

一、实验目的 (5分)

1. 掌握二端口参数测定的一般方法
2. 掌握将二端口串联、并联构成的复合二端口的参数的计算

二、总体设计方案或技术路线 (包括实验电路图) (30分)

1. 测量二端口的参数

对于一个线性网络，我们更多的关心的是其输入端口与输出端口的电压和电流之间的相互关系。如图 3-1 所示线性无独立电源二端口网络，其独立端口变量分别为两个端口电压 \dot{U}_1 和 \dot{U}_2 、两个端口电流 \dot{I}_1 和 \dot{I}_2 。对于这 4 个变量之间的关系，我们可以采用多种形式的参数方程来表示，如导纳参数方程、阻抗参数方程、传输参数方程和混合参数方程。以下称端子 1、1' 为端口 1，称端子 2、2' 为端口 2。

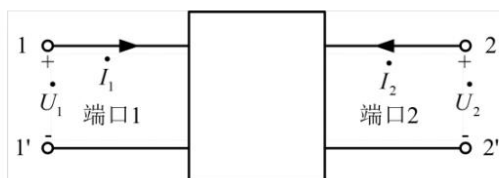


图 3-1 二端口网络端口变量的参考方向

1.1. 导纳参数 (Y 参数)

1) 导纳参数方程。用端口电压表示端口电流时，可得：

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2 \end{aligned} \quad \text{式 (3-1)}$$

式中系数 Y_{11} 、 Y_{12} 、 Y_{21} 、 Y_{22} 具有导纳的量纲，称为二端口的导纳参数，简称 Y 参数，即

$$Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix}$$

2) 测量方法。对于未给出其内部电路结构和元件参数的二端口网络，可通过实验测定其等效 Y 参数。

在端口 1 外施电压 \dot{U}_1 ，将端口 2 短路，即 $\dot{U}_2 = 0$ ，如图 3-2 (a) 所示。由式 (3-1) 可得：

$$Y_{11} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2=0} \quad Y_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

同理，在端口 2 外施电压 \dot{U}_2 ，将端口 1 短路，即 $\dot{U}_1 = 0$ ，如图 3-2 (b) 所示。由式 (3-1) 可得：

$$Y_{12} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{U}_1=0} \quad Y_{22} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{U}_1=0}$$

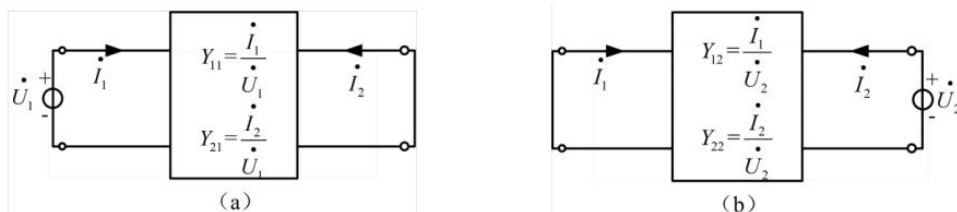


图 3-2 导纳参数的测定

1.2. 阻抗参数 (Z 参数)

1) 阻抗参数方程。用端口电流表示端口电压时, 可得:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11} \dot{I}_1 + Z_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= Z_{21} \dot{I}_1 + Z_{22} \dot{I}_2 \end{aligned} \quad \text{式 (3-2)}$$

式中系数 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{21} 、 Z_{22} 具有阻抗的量纲, 称为二端口的阻抗参数, 简称 **Z** 参数, 即

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$$

2) 测量方法。对于未给出其内部电路结构和元件参数的二端口网络, 可通过实验测定其等效 **Z** 参数。

在端口 1 外施电流 \dot{I}_1 , 将端口 2 开路, 即 $\dot{I}_2=0$, 如图 3-3 (a) 所示。由式 (3-2) 可得:

$$Z_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad Z_{21} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0}$$

同理, 在端口 2 外施电流 \dot{I}_2 , 将端口 1 开路, 即 $\dot{I}_1=0$, 如图 3-3 (b) 所示。由式 (3-2) 可得:

$$Z_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \quad Z_{22} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0}$$

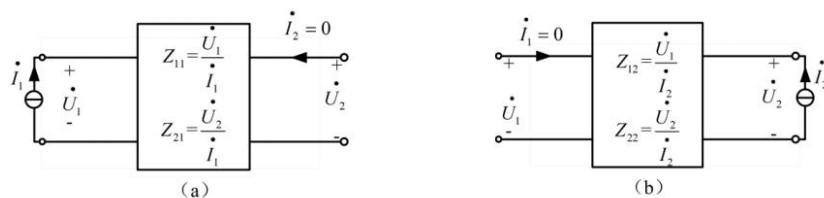


图 3-3 阻抗参数的测定

3.4.1.4 混合参数 (H 参数)

1) 混合参数方程。用端口 1 的电流和端口 2 的电压作为自变量, 表示端口 1 的电压和端口 2 的电流, 可得:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= H_{11} \dot{I}_1 + H_{12} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= H_{21} \dot{I}_1 + H_{22} \dot{U}_2 \end{aligned} \quad \text{式 (3-4)}$$

上式为二端口的混合参数方程, 简称 **H** 参数方程, 其中 **H** 参数矩阵为:

$$H = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{pmatrix}$$

2) 测量方法。对于未给出其内部电路结构和元件参数的二端口网络, 可通过实验测定其等效 **H** 参数。

在端口 1 外施电流 \dot{I}_1 , 将端口 2 短路, 即 $\dot{U}_2=0$, 如图 3-5 (a) 所示。由式 (3-4) 可得:

$$H_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{U}_2=0} \quad H_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

同理, 在端口 2 外施电压 \dot{U}_2 , 将端口 1 开路, 即 $\dot{I}_1=0$, 如图 3-5 (b) 所示。由式 (3-4) 可得:

$$H_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \quad H_{22} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_1=0}$$

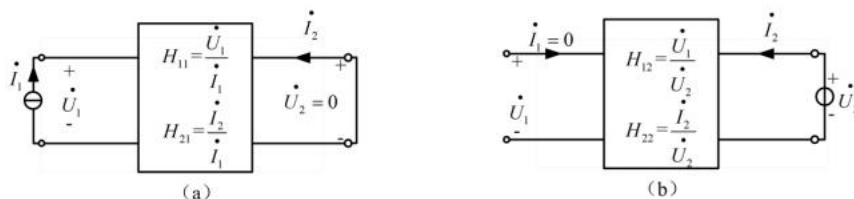


图 3-5 混合参数的测定

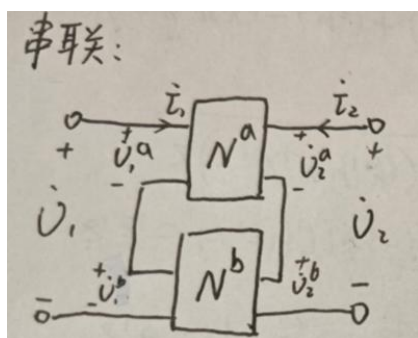
2. 复合二端口

当几个二端口按一定方式连接起来，且不破坏端口条件，就组成一个复合二端口。

2.1 二端口网络的串联

下图为两个二端口串联成一个复合二端口，

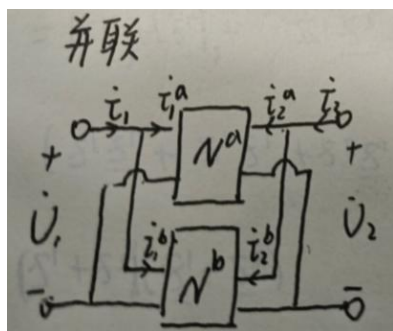
分析串联组成的复合二端口与两个二端口间的关系时，采用阻抗参数较方便。



2.2 二端口网络的并联

下图为两个二端口并联成一个复合二端口，

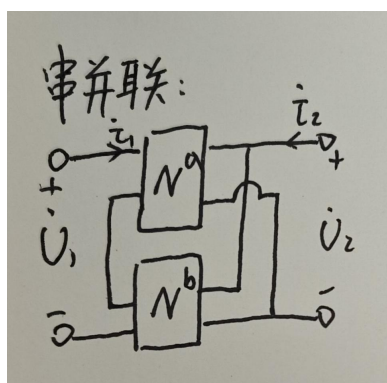
分析并联组成的复合二端口与两个二端口间的关系时，采用导纳参数较方便。



2.3 二端口网络的串并联

下图为两个二端口串并联成一个复合二端口，

分析串并联组成的复合二端口与两个二端口间的关系时，采用混合参数较方便。



三、实验设备和元器件名称与型号 (5分)

	名称	数量	型号
1	直流稳压电源	1台	DP832A
2	手持万用表	1台	Fluke17B+
3	直流电压电流表	1块	30111047
4	电阻	若干	
5	函数发生器	1台	TFG6960AW
7	测电流插孔	3只	
8	电流插孔导线	3条	
9	短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
10	实验用9孔插件方板	1块	300mm×298mm
11	直流恒流源	1台	SL1500

四、理论分析或仿真分析结果 (15分)

理论分析:

串联二端口的阻抗参数矩阵, 等于各串联的二端口的阻抗参数矩阵的和。 $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}^a + \mathbf{Z}^b$

设 N^a 的参数 Z^a , N^b 的参数 Z^b
 即 $\begin{bmatrix} \dot{U}_1^a \\ \dot{U}_2^a \end{bmatrix} = Z^a \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} \dot{U}_1^b \\ \dot{U}_2^b \end{bmatrix} = Z^b \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$
 故 $\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1^a + \dot{U}_1^b \\ \dot{U}_2^a + \dot{U}_2^b \end{bmatrix} = (Z^a + Z^b) \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$
 从而串联二端口的参数 $Z = Z^a + Z^b$

并联二端口的导纳参数矩阵, 等于各并联的二端口的导纳参数矩阵的和。 $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}^a + \mathbf{Y}^b$

设 N^a 的参数 Y^a , N^b 的参数 Y^b
 即 $\begin{bmatrix} \dot{I}_1^a \\ \dot{I}_2^a \end{bmatrix} = Y^a \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} \dot{I}_1^b \\ \dot{I}_2^b \end{bmatrix} = Y^b \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}$
 故 $\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_1^a + \dot{I}_1^b \\ \dot{I}_2^a + \dot{I}_2^b \end{bmatrix} = (Y^a + Y^b) \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}$
 从而并联二端口的参数 $Y = Y^a + Y^b$

串并联二端口的混合参数矩阵, 等于各串并联的二端口的混合参数矩阵的和。 $\mathbf{H} = \mathbf{H}^a + \mathbf{H}^b$

设 N^a 的参数 H^a , N^b 的参数 H^b
 $\begin{bmatrix} \dot{U}_1^a \\ \dot{I}_2^a \end{bmatrix} = H^a \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} \dot{U}_1^b \\ \dot{I}_2^b \end{bmatrix} = H^b \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}$
 故 $\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1^a + \dot{U}_1^b \\ \dot{I}_2^a + \dot{I}_2^b \end{bmatrix} = (H^a + H^b) \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}$
 从而串并联二端口的混合参数 $H = H^a + H^b$

实验预习和实验过程原始数据记录

实验名称：串联、并联及串并联二端口的参数测量 学生姓名：psp

实验日期与时间：2023.10.30 实验台号：46

预习结果审核：_____ 原始数据审核：_____

五、详细实验步骤及实验测量数据记录 (20分)

(叙述具体实验过程的步骤和方法，记录实验数据在设计的数据表格中)

1、(1) 二端口网络的实验线路如下图所示，将直流恒流源的输出电流调至 50mA，作为二端口网络的输入。其中 $R_1=510\Omega$ ， $R_2=100\Omega$ ， $R_3=150\Omega$ 。

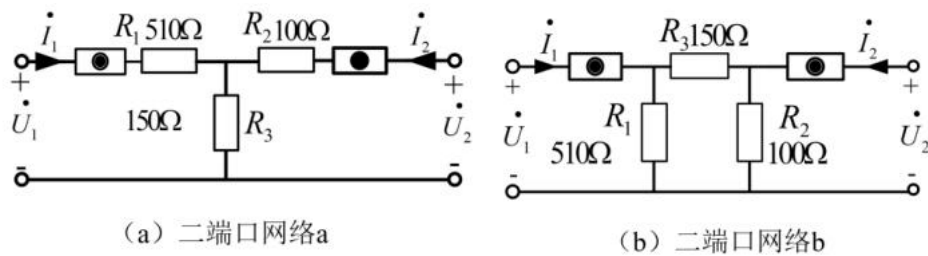


图 3-1

测定相关数据，填入表 3-1 中，并分别计算两个二端口网络的阻抗参数 Z ；

推导出用参数 Z 计算参数 Y 的公式，并根据公式计算两个二端口网络的导纳参数 Y ；

推导出用参数 Z 计算参数 H 的公式，并根据公式计算两个二端口网络的参数 H

公式：

$$Y = Z^{-1} = \frac{1}{\Delta Z} \begin{bmatrix} Z_{22} & -Z_{12} \\ -Z_{21} & Z_{11} \end{bmatrix}$$

其中 $\Delta Z = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}$

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{22}} & \frac{Z_{12}}{Z_{22}} \\ -\frac{Z_{21}}{Z_{22}} & \frac{1}{Z_{22}} \end{bmatrix}$$

表 3-1 二端口网络 Z 参数测量实验数据

二端口网络 a	测量值	测量值			计算值		计算值		计算值	
		$U_{10}(V)$	$U_{20}(V)$	$I_{10}(mA)$	Z_{11}^a	Z_{21}^a	Y_{11}^a	Y_{21}^a	H_{11}^a	H_{21}^a
输出端开路 $I_2=0$	$U_{10}(V)$	32.40	7.37	49.9	649.30	147.70	0.00178	-0.0011	560.7	-0.60
输入端开路 $I_1=0$	$U_{10}(V)$	7.37	12.29	49.9	147.70	246.30	-0.0011	0.0047	0.600	0.004
二端口网络 b	测量值	测量值			计算值		计算值		计算值	
		$U_{10}(V)$	$U_{20}(V)$	$I_{10}(mA)$	Z_{11}^b	Z_{21}^b	Y_{11}^b	Y_{21}^b	H_{11}^b	H_{21}^b
输出端开路 $I_2=0$	$U_{10}(V)$	8.43	3.313	49.9	168.94	66.39	0.0082	-0.0061	120.1	-0.74
输入端开路 $I_1=0$	$U_{10}(V)$	3.308	4.50	49.9	66.30	90.18	-0.0061	0.0154	-0.74	0.011

(2) 按照上图所示原理，将图 3-9 的(a)、(b)两图串联后构成一个新的二端口网络，画出电路图。将直流恒流源的输出电流调至 50mA，作为二端口网络的输入，填入表 3-2 中，计算新二端口网络的传输参数 Z ，并验证式 $Z = Z^a + Z^b$ 是否成立。

电路图：

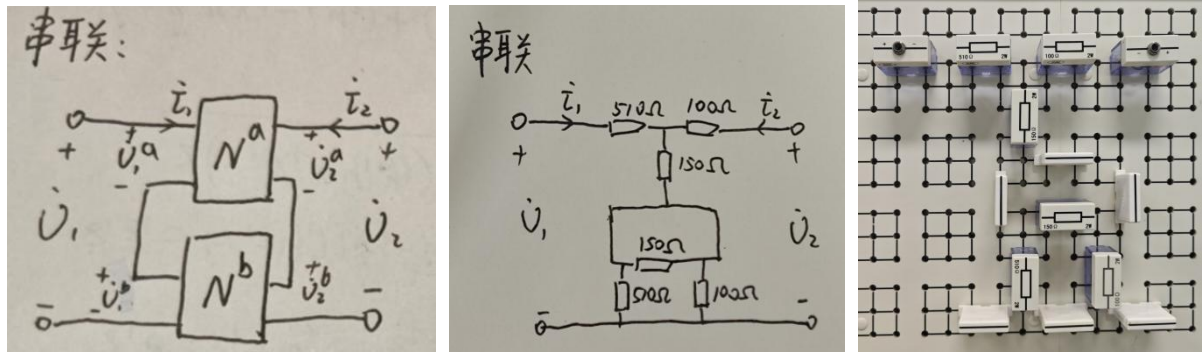


表 3-2 串联二端口网络 Z 参数测量实验数据

串联二端口网络	输出端开路 $I_2=0$	测量值			计算值	
		$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_1(mA)$	Z_{11}	Z_{21}
		36.49	11.49	50.0	729.80	229.80
	输入端开路 $I_1=0$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_2(mA)$	Z_{12}	Z_{22}
	11.47	16.52	49.9	229.86	331.06	

(3) 按照上图所示原理，将图 3-9 的(a)、(b)两图并联后构成一个新的二端口网络，画出电路图。将直流稳压电源的输出电压调至 15V，作为二端口网络的输入，填入表 3-3 中，计算新二端口网络的传输参数 Y ，并验证式 $Y = Y^a + Y^b$ 是否成立。

电路图：

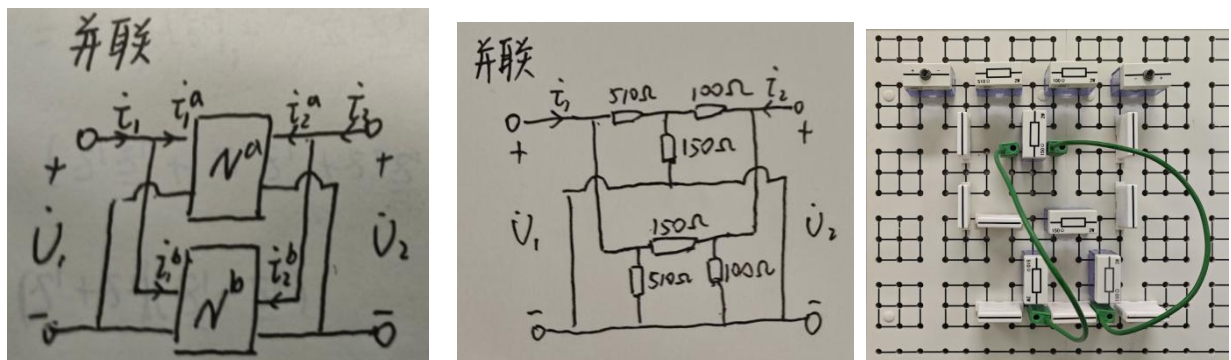
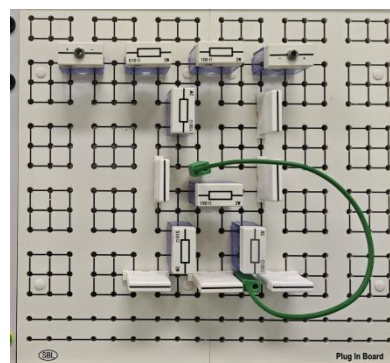
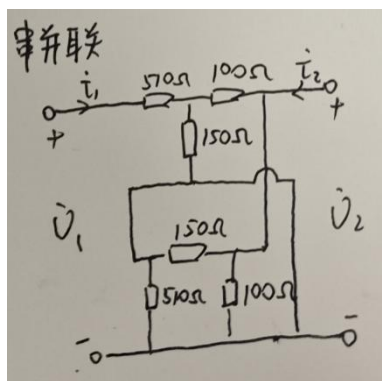
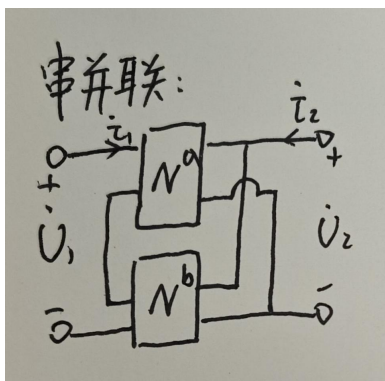


表 3-3 并联二端口网络 Y 参数测量实验数据

并联二端口网络	输出端短路 $U_2=0$	测量值			计算值	
		$U_{10}(V)$	$I_{10}(mA)$	$I_{20}(mA)$	Y_{11}	Y_{21}
		14.995	152.9	-110.3	0.0101	-0.0074
	输入端短路 $U_1=0$	$U_{20}(V)$	$I_{10}(mA)$	$I_{20}(mA)$	Y_{12}	Y_{22}
	4.996	-35.2	101.4	-0.0070	0.0203	

(4) 按照上图所示原理，将图 3-9 的(a)、(b)两图串并联后构成一个新的二端口网络，画出电路图。填入表 3-2 中，计算新二端口网络的传输参数 H ，并验证式 $H = H^a + H^b$ 是否成立。



3-4

串并联二端口网络H参数测量实验数据

串并联二端口网络	输出端短路 $U_2=0$	测量值			计算值	
		$U_{10}(V)$	$I_{10}(mA)$ (外加)	$I_{20}(mA)$	H_{11}	H_{21}
		27.98	50.0	-24.7	559.6	-0.494
	输入端开路 $I_1=0$	$U_{20}(V)$ (外加)	$U_{10}(V)$	$I_{20}(mA)$	H_{12}	H_{22}
	9.995	3.571	199.4	0.3573	0.0558	

验证:

(1) 串联二端口:

原始二端口:

二端口 a		二端口 b		逐项求和	
Z_{11}^a	Z_{21}^a	Z_{11}^b	Z_{21}^b	Z_{11}	Z_{21}
649.30	147.70	168.94	66.39	718.24	214.1
Z_{12}^a	Z_{22}^a	Z_{12}^b	Z_{22}^b	Z_{12}	Z_{22}
147.70	246.30	66.30	90.18	214.1	336.5

复合二端口:

计算值	
Z_{11}	Z_{21}
729.80	229.80
Z_{12}	Z_{22}
229.86	331.06

在误差允许范围内, 串联二端口有: $Z = Z^a + Z^b$

(2) 并联二端口:

原始二端口:

二端口 a		二端口 b		逐项求和	
Y_{11}^a	Y_{21}^a	Y_{11}^b	Y_{21}^b	Y_{11}	Y_{21}
0.00178	-0.0011	0.0082	-0.0061	0.00998	-0.0072
Y_{12}^a	Y_{22}^a	Y_{12}^b	Y_{22}^b	Y_{12}	Y_{22}
-0.0011	0.0047	-0.0061	0.0154	-0.0072	0.0201

复合二端口:

计算值	
Y_{11}	Y_{21}
0.0101	-0.0074
Y_{12}	Y_{22}
-0.0070	0.0203

在误差允许范围内, 并联二端口有: $Y = Y^a + Y^b$

六、实验结论 (15 分)

在误差允许范围内，设原始二端口为 a 和 b，

串联二端口有： $Z = Z^a + Z^b$

并联二端口有： $Y = Y^a + Y^b$

串并联二端口有： $H = H^a + H^b$

七、实验中出现的問題及解决对策 (5 分)

1、问题：按照设计的电路图搭建电路，发现电流示数异常

对策：逐步缩小范围确定异常元件，更换后正常实验

2、问题：按照设计的实验步骤进行实验时，发现电流超过了电流表量程

对策：因为二端口的参数与外加激励无关，故适当减小激励后继续试验

八、实验体会与建议 (3 分)

在自主设计实验进行探究时，学会了如何设计一个实验并理论分析到实践验证，完整地体验了做电路实验的流程

[参考文献] (2 分)

[1] 马瑞庆. 双口网络串联、并联、级联的 h 参数[J]. 中国教育技术装备, 2009(30):102-104.

[2] 王曙剑. 对双口网络传输参数的讨论[J]. 电工教学, 1996(01):27-29.

[3] 姚国天. 双口网络串—并联和并—串联的 Y 参数[J]. 临沂师范学院学报, 2003(06):28-31.