

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux électrique

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Réalisation d'un détecteur de métaux

Présenté par :
- Hemza MEDJGHOU
Soutenu le : 02 Juin 2016

Devant le jury composé de :

Mme. BOUMARAF Rabia
Mr. MIMOUNE Sourî-Mohamed
Mr. KHENE Mohamed Lotfi

MCB
Pr
MCB

Président.
Encadreur.
Examineur.

Année universitaire : 2015 / 2016

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux électrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Réalisation d'un détecteur de métaux

Présenté par :

MEDJGHOU Hemza

Avis favorable de l'encadreur :

Pr.MIMOUNE Sour-Mohamed

Avis favorable du Président du Jury

MCB. BOUMARAF Rabia

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux électrique

Thème :

Réalisation d'un détecteur de métaux

Proposé par : Pr.MIMOUNE Sour-Mohamed

Dirigé par : Pr.MIMOUNE Sour-Mohamed

Résumé

L'objectif visé par ce travail est la réalisation d'un détecteur des métaux par variation de l'induction magnétique. Afin de mener à bien cette réalisation, nous avons étudié et puis réalisé les différents blocs et circuits constituant le circuit multivibrateur stable, amplificateur, système résonnant. Les résultats sont très encourageants et méritent continuation et amélioration.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو إنجاز كاشف معادن بواسطة تغيير الحقل المغناطيسي المولد من وشيعة, للقيام بهذا الإنجاز قمنا بدراسة معمقة وتم إنجاز كل الدارات الإلكترونية التي تسمح بإنجاز الكاشف كالنابض والمضخم والرنين. النتائج جد محفزة وتحتاج إلى تطوير.

Dédicace

***A nos parents.
A nos familles.***

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, qui nous a donné la force et le courage de poursuivre nos études.

Nous remercions vivement notre encadreur Pr.MIMOUNE Souri-Mohamed pour son aide durant la réalisation de ce travail à travers ses remarques constructives et aussi pour nous avoir encadré dans un travail qui été totalement nouveau pour nous.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements aux membres du jury pour avoir accepté de nous prêter leur attention en évaluant notre travail.

Que tous les enseignants et les enseignantes de l'université Mohamed Khider de Biskra et qui ont assuré notre formation, trouvent ici l'expression de notre gratitude.

A tous les étudiants du département de Génie Electrique

Que tous ceux, qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, et que nous n'avons pas pu citer nommément, trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

.....A vous tous, merci.

Sommaire

sommaire

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I Généralité sur les systèmes de détecteur des métaux

I.1. Introduction.....	4
I.2. Historique.....	4
I.3. Fonctionnement.....	5
I.3.1. Principe.....	5
I.3.2. Discrimination.....	6
I.3.3. Principes physiques.....	6
I.4. Types.....	7
I.4.1. Battement de fréquence.....	7
I.4.2. Très basse fréquence.....	7
I.4.3. Induction pulsée.....	8
I.4.4. Radar à pénétration de sol.....	9
I.4.5. Effets de sol (<i>ground</i>).....	9
I.4.6. Tableau de bord.....	11
I.5. Utilisation.....	12
I.5.1. Déminage.....	12
I.5.2. Archéologie.....	13
I.5.2.1. Espagne.....	13
I.5.2.2. France.....	14
I.5.2.3. Grande-Bretagne.....	15
I.5.2.3. Risques.....	16
I.5.3. Détection sécuritaire.....	17
I.6. Conclusion.....	18

Chapitre II Modules électroniques utilisés pour la réalisation du détecteur

II.1. Introduction.....	19
II.2. Multivibrateur.....	19
II.2.1. Types de multivibrateurs.....	19
II.2.1.1. Le multivibrateur astable.....	19
II.2.1.2. Le multivibrateur monostable.....	21
II.2.1.3. Le multivibrateur bistable.....	22
II. 3. Bobine.....	23
II. 3.1. Utilisations.....	23
II. 3.2. Modèles de la bobine réelle.....	26
II. 3.2.1 Modèles à deux dipôles.....	26
II. 3.2.2. Modèles à trois dipôles.....	27
II. 3.3. Relation entre la tension et l'intensité.....	27
II. 3.4. Comportement d'une bobine soumise à un échelon de tension.....	27
II. 3.5. Comportement en régime sinusoïdal.....	28
II. 3.6. Formules usuelles pour le calcul théorique de bobines.....	29
II. 4. CIRCUITS RLC.....	29
II.4.1. Circuit RLC en série.....	30
II. 5. Techniques d'induction.....	31
II. 5.1. Battement de fréquences.....	32
Conclusion.....	33

Chapitre III Réalisation pratique et résultats

III.1. Introduction.....	35
III.2. Le détecteur d'induction.....	35
III.3. Schéma électrique.....	35
III.4. Multivibrateur astable.....	36
III.5. Amplificateurs de puissance.....	38
III.5. La bobine d'émission.....	39



III.6. Circuit résonnant RLC.....	40
III.7. Circuit d'affichage lumineux.....	41
III. 8. Liste du matériel nécessaire.....	42
CONCLUSION GENERALE.....	43

Bibliographie

Sommaire



Liste des Tableaux

TAB.II : Formules usuelles pour le calcul théorique de bobines	29
--	----

Liste des Figures :

FIG. I.1 : Détecteur de métaux, surnommé « poêle à frire » en raison de sa forme ; celui-ci est fabriqué par Foerster Instruments.	04
FIG. I.2 : Détecteur de métaux utilisé pour trouver les bombes inexplosées en France après la Première Guerre mondiale (1919)	05
FIG. I.3: Démineur de la compagnie de génie de la 13e demi-brigade de Légion étrangère à Djibouti en 2005 en exercice, équipé d'un détecteur de métaux.	12
FIG. I.4 : En France, l'usage de détecteurs à des fins de recherches archéologiques sans autorisation administrative est puni par la loi.	15
FIG. I.5 : Coupe de Ringlemere, découverte en 2001 par un amateur britannique à l'aide d'un détecteur de métal.	16
FIG. I.6 : Détecteur de métaux dans un aéroport.	17
FIG. II.1: Exemple de schéma de multivibrateur astable.	19
FIG. II.2 : Exemple de schéma de multivibrateur monostable.	22
FIG. II.3 : Exemple de schéma de multivibrateur bistable	23
FIG. II.4 : une bobine d'arrêt de 47 mH avec noyau en ferrite.	24
FIG. II.5 : Bobine à air	25
FIG. II.6 : Circuit RLC en série	31
FIG. II.7 : Schéma de principe de la technique à battement de fréquences	32
FIG. III.1. Montage électronique du détecteur à réaliser III.1. Montage électronique du détecteur à réaliser	36
FIG.III.2. Montage électronique du multivibrateur astable	36
FIG.III.3. Multivibrateur astable sur plaque d'essai	37
FIG III .4. Signal en sortie du multivibrateur	38
FIG.III.5. Amplificateur.	38

FIG. Fig.III.6. Signal à la sortie de l'amplificateur.	39
FIG.III.7. Bobine d'émission	39
FIG.III.8. Circuit résonnant RLC	40
FIG. Fig.III.9. Signal à la sortie de la résistance	40
FIG.III.10. Circuit d'affichage lumineux	41
FIG Fig.III.11. Circuit du détecteur réalisé sur plaque d'essai.	41
FIG III.12. LED s'allume avec la présence d'un matériau ferromagnétique.	42

Introduction générale

Introduction Générale

Un détecteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle que une variation de propriété physique, d'une variation de tension électrique, d'une hauteur de mercure, d'une intensité ou la déviation d'une aiguille.

Le détecteur se distingue de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable. Par opposition, l'instrument de mesure est un appareil autonome se suffisant à lui-même, disposant d'un affichage ou d'un système de stockage des données.

Il ya plusieurs types de détecteurs et on va parler uniquement des détecteurs de métaux par champ magnétique. Le détecteur de métaux est un appareil permettant de localiser des objets métalliques en exploitant le phénomène physique de l'induction magnétique. Il est utilisé par exemple dans le domaine de la sécurité, dans les aéroports pour détecter des armes cachées sur les passagers d'un avion, dans le domaine militaire pour le déminage, dans les loisirs pour la recherche de divers objets enfouis et, marginalement, en archéologie pour la recherche d'objets anciens.

L'objectif visé par ce travail est la réalisation d'un détecteur des métaux par variation de l'induction magnétique afin de mener à bien cette réalisation, nous avons étudié et puis réalisé les différents blocs et circuit constituant (circuit multivibrateur astable, amplificateur, system résonnant).

Ce mémoire est constitué comme suit :

Le premier chapitre présente les fondements de détecteur des métaux. Après un historique sur les détecteurs de métaux, nous exposons leurs principe de fonctionnement, la discrimination, les principes physiques, les types de détecteurs.

Le deuxième chapitre expose les modules électroniques utilisés pour la réalisation du détecteur à savoir le multivibrateur, l'amplificateur, le circuit résonnant et le module d'affichage du signal de détection.

Le troisième chapitre présente tous les outils utilisés hardware et software pour le développement de carte réalisé pour cet objectif. Ce détecteur est une bonne initiative qui sera améliorés par la suite.

Chapitre I

I.1. Introduction:

Un détecteur de métaux est un appareil permettant de localiser des objets métalliques en exploitant le phénomène physique de l'induction magnétique. Il est utilisé par exemple dans le domaine de la sécurité, dans les aéroports pour détecter des armes cachées sur les passagers d'un avion, dans le domaine militaire pour le déminage, dans les loisirs pour la recherche de divers objets enfouis et, marginalement, en archéologie pour la recherche d'objets anciens. Afin de limiter les atteintes au patrimoine archéologique et historique, l'utilisation de détecteurs de métaux est réglementée dans différents pays dont la France [1], l'Espagne et la Belgique [2].



Fig(I.1): Détecteur de métaux, surnommé « poêle à frire » en raison de sa forme ; celui-ci est fabriqué par Foerster Instruments

I.2. Historique:

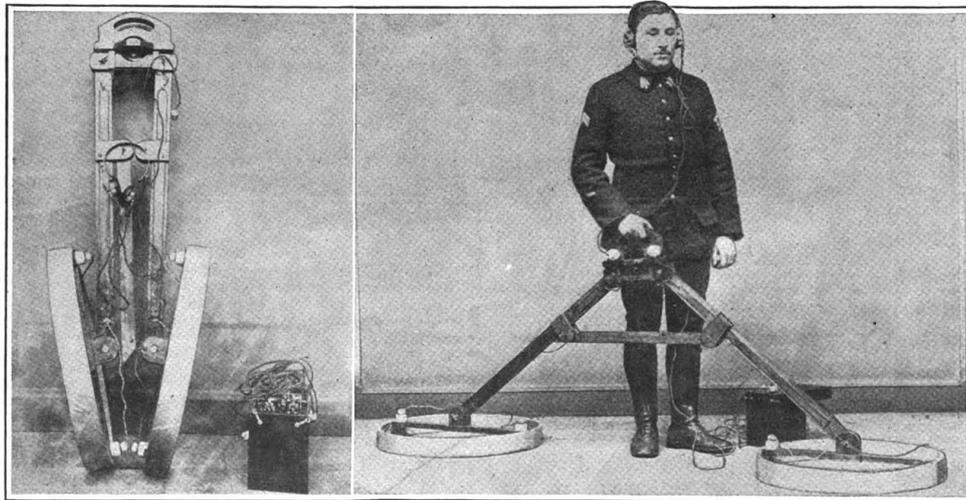
En 1881, le président des États-Unis James Garfield, fut victime d'un attentat. Aucun des 16 chirurgiens qui le traitèrent ne put localiser la balle qui était restée dans son corps. Alexander Graham Bell fut convoqué à son chevet et utilisa un détecteur de métaux primitif pour rechercher la balle, mais sans succès.

Durant la Première Guerre mondiale, des détecteurs de métaux sont utilisés par des chirurgiens pour localiser ou même extraire (avec un électro-aimant) des éléments métalliques ayant pénétré le corps (l'œil en particulier). En particulier un *révélateur de métaux à distance* était utilisé, sous forme d'un « *doigtier audioscopique* », basé sur le principe de la balance électrique de Hughes; un écouteur dit téléphone placé sur l'oreille du chirurgien lui signale au moyen d'un son plus ou moins fort si son doigt muni du doigtier s'approche ou s'éloigne de l'objet métallique à extraire. Selon H Guilleminot, une version

de grande taille de ce détecteur aurait même été testée pour retrouver dans le sol des munitions non explosées, avec "des résultats « *qui sont parait-il des plus encourageants* » précisait Guilleminot [3].

Gerhard Fisher est l'inventeur et le constructeur d'un des tout premiers détecteurs de métaux à large diffusion, le "Metallascope". Il connaîtra le succès après avoir fondé en 1931 l'entreprise Fisher Labs qui commercialisera son invention [4,5].

Józef Kosacki est l'inventeur durant l'hiver 1941-1942 d'un détecteur de métaux portatif, le détecteur de mine polonais. Il fut utilisé pour la première fois par l'armée britannique pour le déminage en Afrique du Nord.



Fig(I.2) : Détecteur de métaux utilisé pour trouver les bombes inexplosées en France après la Première Guerre mondiale (1919)

I.3. Fonctionnement:

I.3.1. Principe:

Un détecteur de métaux fonctionne en exploitant un phénomène physique bien connu : l'induction électromagnétique. Seuls les objets métalliques peuvent être le siège de courants induits (les courants de Foucault)

Un détecteur de métaux est composé de deux bobines :

- Une bobine émettrice est traversée par un courant électrique alternatif sinusoïdal d'une certaine fréquence.

- Une bobine réceptrice récupère le courant induit. Il se produit un décalage de phase qui est analysé par un processeur.

I.3.2. Discrimination :

Plus l'objet métallique est gros, plus il sera conducteur et plus le décalage de fréquence sera grand. De même certains métaux sont meilleurs conducteurs (l'argent notamment) et le décalage de fréquence sera d'autant plus grand. C'est en étudiant ce décalage de fréquence que l'objet détecté peut être « discriminé », c'est-à-dire réussir à distinguer et trouver la nature de ce métal. Mais dans la pratique, c'est un peu différent. En effet un détecteur de métaux cherche du métal mais aussi ses différents alliages. La conductivité électrique d'un alliage est différente d'un alliage à un autre et sa valeur peut être proche entre deux alliages de nature très différente.

Ainsi de l'or 18 carats, peut tout à fait être confondu avec du papier d'aluminium et si le papier d'aluminium est éliminé à l'aide du bouton discrimination, l'or est également éliminé. De l'or bas titre (14 carats) pourra même être visualisé sur le vu-mètre du détecteur comme du fer (ou pas loin).

En définitive, la discrimination n'est valable que pour les petits ferreux (petits morceaux de fil de fer barbelé ou petits clous) mais pas pour les grosses masses ferreuses (genre fer à cheval dont la forme en boucle se détecte facilement). Toutefois, il existe des détecteurs de métaux capables d'indiquer la présence d'une grosse masse ferreuse sans erreur. Le fer donne en effet un signal particulier facilement reconnaissable sur un oscilloscope. Du fait de la variété des alliages, la discrimination ne peut être considérée comme totalement fiable. Si tous les métaux étaient purs, discriminer ne serait pas un problème.

I.3.3. Principes physiques:

La détection d'un métal dans l'air par un appareil électronique se fait toujours selon le même principe physique : l'induction magnétique. Un conducteur électrique transportant du courant produit un champ magnétique dans l'espace qui l'entoure mais l'inverse est également vrai. Un champ magnétique variable produit un courant dans un conducteur.

À travers une bobine, la loi de Faraday explicite la force électromotrice produite par la variation du champ magnétique. La présence d'un objet métallique dans le champ magnétique induit par une bobine modifie la tension aux bornes de cette dernière ce qui est repéré en électronique par la modification de l'inductance de la bobine.

I.4. Types :

Les premiers détecteurs fonctionnaient selon le principe du battement de fréquence mais ils étaient peu performants. La technique des très basses fréquences donna une meilleure sensibilité, mais dans les années 1960, l'induction par impulsion fut mise au point et elle est actuellement encore la plus utilisée.

I.4.1 . Battement de fréquence:

Les détecteurs à battement de fréquence furent les premiers à apparaître car ils sont simples à mettre en œuvre mais ce sont également les moins sensibles. Le principe est le battement de fréquence. Il utilise, en fait, deux oscillateurs, l'un fixe, l'autre sensible aux modifications du champ magnétique. La modification du champ magnétique d'une bobine influe, comme nous l'avons vu, sur son inductance et donc, si un oscillateur est construit autour de cette dernière, celui-ci aura une fréquence qui réagit avec le champ magnétique et donc la présence de métal.

Pour l'utiliser, il suffit de comparer le signal issu de cet oscillateur avec un signal de référence ; ce dernier représente le signal du premier oscillateur qui ne serait pas modifié par la présence de métal. Le signal comparé peut servir à allumer une diode ou être relié à un amplificateur pour entendre via un haut-parleur la différence des fréquences si celle-ci est comprise entre 20Hz et 30kHz.

I.4.2 Très basse fréquence:

Les fréquences utilisées sont inférieures à 20kHz. Ce détecteur est composé de deux bobines, une émettrice et une réceptrice. La bobine émettrice traversée par un courant sinusoïdal génère autour d'elle un champ magnétique ; lorsqu'un objet métallique passe dans ce champ magnétique, des courants de Foucault apparaissent en son sein. Ces courants génèrent à leur tour un champ magnétique qui tend à compenser le champ magnétique créé par la bobine émettrice. La bobine réceptrice va réagir au champ

magnétique émis par l'objet métallique, un courant induit va la traverser. Ce courant traité par l'électronique permet de savoir s'il y a ou non un objet métallique.

Ce détecteur permet de discriminer les métaux et les ferromagnétiques. Le signal perçu par la bobine réceptrice est déphasé par rapport au signal émis. Le déphasage dépend des métaux et permet ainsi de les discriminer. Pour un prospecteur, le but est de se débarrasser avant tout des petits objets en fer. Discriminer l'aluminium fait courir le risque de manquer des cibles intéressantes en alliage tel que le billon, l'électrum, le potin (qui ont servi à travers les âges à fabriquer des monnaies) et même l'or [6].

La fréquence d'oscillateur sur laquelle le détecteur fonctionne conditionne sa qualité de réponse aux métaux précieux ainsi que sa résistance aux effets de sol. Ainsi plus sa fréquence est haute (au-dessus de 10kHz et très au-delà, vers 20kHz) plus il sera sensible aux ferrailles et perturbations du sol et moins bien il ressentira les métaux précieux. En dessous de 10kHz ou encore plus bas, les appareils deviennent insensibles aux effets de sol réducteurs de leur performances[7].

Les détecteurs de métaux très basse fréquence, appelés aussi VLF (very low frequency), peuvent être utilisés avec deux types de disques de détection : les disques concentriques et les disques wide scan (appelés aussi double D). La différence entre ces deux types de disques vient de l'agencement interne des bobines émettrices et réceptrices. Dans un disque concentrique, les deux bobines ne se chevauchent pas, alors que dans un disque wide scan elles se chevauchent sur une petite surface[8].

I.4.3. Induction pulsée:

Le détecteur à induction pulsée ne nécessite qu'une seule bobine. Ces détecteurs sont très performants dans la recherche en grande profondeur. Ils peuvent détecter jusqu'à 1,50 m sous le sol pour des objets réduits et jusqu'à environ 3,50 m pour de grosses masses métalliques. Une puissante impulsion de courant est envoyée dans la bobine. Chaque impulsion génère un champ magnétique très bref. Quand l'impulsion prend fin, la polarité du champ s'inverse et s'écroule soudainement ce qui provoque un pic de courant, l'impulsion de retour.

Celui-ci dure quelques microsecondes et cause un autre courant à travers la bobine. Le processus se répète. Si le détecteur est au-dessus d'un objet métallique, l'impulsion crée

un champ magnétique opposé dans l'objet. Quand l'impulsion s'arrête, le champ magnétique de l'objet augmente la durée de l'impulsion de retour. Un circuit test permet de contrôler la durée de l'impulsion de retour. En la comparant avec la longueur de départ, le circuit détermine si un autre champ magnétique a rallongé le temps de décroissance de l'impulsion de retour.

Ces détecteurs n'ont pas nécessairement la forme en plateau ovale des détecteurs classiques à basse fréquence. Il en existe sous forme de cadre de 1×1 m ou 2×2 m, à soulever des deux mains, ceux-ci ne détectant alors que les masses de la taille d'un poing, donc pas les petites pièces. Mais il existe de plus petits cadres, proche de la taille d'un plateau classique, qui eux détectent les pièces et autres petits objets, toujours en technologie d'induction pulsée. Ce type de détecteur se rencontre aussi sous la forme de deux petits cadres reliés par une barre se fixant sur un tableau de bord de détecteur classique. Leur performance en discrimination est beaucoup moins importante que ceux à basse fréquence. En revanche, ils sont beaucoup moins sensibles aux effets de sol. Les premiers modèles étaient statiques (se déplacer d'une zone de détection à une autre puis rester statique pour la détection), on^[Qui ?] en trouve à présent des semi-statiques où l'on^[Qui ?] peut se déplacer très lentement sur le terrain.

I.4.4. Radar à pénétration de sol:

Le radar à pénétration de sol, permettant également de détecter des métaux, se commercialise désormais en appareillage portatif pour la détection de loisirs, comme professionnelle. Le matériel reste toutefois très coûteux. Les profondeurs de détection peuvent atteindre 15 mètres. L'interprétation des résultats est très délicate et ces appareils ne doivent être utilisés que par des spécialistes.

I.4.5. Effets de sol (*ground*):

En détection, il existe sur les détecteurs milieu et haut de gamme un potentiomètre appelé "effet de sol" ou *ground*. Il existe également la mention "sensibilité" ou "*sensitivity*" en anglais. Celui-ci permet à l'utilisateur de régler manuellement le détecteur, en fonction de la minéralisation rencontrée sur différents sols composés d'une terre chargée en oxydes de minéraux, de façon à ce qu'il soit toujours calibré à un niveau de stabilité neutre. De cette manière, l'appareil n'est pas gêné par les faux signaux intempestifs que provoquent

ces oxydes. Il est bon de savoir que ce genre de terre est chargé de particules métalliques naturelles ; la charge est positive et donc dite « positive », contrairement à la plage qui elle est chargée en salinité. Le sel n'étant pas un métal, la charge sera donc négative. Donc l'utilité d'un tel réglage sur la plage en bord de mer n'aura aucun effet sur les faux signaux générés par le champ magnétique provoqué par la haute teneur en sel. Il ne servira donc à rien de posséder un tel réglage si ce n'est simplement à corriger les particules et oxydes métalliques contenus dans le sable.

Maintenant certains détecteurs possèdent en plus de ce réglage un interrupteur ou autre bouton appelé *beach* ou mode plage qui permet à l'appareil d'étendre la plage de réglage dans la charge négative de façon à pouvoir s'affranchir au mieux du champ magnétique créé par la salinité.

En conclusion, ces réglages manuels permettront d'obtenir la meilleure puissance de pénétration dans le sol. Par contre, il est parfois possible de trouver sur un même terrain différentes couches karstiques, donc obligatoirement un sol plus ou moins minéralisé. De ce fait, l'utilisateur devra en permanence recalibrer ses effets de sol en fonction de la nature du sol prospecté.

Sur certains détecteurs, le réglage d'effets de sol est calibré par le fabricant. Ce réglage est étalonné de façon assez haute pour que l'appareil soit stable sur les différents sols faiblement minéralisés : sans aucun doute un bon compromis mais au détriment de quelques centimètres de puissance de pénétration.

Ce réglage est sans doute le mieux qu'un détecteur puisse posséder, dans la mesure où c'est l'appareil qui effectue automatiquement le réglage grâce à un microprocesseur qui analyse et calibre en permanence au mieux les effets de sol en fonction de la nature du terrain présent. Bien sûr, si un tel système représente un réel avantage et confort d'utilisation pour le prospecteur, il se fait malgré tout au détriment du temps de réponse de la cible détectée, temps qui, en millisecondes, se révèle très important en détection.

I.4.6. Tableau de bord:

Sur le tableau de bord d'un détecteur peuvent être trouvés les éléments suivants afin de procéder aux réglages des paramètres de la détection :

1. Un VU-mètre ou galvanomètre à aiguille généralement gradué de 0 à 100 pour indiquer l'intensité du signal de l'objet détecté, analyser sa taille et tenter une hypothèse sur la nature de l'objet détecté. La firme Garrett Electronics a introduit sur le marché des VU-mètres analytiques digitaux à la fin des années 1990.
2. Un potentiomètre de discrimination pour définir la qualité des composants de l'objet (du clou en fer à l'or).
3. Une fonction de seuil ferreux/seuil sonore (*threshold* en anglais). Ce potentiomètre peut être comparé à une discrimination dont la plage ne couvre que les ferreux.
4. Un potentiomètre de tuner ou syntoniseur pour compenser l'effet de sol, pour s'adapter à la qualité du terrain (présence ou non de fer dans le sol ou de sel sur une plage, tous deux perturbant la détection).
5. Un potentiomètre de sensibilité pour définir jusqu'à quelle profondeur l'utilisateur souhaite prospecter.
6. Une fonction *pinpoint* (en français : pointe d'aiguille) d'affinement très précis de la localisation, cette fonction est visuelle et ne concerne que les détecteurs les plus modernes ; sinon elle doit se faire à l'oreille en distinguant les montées des baisses du signal sonore de la fréquence émise au-dessus de l'objet détecté. Il existe sur le marché des baguettes *pinpoint* braquées dans le trou creusé pour localiser l'épicentre exact de l'objet détecté. Il est aussi utilisé sur les mottes de terre enlevées du trou pour vérifier si l'objet n'a pas déjà émergé.
7. Un bouton d'enregistrement d'une fréquence de détection, l'appareil ne recherche alors plus que cette seule et unique fréquence de détection. Une deuxième pression sur le bouton permet à l'appareil de revenir en mode normal multi-détection. Ce même bouton permet le rééquilibrage des réglages de base après toute modification.
8. Un potentiomètre de volume pour définir le volume sonore en sortie de haut-parleur.
9. Une prise jack pour y brancher un casque d'écoute.
10. Un indicateur de batterie faible.
11. Un haut-parleur

12. Une canne rattachant le boîtier au disque ; elle doit être en matière indétectable afin de ne pas perturber la détection.

Sur les détecteurs les plus modernes, il n'y a plus de potentiomètre mais les réglages se font sur un menu visible sur écran à cristaux liquides et modifiable par pression sur des boutons. Le tableau de bord ne se situe pas nécessairement sur la canne du détecteur mais peut se porter à la ceinture, en *hipmount*.

I.5.Utilisation:

I.5.1.Déminage:

Le déminage militaire a pour but de permettre à des unités de se frayer un chemin parmi un champ de mines ou de sécuriser un environnement militaire (camp, base) où des mines ont été cachées, du déminage humanitaire qui tend à rendre un terrain miné accessible, sans danger pour des populations environnantes.



Fig(I.3): Démineur de la compagnie de génie de la 13e demi-brigade de Légion étrangère à Djibouti en 2005 en exercice, équipé d'un détecteur de métaux

I.5.2. Archéologie:

Les détecteurs de métaux font parfois l'objet d'une utilisation professionnelle dans le domaine de l'archéologie. En effet, l'objectif fondamental de celle-ci n'est pas la collecte d'objets métalliques mais leur mise au jour dans le cadre de fouilles méthodiques comme la fouille programmée, en documentant le contexte auquel ils étaient associés. Les détecteurs de métaux sont donc employés marginalement à des fins de vérification ou dans des contextes d'urgence dans le cadre d'une fouille préventive.

Par ailleurs, les détecteurs de métaux font l'objet d'une utilisation non contrôlée ou « chasses au trésor », pouvant entrer en conflit avec la préservation du patrimoine et considérée fouille clandestine. Pour l'association Happah [9] qui lutte contre le pillage du patrimoine archéologique, « La prospection au détecteur de métaux pratiquée par loisir a souvent des répercussions catastrophiques sur l'intégrité des sites archéologiques. La plupart des pratiquants de la détection de loisir, les « détectoristes » (plusieurs dizaines de milliers) n'ont pas d'autorisation de prospection. Seules quelques dizaines de personnes en sont pourvues en France. Par conséquent, de très nombreux objets archéologiques (plusieurs milliers si les monnaies, les fibules etc. sont prises en considération) ne sont pas déclarés au SRA et ne sont pas publiés. Il s'agit donc d'une perte gigantesque d'informations pourtant cruciales pour la science. Les sites historiques et archéologiques sont alors privés d'une partie des informations potentielles qu'ils auraient pu livrer dans le cas d'une prospection systématique (les artefacts métalliques). » [10]. Différentes réponses législatives ont été apportées à ces menaces en fonction des pays.

I.5.2.1. Espagne:

En Espagne, les lois sur le patrimoine national (*leyes del Patrimonio Nacional*) régissent la détection de loisir. Ainsi, toute prospection qui ne bénéficie pas d'une autorisation est considérée comme un délit contre le patrimoine. De nombreuses associations se sont créées pour provoquer un changement législatif. En Andalousie la loi 14/2007 du patrimoine historique andalou autorise dans son article 60 l'usage d'appareils de détection du métal, permettant son usage pour autant qu'il ne met pas en péril le patrimoine national.

I.5.2.2. France:

Les premiers détecteurs de métaux de loisirs sont apparus en France en 1975[11]. Auparavant, des chercheurs inventifs utilisaient des détecteurs de mines, modifiés ou non, mais leur nombre restait confidentiel [12].

L'utilisation des détecteurs de métaux a d'abord été réglementée par la loi n°89-900 du 18 décembre 1989 « relative à l'utilisation des détecteurs de métaux », qui a été abrogée par l'ordonnance n° 2004-178 du 20 février 2004 qui a posé la partie législative du code du patrimoine. L'article L. 542-1 du code du patrimoine [13], précise que « Nul ne peut utiliser du matériel permettant la détection d'objets métalliques, à l'effet de recherches de monuments et d'objets pouvant intéresser la préhistoire, l'histoire, l'art ou l'archéologie sans avoir, au préalable, obtenu une autorisation administrative délivrée en fonction de la qualification du demandeur ainsi que de la nature et des modalités de la recherche ».

Cette loi est destinée à préserver l'intégrité des niveaux archéologiques des sites contenant des objets métalliques : l'intérêt scientifique de ces derniers est en grande partie lié à leur contexte stratigraphique et archéologique, dont l'étude n'est possible que dans le cadre de fouilles méthodiques. L'utilisation de détecteurs de métaux visant la recherche d'objets anciens, archéologiques ou historiques est strictement interdite sans autorisation nominative délivrée par le ministère de la Culture (Service régional de l'archéologie) et validée par la préfecture.

Malgré des peines encourues pouvant aller jusqu'à sept ans d'emprisonnement et 100 000 € d'amende [14], voire plus lorsque plusieurs pilleurs agissent en association, des pillages de sites archéologiques sont encore à déplorer[15].



Fig(I.4) : En France, l'usage de détecteurs à des fins de recherches archéologiques sans autorisation administrative est puni par la loi. En dehors de la recherche d'objets archéologiques, l'utilisation d'un détecteur de métaux ne nécessite pas d'autorisat

I.5.2.3. Grande-Bretagne:

En Grande-Bretagne, le gouvernement a promulgué en 1996 le *Treasure Act* : les musées nationaux rachètent au prix du marché les découvertes de trésor faites par des amateurs. En 1997, il a mis en place le *Portable Antiquities Scheme*, un programme volontaire pour enregistrer le nombre croissant de petites découvertes archéologiques, qui ne constituent pas un trésor et ne tombent donc pas sous l'application de la loi de 1996, trouvées par le public, particulièrement avec un détecteur. Des utilisateurs de détecteurs se sont également regroupés en association afin de mettre en ligne une base de données sur les trouvailles et les matériels employés à fin de statistique et de mémoire historique avec photos des objets découverts ; il s'agit de la *UK Detector Finds Database*.

Le droit relatif à la découverte d'un trésor est réglé par le *Treasure Act* de 1996. Cet ensemble de lois oblige celui qui découvre un trésor à le déclarer sous 14 jours au coroner le plus proche. Il va mener une enquête et déterminer si la découverte fait partie d'un trésor. Si c'est le cas, le découvreur doit le proposer à la vente à un musée à un prix fixé par une commission d'experts indépendants. Si aucun musée n'est intéressé, le découvreur peut le garder[16].



Fig(I.5) : Coupe de Ringlemere, découverte en 2001 par un amateur britannique à l'aide d'un détecteur de métal. Datant de 1700-1500 av. J.-C., la coupe, qualifiée de trésor par le Treasure Act, a été rachetée par l'Etat au prix du marché et réside actuelle

I.5.2.3. Risques:

Tous les gros objets ne sont pas des trésors et les lieux de combats des deux dernières guerres nous le rappellent régulièrement. Du fait même de leur fabrication (fer, acier, plomb, cuivre), les engins explosifs se détectent très bien. L'utilisation de détecteurs de métaux dans ces contextes nécessite une grande vigilance : il est recommandé de ne jamais toucher ni démonter une munition non explosée car elle demeure toujours dangereuse. Chaque année, des accidents sont à déplorer dans lesquels sont impliqués des pratiquants de la détection qui n'ont pas su observer cette règle élémentaire de sécurité.

Pour ces raisons, l'utilisation de détecteurs de métaux est interdite dans toute la région Picardie (Somme, Aisne, Oise), dans la Meuse, en particulier à Verdun, dans quelques communes d'Île-de-France (autour de Mantes-la-Jolie), sur toutes les plages des débarquements de Normandie et de Provence, dans toute la région Basse-Normandie ainsi que dans quelques communes du Bas-Rhin et du Haut-Rhin.

I.5.3. Détection sécuritaire:

On trouve les détecteurs de métaux en usage sécuritaire, par exemple dans les aéroports pour détecter d'éventuelles armes métalliques cachées sur les passagers d'un avion



Fig(I.6) : Détecteur de métaux dans un aéroport

I.6. Conclusion:

Après un historique sur les détecteurs de métaux, nous avons exposé leurs principe de fonctionnement, la discrimination, le principes physiques, les types de détecteurs. Par la suite, on va voir les modules électroniques qui interviennent dans la réalisation d'un circuit de détection.

Chapitre II

II.1. Introduction :

Il ya plusieurs types de détecteurs et on va parler uniquement des détecteurs de métaux par champ magnétique. Le détecteur de métaux par champ magnétique est un appareil permettant de localiser des objets métalliques en exploitant le phénomène physique de variation de l'induction magnétique. Il est utilisé par exemple dans le domaine de la sécurité, dans les aéroports pour détecter des armes cachées sur les passagers d'un avion, dans le domaine militaire pour le déminage, dans les loisirs pour la recherche de divers objets enfouis et, marginalement, en archéologie pour la recherche d'objets anciens.

Ce chapitre expose les modules électroniques utilisés pour la réalisation du détecteur à savoir le multivibrateur, l'amplificateur, le circuit résonnant et le module d'affichage du signal de détection.

II.2. Multivibrateur:

Un multivibrateur est un oscillateur électronique basé sur le principe charge décharge d'un condensateur à travers deux circuits qui fonctionnent en alterné.

II.2.1. Types de multivibrateurs:

Il y'a plusieurs types de multivibrateurs : astable, monostable et bistable.

II.2.1.1. Le multivibrateur astable:

Le multivibrateur astable oscille toujours entre deux états jamais stables.

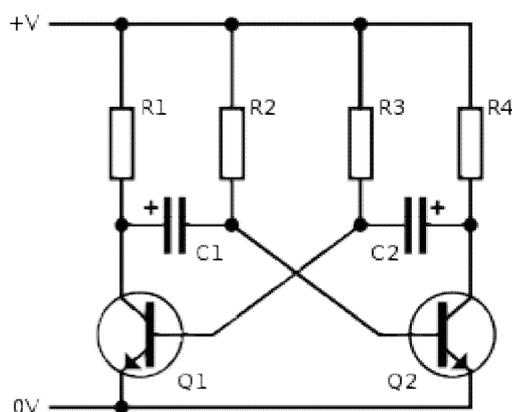


Fig II.1 : Exemple de schéma de multivibrateur astable

Ci-dessus un exemple de schéma de multivibrateur astable. Les sorties sont situées au niveau des transistors Q1 et de Q2. Si l'on néglige les temps de montée, le signal de sortie produit par le multivibrateur est un signal carré. Les sorties sont inversées l'une par rapport à l'autre.

La durée de l'état 1 (sortie à l'état bas) est reliée à la constante R_2C_1 correspondant à la charge de C1, et la durée de l'état 2 (sortie à l'état haut) sera reliée à R_3C_2 correspondant à la charge de C2. Vu qu'ici les charges des condensateurs sont indépendantes, il est aisé d'obtenir un rapport cyclique différent.

La tension aux bornes d'un condensateur avec une charge initiale non-nulle est donnée par :

$$V_{\text{cap}}(t) = ((V_{\text{capinit}} - V_{\text{charge}}) \times e^{-t/(RC)}) + V_{\text{charge}} \quad (\text{II-1})$$

En regardant C2, juste avant que Q2 commute, la patte gauche de C2 est au potentiel base-émetteur de Q1 ($V_{\text{BE_Q1}}$) et sa patte droite est à V_{CC} (" V_{CC} " est utilisé ici à la place de "+V" pour faciliter la lecture). La tension aux bornes de C2 est V_{CC} moins $V_{\text{BE_Q1}}$.

Juste après la commutation de Q2, la patte droite de C2 est maintenant à 0 V ce qui conduit l'autre patte de C2 à 0 V moins ($V_{\text{CC}} - V_{\text{BE_Q1}}$) ou $V_{\text{BE_Q1}} - V_{\text{CC}}$. À cet instant, la patte gauche de C2 doit se charger de nouveau jusqu'à $V_{\text{BE_Q1}}$. C'est le temps de cette charge qui va fixer la moitié de la période du multivibrateur (l'autre provenant de C1, est suivant le même raisonnement).

Dans l'équation de charge d'un condensateur présentée au-dessus, en remplaçant les variables :

$$V_{\text{cap}}(t) \text{ par } V_{\text{BE_Q1}}, \quad (\text{II-2})$$

$$V_{\text{capinit}} \text{ par } (V_{\text{BE_Q1}} - V_{\text{CC}}) \quad (\text{II-3})$$

$$V_{\text{charge}} \text{ par } V_{\text{CC}} \quad (\text{II-4})$$

on obtient :

$$V_{\text{BE_Q1}} = (((V_{\text{BE_Q1}} - V_{\text{CC}}) - V_{\text{CC}}) \times e^{-t/(RC)}) + V_{\text{CC}} \quad (\text{II-5})$$

Ce qui nous donne une équation pour t :

$$t = -RC \times \ln \left(\frac{V_{BE_Q1} - V_{CC}}{V_{BE_Q1} - 2V_{CC}} \right) \quad (\text{II-6})$$

Pour que ce circuit fonctionne, $V_{CC} \gg V_{BE_Q1}$ (par exemple: $V_{CC}=5 \text{ V}$, $V_{BE_Q1}=0,6 \text{ V}$), on peut alors simplifier l'équation précédente :

$$t = -RC \times \ln \left(\frac{-V_{CC}}{-2V_{CC}} \right) \quad (\text{II-7})$$

Ou :
$$t = -RC \times \ln \left(\frac{1}{2} \right) \quad (\text{II-8})$$

Ou :
$$t = RC \times \ln(2) \quad (\text{II-9})$$

La période de chaque «moitié» du multivibrateur est alors donnée par :

$$t = \ln(2)RC \quad (\text{II-10})$$

Une des plus célèbres réalisations de multivibrateur astable en technologie TTL est le circuit intégré NE555 (1970).

II.2.1.2. Le multivibrateur monostable:

Un multivibrateur monostable peut avoir en sortie deux états : haut ou bas. Une courte impulsion négative sur son entrée active la sortie à l'état haut, qui va revenir à son état initial après une période de temps déterminée par le temps de charge du condensateur. Si, toutefois, l'impulsion négative est maintenue, la sortie ne pourra pas revenir à son état initial. Elle y retournera une fois l'impulsion négative arrêtée.

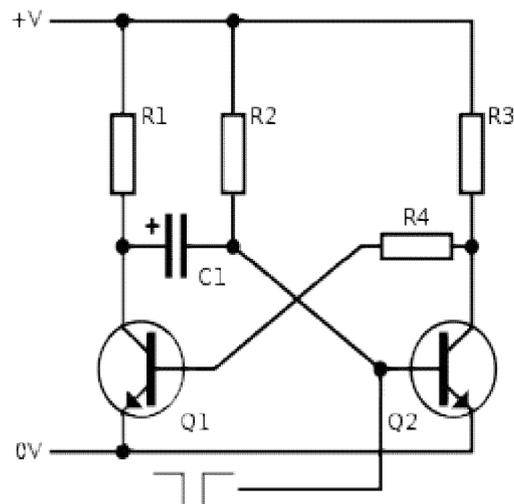


Fig.II.2. : Exemple de schéma de multivibrateur monostable

II.2.1.3. Le multivibrateur bistable:

Un multivibrateur bistable est un type de circuit dont la sortie change d'état lors de la modification de l'état d'une de ses entrées et qui garde cette position jusqu'à ce qu'un nouveau signal vienne rétablir la sortie à son niveau d'origine.

Ce type de circuit possède deux entrées et une ou deux sorties. Les entrées sont nommées Set et Reset. L'activation de Set modifie l'état de la sortie, alors que l'activation de Reset la renvoie à son état d'origine.

Tous les multivibrateurs possèdent un état interdit, c'est-à-dire un état dans lequel le multivibrateur ne doit pas être. Cet état est créé lorsque l'entrée Set et l'entrée Reset sont actionnées en même temps. [17]

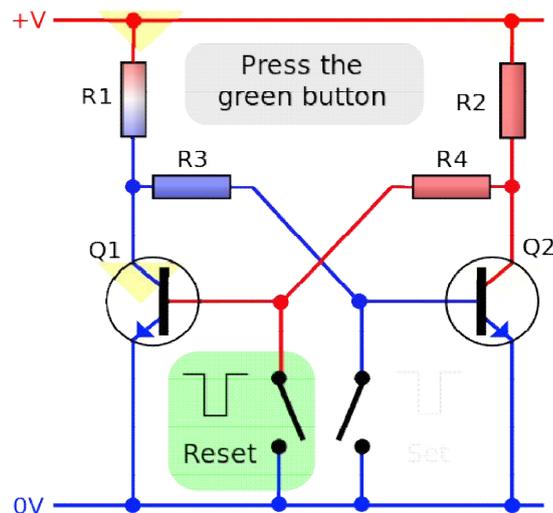


Fig.II.3 : Exemple de schéma de multivibrateur bistable ($R1, R2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R3, R4 = 10 \text{ k}\Omega$).

II. 3. Bobine :

Une bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance est un composant courant en électrotechnique et électronique. Une bobine est constituée d'un bobinage ou enroulement d'un fil conducteur éventuellement autour d'un noyau en matériau ferromagnétique. Ce noyau est également appelé dans la langue courante "noyau de ferrite". Les physiciens français l'appellent couramment « bobine d'inductance » ou, plus souvent et abusivement, « inductance ». Cependant, le terme inductance désigne normalement une caractéristique de la bobine. Le terme de bobine peut aussi désigner un dispositif destiné à produire des tensions élevées.

II. 3.1. Utilisations :

Bobine peut être employée pour diverses fonctions :

- assurer l'élimination des parasites d'une alimentation électrique ou d'un signal analogique, elle joue alors le rôle d'impédance ;
- raccourcir une antenne (la bobine joue le rôle d'amplificateur de signal) ;
- accorder en impédance un circuit ;
- créer un filtre pour une fréquence ou une bande de fréquences particulière ;
- lisser les courants continus (le bruit est éliminé) ou contrôler la croissance des courants dans les dispositifs d'électronique de puissance ;

- stocker de l'énergie électromagnétique (magnétique en l'occurrence) sous la forme :
 $W = \frac{1}{2} Li^2$.

Il faut alors que sa résistance soit très faible. En fait l'énergie est entièrement stockée dans le champ magnétique dans le noyau de la bobine. En comparaison, l'énergie électromagnétique est purement stockée dans le champ électrique d'un condensateur, un autre type de composant de circuit. Des bobines en supraconducteur, appelées SMES (Superconducting Magnet Energy Storage) sont utilisées pour cette application.

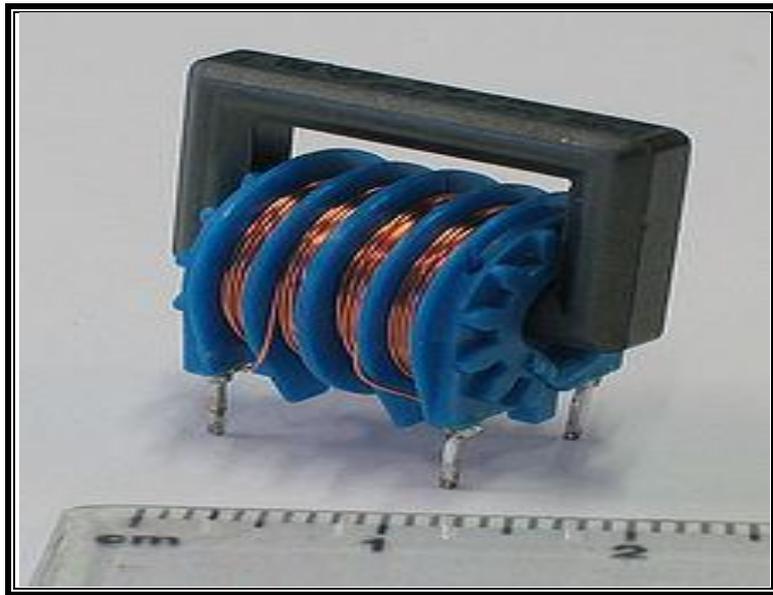


Fig.II.4 : une bobine d'arrêt de 47 mH avec noyau en ferrite

Les bobines peuvent servir d'interrupteur commande dans le cadre de la régulation magnétique. Ce phénomène peut s'observer à partir d'une expérience simple: Pour cela, on utilise un transformateur qui, aux bornes où la tension est abaissée une pile est reliée. Lorsque on la déconnecte, une étincelle surgit sur la borne d'où l'on a déconnecté la pile. Cependant, si les deux fils de l'autre côté du transformateur sont suffisamment proches, une étincelle à très haute énergie peut surgir. Le transformateur dans ces circonstances devient un survolteur. Lorsque la pile est connectée, la première bobine se charge et lorsqu'on la débranche, elle se vide dans la

Deuxième. Grâce à ceci, la bobine peut servir d'interrupteur. Le fait d'utiliser le transformateur comme survolteur dans ce cas présent permet de visualiser le phénomène grâce aux étincelles produites.

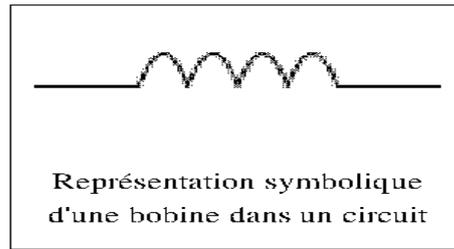
Les ballasts magnétiques et électroniques pour l'éclairage par lampes à décharges (lampes fluorescentes, lampes aux halogénures métalliques, etc.) utilisent des bobines. Dans ces circonstances, la bobine sert à générer un courant de haut voltage en pic: la tension n'est pas alternative mais elle est variable et n'est non nulle qu'un très court instant par rapport au moment où la tension est nulle.



Fig.II.5 : Bobine à air

Une bobine est un terme générique en électricité pour désigner un dipôle formé de une à une multitude de spires de fil autour d'un noyau. Ce noyau peut être vide ou en un matériau favorisant l'induction magnétique (matériau ferromagnétique, afin d'augmenter la valeur de l'inductance). Il peut être également fermé, avec ou sans entrefer, afin de constituer un circuit magnétique fermé. Dans le cas d'une bobine avec noyau magnétique, il ne faut pas dépasser en valeur instantanée la valeur maximale de l'intensité prescrite par le constructeur.

En cas de dépassement, même très bref, on risque de saturer le circuit magnétique, ce qui provoque une diminution de la valeur de l'inductance pouvant entraîner une surintensité. C'est donc un dipôle électrique auto-inductif plus ou moins linéaire qui est caractérisé principalement par son inductance, mais également par une résistance électrique (celle du fil utilisé, a priori faible), mais principale responsable des pertes.



II. 3.2. Modèles de la bobine réelle :

II. 3.2.1 Modèles à deux dipôles :

Les modèles les plus simples et les plus fréquemment utilisés sont ceux correspondant à l'association d'une bobine d'inductance et d'une résistance :



Modèle série

Modèle parallèle

$$u = L_s \cdot \frac{di}{dt} + r_s \cdot i \quad (\text{II-11})$$

$$i = \frac{1}{L_p} \cdot \int_t u dt + \frac{u}{r_p} \quad (\text{II-12})$$

En régime sinusoïdal de pulsation ω , les deux modèles précédents sont équivalents et interchangeables à condition de poser :

$$\begin{cases} r_p = r_s (1 + Q^2) \\ L_p \omega = L_s \omega \left(\frac{1+Q^2}{Q^2} \right) \end{cases} \quad (\text{II-13})$$

Avec :

$$Q = \frac{L_s \omega}{r_s} = \frac{r_p}{L_p \omega} \quad (\text{II-14})$$

Q : facteur de qualité de la bobine pour la pulsation ω considérée.

II. 3.2.2. Modèles à trois dipôles :

Aux modèles précédents, il est parfois nécessaire d'ajouter un condensateur en parallèle avec l'ensemble afin de rendre compte des effets capacitifs apparaissant entre les spires. Cette valeur de capacité est très faible mais elle devient prédominante à très grande fréquence.

II. 3.3. Relation entre la tension et l'intensité :

La tension u_B aux bornes de la bobine et l'intensité i du courant sont reliés par l'équation différentielle :

$$u_B = L \frac{di}{dt} + ri \quad (\text{II-15})$$

où L est l'inductance de la bobine et r sa résistance propre (dans le cas d'une bobine parfaite, $r = 0$).

II. 3.4. Comportement d'une bobine soumise à un échelon de tension :

Lorsque la bobine est soumise brutalement à une tension constante E avec une résistance r en série, l'équation différentielle admet pour solution :

$$i = \frac{E}{r} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (\text{II-16})$$

Où
$$\tau = \frac{L}{r} \quad (\text{II-17})$$

τ : est la constante de temps de la bobine

Démonstration mathématique de l'équation de réponse d'une bobine à un échelon de tension

II. 3.5. Comportement en régime sinusoïdal :

Pour obtenir les équations régissant le comportement d'une bobine réelle en régime sinusoïdal, il est nécessaire d'utiliser un des modèles décrit ci-dessus et de calculer l'impédance de la bobine soit en utilisant la représentation de Fresnel, soit en utilisant la transformation complexe.

Avec le modèle série, l'impédance de la bobine s'écrit :

$$\underline{Z} = r_s + j.L_s\omega \quad (\text{II-18})$$

Ayant pour module :

$$Z = \sqrt{r_s^2 + (L_s\omega)^2} \quad (\text{II-19})$$

et pour argument :

$$\varphi = \arctan\left(\frac{L_s\omega}{r_s}\right) \quad (\text{II-20})$$

Du fait de son caractère inductif, l'intensité du courant sinusoïdal qui traverse la bobine soumise à une tension sinusoïdale présente un retard de phase φ par rapport à cette dernière. Ce retard est compris entre 0 et 90° (ou 0 et $\pi/2$ radians). On dit que le courant est en retard sur la tension. [18]

Lorsque la bobine est réalisée autour d'un noyau ferromagnétique sans entrefer, les phénomènes de saturation magnétique et d'hystérésis entraînent des non-linéarités dans le comportement de la bobine : lorsqu'elle est soumise à une tension sinusoïdale, l'intensité du

courant qui la traverse n'est pas purement sinusoïdal. Ces non linéarités sont très difficiles à prendre en compte. Elles sont souvent négligées en première approximation dans les calculs traditionnels.

II. 3.6. Formules usuelles pour le calcul théorique de bobines :

Construction	Formule	Dimensions
Bobine à air	$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$	<p>L = inductance en henry (H)</p> <p>μ_0 = constante magnétique = $4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$</p> <p>N = nombre de spires</p> <p>S = section de la bobine en mètres carrés (m^2)</p> <p>l = longueur de la bobine en mètres (m)</p>
Bobine avec noyau magnétique	$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{l}$	<p>L = inductance en henry (H)</p> <p>μ_0 = constante magnétique = $4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$</p> <p>$\mu_r$ = perméabilité relative effective du matériau magnétique</p> <p>N = nombre de spires</p> <p>S = section effective du noyau magnétique en mètres carrés (m^2)</p> <p>l = longueur effective du noyau magnétique en mètres (m)</p>

TAB.II : Formules usuelles pour le calcul théorique de bobines Formules usuelles pour le calcul théorique de bobines

II. 4. CIRCUITS RLC :

En électrocinétique, un circuit RLC est un circuit linéaire contenant une résistance électrique, une bobine (inductance) et un condensateur (capacité).

Il existe deux types de circuits RLC série ou parallèle, selon l'interconnexion des trois types de composants. Le comportement d'un circuit RLC est généralement décrit par

une équation différentielle du second ordre (là où des circuits RL ou circuits RC se comportent comme des circuits du premier ordre).

À l'aide d'un générateur de signaux, il est possible d'injecter dans le circuit des oscillations et observer dans certains cas une résonance, caractérisée par une augmentation du courant (lorsque le signal d'entrée choisi correspond à la pulsation propre du circuit, calculable à partir de l'équation différentielle qui le régit).

II.4.1.Circuit RLC en série :

Si un circuit RLC série est soumis à un échelon de tension E' , la loi des mailles impose la relation :

$$E = u_C + u_L + u_R = u_C + L \frac{di}{dt} + R_t i \quad (\text{II-21})$$

En introduisant la relation caractéristique du condensateur :

$$i_C = i = C \frac{du_C}{dt} \quad (\text{II-22})$$

on obtient l'équation différentielle du second ordre :

$$LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + R_t C \frac{du_c}{dt} + u_C = E \quad (\text{II-23})$$

avec :

- E la force électromotrice du générateur, en volts (V) ;
- u_C la tension aux bornes du condensateur, en volts (V) ;
- L l'inductance de la bobine, en henrys (H) ;
- i l'intensité du courant électrique dans le circuit, en ampères (A) ;

- q la charge électrique du condensateur, en coulombs (C) ;
- C la capacité électrique du condensateur, en farads (F) ;
- R_t la résistance totale du circuit, en ohms (Ω) ;
- t le temps en secondes (s)

Dans le cas d'un régime sans pertes, c'est-à-dire pour $R_t = 0$, on obtient donc une solution se mettant sous la forme :

$$u_c = EA \cos\left(\frac{2\pi t}{T_0} + \varphi\right) \quad (\text{II-24})$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \quad (\text{II-25})$$

Avec :

- T_0 la période d'oscillation, en secondes ;
- A et φ deux constantes à déterminer grâce aux conditions initiales du circuit.

Ce qui nous donne :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{II-26})$$

Où f_0 est la fréquence propre du circuit, en hertz (Hz). [19]

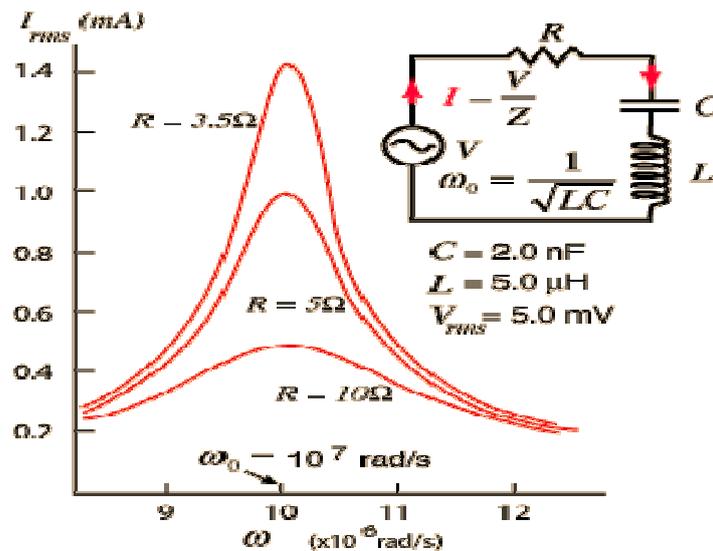


Fig.II.6 : Circuit RLC en série

II. 4. Techniques d'induction :

Les premiers détecteurs de métaux utilisaient un capteur à une bobine générant un champ magnétique sinusoïdal en permanence et à fréquence fixe. Ils utilisaient une technique empruntée à la radio : le battement de fréquences. Ces détecteurs étaient peu performants, et surtout particulièrement sensibles aux propriétés électromagnétiques du sol. La généralisation de la balance d'induction qui emploie une association de deux bobines judicieusement disposées permet en partie de compenser certains effets indésirables tout en augmentant la sensibilité. Toutefois, la technique la plus performante reste l'induction par impulsion qui est très peu sensible à la présence de corps ferreux, et qui de plus, autorise une certaine forme de discrimination.

II. 4.1. Battement de fréquences :

La technique de battement de fréquences est très connue en radio puisque elle est mise en œuvre pour la démodulation des ondes AM. Les signaux de deux oscillateurs travaillant à des fréquences voisines sont mélangés et le produit de ce mélange est filtré pour ne conserver que la composante basse fréquence. Le signal basse fréquence alimente directement un amplificateur audio et un haut-parleur. Les oscillateurs sont des circuits résonants, dont l'un utilise la bobine du capteur comme inductance.

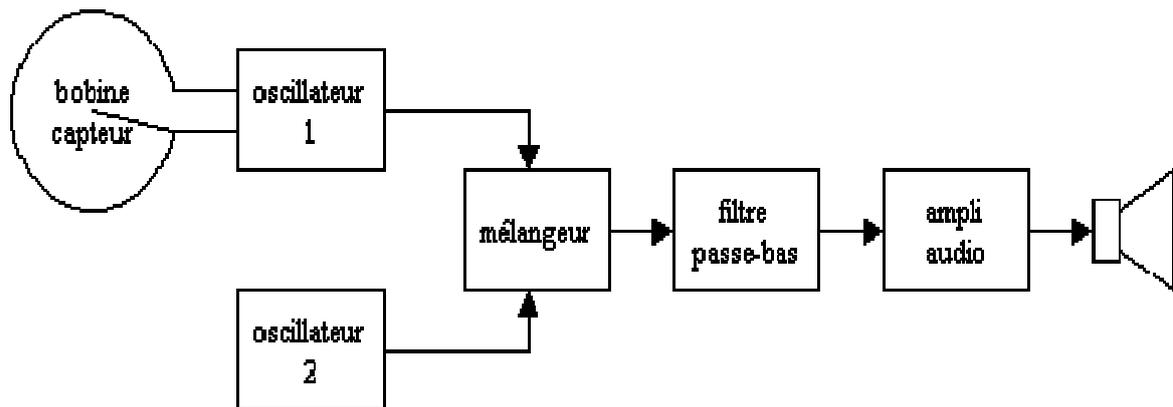


Fig.II.7 : Schéma de principe de la technique à battement de fréquences

La tonalité du haut-parleur varie en présence de métal en donnant une note plus aiguë. En revanche, un élément ferreux provoque le phénomène inverse, la tonalité est plus grave.

Cette technique présente deux problèmes majeurs. Les circuits résonnant ne sont pas stables en fréquence. Ils sont en particulier très sensibles à la température. De plus, la bobine étant sensible aux corps ferreux, elles interagissent avec les sols minéralisés et la réponse du détecteur varie avec la hauteur (distance détecteur – sol). Ces deux problèmes occasionnent des variations de tonalité sans rapport avec une détection.

Pour ces raisons, ils ont été progressivement abandonnés, remplacés par les détecteurs à balance d'induction ou à induction pulsée. On ne les trouve guère aujourd'hui que dans les détecteurs de quatre sous.

Conclusion

Ce chapitre expose les modules électroniques utilisés pour la réalisation du détecteur à savoir le multivibrateur, l'amplificateur, le circuit résonnant et le module d'affichage du signal de détection. Par la suite on va voir le montage pratique utilisant ces modules pour la réalisation du détecteur.

Chapitre III

III.1. Introduction :

Le montage que nous allons exposer du détecteur de métaux est nouveau pour nous. Nous allons utiliser comme support de production du signal une haute fréquence. Les fréquences mises en jeu sont de l'ordre des 2 MHz, (soit 2 millions d'oscillations par seconde). Nous allons signaler d'emblée déjà que la réalisation de ce montage est assez délicate. Nous serons cependant obligés de passer par là si nous voulons mettre en évidence de façon simple le phénomène de l'induction.

III.2. Le détecteur d'induction:

De manière générale le phénomène d'induction s'applique non seulement aux métaux, mais aussi aux corps faiblement conducteurs. Dans le détecteur de mines, il suffit de mesurer en permanence la consommation du générateur pour savoir s'il y'a variation d'induction ou non, et détecter ainsi la présence d'un corps métallique.

III.3. Schéma électrique :

Dans notre montage, nous allons mesurer la puissance consommée à l'émission d'une haute fréquence, et si elle dépasse une certaine valeur fixée par un potentiomètre, une diode électroluminescente s'allumera (Fig.III.1).

Pour des raisons de sécurité, nous n'avons doté notre détecteur que d'une très faible puissance, car à fort dose, les hautes fréquences peuvent être néfastes pour l'organisme. Par voie de conséquence, la sensibilité de notre détecteur restera faible. Il s'agit donc plus d'un appareil expérimental que d'un véritable détecteur aux performances élevées. De plus, la réalisation d'un appareil puissant demanderait des moyens techniques dépassant largement le cadre de cette rubrique.

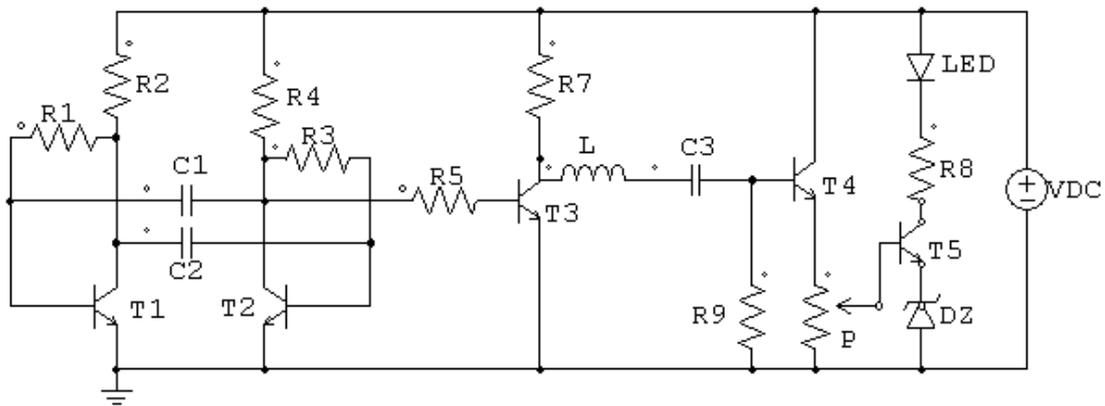


Fig. III.1. Montage électronique du détecteur à réaliser

Minis de ces quelques renseignements, voyons à présent comment fonctionne notre détecteur. Tout d'abord, il nous faut produire une fréquence élevée. Nous allons, pour ce faire, réaliser un oscillateur à l'aide de deux transistors. Ces derniers sont montés en astable à l'aide de résistances et de condensateurs appropriés, la fréquence de travail de ce montage sera de l'ordre de 2 MHz, mais elle n'a pas besoin d'être extrêmement précise.

III.4. Multivibrateur astable :

On connaît la structure de ce circuit impulsionnel classique, le multivibrateur dont la fuger III.2. Les charge de collecteur des transistors T_1 et T_2 sont constituées par les résistances R_3 et R_4 . Chaque base est reliée à la tension d'alimentation $+E$ par une résistance, R_1 ou R_2 le couplage s'effectue grâce aux condensateurs C_1 et C_2 .

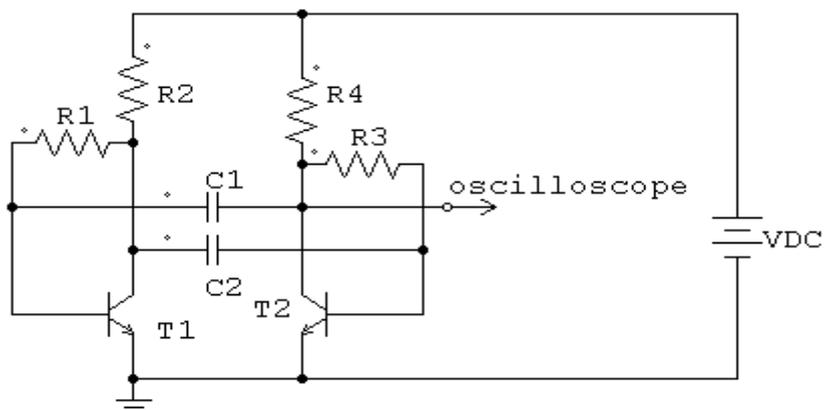


Fig. III.2. Montage électronique du multivibrateur astable

Rappelons brièvement le fonctionnement de ce dispositif, caractérisé par le fait que les deux transistors ne peuvent évoluer qu'entre les états bloqué ou saturé, le blocage de l'un correspondant à la saturation de l'autre. Pour que cette première condition soit respectée, il faut que le courant de base I_b soit supérieur à I_c / β , où I_c est le courant de collecteur et β le gain de transistor. Or à la saturation, le courant I_c est pour T_1 :

$$I_c = E/R_3 \quad (\text{III-1})$$

De son côté, le courant I_b (si on néglige la tension base-émetteur), est donné par la relation :

$$I_b = E/R_1 \quad (\text{III-2})$$

La condition de saturation s'écrit donc finalement :

$$E/R_1 \geq E / \beta R_3 \quad \text{ou} \quad R_1 \leq \beta R_3 \quad (\text{III-3})$$

Fréquence de multivibrateur :

$$t = (0,7 \times R_{b1} \cdot C_1 + R_{b2} \cdot C_2) \quad (\text{III-4})$$

$$f = 1/T \rightarrow 1 / (0,7 \times 2,2 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^{-12} + 2,2 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^{-12}) \quad (\text{III-5})$$

$$f = 2,16 \text{ MHz}$$

La figure III.3. montre le montage de ce module :

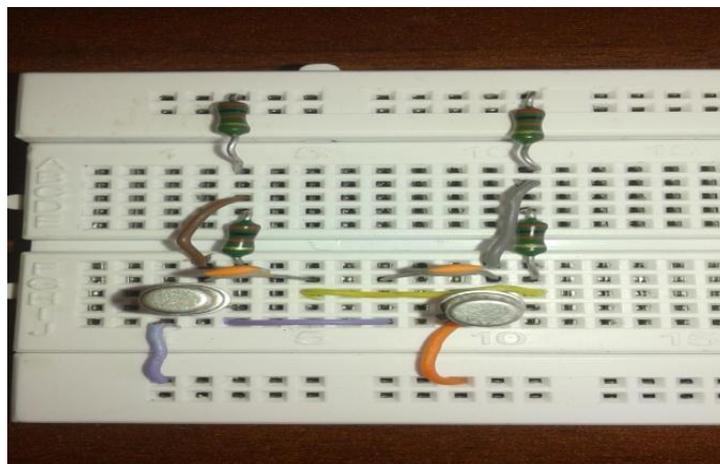


Fig.III.3. Multivibrateur astable sur plaque d'essai

La figure III. 4. montre le signal en sortie du multivibrateur. Le signal n'est pas carré cela est dû aux transistors qui ne sont de précision.

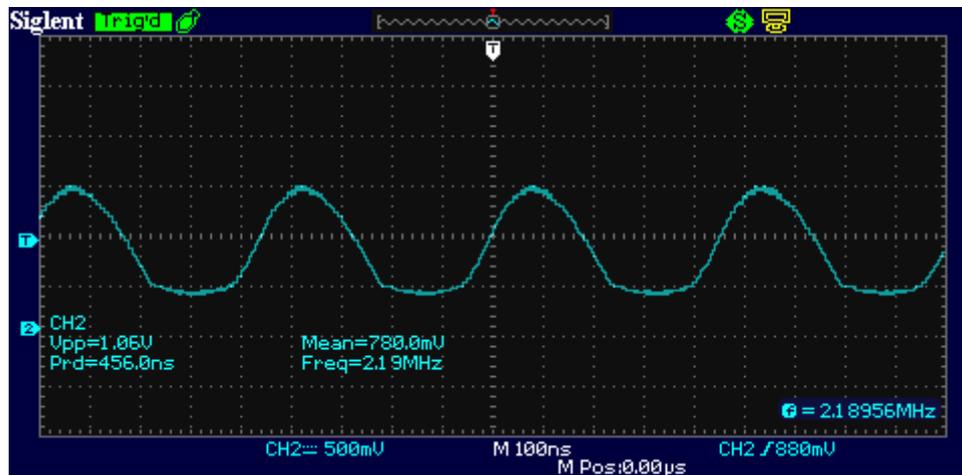


Fig III .4. Signal en sortie du multivibrateur

III.5. Amplificateurs de puissance :

Notre oscillateur ne peut cependant pas attaquer directement la boucle à résonance. Nous amplifierons donc le signal de celui-là à l'aide d'un troisième transistor avant de nous préoccuper de celle-ci (Fig.III.5.).

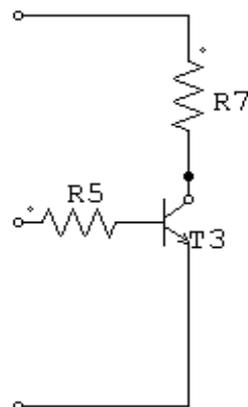


Fig.III.5. Amplificateur

La figure III. 6 montre le signal à la sortie de l'amplificateur. Le signal a été déformé à cause de transistor qui n'est pas de précision.

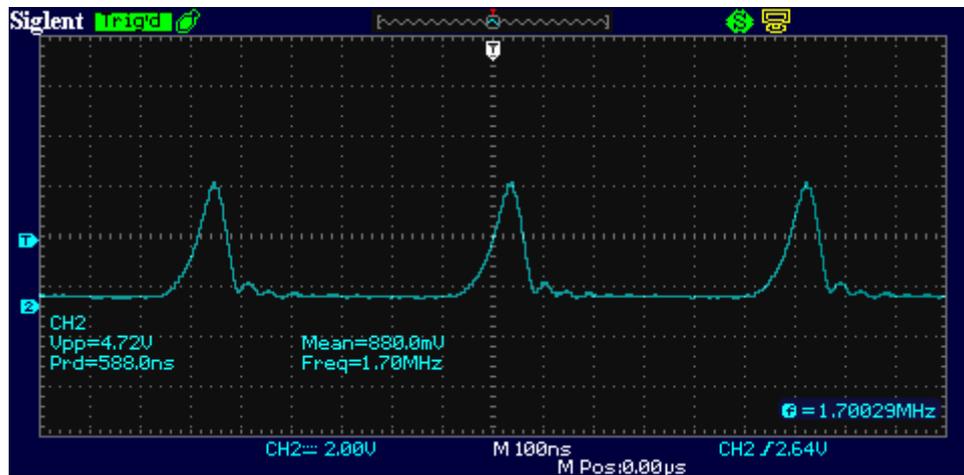


Fig.III.6. Signal à la sortie de l'amplificateur

III.5. La bobine d'émission :

La bobine d'émission L faisant office d'antenne sera réalisée à l'aide de fil électronique du type à mettre sous baguette (Fig. III.7). On a bobiné 12 spires sur un diamètre de 12 centimètre. Les spires seront maintenues ensemble à l'aide d'un simple ruban adhésif. Les fils de raccordement de cette bobine ne doivent pas être trop longs au montage et il ne faut surtout pas les torsader. Voici donc la partie permettant l'émission en haute fréquence réalisée. Il ne nous reste plus qu'à résoudre le problème de la détection.



Fig.III.7. Bobine d'émission

III.6. Circuit résonnant RLC :

Vous avez peut-être remarqué sur le schéma électrique une résistance placée en série à l'aide d'un condensateur avec la bobine d'émission. Eh bien, c'est grâce à cette résistance que nous allons pouvoir mesurer la consommation haute fréquence de la bobine. En effet, plus la consommation sera élevée, plus le courant qui la traversera sera fort, et plus la tension à ses bornes sera importante (Fig. III.8).

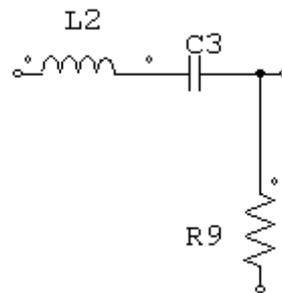


Fig.III.8. Circuit résonnant RLC

La figure III.9 montre le signal au borne de la résistance. La fréquence est de 1.7 MHz.

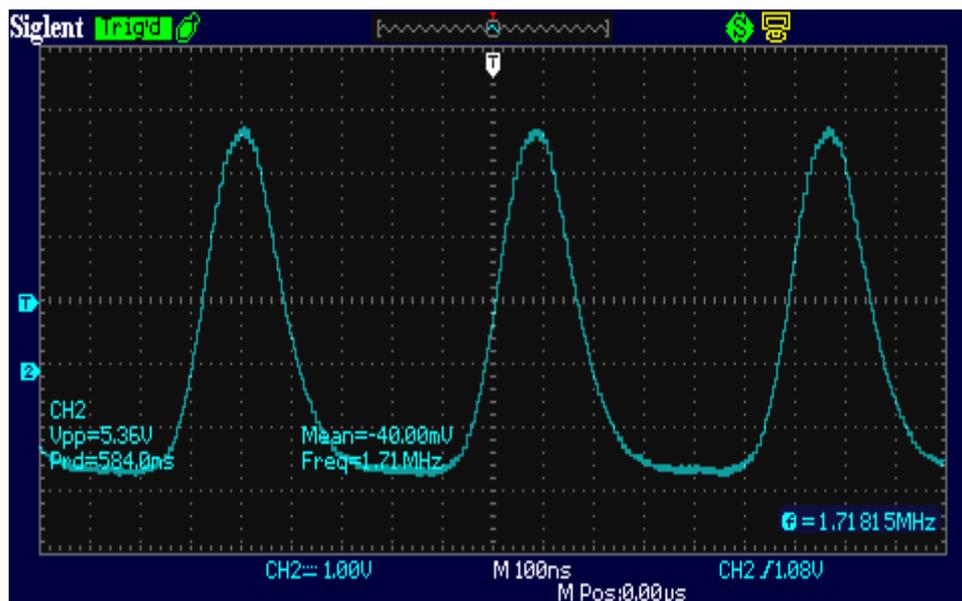


Fig.III.9. Signal à la sortie de la résistance

III.7. Circuit d'affichage lumineux :

Il ne restera plus qu'à régler la tension de référence fixée par le potentiomètre pour savoir s'il ya détection ou non. Pour ce faire, nous utiliserons deux autres transistors et une diode électroluminescente (LED) qui permettra de visualiser le dépassement de seuil (Fig. III.10).

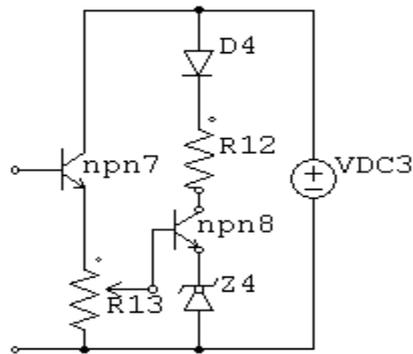


Fig.III.10. Circuit d'affichage lumineux

Voyons maintenant le câblage de notre détecteur. Comme nous vous l'avons déjà dit, il doit être effectué aussi méticuleusement que possible ; les bandes de la plaquette de câblage doivent être correctement coupée et les soudures soignées. Hormis cette précaution, il faudra veiller à bien respecter le brochage des transistors ainsi que la polarité de la LED (Fig.III.11).

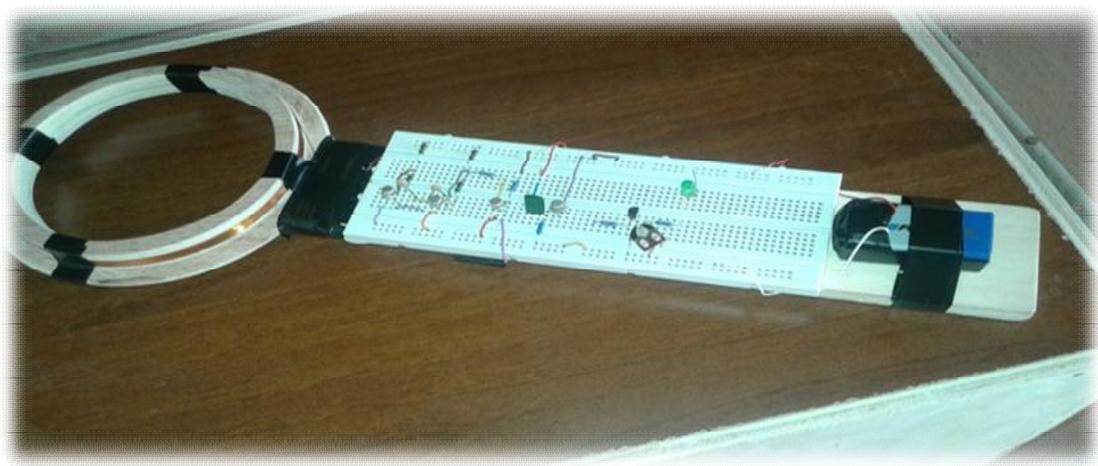


Fig.III.11 Circuit du détecteur réalisé sur plaque d'essai

Mise en service du montage : après avoir alimenté le détecteur à l'aide d'une pile de 9 V ou à l'aide de toute autre source de tension continue de 9 volts. Tournez le potentiomètre jusqu'à ce que la LED s'allume. Vérifier ensuite que la bobine d'émission n'est pas posée à grande distance de l'objet à détecter.

Tourner alors doucement le potentiomètre jusqu'à la limite d'extinction de la LED. Si vous posez maintenant la bobine sur un objet métallique (table, boîte de conserve, cendrier etc), la LED doit s'allumer de nouveau, vous indiquant bien la présence d'un objet métallique proche (Fig. III.12).

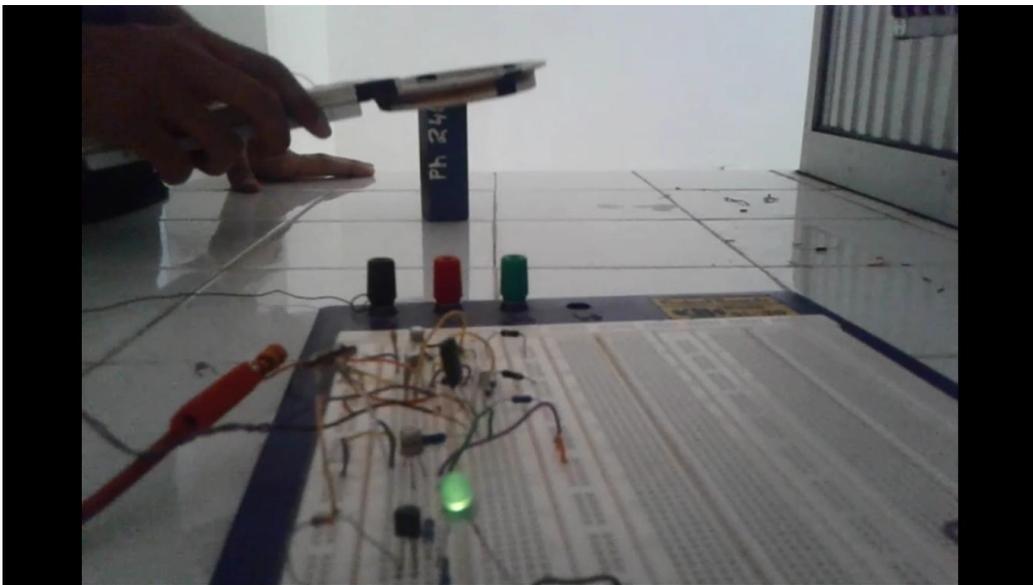


Fig.III.12 LED s'allume avec la présence d'un matériau ferromagnétique

III. 8. Liste du matériel nécessaire :

$R_1=R_2=R_3=R_4= 2,2 \text{ K}\Omega$ (rouge, rouge, rouge, or)

$R_5=R_6=R_7=R_8=220 \Omega$ (rouge, rouge, brun, or)

$R_9=100 \text{ K}\Omega$ (burne, noir, jaune, or)

$C_1=C_2= 150$ picofarads

$C_3= 47$ nanofarads

$P=2,2 \text{ K}\Omega$

$D_1= \text{LED vert } \varnothing 5 \text{ mm}$

$D_2= \text{zenner } 5,1 \text{ volt } \frac{1}{2} \text{ watt}$

$T_1=T_2=T_3=T_5= 2\text{N } 2222$

$T_4=BC546A$

Conclusion:

L'objectif visé par ce travail est la réalisation d'un détecteur des métaux par variation de l'induction magnétique afin de mener à bien cette réalisation, nous avons étudié et puis réalisé les différents blocs et circuits constituants (circuit multivibrateur astable, amplificateur, system résonnant). Le résultats est très encourageant et mérite continuation et amélioration.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Il y'a plusieurs types de détecteurs et on a parlé uniquement des détecteurs de métaux par champ magnétique. Le détecteur de métaux par champ magnétique est un appareil permettant de localiser des objets métalliques en exploitant le phénomène physique de variation de l'induction magnétique. Il est utilisé par exemple dans le domaine de la sécurité, dans les aéroports pour détecter des armes cachées sur les passagers d'un avion, dans le domaine militaire pour le déminage, dans les loisirs pour la recherche de divers objets enfouis et, marginalement, en archéologie pour la recherche d'objets anciens.

Après un historique sur les détecteurs de métaux, nous avons exposé leurs principe de fonctionnement, la discrimination, le principes physiques, les types de détecteurs. Par la suite, on va voir les modules électroniques qui interviennent dans la réalisation d'un circuit de détection.

On a exposé les modules électroniques utilisés pour la réalisation du détecteur à savoir le multivibrateur, l'amplificateur, le circuit résonnant et le module d'affichage du signal de détection. Par la suite on va voire le montage pratique utilisant ces modules pour la réalisation du détecteur.

L'objectif visé par ce travail est la réalisation d'un détecteur des métaux par variation de l'induction magnétique afin de mener à bien cette réalisation, nous avons étudié et puis réalisé les différents blocs et circuits constituants (circuit multivibrateur astable, amplificateur, system résonnant).

Le résultats est très encourageant et mérite continuation et amélioration. En fin, nous espérons que nous avons réussi à expliquer ce travail ine chàa Allah.

Bibliographie

BIBLIORAPHIE

- [1] Peut-on utiliser librement un détecteur de métaux dans un but archéologique ? [archive]
- [2] [archive]
- [3] [Page : <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/page?26087&p=107> [archive] page consacrée au révélateur de métaux à distance] dans le Larrousse médical de guerre [archive]
- [4] Company Information [archive]
- [5] The History of Metal Detectors, Western & Eastern Treasures magazine, September 1999, par Roy T Roberts [archive]
- [6] Le Fouilleur, numéro 26, janvier-février 2009, *Le Gamma 6000 dans tout cela*, par David, p. 26
- [7] Trésors et Détections, n°83, mai-juin 2005, les détecteurs de métaux ACE 250 PRO de Garrett, Tests collectifs mis en forme par Yves Mauchamps, p.24
- [8] <http://www.detecteur-de-metaux.com/detecteur-or.html> [archive]
- [9] L'association Happah regroupe des archéologues, amateurs ou professionnels, des chercheurs, des universitaires. Elle compte une centaine de membres et s'est donné comme mission « de lutter contre le pillage, la dégradation, la destruction et le vol du patrimoine archéologique et historique ». [2] [archive]
- [10] La prospection au détecteur [archive]
- [11] Trésors et Détections, n°83, mai-juin 2005, 145 000 écus et 65 kg d'argenterie enterrés au pied d'un arbre, par Yves Durieux, p.4
- [12] Trésors et Détections, n°83, mai-juin 2005, Les méthodes de prospections à vue, par Bonnel, p.16
-

-
-
- [13] Voir l'article L.542-1 du code du patrimoine [archive] sur Légifrance
- [14] articles 311-4-2 et 322-3-1 du code pénal créés par la loi n°2008-696 du 15 juillet 2008 – art. 34
- [15] Pillage d'un site archéologique sur le tracé du canal Seine-Nord Europe [archive], site de l'Inrap, consulté le 17 février 2010.
- [16] Le Fouilleur, numéro 26, janvier-février 2009, Le Treasure Act, par Champolion, p.18
- [17,19] Wikipedia
- [18] Voir B3.7 Régime permanent (sinusoïdal) [archive], sur le site epsic.ch, consulté le 17 janvier 2016

BIBLIGRAPHIE
