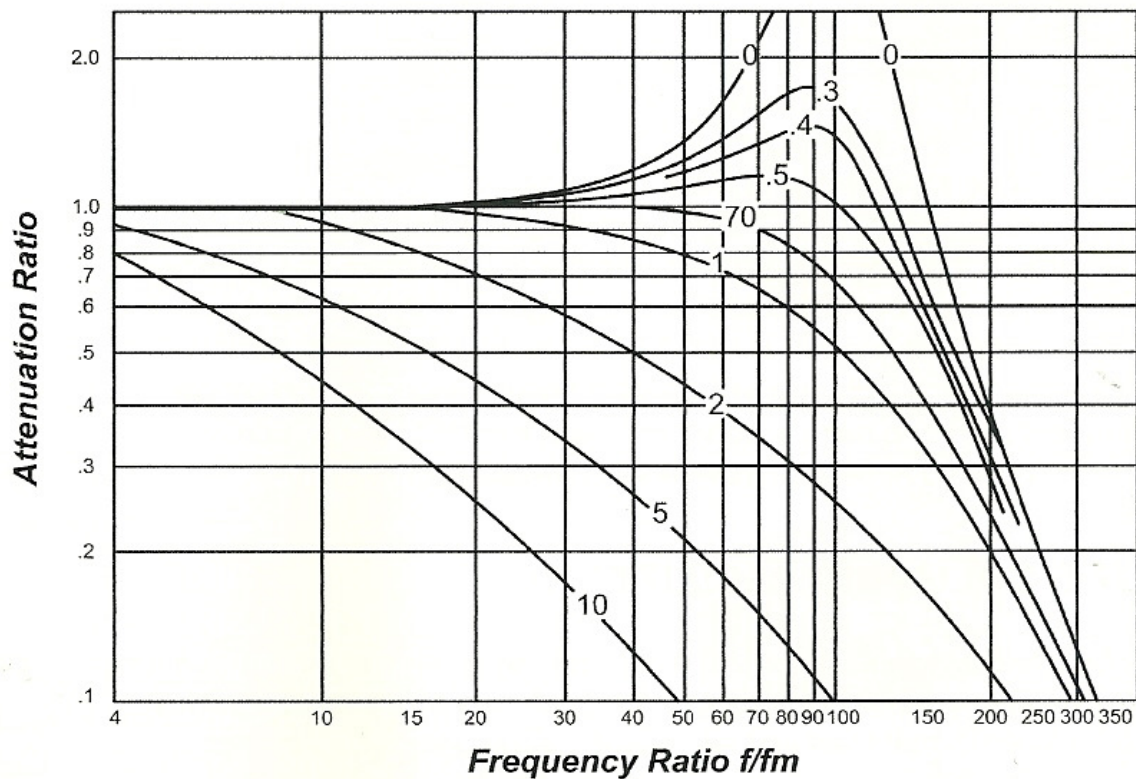
Les accéléromètres asservis de Columbia existent en versions industrielles classiques et en versions militaires bord pour des applications sur différents types de vecteurs : hélicoptères, avions etc ...

Tensions d'alimentation et tensions de sortie sont adaptées suivant les modèles;

La mesure peut être réalisée selon l'axe X, Y ou Z sachant que pour l'axe Z il est proposé un contre biais du zéro pour compenser la gravité terrestre.

amortissement

L'illustration ci-dessous montre la relation entre la bande passante et l'amortissement pour un accéléromètre à balance de forces typique.



Lorsque l'on parle de bandes passantes pour un accéléromètre asservi, la pleine échelle de mesure doit être considérée. Les modèles SA 107 permettent d'atteindre des bandes passantes de 100 à 150 Hz pour des échelles de 1 à 2 g. Si l'on considère les échelles de mesures de 2 à 4 g, la bande passante évolue de 150 à 200 Hz.

Ces données sont typiques dans la mesure où elles déterminent l'amortissement.

L'amortissement, la fréquence naturelle et la bande passante sont intimement liés, l'amortissement est, en règle générale, de $0,7 \pm 0,2$.

Les servo-accéléromètres peuvent être configurés avec une fréquence de coupure particulière. Les capteurs sont voisins d'un système du second ordre et ainsi, leur sortie peut être assimilée à un signal filtré avec un filtre électronique deux pôles. Dans la plupart des cas le circuit d'asservissement permet de régler la dynamique du capteur mais une combinaison d'amortissement électrique dans le circuit d'asservissement en conjonction avec un amortissement mécanique interne et, pourquoi pas, un filtre classique électronique de sorte à obtenir les meilleurs résultats.

Le choix d'un servo-accéléromètre est dicté, pour certaines applications par un compromis entre échelle de mesure et bande passante.

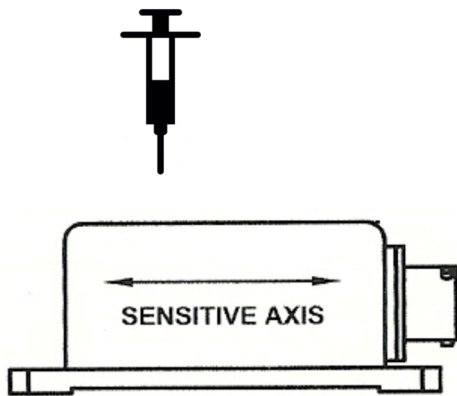
Tenues aux chocs et vibrations :

Les accéléromètres asservis utilisant des micro roulements supportent plus facilement les chocs et vibrations que les instruments utilisant des pivots.

L'amortissement électronique permet d'améliorer les tenues aux chocs et vibrations mais la bande passante peut pâtir d'un amortissement important.

Pour augmenter les tenues aux chocs et vibrations les mécanismes peuvent-être noyés dans des fluides plus ou moins visqueux. Plus le fluide est visqueux plus la tenue sera importante, en revanche la bande passante sera affectée.

Des dispositifs mécaniques extérieurs permettent d'amortir certains chocs et de filtrer certaines vibrations mais l'expérience montre que les résultats sont moins probants que ceux obtenus avec des solutions internes au capteur.

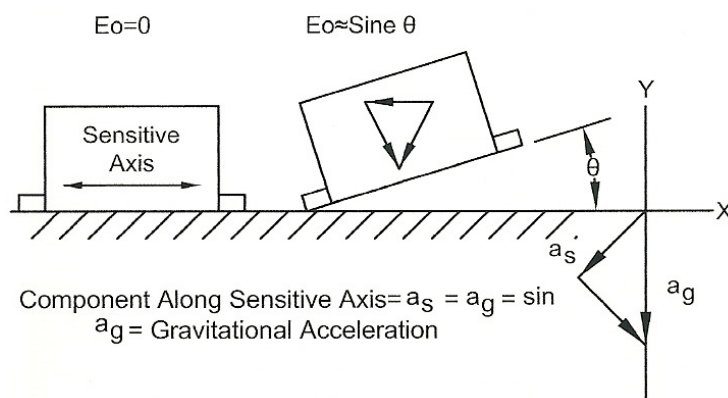


Inclinomètres

Un inclinomètre est basé sur le principe de l'accéléromètre. Le facteur d'échelle d'un accéléromètre est exprimé en Volt par g ou par m/s^2 . Comme l'inclinomètre mesure l'angle en fonction de la projection de g son facteur d'échelle s'écrit

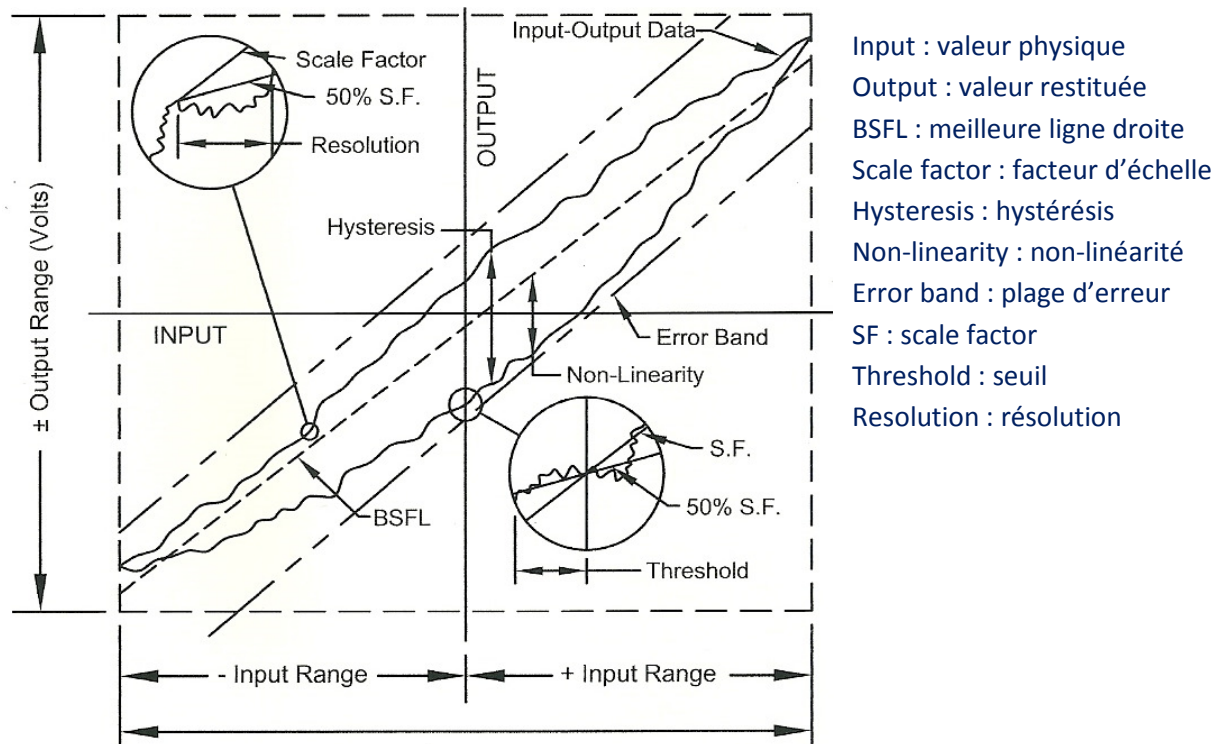
$$\theta = \sin E_0 / K$$

Où E_0 est la valeur mesurée et K la sortie pour 90 degrés angulaires.



Erreurs

Deux notions sont essentielles pour la mesure angulaire, la première est la résolution ou minimum de variation angulaire pour atteindre une valeur plus importante que celle de seuil de déclenchement ce qui induit un signal de sorti égal à un certain pourcentage de la variation attendue en utilisant le facteur d'échelle nominal – au moins 50 % (voir illustration suivante) ; et le seuil qui est la valeur absolue minimale d'angle produisant une sortie équivalente à un pourcentage du facteur d'échelle nominal – au moins 50 % (voir l'illustration suivante).



Le seuil est essentiel puisque ne peut être mesurée, sur un accéléromètre comme sur un inclinomètre, parce qu'il détermine le point au-delà duquel il peut exister une mesure. Souvent, le seuil est exprimé à partir d'une certaine valeur de mesure, ainsi le seuil pourrait-être donné à partir d'une valeur comme 0,5 g pour un accéléromètre ou bien 0,5 degré pour un angle alors que l'intérêt réside dans sa valeur par rapport à zéro.

Naturellement, dans l'erreur globale ou déviation maximale de la valeur de sortie par rapport à la fonction de sortie spécifiée comprend hystérésis, résolution, non linéarité, erreur de fidélité et d'autres incertitudes contenues dans le signal de sortie.

Les axes de mesures

Les mesures accélérométriques peuvent être réalisées selon les trois axes orthogonaux x, y et z. La seule précaution particulière est de régler un contre biais de 1 g sur l'axe z qui, par définition, mesure la gravité terrestre.

Le contre biais compense la valeur de gravité pour donner une valeur de zéro correspondant à 1 g pour permettre des mesures précises autour du référentiel.

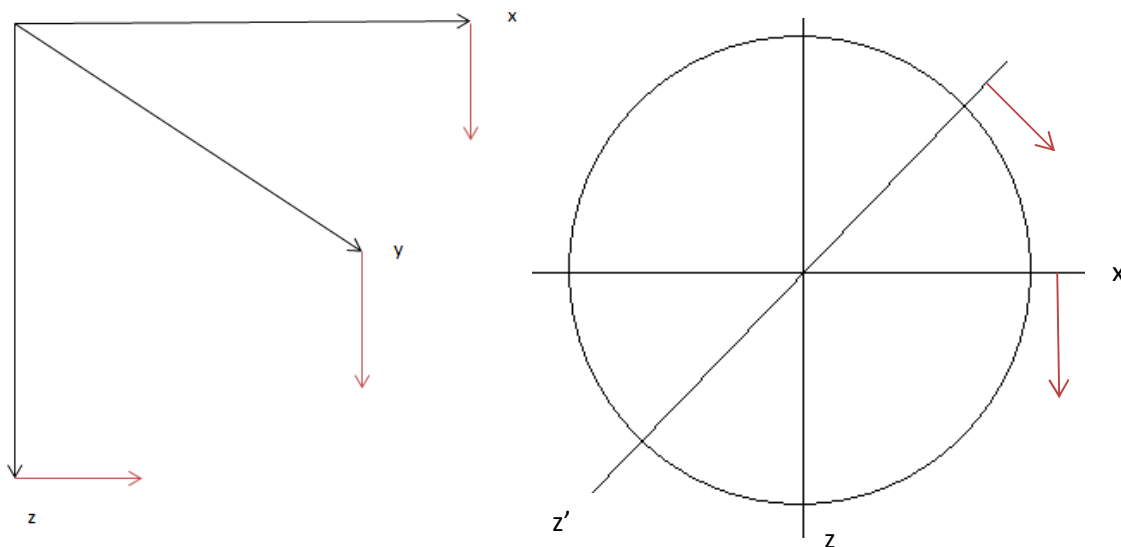
De toute évidence un capteur multi axes est réalisé avec plusieurs capteurs mono-axe, il est alors capital de respecter le positionnement de chaque capteur et de réaliser l'étalonnage de l'ensemble.

A ce sujet, la sensibilité transverse est importante, elle est la constante proportionnelle qui relie la variation de la sortie d'un accéléromètre ou d'un inclinomètre aux accélérations ou angles transverses.

En ce qui concerne la mesure angulaire, il est illusoire de vouloir mesurer l'angle sur l'axe vertical puisque la projection de g est égale à 1 g soit 90 degrés angulaires.

La rotation selon z n'est pas mesurable avec un inclinomètre. Cette mesure de cap est réalisable avec un magnétomètre.

Il est, en revanche, possible de réaliser des mesures à 360 degrés angulaires en utilisant sur un plan vertical x et y les deux valeurs angulaires. X sera mesuré de l'horizontale à quasi la verticale puis Z , qui sera soumis à la gravité, dès lors qu'il n'est plus à la verticale, prendra le relais.



C'est un moyen simple et efficace de mesurer les 360 degrés angulaires.

./