

直接数字式梯形三角形脉冲波形合成技术*

黄建人

(东南大学无线电系 南京·210018)

本文介绍一种采用直接数字式的梯形、三角形波形合成新技术, 以及其波形形成电路。该波形合成技术很容易使梯形、三角形脉冲参数得到程控。

关键词 梯形脉冲, 三角形脉冲, 直接数字波形合成

The technique of direct-digital trapezoid and triangle pulse wave synthesising

HUANG Jianren

(Southeast University, Nanjing · 210018)

This paper introduces a new technique which adoptes the method of "direct-digital trapezoid and triangle wave synthesising", and the circuit which generates these waves. This technique makes it easy to control the parameters of trapezoid and triangle by programing.

Key words: trapezoid, triangle, direct-digital wave synthesising

1 前言

由三角形、梯形调制的载频脉冲信号是水声常用信号, 尤其对于鱼雷等采用复杂信号体制的场合更为重要。当三角形、梯形脉冲参数一定时, 一般都将波形事先固化在 EPROM 中, 使用时将其读出即可, 但当要求三角形梯形参数即可变, 或对于通用信号源要求在较宽范围内任意设定参数时, 采用 EPROM 固化的方法就不太灵活了。本文介绍一种采用直接计算法数字式合成技术, 实现三角形、梯形脉冲参数的灵活改变。利用三角形、梯形调制的载频信号也可以采用直接计算法数字合成^[1-3]。

2 数学模型

三角形脉冲是梯形脉冲的特例, 故先以三角形脉冲为例说明其合成方法。确定三角形脉冲的参数有周期、脉冲宽度以及峰值、斜率, 其中“周期”的设

计与一般矩形脉冲的设计相同, 可由定时器等系统来实现, 这里只考虑单个三角形脉冲的情形。一般情况下, 三角形脉冲的上升斜率的大小等于下降斜率的大小, 又因脉冲宽度、峰值及斜率三者间相互制约, 知道其中两个参数即可计算出第三个参数, 当峰值取归一化数值时, 设计三角形脉冲只需考虑斜率这一参数, 当斜率一定时, 脉冲宽度即三角形脉冲的下底宽度也随之确定。三角形脉冲的示意图见图 1。

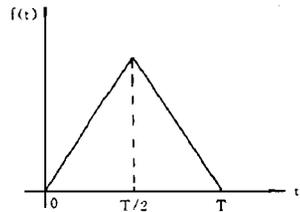


图 1 三角形脉冲

设三角形函数表示如下:

* 收稿日期: 97-3-4; 修回日期 97-4-20

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0, t > T \\ kt & 0 < t < \frac{T}{2} \\ -kt & \frac{T}{2} < t < T \end{cases} \quad (1)$$

式中 k 为大于零的实数。

令 $t = nT_0$, 则有 $f(n) = n \cdot k \cdot T_0$, 若对斜率 k 量化, 设 $k = K_0/m$, 则有

$$f(n) = (K_0 \cdot T_0) \cdot \text{INT}(n/m) = N_0 \cdot V \quad (2)$$

式中 $N_0 = K_0 \cdot T_0$, $V = \text{INT}(n/m)$ 。 N_0 表示在一个单位时间间隔内, 对于基本量化斜率量的变化值, V 仍表示时间序列, INT 表示取整, 显然,

$$m = 1 \quad V = 0, 1, \dots, n$$

$$m = 2 \quad V = 0, 0, 1, 1, \dots, \text{INT}(n/2), \dots,$$

$$m = 3 \quad V = 0, 0, 0, 1, 1, 1, \dots, \text{INT}(n/3), \dots$$

$$m = m \quad V = 0, \dots, 0, 1, \dots, 1, \dots, \text{INT}(n/m), \dots$$

可见, m 越小, 斜率越大, 当 $m = 1$ 时, 斜率最大, 即三角形脉冲的下底最窄, 因此, 也可以将 m 定义为宽度指数, $m = 1$ 时的 m 为最小允许的宽度指数。

在具体实现时, 将三角形波的上升直线段等量化并存入存储器中, 在 $0 < t < T/2$ 时间范围内, 当存储器的地址码递增时, 其输出幅度值线性递增至最大值; 在 $T/2 < t < T$ 范围内, 随着存储器地址码递减, 其输出幅度由最大线性减至最小。每一时钟周期输出一采样点, 而地址码由 V 确定。这一实现过程可由图 2 所示说明。其中图 2(a) 为 $m = 1$ 的波形, 此时三角形的斜率最大, 图 2(b) 为 $m = 2$ 时的波形, 图 2(c) 为 $m = 3$ 时的波形。

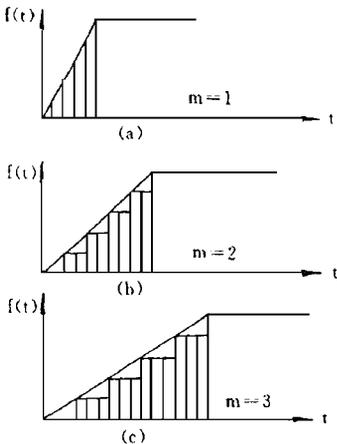


图 2 三角形脉冲合成原理示意图

在三角形脉冲一个周期的其它时间内, 只需保持地址码不变, 即可获得与下降至最低值时相一致的低电平。

梯形脉冲的合成原理与三角形脉冲的合成原理相似。如图 3, 设梯形脉冲的下底宽度为 T_p , 上底宽度为 T_{up} , 梯形上升时间为 T_1 , 下降时间为 T_2 , 一般 $T_1 = T_2 = (T_p - T_{up})/2$, 假设存在图 3(b) 所示的控制脉冲, 其中 T_p, T_{up}, T_1, T_2 等于梯形脉冲的各时间段的时间。在 T_1 时间段, 将梯形脉冲的上升波形作为三角形脉冲的上升段处理, 同样, 在 T_2 段, 作为三角形脉冲的下降段处理, 而在上底 T_{up} 段, 只需读取存储器的地址码保持不变, 则输出可一直保持高电平, 在梯形脉冲一个周期的其它时间 T_s 内, 同样保持地址码不变, 则输出可一直保持低电平。因此只需按图 3(b) 所示的矩形脉冲控制其地址码, 即可获得梯形脉冲输出。

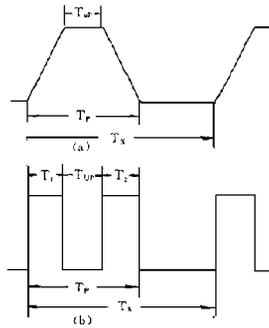


图 3 梯形脉冲及控制波形

由于三角形脉冲是梯形脉冲的一个特例, 即当梯形脉冲的上底 $T_{up} = 0$ 时即为三角形脉冲, 因此三角形脉冲的合成可归至梯形脉冲的合成之中。

3 梯形脉冲产生电路的设计

梯形脉冲产生电路如图 4 所示, 由斜坡幅度存储器、地址发生器及 D/A 转换器等部分组成, 其中地址发生器部分, 除系统公用的时序电路外, 还包括可编程分频器、可编程可逆计数器以及地址缓冲器等, 时序控制电路除产生时钟信号以外, 还产生脉冲的周期信号、梯形脉冲的 T_1, T_2, T_{up} 等信号, 时序控制电路一般由单片机构成。

斜坡幅度的量化可根据量化噪声水平要求确定其 bit 数, 一般要求量化噪声水平在 70dB 以下, 假设

斜坡最大幅度值为 A_s , 量化噪声的等效幅度值为 A_n , 则能量的信噪比为

$$Y = A_s^2 / A_n^2 \quad (3)$$

当要求量化噪声水平在 70dB 以下时, 即

$$10 \log Y = 10 \log A_s^2 / A_n^2 - 70 \text{dB}$$

得 $M = A_s / A_n = 3140$, 即幅度量化 bit 数:

$$B = \log_2 M = 12 \quad (4)$$

一般取 $B = 12$ 即可。

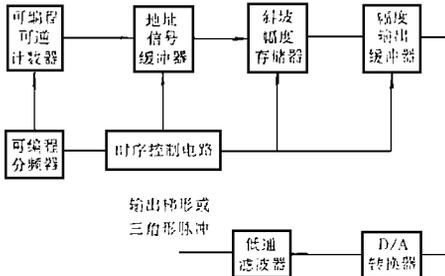


图 4 梯形脉冲合成电路原理框图

为了精确恢复波形, 直接数字式频率合成的采样频率远高于 Nyquist 采样定理所确定的值, 所以从信号中滤除由时间采样所形成的阶梯波形就比较容易。另外, 由于这种直接数字技术读出斜坡幅度存储器的时钟频率是一不变的常数, 故 D/A 转换器后的低通滤波器的设计就比较简单, 一般可以取截止频率远大于信号的最高频率, 甚至可以取截止频率等于 1/2 时钟频率。

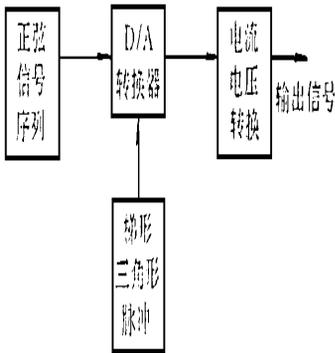


图 5 调制电路原理框图

图 5 为产生梯形三角形载频脉冲的调制电路,

由于梯形三角形调制为载频幅度的线性调制, 故不能采用简单的模拟门或门电路, 当然, 实现线性调制的方法已发表了不少, 这里仅介绍一种已被实际采用的方法, 即如图 5 所示, 采用梯形脉冲调制 D/A 转换器参考电平的方法获得这一类调制脉冲的输出, 这一方法的特点是调制的线性度容易得到控制。图中 D/A 转换器的输入信号也应为数码形式。可以为正弦信号, 也可以为调频信号。

4 结论

直接数字式合成梯形三角形脉冲的方法与直接数字式合成频率技术相似, 但后者首先确定的是最低输出频率及最小频率跳变间隔, 而前者则首先确定最大斜率, 即 $m = 1, k = K_0$ 的情况及斜率的跳变间隔 K_0 , 若先确定最小斜率则其设计是困难的。

本文讨论的梯形三角形脉冲数字式合成技术已在新一型水声自动化测量系统中得到成功应用, 在该测量系统中, 梯形、三角形脉冲的主要参数以及载频信号、时钟等参数如下:

下底宽度: 0.5 ~ 250ms

上底宽度: 0 ~ 250ms (保证上底宽度 > 下底宽度)

载频信号范围: 1 ~ 200kHz

读取斜坡幅度存储器的时钟频率为 4.194304MHz。

在直接数字式波形合成技术中, 参数设计的主要制约因素是存储器容量, 但在水声应用领域, 存储器容量以及其它指标如速度等都不是主要矛盾。

在该测量系统中, 梯形、三角形脉冲参数的改变还可以由计算机直接控制。

参考文献

- 1 官知节. 直接数字式频率合成技术. 无线电技术通讯, 1975; (2): 52 ~ 71
- 2 Cooper. H. W., Why complicate frequency syntheses. Electronic Design, 1974; 22(15): 80 ~ 83
- 3 黄建人. 多通道水声自动化测试系统的研制. 声学技术, 1996; 15(3): 109 ~ 112