# 模拟信号与数字信号

## 1.1 信号转换基础

随着现代数字技术的飞速发展与普及，在自动控制系统，通信系统等大量领域中，信号的处理广泛采用计算机处理技术。将自然界的各种信号运用计算机技术处理，首先涉及到的则是信号的转换。信号转换从形态变化上可以分为三种：自然界信号转换为电信号；电信号转换为自然界信号；电信号转换为另一种电信号。

自然界信号如温度、湿度、速度等，在时间上每时每刻都存在，在大小上都是连续变化的，我们将这类在时域上数学形式为连续函数的信号叫做模拟信号。我们知道，计算机只能识别0与1，要处理在时间与幅度上连续的模拟信号则必须要将模拟信号转换为计算机能够识别的0或1组成的信号，这种计算机能够识别的信号通常被称为数字信号。数字信号由一个个独立的点组成，在时间与幅度上都是离散形式。要对自然界的某些信号进行检测，控制等，往往需要一种能在模拟信号与数字信号之间起转换作用装置：模数转换器与数模转换器。

能把模拟信号转换为数字信号的装置称为模数转换器（简称ADC或A/D转换器）；反过来，将数字信号转换为模拟信号的装置称为数模转换器（简称DAC或D/A转换器）。如今几乎所有计算机系统都不可或缺的存在着ADC或DAC，例如话筒，数音响，摄像头等等。为了保证数据处理结果的准确性，ADC和DAC必须有足够的转换精度。同时，为了适应快速过程的控制与检测的需要，ADC与DAC还必须有足够快的转换速度。因此，转换精度和转换速度乃是衡量ADC和DAC转换性能优劣的主要标志。

常见的ADC类型有很多种，可以分为直接ADC与间接ADC两大类。在直接ADC中，输入的模拟电压信号直接被转换成相应的数字信号；接ADC中，输入的模拟信号首先被转换成某种中间变量（例如时间、频率等），后再将这个中间变最转换成输出的数字信号。对于DAC来说，常用的有倒T形电阻网络DAC、权电流DAC、开关树型DAC以及权电容网络DAC等几种类型。此外，在ADC的输入方式上，又有并行输出和串行输输出两种类型。相对应的DAC有并行输入与串行输入两种类型。

## 1.2 采样与滤波

数字信号处理系统中，采样和滤波电路是常用的两个功能模块，采样是在波形上抽取足够多的离散点来描绘出波形的形状的过程，采样点越多，描绘的波形越精确，采样将模拟信号转换成一系列脉冲，每个脉冲表示在给定的时刻的信号幅度。采样包括两个过程，其过程如图1.1所示。



图1.1 采样过程示意图

当模拟信号被采样时，必须满足某种可以精确表示模拟信号的条件，在对周期信号采样时，必须满足奈奎斯特采样定理：若信号的频率带宽有限，要从抽样信号中无失真地恢复信号，抽样频率应大于两倍信号的最高频率。通常取采用频率Fs=(3~5)Fmax，其中Fmax为信号成分的最高频率。

对于采样后的信号，有用信号是低于奈奎斯特频率的信号。如果信号中存在高于奈奎斯特频率的信号，在采样时就会出现一个不期望出现的信号，称为混叠。混叠的产生是由于采样频率不到信号频率的两倍时产生的一个信号，混叠信号有比被采样信号的最好频率低的频率，所以会出现在输入信号的频率中而产生失真，这个信号是虚假信号，在实际中是不需要的，因此采样前的滤波十分必要。

采样的第二步是保持。经过滤波和采样后，数据必须保持恒定一段时间直到下一个采样脉冲到来，从而让模数转换器有足够的处理时间处理采样值。采样保持过程如图1.2。由于转换是在采样结束后的保持时间内完成的，多以最后转换输出的结果是模拟电压每次采样结束时的电压值。

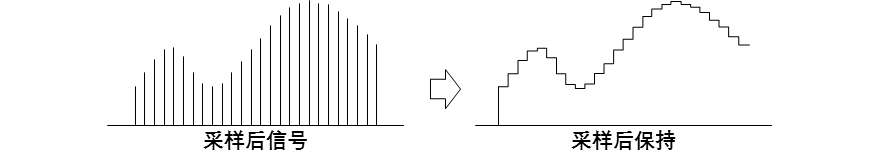


图1.2 采样保持示意图

## 1.3 模数转换

模数转换是将某一时刻采样保持过程的输出转换为代表模拟输入幅度的二进制码的过程。采样保持操作时模拟信号幅值在采样脉冲之间保持恒定，这样模数转换器在脉冲之间就可以使用一个不变的数值进行模数转换而不是变化的模拟信号。图1.3示意说明了模数转换电路的基本功能。

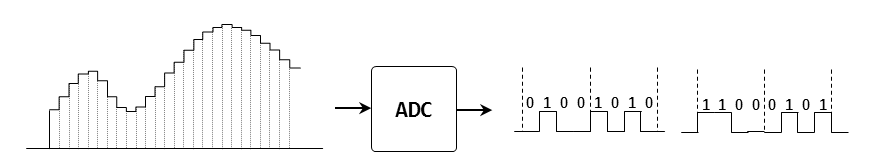


图1.3 模数转换及编码

将模拟数值转化为编码的过程被称为量化，在量化的过程中，ADC（模-数）转换器将模拟信号的每个采样数据转换为二进制代码。所用代表采样值的数据位越多，代表数据越精确。为了模拟量化过程，将一个波形量化成四个电平。 四个电平需要两位码表示。如图1.4所示，垂直方向每个量化电平用2位码表示，水平方向是用数字标识的采样间隔，在整个采样周期中，采样数据保持不变。数据量化为相邻的较低的电平，如表1.1所示，例如，比较采样3和4，它们被分配不同的电平。

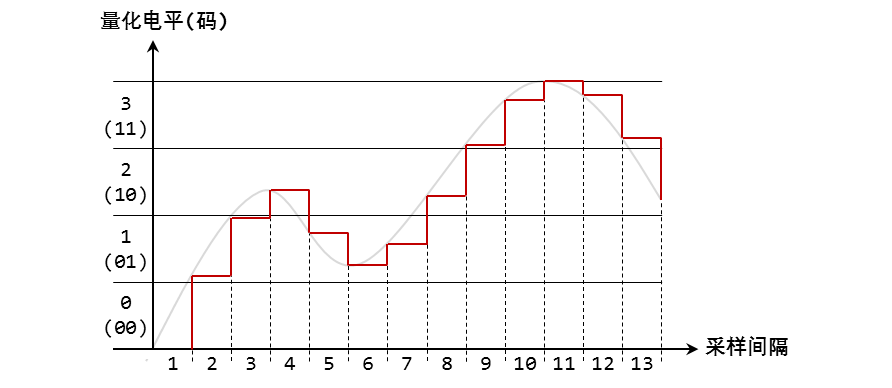


图1.4 具有四个量化电平的采样-保持输出波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 采样间隔 | 量化电平 | 编码 |
| 1 | 0 | 00 |
| 2 | 1 | 01 |
| 3 | 1 | 01 |
| 4 | 2 | 10 |
| 5 | 1 | 01 |
| 6 | 1 | 01 |
| 7 | 1 | 01 |
| 8 | 2 | 10 |
| 9 | 3 | 11 |
| 10 | 3 | 11 |
| 11 | 3 | 11 |
| 12 | 3 | 11 |
| 13 | 3 | 11 |

表1.1 图1.4中波形采用两位码量化

如果使用2位数字码来重现原始波形，将得到图1.5给出的波形。这个操作过程被称为数-模转换（DAC），DAC就是实现数字到模拟转换的电路。从图中可以看到如果只使用2位数据表示采样值，精度相当低。下面来看增加位数如何提高准确度。图12-16给出采用4位码16个电平来量化同样的波形，4位量化过程汇总在表1.2中。

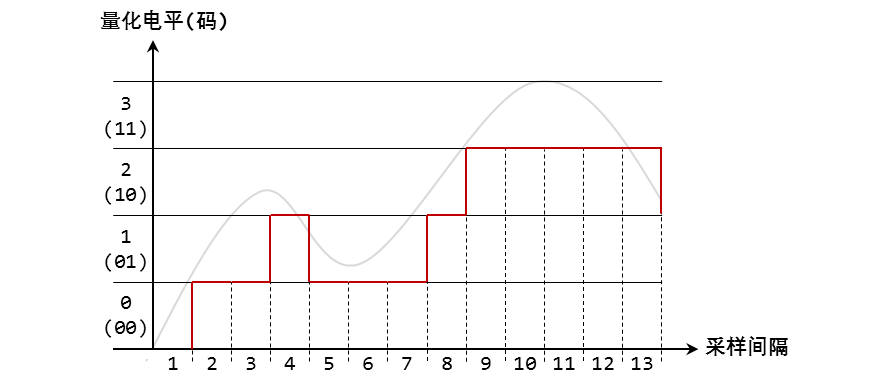


图1.5 使用两位码重建的波形

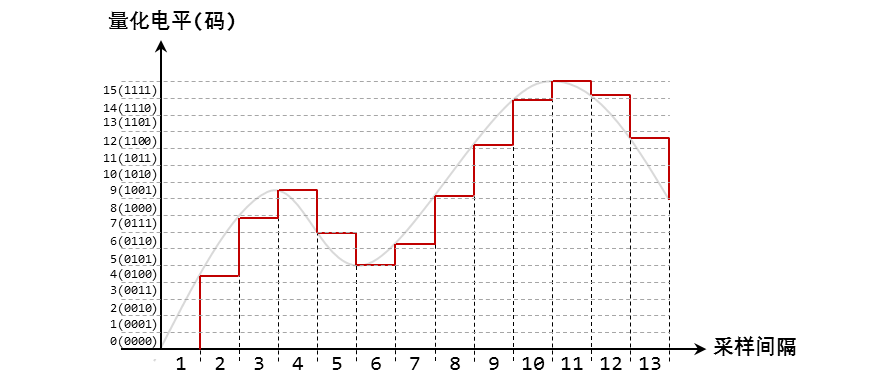


图1.6 具有16个量化电平的采样-保持输出波形

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 采样间隔 | 量化电平 | 编码 |
| 1 | 0 | 0000 |
| 2 | 4 | 0100 |
| 3 | 7 | 0111 |
| 4 | 9 | 1001 |
| 5 | 7 | 0111 |
| 6 | 5 | 0101 |
| 7 | 6 | 0110 |
| 8 | 9 | 1001 |
| 9 | 12 | 1100 |
| 10 | 14 | 1110 |
| 11 | 15 | 1111 |
| 12 | 15 | 1111 |
| 13 | 12 | 1100 |

表1.2 图1.6中波形采用四位码量化

如果采用4位数字码来重建波形，将会得到图12-17中的波形。从图中可以看出使用4位数字码16个电平比使用2位数字码4个电平的重建波形更像原始波形。这说明量化位数越高，量化精度越好。大部分集成ADC的量化位数为8~24位，采样-保持功能模块在ADC内部。

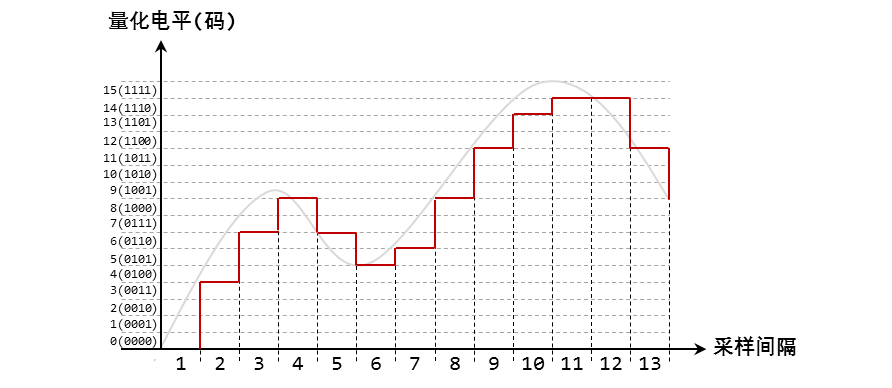


图1.7 使用四位码重建的波形

## 1.3 数模转换

数模转换就是将离散的数字量转换为连接变化的模拟量。与数模转换相对应的就是模数转换，模数转换是数模转换的逆过程，把数字量转换成模拟量，称为数模转换器（DAC）。DAC是将一组n位二进制数转换为模拟信号输出的一种器件，如图1.8所示，其中为n位二进制输入端，为模拟输出端。

