

# 电子竞技讲座

## 通信部分

---

辛云宏

陕西师范大学物理  
学与信息技术学院

---

# 设计一个简易数字信号传输性能分析仪 (2011年全国E题)

任务：实现数字信号传输性能测试；同时，设计三个低通滤波器和一个伪随机信号发生器用来模拟传输信道。

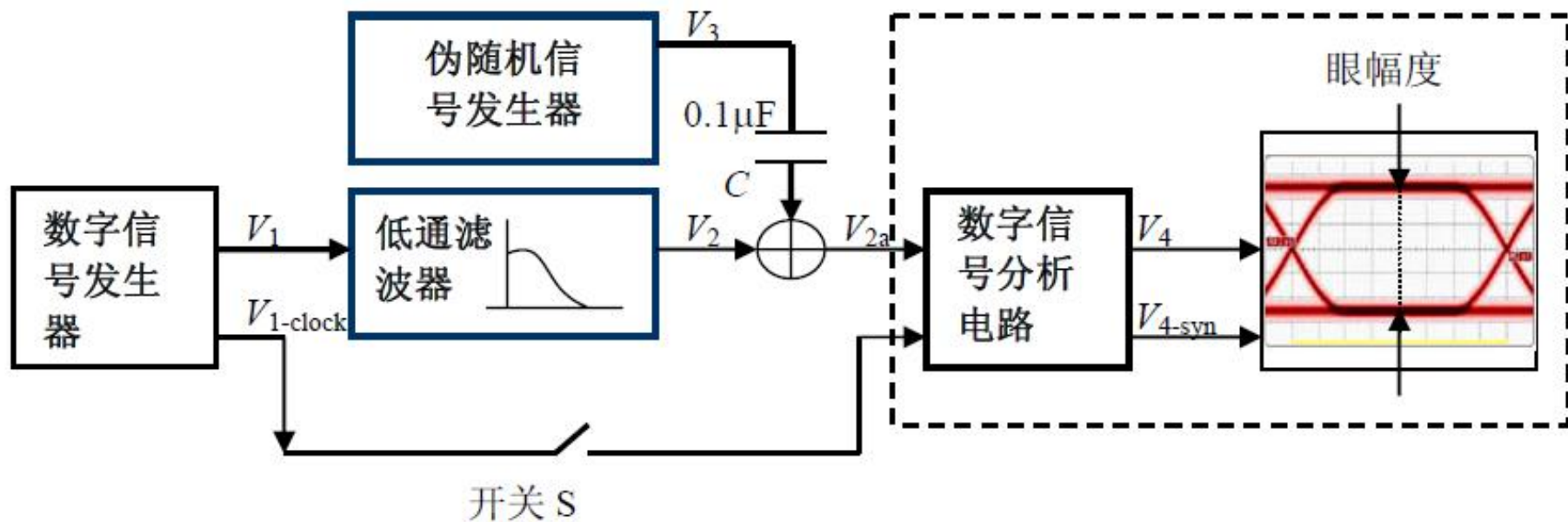


图 1 简易数字信号传输性能分析仪框图

## 基本要求-1

(1) 设计并制作一个数字信号发生器：

a) 数字信号  $V_1 f_1(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8$

的  $m$  序列，其时钟信号为  $V_{1\text{-clock}}$ ；

b) 数据率为 10~100kbps，按 10kbps 步进可调。数据率误差绝对值不大于 1%；

c) 输出信号为 TTL 电平。

---

## 基本要求-2

(2) 设计三个低通滤波器，用来模拟传输信道的幅频特性：

- a) 每个滤波器带外衰减不少于 40dB/十倍频程；
  - b) 三个滤波器的截止频率分别为 100kHz、200kHz、500kHz，截止频率误差绝对值不大于 10%；
  - c) 滤波器的通带增益  $AF$  在 0.2~4.0 范围内可调。
-

## 基本要求-3

(3) 设计一个伪随机信号发生器用来模拟信道噪声：

a) 伪随机信号  $V_3$  为

$$f_2(x) = 1 + x + x^4 + x^5 + x^{12}$$

的  $m$  序列；

b) 数据率为10Mbps，误差绝对值不大于 1%；

c) 输出信号峰峰值为100mV，误差绝对值不大于 10%。

(4) 利用数字信号发生器产生的时钟信号  $V_{1\text{-clock}}$  进行同步，显示数字信号  $V_{2a}$  的信号眼图，并测试眼幅度。

---

## 发挥部分

- (1) 要求数字信号发生器输出的  $V_1$  采用曼彻斯特编码。
  - (2) 要求数字信号分析电路能从  $V_{2a}$  中提取同步信号  $V_{4-syn}$  并输出；同时，利用所提取的同步信号  $V_{4-syn}$  进行同步，正确显示数字信号  $V_{2a}$  的信号眼图。
  - (3) 要求伪随机信号发生器输出信号  $V_3$  幅度可调， $V_3$  的峰值范围为  $100mV \sim TTL$  电平。
  - (4) 改进数字信号分析电路，在尽量低的信噪比下能从  $V_{2a}$  中提取同步信号  $V_{4-syn}$ ，并正确显示  $V_{2a}$  的信号眼图。
  - (5) 其他。
-

## 说明

- 1、在完成基本要求时，数字信号发生器的时钟信号  $V_{1\text{-clock}}$  送给数字信号分析电路（图1中开关S闭合）；而在完成发挥部分时， $V_{1\text{-clock}}$  不允许送给数字信号分析电路（开关S断开）。
  - 2、要求数字信号发生器和数字信号分析电路各自制作一块电路板。
  - 3、要求  $V_1$ 、 $V_{1\text{-clock}}$ 、 $V_2$ 、 $V_{2a}$ 、 $V_3$  和  $V_{4\text{-syn}}$  信号预留测试端口。
  - 4、基本要求（1）和（3）中的两个  $m$  序列，根据所给定的特征多项式  $f_1(x)$  和  $f_2(x)$ ，采用线性移位寄存器发生器来产生。
  - 5、基本要求（2）的低通滤波器要求使用模拟电路实现。
  - 6、眼图显示可以使用示波器，也可以使用自制的显示装置。
-

## 主要技术

- 低通滤波器
- 伪随机信号发生器
- 码元同步
- 眼图

## 基本过程

- 总体设计
  - 具体实现
  - 结果测试
-

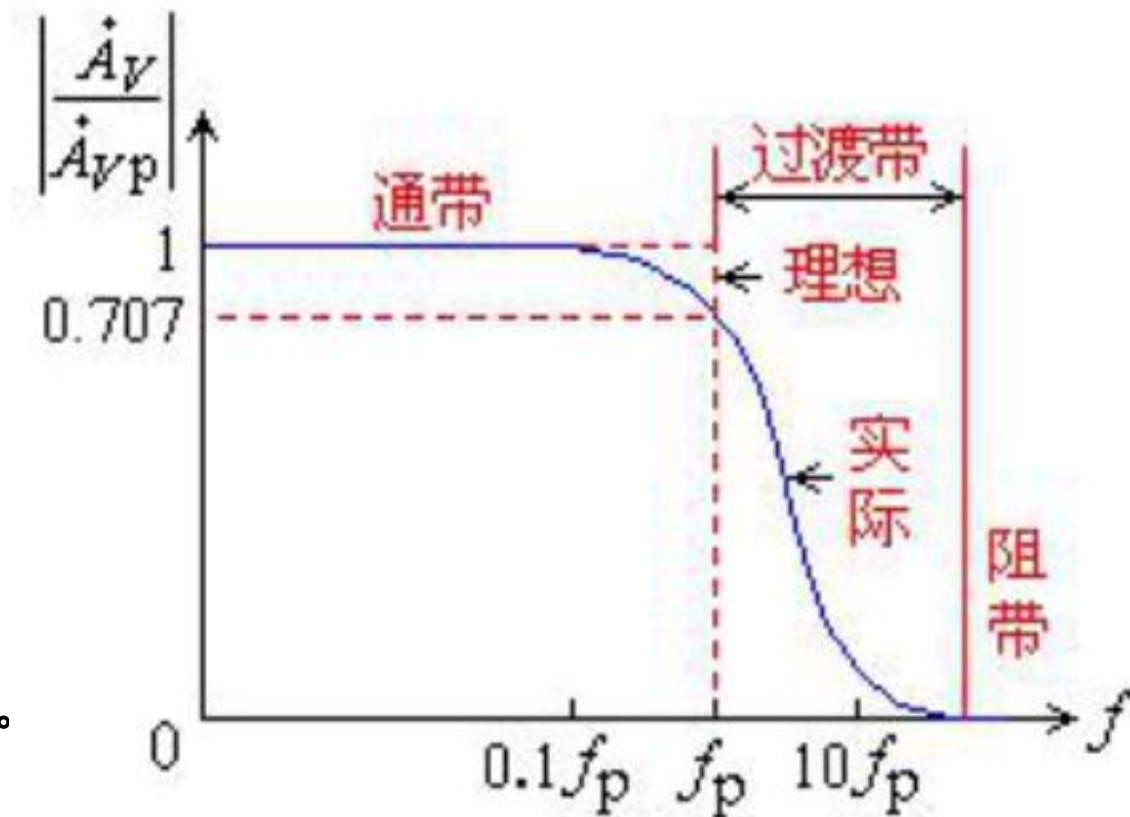


## 有源低通滤波器(LPF)

### 低通滤波器的主要技术指标

#### (1) 通带增益 $A_{vp}$

通带增益是指滤波器在通频带内的电压放大倍数，如图3所示。性能良好的LPF通带内的幅频特性曲线是平坦的，阻带内的电压放大倍数基本为零。



#### (2) 通带截止频率 $f_p$

其定义与放大电路的上限截止频率相同，见图3。通带与阻带之间称为过渡带，过渡带越窄，说明滤波器的选择性越好。

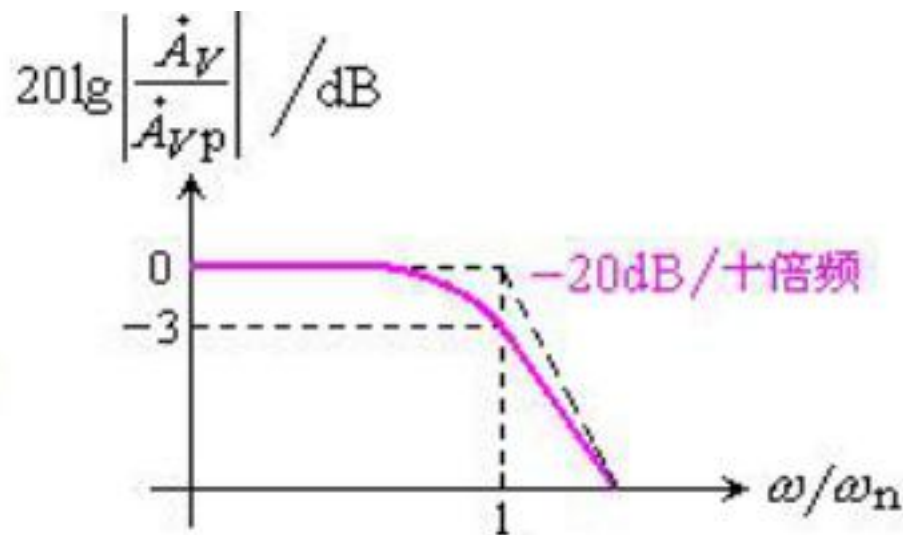
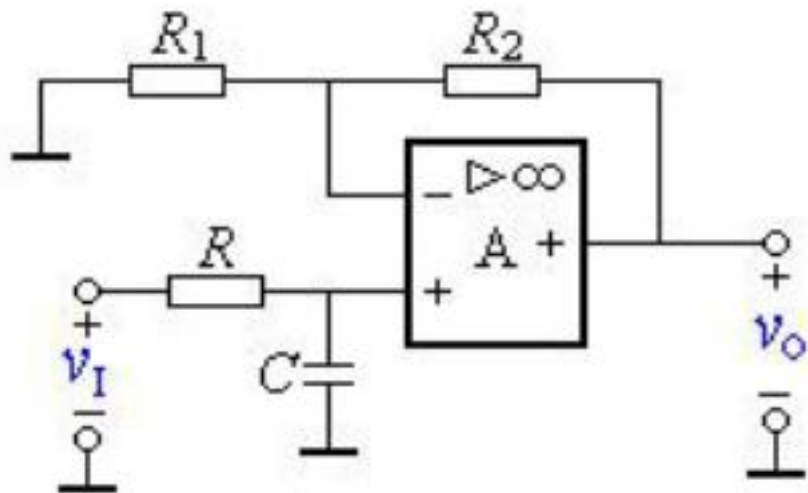
## 简单一阶低通有源滤波器

特点是电路简单，阻带衰减太慢，选择性较差。

当  $f = 0$  时，电容器可视为开路，通带内的增益为  $A_{vp} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$   
 一阶低通滤波器的传递函数为

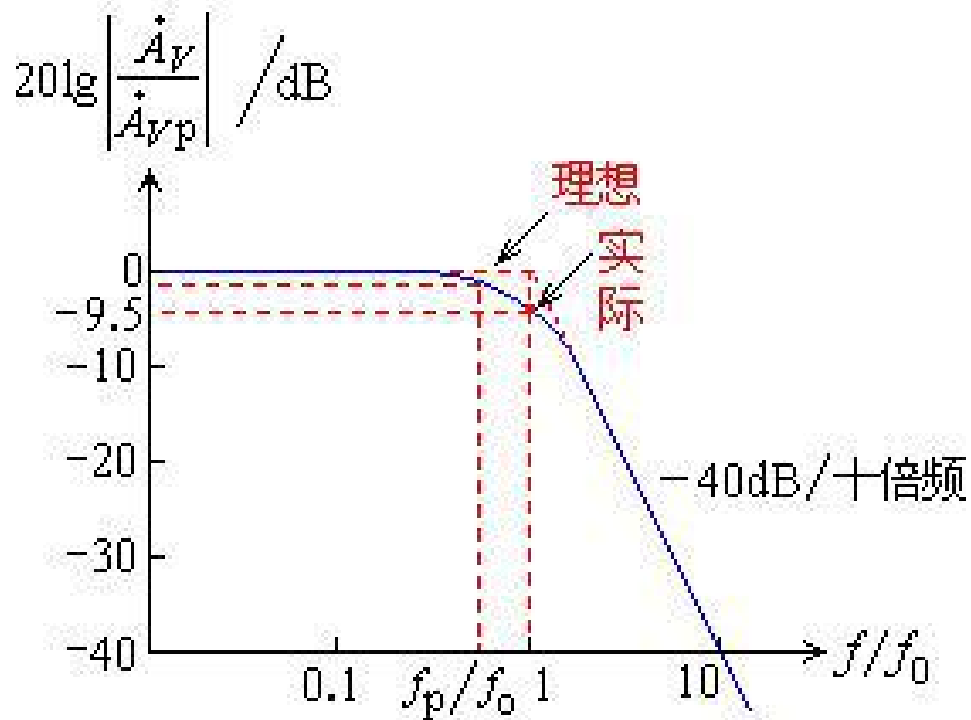
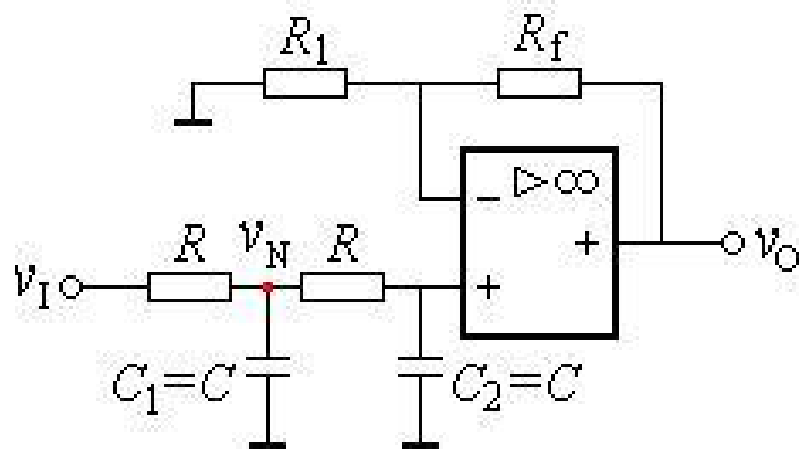
$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{vp}}{1 + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

该传递函数式的样子与一节RC低通环节的增益频率表达式差不多，只是缺少通带增益  $A_{vp}$  这一项。



## 简单二阶低通有源滤波器

为了使输出电压在高频段以更快的速率下降，以改善滤波效果，再加一节RC低通滤波环节，称为二阶有源滤波电路。它比一阶低通滤波器的滤波效果更好。



通带增益（通带内的增益）为

$$A_{vp} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

二阶低通有源滤波器传递函数

$$A_v(s) = \frac{V_0(s)}{V_1(s)} = \frac{A_{vp}}{1 + 3sCR + (sCR)^2}$$

通带截止频率

将s换成j $\omega$ ，令 $\omega_0 = 2\pi f_0 = 1/(RC)$ 可得

$$A_v = \frac{A_{vp}}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j3\frac{f}{f_0}}$$

当 $f=f_p$ 时，上式分母的模

$$\left| 1 - \left(\frac{f_p}{f_0}\right)^2 + j3\frac{f_p}{f_0} \right| = \sqrt{2}$$

解得截止频率：

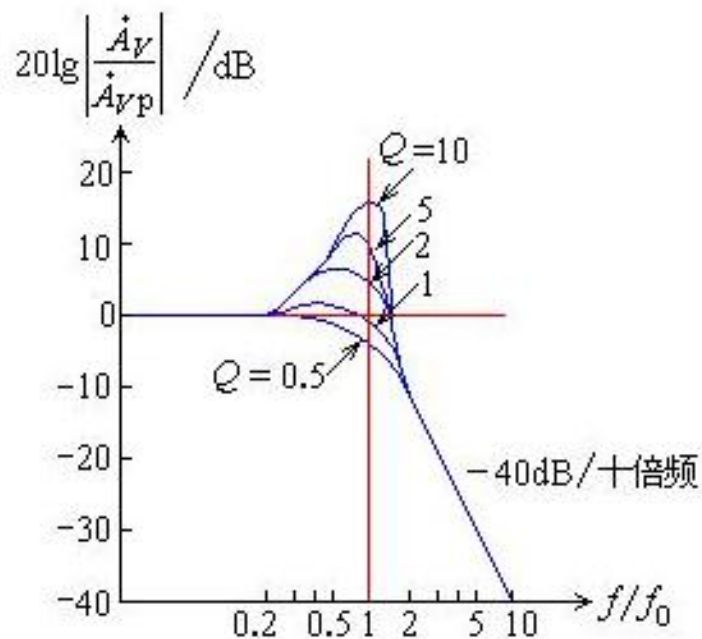
$$f_p = \sqrt{\frac{\sqrt{53}-7}{2}} f_0 = 0.37 f_0 = \frac{0.37}{2\pi RC}$$

与理想的二阶波特图相比，在超过 $f_0$ 以后，幅频特性以-40 dB/dec的速率下降，比一阶的下降快。但在通带截止频率 $f_p \rightarrow f_0$ 之间幅频特性下降的还不够快。

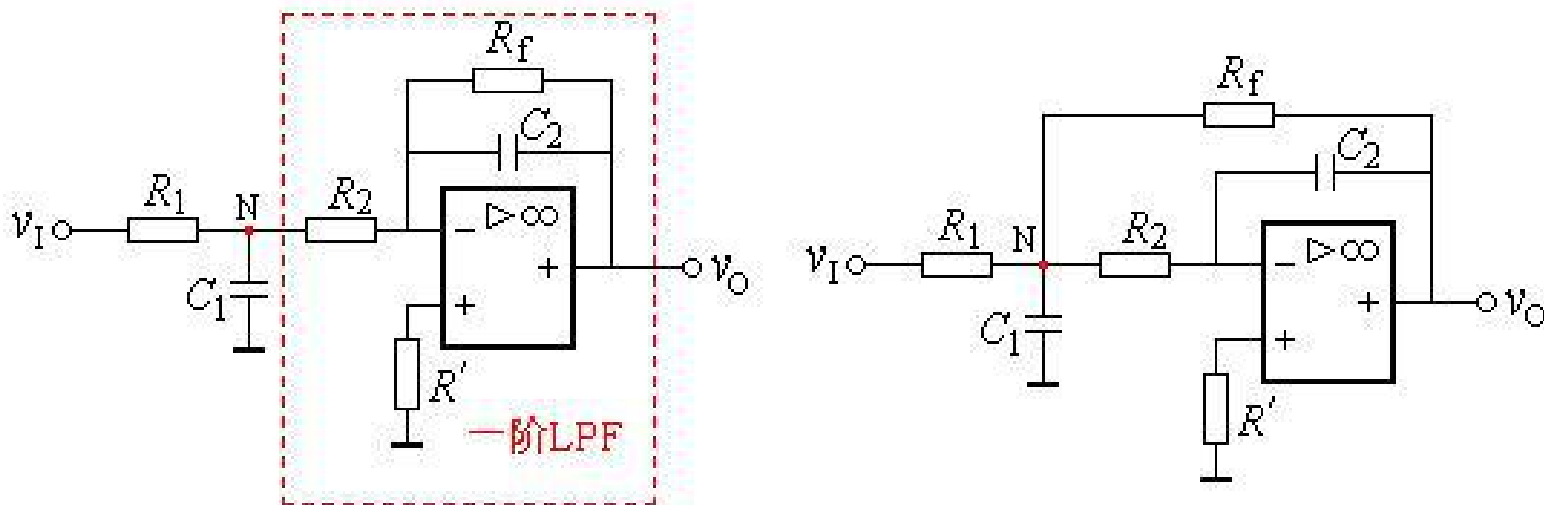
## 二阶压控型低通有源滤波器

### 二阶压控型LPF

其中的一个电容器C1原来是接地的，现在改接到输出端。显然，C1的改接不影响通带增益。



**二阶反相型低通有源滤波器** 在反相比例积分器的输入端再加一节RC低通电路而构成。二阶反相型LPF的改进电路。



传递函数为

$$A_v(s) = \frac{-R_f / R_1}{1 + sC_2 R_2 R_f \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_f} \right) + s^2 C_1 C_2 R_2 R_f}$$

频率响应为

$$A_v = \frac{A_{vp}}{1 - \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 + j \frac{1}{Q} \left( \frac{f}{f_0} \right)}$$

---


$$A_{vp} = -\frac{R_f}{R_1} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 C_2 R_2 R_f}} \quad Q = (R_1 \parallel R_2 \parallel R_f) \sqrt{\frac{C_1}{R_2 R_f}}$$


---

## 伪随机信号发生器

### □ 伪随机码 — 又称伪随机序列

- 具有类似白噪声的随机特性但是又能重复产生。
- 具有良好的相关特性，可以用于码分复用、多址接入、测距、密码、扩展频谱通信和分离多径信号等许多用途。
- 伪随机序列有多种，其中以 $m$ 序列最为重要。

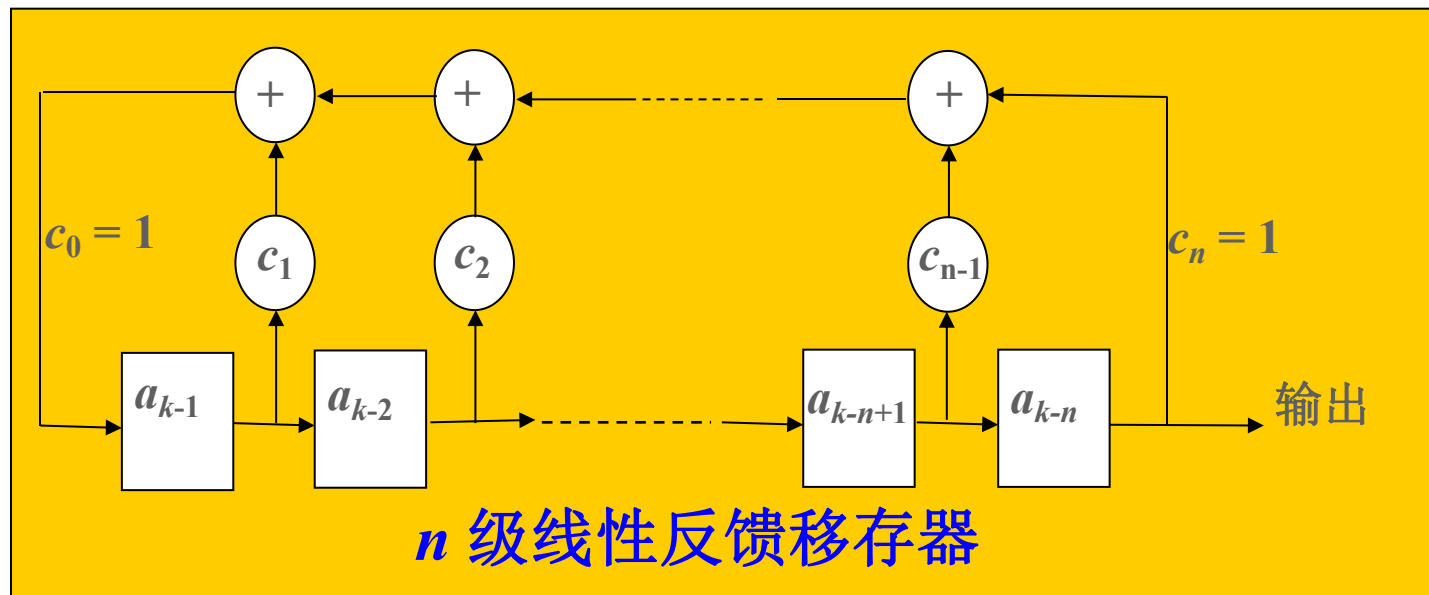
### □ $m$ 序列

- $m$ 序列 — 由线性反馈移位寄存器产生的周期最长的序列。

## *m*序列--特征方程

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \cdots + c_nx^n = \sum_{i=0}^n c_i x^i$$

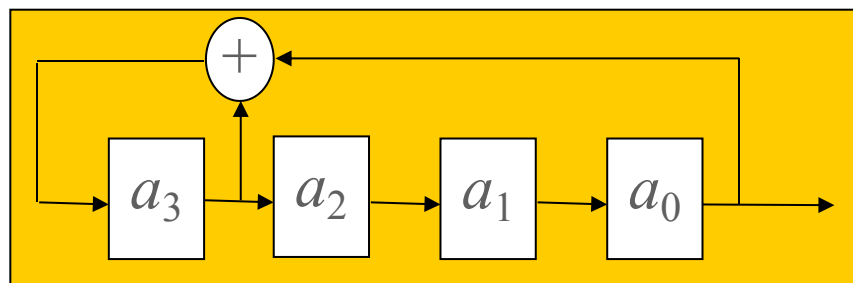
- $c_i$ 的值决定了反馈线的连接状态
- 式中 $x_i$ 本身并无实际意义，它仅指明其系数是 $c_i$ 的值





$$f(x) = 1 + x + x^4$$

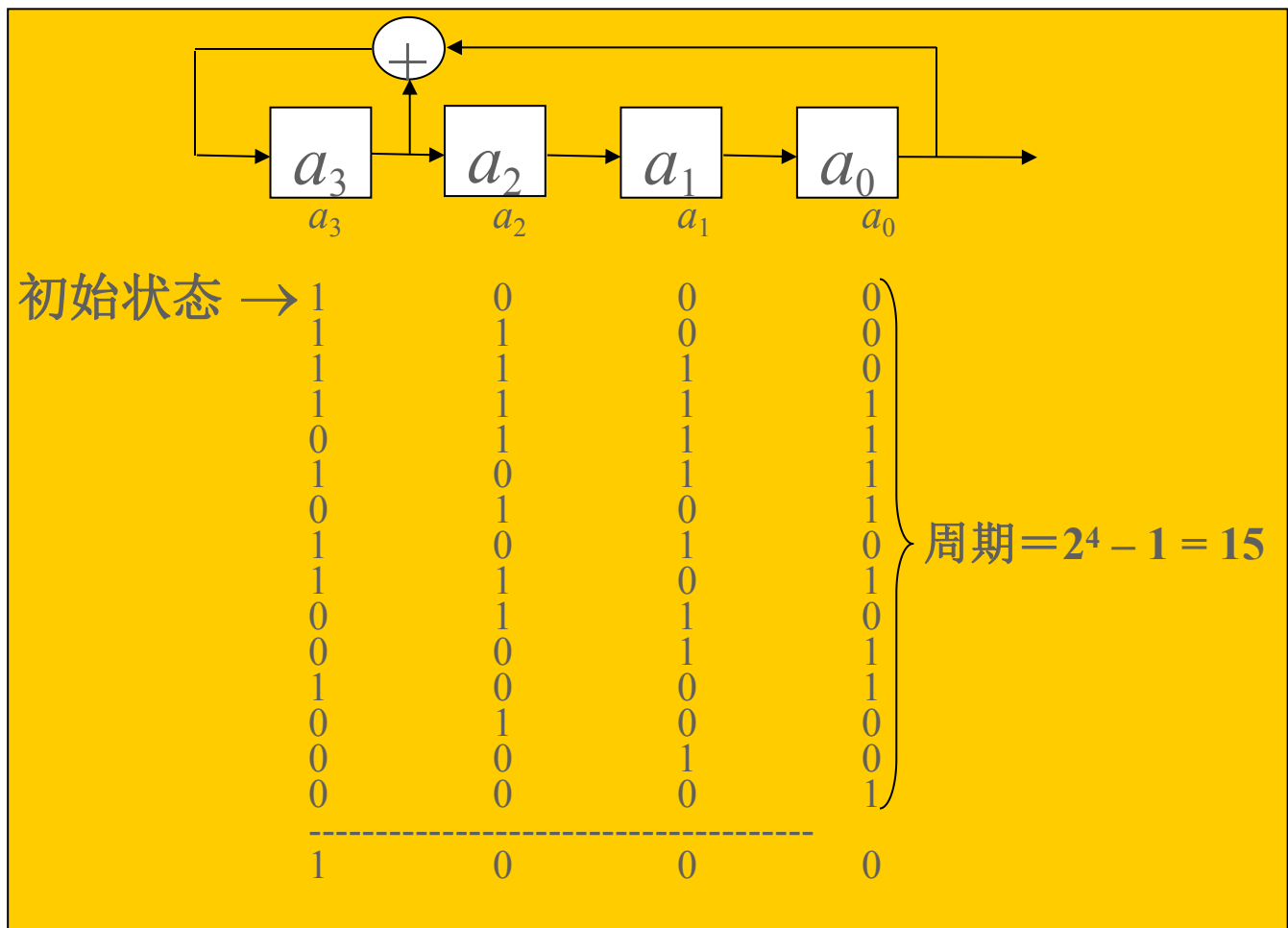
表示上式中仅 $x_0, x_1,$ 和 $x_4$ 的系数 $c_0 = c_1 = c_4 = 1$ , 而其余系数 $c_2 = c_3 = 0$ 。构成的方框图:



特征方程 $f(x)$ 决定了

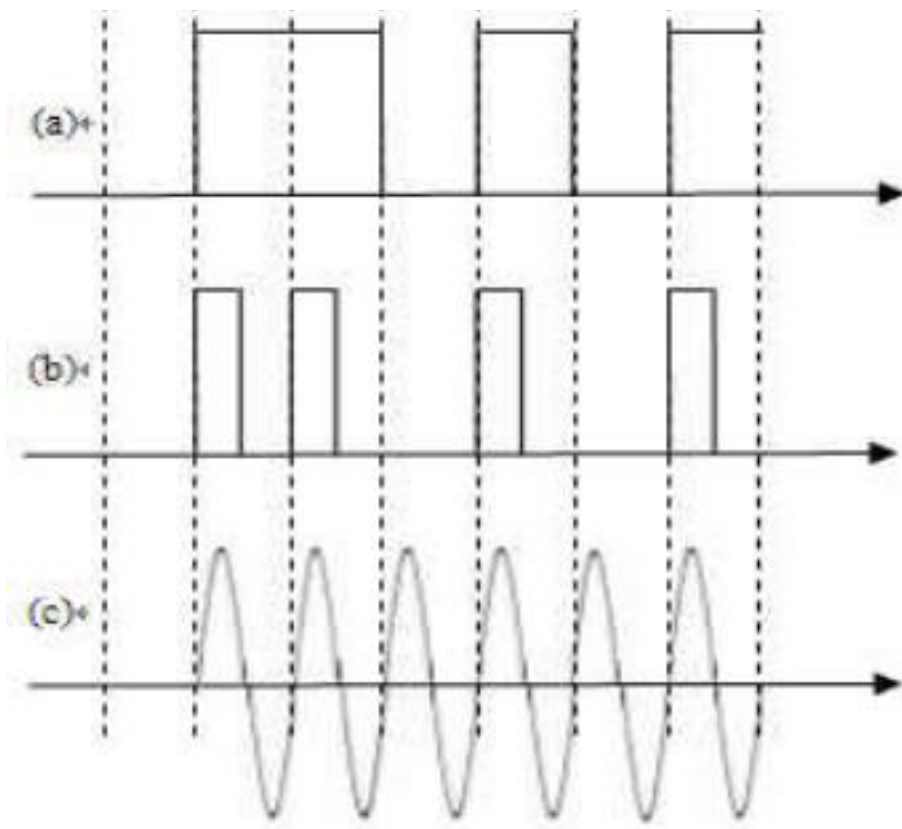
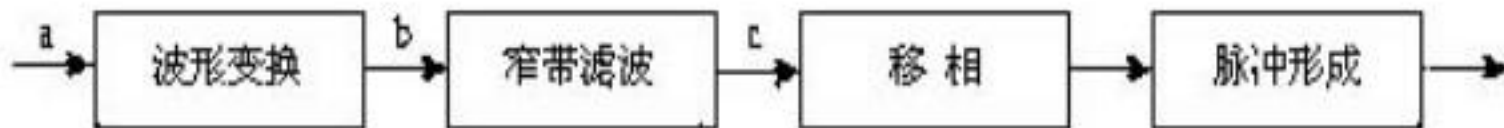
一个线性反馈移存器的结构, 从而决定了它产生的序列的构造和周期。

■  $m$ 序列的产生举例：4级 $m$ 序列产生器及其状态

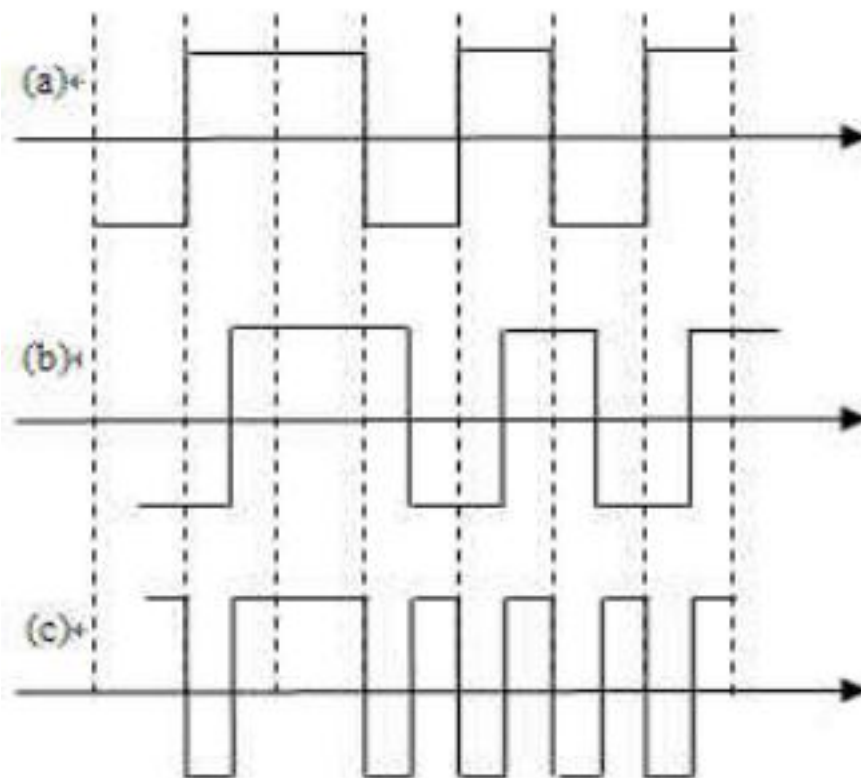
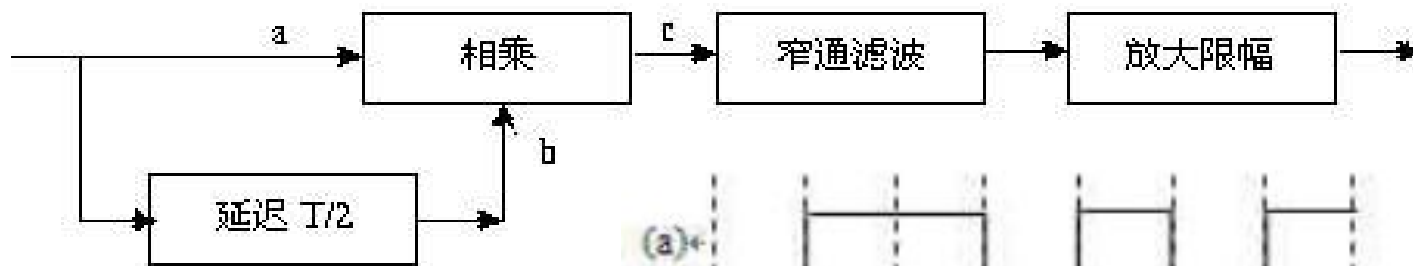


4级移存器共有 $2^4 = 16$ 种可能状态，其周期  $p$  最长等于15。

# 码元同步——波形变换法



# 码元同步——延迟相乘法

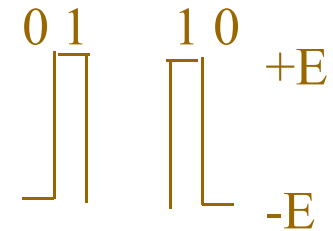


## □ 双相码 — 曼彻斯特码

### ■ 编码规则:

消息码 “0” → 传输码 “01”

消息码 “1” → 传输码 “10”



例:

消息码:	1	1	0	0	1	0	1
双相码:	10	10	01	01	10	01	10

- 译码规则: 消息码 “0”和 “1”交替处有连 “0”和连 “1”, 可以作为码组的边界。
- 优缺点: 只有2电平, 可以提供定时信息, 无直流分量; 但是占用带宽较宽。