

# 实验一 元件伏安特性的测试

## 一、实验目的

- 掌握线性电阻元件，非线性电阻元件及电源元件伏安特性的测量方法。
- 学习直读式仪表和直流稳压电源等设备的使用方法。

## 二、实验说明

电阻性元件的特性可用其端电压  $U$  与通过它的电流  $I$  之间的函数关系来表示，这种  $U$  与  $I$  的关系称为电阻的伏安关系。如果将这种关系表示在  $U \sim I$  平面上，则称为伏安特性曲线。

1. 线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，该直线斜率的倒数就是电阻元件的电阻值。如图 1-1 所示。由图可知线性电阻的伏安特性对称于坐标原点，这种性质称为双向性，所有线性电阻元件都具有这种特性。

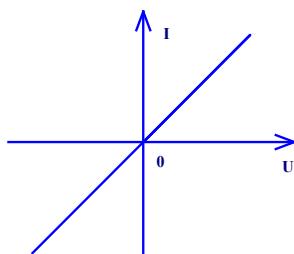


图 1-1

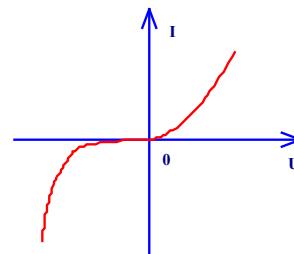


图 1-2

半导体二极管是一种非线性电阻元件，它的阻值随电流的变化而变化，电压、电流不服从欧姆定律。半导体二极管的电路符号用  表示，其伏安特性如图 1-2 所示。由图可见，半导体二极管的伏安特性曲线对于坐标原点是不对称的，具有单向性特点。因此，半导体二极管的电阻值随着端电压的大小和极性的不同而不同，当直流电源的正极加于二极管的阳极而负极与阴极联接时，二极管的电阻值很小，反之二极管的电阻值很大。

### 2. 电压源

能保持其端电压为恒定值且内部没有能量损失的电压源称为理想电压源。理想电压源的符号和伏安特性曲线如图 1-3(a)所示。

理想电压源实际上是不存在的，实际电压源总具有一定的能量损失，这种实际电压源可以用理想电压源与电阻的串联组合来作为模型（见图 1-3b）。其端口的电压与电流的关系为：

$$U = U_s - IR_s$$

式中电阻  $R_s$  为实际电压源的内阻，上式的关系曲线如图 1-3b 所示。显然实际电压源的内阻越小，其特性越接近理想电压源。实验箱内直流稳压电源的内阻很小，当通过的电流在规定的范围内变化时，可以近似地当作理想电压源来处理。

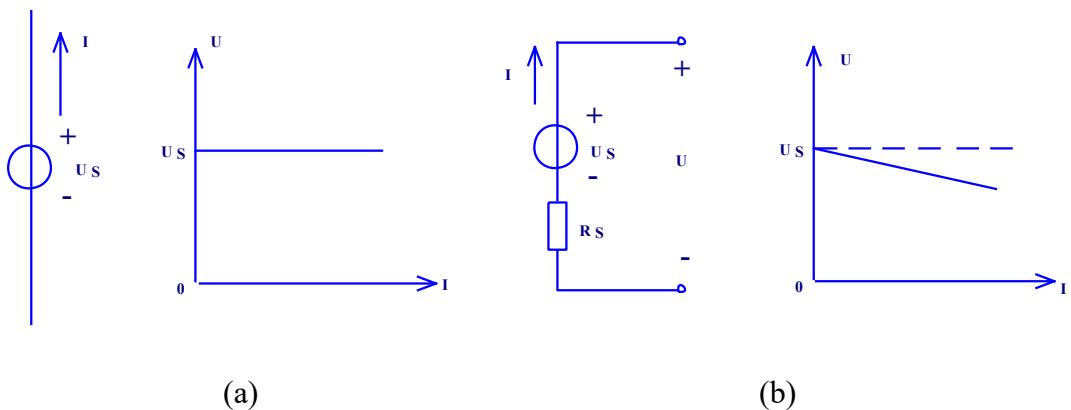


图 1-3

### 3. 电压、电流的测量

用电压表和电流表测量电阻时，由于电压表的内阻不是无穷大，电流表的内阻不是零。所以会给测量结果带来一定的方法误差。

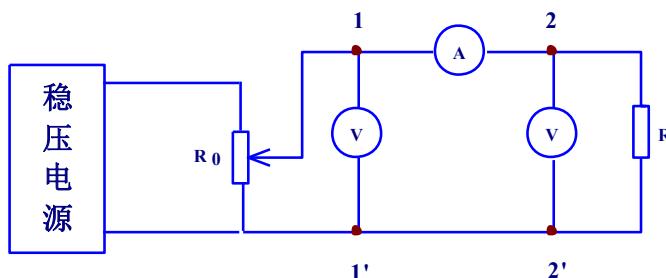


图 1-4

例如在测量图 1-4 中的  $R$  支路的电流和电压时，电压表在线路中的连接方法有两种可供选择。如图中的  $1-1'$  点和  $2-2'$  点，在  $1-1'$  点时，电流表的读

数为流过  $R$  的电流值，而电压表的读数不仅含有  $R$  上的电压降，而且含有电流表内阻上的电压降，因此电压表的读数较实际值为大，当电压表在 2-2' 处时，电压表的读数为  $R$  上的电压降，而电流表的读数除含有电阻  $R$  的电流外还含有流过电压表的电流值，因此电流表的读数较实际值为大。

显而易见，当  $R$  的阻值比电流表的内阻大得多时，电压表直接接在 1-1' 处，当电压表的内阻比  $R$  的阻值大得多时则电压表的测量位置应选择在 2-2' 处。实际测量时，某一支路的电阻常常是未知的，因此，电压表的位置可以用下面方法选定：先分别在 1-1' 和 2-2' 两处试一试，如果这两种接法电压表的读数差别很小，甚至无差别，即可接在 1-1' 处。如果两种接法电流表的读数差别很小或无甚区别，则电压表接于 1-1' 处或 2-2' 处均可。

### 三、仪器设备

1. 电路分析实验箱 一台
2. 直流毫安表 一只
3. 数字万用表 一只

### 四、实验内容与步骤

1. 测定线性电阻的伏安特性：

按图 1-5 接好线路，经检查无误后，接入直流稳压电源，调节输出电压依次为表 1-1 中所列数值，并将测量所得对应的电流值记录于表 1-1 中。

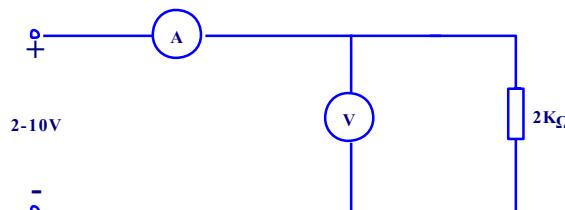


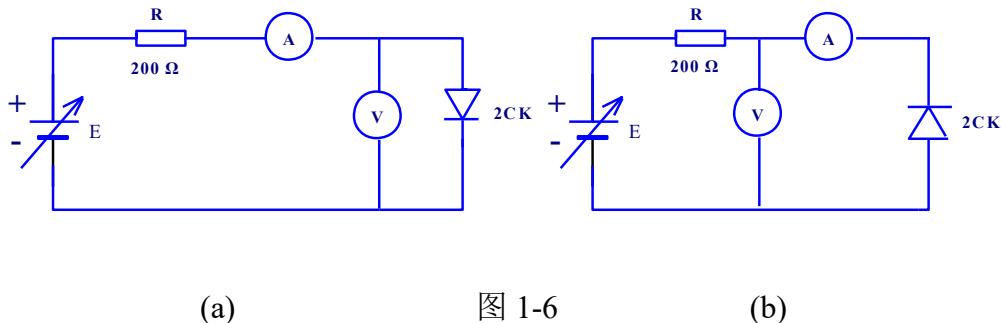
图 1-5

表 1-1

$U(V)$	0	2	4	6	8	10
$I(mA)$						

## 2. 测定半导体二极管的伏安特性:

选用 2CK 型普通半导体二极管作为被测元件，实验线路如图 1-6(a)(b)所示。图中电阻  $R$  为限流电阻，用以保护二极管。在测二极管反向特性时，由于二极管的反向电阻很大，流过它的电流很小，电流表应选用直流微安档。



### 1) 正向特性

按图 1-6(a)接线，经检查无误后，开启直流稳压源，调节输出电压，使电流表读数分别为表 1-2 中的数值，对于每一个电流值测量出对应的电压值，记入表 1-2 中，为了便于作图在曲线的弯曲部位可适当多取几个点。

表 1-2

$I$ (mA)	0	1μA	10μA	100μA	1	3	10	20	30	40	50...	…90	150	
$U$ (V)														

### 2) 反向特性

按图 1-6(b)接线，经检查无误后，接入直流稳压电源，调节输出电压为表 1-3 中所列数值，并将测量所得相应的电流值记入表 1-3 中。

表 1-3

$U$ (V)	0	5	10	15	20	
$I$ (μA)						

## 3. 测定理想电压源的伏安特性

实验采用直流稳压电源作为理想电压源，因其内阻在和外电路电阻相比可

以忽略不计的情况下，其输出电压基本维持不变，可以把直流稳压电源视为理想电压源，按图 1-7 接线，其中  $R_1 = 200\Omega$  为限流电阻， $R_2$  作为稳压电源的负载。

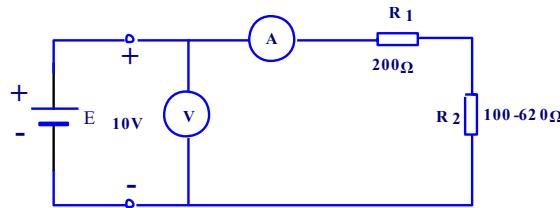


图 1-7

接入直流稳压电源，并调节输出电压  $E = 10V$ ，由大到小改变电阻  $R_2$  的阻值，使其分别等于  $620\Omega$ 、 $510\Omega$ 、 $390\Omega$ 、 $300\Omega$ 、 $200\Omega$ 、 $100\Omega$ ，将相应的电压、电流数值记入表 1-4 中。

表 1-4

$R_2(\Omega)$	620	510	390	300	200	100
$U(V)$						
$I(mA)$						

#### 4. 测定实际电压源的伏安特性

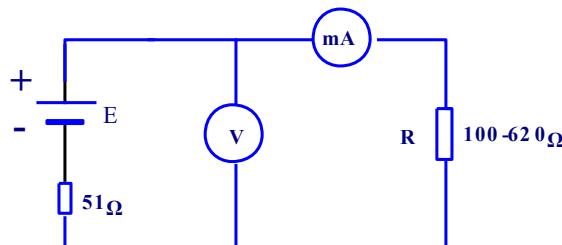


图 1-8

首先选取一个  $51\Omega$  的电阻，作为直流稳压电源的内阻与稳压电源串联组成

一个实际电压源模型，其实验线路如图 1-8 所示。其中负载电阻仍然取  $620\Omega$ 、 $510\Omega$ 、 $390\Omega$ 、 $300\Omega$ 、 $200\Omega$ 、 $100\Omega$  各值。实验步骤与前项相同，测量所得数据填入表 1-5 中。

表 1-5

$R(\Omega)$	开路	620	510	390	300	200	100
$U(V)$	10						
$I(mA)$	0						

## 五、思考题

有一个线性电阻  $R=200\Omega$ ，用电压表、电流表测电阻  $R$ ，已知电压表内阻  $R_V=10K\Omega$ ，电流表内阻  $R_A=0.2\Omega$ ，问电压表与电流表怎样接法其误差较小？

## 六、实验报告要求

- 用坐标纸画出各元件的伏安特性曲线，并作出必要的分析。
- 回答思考题，并画出测量电路图。

# 实验二 常用电路仪表的测量与误差分析及典型 电信号的观察与测量

## 一. 实验目的

1. 掌握系统误差和随机误差的概念
2. 学会分析系统误差和随机误差的方法
3. 学习示波器和函数信号发生器的使用方法
4. 观察函数信号发生器产生的各类波形
5. 掌握用示波器定量测量电压的峰—峰值，周期的方法

## 二. 常用电路仪表的测量与误差分析实验原理与说明

### (一) 测量方法

根据获得测量结果的方法不同，测量可以分为两大类：直接测量和间接测量。

#### 1. 直接测量法

直接测量法是指被测量与其单位量作比较，被测量的大小可以直接从测量的结果得出。例如：用电压表测量电压，读数即为被测电压值，这就是直接测量法。

直接测量法又分直接读数法和比较法两种。

上述用电压表测量电压，就是直接读数法，被测量可直接从指针指示的表面刻度读出。这种测量方法的设备简单，操作方便，但其准确度较低，测量误差主要来源于仪表本身的误差，误差最小约可达 $\pm 0.05\%$ 。

比较法是指测量时将被测量与标准量进行比较，通过比较确定被测量的值。例如用电位差计测量电压源的电压，就是将被测电压源的电压与已知标准电压源的电压相比较，并从指零仪表确定其作用互相抵消后，即可以刻度盘读得被测电

压源的电压值。比较法的优点是准确度和灵敏度都比较高，测量误差主要决定于标准量的精度和指零仪表的灵敏度，误差最小约可达 $\pm 0.001\%$ ，比较法的缺点是设备复杂，价格昂贵，操作麻烦，仅适用于较精密的测量。

## 2. 间接测量法

间接测量法是指测量时测出与被测量有关的量，然后通过被测量与这些量的关系式，计算得出被测量。例如用伏安法测量电阻，首先测得被测电阻上的电压和电流，再利用欧姆定律求得被测电阻值。间接测量法的测量误差较大，它是各个测量仪表和各次测量中误差的综合。

## (二) 测量误差

测量中，无论采用什么样的仪表，仪器和测量方法，都会使测量结果与被测量的真实值（即实际值或简称真值）之间存在着差异，这就是测量误差。测量误差可分为三类，即系统误差，偶然误差和疏忽误差。

### 1. 系统误差

系统误差的特点是测量结果总是向某一方向偏离，相对于真实值总是偏大或偏小，具有一定的规律性，根据其产生的原因可分为：仪表误差，理论或方法误差，个人误差。

#### (1) 仪表误差

仪表在规定的正常工作条件下使用（仪表使用在规定的温度、湿度，规定的安置方式，没有外界电磁场的干扰等），由于仪表本身结构和制造工艺上的不完善所引起的误差，叫做仪表的基本误差。例如仪表偏转轴的磨损，标尺刻度的不准等引起的误差，都是属于基本误差，是仪表本身所固有的。

由于仪表在非正常工作条件下使用而引起的误差，叫仪表的附加误差。例如

外界电磁场的干扰所引起的误差，就属于附加误差。

### 仪表误差有两种表示方法：

#### ① 绝对误差

用仪表测量一个电量时，仪表的指示值  $A_x$  与被测量的实际值  $A_0$  之差，叫绝对误差，用  $\Delta$  表示：

$$\Delta = A_x - A_0 \quad \text{式 (1—1)}$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同。绝对误差在数值上有正负之分。

#### ② 相对误差

用绝对误差无法比较两次不同测量结果的准确性，例如用电流表测量 100mA 的电流时，绝对误差为  $+1\text{mA}$ ，又若测量 10mA 电流时，绝对误差为  $+0.25\text{mA}$ ，虽然绝对误差是前者大于后者，但并不能说明后者的测量比前者准确，要使两次测量能够进行比较，必须采用相对误差。

通常把仪表的绝对误差  $\Delta$  与被测量的实际值的比值的百分比，叫相对误差，用  $\gamma$  表示。

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad \text{式 (1—2)}$$

因为测量值  $A_x$  与实际值  $A_0$  相差不大，故相对误差也可近似表示为：

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad \text{式 (1—3)}$$

用相对误差分析上述两次测量结果：第一次测量中，被测电流的相对误差为：

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

第二次测量中被测电流的相对误差为：

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{+0.25}{10} \times 100\% = +2.5\%$$

从计算结果看出，第一次测量的绝对误差虽大，但相对误差较小，所以第一次测量比第二次测量的结果准确。

### (2) 理论误差或方法误差

这是指实验本身所依据的理论和公式的近似性，或者对实验条件及测量方法考虑得不周到带来的系统误差。例如，未考虑仪表内阻对被接入电路的影响而造成的系统误差，就是属于这一类。

### (3) 测量者个人因素带来的个人误差

例如测量者反应速度的快慢，分辨能力的高低，个人的固有习惯等，致使读数总是偏大或偏小。

#### 1. 偶然误差

偶然误差是由于某种偶然因素所造成的，其特点是在相同的测量条件下，有时偏大，有时偏小，无规律性。例如，温度、外界电磁场、电源频率的偶然变化，即使采用同一仪表去多次测量同一个量，也会得到不同的结果。

#### 2. 疏忽误差

疏忽误差是指测量结果出现明显的错误，是由于实验者的疏忽造成读错或记错等所引起的误差。

## 三. 典型电信号的观察与测量部分实验原理与说明

1. 示波器作为一种实用的时域仪器，可用来观察电信号的波形并定量测试被测波形的参数，例如幅度、频率、相位和脉宽等。

2. 信号发生器是一种能提供不同类型时变信号的电压源，电路实验常用的信号发生器是函数信号发生器，它能产生正弦波、方波、三角波、锯齿波和脉冲波

等信号。

3. 用示波器进行电压测量，就是将被测电压信号输入给示波器，通过在荧光屏上的波形显示来进行定量或定性的分析。图 1-1 是用示波器测量信号发生器输出的测试电路，图中符号 $\odot$ 为测试电缆线插头，其外圆是指与仪器外壳相连通的插口底座（与测试线的黑色鳄鱼夹连通，此测试线称为“屏蔽线”，图 1-1 中用虚线表示），中间的小圆，指信号发生器的输出端点或示波器的输入端点（与测试线的红色鳄鱼夹连通，此条测试线在图 1-1 中用实线表示）。接线时，要注意示波器，信号发生器的“共地”连接，即测试线的黑色鳄鱼夹接在一起。

用示波器观测电流波形，可采用间接测量法。即测量被测支路中已知电阻上的电压，根据电阻电压与电流同相位的关系，而得到电流波形。若被测支路中无电阻元件，需串接一个取样电阻  $r$ ，如图 1-2 所示。为减小取样电阻对原电路的影响，通常取  $r \ll |Z|$ 。

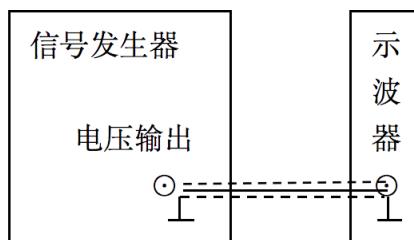


图 1-1 示波器测试信号源输出电路图

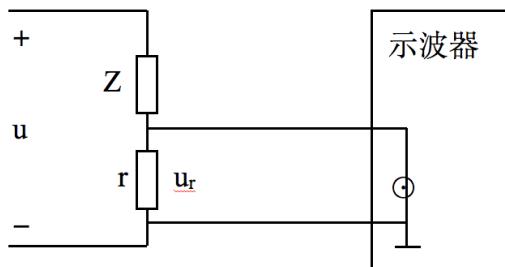


图 1-2 示波器测量电流电路图

#### 四. 典型电信号的观察与测量部分实验设备

名称	数量	型号
函数信号发生器	1 台	固纬仪器 MFG- 2230M
示波器	1 台	固纬仪器 GDS-2102E
万用表	1 台	固纬仪器 GDM-8352
连接导线	若干	

## 五. 典型电信号的观察与测量部分实验步骤

### 1. 三种典型波形的观察与测量

将函数信号发生器的输出分别调为  $f=200\text{Hz}$  和  $500\text{KHz}$ ,  $V_p = 1\text{V}$ 、 $3\text{V}$  和  $10\text{V}$ 。波形依次选择正弦波、方波、三角波。用示波器测出信号发生器输出电压的幅值及有效值，结果记入表 1-1，并进行比较。选取一组数据画出波形图，根据实验数据及有效值与电压幅值  $V_p$  之间的关系。分别计算出各种波形的有效值将数据填表中相应的空格内。

按图 1-3 接线图连线，根据表格上的要求，进行测量。

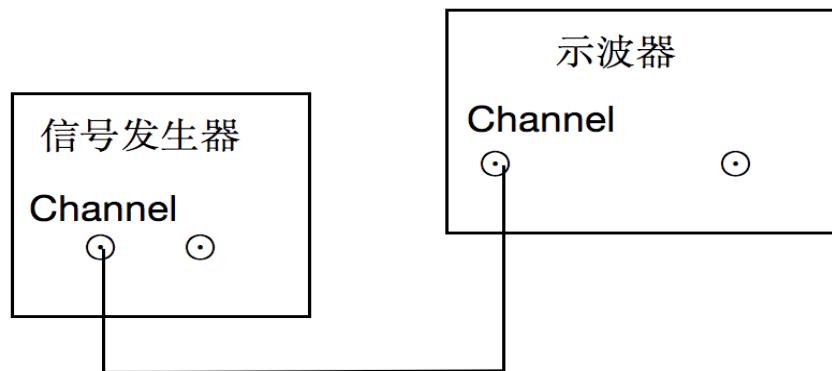


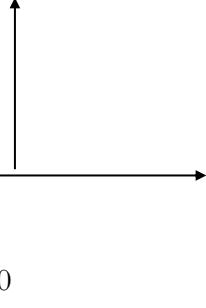
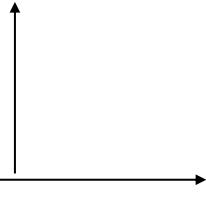
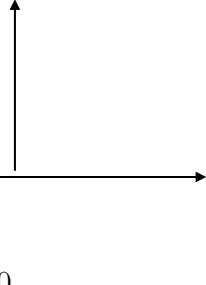
图 1-3 观测波形实验接线图

表 1-1 (一) 三种波形观测实验数据 ( $f = 200\text{Hz}$ )

	波形 ( V)	示波器			有效值		
		1V	3V	10V	1V	3V	10V
正弦波							
方波							
三角波							

表 1-1 (二) 三种波形观测实验数据 ( $f = 500\text{KHz}$ )

	波形 ( V)	示波器			有效值		
		1V	3V	10V	1V	3V	10V

正弦波							
方波							
三角波							

## 六. 注意事项

- a. 表 1-3 中,  $V_p$  为峰值, 且数值上  $V_p = \frac{1}{2} \cdot V_{p-p}$ , 如图 1-4 所示。

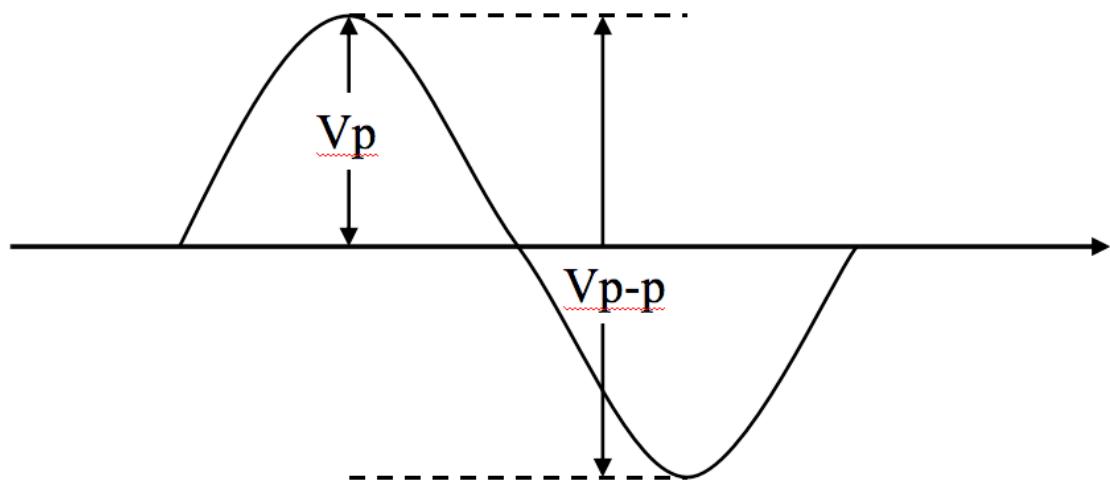


图 1-4  $V_p$  与  $V_{p-p}$  的关系

b. 峰值，峰—峰值与有效值的关系：

$$V_P = \sqrt{2} \cdot V$$

$$V_{P-P} = 2\sqrt{2} \cdot V$$

## 七. 分析与讨论