

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

Grupo: ____ nº ____ e ____

3º Trabalho de Laboratório

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

Leia e faça o Ponto 0 **ANTES** da aula de laboratório. À entrada da aula pode-lhe ser pedido este enunciado com o ponto 0 executado. Resista à tentação de copiar os resultados porque depois não entenderá muito do que se vai fazer no laboratório.

Ponto 0 – Explicações preliminares

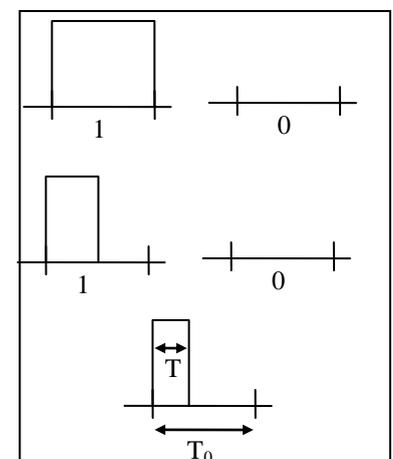
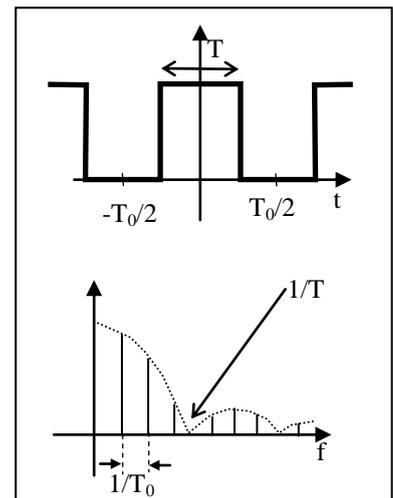
Espectro de trem de impulsos retangulares (exemplo: certos códigos de linha em transmissão binária): Relembrando as aulas teóricas, um trem de impulsos retangulares periódico tem como espectro de amplitude uma sequência de pontos discretos envolvidos por um *sinc*. Este *sinc* anula-se para múltiplos de $1/T$. Os pontos discretos, no valor das harmónicas, distanciam-se de $1/T_0$. Assim, vão existir tantas harmónicas até ao primeiro nulo do *sinc* quantos $1/T_0$ «coubarem». Repare que o nulo pode não ser múltiplo de uma harmónica (aliás como está mostrado na figura ao lado).

Espectro de trem de impulsos triangulares: Um trem de impulsos triangulares periódico tem como espectro de amplitude uma sequência de pontos mas agora envolvidos por um *sinc*². O *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 usa um **código de linha** em que para o símbolo “1” se transmite um impulso de D Volt e para o símbolo “0” não se transmite nada (como está mostrado na parte de cima da figura).

Imagine que se transmite uma sequência de “101010101” para se ter um trem de impulsos retangulares periódico. Se quiséssemos transmitir a um ritmo de 100 bits por segundo, por exemplo, o tempo de cada símbolo ou neste caso binário o tempo de bit: o impulso (D Volt), ou nada, designado por 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” – “11111111” seria também um trem de impulsos periódico. Uma decisão é definir quanto deve durar a “parte alta” do pulso, T , na duração total do símbolo, ou no seu período, T_0 (como está mostrado na parte de baixo da figura). 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. E se a sequência fosse “10101010”?



Ponto 0 – Preparação do Laboratório

Problema 1. Determinação da largura de banda e zeros do espectro de um sinal trem de pulsos. Normalmente considera-se a largura de banda de um sinc, a frequência onde existe o primeiro nulo. Considerando então um trem de impulsos retangulares de *duty cycle* T/T_0 , obtenha:

1. Uma expressão que dada a frequência dos pulsos (100 pulsos por segundo, 200 pulsos por segundo) calcule o número de riscas espectrais até ao primeiro nulo.

2. Duas expressões que calculem as frequências do primeiro e do segundo nulos do sinc dada a frequência dos pulsos (100 pulsos por segundo, 200 pulsos por segundo) e o *duty cycle*.

Ponto 1 - Determinação da largura de banda de um sinal

€

Objetivo: Pretende-se calcular teoricamente a largura de banda ocupada por um trem de impulsos retangulares 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*” e forme uma onda retangular com uma frequência de 50 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*.

Quantas riscas espectrais existem até ao primeiro nulo?

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.

Quantas riscas espectrais existem até ao primeiro nulo?

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 50 bits por segundo, com um *duty cycle* de 10%?
-
-
-

11. Comente a diferença da necessidade de frequência entre os dois resultados anteriores. Note que em ambos os casos se está a transmitir ao mesmo ritmo – 50 bits por segundo.
-
-
-

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

Objetivo: 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 retangular para uma frequência de 50 mil impulsos por segundo, um *duty cycle* de 50% e uma amplitude de 10. Use um “*Graph*” para a visualizar e ponha a gama temporal em 0,0001 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*.

Quantas riscas espectrais existem até ao primeiro nulo?

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 50 Kbits por segundo, com um *duty cycle* de 10%?

Quantas riscas espectrais existem até ao primeiro nulo?

7. Guarde o modelo.

Ponto 3 – Espectro da função delta dirac

Objetivo: 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*”, e use uma onda quadrada de pico 10 e frequência 500 Hz.
 3. Trabalhe com os parâmetros de simulação “*Min Step Size*” e “*Max Step Size*” apropriados.
 4. Use um “*derivative*” e um bloco “*Abs*” 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

Objetivo: 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 direta 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 50 bits por segundo. A amplitude de cada pulso pode ser de 2 e a parte baixa é zero. Escreva a frequência do primeiro nulo do sinc.

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 respetiva 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 respetivos parâmetros e faça.

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