

数字基带通信系统是一种综合系统，广泛应用于信息传输领域。数字基带通信系统的优点包括传输效率高、通信误码率低、噪声不易累积等。在设计开发数字基带通信系统时，电脑仿真是必不可少的过程。Simulink 是一种强大的通信仿真工具，具有简单易上手、功能强大和高效的矩阵运算能力等优点。

本文使用 Simulink 对 HDB3 编码和解码过程进行仿真，并分析了实验结果。同时，本文还对 HDB3 基带通信系统进行了 Simulink 仿真，并分析了误码率和时域波形等特征。通过本文的研究，可以更好地理解数字基带通信系统和 Simulink 仿真工具的应用。

关键词： HDB3 Simulink 数字基带通信系统

Digital baseband communication system is a kind of integrated system used for information transmission process. In today's society, people have higher and higher requirements for communication system. Digital baseband communication system has the advantages of high transmission efficiency, low communication bit error rate, noise is not easy to accumulate. In the process of digital baseband communication system design and development, the use of computer simulation is an indispensable process, and Simulink is a convenient communication simulation of the best tool, has the advantages of simple and easy to use, powerful, with efficient matrix computing ability. Therefore, this paper uses Simulink to simulate HDB3 and its baseband communication system.

This paper first introduces the codec rules of HDB3, then introduces the Simulink simulation of HDB3, and analyzes the experimental results, and finally Simulink simulation of HDB3 baseband communication system, and analyzes the bit error rate, time domain waveform and other characteristics.

Keywords: HDB3 Simulink Digital Baseband Communication System

第一章绪论

1.1 研究目的

信息的传播和交流在现代社会中具有重要意义，尤其是发明了无线通信后，通信的效率大大增加，最开始的时候是模拟通信，随着研究的深入，数字通信越来越成为主流，因为人们发现，数字系统具有传输效率高、通信误码率低、噪声不易累积等优点，基带通信系统使得人与人之间的交流合作变得越来越紧密，使地球真正变成一个“地球村”。

具体来说，随着基带通信技术的不断发展，基带通信系统的优点也逐渐显现。数字通信系统具有抗干扰，可以控制、集成、传输误差、加密。现代数字信号处理技术没有噪声累积，促进了基带通信系统技术。基带通信系统研究开发设计中，Simulink 软件仿真是一项重要的工程项目。Simulink 软件是一个具有节约资源、保密安全、不易出错、耗能较低、编译简单、开发即用等特点的计算机仿真工具。

研究如何利用 Simulink 软件对数字通信系统的各个环节进行开发仿真研究具有现实意义[1]。

本文对 HDB3 编译码器进行 Simulink 仿真，并对 HDB3 的基带通信系统进行 Simulink 仿真，仿真的结果以时域波形和信噪比的形式。

1.2 研究意义

基带通信系统的 Simulink 仿真可以克服诸多困难，首先它比较经济，可以在一定程度上解决通信仪器造价时间长，价格较高的困难。同时，软件仿真还能对新型的数字通信系统进行仿真开发，达到了实际应用前先开发检验效果的目的。此外软件仿真还能快速提高研究人员的通信专业能力，克服了纸上谈兵，而没有实际动手做的困境。从而大大提高了对通信的各个子类技术的掌握和理解能力。因此，数字通信系统的仿真在现代通信技术的研究和应用中具有重要的作用[3]。

结合基带通信技术的实际发展内容，本文深入结合 Simulink 软件对 HDB3 编译码器进行 Simulink 仿真，并对 HDB3 的基带通信系统进行 Simulink 仿真，融合所有的子技术从而形成一个整体的认识，从而比实际生成数字通信系统元器件更早的了解到可能存在的问题，尽早的拿出方案来预防或更改，使得实际通信实物开发的过程更加顺利，节省实际成本和经济成本。[4]。同时，也存在进一步发现新型通信技术的可能。因此，本文的研究对于数字通信系统的发展和应用具有重要的意义[5]。

数字基带信号是来自数据终端的原始数据信号，往往包含丰富的低频分量，甚至直流分量。AMI 码是一种数字基带信号编码方式，对应的基带信号是代码“1”变为正负电平极性交替的脉冲序列，而代码“0”则保持 0 电平不变。AMI 码具有检错能力，但当信码出现连“0”串时，信号电平长时间不变，造成提取定时信号的困难。为了解决这个问题，可以采用 HDB3 码。

HDB3 码的全称是 3 阶高密度双极性码，它是 AMI 码的一种改进型，其目的是为了保持 AMI 码的优点而克服其缺点，使连“0”个数不超过 3 个，HDB3 码保持了 AMI 码的优点，同时还将连“0”码限制在 3 个以内，这个规律可用来检错，并有利于位定时信号的提取。HDB3 码是应用最为广泛的码型，A 律 PCM 四次群以下的接口码型均为 HDB3 码， μ 律 PCM 四次群以下的接口码型使用扰乱处理后的 AMI 码，扰乱处理可以减少 AMI 码中连零的个数。

nBnB 码是一种新的编码方式，其将原信息码流的 n 位二进制码作为一组，编成 m 位二进制码的新码组。由于 $m > n$ ，新码组可能有 2^n 种组合，因此需要选择一部分有利的码组作为可用码组，其余为禁用码组，以获得好的特性。在光纤数字传输系统中，常采用 $m = n + 1$ 的方式，如 1B2B 码、5B6B 码等。然而，1B2B 码的码速率为信息码速率的 2 倍，因此不适合在高速光纤数字传输系统中用作线路传输码型。目前，速率高于 8448 kbit/s 的光纤数字传输系统中广泛使用 5B6B 码作为线路传输码型。5B6B 码的优点是便于提取位同步信号、可实时监测。除此之外，4B5B、8B10B 码也用于高速以太网。在一些高速远程数据传输系统中，1B/1T 码的传输效率偏低，为此可以采用 4B/3T 码型，将输入二进制信码分成若干位一组，然后用较少位数的三元码来表示，以降低编码后的码速率，从而提高频带利用率。4B/3T 码型是 1B/1T 码型的改进型，它将 4 个二进制码转换成 3 个三元码。在相同的码速率下，4B/3T 码的信息容量大于 1B/1T，因此可提高频带利用率。4B/3T 码适用于较高速率的数据传输系统，如高次群同轴电缆

传输系统。

第二章 仿真软件介绍与仿真意义

2.1 Simulink 简介

作为 MATLAB 最重要的组件之一，Simulink 提供了一个用于动态系统建模、仿真和包含分析的统一环境。该环境不需要大规模编写程序，系统简单。您可以通过直观的鼠标操作进行构建。Simulink 具有广泛的适用性，清晰的结构和流程，出色的模拟，现在非常接近，高效和柔软点，以及优势点。之前的记录，Simulink，控制理论，复杂的信号处理广泛用于草率的仿真和设计。同时，大多数第三方软件和硬件在 MATLAB 中使用。

Simulink 作为 MATLAB 可视化仿真工具。用于系统建模、仿真和分析的移动软件包。广泛应用于线性系统、非线性系统、数字控制和数字化。信号处理的建模和仿真。Simulink 可以可以使用连续采样时间、离散采样时间或两者兼而有之进行建模。它还支持多速率系统，其中系统的不同部分具有不同的采样率。

Simulink 能够体现出下述特性：

1) 起点高：变量一般指代特定的矩阵，它通常涵盖 $n \times m$ 个元素，而各元素可视为复数，而各种运算对复数都具有非常理想的效果。

2) 人机界面非常人性化：该工具的程序符合研发人员的操作习惯，所以，它与科技人员能够进行良好的交互，此外，该工具主要是通过解释方式运行的，假如出现了错误那么就能够迅速进行反应，让编程者能够在较短的时间内对于进行改正，其大幅度减少了编程的难度。

3) 复杂性较低的作图功能：它可以结合输入数据对坐标绘图进行明确，可对三维曲线和曲面进行标准化的绘制，假如数据完整，一般情况下要求一条命令就能够得到所需的图形。

4) 智能化度高：在进行绘图的过程中，可对最佳坐标进行合理的选取，并录入自动选择算法；除此之外，在数值积分的过程中，可根据精度对步长进行明确，自动检测的效果非常出众，调试的复杂性较低。

5) 功能非常全面，体现出非常优良的扩展性：该工具涵盖两个部分，分别是基本部分和专业部分。其中前者涵盖矩阵的各种运算、数值积等。而相关科研人员在这个条件上，结合专业知识应用特定的工具箱为自身的研究提供便利。当前来说，其涵盖多种类型的工具箱，其中比较具有代表性的包括控制系统、系统辨识、小波分析等，而且其类型在将来会进一步丰富。

Simulink 可通过相关设计人员熟悉的符号进行具体表示，在工程计算中体现出非常鲜明的优势；除此之外，它为图形处理提供了多种类型的函数。所以，Simulink 已演变为全球范围内应用非常广泛的工程应用软件。

2.2 仿真的意义

在信息通信科学研究飞速发展的今天，用于研究实验和测试评价的通信模块也在飞速更新迭代。随着电子元器件和集成电路的高度发展，研究测评的价格

也越来越高。由于经济成本的限制，很多进行通信信号的研究人员因无法购买先进的仪器从而无法评测。采用 Simulink 软件模拟的办法，可以从原理上对数字基带通信系统先期进行测试。其次，由于现代的数字基带通信系统功能模块众多且分支领域较广，在实际的集成电路或软件无线电模块上进行试验必然会有困难或因迭代的原因导致有些技术无法实现，而 Simulink 软件仿真就可以很好的进行替代。

由于电子器件与数字基带通信领域和计算机之间的联系密不可分，因此利用 Simulink 仿真可以用于大部分的数字基带通信系统和现代通信系统，成为现阶段研究开发的首要阶段。从底层来说，首先研究出更为先进、误码率更低并且通信速率更大的数字基带通信系统，就可以利用 Simulink 对其原理进行仿真。

第三章 HDB3 原理介绍

3.1 AMI 码编码原理

AMI 码的全称为 Alternate Mark Inversion”码，编码的规则是将待编码字中的“1”轮流编码为+1”和-1”，“0”继续编码为 0。例如：

消息码： 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1...

AMI 码： 0 -1 +1 0 0 0 0 0 0 -1 +1 0 0 -1 +1...

AMI 码的对应波形是具有三个电平值。也就是说，0 经过编码后是 0 波形，1 经过编码后是对应的是+1 和-1 幅度对应的波形。AMI 码的优点是无直流频率分量，高频和低频分量不多，容易设计电路，并可直观的观察有无错误的情况。如果是 AMI- RZ 波形的话，接收后的电平经过绝对值就可以定时。AMI 编码的不足是如果原信号中连 0 过多，编码后会一直保持 0 不变，导致不能提取定时信号。而 HDB3 码很好的解决了这一缺点。

3.2 HDB3 码编码原理

HDB3 码被称为 High Density Bipolar of Order 3 码，是在维持 AMI 码的优点的同时，以使连续的 0 的数不超过 3 为目的的改良型。编码的规则如下。

1. 计算待编码序列中 0 的个数。连续的 0 的数少于 3 时，HDB3 码和 AMI 码的编码规则一样，1 编码为交替的+1 和- 1，0 编码为 0。

2. 超过 3 个连续的 0 时，将每 4 个连 0 编码为破坏节 B00V。其中 V 被称

为破坏脉冲，B 被称为调节脉冲。

3. V 与相邻 1 的编码后的值的符号相同(这与 AMI 编码中 1 的编码规则不同，因此 V 被称为破坏脉冲)，同时，相邻的 V 码之间交替取+1 或-1，这里的重点 HDB3 编码相邻的 V 极性不同。

4. B 取 0、+1、-1 中的一个值，使 V 同时满足(3)。

5. V 码之后的发送号码的极性也要交替。

如：消息码： 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1

AMI 码： -1 0 0 0 0 +1 0 0 0 0 -1 +1 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 +1

HDB3 码： -1 0 0 0 -V +1 0 0 0 +V -1 +1-B 0 0-V +B 0 0 +V -1 +1

V 脉冲和 B 脉冲与一个脉冲波形相同，并且用 V 或 B 码元表示的目的是表示非“0”码是通过原码的“0”变换产生的。

HDB3 码的直流分量为 0，而且不会出现 4 个以上的连 0，这是 HDB3 的优点所在。

3.3 HDB3 码译码原理

尽管 HDB3 码的编码规则比较复杂，译码相比于编码来说容易理解且易于实现。根据上述编码规则，破坏脉冲 V 与前一个 1 编码后的值相同符号。因此，接收码元中轻松找到破坏脉冲 V，并将包括破坏脉冲 V 符号在内的 4 个连续的码译为 0 码。接着，将符号取绝对值得到原始的比特流。因此，HDB3 码的解码规则如下

1) 找到 3 个连 0 之前和之后符号的正负号相同，则将 3 个连 0 之后的符号解码为 0。例“-1000-1 解码为 10000”。

2) 如果 2 个连续的 0 之前和之后的非 0 脉冲极性相同，则两个 0 之前和之后都应该解码为 0。例如，-100-1 应该解码为 0000”。

3) 将符号取绝对值得到原始的比特流。

3.4 Simulink 编码实现 HDB3 编码解码

1、HDB3 码编码

2、HDB3 码解码

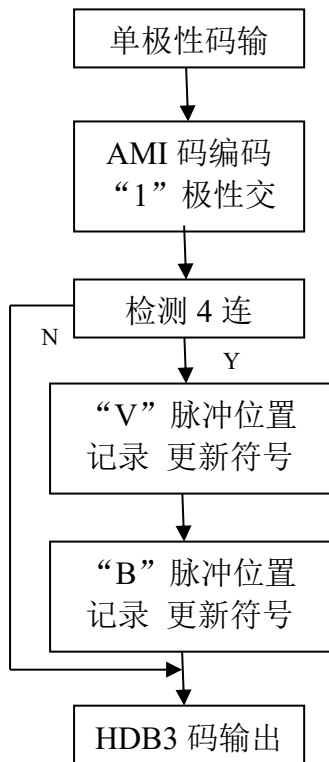


图 3-1 HDB3 编码

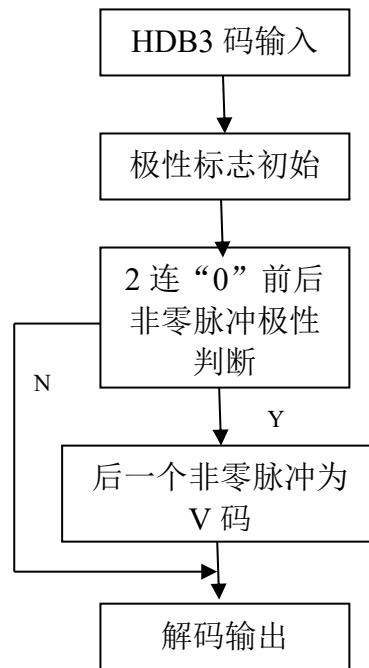


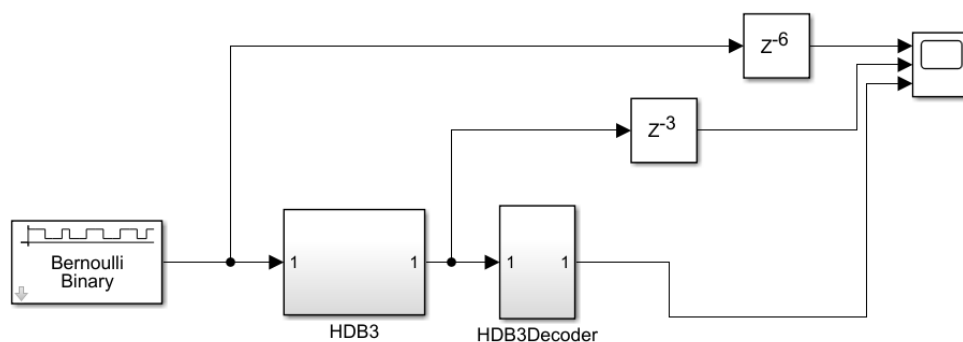
图 3-2 HDB3 解码

第四章 HDB3 编译码器的 Simulink 设计及结果分析

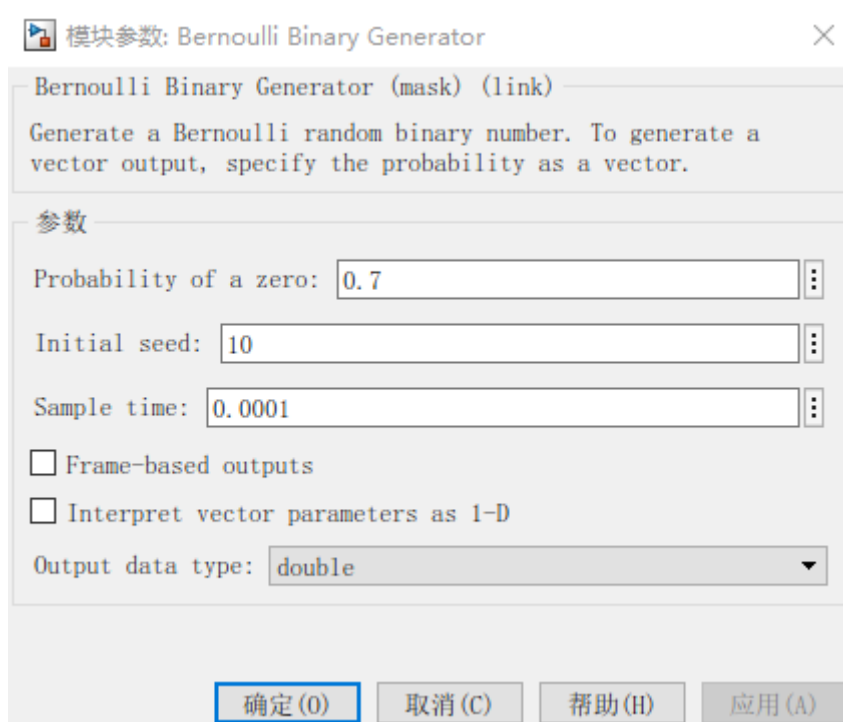
以 HDB3 编码器为研究对象，使用 Simulink 进行设计和分析。并搭建了 HDB3 编译码器。并详细介绍了 Simulink 的 HDB3 编译码设计流程和关键步骤。通过仿真结果分析，验证了 HDB3 编码器的正确性和稳定性，对于深入理解 HDB3 编码器的原理和应用具有重要的指导意义。

4.1 HDB3 的 Simulink 系统仿真

分别设计 HDB3 编码与解码模块，并组成 HDB3 系统，因 HDB3 编码与解码模块都需要缓冲 3bit 进行连 0 判断，所以编码后的波形有 3 个时钟延迟，解码的也有 3 个时钟延迟，总共 6 个延迟。

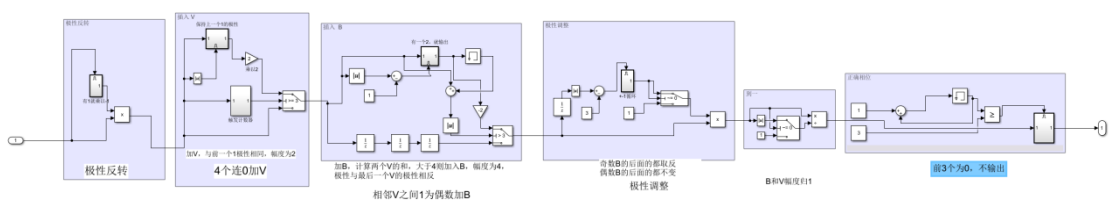


信源模块使用 Bernoulli Binary Generator 模块，因需测试 HDB3 连 0 的编码情况，所以 0 的概率为 0.7，采样时间为 0.0001s。



4.2 Simulink 仿真 HDB3 编码模块

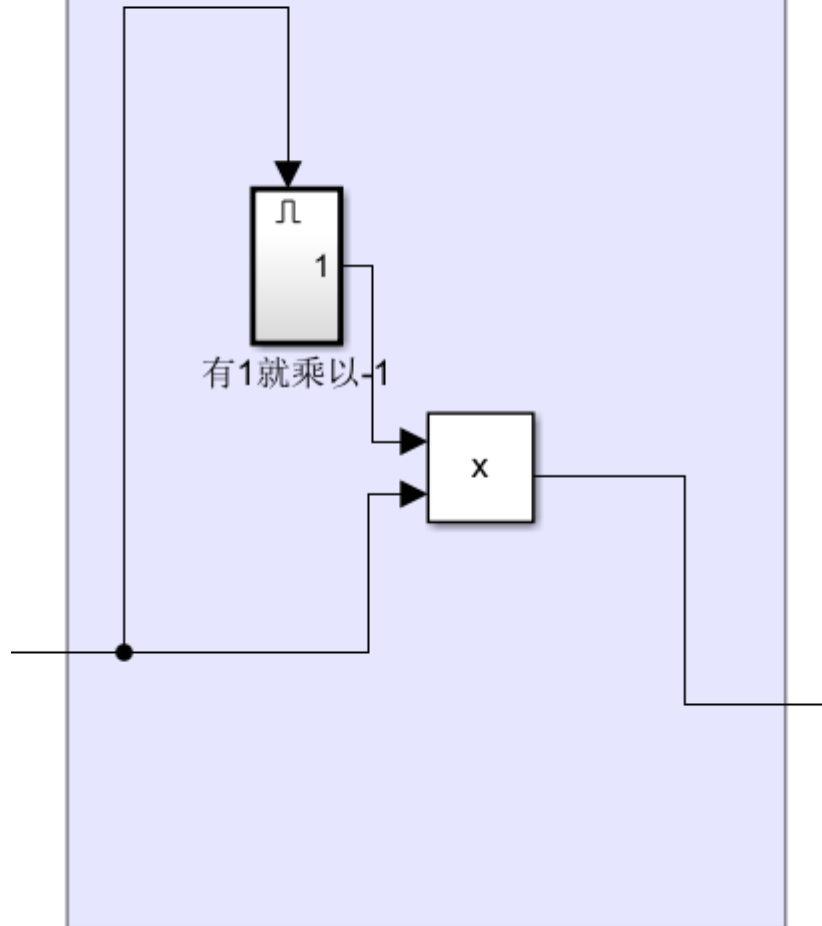
HDB3 编码模块有 7 块组成，分为极性反转、插入 V、插入 B、极性调整、归一、调整相位等 7 个模块组成。下面分别介绍编码模块功能。



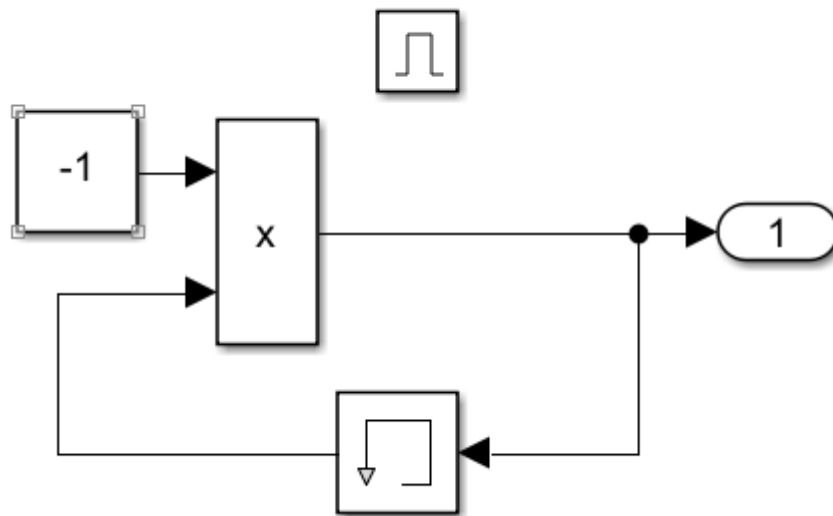
4.2.1 极性反转模块

如下图所示，可以对信源码进行一个使能系统的控制。这个使能系统的作用是，当信号由 0 变为 1 即出现一个上升沿时，乘以-1。此外，Memory 模块的作用是进行单步积分延迟，以缓存乘法器的输出。在信源控制下，输出会在输入 1 的情况下交替为 1 和-1，然后再与信源数据相乘。通过这个子系统，整个输入信号的极性会被反转。

极性反转



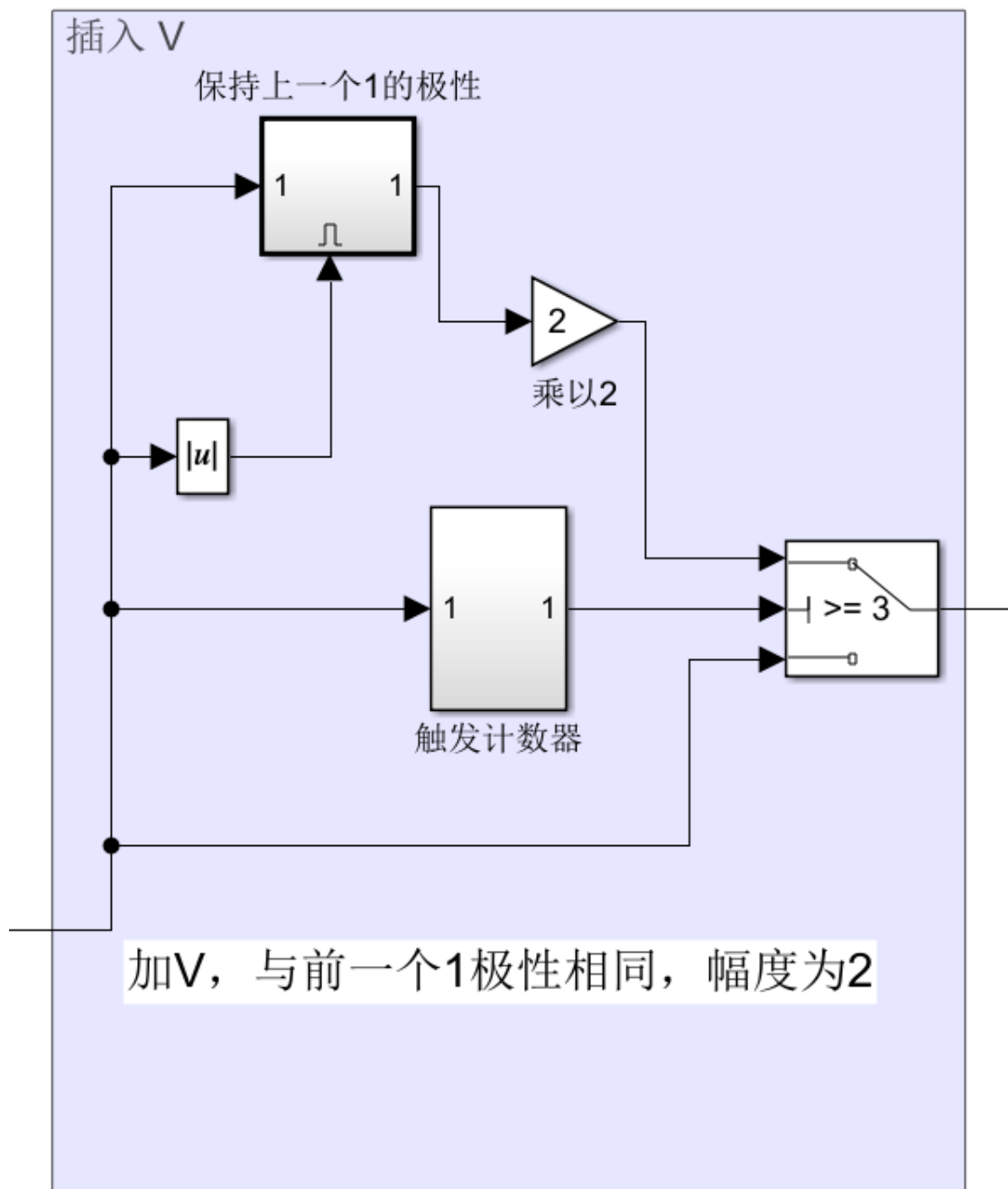
极性反转子模块



极性反转模块中的使能子系统

4.2.2 插入 V 模块

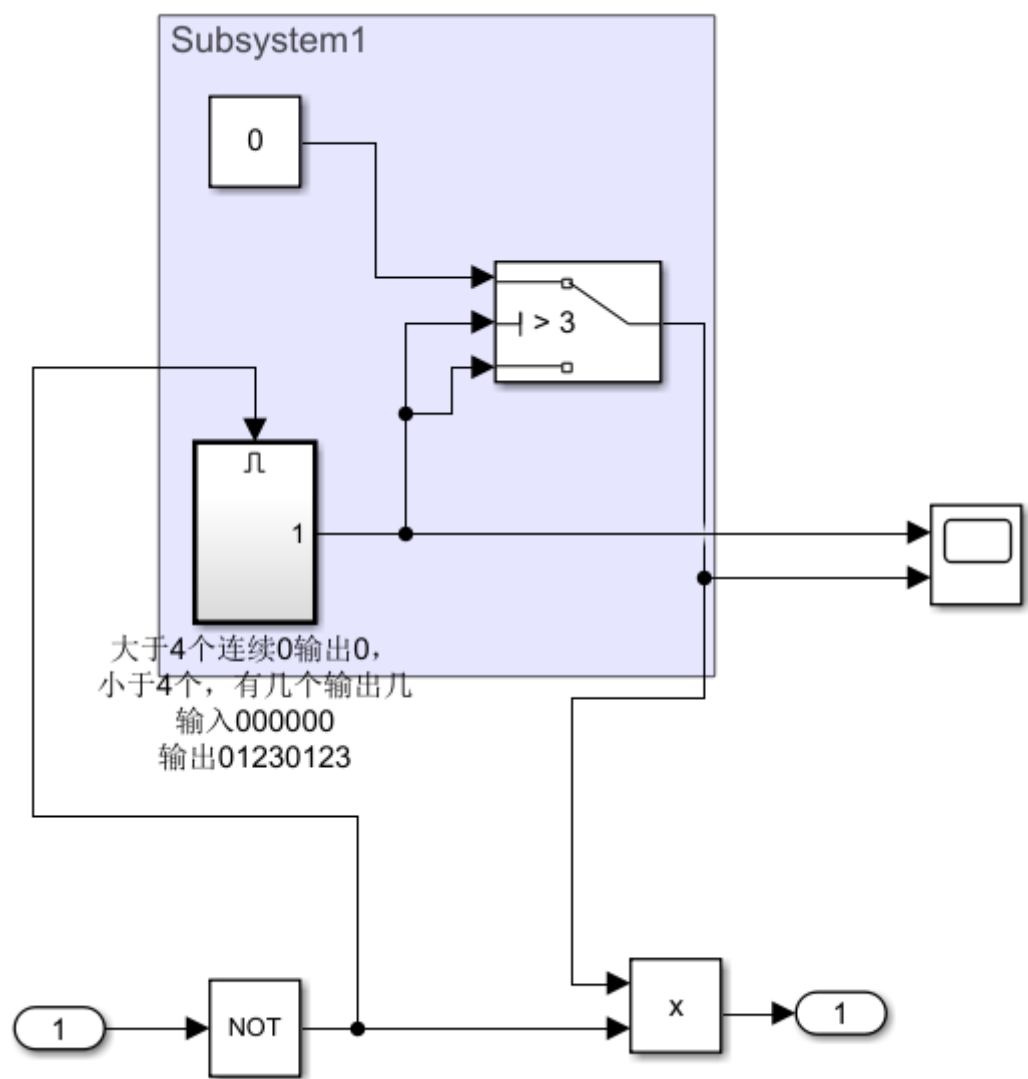
下图展示了一个插入 V 模块，其功能是通过一个触发计数器系统来记录 0 的个数。当 0 的个数大于等于 3 时，输出值的极性会保持上一个 1 的极性，并且数值为上一个 1 乘以 2。这里使用了一个 switch 模块，当满足设定条件时，输出为上述数值，否则输出原始数值。输入的绝对值用于触发保持上一个 1 的极性触发器。当输入从 0 变为 1 或 -1 时，触发器会将输入传递为输出，并乘以 2。当输入不变，或者从 1 或 -1 变为 0 时，输出仍保持上一个输出的值。



插入 V 模块

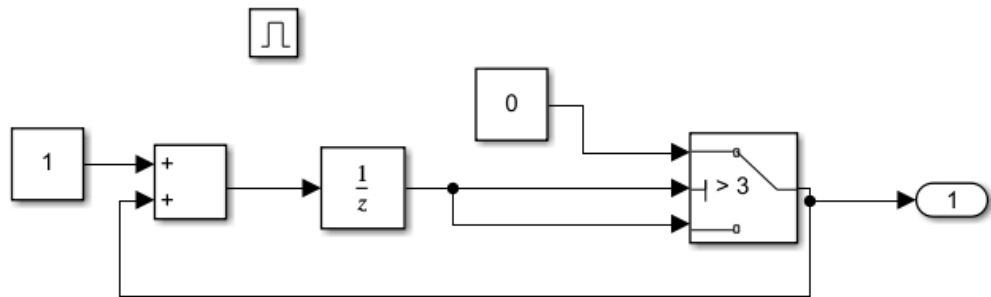
如下图所示，展示了插入 V 模块中的触发计数器系统。该系统的功能是将输入的反向 1 变为 0，0 变为 1，然后进入检测连续 0 个数的触发器。当连续 0 的个数达到 3 个时，输出值为 3。接着，通过一个 Switch 模块进行判断，如果

输出值大于 3，则输出为 0；如果输出值小于等于 3，则输出为检测 0 个数触发器的输出值。



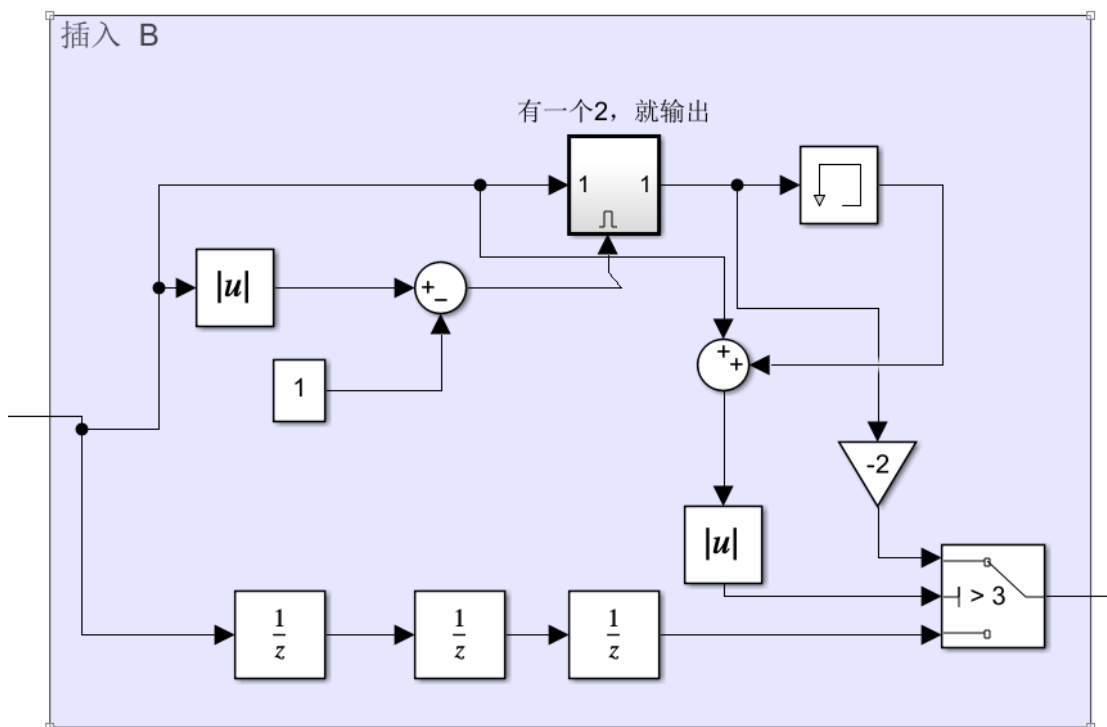
插入 V 模块中的触发计数器系统

其中检测连 0 个数的触发器结构如下图所示，将 Switch 模块的输出连接到累加器，累加器的另一个输入为 1，经过一个延迟，功能是插入 V 模块连续输入 0 时，输出为循环 0、1、2、3 三个数输出。



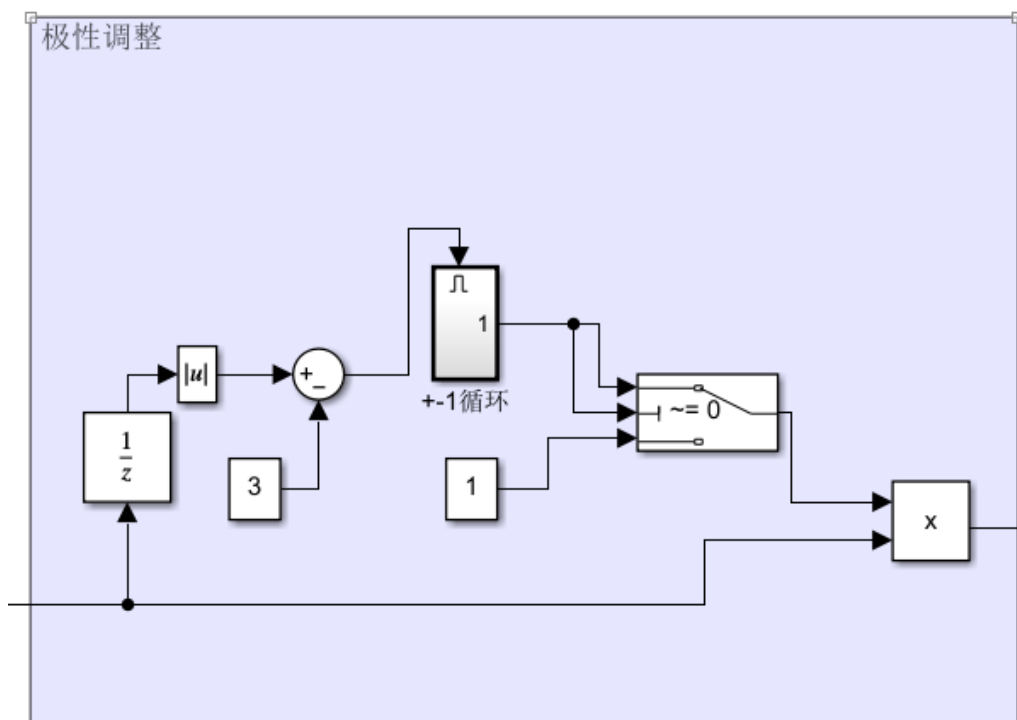
4.2.3 插入 B 模块

下图展示的是插入 B 模块，其功能是对两个 V 的和进行计算。如果和大于 4，则插入 B 模块，幅度为 4，而且极性与最后一个 V 的极性相反。具体来说，只有当输入的绝对值减一后的结果为使能时，才会使得输入端有一个数的绝对值为 2，从而输出该数值。此外，当输入数的绝对值为 2 时，利用 Memory 模块保存上一个 V 的值，并与输入的值相加取模。通过 Switch 模块判断输入是否大于 3，即当两个相同极性的 V 到达时，输出上一个 V 的值乘以 -2，即插入 B，极性与最后一个 V 的极性相同。如果没有两个同极性的 V 输入时，则输出会延迟 3 个码元长度。换言之，只有相邻的 V 之间的 1 的个数为偶数时，才会插入 B。

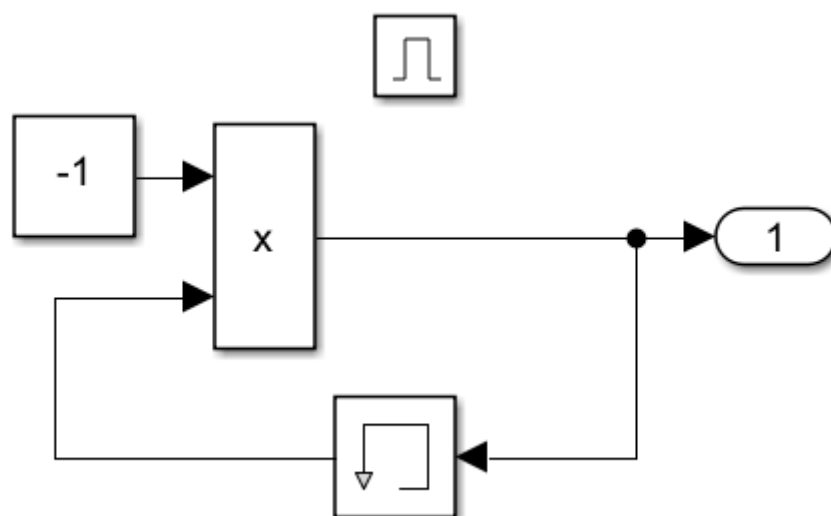


4.2.4 极性调整模块

极性调整模块如下图所示。功能为奇数 B 后面的极性都取反。偶数 B 后面的极性都不变。具体来说，将输入延迟一个码元长度后取绝对值作为正负 1 循环模块的触发信号，即输入信号为奇数个 B 时，输出为 -1 乘以原始码元，即使原始码元极性取反。

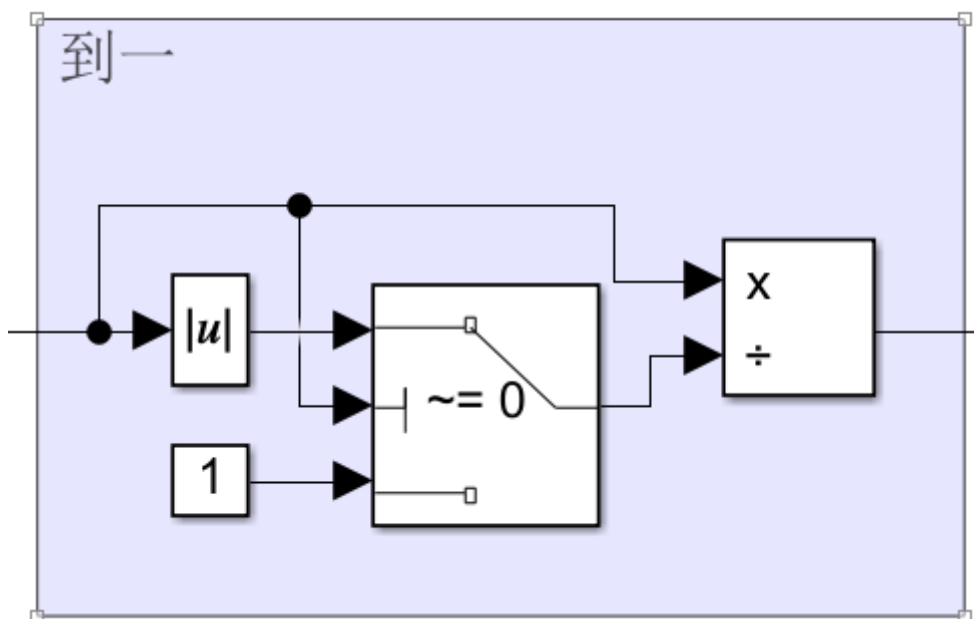


正负 1 循环模块如下，使输出在输入上升沿时，输出正负 1。



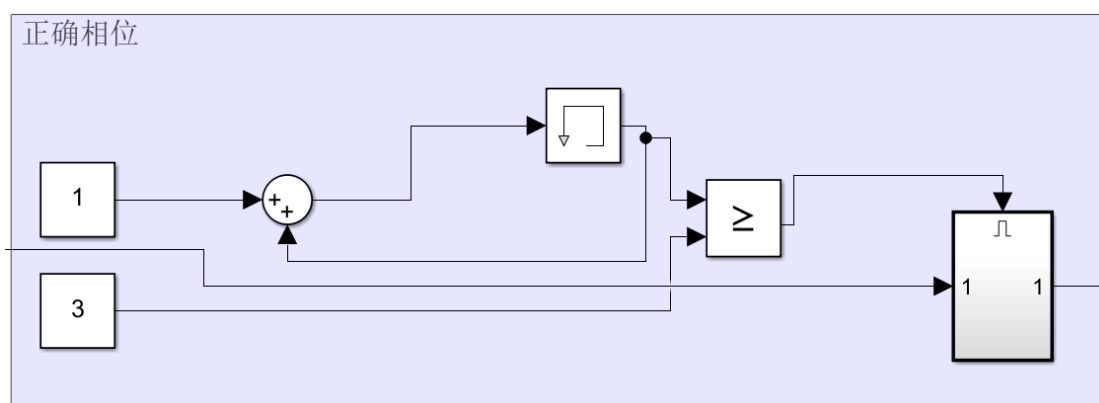
4.2.5 归一模块

归一模块如下图所示。功能为 B 和 V 的信号幅度都归 1。具体来说，当输入的模不为 0 时，输出的大小为 1，极性与原始极性相同。



4.2.6 调整相位模块

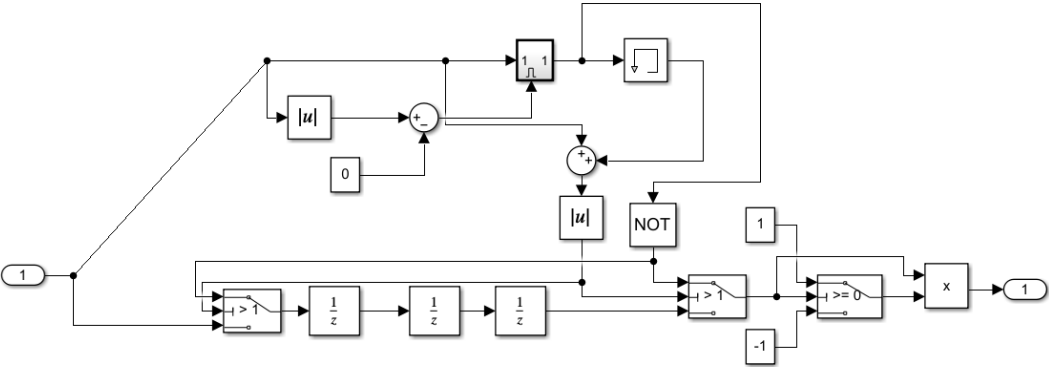
调整相位模块如下图所示。功能为前 3 个码元值为 0，因为插入 B 模块的输出有三个时延，所以这里使前三个码元的值为 0。具体是对 1 进行累加，与 3 比较后的值作为触发器的控制信号。当累加大于等于 3 时，即第 3 个码元开始进行输出。



4.3 Simulink 仿真 HDB3 解码模块

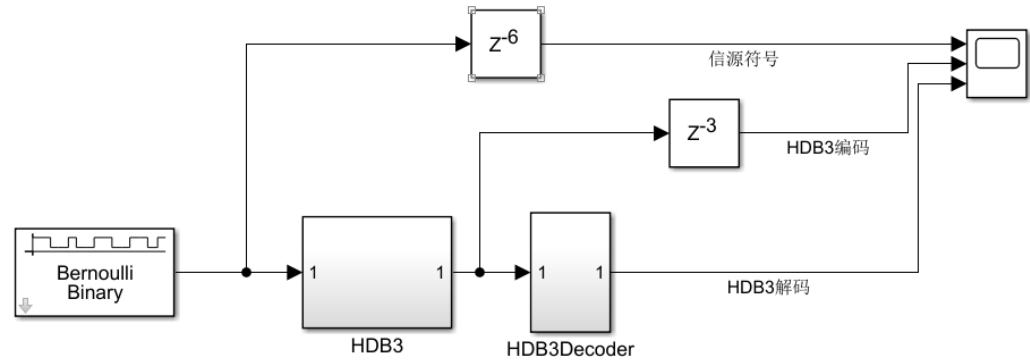
HDB3 解码模块如下图所示。作用是找到 3 个连 0 之前和之后符号的正负号相同，则将 3 个连 0 之后的符号解码为 0。例“-1000-1 解码为 10000”。如果 2 个连续的 0 之前和之后的非 0 脉冲极性相同，则两个 0 之前和之后都应该解码为

0。例如，-100-1 应该解码为 0000”。具体来说，当输入的相邻绝对值 1 之间的极性不同时，延迟 3 个码元进行输出，当相邻绝对值 1 之间的极性相同时，如果是连续 3 个 0，则将最后一个 1 变为 0，如果是连续两个 0，则将这 4 个数都变为 0。

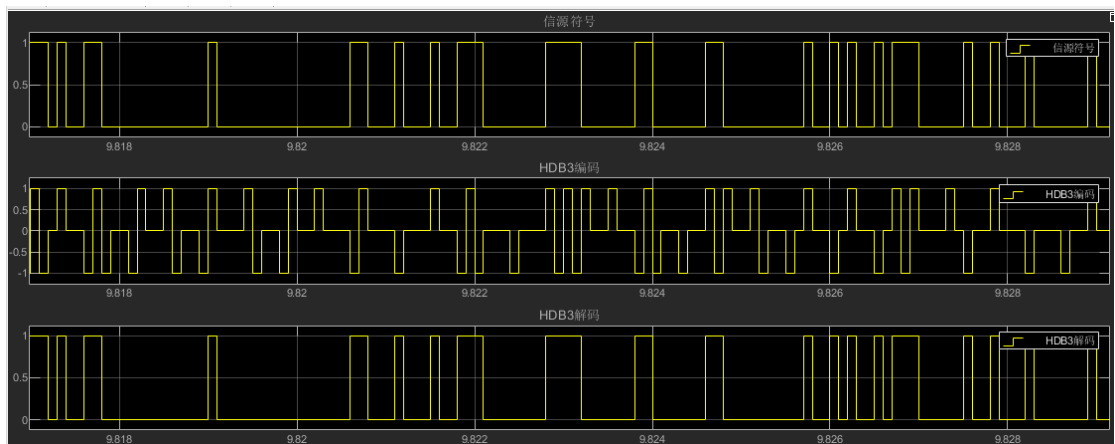


4.4 HDB3 编解码结果分析

将 HDB3 编解码模块进行封装，HDB3 系统如下所示。仿真 10s，观察仿真波形。



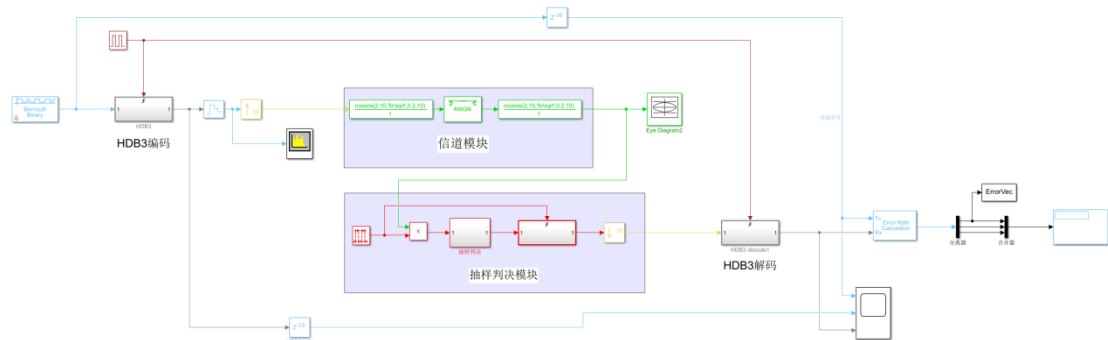
随机查看编码情况，可以看到 1 编码为正负 1。当信源连续 3 个 0 时，编码后是 B00V，B 的取值根据连续两个 V 之间极性来判断。具体来说，V 与相邻 1 的编码后的值的符号相同，同时，相邻的 V 码之间交替取+1 或-1。



第五章 HDB3 基带通信系统的 Simulink 设计及结果分析

5.1 HDB3 基带系统的 Simulink 系统仿真

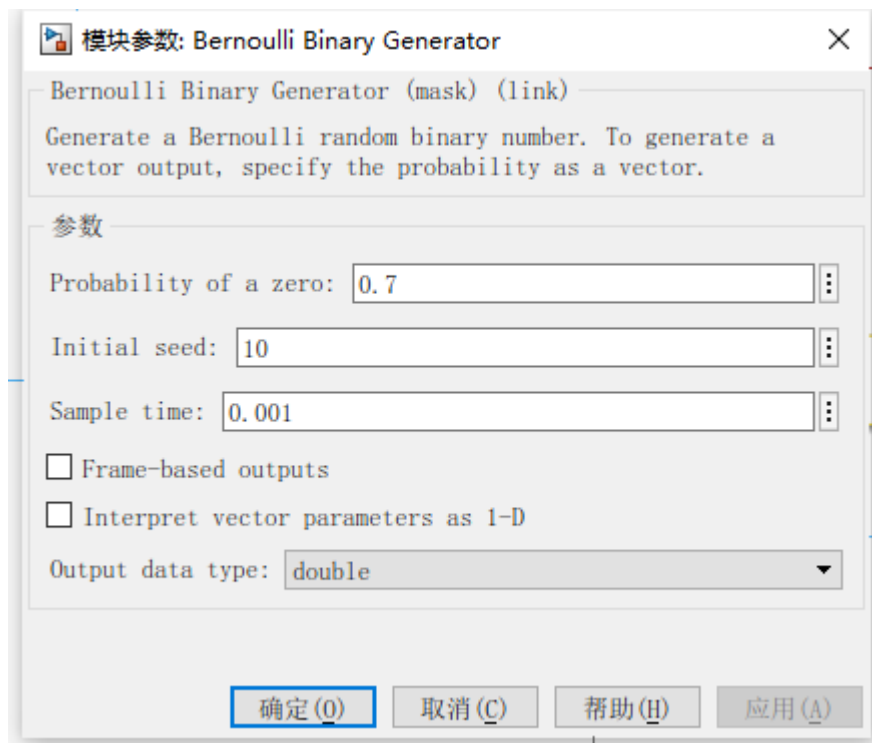
在第四章设计的 HDB3 编解码系统基础上，设计了 HDB3 基带通信系统的 Simulink 仿真如下图所示：



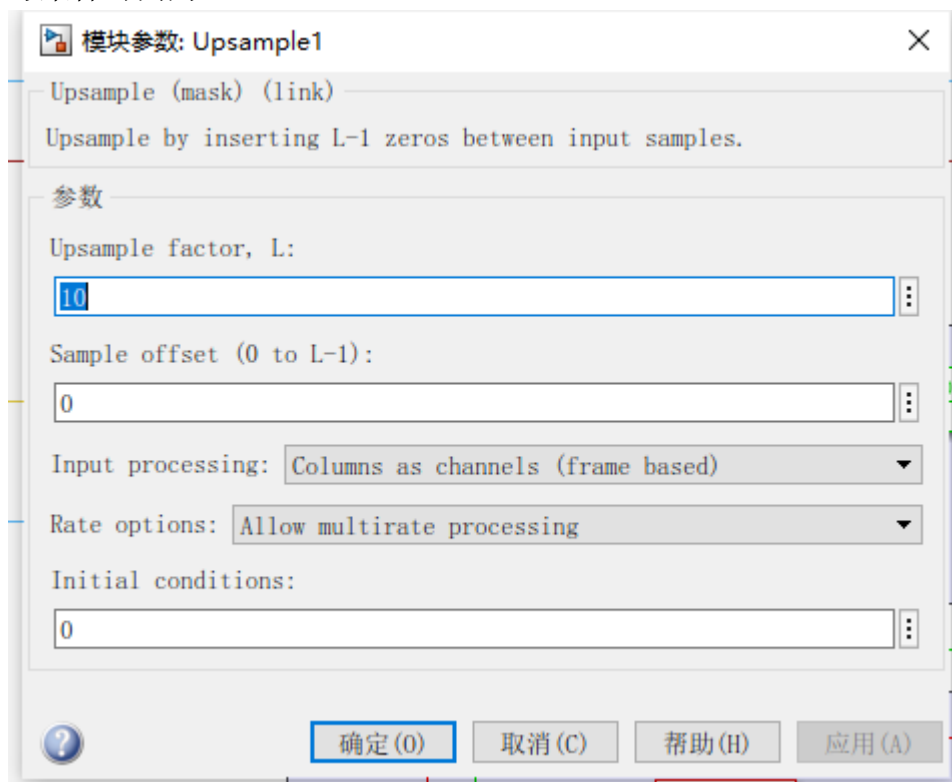
经过高斯白噪声信道，根升余弦滚降滤波器即匹配滤波器，并设计了抽样判决模块。完成了一个 HDB3 的基带通信系统。

5.2 HDB3 编码与上采样

信源模块使用的是 Bernoulli Binary Generator 模块，采样周期为 0.001s，0 的概率为 0.7。



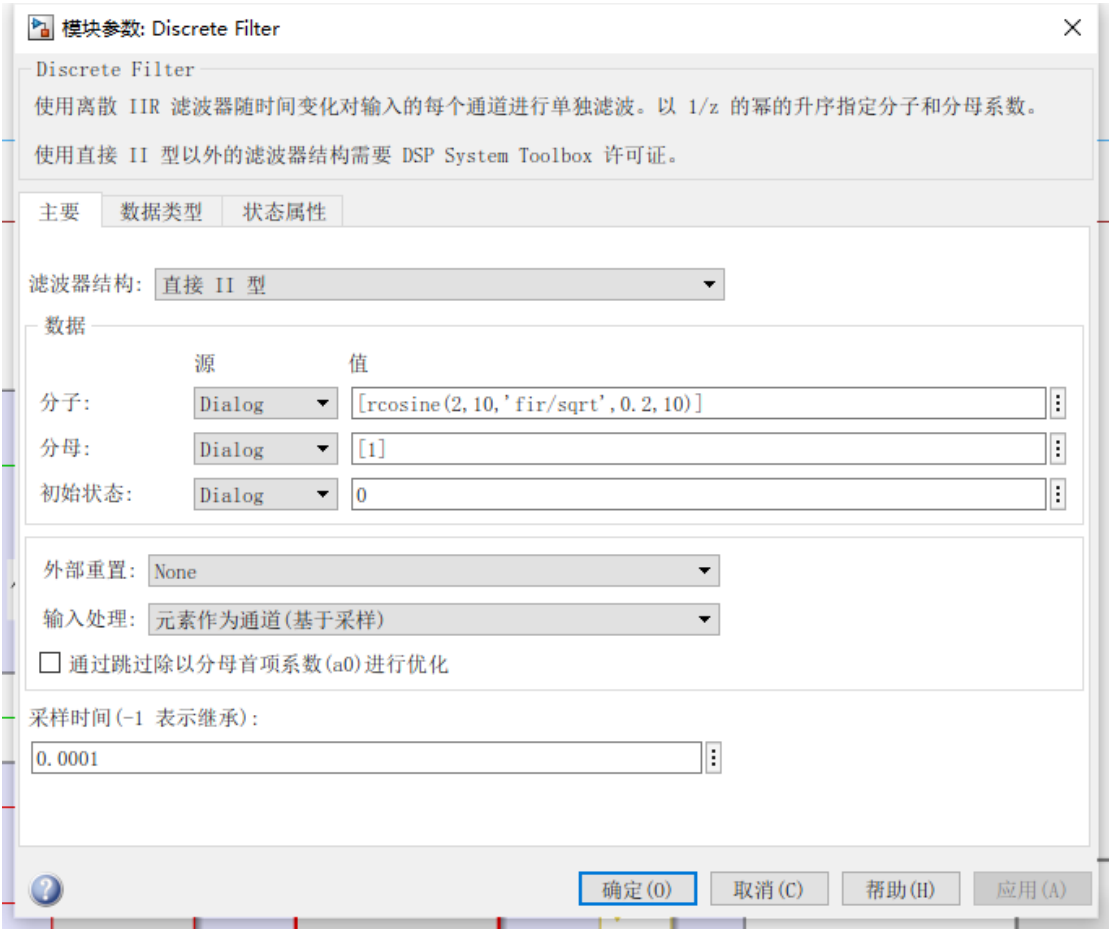
之后经过一个 HDB3 编码模块，在经过一个零阶保持器，采样时间为 0.001s。然后经过一个上采样模块，参数设置如下图所示，上采样因子为 10 倍。这是的信号采样时间为 0.0001s。



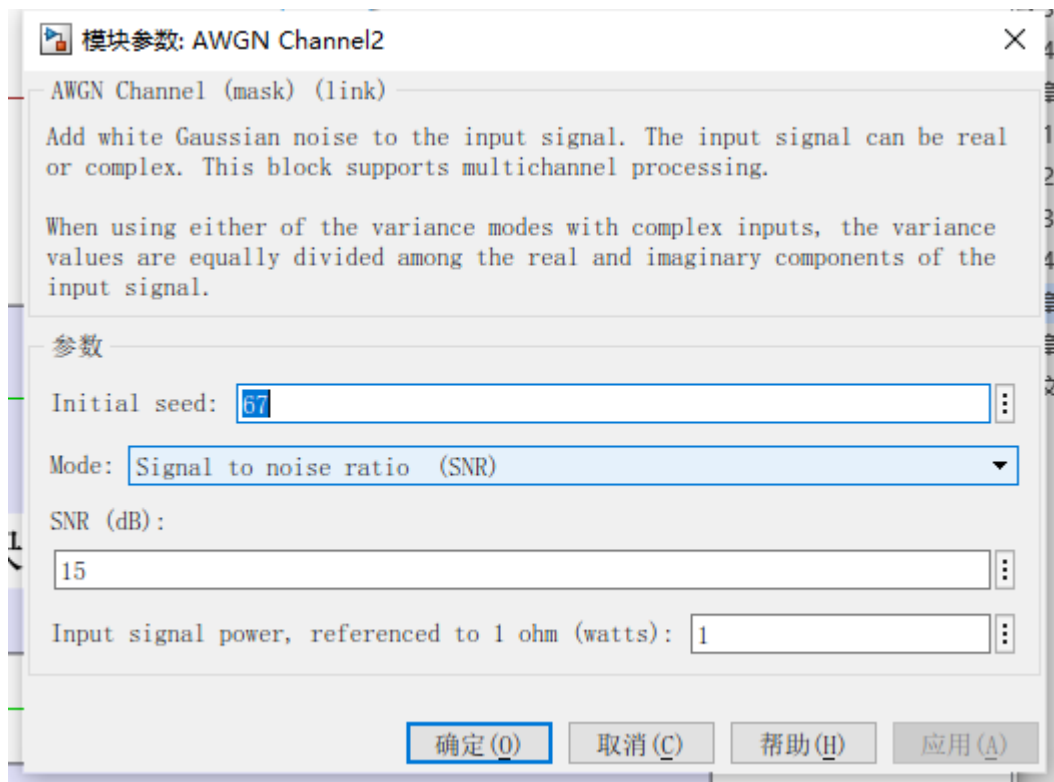
5.3 成型滤波、信道模块和匹配滤波

经过上采样的信号经过一个根升余弦滚降滤波器，分子为

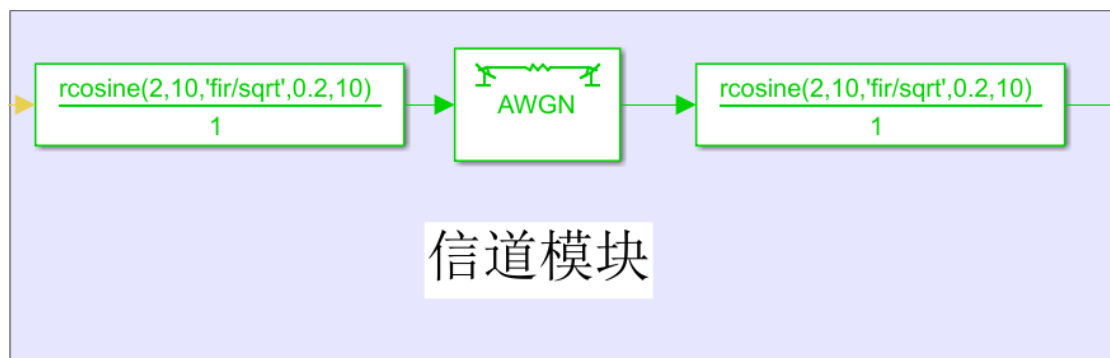
[rcosine(2,10,'fir/sqrt',0.2,10)], 其中 Fd 为 2: 码速率; Fs: 采样率为 10 , Fs/Fd 是整数; 滚降系数 0.2; type_flag='fir/sqrt'代表根升余弦滚降滤波器 r=0.2, 滚降系数; delay=10; 滤波器延迟, delay/Fd 是以秒为单位的滤波器延迟, 即 5 个码元单位。分母设置为 1。采样时间是 0.0001s。



在经过一个高斯白噪声信道，信噪比设置为 15dB。

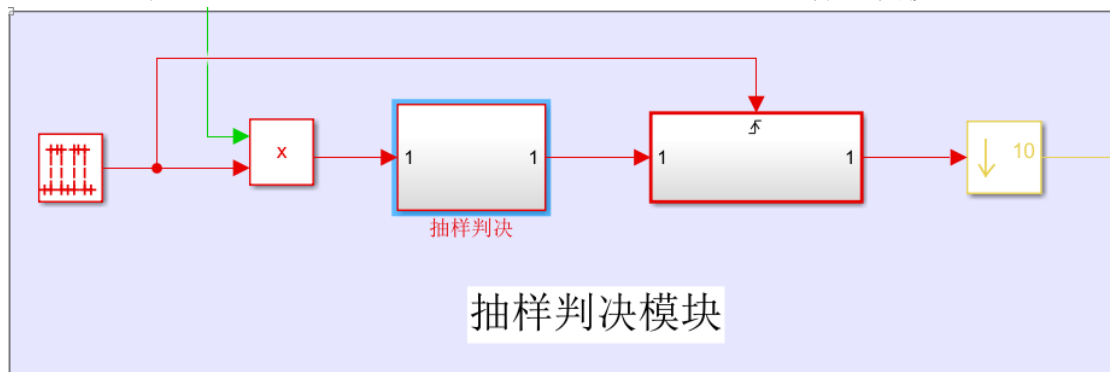


总体的信道模块如下图所示：



5.4 抽样判决及降采样

再经过一个与成型滤波器相同的匹配滤波器。之后进入抽样判决模块。



通过一个脉冲发生器模块作为采样时钟，采样时间为 0.00005s，与信号相乘后进入抽样判决子模块。当输入大于 0.5 时输出为 1，输入为 -0.5 到 0.5 之间输出为

0, 小于-0.5, 输出为-1。之后再由该脉冲发生器作为触发信号进行触发, 之后进入10倍降采样。

模块参数: Pulse Generator3

Pulse Generator

输出脉冲:

```
if (t >= PhaseDelay) && Pulse is on
Y(t) = Amplitude
else
Y(t) = 0
end
```

脉冲类型确定使用的计算方法。

建议在变步长求解器中使用“基于时间”, 在定步长求解器或使用变步长求解器的模型的离散部分使用“基于采样”。

参数

脉冲类型: 基于采样

时间(t): 使用仿真时间

振幅: 1

周期(采样数): 10

脉冲宽度(采样数): 5

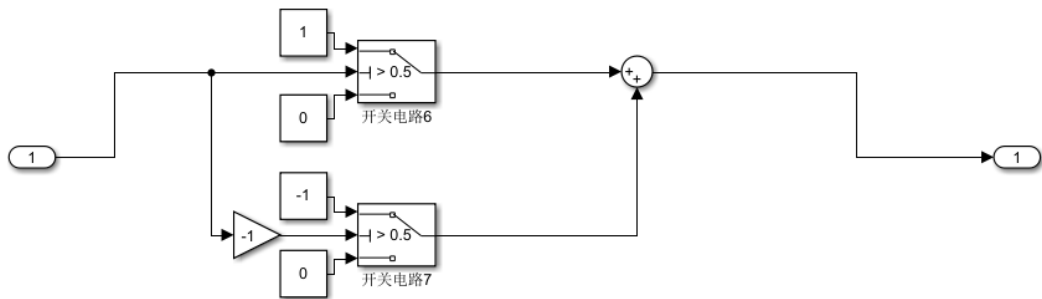
相位延迟(采样数): 0

采样时间: 0.00005

☒ 将向量参数解释为一维向量

? 确定(O) 取消(C) 帮助(H) 应用(A)

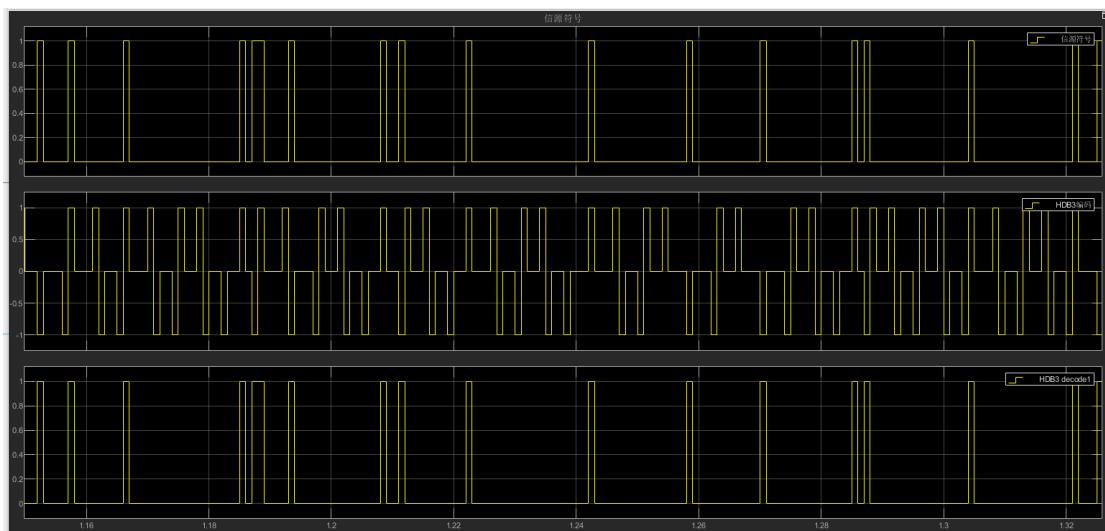
具体的抽样判决子模块如下图所示, 当输入大于 0.5 时输出为 1, 输入为-0.5 到 0.5 之间输出为 0, 小于-0.5, 输出为-1。



5.5 结果分析

将降采样的信号输入到 HDB3 解码模块中完成 HDB3 解码，解码后与原始码元进行误码率计算，因 HDB3 编解码总共有 6 个码元的延迟，两个根升余弦滤波器的延迟共 10 个码元，故需将信源延迟 16 个码元再与接受端进行比较分析误码率。仿真 10s，当信噪比为 15dB 时，共 1w 个码元，有 58 个误码，可以计算得到误码率为 0.005799。

源码、HDB3 编码和 HDB3 解码的波形图如下所示，随机查看编码情况，可以看到 1 编码为正负 1。当信源连续 3 个 0 时，编码后是 B00V，B 的取值根据连续两个 V 之间极性来判断。具体来说，V 与相邻 1 的编码后的值的符号相同，同时，相邻的 V 码之间交替取+1 或-1。



第六章总结

在实际操作中，我遇到了很多困难和挑战，但是通过不断地尝试和实践，我逐渐掌握了 MATLAB 编程技巧和通信原理的应用方法。在软件仿真调试阶段，

我发现自己在理论方面还存在欠缺，需要不断地查阅资料和请教同学，才能够解决问题。这让我深刻认识到了理论知识和实践能力的重要性，只有二者相结合，才能够真正掌握所学知识。

通过本次研究设计 MATLAB 数字通信系统，我掌握了 HDB3 编码和解码技术基本原理，了解数字基带通信系统技术在国内外的研究现状，同时，对于 Simulink 仿真软件的操作也更加熟练了，尤其是在触发器使用方面有了很大提高。但是，本次的课题研究还存在一些不足和待完善的方面，我也会在以后的研究和学习过程中基于本次的研究设计不断研究完善。这次对 HDB3 基带通信系统的 Simulink 仿真还是基本达到了预期的目的。

参考文献

- [1]徐素妍,曹坤梅.基于 Matlab 语言的现代通信仿真分析[J].计算机应用,2001(S1):52-53.
- [2]孙 祥. MATLAB7.0 基础教程[M].北京:清华大学出版社,2005.11-15.
- [3]胡国庆,霍永华.网管软件可靠性评估方法[J].无线电工程, 2012,42(6):48-51.
- [4]张智星. MATLAB 程序设计与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.57-63.
- [5]蒋 青,吕 翊.用可编程逻辑器件快速实现 HDB3 编码器[J].电子技术,2004,7:21-23.
- [6]余 庚.智能 HDB3 编/译码器的分析与设计[J].科技通报,2017,33(08):119-123.
- [7]徐升槐,范勤儒.通信原理实验课程教学研究[J].实验科学与技术,2011(01):65-66.
- [8]Sivanantham Sathasivam,S. Khaja Rahamathulla. Implementation of HDB3 Encoder Chip Design[J]. Indian Journal of Science and Technology,2016,9(5):5-6.
- [9]Thomas D,Anthony S.Evaluating the Performance and Software Reliability Models[J].IEEE Trans.Reliability,1992,41(4):12-16.
- [10]Zahedi F,Ashrafi N.Software Reliability Allocation based on Structure Utility,Price and Cost[J].IEEE Trans.Software Eng, 1991,17(21):345-356.
- [11]李蔚,马俊伟,张润萍,张磊.MATLAB 仿真辅助通信对抗原理课程的教学探索[J].中国现代教育装备,2022(17):152-155.
- [12]连雅婷.MATLAB 软件使用指南汉译实践报告[D].河北工业大学,2020.