

M23 : MISE EN FORME, TRANSPORT ET DÉTECTION DE L'INFORMATION

Idées directrices à faire passer

- il faut montrer les éléments d'une chaîne de transmission de l'information
- la modulation FM doit être le cœur du montage

Commentaires du jury

—

Bibliographie

- [1] Expériences d'électronique, Duffait, Bréal
- [2] Traitement des signaux et acquisition de données, Cottet, Dunod

Introduction : le multiplexage sert d'intro

I Modélisation d'une ligne de transmission complète

L'objectif de cette partie est d'illustrer qualitativement sur un exemple les 3 points du titre !

1 Mise en forme

- maquette ENSC 355, haut parleur ENSC 441
- délivrer deux signaux (deux GBF un la 440Hz et un la 880Hz)
- régler l'offset des diodes pour qu'elles émettent dans leur plage linéaire
- lentille de 100 en sortie et assurer un faisceau parallèle
- envoyer sur un réseau 1200traits/mm puis refocaliser avec lentille de 100
- photodiode amplifiée
- utiliser un HP avec ampli interne (attention, il faut un adaptateur NBC->jack)
- on parle alors mise en forme : modulation de l'intensité optique (donc en amplitude) de deux photodiodes de couleurs différentes (porteuses de fréquences différentes)

2 Transport

- multiplexage (lumière polychromatique en sortie) : on a conditionné le signal pour son transport
- ici, c'est un transport libre mais on pourrait imaginer une technologie guidée : fibre optique

3 Détection

- l'étage démultiplexage permet de sélectionner la porteuse désirée
- ici, un réseau permet de séparer spatialement le mode 1 en fonction de la longueur d'onde
- il suffit alors de placer la photodiode sur le bon point lumineux pour entendre l'un des deux signaux !
- on modélise ainsi l'ensemble de la ligne de transmission

II Transmission par modulation de fréquence : caractérisation indépendante des éléments

1 Caractérisation du signal

1.1 Spectre du signal

- présenter rapidement la théorie : forme d'un signal modulé en fréquence
- utiliser un GBF en modulation de fréquence
- se placer d'abord à très basse fréquence (1Hz) de modulation et observer directement sur le signal temporel l'effet de la modulation : la sinusoïde "bat" : repérer l'excursion en fréquence

- passer en FFT et analyser le signal obtenu : mise en évidence des pics FFT et retrouver les grandeurs caractéristiques : fréquence centrale qui est la fréquence porteuse, écart entre pics qui est la fréquence de modulation, l'excursion influe sur l'amplitude des pics

1.2 Bande de Carson

- il est évidemment très important de connaître l'encombrement spectral d'un signal (place qu'il occupe dans la bande passante)
- définir la bande de Carson (98% de la puissance spectrale contenue) et donner sa valeur théorique
- vérifier expérimentalement que cela marche
- la méthode est de calculer la puissance de l'ensemble des pics de puissance significative et de regarder combien il faut de pics dans ces derniers pour atteindre 98% de la puissance
- la puissance d'un pic est proportionnelle à $10^{V_{dB}/10}$

2 Détection du signal : la boucle à verrouillage de phase

Sans la fréquence de la porteuse, la démodulation est délicate. C'est tout l'objet de la PLL que de récupérer cette fréquence par verrouillage d'un oscillateur sur celle-ci.

2.1 Comparateur de phase

- on peut rapidement évaluer le facteur de conversion du multiplieur (égal normalement à 1/10)
- choisir un filtre de fréquence de coupure raisonnable (5-10kHz)
- utiliser deux GBF locked-phase (à 10kHz par exemple) et mesurer la tension de sortie en fonction du déphasage entre les signaux
- la théorie donne évidemment une dépendance en $\cos(\Phi_2 - \Phi_1)$ qu'on vérifiera

2.2 Oscillateur contrôlé en tension (OCT)

- utiliser les générateurs Thandar comme OCT
- calculer le coefficient de conversion tension/fréquence de l'OCT en envoyant au GBF une tension constante
- noter la plage sur laquelle l'OCT "suit"

2.3 PLL : plage de capture et de verrouillage

- cette fois on boucle la PLL et on constate les plages de fonctionnement (capture et verrouillage)
- dans un premier temps, on envoie simplement une sinusoïde au GBF sur une entrée du multiplieur et on constate les plages de verrouillage et de capture
- les noter explicitement et comparer les valeurs numériques aux valeurs attendues : la plage de capture est liée à la coupure du filtre (elle doit être sensiblement égale), la plage de verrouillage est liée à la capacité à fournir une tension suffisante à l'entrée de l'OCT (ici, l'OCT n'est pas limitant et ne sature pas, on pourra le vérifier). Cette tension maximale (cas où le cosinus vaut ± 1) donne la fréquence maximale de balayage du Thandar hors de sa distance centrale
- pour tester plus facilement (et visuellement) les différents paramètres, on peut faire un joli montage :
- utiliser un GBF pour obtenir un signal triangle à la fréquence 1Hz (10V_{pp}, c'est important car sinon on ne balaye pas vraiment la fréquence affichée sur le second GBF...). envoyer ce signal en y1 de l'oscillo
- ce triangle arrive en Mod in du second GBF qui délivre un signal modulé en externe (prendre une plage de modulation de 40kHz par exemple)
- afficher en y2 de l'oscillo le signal de sortie du comparateur de phase
- en mode xy et avec persistance on observe la plage de capture et de verrouillage sur le balayage en fréquence (puisque x est proportionnel à la fréquence)
- on peut alors changer les paramètres du filtre et constater la variation de la plage de capture (changer C et non R pour ne pas modifier le pont diviseur avec l'entrée du Thandar) et changer les amplitudes des signaux pour constater la variation de la plage de verrouillage
- mais il est difficile d'être quantitatif, car il semble qu'on ne peut pas vraiment être certain qu'on module effectivement sur une plage de 40kHz

III Transmission par modulation de fréquence : étude en fonctionnement

1 Fonctionnement en démodulation sur un signal

- se placer dans une configuration signal radio classique au niveau des fréquences
- pour expliquer ce que l'on voit, il faut présenter le calcul (qui n'est pas vraiment donné dans les livres) :

$$f_s(t) = f_0 + K_0 U(t) = f_p + m(t)$$

avec $f_s(t)$ la fréquence instantanée du signal modulée (et de sortie du Thandar sur la plage accrochée), f_0 la fréquence centrale du Thandar, K_0 le facteur de conversion tension/fréquence du Thandar, f_p la fréquence de la porteuse, $m(t)$ le signal modulé et $U(t)$ la tension en sortie du comparateur de phase (celle qu'on regarde)

- on a alors :

$$U(t) = \frac{f_0 - f_p}{K_0} - \frac{1}{K_0} m(t)$$

- on a donc un signal contenant le signal de modulation ! c'est gagné
- constater que quand $f_0 \neq f_p$, l'offset est non nul
- changer la fréquence de porteuse et constater les plages de verrouillage et de capture (plus faibles sur un signal modulé !)
- évaluer la bande de Carson et constater que si elle est supérieure à la plage de verrouillage, le système ne fonctionne plus
- enfin, constater que si le filtre est trop haute fréquence, il est évidemment plus rapide (en réponse à un créneau par exemple), mais il laisse également passer plus d'harmoniques et on peut observer des modulations résiduelles parasites -> nécessité d'un compromis !

2 Multiplexage : sélection d'un canal par choix de la fréquence centrale de l'OCT

- utiliser une plaquette sommateur pour multiplexer les deux signaux
- l'un des signal est un la 440Hz (porteuse 100kHz), l'autre est le signal radio que l'on envoie en mod in d'un GBF (porteuse 200kHz)
- on peut regarder en FFT le signal tenu après sommation (visualisation de deux bandes de Carson distinctes
- régler le Thandar pour sélectionner l'une des deux fréquences et écouter au micro
- rapprocher alors les deux fréquences de porteuse (en modifiant celle que l'on n'écoute pas !) et voir simultanément l'effet d'encombrement spectral et de recouvrement à la fois sur le spectre et sur le signal audible !

Conclusion : Autour de la fabrication d'une radio FM, on a pu mettre en évidence les difficultés inhérentes à la transmission et à la réception d'une information. La PLL constitue la partie la plus importante du processus.

Q/R

1. Comment régler les photodiodes pour se placer hors saturation ?
2. Quel est le rôle du réseau en terme électronique ? C'est le démultiplexeur
3. Quand l'oscilloscope utilise 1000 points, combien de points sont effectivement "utiles" au tracé.
4. Quel est le sens de la bande de Carson sur un faible nombres de pics ? C'est plus difficile, mais c'est très fastidieux de faire un calcul pour beaucoup de pics ! Alors il faut faire un choix !
5. Pour des phonons, E est en T^4 et C_V en T^2 . A quoi cela fait il penser ?
6. GPM dans la limite BT (limite classique non valide), que se passe-t-il ?
7. Les ddl de translation peuvent ils être quantifiés ?
8. pourquoi faut il $3n - 6$ coordonnées pour repérer une molécule à n atomes ?
9. Qu'est-ce qu'un phonon ? Lien et différence avec un photon.
10. Qu'est-ce que l'approximation classique ?