

电 子 学 基 础 系 列
E L E C T R O N I C S



ADVANCED
ELECTRONICS EXPERIMENT

近代无线电实验

陆起涌 周国辉
张加珍 孙友法 编著



ADVANCED
ELECTRONICS EXPERIMENT

近代无线电实验

陆起涌 周国辉
张加珍 孙友法 编著

图书在版编目(CIP)数据

近代无线电实验/陆起涌等编著. —上海:复旦大学出版社,
2004. 8

(电子学基础系列)

ISBN 7-309-04098-8

I. 近… II. 陆… III. 无线电电子学-实验 IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063625 号

近代无线电实验

陆起涌 周国辉 张加珍 孙友法 编著

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 邮编 200433

86-21-65118853(发行部) 86-21-65109143(邮购)

fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 梁 玲

装帧设计 孙 曙

总 编 辑 高若海

出 品 人 贺圣遂

印 刷 江苏大丰市印刷二厂

开 本 787×960 1/16

印 张 10.25 插页 2

字 数 189 千

版 次 2004 年 8 月第一版第一次印刷

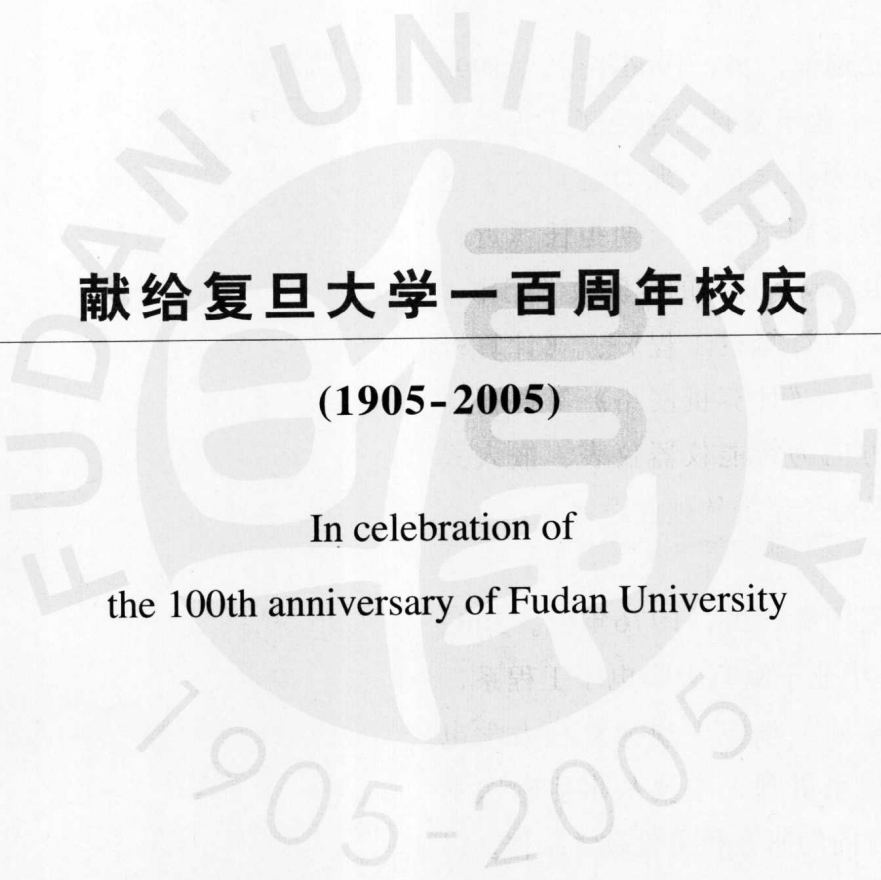
印 数 1—3 100

书 号 ISBN 7-309-04098-8/T·285

定 价 16.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

A large, faint, circular watermark seal of Fudan University is centered in the background. The seal features the university's name in English, "FUDAN UNIVERSITY", around the top arc and the Chinese characters "復旦大學" around the bottom arc. In the center of the seal is a stylized emblem. Below the emblem, the years "1905-2005" are inscribed.

献给复旦大学一百周年校庆

(1905-2005)

In celebration of
the 100th anniversary of Fudan University

作者简介

陆起涌，男，1966年生。1993年7月毕业于复旦大学电子工程系，获理学硕士学位。现为复旦大学电子工程系副教授，长期担任《近代无线电实验》课程的实验教学工作，并主讲《计算机工程》、《计算机应用》、《计算机网络》等课程，研究方向为智能仪器仪表、嵌入式系统及电子系统软硬件设计等。

周国辉，男，1976年生。2002年7月毕业于复旦大学电子工程系，获理学硕士学位。现为复旦大学电子工程系讲师，主要从事生物医学工程方向的研究和实验教学工作。

内容提要

本书介绍了有关智能仪器、自动控制、遥控遥测、锁相环、数字滤波、模数转换、可编程控制器、可编程逻辑、虚拟仪器、生理信号测量、生理信号模拟、心脏起搏器、医学超声、电生理等方面的实验内容,是《电子学基础系列》中的一本。

全书共25个实验,分为模拟/数字系统、微处理器系统、可编程控制器系统、可编程逻辑系统、虚拟仪器系统、模拟电路系统、微机信号处理实验等几部分。书中对各实验进行了一定的理论分析,对于具体的系统实现,要求实验者进行独立的分析与设计,并利用现有的实验条件完成,以培养独立工作的能力。

本书可作为大专院校电子信息科学与技术、微电子与固体电子学、生物医学工程、自动控制等专业的教材和教学参考书。也可供上述及相关专业的工程技术人员参考。

○序

复旦大学电子信息教学实验中心主任俞承芳教授约我为该中心编写的系列实验教材作序,我欣然同意,原因是我从切身经历中体会到实验课程的重要。

1956年,我考进复旦大学物理系。大学课程与中学课程最为不同的要算普通物理实验课了,它最难学。难在要自学实验讲义,要写预习报告,要做实验,要写实验报告。每个环节以前都未学过,实验老师对我们的要求又特别严格,我们要花费很多时间去学实验课。也就是这个实验课,使我感到收获最大,受用一生。它培养了我的自学能力、动手能力和严谨的科学态度。当年我们的系主任王福山教授十分重视实验教学。他是理论物理出身,曾与大名鼎鼎的理论物理学家海森堡(Werner Karl Heisenberg,于1932年获诺贝尔物理学奖)共事过。1956年党发出向科学进军的号召,可惜不久就被千万不要忘记阶级斗争的口号声所淹没。即使在“左”占统治地位的年代里,也是在说重实践,要动手。众所周知物质第一性,实践是检验真理的标准。科学实验是人们认识自然、建设社会、创造财富中一个很重要的环节,电子信息实验课在当前日新月异的电子科学与技术教学中更占重要地位。历年来,实验教学一直是复旦大学教学方面的一个强项,一个特色。

为培养具有创新精神的高素质人才,适应电子信息技术飞跃发展对学生知识结构和能力的要求,复旦大学电子信息教学实验中心的教师积极开展实验教学研究,改革和整合实验课程及其教学内容。经过多年的努力,中心开设了以EDA软件教学为主的《模拟与数字电路基础实验》,以硬件电路设计为主的《模拟与数字电路实验》、《微机原理与接口实验》,以系统设计能力培养为主的《电子系统设计》和以新的电子技术应用为主的《近代无线电实验》等实验课程。这些实验在基础实验阶段要求学生能了解问题,在电路设计阶段要求学生能发现问题,在系统设计阶段要求学生能提出和解决问题。从基础知识的掌握到电路设计的训练,从电子新技术的应用到系统设计能力的培养,对学生业务能力的提高起了很大的作用。

在总结教学改革经验的基础上,该实验中心编写了一系列的实验教材,这套教材既保持了实验课程自身的体系与特色,又与相应的理论课程相衔接。在教材内

容上,这套教材取材新颖,知识面宽,既将 EDA 融合在实验教学中,又强调了硬件电路和系统的设计与实现。

复旦大学电子工程系的电子学教学实验室经历赵梓光、叶君平、陈瑞涛、蓝鸿翔、吴皖光、陆廷璋等老师主持实验教学的六十、七十、八十年代,到今天在 211 工程、985 工程和世界银行贷款资助下,在校、院、系领导的大力支持下,俞承芳等教授领导的电子信息教学实验中心得到了更大的发展、充实和提高。此系列教材是实验中心全体人员努力工作的结晶,是一项很好的教学成果。

中国工程院院士、复旦大学首席教授

戚琪

2004 年 6 月

○实验指南

课程性质

理科专业实验

预修课程

模拟与数字电子线路；
模拟与数字电子线路基础实验；
数字信号处理；
生物医学电子学等系统专业课程。

指导思想

近代无线电实验是一门综合性的课程,着重反映近代无线电技术在现代科学测量中的应用,每一个专业实验基本上就构成一个系统实验。本课程不仅能够扩大学生的科学视野,更能培养学生的动手能力和独立解决问题的能力,为今后所从事的独立研究工作打下扎实的基础。

实验指南

本教材共编写了十八个电路与系统类专业实验(实验一~实验十八)和七个医学电子类专业实验(实验十九~实验二十五),供电子工程系电路与系统专业和生物医学工程专业的三年级学生选用。在实验中允许学生自己安排实验时间和选做实验内容,并根据自己的实际能力来安排实验进度,在二十五个专业实验中必须选择至少二个实验进行独立设计、调试并完成实验报告,同时对实验的计划、过程、结果等有完整的文档记录。

实验介绍

(一) 电路与系统类专业实验

表 0-1 电路与系统类专业实验列表

序号	实 验 名 称	类 型	挑战度	备注
1	电压-频率转换器	模拟数字系统	8.0	

(续表)

序号	实 验 名 称	类 型	挑战度	备注
2	自动量程数字频率计	模拟数字系统	8.5	
3	模拟锁相环	模拟数字系统	8.0	
4	心电信号的记录与回放电路	模拟数字系统	8.5	
5	超声声速测量电路	模拟数字系统	8.3	
6	微机绘图	微处理器系统	7.5	
7	无线数据通信	微处理器系统	8.0	
8	微机电容自动测量	微处理器系统	9.3	
9	微机字符图形发生器	微处理器系统	9.5	
10	直流电动机调速系统	微处理器系统	9.0	
11	数字存储示波器	微处理器系统	8.4	
12	增量调制器	微处理器系统	8.5	
13	增量解调器	微处理器系统	8.5	
14	交通信号灯控制器	可编程序控制器系统	8.3	
15	温度控制器	可编程序控制器系统 微处理器系统 可编程逻辑系统	9.6	
16	可预置数四位计数器	可编程逻辑系统	7.5	
17	串行数据通讯控制器	可编程逻辑系统	8.5	
18	测量仪器的计算机控制	虚拟仪器计算机系统	8.0	可达 9.5

(二) 医学电子类专业实验

表 0-2 医学电子类专业实验列表

序号	实 验		类 型	挑战度	备注
19	生理 信号 检测	人体心电信号的测量(数字心率计)	模拟数字电路系统	7.8	B
		人体血压的测量(数字血压计)	模拟数字电路系统	7.2	B
		人体温度的测量(数字体温计)	模拟数字电路系统	7.0	B
		人体脉搏的测量(数字脉搏计)	模拟数字电路系统	7.6	B
		人体皮肤阻抗的测量(数字阻抗计)	模拟数字电路系统	7.4	B
20	心脏起搏器参数测定		模拟数字电路系统	8.5	A
21	心脏起搏脉冲的发生与控制		模拟数字电路系统	8.3	A
22	心电信号遥测		模 拟 电 路 系 统	9.0	A

(续表)

序号	实 验		类 型	挑战度	备注
23	心电信号 QRS 波的模拟与应用		模拟数字电路系统	8.0	A
24	多普勒超声的发生与应用		模 拟 电 路 系 统	9.5	A
25	电生 理实 验	神经干动作电位的测定	微机信号处理实验	7.0	C
		神经兴奋传导速度的测定	微机信号处理实验	7.0	C
		神经干兴奋不应期的测定	微机信号处理实验	7.0	C

注:(1) A 类实验为专业系统实验,选做 A 类实验可得高分;

(2) B 类实验为专业基础实验,选做 B 类实验可得基本分;

(3) C 类实验为生物医学工程专业的电生理类实验,生物医学工程专业学生必须加做 C 类实验。

计划进度

表 0-3 近代无线电实验计划进度表

日期:

实验名称	日 期	进 度

目 录

实验一	电压-频率转换器	1
实验二	自动量程数字频率计	8
实验三	模拟锁相环	12
实验四	心电信号的记录与回放电路	22
实验五	超声声速测量电路	27
实验六	微机绘图	34
实验七	无线数据通信	36
实验八	微机电容自动测量	41
实验九	微机字符图形发生器	47
实验十	直流电动机调速系统	53
实验十一	数字存储示波器	58
实验十二	增量调制器	62
实验十三	增量解调器	74
实验十四	交通信号灯控制器	81
实验十五	温度控制器	86
实验十六	可预置数四位计数器	88
实验十七	串行数据通信控制器	90
实验十八	测量仪器的计算机控制	91
实验十九	生理信号检测	94
	(一) 人体心电信号的测量(数字心率计)	94
	(二) 人体血压的测量(数字血压计)	99
	(三) 人体温度的测量(数字体温计)	102
	(四) 人体脉搏的测量(数字脉搏计)	104
	(五) 人体皮肤阻抗的测量(数字阻抗计)	107
实验二十	心脏起搏器参数测定	110

实验二十一	心脏起搏脉冲的发生与控制	115
实验二十二	心电信号遥测	121
实验二十三	心电信号 QRS 波的模拟与应用	125
实验二十四	多普勒超声的发生与应用	128
实验二十五	电生理实验	133
(一)	神经干动作电位的测定	133
(二)	神经兴奋传导速度的测定	135
(三)	神经干兴奋不应期的测定	137
附录 A	信号源作模拟心电信号源方法	139
附录 B	压频转换电路 LM331 介绍	140
附录 C	单片机使用说明	142
附录 D	蛙或蟾蜍坐骨神经-腓神经标本制备	145
附录 E	生物信号采集处理系统的使用	148
参考文献		151

实验一 电压-频率转换器

一、实验目的

- (1) 了解电压-频率转换器的特点。
- (2) 了解电压-频率转换器的工作原理。
- (3) 通过设计制作一个电压-频率转换器,掌握电压-频率转换器的性能和测试方法。

二、实验原理

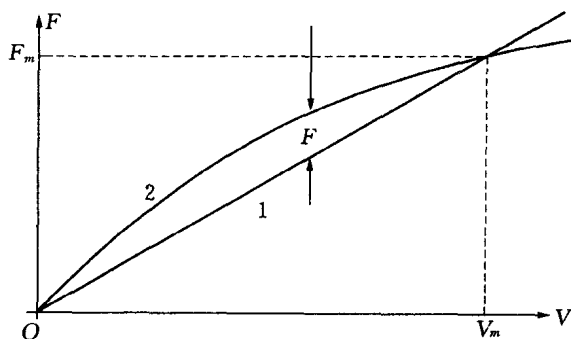
1. 概述

电压-频率转换电路(简称为 V/F 变换电路)是一种将直流电压变换为相应频率的电路,它的输出信号频率 F 与输入电压 V 成正比,所以在调频、锁相和模数转换(A/D)等技术领域中得到非常广泛的应用。

由于 V/F 变换电路输出频率信息,利用一对传输线就能够将输出频率从一个地方传输到另一个地方,因此利用 V/F 变换电路传送数据比较方便可靠。V/F 变换过程实际上是一个积分过程,而频率的测量通常是在一定的时间内对该频率进行计数并取其平均值。因此,即使在被测量的输入直流电压中混有交流干扰信号也会被抵消,所以 V/F 变换电路对交流串模干扰有很强的抑制能力。它的主要缺点是转换速率慢,如果要提高转换速率,非线性失真问题就显得很突出。在设计 V/F 变换器时,转换速率和非线性失真是两个应该统筹兼顾的问题。

尽管 V/F 变换电路种类繁多,但从根本上来说它们都是一种振荡频率随外加电压变化的振荡器,称为压控振荡器(VFC)。要求压控振荡器的输出信号频率与控制电压成正比,根据不同的应用要求,可选用正弦波、方波、三角波、锯齿波或矩形脉冲波作为控制电压,而变换电路的输出电压波形可以是正弦波、方波、三角波,也可以是锯齿波、矩形脉冲波或其他形式的波形。电压-频率转换器的 V/F 曲线如图 1-1 所示。

图 1-1 中 F 为非线性误差频率, F_m 为最大输出频率, V_m 为最大控制电压。



1 理想特性 2 非线性误差特性

图 1-1 电压-频率转换的 V/F 曲线

从工作原理来讲, V/F 变换器可分为开环型和闭环型两类。前者是一般的压控振荡器, 后者是将压控振荡器输出的频率再转换成电压, 然后求此电压与被测电压之差, 将差值放大后送至压控振荡器进行修正, 实现闭环控制。尽管压控振荡器精度不高, 只要频率-电压的转换有良好的线性和稳定性, 整个 V/F 变换电路仍然具有很高的变换精度。由于闭环型 V/F 变换电路比较复杂, 一般用于精度要求较高的系统中。

2. 几种常见的压控振荡器

(1) 放电机压控振荡器

放电机压控振荡器电路比较简单, 如图 1-2 所示。它的转换速率和线性度都比较差, 只适用于一般的测量系统。

在图 1-2 中运放 A_1 、电阻 R 、电容 C 构成一个积分器, 运放 A_2 构成比较器, 当

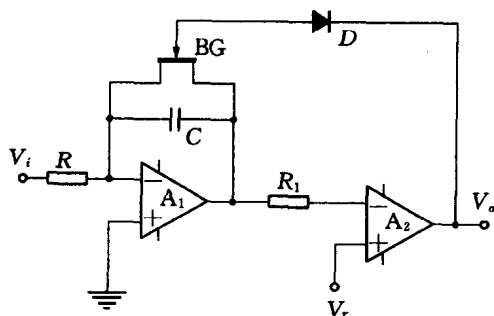


图 1-2 放电机压控振荡器

输入电压 $V_i > 0$ 时, 积分器以 $\frac{V_i}{RC}$ 的速率负向积分。当积分器输出电压略低于基准电压 V_r 时, 比较器 A_2 翻转, 场效应管 BG 导通, 使得电容 C 放电, 这时积分器输出复原, 比较器也恢复原来的状态, 导致场效应管 BG 截止, 于是积分器又重新开始积分。上述过程反复进行, 电路形成振荡。

积分器输出的锯齿波周期为

$$T = \frac{V_r RC}{V_i} + T_Q \quad (1-1)$$

式中 T_Q 为电容 C 放电所需的时间。当放电电流足够大时,则 T_Q 很小,可忽略不计,积分器输出信号的频率为

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_r RC} V_i \quad (1-2)$$

由(1-2)式可以看出,输出频率 F 与输入电压 V_i 成正比,比例系数 $\frac{1}{V_r RC}$ 称为转换系数。显然,当工作频率较高而积分器输出信号周期 T 变得很小时,这时(1-1)式中的 T_Q 就不能被忽略,因此输出频率 F 变为

$$F = \frac{1}{V_r RC + T_Q V_i} V_i \quad (1-3)$$

从(1-3)式可以看出,输入电压越高,非线性误差也越大,只有当输入电压 V_i 较低时,才具有较好的线性度。图 1-2 的线性度通常为 0.1% 左右。

从以上分析可以看出,引起非线性误差的主要原因在于积分器电容 C 的放电时间不是无穷小。尽管如此,可以设法抵消 T_Q 的影响,图 1-3 为改进后的积分器电路。

积分器 A_1 属于增量积分,其周期为

$$T = \frac{RCV_r}{V_i} - (R_{FZ}C - T_Q) \quad (1-4)$$

由(1-4)式可以看出,只要适当调节 R_{FZ} ,就可以使 $(R_{FZ}C - T_Q)$ 项为零,则

$$T = \frac{RCV_r}{V_i} \quad (1-4a)$$

利用这种补偿方法可以提高放电型压控振荡器的线性度,通常电路线性度可优于 0.1%。 R_{FZ} 一般可通过实验方法确定,也可根据 $R_{FZ} = \frac{T_Q}{C}$ 估算。

(2) 阈值可控的压控振荡器

现介绍一种双向积分补偿方法。若图 1-3

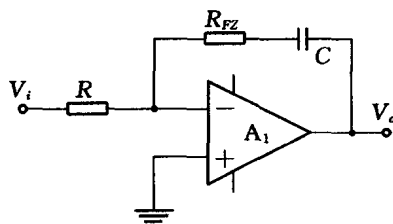


图 1-3 改进后的积分

中积分电容不是按指数规律放电,而是在某一确定规律的控制下进行放电,并且使比较器的阈值电平与输入电平有着某种线性关系。这样电容放电时间 T_Q 引起的非线性就可以得到消除。图 1-4 是这种电路的原理图,称为阈值可控的压控振荡器。

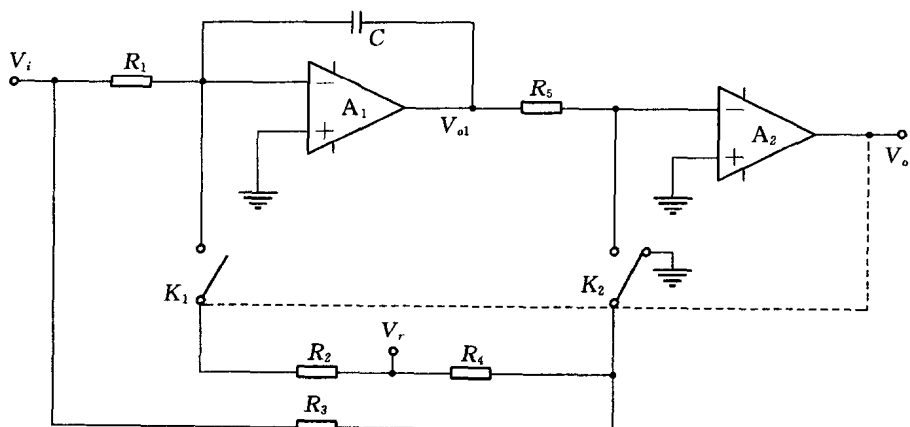


图 1-4 阈值可控的压控振荡器

图 1-4 中运算放大器 A_1 构成积分器,运算放大器 A_2 构成比较器。为了说明电路的工作原理,设初始时刻开关 K_1 和 K_2 断开,正的输入电压 V_i 使积分器输出 V_{o1} 为一个负向的斜坡电压(负向积分),当它降到零电平时,比较器 A_2 被触发,输出 V_o 为一负电位,并且使 K_1 和 K_2 闭合。 V_r 经 R_2 和 R_4 加到 A_1 和 A_2 的输入端, V_i 也经 R_3 加到 A_2 的输入端,使 V_{o1} 变为正向斜坡电压(正向积分)。同时, V_{o1} 、 V_r 和 V_i 分别以 R_5 、 R_4 和 R_3 在运算放大器 A_2 的同相端进行加权比较。当 V_{o1} 上升到某一电压 V_{o2} 时,比较器翻转, V_o 变为正电压。这时开关 K_1 和 K_2 又重新断开,电路恢复到初始状态。上述工作过程将不断重复下去。如果 T_{OFF} 为 K_1 和 K_2 断开时积分器正向积分所需的时间, T_{ON} 为 K_1 和 K_2 闭合时积分器负向积分所需的时间,根据分析在一个工作周期内有

$$T_{OFF} = \frac{V_{o2}RC}{V_i}$$

$$T_{ON} = \frac{V_{o2}C}{\frac{V_i}{R_1} - \frac{V_r}{R_2}} \quad (1-5)$$

$$\frac{V_{o2}}{R_5} - \frac{V_r}{R_4} + \frac{V_i}{R_3} = 0$$