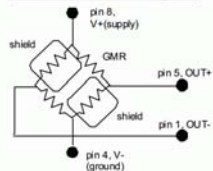


## Microcap ou comment utiliser l'électronique de spin pour la mesure du champ magnétique basse fréquence

Functional Block Diagram



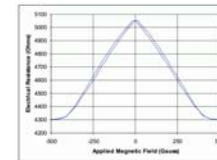
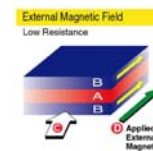
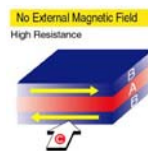
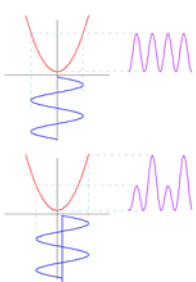
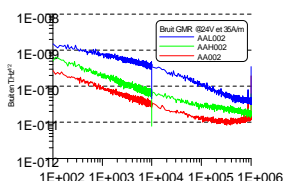
Les capteurs à GMR de la société NVE sont composés de 4 éléments GMR disposés en pont de Wheatstone, dont deux sont insérés en porte feuille dans un matériau ferro magnétique qui leur sert de blindage, en même temps qu'ils agissent comme un concentrateur de flux pour les deux autres.

La société NVE commercialise plusieurs types de capteurs qui diffèrent généralement par la dimension du concentrateur de flux pour leur donner une sensibilité différente. Trois d'entre eux ont été testés au LPC2E avec une polarisation DC pour atteindre la partie croissante de la caractéristique. Le bruit a une structure en 1/f avec un coude placé au voisinage de 100kHz.

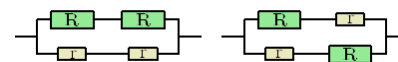
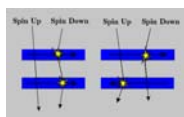
Pour exploiter les GMR au-delà du coude et profiter du niveau de bruit minimum, le LPC2E a imaginé la solution de modulation illustrée ci-contre.

La courbe rouge représente la réponse de la GMR à un champ magnétique de modulation sinusoïdal, représenté verticalement en bleu. La courbe de couleur mauve horizontale est le signal enregistré en sortie de la GMR. En l'absence de champ extérieur (en haut) la sortie est un signal de fréquence double de celle du signal de modulation.

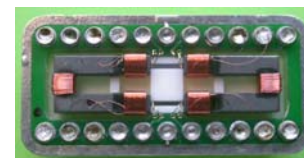
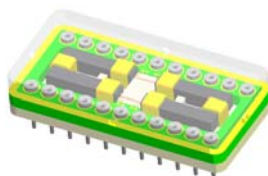
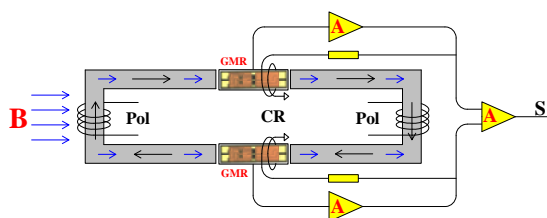
Quand on ajoute une composante DC (en bas), une alternance sur deux est décalée en amplitude, signe de l'apparition d'une raie spectrale à la fréquence de modulation. C'est cette raie qui sera exploitée par une détection synchrone pour la mesure du champ DC.



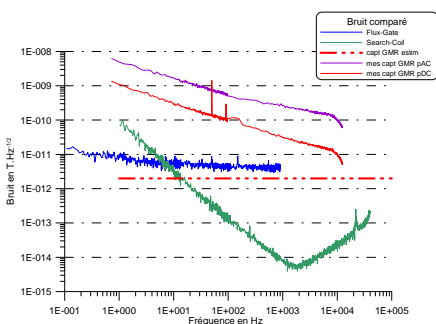
La structure d'une GMR (Giant Magneto-Resistance) est un mille-feuille de couches de matériau ferromagnétique (B) séparées par une couche conductrice (A). Si la couche conductrice est suffisamment fine (quelques nanomètres), il se produit spontanément un couplage magnétique entre les couches magnétiques de telle sorte qu'elles ont des directions d'aimantation opposées. La résistance du circuit est alors élevée ( $H=0$  sur la courbe de droite). Si un champ extérieur (D) est appliqué transversalement aux aimantations, celles-ci ont tendance à s'aligner parallèlement au champ et la résistance du circuit est alors plus basse ( $H>0$ ). Le courant (C) circule dans le plan des couches (current-in-plane).



La mobilité des électrons dans un matériau aimanté dépend de la direction relative de leur spin et de l'aimantation du matériau. Comme statistiquement les populations de chaque spin sont en nombre égal on peut représenter l'effet GMR par deux circuits résistants parallèles. Quand les aimantations sont opposées, chaque population rencontre alternativement une couche de faible et de forte résistance, donc les deux branches offrent une résistance égale. Dans le cas contraire, l'une des populations ne rencontre que des couches de faible résistance tandis que l'autre ne rencontre que des couches de forte résistance. Ce dernier cas offre une résistance globale plus faible.



Le capteur magnétique final se compose d'un circuit magnétique allongé dans la direction du champ à mesurer (B) et fermé sur deux entrefers dans lesquels sont placés les éléments sensibles à GMR. Les bobines Pol créent un champ de polarisation alternatif qui circule en boucle dans le circuit et les bobines CR constituent la contre-réaction qui linéarise le système. En l'absence de champ B les signaux issus des GMR provoqués par la polarisation alternative s'annulent, mais en présence de B chaque alternance est amplifiée dans l'une des deux branches tandis qu'elle est atténuée dans l'autre, de manière qu'il ne subsiste que le signal de même fréquence que le signal d'excitation. Le capteur, représenté sur la photo a été fabriqué par la société Statice par des techniques de microbobinage. Il mesure 30mm x 15mm x 6mm (L.l.h) et pèse 12g; le circuit magnétique a une section de 2mm x 2mm et les bobines comptent 320 spires de fil de 32u. Cette étude a été financée par le CNES dans le cadre d'une R&T.



La figure ci-contre représente les courbes de bruit obtenues sur le capteur en comparaison avec celles caractérisant les search-coil et les flux-gate. La ligne horizontale en pointillés représente le niveau de bruit attendu avec la modulation des GMR. On voit que, malheureusement, non seulement la modulation n'élimine pas le bruit en 1/f, mais elle l'augmente d'environ un ordre de grandeur. Ce bruit est produit par le balayage du cycle d'hystérésis du matériau ferromagnétique et est inhérent à la technologie des GMR, car la forme en serpentin de la magnéto-résistance favorise la formation de multiples domaines.

Les travaux actuels s'orientent vers la fabrication du capteur complet par des méthodes de photo lithographie sur silicium et le remplacement des GMR par des jonctions tunnel. Un prototype est en cours de fabrication dans la centrale technologique de Grenoble en collaboration avec le laboratoire Spintec, spécialisé dans l'étude des jonctions tunnel. Les jonctions présentent plusieurs avantages sur les GMR, parmi lesquels une plus faible induction de saturation et un meilleur taux de magnéto-résistance (donc une plus grande sensibilité), ainsi qu'une structure current-perpendicular-to-plane qui permet une fabrication quasi mono-domaine de la jonction. Ci-dessous, le tableau compare les designs avec GMR et avec JTM et les deux dessins représentent la jonction tunnel et le capteur complet, incluant le circuit magnétique et les bobines. Les dimensions du capteur sont 10mm x 2mm (L.l).

paramètre	GMR	JTM
Saturation	400G	20G
TMR	12%	160%
Entrefer	3300um	5um
Gain mag	3,5	800

