

# Modulações de pulsos 2

## Comunicações I

---

Thadeu L. B. Dias

UFRJ

## 1. Amostragem

PAM

## 2. PWM e PPM

## Recap

---

A forma mais básica de modulação de pulsos é a modulação de amplitude:

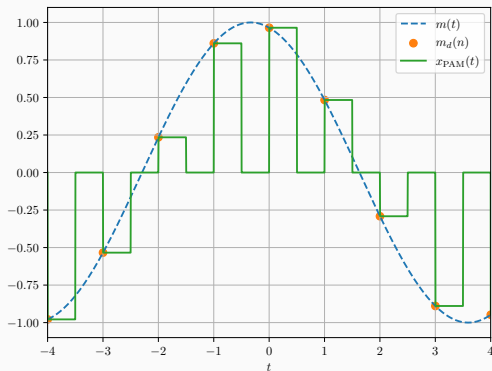
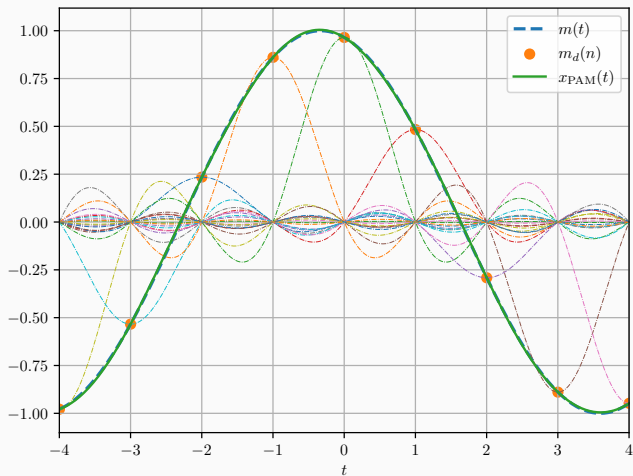


Figura 1: Sinal modulado do tipo PAM.

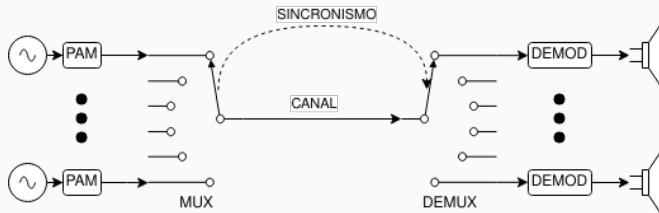
O PAM é efetivamente a convolução do sinal idealmente amostrado com um sistema com resposta  $h(t)$  com o formato do pulso. O formato do espectro do PAM tem a forma

$$X_{\text{PAM}}(f) = M_{\delta}(f)H(f). \quad (1)$$

Uma demodulação efetiva envolve um passa-baixas, por ex., a sinc:



Com um pulso 'curto' podemos implementar o TDM analógico:



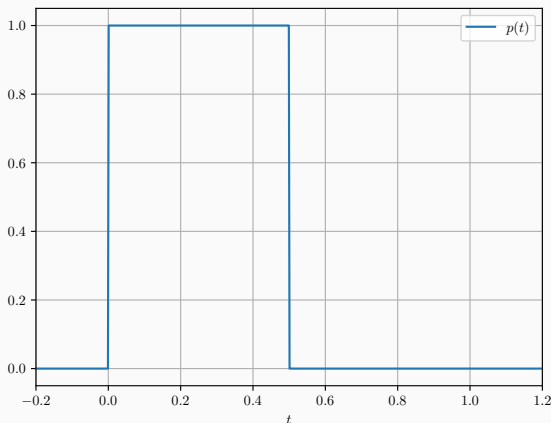
## PWM e PPM

---



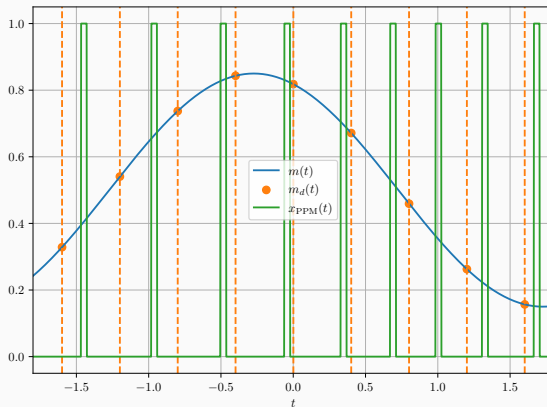
# Outras formas de modulação de pulsos

Além da amplitude, um pulso retangular tem outras propriedades que podemos alterar, como largura e posição:



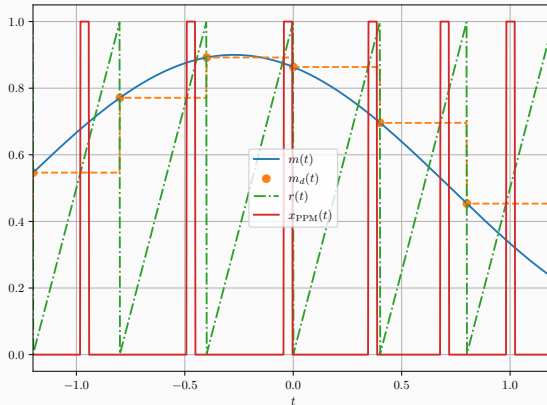
# Pulse-Position Modulation

Alterar a posição do pulso, é simplesmente inserir um atraso na posição de cada pulso individual, proporcional ao valor do sinal modulante:



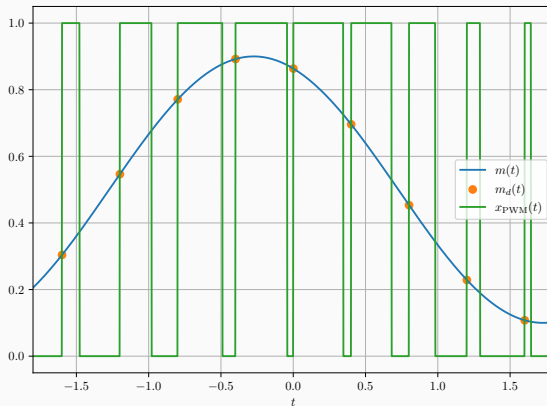
# Modulador PPM

Para gerar um sinal do tipo PPM, podemos usar um *sample and hold* em combinação com uma onda dente-de-serra auxiliar e um multivibrador monoestável:



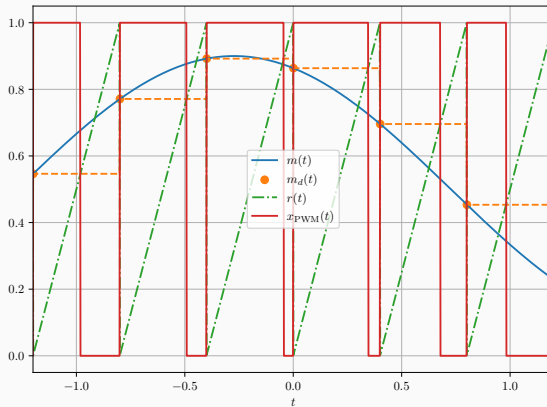
# Pulse-Width Modulation

Já na modulação por largura, esticamos ou estreitamos o pulso, novamente de forma proporcional ao valor do sinal modulante:



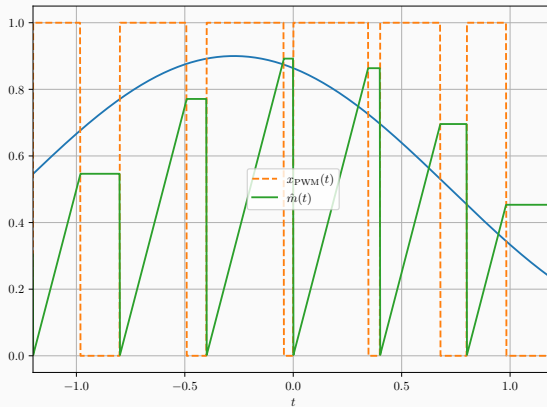
# Modulador PWM

Para gerar um sinal do tipo PWM, podemos usar um *sample and hold* em combinação com uma onda dente-de-serra auxiliar e um comparador:



# Demodulação

A demodulação PPM e PWM são similares, basta 'integrarmos' uma constante até um determinado *trigger*; No caso do PPM é o início do pulso detectado, e do PWM é o fim do pulso:



O sinal PPM pode ser descrito pela equação

$$x_{\text{PPM}}(t) = \sum_n p(t - nT_s - \kappa \cdot m_d(n)), \quad (2)$$

onde  $p(t)$  é o pulso base,  $T_s$  é o período de amostragem, e  $\kappa$  é uma constante de modulação;

Claramente, cada pulso está deslocado em proporção ao sinal modulante amostrado. Intuitivamente, podemos associar o PPM à modulação de *fase* no caso de ondas contínuas.

Já no caso PWM, talvez a forma mais simples de se escrever o sinal venha diretamente de seu circuito de modulação; Dada uma função do tipo rampa,

$$r(t) = \begin{cases} \frac{t}{T_s}, & 0 \leq t < T_s \\ 0 & \text{n.d.c.} \end{cases}, \quad (3)$$

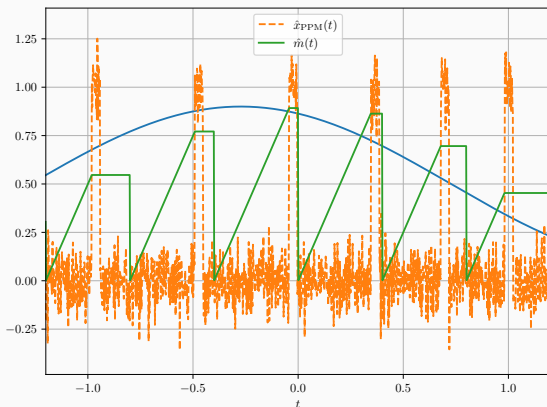
o PWM é obtido pela equação

$$x_{\text{PWM}}(t) = 0.5 + 0.5\text{sign} \left( \sum_n m_d(n) - r(t - nT_s) \right). \quad (4)$$

Através dessa equação a associação com uma modulação do tipo CW não é tão clara, mas se observarmos que o PWM ‘dilata’ no tempo os pulsos, podemos imaginar que o PWM é análogo ao FM.



Assim como o PM e FM são modulações não-lineares, não é simples calcular a banda ocupada pelo PPM ou PWM. Contudo, as mesmas vantagens de imunidade ao ruído que observamos no FM pode ser observada nas modulações de pulso; Considere um canal de banda infinita:



Assim como o PAM pode ser usado para se implementar o TDM, os pulsos base do PWM e PPM podem ser projetados de forma a ser possível transmitir mais de uma mensagem pelo mesmo canal, em banda base;

Nesse aspecto, de fato, a forma de modulação mais interessante no sentido de imunidade a ruído é de fato o TDM com modulação PPM!

## PWM — Controle de Potência Linear

Se deseja controlar linearmente a potência entregue a uma carga resistiva para controle de temperatura. O circuito simplificado que realiza o controle está ilustrado na Figura 2.

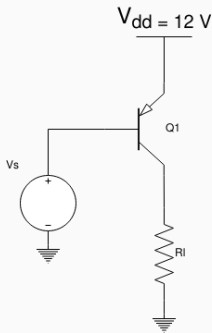


Figura 2: Controle de potência sobre a carga.

Considerando uma carga de  $1\ \Omega$ , e uma fonte  $V_{dd} = 12\ V$ , calcule:

- A potência sobre a carga  $R$  em função da tensão sobre a carga;
- A potência sobre o transistor  $Q$  em função da tensão sobre a carga; considere a corrente de base desprezível;
- A eficiência energética,  $\frac{P_L}{P_V}$ , em função da tensão sobre a carga;

$$P_L = V_L \frac{V_L}{R} = V^2$$

$$P_Q = (V_{\text{dd}} - V_L) \frac{V_L}{R} = 12V - V^2$$

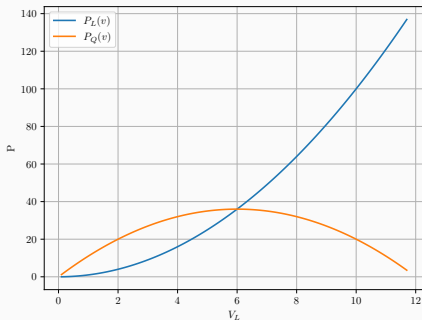


Figura 3: Potências com controle linear.

$$\eta = \frac{V^2}{12V} = \frac{V}{12}$$

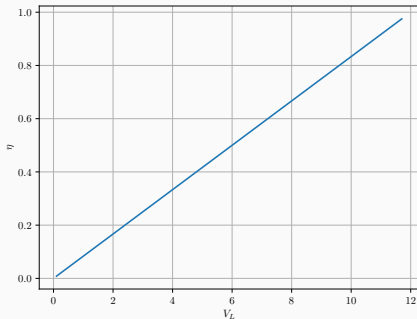


Figura 4: Eficiência com controle linear.

O sistema de controle linear agora é substituído por um controle do tipo PWM. Isso é, o controle sobre o transistor é uma onda quadrada com largura ajustável (e frequência fixa).

O *Ciclo de trabalho* é a razão entre o período em que o dispositivo está no modo ativo e o período total,

$$D = \frac{\tau}{T}.$$

Considerando o mesmo sistema anterior, calcule:

- A potência média sobre a carga  $R$  em função de  $D$ .
- A potência média sobre o transistor  $Q$  em função de  $D$ ; considere a corrente de base desprezível;
- A eficiência energética,  $\frac{P_L}{P_V}$ , em função de  $D$ ;

$$P_L = \frac{V_L^2}{R} \cdot \frac{\tau}{T} = 11.7^2 \cdot D$$

$$P_Q = V_Q \frac{V_L}{R} \cdot \frac{\tau}{T} = 11.7 \cdot 0.3 \cdot D$$

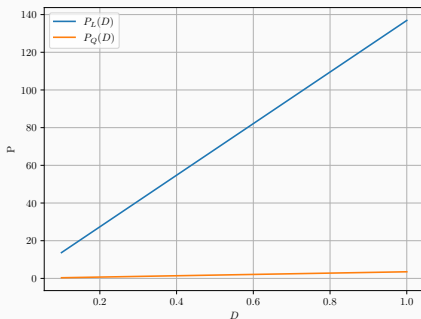


Figura 5: Potências com controle PWM.



$$\eta = \frac{11.7^2 D}{12 \cdot 11.7 \cdot D} = 97.5\%$$

(para  $D \neq 0$ )

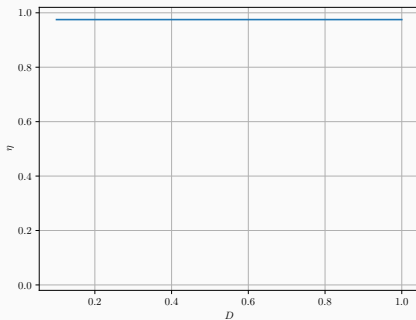


Figura 6: Eficiência com controle PWM.