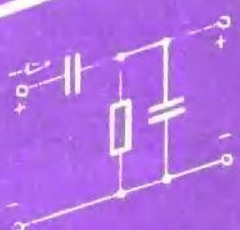
★ 职工高等工业专科学校教材



电路及磁路

★［下册］ 俞大光 主编

★ 寇仲元 应铜城 朱经天 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书由国家教委组织的编写组根据1983年审订的职工高等工业专科学校电路及磁路教学大纲编写，经审稿会议通过作为职工大专教材出版。本书以经典内容为主，力图突出重点，理论联系实际，贯彻国家标准，例题比较丰富，以体现高等专科学校这一层次的要求，适应成人教育的需要。每节末附有思考题，每章末有提要和习题，书末附有习题答案。

本书分上下两册出版。上册内容包括电路的基本概念和基本定律、电阻电路、网络分析和网络定理、含受控源的电路、非线性电阻电路、正弦电流电路、三相电路。下册内容包括二端口网络和多端元件、非正弦周期电流电路、磁路和有铁心的交流电路、电路的时域分析、电路的复频域分析、分布参数电路。

本书是根据电类(不包括无线电技术类)各专业教学大纲编写的，同时考虑了未设电机学作为后续课程各专业的需要，增加了铁心变压器等内容，因此也可适用于无线电技术类各专业。本书除作为职工高等工业专科学校教材外，还可供其他高等工业专科学校选用和工程技术人员参考。

职工高等工业专科学校教材
电路及磁路
下　册
俞大光　主编
寇仲元　应铜城　朱经天　编
*
高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京第二新华印刷厂印刷
*
开本 850×1168 1/32 印张 9.875 字数 237,000
1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷
印数 00001—6740
书号 15010·0862 定价 1.75 元

目　录

第九章　二端口网络和多端元件

在网络分析中，有时并不需要对网络进行全面的计算。例如，一个信号放大器可能是一个多级放大电路，而每一级也有多个元件和支路，但就这个放大器的整体性能来说，我们关心的只是它的输出信号与输入信号间的关系，而不是中间环节中某一支路或元件的电压、电流。这时可以把这些中间环节看作是一个具有一个输入端口和一个输出端口的**二端口网络**(two-port network)。若网络有不止一个输出或输入端口，则称为多端口网络。本书只研究内部不含独立源的二端口网络的参数、方程、等效电路和级联等。此外，本章还将对理想变压器等多端元件用二端口网络理论作一些简单分析，作为二端口网络理论应用的实例。实际上，许多集成电路元件、自动化环节只能通过端口进行外部测试，因而也必须应用二端口网络理论来研究。

§9-1　二端口网络

图 9-1-1 中，输入端口 11′和输出端口 22′间的矩形框表示一个线性定常二端口网络，它可能包含电阻、电感、电容、受控源等元件，但不包含独立电源，也没有与外界耦合的互感或受控源(今后我们只讨论这种网络)。这里**端口**是指网络与外部一个二端元件(或二端网络)联接的一对端子。图中与电源联接的端口 11′称为输入端口，与负载 Z_L 联接的端口 22′称为输出端口。显然，在任何瞬间，每一个端口两个端子的电流量值必相等，而且电流从一个端子流入而从另一个端子流出，这叫作**端口条件**。四端网络只有满

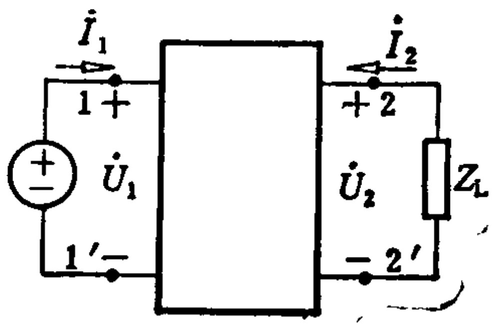


图 9-1-1

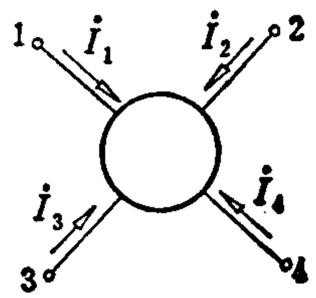
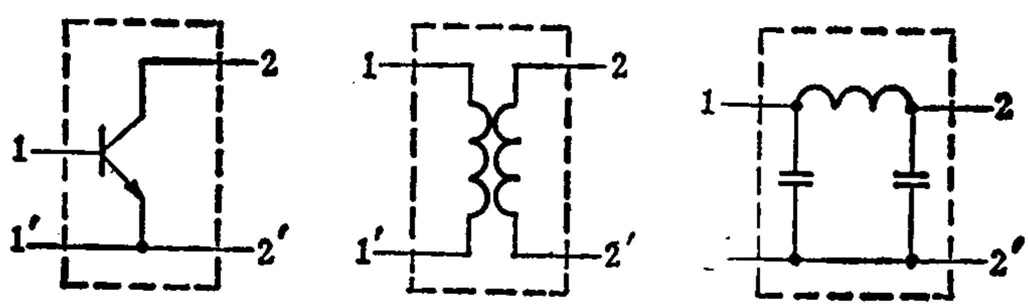


图 9-1-2

足端口条件时才是二端口网络。一般四端网络的四个引线端电流不一定成对相等(图 9-1-2),即不一定满足端口条件，因而也不一定能作为二端口网络。如图 9-1-3(a)、(b)、(c)所示的晶体管放大器、变压器、滤波器等具有一个输入端口和一个输出端口的装置都可以用二端口网络理论进行研究。第十四章中的均匀传输线也可以用二端口网络理论进行研究。



(a) (b) (c)

图 9-1-3

二端口网络的内部可能是不连通的，如图 9-1-3(b)。但若把图中 2′与 1′连在一起，不会影响各元件的电流和电压值，因而二端口网络一般可以看成是连通的。这时公共端 1′和 2′还可以看成是接地的，构成“接地二端口网络”。没有接地点的二端口网络常称为“浮地二端口网络”。

思 考 题

9-1-1 端口与端子有何不同？

§9-2 二端口网络的 Y 参数和 Z 参数

二端口网络中共有四个变量：$\dot{U}_1$、$\dot{U}_2$ 和 $\dot{I}_1$、$\dot{I}_2$。若已知每个端口由外部电路决定的一个约束关系，或已知四个变量中的两个变量，则由二端口网络内部的两个约束关系就可以确定二端口网络的所有四个变量。在这两个约束关系中，可以取四个变量中的两个作为自变量而其它两个变量作为自变量的函数。当自变量不同时，得到的二端口网络参数也不同。常用的有 Y、Z、H、T 四种参数。本节先讲前二种参数。

Y 参数及其方程

设线性定常二端口网络内部没有独立电源，而它的两个端口各接一电压源，并规定各电压、电流的参考方向如图 9-2-1。根据叠加定理，电流 $\dot{I}_1$、$\dot{I}_2$ 都可看成是电压 $\dot{U}_1$ 及电压 $\dot{U}_2$ 分别单独作用时产生的电流叠加的结果，并写成

$$\left.\begin{aligned}\dot{I}_1&=Y_{11}\dot{U}_1+Y_{12}\dot{U}_2\\ \dot{I}_2&=Y_{21}\dot{U}_1+Y_{22}\dot{U}_2\end{aligned}\right\}\qquad(9\text{-}2\text{-}1)$$

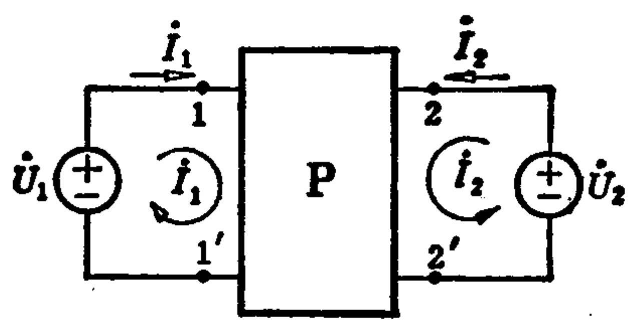


图 9-2-1

上式中 $Y_{11}\dot{U}_1$ 表示 $\dot{U}_2$ 为零时单独由 $\dot{U}_1$ 产生的电流 $\dot{I}_1$ 分量，$Y_{12}\dot{U}_2$ 表示 $\dot{U}_1$ 为零时单独由 $\dot{U}_2$ 产生的电流 $\dot{I}_1$ 分量。类似地，$Y_{21}\dot{U}_1$ 表示 $\dot{U}_2$ 为零时单独由 $\dot{U}_1$ 产生的电流 $\dot{I}_2$ 分量，而 $Y_{22}\dot{U}_2$ 表示 $\dot{U}_1$ 为

零时单独由 $\dot{U}_2$ 产生的电流 $\dot{I}_2$ 分量。参数 Y_{11}、Y_{12}、Y_{21}、Y_{22} 是由二端口网络内部结构和元件参数决定的常量，与外加电压无关并具有导纳的量纲，称为二端口网络的 **Y 参数**(Y parameters)或**短路导纳参数**，这是因为

$$\left.\begin{aligned} Y_{11}=\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1}\bigg|_{\dot{U}_2=0}, \qquad Y_{12}=\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0} \\ Y_{21}=\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1}\bigg|_{\dot{U}_2=0}, \qquad Y_{22}=\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0} \end{aligned}\right\} \tag{9-2-2}$$

其中 Y_{11} 是端口 22′ 短路时($\dot{U}_2=0$)端口 11′ 的**策动点导纳**或**输入导纳**，Y_{22} 是端口 11′短路时($\dot{U}_1=0$)端口 22′的策动点导纳，Y_{12} 是端口 11′短路时($\dot{U}_1=0$)两端口间的**传递导纳**或**转移导纳**，Y_{21} 是端口 22′短路时 ($\dot{U}_2=0$)两端口间的传递导纳。它们都可以用图 9-2-2 所示的短路试验电路求出(若估计短路时电流很大，短路试验可降低电压进行)。

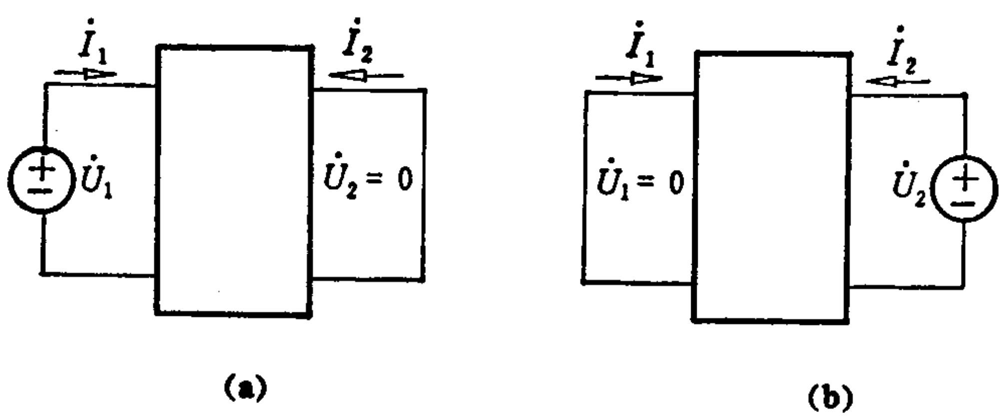


图 9-2-2

可以证明，对于不含独立源和受控源的线性定常网络，

$$Y_{12}=Y_{21}① \tag{9-2-3}$$

这时网络具有互易性，称为**互易网络**。互易网络若还满足条件 $Y_{11}=Y_{22}$，则输入端口 11′与输出端口 22′互换后特性不变。这种网络称为**对称二端口网络**。

① 这个结果可以用互易定理或回路方程来证明。

把(9-2-1)式所示的短路导纳参数(Y 参数)二端口网络方程写成矩阵形式，得

$$\begin{bmatrix}\dot I_1\\ \dot I_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Y_{11} & Y_{12}\\ Y_{21} & Y_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot U_1\\ \dot U_2\end{bmatrix} \tag{9-2-4}$$

即

$$\boxed{\dot{\mathbf{I}}=\mathbf{Y}\dot{\mathbf{U}}} \tag{9-2-5}$$

其中

$$\dot{\mathbf{I}}=\begin{bmatrix}\dot I_1\\ \dot I_2\end{bmatrix},\qquad \dot{\mathbf{U}}=\begin{bmatrix}\dot U_1\\ \dot U_2\end{bmatrix} \tag{9-2-6}$$

而

$$\mathbf{Y}=\begin{bmatrix}Y_{11} & Y_{12}\\ Y_{21} & Y_{22}\end{bmatrix} \tag{9-2-7}$$

称为**短路导纳矩阵**或 **Y 矩阵**。

与(9-2-4)式对应的等效电路可用受控源和一些导纳构成如图9-2-3。

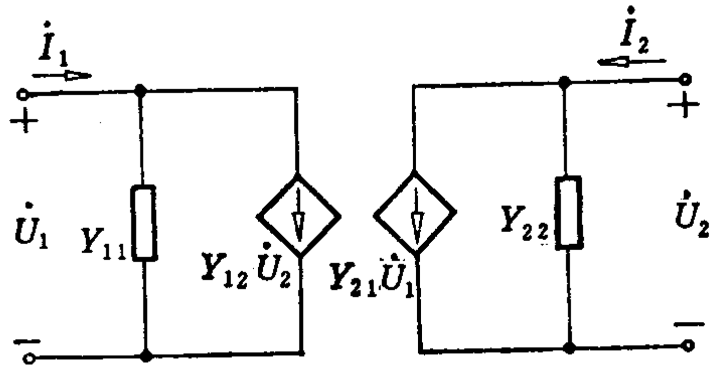


图 9-2-3

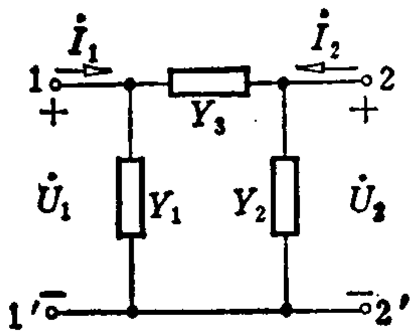


图 9-2-4

在图 9-2-4 所示Π形电路中，为求短路导纳Y_{11} 和Y_{21}，可将22′间短路，使 $\dot U_2=0$，得

$$Y_{11}=\frac{\dot I_1}{\dot U_1}\bigg|_{\dot U_2=0}=Y_1+Y_3 \tag{9-2-8}$$

$$Y_{21}=\frac{\dot I_2}{\dot U_1}\bigg|_{\dot U_2=0}=-Y_3 \tag{9-2-9}$$

为求参数 Y_{22} 和 Y_{12}，可将 11′间短路，使 $\dot{U}_1=0$，得

$$Y_{12}=\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0}=-Y_3 \tag{9-2-10}$$

$$Y_{22}=\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0}=Y_2+Y_3 \tag{9-2-11}$$

此时 $Y_{12}=Y_{21}$，该网络是互易网络。

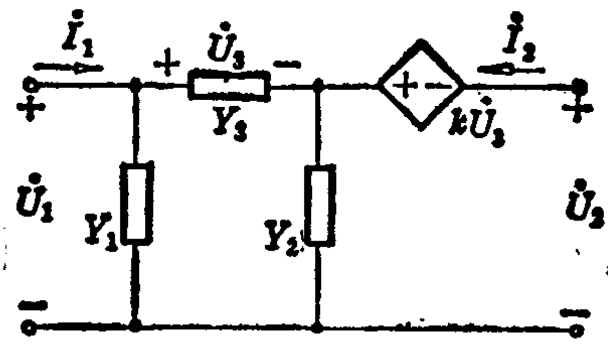


图 9-2-5

例 9-2-1 图 9-2-5 所示电路中，已知 $Y_1=2S, Y_2=3S, Y_3=4S$，$k=4$，求 Y 参数和相应的方程。

解 参数

$$Y_{11}=\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1}\bigg|_{\dot{U}_2=0}=\frac{Y_1\dot{U}_1+Y_3\dot{U}_3}{\dot{U}_1}$$

但当 $\dot{U}_2=0$ 时，$\dot{U}_1=\dot{U}_3+k\dot{U}_3=(1+k)\dot{U}_3$

于是

$$Y_{11}=\frac{Y_1(1+k)+Y_3}{1+k}=\frac{2S\times5+4S}{5}=2.8S$$

$$Y_{21}=\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1}\bigg|_{\dot{U}_2=0}=-\frac{Y_3\dot{U}_3-Y_2k\dot{U}_3}{(1+k)\dot{U}_3}=\frac{kY_2-Y_3}{1+k}=1.6S$$

$$Y_{22}=\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0}=\frac{-Y_3\dot{U}_3-Y_2\dot{U}_3}{-\dot{U}_3-k\dot{U}_3}=\frac{Y_3+Y_2}{1+k}=1.4S$$

$$Y_{12}=\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0}=\frac{Y_3\dot{U}_3}{-\dot{U}_3-k\dot{U}_3}=-\frac{Y_3}{1+k}=-0.8S$$

其中 $Y_{12}\neq Y_{21}$，这是因为网络中含有受控源，网络是非互易的。

Y 参数方程为

$$\begin{cases}\dot{I}_1=2.8S\cdot\dot{U}_1-0.8S\cdot\dot{U}_2\\ \dot{I}_2=1.6S\cdot\dot{U}_1+1.4S\cdot\dot{U}_2\end{cases}$$

Z 参数及其方程

在(9-2-1)式所表示的Y参数方程中，当系数行列式$\Delta_Y=Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21}\neq 0$时，可解出

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_1&=\frac{Y_{22}}{\Delta_Y}\dot{I}_1+\frac{-Y_{12}}{\Delta_Y}\dot{I}_2=Z_{11}\dot{I}_1+Z_{12}\dot{I}_2\\ \dot{U}_2&=\frac{-Y_{21}}{\Delta_Y}\dot{I}_1+\frac{Y_{11}}{\Delta_Y}\dot{I}_2=Z_{21}\dot{I}_1+Z_{22}\dot{I}_2\end{aligned}\right\} \tag{9-2-12}$$

或由矩阵方程(9-2-5)式 $\boldsymbol{Y}\dot{\boldsymbol{U}}=\dot{\boldsymbol{I}}$ 解出

$$\dot{\boldsymbol{U}}=\boldsymbol{Y}^{-1}\dot{\boldsymbol{I}}=\boldsymbol{Z}\dot{\boldsymbol{I}} \tag{9-2-13}$$

式中

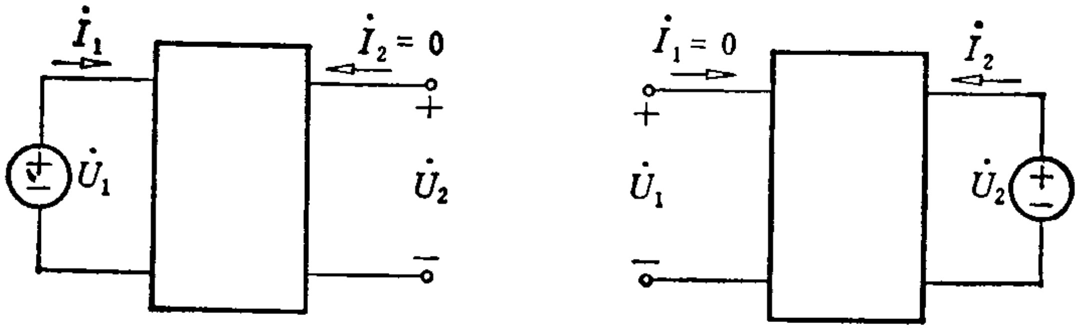
$$\boldsymbol{Z}=\begin{bmatrix}Z_{11} & Z_{12}\\ Z_{21} & Z_{22}\end{bmatrix}=\boldsymbol{Y}^{-1}=\begin{bmatrix}Y_{22}/\Delta_Y & -Y_{12}/\Delta_Y\\ -Y_{21}/\Delta_Y & Y_{11}/\Delta_Y\end{bmatrix} \tag{9-2-14}$$

称为**开路阻抗矩阵**或 **Z 矩阵**，它是短路导纳矩阵(Y 矩阵)的逆矩阵。(9-2-13)式与(9-2-12)式是完全一致的。

Z 矩阵中的各元素 Z_{11}、Z_{12}、Z_{21}、Z_{22} 称为二端口网络的**开路阻抗参数**或 **Z 参数**(Z parameters)。这是因为

$$\left.\begin{aligned}Z_{11}&=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}, \quad & Z_{12}&=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}\\ Z_{21}&=\left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}, \quad & Z_{22}&=\left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}\end{aligned}\right\} \tag{9-2-15}$$

各参数都可用图 9-2-6 所示的开路试验电路求出。其中 Z_{11} 表示端口 22′开路时($\dot{I}_2=0$)端口 11′的**策动点阻抗**或**输入阻抗**，Z_{22} 表示端口 11′开路时($\dot{I}_1=0$)端口22′ 的策动点阻抗，Z_{12} 为端口11′ 开路时两端口间的**传递阻抗**或**转移阻抗**，Z_{21} 为端口22′开路时两端口间的传递阻抗。由于互易网络中 $Y_{12}=Y_{21}$，所以这种网络的传递阻抗 $Z_{12}=Z_{21}$。



(a) (b)

图 9-2-6

应该注意：虽然 Z 矩阵是 Y 矩阵的逆矩阵，但每一个阻抗参数一般却不是对应导纳参数的倒量。例如从(9-2-12)式中看出 $Z_{11}=Y_{22}/\Delta_Y$ 一般不等于 $1/Y_{11}$。

根据 Z 参数方程(9-2-12)式，二端口网络也可画成包括受控源的等效电路，如图 9-2-7 所示。

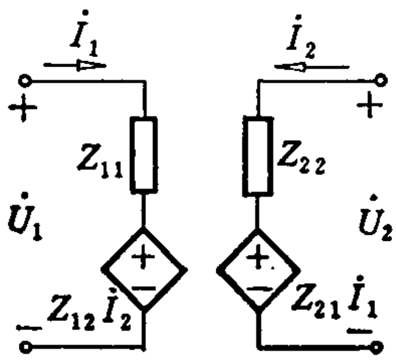


图 9-2-7

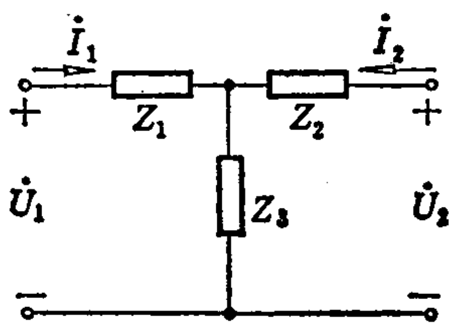


图 9-2-8

对于图 9-2-8 所示的 T 形网络，

$$Z_{11}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}=Z_1+Z_3 \tag{9-2-16}$$

$$Z_{22}=\left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}=Z_2+Z_3 \tag{9-2-17}$$

$$Z_{12}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}=Z_3 \tag{9-2-18}$$

$$Z_{21}=\left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}=Z_3(\text{与 } Z_{12} \text{ 相同}) \tag{9-2-19}$$

例 9-2-2 求图 9-2-9 互感耦合电路的 Z 参数矩阵。

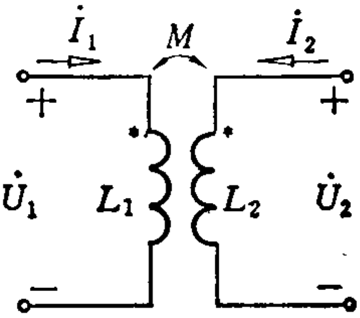


图 9-2-9

解 写出该电路的 KVL 方程

$$\begin{cases}\dot{U}_1 = j\omega L_1\dot{I}_1 + j\omega M\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j\omega M\dot{I}_1 + j\omega L_2\dot{I}_2\end{cases}$$

即

$$\begin{bmatrix}\dot{U}_1 \\ \dot{U}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}j\omega L_1 & j\omega M \\ j\omega M & j\omega L_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2\end{bmatrix}$$

显然，开路阻抗矩阵

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix}Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}j\omega L_1 & j\omega M \\ j\omega M & j\omega L_2\end{bmatrix}$$

思 考 题

9-2-1 导纳参数 Y_{11}、Y_{12}、Y_{21}、Y_{22} 是否与对应的阻抗参数 Z_{11}、Z_{12}、Z_{21}、Z_{22} 互为倒量？是否有可能互为倒量？

9-2-2 证明 CCVS 的 Z 参数矩阵为 $\begin{bmatrix}0 & 0 \\ r & 0\end{bmatrix}$，而 VCCS 的 Y 参数矩阵为 $\begin{bmatrix}0 & 0 \\ g & 0\end{bmatrix}$.

§9-3 二端口网络的 H 参数和 T 参数

H 参数及其方程

前已说明，在二端口网络的四个变量 $\dot{U}_1$、$\dot{U}_2$、$\dot{I}_1$、$\dot{I}_2$ 中，可以用其中两个作为自变量，而把其它两个变量看作它们的函数。在电子电路中，常用 $\dot{I}_1$ 和 $\dot{U}_2$ 作为自变量。为了找出 $\dot{U}_1$、$\dot{I}_2$ 与自变量 $\dot{I}_1$、$\dot{U}_2$ 间的关系，可以从(9-2-1)式的第一式中解出 $\dot{U}_1$，得

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{Y_{11}}\dot{I}_1 - \frac{Y_{12}}{Y_{11}}\dot{U}_2 \tag{9-3-1}$$

将上式代入(9-2-1)式的第二式，得

$$\dot{I}_2 = Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2 = Y_{21}\left(\frac{1}{Y_{11}}\dot{I}_1 - \frac{Y_{12}}{Y_{11}}\dot{U}_2\right) + Y_{22}\dot{U}_2$$

$$=\frac{Y_{21}}{Y_{11}}\dot{I}_1+\frac{Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21}}{Y_{11}}\dot{U}_2=\frac{Y_{21}}{Y_{11}}\dot{I}_1+\frac{\Delta_Y}{Y_{11}}\dot{U}_2 \quad (9\text{-}3\text{-}2)$$

将上面二式中的系数用 H_{11}、H_{12}、H_{21}、H_{22} 表示，得

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_1&=\frac{1}{Y_{11}}\dot{I}_1+\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}\dot{U}_2=H_{11}\dot{I}_1+H_{12}\dot{U}_2\\ \dot{I}_2&=\frac{Y_{21}}{Y_{11}}\dot{I}_1+\frac{\Delta_Y}{Y_{11}}\dot{U}_2=H_{21}\dot{I}_1+H_{22}\dot{U}_2\end{aligned}\right\} \quad (9\text{-}3\text{-}3)$$

其中
$$\left.\begin{aligned}H_{11}&=1/Y_{11}, & H_{12}&=-Y_{12}/Y_{11}\\ H_{21}&=Y_{21}/Y_{11}, & H_{22}&=\Delta_Y/Y_{11}\end{aligned}\right\} \quad (9\text{-}3\text{-}4)$$

它们的意义分别是：

$$H_{11}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}$$ （端口 22′短路时端口 11′的策动点阻抗）

$$H_{22}=\left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$$ （端口 11′开路时端口 22′的策动点导纳）

$$H_{12}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$$ （端口 11′开路时两端口间的反向传递电压比）

$$H_{21}=\left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}$$ （端口 22′短路时两端口间的正向传递电流比）

其中传递电压比 H_{12} 和传递电流比 H_{21} 都没有量纲，H_{11} 具有阻抗的量纲，H_{22} 具有导纳的量纲。由于这四个参数的量纲不同，所以它们称为**混合参数**(hybrid parameters)或 ***H* 参数**。晶体管电路中常采用 H 参数。

将 H 参数二端口网络方程(9-3-3)式写成矩阵形式，得

$$\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{I}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}H_{11} & H_{12}\\ H_{21} & H_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\ \dot{U}_2\end{bmatrix} \quad (9\text{-}3\text{-}5)$$

其中

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix}H_{11} & H_{12}\\ H_{21} & H_{22}\end{bmatrix} \quad (9\text{-}3\text{-}6)$$

称为**混合参数矩阵**或 **H 参数矩阵**。

由于互易网络中$Y_{12}=Y_{21}$，根据(9-3-4)式可得

$$H_{12}=-H_{21} \qquad (9\text{-}3\text{-}7)$$

根据H参数方程，二端口网络也可以用含受控源的等效电路来表示，如图 9-3-1 所示。

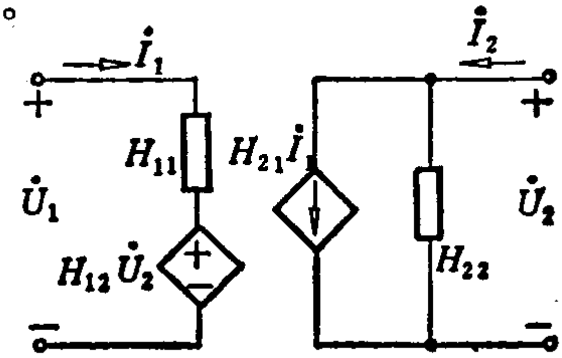


图 9-3-1

例 9-3-1 若已知晶体管放大器的 $H_{11}=500\Omega$（输入电阻），$H_{12}=0.2$（反向传递电压比），$H_{21}=100$（电流放大倍数），$H_{22}=0.01\text{S}$（输出电导）。求 $I_1=0.1\text{mA}$、$U_2=0.5\text{V}$ 时的 U_1、I_2 值。

解 根据H参数方程，并考虑各电压、电流均为直流量

$$U_1=H_{11}I_1+H_{12}U_2=500\Omega\times0.1\text{mA}+0.2\times0.5\text{V}=0.15\text{V}$$

$$I_2=H_{21}I_1+H_{22}U_2=100\times0.1\text{mA}+0.01\text{S}\times0.5\text{V}=15\text{mA}$$

T 参数及其方程

工程中常需求出二端口网络输入端口 $\dot{U}_1$、$\dot{I}_1$ 与输出端口 $\dot{U}_2$、$\dot{I}_2$ 间的关系。这时，可从 (9-2-1) 式第二式解出 $\dot{U}_1$，得

$$\dot{U}_1=-\frac{Y_{22}}{Y_{21}}\dot{U}_2+\frac{1}{Y_{21}}\dot{I}_2 \qquad (9\text{-}3\text{-}8)$$

再将上式代入(9-2-1)式第一式，得

$$\begin{aligned}\dot{I}_1&=Y_{11}\dot{U}_1+Y_{12}\dot{U}_2=Y_{11}\left(-\frac{Y_{22}}{Y_{21}}\dot{U}_2+\frac{1}{Y_{21}}\dot{I}_2\right)+Y_{12}\dot{U}_2\\&=\left(Y_{12}-\frac{Y_{11}Y_{22}}{Y_{21}}\right)\dot{U}_2+\frac{Y_{11}}{Y_{21}}\dot{I}_2\\&=\frac{-\Delta_Y}{Y_{21}}\dot{U}_2+\frac{Y_{11}}{Y_{21}}\dot{I}_2\end{aligned} \qquad (9\text{-}3\text{-}9)$$

上述二式可写成

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_1&=A\dot{U}_2+B(-\dot{I}_2)\\\dot{I}_1&=C\dot{U}_2+D(-\dot{I}_2)\end{aligned}\right\} \qquad (9\text{-}3\text{-}10)$$

其中

$$
\left.\begin{array}{ll}
A=-\dfrac{Y_{22}}{Y_{21}}, & B=-\dfrac{1}{Y_{21}} \\
C=-\dfrac{\Delta_Y}{Y_{21}}, & D=-\dfrac{Y_{11}}{Y_{21}}
\end{array}\right\} \tag{9-3-11}
$$

称为二端口网络的**传输参数**(transmission parameters)或 $\boldsymbol{T}$ 参数，因为它们表示传输过程中输入端口 $\dot{U}_1$、$\dot{I}_1$ 与输出端口 $\dot{U}_2$、$\dot{I}_2$ 间的关系。在 T 参数中，A、D 没有量纲，B 具有阻抗的量纲，C 具有导纳的量纲。

为了使输出电流变量与连在输出端口的下一级输入电流一致，上式中采用 $\dot{I}_2'=-\dot{I}_2$ 作为输出电流变量。若将(9-3-10)式写成矩阵形式，得

$$
\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{I}_1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_2\\ -\dot{I}_2\end{bmatrix}=\boldsymbol{T}\begin{bmatrix}\dot{U}_2\\ -\dot{I}_2\end{bmatrix} \tag{9-3-12}
$$

式中

$$
\boldsymbol{T}=\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix} \tag{9-3-13}
$$

称为**传输参数矩阵**。

传输参数矩阵对应的行列式(用 det 表示求矩阵的行列式)：

$$
\begin{aligned}
\det\ \boldsymbol{T} &= \begin{vmatrix}A & B\\ C & D\end{vmatrix}=AD-BC \\
&=\left(-\frac{Y_{22}}{Y_{21}}\right)\left(-\frac{Y_{11}}{Y_{21}}\right)-\left(-\frac{1}{Y_{21}}\right)\left(-\frac{\Delta_Y}{Y_{21}}\right) \\
&=\frac{Y_{11}Y_{22}-\Delta_Y}{{Y_{21}}^2}=\frac{Y_{12}}{Y_{21}}
\end{aligned} \tag{9-3-14}
$$

对于互易网络，由于 $Y_{12}=Y_{21}$，得

$$
\det\ \boldsymbol{T}=AD-BC=1 \tag{9-3-15}
$$

当二端口网络对称时，由于 $Y_{11}=Y_{22}$，故 $A=D$。

在图 9-3-2 所示电路中，由 KVL 和 KCL 得