# **RADIO FM** SIMULATION DU DÉMODULATEUR FM

Conditions :

- Travail individuel sur PROTEL 99 SE.
- Les schémas de simulation sont fournis.

#### (i) : • Les conditions de simulation (réglages des sources, paramètres de simulation, ...) seront décrits en détail.

## 1. Schéma fonctionnel

La fonction F6 du récepteur réalise la démodulation FM du signal FI\_OUT en sortie de l'amplificateur FI. Seule la fréquence  $F_{FI}$  de ce signal est porteuse de l'information utile. Dans des conditions normales d'utilisation du récepteur (accord sur une station suffisamment puissante), le signal FI\_OUT a les caractéristiques suivantes :

FI\_OUT :

- Forme : carrée, rapport cyclique <sup>1</sup>/<sub>2</sub>, temps de commutation : 100nS environ
  - Niveaux : haut : +2,3V environ bas : +0,5V environ
    - moyen : +1,4V environ
- Fréquence  $\mathbf{F}_{\mathbf{FI}}$ :  $\mathbf{F}_{\mathbf{FI0}}$ : fréquence centrale = 70kHz

 $\Delta F$ : excursion de fréquence : normalement toujours inférieure à 25kHz, la fréquence du signal modulant étant comprise entre 20Hz et 15kHz.

Dans des conditions de réception médiocre (station reçue très faible), on peut admettre que la forme du signal FI\_OUT est sinusoïdale et de valeur moyenne 1,4V. Toutefois, dans ces conditions, le mauvais rapport signal/bruit ne permet pas d'obtenir un signal démodulé de qualité satisfaisante.

Sur la maquette d'étude, la fonction démodulation est réalisée par 2 fonctions secondaires comme le montre le schéma ci-dessous.



Les points test FI\_OUT, DEPHA et DEMOD et le sélecteur SEL\_DEM se retrouvent sur le schéma structurel fourni.

→ Les simulations proposées ont pour objectif de caractériser et valider les structures électroniques utilisées pour réaliser ces 2 fonctions.

## 2. F6.1 : Déphasage en fonction de la fréquence

Le schéma de simulation est reproduit ci-dessous. L'amplificateur opérationnel TLC272C a été remplacé par un MAX474 (puis un MAX492 : voir texte) pour des raisons de disponibilité des modèles de simulation sous PROTEL.

Paramètre	MAX474	MAX492
Excursion de tension d'entrée de mode commun	$V_{\rm EE}$ – 0,1V à $V_{\rm CC}$ – 1,9V	$V_{\rm EE} = -0,25V$ à $V_{\rm CC} + 0,25V$
Excursion de la tension de sortie à vide	$V_{\rm EE}$ + 0,05V à $V_{\rm CC}$ - 0,05V	$V_{EE}$ + 0,04V à $V_{CC}$ - 0,04V
Fréquence de coupure $F_C$ ( $R_L$ =100kΩ, $C_L$ =15pF)	12MHz	500kHz
Slew rate S ( $R_L=100k\Omega$ , $C_L=15pF$ )	17V/µS	0,2V/µS

#### Caractéristiques principales de ces 2 amplificateurs opérationnels :

 $V_{EE}$  et  $V_{CC}$  sont les tensions d'alimentation basse et haute de l'AOp.



## 2.1 Point de repos

- → Lancer PROTEL et ouvrir le projet "Démodulateur" en cliquant sur : "D:PROTEL\TS1ELA\RADIO\_FM\Démodulation\Démodulateur.ddb". Fermer tout autre projet éventuellement ouvert. Le cas échéant, cliquer sur le bouton "agrandir" de la fenêtre du projet.
- → Ouvrir le schéma "Déphaseur" et agir sur le zoom pour améliorer la lisibilité.
- → "Double-cliquer" sur la source V\_FI et visualiser l'onglet "Parts Fields". Régler le paramètre "DC magnitude" (composante continue du point de repos) à la valeur adéquate.
- → Activer la fenêtre de définition des paramètres de simulation : "Simulate/Setup". Ne cocher que l'analyse "Operating Point". Vérifier la sélection de "Active Signals" dans le menu "Collect Datas For" et de "Active Project" dans le menu "Sheets to Netlist". Les signaux sélectionnés doivent être DEPHA, FI\_OUT, UIAM et UIAP. Cocher "Keep last setup".
- → Lancer l'analyse (bouton "Run Analyses" dans la fenêtre "Analyses Setup" ou icône I dans la partie supérieure).
- → Noter les points de repos obtenus pour les signaux sélectionnés. Expliciter ces résultats.

## 2.2 Analyse en régime harmonique (AC)

- → Editer la source V\_FI et visualiser l'onglet "Parts Fields". Régler le paramètre "AC magnitude" à IV.
- → Activer la fenêtre "Analyses Setup" et cocher l'analyse "AC". Cliquer sur l'onglet associé et vérifier les réglages suivants : fréquence début = 20kHz, fréquence fin = 120kHz, "Sweep type : linear" et nombre de points de calcul = 1000.
- $\rightarrow$  Lancer la simulation et visualiser les résultats de l'analyse AC.
- → Cacher tous les tracés par défaut (bouton "Hide" dans l'onglet "Browse SimData").
- → Créer un nouveau tracé : "New" / Expression : "depha/phi\_out" en "Single Cell".
- → Pour représenter le diagramme de Bode complet : menu "<u>V</u>iew/<u>S</u>caling …", choisir axe Y primaire "magnitude in dB" et axe Y secondaire "phase in degrees".
- → On associe souvent le qualificatif "passe-tout" à cette structure. Justifier cette expression.

avec

 $\rightarrow$  On admet que le déphasage est linéaire entre 50kHz et 90kHz. Calculer la valeur du coefficient K $\phi_1$  dans la formule :

φ : déphasage de DEPHA par rapport à FI\_OUT en degrés

#### Exploitation des signaux FI\_OUT et DEPHA

 $\phi = -90^{\circ} + K\phi_1.(F_{FI} - 72)$ 

Il s'agit d'analyser le principe de fonctionnement de la fonction F6.2. Dans un premier temps, on admet que les signaux FI\_OUT et DEPHA sont sinusoïdaux et déphasés de  $\phi$ .

F<sub>FI</sub> : fréquence de FI\_OUT en kHz

- $\rightarrow$  Représenter le déphasage  $\phi$  dans les chronogrammes du **document réponse DR1**.
- $\rightarrow$  Les signaux logiques A et B sont les résultats des comparaisons des signaux respectifs FI\_OUT et DEPHA avec un niveau de 1,4V. Représenter les chronogrammes des signaux A et B.
- → Le signal logique S est le résultat de l'opération logique  $A \oplus B$ . Représenter ce signal. En déduire les relations qui lient sa fréquence  $F_s$  et son rapport cyclique CY<sub>s</sub> avec la fréquence  $F_{FI}$  du signal FI\_OUT, comprise entre 50kHz et 90kHz:

$$F_{S}=k.\;F_{FI}\;\;et\;\;CY_{S}=CY_{0}+K_{CY}.(\;F_{FI}-72)\;\;avec\;F_{FI}\;en\;kHz$$

## 2.3 Analyse en régime transitoire

Le signal FI\_OUT a maintenant la forme et les niveaux donnés au début du sujet.

- → Régler les paramètres de la source V\_FI pour obtenir un stimuli proche du signal FI\_OUT réel et de fréquence 70kHz. Régler le paramètre "Time Delay" à 10µS.
- → Activer la fenêtre "Analyses Setup" et cocher l'analyse "Transient". Cliquer sur l'onglet associé et vérifier les réglages suivants: décocher "Always Set Defaults", "Start Time: 0", "Stop Time: 60µS", "Step Time" et "Maximum Step": 10nS.
- $\rightarrow$  Lancer la simulation et visualiser les résultats en représentant les chronogrammes des signaux FI\_OUT et DEPHA entre 10µS et 40µS. Insérer la constante 1,4V dans DEPHA. Privilégier l'échelle du signal DEPHA.
- → Imprimer les résultats obtenus pour les fréquences 40kHz, 70kHz et 100kHz en mode "portrait" et en laissant de la place pour dessiner à la main 3 signaux logiques complémentaires.
- $\rightarrow$  Dessiner les signaux logiques A, B et S sur les 3 documents avec les mêmes règles qu'au paragraphe 2.2.
- → Montrer que la durée  $T_{RI}$  à l'état "1" de S en régime établi est pratiquement indépendante de  $F_{FI}$ . En déduire les nouvelles valeurs des coefficients k,  $CY_0$  et  $K_{CY}$  des relations qui lient sa fréquence  $F_s$  et son rapport cyclique  $CY_s$  avec la fréquence  $F_{FI}$  du signal FI\_OUT. Comparer avec les résultats obtenus en régime harmonique.
- → Remplacer l'AOp par un MAX492. Reprendre la simulation pour 70kHz et expliquer le résultat obtenu.

## 3. F6.2 : détection du déphasage

Cette fonction réalise en fait les opérations de comparaison et la fonction logique "OU exclusif" cités précédemment pour produire les signaux A, B et S des questions précédentes.

On utilise pour ce faire la traditionnelle structure de Gilbert.



Schéma de simulation

Le bloc à gauche représente la structure du déphaseur, avec sa source V\_FI.

Les sources continues Vcc\_GIL1, Vcc\_GIL2 et Vcc\_GIL3 polarisent les transistors de façon à assurer l'effet "transistor" pour chacun d'eux. Les résistances R53 et R50 atténuent le signal DEPHA car son amplitude appliquée directement pourrait perturber le fonctionnement des étages différentiels.

La source continue Vdecal de 1,6V décale la composante continue du signal DEPHA de 1,4V à 3V avant de l'appliquer sur les bases de Q18 et Q21. Cette source remplace en fait le condensateur C44 qui joue le même rôle, mais en évitant ainsi la phase transitoire de charge de celui-ci.

#### 3.1 Analyse de la structure

On idéalise le fonctionnement des 3 étages différentiels constituant la cellule de Gilbert. Par exemple, pour l'étage Q16-Q17 :

- Si FI\_OUT > Vcc\_GIL3  $\Rightarrow$  IC<sub>Q16</sub> = I0 et IC<sub>Q17</sub> = 0A

- Si FI\_OUT < Vcc\_GIL3  $\Rightarrow$  IC<sub>Q16</sub> = 0A et IC<sub>Q17</sub> = I0

En utilisant le signal logique A, résultat de la comparaison entre FI\_OUT et 1,4V (voir 2.2), on obtient :

 $IC_{016} = A \bullet I0$  et  $IC_{017} = \overline{A} \bullet I0$ 

 $\rightarrow$  Reprendre ce raisonnement pour les 2 autres étages différentiels pour en déduire :

$$IC_{Q19} = f(A, B, I0)$$
 et  $IC_{Q21} = f(A, B, I0)$ 

et finalement 
$$IC_{Q19} + IC_{Q21} = f(A, B, I0)$$
 ou  $f(S, I0)$ 

→ Quel est le rôle du condensateur C50 ? En admettant sa parfaite réalisation et en utilisant les résultats de l'avantdernière question du paragraphe 2.3, calculer les relations littérales (en fonction de Vcc\_GIL2,  $T_{RI}$ , I0 et R56) permettant de calculer la valeur  $V_{DEM0}$  et le coefficient  $K_D$  de la relation ci-dessous :

 $DEMODmoy = V_{DEM0} + K_D$ . (F<sub>FI</sub> - 72) avec F<sub>FI</sub> en kHz

 $\rightarrow$  Calculer les valeurs numériques de V<sub>DEM0</sub> et K<sub>D</sub>.

## 3.2 Simulation de la structure

→ Ouvrir le schéma "Gilbert" et agir sur le zoom pour améliorer la lisibilité.

- → Activer la fenêtre "Analyses Setup" et sélectionner les signaux B18, DEMOD, DEPHA, FI\_OUT, Q16(ic), Q17(ic), Q19(ic) et Q21(ic). Sélectionner l'onglet "Transient" et régler les paramètres comme suit : "Start Time = 0", "Stop Time = 700µS", "Time Step" et "Maximum Step = 50nS" (pour obtenir des temps de calcul raisonnables).
- $\rightarrow$  *Régler*  $F_{FI}$  à 70kHz et lancer la simulation (attention : quand la fenêtre "Gilbert" est active).
- → Représenter les signaux dans un ordre logique. Expliquer le phénomène transitoire observé. Montrer que le fonctionnement simulé est proche du comportement attendu.
- → Imprimer les dernières périodes des chronogrammes (on admet que c'est le régime établi) pour  $F_{FI} = 40kHz$ , 70kHz et 100kHz.
- $\rightarrow$  Conclure

# Récepteur FM – Simulation du démodulateur FM



