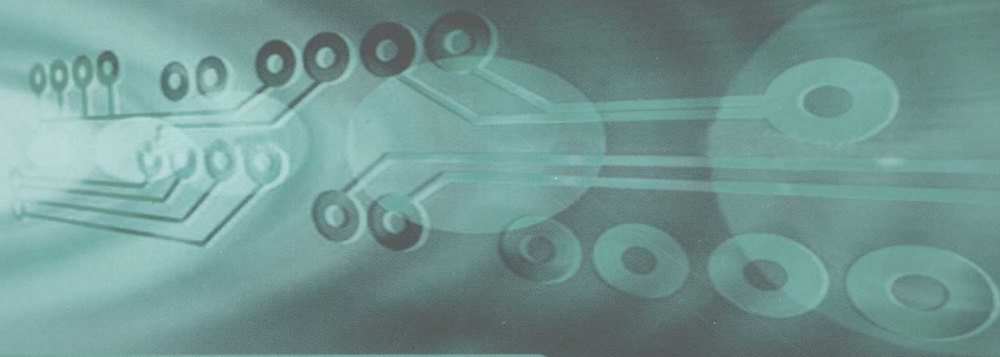


全国高等职业教育电类专业研究会审定教材

 高职电类精品课程规划教材

电子仪器与测量技术



DIANZI YIQI YU CELIANG JISHU

主 编 王 川 陈传军

副主编 何正宏



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

中国高等院校计算机专业系列教材·电子信息类课程教材

教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会

电子仪器与测量技术

王 强 王 强 王 强 王 强 王 强 王 强 王 强 王 强 王 强 王 强

清华大学出版社

主 编 王 强 副主编

编 委 王 强 王 强

清华大学出版社

全国高等职业教育电类专业研究会审定教材

高职电类精品课程规划教材

电子仪器与测量技术

主 编 王 川 陈传军

副主编 何正宏

2. 数字修约规则

“四舍六入五留双”。

具体的做法是,当尾数 ≤ 4 时将其舍去,尾数 ≥ 5 时进位。当尾数为5时,若尾数前一位为奇数就进位,前方为偶数则舍去。

进位时,必须向前进一位,无论前方是奇数还是偶数。

0.536 64 $\rightarrow$ 0.537 0 0.583 46 $\rightarrow$ 0.583 5

27.185 0 $\rightarrow$ 27.18 11.555 5 $\rightarrow$ 11.56

必须注意,进行数字修约时只能一次修约到指定的位数,不能分步修约,以免产生错误的结果。

例 8-1 将下列各数修约到 0.5 的倍数。

解 数字的位数。

该表 100 V 量程的准确度为 0.5%。

该表测量实际值在 44.0 V 左右,测量结果应修约到 0.5 V。

修约后的测量结果应表示为 44.0 V。

修约后的测量结果应表示为 44.0 V。

修约后的测量结果应表示为 44.0 V。

修约后的测量结果应表示为 44.0 V。

北京邮电大学出版社

定价: 22.00 元

· 本书可作为高职高专院校电类专业教材,也可供从事电子测量工作的工程技术人员参考。

本书讨论了电子测量的基本知识。

(1) 简要介绍了电子测量的意义、内容、特点等。

内 容 简 介

本书主要介绍了通用电子测量仪器的基本工作原理、技术指标、面板装置及操作原理与应用。内容包括:信号发生器、电子计数器、电子电压表、电子示波器、扫频测量仪器、元器件参数测量、虚拟仪器、电子测量方法及数据处理。

本书既可作为高职高专院校电子信息类教材,也可作为电子工程技术人员及电子爱好者的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子仪器与测量技术/王川,陈传军主编. —北京:北京邮电大学出版社,2008
ISBN 978-7-5635-1594-3

I. 电… II. ①王…②陈… III. 电子仪器—电气测量 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 186526 号

书 名: 电子仪器与测量技术

作 者: 王 川 陈传军

责任编辑: 王晓丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.25

字 数: 334 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1594-3

定 价: 22.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

高职电类精品课程规划教材

编审委员会

- 主 任 高 林(北京联合大学副校长)
- 副 主 任 鲁宇红(金陵科技学院副院长)
- 鲍 泓(北京联合大学信息学院院长)
- 孙建京(北京联合大学自动化学院院长)
- 郁建中(金陵科技学院信息技术学院副院长)
- 华永平(南京信息职业技术学院电子信息系主任)
- 杜庆波(南京信息职业技术学院通信工程系主任)
- 黄伟文(宁波职业技术学院华建信息学院副院长)
- 刘连青(北京信息职业技术学院电子工程系主任)
- 朱运利(北京电子科技职业学院工程系主任)
- 刘 威(北京电子科技职业学院电信系主任)
- 姚建永(武汉职业技术学院电信学院院长)
- 章 讯(长江职业学院工学院院长)
- 吕玉明(天津电子信息职业技术学院电子系主任)
- 丁学恭(杭州职业技术学院机电工程系主任)
- 韩春光(宁波大红鹰职业技术学院应用电子系主任)
- 李锦伟(浙江交通职业技术学院信息与管理系主任)
- 倪 勇(浙江机电职业技术学院电子信息工程系主任)
- 龚赤兵(广东水利电力职业技术学院计算机系副主任)
- 朱祥贤(淮安信息职业技术学院信息通信系主任)

委 员 (排名不分先后)

陈传军	许学梅	吴志荣	楼晓春	刘大会
黄一平	王 川	石建华	万少华	冯友谊
何正宏	陈 卉	王建生	任力颖	卢孟夏
李红星	张益农	李 媛	钱琳琳	李永霞
白桂银	马靖宇	杨 菁	齐连运	杨 帆

执行编委 王志宇

高职电类精品课程规划教材

参编院校

北京联合大学

东北电力大学

宁波职业技术学院

北京电子科技职业学院

长江职业学院

天津电子信息职业技术学院

宁波大红鹰职业技术学院

浙江机电职业技术学院

江西九江职业技术学院

常州信息职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

武汉交通职业技术学院

南京交通职业技术学院

金陵科技学院

南京信息职业技术学院

北京信息职业技术学院

武汉职业技术学院

湖北交通职业技术学院

杭州职业技术学院

浙江交通职业技术学院

浙江工商职业技术学院

广东水利电力职业技术学院

淮安信息职业技术学院

沈阳职业技术学院

武汉船舶职业技术学院

南京正德职业技术学院

前 言

在电子工程技术中,电子测量是重要的技术手段,而电子测量仪器是必不可少的工具。对于从事电子工程技术的工程人员来说,电子测量技术是必备的基本技能。电子测量技术是电子通信类的专业基础课程。本书以介绍电子测量仪器为主,讲解其基本工作原理、结构原理、操作原理及应用;同时也简要介绍了测量方法、误差及数据处理。用方框图讲解其工作原理和结构原理,结合具体仪器实例来介绍操作原理及应用,以体现理论联系实际,突出课程的实践性。在编写过程中,对测量原理力求深入浅出、通俗易懂、便于自学,突出基本概念;对测量仪器仪表讲清工作原理框图,不过多涉及单元内部具体电路,突出功能、操作使用;对必要的数学推导简明扼要、结论明确,便于读者掌握。为教和学的方便,本书各章开头给出学习要点,各章后配有小结和思考与练习题。

全书共分为8章,第1~6章分别介绍了信号发生器、电子计数器、电子电压表、电子示波器、扫频仪、频谱仪、阻抗测量仪等电子仪器的原理、结构、技术指标、面板装置及操作应用;第7章介绍了现代电子测量新技术——虚拟仪器的基本概念、组成原理及应用;第8章简要介绍了电子测量的基本概念、测量误差来源及数据处理方法。

本教材参考学时为70学时。

本书第1、8章;第2章;第3、6章;第4、5章;第7章分别由武汉职业技术学院的王川、朱婷、杨杰、何正宏、胡璞编写。全书由王川统稿并做技术处理,南京金陵科技学院电信系主任陈传军教授审阅了全书并编写了部分章节。

在编写过程中,得到了武汉职业技术学院电信工程学院姚建永院长的大力支持,并对编写大纲进行了审阅。南京金陵科技学院、宁波职业技术学院、杭州职业技术学院、南京信息职业技术学院、北京信息职业技术学院、长江职业学院、北京联合大学、广东水利电力职业技术学院、北京电子科技职业学院、浙江机电职业技术学院、浙江交通职业技术学院、淮安信息职业技术学院及兄弟院校的老教师们提出了许多宝贵意见,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在不足和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年11月

目 录

第 1 章 信号发生器

1.1 低频信号发生器	1
1.1.1 低频信号发生器的工作原理	2
1.1.2 低频信号发生器的主要性能指标与要求	6
1.1.3 低频信号发生器的使用	7
1.2 高频信号发生器	10
1.2.1 基本组成和工作原理	11
1.2.2 高频信号发生器应用	12
1.3 函数信号发生器	14
1.3.1 函数信号发生器工作原理	14
1.3.2 函数信号发生器(EE1641B 型)应用	15
1.4 合成信号发生器	21
1.4.1 直接合成法	21
1.4.2 间接合成法	22
本章小结	23
思考与练习题	24

第 2 章 电子计数器

2.1 电子计数器概述	25
2.1.1 电子计数器的分类	25
2.1.2 电子计数器的基本组成	26
2.1.3 电子计数的主要技术指标	27
2.2 通用电子计数器	27
2.2.1 测量频率	27
2.2.2 测量周期	28
2.2.3 测量频率比	29
2.2.4 累加计数	30
2.2.5 测量时间间隔	30

2.2.6 自检(自校).....	31
2.3 电子计数器的测量误差.....	32
2.3.1 测量误差的来源.....	32
2.3.2 测量误差的分析.....	34
2.3.3 频率扩展技术.....	34
2.4 通用计数器实例.....	35
2.4.1 NFC-100 型多功能电子计数器	35
2.4.2 其他常用型多功能电子计数器.....	37
本章小结	39
思考与练习题	40

第3章 电子电压表

3.1 概述.....	41
3.1.1 电压测量对仪表的要求.....	41
3.1.2 常用的电压测量仪器.....	42
3.2 模拟电子电压表.....	42
3.2.1 简单模拟交流电压表.....	43
3.2.2 模拟电子电压表.....	43
3.2.3 电子电压表的工作原理.....	43
3.2.4 电子电压表的检波器.....	45
3.2.5 典型产品介绍.....	48
3.3 电压表的波形误差.....	51
3.3.1 均值电压表的定度系数和波形误差.....	53
3.3.2 峰值电压表的定度系数和波形误差.....	54
3.3.3 有效值电压表的定度系数和波形误差.....	54
3.3.4 三种电子电压表的比较.....	55
3.4 数字电压表.....	55
3.4.1 数字电压表的主要技术指标.....	56
3.4.2 数字电压表的工作原理.....	57
3.4.3 典型产品介绍.....	60
3.5 数字万用表.....	62
3.5.1 数字万用表的特点.....	62
3.5.2 数字万用表的基本组成.....	62
3.5.3 数字万用表的测量电路.....	63
3.5.4 典型产品的介绍.....	64
3.6 电压的测量.....	66
3.6.1 直流电压的测量.....	66

3.6.2	交流电压的测量	68
3.6.3	电平测量	69
3.6.4	噪声的测量	69
3.6.5	电压测量中的几个问题	70
	本章小结	71
	思考与练习题	71
第4章 电子示波器		
4.1	波形的显示和观测	73
4.1.1	波形观测的基本操作方法	73
4.1.2	示波管的特性	75
4.1.3	波形的形成过程	78
4.1.4	脉冲波形的观察方法	82
4.2	通用示波器的组成与控制键	84
4.2.1	通用示波器的组成	84
4.2.2	垂直通道及控制键	86
4.2.3	水平通道及控制键	87
4.2.4	示波器的技术指标及其作用	90
4.3	两个波形的同屏显示	93
4.3.1	双踪显示原理	93
4.3.2	双扫描显示原理	96
4.4	波形参数的测量	99
4.4.1	测量前的自检	99
4.4.2	电压的测量	101
4.4.3	时间的测量	103
4.4.4	相位差的测量	104
4.4.5	调幅系数测量	105
4.4.6	运用李沙育图形法的测量	106
4.5	取样示波器	107
4.5.1	取样示波器的基本原理	107
4.5.2	取样示波器的基本组成	108
4.5.3	取样示波器的主要参数	109
4.6	数字存储示波器	110
4.6.1	数字存储示波器的原理	110
4.6.2	YB54100 示波器的性能简介	112
4.6.3	YB54100 示波器的使用	115
	本章小结	116

思考与练习题	117
--------	-----

第5章 扫频测量仪器

5.1 频率特性的测量	122
5.1.1 静态幅频特性曲线及其测量	122
5.1.2 动态幅频特性的图示方法	123
5.1.3 扫频测量的信号源	126
5.2 频率特性测试仪组成与控制键	128
5.2.1 频率特性测试仪的基本组成	128
5.2.2 频标信号产生电路	130
5.2.3 BT3C 扫频仪的控制键	131
5.3 扫频仪的使用	133
5.3.1 扫频仪的自检	133
5.3.2 增益的测量	135
5.3.3 通频带的测量	136
5.4 数字频率特性测试仪	137
5.4.1 数字频率特性测试仪的工作原理	137
5.4.2 SA1030 的使用方法	138
5.5 频谱仪的使用原理	140
5.5.1 通用频谱分析仪的基本功能	140
5.5.2 通用频谱分析仪的基本应用	142
5.5.3 其他类型的频谱分析仪	148
本章小结	150
思考与练习题	150

第6章 元器件参数的测量

6.1 电桥法测量 R 、 L 、 C	151
6.1.1 电桥的平衡条件	151
6.1.2 直流电桥与交流电桥	152
6.1.3 电阻的参数测量	154
6.1.4 电容的参数测量	157
6.1.5 电感的参数测量	160
6.2 谐振法测元件参数的基本原理	162
6.2.1 电容量的测试	162
6.2.2 电感量的测试	164
6.2.3 品质因数(Q 值)的测试	164
6.2.4 Q 表及其使用	165

6.3 阻抗的数字化测量方法	172
6.3.1 电感-电压($L-U$)变换器	173
6.3.2 电容-电压($C-U$)变换器	174
本章小结	174
思考与练习题	175

第7章 虚拟仪器技术

7.1 概述	176
7.1.1 什么是虚拟仪器	176
7.1.2 虚拟仪器的特点	177
7.2 虚拟仪器组成	178
7.2.1 虚拟仪器系统的构成	178
7.2.2 虚拟仪器的基本功能	179
7.2.3 虚拟仪器的基本工作原理	180
7.3 LabVIEW 软件环境简介	180
7.3.1 前面板工具条	181
7.3.2 程序框图工具条	181
7.3.3 工具模板	182
7.3.4 控制模板	182
7.3.5 函数模板	184
7.3.6 右键菜单	185
7.4 虚拟仪器实例	187
7.4.1 虚拟温度测量仪	187
7.4.2 成绩评语栏	191
7.4.3 虚拟正弦波仿真信号生成器	193
7.4.4 相关法测相位差仿真仪	195
7.4.5 模拟自相关滤波器	197
7.4.6 电机调速与测速	200
7.4.7 温度测量	202
本章小结	204
思考与练习题	204

第8章 电子测量方法及数据处理

8.1 电子测量的一般方法	205
8.1.1 按测量方法分类	205
8.1.2 按被测信号的性质分类	206
8.1.3 选择测量方法的原则	206

8.2 电子测量仪器的分类与技术指标	207
8.2.1 电子测量仪器的分类	207
8.2.2 电子测量仪器的主要技术指标	208
8.3 测量误差	209
8.3.1 测量误差的表示方法	209
8.3.2 误差的来源	211
8.3.3 误差的分类	211
8.4 测量结果的表示及有效数字的处理	212
8.4.1 测量结果的表示	212
8.4.2 有效数字的处理	212
本章小结	213
思考与练习题	214

信号发生器

【本章要点】

- 信号发生器的工作原理
- 信号发生器的性能指标
- 信号发生器的使用方法及应用

信号发生器又称信号源。在进行电路及电子设备的电参数测量时,信号发生器是必不可少的电子测量仪器,它可以产生不同频率、幅度和波形的各种供测试信号,如正弦波、方波、三角波、锯齿波、脉冲波、调幅波和调频波等信号。信号发生器广泛应用于实验、试验、检测、测试等方面。

凡是产生测试信号的仪器,统称为信号发生器,它用于产生被测电路所需特定参数的电测试信号。信号发生器的种类繁多,通常按工作频率和波形分为超低频信号发生器、低频信号发生器、高频信号发生器、超高频信号发生器,以及函数信号发生器、脉冲信号发生器等。随着现代电子测量仪器的发展,信号发生器正向着多功能、数字化、自动化的方向发展。

在测试、研究或调整电子电路及设备时,为测定电路的一些电参量(如测量频率响应、噪声系数,为电压表定度等),都要求提供符合所定技术条件的电信号,以模拟在实际工作中使用的待测设备的激励信号。当要求进行系统的稳态特性测量时,需使用振幅、频率已知的正弦信号源。当测试系统的瞬态特性时,又需使用前沿时间、脉冲宽度和重复周期已知的矩形脉冲源,并且要求信号源输出信号的参数(如频率、波形、输出电压或功率等)能在一定范围内进行精确调整,有很好的稳定性,有输出指示。

信号源可以根据输出波形的不同,划分为正弦波信号发生器、矩形脉冲信号发生器、函数信号发生器和随机信号发生器等四大类。正弦信号是使用最广泛的测试信号。这是因为产生正弦信号的方法比较简单,而且用正弦信号测量比较方便。正弦信号源又可以根据工作频率范围的不同划分为若干种。

1.1 低频信号发生器

低频信号发生器用来产生频率为 $1\text{ Hz}\sim 1\text{ MHz}$ 的正弦信号。除具有电压输出外,有的还有功率输出,所以用途十分广泛,可用于测试或检修各种电子仪器设备中的低频放大



器的频率特性、增益、通频带,也可用做高频信号发生器的外调制信号源。另外,在校准电子电压表时,它可提供交流信号电压。

1.1.1 低频信号发生器的工作原理

1. 低频信号发生器的原理方框图

低频信号发生器的原理方框图如图 1-1 所示,包括主振级、主振输出调节电位器、电压放大器、输出衰减器、功率放大器、阻抗变换器(输出变压器)和指示电压表。

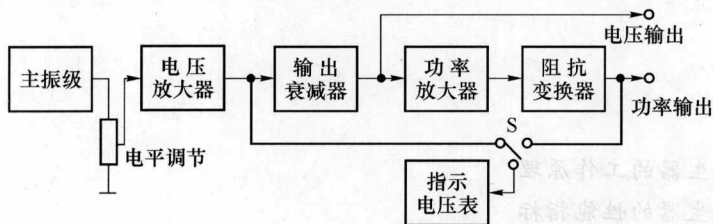


图 1-1 低频信号发生器原理方框图

主振级产生低频正弦振荡信号,经电压放大器放大,达到电压输出幅度的要求,经输出衰减器可直接输出电压,用主振输出调节电位器调节输出电压的大小。电压输出端的负载能力很弱,只能供给电压,故为电压输出。振荡信号再经功率放大器放大后,才能输出较大的功率。阻抗变换器用来匹配不同的负载阻抗,以便获得最大的功率输出。电压表通过开关换接,测量输出电压或输出功率。

2. 低频信号发生器的主振电路

低频信号发生器的主振级几乎都采用 RC 桥式振荡电路。这种振荡器的频率调节方便,调节范围也较宽。

RC 桥式振荡器是一种反馈式振荡器,其原理电路如图 1-2 所示。 T_1 、 T_2 构成同相

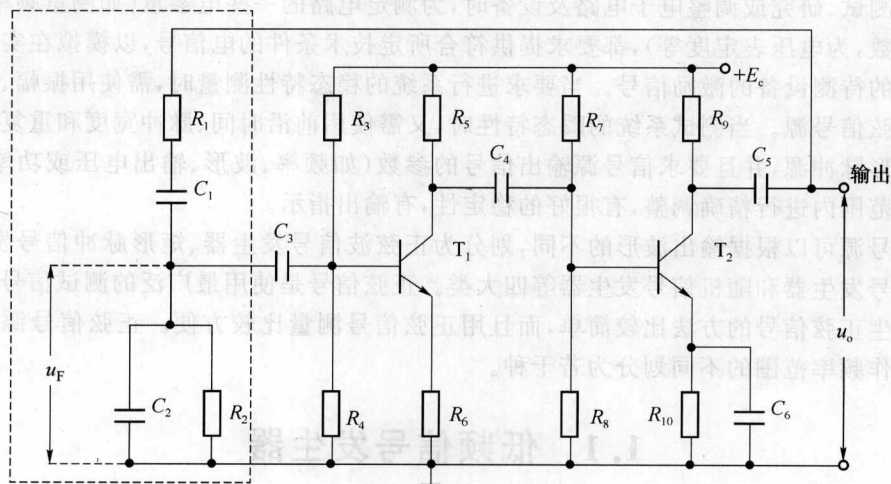


图 1-2 RC 桥式振荡器

放大器, R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 为选频网络。选频网络的反馈系数 $\dot{F} = \frac{\dot{u}_F}{\dot{u}_o}$ 与频率有关 ($\dot{u}_F$ 为反馈电压, $\dot{u}_o$ 为放大器输出电压)。因此, 反馈网络具有选频特性, 使得只有某一频率满足振荡的两个基本条件, 即振幅和相位平衡条件。

选频网络是一个 RC 串并联反馈电路, 其电路及频率特性如图 1-3(a)、(b) 所示。当频率很低接近零时, C_1 、 C_2 的容抗趋向无穷大, $\dot{u}_o$ 几乎全部降落在 C_1 上, $\dot{u}_F$ 与 $\dot{F}$ 近似为零, 流过 R_2 的电流也就是流过 C_1 的电流, $\dot{u}_F = \dot{i}_{C_1} R_2$, 而 $\dot{i}_{C_1}$ 主要由 C_1 来决定, 故 $\dot{i}_{C_1}$ 相位超前 $\dot{u}_o$ 90° , 所以 $\dot{u}_F$ 相位也超前 $\dot{u}_o$ 90° 。随着频率逐渐升高, C_1 的容抗逐渐减小, 因此 C_1 上的压降减小, R_2 上的分压则逐渐增加, $\dot{u}_F$ 与 $\dot{F}$ 亦逐渐增大, 选频网络所引起的相移 Ψ 也逐渐变小。

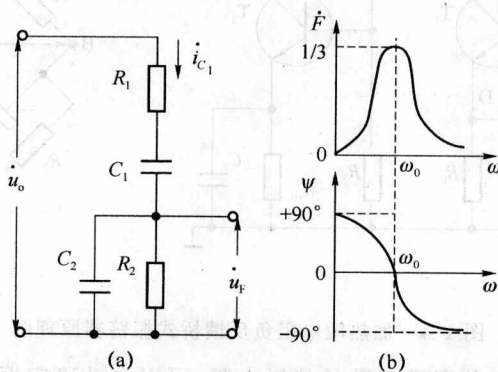


图 1-3 RC 选频网络频率特性

当频率很高趋向无穷大时, C_1 和 C_2 的容抗都很小, C_1 是串联于回路中, 它与 R_1 相比可以忽略, C_2 是与 R_2 并联, 由于 C_2 的容抗很小, 所以 $\dot{u}_F$ 与 $\dot{F}$ 很小, $\dot{u}_F$ 为 $\dot{i}_{R_1}$ 在 C_2 上的降压, $\dot{i}_{R_1}$ 与 $\dot{u}_o$ 同相, 所以 $\dot{u}_F$ 近似落后于 $\dot{u}_o$ 90° 。随着频率逐渐降低, $\dot{u}_F$ 和 $\dot{F}$ 也随着增大, 相角 Ψ 也逐渐减小。当 $\omega = \omega_0$ 时, $\dot{u}_F$ 和 $\dot{F}$ 达到最大, 相移 $\Psi = 0$ 。

由于 RC 串并网络对不同频率的信号具有上述选频特性, 因此, 当它与放大器组成正反馈放大器时, 就有可能使 $\omega = 1/RC$ 的频率满足振幅和相位条件, 从而得到单一频率的正弦振荡。如图 1-2 所示, T_1 、 T_2 组成两级阻容耦合放大器, 其频率特性很宽, 可以把放大倍数 A 看成常数, 每级放大器倒相 180° , 两级放大器共产生 360° 的相移, 为同相放大。在 $\omega = \omega_0 = 1/RC$ 时, $\Psi = 0$, 满足相位平衡条件。只要放大器总放大倍数 $A \geq 3$, 则 $A_F \geq 1$, 即可满足振幅平衡条件。因此, 在频率为 ω_0 时满足振幅、相位条件而产生振荡, 对于其他频率, 由于 RC 网络相移不为零, 且振幅传输系数很快下降, 所以其他任何频率都不可能形成振荡。

在实际的 RC 桥式振荡电路中, 由于两级放大器的放大倍数很大 (远大于 3), 正反馈信号很强, 使振荡幅度不断增长, 直到增长到晶体管输出特性的非线性区域, 放大倍数降低, 振荡才能稳定。这样, 振荡信号很强, 一方面使波形失真严重, 另一方面可能使晶体管过载。因此放大器需加入很深的负反馈, 使放大倍数降为 3 左右, 其电路如图 1-4(a) 所



示。 R_i 、 R_o 为负反馈支路,它与正反馈支路组成一个电桥,即文氏电桥。如图 1-4(b)所示,4 个桥臂中 AB 和 BC 两个桥臂是由正反馈选频网络构成,另外两个桥臂 AD 和 DC 则是由放大器负反馈网络 R_i 和 R_o 构成。电桥的两个端点 A、C 接到放大器的输出端,引回输出电压 u_o ,电桥的另外两个端点 B、D 接到放大器输入级 T_1 的基极和发射极,以供给放大器的输入信号 u_i 。这种振荡器又称为文氏电桥振荡器。

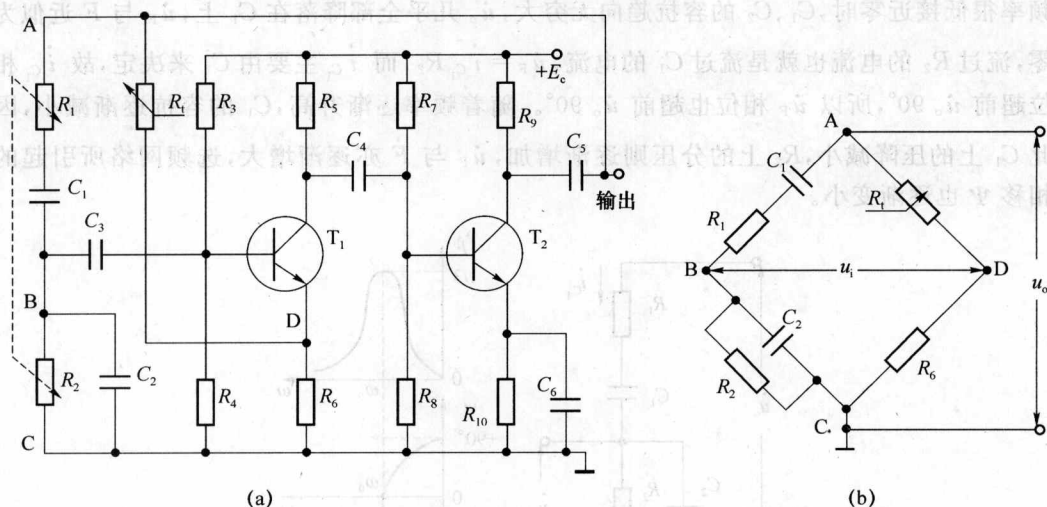


图 1-4 加热敏电阻负反馈桥式振荡器原理图

反馈电阻 R_i 是具有负温度系数的热敏电阻,可以自动稳定振荡幅度。当振荡输出电压幅度增大时,通过 R_i 电流加大,引起 R_i 温度升高, R_i 阻值减小,使负反馈增强,振荡器输出电压幅度的增大受到抑制。此外,振荡器开始起振时,热敏电阻 R_i 的阻值较大,负反馈较弱,整个振荡器也比较容易起振。这样,不再利用晶体管的非线性特性来限制振幅,使放大器可以工作在线性区,从而减小了振荡器的波形失真。

文氏电桥振荡器的优点是稳定度高、非线性失真小、正弦波形好,因此在低频信号发生器中获得广泛的应用。

3. 低频信号发生器的放大电路

放大电路包括电压放大器和功率放大器,简述如下。

(1) 电压放大器

主振级中的电压放大器,应能满足振荡器的幅度和相位平衡条件。 RC 桥式振荡器中的电压放大器应是同相放大器。

缓冲放大器主要用于阻抗变换。在低频信号发生器中,主振信号通常首先经过缓冲放大器,然后再输入给电压放大器或输出衰减器,使衰减器阻抗变化或电压放大器输入阻抗变化时,不影响主振级的工作。

一般电压放大器的方框图如图 1-1 所示。为了使主振输出调节电位器的阻值变化不影响电压放大倍数,要求电压放大器的输入阻抗较高。低频信号发生器的工作频率范围较宽,要求电压放大器的通频带亦宽,并且波形失真小,工作稳定。电压放大器的后级是输出衰减器和电压指示表,为了在调节输出衰减器时,阻抗变化不影响电压放大器,要求