

WKZX微机自控系统及其应用

张作民

(自动化系)

一、引言

近年来,数字计算机和控制技术发展很快,特别是它们之间的互相渗透,大大推动了科学技术的发展。

随着电力电子学、智能化仪表的发展;多变量系统理论、自适应系统理论和系统辨识技术等的应用;计算机语言及仿真技术的开发,出现了以微处理机为基础的软硬件结合的新颖控制系统以及新的设计规律和分析方法。

上述微机自控系统有价格低廉、多功能化、电路简洁等优点。当对该系统进行软硬件开发后,可具有故障监视、自询、自诊断、参数检测及识别等功能。如再采用软件为基础的CAD,则尚能对系统进行鲁棒性等的性能分析。

二、WKZX型微机自控系统结构和设备

考虑到设计的广泛应用,本装置的软硬件功能单元与相应外围设备组合,应满足各种类型系统的需要。

WKZX装置具有下列特点:

- ①具有进行CAD及混合仿真的能力
 - ②具有采样、检测、显示,打印及绘图等功能
 - ③可进行实时控制,选用一定的组合可构成工业控制微机系统
 - ④便于进行软硬件开发探讨使用高级工程定向语言
 - ⑤可与多种外围仪器、仪表、设备及控制信息进行联接及控制
- 本装置框图如图1所示。

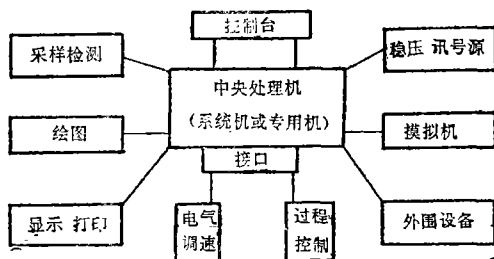


图1 WKZX 微机自控系统框图

本文1987年2月20日收到。

本系统经开发并补充有关外围设备及智能仪器后,可包含下列各主要装置及单元:

1. 中央处理装置

采用以下各单元组成:

1) CPU 单元 以 Z80—CPU 为处理机, STDBUS 为总线, 主频 4MHZ, 具有 10K 存储器(12KEPROM, 4KRAM), 寻址 128K 字节

2) ICCS 监控单元 是由系统初始化模块, 外部设备管理模块及用户可调功能子程序模块等构成

3) I/O 单元 包括能进行系统模式和用户模式的两种启动方式, 现有 4 个 8 位并行数据口, 且带有 16 路光电隔离的开关量输出, 三路 MOC5010 的光电模拟量隔离输出口

4) 考虑了增加存储单元的可能 16KSRAM/EPROM 模板及扩充需要的 DRAM 模板并考虑了软盘接口, 使能采用软盘与驱动器, 以完成 DMA 方式数据交换

5) D/A, A/D 转换单元及编程模板, CRT 模板等

进一步可考虑对中央处理装置采用 IBM—PC(或 0520)系统, 或 APPLE II (或紫金 II 型)为本装置的“心脏”, 因为大专院校及研究、设计单位大都具备了这二种机型。国外则采用 LSI—II/23 微机于同类系统。

选择系统机作为本装置基础的另一原因是为了能进一步使用 FORTRAN, PASCAL 及其他高级语言。

如紫金 II 型微机系统, 是一种成熟的机型, 在各单位都大量使用。

本装置能便于控制软件迅速开发和试验各种外围设备。例如在用 CAD 装置软仿真工作期间, 实时试验期间以及 PWM 逆变器传动调速系统运行时, 用户皆可直接与有关系统联系, 无需另作接口等措施。控制指令可直接由控制单元(即控制台)输入。如有需要亦可用外设打印机打印, 显示器显示。

2. 直流大功率晶体管 PWM 伺服系统

用大功率晶体管组成的直流 PWM 调速系统和随动系统, 可控性好, 工作频率高, 功率因数高, 对电网影响小, 因而有可能取代 SCR(可控硅)系统。

框图见图 2(a)所示。

图 2(a)的应用主要是先从本装置的数据检测部分由实时钟模件(RTCM 等)控制, 可使采样率时间常数在一个宽广的范围内变化。由 PWM 逆变器传动系统来的模拟数据可用 A/D 模块采样, 转换时间小于 $10\mu\text{S}$, 且送入直接存储器地址接口(DMA), 以减少微机负担。电流和电压测量采用光电隔离(MOC5010)。用数字速度/计时系统, 包括装配在轴上的编码和光电传感器来测量电机的转速 n , 而编码盘和光电传感器的功能是把脉冲送到微机接口板上的计时电路中。

修正 PWM 输出波形的方式(例如调制深度, 频率比, PWM 准方波波形等)可通过外部指令送入。

3. 本装置的软件体系^{[1][3]}

由于本装置构成是属于控制系统应用范畴, 所以作为控制系统软件包(体系)应具备四个特点: ①软件包应具有人一机对话功能; 希望软件系统能很快进入工作状态; 遇到问题时能很快解决; ②应具检错功能; ③数值的稳定性; ④具有相对完整性和可塑性, 系统受白噪声和有色噪声干扰都能辨识。还能进行时域、频域的辨识。也必须考虑软件包制成后, 便于在

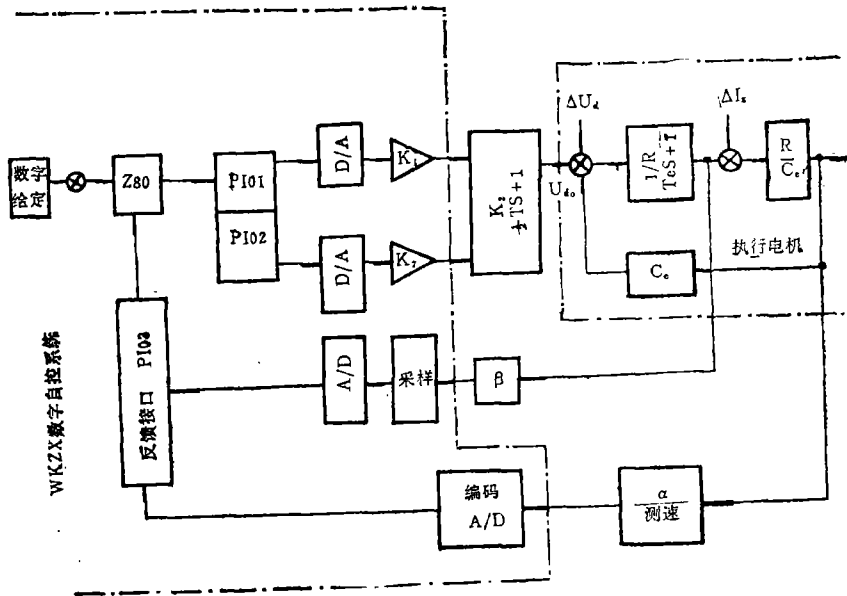


图2 (a) PWM 数字自控伺服系统框图

软件包中增加新的内容。另外尚需考虑“语言”多选择性，这与主机的功能有关。
以 PWM 伺服系统为例，本装置的软件体系如下。

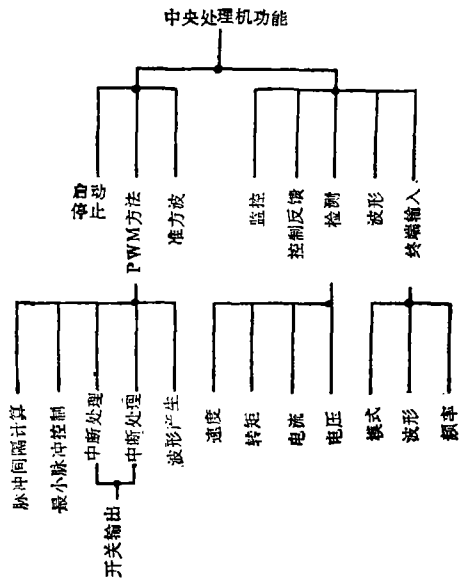


图3(a) 本装置用于 PWM 伺服系统时的软件体系

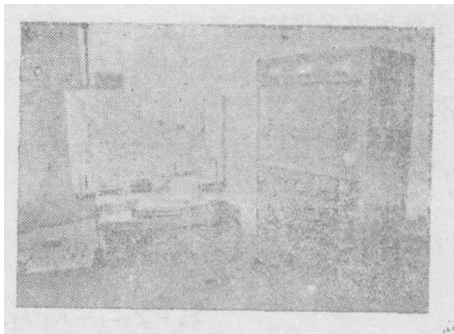


图 2(b) WKZX 数字自控系统装置 (1.2kW 的微机调速控制系统) 的部分单元

三、数字自控系统的设计规律

利用本装置进行自控系统设计时，有其本身的属性，这是由于它可完成及执行一般常见的数字自控系统所属的数字控制器和被控对象的任务。设计、仿真、分析及试验等皆可由

本装置完成,还可将本装置作为实际控制系统的一个主要组成部分,从设计、仿真到运行,一气呵成,不需要更换其他设备;从而形成数字自控系统装置的新的设计规律;具体设计规律为:

①运用模拟化及离散化设计法,按最优综合达到系统鲁棒性的指标^[2]

②利用现代控制理论进行分析,并设计控制系统程序块,以满足系统所需的控制及性能期望值,最后完成对系统的CAD工作

③利用数字计算机及模拟计算机进行混合仿真,也可根据需要分别进行数字仿真或模拟仿真,以进一步检查、改善及证实所设计的系统性能

④将所设计(尽可能利用本装置)的硬件及软件构成实际所需的数字自控系统,投入生产运行

从以上可知,由特定的微机软件开发系统的控制软件可以转换到任何其他微机开发系统中去。

四、应用本装置开发的几个实例

1. 微机控制 PWM 数字伺服系统

框图见图2(a)所示,所要求性能希望达到系统的渐近稳定,对给定输入能渐近跟随以及扰动信号能渐近调节;具有良好的低耦合特性;具有希望的动态特性。在被控制对象的参数变化时,仍能保持上述特性^[4]。

通常用模拟电路控制的正弦 PWM 波是由三角波与正弦波实时相交,得出脉宽的数值,本系统也可采用软件产生。

图3(b)为配本系统作研究模拟用的 PWM 伺服电机及由大功率晶体(采用脉宽调制的)作功放的模拟装置单元。

采用的是双极性工作方式,在本装置上进行了两种控制规律的探讨,一是“PI”调节方式,另一种是“鲁棒控制器”,即基于二次型指标为准则的。

PI 调节器的离散形式为:

$$Y_k = Y_{k-1} + K_1 U_{k-1} + K_1' U_k = K_2 \sum_{i=0}^k U_i - K_1 U_k \quad (\text{其他略})。$$

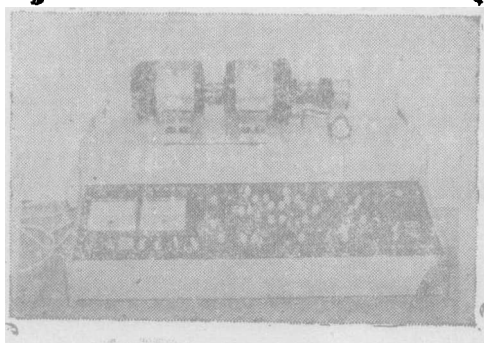


图3(b) PWM伺服系统固有部分装置(伺服及功放单元)

如按模拟化设计法进行,系统的开环传函为

$$W_k(S) = \frac{K}{[T_2S+1][\frac{1}{2}TS+1][T_mS+1]} \quad (1)$$

考虑到对系统的小惯性环节可简化处理,则开环状态方程为

$$\dot{X} = AX + B\Delta\theta \quad (2)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{i} \\ 0 & -\frac{1}{T_m} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K_s K_0}{T_m} \end{pmatrix}$$

K 为系统开环增益, $k\Omega$ 为速度放大系数,

$$K_s = \frac{K}{K_0}$$

根据极值原理,得控制律^[4]

$$U = -Kx(t) \quad (3)$$

进行离散化,且仅考虑速度反馈,则为

$$u(k) = K_1 x(k) + K_2 n(k) + K_3 u_k(k) \quad (4)$$

所以本系统可采用鲁棒控制器,鲁棒控制器参数 K 或 K_1, K_2, K_3 可用黎卡提方程(5)求解。

由于本装置软件可塑性很大,所以图2(a)的PWM伺服系统,采用的测速反馈是用光电编码,当分辨率为 $360^\circ/2^\circ = 42$ 角分时,输出为格林码,可满足本系统因快速获得的转速数字值所需的精度的要求。

必须指出,由于黎卡提方程的模拟式为

$$PA + A^T P - PB^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (5)$$

而

$$K = R^{-1}B^T P$$

因此当用计算机求解时,我们将(5),(4)两式皆用离散化形式,然后编程。一般来说,作为在线控制,是最好的办法,但存储容量很小如“4K”时,则可能用表格搜索法较好,这时对(4)(5)两式是用离线方式求解,即根据(5)式求出“ K ”,列成表,当在线控制时,进行搜索合适的 K 值作为控制律的 K ,并不断校正。

PWM伺服系统输出波形见图3(c)(d)(e)。

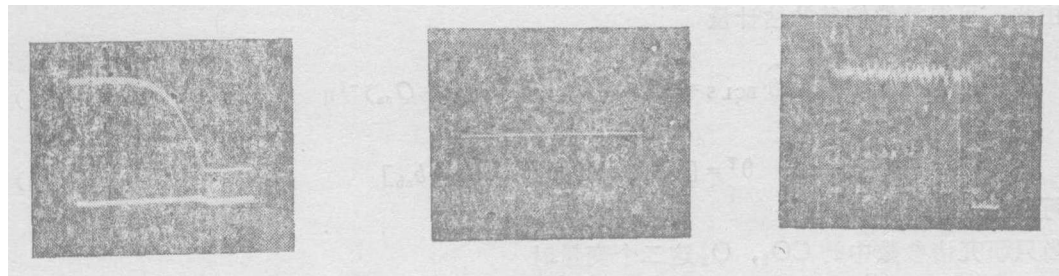


图3(c) PWM伺服系统速度波形

(d)模拟量PWM三角波形

(e)PWM伺服系统调速过程

图3(f)为以“PI”维制方式的程序框图。

2. 微生物发酵过程模型化参数预估及自校正

根据机理模型, 设可用线性定常离散系统的形式表达系统模型。

$$A(q^{-1})Y(k) = B(q^{-1})U(k) + e(k) \quad (6)$$

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-n}$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1 q^{-1} + \dots + b_n q^{-n}$$

若用状态离散形式表达

$$X[(K+1)T] = P(T)X(KT) + \Delta(T)U(KT) \quad (7)$$

$$P(T) = e^{AT}, \quad \Delta(T) = \left(\int_0^T e^{A\tau} d\tau \right) B$$

从最优指标

$$J = \int_0^T (X^T Q X + U^T R U) dt \quad (8)$$

得自适应反馈控制律

$$U(KT) = -(\Delta^T Q P + R)^{-1} \Delta^T Q X(KT) \quad (9)$$

而 A 、 B 可用最小二乘法 (LS) 进行估值, 从而求得 Δ 及 P , 然后就得控制律 U 。

估值 $\hat{Q}$ 可由式(6)写成矩阵向量式求之:

$$Y = \phi \theta + \varepsilon \quad (10)$$

考虑次最优, 以下述目标为准则

$$T = \|Y - \phi \theta\|^2 \quad (11)$$

$$\hat{\theta} = (\phi^T \phi)^{-1} \phi^T Y \quad (12)$$

为了减少误差, 取豪氏变换

$$HY = H\phi\theta + H\varepsilon \quad (13)$$

由此, 可得补偿偏差的估计量

$$\Delta \hat{\theta}_{\text{BCLS}} = \hat{R}^{-1} - Q_{aa} (H^T \hat{R}^{-1} - Q_{aa})^{-1} \eta \quad (14)$$

因为

$$\theta^T = [a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_{nb}] \quad (15)$$

所以可得 A 、 B 、 Δ 、 P ,

当只研究诸参数中的 CO_2 、 O_2 这二个变量时

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad R = 1$$

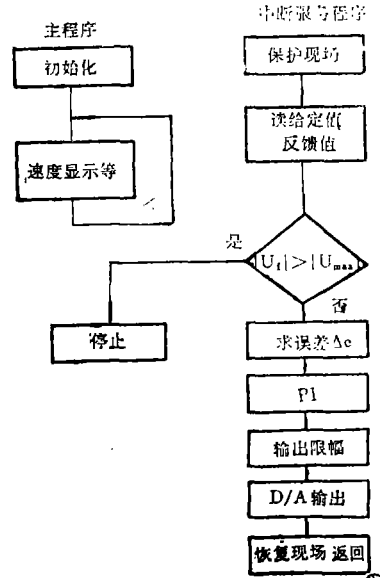


图3(f) PI控制方式程序框图

则(11)式 J 由 Q 决定, 可解(9)式而得以控制。

有关设备及所得结果见图 4(a)(b)(c)图 5(a)、(b)。“*”—仿值, “.”—工厂测试值

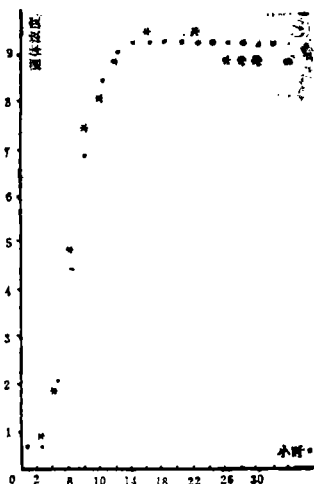


图4 (a)菌体生长浓度估值

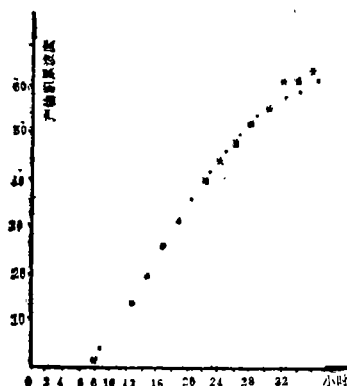


图4 (b)谷氨酸积累浓度估值

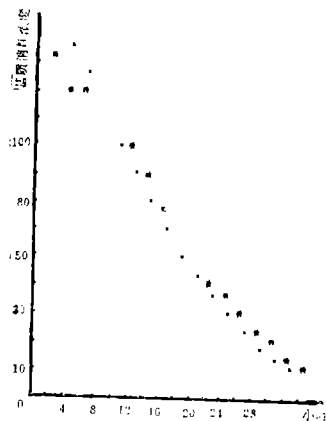


图4 (c)葡萄糖消耗估值

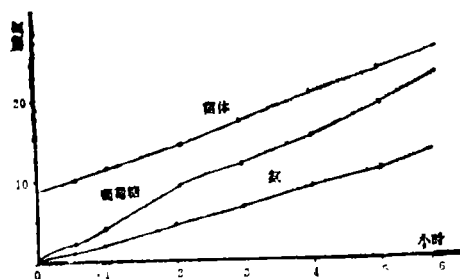


图5 (a)发酵过程有关变量变化曲线

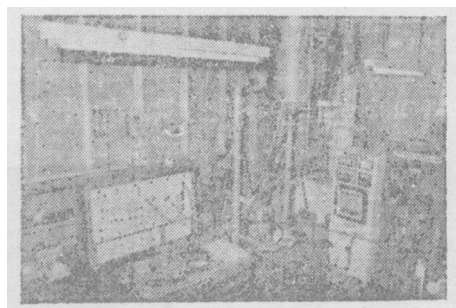


图5 (b)微机控制发酵过程系统(部分单元)

图5(b)为曲 WKZX 型微机开发系统及发酵罐构成的发酵过程微机控制系统被控制参数, 温度、压力、流量、二氧化碳、溶氧、呼吸商。

目的要求: 菌种浓度、产物、基质消耗浓度皆应满足图 4(a)、(b)、(c)所示的估值

五、控制系统 CAD 及其仿真

下面介绍利用本装置与系统机交互作用而形成的 CAD 开发功能^[4]。

目前控制系统仿真程序块已有很多, 如线性连续系统的仿真、非线性系统仿真、采样控制系统仿真、连续随机系统仿真及随机采样控制系统的仿真等, 现举例如下:

1. 应用集成组件触发器的调速系统混合仿真

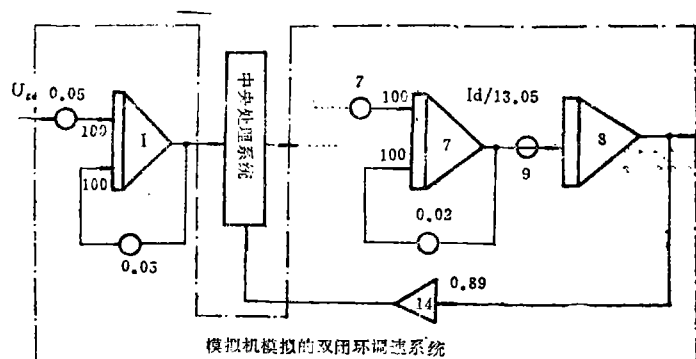


图6 (a)微机控制, 双闭环调速系统混合仿真

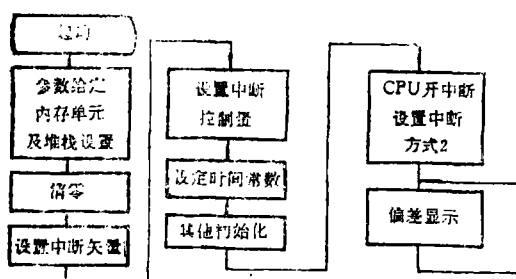


图6 (b)主程序框图



图6 (c)双闭环调速混合仿真波形 (放大)

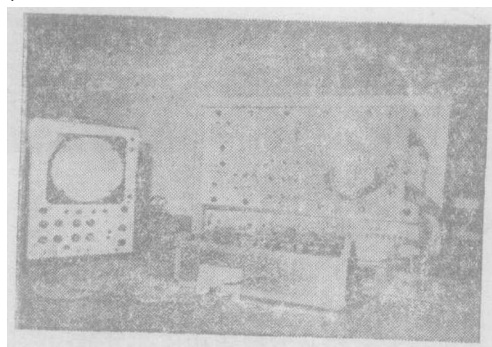


图6 (d)由本装置构成的双闭环调速混合仿真系统的部分单元

图6(a)中双闭环调速系统的等效开环传递函数, 可用模拟进行求解。

为了简化起见, 可将各单元的开环等效传递函数用线性调节理论进行分析, 即将混合系统视为一种典型的脉冲系统, 将模拟计算机看作为线性部件近似处理, A/D转换视为理想开关。当模拟信号经“开关”传递后, 其传函除含有 $W = W_0$ 的基频成分外, 尚含有角频成分。数字计算机可作为理想的延迟环节处理, 除被调对象传函数另作安排外, 本装置的混合系统开环等效传递函数可近似为

$$W_k(S) = \frac{1}{T} e^{-Ts} \frac{1 - e^{-Ts}}{T}$$

因此当一个被控系统经混合仿真的结果,至少相角裕量会相差 27° 左右,即当模拟仿真时被控系统若为 $\phi = 32.5^\circ$,但因相位滞后 27° ,实际上当混合仿真时为 5.5° ,看起来系统变得不稳定了,因而必须加一数字校正,使产生相位超前,从而抵消滞后,消去不稳定假象这一点在进行混合仿真时是要注意的。

2. 直流电机双闭环调速系统 CAD

计算机辅助设计控制系统(CAD)是从控制理论到实际应用之间的桥梁。下面简述利用本装置开发系统对双闭环调速系统进行 CAD 设计。

某个双闭环调速系统的讯号流图为:



图7 1.2kW 电气直流传动双闭环调速系统讯号流图

本系统状态方程式普通式为

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU \\ Y &= CX + DU \end{aligned} \quad (16)$$

系统特征根为:

$$|SI - A| = (S + 588.2)[S(S + 20) + 302.64] = 0$$

系统仿真中求逆:

$$Q = \begin{pmatrix} 49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 360 & 7 & 0 & 0 & -361 \\ \vdots & \vdots & 249 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 49 \end{pmatrix}$$

CAD 结果: $T_s = 0.0017s$, $T_{01} = 0.004s$, $T_{on} = 0.02s$, $K_s = 22$

系统响应结果(1/i 为指第 W_i 环节的输出)

RUN

N,YO,Q2,Q3,P1

79,5,.001,1,5,1

X(1),M(1)

72,6

X(2),M(2)

74,12

X(3),M(3)

75,300

X(4),M(4)

70,0

NO,N₂,N₃,D

73,2,3,1

T

Y(1)

Y(2)

Y(3)

Y(4)

Y(5)

Y(6)

Y(7)

Y(8)

Y(9)

T = 1 E - 03

.243852865

1.76271061

.204499385

.331102041

1.24441148

2.58140372 E - 03

0

0

0

T = 2 E - 03

.475812885

3.45327658

.745281184

1.21955029

8.39620795

.0299768098

2.7444289 E - 03

1.30293325 E - 03

1.32798068 E - 07

T = 3 E - 03

.696460083

5.07520803

1.53241284

2.53023452

23.5543627

.12837451

.0187417776

8.45836822 E - 03

1.55683819 E - 06

T = 4 E - 03

.90634619

6

2.49660869

4.14973997

46.6584563

.348682941

.0697175476

.0300933232

71956211675 E - 06

T = 5 E - 03

1.10599603

6

3.44486623

5.75389023

75.3563945

.733805504

.188218415

.077791598

2.72390114 E - 05

六、结 束 语

微处理机的控制系统开发装置具有广阔的发展前景,它适合多种类型的系统,可适合多种类型的分析、设计及实时控制方式,以改善及使用较完善的控制和开发智能技术。

必须注意,控制系统的 CAD 及仿真,只能在软件包允许系统设计师能方便地实施系统的改进才有效^[3]。然而,为达到新的设计目标及其规律的可行性研究,由于其涉及面广泛且富有潜力,因此是个长期的研讨任务。

对 WKZX 数字自控系统装置的结构及应用的介绍,表明了这个开发系统基本上可以为新的设计规律的探讨进行一些工作;同时也表明了如要达到较完善化的数字自控系统开发装置的功能要求,尚需进行很多工作。本文所提出的一种设计规律,在今后的工程设计、科研

及教学中可以借鉴。

致 谢

图 7(b)中的模拟机得到纪志成、吴福民、张平等同志的帮助,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 孙增圻等,“计算机辅助设计控制系统应用软件”《微计算机应用》,1986 第5期
- [2] 胡汉中,“系统的鲁棒稳定性问题”《控制与决策》1986 第1期
- [3] 袁震东,“谈谈控制系统软件包”《电气自动化》1986 第1期
- [4] Davison E. J. and Feryerson I. J.
The Desigu of Controllers for The Multivariable Robust sorme chanism
Problem Using Paramete optimization Melhods IEEE. Tram. Automa-
tic. Coutrol. Vol. AC-26 No.1981. pp.93—110

87018

APPLE机高分辨率象素位映射的算法及快速图形显示《无锡轻工业学院学报》1987年,第6卷,第2期

主题词 位映射,实时图形显示,高分辨力,应用软件

摘要 本文介绍APPLE机高分辨率象素位映射的算法和映射地址表。也讨论了图形块的设计和显示。象素位映射是用汇编语言进行快速绘图的基础。比之高级语言,用这种方法编制的绘图程序占用内存容量较少,程序容易固化,因此适合于实时显示要求的各种场合,还有利于图形库的建立和使用。

作者:毛寿璋

87020

织物形成过程中的内力分析《无锡轻工业学院学报》1987年,

第6卷,第2期

主题词 织物;经纱;纬纱;内力;分析

摘要 本文根据织物形成过程中经纬纱交织屈曲变形,提出了织物形成过程中存在内力变化概念,并运用此概念来解释织物几何结构理论和织物的其它一些物理现象,对实际生产有指导意义。

作者:陈文龙

87019

WKZX微机自控系统及其应用《无锡轻工业学院学报》1987年,第6卷,第2期

主题词 参数估计;伺服机构;随机控制;微机处理;仿真

摘要 本文在介绍我院研制成的WKZX型微机自控系统的组成及性能基础上,提出了以微处理机为基础的數字自控系统设计及其规律。介绍了应用本装置所研究的几个实例——PWM微机伺服系统和发醇过程参数预值仿真及其控制等。

作者:张作民

87020

AN ANALYSIS OF INTERNAL FORCE in the PROCESS of FORMING
FABRIC《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》Vol.6,
No.2, 1987

SUBJECTWORDS fabric, warp, weft, internal force, analysis

ABSTRACT According to the deformation and bending of weft and warp
in the process of forming fabric, this article introduces the concept of the
change of internal force which exists in the process. And we can explain
the theory of geometric structure and a lot of physical phenomena of the
fabric by the concept, and this is useful for practice.

Author, Cheng Wen Long

87018

A BIT MAPPING ALGORITHM and FAST GRAPHICS DISPLAY in
HIRES-MODE for APPLE COMPUTERS《Journal of the Wuxi Institute
of Light Industry》Vol.6, No.2, 1987

SUBJECTWORDS bit mappings, real-time graphics display, high-resolu-
tion, application software

ABSTRACT In this paper, the mapping formulas and address table as well
as graphic block design and display for APPLE computer are presented.
The bit mapping technique is the foundation for fast graphics display with
the Assembly language. Compared with high level languages, the applying
program is less necessary for RAM units and easily to solidify. And it is
suited to various occasions of real-time display and benefits the establi-
shment application of graphics bases.

Author, Mao Shouzhang

87019

MODEL WKZX MICROPROCESSOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
and It's APPLICATION《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》
Vol.6, No.2, 1987

SUBJECTWORDS parameters estimation, servomechanisms, stochastic-
control, microprocessor, simulation

ABSTRACT The structure and performance of model WKZX micropro-
cessor automatic control system are described in this paper. The new design
concept and principles for the microprocessor based on digital automatic
control system are also given. Also presented(in this paper) are some pra-
ctical applications such as PWM Microprocessor servomechanisms and the
parameter estimation of process of fermentation and its control.

Author, Chang Zuomin