

中等专业学校教材

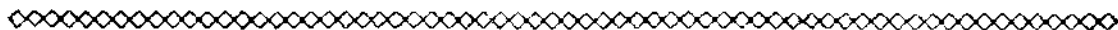


电信网络

沈阳电力高等专科学校 张典谟 编



中等专业学校教材



电 信 网 络

沈阳电力高等专科学校 张典谟 编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 简 介

本书讲述了二端网络和四端网络的基本理论,在此基础上阐述了滤波器、均衡器、衰减器和电信变压器等无源网络的电路结构和电气特性,同时还介绍了有关的计算公式及调整测试。

本书是中等专业学校电力系统通信专业的教材,也可供有关专业的技术人员自学和参考。

中等专业学校教材

电 信 网 络

沈阳电力高等专科学校 张典谟 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

朝阳区小红门印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17印张 386千字

1993年10月第一版 1993年10月北京第一次印刷

印数 0001—2210册

ISBN 7-120-01865-5/T P·68

定价 7.05 元

前 言

《电信网络》是根据原水利电力部中等专业学校电力系统通信专业电信网络课程的教学大纲编写的，是电力系统通信专业的专业基础课程。

本书主要包括二端网络、四端网络的基本理论以及滤波器、均衡器、衰减器和电信变压器等无源网络的原理、结构、特性和用途。本书在编写中注意了理论联系实际，突出物理概念并通过计算实例巩固和加深所学的基本知识。

本书由重庆电力学校高级讲师蒋水薪老师担任主审，对全书提出了许多宝贵的建议，对此表示深切的谢意。

由于编者水平有限，书中的错漏不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1992.8

目 录

前 言	
第一章 二端网络	1
第一节 电抗二端网络	1
第二节 等效二端网络	15
第三节 倒置二端网络	22
第四节 LC 元件及电抗网络的调谐	26
习 题	32
第二章 四端网络	34
第一节 四端网络的概念	34
第二节 四端网络的阻抗方程式和阻抗参数	36
第三节 四端网络的导纳方程式和导纳参数	39
第四节 四端网络的传输方程式和 A 参数	43
第五节 输入阻抗和特性阻抗	50
第六节 电平及电平测量	58
第七节 四端网络的固有传输常数	63
第八节 四端网络的工作衰减	71
第九节 四端网络中的常用衰减	76
第十节 四端网络的等效变换	79
第十一节 四端网络等效变换的应用	83
习 题	88
第三章 衰减器和电信变压器	91
第一节 衰减器的特性	91
第二节 衰减器的设计	94
第三节 衰减器的使用	103
第四节 电信变压器的特性	104
第五节 电信变压器的计算与制作	110
习 题	114
第四章 滤波器的基本理论	115
第一节 滤波器的概念	115
第二节 纯电抗滤波器的传通条件	117
第三节 K 式滤波器	123
第四节 m 式滤波器	141
第五节 mm' 式滤波器	158
第六节 组合滤波器	161
第七节 元件损耗及阻抗失配对滤波器的影响	165
习 题	169

第五章 滤波器的并联运用.....	172
第一节 高低通滤波器的并联运用.....	172
第二节 带通滤波器的并联运用.....	181
习 题	186
第六章 少电感式不对称带通滤波器.....	187
第一节 三元件不对称带通滤波器.....	187
第二节 四元件不对称带通滤波器.....	192
第三节 不对称带通滤波器的其它电路.....	199
习 题	201
第七章 谐振体滤波器.....	203
第一节 石英晶体.....	204
第二节 格形晶体滤波器.....	209
第三节 梯形晶体滤波器.....	213
第四节 陶瓷滤波器.....	215
第五节 机械滤波器.....	218
第六节 RC 有源滤波器.....	223
习 题	227
第八章 均衡器.....	228
第一节 信号的失真及均衡.....	228
第二节 固定衰减均衡器.....	231
第三节 可变衰减均衡器.....	248
第四节 相位均衡器.....	260
习 题	264
参考文献	266

第一章 二 端 网 络

任何一个复杂的电路，如果它只引出两个端子与外部电路连接，就称为二端网络。滤波器、均衡器、放大器等电信设备中的常用部件都是由许多二端网络组合而成的，二端网络中含有电源的称为有源二端网络，不包含电源的称为无源二端网络。最简单的二端网络是由单个电阻或电感，电容元件所组成。

在一般情况下，我们可以把电感线圈中的电阻和电容器中的损耗忽略不计，因而电感线圈和电容器可以近似为理想的纯电感和纯电容元件。由纯电感和纯电容元件组成的二端网络称为纯电抗二端网络或简称电抗二端网络。在分析有损耗的实际网络时，可以首先将它们作为一个纯电抗网络研究，然后附加元件损耗所产生的影响，将纯电抗网络的特性作适当的调整而得到有耗元件网络的实际特性。

本章叙述以纯电抗元件组成的无源二端网络，讨论其阻抗频率特性、网络之间的等效和倒量关系及电抗二端网络的调谐，为以后分析滤波器、均衡器、衰减器等实际部件打好基础。

第一节 电 抗 二 端 网 络

一、基本电抗二端网络的特性

电抗二端网络按其组成的元件数不同分为许多种结构，其中单个的电感 L 、电容 C 、电感和电容串联以及电感和电容并联是四种基本的电抗二端网络，它们是组成复杂的电抗二端网络的基础。研究电抗二端网络的特性，主要是从网络的结构找出它的阻抗表示式，绘出其电抗频率特性曲线。下面逐个分析这些基本电抗二端网络的阻抗公式及电抗频率特性曲线（该曲线可简称电抗曲线）。

1. 单电感电抗二端网络

单电感的电抗二端网络，如图1-1 (a)所示。设其电感量为 L_0 ，则其阻抗表示式为

$$Z = j\omega L_0 \quad (1-1)$$

其电抗为

$$X = \omega L_0 \quad (1-2)$$

将 X 与 ω 的变化关系画成曲线，称为电抗频率特性曲线，如图1-1 (b)所示。图中在 $\omega = 0$ 处电抗 $X = 0$ ，称 $\omega = 0$ 处为电抗 X 的零点，以符号“○”表示。在 $\omega = \infty$ 处电抗 $X = \infty$ ，称 $\omega = \infty$ 处为电抗 X 的极点，以符号“×”表示。图1-1 (c)表示单个电感的电抗零点和极点分布图。

单电感网络电抗频率特性曲线的斜率 $\frac{dX}{d\omega} = \frac{d(\omega L_0)}{d\omega} = L_0 > 0$ ，即电抗频率特性曲线的斜率为正值，这说明随着频率的升高，电抗的代数值不断增加，电抗趋向于无穷大。

2. 单电容电抗二端网络

单电容的电抗二端网络，如图1-2 (a)所示，设其电容量为 C_0 ，则其阻抗表示式为

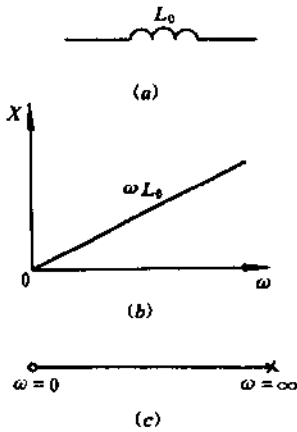


图 1-1 单电感电抗二端网络

(a) 电路; (b) 电抗频率特性曲线; (c) 电抗零、极点分布图

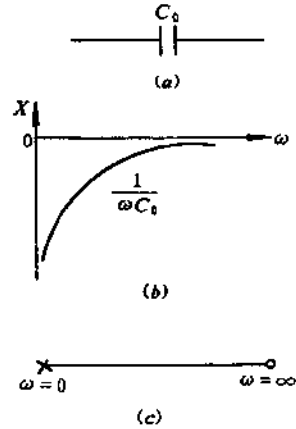


图 1-2 单电容电抗二端网络

(a) 电路; (b) 电抗频率特性曲线; (c) 电抗零、极点分布图

$$Z = \frac{1}{j\omega C_0} \quad (1-3)$$

其电抗为
$$X = -\frac{1}{\omega C_0} \quad (1-4)$$

将 X 与 ω 的变化关系画成曲线, 可得图 1-2 (b) 所示的电抗频率特性曲线。由曲线可见, 在 $\omega = 0$ 处 $X = -\infty$, 电抗为极点, 在 $\omega = \infty$ 处 $X = 0$, 电抗为零点。图 1-2 (c) 表示单个电容的电抗零、极点分布图。

单电容网络电抗频率特性曲线的斜率 $\frac{dX}{d\omega} = \frac{d\left(-\frac{1}{\omega C_0}\right)}{d\omega} = \frac{1}{\omega^2 C_0} > 0$, 说明随着频率

的升高, 电抗代数值不断增加, 电抗趋向于零值。

3. 电感和电容串联的二端网络

电感和电容串联的二端网络, 如图 1-3 (a) 所示, L_1 和 C_1 串联的阻抗表示式为 $Z = j\omega L_1$

$$+ \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1 - \omega^2 L_1 C_1}{j\omega C_1} = L_1 \frac{\frac{1}{L_1 C_1} - \omega^2}{j\omega} \quad \text{。 设 } \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

则
$$Z = L_1 \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{j\omega} \quad (1-5)$$

其电抗为

$$X = -L_1 \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega} \quad (1-6)$$

根据电抗公式可以绘出电抗曲线, 当 $\omega = 0$ 时, $X = -\infty$, 电抗为一极点。当 $\omega = \omega_1$ 时, $X = 0$, 电抗为零点。当 $\omega = \infty$ 时, $X = \infty$ 电抗为又一极点。 ω 在 $0 \sim \omega_1$ 范围时, 即 $\omega < \omega_1$, $X < 0$ 为电容性。当 ω 在 $\omega_1 \sim \infty$ 范围时, 即 $\omega > \omega_1$, $X > 0$ 为电感性。

由此可画出图 1-3 (b) 所示的电抗频率特性曲线, 该曲线也可以用电感 L_1 的电抗曲线

和电容 C_1 的电抗曲线相加而得,如图1-3(b)所示。当 ωL_1 和 $\frac{1}{\omega C_1}$ 两条曲线相加时,在 $\omega =$

ω_1 处 $\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_1}$,因此 $X = 0$,所得结果和直接画出的结果完全相同。

图1-3(c)是 L_1 和 C_1 串联电路的电抗零、极点分布图。

4. 电感和电容并联的二端网络

电感和电容并联的二端网络,如图1-4(a)所示。 L_2 和 C_2 并联的阻抗表示式为

$$Z = \frac{j\omega L_2 \left(\frac{1}{j\omega C_2} \right)}{j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{\frac{L_2}{C_2}}{L_2 \left(\frac{1}{L_2 C_2} - \omega^2 \right)} = \frac{1}{C_2} \frac{j\omega}{\frac{1}{L_2 C_2} - \omega^2}$$

$$\text{设 } \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \text{ 则 } Z = \frac{j\omega}{C_2} \frac{1}{\omega_2^2 - \omega^2} \quad (1-7)$$

$$\text{其电抗为} \quad X = \frac{1}{C_2} \frac{\omega}{\omega_2^2 - \omega^2} \quad (1-8)$$

按电抗公式绘出电抗曲线。当 $\omega = 0$ 时, $X = 0$,电抗为一零点。当 $\omega = \omega_2$ 时, $X = \infty$,电抗为一极点。当 $\omega = \infty$ 时, $X = 0$,电抗为又一零点。当 ω 在 $0 \sim \omega_2$ 范围时,即 $\omega < \omega_2$, $X > 0$ 为电感性,当 ω 在 $\omega_2 \sim \infty$ 范围时,即 $\omega > \omega_2$, $X < 0$ 为电容性。

从以上分析可以画出图1-4(b)所示的电抗频率特性曲线。该曲线也可以用电纳曲线相加的方法求得,因为导纳 Y 和阻抗 Z 的关系为 $Y = \frac{1}{Z}$,当导纳和阻抗分别只包括电纳 B

和电抗 X 分量时, $jB = \frac{1}{jX} = j \left(-\frac{1}{X} \right)$,所以电纳与电抗的关系为

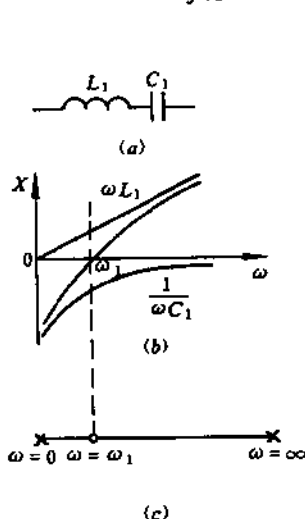


图 1-3 L_1 和 C_1 串联电抗二端网络
(a)电路;(b)电抗频率特性曲线;(c)电抗零、极点分布图

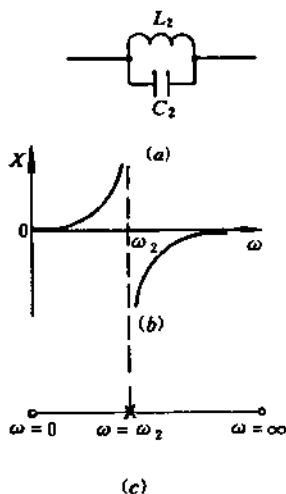
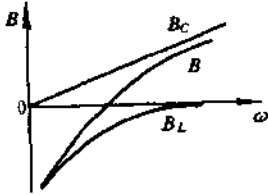


图 1-4 L_2 和 C_2 并联电抗二端网络
(a)电路;(b)电抗频率特性曲线;(c)电抗零、极点分布图

$$B = -\frac{1}{X} \quad (1-9)$$

在 L_2 和 C_2 并联电路中，电感 L_2 的电纳 $B_L = -\frac{1}{\omega L_2}$ ，电容 C_2 的电纳 $B_C = \omega C_2$ 。电感 L_2 与电容 C_2 并联时，总电纳应为两部分电纳相加，即 $B = B_L + B_C$ 。分别画出 B_L 和 B_C 的



曲线，将两者相加即得总电纳 B 的频率特性曲线，如图1-5所示。根据式(1-9)可以将电纳曲线改画成电抗曲线，其结果和图1-4(b)的曲线完全相同。图1-4(c)是 L_2 和 C_2 并联电路的零极点分布图。

将以上四种基本电抗二端网络的特性归纳后，列在表

图 1-5 L_2 和 C_2 并联网路的总电纳 B 的频率特性曲线

二、三元件电抗二端网络

利用四种基本电抗二端网络，可以得到三元件的电抗二端网络。三元件电抗二端网络有四种形式的电路，它们的电抗曲线可以由电抗公式直接绘出，也可以由基本网络的电抗曲线合成得到。

1. 电感与电容的并联电路相串联

该电路如图1-6(a)所示，电感 L_0 和 L_2C_2 并联电路相串联，其阻抗表示式为

表 1-1 基本电抗二端网络的特性

特性网络	电路结构	阻抗公式	电抗曲线	电抗零、极点分布图
电感		$Z = j\omega L_0$		
电容		$Z = \frac{1}{j\omega C_0}$		
$L_1 C_1$ 串联		$Z = \frac{L_1}{j\omega} (\omega_1^2 - \omega^2)$ $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$		
$L_2 C_2$ 并联		$Z = \frac{j\omega}{C_2} \frac{1}{(\omega_2^2 - \omega^2)}$ $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$		

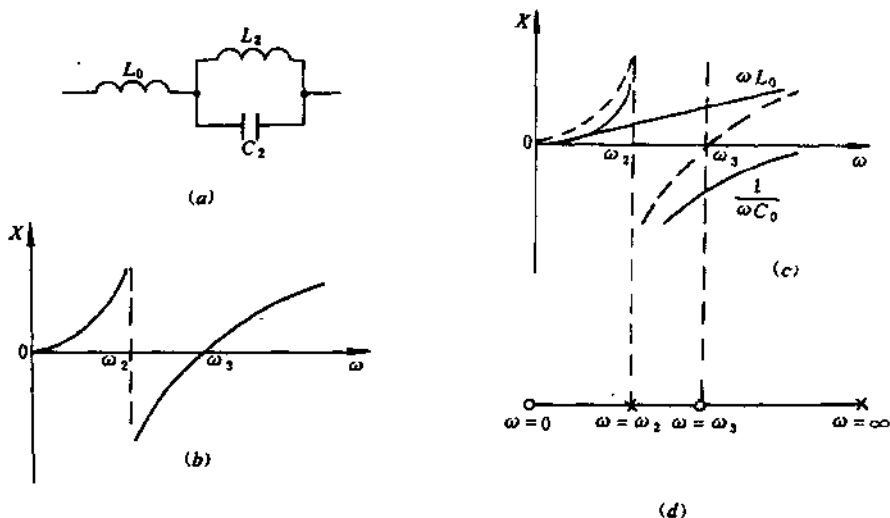


图 1-6 三元件电抗二端网络(一)

(a) 电路; (b) 电抗频率特性曲线; (c) 合成电抗频率特性曲线; (d) 电抗零、极分布图

$$\begin{aligned}
 Z &= j\omega L_0 + \frac{j\omega}{C_2} \frac{1}{\omega_2^2 - \omega^2} = j\omega L_0 \left(1 + \frac{1}{L_0 C_2} \frac{1}{\omega_2^2 - \omega^2} \right) \\
 &= j\omega L_0 \frac{\omega_2^2 - \omega^2 + \frac{1}{L_0 C_2}}{\omega_2^2 - \omega^2} = j\omega L_0 \frac{\omega_3^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} \quad (1-10)
 \end{aligned}$$

其电抗为 $X = \omega L_0 \frac{\omega_3^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2}$ (式中 $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$) (1-11)

$$\begin{aligned}
 \omega_3 &= \sqrt{\omega_2^2 + \frac{1}{L_0 C_2}} = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_2} + \frac{1}{L_0 C_2}} \\
 &= \sqrt{\frac{L_0 + L_2}{L_0 L_2 C_2}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{L_0 L_2}{L_0 + L_2} C_2}} \quad (1-12)
 \end{aligned}$$

比较 ω_2 和 ω_3 , 可以得出 $\omega_2 < \omega_3$, 从式 (1-11) 可以画出其电抗曲线。当 $\omega = 0$ 时, $X = 0$, 电抗为一零点; 当 $\omega = \omega_2$ 时, $X = \infty$, 电抗为一极点; 当 $\omega = \omega_3$ 时, $X = 0$, 电抗为另一零点; 当 $\omega = \infty$ 时, $X = \infty$, 电抗为另一极点。

ω 在 $0 \sim \omega_2$ 范围内 $0 < \omega < \omega_2$, $X > 0$ 为电感性;

ω 在 $\omega_2 \sim \omega_3$ 范围内 $\omega_2 < \omega < \omega_3$, $X < 0$ 为电容性;

ω 在 $\omega_3 \sim \infty$ 范围内 $\omega_3 < \omega < \infty$, $X > 0$ 为电感性。

从以上分析可以得到图1-6 (b)所示的电抗频率特性曲线, 此曲线也可以通过基本网络的电抗曲线相加而得到, 如图1-6 (c)所示。首先画出电感 L_0 的电抗曲线, 再画出 $L_2 C_2$ 并联电路的电抗曲线, 然后将这两条曲线按同一频率时的电抗逐点相加, 得到图1-6 (c)

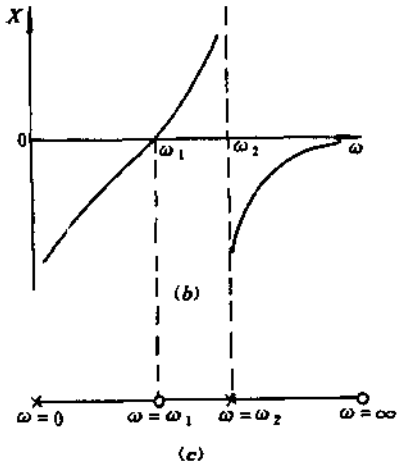
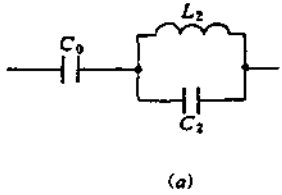


图 1-7 三元件电抗二端网络 (二)
 (a) 电路; (b) 电抗频率特性曲线;
 (c) 电抗零、极点分布图

中虚线所示的合成曲线, 该曲线和图1-6 (b) 所得的曲线是相同的。

图1-6 (d) 是它的电抗零、极点分布图。由图可见, 它有四个零、极点, 零点和极点是相间出现的。如果将 $\omega = 0$ 及 $\omega = \infty$ 的零、极点不计, 则在 ω_2 和 ω_3 处有两个内在的零、极点, 通过以后的电路分析可知, 电抗曲线零、极点的个数与电抗二端网络中的元件数有着一定的对应关系。

2. 电容与电感电容的并联电路相串联

该电路如图1-7 (a) 所示, 电容 C_0 和 $L_2 C_2$ 并联电路相串联, 其阻抗表示式为

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{1}{j\omega C_0} + \frac{j\omega}{C_2} \frac{1}{\omega_2^2 - \omega^2} = \frac{1}{j\omega C_0 C_2} \\
 &\times \left(\frac{C_2 (\omega_2^2 - \omega^2) - C_0 \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} \right) = \frac{1}{j\omega C_0 C_2} \\
 &\times \frac{C_2 \omega_2^2 - (C_0 + C_2) \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} = \frac{1}{j\omega C_0 C_2} \frac{(C_0 + C_2) L_2}{\omega_2^2 - \omega^2} \omega^2 \\
 &= \frac{1}{j\omega} \frac{C_0 + C_2}{C_0 C_2} \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} \quad (1-13)
 \end{aligned}$$

其电抗为

$$X = - \frac{1}{\omega} \frac{C_0 + C_2}{C_0 C_2} \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} \quad (1-14)$$

式中

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_2 (C_0 + C_2)}} \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \quad (1-15)$$

比较可得 $\omega_1 < \omega_2$, 由 (1-14) 式可以直接画出图1-7 (b) 所示的电抗曲线, 该曲线也可由基本网络的电抗曲线合成而得, 电抗零、极点分布图如1-7 (c) 所示。它也有四个零极点, 其中两个是内在零极点, 零点和极点也是相间出现的。

3. 电感与电感电容的串联电路相并联

该电路如图1-8 (a) 所示, 电感 L_0 和 $L_1 C_1$ 串联电路相并联, 其阻抗表示式为

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{1}{\frac{1}{j\omega L_0} + \frac{j\omega}{L_1 (\omega_1^2 - \omega^2)}} = \frac{j\omega L_0 L_1 (\omega_1^2 - \omega^2)}{L_1 (\omega_1^2 - \omega^2) - \omega^2 L_0} \\
 &= j\omega \frac{L_0 L_1 (\omega_1^2 - \omega^2)}{L_1 \omega_1^2 - (L_1 + L_0) \omega^2} = j\omega \frac{L_0 L_1}{L_0 + L_1} \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\frac{1}{(L_0 + L_1) C_1} - \omega^2} \\
 &= j\omega \frac{L_0 L_1}{L_0 + L_1} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (1-16)
 \end{aligned}$$

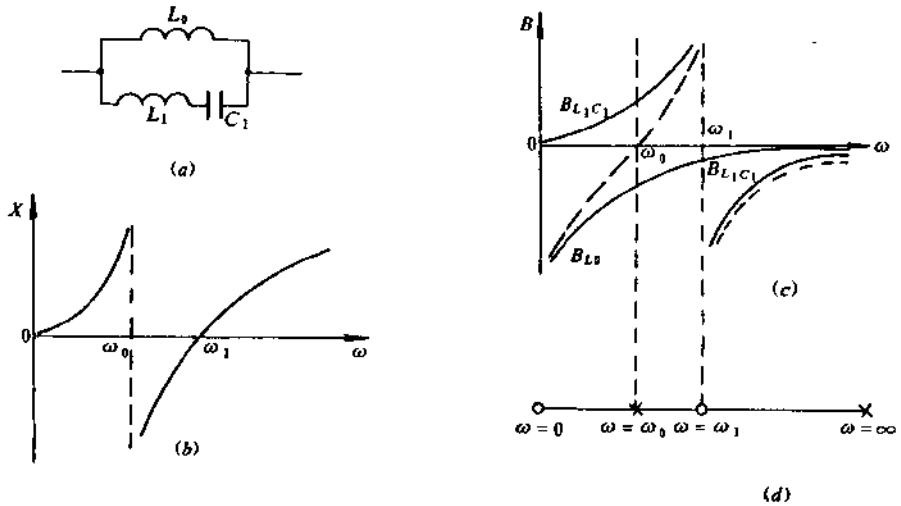


图 1-8 三元件电抗二端网络 (三)

(a) 电路; (b) 电抗频率特性; (c) 合成电纳频率特性曲线; (d) 电极零、极点分布图

其电抗为

$$X = \omega \frac{L_0 L_1}{L_0 + L_1} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (1-17)$$

式中

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_0 + L_1) C_1}} \quad (1-18)$$

比较 ω_0 和 ω_1 ,可以得出 $\omega_0 < \omega_1$,从(1-17)式可以直接画出图1-8(b)所示的电抗曲线,也可以由 L_0 的电纳曲线 B_{L_0} 及 $L_1 C_1$ 串联电路的电纳曲线 $B_{L_1 C_1}$ 相加得到图1-8(c)虚线所示的总电纳曲线,然后取其倒数得出与图1-8(b)相同的电抗曲线。图1-8(d)是它的电抗零、极点分布图,它也有四个零、极点,其中有两个内在的零、极点,零点和极点相间出现。

4. 电容与电感电容的串联电路相并联

该电路如图1-9(a)所示,电容 C_0 和 $L_1 C_1$ 串联电路相并联,其阻抗表示式为

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{j\omega C_0 + \frac{j\omega}{L_1(\omega_1^2 - \omega^2)}} = \frac{1}{j\omega C_0 \left(1 + \frac{1}{L_1 C_0(\omega_1^2 - \omega^2)}\right)} \\ &= \frac{1}{j\omega C_0} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_1^2 - \omega^2 + \frac{1}{L_1 C_0}} = \frac{1}{j\omega C_0} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\left(\omega_1^2 + \frac{1}{L_1 C_0}\right) - \omega^2} \\ &= \frac{1}{j\omega C_0} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} \end{aligned} \quad (1-19)$$

其电抗为

$$X = - \frac{1}{\omega C_0} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2} \quad (1-20)$$

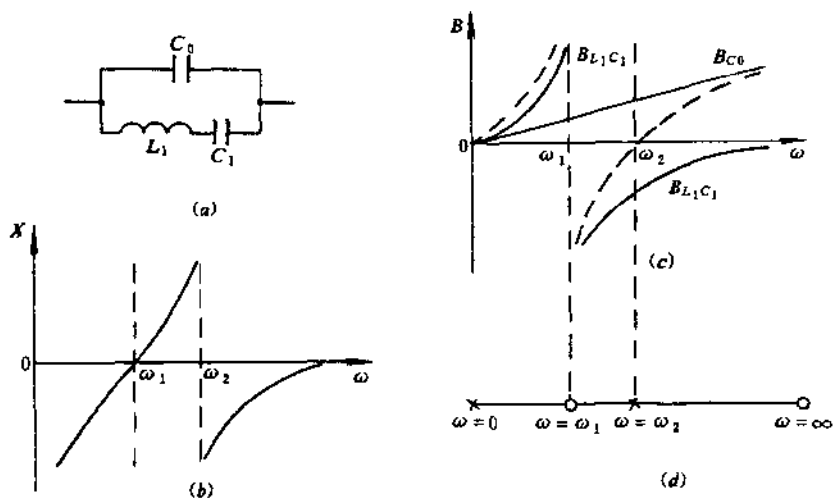


图 1-9 三元件电抗二端网络(四)

(a) 电路; (b) 电抗频率特性曲线; (c) 合成电纳频率特性曲线; (d) 电抗零、极点分布图

$$\text{式中 } \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \omega_2 = \sqrt{\omega_1^2 + \frac{1}{L_1 C_0}} = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} + \frac{1}{L_1 C_0}} = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}}} \quad (1-21)$$

比较 ω_1 和 ω_2 , 可以得出 $\omega_1 < \omega_2$, 从(1-20)式可以直接画出图1-9 (b)所示的电抗曲线, 也可以由电容 C_0 的电纳曲线 B_{C_0} 及 $L_1 C_1$ 串联电路的电纳曲线 $B_{L_1 C_1}$ 相加, 得到图1-9 (c) 虚线所示的总电纳曲线, 取倒数得出与图1-9 (b) 相同的电抗曲线。图1-9 (d) 的零、极点分布图表示, 该网络有四个零、极点, 其中 ω_1 、 ω_2 为内在零极点, 零极点的分布是相间的。

将以上四种型式三元件电抗二端网络的特性归纳在表1-2中。

三、四元件电抗二端网络

四元件电抗二端网络有八种电路结构, 如表1-3所示。以下以第1种型式的电路进行具体分析。

电路是由 $L_1 C_1$ 和 $L_2 C_2$ 两个串联支路并联组成, 因此网络的总导纳等于各串联支路导纳相加。根据(1-5)式, $L_1 C_1$ 串联网络的阻抗式 $Z_1 = L_1 \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{j\omega} = j\omega L_1 \frac{\omega^2 - \omega_1^2}{\omega^2}$ 可以写出总导纳

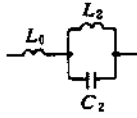
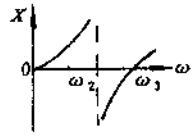
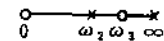
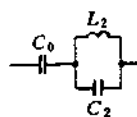
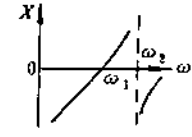
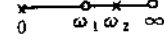
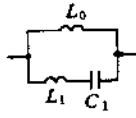
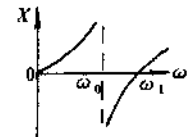
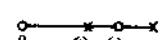
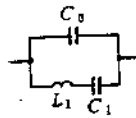
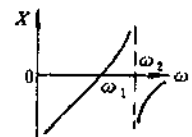
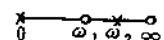
$$Y = \frac{1}{j\omega L_1} \cdot \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega_1^2} + \frac{1}{j\omega L_2} \cdot \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega_3^2} \quad (1-22)$$

式中 ω_1 、 ω_3 ——分别为两个串联支路的串联谐振频率, $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$, $\omega_3 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$ 。

当 $L_1 C_1$ 和 $L_2 C_2$ 两个支路的导纳大小相等而符号相反时, 即一个支路为容性导纳, 另一个支路为感性导纳时, 网络的总导纳为零, 即网络的总阻抗为无限大, 这时电路产生并

表 1-2

三元件电抗二端网络的特性

型式	电路结构	阻抗公式	电抗曲线	电抗零、极点分布图
1		$Z = j\omega L_0 \frac{\omega_3^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2}$ $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \quad \omega_3 = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_0 L_2 C_2}{L_0 + L_2}}}$		
2		$Z = \frac{1}{j\omega} \cdot \frac{C_0 + C_2}{C_0 C_2} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2}$ $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_2(C_0 + C_2)}} \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$		
3		$Z = j\omega \frac{L_0 L_1}{L_0 + L_1} \cdot \frac{\omega_3^2 - \omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2}$ $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1(L_0 + L_1)}}$		
4		$Z = \frac{1}{j\omega C_0} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_2^2 - \omega^2}$ $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}}}$		

串联谐振，其谐振频率 ω_2 可由下式确定

$$\frac{1}{j\omega_2 L_1} \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_2^2 - \omega_1^2} = - \frac{1}{j\omega_2 L_2} \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_2^2 - \omega_3^2}$$

由式解得

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2) \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

由此可改写 (1-22) 式的总导纳表示式

$$Y = \frac{1}{j\omega L_1 L_2} \left(\frac{L_2 \omega^2}{\omega^2 - \omega_1^2} + \frac{L_1 \omega^2}{\omega^2 - \omega_3^2} \right) = \frac{1}{j\omega L_1 L_2} \cdot \frac{\omega^2 [L_2 (\omega^2 - \omega_3^2) + L_1 (\omega^2 - \omega_1^2)]}{(\omega^2 - \omega_1^2) (\omega^2 - \omega_3^2)}$$

$$= \frac{1}{j\omega L_1 L_2} \cdot \frac{\omega^2 (L_1 + L_2) \left[\omega^2 - \frac{C_1 + C_2}{(L_1 + L_2) C_1 C_2} \right]}{(\omega^2 - \omega_1^2) (\omega^2 - \omega_3^2)} = \frac{L_1 + L_2}{j\omega L_1 L_2} \cdot \frac{\omega^2 (\omega^2 - \omega_2^2)}{(\omega^2 - \omega_1^2) (\omega^2 - \omega_3^2)}$$

因此，网络的阻抗公式为

$$Z = \frac{1}{Y} = j\omega \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \cdot \frac{(\omega^2 - \omega_1^2) (\omega^2 - \omega_3^2)}{\omega^2 (\omega^2 - \omega_2^2)} \quad (1-23)$$

采用类似的方法可以推导出所有四元件电抗二端网络的阻抗公式以及它们各个谐振频率的计算公式。从表1-3所列的电抗曲线可以将八种型式的网络分为两类,1至4型的四种

表 1-3

四元件电抗二端网络的特性

型式	电路结构	阻抗公式及电抗曲线	H 值	ω_1^2 值	ω_2^2 值	ω_3^2 值
1			$\frac{L_1 L_2}{L_1 - L_2}$	$\frac{1}{L_1 C_1}$	$\frac{C_1 + C_2}{(L_1 + L_2) C_1 C_2}$	$\frac{1}{L_2 C_2}$
2			L_4	$\frac{2}{Q}$	$\frac{1}{L_3 C_1}$	$\frac{Q}{2L_3 L_4 C_3 C_4}$
3			$\frac{L_3 L_4}{L_3 + L_4}$	$\frac{2}{S}$	$\frac{1}{(L_3 + L_4) C_3}$	$\frac{S}{2L_3 L_4 C_3 C_4}$
4			L_4	$\frac{2}{S}$	$\frac{C_3 + C_4}{L_3 C_3 C_4}$	$\frac{S}{2L_3 L_4 C_3 C_4}$
5			$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$	$\frac{1}{L_1 C_1}$	$\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 (C_1 + C_2)}$	$\frac{1}{L_2 C_2}$
6			C_4	$\frac{2}{S}$	$\frac{1}{L_3 C_3}$	$\frac{S}{2L_3 L_4 C_3 C_4}$
7			C_4	$\frac{2}{S}$	$\frac{L_3 + L_4}{L_3 L_4 C_3}$	$\frac{S}{2L_3 L_4 C_3 C_4}$
8			$\frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4}$	$\frac{2}{S}$	$\frac{1}{L_3 (C_3 + C_4)}$	$\frac{S}{2L_3 L_4 C_3 C_4}$

其中 $Q = L_3 C_3 + L_3 C_4 + L_4 C_4 + \sqrt{(L_3 C_3 + L_3 C_4 + L_4 C_4)^2 - 4L_3 L_4 C_3 C_4}$
 $S = L_3 C_3 + L_4 C_3 + L_4 C_4 + \sqrt{(L_3 C_3 + L_4 C_3 + L_4 C_4)^2 - 4L_3 L_4 C_3 C_4}$

电路属第一类，它们的电抗曲线相似，电路都不能传通直流。电路中的第一个谐振为串联谐振，第二个谐振是并联谐振，第三个谐振为第二次串联谐振。5至8型的四种电路属第二类，它们也有相似的电抗曲线，电路都可以通过直流。电路中的第一个谐振为并联谐振，第二个谐振是串联谐振，第三个谐振为第二次并联谐振。因此，由四个元件所组成的电抗

二端网络，不论属哪种类型的电路都具有三个谐振点。

四、电抗二端网络的一般规律

根据以上对基本电抗二端网络、三元件及四元件电抗二端网络特性的分析，通过总结归纳可以看出，这些电抗二端网络在电路结构、阻抗公式及电抗曲线之间存在着一定的规律，利用这些规律我们就可以分析各种类型不同元件数的电抗二端网络。

1. 电抗二端网络电抗曲线的规律

通过对于较简单的电抗二端网络的分析结果，可以看出它们的电抗曲线具有以下规律：

(1) 在角频率 $\omega = 0$ 处，电抗 X 只能是零或 $-\infty$ ；在角频率 $\omega = \infty$ 处，电抗 X 只能是零或 $+\infty$ ，即角频率为0或 ∞ 时，电抗必为零点或极点。

(2) 电抗曲线中零点及极点的总数，比二端网络中的元件总数多一个。如果不包括 $\omega = 0$ 及 $\omega = \infty$ 处的二个零极点，则内在零极点数比元件数少一个。

(3) 电抗曲线的零点和极点交替出现。

(4) 电抗频率特性曲线的斜率永为正值，即 $\frac{dX(\omega)}{d\omega} > 0$ 。

以下对这四条规律作简要说明：

第(1)条表明了电抗曲线的起始和终止情况，可以通过下述的方法，判断电抗曲线是从零点开始还是从极点开始以及结束时是零点还是极点：

- 1) 具有电感通路的二端网络，在 $\omega = 0$ 时 X 为零点；
- 2) 没有电感通路的二端网络，在 $\omega = 0$ 时 X 为极点；
- 3) 具有电容通路的二端网络，在 $\omega = \infty$ 时 X 为零点；
- 4) 没有电容通路的二端网络，在 $\omega = \infty$ 时 X 为极点。

电感通路、电容通路就是指在二端网络的二个端点之间具有直接由一个或多个电感或电容所构成的通路。由于电感能通直流，电容能通高频，因此也将电感通路称直流通路，将电容通路称为高频通路。

图1-10列出几种典型的电路及其电抗频率特性曲线。图1-10(a)为有电感通路无电容通路的型式，因此 $\omega = 0$ 时 X 为零点， $\omega = \infty$ 时 X 为极点；图1-10(b)为有电容通路无电感通路的型式，因此 $\omega = 0$ 时 X 为极点， $\omega = \infty$ 时 X 为零点；图1-10(c)为既有电感通路又有电容通路的型式，因此在 $\omega = 0$ 和 $\omega = \infty$ 处 X 都为零；图1-10(d)为既无电感通路又无电容通路的型式，因此在 $\omega = 0$ 和 $\omega = \infty$ 处 X 都是 ∞ 。

任何一个电感二端网络都可以归纳为上述四种情况之一，因此掌握了这一条规律就可以根据某一种电抗二端网络的结构，确定它电抗曲线的起始点和结束点。

第(2)条是说明电抗曲线中的零点和极点的总数，即内在的零极点之和应比元件总数少一个。网络的元件数并不是网络中所接元件的实际数，而应是经“变换”后的“最少”元件数，如图1-11(a)所示的电抗二端网络。虽然表面上有四个元件，但并没有三个内在零、极点，因为实际上 L_1 、 L_2 和 L_3 可以合并为一个电感 L ，其效果和图1-11(b)所示的LC串联电路相同，因此它只有一个内在零、极点。所以第(2)条规律中所指的元件数应是经过简化合并后的“最少”元件数。