

Modulações analógicas — III

Comunicações I

Thadeu L. B. Dias

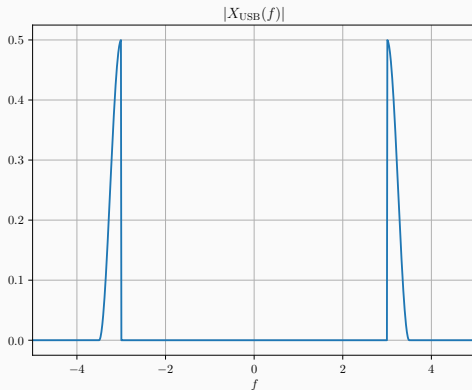
UFRJ

1. Anteriormente
SSB
2. SSB Digital
3. Vestigial side band

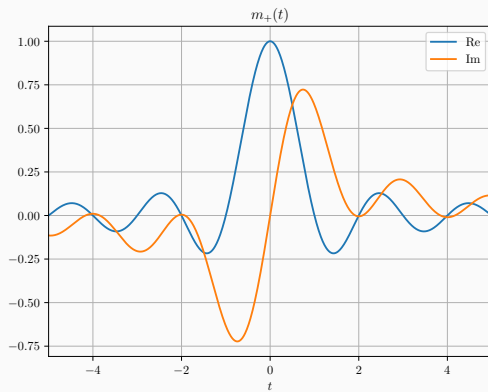
Recap

Esquemas de modulação DSB

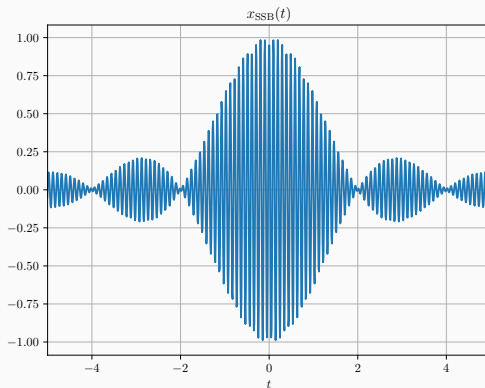
Anteriormente, vimos que com um filtro capaz de realizar a transformada de Hilbert de um sinal, através da modulação com quadratura, conseguimos cancelar uma das bandas laterais do DSB-SC.



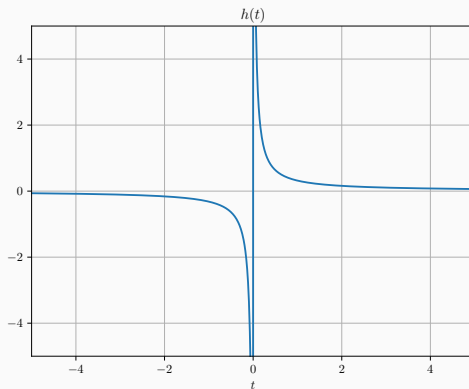
A partir do sinal analítico,



Modulando em quadratura: $x(t) = \cos(2\pi f_c t)m(t) \pm \sin(2\pi f_c t)\tilde{m}(t)$:



Infelizmente, a realização da transformada de Hilbert envolve a resposta ao impulso $h(t) = \frac{1}{\pi t}$:

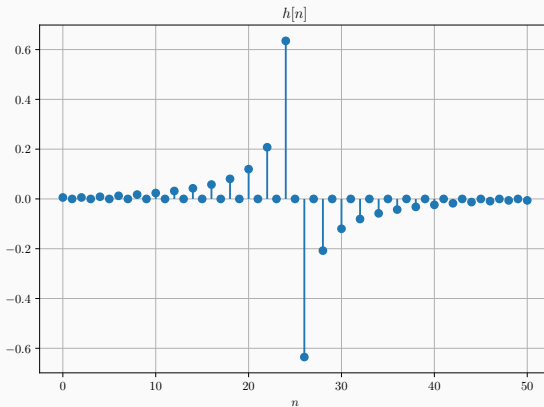


Infelizmente, ela não somente é não causal, como decai na ordem de $\frac{1}{t}$.

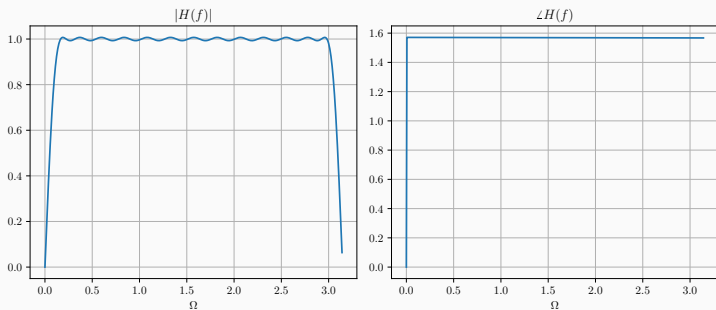
SSB Digital

Hilbert FIR

Usando técnicas de design de filtros digitais, é possível aproximar a transformada de Hilbert. Por exemplo, usando o algoritmo de Remez,



A resposta (compensada) em frequência do filtro especificado acima,



mostra que a resposta da *fase* é adequada, contudo, a resposta em *magnitude* deixa a desejar na proximidade de 0 e π .

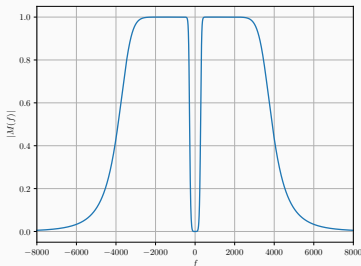
Modulação SSB para um sinal do tipo passa-faixas

A dificuldade de se realizar a transformada de Hilbert para um sinal *geral* não nos impede de aplicar a SSB em um sinal do tipo *passa-faixas*. De fato, a resposta em magnitude do filtro anterior, como exemplo, minimiza o erro máximo da magnitude entre a faixa $[0.05\pi, 0.95\pi]$.

Se o sinal modulante não tiver energia significativa fora dessa faixa, então o SSB pode ser realizado!

Ex. Voz

O sinal de voz natural ocupa uma faixa de frequência que vai até aproximadamente 16 kHz. Se limitarmos, porém, a banda do sinal de voz na faixa entre 400 Hz e 3600 Hz, a *inteligibilidade* não se degrada tanto.



Dependendo da largura ocupada pelo sinal, até mesmo uma implementação analógica se torna viável!

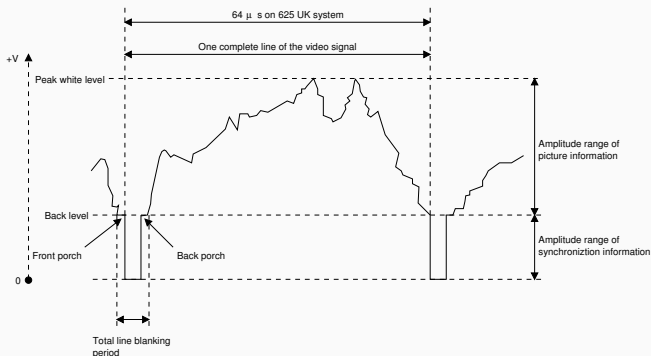
Como? Filtros do tipo 'passa-tudo'.

Vestigial side band

E quando o sinal é passa-baixas?

Infelizmente, nem sempre podemos controlar a natureza do sinal que precisamos transmitir.

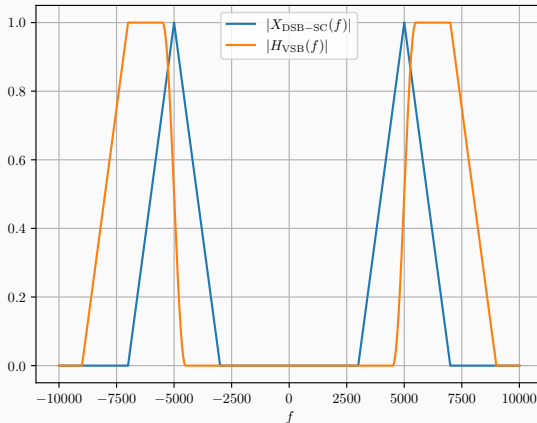
Um dos sinais mais significativos (legado) que era preciso se transmitir é o sinal de TV analógica:



Esse sinal tem energia significativa entre a banda 0 e 4 MHz! Precisamos ser eficientes na transmissão...

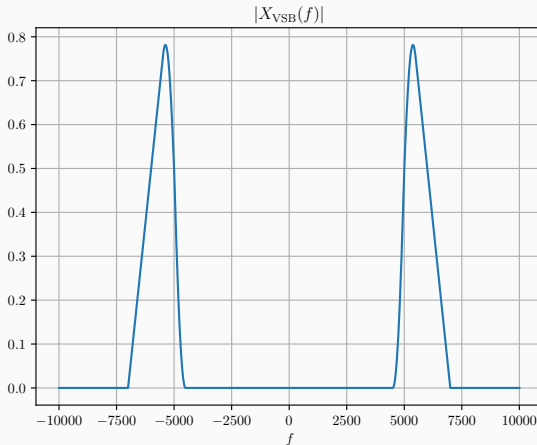
Filtro VSB

Vimos que a implementação da transformada de Hilbert é problemática. Podemos então, pensar em suprimir *parcialmente* uma das bandas laterais do DSB-SC, com por exemplo, um filtro 'passa-faixas';



Filtro VSB

Como o filtro deve ser realizável, infelizmente, nós também iremos suprimir uma parte da banda que desejamos transmitir...



Qual a condição que deve ser respeitada?

Com um filtro do tipo passa-faixas, podemos suprimir uma parte do espectro replicado, porém não podemos esquecer que o objetivo é *recuperar* o sinal, de preferência, sem distorções. . .

Naturalmente, não é qualquer filtro passa-faixas que vai atender esse critério. . .

A equação da demodulação síncrona pode nos ajudar!

Sabemos que o VSB é o DSB-SC filtrado:

$$X_{\text{VSB}}(f) = X_{\text{DSB-SC}}(f)H_{\text{VSB}}(f)$$

deslocamento pela demodulação síncrona,

$$\hat{M}(f) = X_{\text{DSB-SC}}(f)H_{\text{VSB}}(f) * \mathcal{F}\{\cos(2\pi f_c t)\}$$

suprimindo os termos passa-altas $M(f + 2f_c)$, $M(f - 2f_c)$,

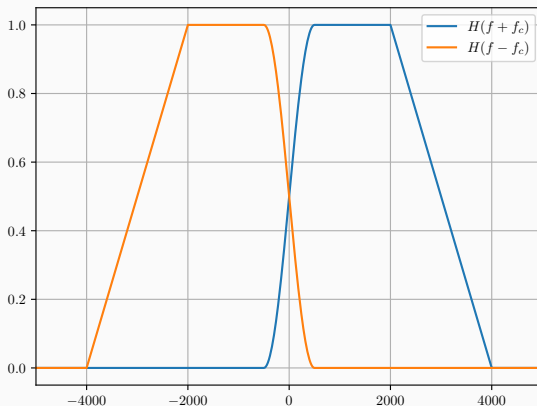
$$= \frac{1}{2} [\dots + M(f)H_{\text{VSB}}(f - f_c) + M(f)H_{\text{VSB}}(f + f_c) + \dots]$$

Em outras palavras, basta que na faixa em que $M(f)$ existe, basta que

$$H_{\text{VSB}}(f - f_c) + H_{\text{VSB}}(f + f_c) = 1 \quad (1)$$

Condição filtro VSB

Graficamente, a demodulação VSB vai ser bem sucedida quando os deslocamento dos filtros se 'complementa':



Implementação de um filtro VSB

O receptor do VSB é essencialmente igual ao DSB-SC e SSB, basta ter um oscilador local sincronizado com a portadora.

Sintonizar outro canal é tão simples quanto alterar a frequência do oscilador local. . .

O transmissor VSB, contudo, precisaria de um filtro perfeitamente ajustado à frequência de portadora, a fim de manter a condição

$$H_{\text{VSB}}(f - f_c) + H_{\text{VSB}}(f + f_c) = 1.$$

O próprio formato do filtro não é trivial de realizar, como podemos, de forma prática, ter um filtro altamente específico, porém ainda ajustável?

Modulação/Demodulação multi-estágio

Na prática, é muito mais fácil dividir o problema em partes:

1. Modulamos o sinal com uma frequência intermediária fixa f_i , gerando um sinal DSB em 'FI'.
2. Filtramos o sinal em 'FI' com um filtro fixo, que respeita a condição do VSB.
3. Remodulamos o sinal VSB intermediário com um oscilador (variável), com frequência $f_c - f_i$, onde f_c é a portadora desejada.
4. Rejeitamos as 'imagens' extras com filtros ajustáveis (e possivelmente menos seletivos), simples de realizar.

Ex. 1: Como W , a largura de banda do sinal modulante, e f_i devem se relacionar para que essa implementação seja 'fácil'?

Ex. 2: Como f_c e f_i devem se relacionar para que essa implementação seja 'fácil'?

Ex. 3: Como a técnica multi-estágio pode ser usada na *demodulação*? Há alguma vantagem?