

清华大学信息科学技术学院教材——实验实践系列

现代通信原理实验

Experiments on Telecommunication Principles

潘长勇 王劲涛 杨知行 编著

Pan Changyong Wang Jintao Yang Zhixing

清华大学出版社



清华大学信息科学技术学院教材——实验实践系列

现代通信原理实验

Experiments on Telecommunication Principles

潘长勇 王劲涛 杨知行 编著

Pan Changyong Wang Jintao Yang Zhixing

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是现代通信原理实验课程的配套教材,包括循环编译码系统、抽样定理与脉冲调幅、增量调制编译码、脉冲编码调制、HDB3 码型变换、移频键控、移相键控、数字多路传输系统、光纤通信原理、程控交换和直接序列扩频传输共 11 项实验内容。每项实验都以具体的电路结构为依托,在详细阐述实验原理的基础上,逐步引导读者观察、测试实验板上的信号,熟悉整个通信实验的具体过程。在每个实验的后面,还列出了一些思考题,目的是帮助读者加深对实验内容的理解并拓宽思路。在实验 12 中介绍了通信原理实验平台。

本书可作为现代通信原理实验课程的教材,也可供实际设计电路时参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理实验/潘长勇,王劲涛,杨知行编著. —北京:清华大学出版社,2005.9

(清华大学信息科学技术学院教材——实验实践系列)

ISBN 7-302-10751-3

I. 现… II. ①潘… ②王… ③杨… III. 通信理论—实验—高等学校—教材 IV. TN911-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 027827 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 邹开颜

文稿编辑: 魏艳春

印 装 者: 北京市昌平环球印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 12.5 字 数: 262 千字

版 次: 2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10751-3/TN·245

印 数: 1~3000

定 价: 19.00 元

前言

Preface

现代通信技术的发展日新月异,学习通信专业的学生和科技人员不但需要掌握扎实的基础理论,而且需要学习与了解更多的现代通信技术理论,并将理论知识与实践相结合。理论教学与实验教学是现代高等教育的两个重要组成部分,实验课是整个教学过程中一个非常重要的环节。

本书作为现代通信原理实验课程的配套教材,旨在让读者了解常见的通信系统,加深对现代通信原理的理解,培养独立解决问题的能力,特意精选了循环编译码系统、抽样定理与脉冲调幅、增量调制编译码、脉冲编码调制、HDB3 码型变换、移频键控、移相键控、数字多路传输系统、光纤通信原理、程控交换、直接序列扩频传输等 11 项实验内容。

这些实验各自独立,实验过程中用到的主要实验电路由实验室提供。考虑到锻炼读者独立思考、设计和调试通信电路的能力的目的,本书实验 12 介绍了一个比较通用的通信原理实验平台。在这个实验平台上,包含了通信电路中比较常用的 FPGA、锁相环、存储单元、AD、DA、单片机等基本电路。读者可以根据所学习的理论知识,在理解前面多项实验原理的基础上,自己设计一定的实验任务,并根据需要完成的任务,选用平台上合适的器件,完成设计,调试成功。这样不但能够加深读者对一些基础理论知识的理解和运用,而且能够很好地锻炼自学能力,并提高电路设计能力。此项实验本身具有很大的灵活性,便于读者自由发挥。

本书在每项实验中不仅阐述了设计原理,而且还给出了实验所用电路的原理图和配套实验板的具体布局。

由于编者水平有限,并且编写时间仓促,因此书中难免有疏漏甚至错误之处,欢迎各位读者批评指正。

作 者

2005 年 2 月于清华大学电子工程系

实验报告要求

做实验前应认真阅读实验指示书,明确实验目的,了解实验原理、内容,掌握实验步骤及注意事项,并写出预习报告,内容包括:

- (1) 实验目的;
- (2) 实验仪器、设备连接方框图,并标明测试点;
- (3) 实验记录表格及测试步骤;
- (4) 实验指示书上规定的其他内容。

做完实验需进行总结,内容包括:

- (1) 实验仪器名称、型号和编号;
- (2) 实验数据整理,实验现象分析;
- (3) 实验方法及仪器使用总结;
- (4) 问题讨论。

实验报告在实验完成后一周内交到实验室,并一律用 16 开的纸装订成册。实验波形一律在坐标方格纸上用绘图尺完成。发回的报告应保存好,以备考查。

目 录

Contents

实验报告要求	V
实验 1 循环码编译码器实验	1
实验 2 抽样定理与脉冲调幅实验	17
实验 3 增量调制编译码实验	28
实验 4 脉冲编码调制实验	43
实验 5 HDB3 码型变换实验	54
实验 6 移频键控实验	65
实验 7 移相键控实验	78
实验 8 数字多路传输系统实验	93
实验 9 光纤通信原理实验	106
实验 10 程控交换实验	121
实验 11 移动通信教学实验——直接序列扩频传输	163
实验 12 通信原理实验平台	179

实验 1 循环码编译码器实验

1.1 实验目的

了解生成多项式 $g(x)$ 与译码器之间的关系, 码距与纠、检错能力之间的关系。

1.2 实验内容

(1) 根据编码规则, 验证循环码的生成多项式 $g(x) = x^9 + x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$ 。

(2) 通过实验了解循环码的工作原理:

- ① 了解生成多项式 $g(x)$ 与编码及译码的关系;
- ② 了解生成多项式 $g(x)$ 与码距 d 的关系;
- ③ 了解码距 d 与纠、检错能力之间的关系;
- ④ 观察该码能纠几个错误码元;
- ⑤ 观察循环码的循环性以及封闭性。

(3) 通过实验了解编、译码器的组成方框图及主要波形图。

(4) 理解信道中的噪声对该系统的影响。

1.3 实验原理

循环码的编、译码系统由下列五部分组成: 定时单元、信码发生器及显示部分、编码器、模拟信道部分(包括错码发生器及显示部分)、译码器。其原理框图见图 1.1。

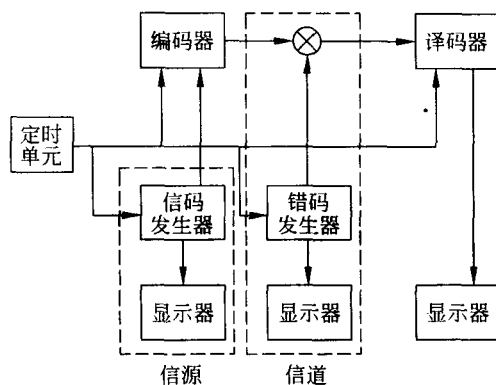


图 1.1 循环码的编译码框图

(1) 定时单元

本单元提供编码器及译码器所需的时序信号,其原理图如图 1.10 所示,其中时钟信号(CP)频率为 2.048MHz。

触发器 JK₁、JK₂、JK₃、JK₄ 及 D₅ 的输出分别为 Q₁、Q₂、Q₃、Q₄、Q₅。帧信号为 $\overline{Q_2} \overline{Q_3} \overline{Q_4}$, K₁ 信号为 $\overline{Q_5} \overline{Q_4} \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1}$, K₂ 信号为 $Q_5 \overline{Q_4} \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1}$, K₃ 信号为 $Q_5 (\overline{Q_4} \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1})$ 。

(2) 信码发生器

信码发生器的原理图如图 1.2 所示。

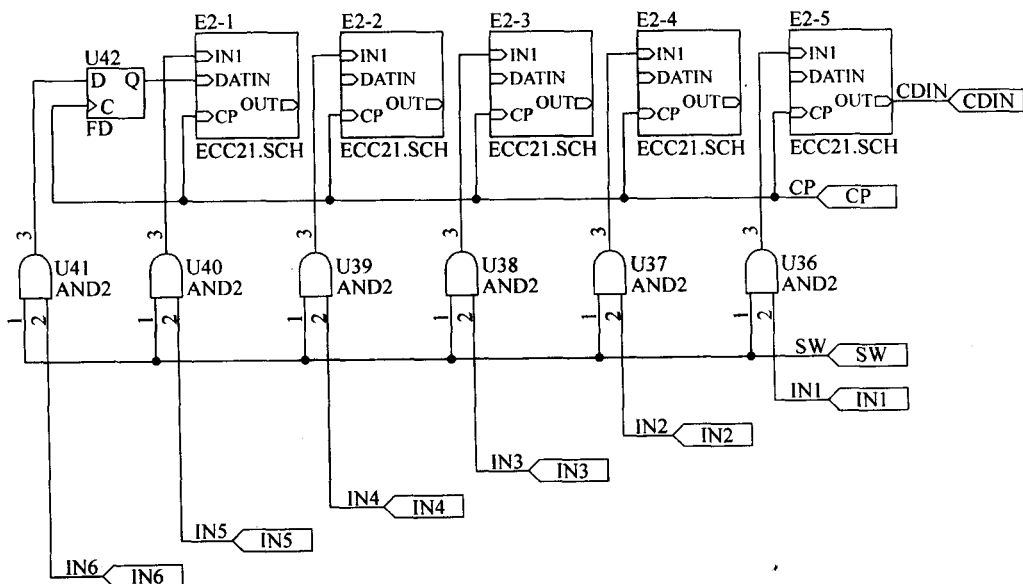


图 1.2 信码发生器原理图

本单元给编码器提供一个信号源,手控开关(板上 CDIN 框内)置于 +5V 时,发光二极管亮,代表输出 1 码元;若开关置于 0,代表输出 0 码元。根据二极管亮与否可在面板上直接读出所需信码。信码从“000000”~“111111”共有 $2^6=64$ 种状态,代表 64 个码字。每一个码字均由手控开关组成。在帧脉冲信号作用下,与门开启,手控信号并行输入移位寄存器(D 触发器)的输入端。当脉冲消失后,随着时钟脉冲 CP 的作用,CDIN 串行输出所需的码元。

(3) 循环码编码器原理

编码器是本实验的主要部分,其原理如图 1.3 所示。根据生成多项式 $g(x) = x^9 + x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$,采用 5 个异或门和 D 触发器组成编码器。

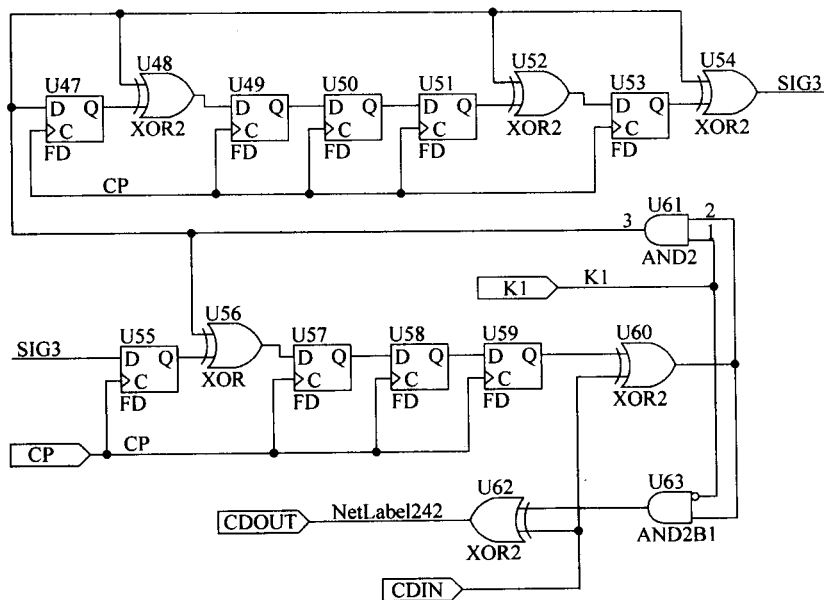


图 1.3 循环码编码器原理图

在 K_1 信号的控制下,输入 6 位信息码元 CDIN,一方面串行输入信道(即至收端译码器中的 6 位移位寄存器),另一方面通过与门送入除法电路进行计算。当第 6 位输入码元结束时, K_1 信号为零,在 CP 脉冲作用下,移位寄存器将计算的结果(CDOUT)送往信道,即在 6 位信息码元后附加了 9 位监督码元,使码长($N=K+R$)为 15(编码输出信号见表 1.1)。

表 1.1 编码输出信号

6 位信息位	9 位监督位	6 位信息位	9 位监督位
000000	000000000	011010	010101000
000001	001110011	011011	011011011
000010	011100110	011100	110000010
000011	010010101	011101	111110001
000100	111001100	011110	101100100
000101	110111111	011111	100010111
000110	100101010	100000	100111001
000111	101011001	100001	101001010
001000	111101011	100010	111011111
001001	110011000	100011	110101100
001010	100001101	100100	011110101
001011	101111110	100101	010000110
001100	000100111	100110	000010011
001101	001010100	100111	001100000
001110	011000001	100000	011010010
001111	010110010	101001	010100001
010000	110100101	101010	000110100
010001	111010110	101011	001000111
010010	101000011	101100	100011110
010011	100110000	101101	101101101
010100	001101001	101110	111111000
010101	000011010	101111	110001011
010110	010001111	110000	010011100
010111	001111100	110001	011101111
011000	001001110	110010	001111010
011001	000111101	110011	000001001
110100	101010000	111010	110010001
110101	100100011	111011	111100010
110110	110110110	111100	110111011
110111	111000101	111101	011001000
111000	101110111	111110	001011101
111001	100000100	111111	000101110

(4) 模拟信道部分

严格地说,编码输出的基带信号送入信道,若信道为有线的,需加均衡设备;若为无线信道,需加调制设备。本实验的目的是观察编码输出波形及其经过信道后的纠错能力。

本实验设计了一个 15 位错码发生器(板上 ECD 框内),可在任意位置用开关“1”码使该位发生错误,并使相应的发光二极管发光,显示错码发生的位置,如图 1.4 所示。

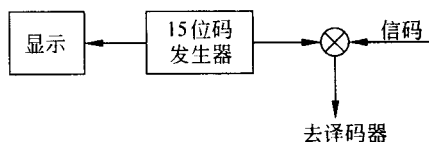


图 1.4 信道模拟框图

15 位错码发生器的原理见图 1.5,其原理与前述信码发生器一样,不再详述。错码发生器发生的“1”码与编码器输出的信号 CDOUT 相加,产生的码即为错码,经过模拟信道部分,输出的信码为带有错误的码元。如编码器输出的信码为 110011,经过该信道,信道输出错误码为 000110,送入译码器去的信号即为 110101。

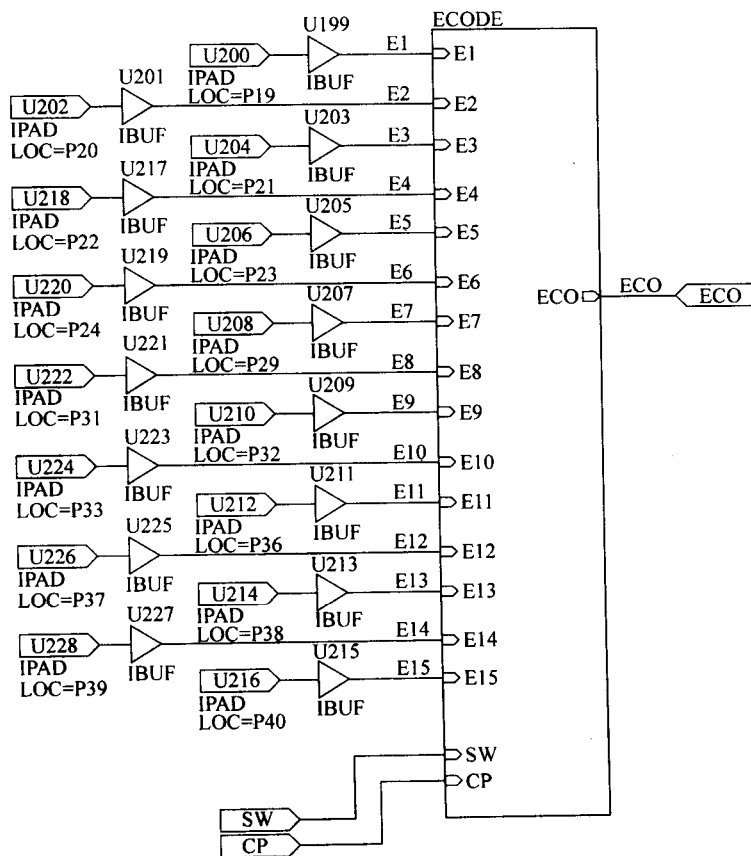


图 1.5 错码发生器原理图

(5) 译码方框图及原理介绍

译码器方框图见图 1.6, 原理图见图 1.7。

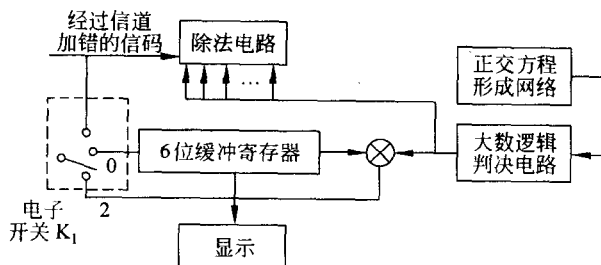


图 1.6 译码器框图

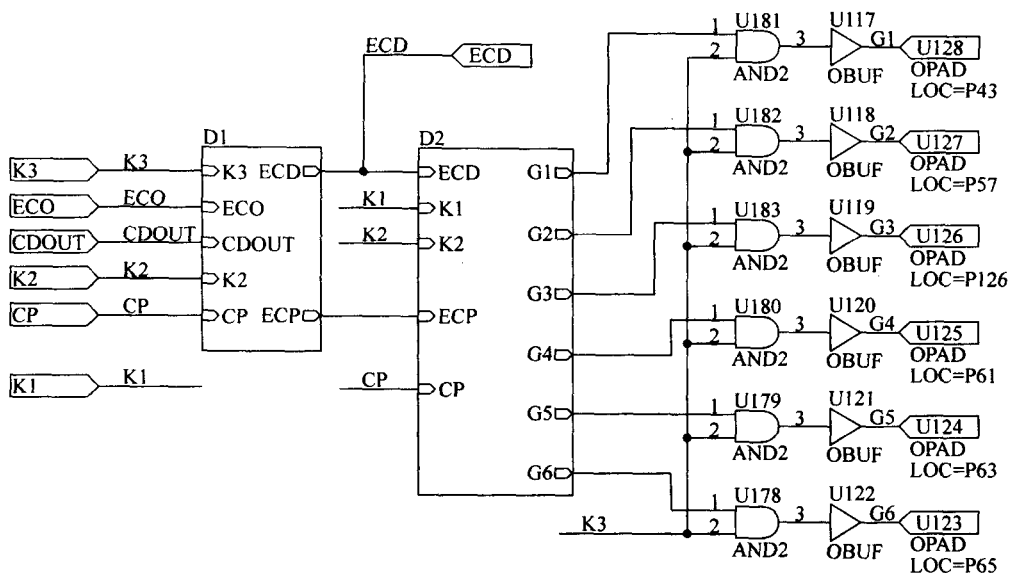


图 1.7 译码器原理框图

经过信道加错后的信码,在 $K1$ 信号的作用下,进入 6 位移位寄存器,同时另一路进入除法电路进行伴随式计算。当 6 个信码全存入移位寄存器时,电子开关置于 0,此时信码保存在移位寄存器中;同时另一路已进入除法器的信码,在 CP 脉冲的作用下,进入除法电路及正交方程形成网络和大数逻辑判决电路。若错码个数在 2 个以内,该系统能自动纠正,纠正后的信码通过电子开关进入移位寄存器,并在显示信号 $K3$ 作用下,若发光二极管亮,则表示 1 码,若发光二极管不亮则表示 0 码。此时译码信号是并行输出至显示部分的,它的显示信号与信源显示应一一对应(注意,此时信道干扰产生的错码只能是 1 个或 2 个)。假如信道中错误个数已超过纠错能力(即超过 2 个),那么译码显示与编码显示不能对应。

正交方程的定义是：假定最高错误码元 e_{14} ，其次 e_{13} ，以此类推至 e_0 ，即 e_{14} 在每个方程中均出现一次，而其他错误码元在 4 个方程组中最多出现一次，正交方程组成如下：

$$s_3 = e_{14} + e_{12} + e_{11} + e_3,$$

$$s_2 = e_{14} + e_{13} + e_5 + e_1,$$

$$s_1 = e_{14} + e_6 + e_2 + e_0,$$

$$s_0 = e_{14} + e_{10} + e_8 + e_7.$$

由正交形成网络输出至大数逻辑判决的电路，是由四个三输入与非门及四输入与非门组成的。该电路输出信号通过与门在 K2 信号作用下，一方面进入除法电路进行伴随式复位，另一方面进入异或门，与 6 位移位寄存器中相应的信号位相加（最高位）。已纠正的码经过与门又存在相应的移位寄存器中。

6 位移位寄存器将纠正的正确码字在显示脉冲 K3 作用下并行输出。

如果在 2 个错误以内，纠错电路能自行校正，那么译码器显示的码与编码器显示的码应一致；如果错误超过 2 个，译码电路会产生错纠现象，那么译码显示电路显示的码与编码器的不一样，即使一样也是巧合。

1.4 实验仪器

基本实验仪器见表 1.2。

表 1.2 基本仪器

名 称	要求达到的指标	数量/台
双踪同步示波器	20MHz	1
直流稳压电源	+7V(1A)	1
ECC 实验箱		1

1.5 实验内容

1. 电源检查

使用万用表检测实验箱的电源接入点和 GND 之间是否有短路现象，如果有，则禁止继续实验。

在实验箱中使用了 7805 芯片来保护实验板电子元器件，由于稳压器需要一定的电压差，故电路板上 +5V 的电源需要由 +7V 电源通过稳压来提供。电源的接入点请参考电路板上的印刷文字。

注意事项：实验中关电源后应稍候才可重新开启。

在连接电源和实验箱之前，一定要用万用表确认电源的极性和电压值正确，在确认完全无误之前不允许将实验箱和电源连接。另外在连接实验箱和电源时请务必关断电源的开关。

本实验的实验板图为图 1.8。

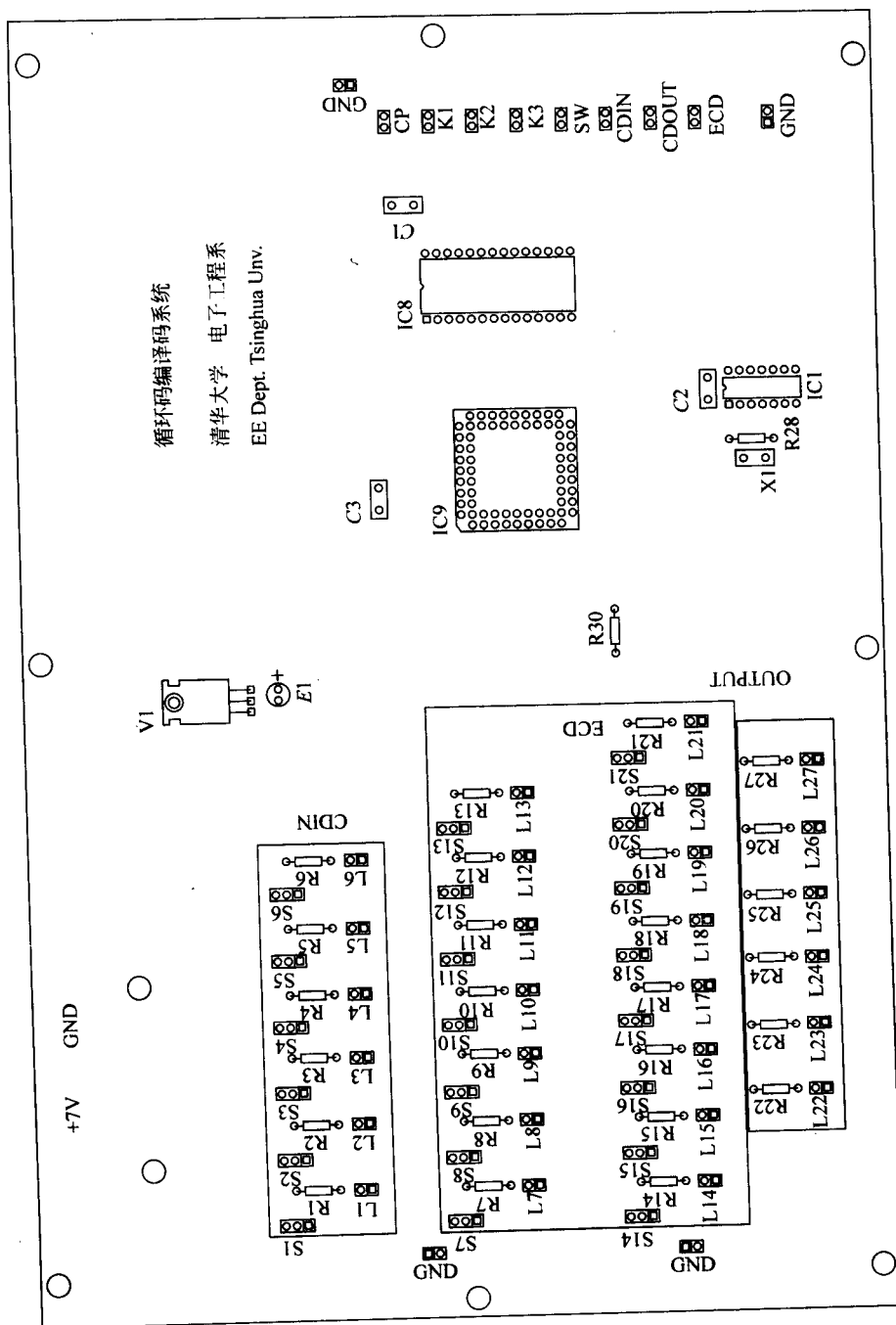


图 1.8 循环码实验板图①

① 本书中实验板图中的电器符号均为正体,后文不再予以说明。

2. 以时钟 CP 为准,观察编码器的输出波形

(1) 把双踪示波器的一路接至 CP,另一路接至输出信码,以时钟 CP 为准,观察编码器输出波形中前 6 位信息码的波形 CDIN。若示波器上显示高电平,则面板上的发光二极管应亮;若为低电平,则发光二极管应暗。

(2) 在 CDOUT 观察附加在信息码后的 9 位监督码的波形,并与理论结果比较,观察是否一致。

根据已验证的生成多项式 $g(x) = x^9 + x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$ 可求得每一码字的余式 $r(x)$ 。

理论计算得到码字应为

$$T(x) = x^{n+k}m(x) + r(x)$$

式中, $m(x)$ 为信息码,由板上开关(CDIN 框内)手控获得。6 位信息码元可以组成 $2^6 = 64$ 个二进制码字。由上述公式计算得 64 个循环码字,如表 1.1 所示。注意观察所得码字与实际示波器观察到的波形是否一致。

(3) 将示波器观察到的编码输出信号列成表格。观察循环码的主要性质:循环性与封闭性。

3. 观察信道干扰(双踪示波器一路接 CDOUT,另一路接 ECD)

(1) 若译码板上错码发生器开关均控制在 0(相应的发光二极管不亮),则二路波形应一致,表示信道未加入干扰,没有错误发生。

(2) 手控错码发生器开关某一位,使相应的发光二极管亮,表示有一个错码,此时示波器的两路波形中有一个对应位码元不同(即产生一位错码)。以此类推,可以控制 15 个以内的任何一个或几个码元产生错误。

4. 观察经过译码器后该码的纠错能力

(1) 若信道加入 1 个或 2 个错误,译码显示电路与信码显示电路一致,则表示该码能纠正 2 个以下的错误。

(2) 若信道加入 3 个或 3 个以上错误,译码器显示电路与编码显示电路不一致,则表示错误码元已超过该码纠错能力,译码电路将产生乱码现象。

说明:

(1) 原理图(图 1.2、图 1.3、图 1.5、图 1.7、图 1.9、图 1.10)中 IPAD 和 OPAD 的标注 PXX,指板上现场可编程器件的引脚数(例 P23 指芯片的 23 脚);

(2) 板上标注 CP、K1、K2、K3 等与原理图上的标注对应;

(3) 短路片为电平选择开关,在上为 1,在下为 0;

(4) CDIN 框为输入信码,ECD 框加入错码,OUTPUT 框为译码输出。

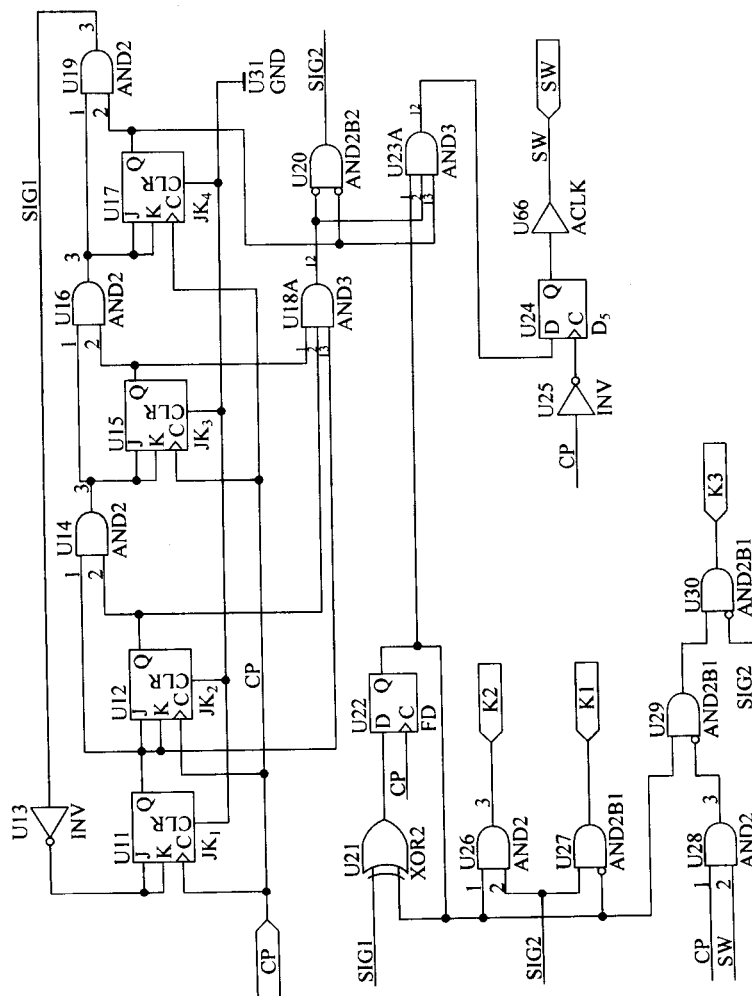


图 1.9 定时单元原理图