

中等专业学校教材

电子测量仪器

北京无线电工业学校 魏岫崑 姜邈 编
吴秀珍



天津科学技术出版社

中等专业学校教材

电子测量仪器

北 京 魏岫崑
无线电工业学校 姜 逸 编
吴秀珍

天津科学技术出版社

内 容 提 要

全书共四篇。第一篇信号发生器,介绍低频、高频、脉冲、合成、函数等类信号发生器;第二篇 CRT 显示仪器,介绍通用示波器、取样示波器、扫频仪、晶体管特性图示仪和频谱分析仪等;第三篇数字式仪器,介绍电子计数器、直流数字电压表和数字多用表等;第四篇智能仪器与自动测试系统,简要介绍微处理器在智能仪器中的应用和自动测试系统的基本知识。全书以三大类通用电子仪器为主干,论述仪器的工作原理和专用电路,并选择典型仪器整机电路进行分析,着重阐明物理概念,并辅以必要的计算和数据。

本书为中等专业学校无线电技术专业通用教材,也可供高等学校电子测量类专业师生及从事生产和使用电子仪器工作的技术人员参考。

津新登字(90)003号

中等专业学校教材

电子测量仪器

北 京 魏岫崑
无线电工业学校 姜 蕙 编
吴秀珍

责任编辑:乐 琳

*

天津科学技术出版社出版

天津市紫竹林189号 邮编300020

河北省滦县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张24.5 字数598 000

1985年3月第1版

1995年12月第9次印刷

印数: 85 351—71 580

ISBN 7-5308-0341-7

G·71 定价: 15.50元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材159种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》、中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共217种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由中等专业学校电子类专业教材编审委员会无线电技术编审小组审定，并推荐出版。

本教材由北京无线电工业学校魏岫崑担任主编，天津大学刘鸿铨担任主审。编审者都是依据无线电技术编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

使用本教材的参考教学时数为150小时。本教材的主要内容是以信号发生器、CRT显示仪器和数字式仪器等三类通用电子测量仪器为主干，讲述各类仪器的工作原理和专用电路，并选择典型仪器为例，进行整机电路剖析，教材另设一篇《智能仪器与自动测试系统》，扼要介绍微处理器在电子仪器中的应用，和有关自动测试系统的基本知识，以便使学生对这项新技术有一个概括的了解。为适应中专的教学特点，在分析问题时着重阐明物理概念，并辅以必要的计算和数据。使用本教材时，各校可根据具体情况，开设有关电子仪器的原理和使用等方面的实验，或进行演示，以加深学生的感性认识。

本教材由吴秀珍编写1~4章及附录，姜邈编写5~10章，魏岫崑编写11~15章，尹立俊和徐东华绘制插图，魏岫崑统编全稿。在编写过程中刘鸿铨老师对本书提出许多宝贵的建设性意见，北京无线电工业学校二专科的许多同志给本书的编写以很大支持，这里，一并表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中定会存在不少缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 信号发生器

引言	(1)
第一章 低频信号发生器	(2)
✓ §1-1 概述	(2)
§1-2 低频信号发生器的基本电路	(2)
§1-3 XD-1型低频信号发生器电路分析	(9)
复习题	(27)
第二章 高频信号发生器	(28)
✓ §2-1 概述	(28)
§2-2 高频信号发生器基本电路	(29)
§2-3 XB-46型标准信号发生器电路分析	(39)
复习题	(44)
第三章 合成信号发生器	(45)
§3-1 概述	(45)
§3-2 频率合成的基本原理	(45)
§3-3 PO-12型频率合成信号发生器简介	(51)
复习题	(58)
第四章 函数信号发生器	(59)
§4-1 概述	(59)
§4-2 函数信号发生器的基本原理	(59)
§4-3 XD-17型宽频带函数信号发生器简介	(65)
复习题	(66)
第五章 脉冲信号发生器	(67)
§5-1 概述	(67)
§5-2 基本电路原理	(68)
§5-3 XC-15型脉冲信号发生器电路分析	(76)
复习题	(90)

第二篇 CRT显示仪器

引言	(91)
第六章 通用示波器	(92)
✓ §6-1 概述	(92)
§6-2 主机	(100)
§6-3 垂直偏转系统(Y系统)	(103)

§6-4 水平偏转系统.....	(112)
§6-5 双踪宽带示波器电路分析举例.....	(129)
复习题.....	(143)
第七章 取样示波器.....	(144)
✓ §7-1 概述.....	(144)
§7-2 垂直系统.....	(146)
§7-3 水平系统.....	(152)
复习题.....	(159)
第八章 频率特性测试仪.....	(160)
✓ §8-1 概述.....	(160)
§8-2 扫频仪基本原理.....	(160)
§8-3 BT-3型扫频仪电路分析.....	(168)
复习题.....	(178)
第九章 晶体管特性图示仪.....	(179)
§9-1 概述.....	(179)
§9-2 图示仪的基本原理.....	(179)
§9-3 QT-2型图示仪电路分析.....	(190)
复习题.....	(202)
第十章 频谱分析仪.....	(203)
§10-1 概述.....	(203)
§10-2 频谱仪工作原理.....	(205)
§10-3 BP-1型高频频谱分析仪电路分析.....	(207)
复习题.....	(214)

第三篇 数字式测量仪器

引言.....	(215)
第十一章 电子计数器.....	(216)
✓ §11-1 概述.....	(216)
§11-2 电子计数器的基本工作原理.....	(218)
§11-3 电子计数器的测量误差.....	(223)
§11-4 电子计数器的功能扩展.....	(228)
§11-5 数字显示器及其驱动电路.....	(232)
§11-6 E312型及E312-A型电子计数器电路分析.....	(243)
复习题.....	(263)
第十二章 直流数字电压表.....	(265)
✓ §12-1 概述.....	(265)
§12-2 数字-模拟转换(D/A).....	(268)
§12-3 模拟-数字转换(A/D).....	(274)
§12-4 数字电压表的抗干扰.....	(291)

§12-5 DS-14-1型数字电压表电路分析	(296)
复习题	(327)
第十三章 数字多用表	(329)
§13-1 交流电压-直流电压转换	(329)
§13-2 电流-电压转换	(335)
§13-3 电阻-电压转换	(336)
§13-4 普及型数字电压表	(338)
复习题	(348)

第四篇 智能仪器与自动测试系统

引言	(349)
第十四章 智能仪器	(350)
✓ §14-1 概述	(350)
✓ §14-2 微处理机在智能仪器中的应用	(352)
§14-3 HG-1850型微处理电压表介绍	(358)
复习题	(365)
第十五章 自动测试系统	(367)
✓ §15-1 概述	(367)
✓ §15-2 标准接口系统	(368)
§15-3 自动测试系统举例	(373)
复习题	(374)
附录	(375)

第一篇 信号发生器

引 言

信号发生器是在电子测量中提供符合一定技术要求的电信号的仪器。可以用它测量元、器件的参数或测量无线电设备的幅、频特性。

信号发生器用途广泛，种类甚多。按用途分通用和专用两大类；按输出波形分正弦、脉冲、函数信号发生器；按工作频率分超低频、低频、视频、高频、超高频信号发生器；按调制方式分调频、调幅、调相、脉冲调制等各种信号发生器。

信号发生器的工作特性可以用以下指标概括描述：

1. 频率特性

各项指标均能得到保证的输出频率范围称为信号发生器的有效频率范围。频率准确度是指频率实际值对其标称值（刻度或标度）的相对偏差。频率稳定度是在一定时间间隔内，频率源的频率准确度的变化，它表征频率源维持工作于恒定频率的能力。对频率稳定度的描述往往引入时间概念，因此有长期、短期、瞬间频率稳定度之分。

2. 输出特性

信号发生器的输出阻抗视不同类型的信号发生器而异。低频信号发生器中一般有匹配变压器，故有 50Ω 、 600Ω 、 $5k\Omega$ 等各种不同输出阻抗；高频信号发生器一般只有 50Ω （或 75Ω ）一种输出阻抗。输出电平是表征信号发生器所能提供的最大和最小输出电平调节范围，目前正弦信号发生器输出信号幅度采用正弦有效值（如V、mV或 μV ）度量或用绝对电平（dBm、dB）度量。

3. 调制特性

在高频振荡中，振幅 A 、角频率 ω_0 和初相角 φ_0 的三个基本参数中的某一个按照所需传递信息规律而变化的过程称为调制，因此可分为调幅、调频和调相。高频信号发生器中调幅的固定调制频率一般为 400Hz 、或 1000Hz 。调制系数表示高频电压振幅受调制信号控制所改变的程度，一般信号发生器调幅系数为 $0\sim 80\%$ 。在调幅过程中，调幅波的包络线应该和调制信号形状一致，否则，调制后会产生非线性失真，对于信号发生器而言，一般要求调制线性度在 $(1\sim 5)\%$ 的范围内。

4. 波形特性

信号发生器的输出波形，有正弦波、脉冲波、三角波等，一般除考虑输出波形的频率、幅度以外，在正弦波输出时还必须考虑其失真度，标准信号发生器输出失真度为 $(0.1\sim 0.5)\%$ ；普通信号发生器输出失真度为 $(1\sim 5)\%$ 。当脉冲波输出时，还必须考虑脉冲宽度、上升时间、下降时间、上冲、下冲等指标，在三角波输出时，还必须考虑三角波的线性偏差。

本篇着重介绍应用最广泛，频率范围从低频到高频的通用信号发生器，这仅仅是信号发生器中极少的一部分。

第一章 低频信号发生器

§1-1 概 述

低频信号发生器用来产生频率为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ （或频率范围更宽）的正弦信号。除具有电压输出外，有的还有约几瓦的功率输出，当功率输出时常常配有匹配变压器，用以匹配各种负载阻抗。为了提供仪器本身检测和对外部电压测量，还常常带有电压表。

低频信号发生器用途十分广泛，可用于测量录音机、扩音机等设备以及其他各种设备中的低频放大器的频率特性、增益、通频带等，或者测量扬声器、传声器、滤波器的频率特性。

一般的低频信号发生器的主要性能指标有：工作频率范围为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ （或更宽），连续可调；输出电压为 $0\sim 10\text{V}$ 连续可调；输出功率为 $0.5\sim 5\text{W}$ 连续可调；非线性失真为 $(0.1\sim 1)\%$ ；频率稳定度 $(0.1\sim 0.4)\%/ \text{小时}$ ；频率准确度 $\pm(1\sim 3)\%$ ；输出阻抗一般有 50Ω 、 75Ω 、 600Ω 、 $5\text{k}\Omega$ ；还可以平衡输出与不平衡输出。

低频信号发生器的组成方框图如图1-1-1所示。包括主振器、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。

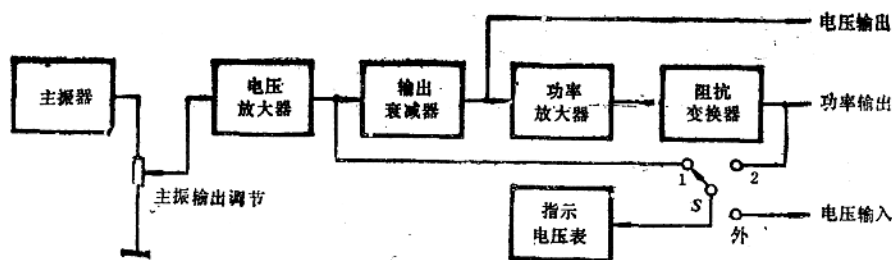


图 1-1-1 低频信号器组成方框图

主振器产生低频正弦信号，经电压放大器放大达到电压输出幅度的要求，并用主振输出调节电位器调节输出电压的大小，此时负载能力很小，只能供给电压，故为电压输出。电压输出信号再经功率放大器放大，则为功率输出。采用输出变压器匹配输出阻抗，获得最大功率输出。指示电压表用开关“S”进行转换，当它置于“1”时，电压表测量输出电压幅度，当它置于“2”时，电压表指示功率输出电压幅度，当它置于“外”时，则对外部信号电压进行测量。

§1-2 低频信号发生器的基本电路

一、主振电路

低频信号发生器的主振电路常有差频式、RC振荡式两类，现简单介绍如下，

1. 差频式低频信号发生器

差频式低频信号发生器方框图如图1-2-1所示。具有固定频率振荡器 f_2 ，可变频率振荡器 f_1 ，当 f_1 由 $f_{\min} \sim f_{\max}$ 变化时，与固定频率 f_2 差频后，可产生 $F_{\min} \sim F_{\max}$ 的低频差频信号，经低通滤波器得到的低频差频信号送至放大器、衰减器即得到所需要的低频信号。

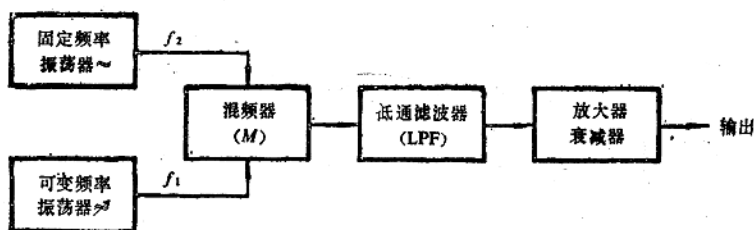


图 1-2-1 差频信号发生器方框图

差频式产生的低频正弦信号频率覆盖范围宽，但由于两个振荡器频率接近时极易产生频率牵引，因此不易得到很低的差频信号，在混频过程中也容易产生交调失真，频率刻度误差亦大。为了克服以上缺点，目前普遍采用RC振荡电路。

2. RC振荡电路信号发生器

RC振荡电路又可分为RC移相振荡器、RC双T振荡器、RC文氏电桥振荡器三种振荡电路。

(1) RC移相振荡器 RC移相振荡器，工作原理如图1-2-2所示。它是利用RC移相网络对某一特定频率 f_0 获得正反馈的晶体管放大器。三节RC移相网络在某一特定频率 f_0 产生 180° 相移，放大器本身由基极输入反馈信号，集电极输出振荡信号，对频率 f_0 的信号电压的放大又产生 180° 相移，只要基极偏置电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 选择合适，使它具有有一定的放大能力，因此就能满足振荡器幅度平衡与相位平衡的要求，即能产生振荡。RC移相网络如图1-2-3所示。图1-2-3(a)为超前移相网络，图1-2-3(b)为滞后移相网络。一节RC电路最大移相不超过 90° ，不能满足振荡条件，二节RC电路的最大移相可达 180° ，但当 $\omega \ll \omega_c$ 时，超前移相电路中 $\frac{1}{\omega C} \gg R$ ，当 ω 愈低， U_2 的输出幅度愈小，当 ω 趋近于零时， φ 相移接近 90° ，但 U_2

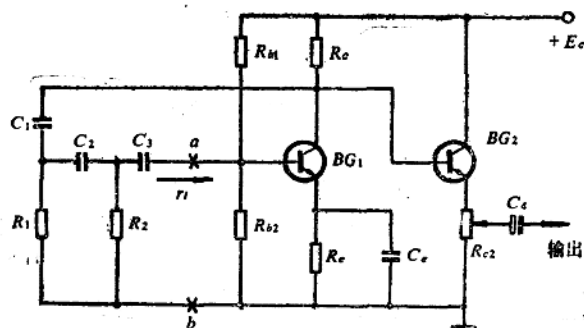
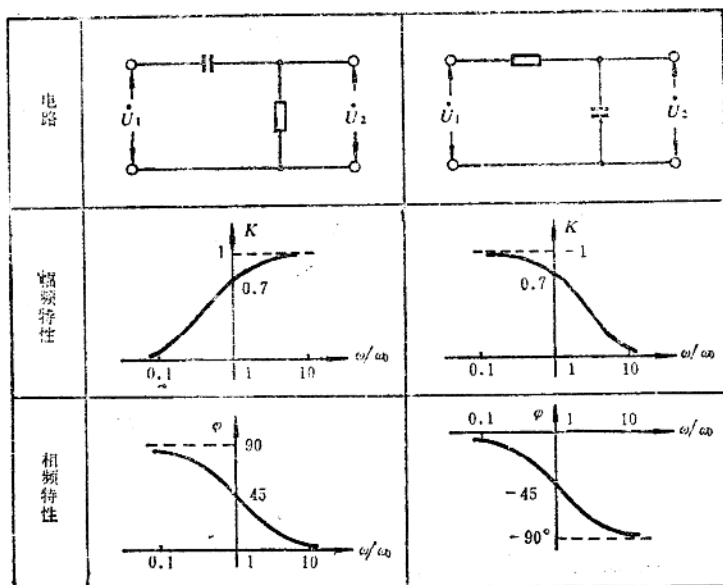


图 1-2-2 RC移相振荡器



(a) 超前移相网络

(b) 滞后移相网络

图 1-2-3 RC移相网络幅频、相频特性

输出幅度趋近于零。同样，当 $\omega \gg \omega_0$ 时，滞后移相电路中， $\frac{1}{\omega C} \ll R$ ，当 ω 愈高， $\dot{U}_2$ 的输出幅度愈小，当 ω 趋近于无穷大时， φ 移相接近 -90° ，但 $\dot{U}_2$ 输出幅度趋近于零。因此二节RC移相电路虽然移相可达 180° ，但此时输出电压幅度接近于零，因此不能振荡。实际上必须有三节RC电路达到 180° ，每节不足 90° ，才能满足相位和振幅条件。此处第三节RC网路由 C^3 和 BG_1 输入电阻 r_i 组成。 BG_2 为射极输出器，隔离负载变化对振荡器的影响，分析振荡器时可不考虑。

本电路结构简单，成本低，但振荡幅度、频率不够稳定，频率调节不便。

(2) 双T选频网络振荡器 双T选频网络振荡器工作原理如图1-2-4所示。 BG_1 为反相放大器，双T选频网络接入 BG_1 的基-集之间。双T选频网络的电路结构如图1-2-5(a)所示。为分析简单，设双T网络的1、2端内阻为零，3、4端为空载时的选频特性。当 $\dot{U}_1$ 频率 $f \ll$

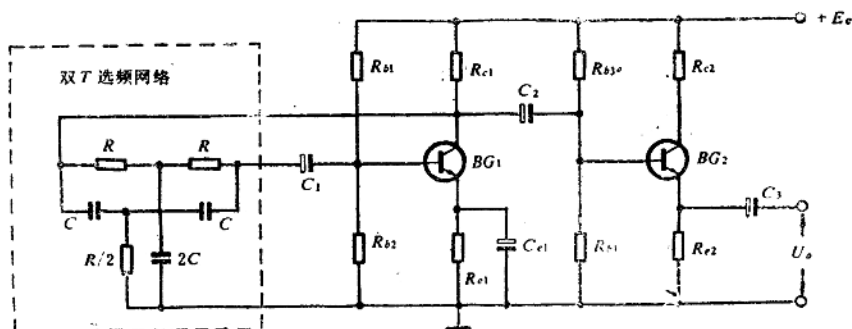


图 1-2-4 双T选频网络振荡器

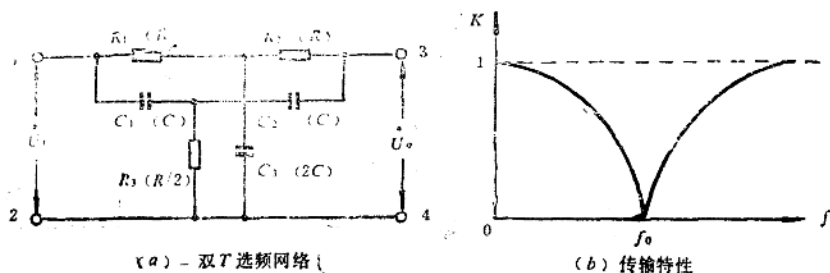


图 1-2-5 双T选频网络及传输特性

f_0 时, C_1 、 C_2 、 C_3 的容抗很大(接近开路), 设 $R_1 = R_2 = R$, $R_3 = \frac{R}{2}$, $C_1 = C_2 = C$, $C_3 = 2C$ 。此时 1、2 端电压 $\dot{U}_i$ 主要通过 R_1 、 R_2 电阻串联传输到 3、4 端, 此时 $\dot{U}_i \approx \dot{U}_o$, 网络的传输系数 $K = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$, $|K| \approx 1$, $\varphi_K \approx 0$ 。当 $\dot{U}_i$ 的频率 $f \gg f_0$ 时, C_1 、 C_2 、 C_3 容抗很小(接近短路), 则 $\dot{U}_i$ 主要通过 C_1 、 C_2 传输, 此时 $\dot{U}_i \approx \dot{U}_o$, 网络的传输系数 $K = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$, 也即 $|K| \approx 1$, $\varphi_K \approx 0$ 。只有当 $\dot{U}_i$ 频率处于中频频段 ($0 < f < \infty$) 时, 由于 $R_3 = \frac{R}{2}$, $C_3 = 2C$ 的分流作用, 即使 3、4 端空载, $|K|$ 亦总小于 1。适当选择网络中的电阻、电容元件值, 使在某一特定频率 f_0 处, $\dot{U}_i$ 自 1、2 端经过两个单 T 网络传输到 3、4 端, 电压大小相等, 相位相反, 则此时总的输出电压幅度为零, 相位呈现 $\pm 90^\circ$ 的突跳。双 T 网络输出幅度为零时频率特性如图 1-2-6 所示。由图可知: 双 T 网络输出电压幅度为零时不能满足振幅平衡条件。只有当 $R_3 = \frac{R}{2}$ 时, 网络传输系数不为零, 当 $R_3 > \frac{R}{2}$ 时, $|K|$ 为正实数, $\dot{U}_i$ 与 $\dot{U}_o$ 同相。当 $R_3 < \frac{R}{2}$ 时, $|K|$ 为负实数, $\dot{U}_o$ 与 $\dot{U}_i$ 反相。因此利用 $R_3 < \frac{R}{2}$, 偏离 f_0 处, 产生 $\varphi_K \approx -180^\circ$ 与放大器共同构成满足振荡器的振幅平衡与相位平衡条件, 这样就形成振荡, 其振荡频率近似为 $f_0 = \frac{1}{5RC}$ 。

本电路选频特性较好, 但由于改变频率时要同时改变三个电阻或三个电容, 故仅适用于单一振荡频率的情况, 例如, 晶体管参数测试仪的低频信号源。

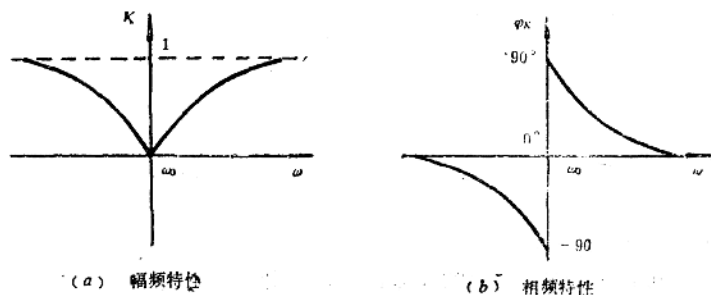


图 1-2-6 双T网络输出电压幅度为零时的频率特性

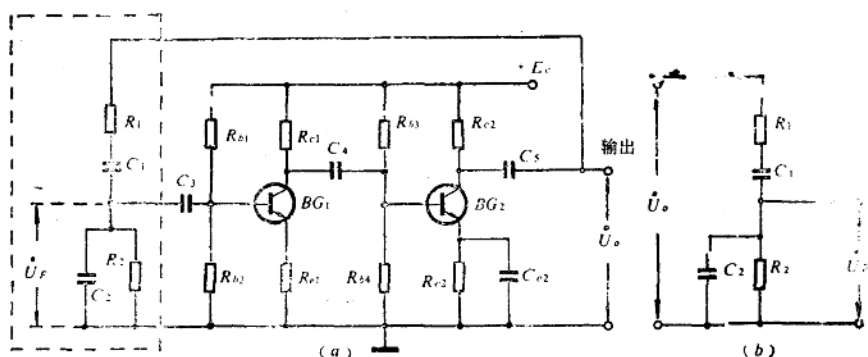


图 1-2-7 RC桥式振荡器
(a) 文氏电桥振荡电路 (b) 选频网络

(3) RC桥式振荡器 RC桥式振荡器电路如图1-2-7所示。 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 为选频网络， BG_1 、 BG_2 构成同相放大器，当它接入选频网络后，在某一特定频率 f_0 处，总相移为零，选频网络反馈系数 $\dot{F} = \frac{\dot{U}_F}{\dot{U}_o}$ 与频率有关 ($\dot{U}_F$ 为反馈电压， $\dot{U}_o$ 为放大器输出电压)。为了达到振荡器的工作稳定，二级放大器之间引入负反馈电路，如图1-2-8 (a) 所示。加负反馈电桥电路如图1-2-8 (b) 所示。其中 R_t 是具有负温度系数的热敏电阻，其阻值随外界温度升高而减小。当振荡器输出电压幅度增大时，通过 R_t 电流加大，引起 R_t 温度升高， R_t 阻值减小，使负反馈加强，振荡器输出电压幅度减小，这样就可以达到稳幅的目的。

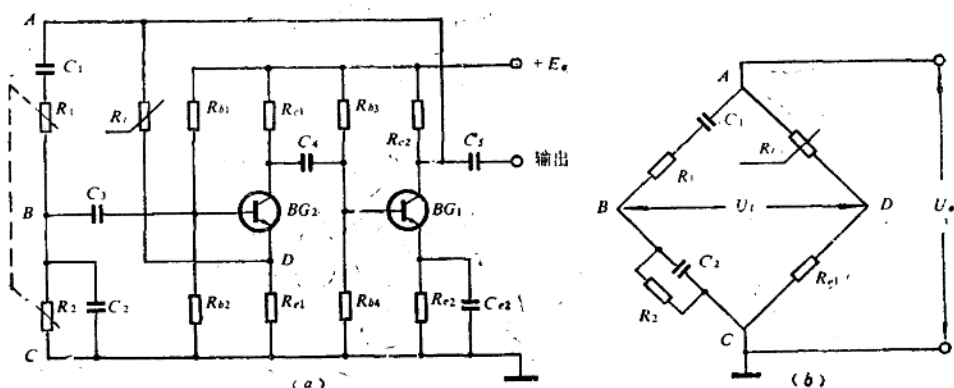


图 1-2-8 加热敏电阻负反馈桥式振荡器原理图
(a) 文氏电桥振荡电路 (b) 电桥电路

由于RC电桥振荡器波形非线性失真小，正弦波形好，因此在低频信号发生器中获得广泛的应用。

二、放大电路

放大电路包括电压放大器和功率放大器，现简述如下：

1. 电压放大器

(1) 一般电压放大器 低频信号发生器的方框图如图1-1-1所示。为了使主振输出调节点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指示电压表,为了在调节输出衰减器时,阻抗变化不影响电压放大器,要求电压放大器的输出阻抗低,有一定的负载能力,满足以上技术指标的放大器,才能用于低频信号发生器中。

(2) 包含在主振器中的电压放大器 无论是差频式电路、RC移相式电路、双T选频网络、桥式电路,为了满足振荡器的幅度和相位平衡条件,都必须要有放大器部分,一般可以采用一级放大器或二级放大器。例如:RC移相振荡器中,利用三节RC电路移相达 180° ,然后再利用一级放大器倒相 180° ,由三节RC电路和一级放大器组成正反馈,满足振荡器相位平衡条件。总之,根据不同振荡器对放大器的相位要求可采用一级或二级放大器。

(3) 缓冲放大器 缓冲放大器主要用于阻抗变换,在低频信号发生器中,主振信号常首先经过缓冲放大器,然后再输入给电压放大器或连调衰减器,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器的工作。

2. 功率放大器

某些低频信号发生器要求有功率输出,例如:XD-1型低频信号发生器功率输出可达4W以上。这样,必然要有功率放大器,一般的低频功率放大器有如下指标要求:①输出额定功率;②失真小;③效率高;④负载匹配;⑤有足够宽的通频带。在低频信号发生器中,对功率放大器的主要要求是失真小,输出额定功率。

(1) 功率放大器 功率放大器主要是为提供负载所需要的功率。因此晶体管均工作在大信号(大电压、大电流)状态。为了充分利用晶体管,其工作电流、电压都接近管子的极限值,所以对功率放大器而言,既要满足输出功率的要求,又要避免晶体管过热,而且非线性失真也不能太大。

不同用途的功率放大器,非线性失真要求不同。在额定功率下,晶体管扩音机中的功率放大器,非线性失真要求小于10%,磁带录音机中的功率放大器要求非线性失真小于5%,低频信号发生器中的功率放大器,要求非线性失真小于1%。对于同一型号的晶体管,输出功率愈大,非线性失真亦愈大,因此功率放大器必须要求在允许的非线性失真情况下,输出尽可能大的功率。由于功率放大器实际上是一个换能器,因此要考虑换能效率。晶体管的集电极效率为

$$\eta_c = \frac{\text{晶体管交流输出功率}(P_o)}{\text{晶体管集电极直流输入功率}(P_i)} \times 100\%$$

η_c 愈高,在一定的供给直流功率下换得的交流功率愈大。

(2) 功放保护电路 前已述及,功率放大器工作在大信号状态下,晶体管往往在接近极限参数下工作,由于设计不当或使用条件变化,就容易超过极限范围导致晶体管损坏。因此在功率放大器电路中,常常加上保护电路。例如,利用负载短路信号切断输入信号或切断电源达到保护目的。或者用保护电路把功率管负载线限制在安全工作区之内,保护电路工作原理如图1-2-9所示。在单端推挽电路输出级 BG_3 、 BG_4 的激励端接入保护管 BG_1 、 BG_2 。当 BG_3 输出电流足够大时, BG_2 导通,并使 BG_3 的激励信号分流,使输出管 BG_3 的动态工作电流限制在极限值之内。当输出信号为负半周时, BG_4 导通, BG_1 结管的 $U_{ce1} \geq 0.3V$ 时, BG_1

导通，并使 BG_4 的激励信号分流，使其输出管 BG_4 的动态工作电流限制在极限值之内，这样就达到保护功率管的目的。在 BG_3 、 BG_4 中工作电流 i_e 小时， BG_1 、 BG_2 不起作用，而当功放管中 i_e 上升后，二极管 BG_5 、 BG_6 导通，当 i_e 再上升，由于二极管 BG_5 、 BG_6 的分流又起到保护 BG_3 、 BG_4 的作用。当负载短路等原因使功率管中电流、功耗超过极限运用范围时，亦可以采取切断电源的方法进行保护，例如XD-1型低频信号发生器中的功放保护电路，就是采取这种方法，其工作原理将在下面详述。

三、输出电路

输出电路主要包括衰减器、电压表。

1. 衰减器

低频信号发生器中的输出电压，常常可以步进调节和连续调节。为了步进调节电压，用步进衰减器按每档的衰减分贝数逐档进行，为了使主振输出电压连续可调，常常采用电位器作连调衰减器。例如：XD-1型低频信号发生器中的步进衰减器，衰减共分九级，每级衰减10dB，共90dB。每级的衰减量根据输入、输出电压的比值取对数求出。衰减器原理如图1-2-10所示。一般要求衰减器的负载阻抗很大，对衰减器而言近似为开路，这样负载变化对衰减系数影响较小，从而保证了衰减器精度。现以波段开关置于第二档为例，根据下式计算衰减量为

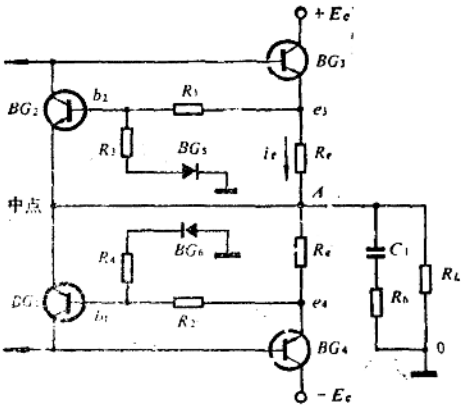


图 1-2-9 限制式保护电路

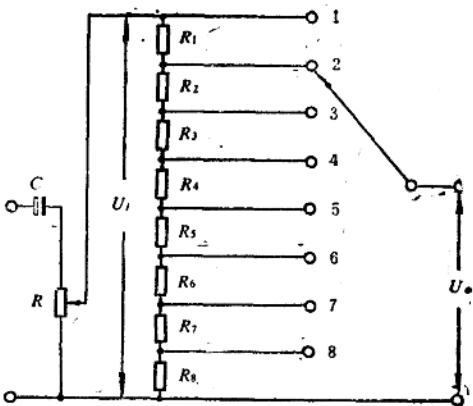


图 1-2-10 衰减器原理图

$$\frac{U_{o2}}{U_i} = \frac{I(R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8)}{I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8)}$$

根据XD-1型低频信号发生器电路参数选取得

$$\frac{U_{o2}}{U_i} = 0.316$$

两边取对数

$$20 \lg \frac{U_{o2}}{U_i} = -10 \text{dB}$$

同理第三档为

$$\frac{U_{o3}}{U_i} = 0.1$$

$$20\lg \frac{U_{c3}}{U_i} = -20\text{dB}$$

波段开关每增加一档，就增加10dB的衰减量，需要的衰减量可任选。

2. 指示电压表

电压表组成方框图如图1-2-11所示。由分压器、限幅器、射极跟随器、检波器、表头校正电路组成。指示器用磁电式电流表指示，电压数值在表盘上刻度。电阻分压器根据电压表量程大小，用波段开关转换。为了防止输入信号过大，往往加上由二极管组成的双向限幅器。射随器隔离分压器阻抗变化对检波器的影响。可采用有效值检波器指示输出电压的有效值。为了校正表头灵敏度，在表头电路中接入校正电位器。当电压表用于信号发生器本身测量时，开关可置于“内测”位置，此时测量的为信号发生器输出电压有效值，开关置于“外测”，电压表就可对一般外部电压有效值进行测量。

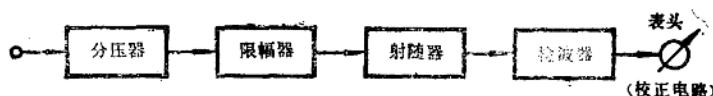


图 1-2-11 电压表方框图

§1-3 XD-1型低频信号发生器电路分析

一、主要性能指标

- (1) 频率范围 1Hz~1MHz (分六个波段)；
- (2) 频率基本误差 $\pm (1 \sim 1.5) \%$ ；
- (3) 频率漂移 (预热30分钟以后) $< (0.1 \sim 0.4) \%$ ；
- (4) 频率特性 $< \pm 1\text{dB}$ (在1Hz到1MHz范围内，电压输出)；
- (5) 非线性失真 (20Hz~20kHz) 电压输出 $< 0.1\%$ ；功率输出 $< 0.5\%$ ；
- (6) 输出幅度 电压输出 $> 5\text{V}$ ；最大功率输出 $> 4\text{W}$ ；
- (7) 输出衰减 总衰减量为90dB (可以每10dB分档调节，亦可连续调节)。

二、XD-1型低频信号发生器整机方框图

XD-1型低频信号发生器方框图如图1-3-1。它由RC文氏电桥振荡器、功率放大器、功放过载保护电路、交流电压表、直流稳压电源、两组衰减器和一组 (共三个) 匹配变压器组成。RC文氏电桥振荡器产生正弦波振荡，经过衰减器(I)后为电压输出，衰减器(I)可

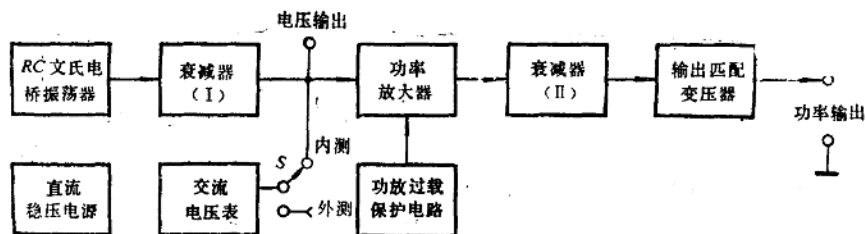


图 1-3-1 XD-1型低频信号发生器方框图