

# 通信信号时频域分析研究报告

HDB<sub>3</sub> 码时频域特性仿真分析与应用研究

姓 名	李文涛
学 号	320200928101
专 业	电子信息基地班
年 级	2020 级

# HDB<sub>3</sub> 码时频域特性仿真分析与应用研究

## 中文摘要

本文首先以 AMI 码为对比对象介绍 HDB<sub>3</sub> 的由来，简略介绍该编码方案的优缺点，接着利用 MATLAB 进行编程，完成对原数字信号序列进行 HDB<sub>3</sub> 编码以及后续对信号的频谱分析，对编码时频域分析进行谱图可视化，并同时分析其在其传输速率和频谱利用率上的特点。最后根据其频谱特性分析其应用价值。

**关键词：**优缺点, MATLAB, 时频域分析, 应用分析

# Abstract

This paper introduces the advantages and disadvantages of HDB<sub>3</sub>, and then uses MATLAB to program, complete the HDB<sub>3</sub> encoding of the original digital signal sequence and the subsequent spectrum analysis of the signal, and the spectral diagram visualization of the encoding time frequency domain analysis, and analyze its characteristics in its transmission rate and frequency utilization. Finally, its application value is analyzed according to its spectral characteristics.

**Key Words:** Advantages and disadvantages, time frequency domain analysis, application analysis

## 第一部分 解析与数值计算

### 1.1 背景信息

#### 1.1.1 AMI 码的功能与不足之处

在电信中，双极编码是一种归零 (RZ) 线路编码，其中使用了两个非零值，因此这三个值是 +、- 和 0。标准的双极编码被设计成 DC 平衡，花费等量的时间处于 + 和 - 状态。双极码的使用可以防止直流分量的显著增加，正负脉冲平均电压为零。直流分量少在信号的传输过程中具有优势，因为电缆可以用于更远的距离，并为中间设备 (如线路中继器) 输送电力。在信号到达解码电路之前，可以方便、廉价地去除直流分量。[1]

与单极性码相比，双极性编码的错误检测更具有优势，因距离而减小的信号会被重新检测并创建。被噪声破坏的弱化信号可能会被错误识别为 0，导致违反双极规则 (BPV)，可以有效地发现传输错误的指示。但是由于该形式会出现长的零序列，其会导致转换和同步丢失，若想成功传输，只能确保不存在长时间运行的零。在需要频繁转换的情况下，自时钟编码 (一些更复杂的线路代码) 可能更合适，尽管他们会引入大量开销。

#### 1.1.2 改进后的 AMI 码与 HDB<sub>3</sub> 码

为了改进 AMI 码的应用能力，出现了对 AMI 改进后得到的几种编码方式，例如 B8ZS、B6ZS、HDB<sub>3</sub>、B3ZS 等编码方式，其中我们对 HDB<sub>3</sub> 进行研究。

作为在欧洲 E 载波系统中均应用的代码，HDB<sub>3</sub> 使用 “000V” 或 “B00V” 模式之一替换 4 个连续的零位。做出选择以确保具有连续不同的极性。[2]

### 1.2 解析计算

数字基带信号一般是随机信号，因此不能用求确定信号频谱函数的方法来分析它的频谱特性。随机信号的频谱特性必须用功率谱密度来描述。对任意一种给定的数字基带信号，计算功率谱密度不是一件容易的事，往往需要繁复的数学计算。假设数字基带信号以某种标准波形  $g(t)$  在码元周期  $T_s$  内传送出去，则数字基带信号可用随机序列

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g(t - nT_s) \quad (1.1)$$

表示。

通过查阅课本 [3]，HDB<sub>3</sub> 信号的功率谱密度由下式给出：

自上一个 v 以来的 +\ - 信号数量奇偶性	替换码型	上一个脉冲	编码
偶数	B00V	+	-00-
		-	+00+
奇数	000V	+	000+
		-	000-

(HDB<sub>3</sub> 编码规则示意表格)

$$P_S(f) = \frac{1}{T_b} \cdot \sin^2(\pi f T_b) \cdot \frac{A_b^2 T_b^2}{4} \text{sinc}^2 \frac{f T_b}{2} \quad (1.2)$$

按照要求，我们将  $g(t)$  的波形选为持续  $1 \mu s$  的矩形脉冲。

结合 HDB<sub>3</sub> 码的特性， $\{a_n\}$  是零均值相关序列，通过理论计算，我们得到下面的 HDB<sub>3</sub> 码信号的解析表达：

$$P_S(f) = 2.5 \times 10^{-7} \sin^2(10^{-6} \pi f) \text{sinc}^2(5 \times 10^{-7} f) \quad (1.3)$$

## 1.3 代码数值计算

### 1.3.1 实际信号

首先，我们通过查阅资料，HDB<sub>3</sub> 的编码规则如本页表格所示：

这些规则适用于代码，因为它是从原始字符串构建的。每次代码中有 4 个连续的零时，它们将被替换为 000-、000+、+00+ 或 -00-。为了确定使用哪种模式，必须计算自最后一个违规位 V 以来的正数 (+) 和负数 (-)。如果结果是奇数，则使用 000- 或 000+。如果结果是偶数，则使用 +00+ 或 -00-。要确定使用哪种极性，必须查看四个零之前的脉冲。如果必须使用 000V 形式，则 V 简单地复制最后一个脉冲的极性，如果必须使用 B00V 形式，则选择的 B 和 V 将具有与最后一个脉冲相反的极性。

即将展示的代码采用了连续信号傅氏变换的数值计算方法 [4]，算法的理论依据如下：

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt = \lim_{\tau \rightarrow 0} \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} f(n\tau) e^{-j\omega n\tau} \tau \quad (1.4)$$

当取  $\tau$  足够小时，我们可以取用它的近似式，当  $f(t)$  为时限信号或是在  $|t|$  达到一定大小时  $f(t)$  的衰减程度很高，则认为  $n$  取值有限，有：

$$F(k) = \tau \sum_{n=0}^{N-1} f(n\tau) e^{-j\omega_k n\tau}, \quad 0 \leq k \leq N \quad (1.5)$$

按照此理论基础，编写了下面的代码，以对信号进行时频域分析。

```

1      %signalAnalysis.m
2      clear all;
3      x=[0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 1
4          0 1];% 输入原码
5      y=x;% 输出y初始化
6      num=0;% 计数器初始化
7      for k=1:length(x)
8          if x(k)==1
9              num=num+1; % "1"计数器
10             if num/2 == fix(num/2) % 奇数个1时输出-1,进行极性交替
11                 y(k)=1;
12             else
13                 y(k)=-1;
14             end
15         end
16     end
17
18     % HDB3编码
19     num=0; % 连零计数器初始化
20     yh=y; % 输出初始化
21     sign=0; % 极性标志初始化为0
22     V=zeros(1,length(y));% V脉冲位置记录变量
23     B=zeros(1,length(y));% B脉冲位置记录变量
24     for k=1:length(y)
25         if y(k)==0
26             num=num+1; % 连“0”个数计数
27             if num==4 % 如果4连“0”
28                 num=0; % 计数器清零
29                 yh(k)=1*yh(k-4);
30                 % 让0000的最后一个0改变为与前一个非零符号相同极性的符号
31                 V(k)=yh(k); % V脉冲位置记录
32                 if yh(k)==sign % 如果当前V符号与前一个V符号的极性相同
33                     yh(k)=-1*yh(k); % 则让当前V符号极性反转,以满足V符号间相互极性反转要求
34                 end
35                 yh(k-3)=yh(k); % 添加B符号,与V符号同极性
36                 B(k-3)=yh(k); % B脉冲位置记录
37                 V(k)=yh(k); % V脉冲位置记录
38                 yh(k+1:length(y))=-1*yh(k+1:length(y));
39                 % 并让后面的非零符号从V符号开始再交替变化
40             end
41             sign=yh(k); % 记录前一个V符号的极性

```

```

40     end
41 else
42     num=0; % 当前输入为“1”则连“0”计数器清零
43 end
44 end % 编码完成
45 qts=yh;
46 baudTime = 1e-6;
47 n = 400;
48 dt=baudTime/n;
49 % qts = [1];
50 T = baudTime*length(qts);
51 t=0:dt:T;
52 f=zeros(1,length(t));
53
54 for i = 1:(length(qts))
55     f((i-1)*n+1:(i-1)*n+201) = qts(i);
56 end
57 N = 1024;
58 Wl=5e6; %频率宽度
59 k=0:N;W=k*Wl/N; %采样数为N,W为频率正半轴的采样点
60 ej = exp(-1j*t'*W);
61 F=f*ej*baudTime; %求F(jw)
62 W=[-fliplr(W),W(2:N+1)]; %形成负半轴及正半轴的2N+1个频率点W
63 F=[fliplr(F),F(2:N+1)]; %形成对应于W的F(jw)的值
64 Hw = abs(F);
65 phi = angle(F);
66 Eng = F.*conj(F);
67 figure;
68 subplot(4,1,1);plot(t,f);
69 xlabel('t/s');ylabel('f(t)');
70 title('f(t)');
71 subplot(4,1,2);plot(W,Hw);
72 xlabel('f/Hz');ylabel('H(f)/V');
73 title('H(f)');
74 subplot(4,1,3);plot(W,phi);
75 xlabel('f/Hz');ylabel('phase/rad');
76 title('phase');
77 subplot(4,1,4);plot(W,Eng);
78 xlabel('f/Hz');ylabel('W/J');
79 title('Enegy')

```

通过运行代码输出图 1.1 中的时频域分析：

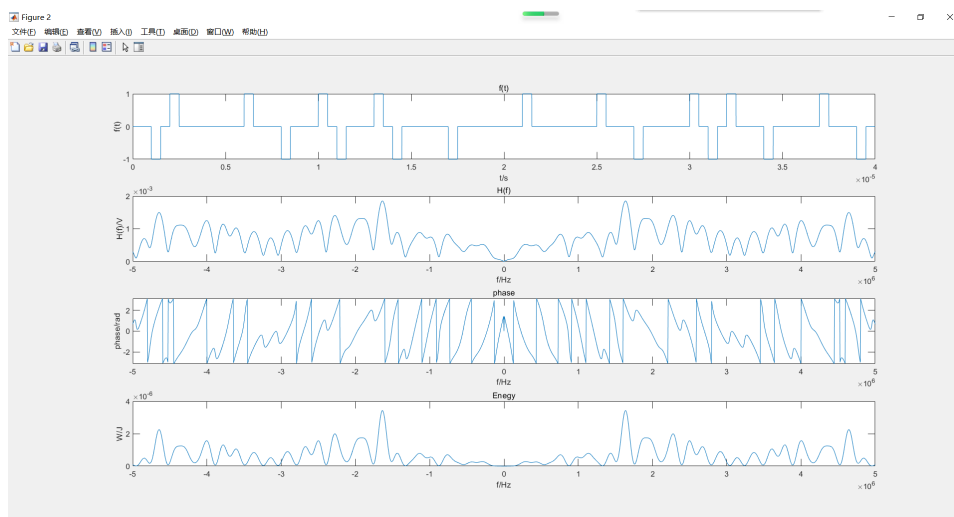


图 1.1 实际时限信号时频域分析图

### 1.3.2 理想随机信号

取消上面代码中第 49 行的注释，将输入信号置为理想信号，利用 *plot* 函数绘出此功率谱。

同样运行代码，得到图 1.2 中的频谱。

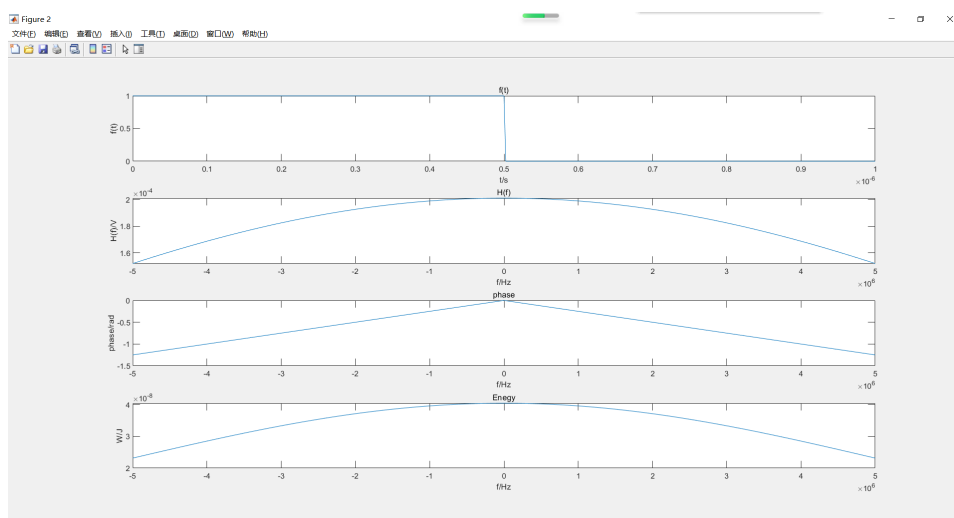


图 1.2 理想随机信号时频域分析图



## 第二部分 计算结果分析

### 2.1 仿真数据分析

#### 2.1.1 时域分布

HDB<sub>3</sub> 码作为改良过后的 AMI 码，信号中不含直流分量，含有长连 0 信号的 HDB<sub>3</sub> 的编码波形在连零时仍呈现正负交替现象，与 AMI 编码时信号长电平时间不跳变形成对比。这种信号具有能量分散，抗破坏性强的特点。

#### 2.1.2 频域分布

由图可见 HDB<sub>3</sub> 码的功率谱低频分量较少，具有丰富的高频分量，具有较高的频带利用率，传输时在速度上更具优势，不易造成群时延失真，但会出现码间干扰，在进行传输时，高频分量较多的 HDB<sub>3</sub> 码可以传输更远的距离。

### 2.2 优缺点分析

同 AMI 一样，HDB<sub>3</sub> 码正负脉冲平均电压为零，直流分量较少。在信号到达解码电路之前，可以方便、廉价地去除直流分量。[1]

较 AMI 码来说，HDB<sub>3</sub> 码的错误检测更具有优势，在需要频繁转换的情况下，HDB<sub>3</sub> 码能够缓解 AMI 码的缺陷。能够实现更好的多路复用。

相较于归零码来说，HDB<sub>3</sub> 中的脉冲能量不及 NRZ 码，但不需要与信号一起发送的单独的时钟。但与不归零格式相比，需要使用两倍的带宽来实现相同的数据速率。

HDB<sub>3</sub> 尽管归零包含同步的规定，但它仍然可能具有直流分量，导致在 0 或 1 位的长字符串期间出现基线漂移，就像线路代码不归零一样。

## 参考文献

- [1] Wikipedia contributors. Modified ami code, the free encyclopedia[Z], 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/Modified\\_AMI\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/Modified_AMI_code). [Online; accessed 27-May-2022].
- [2] Wikipedia contributors. Bipolar encoding, the free encyclopedia[Z], 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar\\_encoding#Alternate\\_mark\\_inversion](https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_encoding#Alternate_mark_inversion). [Online; accessed 27-May-2022].
- [3] 周炯槃. 庞沁华. 续大我. 吴伟陵. 杨鸿文. 通信原理 [M], volume 5. 4 ed., 北京邮电大学出版社, 2015.
- [4] 梁虹. 信号与系统分析及 matlab 实现 [M], volume 9. 1 ed., 电子工业出版社, 2001.