

Departamento de Engenharia Electrotécnica
Secção de Telecomunicações
Mestrado integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Licenciatura em Engenharia Informática

nº _____ e _____ e _____

2º Trabalho de Laboratório

Objectivo Geral: Largura de banda de impulsos; Espectros de sinais básicos; Propriedades da transformada de Fourier.

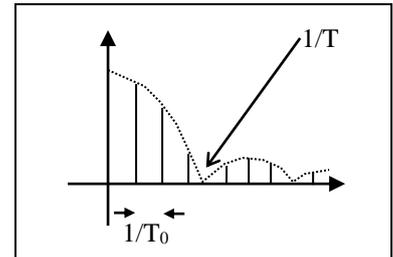
Este trabalho começa com um texto com explicações preliminares.

Existe depois o ponto 0 com o enunciado de um problema teórico que é necessário para a execução das experiências e que deve ser **resolvido e preenchido antes da aula** de laboratório. À entrada na aula este ponto será **verificado pelo docente**. Não se esqueça que é relativamente simples verificar quem executou o exercício e quem copiou os resultados. Este tipo de informação será levado em conta na avaliação final da parte de laboratório.

A terceira parte contém a descrição das experiências a efectuar.

Explicações preliminares

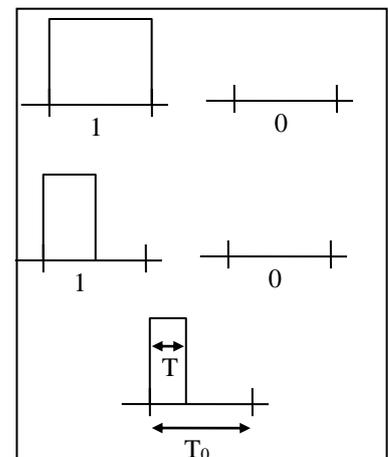
Espectro de trens de impulsos rectangulares (exemplo: certos códigos de linha em transmissão binária): Relembrando as aulas teóricas, um trem de impulsos rectangulares periódico tem como espectro de amplitude uma sequência de pontos discretos envolvidos por um *sinc*. Este *sinc* anula-se para múltiplos de $1/T$. Vão existir tantas harmónicas entre duas anulações (linhas verticais a cheio) quantos os múltiplos entre $1/T_0$ e $1/T$.



Espectro de trens de impulsos triangulares: Um trem de impulsos triangulares periódico tem como espectro de amplitude uma sequência de pontos envolvidos por um sinc^2 . Anula-se também para múltiplos de $1/T$, mas tem uma percentagem maior da área total no lóbulo principal, se comparado com o *sinc*, e cai com $1/f^2$ em vez de $1/f$ do *sinc*. Em conclusão, tem uma maior percentagem da sua potência no lóbulo principal (maior concentração da energia na largura de banda).

Transmissão binária básica: Imagine que quer transmitir símbolos “1s” e “0s” e se usa um **código de linha** em que para o caso do símbolo “1” se transmite um impulso de D Volt e para o caso do símbolo “0” não se transmite nada (como está mostrado na parte de cima da figura). Imagine que se transmite uma sequência de “10101010101” para se ter um trem de impulsos rectangulares periódico. Se quiséssemos transmitir a um ritmo de 100 bits por segundo, por exemplo, o tempo de cada impulso ou nada (tempo de bit), T_b , teria de ser de 0,01 segundos. Isto corresponde a um trem de impulsos, em que o período, T_0 , seria de 0,02 segundos.

Outra hipótese de código de linha é ter-se para o símbolo “1” um pulso mas que não dure todo o tempo de bit, e para o símbolo “0” não se transmitir nada (como está mostrado na parte do meio da figura). Com este código, uma sequência de símbolos a “1” – “111111111” seria um trem de impulsos periódico. Uma pergunta é quanto deve durar a “parte alta” do pulso, T , na duração total do impulso, ou no seu período, T_0 (como está mostrado na parte de baixo da figura). Ou, por outras palavras qual deve ser o *duty cycle*. Neste trabalho vão-se ver as consequências a nível espectral que existem na escolha deste tamanho, mas que podem ser já previstas pelo conhecimento das propriedades da transformada de Fourier. À relação entre T e T_0 , mais propriamente a T/T_0 , chama-se *duty cycle* de um impulso.



Ponto 0 – Preparação do Laboratório (a efectuar antes da aula de laboratório. Será verificado à entrada da aula)

Problema 1. Determinação da largura de banda e zeros do espectro de um sinal de um trem de pulsos em termos do *duty cycle* de um impulso.

Normalmente considera-se a largura de banda de um sinc no ponto em que ele se anula pela primeira vez. Considerando então um trem de impulsos rectangulares de *duty cycle* T/T_0 , obtenha uma expressão que dada a frequência dos pulsos (100 pulsos por segundo, 200 pulsos por segundo) permita calcular o número de riscas espectrais até ao primeiro zero e outras duas que permitam calcular a frequência do primeiro e do segundo zeros do sinc.

Ponto 1 - Determinação da largura de banda de um sinal

Objectivo: Pretende-se calcular teoricamente a largura de banda ocupada por um trem de impulsos rectangulares a simular o envio de “1s” binários sucessivos, e a sua verificação na prática.

Procedimentos:

1. Abra um novo modelo (prect1.m) e não se esqueça de o ir guardando de vez em quando.
 2. Trabalhe com os parâmetros de simulação “*Min Step Size*” igual a 0,0001 e “*Max Step Size*” igual a 0,001.
 3. Copie um “*Repeating Sequence*” do bloco *Sources* e forme uma onda rectangular com uma frequência de 100 pulsos por segundo, um *duty cycle* de 50% e uma amplitude de 10. Use um “*Graph*” para a visualizar e ponha a gama temporal em 0,1 para o poder ver bem.
 4. Calcule **os valores teóricos** do primeiro e do segundo zeros da parte positiva do espectro de amplitude do *sinc*.
-
-

5. Copie um analisador espectral do conjunto dos “*Extras*”, subconjunto “*Analysers*”. Escolha o “*Average PSD*”. Antes de recomençar a experiência abra o “*Average PSD*”. O campo “*Sample Time*” controla o passo com que se fazem os cálculos numéricos para a Transformada de Fourier (ou dito de um modo mais preciso para o FFT). Tenha atenção ao valor que decida colocar neste campo. Normalmente o Sample time deverá ter no máximo um valor de $\frac{T}{10}$, de modo a obter um espectro com resolução desejada na frequência. Trabalhe com 1024 pontos em “*Length of buffer*” e 2048 em “*Number of points for fft*”
 6. Explique o que observa no analisador espectral e compare os valores obtidos com os valores teóricos calculados acima. Se considerarmos que a largura de banda do sinal vai até ao primeiro zero, qual a largura de banda necessária (em Hertz e em rad/s) para passar um sinal binário de 100 bits por segundo, com um *duty cycle* de 50%?
-
-
-

7. Mude agora o *duty cycle* no bloco “*Repeating Sequence*”. Considere um *duty cycle* de 10%.
 8. Calcule novamente **os valores teóricos** dos primeiros dois zeros de frequências positivas.
-
-

9. Comece a experiência e observe a onda no “*Graph*” e no analisador espectral. Convém referir que é necessário reconfigurar o valor do parâmetro “*Sample Time*” em função do novo valor de T, de modo a que se possam visualizar as harmónicas associadas ao espectro do sinal.
 10. Explique o que observa no analisador espectral e compare os valores obtidos com os valores teóricos calculados acima. Se considerarmos que a largura de banda do sinal vai até ao primeiro zero, qual a largura de banda necessária (em Hertz e em rad/s) para passar um sinal binário de 100 bits por segundo, com um *duty cycle* de 10%?
-
-
-

11. Comente a diferença entre os dois resultados anteriores. Note que em ambos os casos se está a transmitir ao mesmo ritmo mas com diferentes *duty cycles*.
-
-
-

Ponto 2 - Determinação da largura de banda de um sinal com um ritmo maior

Objectivo: O mesmo que o anterior para se perceber a importância dos períodos de cálculo do SIMULINK, e para se verificar na prática a propriedade de escala no tempo (*time scaling*).

Procedimentos:

1. Abra o modelo (prect1.m) e guarde-o com o nome de (prect2.m).
2. Mude a onda rectangular para uma frequência de 100 mil impulsos por segundo, um *duty cycle* de 50% e uma amplitude de 20. Use um “*Graph*” para a visualizar e ponha a gama temporal em 0,0001 para o poder ver bem.
3. Vai ter de alterar os parâmetros de simulação “*Min Step Size*” e “*Max Step Size*” em conformidade.
4. Calcule teoricamente o valor do primeiro e do segundo zeros da parte positiva do espectro de amplitude do *sinc*.

-
-
5. Altere também o valor de “*Sample Time*” do analisador espectral para um valor coerente.
 6. Explique o que observa no analisador espectral e compare os valores obtidos com os valores teóricos calculados acima. Se considerarmos que a largura de banda do sinal vai até ao primeiro zero, qual a largura de banda necessária (em Hertz e em rad/s) para passar um sinal binário de 100 Kbits por segundo, com um *duty cycle* de 10%?

-
-
-
-
-
-
-
-
7. Guarde o modelo.

Ponto 3 – Espectro da função delta dirac

Objectivo: Pretende-se visualizar o espectro da função delta dirac na prática (isto é, usando uma aproximação real da função delta dirac).

Procedimentos:

1. Abra um novo modelo (dirac.m) e não se esqueça de o ir guardando de vez em quando.
 2. Copie um “*Signal Generator*” do bloco *Sources*, e use uma onda quadrada de pico 5 e frequência 250 Hz.
 3. Trabalhe com os parâmetros de simulação “*Min Step Size*” e “*Max Step Size*” apropriados.
 4. Use um “*derivative*” do grupo *Linear* e um bloco “*Abs*” do grupo *Nonlinear* para obter sinais parecidos com a função delta dirac.
 5. Visualize a onda temporal obtida com um “*Graph*”, e use um “*Average PSD*” para ver o seu espectro. O novo valor a colocar em “*Sample time*” do analisador de espectros deverá ter em atenção que o pente de Diracs é obtido por meio de uma operação de derivação. Teremos um Dirac associado ao flanco ascendente de um impulso e outro associado ao flanco descendente, facto que nos conduz a um sinal com o dobro da frequência da onda quadrada original.
 6. Guarde o modelo.
- Explique o que obteve

Ponto 4 – Translação na frequência

Objectivo: Pretende-se visualizar o espectro de um sinal binário constituído por impulsos, e o efeito na frequência e no tempo de transladar esse sinal na frequência.

Comentário: O que se vai experimentar é já uma forma de modulação digital de amplitude, que será o tema do último capítulo da disciplina. É bastante simples, e é uma aplicação directa da propriedade da transformada de Fourier.

Procedimentos:

1. Abra um novo modelo (transl.m) e vá guardando de tempos a tempo para não o perder se o SIMULINK rebentar.
2. Gere uma onda quadrada a simular o envio de uma sequência de símbolos “1” com um *duty cycle* de 50% e um ritmo de 250 bits por segundo. A amplitude de cada pulso pode ser de 5 e a parte baixa é zero. Escreva a frequência do primeiro zero.

Frequência: _____ Hz frequência angular: _____ radianos por segundo

3. Regule os parâmetros “*Max Step Size*” e “*Min Step Size*” para valores adequados.
4. Use um “*Graph*” e um “*Average PSD*” para visualizar o sinal no tempo e na frequência.
5. Desenhe o espectro teórico e a densidade espectral de energia pratica que obteve no “*Average PSD*”

Espectro teórico

DEP visualizada (Average PSD)

6. Vai-se agora fazer uma translação na frequência, usando a respectiva propriedade da transformada de Fourier.
7. Em vez de lhe ser dito o que fazer para transladar o sinal para a frequência de 20 KHz, escreva o que deve fazer, desenhe os blocos que vai usar com os respectivos parâmetros e faça.

8. Visualize agora o sinal transladado na frequência, e comente
