Formulário

Gama dinâmica

$$GD = 20\log_{10}\left(\frac{A_{\max}}{A_{\min}}\right)$$

PCM linear

$\dfrac{S}{N_q} = 7.78 + 20\log\left(\dfrac{A}{q}\right)$ resultado em dB, $n_q = \dfrac{q^2}{12}$, $\alpha = \dfrac{A_{\max}}{\sigma_x}$ (σ_x^2 potência do sinal admitindo que este tem média nula)

PCM linear na preseça de ruído

$$\left\langle \varepsilon^2 \right\rangle = \frac{1}{L}\sum_{m=0}^{L-1}\left(\tfrac{2}{q}2^m\right) \approx \frac{4}{3L} \qquad n_d^2 = LP_e\left\langle \varepsilon^2 \right\rangle \approx \frac{4}{3}P_e$$

PCM não-linear

$$n_q = \frac{1}{3L^2}\int_{-1}^{1}\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 p(x)dx$$

Lei A:

$$y = \begin{cases} \operatorname{sgn}(x)\left[\dfrac{A|x|}{1+\ln(A)}\right] & 0 \le |x| \le \dfrac{1}{A} \\ \operatorname{sgn}(x)\left[\dfrac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}\right] & \dfrac{1}{A} \le |x| \le 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_c = 10\log_{10}\left(\dfrac{A}{1+\ln A}\right)^2 \\ V_c = 24\,\text{dB}(A = 87.6) \end{cases}$$

Lei μ:

$$y = \operatorname{sgn}(x)\frac{\ln(1+\mu|x|)}{\ln(1+\mu)} \Rightarrow \begin{cases} V_c = 10\log_{10}\left(\dfrac{\mu}{\ln(1+\mu)}\right)^2 \\ V_c = 33.3\,\text{dB}(\mu = 255) \end{cases}$$

PCM adaptativo

$$\left|\frac{dx(t)}{dt}\right|_{\max} \le \Delta(L-1)f_s$$

PCM diferencial

$$\rho_i = R_x(iT_s)/\sigma_x^2$$

$$\begin{bmatrix} \rho_0 & \rho_1 & \rho_{n-1} \\ \rho_1 & \rho_0 & \rho_{n-2} \\ \rho_{n-1} & \rho_{n-2} & \rho_0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_n \end{bmatrix}$$

$$\left(\frac{s}{n_q}\right)_{DPCM} = g_p\left(\frac{s}{n_q}\right)_{PCM} \qquad g_p = \left[1 - \sum_{i=1}^{n} c_i\rho_i\right]^{-1}$$

Modulação Delta

$$\left|\frac{dx(t)}{dt}\right|_{\max} \le \Delta f_s \qquad <\varepsilon^2> = 2\int_{-\infty}^{+\infty}\varepsilon^2 p(\varepsilon)d\varepsilon = \frac{1}{2\Delta}\int_{-\Delta}^{\Delta}\varepsilon^2 d\varepsilon = \frac{\Delta^2}{3} \qquad \frac{s}{n_q} = \frac{3f_s}{\Delta^2 B}s$$

Potência de ruído térmico: $n_i = k_B T B_N$

Valores para Bn de um filtro de Butterworth de ordem *n*

n=1 $B_N = 1.14B$	**n=2** $B_N = 1.11B$	**n=3** $B_N = 1.07B$

Factor de ruído: $F = 1 + T_e/T_i$

Factor de ruído de uma cadeia com repetidorees: $F_{sist} = F_{cr,1} + \dfrac{F_{cr,2}-1}{g_{cr,1}} + \dfrac{F_{cr,3}-1}{g_{cr,1}g_{cr,2}} + \ldots + \dfrac{F_{cr,m}-1}{g_{cr,1}g_{cr,2}\cdots g_{cr,m-1}}$

$F \approx mF_{cr}$ (amplificador compensa totalmente as perdas do cabo, ***m*** **>>1**)

Probabilidade de erro para uma cadeia com regeneradores: $P_{\text{erro final}} \approx m\alpha$ (***m*** **>>1**).

Probabilidade de erro para diferentes códigos de linha:

(N)RZ unipolar (0, A) $BER = Q\left(\dfrac{A}{2\sigma}\right)$	**(N)RZ polar (±A/2)** $BER = Q\left(\dfrac{A}{2\sigma}\right)$	**AMI (-A,0,+A)** $BER = 2Q\left(\dfrac{A}{2\sigma}\right)$

Espectro de pulsos com amplitude *1*:.

Coseno Elevado: $\begin{cases} T & ,0 \le |f| < f_N(1-\alpha) \\ T/2\left[1-\sin\left(\frac{\pi|f|}{2\alpha f_N}-\frac{\pi}{2\alpha}\right)\right] & ,f_N(1-\alpha) \le |f| \le f_N(1+\alpha) \\ 0 & |f| \ge f_N(1+\alpha) \end{cases}$ ***Pulso rectangular***: $\frac{1}{\pi f}\sin(\pi fT)$

Densidade espectral de potência (símbolos incorrelacionados)

$$G_x(f) = \sigma_a^2 r|P(f)|^2 + (m_a r)^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} |P(nr)|^2 \delta(f-nr)$$

Regras de substituição para alguns codigos de linha:

	#1s desde última substituição: par	#1s desde última substituição: impar
HDB3	**C 0 0 V**	**0 0 0 V**
B3ZS	**C 0 V**	**0 0 V**

Par simétrico

Parâmetros secundários:

$$Z_0(\omega) = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \qquad \gamma(\omega) = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)}$$

Velocidade de fase e de grupo:

$$v_f = \left(\frac{\beta}{\omega}\right)^{-1} \qquad v_g = \left(\frac{\partial\beta}{\partial\omega}\right)^{-1}$$

Parâmetros secundários (aproximações):

$G << \omega C\,,\quad \omega L << R$

$$\alpha(\omega) \cong \sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \qquad \beta(\omega) \cong \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}$$

$G << \omega C\,,\quad \omega L >> R$

$$\alpha(\omega) \cong \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} \qquad \beta(\omega) \cong \omega\sqrt{LC}$$

Pupinização do par simétrico:

$$f_c = \frac{1}{\sqrt{CL_p d_p}}$$

Cabo Coaxial

Parâmetros secundários (aproximação para altas frequências $\omega L >> R$):

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \qquad \alpha(f) = a + b\sqrt{f} + cf \quad \text{dB/Km} \qquad \beta(\omega) = \frac{\sqrt{\varepsilon_r}}{c}\omega$$

Fibras Ópticas

Diferença de índices normalizada: $\Delta = \frac{\left(n_1^2 - n_2^2\right)}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

Ângulo critico: $\sin\phi_{\min} = \frac{n_2}{n_1}$ **Ângulo máximo de entrada na fibra:** $n\sin\theta_{0,\max} = n_1\sin\theta_c = \left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2}$

Abertura numérica: $\text{AN} = n\sin\theta_{0,\max} = n_1\sin\theta_c = \left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2} \approx n_1\sqrt{2\Delta}$

Frequência normalizada: $V = \frac{2\pi}{\lambda}an_2\sqrt{2\Delta}$

Dispersão interamodal:

$\delta\tau = \tau_{\max} - \tau_{\min} \approx \frac{L}{c}n_1\Delta$: índice em degrau $\quad \delta\tau = \tau_{\max} - \tau_{\min} \approx \frac{L}{10c}n_1\Delta^2$: índice parabólico

$\sigma_{\text{inter}} = \frac{\delta\tau}{2\sqrt{3}}$: pulsos rectangula res $\quad \sigma_{\text{inter}} = \frac{\delta\tau}{2\sqrt{2\ln 2}}$: pulsos gaussianos

Dispersão intramodal: $\sigma_{\text{intra}} = D_\lambda L \sigma_\lambda$

Largura de banda óptica:: $B_o = \dfrac{0.187}{\sigma_{\text{total}}}$ **Largura de banda óptica e eléctrica**: $B_o = \sqrt{2} B_e$

Ritmo binário: $r_B \le \dfrac{1}{4\sigma_{\text{total}}}$

Fontes Ópticas

Comprimento de onda do LED:

$$E_g = h\nu = hc/\lambda \qquad h\upsilon = E_g + k_B T/2$$

Largura de banda a meia potência

$$\Delta\nu = 1.8 k_B T/h$$

Rendimento do LED:

Interno:

$$R_{total} = N/\tau \qquad \eta_{\text{int}} = R_{rad}/R_{total}$$

Externo: $\eta_{ext} = \dfrac{1}{n(n+1)^2}$ (meio exterior ar)

Resposta do LED: $R = P_e/I = \eta_{ext}\eta_{\text{int}}(h\nu/q)$

Resposta em frequência do LED à modulação directa:

$$P(\omega) = P_0 \Big/ \sqrt{1+(\omega\tau)^2}$$

Condições de oscilação do LASER Fabri-Perot

$$\Gamma g \ge \Gamma g_{th} = \alpha_i + \frac{1}{2L}\ln\frac{1}{R_1 R_2} \qquad 2kL = 2\pi m,\ m \text{ inteiro}$$

Espaçamento entre comprimentos de onda emistidos pelo LASER Fabri-Perot

$$\delta\lambda = \lambda_m - \lambda_{m-1} \approx \frac{\lambda_m^2}{2nL}$$

Espaçamento entre comprimentos de onda emistidos pelo LASER Fabri-Perot

$$g(\lambda) = g(0)\exp\left[-\frac{(\lambda-\lambda_0)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Recepção Óptica

Respostividade do fotodíodo PIN: $R_\lambda = \dfrac{\eta q}{h\nu}$

Corrente média no fotodíodo APD: Corrente média : $I_M = MI_p = R_\lambda M P_o$

Resposta em frequência do LED à modulação directa (frequência de corte): $f = \dfrac{1}{2\pi}\dfrac{1}{\sqrt{\tau_{sp}\tau_{ph}}}\sqrt{\dfrac{I}{I_{th}} - 1}$

Densidade espectral de potência da corrente de ruído quântico:

PIN : $\dfrac{d < i_q^2 >}{df} = 2qI_p = 2qR_\lambda P_o$ APD : $\dfrac{d < i_q^2 >}{df} = 2qM^2 F(M) I_p = 2qM^2 F(M) R_\lambda P_o$

Potência do ruído quântico: $< i_q^2 > = 2qI(1) I_2 r_b$, em que *I*(1) é a corrente de nível 1.

$$S_0 = \frac{d < i_t^2 >}{df} + \frac{d < i_a^2 >}{df} + \frac{1}{R_T^2}\frac{d < e_a^2 >}{df} \qquad S_2 = (2\pi C_T^2)\frac{d < e_a^2 >}{df}$$

Potência de ruído do circuito: $< i_c^2 > = 2S_0 I_2 r_b + 2S_2 I_3 r_b^3$

Parâmetros do circuito receptor:

$$Q = \frac{V_1 - V_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \qquad D_{opt} = \frac{\sigma_0 V_1 + \sigma_1 V_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \qquad P_e = \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left[\frac{Q}{\sqrt{2}}\right]$$

Parâmetros para a distribuição (assumida gaussiana) do sinal de tensão à saída do circuito receptor:

$$< n_q^2 >|_1 = 2Z_0^2 q R_\lambda P_r(1) I_2 r_b \qquad < n_q^2 >|_0 = 2Z_0^2 q R_\lambda P_r(0) I_2 r_b \qquad < n_c^2 > = 2Z_0^2 \left[S_0 I_2 r_b + S_2 I_3 r_b^3 \right]$$

Sensibilidade:

PIN: $\overline{P}_r = \frac{1}{2} P_r(1) = \frac{Q\sqrt{< i_c^2 >}}{R_\lambda}$ **APD:** $\overline{P}_r = \frac{Q}{R_\lambda} \left[\frac{\sqrt{< i_c^2 >}}{M} + qQF(M) I_2 r_b \right]$

Power Budget:

$$P_S = P_r + \alpha L + nA_j + 2A_c + M_{\text{sistema}}$$

Rise Time Budget:

$$T_{\text{r}}^2 = T_{\text{tr}}^2 + T_{\text{fibra}}^2 + T_{\text{rec}}^2$$

Constantes;

Boltzman: $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K Planck: $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js Carga do electrão: $-1.6 \times 10^{-19} C$

Valores para a função *Q*(*k*): $Q(k) = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{k}{\sqrt{^\wedge 2}} \right) \qquad Q(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_k^{+\infty} e^{-\lambda^2/2} d\lambda$

$Q(k) = 10^{-6} \Rightarrow k = 4.8$	$Q(k) = 10^{-8} \Rightarrow k = 5.6$	$Q(k) = 10^{-10} \Rightarrow k = 6.4$	$Q(k) = 10^{-12} \Rightarrow k = 7$
$Q(k) = 10^{-7} \Rightarrow k = 5.2$	$Q(k) = 10^{-9} \Rightarrow k = 6$	$Q(k) = 10^{-11} \Rightarrow k = 6.8$	

Valores de alguns zeros da função de Bessel de ordem 0 $J_0(v) = 0$

v=2.405 v=5.5201 v=8.654 v=11.792.