

实时遥控群控系统瞬时同步方法

曹文彬¹⁾

(湖南省计算技术研究所)

摘 要

本文介绍了实时遥控群控系统的特点,并从指令码结构和伪随机码结构的设计着手,提出了一种起始相位可随机浮动的系统瞬间同步方法。这种方法的特点是电路结构简单,不存在传统同步方法中的同步跟踪时间和同步保持时间,保证了被控对象反应迅速、动作准确,达到了实时遥控的要求。

一、前 言

现代信息传输系统中常用的节拍同步方法^[1,2]有外同步法,包括同时传送方式和间隔传送方式;自同步法,即由数字信息本身去解决节拍同步,包括利用数字信息本身携带节拍同步信号和利用数字信息的包络获得节拍同步信号,主要有滤波法、数字锁相法和脉冲锁相法。这几种形成节拍同步的方法已被实践证明是可行的,有效的。但存在下列缺点:

1) 外同步法需占用一路专用信道。

2) 自同步法中,无论是由数字信息本身携带节拍同步或从数字信息的包络中用滤波法取出节拍同步,都必须使用窄带滤波器,因而存在采用高 Q 回路所带来的缺点。

3) 脉冲锁相法、数字锁相法和外同步法中的间隔传送法都采用收端本地振荡。由于收发两端的节拍脉冲产生器的振荡频率不可能完全相同;收发两端的工作环境、工作条件也不可能完全相同。因此,由于温、湿度和电压及其稳定度的不同,使振荡频率的偏移各异。故这种系统随着时、空条件的变化,存在频差 ΔF ,使同步不能马上建立,建立了也不能持久。为使同步能够建立,系统存在由搜索到同步、由同步到搜索的过程,即存在“对表”问题。

4) 采用谐振回路,制造、调整、维修都比较困难。

上述问题的存在,对于野外作业,特别是对于可移动的便携式遥控群控系统来说是不理想的,为此,作者根据工程施工中对遥控群控系统的要求,设计了一种起始相位可随机浮动的瞬时同步系统(以下简称 WK-1 同步系统),主要用于工业、交通等部门中设备群的遥控。

本文于1981年3月23日收到。

1) 参加 WK-1 机研制工作的还有丁名驹、陈一平等。

二、WK-1 同步系统设计的依据与指导思想

WK-1 系统是一台多用途的实时遥控群控设备,要求具有广泛的适应性、较强的抗干扰能力、较高的可靠性、良好的实时性和可维修性。因此,系统的设计必须满足如下要求:

1. 必须反应迅速、灵活方便、准确可靠。

2. 由于 WK-1 系统的工作现场是一个复杂的干扰源,为提高系统的抗干扰能力,采用伪随机码传送指令。为了获得瞬间同步,又不增加设备的复杂性,节拍脉冲必须从伪随机序列中提取,而且,这种同步方法必须同时适应两个周期相同的不同的伪随机序列,以便传送指令中的“0”和“1”。

3. WK-1 系统系野外作业,温、湿度变化大,这就要求系统对温、湿度变化的适应性好。

对于任何一个电振荡回路,都可以视为由电阻 R 、电感 L 、电容 C 组成的回路,其自然谐振频率为

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}} \quad (1)$$

式中 $Q = \sqrt{\frac{L}{C}} / R$ 为回路质量因素。

对于高 Q 回路,其自然谐振频率为

$$\omega_0 \doteq 1/\sqrt{LC} \quad (2)$$

由此可以看出, ω_0 取决于回路参数 L, C 。当 L, C 随温度、湿度和大气压力变化时, ω_0 的变化为

$$\Delta\omega_0 = \frac{\partial\omega_0}{\partial C} \Delta C + \frac{\partial\omega_0}{\partial L} \Delta L = -\frac{\omega_0\Delta C}{2C} - \frac{\omega_0\Delta L}{2L},$$

即

$$\frac{\Delta\omega_0}{\omega_0} = -\frac{\Delta C}{2C} - \frac{\Delta L}{2L} \quad (3)$$

设电容的温度系数为 $\alpha_c = \Delta C_1 / C \Delta T$, 电容的不稳定系数为 $\sigma_c = (C - C_1) / C = \Delta C_2 / C$, 电感的温度系数为 $\alpha_L = \frac{\Delta L_1}{L \Delta T}$, 电感的不稳定系数为 $\sigma_L = (L - L_1) / L = \Delta L_2 / L$ 。

电容的变化量 ΔC 由可逆变化量 ΔC_1 与不可逆变化量 ΔC_2 组成^[6], 即 $\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2$ 。同样可以认为电感的变化量 ΔL 由可逆变化量 ΔL_1 和不可逆变化量 ΔL_2 组成, 即 $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$ 。将 $\Delta C, \Delta L$ 代入(3)式, 得

$$\Delta\omega_0/\omega_0 = -[(\alpha_c + \alpha_L)\Delta T + \sigma_c + \sigma_L]/2 \quad (4)$$

由上述分析可知:

- 1) 任何一个电振荡回路的谐振频率是温度和回路参数的函数。
- 2) 回路参数决定于构成回路元件的材料与环境条件。
- 3) 为了提高频率稳定度, 必须采取稳频和稳压措施, 但这并不能完全消除回路参数的变化。

因此,要提高同步系统的可靠性,同时改善可维修性,WK-1 系统应避免采用谐振回路和窄带滤波器。

4) 为满足可移动性要求,同步系统应力求简单。

三、WK-1 同步系统的设计原理

WK-1 系统作为远动控制设备,与其他数字信息传输系统一样,有群同步(本系统为指令同步或控制字同步)和位同步(本系统为码元同步)。从指令和码元中直接提取同步,并使这种同步能随指令浮动,是本系统的重要特点。

1. 指令码的数据结构设计

WK-1 系统指令长度为 16 位二进制码,包括控制字 12 位和同步码 4 位。一个控制字由 7 位地址码和 5 位操作码构成。因此,本系统能通过键盘编制 90 条以上的指令。WK-1 指令数据结构采用如下格式:

15	9	8	4	3	0
地址码(设备编号) 7 位		操作码(指令类型) 5 位		同 步 码	
操 作 码				4 位	

当系统(包括被控设备)处于等待状态时,可由键盘根据需要输入指令(如被控对象的动作是有规律的,也可采用程序输入指令)。指令采取并行输入、串行传送。当输入指令时,在每条指令的低位(0—3 位)形成四位“0”代码,“0”码用伪随机序列 m_A 传送。当相关接收设备收到四个连续的“0”,机器经译码后自动判别,若认为随之而来的是控制字,则自动进行指令清机,为接收控制字作准备。由此可简便而可靠地达到指令同步。

2. m 序列码的结构设计

WK-1 系统的指令码采用伪随机序列之一的 m 序列进行调制。 m 序列码则从非退化的线性反馈动态移位寄存点(以下简称移存点)获得,其反馈逻辑函数的一般表达式可写为

$$F(x) = C_0 \oplus \sum_{i=1}^{r-1} C_i x^i \oplus C_r x^r. \quad (5)$$

对于所研究的情况, $C_0 = C_r = 1$ 。其相应的序列多项式为

$$G(x) = a_0 \oplus a_1 x \oplus a_2 x^2 \oplus \cdots \oplus a_{r-1} x^{r-1} \oplus a_r x^r \cdots = \sum_{i=0}^{\infty} a_i x^i. \quad (6)$$

式(5)的集合中包括有 2^{r-1} 个子集,即: $F(x) = \{F_1(x), F_2(x), \cdots, F_{2^{r-1}}(x)\}$ 。

应当指出,不是所有这些子集都能获得 m 序列。在 $F(x)$ 的集合中,只有少数不可约的多项式中,有最长周期序列的本原多项式,才是有意义的。

式(5)系 r 次多项式,即 $\partial^0 F(x) = r$, r 的大小决定于移存器的级数。它取决于:

1) WK-1 机对抗干扰能力的要求。从伪随机序列的自相关函数的分析表明^[3,4,5],自相关函数具有双值特性,其主峰高度为 $2^r - 1$,副峰高度为 -1 ,所以级数越多,周期就越大,抗干扰能力就越强。

2) 打算投入的硬设备量(即决定于造价、体积等)。

3) 指令传输的最低速度。级数越多, 传输一条指令的时间就越长, 因此确定级数 r 时必须确保与执行机构的动作速度相匹配。

4) 机器的主频周期。主频越高, 移存器的级数可相应增加, 但对信道的要求也随之提高。

根据上述要求经方案论证和试验, 认为移存器的级数 $r = 4-5$ 比较合理, 本文取 $r = 4$ 。

当 $r = 4$ 时, 式(5)可写成

$$F(x) = 1 \oplus C_1 x \oplus C_2 x^2 \oplus C_3 x^3 \oplus x^4. \quad (7)$$

式(7)中逻辑变量有八种可能的组合, 见表 1。

表 1

C_1	0	1	0	1	0	1	0	1
C_2	0	0	1	1	0	0	1	1
C_3	0	0	0	0	1	1	1	1

由表 1 可写出八种相应的表达式。在对表达式进行模 2 运算后知, 只有三个表达式是四次不可约多项式, 即。

当 $C_1 = 1, C_2 = C_3 = 0$ 时,

$$F_1(x) = 1 \oplus x \oplus x^4, \quad (8)$$

当 $C_1 = C_2 = 0, C_3 = 1$ 时,

$$F_2(x) = 1 \oplus x^3 \oplus x^4, \quad (9)$$

当 $C_1 = C_2 = C_3 = 1$ 时,

$$F_3(x) = 1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^3 \oplus x^4. \quad (10)$$

在这三个四次不可约多项式中, 只有那些能得到周期 $p = 2^r - 1$ 的反馈多项式才是本原多项式, 才能获得所需要的 m 序列。

为了研究反馈函数与序列多项式的关系, 将式(5)与式(6)相乘, 其乘积为多项式 $H(x)$, 称为关联多项式, 即

$$\begin{aligned} H(x) = F(x) \cdot G(x) = & C_0 a_0 \oplus (C_0 a_1 \oplus C_1 a_0) x \oplus (C_0 a_2 \oplus C_1 a_1 \oplus C_2 a_0) x^2 \\ & \oplus (C_0 a_3 \oplus C_1 a_2 \oplus C_2 a_1 \oplus C_3 a_0) x^3 \oplus \dots \\ & \oplus (C_0 a_{r-1} \oplus C_1 a_{r-2} \oplus C_2 a_{r-3} \oplus \dots \oplus C_{r-1} a_0) x^{r-1} \oplus \dots. \end{aligned} \quad (11)$$

当 $r = 4, C_0 = 1$ 时,

$$H(x) = a_0 \oplus (a_1 \oplus C_1 a_0) x \oplus (a_2 \oplus C_1 a_1 \oplus C_2 a_0) x^2 \oplus (a_3 \oplus C_1 a_2 \oplus C_2 a_1 \oplus C_3 a_0) x^3 \oplus \dots. \quad (12)$$

式(12)表明, 多项式 $H(x)$ 取决于移存器的初态 a_3, a_2, a_1, a_0 以及反馈函数的结构形式。要使 m 序列正常工作, 除正确选择反馈函数外, 还必须使移存器的初态处于非全“0”状态。当 $r = 4$ 时, 移存器的初态有 $2^r - 1 = 15$ 种, 如表 2 所示。

不同的移存器初态有不同的关联多项式, 不同的关联多项式与不同的反馈函数有不同的 $\{a_k\}$ 序列, 从 $\{a_k\}$ 序列中可以筛选出所需要的 m 序列。

表 2

a_3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
a_2	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
a_1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
a_0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

表 3

初 态				关 联 多 项 式											
a_3	a_2	a_1	a_0	$H(x)$											
1	0	0	0	x^3											
0	1	0	0	$x^2 \oplus C_1 x^3$											
1	1	0	0	$x^2 \oplus (1 \oplus C_1) x^3$											
0	0	1	0	$x \oplus C_1 x^2 \oplus C_2 x^3$											
1	0	1	0	$x \oplus C_1 x^2 \oplus (1 \oplus C_2) x^3$											
0	1	1	0	$x \oplus (1 \oplus C_1) x^2 \oplus (C_1 \oplus C_2) x^3$											
1	1	1	0	$x \oplus (1 \oplus C_1) x^2 \oplus (1 \oplus C_1 \oplus C_2) x^3$											
0	0	0	1	$1 \oplus C_1 x \oplus C_2 x^2 \oplus C_3 x^3$											
1	0	0	1	$1 \oplus C_1 x \oplus C_2 x^2 \oplus (1 \oplus C_3) x^3$											
0	1	0	1	$1 \oplus C_1 x \oplus (1 \oplus C_2) x^2 \oplus (C_1 \oplus C_3) x^3$											
1	1	0	1	$1 \oplus C_1 x \oplus (1 \oplus C_2) x^2 \oplus (1 \oplus C_1 \oplus C_3) x^3$											
0	0	1	1	$1 \oplus (1 \oplus C_1) x \oplus (C_1 \oplus C_2) x^2 \oplus (C_2 \oplus C_3) x^3$											
1	0	1	1	$1 \oplus (1 \oplus C_1) x \oplus (C_1 \oplus C_2) x^2 \oplus (1 \oplus C_2 \oplus C_3) x^3$											
0	1	1	1	$1 \oplus (1 \oplus C_1) x \oplus (1 \oplus C_1 \oplus C_2) x^2 \oplus (C_1 \oplus C_2 \oplus C_3) x^3$											
1	1	1	1	$1 \oplus (1 \oplus C_1) x \oplus (1 \oplus C_1 \oplus C_2) x^2 \oplus (1 \oplus C_1 \oplus C_2 \oplus C_3) x^3$											

表 4

$H(x)$	$\{a_k\}$														代 号			
x^3	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	m_{A_1}
x^2	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	.....	m_{A_2}
$x^2 \oplus x^3$	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	.....	m_{A_3}
x	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	.....	m_{A_4}
$x \oplus x^3$	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	.....	m_{A_5}
$x \oplus x^2$	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	.....	m_{A_6}
$x \oplus x^2 \oplus x^3$	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	.....	m_{A_7}
$1 \oplus x^3$	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	.....	m_{A_8}
1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	.....	m_{A_9}
$1 \oplus x^2 \oplus x^3$	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	.....	$m_{A_{10}}$
$1 \oplus x^2$	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	.....	$m_{A_{11}}$
$1 \oplus x \oplus x^3$	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	.....	$m_{A_{12}}$
$1 \oplus x$	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	.....	$m_{A_{13}}$
$1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^3$	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	.....	$m_{A_{14}}$
$1 \oplus x \oplus x^2$	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	.....	$m_{A_{15}}$

表 5

$H(x)$	$\{a_k\}$	代 号
x^3	0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1.....	m_{B_1}
$x^2 \oplus x^3$	0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1.....	m_{B_2}
x^2	0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0.....	m_{B_3}
$x \oplus x^2$	0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0.....	m_{B_4}
$x \oplus x^2 \oplus x^3$	0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1.....	m_{B_5}
$x \oplus x^3$	0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1.....	m_{B_6}
x	0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0.....	m_{B_7}
$1 \oplus x$	1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0.....	m_{B_8}
$1 \oplus x \oplus x^3$	1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1.....	m_{B_9}
$1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^3$	1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1.....	$m_{B_{10}}$
$1 \oplus x \oplus x^2$	1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0.....	$m_{B_{11}}$
$1 \oplus x^2$	1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0.....	$m_{B_{12}}$
$1 \oplus x^2 \oplus x^3$	1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1.....	$m_{B_{13}}$
$1 \oplus x^3$	1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1.....	$m_{B_{14}}$
1	1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0.....	$m_{B_{15}}$

表 6

$H(x)$	$\{a_k\}$	代 号
x^3	0 0 0 1 1	m_{C_1}
$x^2 \oplus x^3$	0 0 1 0 1	m_{C_2}
x^2	0 0 1 1 0	m_{C_3}
$x \oplus x^2 \oplus x^3$	0 1 0 0 1	m_{C_4}
$x \oplus x^2$	0 1 0 1 0	m_{C_5}
x	0 1 1 0 0	m_{C_6}
$x \oplus x^3$	0 1 1 1 1	m_{C_7}
$1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^3$	1 0 0 0 1	m_{C_8}
$1 \oplus x \oplus x^2$	1 0 0 1 0	m_{C_9}
$1 \oplus x$	1 0 1 0 0	$m_{C_{10}}$
$1 \oplus x \oplus x^3$	1 0 1 1 1	$m_{C_{11}}$
1	1 1 0 0 0	$m_{C_{12}}$
$1 \oplus x^3$	1 1 0 1 1	$m_{C_{13}}$
$1 \oplus x^2 \oplus x^3$	1 1 1 0 1	$m_{C_{14}}$
$1 \oplus x^2$	1 1 1 1 0	$m_{C_{15}}$

移寄存器的初态与相应的关联多项式如表 3 所示。

根据式 (7)–(12) 可计算出相应的序列的集合, 如表 4–6 所示。当不可约多项式 $F(x) = 1 \oplus x^3 \oplus x^4$ 中 $C_1 = C_2 = 0, C_3 = C_4 = 1$ 时, 集合 $m_A = \{a_K\} = \{m_{A_1}, m_{A_2}, \dots, m_{A_{15}}\}$ 。

当不可约多项式 $F(x) = 1 \oplus x \oplus x^4, C_1 = C_4 = 1, C_2 = C_3 = 0$ 时, 集合 $m_B = \{a_K\} = \{m_{B_1}, m_{B_2}, \dots, m_{B_{15}}\}$ 。

当不可约多项式 $F(x) = 1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^3 \oplus x^4$ 中 $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 1$ 时, 集合 $m_C = \{a_K\} = \{m_{C_1}, m_{C_2}, \dots, m_{C_{15}}\}$ 。

集合 m_A 与集合 m_B 之间码距¹⁾的变化如表 7 所示。

表 7

$m_B \backslash m_A$	D	m_A														
		m_{A_1}	m_{A_2}	m_{A_3}	m_{A_4}	m_{A_5}	m_{A_6}	m_{A_7}	m_{A_8}	m_{A_9}	$m_{A_{10}}$	$m_{A_{11}}$	$m_{A_{12}}$	$m_{A_{13}}$	$m_{A_{14}}$	$m_{A_{15}}$
m_{B_1}		8	6	6	8	4	10	6	8	4	6	10	8	8	10	10
m_{B_2}		4	6	6	10	10	4	8	8	8	6	10	6	10	8	8
m_{B_3}		8	8	4	6	6	6	9	8	8	8	4	10	10	10	6
m_{B_4}		8	4	8	6	6	6	10	6	10	10	10	8	4	8	8
m_{B_5}		4	10	10	6	6	8	4	6	10	8	8	8	8	10	6
m_{B_6}		8	6	6	4	8	10	6	10	10	8	8	6	10	4	8
m_{B_7}		8	8	8	8	8	4	4	10	6	10	6	10	6	6	10
m_{B_8}		6	8	10	4	10	8	10	8	6	4	6	8	6	8	10
m_{B_9}		6	10	4	8	10	10	8	4	6	10	8	8	6	6	8
$m_{B_{10}}$		10	6	8	10	8	8	6	4	10	6	4	6	8	8	10
$m_{B_{11}}$		6	4	10	10	8	10	8	8	6	8	6	10	8	6	4
$m_{B_{12}}$		10	8	10	6	8	6	8	6	4	10	8	4	10	8	6
$m_{B_{13}}$		6	10	8	10	4	8	10	10	8	8	6	4	6	6	8
$m_{B_{14}}$		10	10	8	8	6	6	8	6	8	4	10	10	8	4	6
$m_{B_{15}}$		10	8	6	8	10	8	6	10	8	6	8	6	4	10	4

从上述分析可知: 在 $r = 4$ 的情况下:

1) 只有反馈函数 $F(x) = 1 \oplus x^3 \oplus x^4, F(x) = 1 \oplus x \oplus x^4$ 是本原多项式, 而 $F(x) = 1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^3 \oplus x^4$ 不是本原多项式。

2) m 序列中, m_A 的各子集之间的码距和 m_B 各子集之间的码距均等于 8。而集合 m_A 与 m_B 之间的码距之变化如表 7 所示, 其最大码距 $D_{\max} = 10$, 最小码距 $D_{\min} = 4$, 因此, 由于各种干扰而引起错码时, 只要不超过三位码元, 相关峰仍可取出。

3) 线性寄存器的初态决定了 m 序列的起始相位。

4) 序列的集合中, 起始零游程最长者为 m_{A_1} 与 m_{B_1} (游程长度 $l = 3$), 且两序列的周期 $p = 15$, 两序列之间的码距 $D = 8$, 有良好的抗干扰能力。

因此, 本文选用 m_{A_1} 和 m_{B_1} 这两个伪随机序列来传送指令中的“0”和“1”, 并利用这两个序列中的最长起始零游程获得码元时钟起始相位可随机浮动的同步信号。

1) 码距 D 即两序列对应位模 2 和序列中 1 的个数。

四、电路原理概述与实现

WK-1 实时遥控群控系统瞬时同步电路,由负方波宽度鉴别器、电平变换与倒相电路以及时钟形成电路组成。图 1 为原理性框图。

1. 瞬时同步电路原理概述

为了保证 m 序列码能准确地进入相关码移存器,就必须有与 m 序列码元一一对应的同步时钟,同步时钟必须有稳定的起始相位,为此,利用形成 m_{A_1} 与 m_{B_1} 序列的移存器相同的起始初态 1 0 0 0 中的零游程作为同步时钟的起始相位。负方波宽度鉴别器是为获得这种同步时钟的起始相位而设置的。

当 m_{A_1} 或 m_{B_1} 加到负方波宽度鉴别器输入端时,积分器的输入开关被截断,一恒流源开始对积分电容充电,积分器输出波形如图 2(C)和(D)所示。选择积分时间常数,使只有“0”游程长度等于 3 个码元周期的积分,

并经与标准电平比较之后才有输出脉冲(E)。脉冲(E)由于幅度和低电平都比较高,故需经电平变换,得到输出(F)脉冲。由于(F)处于 m 序列码的码元交替处,为得到可靠的时钟同步脉冲,设置一预延时电路,其延时时间为码元宽度 T_m 的二分之一。预延时后的脉冲(G)作为时钟形成电路的同步启动脉冲。

平时延时时钟形成电路处于等待状态,当 m 序列码所调制的指令到达相关码移存器的输入端时,延时时钟电路滞后 $T_m/2$ 启动,输出一列周期为 T_m 的脉冲(H),以使所收到的 m 序列码准确地进入相关码移存器,其工作波形如图 2 所示。

2. 标准电平 U_s 的确定

选择合适的标准电平并使之保持稳定,是设备能可靠工作的重要条件。WK-1 系统的标准电平是经两级稳压并通过温度补偿取得的。 U_s 的大小取决于伪随机序列码元的周期 T_m 、电源电压 E 和积分时间常数 τ 。 U_s 应满足不等式

$$\frac{1}{C} \int_0^{3T_m} i dt > U_s > \frac{1}{C} \int_0^{2T_m} i dt. \quad (13)$$

由于积分器采用恒流源充电,所以 $i = E/R = I = \text{constant}$, 不等式可写成 $3I \cdot T_m/C > U_s > 2I \cdot T_m/C$ 。即 $3E \cdot T_m/\tau > U_s > 2E \cdot T_m/\tau$, 一般取 $U_s = 5ET_m/2\tau$ 。(14)

3. 失步问题及其矫正措施

1) 失步的几种可能性

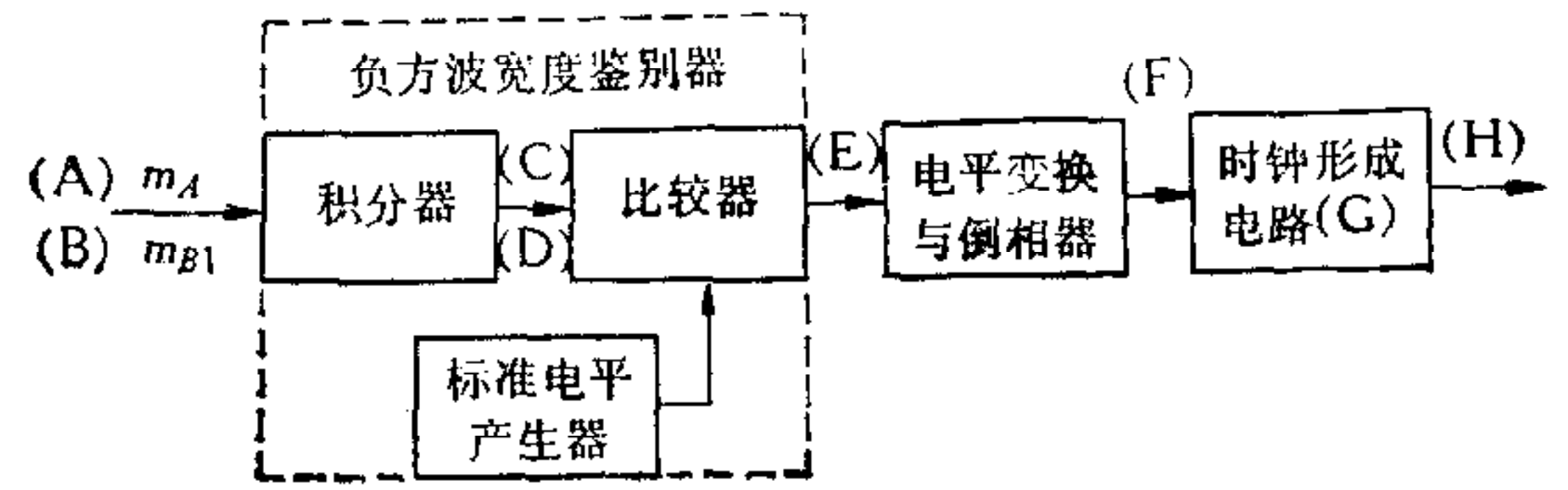


图 1 瞬时同步电路原理性框图

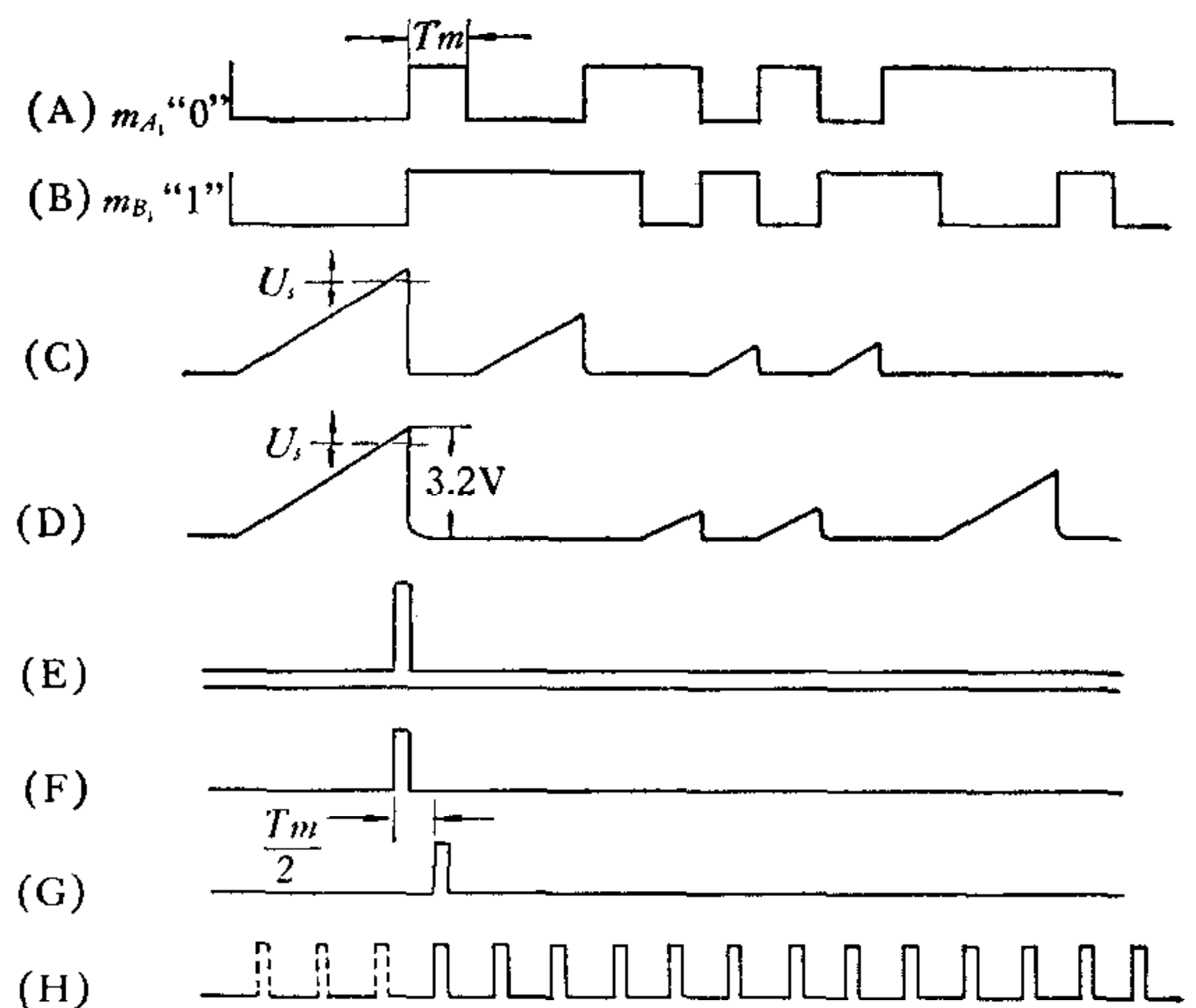


图 2 瞬时同步电路工作波形图

① 指令失步。这主要是由于指令寄存器、指令译码器故障或 m 序列码中错码元超过三个以上引起的。

② m 序列码元失步。主要原因有：

a. m 序列寄存器的初态为全“0”，导致循环破坏，或由于初态错引起失步，其表达式为

$$\begin{aligned} (a_0 a_1 a_2 a_3) m_{A_1} + (a_0 a_1 a_2 a_3) m_{B_1} = & (\bar{a}_0 \bar{a}_1 a_2 \bar{a}_3) \cdot (\bar{a}_0 \bar{a}_1 a_2 a_3) \cdot (\bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3) \cdot (\bar{a}_0 a_1 \bar{a}_2 a_3) \\ & \cdot (\bar{a}_0 a_1 a_2 \bar{a}_3) \cdot (\bar{a}_0 a_1 a_2 a_3) \cdot (a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3) \cdot (a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 a_3) \cdot (a_0 \bar{a}_1 a_2 \bar{a}_3) \cdot (a_0 \bar{a}_1 a_2 a_3) \\ & \cdot (a_0 a_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3) \cdot (a_0 a_1 \bar{a}_2 a_3) \cdot (a_0 a_1 a_2 \bar{a}_3) \cdot (a_0 a_1 a_2 a_3). \end{aligned} \quad (15)$$

在此情况下，接收端收不到指令。

b. 指令在传输过程中被干扰。

c. 为获得相位可以浮动的同步启动脉冲，在一条指令的第一个 m 序列中，由于积分而丢失了起始的三个时钟(图 2(H) 的虚线所示)。

2) 矫正措施

① 在发射机控制逻辑单元中设置了指令指示灯和初态指示灯，可对指令和 m 序列寄存器进行静态监视，发现差错可立即设法排除。

② 设置自动初态电路，使电源接通时寄存器自动置初态。在寄存器初态为全“0”时，由控制逻辑自动执行“初态重置”。

③ 设置指令重取电路。在寄存器初态处于全“0”或逻辑表达式(15)的情况之一时，控制逻辑在重置初态的同时执行“指令重取”。

④ 在控制逻辑中设置指令循环电路。当一条指令被启动时，该电路就自动循环六次(一般被控设备在指令不产生失步时，一条指令便可启动)，如果没有人工干预，循环六次后自动停机，处于等待状态。

⑤ 在伪随机序列的设计中，确保了最小码距 $D_{\min} = 4$ (见表 7)，当 m 序列码元同时错三位时，相关峰仍可鉴出。所以，图 2(H) 所示的三个虚时钟丢失并不影响这条指令的接收。

⑥ 接收机中设置遥控开关，在发射端采取下列措施之一时，均可使被控设备停止工作，转入等待状态：a. 按下紧急制动键以停发时钟；b. WK-1 具有话、码两用功能，将收发开关切换到“收”处也可停发时钟；c. 切断发射机电源开关。

上述措施经实践证明是有效的、可行的。

五、结 论

(1) 用此法获得瞬时同步，电路简单。发射机控制逻辑中，不要为获得码元时钟而设置专门电路，接收端为解决码元同步而设置的逻辑电路也不复杂。

(2) 不采用窄带滤波器，故温、湿度的变化对 Q 值无影响，所以这种同步方案对环境有良好的适应性。

若发射机时钟周期的漂移为 ΔT_{m_1} ，接收端延时时钟形成电路每级延时为 T_d ，其每级的延时漂移为 ΔT_{m_2} ， m 序列的周期为 $p = 2^r - 1$ ，显然，设备正常工作时，不等式

$\Delta T_{m_1} + \Delta T_{m_2} \leq T_d/[2(2^r - 1)]$ 成立。设主频周期 $T_m = T_d = 0.4\text{ms}$, $r = 4$, 则允许的总漂移 $\Delta T_m = \Delta T_{m_1} + \Delta T_{m_2} \leq 13.33\mu\text{s}$ 。

现场试验中,环境温度从 2—42°C 变化时,机器能正常工作。

(3) 不存在收发两端采用两个独立时钟而产生的“对表”问题。由于时钟起始相位允许随 m 序列的起始相位浮动,而且每个 m 序列周期都校正一次起始相位,因此不需要同步跟踪时间和同步保持时间。所以,这种方法具有较强的快速自同步能力,适合于瞬间通信。

(4) 由于时钟形成电路平时处于等待状态,在不发指令时,时钟电路无时钟输出,所以信道输出的干扰信号不能使被控对象动作。

(5) m 序列伪随机码由于干扰等原因发生错码时,只要最长“0”游程不出错(本机“0”游程长度 $l_{\max} = 3$),就不会出现码元失步。对各种原因所引起的失步,机器能自动进行失步处理。

WK-1 系统两年多的运行实践证明,由于设计了时钟起始相位可浮动的同步系统,所以被控对象响应快、动作准确、设备安全可靠。

参 考 文 献

- [1] 广田宪一郎、川端久喜、砂川博,データ伝送システム, (1971), 中译本,人民邮电出版社出版,第三章。
- [2] 孔宪正,数字信息传输基本原理,国防工业出版社(1976年)。
- [3] 万哲先,代数和编码,科学出版社, (1976年), 199—316。
- [4] 钟义信编,伪噪声编码通信,人民邮电出版社, (1979年), 123—320。
- [5] 林可祥、汪一飞,伪随机码与应用,人民邮电出版社, (1978年)。
- [6] В. И. Сифоров, Радиоприемные устройства, издание пятое, переработанное военное издательство, Москва, 1954.

INSTANTANEOUS SYNCHRONOUS METHOD OF GROUP CONTROL IN REAL TIME REMOTE CONTROL SYSTEMS

CAO WENBIN

(Institute of Computer Technology, Hunan Province)

ABSTRACT

This paper introduced a Synchronous method of group control in real time remote control systems. Starting with the design of the structure of the instruction codes and pseudorandom codes in sequences, an instantaneous synchronous method of the system has been obtained in which the starting phase can float randomly.

The main features of this method are simplicity of circuit structure and reduction of time for synchronous tracking and synchronous holding existed in all the traditional synchronous methods, thus the controlled objects “respond rapidly and move accurately”, and satisfy the requirements for the real time remote control.