

部分响应系统的分析与应用

2015年4月15日

部分响应系统的分析与应用

摘要 在通信系统中,因为存在信道特征和噪声等原因,会使信号在传输过程中出现码间串扰。由奈奎斯特第一准则可知理想低通特性或等效理想低通特性都可以消除码间串扰。理想低通传输特性虽然可达到基带系统理论极限值 $2B/\text{HZ}$,但在实际上是不能实现的,且其响应波形 sinc/x 尾部收敛慢。等效理想低通特性对频带的利用率下降,不适合高速传播。依据奈奎斯特第二准则设计出的部分响应系统,可以改善频谱特性,并使频带利用率升高到理论上的最大值。本文主要讨论第 I 类和第 IV 类部分响应系统,用 MATLAB 对其波形和频谱特性进行仿真,并利用实例通过与传统设计方法比较,突出部分响应系统的优越性。

关键词 奈奎斯特第一准则; 奈奎斯特第二准则; 部分响应系统; 频带利用率

The analysis and application of partial response system

Abstract In a communication system, because of channel characteristics and noise, the signal will be interfered by InterSymbol Interference during transmission. By the first Nyquist criterion, we know that ideal low-pass characteristic or equivalent ideal low-pass characteristic can eliminate InterSymbol Interference. The ideal low-pass characteristic can achieve a theoretical maximum value 2 b/HZ , but it can't be implemented in fact and its response waveform $\sin x/x$ converges slowly. The equivalent ideal low-pass characteristic would decline the bandwidth efficiency, and is not suitable for high-speed transmission. According to the second Nyquist criterion, we can design the partial response system, which can improve the spectrum characteristic, and the bandwidth efficiency increases to a maximum of theory. In this paper, we discuss the I class and the IV class partial response system, using matlab to simulate the waveform and spectrum characteristics, and use the instance to highlight the advantages of partial response system by comparing with the traditional design method..

Keywords first Nyquist criterion; second Nyquist criterion; partial response system; bandwidth efficiency

目 录

1 数字基带信号传输与码间串扰	1
1.1 数字基带信号	1
1.2 基带传输的码型	2
1.3 数字基带信号传输系统的组成	2
1.4 码间串扰	3
2 无码间串扰的基带传输特性	4
2.1 无码间串扰的时域条件	4
2.2 无码间串扰的频域条件	4
3 部分响应系统	6
3.1 五类常见的部分响应系统	6
3.2 两种应用最广泛的部分响应系统	7
4 部分响应系统的应用实例	12
4.1 第 I 类部分响应系统应用于二进制振幅键控	12
4.2 第 IV 类部分响应在单边带系统中的应用	16
结 论	19
参考文献	20
致 谢	21

引言

在通信行业高速发展的 21 世纪，数字通信在现代生活中的应用已经越来越广泛，因此基带传输作为数字通信的一种传输方式具有十分重要的意义。然而数字基带信号在实际的基带传输中往往会受到一些干扰，比如噪声和码间串扰¹⁾。

码间串扰是在数字基带信号传输过程中一种非常常见的现象，要使接收端能够准确的恢复信息，在传输过程中必须要能够有效的除去码元之间的相互干扰。只有传输总特性与奈奎斯特第一准则相符合，才能使基带信号在信道中进行传输时不会存在码元之间的相互串扰。但只是使传输系统满足奈奎斯特第一准则，又会面临无法物理实现或频带利用率低等问题。

因此，为了使无码间串扰的传输系统具有良好的频带利用率，我们需要根据奈奎斯特第二准则完成对部分响应系统的设计。部分响应系统中最常用的是第 I 类和第 IV 类，根据这两类部分响应的特点对一些传统的通信系统进行改善，通过对具体的实例进行分析并与传统的通信系统相比较，更加清楚的突出部分响应系统的优势。

1 数字基带信号传输与码间串扰

1.1 数字基带信号

在没有经过调制的数字信号中，如果该信号所占的频谱是从零频及其附近开始的，那么我们通常将这种信号称作数字基带信号。在实际的数字传输系统里，由于信道特性和系统指标要求不同，所以要选择不同的数字脉冲波形。从理论上讲，基带信号波形可是选用任意形状的脉冲，但是考虑到矩形脉冲要容易产生和处理，因此实际系统中矩形脉冲是最为常用的一种数字波形。

1.2 基带传输的码型

通常情况下，我们所指的基带信号就是用电表示方法来表示消息代码。然而在考虑现实情况时可知，并非任何一种代码的电波形都能够在信道中进行传输。比如如果电波形中含有丰富的直流和低频成分的话，这种电波形就有可能导致信号的畸变，因此这种波形就不宜在信道中传输。同时，出现长时间连“0”的码型不利定时信息的提取，也不适合在信道中传输。

传输码型正常情况下应遵循下列准则：

- (1) 便于提取定时分量；
- (2) 传输码型没有直流分量并且含有的低频分量要尽可能的少^[2]；
- (3) 能顺应信息源的改变——不会被信息源的统计特征所影响；
- (4) 传输效率要高；
- (5) 具有内在的检错能力。

1.3 数字基带信号传输系统的组成

如下图所示是一个最为常见和最为简单的数字基带传输系统：

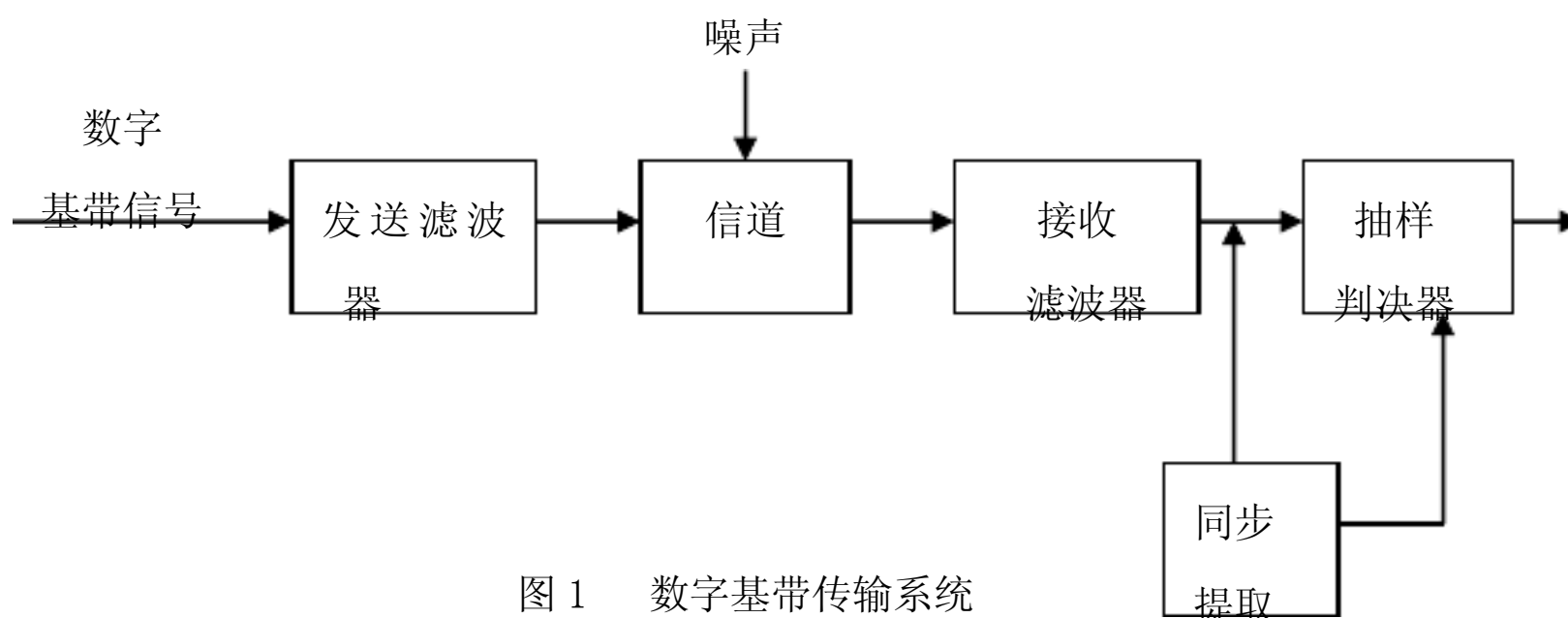


图 1 数字基带传输系统

在上图所示的数字基带信号最基本的传输系统中各个部分的作用和功能如下：

发送滤波器：对输入的信号进行码型和波形变换，使之变为适宜在信道中传输的信号。

信道：允许基带信号通过的媒质。

接收滤波器：主要功能是接收信号并过滤掉带外噪声和其余干扰，使得输出的基带波形能更好的进行判决。

抽样判决器：它的传输特性和背景噪声是不理想的，通过特殊的控制时序脉冲采样判断对接收滤波器的输出波形，以恢复或再生的基带信号^[3]。

1.4 码间串扰

码间串扰（ISI）指的是在接收信号中除了当前码元之外的其余全部码元在抽样时刻的总和。当码间串扰对信号造成的影响比较严重时，会有很大可能导致抽样判决器错误判决发生误码。下图通过相邻码元 I 和 II 的相互干扰情况为例来说明码间串扰。

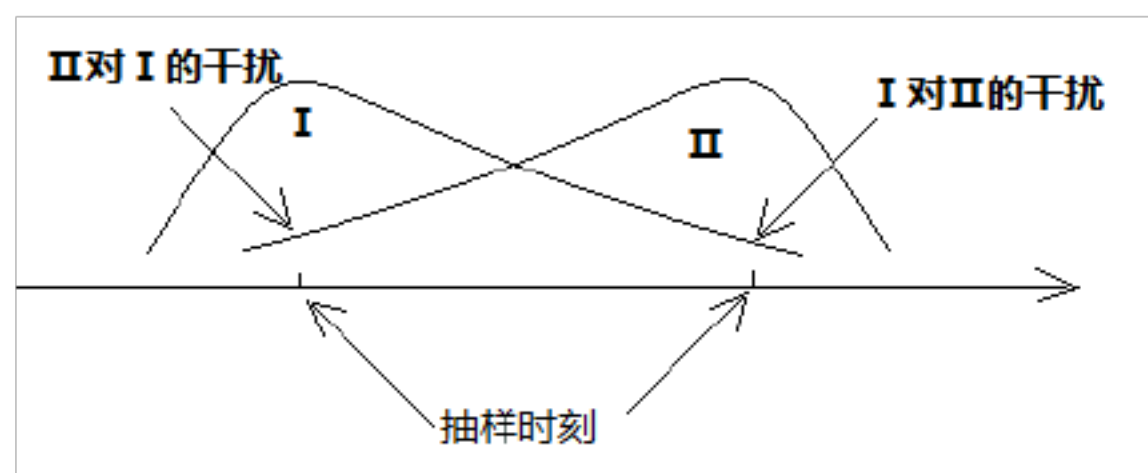


图 2 相邻码元之间的码间串扰示意图

2 无码间串扰的基带传输特性

码间串扰 (ISI) 会影响传输系统的质量, 如果比较严重的话会造成错误判决, 使传输系统的接收端无法正确地恢复出原来的信号。因此, 信号传输时码间串扰的存在与否对通信系统的总体质量有着十分重要的意义, 这就使得实现无码间干扰传输变得十分重要^[4]。下面在假设信道没有噪声的理想情况下, 从时域和频域两个方面来研究传输系统需要满足的条件时才能使信号在传输过程中没有码元之间的相互干扰。

2.1 无码间串扰的时域条件

要消除码间干扰, 将基带传输系统的脉冲响应波形的 $h(t)$ 只有在采样符号的时间有一个最大的值, 同时采样时间对其他符号为零。也就是说, 若对 $h(t)$ 在时刻 $t=kT$ 抽样, 则有下式成立:

$$h(t) = \begin{cases} 1 & k=0 \\ 0 & k \text{ 为其他整数} \end{cases} \quad (2-1)$$

上式说明要使信号在传输过程中不会受到码元之间的相互干扰, 就必须保证 $h(t)$ 的抽样值在 $t=0$ 时不为零的同时, 要使在其他所有抽样点的值都等于零^[8]。

2.2 无码间串扰的频域条件

假设 $H(\omega)$ 表示传输系统的总特性, 根据 $h(t)$ 和 $H(\omega)$ 互为傅里叶变换的关系, 可知 $h(t)$ 是由基带系统 $H(\omega)$ 形成的传输波形。因此, 可根据时域条件 $h(t)$ 的表达式计算出基带传输特性在不受到码间串扰的干扰时应满足

$$\frac{1}{T_s} H(\omega) \frac{2}{T_s} \approx 1 \quad |\omega| \leq \frac{1}{T_s} \quad (2-2)$$

这个条件就是我们通常所说的奈奎斯特第一准则。基带传输系统的总特性 $H(\omega)$ 只要能符合此要求，就能够消除码间串扰。

3 部分响应系统

由奈奎斯特第二准则可以知道：如果人为地、有规律地在码元的抽样时刻引入码间串扰，然后在接收端消除，就可以改善频谱特性，压缩传输频带。通过这种方法就可以达到提高频带利用率的目的，而且采用这种方法可以加快波形尾部衰减。通常把这种波形叫做部分响应波形，传输部分响应波形的系统叫做部分响应系统。

3.1 五类常见的部分响应系统

3.1.1 部分响应系统的一般形式

部分响应系统的一般表达式为：

$$g(t) = R_1 \frac{\sin \frac{\pi}{T_s} t}{\pi} + R_2 \frac{\sin \frac{\pi}{T_s} (t - T_s)}{\pi (t - T_s)} + \dots + R_N \frac{\sin \frac{\pi}{T_s} [t - (N-1)T_s]}{\pi [t - (N-1)T_s]} \quad (3-1)$$

式中：错误!未找到引用源。，错误!未找到引用源。，…，错误!未找到引用源。为加权系数，其取值为整数。

$g(t)$ 的频谱函数为：

$$G(\omega) = \begin{cases} T_s \sum_{m=1}^N R_m e^{i(m-1)\omega T_s} & |\omega| \leq \frac{\pi}{T_s} \\ 0 & |\omega| > \frac{\pi}{T_s} \end{cases} \quad \text{错误!未找到引用源。} \quad (3-2)$$

由上式可知， $G(\omega)$ 仅在（-错误!未找到引用源。，错误!未找到引用源。）范围内

存在。

3.1.2 常见的五类部分响应系统的波形及频谱

在式(3-1)中,当加权系数错误!未找到引用源。、错误!未找到引用源。、 \dots 、错误!未找到引用源。取不同的值时,就会产生不同类型的部分响应系统。不同的部分响应系统对应不同的加权系数,可以通过编写 MATLAB 程序通过改变加权系数绘制出波形图和频谱特性。

下面是给出了常见的五类部分响应系统权系数,并分别命名为第 I 类,第 II 类,第 III 类,第 IV 类,第 V 类部分响应信号。

表 1 五类部分响应系统系数表

类别	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
第 I 类	1	1	0	0	0
第 II 类	1	2	1	0	0
第 III 类	2	1	-1	0	0
第 IV 类	1	0	-1	0	0
第 V 类	-1	0	2	0	-1

为了加深对系统传递函数的局部的理解,编写 MATLAB 程序一,在程序一中建立了一个 M 文件,编写函数 Bufen,该函数的变量 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 即为部分相应系数。在命令窗口给 Bufen 函数中的 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 按照表一进行赋值,程序运行结束后,就可以得到相应的部分响应系统。

3.2 两种应用最广泛的部分响应系统

3.2.1 第一类部分响应系统

第一类部分响应系统又称双二进制信号传输系统，其波形表达式可以表示为：

$$g(t) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{T_s}\left(t - \frac{T_s}{2}\right)\right)}{T_s\left(t - \frac{T_s}{2}\right)} - \frac{\sin\left(\frac{\pi}{T_s}\left(t + \frac{T_s}{2}\right)\right)}{T_s\left(t + \frac{T_s}{2}\right)} \quad \text{错误! 未找到引用源。}$$

(3-3)

将上式化简可得：

$$g(t) = \frac{4}{1 - 4t^2/T_s^2} \cos\left(\frac{\pi t}{T_s}\right) \quad (3-4)$$

在 matlab 命令窗口输入 `Bufen(1, 1, 0, 0, 0)` 就可以得出第一类部分响应的波形和频谱特性如下：

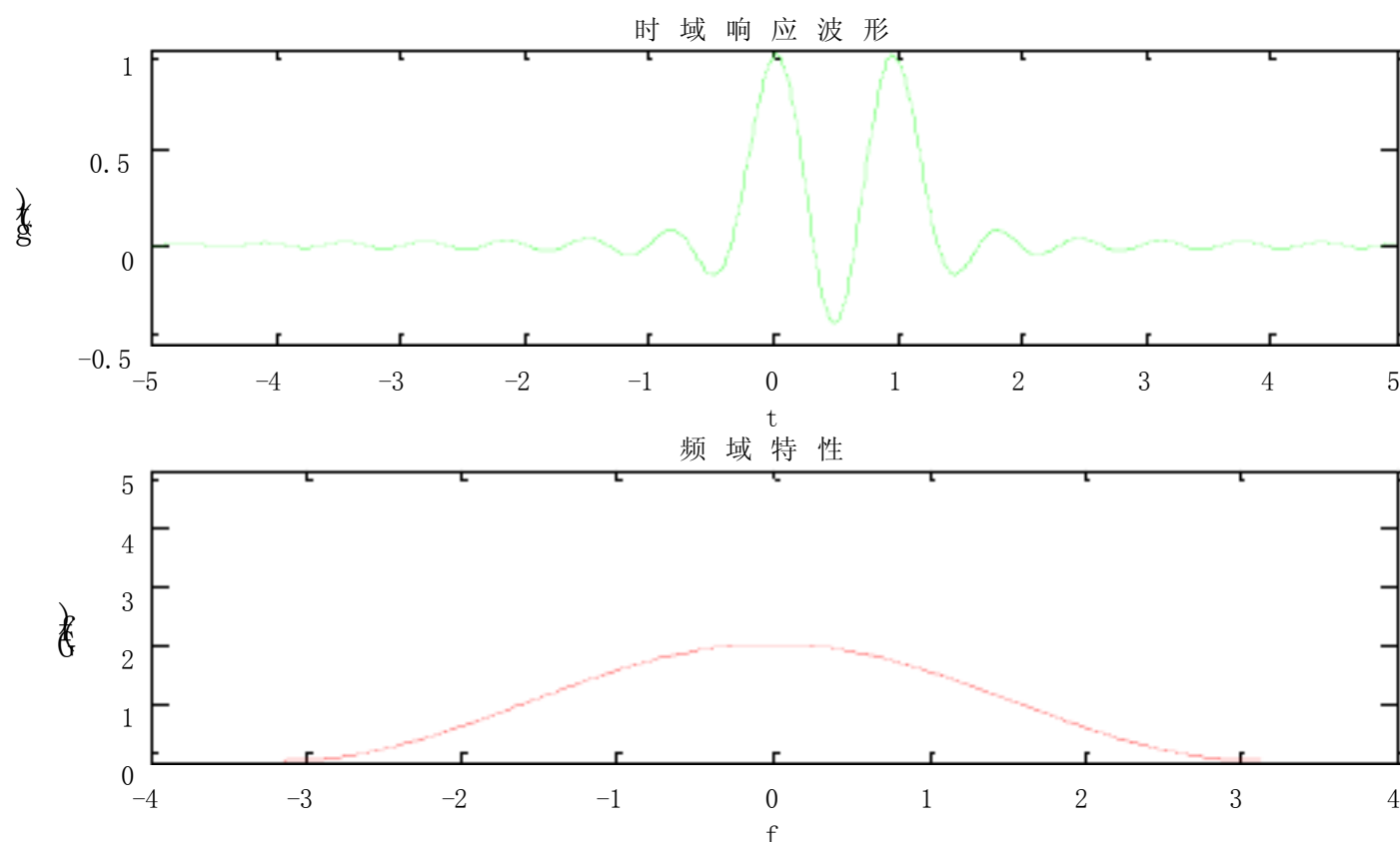


图3 第 I 类部分响应波形和频谱特性

由式 (3-4) 可见， $g(t)$ 的尾部幅度是随错误! 未找到引用源。下降的, 这说

明它比错误!未找到引用源。波形衰减大,收敛更快。此外,由式(3-3)可知,除了在相邻的取样时刻 $t=T_s/2$ 处, $g(t)=1$ 外,在其余的抽样时刻上, $g(t)$ 具有等间隔 T_s 的零点^[5],这满足了无码间串扰的时域条件。

对式(3-4)进行傅里叶变换,可得 $g(t)$ 的频谱函数为:

$$G(\omega) = \begin{cases} 2T_s \cos \frac{\omega T_s}{2} & |\omega| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3-5)$$

根据式(3-5)可以看出, $g(t)$ 的频谱被限制在(-错误!未找到引用源。错误!未找到引用源。)之内,并且呈现余弦滤波特性。这种缓慢变化的滚降特性是理想矩形滤波器的带宽(即奈奎斯特带宽)范围内,所以可以得出其带宽为 $B=1/2T_s$ (Hz) 这与理想矩形滤波器的带宽相同,因此其频带的利用率为错误!未找到引用源。 $=2(B/\text{Hz})$,这就达到了基带系统的理想极限值,提高了频带的利用率。

根据第 I 类部分响应的表达式,可以做出第 I 类部分响应的原理方框图以及实际的组成框图如下:

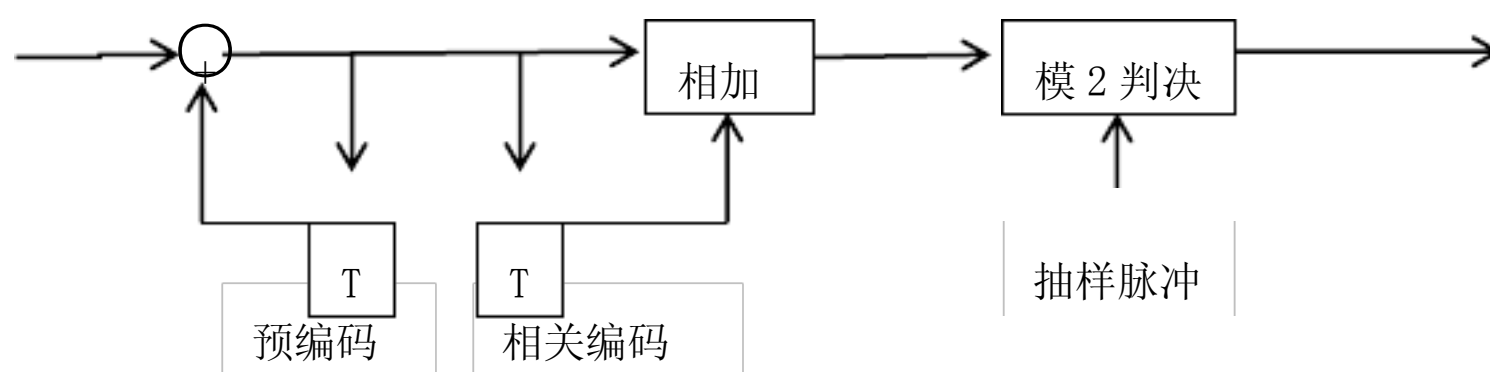


图 4 第 I 类部分响应的原理框图

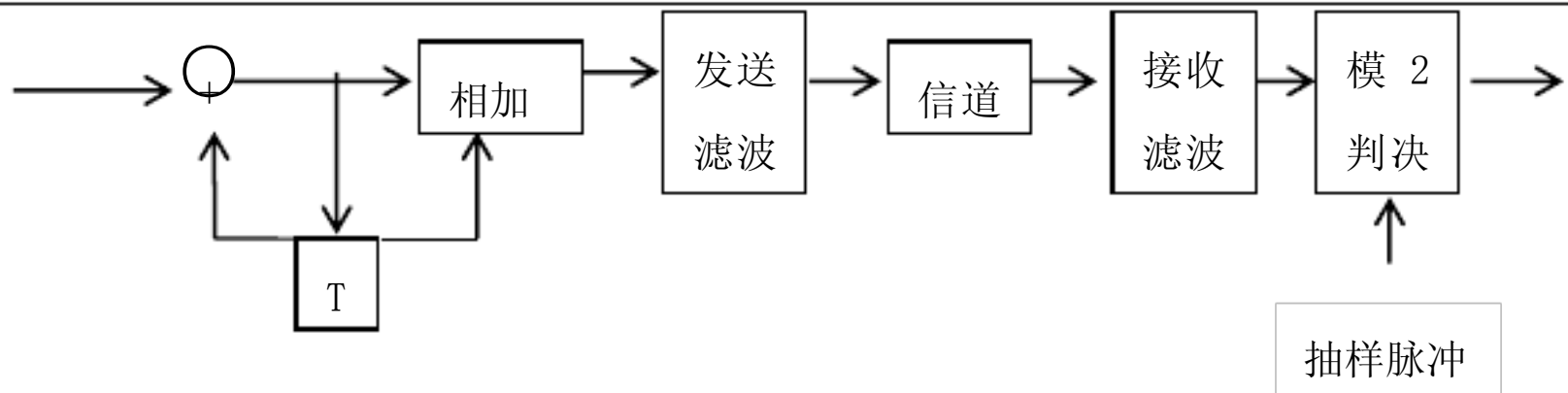


图 5 实际系统组成框图

适用场景：

根据第 I 类部分响应频谱图像可以看作在其频谱主要集中在低频，所以这类部分响应系统的信道的高频率带宽严重受限的场合是合适的。

3.2.2 第IV类部分响应

第IV类部分响应的时域表达式：

$$g(t) = \frac{\sin \frac{t}{T_s} - \sin \frac{(t - 2T_s)}{T_s}}{\frac{t}{T_s} - \frac{(t - 2T_s)}{T_s}} \quad (3-6)$$

对时域表达式 $g(t)$ 进行傅里叶变换可得其频谱函数为：

$$G(\omega) = \begin{cases} 2T_s \sin \omega T_s & |\omega| < \frac{1}{T_s} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3-7)$$

在 matlab 命令窗口输入 `Bufen(1, 0, -1, 0, 0)` 得出第IV部分响应的波形和频谱特性

如下图：

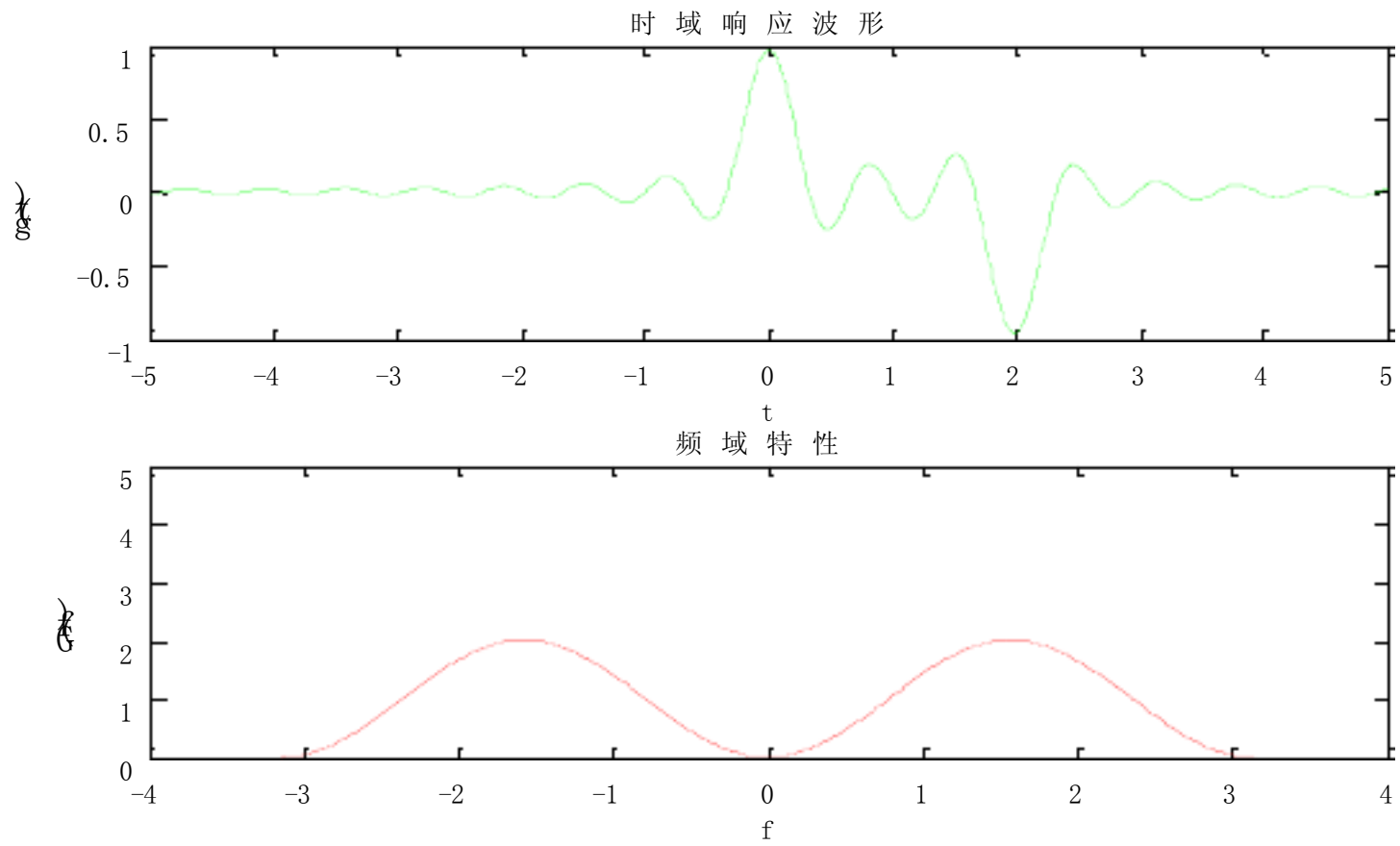


图 6 第IV类部分响应波形和频谱特性

根据第IV类部分响应的表达式，可以做出其原理方框图以及实际的组成框图

如下：

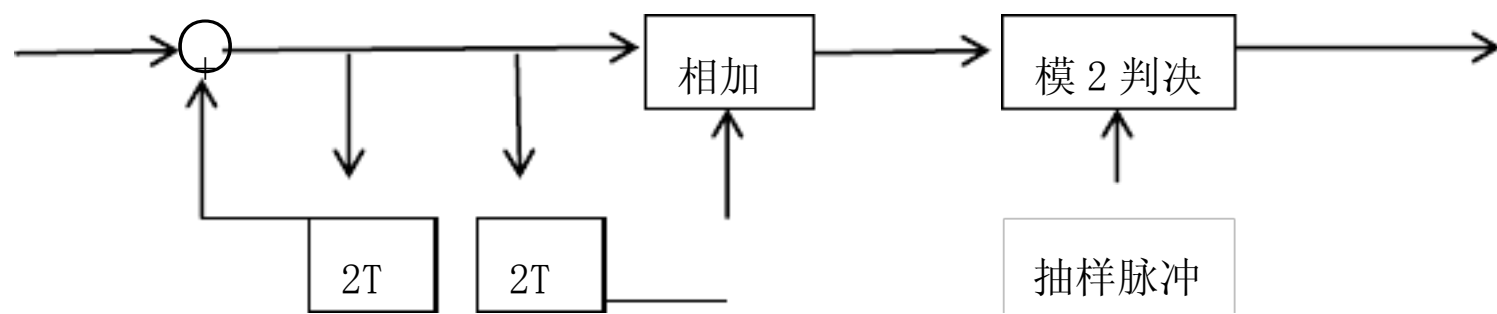


图 7 第IV类部分响应原理框图

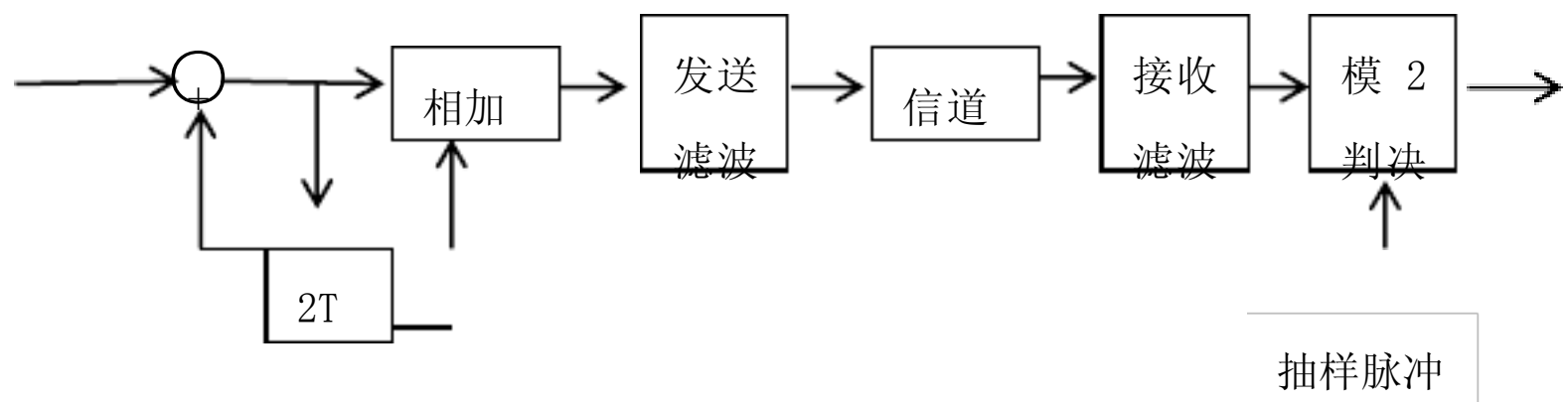


图 8 实际系统组成框图

适用场景：

由于第IV类部分响应的频谱没有直流分量，而且只含有很小的低频分量，因

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/295242303340012010>