3. Filtragem e Distorção de Sinal

Este capítulo pretende dar exemplos de distorções de sinal provocadas por sistemas lineares. Vão ser vistos exemplos de distorções de amplitude e de fase, para se ter uma percepção melhor dos efeitos que eles têm nas formas de onda do sinal.
Este capítulo deve ser lido depois de se ter estudado o capítulo 3 do livro recomendado "*Filtering and Signal Distortion*".

3.1. Condições para transmissão sem distorção

Já foram estudadas as condições que os sistemas devem ter para permitir uma transmissão sem distorção. O espectro desses sistemas deve ser do género mostrado na figura 3.1.

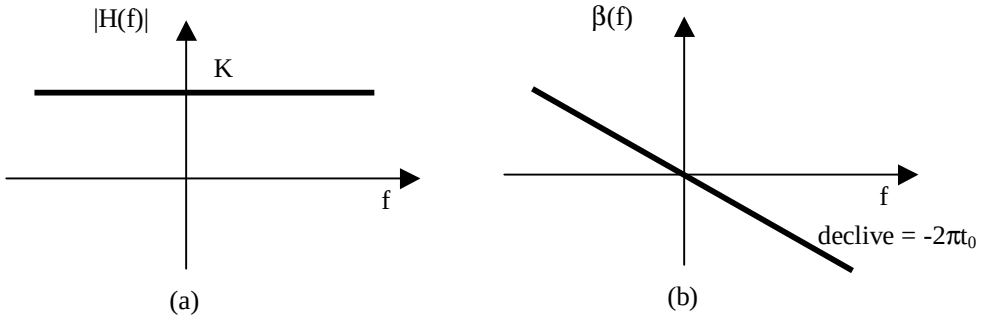


Figura 3.1.
Resposta em frequência para uma transmissão sem distorção. (a) resposta de amplitude (b) resposta de fase.

Uma dúvida que fica é saber qual a razão porque é que a resposta de fase deve ser uma recta que passa pela origem e tem um certo declive, e não uma translação de fase constante? Foi estudado que o efeito da fase no sinal era provocar um atraso constante, e portanto, o espectro deveria, à primeira vista, ser uma recta constante (como a do espectro de amplitude). Isto é, qual a diferença entre um **atraso constante**, e uma **translação constante de fase**? A figura 3.2. mostra os espectros de fase de um atraso constante (igual à da figura 3.1.) e de uma translação constante de fase. Para responder a esta dúvida vamos ver exemplos concretos de um efeito e de outro. Antes, porém, não nos devemos esquecer que a derivada da fase é a frequência, e a derivada da recta da parte (b) da figura 3.1. é uma constante (uma recta horizontal, portanto). Pode ser que as condições estudadas para uma transmissão sem distorção até possam estar certas…

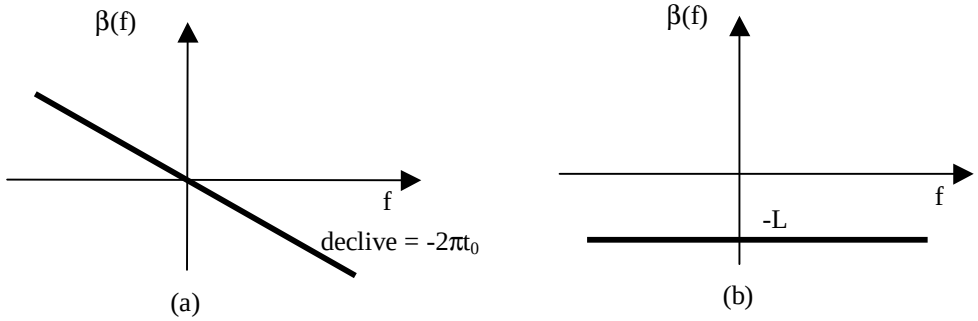


Figura 3.2.
Resposta de fase para (a) um atraso constante, t_0 (b) resposta de fase.

A forma de onda que vai servir de exemplo é um trem de pulsos, que vai ser aproximado pelas primeiras vinte e seis primeiras harmónicas. Assim, vai-se admitir que o sistema, qualquer que seja o

efeito que faça até à vigésima sexta harmónica, corta todas as harmónicas a partir daí. Como vimos no capítulo 2, Análise de Fourier, as vinte e seis harmónicas já dão uma forma de onda muito parecida com o sinal original, pelo que não vamos ter problemas. A figura 3.3. volta a mostrar o sinal original e a sua aproximação com vinte e seis harmónicas.

Figura 3.3.
Formas de onda de um trem de pulsos e da sua aproximação por séries de Fourier até à vigésima sexta harmónica.

3.2. Atraso Constante

Vamos, então, ver nesta Secção o efeito de um atraso constante. O espectro de fase do filtro por onde vamos passar o nosso sinal vai ter um espectro de fase como o da parte (b) da figura 3.1. No que respeita ao espectro de amplitude, o ganho é unitário até à vigésima sexta harmónica. A figura 3.4. mostra o efeito. É importante realçar que este efeito é considerado como sendo sem distorção. Na vida real existem sempre atrasos nos sistemas. Uma estação de rádio emite o seu sinal, por exemplo a indicação das horas antes dos noticiários, e o sinal demora um certo tempo entre a antena e os nossos receptores no carro ou em casa. É um facto da vida e nada se pode fazer contra isso. Uma transmissão televisiva em directo demora um certo tempo também. Uma corrida de fórmula 1 na Austrália que comece às 13 horas é vista na Europa alguns momentos depois (centésimas de segundo, ou mesmo segundos). O receptor nunca "vê" a forma de onda dos pulsos, mas só a outra forma de onda atrasada, mas isso não tem qualquer importância. Ele vai-se sincronizar com ela e para o receptor é como se não existisse atraso. Só vimos que existe mesmo atraso no estudo teórico em que temos uma visão omnipotente da realidade vendo as coisas no emissor e no receptor ao mesmo tempo.

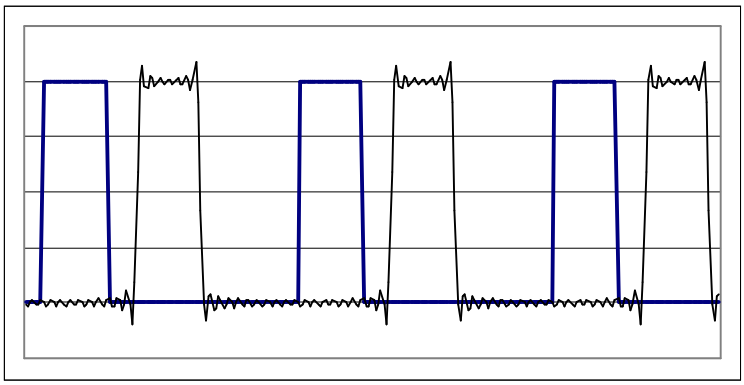


Figura 3.4.
Formas de onda de um trem de pulsos e da sua aproximação por séries de Fourier até à vigésima sexta harmónica sofrendo um atraso constante.

3.3. Translação Constante de Fase

Vamos agora ver qual seria o efeito de uma translação constante de fase. Isto é, o espectro de fase seria do género da parte (b) da figura 3.2. A figura 3.5. mostra três situações, a primeira com um valor muito pequeno para a recta, a segunda com um valor um pouco maior e a terceira com um valor ainda superior. Como se vê, uma translação constante de fase provoca mesmo muita distorção.

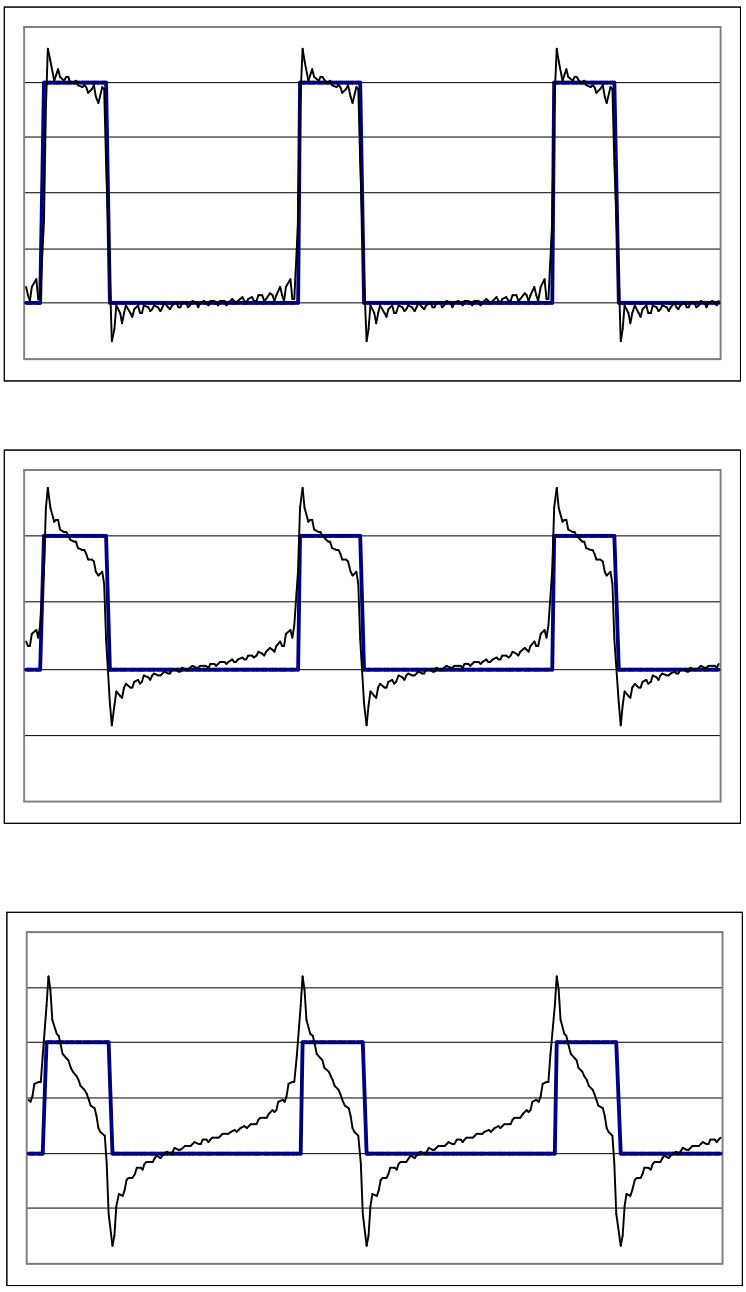


Figura 3.5.
Formas de onda de um trem de pulsos e da sua aproximação por séries de Fourier até à vigésima sexta harmónica sofrendo uma translação constante de fase.

3.4. A Maratona das Frequências

O último conjunto de distorções aborda o que acontece em duas situações:

- na primeira a resposta em amplitude do filtro não é sempre uma recta. Nas frequências da segunda à sexta harmónicas (inclusive) o filtro tem um ganho de 0,9. Portanto, a amplitude dessas frequências é atenuada de 10%. Nas outras o ganho é unitário. O espectro de fase é sempre zero;
- na segunda, existe um atraso de fase constante também nas frequências da segunda à sexta harmónica, e o espectro de amplitude é sempre constante com ganho unitário.

Escolheram-se as frequências da segunda à sexta pois elas ainda têm energia suficiente para se poder ver bem os efeitos da distorção. Em frequências mais elevadas o efeito seria menos visível.

Este tipo de distorções é muito difícil de prever, ou descrever, no tempo, mas bastante fácil de descrever na frequência. Para isso imagine-se uma corrida de fundo de atletismo – a "maratona das frequências".

Na primeira maratona vão correr vinte e seis corredores com os números nas camisolas de 1 a 26 (as nossas harmónicas). Os corredores começam a correr mas no meio da corrida existe alguém com um "martelo" que bate nas cabeças dos corredores com os números 2 a 6 fazendo com que eles fiquem mais pequenos 10%. Todos chegam à meta ao mesmo tempo (a fase é zero), mas os coitados dos cinco corredores que levaram a pancada chegaram mais pequenos.

A figura 3.6. mostra duas situações. Na primeira houve uma atenuação de 10% e na segunda uma atenuação de 40%. Como se vê, é fácil descrever o efeito na frequência, mas muito difícil de inferir os efeitos no tempo.

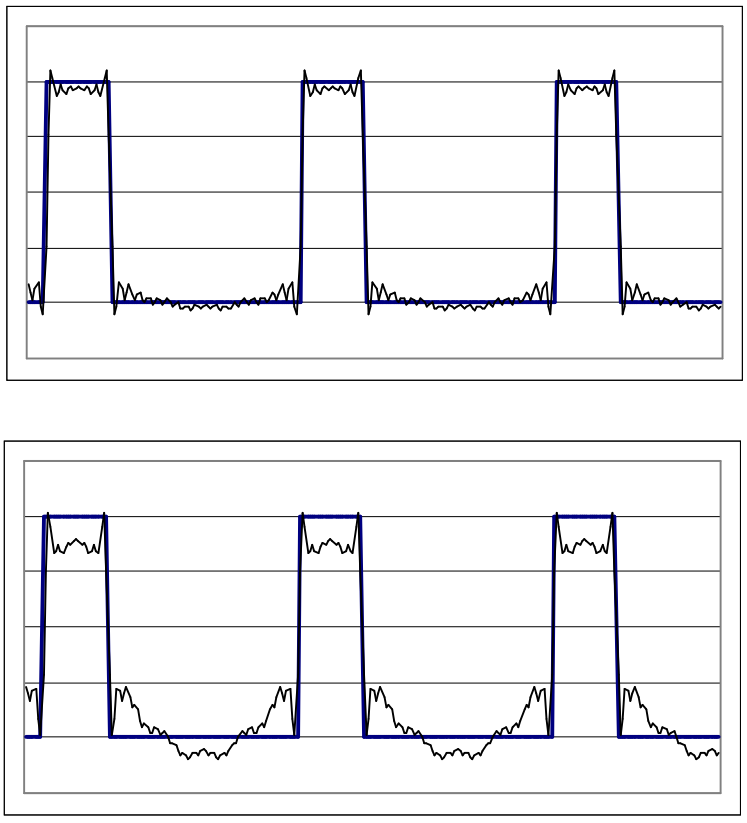


Figura 3.6.
Formas de onda de um trem de pulsos e da sua aproximação por séries de Fourier até à vigésima sexta harmónica sofrendo uma atenuação de amplitude da 2ª à 6ª harmónica. A atenuação foi de 10% no primeiro caso e de 40% no segundo caso.

Na segunda corrida a organização é mais complicada. Imagine que se está a correr por equipas – vinte e seis equipas. No tempo t_0 saem os primeiros vinte e seis corredores. No tempo t_1, logo a seguir, saem outros vinte e seis corredores. Em t_2 saem outros vinte e seis, e assim por diante. O que acontece agora na corrida é que os corredores que saíram na primeira partida com os números 2 a 6 chegam ao mesmo tempo que os outros com os números 1 e 7 a 26 que saíram muito mais tarde. O efeito repete-

se para os corredores 2 a 6 que saíram na segunda partida, na terceira, etc. A figura 3.7. mostra o efeito de dois atrasos de fase nas harmónicas 2 a 6. O primeiro mais ligeiro e o segundo mais pronunciado.

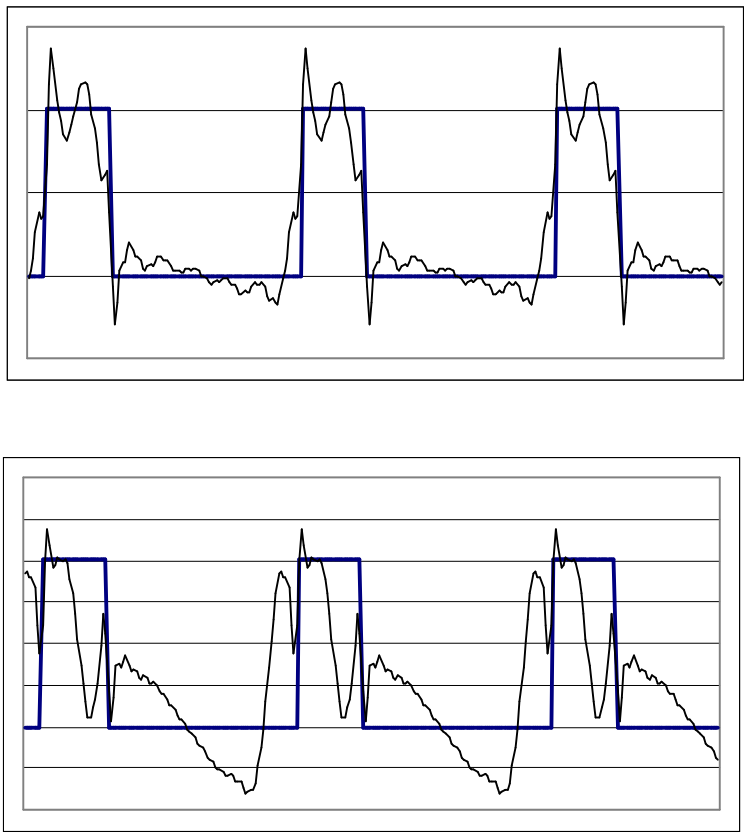
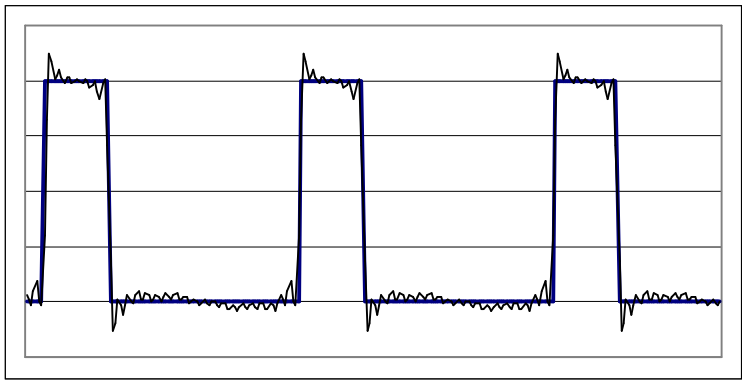


Figura 3.7.
Formas de onda de um trem de pulsos e da sua aproximação por séries de Fourier até à vigésima sexta harmónica sofrendo um atraso de fase da 2ª à 6ª harmónica.

No próximo conjunto de figuras, em vez de um atraso da segunda à sexta harmónica houve uma translação constante de fase. Este efeito já é mais difícil de descrever na nossa analogia da maratona de frequências. A figura 3.8. mostra três valores de translação, o primeiro menor e o último maior. É muito difícil tirar conclusões sobre os efeitos destes tipos de distorções num sinal no tempo. A conclusão que fica é que sempre que possível se devem evitar usando as técnicas de equalização estudadas, e que efeitos na fase são tão, ou mais, importantes do que os efeitos na amplitude.



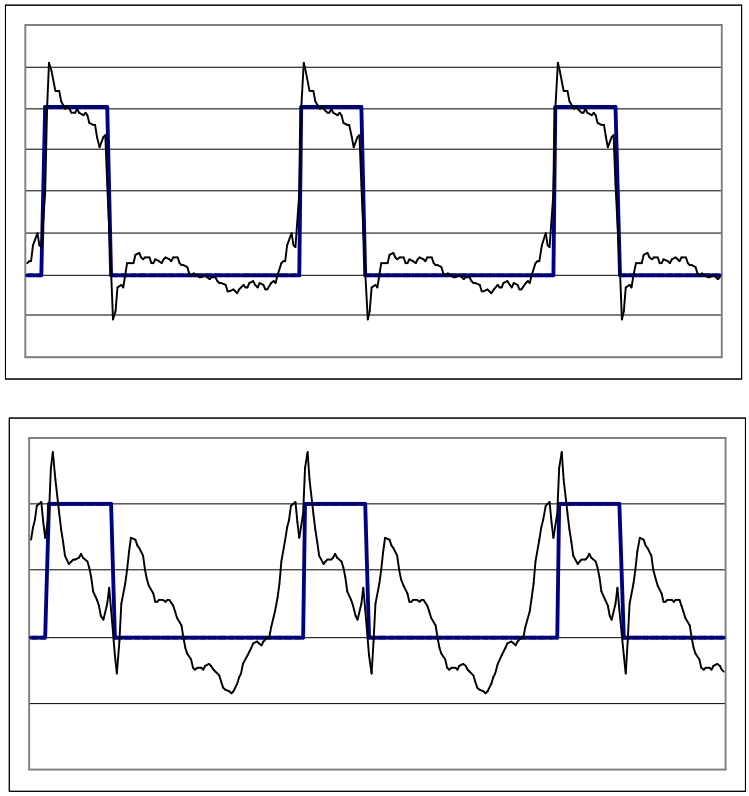


Figura 3.8.
Formas de onda de um trem de pulsos e da sua aproximação por séries de Fourier até à vigésima sexta harmónica sofrendo translações constantes de fase da 2ª à 6ª harmónica.

3.5. Transmissão Binária por um Canal

Quando se transmite informação em forma binária por um canal, enviam-se sequências de pulsos representativos dos símbolos 0 e 1. No caso de dados (um ficheiro) os símbolos representam a informação dos caracteres, ou figuras, constantes no conteúdo dos dados. No caso de voz, ou de imagem, representam a codificação dos intervalos, por exemplo. Assim, nunca se sabe, ao certo, qual a forma de onda que vai ser transmitida. Um modo de se estudar o fenómeno é considerar sempre o pior caso. Ora o pior caso é quando se transmite a sequência 01010101 etc., pois ela, normalmente, contém componentes de mais alta frequência do que uma sequência toda a zeros ou a uns (o outro caso extremo). A sequência de figuras seguinte mostra o efeito que um canal produz ao cortar as harmónicas de ordem elevada, até deixar passar simplesmente a frequência fundamental.

Figura 3.9.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à décima quinta.

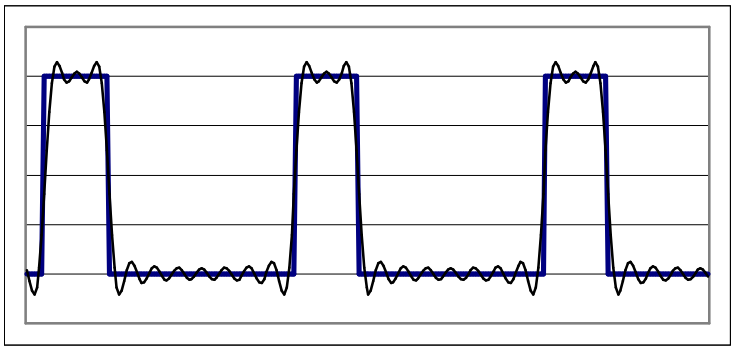


Figura 3.10.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à décima.

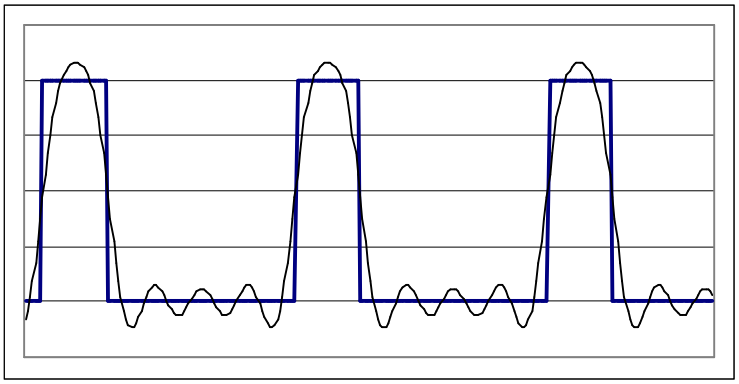


Figura 3.11.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à quinta.

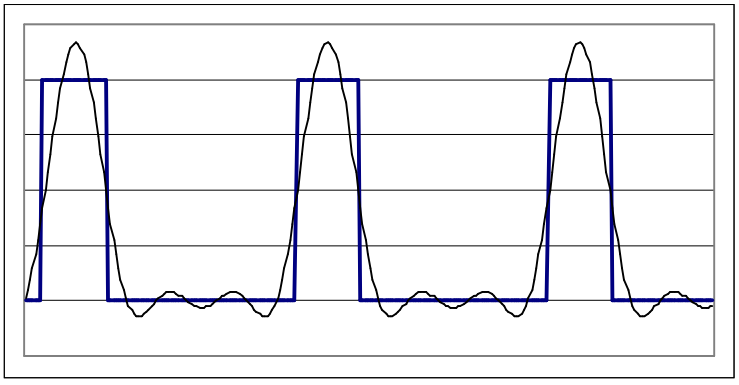


Figura 3.12.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à quarta.

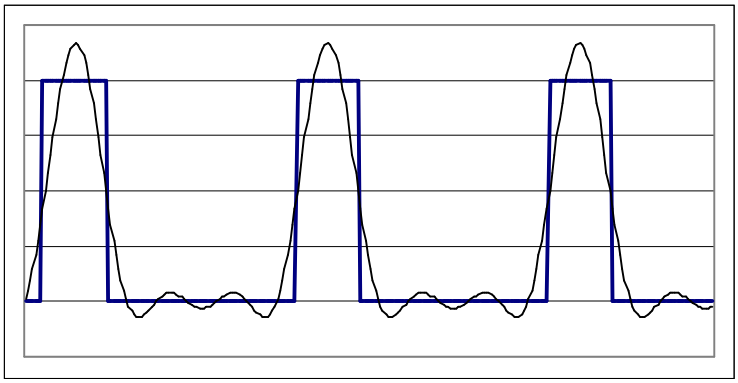


Figura 3.13.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à terceira.

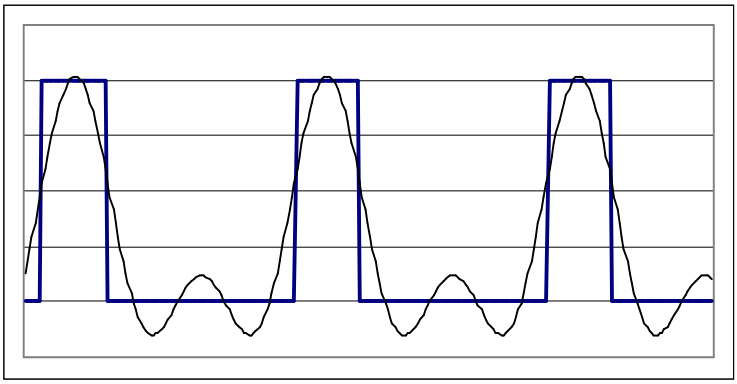


Figura 3.14.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à segunda.

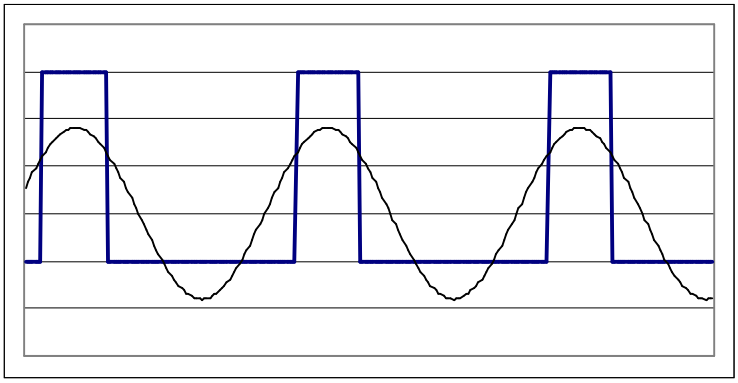


Figura 3.15.
Formas de onda de um trem de pulsos à entrada de um canal e à saída quando o canal cortou todas as harmónicas superiores à primeira.

Como se pode ver, neste caso se o canal deixar passar duas harmónicas, o receptor consegue ainda detectar se o que recebeu foi um pulso ou não. O caso de uma só harmónica parece também possível, mas temos de ter em consideração o caracter periódico desta onda em especial. Seria bom ver o que acontece com outro caracter binário (por exemplo, o ´b´ em ASCII que é 0110 0010). Nas aulas de laboratório far-se-ão experiências deste género.

Num primeiro pensamento, nós seríamos levados a escolher canais que deixassem passar, por exemplo, 26 harmónicas, pois o sinal no receptor seria muito parecido com o do emissor. No entanto, pensemos em termos económicos. Por um lado, um cabo de telecomunicações tem uma capacidade de 0 até W Hz, custa um certo preço e tem de ser enterrado no chão. Custou X Euros a cavar a vala e a enterrá-lo. Por outro lado, basta ao receptor saber se o emissor transmitiu um pulso ou não. A forma do pulso de chegada, desde que dê para ver se é um pulso ou não, pouco importa. Ora se conseguirmos colocar N chamadas nesse cabo em que cada uma usa apenas a frequência necessária para o receptor poder receber sem erros (por exemplo até à segunda harmónica), colocamos muito mais chamadas no cabo do que se cada chamada usasse frequências até à 26ª harmónica. A operadora de telecomunicações ganhará muito mais dinheiro do investimento do cabo e de o enterrar no chão e para nós é igual pois conseguimos comunicar bem dos dois modos.

Já que se está em considerações económicas poderá ficar uma pergunta no ar. O uso de pulsos rectangulares para o símbolo 1 e a ausência de pulsos para o símbolo zero usa uma certa quantidade de frequências e podemos colocar as tais N chamadas no cabo, até W Hz. ... E se inventássemos outra forma de pulsos que, para cada pulso, usasse menos frequência do que o pulso rectangular? Se o novo pulso usasse metade da frequência, poderíamos colocar o dobro das chamadas naquele cabo. É um bom negócio para que uma operadora de telecomunicações desse um incentivo para pagar a quem perceba de Análise de Fourier para chegar a uma resposta...