

Études et Réalisations S4:

Mesure de Champs RF

Sommaire:

I - Introduction.

A - La mesure de champs RF.

B - Le phénomène physique.

C - Nos idées de cas d'usage.

II - Point de Départ.

A - Explications.

B - Circuit.

III - Création du Circuit.

A - Reproduction de l'ancien circuit.

B - Troubleshooting.

C - Mises à jour.

IV - Production d'un circuit imprimé.

A - Deux circuits réalisés.

B - Principales difficultés.

V - Expériences personnelles.

VI - Conclusion.

I - Introduction

A - La mesure de champs RF

Le projet de détecteur de champ RF a pour but de détecter des mouvements effectués par des personnes ou des objets. Les mouvements sont détectés en mesurant perturbations ondulatoires dans le champ électromagnétique ambiant, qui sont produites par mouvement.

Il existe déjà des détecteurs de mouvements dans le commerce qui sont accessibles à tout le monde grâce à leur prix relativement bas. Cependant, ils fonctionnent généralement avec un émetteur et un récepteur infrarouge. Ce type de dispositif a certains avantages par rapport à notre détecteur, mais est incapable de certaines choses que le notre permet, et n'est pas aussi intéressant!

Un détecteur classique émet un signal infrarouge en continu avec un émetteur. Le signal est réfléchi sur les objets qu'il rencontre, et le récepteur détecte le retour de ce signal. Or ce système ne nécessite pas de champs EM ambiant, car c'est le dispositif qui émet ses propres ondes infrarouges.

Un détecteur de champ RF fonctionne autrement: il détecte des ondes électromagnétiques grâce à une antenne. Un circuit va amplifier et filtrer le signal reçu, c'est celui-ci que nous allons étudier. Lorsqu'il est perturbé, il suffit d'analyser cette perturbation pour connaître le type de mouvement qui a été effectué. Le gros avantage par rapport aux détecteurs infrarouges, c'est que l'on peut détecter les mouvements d'une personne à travers une surface! En effet, les ondes détectées par l'antenne (ondes wifi, 3G, etc) traversent les solides: cela permet donc de détecter une personne qui bouge derrière un mur par exemple, si le signal n'est pas trop faible.

B - Le phénomène physique

Nous pensons que la possibilité de mesurer des perturbations dans ce champs EM ambient soit due à l'effet Doppler: Notre corps réfléchit très légèrement les ondes EM, or quand nous nous déplaçons par rapport à la source, la fréquence du signal réfléchi varie. Cette variation correspond à la "perturbation" dont nous parlions dans le paragraphe précédent.

Pour vérifier cette hypothèse: Selon les formules décrivant l'effet Doppler, nous pouvons mesurer la variation de fréquence du signal, si celle-ci correspond à la fréquence de coupure du filtre, il est probable que tel soit le phénomène à l'origine de ces observations.

$$Df = c/(c + v)$$

(Df: La variation de la fréquence | c: Vitesse du signal | v: Vitesse du déplacement de l'obstacle)

En prenant $c = 300000000\text{m/s}$ et $v = 10\text{m/s}$ on trouve une différence de fréquence de 0,00001% par rapport à la fréquence du champs ambient. Si on suppose celui-ci à 2,45Ghz (Wifi) cela donne un différence de 8,16Hz.

Sachant que nous utilisons un filtre passe haut avec une fréquence de coupure de 10Hz, et que le signal observé comporte des mouvements d'une fréquence du même ordre de grandeur. Il est raisonnable de penser que cette hypothèse est vérifiée.

C - Les cas d'usage prévus

Nous avons plusieurs idées sur le fonctionnement que nous voulions donner à notre projet :

- Un simple détecteur de mouvements utilisé à l'intérieur (dans un hall d'entrée de maison par exemple), qui déclenche une alarme si quelqu'un passe devant.
- Un mode de surveillance d'enfant en bas âge : avertit d'un mouvement uniquement si c'est en dehors de la zone prédéfinie (permet de savoir si les bébés ne sortent pas de leur lit, etc).

Des objectifs aussi plus ambitieux :

- Surveillance d'une densité de passage pour le COVID par exemple (estimation du nombre de personnes dans un couloir de centre commercial et avertissement si ce nombre dépasse un certain seuil).
- Utiliser comme une télécommande : Détecter le type de gestes effectués devant l'antenne et l'assigner à des actions telles que mettre pause, changer de musique, augmenter le volume, etc.
- Et comme objectif final, c'était de pouvoir fusionner avec le projet de la plinthe connectée pour faire un détecteur de présence commun.

Cependant, tout ne s'est pas passé comme prévu, et nos objectifs ont dus être redéfinis plusieurs fois.

II - Point de Départ

A - Explications

Pour débiter le projet, nous avons à disposition le compte rendu de ce même projet effectué en 2017 par un autre groupe (*cf. WifiGesture_Cretin-Maitenaz_Feige_Murgier.pdf*).

Ce groupe avait à disposition un arduino, un capteur WIFI, etc. Les parties concernant ces éléments ne nous intéressaient pas. Or ils eurent des problèmes avec le capteur WIFI et furent obligés d'en créer un. C'est cette partie qui nous fut le plus utile (p.9 à p.15).

Dans cette partie du compte rendu nous avons pus comprendre le principe de fonctionnement de ce capteur que nous avons résumé en introduction (*cf.p3*).

B - Circuit



Figure 1

Comme nous pouvons le voir sur le schéma fonctionnel ci-dessus (*fig 1*), le circuit fait l'an dernier était composé de 3 "Étages" principaux:

- L'amplification: Pour augmenter l'amplitude du signal, et le rendre mesurable par un Arduino ou un oscilloscope. Elle est réalisée grâce à trois AOP montés en série: Les deux premiers avec un amplification de 34, le dernier avec une amplification variable de 0 à 34 grâce à un potentiomètre.

- Le filtrage: Pour éliminer les différentes hautes fréquences détectées (La porteuse WIFI est déjà éliminée par les AOP de par leur bande passante). Il est réalisé grâce à un filtre passe bas du second ordre, avec une fréquence de coupure de 5Hz.

- L'adaptation en un signal allant de 0 à 5V: Pour que ce signal puisse être analysé par le CAN d'un Arduino. Il est réalisé grâce à une structure comprenant une diodes Schottky un éventuel signal à -12V et une diode Zener de tension inverse de 5,1V pour limiter le signal à 5V.

Ce circuit complet nous était fournis sous forme d'une carte électronique, or lorsque nous l'avons testé il ne fonctionnait pas correctement (reaction au toucher de l'antenne uniquement, amplitude extrêmement basse, ...). C'est alors qu'avec notre professeur, nous avons décidé de commencer par créer une carte ayant des fonctionnalités similaires mais avec un fonctionnement plus fiable et stable.

III - Création du circuit

A - Reproduction de l'ancien circuit

La première étape fut donc de nous baser sur le circuit fait par le groupe précédent pour pouvoir tester des améliorations et/ou détecter d'éventuels problèmes.

Nous avons alors pas besoin d'adapter le signal en 0-5V, nous nous sommes donc limités à mettre en œuvre l'amplification et le filtrage uniquement.

Ce travail fut effectué lors de la deuxième séance. Et le circuit s'est avéré facile à réaliser et fonctionnait relativement bien. Nous pouvions alors voir clairement une détection de nos mouvements sur l'oscilloscope (*fig 2*). Or nous détectons constamment une composante à 50Hz plus ou moins forte en fonction d'où nous faisons la mesure (de 30mV à 100mV).

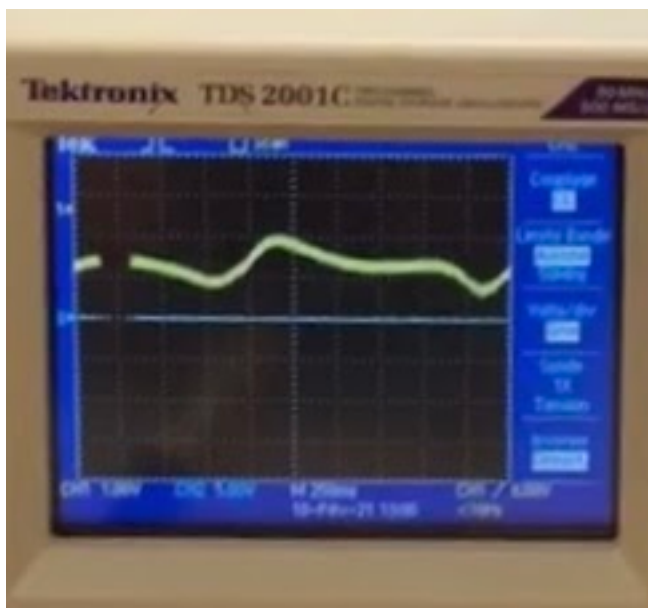


Figure 2

B - Troubleshooting

Malheureusement, dès la séance suivante nous avons constaté que le circuit ne fonctionnait plus. Nous avons alors passé beaucoup de temps à tester tous les composants à chaque "étage" du circuit. En remplaçant le signal de l'antenne par un signal produit par un GBF, et en visualisant à l'oscilloscope les signaux en sortie de chaque amplificateur et du filtre.

Nous avons alors détecté un premier problème:

Les AOP polluaient le signal avec une composante continue, celle-ci était alors amplifiée jusqu'à saturation. Nous avons donc en sortie des AOPs un signal de forme carrée correspondant à chaque passage entre la saturation à $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$. Jusqu'au filtrage à partir duquel nous visualisons les composantes sinusoïdales de basse fréquence du signal carré.

Nous avons donc résolu ce problème en reliant chaque AOP avec des condensateurs qui permettaient de filtrer la composante continue. (Entourés en bleu dans le schéma en annexe "schéma_1.png").

Ainsi nous pouvions voir en sortie de chaque AOP, le signal généré par le GBF de plus en plus amplifié, et correctement filtré en sortie du passe bas.

Or, aucun signal n'apparaissait lorsque nous mettions le signal de l'antenne en entrée du circuit. Mais nous avons constaté que lorsque nous touchions avec nos doigts une partie du circuit précédant l'amplification, la détection se faisait correctement.

En fait, notre corps fonctionnait comme une antenne. Nous avons donc testé les composants qui formaient l'antenne et avons constaté que la diode Schottky était défectueuse (Tension de seuil inverse et directe nulle). Nous pensons que lors du rangement du circuit la semaine précédente, les condensateurs du filtre étant encore chargés sont rentrés en contact avec la diode, en l'endommageant.

Suite au remplacement de celle-ci, le circuit fonctionnait parfaitement.

Nous pouvions alors détecter à l'oscilloscope des signaux assimilables à des périodes de Sinus, d'environ 10Hz, d'amplitude d'environ 10V crête-à-crête. Avec un signal au repos centré à 0V. Le système était sensible à des mouvements assez discrets dans un rayon d'environ 4 mètres.

De plus, en fonction du mouvement que l'on faisait (Marcher devant l'antenne, taper du pied, ouvrir/fermer sa main, s'asseoir...) le signal était sensiblement différent mais restait relativement le même pour chaque mouvement identique. Il était donc possible de deviner quel mouvement était fait en se basant uniquement sur l'oscillogramme.

Sachant cela, de nombreuses applications s'offrent à nous, comme une télécommande, un contrôleur..

C - Mises à jour

Nous avons donc un circuit de traitement du signal qui satisfaisait nos attentes et celles de notre professeur.

Or nous pouvions l'utiliser uniquement en alimentant le tout grâce à un générateur de tension $+12,0, -12V$ et en visualisant le signal sur un oscilloscope. Cela limitait grandement notre possibilité d'expérimenter. Notamment, car nous voulions tester le circuit dans un milieu éloigné de sources d'ondes WIFI. Il fallait donc pour cela une alimentation sur pile, pour pouvoir se déplacer et visualiser le signal sur un oscilloscope sur PC. Et si possible, pouvoir identifier le signal sans oscilloscope et avec une interface simple intégrée directement sur le circuit.

Enfin, nous aurions voulu si le temps nous le permettait, reconstruire l'étage d'adaptation $0-5V$ du circuit de l'an dernier, pour pouvoir utiliser un Arduino pour analyser le signal et éventuellement reconnaître les formes récurrentes de celui-ci et donc reconnaître les gestes effectués et agir en fonction de ces derniers.

Alimentation sur pile

Il nous fallait une alimentation symétrique pour pouvoir alimenter les amplificateurs opérationnels. Or nous voulions alimenter le système sur une batterie 9V. Nous devons donc créer une masse virtuelle STABLE au fur et à mesure de l'usure de la batterie.

.....

Pour cela nous avons utilisé un pont diviseur stabilisé sur suiveur (*fig 3*).

Le montage est le suivant. L'alimentation utilisée lors des mesures n'est pas la pile 9V régulée mais un générateur de tension. Il utilise les deux bornes de la pile comme -Vcc pour le 0V et +Vcc pour le 9V.

Ces tensions sont alors récupérées en sortie du suiveur et aux bornes mêmes de la pile. Entre ces dernières sont placés des condensateurs destinés à filtrer d'éventuelles fluctuations des tensions.

Mesures réelles avec des résistances avec tolérance de 5% :

PIN1 : 9V

PIN2 : 4,48V - 4,53V

PIN3 : 0V

Figure 3

La précision de la Masse virtuelle devrait être améliorée par l'utilisation des résistances plus précises (Tolérance de 1%).

Nous avons constaté que lors du fonctionnement sur pile, l'amplitude du signal était réduite, en passant de 10Vc-c à 4Vc-c.

Interface intégrée au circuit:

Pour avoir un projet complètement autonome et que l'on puisse utiliser sans qu'il soit branché à aucun appareil, il fallait que l'on puisse remplacer l'oscilloscope par autre chose qui puisse nous indiquer s'il y a du mouvement.

Nous avons eu comme idée de rajouter deux LEDs sur le signal de sortie. Elles seraient en parallèle, mais l'une s'allumera lorsque la tension est positive et l'autre lorsque la tension est négative. Pour faire cela, il suffit de les mettre en parallèle entre le signal de sortie et la masse mais chacune dans un sens opposé.

Comme elles peuvent s'allumer avec des intensités différentes, nous pouvons savoir si c'est un sinus avec une amplitude importante ou faible.

On a donc effectué cette amélioration qui était simple à mettre en œuvre, et cela fonctionnait très bien. Lorsque l'on faisait un gros mouvement devant l'antenne, les deux LEDs clignotaient avec une forte intensité, et si le mouvement était plus petit elles s'allumaient avec une intensité plus faible.

.....

Nous avons alors pu tester le circuit à l'extérieur et avons effectivement constaté une baisse de l'amplitude du signal au fur et à mesure que nous nous éloignons de sources d'ondes WIFI.

IV - Production d'un circuit imprimé

A - Deux circuits imprimés

Pendant tout le projet, nous avons réalisé deux circuits imprimés via Eagle. Le premier a été fait lorsque le circuit marchait sans la pile ni les LEDs, et le deuxième combine toutes les améliorations faites depuis le début (cf. Mises à jour p.11 à p.13).

Lors de l'établissement du diagramme de gantt, nous avons prévu de faire 4 circuits : nous voulions faire le circuit final avec de meilleurs composants pour améliorer la qualité du signal de sortie, puis refaire ce dernier mais tout en CMS afin d'avoir une board beaucoup plus petite. Cependant, nous n'avons pas eu le temps de commander de nouveaux composants, et encore moins de commander des CMS puis de les poser nous même.

B - Principales difficultés

Nous avons assez rapidement pris en main le logiciel Eagle et avons réussi à relativement bien dessiner les circuits (assez bien pour qu'ils marchent en tout cas). Or la partie qui s'est révélée être la plus compliquée à été le montage des composants sur le circuit. En effet, nous n'avons pas fait attention à prévoir un schéma indiquant les dimensions de chaque composants passif sur le circuit, il a donc fallu re-parcourir le circuit imprimé pour déterminer où placer quel composant.

Cela nous a menés à devoir dessouder certains composants à cause de certaines confusions, et cela nous à pris plus de temps que nous avons espéré pour monter un circuit fonctionnel.

Malheureusement, notre deuxième circuit qui rassemblait l'alimentation, le traitement du signal et l'interface n'a pas fonctionné à cause de plusieurs erreurs sur le dessin Eagle, et nous n'avons pas eu le temps d'y remédier..

v - Expériences personnelles

MANGANO Giovanni

Comme dans tous les projets fait avant celui-ci, j'ai beaucoup apprécié l'aspect autonome du projet. Notamment lors de ce dernier car nous avons une certaine liberté quand aux objectifs et cahier des charges du projet, en plus du choix du projet lui même.

Ce fut très intéressant de ne pas être guidé sur l'organisation du travail et la gestion du temps, mais de devoir déterminer par nous même un emploi du temps et des objectifs en fonctions de leur faisabilité justement basée sur cet emploi du temps (entre autre).

Ça a été plaisant de travailler avec un "phénomène" qui n'est pas encore exploité, en tout cas pas en dehors de prototypes ou de la recherche. C'est peut être un sujet d'étude que je pourrais traiter durant la suite de mes études, pour une thèse ou plus simplement un autre projet.

Malgré tout ça, j'aurais préféré avoir plus de temps et aussi m'être rendu compte plus tôt du temps restant. Pour pouvoir trouver une application plus ou moins concrète (Et intégrer un peu d'informatique dans le projet) pour ne pas me limiter à une démonstration technologique. Également cela m'aurait intéressé de travailler avec un sous-traitant pour produire des circuits imprimés en CMS à taille très réduite. Mais malheureusement nous n'étions pas assez avancés pour faire cela à temps.

BRUYANT Gaetan

J'ai beaucoup aimé travailler sur ce projet.

Nous cherchions un projet intéressant à réaliser, et nous ne l'avons pas sélectionné en fonction de nos compétences mais en fonction de celui qui nous intéressait le plus. Je n'étais pas particulièrement à l'aise en électronique, et je suis content d'avoir choisi ce projet car il m'a permis d'être plus à l'aise avec les principes de l'électricité par exemple.

De plus, le fait que ce type de détecteur n'existe pas encore de façon efficace dans le commerce m'a motivé car cela signifiait que nous allions faire quelque chose d'utile, même si cela rendait le projet plus compliqué car il n'existait pas de modèle ou d'aide sur internet.

Ce projet a été aussi très instructif, car il m'a permis de revoir des notions de Systèmes électroniques du semestre 1 et 2 (Amplificateurs et Filtres), mais aussi d'être plus à l'aise dans ce domaine.

VI - Conclusion

En conclusion, ce projet à été très formateur pour nous deux. Que ce soit dans l'acquisition de nouvelles compétences comme le dessin de circuits imprimés (notamment en CMS) et la gestion d'un projet en autonomie. Mais également dans le renforcement des acquis (AOPs, Filtrages, traitement du signal, retour d'expérience...).

Malgré l'échec dans la production d'une carte complète (Alimentation, traitement du signal et interface), nous sommes tout de même satisfait d'avoir réussi à développer chacun de ces éléments pour former un système fonctionnel et autonome (mais en plusieurs pièces). En effet, il aurait suffi d'un peu plus de temps pour refaire la dernière carte défectueuse pour réaliser un prototype complet.

Ce serait intéressant pour nous deux de poursuivre ce projet, notamment pour y intégrer un analyse informatique, pour pouvoir atteindre nos objectifs initiaux, qui ouvriraient la porte à de très nombreuses applications.

Du point de vue du sujet, il reste une curiosité quand à l'origine réelle de ce phénomène. En effet notre hypothèse n'est pas été testée plus que nous l'avons expliqué, et cela est insuffisant pour avoir une quelconque certitude par rapport à cela.

Giovanni Mangano
Gaetan BRUYANT

Résumé:

Il est possible de détecter les mouvements d'objet ou de personnes grâce aux perturbations que ceux derniers causent sur le champs électromagnétique ambiant. Notre projet vise à exploiter ce phénomène pour ensuite l'utiliser dans de nombreuses applications. Nous décrivons dans ce compte rendu, le cheminement qui nous a menés vers l'obtention d'un système autonome permettant de détecter des mouvements grâce à ce même effet.

Mot Clefs: Champs RF, EMF, Détection de mouvements, Reconnaissance de gestes.

Abstract:

It is possible to detect object's or people's movements through the perturbations they cause in the ambient electromagnetic field. Our projects aims to use this phenomena in order to use it in lots of different uses. We describe in this report, the flowpath that lead us to the development of an autonomous system allowing us to detect movements thanks to this effect.

KeyWords: EMF, movement detection, Gesture Recognition.