

Communication subaquatique par induction

Le but est de permettre une communication sans fil, à très courte distance, dans l'eau de mer, l'eau douce, l'air, ou une combinaison des deux.

Le principe testé est l'induction d'un champ magnétique entre une bobine émettrice et une réceptrice. Une bobine émettrice rayonne un champ magnétique alternatif

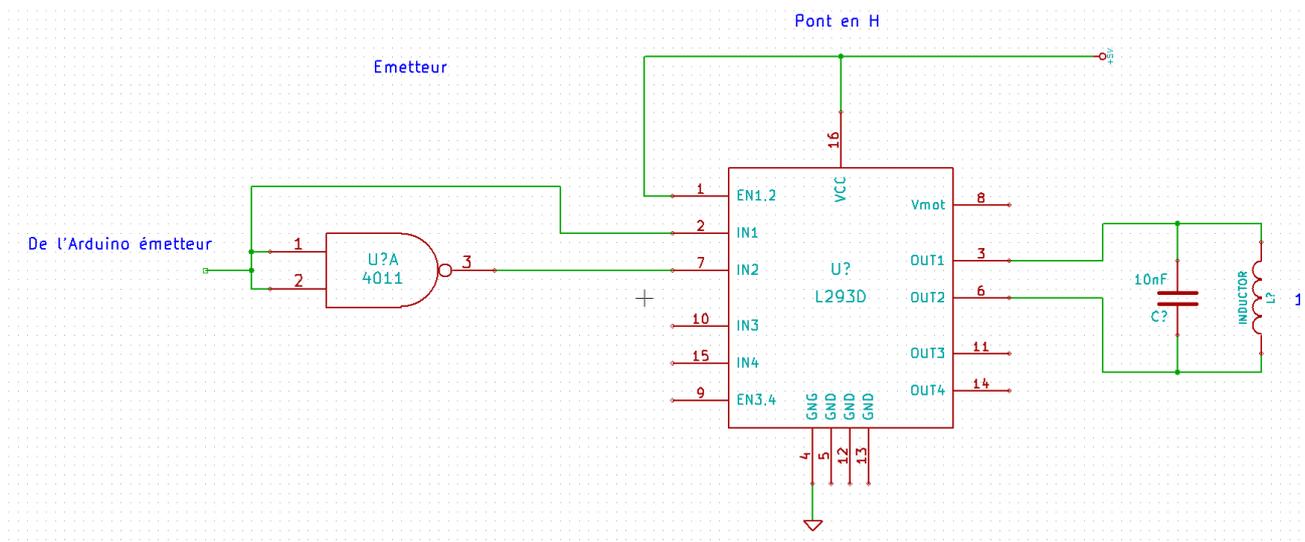
Une bobine réceptrice est montée en parallèle d'un condensateur pour former un circuit accordé à la fréquence de l'émetteur.

Le signal de emis est modulé en amplitude tout ou rien par le train de signaux digitaux à transmettre.

Au niveau du récepteur le signal est démodulé pour récupérer le train digital émis.

Emetteur

L'emetteur est constitué d'un pont en H dont les deux branches sont déphasées par une porte NON.



L'émetteur n'est pas vraiment « étudié » : c'est à base des circuits qui étaient dans mes tiroirs.

La porteuse est fournie par un broche d'un Arduino en utilisant la fonction tone(). Pour le test on génère des créneaux de 1 ms de durée à 52800 Hz.

La fréquence de la porteuse est choisie pour être en résonance avec la fréquence propre mesurée au géné BF de l'ensemble bobine / capacité du récepteur.

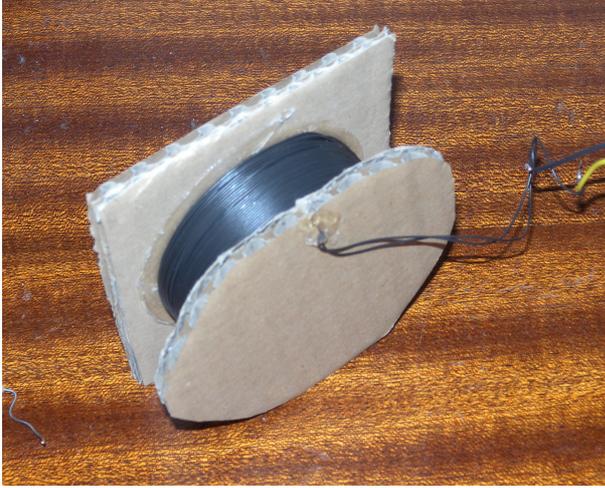
```
Code
void setup() {
}
void loop() {
  delay(1);
  tone(9, 52800);
  delay(1);
  noTone(9);
}
```

Bobine / antenne

Les bobines émettrices et réceptrices sont identiques :

120 tours de fil à wrapper sur un noyau de carton (bobine à air) de 50 mm en 4 couches sur 20 mm de long.

50 mm → rouleau de sopalin.



Formules théoriques d'inductance de la bobine :

d'après → <http://www.rennes.supelec.fr/ren/fi/elec/docs/bobine.html>

$$L(uH) = \frac{31,6 a^2 N^2}{6a + 9b + 10c}$$

où :

a → diamètre moyen de la bobine (exprimé en m)

b → longueur de la bobine (exprimé en m)

c → épaisseur du bobinage (exprimé en m)

N → nombre de spires de la bobine

a = 50 mm

b = 20 mm

c = 2 mm

$$L(uH) = \frac{31,6 (50 \cdot 10^{-3})^2 \times 120^2}{(6 \times 50 + 9 \times 20 + 10 \times 2) \cdot 10^{-3}} = 2270 uH$$

La bobine est couplée à une capa de 10 nF ce qui donne une fréquence de résonance théorique de

$$F(Hz) = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times \pi \sqrt{2,27 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^{-9}}} = 33,4 KHz$$

En pratique j'ai trouvé une résonance à 52800 Hz.

Récepteur

Le récepteur est constitué de :

- circuit résonant bobine/capa
- préamplificateur à deux transistor NPN
- amplificateur LM386
- Démodulateur
- Trigger de shmidt

Les composants sont ceux de mes tiroirs.

Les plans sont issus de différents site web. Aucune analyse sérieuse des gains, filtrage, contre réaction et autres n'a été faite. J'ai bidouillé les valeurs pour que ça marche, étage par étage.

Amplification

le préampli est celui d'une radio AM ultra basique

(<http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/rf/amrec.html>).

Une capa de 100 pf coupe la composante continue en sortie du préampli pour attaquer un ampli audio LM 386.

Sur le plan l'ampli est monté avec un gain fixe de 20. Il y a sûrement matière à tester avec un gain plus grand pour augmenter la portée.

A la sortie de l'ampli de signal on récupère la porteuse modulée par le train émis.

Démodulation

La démodulation se fait par détection d'enveloppe.

On détecte l'enveloppe haute du signal grace à la diode D2 et au couple C5, R7

On détecte l'enveloppe basse du signal grace à la diode D1 et au couple C4, R6

Les deux voies passent par deux ampli suiveurs (LM324 U4A et U4B) pour attaquer un soustracteur (U4C) afin de récupérer en sortie toute l'amplitude dec la porteuse sans composante continue. Les résistances R8,R9,R10,R11 augmentent le gain du soustracteur de $R11/R8 = 3,3$.

Un trigger de shmidt (U4D) termine la mise en forme du signal digital récupéré.

Essais :

Tout a été monté sur plaque d'expérimentation.



Illustration 1: Montage de test



Illustration 2: Récepteur

La fonction `tone()` de l'Arduino est faite pour des notes audibles, mais elle engendre très bien la porteuse et elle peut surement monter plus haut.

L'émetteur est alimenté par le 5V de l'arduino via le bus USB de l'ordi.

Le récepteur est alimenté par une pile de 9V fatiguée (8,3 V).

La distance entre les bobines était de 70 cm pour les mesures .

J'ai mis les mesures au scope aux points A, B et C du récepteur.

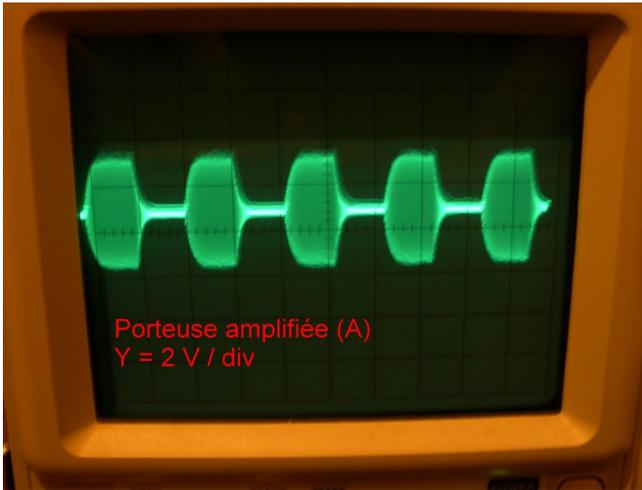


Illustration 3: Mesure en A (porteuse amplifiée)

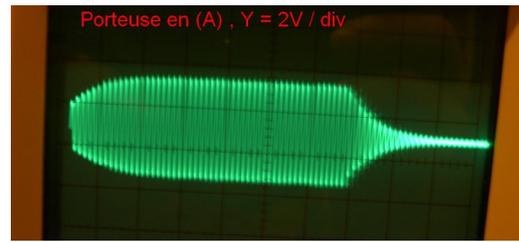


Illustration 4: Détail porteuse amplifiée

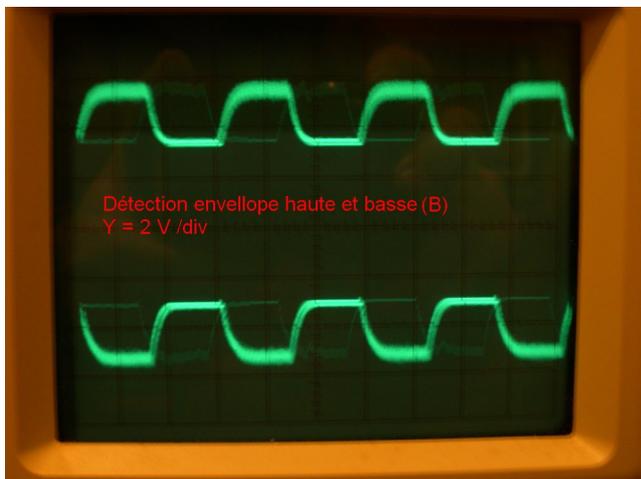


Illustration 5: Mesure en B, après détection des enveloppes haute et basse.



Illustration 6: Sortie numérique, après mise en forme par le trigger de Shmidt.

Conclusion

On récupère très bien le signal en sortie du récepteur.

C'est même surprenant de trouver une telle qualité et des signaux aussi conforme à la théorie dans tous le récepteur vu la réalisation sommaire et le manque d'optimisation du système.

Il n'y a guère que la fréquence de résonance constatée qui est très différente de ce qu'on peut attendre d'après la théorie.

La transmission se fait bien jusqu'à 70 cm quand les deux bobines sont a plat sur la table (axes parallèles, entraxe de 70 cm).

Quand les bobines sont colinéaires on transmet jusqu'à 90 cm.(comme sur la photo de l'ensemble).

Quand les deux bobines sont perpendiculaires, la transmission stoppe.

Ce sont bien les résultats qui sont prévisibles d'après les lignes de flux magnétiques.

La faible portée est prévisible et c'est même un avantage en limitant les interférences entre appareils : la théorie prévoie que la puissance transmise décroît en $\frac{1}{R^3}$ (inverse du cube de la distance) .

<http://ebookbrowse.com/near-field-wireless-magnetic-link-for-an-ingestible-cattle-health-monitoring-pill-pdf-d40391830>

Ce système me semble très prometteur et le développement me semble à ma portée.

A faire :

- Interfacer le receptrer sur un Arduino et a tester la transmission de données numériques. La bib « Virtual Wire » (<http://www.open.com.au/mikem/arduino/VirtualWire/>)

est censée permettre ça. Elle est prévue pour transmettre en Hertzien sur des petits modules HF (433 Mhz ou autres)

- Tester la transmission avec un gain plus grand au récepteur : l'ampli LM 386 est monté basiquement pour un gain de 20 mais on peut lui faire donner un gain de 200.
- Faire des courbes de puissances transmises en fonction de la distance et du gain, chercher la limite de transmission.
- Augmenter la vitesse de transmission et chercher la limite
- Optimiser les bobines antennes : on peut miniaturiser les bobines en mettant un noyau de ferrite.
- Optimiser l'émetteur : tous mes efforts ont porté sur le récepteur. L'émetteur marche, mais je ne sais pas pourquoi. En particulier il est souhaitable de se demander, ce qui limite le courant dans la bobine et ce qui empêche donc l'alim de l'arduino de cramer...
- Trouver une méthode pour faire cohabiter plusieurs liaisons de ce type sans qu'elles n'interfèrent.