

无线电技术基础

赵忠仁 等编著

中国广播电视出版社

图书在版编目(CIP)数据

无线电技术基础/赵忠仁等编著. —北京:中国广播电视出版社,1995.8(1998.1重印)

ISBN 7-5043-2720-4

I. 无… II. 赵… III. 无线电技术-专业学校-教材 IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00818 号

中国广播电视出版社出版发行

(北京复外真武庙二条 9 号 邮政编码:100866)

河北省地矿局地质六队美术胶印厂

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开 18.5 印张 435(千)字

1995 年 8 月第 1 版 1998 年 1 月第 2 次印刷

印数:10001—13000 册 定价:24.00 元

出版者的话

为了适应广播电视中专教育事业发展的需要,不断提高教材质量,广播电影电视部教育司和各广播电视中专课程组,在对第一轮中专工科教材修订的基础上,组织力量编写了第二轮广播电视中专工科教材,由中国广播电视出版社出版,并公开发行。这批计划出版的专业基础课教材有:《电子线路》、《电工基础》、《无线电技术基础》、《无线电测量》、《微型计算机原理与应用》、《脉冲与数字电路》、《电视原理》,共计7种。专业课教材有:《电波与天线》、《广播·电视·调频发送技术》、《广播播控技术》(含广播声学、有线广播、录音技术)、《电视播控与制作技术》(含摄像)、《电视接收技术》、《数字通信》、《微波与卫星接收技术》、《录音与录像技术》,共计8种。在教材编写过程中,力求做到立论正确,概念清楚,理论联系实际。

这批教材仍暂作试用教材,适于招收初中毕业生、学制为四年的学校使用。鉴于目前各学校招生对象和学制不尽相同,各校可根据教学大纲的要求选用有关内容。设有相近专业的其它中等专业学校和职业高中也可选用本教材。

这批教材还可以作为干部培训的中级教材和职工自学参考书之用,也可以供具有高中文化程度和一定无线电基础知识的读者阅读。我们殷切希望广大读者对本教材提出意见和建议,帮助我们做好教材出版工作。

广播电影电视部教育司

前 言

本书是按照广播电影电视部教育司审定的中专《无线电技术基础》编写大纲而编写的。它将作为广播电视中专学校工科各专业的技术基础课教材。

本书共分六章，着重讲述简单谐振回路、耦合谐振回路、双口网络、滤波器、传输线以及无线电信号的基本组成和原理，并介绍其分析和计算方法。

《无线电技术基础》是一门专业技术基础课，在编写过程中力求做到概念叙述清楚、准确，以定性描述为主，尽量避开繁琐的数学推导，做到理论联系实际。本教材授课时数为112学时。

参加本书编写工作的有：赵忠仁、刘宏、宋志山同志编写了第一、二章；李延福同志编写了第三、四、六章；南易同志编写了第五章；全书插图由刘晓萍、郑晓光同志绘制；赵忠仁同志担任主编。由于编者水平有限，错误和不当之处在所难免，请广大读者提出宝贵意见。

编 者

1993年10月

目 录

第一章 简单谐振回路	(1)
1-1 谐振回路元件	(1)
1-2 串联谐振回路	(6)
一、谐振及谐振条件	(6)
二、串联谐振回路在谐振状态的特点	(9)
三、串联谐振回路在谐振时的能量关系	(11)
1-3 串联谐振回路的频率特性	(13)
一、串联谐振回路的幅频特性	(13)
二、串联谐振回路的相频特性	(17)
三、电感和电容端电压的频率特性	(19)
四、串联谐振回路的通频带	(20)
五、串联谐振回路的选择性	(22)
六、信号源内阻和负载对串联谐振回路的影响	(23)
1-4 并联谐振回路	(24)
一、谐振条件	(25)
二、并联谐振回路在谐振状态的特点	(26)
1-5 并联谐振回路的频率特性	(29)
一、并联谐振回路的幅频特性	(30)
二、并联谐振回路的相频特性	(32)
三、信号源内阻和负载对并联谐振回路的影响	(32)
四、信号源的输出电容和负载电容对并联谐振回路的影响	(34)
1-6 并联谐振回路的耦合连接与接入系数	(35)
一、变压器耦合连接	(35)
二、电感部分接入	(37)
三、电容部分接入	(41)
四、双电感抽头耦合连接	(43)
1-7 回路元件的测量——高频 Q 表	(44)
一、串联谐振回路谐振时元件上的电压	(44)
二、高频 Q 表	(45)
1-8 RC 电路的频率特性	(46)
一、RC 串联电路的频率特性	(46)
二、RC 并联电路的频率特性	(53)
三、RC 串并联电路的频率特性	(54)
1-9 纯电抗二端网络的频率特性	(56)

一、单一电抗元件的频率特性	(57)
二、双元件电抗二端网络的频率特性	(57)
三、三元件电抗二端网络的频率特性	(60)
本章小结	(62)
习题	(64)
第二章 耦合谐振回路	(74)
2-1 耦合谐振回路、耦合系数与矩形系数	(74)
一、耦合谐振回路	(74)
二、耦合系数	(74)
三、矩形系数	(78)
2-2 互感耦合双回路的谐振曲线	(79)
一、初、次级相同的互感耦合双回路的谐振曲线表达式	(79)
二、耦合因数 $\eta=1$ 时的次级电流 I_2 的谐振曲线、通频带和矩形系数	(81)
三、耦合因数 η 为各种值时的次级电流 I_2 的谐振曲线	(83)
四、初级电流 I_1 的谐振曲线	(87)
五、初、次级不相同的双回路谐振曲线	(89)
2-3 电容耦合双回路	(94)
一、初、次级相同的电容耦合双回路	(94)
二、初、次级不相同的电容耦合双回路	(96)
三、互感耦合回路和电容耦合回路的特点	(97)
2-4 耦合谐振回路的等效电路	(100)
一、初级等效电路	(101)
二、次级等效电路	(104)
2-5 耦合谐振回路的调谐	(107)
一、部分谐振	(107)
二、复谐振	(110)
三、全谐振	(113)
本章小结	(117)
习题	(119)
第三章 双口网络	(123)
3-1 双口网络的基本方程和参数	(127)
一、阻抗方程与 Z 参数	(127)
二、导纳方程与 Y 参数	(129)
三、传输方程与 A 参数	(132)
四、混合方程与 H 参数	(135)
五、实验参数	(136)
3-2 双口网络的网络函数	(137)
一、输入阻抗和输出阻抗	(137)
二、传输函数	(140)

3-3 线性可逆双口网络的等效电路	(144)
一、等效为 T 型网络	(145)
二、等效为 π 型网络	(146)
三、等效为 X 型网络	(148)
3-4 不可逆双口网络的等效电路	(149)
一、Z 参数等效电路	(149)
二、Y 参数等效电路	(151)
三、H 参数等效电路	(152)
3-5 双口网络的连接	(152)
一、双口网络的串联	(153)
二、双口网络的并联	(155)
三、双口网络的串并联和并串联	(157)
四、双口网络的级联	(158)
3-6 双口网络的镜像参数	(159)
一、特性阻抗 (镜像阻抗)	(159)
二、传输常数	(161)
三、匹配级联网络	(164)
四、插入衰减和工作衰减	(166)
3-7 阻抗匹配网络和衰减器	(168)
一、阻抗匹配网络	(169)
二、衰减器	(171)
本章小结	(175)
习题	(177)
第四章 滤波器	(182)
4-1 Γ 型网络的传通条件	(183)
4-2 K 式滤波器	(185)
一、K 式低通和高通滤波器	(185)
二、K 式带通和带阻滤波器	(193)
4-3 M 式滤波器	(199)
一、串联导出型	(200)
二、并联导出型	(201)
三、M 式滤波器的特性阻抗	(204)
四、衰减常数和相移常数	(205)
4-4 复合滤波器	(206)
4-5 其它类型滤波器	(209)
一、晶体滤波器	(209)
二、机械滤波器	(212)
三、声表面波滤波器	(213)
四、RC 滤波器	(214)

4-6 开关电容滤波器	(216)
本章小结	(219)
习题	(219)
第五章 传输线	(221)
5-1 分布参数和分布参数电路	(221)
5-2 传输线方程及其正弦稳态解	(222)
一、传输线方程	(222)
二、传输线方程的正弦稳态解	(224)
5-3 传输线上的波和传播特性	(226)
一、行波	(226)
二、传播特性	(229)
5-4 终端短路、开路和接纯电抗负载的无损耗线	(233)
一、终端短路线	(233)
二、终端开路线	(239)
三、反射系数	(241)
四、终端接纯电抗负载的无损耗线	(242)
5-5 终端接任意负载的无损耗线	(243)
一、沿线电压、电流分布	(243)
二、驻波比和行波系数	(245)
三、线上任意点的输入阻抗	(245)
四、传输功率	(246)
5-6 传输线的应用	(247)
一、传输线在天线方面的应用	(247)
二、传输线用作谐振电路	(247)
三、传输线用作谐波抑制网路	(249)
本章小结	(251)
习题	(253)
第六章 无线电信号	(255)
6-1 非正弦周期信号	(255)
一、非正弦周期信号的合成	(255)
二、非正弦周期信号的分解	(256)
三、非正弦周期信号的频谱	(260)
6-2 非周期信号	(263)
一、非周期信号的频谱函数	(263)
二、单个矩形脉冲的频谱	(263)
三、非周期信号频谱的特点	(264)
6-3 调幅波信号	(269)
一、调幅波的波形	(269)
二、调幅波的数学表达式	(270)

三、调幅波的频谱	(271)
四、调幅波的功率	(272)
6-4 调频与调相	(274)
一、调频波的波形	(274)
二、调频波的数学表达式	(274)
三、调频波的频谱	(276)
四、调相波	(278)
本章小结	(280)
习题	(282)

第一章 简单谐振回路

在正弦稳态的情况下,电感的感抗随着频率的增加而单调增大,电容的容抗随着频率的增加而单调减小。由电感、电容和电阻组成的电路,其阻抗可分为电阻和电抗两部分,一般而言,它们都是频率的函数。在某些频率上,电抗等于零,这时阻抗呈纯电阻性,作用于该电路上的电压和电流同相。电路的这种工作状态称为谐振。谐振电路的应用比较广泛,主要利用它的谐振频率特性,也就是利用它对频率的选择性。

谐振电路由电感线圈和电容器组成,按照电路的组成形式可分为串联谐振回路、并联谐振回路和耦合谐振回路。本章主要讨论串联谐振回路和并联谐振回路,即简单谐振回路在正弦稳态情况下的谐振特点和频率特性。

1-1 谐振回路元件

组成谐振回路的基本元件是电感线圈和电容器,在研究谐振回路之前,先分析元件的特性。

在《电工基础》课中,已经讨论了电感线圈,它除了表现出电感 L 的特性外,还有不可忽视的能量损耗。它是由于电感线圈导线电阻引起的,这部分能量损耗用电阻元件表示。此外,电感线圈的线匝之间还存在着分布电容。因此,电感线圈可用电阻元件与电感元件串联,再与电容元件相并联的模型表示,如图1-1-1(a)所示。

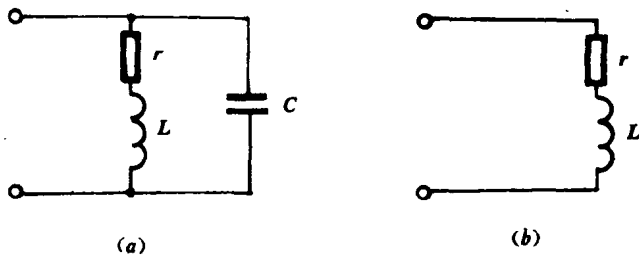


图 1-1-1 电感线圈的电路模型

但是在分析长、中、短波及超短波频段的电路时,由于分布电容很小,信号频率不很高,容抗 $\frac{1}{\omega C} \gg \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$,可以忽略分布电容的影响,因而用电阻元件 r 与电感元件串联的模型表示,如图1-1-1(b)所示。

电阻 r 越大,损耗功率就越大,线圈在电路中的感抗作用就不明显,因此在制作电感线圈时,应尽量降低 r 。

值得注意的是,在交流信号作用下,由于“趋肤效应”及其它一些因素的影响,电感线圈在交流工作状态的电阻大于在直流工作状态的电阻,而且交流电阻还是频率的函数。

在无线电技术中,不是直接用等效电阻 r ,而是引入线圈的“品质因数”这一参数来表示线圈的损耗性能。线圈的感抗与其串联电阻之比称为电感线圈的品质因数,用符号 Q_L 表示,即

$$Q_L = \frac{\omega L}{r} \quad (1-1-1)$$

Q_L 没有量纲, Q_L 值越高, 表示电感线圈的损耗就越小。一般情况下, 线圈的 Q_L 值在几十到一、二百左右。

引入品质因数 Q_L 给分析实际问题带来方便。这是因为: 在一定的频率范围内, 损耗电阻 r 随频率增高而加大, 与此同时, 感抗 ωL 也随频率增高而加大, 因而品质因数随频率的变化不大, 也就是说, 对于一个线圈在适当的工作频段内, 可以把 Q_L 近似看成常数。电感线圈的 Q_L 值用实验的方法很容易测量, 而其交流电阻却不容易测出。

线圈的 Q_L 值和导线的种类、骨架芯子性能以及绕制的型式都有关系。在实际工作中, 从线圈结构去计算 Q_L 值很不方便, 因此, 通常是先绕制线圈, 再用实验方法测量 Q_L 值, 若达不到要求的数值, 可通过改变线圈的匝数或者改变线圈的结构来实现。

为了减小“趋肤效应”的影响, 以便提高 Q_L 值, 在无线电广播的中波段常采用多股线。它是将多根漆包线或纱包线互相扭合, 端点连起来构成导线的。在短波和超短波段常把导线表面镀银, 减小导线表面电阻, 提高 Q_L 值。为了充分利用金属材料, 大功率发射机的大线圈, 将导线做成空心管形, 这样做也便于冷却。

在电路分析中, 有时需要把图 1-1-2(a) 所示的电感与电阻串联电路等效变换为电感与电阻并联电路, 如图 1-1-2(b) 所示电路。图中 L_p 和 R 表示并联等效电路的参数。根据电路

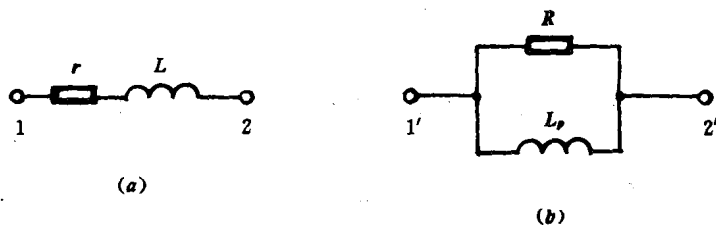


图 1-1-2 电感性圈的串、并联等效电路

的阻抗与导纳的等效变换公式, 得

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{Z} = \frac{1}{r + j\omega L} \\ &= \frac{r}{r^2 + (\omega L)^2} - j \frac{\omega L}{r^2 + (\omega L)^2} \\ &= G + jB_L \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} G &= \frac{r}{r^2 + (\omega L)^2} \\ B_L &= - \frac{\omega L}{r^2 + (\omega L)^2} \end{aligned}$$

因为

$$G = \frac{1}{R}, \quad B_L = - \frac{1}{\omega L_p}$$

所以

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{r}{r^2 + (\omega L)^2} \\ \frac{1}{\omega L_p} &= \frac{\omega L}{r^2 + (\omega L)^2} \end{aligned}$$

由上述两式可得

$$R = \left(1 + \frac{\omega^2 L^2}{r^2} \right) r \quad (1-1-2)$$

$$L_p = \left(1 + \frac{r^2}{\omega^2 L^2} \right) L \quad (1-1-3)$$

根据式 (1-1-1), 上述两式可以改写为

$$R = (1 + Q_l^2) r \quad (1-1-4)$$

$$L_p = \left(1 + \frac{1}{Q_l^2} \right) L \quad (1-1-5)$$

当 $Q_l \gg 1$ 时, 式 (1-1-4) 和式 (1-1-5) 可简化为下面的计算公式

$$R \approx Q_l^2 r = \frac{\omega^2 L^2}{r} \quad (1-1-6)$$

$$L_p \approx L \quad (1-1-7)$$

式 (1-1-6) 和式 (1-1-7) 表明, 把 L 、 r 串联电路等效变换成 L_p 、 R 并联电路时, 在 $Q_l \gg 1$ 的条件下, 即高 Q_l 值的情况下, L_p 近似等于 L , R 近似等于 $\frac{\omega^2 L^2}{r}$ 。 r 越小, 变换成 R 越大, 这表示损耗小。相反, r 如果较大, 变换成 R 就比较小, 表示线圈损耗大。因为与 L 串联的 r 大, r 的电压升高, 损耗的功率就多; 而与 L_p 并联的电阻越小, 分流增加, 同样是损耗功率增加。一般情况下, 线圈的串联电阻 r 约为几欧的数量级, 而变换成并联电阻 R 可达到几百千欧或更高。

电感线圈的 Q_l 值还可利用并联形式等效电路参数表示。将式 (1-1-5) 乘以 ω , 得

$$\omega L_p = \left(1 + \frac{r^2}{\omega^2 L^2} \right) \cdot \omega L \quad (1-1-8)$$

将式 (1-1-2) 与式 (1-1-8) 相除, 得

$$\frac{R}{\omega L_p} = \frac{\left(1 + \frac{\omega^2 L^2}{r^2} \right) r}{\left(1 + \frac{r^2}{\omega^2 L^2} \right) \omega L} = \frac{\omega L}{r}$$

从式 (1-1-1) 定义可知, $\frac{\omega L}{r}$ 即 Q_l 值, 因此 $\frac{R}{\omega L_p}$ 也等于 Q_l , 即

$$Q_l = \frac{R}{\omega L_p} \quad (1-1-9)$$

此结果表明, 当电感线圈以并联形式的等效电路表示时, 并联电阻 R 越小, 损耗就越大, Q_l 值就越低。反之, R 越大, 损耗就越小, Q_l 值就越高。

与电感线圈的情况相似, 电容器除表现出电容特性以外, 还有能量损耗。这种能量损耗, 一方面是由于介质并非理想的绝缘物质, 从而引起漏电电流而造成的; 另一方面也是由于介质处于反复极化所引起的损耗。在这种情况下, 在电容器的电路模型中, 应增添一个并联电阻 R 来表示介质的损耗。此外, 当电容器两端电压变化率很高时, 即电压的频率很高时, 通过电容的电流增大, 产生所谓的“引线电感”, 因而在电容器的模型中还应增添电感元件。这样一个完整的电容器模型如图 1-1-3(a) 所示。但是在分析长、中、短波及超短

波频段的电路时, 由于引线电感很小, 即 $\omega L_0 \ll \frac{R \cdot \frac{1}{\omega C_p}}{R + \frac{1}{\omega C_p}}$, 可以忽略引线电感的影响, 因而

电容器可用电容元件 C_p 与电阻元件 R 并联的电路模型表示, 如图 1-1-3(b) 所示。

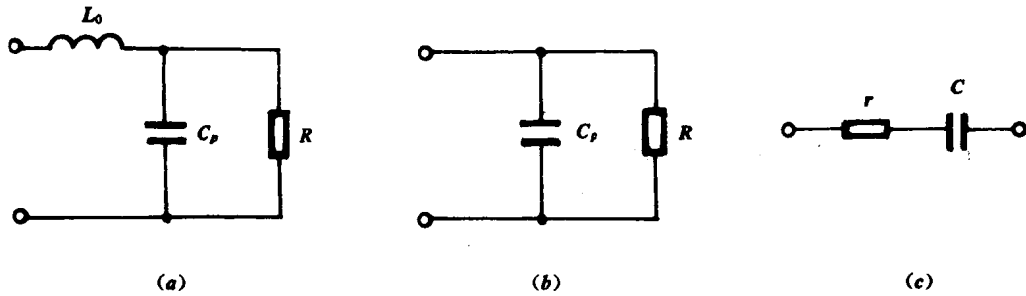


图 1-1-3 电容器的模型和并、串联等效电路

在电路分析中, 有时需要把图 1-1-3(b) 所示的 R 、 C_p 并联电路等效变换为 r 、 C 串联电路, 如图 1-1-3(c) 所示。根据阻抗与导纳的等效变换公式, 可得

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C_p} \\
 &= \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2} - j \frac{\omega C_p}{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2} = r - j \frac{1}{\omega C}
 \end{aligned}$$

式中

$$r = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2} \quad (1-1-10)$$

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{\omega C_p}{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2} \quad (1-1-11)$$

与电感线圈一样, 引入电容器的品质因数这一参数表示电容器的能量损耗性能。电容器的容抗与串联电阻之比, 称为电容器的品质因数, 用符号 Q_c 表示, 即

$$Q_c = \frac{\frac{1}{\omega C}}{r} = \frac{1}{\omega C r} \quad (1-1-12)$$

但在实际应用时, Q_c 值常用并联电路模型的参数定义。为此, 把式 (1-1-10) 和式 (1-1-11) 代入式 (1-1-12), 可得

$$\begin{aligned}
 Q_c &= \frac{\frac{1}{\omega C}}{r} \\
 &= \frac{\frac{\omega C_p}{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2}}{\frac{1}{R}} \\
 &= \frac{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2}{\frac{1}{R}} \\
 &= \omega C_p R
 \end{aligned} \quad (1-1-13)$$

若电阻用电导参数 G 表示, 则式 (1-1-13) 可写作

$$Q_c = \frac{\omega C_p}{G} \quad (1-1-14)$$

电容器的并联损耗电阻的大小主要由介质材料决定。谐振回路中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。它们的损耗都非常小, Q_c 值由几千到几万的数量级。与电感线圈相比, 电容器的损耗常忽略不计。

把式 (1-1-10) 的等式右端的分子、分母同乘以 R^2 , 得

$$r = \frac{R}{1 + \omega^2 C_p^2 R^2} = \frac{R}{1 + Q_c^2} \quad (1-1-15)$$

由式 (1-1-11) 可得

$$C = \frac{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_p^2}{\omega^2 C_p}$$

把上式右端的分子、分母同除以 $\omega^2 C_p^2$, 得

$$C = \left(\frac{1}{\omega^2 C_p^2 R^2} + 1 \right) C_p = \left(1 + \frac{1}{Q_c^2} \right) C_p \quad (1-1-16)$$

当 $Q_c \gg 1$ 时, 式 (1-1-15) 和式 (1-1-16) 的近似式为

$$r \approx \frac{R}{Q_c^2} \approx \frac{1}{\omega^2 C_p^2 R} \quad (1-1-17)$$

$$C \approx C_p \quad (1-1-18)$$

上述两式说明, 把电容器的 R 、 C_p 并联电路等效变换成 r 、 C 串联电路时, 在 $Q_c \gg 1$ 时, 串联电容 C 近似等于并联电容 C_p , 而串联电阻 r 近似等于 $\frac{1}{\omega^2 C_p^2 R}$ 。

【例 1-1-1】 如图 1-1-4(a) 所示, 把电感线圈和电容器串联起来, 已知 $L = 585 \mu\text{H}$, $Q_c = 100$, $C_p = 200 \text{ pF}$, $R_c = 30 \text{ M}\Omega$, 工作频率 $f = 465 \text{ kHz}$ 。求等效为图 1-1-4(b) 电路后的 L_0 、 C_0 和 r_0 。

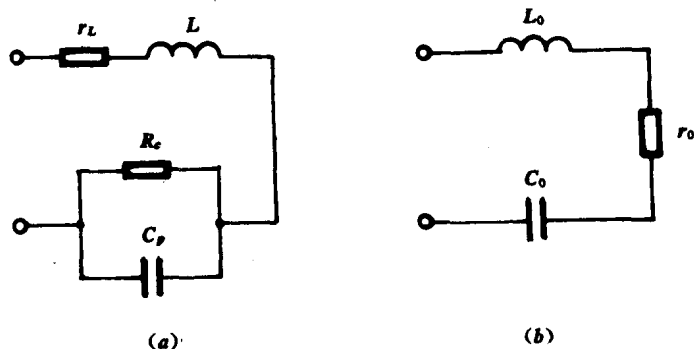


图 1-1-4 例 1-1-1 的电路图

解: 根据式 (1-1-1) 可得电感线圈等效串联电阻

$$r_L = \frac{\omega L}{Q_c} = \frac{2\pi \times 465 \times 10^3 \times 585 \times 10^{-6}}{100} \approx 17 \Omega$$

根据式 (1-1-17) 可得电容器等效串联电阻

$$r_c = \frac{1}{R_c \omega^2 C_p^2}$$

$$= \frac{1}{30 \times 10^6 \times (2\pi \times 465 \times 10^3)^2 \times (200 \times 10^{-12})^2}$$

$$\approx 0.1 \Omega$$

图 1-1-4(b) 电路图中的 r_0 为

$$r_0 = r_L + r_c = 17 + 0.1 = 17.1 \Omega$$

$$L_0 = L = 585 \mu\text{H}$$

由于电容器的 Q_c 值很高, 所以

$$C_0 \approx C_p = 200 \text{pF}$$

1-2 串联谐振回路

图 1-2-1(a) 所示电路为串联谐振回路的原理图, 其中 L 和 C 分别表示回路的电感和电容, 电阻 r 表示回路的损耗电阻。实际上, 由于电容器的损耗比电感线圈的损耗小得多, 所以回路的损耗电阻可以看成电感线圈的损耗电阻。 u 是外加正弦信号电压。为了分析问题简便, 暂不考虑信号源内阻和负载电阻。

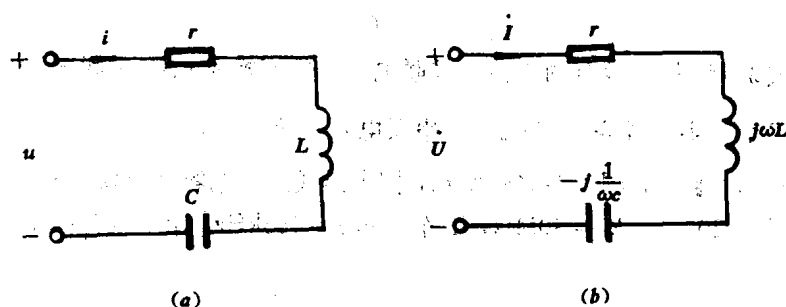


图 1-2-1 串联谐振回路

一、谐振及谐振条件

图 1-2-1(a) 所示电路的相量模型如图 1-2-1(b) 所示。电流相量

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} \quad (1-2-1)$$

式中 Z 为回路的阻抗

$$Z = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1-2-2)$$

阻抗 Z 的指数形式为

$$Z = ze^{j\varphi_z} \quad (1-2-3)$$

其中

$$z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (1-2-4)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} \quad (1-2-5)$$

$$\text{设 } \dot{U} = U e^{j\varphi_u} \quad (1-2-6)$$

$$\dot{I} = I e^{j\varphi_i} \quad (1-2-7)$$

把式 (1-2-2)、式 (1-2-6)、式 (1-2-7) 代入式 (1-2-1) 得

$$I e^{j\varphi_i} = \frac{U}{z} e^{j(\varphi_u - \varphi_z)} \quad (1-2-8)$$

由式 (1-2-8) 可得, 电流有效值为

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (1-2-9)$$

电流与电压的相位差

$$\varphi = - \operatorname{arctg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} \quad (1-2-10)$$

当回路参数 r 、 L 、 C 和信号电压有效值及角频率 ω (或频率 f) 给定后, 利用式 (1-2-9) 和式 (1-2-10) 就可以算出电流的大小和相位。

为了分析谐振回路的选频作用 (即它对不同频率的信号表现出不同的响应), 下面研究当信号源的电压有效值一定而频率改变时, 电流怎样变化?

当角频率不太高的情况下, 电阻 r 可看成与角频率无关, 是一常量, 所以电路阻抗的变化规律只决定于电抗。因此, 式 (1-2-9) 中 I 随 ω 的变化是由分母中的电抗 $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ 项决定的。图 1-2-2(a)、(b) 中画出以 ω 为自变量的 ωL 与 $-\frac{1}{\omega C}$ 的特性曲线, 二者相加即得回路电抗 $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ 的特性曲线, 如图 1-2-2(c) 所示。这条特性曲线的特点是: 在角频率 ω 较低的情况下, $\omega L < \frac{1}{\omega C}$, 回路中的电容起主要作用, 电抗为负值; 在 ω 较高的情况下, $\omega L > \frac{1}{\omega C}$, 回路中电感起主要作用, 电抗为正; 在这两种情况之间, 有一个频率点, 满足 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$, 即感抗与容抗相等, 此点角频率以 ω_0 表示。

有了电抗特性曲线就不难画出阻抗模 z 的特性曲线, 如图 1-2-2(d) 所示, 频率为 ω_0 处, $z = r$; 在 ω_0 的两侧, 由于电抗的绝对值随 ω 的增加或减少而增大, 因此 z 也随之增大。

有了 z 的变化规律, 再根据式 (1-2-9) 就可以得出电流 I 的频率特性曲线, 如图 1-2-2(e) 所示。

通过上面的分析可以看出, 当串联谐振回路信号源的角频率为某一特定角频率 ω_0 时, 电路的电抗 $X = 0$, 阻抗 $Z = r$, 相当纯电阻, 因而电流与信号源电压同相。回路的这种工作状态称为回路发生串联谐振。

因此, 串联谐振回路产生谐振的条件是回路中的电抗等于零, 即

$$X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad (1-2-11)$$

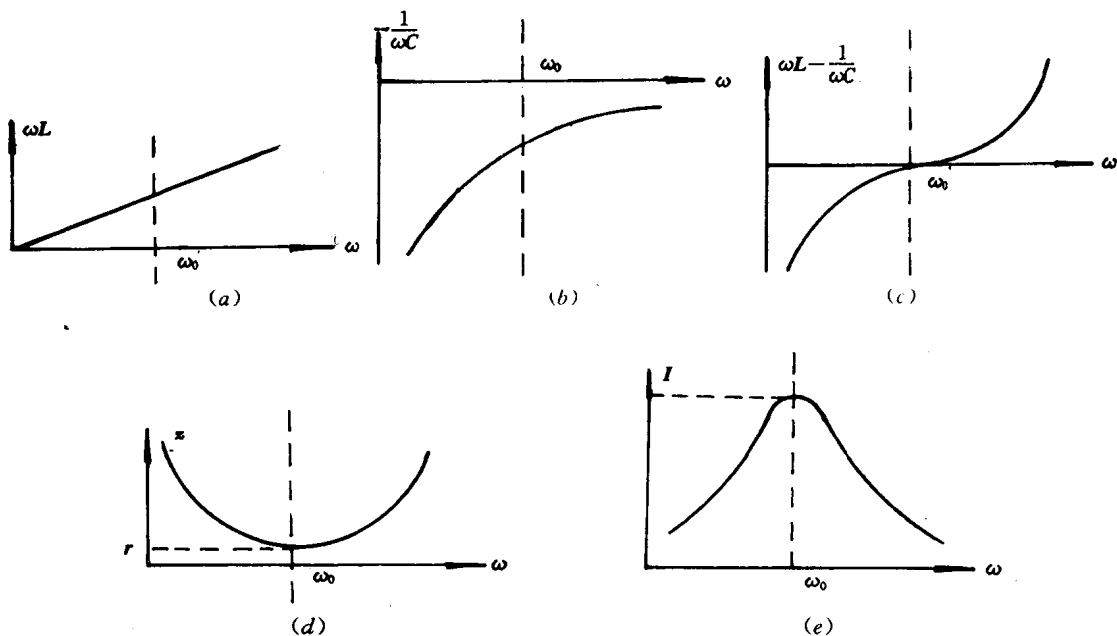


图 1-2-2 阻抗的频率特性

式中的 ω_0 是回路产生谐振时信号源的角频率，称为谐振角频率。由式 (1-2-11) 可知

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1-2-12)$$

或

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (1-2-13)$$

由式 (1-2-12) 和式 (1-2-13) 可以看出，串联谐振回路的谐振角频率 ω_0 (或谐振频率 f_0) 完全由回路本身的参数 L 、 C 决定，因此 ω_0 (或 f_0) 又称为固有角频率 (或固有频率)。当信号源的频率等于回路的固有频率时，则回路将满足谐振条件，即 $X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$ ，使回路处于谐振状态；当信号源的频率不等于回路的固有频率时，则不满足谐振的条件，即 $X = \omega L - \frac{1}{\omega C} \neq 0$ ，回路不会发生谐振。这时称回路工作在失谐状态。

对于 L 、 C 具有固定值的谐振回路，调节信号源的频率可以使回路达到谐振；对于固定频率的信号源，调节电感量 L 或电容量 C 可使回路达到谐振，谐振条件是 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 。这一调节 L 或 C 使回路与某一特定频率的信号相谐振的过程称为调谐。例如收音机的输入回路，就是一个串联谐振回路。具有固定 L 值的天线线圈与可变电容相串联，调节可变电容器的电容量使回路对某一广播电台发送信号的频率谐振，从而达到选频的目的。

【例 1-2-1】 如图 1-2-3 所示电路为某收音机的输入电路，电感 $L_2 = 285 \mu\text{H}$ ，当可变电容调到 163.2 pF 时，回路发生串联谐振，试求回路的谐振频率。

解：根据式 (1-2-13) 可得回路的谐振频率

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \\ &= \frac{1}{2\pi \sqrt{285 \times 10^{-6} \times 163.2 \times 10^{-12}}} = 738 \text{ kHz} \end{aligned}$$