



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 35701 B1** (51) Cl. internationale : **G01P 15/00**
(43) Date de publication : **01.12.2014**

-
- (21) N° Dépôt : **35937**
(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 : **accéléromètre électromagnétique.**
- (57) Abrégé : Le dispositif proposé est un accéléromètre électromagnétique, constitué d'une poutre encastrée à une extrémité, et dont l'autre extrémité libre est solidaire à une masse sismique M, le système mécanique (poutre encastrée à une extrémité et masse sismique) constitue un dispositif qui permet la conversion des forces en déplacements. A ce dispositif, 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 de l'accéléromètre électromagnétique de 0g à 0.94 g, avec une précision $0.0014ms^{-2} < \Delta y < 0.0035ms^{-2}$, nous permet son utilisation pour effectuer des mesures avec une grande précision. La gamme d'utilisation de cet accéléromètre est comprise entre 0g et 0.94 g. Les mesures sont reproductibles et les déformations de la poutre sont parfaitement réversibles dans cette gamme de mesures. La gamme de mesure peut être élargie en apportant quelques améliorations au dispositif expérimental. Le dispositif proposé permet les mesures d'accélération suivant l'axe joignant les centres des deux bobines plates qui forment le circuit magnétique associé au système mécanique.

Abrégé

Le dispositif proposé est un accéléromètre électromagnétique, constitué d'une poutre encastrée à une extrémité, et dont l'autre extrémité libre est solidaire à une masse sismique M , le système mécanique (poutre encastrée à une extrémité et masse sismique) constitue un dispositif qui permet la conversion des forces en déplacements. A ce dispositif, 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 de l'accéléromètre électromagnétique de 0g à 0.94g , avec une précision $0.0014\text{ms}^{-2} \leq \Delta\gamma \leq 0.0035\text{ms}^{-2}$, nous permet son utilisation pour effectuer des mesures avec une grande précision.

La gamme d'utilisation de cet accéléromètre est comprise entre 0g et 0.94g . Les mesures sont reproductibles et les déformations de la poutre sont parfaitement réversibles dans cette gamme de mesures. La gamme de mesure peut être élargie en apportant quelques améliorations au dispositif expérimental.

Le dispositif proposé permet les mesures d'accélérations suivant l'axe joignant les centres des deux bobines plates qui forment le circuit magnétique associé au système mécanique.

35701
01 DEC 2014

Accéléromètre électromagnétique

Introduction.

Un accéléromètre est un capteur qui, fixé à un mobile ou tout autre objet, permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier. Bien que l'accélération linéaire soit définie en m/s^2 (SI), la majorité des documentations sur ces capteurs expriment l'accélération en « g » (accélération causée par la gravitation terrestre, soit environ $g = 9,81 m/s^2$). Il existe plusieurs variétés d'accéléromètres utilisant différentes détections (piézoélectrique, piézorésistive, à jauge de contrainte, capacitive, inductive, optique...etc). On distingue deux grandes familles d'accéléromètres : les accéléromètres non asservis et les accéléromètres à asservissement.

Le principe de la plupart des accéléromètres est basé sur la loi fondamentale de la dynamique $F = m \cdot \gamma$ (F : force (N), m : masse (kg), γ : accélération (m/s^2)). Plus précisément, il consiste en l'égalité entre la force d'inertie de la masse sismique du capteur et une force de rappel appliquée à cette masse. Depuis la phase de développement des accéléromètres MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems), de 1975 à 1985, l'accéléromètre a vécu un grand succès dans ses utilisations. En effet, il est passé de 24 millions de ventes en 1996 à 90 millions en 2002. Quant à son prix, il ne cesse de diminuer. L'arrivée des accéléromètres NEMS (Nano-Electro-Mechanical-Systems) donnera un nouvel élan aux accéléromètres.

L'accéléromètre proposé est un accéléromètre électromagnétique, son principe de fonctionnement repose sur la relation fondamentale de la dynamique ($F = m \gamma$), les lois fondamentales de l'électromagnétisme et les propriétés mécaniques d'élasticité d'une poutre encastrée à une extrémité.

1- Description de l'accéléromètre électromagnétique.

L'accéléromètre électromagnétique proposé est constitué d'une poutre rectangulaire en Aluminium encastrée à une extrémité, et sur l'autre extrémité libre 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 (photo1, SF) au dessous la bobine fixée sur la poutre, les deux bobines plates sont situées dans des plans parallèles distants de x . Un circuit électronique de conditionnement (fig.2) du signal électrique permet de prélever la tension de la bobine mobile du circuit magnétique et de l'acheminer vers un voltmètre numérique par l'intermédiaire des fils de connexion (photo1, BM, FC). L'apport de l'énergie électrique est assuré par une alimentation stabilisée symétrique $\pm 15V$. Une masse sismique M (photo1, M) est fixée sur l'extrémité libre de la poutre encastrée. 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 (photo1, FC). Les deux bobines sont toujours quasiment parallèles, distantes de x l'une de l'autre, x étant la distance variable inter bobines.

2- Principe de fonctionnement.

La bobine fixe (fig2, photo1, BF) est alimentée par un oscillateur de Wien (fig2), 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 $C = 0.1\mu F$). La condition d'amplification $A = 1 + R_2/R_1 = 3$ ($R_2 =$

2.2k Ω et R1 = 1k Ω). 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.

Les premiers essais sur l'accéléromètre électromagnétique conçu, ont été faits au laboratoire d'électronique en utilisant un plan mobile sur lequel on a fixé l'accéléromètre. Un dispositif permet de faire varier l'inclinaison θ du plan par rapport à l'horizontale. Les mesures ont été effectuées de 20° à 90°. La masse sismique M solidaire à l'extrémité libre de la poutre est soumise à une force $F = M g \cos \theta = M \gamma$, suivant la direction de l'axe joignant les centres des bobines (photo1, BM, BF), c-à-d dans une direction perpendiculaire aux plans parallèles des bobines, et où θ est l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale. Lorsqu'on fait diminuer l'angle d'inclinaison θ par rapport à l'horizontale (photo1), ceci se traduit par une augmentation de $\cos \theta$ donc de la force F , et la poutre subie une flexion dont l'amplitude dépend de l'intensité 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 a pour effet, l'augmentation de la tension maximale induite aux bornes de la bobine mobile. Comme la masse sismique M est constante, la tension relevée reflète les variations de l'accélération $\gamma = g \cos \theta$. Pour $\theta = 90^\circ$ l'accéléromètre est soumis à une accélération nulle suivant l'axe joignant les centres des bobines plates (Photo2, $\theta = 90^\circ$) et qui correspond à une tension minimale $V_{\min} = 49.7$ mV.

L'augmentation de l'accélération se traduit par une diminution de la distance inter bobines x qui est due à la flexion de la poutre encastré sous l'effet de l'augmentation de la force, ce qui se provoque un accroissement 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 (Fig2), pour rendre cette tension exploitable. A la sortie du circuit de conditionnement, un potentiomètre (Fig2) 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 (fig2), est alimenté par une source de tension symétrique stabilisée, $\pm 15V$.

L'accéléromètre électromagnétique ainsi proposé, est constitué de deux convertisseurs, le premier est la poutre encastrée à une extrémité, avec une masse sismique M appliquée à son 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 de l'accéléromètre électromagnétique.

L'accéléromètre électromagnétique proposé est caractérisé 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 de l'accéléromètre $V=f(\gamma)$, est obtenue, en faisant varier l'angle d'inclinaison θ par rapport à l'horizontale allant de 20° à 90° par pas de 10° et en relevant la tension correspondante, à l'aide d'un voltmètre de précision 0.01 mV . (tableau1, figure 1).

Tableau1 d'étalonnage de l'accéléromètre électromagnétique.

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

θ°	20	30	40	50	60	70	80	90
γ en (g)	0.940	0.866	0.766	0.643	0.500	0.342	0.174	0
γ (m/s^2)	9.382	8.495	7.514	6.308	4.905	3.355	1.707	0
V(mV)	94.98	92.40	89.75	84.65	78.35	71.10	61.60	49.70

Les variations de la tension en fonction de l'accélération γ sont monotones dans l'intervalle de mesure et obéissent à une relation polynomiale d'ordre 2, la fig.1 représente les variations de la tension du capteur en fonction de l'accélération γ exprimée en « g » accélération de la gravité comme unité. La sensibilité de l'accéléromètre est comprise entre $S = \Delta\gamma/\Delta V = 0.35\text{ms}^{-2}/\text{mV}$ et $0.14\text{ms}^{-2}/\text{mV}$, la précision sur l'accélération est donnée par : $\Delta\gamma = S \Delta V$, d'où $0.0014\text{ms}^{-2} \leq \Delta\gamma \leq 0.0035\text{ms}^{-2}$.

L'étendu de mesure de l'accéléromètre électromagnétique proposé est limité entre 0g et 0.94g . 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 de l'accéléromètre électromagnétique peuvent être améliorées en utilisant des matériaux de très grandes performances, (module d'élasticité, endurance, résistance à la fatigue,...etc.).

Conclusion.

Le principe de fonctionnement de l'accéléromètre électromagnétique repose sur la loi fondamentale de la dynamique, les lois fondamentales de l'électromagnétisme, et les propriétés mécaniques d'élasticité d'une poutre 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 0g et 0.94g , avec une précision $0.0014\text{ms}^{-2} \leq \Delta\gamma \leq 0.0035\text{ms}^{-2}$. Des améliorations peuvent être apportées à cet accéléromètre 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 de la balance électromagnétique, 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 très bonnes propriétés mécaniques permettra d'une part d'élargir la gamme de mesure, et d'autre part augmenter la sensibilité et la précision de l'accéléromètre électromagnétique. Les applications d'un tel accéléromètre et son principe de fonctionnement sont nombreuses, et peut être adoptée entre autre comme maquette didactique d'enseignement. D'autres améliorations peuvent être apportées au circuit électronique de conditionnement.

Revendications

- 1- Dispositif formant un accéléromètre électromagnétique, caractérisé en ce qu'il est constitué d'une poutre rectangulaire encastrée à une extrémité, d'un circuit magnétique, un circuit électronique, et une masse sismique solidaire à l'extrémité libre de la poutre encastrée.
- 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 et sur la face inférieurs de la poutre encastrée, la face supérieure de cette dernière est solidaire à une masse sismique ; et l'autre bobine est fixe, placée en dessous et de façon parallèle à la bobine mobile, 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 l'accélération de la masse sismique suivant l'axe joignant les centres des bobines plates.
- 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 x , cette dernière dépend de l'accélération de la masse sismique qui provoque la flexion de la poutre encastrée.

Courbe caractéristique de l'accéléromètre électromagnétique

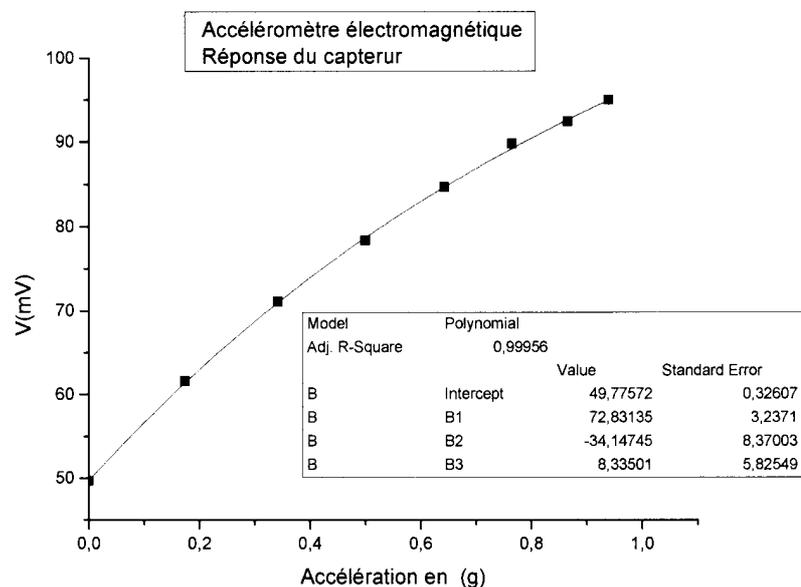


Fig.1 Variations de la tension en fonction de l'accélération γ exprimée en (g).

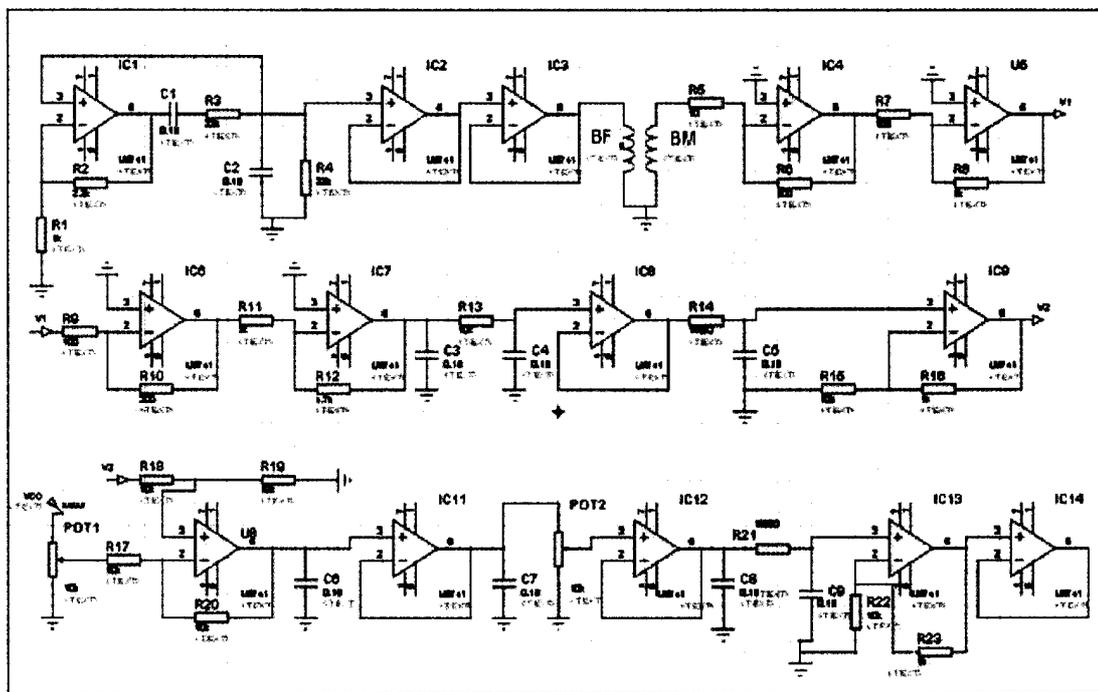
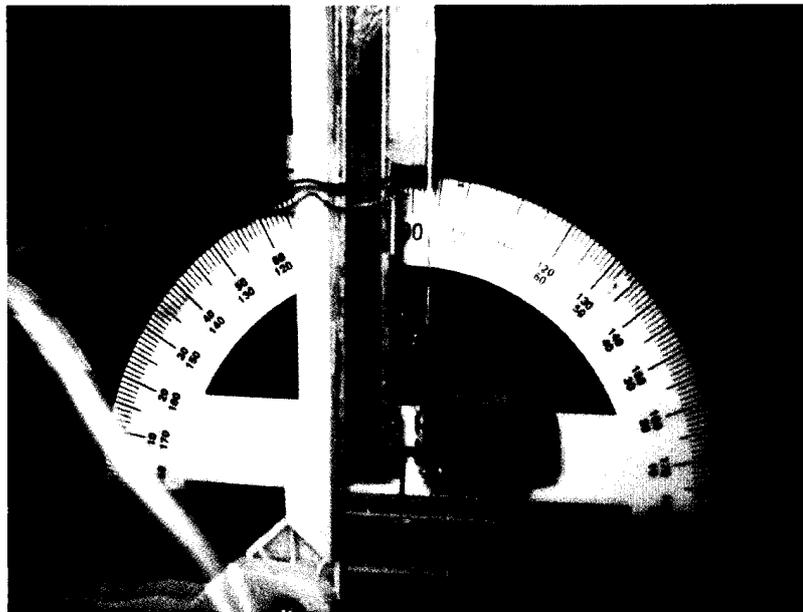
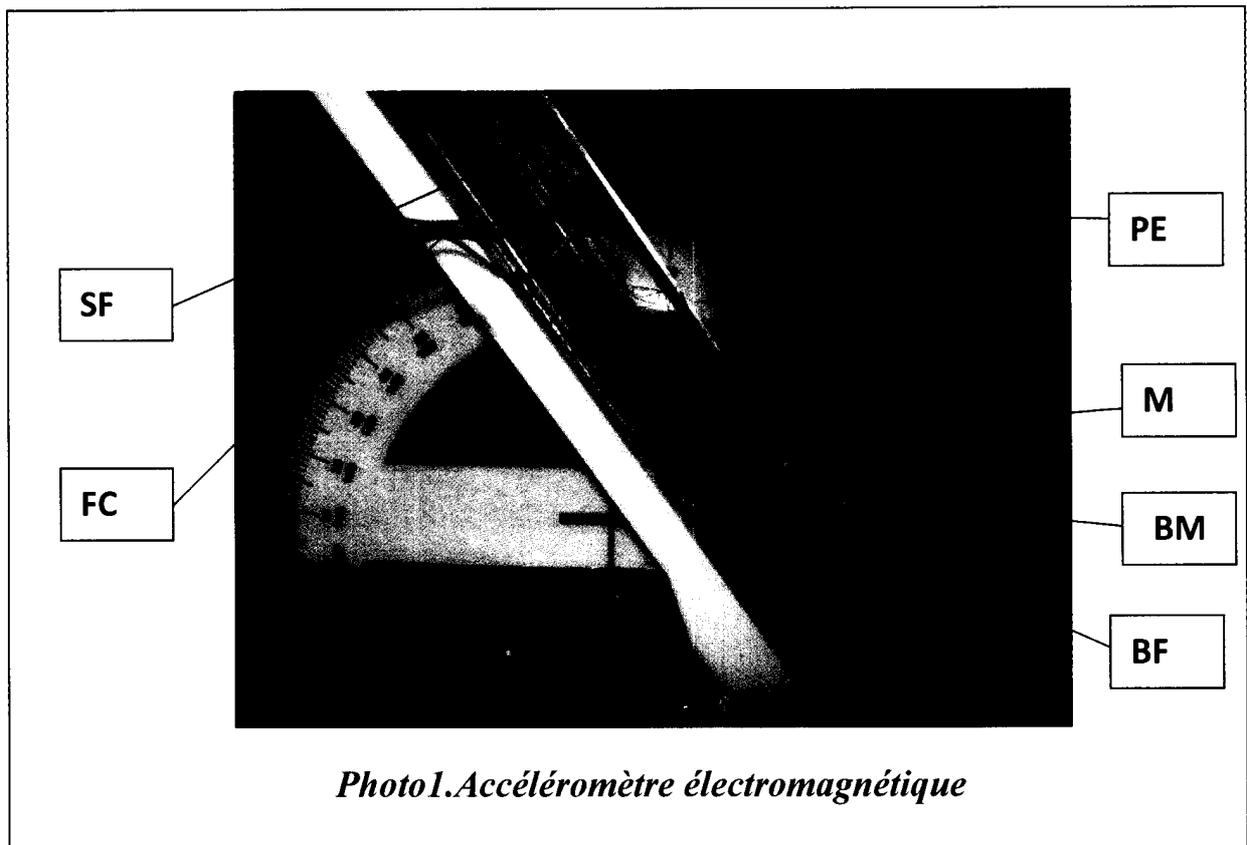


Fig.2 Circuit électronique de l'accéléromètre électromagnétique



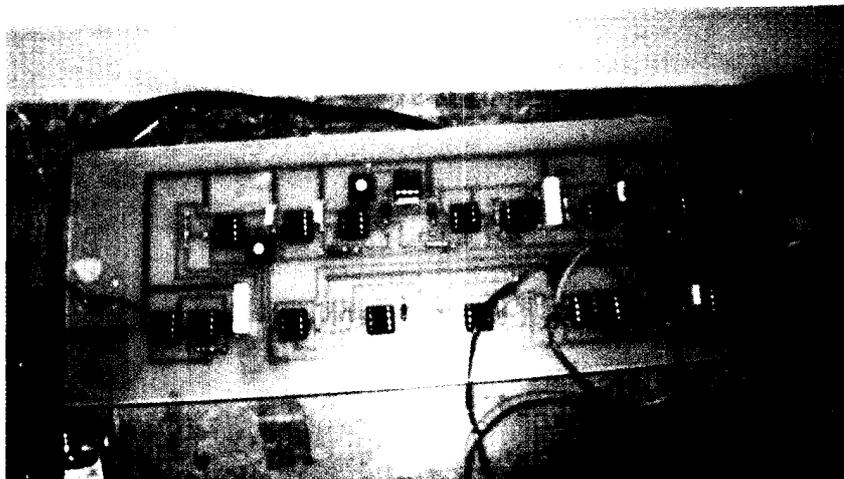


Photo3. Circuit de conditionnement.