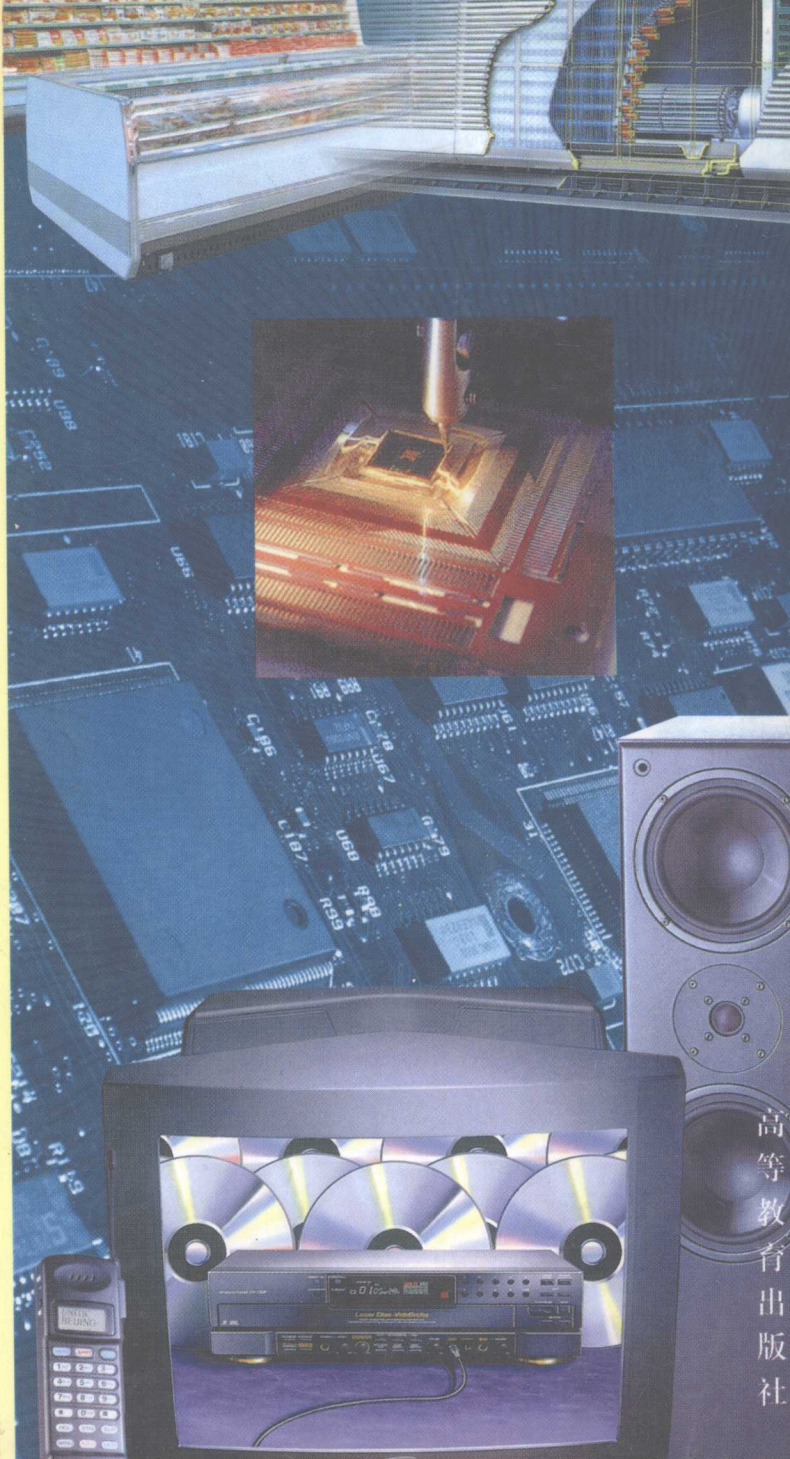


国家教委规划教材

中等职业学校电子电器专业
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)
全国中等职业学校电子电器专业教材编写组编
王谨之 主编

无线电技术基础



高等教育出版社

国家教委规划教材

中等职业学校电子电器专业
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

无线电技术基础

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组编

王谨之 主编

王谨之 周永平 施永台

陈菊英 朱勇义 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

无线电技术基础/王谨之主编. —北京:高等教育出版社, 1995
(2000重印).

ISBN 7 - 04 - 004940 - 6

I. 无… II. 王… III. 无线电技术 - 基本知识 - 中等职业
学校 - 教材 IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 04421 号

无线电技术基础

王谨之 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009
电 话 010 - 64054588 传 真 010 - 64014048
网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 人民教育出版社印刷厂

开 本	850 × 1168 1/32	版 次	1994 年 10 月第 1 版
印 张	9.75	印 次	2000 年 5 月第 7 次印刷
字 数	250 000	定 价	10.20 元

凡购买高等教育出版社图书, 如有缺页、倒页、脱页等
质量问题, 请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



前 言

本书是中等职业技术教育用书，可作成人中等专业学校、职业学校和中等专业学校电子专业教学用书，也可作为中、高级工人培训教材。

本书是由作者根据自己在中等专业学校、职业学校和职工技术培训教学工作的实践经验，精选了无线电电子技术在广播、电视、通信、测量和应用技术等领域中最常用、最基本和具有共性的技术原理以及集成电路方面的有关内容编写而成。本书内容较精炼和实用。

全书共十章。第一~八章包含了谐振回路、滤波器、传输线和天线、高频信号的产生、高频信号的放大、调制和解调、变频和统调，这部分是最基本的、必不可少的基础理论知识，它为学习后续课程打下基础；第九~十章介绍了取样、锁相、同步和分频、扫频、频率合成等技术内容，这部分介绍了一些新理论、新技术，可根据今后需要选读。

本书由高等教育出版社、南京市第二教育局成人教学研究室、江苏省电子厅人事教育处、江苏省教委职教处共同组稿，由南京无线电工业学校王谨之主编。王谨之编写了其中第一、七、九、十章，南京市第二教育局成人教学研究室周永平编写了第二章和第三章，南京无线电厂职工大学施永台编写了第四和第五章，陈菊英编写了第六章和第八章，朱勇义编写了实验部分。全书由总参 63 研究所黄天雀审阅，苏州电子职业中学陈其纯参与了全书大纲的审定工作。

限于作者水平，难免有错漏之处，望读者批评指正。

编者

1993 年 9 月

内 容 简 介

无线电电子技术的发展异常迅速,应用日益广泛。本书结合近年来的新进展阐述了无线电电子技术最基本的原理。全书取材新颖,结构严谨,叙述深入浅出,以物理概念为主,辅以必要的数学推导,兼顾实用性和先进性,务求使读者在较短时间内能较全面地掌握无线电技术的基础知识。

全书共十章,前八章包含谐振回路、滤波器、传输线和天线、高频信号的产生、高频信号的放大、调制和解调、变频和统调等最基本的内容,后两章则介绍了取样、锁相、同步和分频、扫频、频率合成等新技术。各章后面均附有复习题,便于读者巩固主要内容和概念。书末还编进五个实验,可根据设备情况及需要选做,或作为课堂教学的演示内容。

本书可作成人中等专业学校、职业学校和中等专业学校电子专业的教学用书,还可作为中、高级工人培训教材,也是一本较好的自学参考书。

目 录

第一章 概论	(1)
复习题一	(5)
第二章 谐振回路	(6)
第一节 串联谐振回路	(6)
第二节 并联谐振回路	(18)
第三节 耦合谐振回路	(26)
复习题二	(32)
附录 复数基础和正弦量的相量表示法	(34)
第三章 滤波器	(38)
第一节 滤波器的基本知识	(38)
第二节 K 式滤波器	(44)
第三节 m 式滤波器	(52)
第四节 复合滤波器	(60)
第五节 有源滤波器	(61)
复习题三	(64)
第四章 传输线和天线	(66)
第一节 传输线的基本概念	(66)
第二节 传输线的基本特性	(68)
第三节 无损耗的短路线和开路线	(72)
第四节 终端接有负载的无损耗传输线	(76)
第五节 反射系数、驻波系数和行波系数	(77)
第六节 传输线的几种应用	(78)
第七节 常用天线概述	(83)
复习题四	(93)
第五章 高频信号的产生	(95)
第一节 自激振荡的基本原理	(95)

第二节	LC 振荡器	(99)
第三节	LC 正弦波振荡器的频率稳定问题	(106)
第四节	石英晶体振荡器	(110)
第五节	集成自激振荡器	(115)
第六节	倍频的基本原理	(120)
复习题五		(126)
第六章	高频信号的放大	(129)
第一节	晶体管高频等效电路及频率参数	(129)
第二节	高频小信号的放大	(137)
第三节	高频功率放大器	(155)
复习题六		(172)
第七章	调制和解调	(175)
第一节	基本概念	(175)
第二节	调幅和检波	(176)
第三节	平衡调幅和同步检波	(192)
第四节	调频和鉴频	(201)
复习题七		(217)
第八章	变频和统调	(219)
第一节	概述	(219)
第二节	混频基本电路	(221)
第三节	变频器的干扰	(230)
第四节	统调的基本概念	(233)
第五节	统调的方法	(235)
复习题八		(237)
第九章	几种常用的无线电技术(一)	(238)
第一节	同步和分频技术	(238)
第二节	扫频技术	(245)
复习题九		(252)
第十章	几种常用的无线电技术(二)	(253)
第一节	取样技术	(253)
第二节	锁相技术	(260)

第三节 频率合成技术	(271)
复习题十	(280)
实验	(282)
实验一 谐振回路	(282)
实验二 有源滤波器	(284)
实验三 高频小信号谐振放大器	(288)
实验四 LC 正弦波振荡器	(292)
实验五 调幅与检波	(295)

第一章 概 论

无线电电子技术，是 20 世纪发展最迅速、应用最广泛的科学技术门类之一。当前，它不仅应用于广播、电视、通信方面，而且已渗透入国民经济各部门和国防事业中，并起着十分重要的作用，与人们日常生活的关系也愈来愈密切。

最早，无线电科学是从物理学中分离出来的。1873 年，英国科学家麦克斯韦总结了前人对电和磁的实验成果和实践经验，提出了电磁波理论。这理论指出，在导体中来回振荡的交流电流可向空间辐射出电磁波，电磁波以光速（每秒钟传播 30 万千米）向周围传播出去。15 年后，德国物理学家亨希利·赫兹在实验室里实现了电磁波辐射，并在 3m 外测到了此电磁波，从而证明了麦克斯韦理论的正确性。又经过七八年，电磁波被应用于一定距离之间的无线电通信。这时，“无线电”正式诞生了。

无线电发明不到 10 年，科学家利用电子在真空中运动的学说，制成真空管（又称电子管），并用于无线电设备。电子管的应用不仅发展、提高和改善了无线电设备的技术性能和效率，而且使它很快地应用于其他科学技术领域，从而促进了无线电的发展。另一方面，无线电的发展对电子管的设计和制造提出了新的要求，推动了电子管制造的发展。

早在 19 世纪，物理学家就发明了半导体材料，因还没有开发利用，故没有被人们所重视。直到用半导体材料制成晶体二极管、三极管（晶体管）等器件后，才开始受到重视。经过一个科研和实验阶段，到 20 世纪 40 年代末，半导体器件的技术指标不断改善，产品增多，应用范畴随之迅速扩大。不多久，半导体器件在很大范围内取代了电子管。半导体器件的大量使用，又促进

了电路技术和元件制造业的发展。

随着固体物理学（半导体物理包含在固体物理范畴之内）的不断发展，人们将半导体器件、元件和电路连线一并制作在一块固体片上，形成固体电路，后称为集成电路。随着集成技术的提高，集成度愈来愈高，由小规模到中规模，进而发展成大规模集成电路，当前，超大规模集成电路也已投入了使用。

人们把电子管称为第一代电子器件，晶体管称为第二代电子器件，集成电路称为第三代电子器件。从这一发展可知，第一代和第二代电子器件与各种元件是分别制造的，组件、部件和整机是由许许多多分立的元件和器件按电路设计要求联接起来的，故称分立元件电路。这与第三代电子器件集成电路有很大区别。从制造的角度看，第三代已打破了元件、器件分别制造的界线，已直接制成局部或整体电路。

正因为这样的变革，在科学的称谓上也发生了相应的变化。最早，这门科学统称为无线电。以后，人们把电子管和半导体的研究、设计和制造称为电子学；又因无线电技术与电子学是密切相关的，人们将它们统称为无线电电子学。由于集成电路技术是将器件、元件、电路连线使用外延生长、光刻、扩散等技术制造在一块很小的单晶块上，故称为固体电子学或微电子学。随着应用面的扩大，甚至远远超出了无线电本身的范围，故有人描述这是一门“当代包罗万象的科学”。目前，这门科学的称谓上还没有作严格的规定。有时仍用“无线电”这一习惯的名称，或用“无线电技术”。有时则用“电子学”或“电子技术”的名称。显然，这已含有更新、更广的涵义。

从根本上看，电子技术的发展，包括了器件、电路本身制造技术的发展和应用技术的发展。应用技术又可从应用的范围和应用的收效两方面来衡量。人们常习惯地用“电子科学技术已深入到各行各业和日常生活中”来描述其应用范围。应用的效果就更加惊人。

如果要用较少的篇幅，对无线电电子技术的应用进行介绍，即便是概念性的简介也是十分困难的。这里，仅就几项新技术、新领域的应用作些简单介绍。

人们公认，使用立体声音响和彩色电视是 80 年代人们在文化生活中的两件大事。电视的发展十分迅速，由黑白到彩色，由近距离到通过卫星全球性传递，由一般到高清晰度，由小屏幕到大屏幕。目前，世界上最大的电视机，按对角线的方法来衡量，相当于 2 000 英寸，屏幕上可以容纳下 1:1 尺寸的航天飞机。这一巨型电视机的整体建筑宽 48m、高 42m、厚 24m、舞台深度 8m，如图 1-1 (a) 所示。由于主体有 14 层楼高，所以它比日

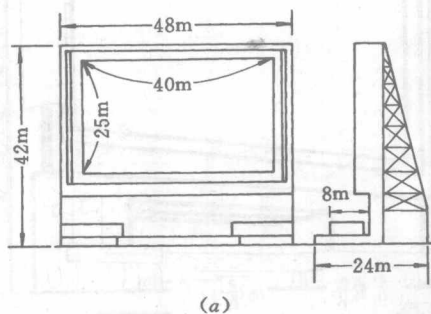


图 1-1 巨型电视机

本奈良大佛、埃及狮身人面像还高，美国自由女神高举火炬的手，也只能摸到它的上边，如图 1-1 (b) 所示。因屏幕巨大，

故可在 50 ~ 500m 处观看。这巨型电视机由索尼公司制造，安放在东京的科学名城筑波。它集中地采用 15 万个新型 RGB 发光器件，它不仅显示细微的图像，而且发光效率高达 90%，故在室外仍有较大的对比度。电路上采用了最新数字视频技术和光导纤维传输信号。伴音放送也采用了特殊技术，使整个广场任何位置都得到均匀的声场。图 1-2 示出了它的立体外形。

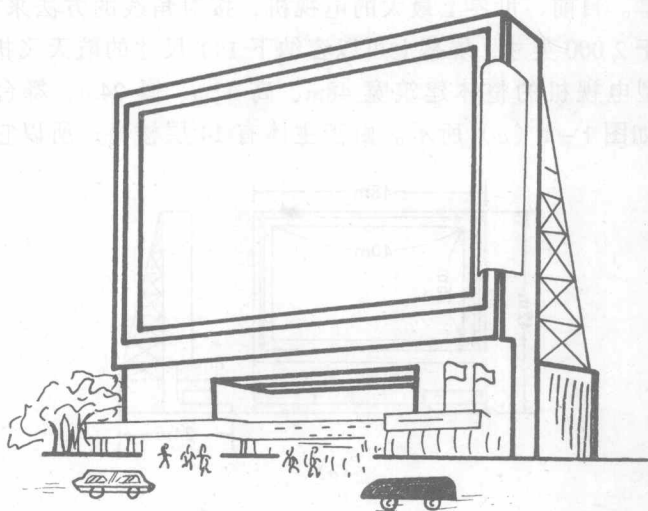


图 1-2 巨型电视机外形

电子计算机是计算数学与电子技术的光辉结晶。它经历了大型、中型、小型的阶段。如今已进入了微型的阶段，称为微型计算机或微电脑，其中采用了大规模或超大规模集成电路技术。可以毫不夸大地说，从人类进入工业社会以来，没有一种工业产品能像微电脑这样在各个领域里得到如此普遍的应用，也没有一种产品的发展速度能与微电脑相比。在我国，微电脑的应用也越来越普遍。而且我国科技人员还有许多独创的成就，例如汉字微电脑，它正使许多企业能更好地使用微电脑，帮助企业走上科学管

理的道路。以前要花上几天,甚至几周才能完成的统计报表、成本分析、利润计算等计算工作,使用电脑后瞬间可得。

在医院,已经有微电脑“大夫”门诊,它学会了一位老中医的医道,能对一些疑难的病症进行诊断,开出的中药处方与那位大夫本人的诊断相比,其符合率超过 97%。又如,在某城换房大会上,国产微电脑大显身手,用户只要填好自己的住房数据和换房条件,按下按钮,电脑就能在一分钟内从几千份资料中找出换房对象。如用于婚姻介绍,微电脑“红娘”可在很短的时间里为择偶者找到合适的对象。

当前,微电脑不仅用于企业和学校,并已闯进了许多家庭。据 1993 年初报上公布的数据表明,已有 35 万台微电脑正在家庭中帮助主人从事写作、家庭生活管理等等,不仅有助于主人的工作,培养孩子的智力和复习功课,还帮助主人精打细算过日子。微电脑的应用真是不胜枚举。

尽管无线电电子技术的应用范畴还在不断扩大,这门科学技术仍在迅猛发展。但是,它的基本理论、基本电路仍然没有大的改变,还是普遍适用的。本书第一至第八章所包含的谐振回路、滤波器、传输线和天线、高频信号的产生、高频信号放大、调制和解调以及变频和统调,就属于这方面的内容。另一方面,随着科学技术和应用范围的发展,还要引入许多新理论和新技术。故本书第九、十章中介绍了取样、锁相、同步和分频、扫频、频率合成等技术内容。

正因为无线电电子学所包含的理论和电路技术面广量大,要在较短的时间里系统而全面地学好它是相当困难的。本书只选择必不可少的基础理论知识编入前八章,为给后续课程打基础,必须学好。后两章的内容则可根据今后需要选读。

复 习 题 一

1. 试举出无线电技术的应用实例。
2. 第一代、第二代和第三代电子器件各有什么特征?

第二章 谐振回路

在含有电感和电容的正弦交流电路中,电路两端的电压和输入电流在一般情况下是不同相的。当调节电路的参数或电源的频率为某一数值时,电压和电流同相,这种特殊状态称为谐振。能正常工作于谐振状态的电路称为谐振回路(或称为谐振电路)。

由于回路在谐振状态下呈现某些特性,因此谐振回路在电子技术中得到广泛应用。例如,收录机、电视机、录像机等电子电器中都采用了谐振回路。

谐振回路的基本组成元件是电感线圈和电容器。它们都有一定的损耗电阻,故谐振回路可以等效为电感 L 、电容 C 和电阻 R 构成的电路。根据 L 、 C 、 R 的不同连接方式,谐振回路可分为三种类型,即串联谐振回路、并联谐振回路和耦合谐振回路。下面分别予以介绍。

第一节 串联谐振回路

由电感线圈、电容器和角频率为 ω 的正弦交流电源串联而构成的电路,称为串联谐振回路,其等效电路如图 2-1 所示。电路中等效电阻 R 通常代表线圈的损耗电阻。在频率不太高时,电容器的损耗很小,可忽略不计。

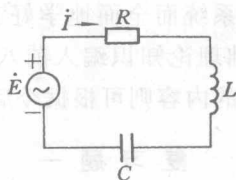


图 2-1 串联谐振回路

一、串联谐振产生的条件

上面已经指出,谐振是 L 、 C 、 R 电路中电流与电压同相时的一种特殊状态。串联谐振回路应具备怎样的条件才会发生谐振呢? 先来探讨这个问题。

在图 2-1 所示的电路中,感抗 $X_L = \omega L$,容抗 $X_C = \frac{1}{\omega C}$,电路的复阻抗为

$$\begin{aligned} Z &= R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j(X_L - X_C) = R + jX \\ &= z \angle \varphi \end{aligned} \quad (2-1)$$

复阻抗的模和幅角分别为

$$z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2-2)$$

$$\varphi = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \right) \quad (2-3)$$

假设施加于串联谐振回路的交流信号电压源的复数形式为

$$\dot{E} = E \angle 0^\circ$$

则回路中电流的复数形式为

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{Z} = \frac{\dot{E}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{E}{z} \angle -\varphi \quad (2-4)$$

从式(2-4)可以看出,回路电流 $\dot{I}$ 在信号源一定的情况下只取决于回路阻抗 Z 。而 Z 除与电路的参数 L 、 C 、 R 有关外,还与电源的角频率 ω 有关。电阻 R 在 ω 不太高的情况下,可以看作是与 ω 无关的常量,电抗 $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ 则随 ω 的变化而变化,从而使阻抗 Z 亦随 ω 的变化而变化。

为了研究串联谐振产生的条件,则应研究当外加电动势幅度不变而角频率改变时回路电流随之变化的关系。从以上分析可知,也就是要了解回路阻抗随角频率的变化规律。

当串联谐振回路的参数 L 和 C 为常量而电源角频率 ω 改变时, 感抗 X_L 、容抗 X_C 及电抗 $X = X_L - X_C$ 随角频率 ω 变化的关系, 即它们的频率特性如图 2-2 所示。

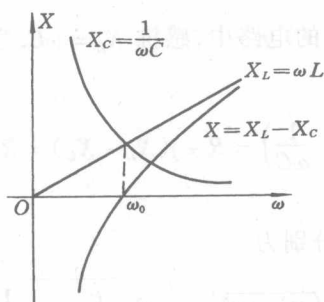


图 2-2 电抗的频率特性

由图示曲线可以看出:

当 $\omega < \omega_0$ 时, $X_L < X_C$, $X < 0$, 电抗为容性, 故电路呈容性;

当 $\omega > \omega_0$ 时, $X_L > X_C$, $X > 0$, 电抗为感性, 故电路呈感性;

当 $\omega = \omega_0$ 时, $X_L = X_C$, $X = 0$, 阻抗为纯电阻, 故电路呈纯电阻性, 路端电压与电路中的电流同相位。由谐振定义可知, 此时回路处于谐振状态。可见串联谐振回路产生谐振的条件是回路的电抗 X 等于 0, 即

$$X(\omega_0) = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

或

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad (2-5)$$

式中 ω_0 是回路产生谐振时电源的角频率, 称为谐振角频率。从式 (2-5) 可得

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2-6)$$

谐振频率则为

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-7)$$

式 (2-6) 和式 (2-7) 清楚地表明, 串联谐振回路的谐振角频率 (或谐振频率) 仅由 L 和 C 这两个电路参数决定, 而与 R 无关, 它反映了电路的一种固有性质, 所以又称之为固有角频率 (或固有频率)。对于每一个特定的 R 、 L 、 C 串联回路, 都有一个与之对应的谐振频率。只有当电源的频率与回路本身的固有频率相同时, 才能满足谐振条件式 (2-5), 使回路处于谐振状态。而当电源的频率不等于回路的固有频率时, 谐振条件不能满足, 回路也就不会出现谐振, 这时通常称回路处于失谐状态。

使回路从失谐状态转变为谐振状态的过程称为调谐。调谐串联谐振回路的方法有两种。一种是当信号源的频率一定时, 调节回路参数 L 或 C , 使回路谐振, 如收音机中的输入回路, 在某一波段内, 便是调节可变电容器的电容量, 使回路的固有频率与所要收听电台的谐振频率一致而发生谐振, 以达到选择信号的目的; 另一种是当回路的 L 、 C 值一定时, 调节信号源的频率使回路谐振, 例如将振荡器作为信号源, 使其输出电压的频率在一定范围内可调, 则可用来测量电路元件 L 或 C 的值。

二、串联谐振回路在谐振状态下的特性

1. 阻抗与特性阻抗

由于回路谐振时电抗 $X=0$, 因此阻抗 $Z_0 = R + jX = R$ 为最小值, 且为纯电阻性, 幅角 $\varphi=0$ 。

当回路谐振时, 感抗与容抗相等, 通常称这时的感抗或容抗为回路的特性阻抗, 用符号 ρ 表示。将式 (2-6) 代入 $\omega_0 L$ 或