



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 35702 B1** (51) Cl. internationale : **G09B 0/00; G01L 1/00**
- (43) Date de publication : **01.12.2014**

-
- (21) N° Dépôt : **35938**
- (22) Date de Dépôt : **27.05.2013**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE MOULAY ISMAIL, MARJANE 2, BP:298 MEKNES (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **BRI Seddik**
- (74) Mandataire : **Errakhi Rafik**

-
- (54) Titre : **dynamomètre électromagnétique à poutre encastré.**
- (57) Abrégé : Le dispositif proposé est un dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée, constituée d'une poutre encastrée à une extrémité qui permet la conversion des forces en déplacements, à laquelle nous avons associé un circuit magnétique permettant la conversion des déplacements en tensions électriques via un circuit de conditionnement, cette tension est affichée par un voltmètre numérique de précision 0.01mV. L'étalonnage du dynamomètre électromagnétique, en utilisant des masses de précision allant de 0g à 20 g, qui correspondent à des forces allant de 0 à 200 mN, nous permet son utilisation pour effectuer des mesures de forces avec une grande précision. La gamme d'utilisation de ce dynamomètre est comprise entre 0 et 200 mN, avec une précision $\Delta F = 0.2$ mN. Les mesures sont reproductibles et les déformations de la poutre sont parfaitement réversibles dans cette gamme de mesures.

Abrégé

Le dispositif proposé est un dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée, constituée d'une poutre encastrée à une extrémité qui permet la conversion des forces en déplacements, à laquelle nous avons associé un circuit magnétique permettant la conversion des déplacements en tensions électriques via un circuit de conditionnement, cette tension est affichée par un voltmètre numérique de précision 0.01mV.

L'étalonnage du dynamomètre électromagnétique, en utilisant des masses de précision allant de 0g à 20 g, qui correspondent à des forces allant de 0 à 200 mN, nous permet son utilisation pour effectuer des mesures de forces avec une grande précision

La gamme d'utilisation de ce dynamomètre est comprise entre 0 et 200 mN, avec une précision $\Delta F = 0.2 \text{ mN}$. Les mesures sont reproductibles et les déformations de la poutre sont parfaitement réversibles dans cette gamme de mesures.

01 DEC 2014

Dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée

Introduction.

Pour évaluer une force, que ce soit un poids, une pression, un étirement ou une torsion, il n'y a que deux moyens. Le premier, le plus ancien, comparer la force à mesurer avec une force de référence ; en l'occurrence, celle qu'exerce la pesanteur sur une masse de référence : c'est le principe de la balance. Le second, mesurer la déformation d'un corps élastique sous l'influence de cette force : c'est le principe du dynamomètre.

Les dynamomètres mécaniques utilisent directement le principe de la loi de Hooke. En effet, puisqu'un ressort idéal suit une relation de type $F = k x$, on peut en déduire la valeur d'une force par mesure de l'allongement x d'un ressort étalonné (c'est-à-dire dont on connaît la raideur k). Parmi les dynamomètres mécaniques les plus connus, on peut mentionner les pesons, et le dynamomètre de Poncelet (utilisé au XIX^e siècle pour la police du roulage).

Un dynamomètre numérique est un instrument composé d'un capteur de force, d'un dispositif électronique et d'un afficheur. Le capteur de force est le cœur du système. C'est une jauge de contrainte qui se déforme en fonction de la force appliquée. Lorsque ce capteur se déforme, les jauges de déformation mesurent les contraintes appliquées et émettent une tension électrique proportionnelle à la force. L'électronique du dynamomètre interprète alors cette tension pour l'afficher en unités de force. On distingue généralement, deux types de jauges : les jauges à conducteur et les jauges à semi-conducteur.

Le dynamomètre proposé est un dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée, son principe de fonctionnement repose sur les lois fondamentales de l'électromagnétisme et les propriétés mécaniques d'élasticité d'une poutre encastrée à une extrémité.

1- Description du dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée.

Le dynamomètre électromagnétique est constituée d'une poutre rectangulaire en Aluminium encastrée à une extrémité, et sur l'autre extrémité on a fixé une bobine plate (photo1, BM) de 30 spires, et de rayon 2cm, une deuxième bobine plate est fixée sur un support solide au dessous la bobine fixée sur la poutre, les deux bobines plates sont situées dans des plans parallèles distant de x . Un dispositif de fixation (SF, photo1), et un circuit électronique de conditionnement (fig.3) du signal électrique, et d'une alimentation stabilisée symétrique $\pm 15V$.

La bobine plate fixe (BF, photo1) bobine émettrice, est alimentée par un signal sinusoïdal provenant d'un oscillateur de Wien dont les conditions de phase et d'amplification sont satisfaites. La deuxième bobine plate réceptrice (BM, photo1) est fixée sur la partie inférieure de la poutre. Les deux bobines réceptrice et émettrice sont reliées au circuit de conditionnement par l'intermédiaire des fils de connexions. Un crochet (CR, photo1) est fixé sur la partie supérieure de l'extrémité libre de la poutre encastrée et sert à suspendre des masses. Les deux bobines sont quasiment parallèles, distantes de x l'une de l'autre, x étant la distance variable inter bobines.

2- Principe de fonctionnement.

La bobine fixe (fig3, photo1, BF) est alimentée par un oscillateur de Wien (fig3), de fréquence $f_0 = 16 \text{ KHz}$, dont les conditions de phase et d'amplification sont satisfaites ($f_0 = 1/2\pi RC$, avec $R=100\Omega$ et $C = 0.1\mu\text{F}$). La condition d'amplification $A = 1 + R_2/R_1 = 3$ ($R_2 = 2.2\text{k}\Omega$ et $R_1 = 1\text{k}\Omega$). A est le gain en tension. Cet oscillateur est suivi de deux amplificateurs suiveurs d'isolement, pour alimenter la bobine fixe, et par conséquent, elle est parcourue par un courant variable dans le temps, créant ainsi une induction magnétique variable le long de son axe. Cette dernière crée, à travers la bobine mobile, un flux variable, Φ , et une force électromotrice induite variable et mesurable entre ses bornes. La valeur maximale de cette f.e.m induite dépend de la distance x séparant les deux bobines, et le flux Φ est proportionnel à l'induction magnétique, B , dont la variation, en fonction de x le long de l'axe des deux bobines est donnée par la relation suivante : $B(x) = \mu_0 N I R^2 / 2(R^2 + x^2)^{3/2}$, avec I le courant parcourant les bobines, R leur rayon, N leur nombre de spire, et x la distance séparant les deux bobines. Pour $x = 0$, la relation précédente devient $B(0) = \mu_0 N I / 2R$ qui correspond à une induction maximale.

Lorsqu'on suspend une masse sur le crochet (CR, photo1), la poutre subie une flexion dont l'amplitude dépend de la force exercée sur l'extrémité libre de la poutre, et de ce fait la bobine mobile s'approche de la bobine fixe, la distance x séparant les deux bobines diminue ; ce qui se traduit par une augmentation de la tension maximale induite aux bornes de la bobine mobile. Cette dernière étant de faible amplitude, il a fallu apporter des circuits d'amplifications, de redressement et de filtrage (Fig3), pour rendre cette tension exploitable. A la sortie du circuit de conditionnement, un potentiomètre (Fig3) suivi d'un suiveur permet le réglage de la sensibilité du capteur, un circuit approprié du réglage d'offset a été conçu également. Deux filtres de Butter Worth sont utilisés pour éliminer les ondulations résiduelles après le filtre Π .

Le circuit de conditionnement (fig3, photo2), est alimenté par une source de tension symétrique stabilisée, $\pm 15\text{V}$.

Le dynamomètre électromagnétique ainsi proposée, est constituée de deux convertisseurs, le premier est la poutre encastrée à une extrémité avec une charge M appliquée l'autre extrémité libre (convertisseur force-déplacement), le second est un circuit magnétique permettant la conversion du déplacement en tension (convertisseur déplacement- tension) via le circuit électronique de conditionnement.

3- Caractéristiques du dynamomètre électromagnétique.

Le dynamomètre électromagnétique proposée est caractérisée par une dérive d'origine, Lorsqu'on met le dispositif en marche, il y a une dérive lente, et après environ quelques dizaines minutes de fonctionnement, cette dérive devient très faible ($5\mu\text{V}/\text{min}$) et la tension de sortie est presque stabilisée à une constante. La courbe caractéristique du dynamomètre, $V=f(F)$, est obtenue, en suspendant au crochet des masses de précision allant de 0g à 20g et

en relevant la tension correspondante, à l'aide d'un voltmètre de précision $\Delta V = 0.01 \text{ mV}$. (tableau1, figure 1). Les forces correspondantes à ces masses sont obtenues en multipliant la masse par l'accélération de la pesanteur g d'où $F = m \cdot g$ ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

La réponse du dynamomètre, $V(F)$ est monotone, elle obéit à une relation polynomiale d'ordre 2 dont le coefficient de corrélation $r^2 = 1$ et l'écart-type $\sigma = 0.007$ compatible avec la précision expérimentale. $\Delta V = 0.01 \text{ mV}$. La répartition des résidus est représentée sur la fig.2

$$V(F) = A + B F + C F^2$$

Avec $A = 90.38298$; $B = 0.05523$; $C = 1.77579 \cdot 10^{-5}$

a- Tableau1 d'étalonnage du dynamomètre électromagnétique.

L'étalonnage du dynamomètre électromagnétique a été effectué dans les meilleures conditions de fonctionnement, les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

M(g)	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
F(mN)	0	4.905	9.810	14.715	19.62	29.43	39.36	49.05	58.86
V(mV)	90.38	90.64	90.95	91.18	91.49	92.02	92.60	93.12	93.65

M(g)	7	8	9	10	11	12	13	14	15
F(mN)	68.67	78.48	88.29	98.10	107.91	117.72	127.53	137.34	147.15
V(mV)	94.28	94.84	95.42	96.00	96.53	97.12	97.72	98.30	98.89

M(g)	16	17	18	19	20
F(mN)	156.96	166.77	176.58	186.39	196.2
V(mV)	99.48	100.07	100.68	101.30	101.92

La distance inter bobine quand le dynamomètre n'est pas chargée est $x_0 = 4\text{mm}$. La précision de ce dynamomètre dépend des éléments propres au dispositif expérimental (bobines, frottement, distance inter bobine, nombre de spires, élasticité de la poutre, circuit de conditionnement du signal), et de la qualité de l'appareil de mesure utilisé. La sensibilité $S = 20 \text{ mN/mV}$ et $\Delta F = S \cdot \Delta V$ avec $\Delta V = 0.01 \text{ mV}$, d'où la précision sur la force $\Delta F = 0.2 \text{ mN}$.

L'étendu de mesure du dynamomètre électromagnétique proposé est limité entre 0 et 200 mN. Le choix de la poutre est crucial, elle doit être parfaitement élastique, la technologie de fabrication des matériaux élastique est parfaitement maîtrisée, et les performances du dynamomètre électromagnétique à poutre encastree peuvent être améliorées en utilisant des matériaux de très grandes performances, (module d'élasticité élevé, endurance, résistance à la fatigue,... etc.).

Conclusion.

Le principe de fonctionnement du dynamomètre électromagnétique repose sur les lois fondamentales de l'électromagnétisme, et les propriétés mécaniques d'élasticité d'une poutre rectangulaire encastree à une extrémité.

Il est constituée d'un convertisseur force –déplacement et d'un circuit magnétique qui sert de convertisseur déplacement-tension. L'étendu de mesure est compris entre 0 et 200 mN, avec une précision $\Delta F = 0.2$ mN. Des améliorations peuvent être apportées à ce dynamomètre en insérant un filtre en amont de l'alimentation afin d'empêcher les impulsions parasites provenant du secteur, d'atteindre ou d'altérer la tension de sortie du circuit de conditionnement du capteur, on peut également mettre la cellule magnétique dans une cage de Faraday (boitier métallique en Cuivre ou en Aluminium) pour protéger le circuit magnétique des rayonnements électromagnétique avoisinant la balance. On peut aussi procéder à un blindage, en remplaçant les fils de connexions par des câbles coaxiaux, et mettre dans un boitier métallique l'alimentation et le circuit de conditionnement.

L'utilisation d'une poutre de propriétés mécaniques performante, permettra d'une part d'élargir la gamme de mesure, et d'autre part augmenter la sensibilité et la précision du dynamomètre.

Les applications industrielles d'un tel dynamomètre et son principe de fonctionnement sont nombreuses (dans l'enseignement, les laboratoires de recherches et dans l'industrie).

D'autres améliorations peuvent être apportées au circuit électronique de conditionnement, et en complétant la chaine de mesure par une acquisition numérique des données.

Revendications

- 1- Dispositif formant un dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée, caractérisé en ce qu'il est constitué d'une poutre rectangulaire encastrée à une extrémité, d'un circuit magnétique, un circuit électronique, le point d'application des forces se fait à l'extrémité libre de la poutre encastrée, par l'intermédiaire d'un crochet.
- 2- Selon la revendication1, le circuit magnétique est un dispositif caractérisé en ce qu'il est constitué de deux bobines plates parallèles, dont l'une est mobile reliée à l'extrémité libre de la poutre encastrée, et l'autre bobine est fixe placée au dessous et de façon parallèle à la bobine mobile de tel sorte que les centres des bobines soient situés sur un même axe vertical, lorsque le dynamomètre n'est pas chargé. Le circuit électronique prélève le signal électrique de la bobine mobile et permet l'affichage de la tension par l'intermédiaire d'un voltmètre numérique.
- 3- Selon la revendication2, les variations de la tension prélevée de la bobine mobile (réceptrice) ne dépendent que de la distance inter bobines x qui varie en fonction de la force appliquée.
- 4- Selon la revendication 2, la bobine fixe (émettrice) est alimentée par un oscillateur de Wien, et par influence d'induction magnétique, la bobine mobile reliée à l'extrémité libre de la poutre rectangulaire encastrée, est le siège d'une f.e.m. variable dont l'amplitude maximale dépend de la distance inter bobine, en relation avec la force appliquée.

**Courbe caractéristique du dynamomètre électromagnétique
à poutre encastrée**

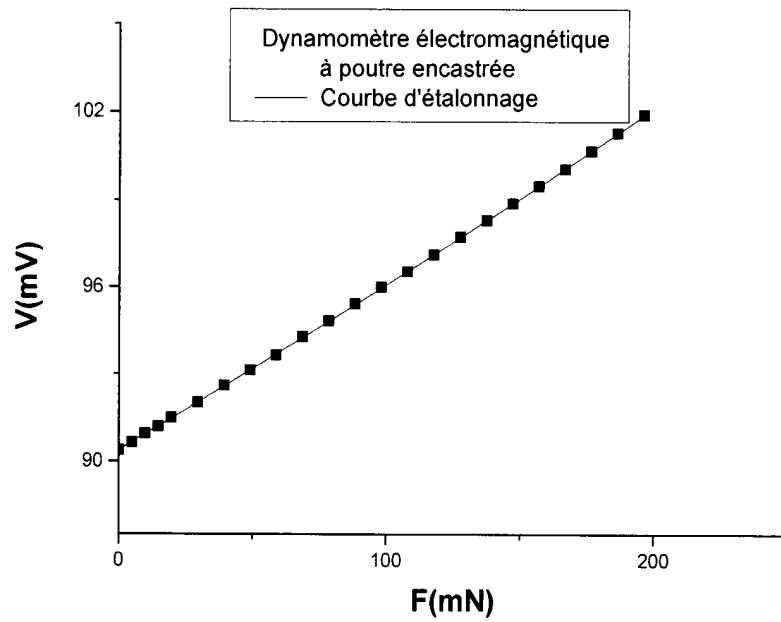


Fig.1 Variations de la tension en fonction de la force appliquée au dynamomètre.

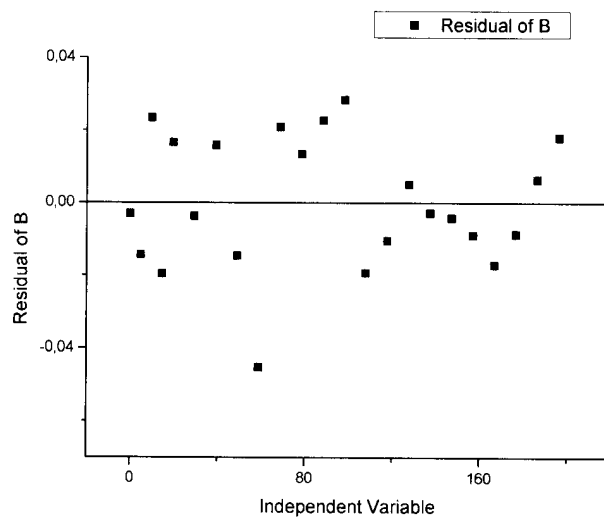


Fig.2 Répartition des résidus de l'ajustement d'ordre 2, $V = f(F)$.

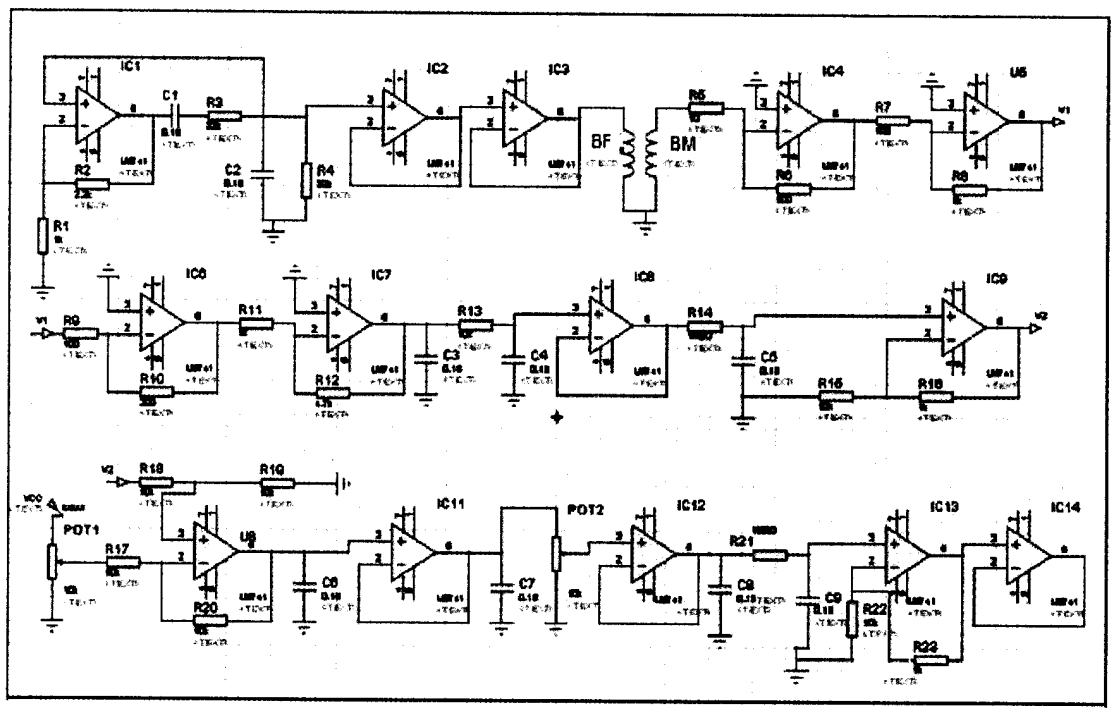


Fig.3 Circuit électronique du dynamomètre électromagnétique



Photo1. Dynamomètre électromagnétique à poutre encastrée

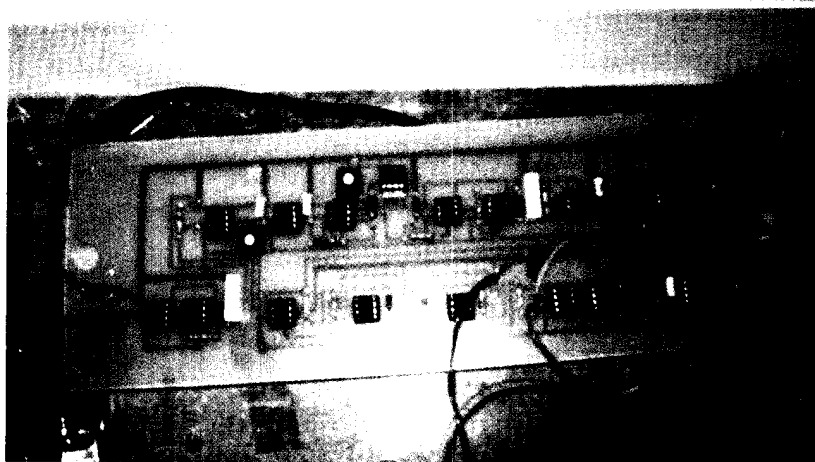


Photo2. Circuit de conditionnement.