Pràctica 3. Modulació AM

Translació en freqüència

Jordi Bonet
Xavier Moncunill

Març de 2025

En aquesta sessió utilitzarem la modulació d'amplitud per a transmetre un senyal de veu, amb un espectre que es troba per sota dels 4 kHz, usant un canal en el qual considerarem que les freqüències baixes estan ocupades. En un canal telefònic es considera que la veu $x(t)$ es troba continguda entre 300 Hz a 3400 Hz tal i com s'indica a la *Figura* 1.

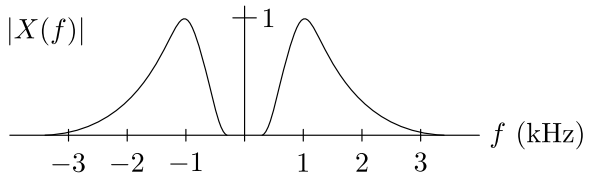


Figura 1: Possible espectre d'un senyal de veu.

En la següent sessió, per realitzar una transmissió sense fils usarem els mateixos transductors d'ultrasons que ja heu usat a *Circuits i Sistemes Lineals*. Tant el transmissor (TX) com el receptor (RX) només són efectius a freqüències properes a 40 kHz. Per tant, si volem usar el canal d'ultrasons, ens cal traslladar l'espectre de veu, que es troba proper a l'origen freqüencial, al voltant de 40 kHz.

En aquesta sessió suposarem que es vol enviar un senyal de veu a través d'un canal de comunicació que considerarem ocupat fins als 5 kHz, de manera que haurem de traslladar l'espectre de veu a una freqüència que no molesti, per exemple a 10 kHz. Això s'aconsegueix fent el que s'anomena modulació. Nosaltres usarem una modulació d'amplitud (AM).

Per al desenvolupament d'aquesta sessió, s'ha escollit treballar amb una freqüència de portadora de 10 kHz que ens permeti escoltar el senyal modulat a través de la pròpia tarja de so.

1 Interacció amb la tarja de so

Per a generar la modulació AM ens ajudarem de l'Octave i de la tarja de so de l'ordinador. Usarem la tarja de so per enregistrar i reproduir sons.

Tasca 1. En totes les proves usarem de forma sistemàtica en primer lloc un senyal de prova x_1 consistent en un sinus de freqüència 600 Hz i després un senyal de veu x_2. Usant les instruccions

de la *Pràctica 2* genereu un senyal de 600 Hz, i enregistreu i reproduïu un senyal de veu de pocs segons.

Tasca 2. Representeu els senyals x_1 i x_2 en funció del temps. Fent servir una de les dues funcions d'Octave subministrades a l'OCW, TF(x,t) o MOD_TF(x,fs), calculeu i representeu gràficament l'espectre d'amplitud dels senyals x_1 i x_2. Comproveu si els resultats són els esperats. Verifiqueu quin és el rang de freqüències que ocupa l'espectre del senyal de veu enregistrat.

A la resta de tasques d'aquesta pràctica, representeu en tot moment els diferents senyals obtinguts en el domini del temps i en el domini de la freqüència (espectre d'amplitud). Com veureu, la visió espectral dona informació molt útil sobre aquests senyals.

2 Modulació AM

En comunicacions s'utilitza una *portadora* per tal de *transportar* informació a distància. La portadora és un senyal sinusoïdal de freqüència adequada per al canal de comunicació escollit. En el nostre cas la freqüència de portadora és de 10 kHz. En el cas de ràdio AM, d'1 MHz. En el cas de ràdio FM, de 100 MHz. En el cas de TV3-TDT, de 794 MHz. En el cas de TV per satèl·lit, d'algun GHz...

Modificant algun dels paràmetres de la portadora, amplitud, freqüència o fase, s'aconsegueixen modulacions d'amplitud (AM), de freqüència (FM) o de fase (PM). La informació es troba continguda en un d'aquests paràmetres que canvia. La comunicació Morse que potser heu estudiat a *Circuits i Sistemes Lineals* és un cas molt simple de modulació AM en què una portadora d'1 kHz és modulada en amplitud per un senyal que pren només dos valors: 0 o 1.

> *Previ* 1. Calculeu la transformada de Fourier (TF) del senyal que s'obté en multiplicar $x(t)$ per un $\cos(2\pi f_0 t)$, és a dir $y(t) = x(t)\cos(2\pi f_0 t)$. Si la TF d'$x(t)$ correspon al de la *Figura* 2, una simplificació del de la *Figura* 1, representeu la TF d'$y(t)$. Considereu $f_0 = 10$ kHz.
>
> *Qüestió avançada*: considereu el cas en què $f_0 = 2$ kHz.

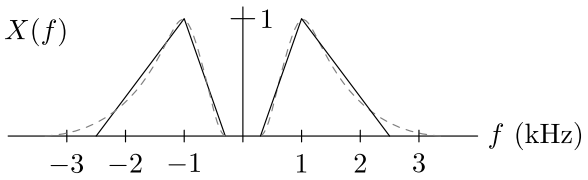


Figura 2: Espectre simplificat d'un senyal de veu.

Tasca 3. Primer utilitzant el senyal y obtingut a partir d'x_1 i després l'obtingut a partir d'x_2, escolteu-lo i representeu la seva evolució en el temps així com el seu espectre d'amplitud. Justifiqueu per què aquest senyal és idoni per ser transmès per un canal de comunicació (per exemple un cable) ocupat fins a la freqüència de 5 kHz. Escolteu el senyal y i verifiqueu si resulta intel·ligible.

3 Desmodulació AM

Un cop s'ha transmès el senyal $y(t)$ ens cal plantejar-nos com recuperem el senyal $x(t)$ original.

> *Previ* 2. Calculeu la transformada de Fourier (TF) del senyal que s'obté en multiplicar el senyal $y(t)$ anterior per un $\cos(2\pi f_1 t)$ amb f_1 en general propera però diferent d'f_0, és a dir $z(t) = x(t)\cos(2\pi f_0 t)\cos(2\pi f_1 t)$ [1]. Representeu la TF de $z(t)$ per a $f_1 = f_0 = 10$ kHz.
>
> *Qüestió avançada*: considereu els casos en què $f_1 = f_0 + 1$ kHz i $f_1 = f_0 - 1$ kHz amb $f_0 = 10$ kHz.

Observeu que si filtrem el senyal $z(t)$ amb un filtre passabaix amb freqüència de tall propera a f_0 i aconseguim $f_1 = f_0$ hem construït un desmodulador d'AM. El procés necessari per a fer una transmissió és el següent. 1) tenim informació en el senyal x, 2) fem una modulació AM: obtenim y, que conté la mateixa informació que x però a una freqüència apta per al canal de comunicació, 3) usem el canal per transmetre y, 4) idealment rebem y sense cap atenuació ni soroll afegit, 5) desmodulem el senyal y (això és l'acció conjunta de multiplicar y i filtrar z) per tal d'obtenir un senyal $\hat{x}$ que en una situació ideal coincideix amb x. Aquesta desmodulació AM s'anomena de conversió directa i és diferent a la detecció d'envolupant que vau usar el quadrimestre passat per a recuperar senyals de Morse.

Tasca 4. A partir del senyal obtingut a la *Tasca* 3, realitzeu la primera desmodulació consistent en obtenir el senyal $z(t)$. No realitzeu cap filtratge. Visualitzeu i escolteu els senyal $z(t)$ obtingut. Primer useu el senyal x_1. Cal el filtratge? (penseu que la tarja de so no genera senyals superiors a 20 kHz). S'escolta el senyal x_1? Es veu el senyal x_1? Repetiu el procediment per a x_2.

4 El problema de la conversió directa

A continuació estudiarem el problema associat a un desmodulació de conversió directa. Considerarem el cas en què la freqüència o la fase dels cosinus usats en TX i en RX no coincideixin.

> *Previ* 3. Calculeu amb detall $z(t) = x(t)\cos(2\pi f_0 t)\cos(2\pi(f_0+\Delta_f)t)$ un cop filtrat. Quin és l'efecte que té Δ_f en el senyal recuperat? [1]
>
> *Qüestió avançada*: què passarà si $\Delta_f = 1$ Hz? Podeu fer simulacions amb l'Octave.

> *Previ* 4. Tot i que $\Delta_f = 0$, encara hi pot haver una diferència de fase. Calculeu amb detall $z(t) = x(t)\cos(2\pi f_0 t)\cos(2\pi f_0 t + \Delta_p)$ un cop filtrat. Quin és l'efecte que té Δ_p en el senyal recuperat?
>
> *Qüestió avançada*: Determineu el pitjor valor de Δ_p.

Tasca 5. Repetiu la *Tasca* 4 utilitzant aquest cop per a la recuperació del senyal un cosinus amb un desviament de freqüència, $z(t) = x(t)\cos(2\pi(f_0+\Delta_f)t)$ (preneu per exemple $\Delta_f = 1$ kHz). Quins efectes s'observen? Repetiu el procediment per al cas en què hi ha un desfasament, $z(t) = x(t)\cos(2\pi f_0 t + \Delta_p)$, experimentant amb diferents valors de Δ_p. Extraieu conclusions.

[1] Us poden ser d'utilitat diverses expressions trigonomètriques com ara: $2\cos(a)\cos(b) = \cos(a+b)+\cos(a-b)$ o el seu equivalent $2\cos(\frac{A+B}{2})\cos(\frac{A-B}{2}) = \cos(A)+\cos(B)$.