

Introdução às Telecomunicações

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Secção de Telecomunicações

Mestrado integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Licenciatura em Engenharia Informática

**Grupo: \_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_\_**

 **\_\_\_\_\_\_**

**5º Trabalho de Laboratório**

Objetivo Geral: Modulação digital por codificação de pulsos– PCM (*Pulse Code Modulation*) e DPCM (*Differential* *Pulse Code Modulation*).

**ATENÇÃO: O material que vai utilizar é bastante oneroso, não existem componentes sobresselentes e acidentes como sobretensões ou curto-circuitos podem danificar irremediavelmente uma bancada de trabalho.**

**Siga as instruções dos relatórios e pense bem sempre que não houver indicações completas, antes de efetuar ligações.**

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 efetuar.

1

1

1

1

1

0

1

0

1

1

0

0

0

1

1

0

1

0

0

0

1

0

0

0

1

0

0

1

1

0

1

1

1

1

1

0

1

0

1

0

0

1

0

1

0

0

0

1

0

0

0

0

1

0

0

1

1

**Explicações preliminares**

Um sinal PAM gerado por uma amostragem é um sinal discreto no tempo e contínuo na amplitude. Para o converter para um sinal digital têm de se efetuar duas operações: **quantização** e **codificação**. Estas operações estão explicadas no livro recomendado e devem ser estudadas antes de efetuar as experiências deste trabalho. Muito sucintamente, a quantização **discretiza** os valores da amplitude e provoca um erro não recuperável – **erro de quantização**. Podemos ter uma **quantização linear** ou uma **quantização logarítmica** (***companding***).

Podia-se depois enviar os pulsos em amplitude (tal como no caso de PAM) mas esse tipo de sistema ficaria muito vulnerável ao ruído. Assim, é melhor enviar a informação de uma forma mais robusta ao ataque do ruído. Para tal codificam-se os intervalos de quantização usando **símbolos binários** – 0 ou 1. Dependendo do número de intervalos, vão ser precisos mais ou menos bits. Por exemplo, para oito intervalos são precisos 3 bits. A cada conjunto de 3 bits vamos chamar de **código**.

O último passo é decidir como os símbolos 0 ou 1 são representados em tensão na linha e definiram-se os **códigos de linha**. Existem muitos códigos de linha diferentes, e estudaram-se alguns nas aulas teóricas.

Um bastante simples (e com algumas limitações) é o **código unipolar NRZ** (*Non return to zero*) em que o símbolo 1 tem um valor de tensão durante todo o tempo de bit, Tb, e o símbolo 0 não tem tensão durante todo esse tempo.

A figura ao lado mostra as várias operações para se modular em PCM (*Pulse Code Modulation*). A primeira figura representa um modulador PAM (já experimentado no trabalho anterior). A segunda figura mostra o modulador PCM com a quantização e a codificação. A terceira figura já coloca os símbolos em série pela ordem como eles vão ser transmitidos, e finalmente, a quarta, mostra o código de linha de cada símbolo se se usar o código unipolar NRZ.

Veja na segunda figura os erros de quantização que se cometem por considerar o meio de cada intervalo em vez do valor real do pulso.

A desmodulação PCM tem as operações inversas: começa com a conversão dos códigos de linha em símbolos binários, o agrupamento de símbolos para formarem o código do intervalo (que no exemplo é de três bits) e a geração de pulsos PAM com a tensão igual a metade do intervalo respetivo. Depois existe um filtro passa-baixo para “arredondar” os pulsos e formar uma onda contínua.

***Companding*** – o termo *compading* é a aglutinação das palavras *compression* e *expansion*. Existe para que, com o mesmo número de bits se possa melhorar a relação sinal-ruído (SNR) nos intervalos mais críticos (os de menor tensão). De facto, a SNR é mantida constante nos vários intervalos de quantização. Num sistema linear, em que todos os intervalos são iguais, a SNR é pior nos intervalos em que o sinal tem uma tensão pequena. É fácil de perceber porquê: nos intervalos em que a tensão é grande o valor do erro de quantização é pequeno **relativamente** ao valor da tensão. Nos intervalos em que a tensão é pequena, metade do intervalo é quase o valor do próprio sinal. A ideia é, então, ter o tamanho dos intervalos em que a tensão do sinal é pequena (os mais próximos do eixo dos xx) mais pequenos e os intervalos em que a tensão do sinal é maior, maiores. Esta compressão dos intervalos mais próximos de 0 V tem de ter uma expansão no recetor para não criar distorções no sinal. A função para fazer a compressão é uma função logarítmica, mas na prática é aproximada por 13 troços lineares para facilitar o fabrico dos circuitos que a desempenham.

**Multiplexagem por divisão temporal** – Do mesmo modo do que a modulação PAM, o PCM também é apropriado para se fazer multiplexagem por divisão temporal. Na Europa existe um sistema, E1, muito usado comercialmente. É um sistema que transmite 30 canais telefónicos mais um canal de sincronização e ainda mais um canal para sinalização telefónica (taxação, desligar chamadas, etc.). Cada canal telefónico transmite sinais na gama de frequências entre os 300 Hz e os 3.400 Hz, usando 256 intervalos e, portanto, oito bits por código. Para limitar os sinais a estas frequências usam-se filtros de *pre-alias* antes da amostragem, e de acordo com o teorema da amostragem deveríamos ter uma frequência de amostragem de 6.800 Hz. Como não existem filtros ideais que cortem logo na frequência de corte, usa-se uma frequência de amostragem um pouco maior – de 8 kHz. Assim, as amostras estão distanciadas umas das outras de 125 μs. No E1, entre duas amostras de um canal telefónico têm de ser amostrados os outros 31 canais. Como cada amostra usa 8 bits, existem C=fp\*8\*32 bits transmitidos em cada segundo. Para uma frequência de amostragem, fp, de 8 kHz o ritmo de bits por segundo de um E1 é de 2,048 Mbps. A figura em baixo mostra a estrutura da **trama de pulsos** do E1, e os oito bits de uma amostra de um canal telefónico. O canal 0 tem, alternadamente, um sinal de alarme ou um sinal de sincronização usado para o reconhecimento da trama (no caso do recetor se dessincronizar, no momento em que o recetor começa a funcionar, etc.). O canal 16 contém sinais de sinalização (controlo) da rede (taxação, ligar chamadas, desligar chamadas, etc.).

0

1

2

3

15

18

17

16

10

20

29

28

30

31

0

1

2

3

4

5

6

7

125μs

0,49μs

A grande vantagem de PCM-TDM relativamente a PAM-TDM é a sua maior imunidade a fatores perturbantes (como o ruído) e a possibilidade de se fazer a recuperação do sinal por **regeneração**, em vez de **amplificação**.

A **modulação DPCM** (*Differential Pulse Code Modulation*) foi estudada nas aulas teóricas e está explicada no livro recomendado. Muito sucintamente, a ideia base desta modulação é que em vez de transmitir o valor da amostra, ou a diferença que o valor da amostra tem relativamente à amostra anterior, o emissor transmite o **erro** que se comete ao se assumir que a amostra é igual a uma **previsão** que ambos, o emissor e o recetor, fazem tendo em conta as amostras anteriores. Se a previsão for boa o erro deve ser muito pequeno e, de facto, está-se a transmitir um sinal com uma potência média muito menor e a poupar bits por segundo (porque são precisos menos intervalos de quantização) para a mesma qualidade.

Valor a quantizar em PCM

Valor a quantizar em DPCM

Na figura ao lado estão representadas quatro amostras de um sinal. Baseado nessas quatro amostras, por exemplo, o emissor (e o recetor) vão fazer uma previsão de quanto vai valer a amostra atual. Essa previsão está representada a branco. Ora, por acaso, o sinal estabilizou e o seu valor realmente foi a amostra a negro. Assim, a diferença entre a previsão e o valor real é o que vai ser quantizado e transmitido ao se usar DPCM.

Convém referir que se pode ter qualquer algoritmo para a previsão, desde que seja igual nos dois lados. Se ela falhar muito, os erros a transmitir serão maiores... Claro que quanto melhor for a previsão menor vai ser a amplitude do erro. Para se ter uma boa previsão é necessário conhecer a estatística do sinal. Consequentemente, o princípio do DPCM é baseado na possibilidade de se ser capaz de prever com um certo sucesso a ocorrência de um certo valor para a amplitude da próxima amostra PAM.

O processo é semelhante à previsão do tempo – baseado no tempo dos últimos dias e do dia de hoje prevê-se como será o dia de amanhã. Para simplificar o processo vai-se trabalhar com sinais triangulares que são fáceis de prever pois o declive é constante (mudando de vez em quando).

Uma característica importante para que o DPCM trabalhe bem é que exista grande **correlação** entre as amostras do sinal. Um exemplo de um certo tipo de correlação existe nas sequências de letras em palavras. Por exemplo, em Português existe uma forte correlação de que a seguir à letra “q” venha a letra “u”. O “u” a seguir ao “q” é um pouco redundante e se utilizássemos um processo semelhante ao DPCM poder-se-ia enviar zero pois o emissor preveria que depois de um “q” apareceria um “u”, o mesmo acontecendo com o recetor, pelo que o erro seria zero, e era isso que se transmitia!

Este tipo de técnicas preditivas que estamos a estudar para a voz são fortemente utilizadas em imagem como métodos de compressão de imagem. Se uma imagem é constituída por muitos ***pixels***, é natural que se estivermos a ver uma parede, ou o céu, os *pixels* mudem muito pouco de uns para os seus vizinhos, e pode-se assim reduzir substancialmente o volume de dados de uma imagem.

**Ponto 0 – Preparação do Laboratório (A efetuar antes da aula de laboratório. Será verificado à entrada da aula)**

**Problema 1:**

Na tabela seguinte encontram-se representadas características de 6 sistemas de transmissão. C representa o seu ritmo total de transmissão, fp representa a frequência de amostragem, *m* o número de bits que constituem uma amostra e *n* é o número de canais de transmissão do sistema. Complete a tabela, preenchendo os valores que faltam nas células da tabela. Apresente todos os cálculos efetuados:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sistema** | **C [Kb/s]** | ***m* [bits]** | ***n* [canais]** | **fp [Hz]** |
| A | 2048 |  | 32 | 8000 |
| B | 4096 | 8 | 64 |  |
| C | 230,4 | 16 |  | 2400 |
| D | 2560 |  | 16 | 10000 |
| E |  | 64 | 1 | 2000 |

**O Equipamento**

**Modulador PCM e DPCM** – O modulador PCM e DPCM está ilustrado na figura ao lado. Este modulador pode modular sinais tanto em PCM como em DPCM. No caso do PCM pode fazer quantização linear ou quantização logarítmica. O botão 8 serve para selecionar entre estes modos de funcionamento. Pressionando sucessivamente o botão tem-se a seguinte sequência de operação: PCM linear, PCM logarítmica e DPCM. O dispositivo 1 é uma fonte de tensão DC (com um potenciómetro de 10 posições) e serve para experiências de modulação estática. O dispositivo 2 é o filtro de predição para o DPCM. Os módulos 3 e 4 são conversores analógico-digital e paralelo-série. Entre eles existem oito LEDs, 5, para visualizar os oito bits. O botão 6 permite mudar o valor de um bit selecionado permitindo experiências com erros em bits, ou uma redução artificial da resolução (usar cinco bits em vez de oito). O botão 7 permite selecionar o bit. Cada vez que é premido vai mudando para o bit de maior ordem. O botão 6 permite considerar o bit selecionado, ou não. Finalmente o equipamento 9 é o compressor com os 13 segmentos lineares a aproximar a função logarítmica.

5

1

7

4

2

6

3

8

mode

select

on/off

9

**Desmodulador PCM e DPCM** – O desmodulador PCM e DPCM está ilustrado na figura ao lado. Tal como o modulador, permite desmodular PCM e DPCM. Os blocos 1 e 3 são o conversor série-paralelo e o conversor digital-analógico. No meio, 2, tem LEDs a indicar o estado dos oito bits. O dispositivo 4 é o filtro de predição para o DPCM. O bloco 5 é o expansor que tem um comportamento inverso do compressor do modulador. O botão 6 é equivalente ao botão 8 do modulador e permite a escolha do modo do desmodulador, trabalhando da mesma forma (sequência de modos). Finalmente, o botão 7 permite trocar a indicação dos LEDs entre os bits do canal 1 e do canal 2.

5

1

7

4

2

6

3

mode

CH1 CH2

**Experiências**

Faça as ligações como está ilustrado na figura em baixo. Com a fonte de alimentação desligada alimente os circuitos com a terra (0 V), + 15V e – 15 V. Chame o assistente para verificar as ligações e ligue a fonte de alimentação. Premindo o botão mode escolha o modo PCM quantização linear tanto no modulador como no desmodulador (quando o LED apropriado se acender). Coloque todos os bits ativos no modulador (para isso prima o botão select que faz piscar LED a LED começando no de cima. Para cada LED a piscar carregue rapidamente em onoff para o fixar aceso. Passe ao LED seguinte). No desmodulador selecione o canal 2 (CH2) com o botão ch1ch2.

MODE

SELECT

ON/OFF

MODE

CH1

CH2

0 V

-15 V

0 V

-15 V

(+5 V)

15 V

~

-15 V

0 V

15 V

(+5 V)

1>

1>

M1

-U

U

O presente trabalho consiste nos seguintes pontos:

**Ponto 1 – Experiências de quantização e de codificação binária**

Em que se vai ver como os intervalos de quantização são definidos para o caso de quantização linear e logarítmica

**Ponto 2 –O PCM como método de transmissão**

Em que se vai ver o funcionamento completo de um sistema a trabalhar em PCM

**Ponto 3 – DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*)**

Em que se vai ver o funcionamento completo de um sistema a trabalhar em DPCM

**Ponto 1 – Experiências de quantização e de codificação binária**

**1.1. Quantização linear**

**Objetivo**: Pretende-se verificar a curva característica do quantizador (uma linha em escada) e o tamanho dos intervalos no caso de quantização linear. O melhor modo de ver essa curva é ter um sinal de entrada que cresça linearmente em toda a gama dinâmica e desça rapidamente. Para isso vai-se utilizar uma forma de onda dente de serra, como está mostrado na figura ao lado (use a onda triangular do gerador de funções com o *duty cycle* no máximo).

t

**O modo XY do osciloscópio:** Nas experiências que se seguem as características deveriam ser registadas ponto-a-ponto.

Assim, ir-se-ia crescendo a amplitude do sinal de entrada de –10 V a 10 V e medindo a saída em função da entrada (para valores diferentes da entrada no mesmo intervalo de quantização obter-se-iam valores iguais à saída). Usava-se a fonte de tensão que existe nos moduladores PCM (com o número 1 na página 4). Outro modo simples de se obterem estes gráficos (não tão precisos, mas aceitáveis para este trabalho) é visualizá-los no osciloscópio no modo XY. O osciloscópio trabalha normalmente em modo YT (a tensão é exibida verticalmente e o tempo horizontalmente). O modo XY exibe o canal 1 no eixo horizontal e o canal 2 no eixo vertical. Para colocar o osciloscópio no modo XY pressione o botão display e escolha o modo no botão “Formato”. Nas alíneas 5 e 6 abaixo interessa medir valores numa escala que vai de –10 V a 10 V – **a gama dinâmica**. Como a característica do quantizador é simétrica, e para se ter uma representação grande, utiliza-se uma onda de entrada dente de serra (com *duty cycle* máximo) na entrada do modulador (e no canal 1) que **varie entre 0 V e 10 V**, e fM = 1 Hz. Com esta onda vê-se só a parte de sinais positivos, mas a parte de sinais negativos é simétrica.

**Procedimentos:**

1. Coloque o gerador de funções em 400 Hz, para uma onda triangular com AM = 10 (0 V a 10 V). Visualize essa onda no osciloscópio no canal 1. Coloque agora a frequência em 1 Hz. Como a frequência é tão pequena o modo digital do osciloscópio não a consegue apanhar. Terá, manualmente, de aumentar a escala de tempo até visualizar a onda. Esta será a onda U1.

Característica da quantização linear com 8 bits

1. Coloque esse sinal à entrada do modulador. Visualize que os bits do desmodulador vão crescendo no código binário. O LED mais abaixo é o LED do sinal e deve estar sempre aceso.
2. Ligue agora a saída do desmodulador ao canal 2 do osciloscópio, a esta onda chamaremos de U2.
3. Coloque o osciloscópio em modo XY como está explicado acima. Aparece-lhe um ponto a mover-se no écran. Para conseguir perceber o caminho desse ponto tem de fazer com que a persistência do écran seja infinita. Para isso escolha o menu display e ponha a persistência em infinito. Sempre que quiser “apagar” essa linha e criar outra, retire a persistência e volte a colocá-la em infinito. Com os botões dos cursores do canal 1 e 2 faça com que a linha percorrida pelo ponto fique centrada no écran. Use o botão 1 para deslocações para a esquerda e para a direita e o botão 2 para deslocações para cima e para baixo.

Característica da quantização linear com 4 bits

1. Desenhe então essa curva – a curva de U2 versus U1 – a característica do quantizador – no diagrama à direita em cima. Não se esqueça que é só a parte positiva.
2. Descative os três bits menos significativos (os de cima, com o auxílio dos botões select e on/off). e volte a repetir a experiência da alínea anterior, desenhando a característica no diagrama à direita em baixo.
3. O que conclui?

1. O que significa “quantização linear”?

**1.2. Quantização não linear (logarítmica)**

**Objetivo**: Pretende-se ver as curvas do compressor e do expansor isoladamente, para depois as ver ao mesmo tempo. Para as ver isoladamente um dos sistemas deve estar em quantização não linear e o outro em quantização linear. Quando for para as ver em conjunto, ambas devem estar em não-linear.

**1.2.1. Registo da característica de *companding* – característica do compressor**

Prima o botão mode para colocar o modulador em modo PCM quantização não linear. Deixe ficar o desmodulador em operação linear.

Característica do compressor na quantização não-linear com 8 bits

1. Proceda de um modo idêntico ao efetuado para a característica da quantização linear. Desenhe a curva característica do compressor no diagrama à direita. Não se esqueça, mais uma vez, que está a ver apenas a parte positiva.

Característica do compressor na quantização não-linear com 5 bits

1. Descative agora os três bits menos significativos. Desenhe a curva característica do compressor no diagrama à direita. Não se esqueça, mais uma vez, que está a ver apenas a parte positiva.
2. O que conclui?

**1.2.2. Registo da característica de *companding* – característica do expansor**

Para efetuar o registo da característica do expansor coloque o modulador em modo PCM quantização linear e o desmodulador em modo PCM quantização não-linear.

1. Repita as experiências das alíneas 9 e 10 e escreva algumas conclusões

Característica do expansor na quantização não-linear com 8 bits

Característica do expansor na quantização não-linear com 4 bits

**1.2.3. Registo da característica de transmissão não-linear**

1. Nas alíneas anteriores foram efetuadas experiências do compressor e do expansor separadamente. Cada uma dessas funções, sozinhas, levam a distorções do sinal. No entanto, em operação normal elas são feitas simultaneamente. Para efetuar esta experiência coloque ambos o modulador e o desmodulador em modo PCM quantização não-linear. Registe as características do mesmo modo que anteriormente e retire algumas conclusões.

Característica da transmissão não-linear

8 bits

Característica da transmissão não-linear

4 bits

**Ponto 2 –O PCM como método de transmissão**

**Objetivo:** Vai-se experimentar agora um sistema de transmissão completo em PCM.

1. Desligue a fonte de alimentação e faça a montagem de acordo com a figura em baixo. Para além disso configure do seguinte modo. No final, chame o assistente e ligue a fonte de alimentação.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Configuração do sistema **PAM** |  | Configuração do sistema **PCM** |
| Frequência de amostragem fp | PCM |  | Modulador PCM | PCM linear |
| Duty-cycle τ/Tp | PCM |  | Desmodulador PCM | PCM linear |
| Atraso no multiplexer Δt | Min. |  | BITS Ativos | Todos ON |
|  |  |  | Seleção de canal | “CH 1” |



1. Vai-se primeiro experimentar com um valor de tensão constante. Um sinal DC. Para isso ligue a fonte DC do modulador PCM à entrada do filtro passa-baixo do canal 1 do modulador PAM (Como está mostrado na linha a tracejado na figura). Visualize no osciloscópio o sinal de saída do modulador PCM. Como é um sinal DC, vai sempre ficar no mesmo intervalo de quantização e, portanto, o sinal é sempre o mesmo no osciloscópio.
2. Varie um pouco a tensão DC até perceber que existem duas regiões de bits (leia até ao final deste ponto e veja a figura da página seguinte para perceber melhor o que deve encontrar). Tente perceber o significado do que vê no osciloscópio. Existem dois canais PAM que dão entrada no codificador PCM e o codificador vai codificar um e outro.

Cada canal tem uma estrutura de 11 bits. Os oito bits de dados da figura são 11011011. Começa com um start bit (S2 na figura) (que é sempre “*low*” para os dois canais). O start bit vem depois da linha estar em “*high*” algum tempo com o stop bit (S1 na figura). Depois tem os sete bits da magnitude da amostra, começando com o menos significativo, seguidos do oitavo bit que é o bit de sinal. De seguida vem o bit de sincronização (S3 na figura) que serve também para identificar o canal (o canal 1 tem este bit ativo em “*low*”). O último bit é o stop bit (que é sempre “*high*” e serve para marcar a distância mínima entre estruturas de dados). Se variar ligeiramente a tensão DC vê que uma zona do osciloscópio se altera e outra não (os stop, start e bits de sincronização não se alteram e os de dados sim. Para além disso, como só está a usar o canal 1, a zona da estrutura de dados do canal 2 também não se altera (está a transmitir sempre 0 porque não existe tensão à entrada).

S3

S2

Canal 1

7

8

4

2

1

3

5

S1

6

S1

1. Coloque a tensão DC da fonte do modulador PCM em 5 V. Desenhe a curva do sinal da saída do modulador PCM (no ponto que está mesmo à entrada do desmodulador PCM) no diagrama ao lado (o que vê no osciloscópio da explicação da alínea anterior). Identifique os bits. Atenção que esta não é uma onda periódica, pelo que das duas uma: ou coloca o disparo, em disparo único do menu trigger; ou usa o botão run/stop para parar o écran. Escreva o código que usou (leia-o no desmodulador PCM).

Sinal de saída do PCM com CH1: 5 V e

CH2: 0 V

1. Determine o ritmo de transmissão C, líquido e bruto, para fp = 10 kHz. Não se esqueça que cada amostra tem 8 bits líquidos, mais 3 bits brutos.

 Cliqu= bps Cbruto= bps

1. Assumindo que a ligação PCM pode ter no mínimo uma duração de bit de 2,7 μ seg e que existem 2 canais, qual a frequência de amostragem máxima por canal para os casos de se usarem 8 e 11 bits?

 fmáxliqu= Hz fmáxbruto= Hz

1. Retire a tensão DC da fonte do modulador PCM da entrada do modulador PAM e coloque um sinal sinusoidal com fM = 500 Hz e AM = 5 V (10 V pico a pico). Porque é que não obtém um padrão estável, de amostra para amostra,, como o da figura da alínea 4?

1. Para obter um padrão estável coloque momentaneamente a frequência fM em aproximadamente 0,5 Hz! Que relação temporal existe entre os símbolos PCM e os pulsos de amostragem do modulador PAM?

Sinal sinusoidal de entrada e desmodulado

1. Volte a colocar a sinusoide em 500 Hz e veja no osciloscópio a onda de entrada e a onda desmodulada. Desenhe-as no diagrama ao lado. Que observações faz?

**Ponto 3 – DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*)**

**Explicação:** O DPCM é um método de redução de redundância. Como se explicou no início deste trabalho, o preditor faz os seus cálculos em função dos valores anteriores. Isto é, tenta predizer que valor vai surgir e depois envia o erro do valor real relativamente ao que ele previu (no caso do emissor); ou usa o valor recebido para corrigir o valor que previu em função dos valores anteriores (no caso recetor). As predições do emissor e do recetor devem ser sempre iguais. É, portanto, muito importante que no início da transmissão ambos os preditores comecem com o mesmo valor. Para se conseguir isso, deve-se fazer o seguinte procedimento aquando da colocação em operação.

1. Ligue a entrada PAM no modulador PCM a 0 V.
2. Mude o modulador PCM para DPCM
3. Mude o desmodulador PCM para DPCM
4. Desligue a entrada PAM do modulador PCM de 0V
5. Baixe a amplitude do sinal a modular no gerador de funções para 0 V.
6. Coloque o sinal a modular na entrada PAM do modulador PCM e coloque a amplitude desejada.

O passo 5 deve ser sempre feito cada vez que se façam alterações aos bits activos. Depois do passo 5 pode-se mudar outra vez a amplitude do sinal.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Atenção aos seis procedimentos explicados em **Explicação**. | Configuração do sistema **PAM** |  | Configuração do sistema **PCM** |
|  | Frequência de amostragem fp | PCM |  | Modulador PCM | DPCM |
|  | Duty-cycle τ/Tp | PCM |  | Desmodulador PCM | DPCM |
|  | Atraso no multiplexer Δt | Min. |  | BITS Ativos | Todos ON |
|  |  |  |  | Seleção de canal | “CH 1” |



**Procedimentos:**

1. Use a montagem mostrada na página anterior, que em termos de ligações é igual à do PCM, mas configure-o com os valores da tabela da página anterior. Coloque um sinal triangular com aproximadamente 500 Hz de frequência e amplitude 4 V (8 V pico a pico) no filtro de entrada do canal 1 do modulador PAM.

Vamos ver o que vai acontecendo ao longo do processo de transmissão, de acordo com os blocos da figura seguinte. Pretende-se visualizar as formas de ondas nos pontos A a F. Se o modulador e desmodulador PCM não introduzir nenhuma alteração, as formas de onda em C e D serão iguais.

Modulador PAM

Desmodulador PAM

Predictor DPCM

Predictor DPCM

Modulador

Desmodulador

A

B

C

D

E

F

Modulador PCM

Desmodulador PCM

--

+

1. Ligue o canal 1 do osciloscópio ao sinal de entrada do modulador PAM. Visualize os seguintes sinais no canal 2 e desenhe as ondas nos diagramas respetivos, escrevendo uma pequena descrição do que desenhou.

Sinal de entrada PAM - Ponto A

Sinal do preditor do modulador DPCM – Ponto B

Sinal de saída do modulador DPCM – Ponto C

Sinal de entrada do desmodulador DPCM – Ponto D

Sinal do preditor do desmodulador DPCM – Ponto E

Sinal de saída PAM – Ponto F