

RADIO FM

T.P. AMPLIFICATEUR F.I. COMPLET

Conditions :

- T.P. "Amplificateur différentiel de base" effectué.
- Travail en binôme en salle spécialisée.
- Ressources matérielles :
 - Maquette d'étude "Récepteur FM à TDA7088"
 - Générateur sinusoïdal jusqu'à 5MHz
 - Oscilloscope numérique avec fonction de mesure RMS

- ❶ :
- Les modes opératoires de chaque relevé seront décrits en détail.
 - Le fichier Excel "TP_Ampli_FI.xls" contient des tableaux de mesures vides et des graphes déjà paramétrés pour certains relevés de ce TP.

1. Préparation

Le schéma de l'amplificateur FI complet est donné à la fin de ce document. Il est constitué de 4 étages différentiels de base identiques mis en cascade pour obtenir un gain "petits signaux" suffisant. Chacun des étages est conçu pour que les tensions de repos à leurs entrée et sortie soient identiques, ce qui permet de se passer des circuits de polarisation pour les 3 derniers étages et/ou de condensateurs de liaison.

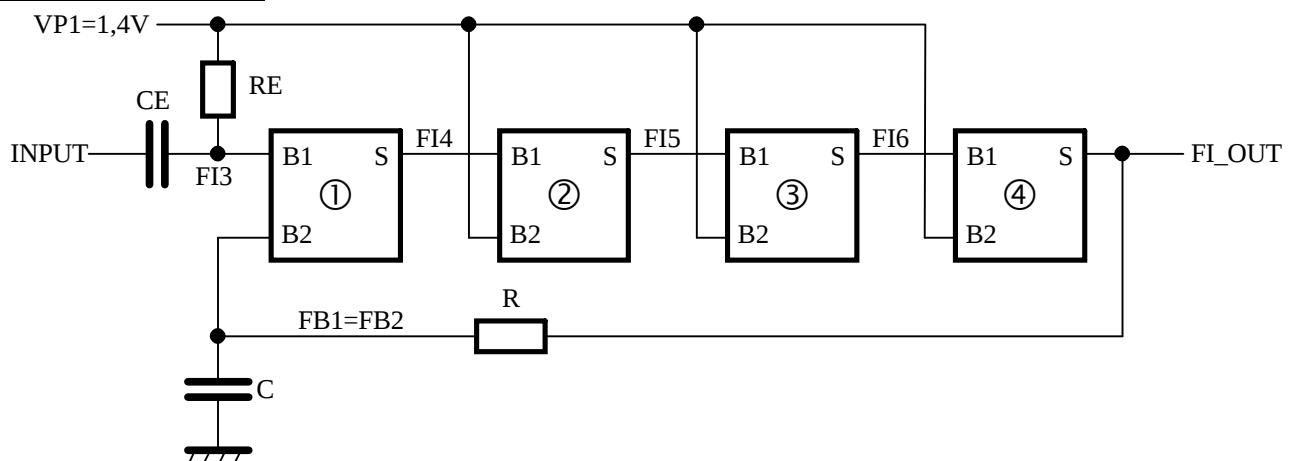
Le schéma structurel "Démodulateur FM 3/5" n'est pas exploité dans ce TP mais comporte le sélecteur SEL_DEM et le point test FI_OUT cités dans ce document et manipulés pendant le TP.

Lors de l'étude de l'amplificateur différentiel de base (TP précédent), l'optimisation du point de repos était réalisée manuellement. La structure utilisée dans l'ampli FI complet réalise cette opération automatiquement.

→ En utilisant les résultats expérimentaux du TP "Amplificateur différentiel de base", montrer que la mise en cascade de 4 étages de ce type polarisés par des ponts de résistances fixes entraînera probablement une mauvaise polarisation du (ou des) derniers étage(s).

La maquette d'étude permet la mise en œuvre de 2 structures de stabilisation des points de repos destinées à éviter ce défaut.

1.1 Structure 1 : ST1



Les schémas structurels des amplificateurs différentiels ① à ④ sont identiques à celui donné page 2 du TP "Amplificateur différentiel de base". L'entrée B1 correspond à la base du transistor de gauche (①:Q4, ②:Q7, ③:Q10, ④:Q13), l'entrée B2 à celle du transistor de droite (①:Q5, ②:Q8, ③:Q11, ④:Q14) et S à l'émetteur du transistor de sortie (①:Q6, ②:Q9, ③:Q12, ④:Q15).

- Les repères FI3, FI4, FI5, FI6, FI_OUT, FB1 et FB2 correspondent à des points test sur la maquette (boucles de test pour accrocher une sonde).
- RE permet de fixer le point de repos de l'entrée B1 de ① à VP1=1,4V. La chute de tension due au courant base de l'entrée B1 est négligeable.
- CE est un condensateur de liaison qui remplit parfaitement son rôle.

- R et C sont dimensionnés pour réaliser un filtre passe bas idéal, tel que : $V_{B2①} = V_{FI_OUT}$ moy avec une ondulation résiduelle négligeable.
- La tension de polarisation V_{P1} n'est pas appliquée directement aux bases B2 des étages ① à ④. On insère en fait des filtres passe bas de type R-C, mais on néglige les chutes de tension dues aux courants base.

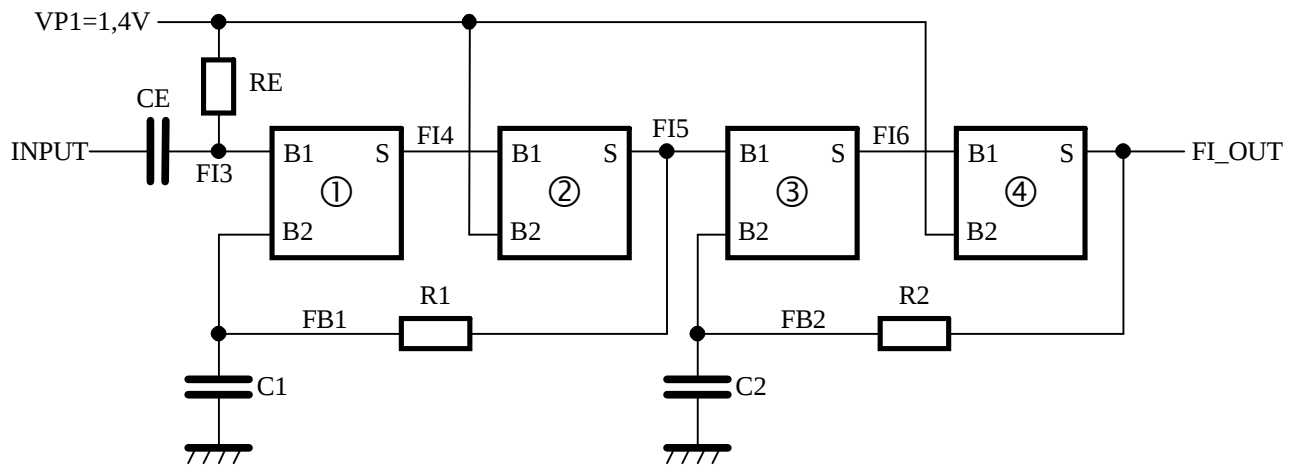
- Identifier les 4 étages sur le schéma structural en citant les transistors constitutifs.
- Donner les positions des sélecteurs SEL_FI , SEL_DEM (schéma 3/5), SEL_FB1 et SEL_FB2 pour :
 - que le signal appliqué sur la prise BNC "FI_IN" soit injecté, après atténuation, à l'entrée du 1^{er} étage,
 - que le point test "FI_OUT" permette de prélever le signal de sortie FI_OUT,
 - mettre en œuvre la structure ST1 représentée ci-dessus.
- Identifier les composants correspondants aux éléments CE, RE, R et C. Plusieurs composants peuvent constituer un seul de ces éléments.
- Montrer qualitativement que les tensions de sortie de chaque étage se stabilisent en régime établi à une valeur très proche de 1,4V, leur point de repos nominal.
- Dans le cas réel, les points de repos de chaque étage s'écartent légèrement des valeurs nominales. Quels sont les étages différentiels qui risquent d'être les plus déséquilibrés ?
- On suppose que chaque étage fonctionne en amplificateur à son point de repos nominal. De plus, on admet qu'ils sont tous identiques et on note Ad leur amplification "petits signaux". Dans ces conditions, calculer :

$$\bar{T}_{FI} = \frac{\bar{V}_{FI_OUT}}{\bar{V}_{INPUT}} \text{ en régime harmonique en fonction de } Ad, R, C \text{ et la fréquence.}$$

On tiendra compte de l'influence de la cellule R-C, mais C_E remplit parfaitement son rôle.

- Dessiner alors le diagramme de Bode asymptotique.
- Proposer une valeur de la constante de temps $\tau = R.C$ permettant d'obtenir une fréquence de coupure basse de 1000Hz. On prendra $Ad = 18$.
Note : le résultat impose une capacité de C de valeur excessive, incompatible avec la miniaturisation du récepteur.
- Calculer le gain théorique maximum de l'amplificateur FI complet. Comment cette caractéristique est-elle modifiée si les étages différentiels ne sont pas parfaitement équilibrés ?

1.2 Structure 2 : ST2



- Donner les positions des sélecteurs SEL_FB1 et SEL_FB2 pour mettre en œuvre la structure ST2 représentée ci-dessus.
- Identifier les composants correspondants aux éléments R1, C1, R2 et C2.
- En exploitant les résultats précédents, calculer les valeurs des constantes de temps $R1.C1 = R2.C2$ pour obtenir la même bande passante. Constaté qu'elles sont nettement plus faibles.
- Montrer que les risques d'obtenir des points de repos incorrects sont réduits par rapport à la structure ST1.

2. Mesures des points de repos

- Se reporter aux schémas structurels 2/5 et 3/5 fournis.
- Sélecteurs SEL_FI en position 2-3 et SEL_DEM en position 1-2.

Il s'agit de tester les 2 structures de stabilisation du point de repos.

2.1 Structure ST1

Préparation :

- Positionner les sélecteurs SEL_FB1 et SEL_FB2 pour mettre en œuvre la structure ST1.
- Alimenter la maquette par une source de 9V environ ($\pm 1V$) via les douilles ALIM+ et ALIM- (0V). La led "ALIM" doit s'allumer, par contre, il faut éteindre la led "7088_ON" avec l'interrupteur "ON_7088".
Pour limiter les effets néfastes de l'oscillateur local sur les mesures, celui-ci sera inhibé en basculant l'interrupteur "EN_OL" vers l'arrière.

Mesures :

- Mesurer avec précision les tensions de repos aux points test FI3, FI4, FI5, FI6, FI_OUT, FB1 et FB2.
Les reporter en vert sur le schéma structurel.
Conclure sur l'équilibre de chaque étage différentiel et des risques potentiels de déséquilibre.
- Relever les chronogrammes des signaux FI_OUT et FB2 à la mise sous tension.
Expliquer les résultats obtenus.

2.2 Structure ST2

Préparation :

- Positionner les sélecteurs SEL_FB1 et SEL_FB2 pour mettre en œuvre la structure ST2.

Mesures :

- Mesurer avec précision les tensions de repos aux points test FI3, FI4, FI5, FI6, FI_OUT, FB1 et FB2.
Les reporter en bleu sur le schéma structurel.
Conclure sur l'équilibre de chaque étage différentiel et des risques potentiels de déséquilibre.
- Relever les chronogrammes des signaux FI_OUT et FB2 à la mise sous tension.
Expliquer les résultats obtenus.

3. Réponse en fréquence "petits signaux"

Ces mesures sont délicates car le gain de l'amplificateur FI est très élevé (90dB environ). Pour éviter l'écrêtage des derniers étages, il faut injecter des niveaux d'entrée très faibles. Les générateurs de fonction de laboratoire en sont incapables.

La maquette d'étude est donc équipée d'un atténuateur résistif adapté 50 Ω , entre la prise BNC "FI_IN" et l'entrée de l'amplificateur FI.

- Identifier les composants de l'atténuateur.
- Calculer l'impédance d'entrée sur FI_IN. Justifier cette valeur.
- Calculer l'atténuation en dB du signal utile entre la prise BNC "FI_IN" et FI3. On admet que le condensateur C36 remplit parfaitement son rôle.

3.1 Structure de stabilisation du point de repos ST1

- Positionner les sélecteurs SEL_FB1 et SEL_FB2 pour mettre en œuvre la structure ST1.
- Réaliser le montage de mesure suivant :
 - Générateur de fonction câblé sur FI_IN. Pour atteindre les 5 MHz, utiliser si besoin un générateur radiofréquence.
 - Oscilloscope numérique :
 - Voie 1 : sur le générateur de fonction via un câble coaxial et un T-BNC. Couplage AC.
 - Voie 2 : sur FI_OUT via une sonde 1/10. Couplage AC.
 - Synchronisation externe : sur sortie "synchro" du générateur de fonction.
 - Fonctions mesure : RMS sur voies 1 et 2, fréquence sur voie 1.
- Régler le générateur sur 70kHz et observer les signaux d'entrée et de sortie.
Ajuster l'amplitude de la source pour obtenir un niveau de sortie de 400mVeff à 500mVeff et ainsi éviter l'écrêtage.

Le niveau du **bruit** est très élevé. Ceci est tout à fait normal compte tenu du gain et de la bande passante de l'amplificateur FI.

Pour extraire la composante utile (de fréquence 70kHz) du bruit, on utilise la fonction "**moyennage**" (average) de l'oscilloscope. Le bruit étant par définition aléatoire, sera fortement atténué par cette fonction de mesure.

- Activer cette fonction et régler le paramètre (nombre d'acquisitions pour calculer la "moyenne" de chaque échantillon) à une valeur offrant un bon compromis entre l'atténuation du bruit et le temps de calcul.
Attention : l'efficacité de cette fonction est directement liée à la qualité de la synchronisation de l'oscilloscope sur le signal à isoler. Dans ce but, choisir la source externe, le mode "normal" et ajuster le seuil à une valeur adéquate.
Par ailleurs, la fonction "moyennage" ne donne des résultats exploitables que si le signal réel (sans moyennage, donc avec le bruit) **ne sort pas des limites de l'écran**.

- Relever la réponse en fréquence entre 1kHz et 5MHz. Aux fréquences limites, on peut augmenter le niveau injecté pour compenser la baisse de gain, mais il faut éviter absolument l'écrtage du signal de sortie. Utiliser la fiche "Relevés" et le tableau correspondant dans "TP_Ampli_FI.xls".
- En déduire le gain maximum $G_{FI \max}$ et la bande passante "petits signaux" BP_{FI} .

3.2 Structure de stabilisation du point de repos ST2

- Positionner les sélecteurs SEL_{FB1} et SEL_{FB2} pour mettre en œuvre la structure ST2.
- Relever, avec la même méthode, la réponse en fréquence "petits signaux" de l'amplificateur entre 1kHz et 5MHz. Utiliser la fiche "Relevés" et le tableau correspondant dans "TP_Ampli_FI.xls".
- Expliciter les écarts constatés avec la structure précédente.
- En déduire le gain maximum et la bande passante.
- Evaluer le rapport signal/bruit du signal V_{FI_OUT} pour un niveau de sortie "utile" de 500mVeff environ (mesurer les valeurs efficaces de ces composantes).

4. Courbes de linéarité

Il s'agit ici de tester le comportement de l'amplificateur à un niveau d'entrée variable et à la fréquence nominale de 70kHz. On utilise la **structure de stabilisation du point de repos ST2**.

Le mode opératoire est pratiquement le même que celui du §3 car le bruit est toujours fortement présent pour les faibles niveaux.

- Mesurer les niveaux absolus d'écrtage et l'amplitude crête à crête de V_{FI_OUT} à l'oscilloscope.
- Mesurer la valeur moyenne $V_{FI_OUT \text{ moy}}$ de V_{FI_OUT} en l'absence de signal d'entrée. Montrer que cette valeur moyenne est pratiquement indépendante du niveau d'entrée (0V à 1Veff sur le générateur).

- Relever les courbes de linéarité $G_{FI} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{V_{FI_OUTeff}}{V_{FI3eff}} \right) = f(V_{FI3eff})$ et $V_{FI_OUTeff} = f(V_{FI3eff})$

Le niveau d'entrée $V_{FI_IN \text{ eff}}$ sera réglé entre 0V et 1V.

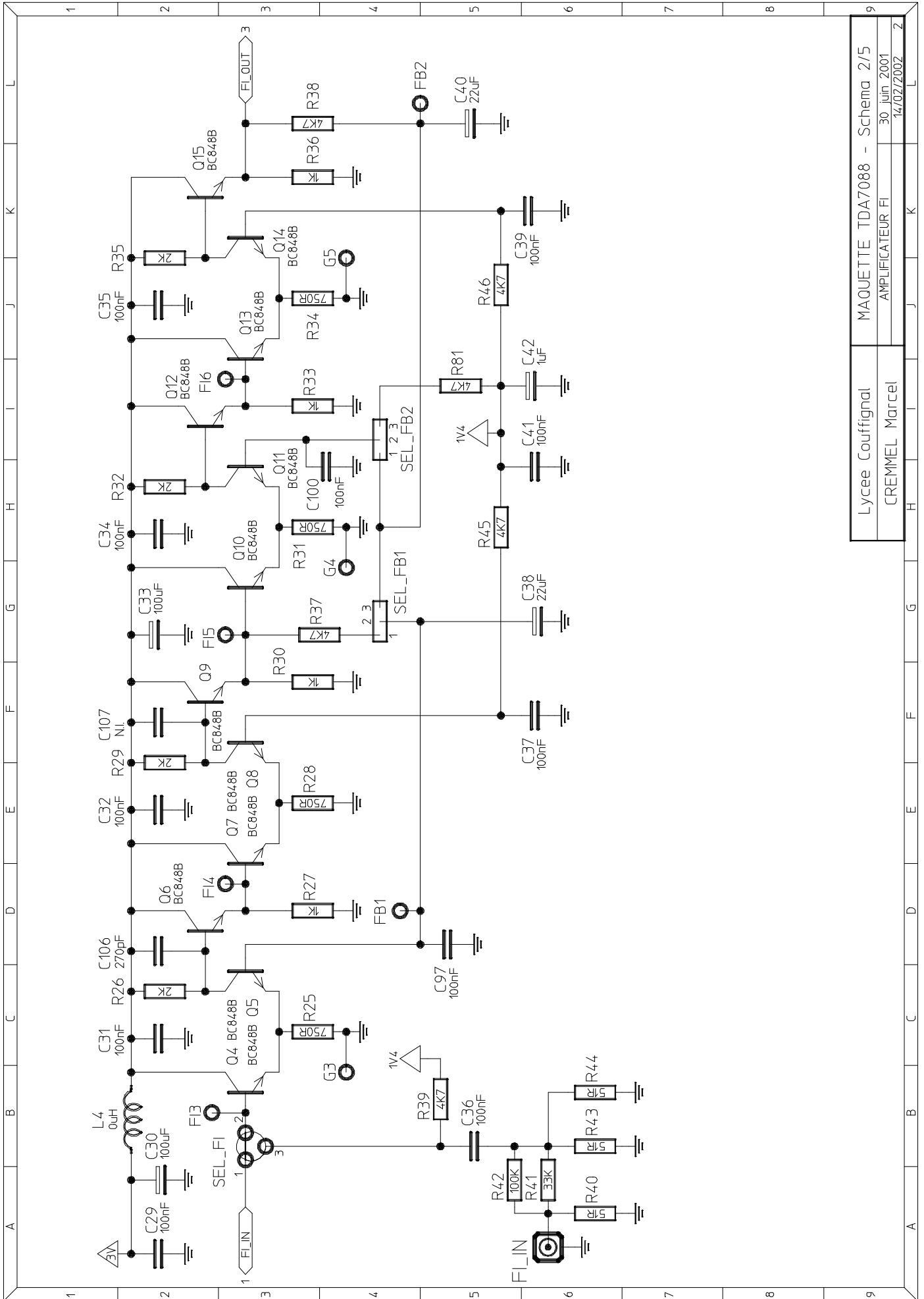
Utiliser le tableau correspondant dans la fiche "Relevés" du fichier "TP_Ampli_FI.xls".

Attention : les valeurs efficaces citées ne tiennent pas compte des éventuelles composantes continues.

5. Conclusion

Il s'agit de déduire des relevés effectués les caractéristiques principales caractéristiques de l'amplificateur FI.

- Gain maximum "petits signaux" : $G_{FI \max}$
- Bande passante "petits signaux" : BP_{FI}
- Amplitude crête à crête max du signal de sortie : $V_{FI_OUT \text{ C-C max}}$
- Seuil d'écrtage : $V_{FI3 \text{ seuil}}$



Récepteur FM – TP Amplificateur F.I. complet

