

全国高等教育自学考试教材

《信号与系统》

学习指导与题解

杨林耀 张永瑞 编著

- 本书由原教材作者亲自编写
- 突出重点、考点，化解难点
- 题型丰富，解析详细、透彻
- 真题再现，祝您顺利过关

Signal
&
System

西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

全国高等教育自学考试教材

《信号与系统》

学习指导与题解

杨林耀 张永瑞 编著

西安电子科技大学出版社

2003

内 容 简 介

本书根据全国高等教育自学考试指导委员会颁布的《信号与系统自学考试大纲》的要求,为辅导参加“信号与系统”自学考试的考生而编写。本书由原教材作者亲自编写,并按原教材的章节顺序编排,每一章由重点和难点、例题精选和习题三部分组成。书后有六个附录,分别给出模拟测试题及答案,本书各章习题参考答案,《信号与系统》教材中的练习题、习题、自检题参考答案,以及两套全国统一命题的“信号与系统”试题与分析解答和一套浙江省统考的试题与分析解答。

全国高等教育自学考试教材

《信号与系统》

学习指导与题解

杨林耀 张永瑞 编著

责任编辑 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail:xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安兰翔印刷厂

版 次 2003年4月第1版 2003年4月第1次印刷

开 本 787×1092毫米 1/16 印张 10.375

字 数 234千字

印 数 1~4000册

定 价 12.00元

ISBN 7-5606-0982-1/TN·0172

XDUP 1253A01-1

* * * * * 如有印装问题可调换 * * * * *

前 言

本书是根据全国高等教育自学考试指导委员会颁布的《信号与系统自学考试大纲》的要求，为辅导参加自学考试的考生学习《信号与系统》自考教材的内容而编写的。

编写一本好的自学辅导教材不是一件容易的事。一方面，它要适合参加自学考试考生的需要：明确本课程考生应该掌握的主要内容，分析学习中会遇到的困难，指导考生学会分析问题和解决问题的能力等。另一方面，它还要避免与本课程的大纲和教材内容的重复。编写中，我们力求简明扼要、突出重点，在一些主要内容上，希望能通过辅导教材给考生一些指导。辅导教材仍按教材的章、节顺序编排，每一章由重点和难点、例题精选和习题三部分组成。每一章的重点和难点除了作简要说明外，主要通过分析和求解精选的例题来说明本章应重点掌握的内容和分析方法，同时包含了学生不易掌握的难点。为了加强考生的练习，我们又编写了一些习题。在教材中已经给出了每一章节的小结和自检题，考生在学习时要把辅导教材与教材配合使用。附录一的模拟测试题是根据《信号与系统自学考试大纲》的要求编写的，其题型参考了某些省以往“信号与系统”自学考试的试题题型。本书的附录四、五、六给出了两套全国统一命题考试“信号与系统”试题和一套浙江省统考试题及分析解答，以帮助读者熟悉全国统考题型、题量及考试难易程度，为顺利通过考试树立信心。

本书于2000年4月份交稿，但由于种种原因，一直未能出版，这无疑给学习本门课程的读者带来许多困难，我们真诚地向广大读者表示歉意。本书这次能顺利出版得到了西安电子科技大学出版社的大力支持，同时，中国人民大学出版社也给予积极的协调，编者向两家出版社也表示衷心的感谢。

本书的第一、二、五章由西安电子科技大学的杨林耀编写，第三、四章以及附录四、五、六由张永瑞编写。由于编者的水平有限，书中定有不少疏漏和差错，希望使用本教材的老师和学生多提宝贵的意见和建议，我们将不胜感激并在今后修改教材时认真考虑这些意见和建议。

编 者

2003年3月

目 录

第一章 双口网络与谐振电路	(1)
一、重点与难点	(1)
二、例题精选	(1)
三、习题一	(10)
第二章 连续时间信号与系统的时域分析	(13)
一、重点与难点	(13)
二、例题精选	(14)
三、习题二	(28)
第三章 连续系统的频域分析	(32)
一、重点与难点	(32)
二、例题精选	(33)
三、习题三	(50)
第四章 连续系统的复频域分析	(54)
一、重点与难点	(54)
二、例题精选	(55)
三、习题四	(72)
第五章 离散时间信号和离散系统分析	(75)
一、重点与难点	(75)
二、例题精选	(75)
三、习题五	(87)
附录一 模拟测试题及解答	(90)
附录二 本书各章习题参考答案	(97)
附录三 《信号与系统》教材中的练习题、习题、自检题参考答案	(101)
附录四 2001年10月高等教育自学考试全国统一命题考试 “信号与系统”试题详解	(116)
附录五 2002年5月高等教育自学考试全国统一命题考试 “信号与系统”试题详解	(130)
附录六 2002年1月高等教育自学考试浙江省命题考试 “信号与系统”试题详解	(143)

第一章 双口网络与谐振电路

一、重点与难点

1.1 双口网络的方程与参数

了解双口网络端口电流、电压的4个变量及设定的参考方向。熟悉双口网络的 Z 、 Y 、 A 、 H 等4种不同类型的方程及其互易网络的参数特点。重点掌握 Z 、 Y 、 A 三种类型方程的列写及其参数的计算。

1.2 网络函数与特性参数

熟悉网络函数 $H(j\omega)$ 的定义，重点掌握利用 A 参数计算网络的输入阻抗、输出阻抗、电压传输函数和电流传输函数。了解特性阻抗和传输常数。难点是利用给定的网络参数分析计算电路。

1.3 RLC 串联谐振电路

熟悉 RLC 串联谐振电路发生谐振时的条件和特点。重点掌握谐振频率、特性阻抗、谐振阻抗、品质因数、谐振时的回路电流和各元件上电压的计算。掌握通频带的定义及计算。

1.4 GCL 并联谐振电路

GCL 并联谐振电路与 RLC 串联谐振电路相互为对偶电路。同样，要熟悉 GCL 并联谐振电路发生谐振时的条件和特点。重点掌握谐振频率、特性阻抗、谐振阻抗、品质因数和谐振时的电流、电压计算。熟练掌握实际并联谐振电路的等效。熟悉有载品质因数 Q_L 和通频带的计算。

二、例题精选

例 1-1 求图 1-1(a)所示双口网络的 Z 参数和 Y 参数。

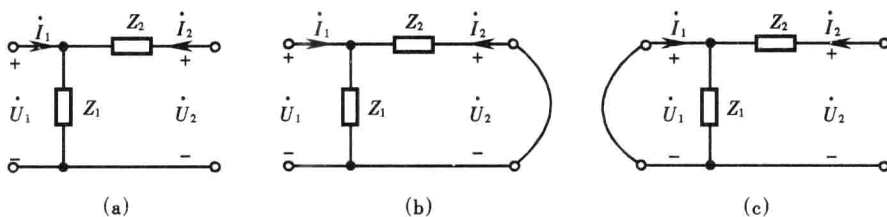


图 1-1

解：(1) 求 Z 参数。

令 $I_2=0$ ，出口开路。由图 1-1(a) 可得

$$z_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{i_2=0} = \frac{Z_1 \dot{I}_1}{\dot{I}_1} = Z_1$$

$$z_{21} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{i_2=0} = \frac{Z_1 \dot{I}_1}{\dot{I}_1} = Z_1$$

令 $I_1=0$ ，入口开路。由图 1-1(a) 可得

$$z_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{i_1=0} = \frac{Z_1 \dot{I}_2}{\dot{I}_2} = Z_1$$

$$z_{22} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{i_1=0} = \frac{(Z_1 + Z_2) \dot{I}_2}{\dot{I}_2} = Z_1 + Z_2$$

故 Z 矩阵为

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_1 \\ Z_1 & Z_1 + Z_2 \end{bmatrix}$$

(2) 求 Y 参数。

令 $U_2=0$ ，出口短路，如图 1-1(b) 所示。由图可知

$$y_{11} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \right|_{U_2=0} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

$$y_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} \right|_{U_2=0} = -\frac{\dot{I}_2}{Z_2 \dot{I}_2} = -\frac{1}{Z_2}$$

令 $U_1=0$ ，入口短路，如图 1-1(c) 所示。由图可得

$$y_{12} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{U_1=0} = \frac{-\dot{I}_2}{Z_2 \dot{I}_2} = -\frac{1}{Z_2}$$

$$y_{22} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right|_{U_1=0} = \frac{1}{Z_2}$$

故 Y 矩阵为

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} & -\frac{1}{Z_2} \\ -\frac{1}{Z_2} & \frac{1}{Z_2} \end{bmatrix}$$

例 1-2 求图 1-2(a) 所示双口网络的 A 参数。

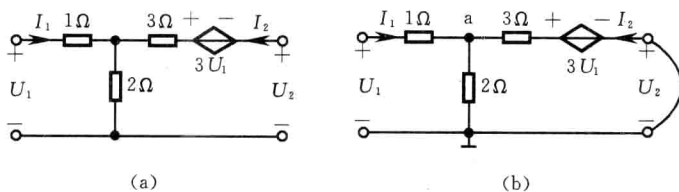


图 1-2

解：令 $I_2=0$ ，出口开路。由图 1-2(a) 可得

$$U_2 = -3U_1 + \frac{2}{3}U_1 = -\frac{7}{3}U_1 \quad \text{①}$$

故
$$a_{11} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = -\frac{3}{7}$$

由图 1-2(a)可知, $I_1 = \frac{1}{3}U_1$, 并将式①代入下式, 得

$$a_{21} = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = \frac{\frac{1}{3}U_1}{-\frac{7}{3}U_1} = -\frac{1}{7}(\text{S})$$

令 $U_2=0$, 出口短路, 如图 1-2(b)所示。图中假设了结点 a 和接地点。由图 1-2(b)可列写 a 点的结点方程为

$$(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3})U_a = U_1 + \frac{3U_1}{3} = 2U_1$$

解得

$$U_a = \frac{12}{11}U_1$$

由图可知

$$I_2 = \frac{3U_1 - U_a}{3} = \frac{7}{11}U_1$$

$$I_1 = \frac{U_1 - U_a}{1} = -\frac{1}{11}U_1$$

故

$$a_{12} = \frac{U_1}{-I_2} \Big|_{U_2=0} = \frac{U_1}{-\frac{7}{11}U_1} = -\frac{11}{7}(\Omega)$$

$$a_{22} = \frac{I_1}{-I_2} \Big|_{U_2=0} = \frac{-\frac{1}{11}U_1}{-\frac{7}{11}U_1} = \frac{1}{7}$$

A 矩阵为

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{3}{7} & -\frac{11}{7}\Omega \\ -\frac{1}{7}\text{S} & \frac{1}{7} \end{bmatrix}$$

例 1-3 图 1-3 所示电路中, 已知电压源 $\dot{U}_s = 3\angle 0^\circ\text{V}$, 负载电阻 $R_L = 6\Omega$, 网络 N 的 Z 矩阵为

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} j3 & j6 \\ j6 & j6 \end{bmatrix} \Omega$$

试求负载电阻 R_L 消耗的功率。

解: 网络 N 的 Z 方程为

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j3\dot{I}_1 + j6\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j6\dot{I}_1 + j6\dot{I}_2 \end{cases} \quad \text{①}$$

将 $\dot{U}_1 = \dot{U}_s = 3\angle 0^\circ\text{V}$, $\dot{U}_2 = -R_L\dot{I}_2 = -6\dot{I}_2$ 代入式①, 得

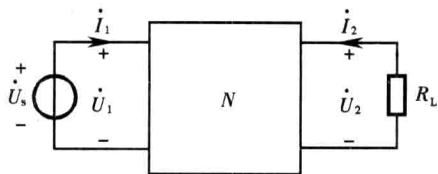


图 1-3

$$\left. \begin{aligned} j3I_1 + j6I_2 &= 3\angle 0^\circ \\ j6I_1 + j6I_2 &= -6I_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

由式②解得

$$I_2 = \frac{-1}{\sqrt{2}}\angle 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}\angle -135^\circ (\text{A})$$

故电阻 R_L 消耗功率为

$$P = I_2^2 R_L = \frac{1}{2} \times 6 = 3 (\text{W})$$

例 1-4 有图 1-4(a)所示电路。已知直流电压源 $U_s = 10 \text{ V}$ ，网络 N 的 Y 矩阵为

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 0.3 & -0.1 \\ -0.1 & 0.2 \end{bmatrix} (\text{S})$$

试求 R_L 等于多大时能获得最大功率？并求此时的最大功率。

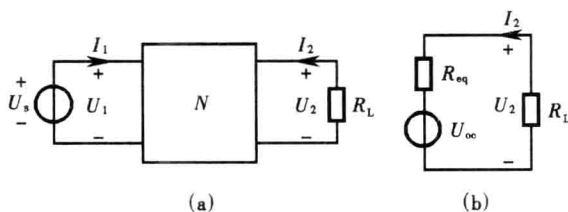


图 1-4

解：根据题意，需要利用戴维南定理将图 1-4(a)电路等效成图 1-4(b)所示电路。下面将利用给定的条件求出口开路时的开路电压 U_{oc} 和等效电源内阻 R_{eq} 。

网络 N 的 Y 方程为

$$I_1 = 0.3U_1 - 0.1U_2 \quad (1)$$

$$I_2 = -0.1U_1 + 0.2U_2 \quad (2)$$

由图 1-4(a)可知， $U_1 = U_s = 10 \text{ V}$ 。当出口开路时， $I_2 = 0$ ，此时 $U_2 = U_{oc}$ 。由式②得

$$U_2 \Big|_{I_2=0} = U_{oc} = \frac{0.1U_1}{0.2} = \frac{0.1 \times 10}{0.2} = 5 (\text{V})$$

当 $U_1 = U_s = 0$ ，入口短路时，出口处的等效电阻就是等效电源内阻 R_{eq} ，即 $R_{eq} = \frac{U_2}{I_2} \Big|_{U_1=0}$ 。将 $U_1 = 0$ 代入式②，得

$$R_{eq} = \frac{U_2}{I_2} \Big|_{U_1=0} = \frac{U_2}{0.2U_2} = 5 (\Omega)$$

当 $R_L = R_{eq} = 5 \Omega$ 时能获得最大功率。此时最大功率

$$P_{Lmax} = \frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}} = \frac{5 \times 5}{4 \times 5} = 1.25 (\text{W})$$

例 1-5 有图 1-5(a)所示电路。已知直流电压源 $U_s = 3 \text{ V}$ ，电源内阻 $R_s = 100 \Omega$ ，负载电阻 $R_L = 100 \Omega$ ，网络 N 的 A 矩阵为

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{5}{3} & \frac{400}{3} \Omega \\ \frac{1}{75} \text{S} & \frac{5}{3} \end{bmatrix}$$

试求：

- (1) 输入电阻 R_{in} ，输出电阻 R_{out} ，电压传输函数 K_u 和电流传输函数 K_i ；
- (2) 求电流 I_1 和 I_2 。

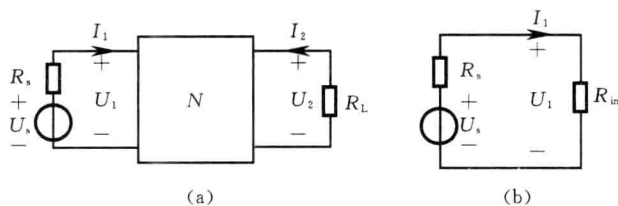


图 1-5

解：(1) 求 R_{in} 、 R_{out} 、 K_u 和 K_i 。

$$R_{\text{in}} = \frac{a_{11}R_L + a_{12}}{a_{21}R_L + a_{22}} = \frac{\frac{5}{3} \times 100 + \frac{400}{3}}{\frac{1}{75} \times 100 + \frac{5}{3}} = 100(\Omega)$$

$$R_{\text{out}} = \frac{a_{22}R_s + a_{12}}{a_{21}R_s + a_{11}} = \frac{\frac{5}{3} \times 100 + \frac{400}{3}}{\frac{1}{75} \times 100 + \frac{5}{3}} = 100(\Omega)$$

$$K_u = \frac{R_L}{a_{11}R_L + a_{12}} = \frac{100}{\frac{5}{3} \times 100 + \frac{400}{3}} = \frac{1}{3}$$

$$K_i = \frac{-1}{a_{21}R_L + a_{22}} = \frac{-1}{\frac{1}{75} \times 100 + \frac{5}{3}} = -\frac{1}{3}$$

(2) 求 I_1 ， I_2 。

求电流 I_1 时，将原电路在输入口处等效成如图 1-5(b) 所示形式。由图可得

$$I_1 = \frac{U_s}{R_s + R_{\text{in}}} = \frac{3}{100 + 100} = 15(\text{mA})$$

$$I_2 = K_i I_1 = -\frac{1}{3} \times 15 = -5(\text{mA})$$

例 1-6 在图 1-6 所示电路中，已知电压源的有效值 $U_s = 1 \text{ V}$ ，频率 $f = 1 \text{ MHz}$ ，调节电容 C 使电路达到谐振，这时回路电流 $I_0 = 100 \text{ mA}$ ，电容上电压 $U_{C0} = 100 \text{ V}$ 。求：

- (1) 元件 R 、 L 、 C 的值和 Q 值；
- (2) 电路通频带 BW 。

解：(1) 求 R 、 L 、 C 和 Q 值。

RLC 串联电路谐振时，电阻 R 上的电压等于电源电压，

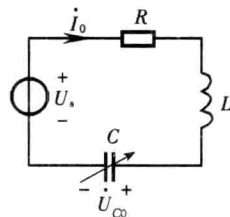


图 1-6

故

$$R = \frac{U_s}{I_0} = \frac{1}{100 \times 10^{-3}} = 10(\Omega)$$

$$X_{C0} = \frac{U_{C0}}{I_0} = \frac{100}{100 \times 10^{-3}} = 1\ 000(\Omega)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_{C0}} = \frac{1}{2\pi \times 10^6 \times 1\ 000} = 159(\text{pF})$$

$$X_{L0} = 2\pi f_0 L = X_{C0}$$

故

$$L = \frac{X_{L0}}{2\pi f_0} = \frac{1\ 000}{2\pi \times 10^6} = 159(\mu\text{H})$$

$$Q = \frac{U_{C0}}{U_s} = 100$$

(2) 求 BW。

$$\text{BW} = \frac{f_0}{Q} = \frac{10^6}{100} = 10(\text{kHz})$$

例 1-7^① 在图 1-7(a) 所示串联谐振电路中, 已知电压源有效值 $U_s = 0.1\text{ V}$, 频率 $f = 1\text{ MHz}$, 调节 C 到 80 pF 时电路谐振, 此时 a、b 两端的电压有效值 $U_{C1} = 10\text{ V}$ 。然后在 a、b 两端接一未知导纳 Y_x , 并重新调节 C 到 60 pF 时, 电路又一次达到谐振, 且 $U_{C2} = 8\text{ V}$ 。试求 L , Y_x 和并接 Y_x 前、后的电路通频带 BW。

解: 设 $C_1 = 80\text{ pF}$, $C_2 = 60\text{ pF}$

由于 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}$, 故

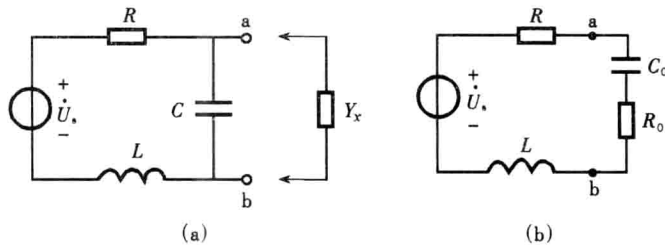


图 1-7

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C_1} = \frac{1}{4\pi^2 \times 10^{12} \times 80 \times 10^{-12}} = 317(\mu\text{H})$$

未接 Y_x 前品质因数:

$$Q_1 = \frac{U_{C1}}{U_s} = \frac{10}{0.1} = 100$$

此时电路的损耗电阻

$$R_1 = \frac{\omega_0 L}{Q_1} = \frac{2\pi \times 10^6 \times 317 \times 10^{-6}}{100} = 19.9(\Omega)$$

并接 Y_x 后品质因数:

^① 例 1-7 为教材 1.14 题, 仅要求学生了解。

$$Q_2 = \frac{U_{C2}}{U_s} = \frac{8}{0.1} = 80$$

此时 RLC 串联谐振电路的损耗电阻

$$R_2 = \frac{\omega_0 L}{Q_2} = \frac{2\pi \times 10^6 \times 317 \times 10^{-6}}{80} = 24.9(\Omega)$$

设并接 Y_x 后增加的电阻为 R_0 ，其值为

$$R_0 = R_2 - R_1 = 5 \Omega$$

令

$$Y_x = G_x + j\omega_0 C_x$$

并接 Y_x 后，设 a、b 两端的等效电路如图 1-7(b) 所示。因电路谐振， L 未变，故 $C_0 = C_1 = 80 \text{ pF}$ 。

a、b 两端的等效阻抗为

$$Z_{ab} = R_0 - j \frac{1}{\omega_0 C_0} \quad (1)$$

a、b 两端的等效导纳为

$$Y_{ab} = G_x + j\omega_0(C_x + C_2) = G_x + jB_x$$

其中

$$B_x = \omega_0(C_x + C_2)$$

$$\begin{aligned} Z_{ab} &= \frac{1}{Y_{ab}} = \frac{1}{G_x + jB_x} = \frac{G_x - jB_x}{G_x^2 + B_x^2} \\ &= \frac{G_x}{G_x^2 + B_x^2} - j \frac{B_x}{G_x^2 + B_x^2} = R_0 - j \frac{1}{\omega_0 C_0} \end{aligned}$$

由上式可得

$$\frac{G_x}{G_x^2 + B_x^2} = R_0 = 5 \quad (2)$$

$$\frac{B_x}{G_x^2 + B_x^2} = \frac{1}{\omega_0 C_0} = \frac{1}{2\pi \times 10^6 \times 80 \times 10^{-12}} = 1989 \quad (3)$$

将式②与式③相比，得

$$\frac{G_x}{B_x} = \frac{5}{1989} = 2.5 \times 10^{-3}$$

或

$$G_x = 2.5 \times 10^{-3} B_x$$

将 G_x 代入式②，解得

$$B_x = 0.5 \times 10^{-3} \text{ (S)}$$

$$G_x = 2.5 \times 10^{-3} B_x = 1.25 \times 10^{-6} \text{ (S)}$$

由于

$$B_x = \omega_0(C_2 + C_x) = 0.5 \times 10^{-3}$$

解得

$$C_2 + C_x = 80 \text{ pF}$$

$$C_x = 80 - C_2 = 80 - 60 = 20 \text{ (pF)}$$

Y_x 并接前：

$$BW_1 = \frac{f_0}{Q_1} = \frac{10^6}{100} = 10 \text{ (kHz)}$$

Y_x 并接后：

$$BW_2 = \frac{f_0}{Q_2} = \frac{10^6}{80} = 12.5 \text{ (kHz)}$$

例 1-8 图 1-8(a) 的并联谐振电路中, $L=100 \mu\text{H}$, $C=100 \text{pH}$, 回路的品质因数 $Q=50$, 电压源有效值 $U_s=150 \text{V}$, 内阻 $R_s=25 \text{k}\Omega$ 。欲使回路谐振, 电源角频率应是多少? 并求谐振时的总电流 I_0 、环流 I_1 , 回路两端电压 U_0 及电路通频带 BW。

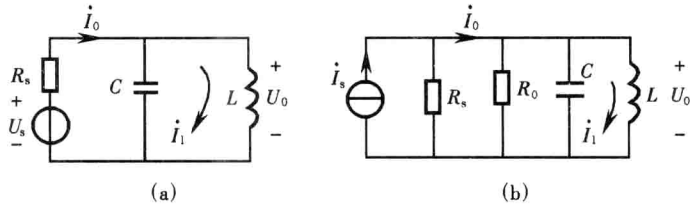


图 1-8

解: 回路损耗电阻 R_0 为

$$R_0 = Q\rho = Q\sqrt{\frac{L}{C}} = 50 \times \sqrt{\frac{100 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-12}}} = 50(\text{k}\Omega)$$

此时将图 1-8(a) 的电路等效成图 1-8(b) 所示电路, 其中

$$I_s = \frac{U_s}{R_s} = \frac{150}{25 \times 10^3} = 6(\text{mA})$$

电源角频率

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{100 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-12}}} = 10^7 (\text{rad/s})$$

由图(b)的电路, 令

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_s R_0}{R_s + R_0} = \frac{50}{3} \text{k}\Omega$$

回路两端电压

$$U_0 = R_{\text{eq}} I_s = \frac{50}{3} \times 10^3 \times 6 \times 10^{-3} = 100(\text{V})$$

由图(a)电路可知

$$I_0 = \frac{U_s - U_0}{R_s} = \frac{150 - 100}{25 \times 10^3} = 2(\text{mA})$$

环流 I_1 的有效值为

$$I_1 = Q I_0 = 50 \times 2 \times 10^{-3} = 0.1(\text{A})$$

有载品质因数为

$$Q_L = \frac{R_{\text{eq}}}{R_0} Q = \frac{1}{3} Q = 16.7$$

电路通频带为

$$\text{BW} = \frac{f_0}{Q_L} = \frac{\omega_0}{2\pi Q_L} = \frac{10^7}{2\pi \times 16.7} = 95.3(\text{kHz})$$

例 1-9 图 1-9 所示并联谐振电路中, 电容 $C=10 \text{pF}$, 回路谐振频率 $f_0=80 \text{MHz}$, 品质因数 $Q=100$ 。

(1) 求电感 L , 谐振电阻 R_0 和通频带 BW。

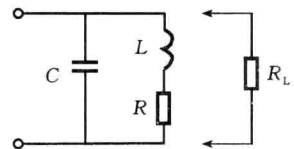


图 1-9

(2) 为使该电路的通频带展宽为 3.5 MHz, 应在回路两端并接多大的电阻 R_L ?

解: (1) 求 L 、 R_0 和 BW 。

由于 $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, 故

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \times 80^2 \times 10^{12} \times 10 \times 10^{-12}} = 0.396 (\mu\text{H})$$

$$R_0 = Q\rho = Q\sqrt{\frac{L}{C}} = 100\sqrt{\frac{0.396 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-12}}} = 20 (\text{k}\Omega)$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{80 \times 10^6}{100} = 0.8 (\text{MHz})$$

(2) 求 R_L 。

设并接 R_L 后的电路通频带为 BW_1 , 即

$$BW_1 = \frac{f_0}{Q_L}$$

故

$$Q_L = \frac{f_0}{BW_1} = \frac{80 \times 10^6}{3.5 \times 10^6} = 22.9$$

由于

$$Q_L = \frac{R_{\text{eq}}}{R_0} Q$$

故

$$R_{\text{eq}} = \frac{Q_L}{Q} R_0 = \frac{22.9}{100} \times 20 \times 10^3 = 4.58 (\text{k}\Omega)$$

根据

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L} = \frac{20 \times 10^3 \times R_L}{20 \times 10^3 + R_L} = 4.58 \times 10^3$$

解得

$$R_L = 5.94 (\text{k}\Omega)$$

例 1-10 RLC 串联电路的电源电压有效值 $U_s = 10 \text{ V}$, 角频率 $\omega = 2500 \text{ rad/s}$ 。当 $C = 8 \mu\text{F}$ 时, 电路发生谐振, 此时电路吸收功率为 100 W , 求电感 L , 电路的 Q 值和通频带 BW 。

解: 由于 $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, 故

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{2.5 \times 2.5 \times 10^6 \times 8 \times 10^{-6}} = 20 (\text{mH})$$

由于电路谐振时, 电阻电压 $U_R = U_s = 10 \text{ V}$, 电路消耗功率

$$P = \frac{U_R^2}{R} = \frac{U_s^2}{R}$$

故

$$R = \frac{U_s^2}{P} = \frac{100}{100} = 1 \Omega$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{2500 \times 20 \times 10^{-3}}{1} = 50$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{\omega_0}{2\pi Q} = \frac{2500}{2\pi \times 50} = 7.95 (\text{Hz})$$

例 1-11 图 1-10(a) 所示并联谐振电路中, 已知电流源电流有效值 $I_s = 10 \text{ mA}$, $L = 100 \mu\text{H}$, $R = 10 \Omega$, $C = 400 \text{ pF}$, $R_L = 100 \text{ k}\Omega$ 。电路处于谐振工作状态。试求回路谐振阻抗 R_0 , 回路两端的电压有效值 U_0 、环流有效值 I_1 和电路通频带 BW 。

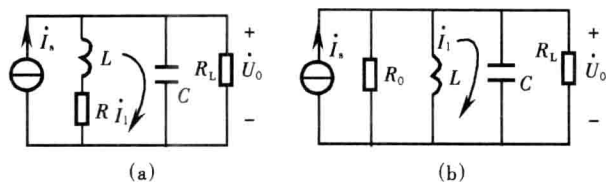


图 1-10

解: 回路的谐振阻抗

$$R_0 = \frac{L}{RC} = \frac{100 \times 10^{-6}}{10 \times 400 \times 10^{-12}} = 25 (\text{k}\Omega)$$

原电路等效成图 1-10(b) 所示电路, 该电路中电阻 R_0 与 R_L 并联, 令

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L} = \frac{25 \times 10^3 \times 100 \times 10^3}{25 \times 10^3 + 100 \times 10^3} = 20 (\text{k}\Omega)$$

回路两端的电压有效值

$$U_0 = R_{\text{eq}} I_s = 20 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3} = 200 (\text{V})$$

回路的 Q 值为

$$Q = \omega_0 C R_0 = R_0 \sqrt{\frac{C}{L}} = 25 \times 10^3 \sqrt{\frac{400 \times 10^{-12}}{100 \times 10^{-6}}} = 50$$

有载 Q 值为

$$Q_L = \frac{R_{\text{eq}}}{R_0} Q = \frac{20 \times 10^3}{25 \times 10^3} \times 50 = 40$$

环流有效值

$$I_1 = Q_L I_s = 40 \times 10 \times 10^{-3} = 0.4 (\text{A})$$

电路的谐振频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{100 \times 10^{-6} \times 400 \times 10^{-12}}} = 796 (\text{kHz})$$

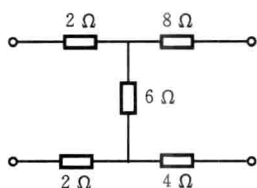
电路通频带

$$\text{BW} = \frac{f_0}{Q_L} = \frac{796 \times 10^3}{40} = 19.9 (\text{kHz})$$

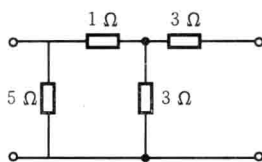
三、习 题 一

1-1 求图示双口网络的 \mathbf{Z} 参数矩阵。

1-2 图示双口网络, 求其 y 参数中的 y_{11} 和 y_{12} 。



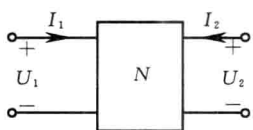
题 1-1 图



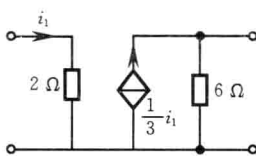
题 1-2 图

1-3 图示双口网络, 已知当 $I_1=0$, $I_2=2\text{ A}$ 时, $U_1=4\text{ V}$, $U_2=8\text{ V}$ 。当 $I_1=2\text{ A}$, $I_2=-1\text{ A}$ 时, $U_1=10\text{ V}$, $U_2=0$ 。求该网络的 A 参数矩阵。

1-4 图示双口网络, 求其 A 参数矩阵。



题 1-3 图



题 1-4 图

1-5 已知图示双口网络 N 的 Y 参数矩阵为

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 0.6 & -0.2 \\ -0.2 & 0.4 \end{bmatrix} (\text{S})$$

若直流电流源 $I_s=3\text{ A}$, 求输出端开路时的电压 U_1 。

1-6 图示双口网络 N 的 Z 参数矩阵为

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 3 & 6 \end{bmatrix} (\Omega)$$

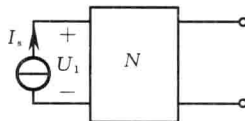
求电压 U_2 。

1-7 电路如图所示, 求该电路的串联谐振频率 f_0 。

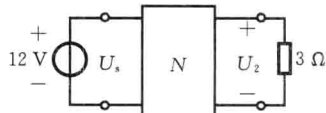
1-8 电路如图所示, 求其品质因数 Q 。

1-9 图示串联谐振电路, 已知电源电压的有效值 $U_s=$

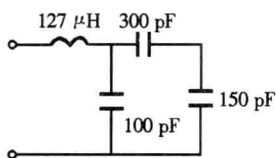
0.5 V , 品质因数 $Q=80$, 电源角频率 $\omega=2 \times 10^6\text{ rad/s}$ 。求谐振时的电流 I_0 。



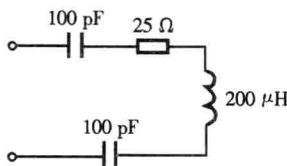
题 1-5 图



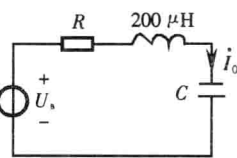
题 1-6 图



题 1-7 图



题 1-8 图

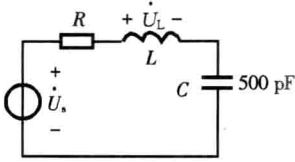


题 1-9 图

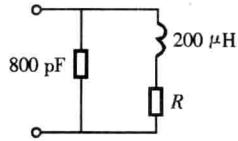
1-10 图示串联谐振电路, 已知电压源有效值 $U_s=100\text{ mV}$, 电源角频率 $\omega=4 \times 10^6\text{ rad/s}$ 。求电路谐振时的电感电压有效值 U_L 。

1-11 图示电路, 已知其品质因数 $Q=80$ 。求其谐振时的阻抗 R_0 。

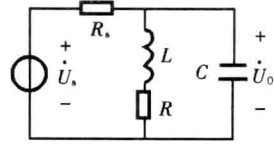
1-12 图示并联谐振电路, 已知电源电压有效值 $U_s = 300 \text{ V}$, 内阻 $R_s = 100 \text{ k}\Omega$, 电感 $L = 50 \mu\text{H}$, 损耗电阻 $R = 10 \Omega$, 电容 $C = 200 \text{ pF}$ 。求电路谐振时回路两端电压的有效值 U_0 和该电路的通频带 BW。



题 1-10 图

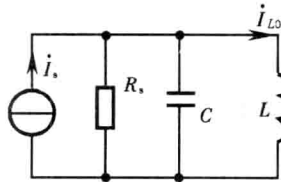


题 1-11 图



题 1-12 图

1-13 图示并联谐振电路, 已知电流源电流的有效值 $I_s = 20 \text{ mA}$, 其角频率 $\omega = 10^7 \text{ rad/s}$, 内阻 $R_s = 40 \text{ k}\Omega$, $C = 250 \text{ pF}$ 。求电路谐振时的电流有效值 I_{L_0} 和通频带 BW。



题 1-13 图