

线性调制

常规调幅

$$\text{调制效率 } \eta_{AM} = \frac{P_f}{P_f + P_c} = \frac{\beta_{AM}^2}{2 + \beta_{AM}^2}$$

$$\text{信噪比增益: } G_{AM} = 2 \eta_{AM} = \frac{S_o / N_o}{S_i / N_i}$$

$$\text{调幅信号功率 } P_{AM} = P_c + P_f$$

P_f : 边带功率

$$\text{载波功率 } P_c = \frac{A^2}{2R}$$

A : 载波峰值

R : 电阻

$$\frac{S_i}{N_i} = \frac{A_o^2 + E[f^2(t)]}{4N_o W}$$

$$\text{输入噪声功率 } N_i = 2N_o W = N_o B$$

N_o : 单边功率谱密度

B : 单边带宽

$$\text{输入已调信号功率: } S_i = S_f + S_c$$

$$\text{调幅指数 } \beta_{AM} = \frac{A_m}{A_o}$$

$$\text{常规调幅信号带宽: } B_{AM} = 2W$$

W : 基带信号带宽

$$\text{输出信噪比 } \frac{S_o}{N_o} = 2 \beta_{AM}^2$$

S_o : 输出有用信号的平均功率

N_o : 输出噪声的平均功率

单边带调制 SSB

$$\text{滤波器归一化值 } \alpha = \frac{\Delta f}{f_c} = \frac{\Delta B}{f_c} \geq 10^{-3}$$

$$\text{一级调制后上下边带间隔 } \Delta B_1 = 2f_L$$

f_L : 调制信号最低频率

$$\text{二级调制后上下边带间隔 } \Delta B_2 = 2f_{c1}$$

f_{c1} : 载频

$$N_i = N_o B_{SSB} = N_o W$$

$$G_{SSB} = 1$$

双边带调制

$$N_i = N_o B_{DSB} = 2N_o W$$

$$G_{DSB} = 2$$

角调制

$$\text{调频指数 } \beta_{FM} = \frac{K_{FM} A_m}{\omega_m} = \frac{\Delta \omega_{max}}{\omega_m} = \frac{\Delta f_{max}}{f_m}$$

$K_{FM} A_m$: 最大角频率偏移
 Δf_{max} : 最大频偏

$$\text{调相指数 } \beta_{PM} = K_{PM} A_m$$

$$\text{调频信号带宽 } B_{FM} \approx 2 N_{max} f_m$$

卡森公式

$$B_{FM} = 2 (1 + \beta_{FM}) f_m = 2 f_m + 2 \Delta f_{max}, \text{ 若 } \beta_{FM} \ll 1 \text{ 则 } B_{FM} \approx 2 f_m$$

$$\beta_{FM} \gg 1 \text{ 则 } B_{FM} \approx 2 \Delta f_{max}$$

$$\text{最高边频次数 } N_{max} = 1 + \beta_{FM}$$

$$\text{频偏比 } D_{FM} = \frac{\Delta \omega_{max}}{\omega_{max}} = \frac{\Delta f_{max}}{f_{max}}$$

$\Delta \omega_{max}$: 峰值频率偏移

ω_{max} : 调制信号的最高频率

$$B_{FM} = 2 (D_{FM} + 1) f_{max}$$

$$\text{载波功率: } P_c = \frac{A^2}{2} J_0^2(\beta_{FM})$$

A : 未加载波幅度

$$\text{各次边频功率总和 } P_f = 2 \times \frac{A^2}{2} \sum_{n=1}^{\infty} J_n^2(\beta_{FM})$$

$$\text{调频信号总功率 } P_{FM} = P_c + P_f$$

$$\text{边频幅度 } A J_n(\beta_{FM}),$$

$$n=0 \text{ 时幅度 } A J_0(\beta_{FM}),$$

阿姆斯特朗法·宽带调频信号产生

→ 二级调频

$$\text{宽带调频信号} \begin{cases} \text{载频 } f_c = f_z (n_1 f_1 - f_r) \\ \text{最大频偏 } \Delta f_{FM} = n_1 n_2 \Delta f_1 \\ \text{调频指数 } \beta_{FM} = n_1 n_2 \beta_1 \end{cases}$$

$$\text{窄带调频信号} \begin{cases} \text{载频 } f_1 \\ \text{最大频偏 } \Delta f_1 \\ \text{调频指数 } \beta_1 \end{cases}$$

f_r : 信号频率值

非相干角调制:

$$\text{输入信号平均功率 } S_i = \frac{A^2}{2}$$

$$\text{输入噪声平均功率 } N_i = N_0 B_{FM}$$

$$\text{输出噪声功率 } N_o = \frac{2 N_0 f_m^2}{3 A^2}$$

N_0 : 单边功率谱密度

B_{FM} : 调频信号带宽

f_m : 调频信号最高频率

$$G_{FM} = 3 \beta_{FM}^2 (1 + \beta_{FM})$$

$$B_{FM} = 2 (1 + \beta_{FM}) f_m$$

相干角调制:

$$\text{噪声的功率谱密度 } P_0(f) = \frac{N_0 \omega^2}{4} = N_0 \pi^2 f^2$$

$$\text{输出噪声功率 } N_o = \frac{2 N_0 \pi^2 f_m^3}{3}$$

$$\text{输入信噪比 } \frac{S_i}{N_i} = \frac{A^2/2}{N_0 B_{FM}} = \frac{A^2/2}{2 N_0 f_m}$$

$$G_{NBFM} = \frac{2 K_{FM}^2 E [f_c^2]}{2 \pi^2 f_m^2}$$

带通 $f_L > 0$

$$\text{抽样频率 } f_s = 2B(1 + \frac{\eta}{f})$$

f_H 带通信号上截止频率
 f_L 下截止频率

$$B = f_H - f_L$$

$$M = \frac{f_H}{B} - N$$

$$\text{总的量化噪声功率 } N_q = \sigma_q^2 + \sigma_{q0}^2$$

σ_q 不过载噪声功率

$$f = \frac{1}{2\Delta}$$

σ_{q0} 过载噪声功率

均匀量化

$$\text{量化间隔 } \Delta_k = \Delta = \frac{2V}{L}$$

V 量化范围 $-V \sim V$

L 量化间隔数

$$\text{量化误差 } |e| \Rightarrow \begin{cases} |e| \leq 0.5\Delta & \text{正常} \\ |e| \geq 0.5\Delta & \text{过载} \end{cases}$$

$$\sigma_q^2 = \frac{\Delta^2}{12} \sum_{k=1}^L p_k = \frac{V^2}{3L^2}$$

$$\text{量化信噪比 } SNR = \frac{S}{N_q}$$

S : 信号平均功率

N_q : 量化噪声平均功率

$$\text{正弦信号: } SNR = \frac{3}{2} \left(\frac{A_m}{V} \right)^2 L^2 \quad A_m \text{ 正弦波的幅度}$$

$$= 3D^2 L^2 \quad D \text{ 归一化有效值} = \frac{A_m}{\sqrt{2}V}$$

$$[SNR]_{dB} = 10 \lg 3 + 20 \lg D + 20 \lg 2^n = 1.76 + 6.02n$$

正弦信号抽样:

$$\text{一周期内抽样次数 } m = \frac{f_s}{f}$$

$$\text{抽样时间间隔 } T_c = \frac{1}{f_s}$$

$$\text{相邻样值相位间隔 } \Delta\varphi = 2\pi f T_c$$

低通

$$f_s > 2B$$

$$f_s = 2f_H$$

$$A \text{ 律对数压缩 } f(x) = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \ln A} & , 0 \leq x \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln A} & , \frac{1}{A} \leq x \leq 1 \end{cases} \quad A: \text{压缩系数}$$

PCM 编码:

$$\text{编码位数 } n = \log_2 L \quad L: \text{量化电平数}$$

$$\text{信息速率 } R_b = f_s n$$

误码率 p_e

$$n \text{ 位码中有 } i \text{ 位错码概率 } p_i(n) = C_n^i p_e^i$$

$$\text{码元所造成的均方误差 } \sigma_e^2 = \frac{L^2}{2n} \Delta^2$$

码字差错率 $n p_e$

$$\text{平均误码噪声功率 } N_e = \sigma_e^2 n p_e = \frac{L^2 \Delta^2 p_e}{3}$$

$$\text{量化噪声功率 } N_q = \frac{\Delta^2}{12}$$

$$\text{码元速率 } R_s = f_s n$$

$$\text{第一零点带宽 } B = \frac{1}{T} \quad T: \text{脉冲宽度}$$

$$\text{二进制码元占空比 } D = \frac{T}{T_s} \quad T_s: \text{码元周期}$$

$$T_s = \frac{1}{R_c}$$

数字信号:

$$\text{信息传输速率 } R_b = R_s \log_2 M$$

截止频率 f_c

$$\text{码元频带利用率 } \eta_s = \frac{R_s}{B} = \frac{R_s}{1/\alpha}$$

$$\text{信号频带利用率 } \eta_b = \frac{R_b}{B}$$

$$\text{理想低通信号 } \eta_b = 2$$

$$\text{升余弦滚降信号 } \eta_b = \frac{2}{1+\alpha}$$

$$\text{NRZ 码 } \eta_b = 1 = \frac{R_b}{B} = \frac{R_s}{B}$$

$$\text{RZ 码 } \eta_b = \frac{R_b}{B} = \frac{R_s}{B} = 0.5$$

$$\text{误比特率 } P_b = Q(\sqrt{\frac{S}{2N}})$$

$$\text{单极性 NRZ 码 信噪比 } \frac{S}{N} = \frac{A^2}{2\sigma^2}$$

σ^2 噪声功率
A 峰值

$$\text{双极性 NRZ } \frac{S}{N} = \frac{A^2}{4\sigma^2}$$