

## CAPÍTULO VI – MULTIPLEXAÇÃO

Quando vários canais de comunicação devem ser transmitidos entre terminais e estes estão localizados de forma coincidente, existe uma solução econômica para resolver este problema. Esta solução é a multiplexação e visa compartilhar recursos de um meio de transmissão. Basicamente, existem três tipos de multiplexação, são elas:

- Multiplexação por divisão de frequência (**FDM**, *Frequency Division Multiplexing*).
- Multiplexação por divisão de tempo (**TDM**, *Time Division Multiplexing*)
- Multiplexação por divisão de código (**CDM**, *Code Division Multiplexing*)

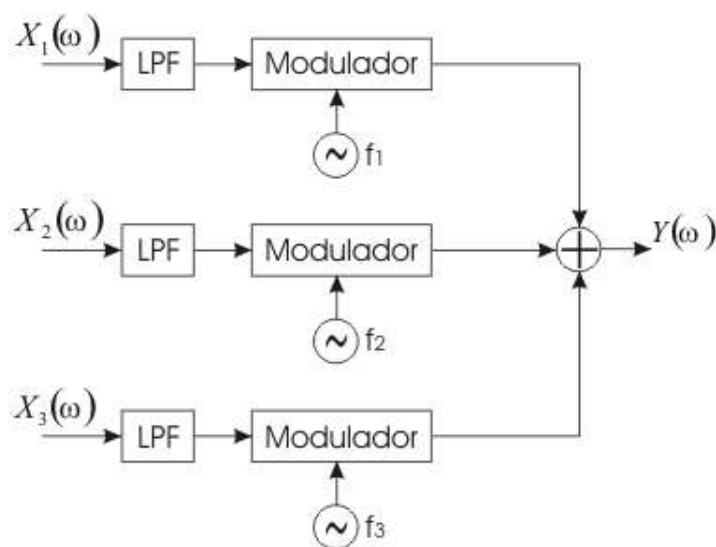
Em sistemas de comunicações ópticas, os sistemas utilizam sinais de alta frequência ( $f$ ), na ordem de 200 THz, e por isso, utiliza-se comumente o comprimento de onda da luz ( $\lambda$ ) para descrever a frequência óptica do sinal. A frequência óptica está relacionada com o comprimento de onda pela seguinte expressão:

$$c = \lambda f, \quad (5.1)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. Nestes sistemas, a técnica de FDM é conhecida por multiplexação por divisão de comprimento de onda (**WDM**, *Wavelength Division Multiplexing*).

### 5.1. MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE FREQUÊNCIA

O princípio está apresentado na Fig. 5.1, onde os sinais são modulados em sub-portadoras, ou seja, a frequência de modulação de cada canal difere da adjacente de um valor que garanta que um canal não vai se sobrepor ao outro. É importante frisar que LPFs são usados para evitar que sinal interfira n outro na recepção.

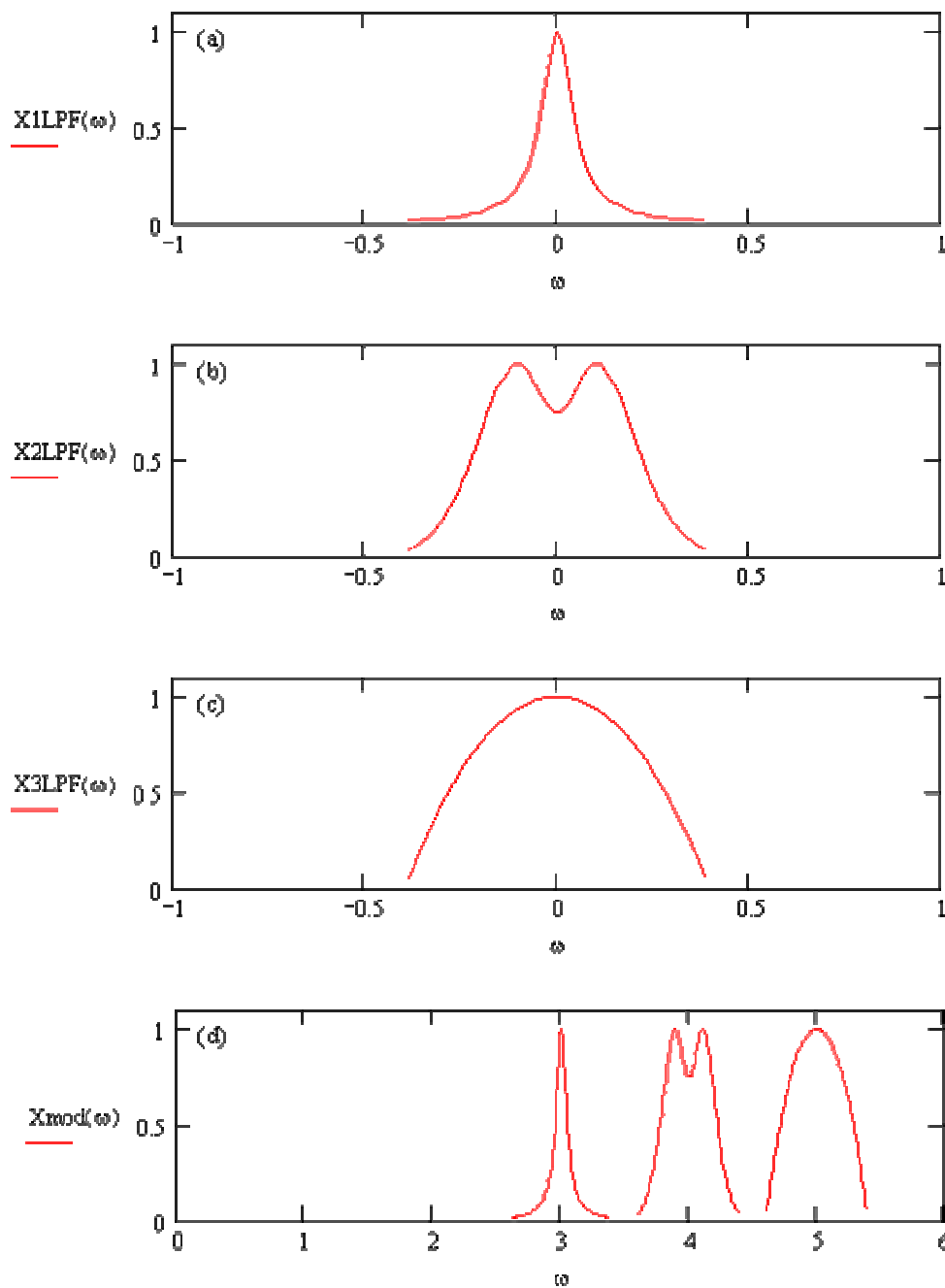


**Figura 6.1** – Esquema de um sistema de multiplexação em frequência.

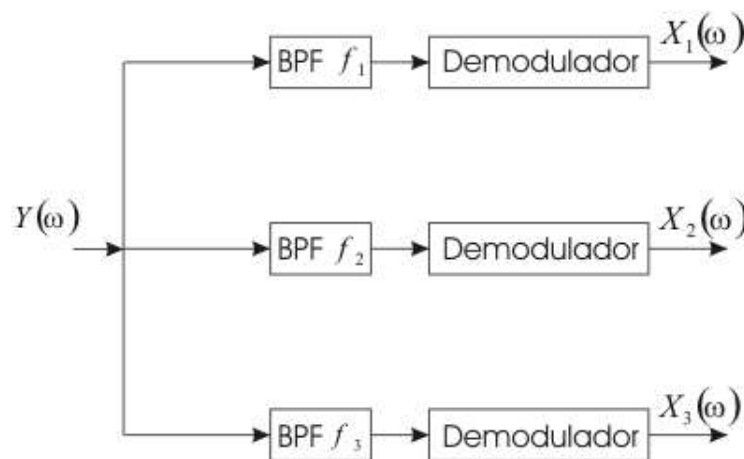
Na Fig. 6.2, pode-se notar que existe uma separação entre os espectros de cada sinal. Esta separação é chamada de banda de guarda e serve tanto para evitar diafonia entre os canais quanto para facilitar o processo de demultiplexação.

O processo de demultiplexação está apresentado na Fig. 6.3. O filtro passa-faixa serve para extrair apenas o sinal desejado e o demodulador para converter o sinal da banda passante para a banda básica. Note que quanto maior a banda de guarda, menos restrições são impostas ao filtro passa-banda.

Algumas das aplicações deste tipo de multiplexação são os sistemas de radiodifusão e comunicações via satélite ou microondas.



**Figura 6.2** – Espectro de três sinais diferentes (a), (b) e (c). Em (d) está mostrado o espectro dos sinais multiplexados em frequência nas frequências 3, 4 e 5, respectivamente.



**Figura 6.3** – Esquema para demultiplexação em sistemas FDM.

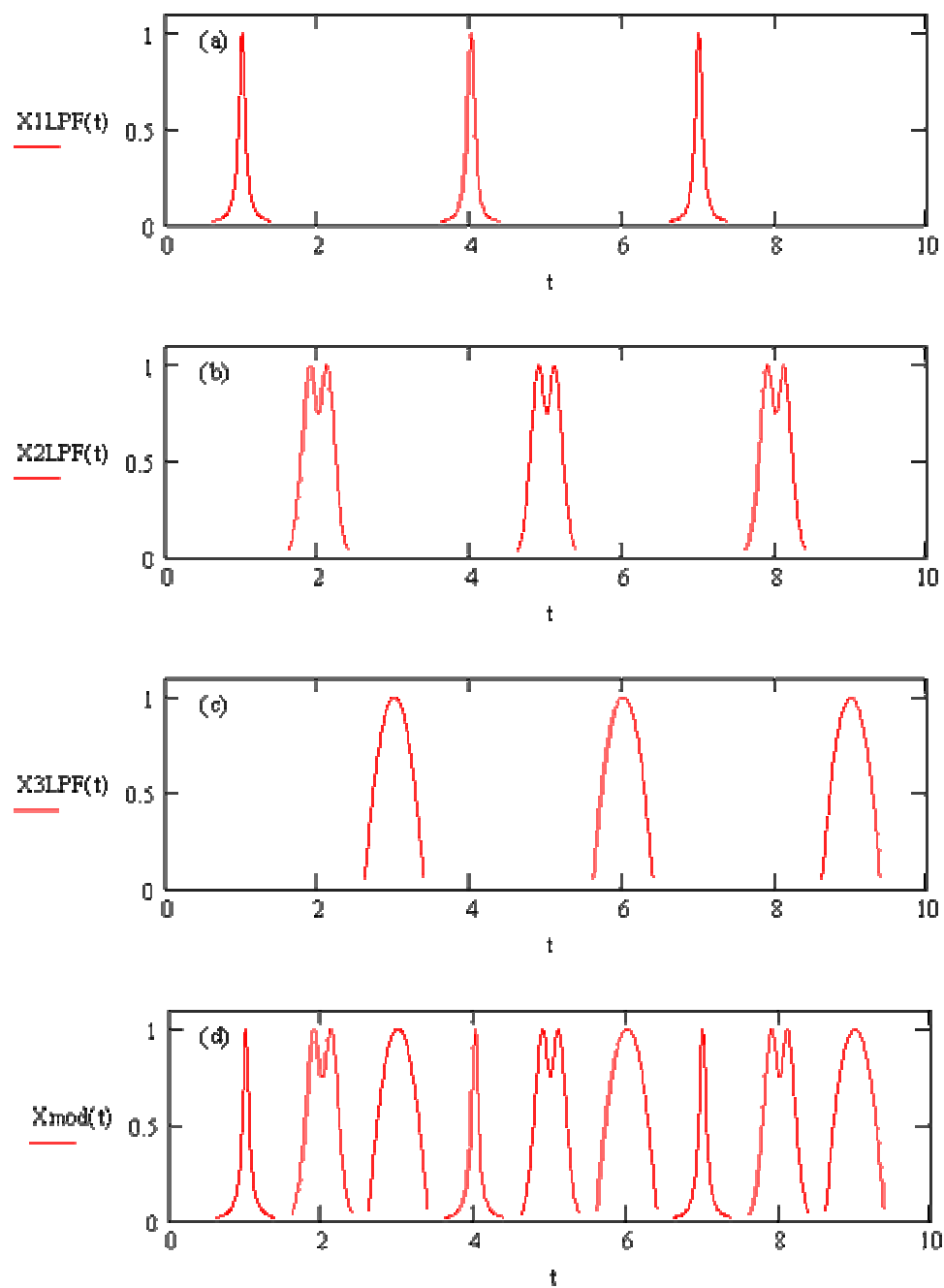
## 5.2. MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE TEMPO

A multiplexação por divisão de tempo (**TDM**, *Time-division multiplexing*) é um tipo de multiplexação, utilizada normalmente em sistemas digitais, que permite que mais do que um sinal na forma de trem de pulsos compartilhe simultaneamente um mesmo canal de comunicação. O domínio do tempo é dividido em janelas fixas de tempo, cada janela sendo reservada para um canal.

Veja o caso apresentado na Fig. 6.4, uma amostra do sinal 1 é transmitida, depois são transmitidas amostras dos sinais 2 e 3 subsequentemente. Na próxima janela é enviada uma outra amostra do sinal 1.

Em redes chaveadas a circuito, como as redes públicas de telefonia (**PSTN**, *Public Switched Telephone Network*), existe a necessidade de transmitir as chamadas de muitos assinantes ao “mesmo tempo” no mesmo meio. Nesses casos, TDM é uma boa solução. TDM permite chavear o acesso ao meio criando os chamados tributários.

O maior problema é que o sincronismo entre multiplexador e demultiplexador deve ser perfeito para não existir perda de informação. Chaves seletoras podem ser implementadas por um contador em anel. Para resolver este problema pode-se mandar um pulso piloto (com amplitude maior do que os outros) a cada rodada de amostras. Contudo, para isto só é possível transmitir  $M-1$  canais.



**Figura 6.5** – Sinais que subutilizam o sistema em taxa (a), (b) e (c). Em (d) estão mostrados os sinais multiplexados no domínio do tempo.

## **6.4. EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

- 6.4.1. Dado um sistema FDM com banda de  $W = 8,1$  MHz e banda de guarda de 30 KHz, determine quantos canais com faixa de 170 KHz podemos colocar neste sistema.
- 6.4.2. Construa um sistema FDM, utilizando e especificando os diagramas de blocos funcionais, que opere com 4 canais modulados em AM-SC. Os canais deve ter frequência fundamental por volta de 10 MHz, banda de 200 kHz e banda de guarda de 40 kHz.
- 6.4.3. Simule um sistema TDM, utilizando uma ferramenta computacional com descrição matemática, que opere com 3 canais modulados em PAM. Apresente um exemplo do sinal modulado a partir de sinais analógicos de tempo contínuo.
- 6.4.4. Quais as aplicações mais frequentes de PDM em controle.