



技工学校电子类通用教材

无线电基础



014

劳动人事出版社

内 容 简 介

本书是根据原劳动人事部培训就业局、原电子工业部教育局组织制订的《无线电基础教学大纲》编写的技工学校电子类无线电整机专业统编教材。内容包括谐振电路、滤波器、无线电波传播与天线，调制与解调、高频电子电路，并附有试验。

本书也适合青工培训和职工自学使用。

本书由上海电视一厂技校黄文锦、董月凤编写，黄文锦主编，上海无线电二十一厂技校邵培成主审。

无 线 电 基 础

技工学校电子类专业教材编审委员会组织编写

责任编辑：王有先 黄未来

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

北京隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 10.75印张 267千字

1989年4月北京第1版 1989年9月北京第1次印刷

印数：15000册

ISBN 7-5045-0335-5/TN·010 (课) 定价：4.30元



说 明

当前,电子技术迅速发展,国民经济各部门对电子技术的应用日益广泛,对电子类专业技术工人的需求越来越迫切。为了满足技工学校培养电子类专业中级技术工人的需要,不断提高教学质量,加速实现我国的四个现代化,原劳动人事部培训就业局、原电子工业部教育局在前几年组织编写教材工作的基础上,于1986年成立技工学校电子类专业教材编审委员会,委托北京、天津、上海三市的电子工业部门,组织编写技工学校电子类专业通用教材。这次编写的教材有数学、物理、制图、电子电路基础、电子测量与仪器、收录机原理调试与维修、无线电基础、微型电子计算机原理、操作系统、程序设计基础、微型计算机原理及应用、数字逻辑电路、录像机原理、BASIC语言和PASCAL语言等十五种,由劳动人事出版社出版;另有电工基础、晶体管脉冲与数字电路、电视机原理调试与维修、无线电整机装配工艺基础、晶体管原理等五种,仍由天津科技出版社出版。其它课程的教材,以后将陆续组织编写。

上述教材,是本着改革的精神组织编写的。力求做到理论与实际相结合,符合循序渐进的要求,从打好基础入手,突出操作技能训练的特点,并且尽量反映当前生产中采用新设备、新材料、新技术、新工艺的成就。力图使培养出来的学生,能够比较系统地掌握专业技术理论知识,学会一定操作技能,具有培养目标要求的文化素质和职业道德品质,以适合电子工业发展的需要。

这套教材供二年制(招收高中毕业生)和三年制(招收初中毕业生)的技工学校的学生使用。也适合青工培训和职工自学使用。在使用教材的过程中,希望读者提出批评和改进意见,以便再版时修订。

劳动部培训司

本书所用符号的说明

- A ——耦合因数 $A = k\varphi_L$
 a ——比例常数 (与调幅电路有关)
 B ——回路通频带 $B = f_2 - f_1$
 $B_{0.1}$ —— I/I_0 下降至 0.1 时的频带宽度 (或放大器增益下降至 K_0 的 0.1 倍时的频带)
 $B_{0.7}$ —— I/I_0 下降至 0.707 时的频带宽度
 b ——电纳
 C ——传输线的分布电容
 C_b ——基极电容
 C_c ——耦合电容
 C_e ——射极电容
 C_F ——反馈电容
 C_{Lz} ——负载电容 (或用 C_L)
 C_M ——耦合电容
 C_N ——中和电容
 C_{oe} ——晶体管输出电容
 C_p ——并联电路的电容
 C_s ——信号源输出电容
 C_{Σ} ——总电容
 C_o ——分布电容
 C_{o1} ——陶瓷滤波器输入端静态电容
 C_{o2} ——陶瓷滤波器输出端静态电容
 D ——直线传播距离
 d ——平行传输线双导线中心的距离
 E ——信号源 (或用 E_s)
 $\vec{E}$ ——电磁波的电场强度
 e_1 ——有源振子感应电势
 e_2 ——反射振子感应电势
 E_s ——电源电压
 F ——音频信号的频率
 (或反馈系数 $F = \frac{U_f}{U_{in}}$)
 F_{max} ——音频调制信号的最高频率
 f_c ——截止频率 (或载波频率)
 f_i ——中频信号频率

f_L ——本机振荡频率
 f_m ——最高振荡频率
 f_o ——谐振频率(或中心频率)
 f_T ——特征频率
 f_a ——共基极截止频率
 f_β ——共射极截止频率
 f_1 ——串联谐振频率(石英晶体或陶瓷滤波器)
 f_2 ——并联谐振频率(石英晶体或陶瓷滤波器)
 f_∞ ——衰减无穷大频率
 Δf ——失谐量 $\Delta f = f_2 - f_1$
 G ——天线增益 $G = 10 \lg \frac{P'_t}{P_t}$ (或传输线的漏电导)
 g ——电导
 g_{L_s} ——负载电导 $g_{L_s} = \frac{1}{R_{L_s}}$
 g_L ——稳定电导
 g_m ——晶体管跨导
 g_{os} ——晶体管输出电导
 g_s ——信号源内电导 $g_s = \frac{1}{R_s}$
 g_s ——总电导
 g_o ——谐振电导 $g_o = \frac{1}{R_o}$
 H ——磁场强度
 h_1 ——发射天线高度
 h_2 ——接收天线高度
 I ——回路电流(或用 I_k)
 I_A ——天线馈电点的高频电流
 I_b ——基极电流
 I_c ——集电极电流(或电容支路电流)
 I_e ——发射极电流
 I_{eo} ——晶体管静态工作点电流
 I_f ——反馈电流
 I_L ——电感支路电流
 I_s ——恒流源电流(总电流)
 I_o ——谐振时电流(或直流分量)
 I_o ——低频基波分量
 $I_{2\Omega}$ ——低频二次谐波分量
 i_c' ——电容放电电流

i_a ——二极管导通电流

K ——电压增益 (或电压传输系数) (或 K 式滤波器 $K = \sqrt{Z_1 Z_2}$)

(或行波系数 $K = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}$)

K_0 ——谐振时电压增益

$K_{0.1}$ ——矩形系数 $K_{0.1} = \frac{B_{0.1}}{B_{0.7}}$

K_f ——平方律检波非线性失真系数

K_p ——功率增益

K_s ——多级单调谐放大器总增益

k ——耦合系数

k_c ——临界耦合系数

L ——传输线的分布电感

L_c ——补偿电感

L_F ——反馈电感

L_p ——并联电路的电感

L_o ——分布电感

L ——传输线的长度

M ——互感

M_c ——最佳耦合互感量 $M_c = \frac{\sqrt{r_1 r_2}}{\omega_0}$

m ——调幅度 (或补偿系数、或接入系数)

m_L ——电感接入系数 $m_L = \frac{L_1}{L}$

m_c ——电容接入系数 $m_c = \frac{C}{C_1}$

m_f ——调频系数 $m_f = \frac{\Delta f}{F}$

N ——线圈匝数

n ——变压器的变化 $n = \sqrt{C_{01}/C_{02}}$

(或带通滤波器带阻滤波器中的比值 $n = \frac{L_1}{L_2} = \frac{C_2}{C_1}$, 或放大器的级数)

P_A ——天线辐射功率

P_c ——载波功率

P_H ——高旁频功率

P_L ——低旁频功率

P_i ——天线输入功率

P_i' ——参考天线输入功率

P_N ——噪声功率

$\left(\frac{P_c}{P_N}\right)_{sr}$ ——输入端高频信号功率与噪声功率之比

$\left(\frac{P_c}{P_N}\right)_{sl}$ ——输出端高频信号功率与噪声功率之比

Q_c ——电容品质因数

Q_l ——电感线圈品质因数

Q_e ——有载品质因数

Q_o ——空载品质因数

R ——损耗电阻 (或地球半径 $R=6370\text{km}$)

R_A ——半波振子的输入阻抗

R_s ——基极电阻 $R_s = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

R_e ——集电极负载电阻

R_p ——发射极电阻 (或并联回路的等效电阻)

R_f ——反馈电阻

R_L ——阻尼电阻

R_i ——信号源内电阻

R_o ——谐振电阻

R_o' ——复杂并联回路的谐振电阻

R_{ln} ——负载电阻

R_{eq} ——等效输入电阻

r ——传输线导线的半径

r_d ——二极管正向内阻 (包括信号源内阻)

r_{11} ——初级等效回路中的反映电阻

r_{12} ——次级等效回路中的反映电阻

r_{bb}' ——基区体电阻

r_1 ——传输线内导体半径

r_2 ——传输线外导体半径

S ——选择性, 串联回路选择性 $S = 20\lg \frac{I}{I_0}$ 并联回路选择性 $S = 20\lg \frac{U}{U_0}$ (或驻波比

$$S = \frac{U_{\max}}{U_{\min}})$$

$\vec{S}$ ——电磁波传播方向

U_A ——天线馈电点的高频电压

U_c ——电容两端电压 (或高频信号电压)

U_L ——电感线圈端电压 (或振荡电压)

U_f ——反馈电压

U_{ce} —— $c-e$ 极输出电压
 U_{ceo} ——晶体管静态工作点集电极电压
 U_{cm} ——高频信号电压振幅
 U_{Lm} ——本振电压振幅
 U_f ——中频信号电压
 $U_{\Omega m}$ ——音频调制信号电压振幅
 U_{ie} ——输入电压
 U_{oe} ——输出电压
 U_{max} ——入射波与反射波相位相同处振幅最大形成波腹
 U_{min} ——入射波与反射波相位相反处振幅最小形成波节
 $U_{cm_{max}}$ ——调幅波振幅的最大值
 $U_{cm_{min}}$ ——调幅波振幅的最小值
 U_{e1} ——二极管1上的输入信号电压
 U_{e2} ——二极管2上的输入信号电压
 U_{c3} ——电容 C_3 上的电压
 U_{c4} ——电容 C_4 上的电压
 U_{ce} ——电容 C_e 上的电压
 V_1 ——晶体管1
 v ——电磁波传播速度，在真空中 $v=3\times 10^8\text{m/s}$
 X ——电抗
 X_e ——并联回路的等效电抗
 X_{1o} ——谐振时复杂并联回路中支路1的电抗
 X_{2o} ——谐振时复杂并联回路中支路2的电抗
 X_{j1} ——初级等效回路的反映电抗
 X_{j2} ——次级等效回路的反映电抗
 Y_c ——电容支路导纳
 Y_L ——电感支路导纳
 Y_i ——放大器输入导纳
 Y_o ——放大器输出导纳
 Y_s ——信号源内导纳
 Y_{ie} ——晶体管输入导纳
 Y_{oe} ——晶体管输出导纳
 Y_{L_e} ——负载导纳
 Y_{1e} ——正向传输导纳
 Y_{re} ——反向传输导纳
 Z_o ——谐振时阻抗
 Z_c ——特性阻抗
 Z_L ——传输线负载阻抗
 Z_{in} ——天线输入阻抗

Z_M ——耦合阻抗 $Z_M = jX_M = j\omega M$

Z_{mc} ——主传输线特性阻抗

Z_0 ——自由空间波阻抗

Z_1 ——滤波器的串联臂阻抗

Z_2 ——滤波器的并联臂阻抗

Z_{1m} —— m 式滤波器串联臂阻抗

Z_{2m} —— m 式滤波器并联臂阻抗

Z_{c1} ——T形滤波器输入端（T形端）的特性阻抗

Z_{c2} —— Γ 形滤波器输出端（ π 形端）的特性阻抗

Z_{cT} ——对称T形滤波器的特性阻抗 $Z_{cT} = Z_{c1}$

$Z_{c\pi}$ ——对称 π 形滤波器的特性阻抗 $Z_{c\pi} = Z_{c2}$

α ——相移常数

α_0 ——共基极低频放大系数

β ——衰减常数

β_0 ——共射极低频放大系数

γ ——传输常数 $\gamma = \beta + j\alpha$

ϵ_0 ——真空介电系数

ϵ_r ——介质相对介电系数

λ ——波长

λ_0 ——中心波长

μ_0 ——真空导磁系数

μ_r ——介质相对导磁系数

ξ ——一般失谐 $\xi = Q\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right) \approx \frac{2\Delta f}{f_0}Q$

ρ ——回路的特性阻抗

φ ——阻抗幅角

ψ ——电流与信号源电压的相位差

Ω ——音频信号角频率

ω ——角频率

ω_c ——高频信号角频率（或截止频率）

ω_0 ——谐振角频率

$\Delta\omega$ ——调频波最大角频率的偏移（频偏）

$\omega_{\max}$ ——调频波最大角频率 $\omega_{\max} = \omega_c + \Delta\omega$

$\omega_{\min}$ ——调频波最小角频率 $\omega_{\min} = \omega_c - \Delta\omega$

目 录

本书所用符号的说明

第一章 谐振电路

§ 1—1 串联谐振电路	1
§ 1—2 串联谐振电路的频率特性	5
§ 1—3 串联回路的通频带和选择性	7
§ 1—4 并联谐振电路	10
§ 1—5 并联谐振电路的频率特性	13
§ 1—6 复杂并联谐振电路	16
§ 1—7 耦合谐振电路	22
§ 1—8 耦合回路的谐振曲线和通频带	27

习题一

第二章 滤波器

§ 2—1 滤波器类型及通频带条件	24
§ 2—2 K 式滤波器	35
§ 2—3 m 式滤波器	41
§ 2—4 声表面波滤波器	44
§ 2—5 晶体及陶瓷滤波器	47

习题二

第三章 无线电波传播与天线

§ 3—1 无线电波的传播	54
§ 3—2 传输线的特性	57
§ 3—3 无损耗传输线	62
§ 3—4 天线的工作原理和主要参数	67
§ 3—5 常用的超短波天线	69
§ 3—6 共用天线电视接收系统(CATV)	77

习题三

第四章 调制与解调

§ 4—1 无线电广播的基本知识	81
§ 4—2 广播收音机及电视接收机组成部分	84
§ 4—3 调幅原理	86
§ 4—4 振幅检波工作原理	89
§ 4—5 调频原理	95
§ 4—6 鉴频原理	99

习题四

第五章 高频电子电路

§ 5—1	晶体管的高频放大特性·····	106
§ 5—2	单调谐放大器·····	110
§ 5—3	双调谐放大器·····	116
§ 5—4	参差调谐放大器·····	118
§ 5—5	调谐放大器的稳定性·····	120
§ 5—6	宽频带放大器工作原理·····	123
§ 5—7	扩展放大器通频带的方法·····	125
§ 5—8	反馈型正弦波振荡器工作原理·····	131
§ 5—9	LC振荡电路·····	134
§ 5—10	振荡器的频率稳定·····	140
§ 5—11	变频原理·····	143

习题五

实验一	谐振特性曲线·····	153
实验二	高通滤波器的通带特性·····	154
实验三	振幅检波·····	155
实验四	中频放大器·····	156
实验五	LC正弦波振荡器·····	159

第一章 谐振电路

在无线电通信及广播的发送与接收设备中，经常应用高频电子电路如振荡器、调谐放大器及变频器等，而调谐电路是这类电子电路的重要组成部分。另外，对于信号的选择或滤除干扰和杂波等也要应用谐振电路。因此，掌握它的基本理论与基本特性，将为学习无线电技术打下基础。

谐振电路由电感线圈和电容器等元件组成，按其组成形式不同有串联谐振、并联谐振和耦合谐振电路等几种，下面逐一进行讨论。

§ 1—1 串联谐振电路

一、组成谐振电路的元件

1. 电感线圈

对交流信号来说，电感线圈除了表现出电感 L 的特性外，还具有一定的损耗电阻 r ，其串联等效电路如图1—1(a)所示。电阻 r 越大损耗功率也越大，线圈在电路中的感抗作用就不明显。因此，在制作线圈时，应当尽量降低其损耗电阻。值得注意的是，高频交流信号作用下线圈电阻要比其直流电阻大，这是由于趋肤效应造成的。所谓趋肤效应是指随工作频率的增高，流过导线电流趋向表面集中的现象。当频率很高时，导线中心部位几乎没有电流通过，导电的有效面积大为减小，电阻因而增大，工作频率越高损耗电阻越大。

在无线电技术中通常不直接引用损耗电阻，而采用品质因数这一参数来表示线圈的损耗性能。线圈品质因数 Q_L 的定义为：线圈中磁场的无功功率与电阻中损耗功率之比。由此可得出其值为 $Q_L = \omega L / r$ 。

线圈品质因数是一个没有量纲的比值， Q_L 值越大，损耗越小。引用参数 Q_L 值在实际工作中有许多方便之处，因为在一定的频率范围内，损耗电阻随角频率 ω 增高而加大（ $\omega = 2\pi f$ ，有时频率与角频率不作严格区别），与此同时感抗 ωL 也随 ω 升高而增大，因而 Q_L 值变动不大，即对于一个线圈工作在适当频段内，可近似认为 Q_L 值是不随频率而改变的常数。另外，

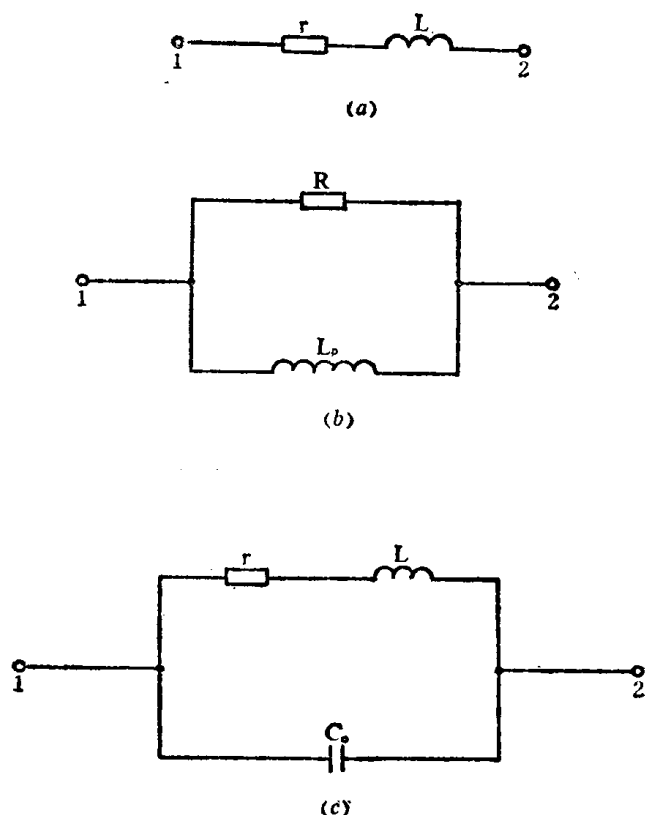


图 1—1 电感线圈的等效电路

还有一个原因，线圈 Q_i 值容易用仪表来测量，而其损耗电阻却很难直接测出。

Q_i 值不但取决于导线和磁芯的种类，而且还与骨架材料和尺寸以及线圈绕制形式有关。为了减小趋肤效应影响，提高 Q_i 值，对于广播接收机中波波段的线圈采用编织线（多股线）来绕制，其方法是多根细导线互相绝缘扭合，端点连接起来构成线圈的导线；对于短波和超短波波段的线圈，将导线表面镀银（减小导线表面电阻）；大功率发射机的电感线圈还特地做成空心管形，既可以充分利用金属材料，又有利于冷却。由于从结构上计算 Q_i 值很不方便，通常做法是先绕制线圈后再测量 Q_i 值，必要时可改换线圈结构重新绕制。

电路分析时，往往将图1—1a等效为图1—1b，图中 L_p 、 R 表示并联电路的参数。由电工基础理论可知，串联与并联等效电路参数间的转换关系为

$$L_p = L(1 + r^2/\omega^2 L^2)$$

及

$$R = r(1 + \omega^2 L^2/r^2)$$

当 Q_i 值较高时（ $Q_i \gg 1$ ），可简化为 $L_p \approx L$ 及 $R \approx \omega^2 L^2/r$ 。

当考虑电感线圈的分布电容 C_p 时，其等效电路如图1—1c所示。分布电容会降低线圈的品质因数和稳定性。当外加信号源频率高于线圈的固有谐振频率时，线圈会呈现容抗性。所以，绕制线圈时应当尽量减小分布电容，以削弱其有害影响。广播接收机中某些线圈采用蜂房绕制或间绕，就是为了减小分布电容。

2. 电容器

与电感线圈相似，电容器除了表现出电容特性外，也具有一定的损耗电阻，其影响可在等效电路中分别用一个与理想电容相并联或串联的电阻来表示，如图1—2a、b所示。

同样，为了说明电容器损耗的大小，也引用品质因数 Q_c 。在图1—2a中， $Q_c = \omega C_p R$ ；图1—2b中， $Q_c = 1/\omega C r$ 。串联和并联等效电路参数间的转换关系为

$$C = C_p(1 + 1/Q_c^2)$$

及

$$r = R/(1 + Q_c^2)$$

当 $Q_c \gg 1$ 时，可简化为 $C \approx C_p$ 及 $r \approx 1/\omega^2 C_p^2 R$ 。

电容器损耗电阻的大小主要由介质材料决定。谐振电路常用的电容器有空气可变电容器、云母电容器及陶瓷电容器等。它们 Q_c 值在几千至几万之间，与电感线圈相比，电容器损耗非常小，常常可忽略不计。

电容器也有分布电感 L_c ，这是由于流经电容器的电流产生磁通量所引起的，其等效电路如图1—2c所示。分布电感的大小与外部和内部连接导线的长度、极片面积及这些极片与引线连接的方式有关。

分布电感也会影响电容的等效参数，甚至改变其性质。当外加信号频率高于其固有谐振

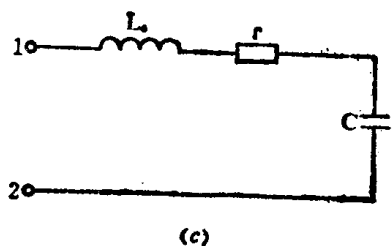
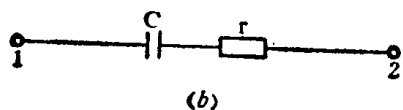
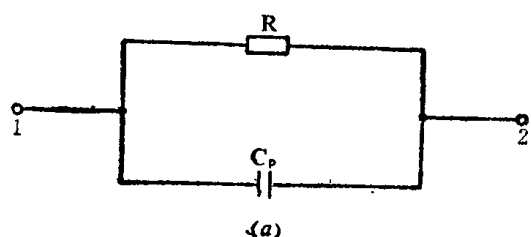


图 1—2 电容器的等效电路

频率时，电容器就呈现电感性，从而失去电容的作用。所以，在高频滤波电路中，常采用陶瓷电容器而不使用卷绕电容器，就是为了削弱分布电感的有害影响。

二、LC串联回路的谐振现象

将电感线圈与电容器串接便构成LC串联回路。在外加信号源电压 E 作用下，回路电流为 I 如图1—3a所示。其中损耗电阻 R 包括了线圈 L 、电容 C 和连接导线的损耗等， ω 为信号源频率。

由电工理论可知，LC串联回路的总阻抗 $Z = R + jX$ ，其中电抗 $X = \omega L - 1/\omega C$ ，总阻抗的模和幅角分别为

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (1-1a)$$

$$\phi = \arctg X/R = \arctg(\omega L - 1/\omega C)/R \quad (1-1b)$$

串联回路复电流 $\dot{I} = \dot{E}/Z$ ，复电流的模和相角分别为

$$I = E/\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (1-2a)$$

$$\psi = -\phi = -\arctg(\omega L - 1/\omega C)/R \quad (1-2b)$$

从式(1—1)和式(1—2)中可以看出串联回路的阻抗、电流与频率的关系。显然，不同频率对回路阻抗大小也不同。当频率较低时， $\omega L < 1/\omega C$ 电抗为负值，电路呈电容性阻抗；当频率较高时， $\omega L > 1/\omega C$ 电抗为正值，电路呈电感性阻抗；当信号源频率为某值 ω_0 刚好使 $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ ，电抗为零 $X = 0$ 称为串联谐振。角频率 $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， f_0 称为谐振频率。

图1—3b示出LC串联回路电抗与频率的关系特性，图中电抗曲线 X 是一根感抗($X_L = \omega L$)直线与容抗($X_C = -1/\omega C$)的曲线相加而得到的。与 ω 轴的交点为 ω_0 ，在 ω_0 的左边即低于谐

振频率($\omega L < \frac{1}{\omega C}$)，电抗曲线处在 ω 轴的下面，表明电路的电容性质；在 ω_0 的右边即高于

谐振频率($\omega L > \frac{1}{\omega C}$)，电抗曲线处在 ω 轴的上面，表面电路的电感性质。在 ω_0 点 $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ ，即串联谐振频率

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

式中电感 L 单位为亨(H)，电容 C 单位为法拉(F)，频率 f 单位为赫(Hz)。

电路谐振频率是由电路本身参数所决定，与外加信号电压无关，当信号频率等于电路谐振频率时，电路呈现谐振现象。因此变动信号源频率或改变元件参数电感(或电容)的数值，都可使电路发生谐振。调节电感量 L 或电容 C 的数值，使之发生谐振的过程称为调谐。当信

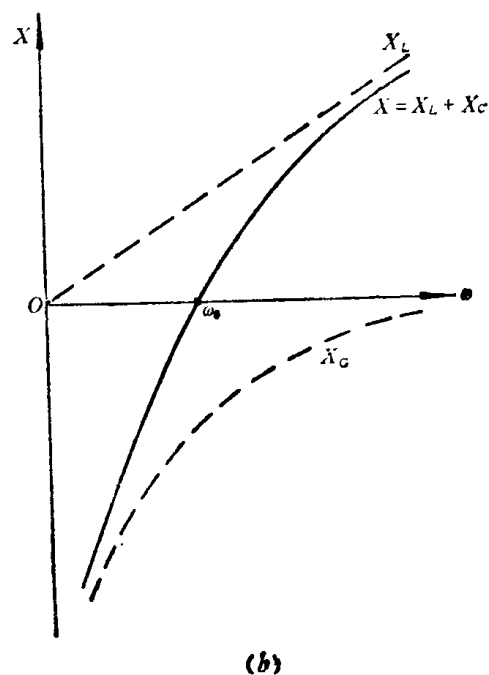
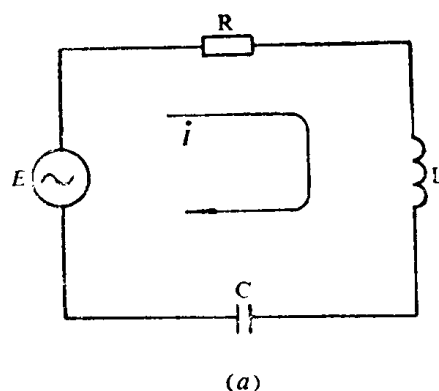


图 1—3 串联谐振回路

号源频率不等于谐振频率时，电路处于失谐状态。

三、串联谐振的特征

串联谐振回路阻抗的模 $|Z|$ 及回路电流 I 随频率变化的关系特性如图1—4a、b所示。当外加信号源频率等于电路谐振频率时，电抗 $X=0$ ，回路阻抗的模为极小值，且为电阻性；回路电流为极大值，阻抗的幅角为零，即回路电流与信号源电压同相，其矢量关系见图1—4c，由式(1—1)及式(1—2)可知谐振时回路总阻抗及电流分别为

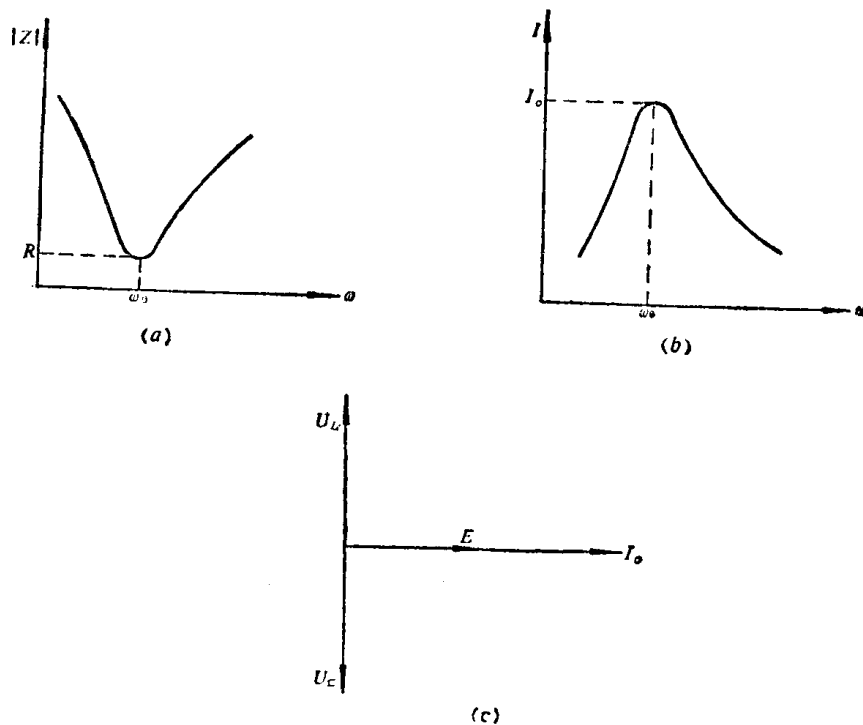


图 1—4 串联回路阻抗的模及电流与频率的关系
(a) $|Z|$ 的频率特性 (b) 回路电流与频率关系 (c) 串联谐振时矢量图

$$Z_0 = R \quad (1-3a)$$

及
$$I_0 = \frac{E}{R} \quad (1-3b)$$

当回路失谐时，无论频率高于或低于谐振频率，都将使回路阻抗增大，回路电流也将随失谐的增大而减小，其变化情形见图1—4(a)、(b)。由于谐振时回路感抗 $\omega_0 L$ 和容抗 $1/\omega_0 C$ 相等，通常将这时感抗或容抗的数值称为回路的特性阻抗，用 ρ 表示即

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1-4)$$

回路的特性阻抗 ρ 与回路损耗电阻 R 之比值称为回路的品质因数，用字母 Q 表示即

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1-5)$$

应当注意的是，回路品质因数与线圈的品质因数是有区别的。线圈 Q_i 值是感抗 ωL 与损耗电阻 r 之比， ω 为任意值由工作频率决定，而计算回路 Q 值则要用谐振角频率 ω_0 。线圈 Q_i 值与导线种类、骨架材料及绕制形式有关，一般在几十至一、二百之间， Q_i 值越高表示线圈损耗越小。回路 Q 值由于受负载影响使 R 增大，往往要低于 Q_i 值。谐振时电感线圈和电容器端电

压的有效值分别为

$$U_L = \omega_0 L I_0 = \omega_0 L \frac{E}{R} = QE$$

$$U_C = \frac{1}{\omega_0 C} I_0 = \frac{1}{\omega_0 C} \cdot \frac{E}{R} = QE$$

上式表明电感上端电压与电容上端电压在数值上相等, 且为信号源电压的 Q 倍, 所以串联谐振又称为电压谐振。在无线电技术中, 传输信号的电压通常都很微弱, 利用电压谐振现象可得到较高的信号电压。

综上所述, 谐振时LC串联回路具有以下特征:

(1) 回路阻抗的模 $|Z| = R$ 为最小值, 回路电抗为零, 回路电流与信号源电压同相。

(2) 电路中电流达到最大值, $I_0 = E/R$ 。

(3) 回路的特性阻抗等于谐振时的感抗或容抗。

(4) 谐振时电感线圈的端电压与电容器的端电压相等, 其数值为信号源电压的 Q 倍。

例1—1 LC串联谐振电路中, 电感 $L = 50\mu\text{H}$, 电容 $C = 200\text{pF}$, 回路品质因数 $Q = 50$, 信号源电压 $E = 1\text{mV}$, 试求电路的谐振频率, 谐振时回路中的电流及电容器两端电压 U_c 。

解 电路的谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{50 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^{-12}}} = 1.59 \text{ (MHz)}$$

为求出谐振时回路电流, 需先求出电路中损耗电阻 R , 由式(1-5)得

$$R = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{50} \sqrt{\frac{50 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-12}}} = 10(\Omega)$$

所以谐振时回路电流为

$$I_0 = \frac{E}{R} = \frac{1 \times 10^{-3}}{10} = 0.1 \text{ (mA)}$$

电容器两端电压为

$$U_c = QE = 50 \times 1 = 50 \text{ (mV)}$$

§ 1—2 串联谐振电路的频率特性

串联谐振电路中电流随频率变化的特性称为电路的频率特性, 根据电流的幅值、相位与频率的关系可分为幅频特性和相频特性两种。

一、幅频特性

在串联谐振电路中电流幅值随信号源频率变化的特性称为串联回路的幅频特性。由式(1—2a)可知串联回路中电流是频率的函数, 如果信号源电压和电路参数(L 、 C 和 R 的数值)保持不变, 就可以得到电流与频率的关系特性曲线, 图1—5画出了不同 Q 值(即不同 R 值)时的幅频特性。从图中可以看出, 当信号源频率等于电路谐振频率时, 回路中电流达到最大值, 当失谐时电流趋向减小, 离开谐振频率愈远(即失谐愈大)电流也愈小。回路 Q 值愈高(即 R 愈小)谐振时的电流也愈大。但在失谐较大时, 电流几乎与损耗电阻 R 大小无关(即 Q 值大小无关)。这是因为当外加信号源频率非常接近谐振频率时 $|\omega L - 1/\omega C|$ 很小,

电阻 $R \gg |\omega L - 1/\omega C|$ ，这时损耗电阻是决定电流大小的主要因素，所以电阻愈小（ Q 值愈高）在谐振频率及其附近频率的电流幅值也愈大。当远离谐振频率时，电抗部分 $(\omega L - 1/\omega C)$ 较电阻 R 大得多，回路电流的大小几乎与电阻大小无关（ Q 值无关）。

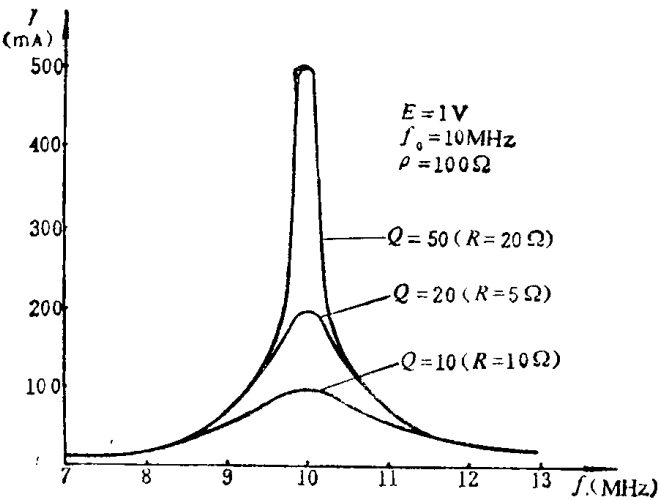


图 1—5 串联回路不同 Q 值的幅频特性

通常采用相对坐标来表示不同 Q 值时的电流通用幅频特性，图1—6中纵坐标取相对电流 I/I_0 ，横坐标取相对频率 ω/ω_0 为度量单位。同样由图中可看出，回路 Q 值愈高特性曲线也愈尖锐。在无线电技术中，通常利用谐振电路的这种特性，从各种不同频率信号中选择所需的信号。例如，广播收音机中用调节电容（或调节电感）使与所接收的信号频率呈现谐振的办法来选择电台。

由式（1—2a）和式（1—3b）求出相

对电流的值为

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \right)^2}}$$

将 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ 和 $Q = \omega_0 L/R$ 代入 $(\omega L - 1/\omega C)/R$ 项，经过整理后可得相对电流的值为

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} \quad (1-6)$$

上式中令 $\xi = Q(f/f_0 - f_0/f)$ ， ξ 称为一般失谐，值的大小取决于信号源频率和回路的参数，谐振时一般失谐 $\xi = 0$ 。在无线电技术实际应用中，回路 Q 值总是远大于1（ $Q \gg 1$ ），当 ω 与 ω_0 比较接近时可以认为 $\omega + \omega_0 \approx 2\omega_0$ ，一般失谐近似为

$$\xi = Q \frac{2(f - f_0)}{f_0} = Q \frac{2\Delta f}{f_0} \quad (1-7)$$

式中 $\Delta f = f - f_0$ 为频率离开谐振点的绝对值，通常称为绝对失谐，而 $2\Delta f/f_0$ 称为相对失谐，把式（1—7）代入式（1—6），相对电流值近似为

$$\frac{I}{I_0} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}} \quad (1-8)$$

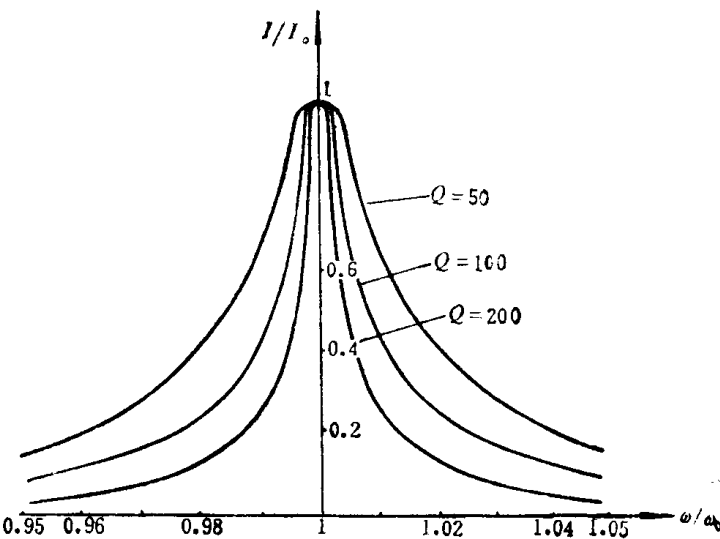


图 1—6 串联回路的电流通用幅频特性