

Teslamètre

par Yves CAULET,

Lycée Polyvalent, 07100 Annonay.

I. OBJET : REALISATION D'UN TESLAMETRE RELATIVEMENT PEU COUTEUX.

Le prix des teslamètres que l'on trouve actuellement sur le marché rend difficile sinon impossible l'achat d'une série d'appareils pour faire manipuler les élèves. Certains laboratoires ne possèdent même pas du tout ce type de matériel.

La firme Texas Instruments fabrique une sonde de teslamètre, à effet Hall, sous la référence TL 173 C. Partant de là, il est possible de réaliser un teslamètre simple d'un coût global inférieur à 200 F (prix novembre 1981).

II. CARACTERISTIQUES DE LA SONDE.

La sonde TL 173 C se présente sous la forme d'un petit boîtier epoxy noir (type TO 92) muni de 3 pattes : entrée + 12 V, masse, et sortie S_o .

Son domaine d'utilisation est $-50 \leq B \leq +50$ mT.

Pour $B = 0$, la tension de sortie est de 6 V. Autour de cette valeur, la tension de sortie varie de 15 mV par mT suivant la loi : $U_{S_o} = 6 + 0,015 \cdot B$ (U_{S_o} en V, B en mT.)

Il s'agit là de valeurs typiques. D'après le fabricant, la dispersion maximale des sensibilités est : $13,5 \leq s \leq 16,5$ mV/mT. Cela entraîne, pour des mesures absolues, une incertitude relative pouvant atteindre, suivant la sonde utilisée, 10 %. Il est toutefois possible, à condition d'avoir un bon teslamètre servant d'étalon, de corriger ce défaut en réglant l'amplificateur monté en aval de la sonde ; dans ce cas, sonde et amplificateur doivent être appairés.

La correction précédente est superflue pour des mesures relatives (comparaison de champs, tracé de courbes $B = f(i)$ par points ou à l'oscilloscope), seul alors entre en ligne de compte le défaut de linéarité qui, si l'on en croit les diagrammes donnés par le fabricant, ne dépasse pas 1,5 %.

Enfin, la tension de repos U_{S_o} pour $B = 0$ peut varier de 0,2 V autour de la valeur typique 6 V.

III. PRINCIPE DU MONTAGE.

Partant des données précédentes, il s'agit de construire un teslamètre à lecture quasi directe utilisant des accessoires existant dans tous les laboratoires : alimentation $-15, 0, +15$ V (de pH-mètre) ; contrôleur CdA 25 ou oscilloscope pour la lecture des mesures.

Il faut donc obtenir :

- une tension de sortie $U_S = 0$ pour $B = 0$ (avec réglage de ce zéro),
- $U_S = 5$ V pour $B = 50$ mT (sensibilité $s' = 0,1$ V/mT),
- lorsque B change de signe, il faut pouvoir inverser U_S sans avoir à intervertir les connexions du contrôleur,
- la sonde doit impérativement être alimentée sous une tension de 12 V (à ± 1 V près).

IV. SCHEMA, LISTE DES COMPOSANTS, BROCHAGE.

Voir annexe page 59).

V. NOTE EXPLICATIVE DU SCHEMA.

Le circuit intégré μA 78 L 12 est un régulateur de tension positive délivrant en sortie une tension de $12 \pm 0,5$ V constante, destinée à alimenter la sonde TL 173 C (condition *d*).

Le condensateur $C = 0,1$ μF a pour fonction d'atténuer d'éventuelles oscillations en sortie du régulateur ; il faut le souder le plus près possible de ce dernier.

Le circuit intégré « bifet » TL 082 CP est un amplificateur opérationnel double ; si l'on ne veut pas utiliser un oscilloscope en sortie du teslamètre on peut se contenter d'un circuit intégré plus ordinaire (même brochage), le MC 1458, mais il introduit un léger déphasage entre le signal B et la tension de sortie U_S .

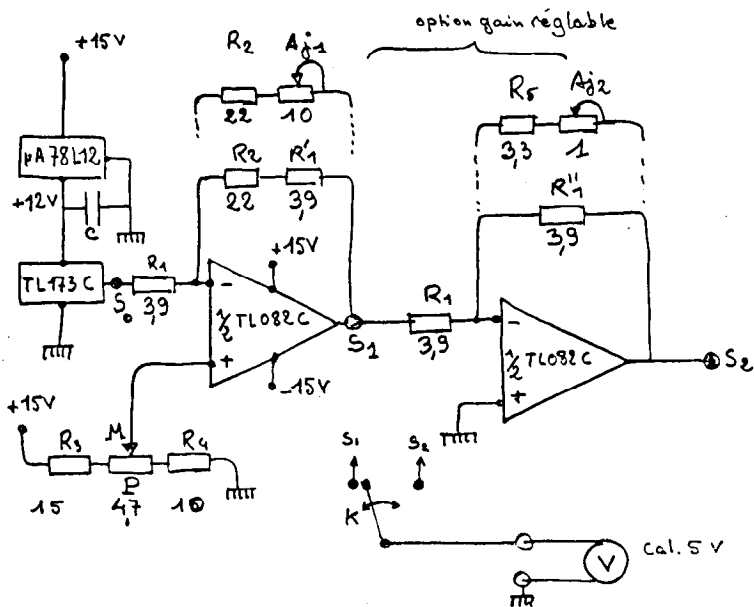
Le premier des deux amplificateurs est monté de façon à remplir une double fonction :

- Réglage du zéro (condition *a*) : le point de résistance $R_3 - P - R_4$ permet d'obtenir $U_{S_1} = 0$ lorsque $B = 0$ et $U_{S_0} \simeq 6$ V. Il suffit, pour cela, de porter le curseur M à un potentiel voisin de S_0 .
- Amplification (condition *b*) : la contre-réaction $(R_2 + R'_1)/R_1$ permet d'obtenir un gain en tension $G_1 = -24,9/3,9 \simeq -6,6...$

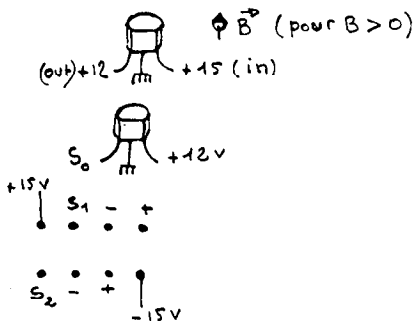
On obtient donc sur la sortie S_1 une sensibilité :

$$s_1 = -6,6... \times 0,015 \simeq -0,1 \text{ V/mT.}$$

SCHEMA DE PRINCIPE



- résistances en $k\Omega$ (1/4 W).
- $C = 0,1 \mu F$.
- $\mu A 78 L 12$: régulateur + 12 V.
- TL 173 C : sonde.
- TL 082 CP (Ampli op bifet)
(ou MC 1458) (Ampli op ordinaire).
- K : inverseur miniature.
- P : potentiomètre 4,7 $k\Omega$.



Le deuxième amplificateur est monté en inverseur ; son gain en tension $G_2 = -R'_1/R_1 = -1$; comme il est monté à la suite de l'amplificateur précédent, on obtient sur sa sortie S_2 une sensibilité $s_2 = +0,1 \text{ V/mT}$.

L'inverseur K (condition c) permet de commuter l'appareil de mesure soit sur la sortie S_1 ($B < 0$), soit sur la sortie S_2 ($B > 0$). Le signe du champ B permet de déterminer le sens du vecteur \vec{B} par rapport à la sonde.

VI. REALISATION PRATIQUE.

Deux versions sont possibles :

- une version simplifiée dont le gain des amplificateurs n'est pas réglable (résistances de contre-réaction fixes) ; ce modèle est suffisant pour des mesures relatives ;
- une version dont on peut régler le gain des amplificateurs (résistances de contre-réaction ajustables). Ce modèle permet de corriger les défauts de la sonde si l'on possède déjà un teslamètre précis. Il autorise donc des mesures absolues assez précises.

Dans un cas comme dans l'autre, le circuit imprimé (schémas joints) peut se réaliser à mainlevée à l'aide d'un stylo à retouches, seule l'implantation du circuit intégré TL 082 C exige l'utilisation de transferts type « Alfac » ou « Mécanorma » ; c'est d'ailleurs par-là qu'il faut commencer le tracé.

Nous avons, pour le circuit imprimé, utilisé une plaque époxy cuivrée de format $103 \cdot 39 \text{ mm}^2$; les composants y trouvent largement leur place et elle s'adapte exactement à un boîtier d'un modèle très répandu le « TEKO P 2 » dont les dimensions extérieures sont $110 \cdot 70 \cdot 50 \text{ mm}^3$.

Sur ce boîtier sont fixés :

- la prise DIN femelle 3 broches sur laquelle vient se connecter le câble de sonde,
- le potentiomètre P de réglage de zéro,
- l'inverseur miniature K de changement de signe de B,
- deux prises femelle de couleur différente, $\varnothing 4 \text{ mm}$, pour connecter le voltmètre.

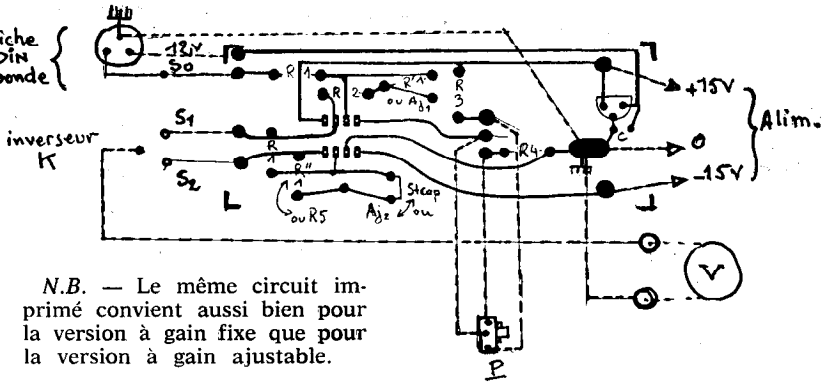
L'implantation et la soudure des composants sur le circuit imprimé ne posent pas de problème ; prévoir tout de même un support pour le TL 082 CP.

Le câblage est schématisé en Annexe (page 61).

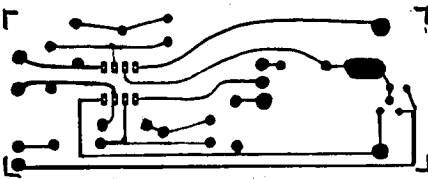
La sonde est connectée au boîtier de l'appareil par l'intermédiaire d'un câble blindé 2 conducteurs (blindage à la masse) de

SCHEMAS PRATIQUES

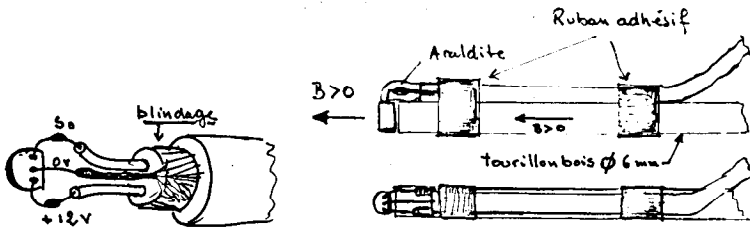
1) Circuit imprimé (côté composants) et câblage.



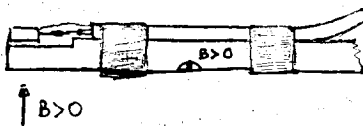
2) Circuit imprimé (côté cuivre).



3) Sonde longitudinale.



4) Sonde transversale.



longueur 1 m environ. La sonde et quelques centimètres de câble sont fixés sur une baguette cylindrique en bois (tourillon que l'on peut trouver dans les magasins « bricolage »), \varnothing 6 mm, longueur 25 cm, à l'aide d'adhésif ; une goutte de colle type Araldite rapide permet de figurer l'isolation des broches de la sonde et de leur soudure sur le câble.

On peut monter la sonde de deux façons en bout de baguette (schéma Annexe page précédente) :

* Méplat de la sonde perpendiculaire à l'axe de la baguette pour mesurer des champs longitudinaux (B parallèle à la baguette dans les bobines).

* Méplat de la sonde parallèle à l'axe de la baguette pour la mesure de champs transversaux (entrefers).

VII. COMPOSANTS, MATERIEL (pour le modèle simplifié).

- Circuits intégrés : régulateur μ A 78 L 12 (1) ; sonde TL 173 C (1) ; amplificateur opérationnel double TL 082 CP (1). Support 8 broches pour TL 082 CP (1).
- Condensateur céramique 0,1 μ F (1).
- Résistances 1/4 W, valeurs en $k\Omega$: 3,9 (4) ; 22 (1) ; 15 (1) ; 10 (1).
- Potentiomètre 4,7 $k\Omega$, et bouton de commande (1).
- Inverseur miniature ; socle et fiche DIN 3 broches ; câble blindé 2 conducteurs : I_m ; 2 prises femelle \varnothing 4 mm (rouge et noire) ; 3 fiches banane \varnothing 4 mm pour connexion sur alimentation (rouge, noire, bleue) ; boîtier « TEKOP 2 ».
- Pour mémoire : fils conducteurs 0,2 à 0,4 mm^2 (couleurs différentes) ; plaque cuivrée, transferts, stylo à retouches ; tourillon pour monter la sonde ; étiquettes...

Le coût global de ce matériel est de l'ordre de 180 F ; le composant le plus cher étant la sonde (98 F).

Pour le modèle à gain réglable, la résistance R'_1 est à remplacer par un ajustable A_{j1} de 10 $k\Omega$ et la résistance R''_1 doit être remplacée par $R_5 = 3,3 k\Omega$ montée en série avec l'ajustable A_{j2} de 1 $k\Omega$ (voir schéma de principe, page 59).

Il est à noter que, pour ce modèle, le réglage du premier amplificateur (par A_{j1}) est délicat car il décale le zéro ; il faut donc procéder par tâtonnements.

VIII. MANIPULATIONS.

Remarque préliminaire.

Toute expérience doit être précédée d'un réglage du zéro du voltmètre par le potentiomètre P, sonde connectée, en l'absence

de champ (le champ terrestre étant négligé devant la sensibilité de l'appareil). Par ailleurs, il est parfois nécessaire de retoucher ce réglage après quelques mesures, la dérive étant probablement due à une variation de température des circuits intégrés.

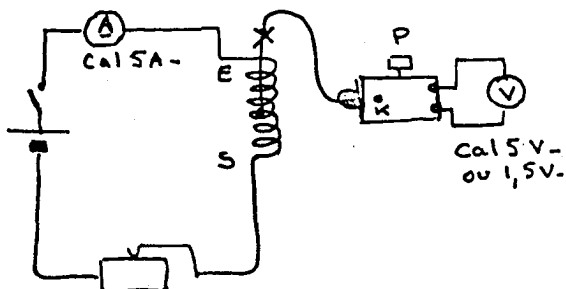
1) Expériences qualitatives (T, C, D, E ; 1^{re} F).

Exploration de champs dus à des aimants, des courants (solénoïde, bobines de Helmholtz...) sens du champ - sens du courant.

2) Expériences quantitatives.

Proportionnalité de B et de i_{ES} à l'intérieur d'une bobine (dans l'air).

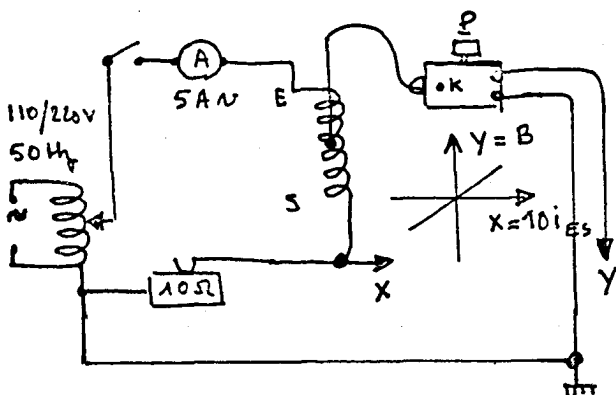
a) Tracé par points du diagramme $B = f(i_{ES})$.



Matériel : Alimentation 6 ou 12 V, 5 A ; interrupteur, ampère-mètre, rhéostat 27Ω ; bobine de transformateur démontable 500 ou 1000 spires ; teslamètre avec alimentation pH-mètre ; contrôleur ; connexions ; papier millimétré.

Noter des couples de valeurs (i_{ES} , B) avec ou sans algébrisation de ces deux grandeurs, tracer le diagramme et conclure.

b) Tracé à l'oscilloscope du diagramme précédent.



Même matériel que précédemment. L'ampèremètre sert à vérifier que l'intensité maximale admissible par la bobine n'est pas dépassée, le générateur de tension continue est remplacé par un auto-transformateur réglé entre 20 et 40 V. Le voltmètre est remplacé par un oscilloscope commuté en X — Y. (Bien interconnecter les masses). Pour une expérience quantitative, régler le rhéostat à une valeur simple : 5 ou 10 Ω (ohm-mètre).

Observer, éventuellement mesurer, conclure.

3) Cycle d'hystérésis (sections F).

Il suffit, dans le montage précédent, d'introduire en bout de sonde une tige cylindrique en acier de diamètre 6 à 8 mm (tringles de support universel, foret, chutes de fers à béton lisse ou tors...) et l'on obtient un cycle. Faire varier successivement les paramètres suivants : intensité maximale dans la bobine ; longueur, section de la tige ; qualité de l'acier. Observer, et, si possible, conclure.
