TP6 - Filtre ADSL

Objectifs du TP :

- Concevoir un filtre respectant un cahier des charges.
- Exploiter un tableur pour choisir les composants d'un circuit RLC.
- Mesurer et interpréter le diagramme de Bode d'un filtre ADSL réel.
- Comparer les caractéristiques du filtre expérimental à celles du filtre théorique.
- Mettre en évidence la séparation de deux signaux de fréquences différentes.

I. Présentation du dispositif

Le terme ADSL signifie *Asymmetric Digital Subscriber Line*, que l'on peut traduire par « ligne numérique à débit asymétrique ». La technologie ADSL consiste à faire transiter sur la même ligne téléphonique, des données numériques et les conversations téléphoniques. Les utilisateurs de ligne ADSL sont en général davantage amenés à télécharger des informations plutôt qu'à envoyer des informations vers un site distant. Il a donc été décidé de favoriser le sens descendant de la communication au détriment du sens montant. C'est pour cela que l'ADSL est qualifié d'*asymétrique*.
La téléphonie classique utilise la bande de fréquences $[0\,;\,4]$ kHz, tandis que les données numériques occupent une bande comprise entre 25 kHz et 1,1 MHz.
Le signal ADSL transite sur le fil téléphonique au même titre que le signal téléphonique, et la cohabitation de ces deux types de signaux requiert l'installation de filtres destinés à séparer les fréquences respectives des deux flux.



- Le signal à destination de l'ordinateur arrive au modem, lequel extrait les données numériques du signal ADSL. Ces données sont ensuite transmises à l'ordinateur, par l'intermédiaire d'un câble Ethernet, d'un câble USB ou encore grâce à une liaison wifi.
- Le filtre ADSL placé entre la prise téléphonique et la fiche de connexion du téléphone, isole le signal téléphonique.

Le filtre ADSL doit aussi transmettre au poste téléphonique des impulsions de tarification transitant à la fréquence de 12 kHz.

II. Conception d'une solution de filtrage

Un filtre est conçu pour transmettre certaines fréquences et en atténuer d'autres. Les performances attendues peuvent être représentées par un **gabarit de filtrage**.
Sur un diagramme de Bode en gain, un gabarit définit les limites que doit respecter la réponse fréquentielle du filtre. Il permet notamment de distinguer :

- la bande passante, dans laquelle le signal doit être suffisamment transmis ;
- la bande atténuée, dans laquelle le signal doit être suffisamment affaibli ;
- la bande de transition, située entre les deux.

Le gabarit schématique du filtre ADSL est présenté sur la figure 1 suivante.

Dans cette partie, on cherche à concevoir un filtre RLC série dont la sortie est prise aux bornes du condensateur. Le tableur préparé lors du TP5 sera utilisé pour choisir les composants et vérifier les performances du filtre.

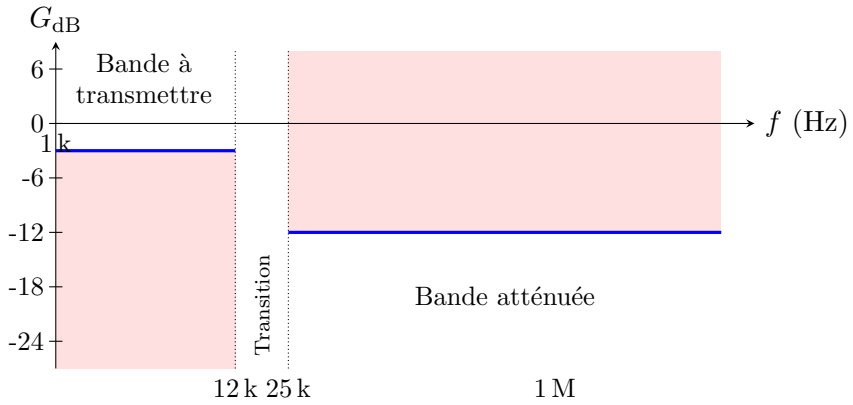


Figure 1 – Schéma du gabarit de gain du filtre ADSL simplifié. Les zones rouges correspondent aux gains interdits.

QP1. Rappeler la nature du filtre nécessaire.

QP2. La solution la plus immédiate pour réaliser un tel filtre est d'utiliser un dipôle RLC série dont la sortie est prise aux bornes du condensateur. Rappeler l'expression de sa fonction de transfert $\underline{H}$ et sa forme canonique en fonction de H_0, Q, ω_0 et ω.

Quelle est la pente asymptotique du diagramme de Bode en gain aux hautes fréquences ?

Rappeler l'expression de la fréquence propre f_0 et du facteur de qualité Q, en tenant compte de la résistance interne r_L de la bobine.

QP3. Quel est l'effet d'une augmentation du facteur de qualité Q sur l'allure du diagramme de Bode en gain ?

QP4. Pour $L = 40$ mH et $r_L = 20\ \Omega$, quelle valeur de C permettrait d'avoir f_0 proche de 12 kHz ? En déduire une valeur de Q qui permettrait de respecter le cahier des charges. En déduire une valeur pour R.

Dimensionnement d'un filtre ADSL simplifié

On souhaite réaliser un filtre passe-bas du second ordre à l'aide d'un circuit RLC série, dont la sortie est prise aux bornes du condensateur. Au laboratoire, les composants disponibles sont :

- Bobine : $L = 40$ mH et $r_L = 20\ \Omega$;
- Condensateurs (nF) : 2,2 ; 4,7 ; 6,8 ; 22 ; 47 ; 68 ; 220 ; 470 ; 680.
- Résistances (kΩ) : 2,2 ; 3,3 ; 4,7 ; 22 ; 33 ; 47 ; 220 ; 330 ; 470.

QM1. Ouvrir le tableur TP6 du filtre RLC préparé lors du TP5.

En faisant varier les valeurs de R et C parmi les composants disponibles, rechercher au moins deux associations permettant de respecter le gabarit imposé.

Pour chacune des solutions, relever les valeurs de R et C, la fréquence propre f_0, le facteur de qualité Q et les gains à 12 kHz et 25 kHz.

Comparer les deux solutions et justifier celle qui vous semble la plus adaptée.

III. Étude expérimentale du filtre ADSL réel

Dans la partie précédente, nous avons conçu un filtre passe-bas du second ordre à partir d'un circuit RLC série. Nous allons maintenant étudier un filtre ADSL réel, dont la structure est plus complexe que celle du modèle précédent.

La solution technique retenue dans la pratique est présentée sur la figure 2. Les contacts mâles 1 et 3 sont reliés à la prise murale. Le signal reçu est envoyé directement au modem via la prise RJ11. Le modem

extraira les données numériques. Le réseau RLC extrait le signal téléphonique. Le filtre est connecté aux contacts femelles 1 et 3 à une résistance de charge $R_u = 600\ \Omega$, représentant le poste téléphonique.
L'objectif est de mesurer son diagramme de Bode en gain et de vérifier s'il respecte le gabarit défini précédemment.

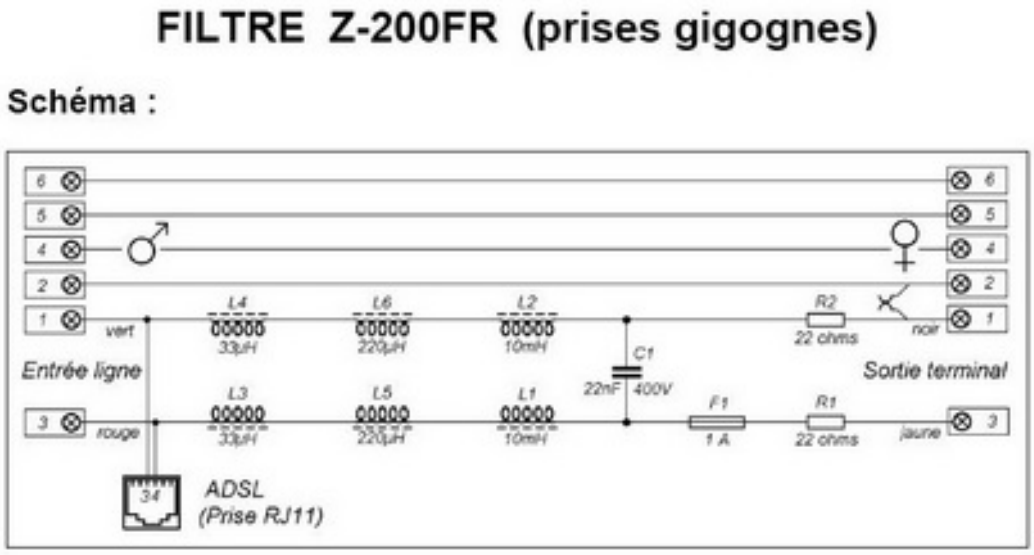


Figure 2 – Filtre ADSL réel

1. Mesure de la réponse fréquentielle

Connecter le GBF au cordon relié à l'entrée de ligne et connecter la boîte à décades réglée sur 600 Ω au cordon de sortie terminal comme sur la figure 3.
La tension de sortie du filtre sera mesurée aux bornes de la résistance de charge $R_u = 600\ \Omega$.
L'observation à l'oscilloscope de la tension aux bornes du GBF ne pose pas de problème : entre voie 1 et masse.
En revanche, comme les masses des deux voies de l'oscilloscope sont communes, il n'est pas possible de mesurer directement u_s en connectant les masses des sondes aux deux bornes de la résistance. La tension de sortie u_s sera donc affichée en mode différentiel.
Nous utiliserons donc la fonction du menu MATH `CH1-CH2` de l'oscilloscope pour obtenir la tension de sortie par différence entre deux tensions mesurées par rapport à une même masse.

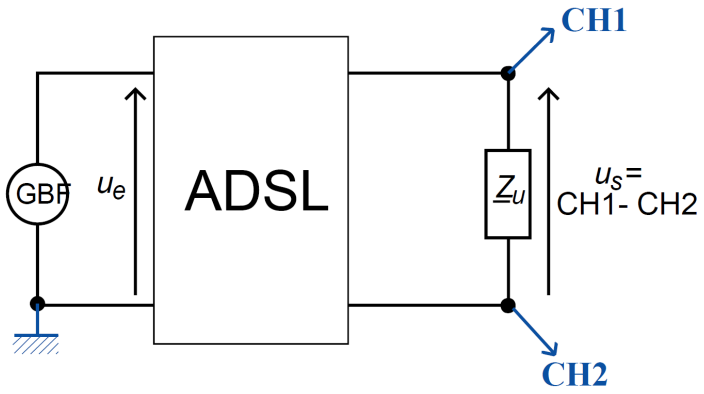


Figure 3

QM2.
- Pour différentes fréquences, relever l'amplitude crête à crête de la tension de **sortie**.
- Mesurer ensuite l'amplitude crête à crête de la tension d'**entrée** pour les **mêmes fréquences**.

Les mesures doivent couvrir suffisamment de décades pour mettre en évidence la bande passante, la bande de transition et la bande atténuée.

QM3. Exploitation du diagramme de Bode

À l'aide du tableur, tracer le diagramme de Bode en gain du filtre ADSL réel.

Comparer les mesures au gabarit de filtrage défini dans la partie II.

- Le filtre respecte-t-il les contraintes imposées ?
- Déterminer expérimentalement sa fréquence de coupure à -3 dB.
- Estimer la pente du gain aux hautes fréquences. Que peut-on en déduire concernant l'ordre du filtre ?
- Comparer les performances de ce filtre à celles du circuit RLC simplifié.

QM4. Identification d'un modèle du filtre ADSL

On cherche à représenter la réponse fréquentielle du filtre ADSL réel par le modèle canonique d'un filtre passe-bas du second ordre :

$$H(j\omega) = \frac{A_0}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j\frac{\omega}{Q\omega_0}}$$

Ouvrir l'onglet `ADSL Modélisation` du fichier fourni.

En faisant varier les paramètres A_0, Q et f_0, chercher à superposer au mieux la courbe du modèle aux points expérimentaux.

Relever les valeurs des paramètres obtenus.

Le modèle permet-il de représenter correctement le comportement du filtre sur l'ensemble de la plage de fréquences étudiée ?

Comparer les valeurs de Q et de f_0 à celles obtenues pour le filtre RLC simplifié.

IV. Mise en œuvre du filtre ADSL

1. Principe de la manipulation

Dans cette partie, on cherche à vérifier expérimentalement que le filtre ADSL permet de séparer les signaux téléphoniques des signaux numériques. Le montage final est présenté 4.

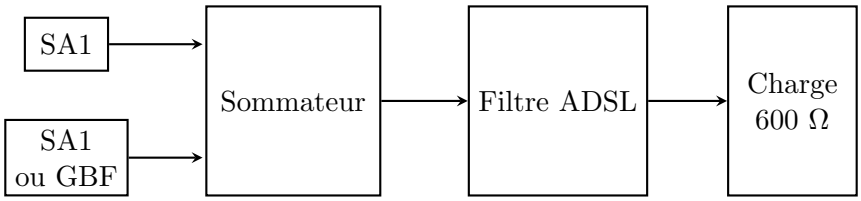


Figure 4 – Montage expérimental du filtre ADSL.

Pour cela, on utilise un sommateur à amplificateur opérationnel permettant de superposer deux signaux sinusoïdaux de fréquences différentes :

- un signal de fréquence 1 kHz, représentant la communication téléphonique, fourni par la sortie analogique SA1 de la rosace d'acquisition Eurosmart de Latis-Pro ;
- un signal de fréquence 40 kHz, représentant les données numériques, délivré par un GBF.

Le signal obtenu est appliqué à l'entrée du filtre ADSL. On compare ensuite les tensions avant et après filtrage.

La gestion des masses est identique à celle mise en œuvre précédemment :

- connexion directe des masses en amont du filtre ;
- visualisation des tensions en mode différentiel en aval du filtre.

Dans un premier temps, on testera le bon fonctionnement du sommateur (voir **QM5.** ci-dessous), puis on réalisera le montage complet (**QM6.**).
Les tensions seront visualisées et enregistrées à l'aide de Latis-Pro.

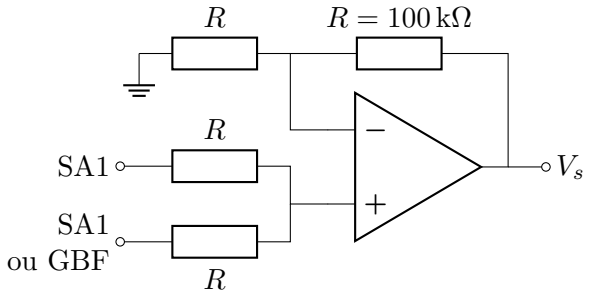


Figure 5 – Sommateur non-inverseur à amplificateur opérationnel.

2. Manipulations

QM5. Vérification du fonctionnement du sommateur

Réaliser le montage sommateur à amplificateur opérationnel de la figure 5.

Alimenter les deux entrées avec le même signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude 2 V, fourni par la sortie SA1 de la rosace Eurosmart de Latis-Pro.

Observer les tensions d'entrée et de sortie. Le montage réalise-t-il bien la somme des deux signaux ? Justifier.

QM6. Séparation de deux signaux par filtrage

Réaliser le montage complet associant le sommateur et le filtre ADSL de la figure 4.

Appliquer au sommateur deux signaux sinusoïdaux de même amplitude 2 V avec les fréquences :

- $f_1 = 1$ kHz (sortie SA1) ;
- $f_2 = 40$ kHz (GBF).

Observer et enregistrer la tension à l'entrée du filtre. Décrire son allure et expliquer les variations observées.

Observer ensuite la tension à la sortie du filtre, en utilisant une mesure différentielle.

Comparer les deux signaux. Le filtre remplit-il correctement son rôle ? Justifier à partir des résultats expérimentaux.