

pince ampèremétrique pour courant continu

Capteur à effet Hall + noyau de ferrite + Arduino

Martin Oßmann (Allemagne)

Pour mesurer l'intensité du courant dans un fil, on insère d'habitude un ampèremètre en série avec le fil. Avec une pince ampèremétrique, ou « Amp-clamp », il n'est pas nécessaire d'ouvrir le circuit. Les versions les plus rudimentaires de la pince ne peuvent mesurer que le courant alternatif car les capteurs utilisés sont insensibles au courant continu (ils fonctionnent sur le principe du transformateur). Pour mesurer le courant continu, on peut utiliser des capteurs à effet Hall.

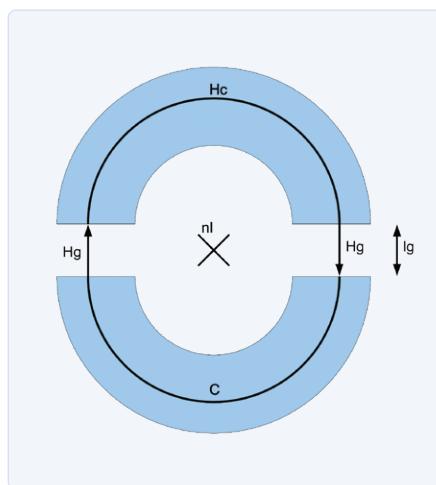


Figure 1. La géométrie du champ magnétique.

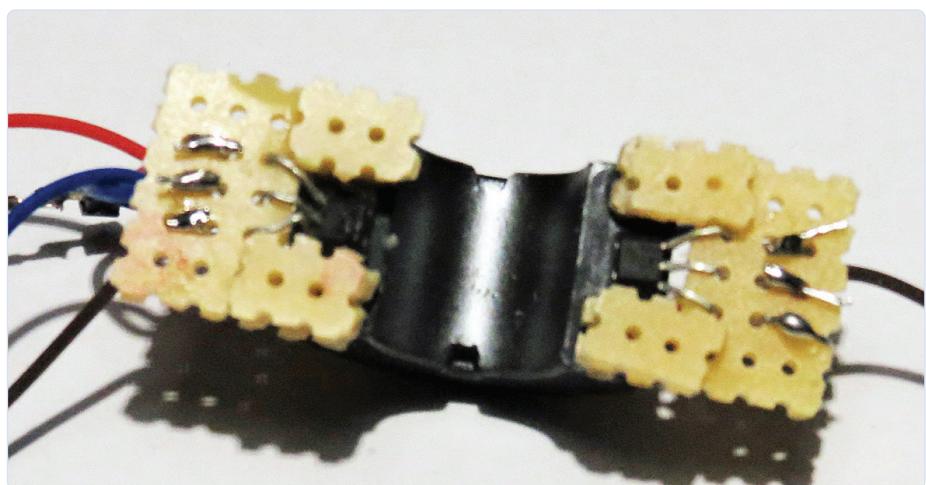


Figure 2. Disposition des capteurs à effet Hall sur le tore de ferrite.

Avant de se lancer dans la conception d'un tel projet, il est toujours bon de faire des recherches sur le sujet et d'étudier les modèles du commerce pour voir comment ils sont conçus et s'ils peuvent être améliorés. Une pince ampèremétrique se compose essentiellement d'un noyau de deux moitiés de tore de ferrite, assemblées de manière à ce qu'elles soient séparées par un entrefer (**fig. 1**). Le courant qui circule dans le fil entouré par le noyau a la valeur nl .

Relations mathématiques

Le facteur n est le nombre de tours que le fil dans lequel circule le courant à mesurer fait autour du noyau du capteur ; c'est un facteur qui multiplie l'excitation magnétique H qui

magnétise le noyau. Le champ magnétique dans le noyau B_c (c pour core, le noyau) est le même que dans l'entrefer B_g (g pour gap, l'entrefer) de sorte que $B_g = B_c$. C'est une conséquence des équations de Maxwell (pour en savoir plus, lisez « A Student's Guide to Maxwell's Equations », D. Fleisch). Pour simplifier, nous pouvons supposer que les champs magnétiques sont uniformes dans le noyau et dans l'entrefer. L'équation $B_g = \mu_0 \times H_g$ s'applique pour l'entrefer tandis que dans la ferrite on a $B_c = \mu_r \times \mu_0 \times H_c$. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ est la perméabilité magnétique du vide, μ_r la perméabilité relative du matériau, très voisine de 1 pour l'air et la plupart des matériaux non ferreux). Pour la ferrite, on a typiquement $\mu_r \approx 2000$. L'équation $H_g = \mu_r \times H_c$ montre que

dans la ferrite, l'excitation magnétique est plus faible que dans l'entrefer d'un facteur μ_r . Dans la pratique, on peut donc souvent la négliger. Selon le théorème d'Ampère, l'intégrale curviligne de l'excitation magnétique H le long d'une courbe fermée est égale à l'intensité du courant qui la traverse, soit nl . Dans la figure 1, la courbe est représentée par C. L'entrefer a ici la longueur $l_g = 1,6 \text{ mm}$ et la longueur d'une moitié de noyau est donnée par $l_c = \pi \times d_c / 2$ où d_c est le diamètre du noyau, $d_c = 18 \text{ mm}$. Le théorème d'Ampère donne :

$$2 \times l_g \times H_g + 2 \times l_c \times H_c = nl$$

Remplaçons H_c par sa valeur et résolvons l'équation pour H_g , nous obtenons :



Figure 3. Schéma de connexion des capteurs à effet Hall.

$$H_g = nl / (2 \times I_g + 2 \times I_c / \mu_r)$$

Voilà qui nous donne l'excitation magnétique détectée par les capteurs en fonction du courant. Les deux capteurs à effet Hall A 1324 LUA-T utilisés dans ce projet ont une sensibilité de $S = 5 \text{ mV/G}$ et fournissent donc une tension de sortie égale à :

$$V = 2 \times S \times \mu_0 \times nl / (2 \times I_g + 2 \times I_c / \mu_r)$$

Soit en substituant les valeurs numériques ($n = 1$) :

$$V = I \times 38,92 \text{ mV/A}$$

Pour les valeurs de courant rencontrées dans les applications électroniques courantes, cela correspond à des tensions de l'ordre du millivolt, encore d'un maniement raisonnable. Si nous ignorons le champ dans la ferrite, nous pouvons simplifier l'expression :

$$V = S \times \mu_0 \times nl / I_g$$

ce qui donne $V = I \times 39,26 \text{ mV/A}$, soit un coefficient simplifié suffisamment proche de la valeur obtenue précédemment.

Le noyau de ferrite

L'élément central du dispositif est constitué par les deux moitiés d'une ferrite antiparasite standard à charnière que l'on trouve souvent autour des câbles qui sortent d'un boîtier contenant des équipements électroniques (fig. 2). Les deux capteurs à effet Hall sont collés aux surfaces de la section transversale du noyau pour former les entrefers. Un petit morceau de pertinax ou de carte à trous de 1,6 mm d'épaisseur (sans aucune trace de cuivre) porte le capteur et détermine l'entrefer. La figure 3 montre le positionnement des capteurs.

Les deux moitiés du noyau peuvent alors être serrées l'une contre l'autre au moyen de ruban adhésif ou d'un bracelet de caoutchouc. On peut ensuite faire passer le fil où circule le courant à travers le trou central du noyau de ferrite. La figure 4 montre un exemple où un fil monobrin a été enroulé plusieurs fois autour du noyau, ce qui a pour effet d'aug-



Figure 4. De multiples tours autour du noyau augmentent la sensibilité.

menter linéairement la sensibilité du capteur à effet Hall.

L'électronique

La conversion analogique/numérique est effectuée sur 18 bits par une puce bon marché MCP3421. Elle possède une référence de tension interne de 2,048 V et utilise un étage d'entrée différentiel. Au repos, la tension de sortie des capteurs Hall est la moitié de la tension d'alimentation. Lorsque les deux capteurs sont dans la configuration de la figure 2, le flux magnétique produit par le courant circulant dans le fil provoque sur leurs sorties des variations de tension opposées. Ces variations s'additionnent donc dans l'étage d'entrée différentiel du convertisseur A/N. La résolution du convertisseur A/N à 18 bits est de $2,048 \text{ V} / 217 = 0,015 \text{ mV}$, ce qui est suffisant pour cette application. Une carte Arduino Nano sert d'unité centrale ; elle dispose de suffisamment de broches GPIO pour notre réalisation. Un écran OLED de 128x64 pixels bon marché sert d'afficheur. La figure 5 montre le circuit complet, qui reste relativement simple. Si vous préférez utiliser

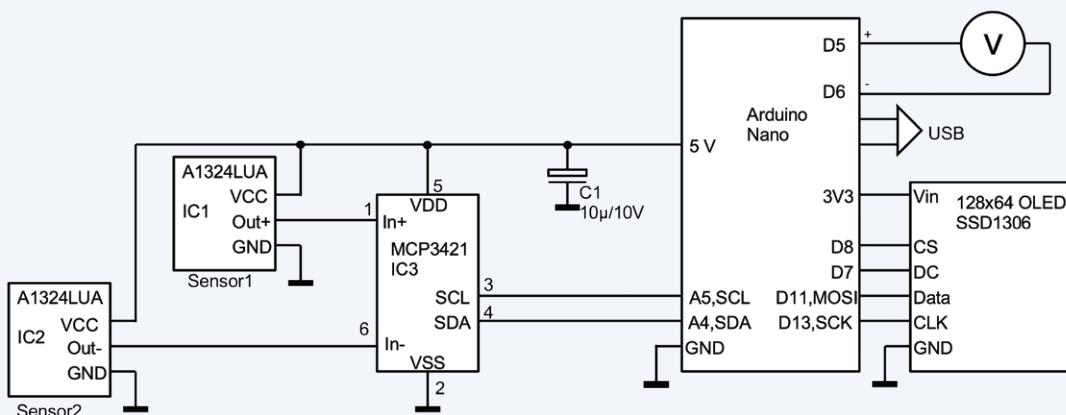


Figure 5. Le circuit complet de l'ampèremètre.

un indicateur analogique, vous pouvez également connecter un voltmètre à cadre mobile à la sortie. Un volt en sortie correspond alors à un courant mesuré d'un ampère.

Les commandes

Pour le contrôle du fonctionnement et le réglage des paramètres de tarage utilisés par le logiciel, il existe quelques commandes qui peuvent être entrées via l'interface série de l'EDI Arduino. Les valeurs mesurées sont également affichées via l'interface série.

Commande '0' = réglage du zéro

Cette commande ne doit être utilisée qu'en l'absence de tout courant à mesurer. Le logiciel effectue un réglage du zéro et enregistre la valeur du décalage dans une EEPROM non volatile. Les capteurs à effet Hall ont une tension de décalage (qui dérive avec la température) qui doit être compensée pour obtenir des mesures précises.

Commande '1' = gain pour 1 A

Cette commande sert à évaluer le gain interne pour un courant à mesurer $n/1$ A. Le gain est calculé et enregistré dans l'EEPROM.

Commande '5' = gain pour 500 mA

Comme la commande '1', mais pour un courant de 0,5 A.

Commande 'u'

La valeur numérique saisie à la suite de 'u' est affichée sous la forme d'une tension. L'ampèremètre passe ensuite en « mode calibrage DVM » pendant un temps où vous pouvez utiliser les touches « + » et « - » pour annuler l'écart éventuel entre la valeur affichée et la valeur saisie.

Commande 'd'

Les valeurs par défaut des paramètres sont écrites dans l'EEPROM afin de l'initialiser pour le premier démarrage.

Réalisation

Pour tester le principe de ce projet, j'ai réalisé le prototype sur une carte de prototypage avec des fils à connecteurs Dupont pour câbler les différents composants utilisés (**fig. 6**). On voit au premier plan le tore de ferite flanqué du petit afficheur à gauche et de l'Arduino Nano à droite. Le logiciel a été développé avec l'EDI Arduino, puis téléchargé sur la carte Nano. La dernière version de ce logiciel est disponible gratuitement sur la page web d'Elektor de cet article [1]. Le prototype du projet « Amp-clamp » a été

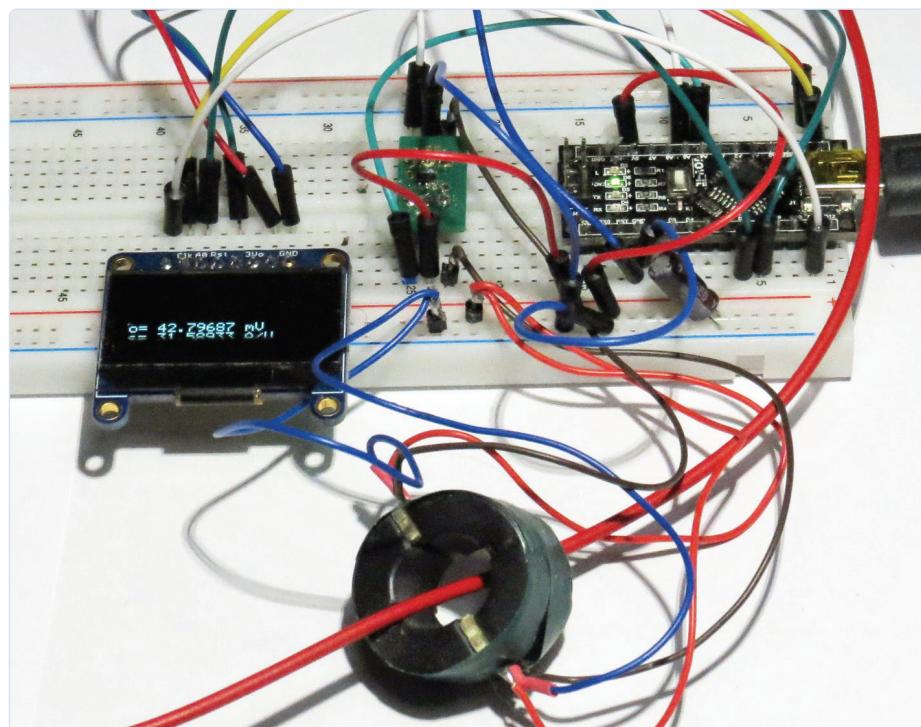


Figure 6. La réalisation du prototype sur une carte de prototypage.

testé et s'est comporté comme prévu lors de sa mise sous tension. Nous espérons que ce circuit vous inspirera pour réaliser vos propres expériences ou pour créer d'autres projets relatifs à la mesure magnétique des courants ! ↵

(200595-04)

Des questions, des commentaires ?

Contactez-nous par courriel (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Projet et texte : **Martin Oßmann**

Rédacteur : **Thomas Scherer**

Mise en page : **Giel Dols**

Traduction : **Helmut Müller**

LIEN

[1] [Page web de l'article : www.elektormagazine.fr/200595-04](http://www.elektormagazine.fr/200595-04)



PRODUITS

➤ **Afficheur OLED de 0,96", 128x64 pixels, pour Arduino**
www.elektor.fr/blue-0-96-oled-display-spi-6-pin

➤ **Pince ampèremétrique PeakTech 4350**
www.elektor.fr/peaktech-4350-clamp-meter