

M序列伪随机信号系统辨识 及相关仪的研究

盛 炳 乾

(自动化系)

一、前 言

要分析研究一个自动调节系统的性能、设计改进自动调节系统、合理选择自动控制方案、确定控制系统的最佳整定参数,以获得最好的控制效果等等,都必须首先了解对象及系统的动态特性。一个控制系统构成的好坏,在很大程度上取决于对被控对象动态特性的了解程度。因此,对象动态特性的研究,对实现生产过程自动化具有特别重要的意义。

研究调节对象动态特性的方法一般有两种:一是分析法,二是实验测定方法。在实验测定法中,又可分为时域法、频域法、统计研究法。而前两种方法,在测试时须进行专门的试验。因此,必须将生产装置由正常运行状态转入试验状态,试验时间越长,对生产影响越大。为避免对象偏离正常运行状态太远及避免超越线性范围,所以对象的输入信号幅度也不能太大。而统计研究法是属于在线识别。它的特点是可以是在生产过程正常运行状态下进行测试。可以用伪随机信号作为试探信号,加在对象输入端,然后用相关仪计标输入与输出信号的相关函数。这种方法抗干扰性能强。

如果用 TP801 单板机代替相关仪和伪随机信号发生器,则其优点更为突出:

测试设备投资少;

测试速度快;

数据处理方便;

操作简单,有一定的精度。

因此,用这种方法测试对象的动态特性与其它测试方法相比较,具有独特的优越性。

本文着重讨论调节对象的动态特性测试方法之一——统计相关法。即用 TP801 单板机实现 M 序列伪随机信号系统辨识及相关计算。从而获得对象的脉冲响应函数,求得对象的传递函数。

二、相关计算基本原理

在经典控制论中,线性对象的动态特性可以用脉冲响应函数来描述。如果一个线性系统的脉冲响应函数为 $g(t)$, 输入函数 $x(t)$ 为一平稳随机过程, 则输出 $y(t)$ 也是平稳随机过程。我们可以从输入 $x(t)$ 与输出 $y(t)$ 的互相关函数来确定脉冲响应函数。

$$y(t) = \int_0^{\infty} g(u) x(t-u) du \quad (1)$$

其中 $g(u)$ 为脉冲响应函数;

$u = t - \tau$ (τ 为时间间隔)。

经推导可得维纳——何甫方程:

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} g(u) R_{xx}(\tau - u) du \quad (2)$$

其中 $R_{xy}(\tau)$ 为互相关函数; $R_{xx}(\tau - u)$ 为 $x(t)$ 之自相关函数在 $(\tau - u)$ 处的值。

从方程(2)可知, 如能求出 R_{xx} , R_{xy} 则可求得 $g(u)$ 。但实际上此卷积方程是很难求解的。若利用白噪声求 $g(u)$, 因为白噪声的自相关函数是一个 δ 函数。则

$$R_{xx}(\tau) = 2\pi N_0 \delta(\tau)$$

$$\therefore R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} g(u) 2\pi N_0 \delta(\tau - u) du$$

$$\text{又 } \because R_{xy}(\tau) = 2\pi N_0 g(\tau)$$

$$\therefore g(\tau) = \frac{1}{2\pi N_0} R_{xy}(\tau) = \frac{1}{K} R_{xy}(\tau)$$

$$\text{或 } R_{xy}(\tau) = Kg(\tau)。$$

因此, 只要求出互相关函数 $R_{xy}(\tau)$ 就很容易求出 $g(\tau)$ 。又因真正的白噪声在自然界不存在, 所以用伪随机信号来代替白噪声。其互相关函数:

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t + \tau) dt$$

用伪随机信号后 $R_{xy}(\tau)$ 只要在一个周期内运算就可得结果。经推导简化得

$$R_{xy}(\tau) = Kg(\tau)$$

这里可得结论: 当输入信号是伪随机信号, 则对象的输入和输出间的互相关函数与其脉冲响应成比例。这就是用伪随机信号测试对象动态特性的理论依据。

所以, 只须记录 $x(t)$ 、 $y(t)$ 的值, 并计算其互相关函数 $R_{xy}(\tau)$ 便可求得 $g(\tau)$ 。

这里采用 M 序列二位式伪随机信号作为探测信号。它的自相关函数 $R_{xx}(\tau)$ 周期为 $N\Delta t$, 在一个周期里的表示式为

$$R_{xx}(\tau) = \begin{cases} a^2 \left[1 - \frac{|\tau|}{\Delta t} \frac{N+1}{N} \right] & -\Delta t < \tau < \Delta t \\ -\frac{a^2}{N} & \Delta t \leq \tau \leq (N-1)\Delta t \end{cases}$$

其中 a 为 M 序列幅值, Δt 为 M 序列步长。

由上述可知伪随机信号的自相关函数是一个周期性三角波, (如图1) 而互相关函数即相当于三角波的反应; 三角波的水平线与横坐标的距离为 $-\frac{a^2}{N}$, 并非为零。只有当 Δt 选得很小, N 很大时, 才能近似成基准为零的理想的 δ 函数。在某种条件下, 这样的近似是允许的。但若 Δt 选得过小, 对象输出也将变小。这样就要影响测试结果的精确度。在实际应用中, 作如下改进可简化数据处理工作, 并提高精度。伪随机信号 $x(t)$ 作为输入, 然后再构成

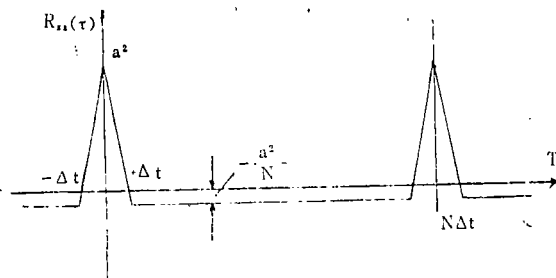


图1 伪随机序列的自相关函数图象

一个信号 $x'(t)$ 。 $x'(t)$ 是一个离散的周期性序列信号，周期仍是 $N\Delta t$ 。它仅在

$$\cdots -K\Delta t, -(K-1)\Delta t, \cdots -2\Delta t, -\Delta t, 0, \Delta t, 2\Delta t, \cdots K\Delta t, \cdots$$

时刻为一理想的脉冲(δ 函数)。其正负号随 $x(t)$ 的正负号而定。

$$x'(t) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} \text{sign } x(t) \cdot \delta(t + K\Delta t)$$

式中 $\text{sign } x(t)$ 表示 $x(t)$ 的符号:

$$\text{sign } x(t) = \begin{cases} +1 & x(t) = +a \\ -1 & x(t) = -a \end{cases}$$

所以 $x'(t)$ 与对象输出量 $y(t)$ 之间的互相关函数可求得,

$$R'_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x'(t) y(t + \tau) dt$$

因为 $x'(t)$ 是离散的, 所以积分可用和式

$$R'_{xy}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{K=0}^{N-1} x'(K\Delta t) y(K\Delta t + \tau)$$

据上式, 只要求出 R'_{xy} 在 $\tau, \tau + \Delta t, \tau + 2\Delta t, \cdots \tau + (N-1)\Delta t$ 共 N 个时刻的符号值 ($+1$ 或 -1) 相加后再除以 N 即得。

因为 $R'_{xy}(\tau)$ 相当于一个脉冲方波的反应, 所以很容易由它获得对象的脉冲方波响应函数或传递函数。若 Δt 选得很小, 而 $T = N\Delta t$ 大于系统过渡过程时间, 则 $R'_{xy}(\tau)$ 就是系统的脉冲响应函数。

三、M序列伪随机信号产生方法及原理

1. 性质

(略) 见有关参考书

2. 产生方法及原理

伪随机序列信号的产生, 可以用一组带有反馈的移位寄存器来产生。如下列框图:

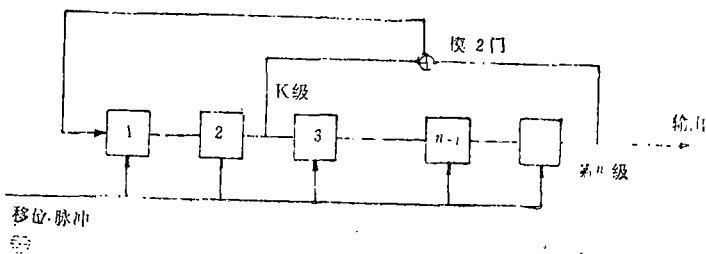


图 2

n 级移位寄存器带有一个反馈通道，该反馈通道将第 K 级和第 n 级的状态按模2相加后送到第一级的输入端。这样可连续产生伪随机信号序列直至一个周期结束。

移位寄存器可以由 n 个双稳态触发器，顺序连接构成。整个序列的输出信号，一般取自最后一级状态作为输出序列。反馈线路不同，所得序列也不同。要获得M序列，必须选择合适的反馈路径。其选择原则及方法可参考“自适应控制的系统识别”（戴维斯著）。

除了上述用移位寄存器产生M序列外，目前较多应用计算机直接产生M序列。有两种方法：一是在计算机内存中，预先存放伪随机码表格，使用时，可利用查表的方式获得M序列。但这种

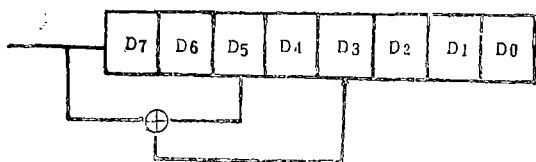


图 3

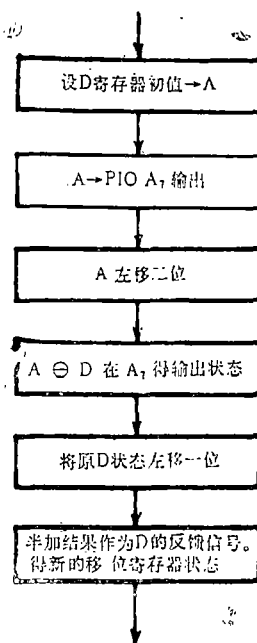


图 4

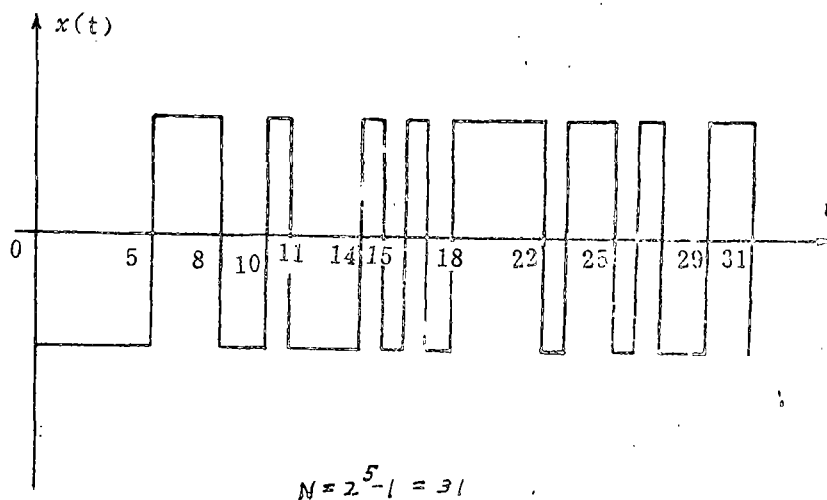


图 5

方法占用内存量多,而一般微机的内存容量较小。二是为了避免占用大量的内存及繁琐的查表过程,利用计算机 CPU 中某一寄存器的各位来代替移位寄存器的每一位触发器,模仿移位寄存器作移位,并进行适当反馈,从而产生 M 序列信号。

本文利用 TP801 CPU 中 D 寄存器的 $D_7 \sim D_3$ 五位来代替移位寄存器, 并利用 $5 \oplus 3$ 的反馈路径进行反馈, 即 $D_7 \oplus D_5$ 反馈给 D_3 然后编制程序从而产生 M 序列 (见图 3 图 4 图 5 附表 2)。

3. M序列步长 Δt 、序列周期 T 、幅值 a 的确定

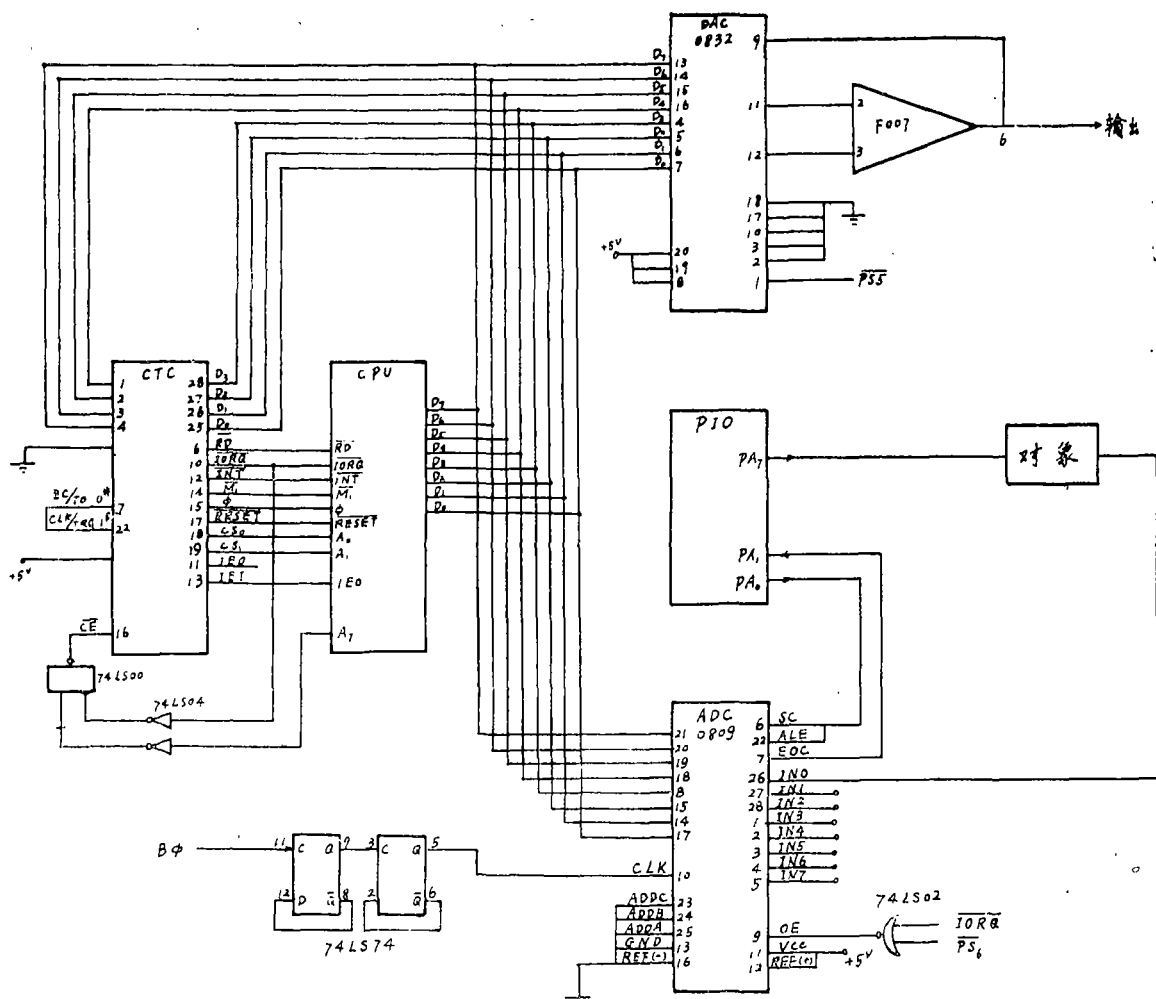
1) 一个基本电平时间 Δt 必须大于截止频率对应的周期长 τ_c 。一般取 $\Delta t = (2 \sim 5) \tau_c$ 。

本文所述系统取 $\Delta t = 1$ 秒。

2) 序列周期必须大于对象的持续时间, 一般 $N\Delta t = (1.2 \sim 1.5)T_s$, T_s 为系统整定时间。

本文所述系统取 $N = 31$ 。

3) 幅值 a ，应根据对象允许值来决定，幅值大些，抗干扰能力强些，但也不能太大，



过大使系统失去线性关系,生产上也不允许。

本文所述系统取 a 为 $\pm 1^V$ 。

关于对象的持续时间和截止频率可根据对象的经验认识进行粗略估计,或作简单试验而获得。

四、总体设计思想

本设计是采用 TP801 CPU 中 D 寄存器 $D_7 \sim D_3$ 五位,仿移位寄存器进行移位。并将 $D_5 \oplus D_7$ 后反馈至 D_3 位,从而连续产生 M 序列伪随机信号。M 序列的周期取 $N = 2^5 - 1 = 31$ 。

本设计采样四个周期,即 124 个点。进行相关计算时 $r = 3$ 。

首先由 TP801 单板机用软件产生,并从 PIOA₇ 口输出,幅值为 $\pm a$ 的 M 序列伪随机信号。按图 6 接线。将由 A₇ 口输出的信号经二个反相器加到对象的输入端。(对象为一个自行设计的二阶电子模拟线路)。并经调幅,使对象输出响应信号为 $0 \sim 5^V$ 间变化。送到 A/D 转换器 0 号通道,等待采样和转换。

由 CTC 定时 1 秒,向 CPU 申请中断,CPU 响应中断后转入中断服务程序,在服务程序中,设置 PIO PA₀ 口由输出指令产生启动 A/D 转换信号。A/D 转换结束,产生 EOC 高电平信号送 PIO PA₁,通知 CPU 或 I/O 接口可以来取转换数据。当 CPU 执行输入指令 IN A(98H)时,(98H 为 PS6 的地址)使 OE 线变高电平,选通三态输出锁存器,经 $D_0 \sim D_7$ 数据线,将数据放置到数据总线上。这时就可以进行采样,但为了减少伪随机信号中直流分量(相当于一个阶跃)对响应的影响,采样从第三个周期开始。实际采样点数为 124 个点(四个周期)。

因此,程序安排的思想为:每产生一个 M 序列脉冲信号输出,定时中断一次,采一次样,并将采样值存入内存,如此直至采样全部结束。

采样结束后,即可进行相关计算,编制相关计算程序。共计算 31 个相关点,从内存 IX 中逐个调出采样值,同时顺序检测 M 序列脉冲是“0”或“1”即可决定符号函数是负或正,根据符号函数的负正,将采样值进行相关运算,(运算方法见程序框图)。计算结果获得的每个相关点,存入内存 Iy 中。

最后将相关计算结果,从 IY(2600 开始)的内存中调出,逐个进行二翻十,打印显示。

见主程序框图,图 7。

根据打印出的每个数据乘上系数 $A = \frac{a}{N_T}$ 然后由上述各点,描绘成 R_{xy} 互相关函数曲线,最后根据这个图形求出传递函数。结果见图 8。

五、数据处理

1. 求标么飞升曲线

由实验结果作出的相关函数曲线,向上平移一个稳态值,使 $R_{xy}(\tau)$ 图形的基准为零。然后根据平移后的曲线求得飞升曲线。再求出标么飞升曲线。

当 $y_1^* = 0.7$ 时 则对应的时间 $\tau_1 = 2.5\Delta t = 2.5$ 秒

$$\tau_4 = \frac{\tau_1}{3} = 0.83 \text{ 秒} \quad y_4^* = 0.25$$

$$\therefore 0.191 \leq y_4^* \leq 0.33$$

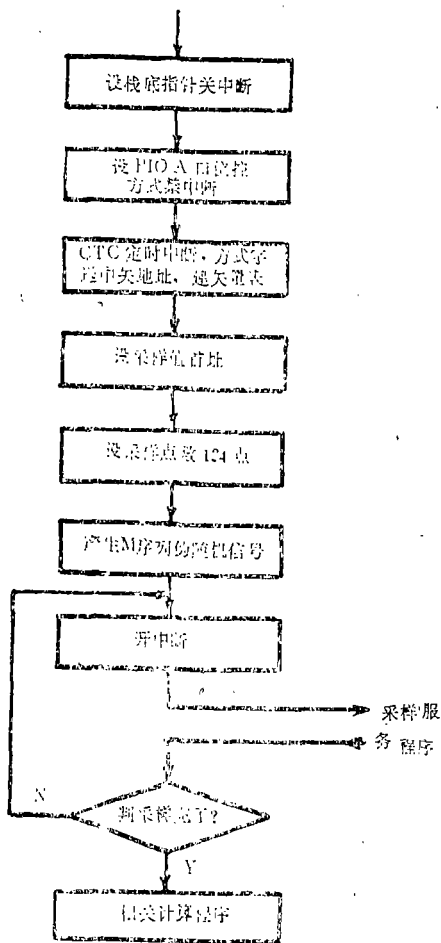


图7 主程序框图

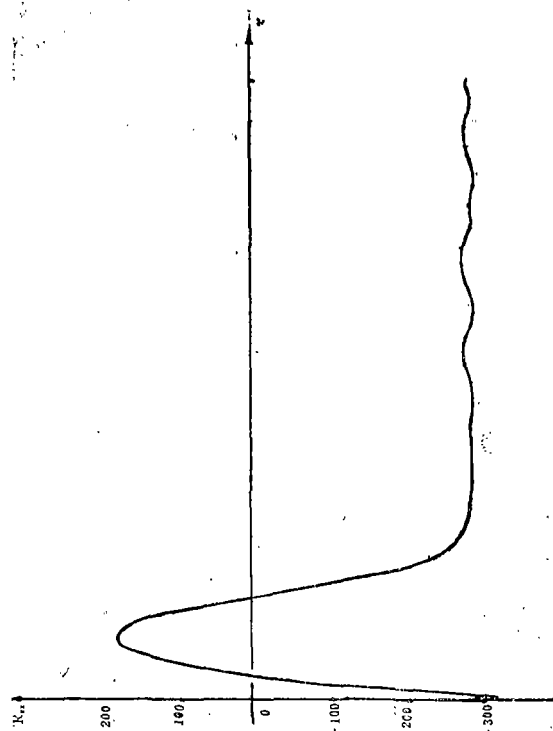


图8

故用无滞后的二阶环节来近似

$$T = \frac{t_f}{2.4} = \frac{2.5}{2.4} = 1.04$$

查图当

$$y_4^* = 0.25 \text{ 时} \quad \Delta^2 = 0.53 \quad \therefore \Delta = 0.73$$

$$\therefore T_1 = T(1 + \Delta) = 1.04(1 + 0.73) = 1.80$$

$$T_2 = T(1 - \Delta) = 1.04(1 - 0.73) = 0.28$$

$$\therefore G(S) = \frac{K}{0.504 S^2 + 2.08 S + 1}$$

2. 理论计算

对象是采用模拟电子线路, 是一个二阶环节。

$$T_1 = 2^M \times 1^{\mu f} = 2 \text{ 秒}$$

$$T_2 = 350^K \times 1^{\mu f} = 0.35 \text{ 秒}$$

3. 误差分析

从理论计算及实际得到的数值比较有一定误差。其原因：一方面由于 A/D 转换采用的是 8 位，精度受到一定限制；另一方面输入到对象上的信号实际是伪随机信号序列和直流分量的迭加。这次没有进行电平转换，所以拟合的曲线也可能会造成误差。

今后对真实测试系统应将单板机输出的伪随机信号先进行电平转换以消除直流分量的影响。

附表 1 相关计算结果

序 号	数 据	序 号	数 据	序 号	数 据
1	- 319	12	- 284	23	- 258
2	- 49	13	- 284	24	- 288
3	127	14	- 273	25	- 289
4	172	15	- 250	26	- 293
5	120	16	- 290	27	- 296
6	- 30	17	- 275	28	- 289
7	- 152	18	- 273	29	- 279
8	- 257	19	- 283	30	- 279
9	- 254	20	- 282	31	- 284
10	- 284	21	- 264		
11	- 287	22	- 264		

附表 2 M 序列程序

```

                                ORG 2100
2100      3ECF      LDA,11001111; } PIO A口 位控
2102      D382      OUT (82), A ; }
2104      3E7F      LDA,01111111; } A7 为输出
2106      D382      OUT (82), A ; }
2108      3E03      LDA,00000011; } A口不允许中断
210A      D382      OUT (82), A ; }
210C      16F8      LDD, 11111000; D置初值
210E      7A        K: LD A, D ; D→A
210F      D380      OUT (80), A ;
2111      0632      LD B, 32H ;
2113      CD4F06    LOOP:CALL 064F ; } 延时 1 秒
2116      10FB      DJNZ LOOP ; }
2118      CB27      SLA A ; } A左移二位
211A      CB27      SLA A ; }
211C      AA        XOR A, D; A⊕D

```


(续附表 2)

211D	E 680	AND	80H	； 屏蔽得 A ₇
211F	C B 22	SLA	D	； D左移一位
2121	C B 07	RLC	A	； } A左移四位
2123	C B 07	RLC	A	
2125	C B 07	RLC	A	
2127	C B 07	RLC	A	
2129	82	ADD	A, D	； 形成新的M状态
212A	57	LD	D, A	；
212B	C 30 E 21	JP	K	；

参 考 文 献

[1] 林可祥、汪一飞编著,《伪随机码的原理及应用》,人民邮电出版社
[2] 涂植英主编,《过程控制系统》,机械工业出版社
[3] 施仁、刘文江编,《工业自动化仪表与过程控制》,电子工业出版社

85033

A MICROCOMPUTER REALIZATION of IIR DIGITAL FILTER «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1988

KEYWORDS Distributed arithmetic, Lookup table, Summed coefficient, coefficient partitioning, First difference method, Cutoff frequency sampling rate. This paper describes how the IIR digital filters are implemented by use of distributed arithmetic combined with preformed lookup table.

Author: Feng Wei

85031

COMPUTER APPLICATION in THERMAL PROCESS ESTIMATION «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Computerized estimation of thermal process, Thermal characteristic value of canned food, Sterilizing value, Thermal schedule.

A computer program has been developed for evaluation of thermal process of canned food. A group of temperature equations and the integration formula of lethality were used for the development. Since temperature equations contain two experimental parameters, j and f values, which are widely used by food producers for description of thermal process, the program is the most reliable and simple to use, and suitable to both convection and conduction in heating food. It can be used to resolve two kinds of problems of thermal process estimation, that is, determination of sterilizing value of a given thermal process and determination of a proper processing schedule, heating time and retort temperature to produce a desired sterilizing value for canned food with either simple heating curve or broken heating curve having no more than one break point.

Author: Huang Funan

85034

A RESEARCH on the MECHANISM for CLOSING the BOX of the SUCCESSIVE-TURN TYPE, FILLING and SEALING MACHINE «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Continuously revolving-type, Pick-up, filling and sealing machine, Folding the tongue, Inserting the tongue, Closing boxes.

A theoretical analysis and research, of the mechanism for closing boxes, based on the development of the pick-up and continuously revolving-type filling and sealing machine is presented. In the paper this formulae for calculating the main parameters as well as graphs and examples for design have been unfolded.

Author: Fang Ganiaing

85032

AN ANALYSIS of the PSEUDO RANDOM SEQUENCE for M-SEQUENCES SYSTEM IDENTIFICATION and CORRELATION MEASURING INSTRUMENT «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Pseudo Random sequence, System Identification, correlation measuring instrument.

This paper is to introduce the application of micro-computer Tp-801 in the dynamic characteristic analysis of a system. That is, to produce a pseudo random sequence for M-sequence and to identify the system using the statistic correlative method, then the pulse response function of system can be obtained. Finally a transfer function of system is available through data processing. In comparison with theoretical analysis, it is relatively low in cost, with better accuracy and higher speed, also easier data handling

Author: Cheng Bingqian

85031

电子计算机在热过程计算中的应用《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 计算机热过程计算, 罐头食品的传热特性, 杀菌值, 杀菌工艺条件

摘要 本文为罐头食品热过程计算发展了一个计算机程序。这个计算机程序使用了一组温度方程和致死率积分公式。由于所使用的温度方程含有两个在罐头工业中最广泛使用的实验参数: j 和 f 值, 因此程序使用简便, 可靠, 而且适用于对流加热和传导加热食品。该程序可用于解决简单型加热食品和一个转折点的转折型加热食品的两类热过程计算问题。

作者: 黄福南

85033

用微处理机实现 IIR 数字滤波《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 分布计算, 查找表, 求和系数, 系数分段, 一阶差分法, 截止频率, 采样速度

摘要 本文叙述如何在微处理机上用分布计算和查表相结合的方法实现数字滤波。

作者: 冯 炜

85032

M序列伪随机信号系统辨识及相关仪的研究《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 伪随机序列, 系统辨识, 相关测量仪

摘要 本文介绍采用TP801来实现: 产生M序列伪随机信号的方法和用统计相关法对系统进行辨识。从而获得对象的脉冲响应函数, 经数据处理求得对象的传递函数。实验结果表明, 它与理论分析相比, 具有投资少、有一定的精度、测试速度快、数据处理方便等优点。

作者: 盛炳乾

85034

连续回转型开盒充填机封盒机构的研究《无锡轻工业学院学报》1985年, 第四卷, 第四期

关键词 连续回转型, 折舌, 插舌, 封盒, 拾放式开盒充填机

摘要 本文在拾放式连续回转型开盒充填机研制的基础上, 对所设计的封盒机构——折舌和插舌机构进行了理论分析和研究, 提出了主要参数的计算公式, 并附有线图和设计计算实例。

作者: 方干江