

Construction d'un fluxmètre

QUELQUES EXEMPLES D'UTILISATION

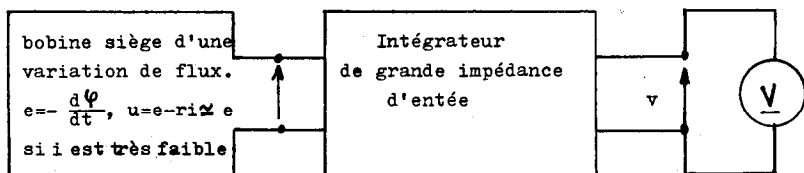
par R. MOREAU,
I.P.R., Bordeaux.

I. PRINCIPE.

Si, dans une bobine, entre deux dates t_1 et t_2 , le flux (supposé algébrique), subit une variation $\Delta\varphi$, il existe, dans la bobine, une force électromotrice d'induction $e(t)$ qui, avec les conventions habituelles (f.é.m. positive si, seule source de courant, elle fait circuler dans le circuit un courant d'intensité positive), vaut

$$-\frac{d\varphi}{dt}.$$

La bobine constituant l'organe d'entrée de l'appareil (le capteur), un voltmètre (contrôleur) en constituant pour sa part l'organe de sortie, il suffit, pour disposer en sortie d'une tension proportionnelle à la variation de flux $\Delta\varphi$ initiale, d'intercaler un intégrateur entre le capteur et le contrôleur.

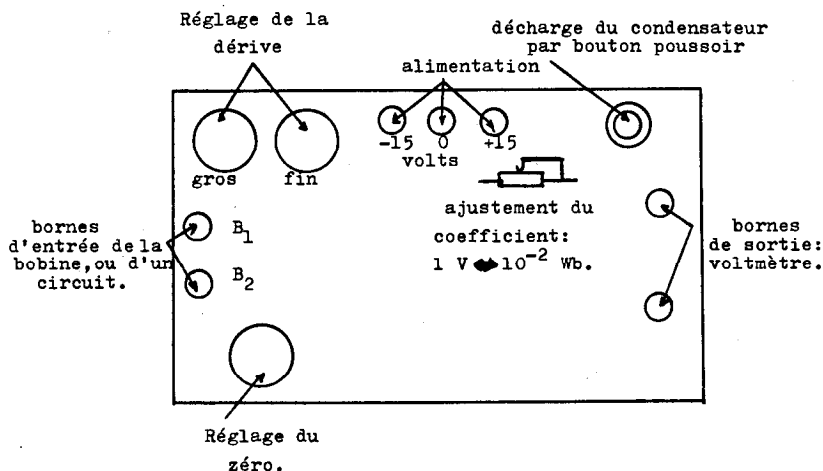


$$\varphi(t) - \varphi(0) = \int_0^t \frac{d\varphi}{dt} \cdot dt$$

Il faut que l'appareil comporte une remise à zéro : c'est un bouton poussoir qui, en mettant le condensateur du montage en court-circuit, assurera cette fonction.

Comme, de plus, les deux amplificateurs opérationnels du montage ne sont pas parfaits, l'un provoque une dérive du fluxmètre (qu'on met à profit pour amener l'aiguille du voltmètre sur la position désirée du cadran), l'autre influe un peu sur le réglage du zéro. Attention : la dérive dépend de l'impédance du circuit d'entrée (celui qu'on a branché entre les bornes B_1 et B_2).

Les différentes fonctions que remplit donc le dispositif que l'on est amené à construire sont donc résumées sur le tableau ci-après.



Seul, le premier circuit intégré linéaire est monté en intégrateur. Si on lui applique une tension $u(t)$, il est facile de montrer que si le circuit peut être considéré comme parfait, la tension $s(t)$ disponible à sa sortie, est de la forme :

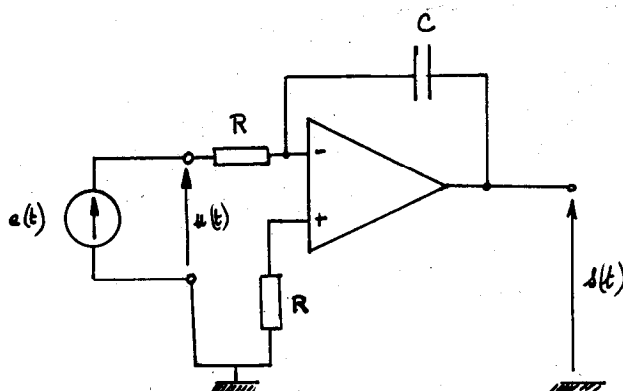
$$s(t) = s_0 - \frac{1}{RC} \cdot \int_0^t u(t) \cdot dt.$$

Comme l'impédance d'entrée du circuit est grande (nous l'avons choisie égale à $22 \text{ k}\Omega$), on peut confondre $u(t)$ avec la f.é.m. induite dans la bobine qui est connectée à l'intégrateur.

Si cette f.é.m. est de la forme $e = -\frac{d\varphi}{dt}$, si de plus $s_0 = 0$, ce

qui suppose qu'on a déchargé le condensateur avant de procéder à la mesure, cela entraîne :

$$s(t) = \frac{1}{RC} \cdot [\varphi(t) - \varphi(0)].$$



II. CONSTRUCTION ET ETALONNAGE.

Nous choisissons $R = 22 \text{ k}\Omega$, $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$, le produit RC est donc proche de 0,1 seconde.

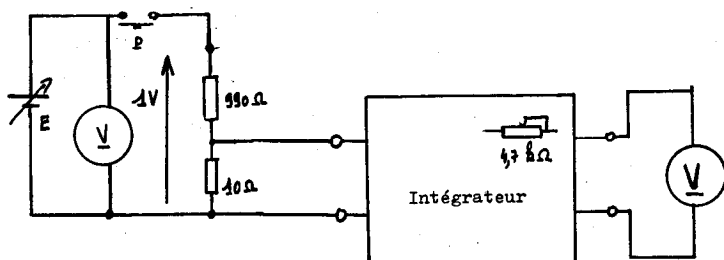
Le second circuit intégré linéaire est monté en amplificateur opérationnel de gain voisin de 10 et ajustable de 8 à 12 de manière à pouvoir obtenir une variation de la tension de sortie de 1 V pour $\Delta\varphi = 10^{-2} \text{ Wb}$.

Pour cela, on peut procéder de plusieurs manières. Nous en indiquerons deux qui prennent simplement en compte la relation désirée :

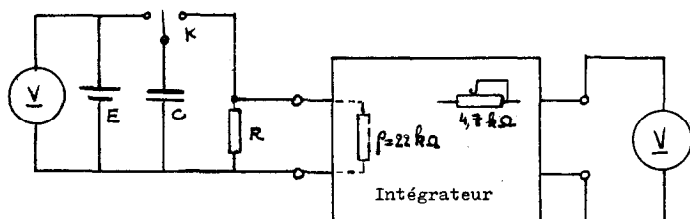
$$|s - s_0| = 100 \cdot \left| \int_0^t u(t) \cdot dt \right|.$$

1° En appliquant une tension de 10 mV à l'entrée du fluxmètre, en opérant par exemple comme le suggère le schéma de montage représenté ci-après, agir sur la résistance ajustable de 4,7 k Ω jusqu'à ce que le voltmètre de sortie dévie de 10 volts en dix secondes.

Cela correspond à une variation de 10^{-2} Wb par seconde et à une tension de sortie correspondante de 1 V/s soit donc : $1 \text{ V} \leftrightarrow 10^{-2} \text{ Wb}$.



Première méthode : le bouton poussoir P, à contact normalement ouvert, permet d'appliquer une tension de 10 mV pendant 10 s, à l'entrée de l'amplificateur. La déviation correspondante totale du voltmètre doit être de 10 volts.



Deuxième méthode : l'inverseur K permet de décharger C, préalablement chargé sous la tension E, dans la résistance connue R (faible devant la résistance d'entrée q de l'intégrateur, égale, elle, à 22 kΩ).

2° Cette fois-ci, la tension que l'on applique à l'entrée de l'intégrateur est obtenue en déchargeant un condensateur de capacité C, connue, dans une résistance R, connue également. Pour ne pas être obligé de tenir compte de la résistance d'entrée de l'intégrateur, égale à 22 kΩ, on prendra par exemple $R = 200 \Omega$.

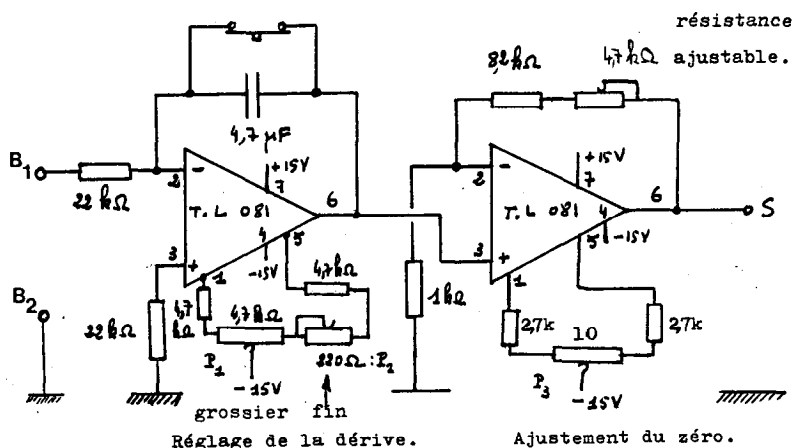


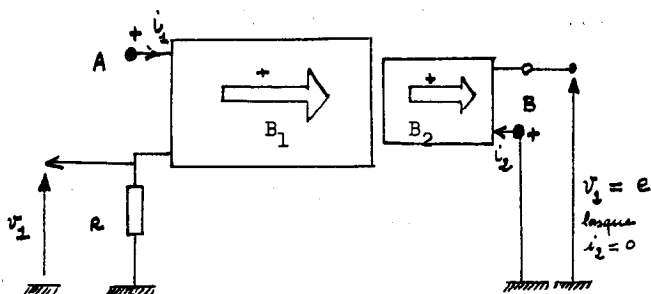
Schéma de montage.

Les trois potentiomètres sont linéaires.

2° ETABLISSEMENT DE LA LOI QUALITATIVE DE L'INDUCTION.

Nous avons décrit par ailleurs une expérience qui consiste à créer, dans une bobine induite (B_2), un flux variant selon une fonction affine par morceaux en fonction du temps, et à mesurer, à l'oscillographe, la f.é.m. correspondante. C'est ainsi qu'avec

les conventions convenables, on trouve $e = -k \cdot \frac{d\varphi}{dt}$, où k est une constante positive.



A et B sont les bornes par lesquelles les courants doivent pénétrer pour que les intensités i_1 et i_2 soient positives.

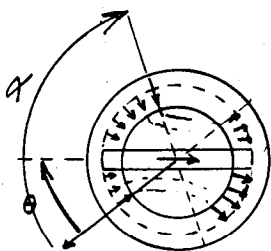
Les flèches portées sur les bobines, donnent le sens des champs magnétiques créés par des courants i_1 et i_2 positifs. Dans le cas de la figure, si i_1 est positif, v_1 est positive (déviation vers le haut de la trace de l'oscillographe), et φ , le flux embrassé par B_2 , est positif.

Dans un premier temps, on envoie un courant d'intensité $I = 1$ A dans la bobine inductrice (par exemple). On mesure la variation de flux $\Delta\Phi$ correspondante dans la bobine induite B_2 . Dans une expérience réelle, effectuée devant des élèves, nous avons trouvé $\Delta\Phi = 0,75 \cdot 10^{-2}$ Wb.

Ensuite, l'oscillographe permet de mesurer la variation d'intensité Δi_1 qui s'effectue pendant un temps Δt : si l'on a, par exemple, $\Delta v_1 = 20$ V, et $R = 1$ k Ω , on en déduit $\Delta i_1 = 20$ mA.

On est donc capable d'évaluer la variation de flux $\Delta\varphi$ qui correspond à la durée de la croissance (ou de la décroissance) uniforme de i_1 .

Dans notre cas, la bobine B_1 étant une bobine classique de laboratoire de 500 spires, la bobine induite, B_2 , une bobine de relais des P. et T., nous avons trouvé $\Delta\varphi = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Wb, et, avec $\Delta t = 0,5$ ms, cela correspond à une f.é.m. de 300 mV effectivement mesurée sur l'oscillographe. D'une manière générale, d'ailleurs, les résultats sont excellents.



3° ETUDE DU CHAMP MAGNÉTIQUE DANS L'ENTREFER D'UN GALVANOMÈTRE A CADRE MOBILE.

De petits galvanomètres, baptisés Vu-mètres, sont disponibles sur le marché à des prix très abordables (environ 50 F). En reliant les bornes du galvanomètre au fluxmètre, on trouve, comme variation maximale du flux embrassé par le cadre (correspondant à l'angle maximal de rotation α), une valeur de l'ordre de $1,2 \cdot 10^{-2}$ Wb. Si le champ, radial, a une intensité constante B , si le nombre de spires est N , si leur hauteur vaut h et leur rayon r , il est facile de montrer que la variation de flux embrassé correspondant à un angle de rotation θ , vaut :

$$\Delta\varphi = 2 N B r h \theta = \Phi_0 \cdot \theta.$$

La constante Φ_0 que l'on évaluait à partir de mesures portant sur la résistance critique du galvanomètre, (R_c), sa pseudo-période propre T , et sa sensibilité σ (exprimée en radian par ampère), par l'expression approchée $\Phi_0 = \frac{R_c \cdot T}{\pi \cdot \sigma}$, est donc une

quantité parfaitement mesurable avec un fluxmètre précis et sensible comme celui qui est décrit.

A titre d'information, pour un galvanomètre bon marché, nous avons trouvé $\Phi_0 = 1,2 \cdot 10^{-2}$ Wb ; avec $r = 0,5$ cm et $h = 1$ cm, cela conduit à un produit $N \cdot B = 120$ T ; comme N est de l'ordre de 1 000 spires, le champ magnétique dans l'entrefer a donc une valeur proche de 0,1 T.

4° MESURES DE QUANTITÉS D'ÉLECTRICITÉ : COULOMBMÈTRE.

La méthode que nous avons décrite pour l'étalonnage de l'appareil permet évidemment d'utiliser celui-ci en coulombmètre : si une quantité d'électricité q traverse une résistance R placée à l'entrée du fluxmètre (résistance très inférieure à la résistance d'entrée de l'appareil), le voltmètre de sortie sera soumis à une déviation $V = 100 R \cdot q$.

Il est ainsi parfaitement possible de vérifier que lorsque l'on met en relation (par l'intermédiaire d'une résistance quelconque, qui peut être nulle) deux condensateurs C_1 et C_2 , préalablement chargés sous les tensions respectives V_1 et V_2 , la charge totale $Q = C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2$, se conserve. Si V est la tension commune finale, on a donc : $Q = (C_1 + C_2) \cdot V$. On montre de même que si l'on charge deux condensateurs montés en série, les charges qu'ils acquièrent sont égales, indépendamment de leurs capacités.

B. Dans les classes de l'enseignement technique.

Tout ce qui précède peut, bien évidemment, être pratiqué dans les sections F, mais, de plus, on peut utiliser les fluxmètres à la mesure des inductances mutuelles, et, bien sûr, aux relevés de cycles d'hystérésis statiques.

La relation $|s - s_o| = 100 \cdot \left| \int_0^t u(t) \cdot dt \right|$ permet encore de

mesurer des durées très brèves comme le temps d'ouverture d'un relais ; ou encore de déterminer, de manière très précise, les très faibles résistances de shunts.
