

**Projet de Physique P6
STPI/P6/2024 – 42**

***Radio transmission for medium range local
broadcasting***



Étudiants : *Darius NAZERI
Adham HAMOUD
Laura ROBERT
Norah VIGOUROUX*

Enseignant-responsable du projet :
Simon BUSBRIDGE

Table des matières

Table des matières.....	2
Remerciements.....	4
1. Introduction.....	6
2. Méthodologie.....	7
2.1. Déroulement du projet.....	8
3. Principes de fonctionnement.....	9
3.1. Fonctionnement des différents composants.....	9
3.1.1. Inductances variables.....	9
3.1.2. Condensateurs.....	9
3.1.3. Oscilloscope.....	10
3.1.4. Antenne.....	10
3.2. Branches.....	11
3.1.1. Branche (Q1).....	11
3.1.2. Branche (Q2).....	11
3.1.3. Branche (Q3).....	11
3.1.4. Branche (Q4).....	11
3.3. Fonctionnement d'un Émetteur Radio.....	12
4. Tâches réalisées.....	13
4.1. Organigramme.....	13
4.2. Commandes de composants.....	13
4.3. Montage des formeurs de bobines.....	14
4.4. Tests des parties du montage.....	14
4.5. Circuit imprimé.....	15
5. Simulations et tests.....	16
5.1. Test de réception du signal radio.....	16
5.2. Test de réception du signal radio.....	18
6. Conclusion.....	20
7. Annexes.....	21

Date de remise du rapport : 15/06/2024

Référence du projet : STPI/P6/2024 – 042

Intitulé du projet : Radio transmission for medium range local broadcasting

Type de projet : Expérimental

Objectifs du projet : Le but de ce projet est de réaliser un émetteur radio medium wave fonctionnel. Nous allons donc devoir créer plusieurs composants pour mener à bien le montage, ainsi que les différents tests de fréquence pour nous assurer du bon fonctionnement de l'émetteur tout au long du projet. Nous pourrons enfin tester l'émetteur en y faisant passer une fréquence audible par l'homme et en la diffusant via un poste radio AM.

Mots-clefs du projet :

Électronique

Soudure

Organisation, planification

Simulation

Conception

Manipulation, fabrication, réalisation

Test, mesure, expérimentation

Remerciements

Nous aimerions tout d'abord remercier chaleureusement Mr Busbridge pour son soutien constant et ses conseils avisés durant toute la durée de ce projet. Son expertise et son dévouement ont été essentiels à notre réussite et au bon déroulement des séances.

Nous souhaiterions ensuite remercier sincèrement Mr Williams et Mr Jolly pour l'aide inestimable qu'ils nous ont fournie depuis le début de ce projet. Que ce soit concernant les diverses questions techniques, la mise à disposition du matériel nécessaire ou même le soutien sur les manipulations complexes, sans leur aide, ce projet n'aurait pas pu voir le jour.

1. Introduction

Le but de ce rapport est de fournir le contexte et les résultats de notre projet scientifique encadré. Nous discuterons des quatre étapes que nous avons suivies pour réaliser notre projet.

Les différentes étapes de notre projet étaient la recherche et la conception du circuit, sa construction, et les tests et validations. La construction d'un émetteur AM nous a permis d'appliquer nos compétences en conception de circuits, en fabrication, en dépannage logique, et de prouver la théorie de fonctionnement.

Notre intention est de montrer le processus étape par étape pour construire et faire fonctionner une station d'émetteur AM à faible puissance. À la lecture de notre rapport, nos résultats montreront que ce projet ne se limitait pas à assembler des composants sur une carte de circuit imprimé. Nous montrerons comment, quoi, pourquoi, et quand, comme indiqué par l'instructeur, et fournirons des raisons et une compréhension de notre approche.

Dans le domaine de la technologie des communications, la transmission et la réception d'informations jouent un rôle crucial. Les émetteurs et récepteurs radio sont des composants essentiels dans de nombreux systèmes de communication modernes.

Toute personne lisant ce rapport acquerra les connaissances nécessaires pour concevoir et mettre en œuvre une station d'émetteur AM à faible puissance totalement légale.

2. Méthodologie

- Recherche
Étude des principes fondamentaux des émetteurs radio.
Analyse de divers types d'émetteurs radio disponibles sur le marché.
Identification des composants essentiels requis pour la conception.
- Organisation et planification
Développement d'un plan de projet détaillé.
Répartition efficace des tâches entre les membres de l'équipe.
Préparation minutieuse de la documentation de planification.
- Simulation
Modélisation du schéma de l'émetteur radio à l'aide d'un logiciel de simulation dédié.
Exécution de simulations approfondies des circuits pour prédire leur comportement.
Analyse rigoureuse des résultats obtenus lors des simulations.
- Conception
Élaboration de schémas électroniques complets et détaillés.
Création de plans de montage décrivant précisément l'assemblage des composants.
- Construction et fabrication
Soudage expert des composants sur les cartes électroniques conformément aux schémas établis.
Assemblage méthodique des différents éléments du circuit.
- Test et mesure
Exécution de tests individuels approfondis sur chaque composant électronique.
Réalisation d'un test complet de l'émetteur radio assemblé.
Évaluation des performances et ajustements nécessaires pour optimiser le fonctionnement.
Test final de l'émetteur radio

2.1. Déroulement du projet

Pour l'émetteur radio, il faut comprendre la relation entre les ondes radio et la parole/musique (modulation d'amplitude par exemple).

Durant notre première séance de projet, nous avons dû choisir si nous préférons faire un émetteur radio ou un récepteur, l'émetteur envoyant le signal, tandis que le récepteur le reçoit et le rend audible.

Nous avons donc choisi d'étudier le circuit d'un émetteur radio.

Les premiers questionnements qui sont apparus ont été:

Comment simuler un circuit électronique ?

Comment construit-on un circuit électronique ?

L'INSA peut-il fabriquer des PCB à partir de fichiers Gerber ?

Peut-on acheter des composants via l'INSA ?

Nous avons alors effectué des recherches dans le but de nous renseigner sur l'utilisation des logiciels nécessaires. Comme exemple, voici deux logiciels dont nous avons eu besoin: LTspice, signifiant Linear Technology et FreePCB Protoboard (aucune soudure requise). Au cours des séances, nous avons également dû nous familiariser avec la technique de la soudure, et également l'utilisation et la fabrication des circuits imprimés (PCB).

De manière générale, les séances se déroulaient de la manière suivante : une fois arrivés au laboratoire d'électronique, nous nous concertions afin de revoir l'avancement du projet, puis nous déterminions les objectifs du jour afin d'en déduire les tâches à effectuer.

3. Principes de fonctionnement

3.1. Fonctionnement des différents composants

Tout d'abord, nous allons introduire les principaux composants utilisés dans cet amplificateur.

Sections Principales du Circuit :

Branche (Q1)

Branche (Q2)

Branche (Q3 et Q4)

Réseau de Filtrage et de Couplage

3.1.1. Bobines ajustables

L'utilisation de bobines ajustables (L1 et L2) dans ce circuit permet d'ajuster finement les caractéristiques de l'oscillateur et de l'étage de sortie pour atteindre la fréquence de résonance désirée et optimiser la transmission.

Les bobines ajustables sont souvent utilisées en combinaison avec des condensateurs pour former des circuits résonants LC. Ces circuits résonants déterminent la fréquence de l'oscillateur de l'émetteur. En ajustant l'inductance de la bobine, on peut modifier la fréquence de résonance selon la formule :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- L est l'inductance (en henrys),
- C est la capacité (en farads),
- f est la fréquence de résonance.

L'oscillateur est réglé à la fréquence porteuse désirée à l'aide d'un circuit LC où la bobine ajustable permet d'affiner la fréquence exacte. Par exemple, pour obtenir une fréquence de 1 MHz avec un condensateur de 100 pF, l'inductance nécessaire est calculée par :

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \approx 25.33\mu H$$



Figure 1: formeur de bobine

3.1.2. Condensateurs

Les condensateurs sont utilisés pour filtrer les signaux et éliminer les bruits indésirables. Par exemple, dans les alimentations, ils filtrent les fluctuations de tension pour fournir une tension stable et propre aux composants sensibles.

Il permet le passage du signal audio dans le modulateur tout en bloquant les tensions continues.

Il doit être associé à une bobine pour créer un circuit oscillant à la fréquence de la porteuse.

3.1.3. Oscilloscope

Un oscilloscope est un instrument de mesure électronique qui permet de visualiser des signaux électriques variables dans le temps. Il affiche ces signaux sous forme de graphiques, où l'axe horizontal représente le temps et l'axe vertical représente la tension.

3.1.4. Antenne

L'antenne est responsable de convertir le signal RF modulé en ondes électromagnétiques pouvant se propager dans l'espace. Les courants électriques oscillant dans l'antenne génèrent des champs électromagnétiques qui se propagent sous forme d'ondes radio.

L'antenne doit être accordée à la fréquence du signal pour maximiser l'efficacité de la transmission. Cela est souvent fait en ajustant la longueur physique de l'antenne.

3.2. Branches

3.1.1. Branche (Q1)

Les composants principaux dans cette branche sont L1, C1, C2, C4, Q1 :

- L1 et C1, C2 forment le circuit résonant déterminant la fréquence d'oscillation.
- C4 est utilisé pour découpler les hautes fréquences.
- R1 et R2 forment un diviseur de tension pour polariser la base de Q1.
- C3 est un condensateur de découplage.

3.1.2. Branche (Q2)

Les composants principaux dans cette branche sont V2, R8, R9, R6, R7, C5, C6, Q2 :

- V2 est la source de signal modulant.
- R8 et R9 forment un diviseur de tension pour appliquer le signal modulant à la base de Q2.
- Q2 amplifie le signal modulant.
- R6, R7 et R5 sont des résistances de polarisation pour Q2.
- C5 et C6 sont des condensateurs de découplage pour filtrer les composantes de fréquence indésirables.

3.1.3. Branche (Q3)

Les composants principaux dans cette branche sont Q3, Q4, R11 à R15, C8, C9, C10 :

- Q3 et Q4 sont configurés en amplificateurs push-pull pour augmenter la puissance du signal modulé.
- R12, R13, R11, R14 et R15 sont des résistances de polarisation.
- C8, C9, C10 sont des condensateurs de couplage et de filtrage pour éliminer les oscillations indésirables et stabiliser le fonctionnement.

3.1.4. Branche (Q4)

Les composants principaux dans cette branche sont L2A, L2B, C11, C12, C13, C14 :

- L2 forment un transformateur de sortie.
- C11 et C13 sont utilisés pour le couplage de l'antenne.
- C12 et C14 sont des condensateurs de découplage pour filtrer les interférences de haute fréquence.

3.3. Fonctionnement d'un Émetteur Radio

Q1 génère un signal de haute fréquence. Q2 module le signal porteur avec l'audio (signal modulant). Q3 et Q4 amplifient le signal modulé pour obtenir une puissance suffisante pour l'émission. Le réseau de couplage et de filtrage permet de transmettre efficacement le signal modulé à l'antenne tout en supprimant les composantes de fréquence indésirables.

Ce circuit est typiquement utilisé pour générer un signal AM (Amplitude Modulation) où l'amplitude de la porteuse varie en fonction de l'information du signal audio appliqué.

L'oscillateur RF est basé sur le transistor Q1 et un circuit LC composé de L1, C1, C2, C3 et C4. Ce circuit génère un signal de radiofréquence (RF) stable. La fréquence de ce signal est déterminée par les valeurs de l'inductance L1 et des capacités C1 et C2, ajustable pour modifier la fréquence de sortie.

Les bobines d'inductance variables (L1 et L2) permettent de régler précisément cette fréquence. En ajustant ces inductances, on modifie la fréquence de résonance du circuit, permettant de sélectionner la fréquence de transmission souhaitée. C'est crucial pour s'assurer que l'émetteur fonctionne à la fréquence correcte et ne cause pas d'interférences avec d'autres dispositifs. L'inductance variable L2 ajuste la fréquence de résonance pour s'assurer que le signal est bien centré sur la fréquence souhaitée.

Les composants comme C9, C10 et les inductances variables L2 et L3 filtrent et adaptent le signal RF modulé pour le rendre approprié pour la transmission.

Enfin, le signal filtré est envoyé à l'antenne à travers le réseau de couplage, prêt pour la transmission. L'antenne rayonne sur le signal modulé, qui peut être capté par un récepteur radio.

La principale différence entre la radio AM et FM réside dans la façon dont elles modulent le signal : l'AM modifie l'amplitude de la porteuse, tandis que la FM modifie la fréquence de la porteuse. La radio AM est simple et efficace pour les transmissions longue distance, mais elle est plus sujette aux interférences et offre une qualité sonore inférieure. La radio FM, en revanche, offre une meilleure qualité sonore et est moins sensible aux interférences, mais elle a une portée plus courte et des circuits plus complexes.

4. Tâches réalisées

4.1. Organigramme

Vous trouverez ci-dessous l'organigramme des tâches qui ont été réalisées. Ce projet étant très manuel et nécessitant beaucoup de tests sur les mêmes composants, il a été très difficile de se répartir les tâches de manière individuelle, nous les avons donc faites pour la plupart en groupe.

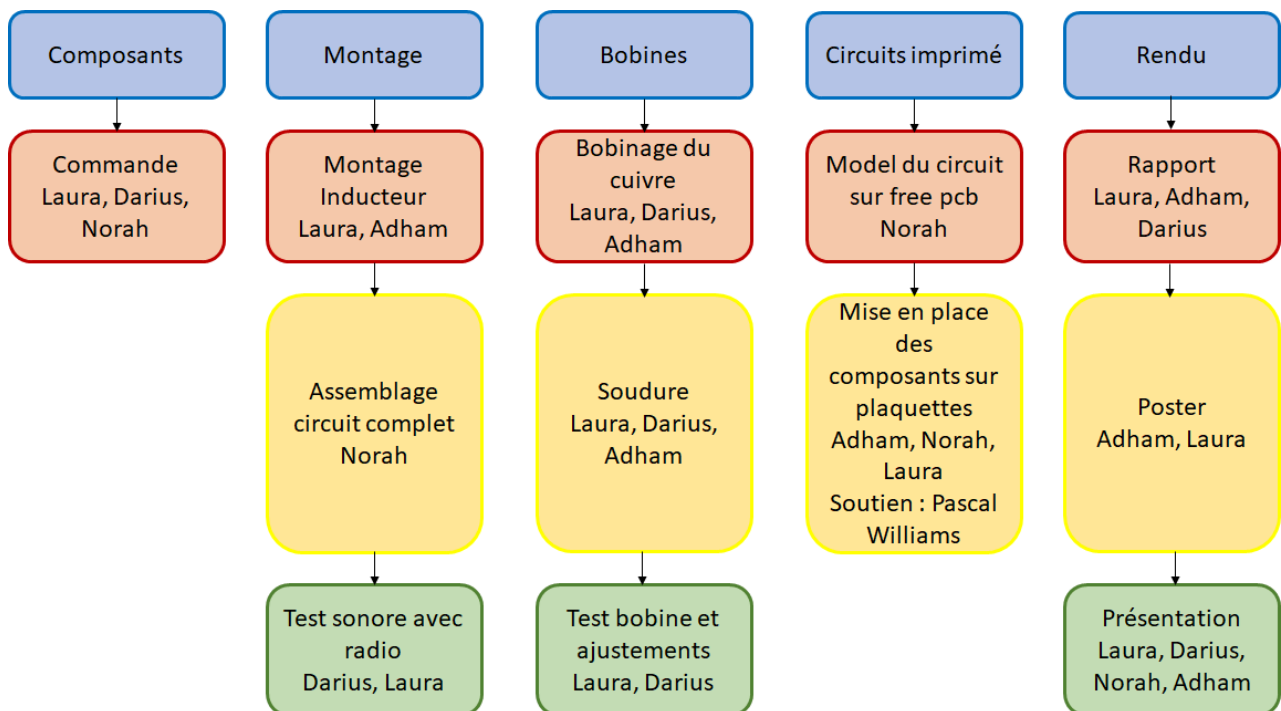


Figure 2 : Organigramme de répartition des tâches

4.2. Commandes de composants

Ce projet scientifique a été majoritairement manuel et a nécessité beaucoup de manipulation. Le tracé du circuit nous a été fourni par monsieur Busbridge, et nous avons donc commencé par faire le montage.

Cependant, beaucoup d'éléments ne se trouvaient pas dans les réserves de composants du département STPI. Nous avons donc dû commander plusieurs composants du circuit. Certains n'étaient pas disponibles sur les sites de commandes recommandés par monsieur Williams, et il a donc fallu passer par des sites en relation avec des particuliers, tels que E-Bay. Ça a été le cas par exemple pour les inducteurs nus qui servaient à la réalisation des bobines ajustables, ou formeur de bobine.

4.3. Montage des formeurs de bobines

Après avoir reçu la commande Ebay contenant les supports de bobine, ou formeurs de bobines, nous avons décidé de commencer le montage du circuit par la partie de l'inducteur. Pour que cette partie puisse augmenter l'amplitude du signal sonore, il faut que sa fréquence de résonance soit proche de 1 MHz. Pour ce faire, nous avons effectué plusieurs tests dans un circuit adapté. Ces tests sont décrits dans la partie test et simulations. Une fois les tests réalisés, nous avons pu finir le montage de l'inducteur.

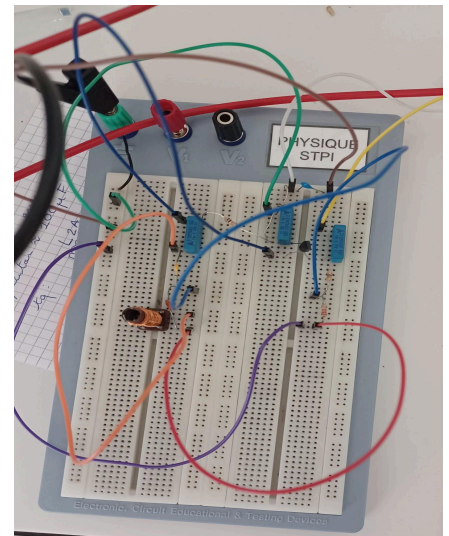


Figure 3 : circuit de l'inducteur

Le deuxième formeur de bobine est un peu différent du premier puisqu'il dispose de 3 connexions au circuit. Pour le créer, il a fallu bobiner le support selon un ratio de 1/10. D'abord, nous avons bobiné 20 tours de fil de cuivre autour du support, puis on a soudé le bout de ce fil à un connecteur du support, et enfin un même connecteur on a bobiné 200 tours de fil de cuivre.

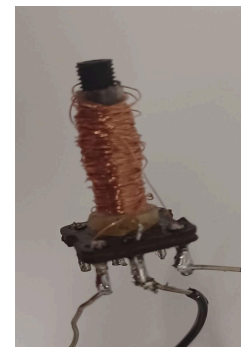


Figure 4 : bobine L2

4.4. Tests des parties du montage

Pour que le circuit puisse fonctionner, il était impératif que la fréquence de la bobine couplée à une capacité de 100 μF soit la même que celle de l'inducteur, c'est-à-dire 1,26 MHz dans notre manipulation. Pour ce faire, nous avons ajusté la bobine en vissant et dévissant une plaque magnétique. Sur un oscillogramme relié à notre bobine, nous avons observé à quelle fréquence le signal était le plus important, c'est-à-dire la fréquence de résonance, et nous avons vissé et dévissé la bobine pour que cette fréquence de résonance soit de 1,26 MHz.

Nous avons pu alors terminer le montage complet du circuit et relier la partie de l'inducteur avec le reste. C'est sur ce circuit final que nous avons effectué des tests en utilisant une radio medium wave. Ces tests seront explicités dans le paragraphe 5 du rapport.

4.5. Circuit imprimé

Après avoir finalisé le circuit sur les plaques d'essais sans soudure, nous nous sommes lancé le défi de le réaliser en circuit imprimé. Pour ce faire, il a fallu tout d'abord créer le schéma de composants sur le logiciel Free PCB. Le principal enjeu de cette étape est de créer un circuit très condensé tout en faisant la connexion entre chaque composant correctement. Durant cette phase, nous n'avons pas réussi à connecter les masses entre elles, et nous les avons donc reliées plus tard manuellement en soudant de courts câbles au circuit. Nous avons ensuite placé chaque composant sur la plaque imprimée. Enfin, il a fallu faire les soudures pour fixer les composants à la plaque. Comme cette manipulation est technique et minutieuse, monsieur Williams s'est proposé très gentiment de les faire.

Le circuit imprimé entièrement soudé, nous avons pu effectuer des tests pour savoir s'il diffuse bien un signal radio. Nous avons donc fait passer en entrée en signal d'une fréquence de 440 Hz et avons connecté le circuit imprimé à un oscilloscope pour observer le signal sortant.

Malheureusement, le circuit imprimé n'était pas fonctionnel dû à une erreur dans la confection du schéma initial. Une des masses était située entre le générateur et le circuit ce qui empêchait le courant de passer dans tout le circuit.

La confection du circuit imprimé nous a tout de même permis de nous familiariser avec son fonctionnement et surtout nous a fait découvrir le logiciel Free PCB qui est très utile dans le monde de l'électronique.

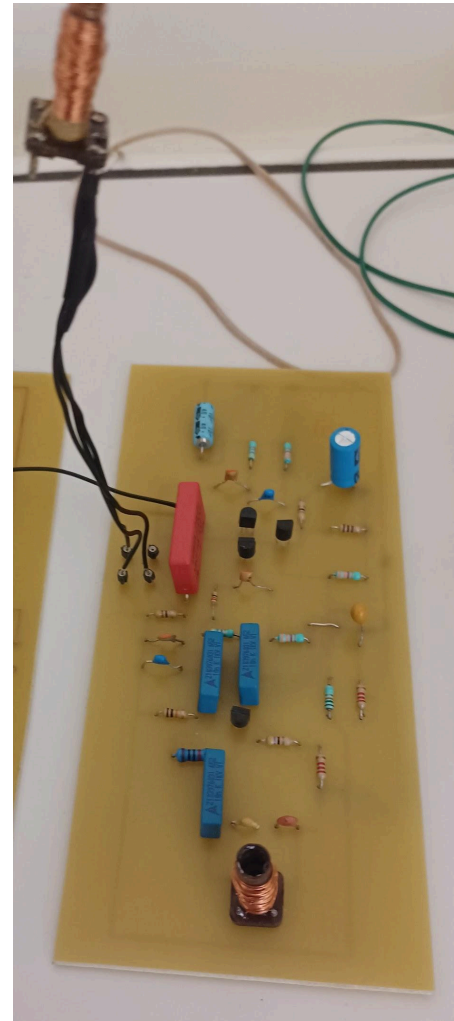


Figure 5 : circuit imprimé

5. Simulations et tests

5.1. Test de réception du signal radio

La construction et l'ajustement des bobines est probablement l'une des activités qui nous ont demandé le plus de temps.



Figure 6 : formeur de bobine

En effet, il fallait entourer le formeur de bobine avec du fil de cuivre émaillé, en faisant plusieurs dizaines de tours avant de souder les extrémités pour pouvoir intégrer la bobine au circuit.

La première bobine de ce circuit est L1, qui fait partie de l'oscillateur. Ce dernier a pour rôle de générer la fréquence du transmetteur radio. Pour pouvoir écouter la source audio avec une Radio AM, la fréquence de cet oscillateur doit être comprise entre 520 kHz et 1,6 MHz ce qui correspond aux ondes moyennes (MW). L'influence de l'inductance de la bobine sur la fréquence du circuit est donnée par la relation suivante :

$$(1) \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

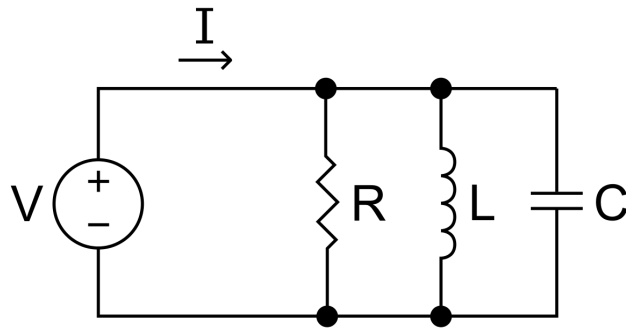


Figure 7 : schéma du circuit RLC en parallèle

Pour effectuer nos tests, nous avons réalisé un circuit RLC en parallèle en reprenant les valeurs des condensateurs de l'oscillateur. Ceux-ci étant associés en série, la capacité d'un condensateur équivalent est :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4}$$

Ce qui, dans notre cas, donne $C_{eq} = 229,60 \text{ pF}$.

En réglant et ajustant le générateur de courant alternatif, nous avons pu trouver la fréquence de résonance du circuit sur l'oscilloscope, c'est-à-dire la fréquence pour laquelle l'amplitude est maximale.

Au premier essai, pour 90 tours de bobine, nous avons obtenu une fréquence de résonance de 1,5045 MHz. D'après (1), nous avons pu retrouver la valeur de l'inductance de la bobine.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Leftrightarrow \sqrt{LC} = \frac{1}{2\pi f} \Leftrightarrow L = \left(\frac{1}{2\pi f\sqrt{C}}\right)^2$$

$$L = \left(\frac{1}{2\pi \times 1,5045 \times 10^6 \text{ Hz} \times \sqrt{229,6 \times 10^{-12} \text{ F}}}\right)^2 = 48,74 \times 10^{-6} \text{ H} = 48,74 \mu\text{H}$$

Cette fréquence de résonance étant trop élevée, nous avons essayé de l'ajuster en vissant le formeur, mais cela n'a pas suffi. Il a donc fallu recommencer, avec un nombre de tours plus important pour augmenter la valeur de l'inductance de la bobine et donc

diminuer la fréquence de résonance, le nombre de spires de la bobine au carré étant proportionnel à l'inductance : $L \propto N^2$.

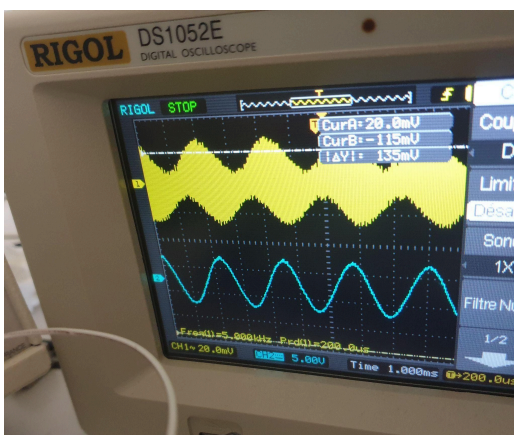
Finalement, nous avons pu obtenir une fréquence de 1,26 MHz ce qui correspond à une inductance de 69,5 μ H.

Pour L2, la bobine est divisée en deux parties avec un ratio de nombre de spires d'environ 1:10, c'est-à-dire que pour 20 tours pour la partie L2A, il faut environ 200 tours pour la partie L2B. En suivant un protocole similaire que pour L1, nous avons pu faire correspondre la fréquence de résonance à celle de l'oscillateur, soit 1,26 MHz. Pour y parvenir, nous avons également remplacé le condensateur C11 pour un autre condensateur d'une capacité plus faible, ce qui a permis, d'après (1), d'augmenter la fréquence de résonance et de la faire correspondre à celle de l'oscillateur.

5.2. Test de réception du signal radio

Après avoir assemblé l'oscillateur aux autres parties du circuit, nous avons pu tester le fonctionnement de l'émetteur Radio en branchant un fil en sortie du condensateur C13 pour l'utiliser comme Antenne. N'ayant pas de quoi relier une source audio au circuit, nous avons utilisé un générateur analogique en plus du générateur de courant continu réglé sur 15V qui sert à alimenter le circuit. Le générateur analogique a été réglé sur une fréquence de 440 Hz, ce qui correspond à la note « La » puis relié à l'emplacement de l'entrée audio sur le circuit. Ensuite, nous avons maintenu le fil servant d'antenne proche de l'oscilloscope, et sans créer de contact, nous avons pu voir le signal attendu. Ce signal correspond à la fréquence du circuit, et son amplitude est modulée par les ondes de la source audio.

En stoppant l'acquisition sur l'oscilloscope, le curseur « Scale » nous a permis de retrouver la fréquence du signal audio de 440 Hz, soit une période d'environ 2,27ms. Mais surtout, nous avons pu retrouver la fréquence du circuit qui est de 1,26 MHz, soit une période beaucoup plus faible de l'ordre 0,79 μ s.



En jaune : le signal radio de l'antenne

En bleu : le signal de la source audio

Figure 8 : signal radio du circuit

La séance suivante, nous avons amené une radio AM pour essayer de la faire fonctionner avec notre émetteur. Nous avons mis beaucoup de temps à trouver la bonne fréquence sur la radio, car il n'y avait pas d'affichage de la fréquence réglée sur le poste donc il fallait se fier uniquement à l'oreille, en balayant entre 500 kHz et 1,6 MHz. Or, il y avait beaucoup de bruits parasites et intempestifs sur certaines fréquences qui ressemblaient à notre signal. Le fait d'augmenter l'amplitude du générateur analogique, c'est-à-dire le volume de la source audio, mais aussi la tension du générateur du circuit, en la passant de 15V à 18V nous a permis de retrouver la bonne fréquence et d'entendre le signal, mais à une portée de quelques mètres seulement.

6. Conclusion

Durant les 6 mois que nous avons passés à travailler sur ce projet, nous avons eu l'occasion de voir diverses méthodes de travail et plusieurs domaines scientifiques moins abordés durant notre cursus.

Les quatre membres de l'équipe n'étaient pas très familiarisés avec le domaine de l'électronique et nous avons donc pu découvrir plusieurs composants, leur spécificité, les différentes gammes de production et surtout comment les fabriquer.

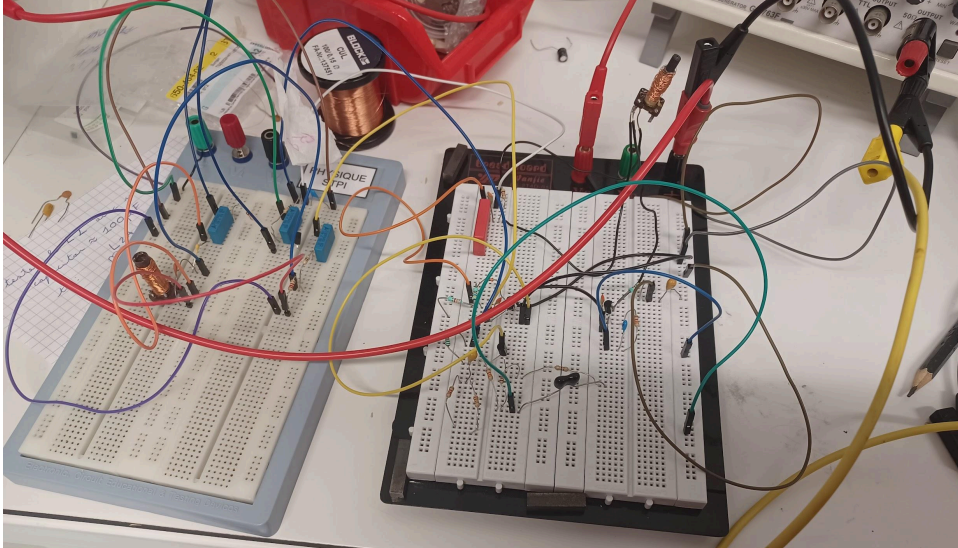
Nous avons également dû nous initier à la soudure à l'étain qui avait été pour certains très peu pratiquée et pour les autres pas du tout. Les points clefs du projet ont été assurément la fabrication des deux formeurs de bobines, que nous avons dû bobiner et rebobiner plusieurs fois, mais également le test radio final sur notre montage en plaquette d'essai sans soudure.

Ce projet très ambitieux nous a permis d'acquérir des bases et des connaissances très importantes pour de futurs ingénieurs, et il a donc été très enrichissant pour nous.

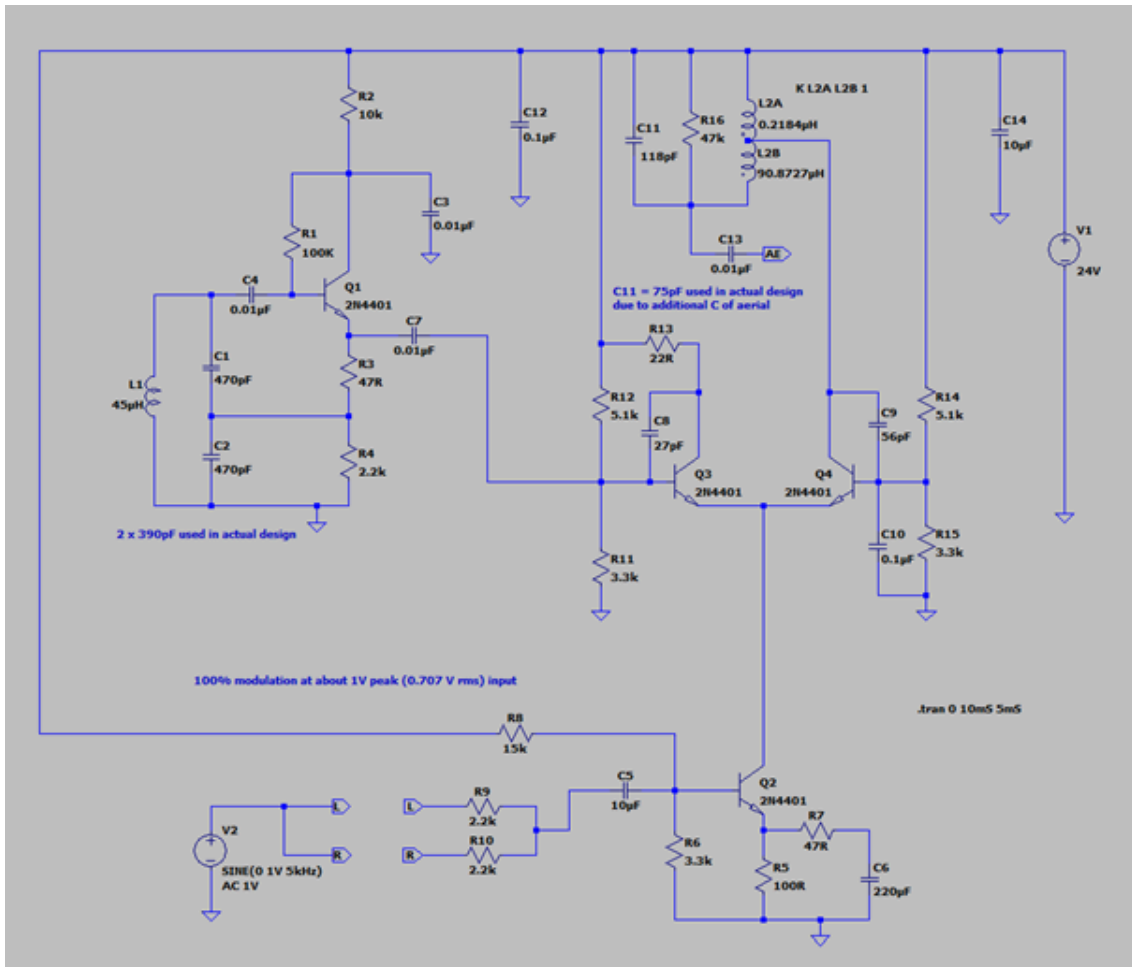
Le seul bémol à retenir est la distance qui nous séparait de notre encadrant, ce qui a compliqué l'avancée du projet à de nombreuses reprises. Certains composants manquants, bloquant toute une partie du projet, auraient pu être transmis beaucoup plus vite si l'enseignant avait été sur place .

Le soutien de monsieur Busbridge nous aura quand même été d'une grande aide et nous le remercions encore de nous avoir accompagnés durant ce projet.

7. Annexes



Annexe 1: Circuit final



Annexe 2: Schéma du circuit original