

Polytech Lille - SE4 IOT

Projet d'électronique

ALEXANDRE BOÉ

2023-2024

Résumé

Cet énoncé de TP présente les activités à réaliser sur les onze séances de 4h en lien avec les enseignements de *Télécommunications*, *gestion de l'énergie* et *Compatibilité électromagnétique des circuits électroniques*. L'objectif général du projet est de concevoir, réaliser et caractériser une chaîne de transmission de données en BPSK (*Binary Phase Shift Keying*).

Table des matières

1	Vue globale du système	3
2	Simulation autour de la liaison BPSK	3
3	Conception des PCB et programmation <i>Low Power</i>	4
3.1	Étude préliminaire	7
3.2	Quelques mesures de CEM des PCB	7
3.2.1	Lignes de propagation, couplage galvanique	8
3.2.2	Masses	8
3.2.3	Couplages	10
3.2.4	<i>Power Delivery Network</i>	12
3.2.5	Signaux différentiels	12
3.3	Conception de la carte mère <i>Brunehaut</i>	13
3.4	Programmation <i>Low Power</i>	14
3.5	Conception des circuits RF	14
4	Caractérisation des différents modules sous-systèmes et systèmes	15
5	Planning prévisionnel des activités	15
6	Rendus du projet	15

1 Vue globale du système

Lors de ce projet, vous allez concevoir et réaliser la partie réception d'une chaîne de réception en modulation numérique BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Ce récepteur permettra de fournir les données à un système à base de microcontrôleur contrôlant une résistance chauffante.

Un focus sera fait sur :

- la conversion de l'énergie ;
- la sobriété énergétique ;
- la conception d'un plan d'alimentation efficace et robuste ;
- la prise en compte de la CEM *Compatibilité ÉlectroMagnétique* ;
- la conception de récepteur analogique en modulation numérique ;
- la caractérisation radiofréquence des briques du récepteur ;
- le bilan de liaison d'une chaîne de communication.

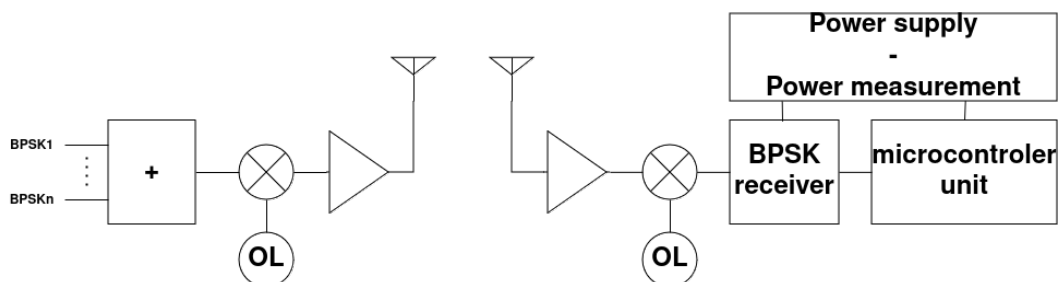
La figure 1 présente les principales fonctions à réaliser et caractériser. Chacun des blocs à concevoir (les trois blocs à droite, à savoir alimentation, microcontrôleur et récepteur BPSK) seront étudiés plus en détail dans les parties concernées. La chaîne de réception dans son ensemble sera aussi à réaliser et caractériser.

Après une analyse globale du système, Les différents blocs seront conçus et caractérisés indépendamment. Lors des dernières séances, les blocs seront assemblés et la chaîne complète sera caractérisée.

2 Simulation autour de la liaison BPSK

Voir polycopié « SE4 Electronique, Telecom & Tutti Quanti ».

Figure 1 – Schéma global du récepteur



3 Conception des PCB et programmation *Low Power*

Cette partie du TP est consacrée à la conception, la réalisation et le test des deux PCB de ce projet :

- PCB du microcontrôleur et de l'alimentation ;
- PCB du récepteur BPSK.

Il vous sera aussi demandé de programmer le microcontrôleur.

Les principales mesures demandées ici sont la consommation électrique des différents blocs et les mesures relatives à la CEM.

Les deux cartes seront conçues de façon indépendante et seront assemblées comme présenté à la figure 2

Une ébauche des schémas est disponible à l'adresse <https://aboe.plil.fr> et les figures 3, 4 et 5 en présentent les schémas-blocs simplifiés.

Les principaux composants utilisés sont :

- microcontôleur : STM32F030F4P6 ;

Figure 2 – Assemblage des deux PCB

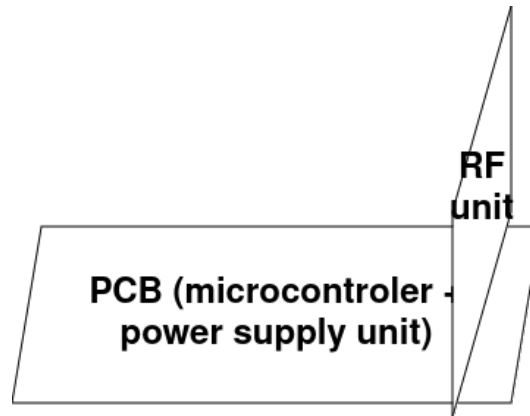
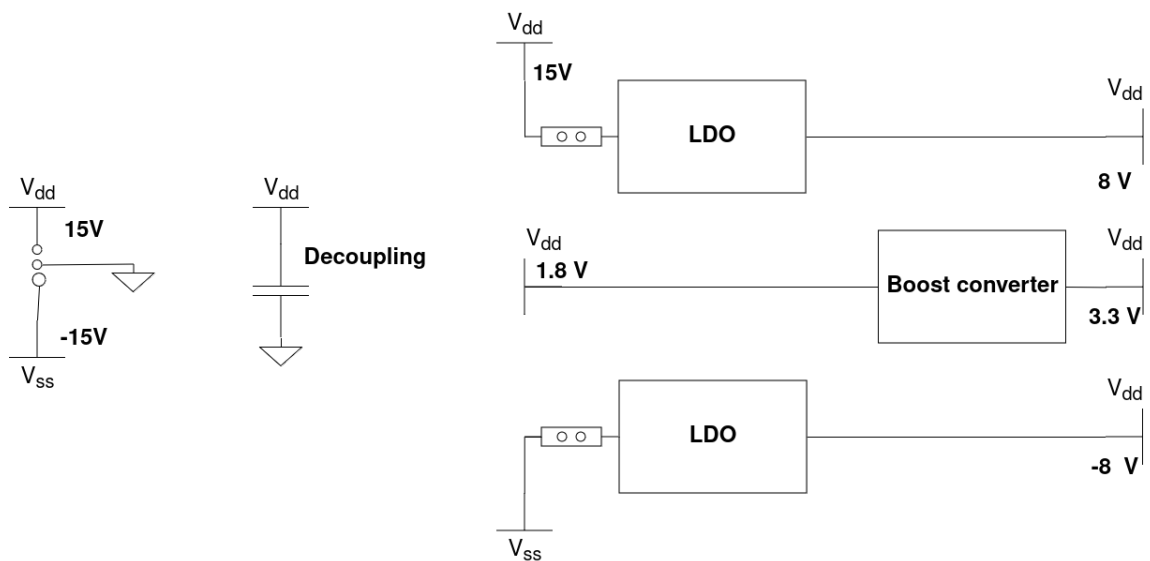


Figure 3 – Alimentation



- capteur de température : MCP9000 ;
- quartz haute fréquence : MCSJK-7U-32.00-10-30-60-B-30 ;
- quartz basse fréquence : R26-32.768-12.5 ;

Figure 4 – Carte microcontrôleur

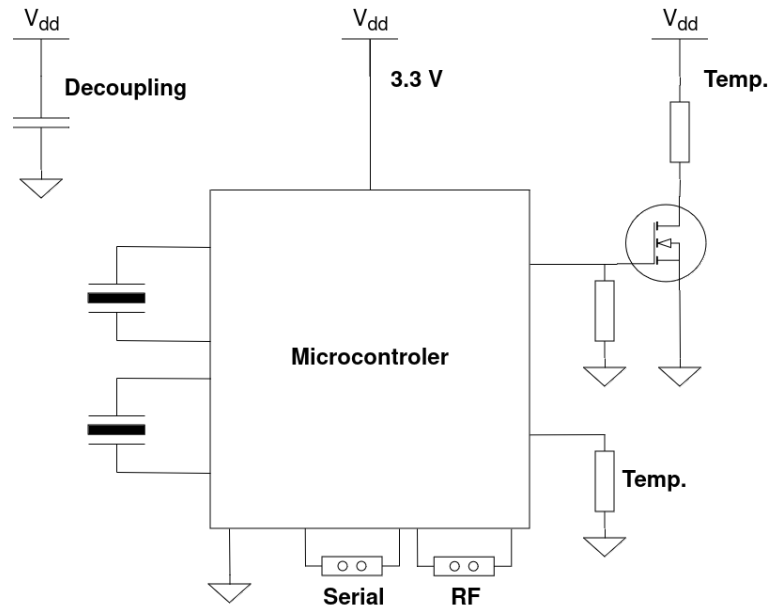
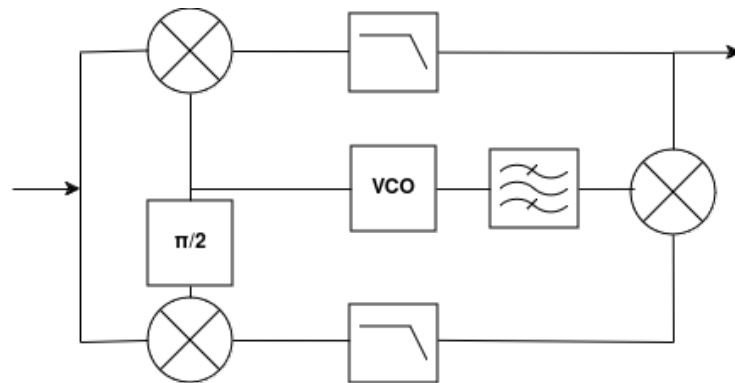


Figure 5 – Récepteur bpsk



- mosfet de puissance : XP161A1355PR-G ;
- convertisseur *boost* : XC9103D095MR-G ;

- LDO positif : AP7333-33SAG-7 ;
- LDO négatif : MIC5271YM5-TR ;
- mélangeur : MC1496BDR2G ;
- amplificateur opérationnel : MIC920YC5 ;
- transistor NPN : PMBT3904,235 ;
- résistance de puissance : HS50 4R F ;
- capacités, selfs, résistances et led en boîtier 0603.

3.1 Étude préliminaire

- calculer la consommation de la résistance chauffante ;
- estimer la consommation du circuit microcontrôleur ;
- estimer la consommation du receptrer BPSK.

À partir de ces données préliminaires, et sachant que la tension résiduelle d'oscillation des alimentations doit être inférieure à 100 mV, calculer le nombre et les valeurs des capacités de découplage.

3.2 Quelques mesures de CEM des PCB

Cette partie du projet consiste à appréhender de façon simple des concepts de Compatibilité ÉlectroMagnétique (CEM) ppliqués aux PCB. Les mesures seront faites sur des maquettes avec un protocole de mesure que vous décrirez de façon précise. Tous les résultats doivent être consignés avec indication des conditions précises des mesures.

3.2.1 Lignes de propagation, couplage galvanique

Vous disposez d'une maquette comportant différentes lignes de propagations. Il vous est demandé de mesurer :

- mesurer la résistance, l'inductance et la capacitance des lignes en fonction de leur largeur, puis de comparer avec les valeurs théoriques ;
- mesurer l'élévation de température en fonction du courant ;
- mesurer l'impédance et les pertes en RF pour les deux lignes connectées.

3.2.2 Masses

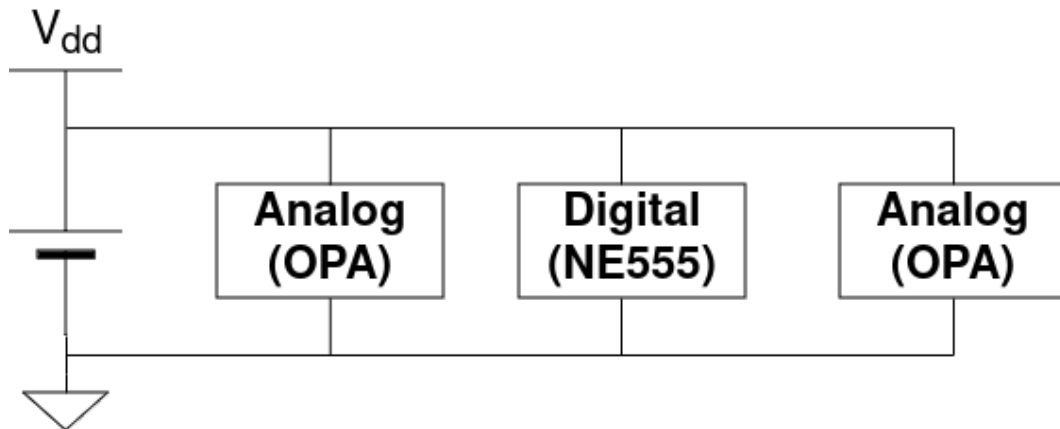
Vous disposez de quatre maquettes :

- les trois premières permettent de mesurer l'effet du routage de la masse (routage en cascade, en étoile et avec plans de masse) avec deux largeurs de lignes pour les deux premiers cas (0,3 mm et 3 mm).
- la dernière permet de rendre compte de l'effet des fentes dans un plan de masse.

La figure 7 présente le schéma global de la maquette avec liaisons de masse en cascade. Il est possible d'avoir un ou deux bloc analogique (un simple comparateur à base d'amplificateur opérationnel) et un bloc numérique (un NE555 monté en oscillateur astable). Les blocs peuvent débiter dans des résistances de valeurs différentes afin de changer le courant consommé. Le retour de masse peut se faire avec une ligne large (3 mm) ou une ligne fine (0,3 mm). Il est aussi possible d'ajouter une capacité de découplage.

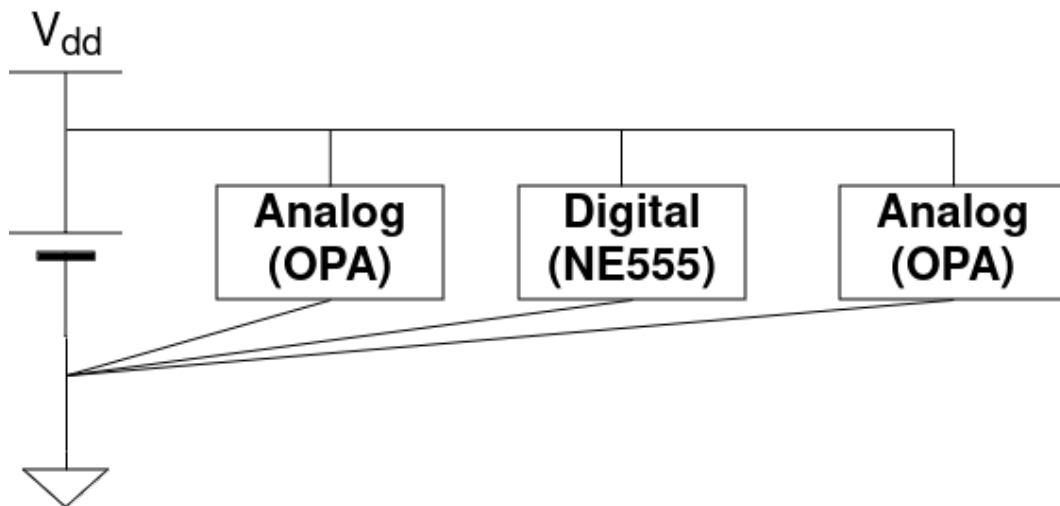
La figure ?? présente le schéma de la même maquette avec les mêmes

Figure 6 – *Schéma-bloc masse en cascade*



caractéristiques mais un routage de la masse en étoile.

Figure 7 – *Schéma-bloc masse en étoile*

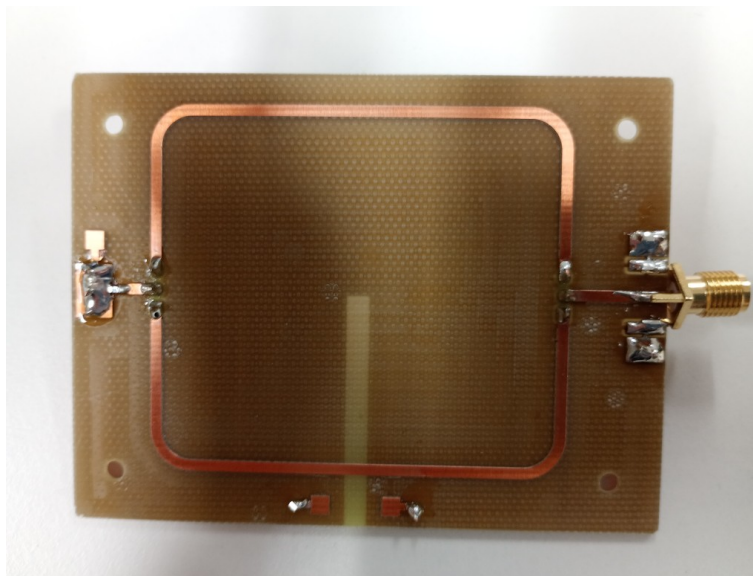


La troisième maquette est identique avec un routage des masses sous la forme de plan de masses.

Il est demandé dans les trois cas d'évaluer la chute de tension due au routage de la masse en continu, en fonction des la consommation et du routage. Il est aussi demandé d'étudier le comportement fréquentiel.

La quatrième maquette propose d'étudier les effet d'une masse avec une fente comparée à un plan de masse complet. Il est demandé dans ce cas d'étudier l'impédance des lignes ainsi que le rayonnement en champ proche et en champ lointain.

Figure 8 – *Vue de la carte masse avec fente*



3.2.3 Couplages

Dans cette partie, vous étudierez succinctement les couplages capacitif et inductif appliqués aux PCB. Les figures 9 et 10 présente les maquettes permettant d'étudier ces ddeux phénomènes.

Pour la partie couplage capacitif (9), il est demandé de mesurer le signal

reçu aux bornes de la résistance en fonction de la fréquence d'excitation de la ligne de couplage. Deux cas sont à étudier, avec ou sans ligne reliée à la masse (blindage).

La mesure de couplage magnétique sera faite sur la maquette présentée en figure 10.

Figure 9 – *Image de la maquette sur le couplage capacitif*



Figure 10 – *Image de la maquette sur le couplage inductif*

3.2.4 *Power Delivery Network*

Cette partie implique deux maquettes permettant de prendre en compte l'effet des capacités de découplage sur un circuit d'alimentation. Deux maquettes sont disponibles avec diverses capacités de découplage dans un cas traversantes (voir figure 11) et dans l'autre CMS (voir figure 12), ayant des valeurs respectives (du plus loin de la charge au plus proche) : $100\ \mu F$, $47\ \mu F$, $10\ \mu F$, $10\ \mu F$, $1\ \mu F$, $1\ \mu F$, $100\ nF$, $100\ nF$, $100\ nF$, $100\ nF$, $100\ nF$, $100\ nF$, $10\ nF$, $10\ nF$, $10\ nF$, $10\ nF$, $2\ pF$, et $2\ pF$. Chacun des condensateurs peut individuellement être connecté sur la ligne d'alimentation.

Il est demandé de mesurer l'impédance de la ligne d'alimentation en fonction de la fréquence et de l'ajout de capacités. Par ailleurs, une charge résistive permettra de faire varier le courant consommé, que soit en statique ou en dynamique (en fonction de la fréquence de commutation).

Figure 11 – *Vue de la maquette avec capacités traversantes*

Figure 12 – *Vue de la maquette avec capacités de surface*

3.2.5 *Signaux différentiels*

L'objectif de cette partie est d'étudier la susceptibilité électromagnétique des liaisons filaires. Deux systèmes doivent échanger des données à l'aide d'une liaison série mono-directionnelle (d'un Arduino vers un autre) avec un débit variable. Vous allez étudier deux configurations de transmission de données soit en mode commun soit en différentiel. Pour chacun des cas, vous mettrez en place un protocole expérimental

pour étudier les rayonnements induits et la sensibilité aux agressions électromagnétiques.

- Mode commun : La liaison entre les deux Arduino se fait à l'aide de deux fils, un pour la masse, l'autre pour les données. Deux cas seront testés sur une longueur de 2 m : fils droits et fils torsadés ;
- Mode différentiel : la liaison entre les deux Arduino se fait à l'aide de deux fils avec une information différentielle (non référencée par rapport à une masse commune). Pour cela, vous utiliserez un émetteur et un récepteur différentiel (respectivement ADN4662 et ADN4663).

3.3 Conception de la carte mère *Brunehaut*¹

Dans cette partie il est demandé de concevoir la carte mère du système comprenant la partie alimentation, le microcontrôleur, le capteur de température et la commande de la charge résistive.

Vous trouverez à l'adresse <https://aboe.plil.fr> un projet Kicad à compléter.

Le cœur du système est composé du microcontrôleur, de leds de signalisation, d'une interface série permettant de programmer le fonctionnement et de récupérer les données mesurées. Les données proviennent d'un capteur de température. L'actionneur est une charge résistive commandée par un Mosfet canal N de puissance.

La partie alimentation est composée de régulateurs linéaires permettant de délivrer les tensions négative et positive pour la partie RF et d'un régulateur *step up* pour alimenter le microcontrôleur en 3,3 V à partir

1. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Brunehaut_\(reine\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Brunehaut_(reine))

d'une source de tension de 1,2 V.

3.4 Programmation *Low Power*

Cette partie s'intéresse à la programmation basse consommation du système.

Dans un premier temps, il est demandé de mesurer la consommation du microcontrôleur en fonctionnement. Dans un second temps, il est demandé de mesurer la consommation du microcontrôleur dans les différents modes de veille, ainsi que le temps pour sortir de l'état de veille et revenir en fonctionnement normal.

Enfin, l'effet de la collecte et le transfert de données provenant de l'ADC directement à la mémoire RAM par DMA (*Direct Memory Access*) est à explorer.

3.5 Conception des circuits RF

Cette partie s'intéresse à la conception du récepteur BPSK. Il est demandé de concevoir, réaliser et caractériser quatre PCB :

- mélangeur RF;
- VCO;
- filtre à base d'amplificateur opérationnel;
- déphaseur $\pi/2$.

4 Caractérisation des différents modules sous-systèmes et systèmes

Voir fiches « Caractérisation amplificateur RF – (ZX60 – 43 – S+) », « Caractérisation antenne Yagi – (ANT – 4GYAG11) » et « Caractérisation VCO – (ZX95-900-S+) ».

- caractérisation de l’antenne ;
- caractérisation des composants mini-circuit (mélangeurs, VCO, ...).

5 Planning prévisionnel des activités

Le projet se déroule sur dix séances de quatre heures en face à face. Le planning prévisionnel des séances est disponible en table 1. Ce planning est donné à titre indicatif, vous êtes libres d’organiser globalement votre travail. Cependant, attention à respecter la possibilité d’accéder au matériel (modules RF mini-circuits, maquettes de TP, matériel de mesure spécifique (oscilloscope 1 GHz, analyseur de spectre, analyseur de réseau, générateur 1 GHz).

6 Rendus du projet

- dépôt git à jour et correctement organisé ;
- mesures des différents paramètres (image, courbes, tableaux de valeurs, ...);
- compte-rendu synthétique des éléments de conception et des résultats.

Table 1 – Planning prévisionnel des séances

Séance	Grp. TP1	Grp. TP2
1	Simulations SPICE et caractérisations des modules RF	Simulations SPICE
2	Simulations SPICE	Simulations SPICE et caractérisations des modules RF
3	Simulations SPICE et caractérisations des modules RF	Caractérisations CEM et conception PCB
4	Caractérisations CEM et conception PCB	Simulations SPICE et caractérisations des modules RF
5	Conception des PCB	Conception des PCB
6	Conception des PCB et système en modules Mini-circuits	Conception des PCB
7	Conception des PCB et système en modules Mini-circuits	Conception des PCB
8	Conception des PCB	Conception des PCB et système en modules Mini-circuits
9	Conception des PCB	Conception des PCB et système en modules Mini-circuits
10	Caractérisations RF du système	Caractérisations RF du système