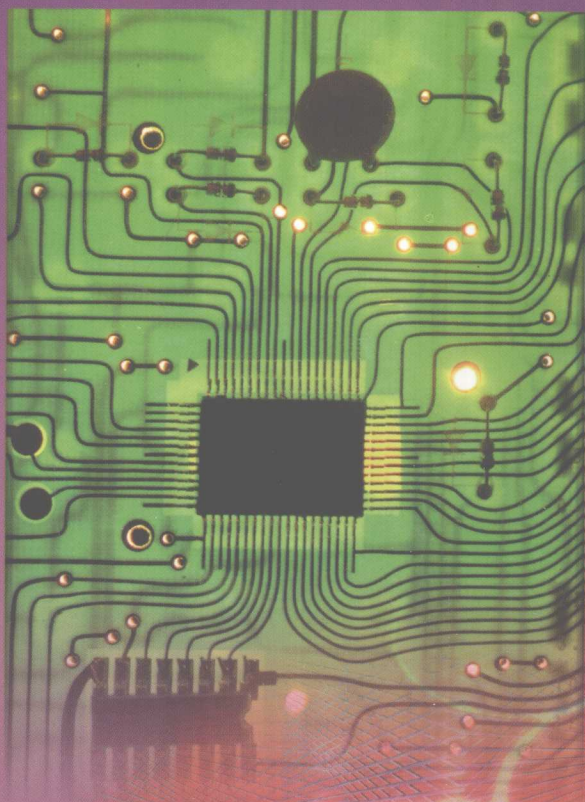


电工理论实验教程

主编 王安娜 陈绍林 申 燕



NEUPRESS
东北大学出版社

电工理论实验教程

主 编 王安娜 陈绍林 申 燕

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 王安娜 等 2004

图书在版编目 (CIP) 数据

电工理论实验教程 / 王安娜, 陈绍林, 申燕主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2004.6
ISBN 7-81102-056-4

I. 电… II. ①王… ②陈… ③申… III. 电工技术—实验—高等学校—教材 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 059511 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳农业大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 8

字 数: 200 千字

出版时间: 2004 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2004 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 冯淑琴

封面设计: 唐敏智

责任校对: 张淑萍

责任出版: 杨华宁

定 价: 12.00 元

前 言

电工基础是所有电类专业学生的一门技术基础课，也是一门必修课。本书为电工基础课程的实验教材，内容紧密配合《电工基础》课程的教学。

作者所在教研室曾多次编写了电工理论课程的实验教材，并在实践中不断完善、更新，取得了较好的效果。在编写过程中，我们吸取了上述有关实验教材的优点，并结合编者多年的教学、指导实验经验，根据课程的特点，力求做到内容选取适当，突出电路中的基本概念、定理、定律，培养学生仿真、调试及初步设计电路的能力。

本书紧密联系实际。在设计了基本的验证性实验的基础上，选编了许多综合设计性、探究性实验，使学生通过实验进一步掌握电工理论的基本概念、基本知识、基本技能；培养学生分析、解决和处理实际电路问题的能力；培养学生的动手能力和工程实践能力。本书引入了现代优秀的电路仿真软件 Multisim，将虚拟电路实验与硬件电路实验结合起来，为综合设计性、探究性电路实验提供了实验平台。

本书由王安娜教授、陈绍林教授、申燕高级工程师担任主编。参加编写的还有孙玉琴教授、刘泽军高级工程师、吴建华副教授、李华副教授、陈宪章副教授、贺立红副教授、王延明讲师、迟德选工程师。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请读者、专家和同行们批评指正。

编 者

2004 年 6 月

内 容 简 介

本书为电工基础课程的实验教材，全书共分四章。第1章验证性电路实验；第2章综合设计性电路实验；第3章常用实验仪器介绍；第4章电路仿真及设计软件 Multisim 2001 使用简介。

本书也可作为电工基础课程实践环节的配套教材，亦可供相关工程技术人员参考。

目 录

第1章 验证性电路实验	1
1.1 实验一 伏安特性的测定	1
1.2 实验二 戴维南定理、叠加定理和互易定理	4
1.3 实验三 交流参数的测定	6
1.4 实验四 功率因数的提高	8
1.5 实验五 三相电路电压、电流和功率的测量	11
1.6 实验六 双口网络特性的研究	14
1.7 实验七 双踪示波器的使用	17
1.8 实验八 谐振电路	20
1.9 实验九 一阶动态电路的研究	22
1.10 实验十 二阶动态电路的研究	24
1.11 实验十一 负阻特性的研究	26
1.12 实验十二 非线性电阻电路的图解分析法	29
1.13 实验十三 回转器的研究	31
第2章 综合设计性电路实验	34
2.1 实验十四 电阻温度计电路的设计与标定	34
2.2 实验十五 数字仪表的设计与校验	37
2.3 实验十六 单相负载三相均衡供电电路的设计	39
2.4 实验十七 电抗器、变压器的设计与测定	41
2.5 实验十八 互感电路与谐振电路的实验研究	44
2.6 实验十九 滤波器设计实验	47
2.7 实验二十 非正弦周期电流电路的谐波分析	50
2.8 实验二十一 动态电路的计算机仿真分析	52
2.9 实验二十二 阻抗匹配网络和衰减网络设计	54
2.10 实验二十三 受控源与运算放大器	57
2.11 实验二十四 非线性电阻电路的小信号分析法	61
2.12 实验二十五 张弛振荡器及其应用	63
第3章 常用实验仪器介绍	72
3.1 EM1719A 直流稳压电源	72
3.2 数字交流毫伏表	75

3.3	MS8215 型数字多用表简介	77
3.4	磁电式仪表	80
3.5	电磁式仪表	84
3.6	电动式仪表	86
3.7	VP—5020D/C 模拟双通道示波器	91
3.8	SG1692P 型数字合成信号发生器	95
3.9	EEL—DL3 型电路原理实验箱使用说明	99
3.10	电工技术实验台	101
第 4 章	电路仿真及设计软件 Multisim 2001 使用简介	103
4.1	Multisim 2001 仿真软件界面	103
4.2	电路理论分析中常用的虚拟仪器使用说明	110
4.3	Multisim 2001 仿真软件的基本操作	118

第 1 章 验证性电路实验

1.1 实验一 伏安特性的测定

1.1.1 实验目的

- (1)学习电压表、电流表和万用表的使用方法。
- (2)学习元件及二端网络伏安特性的一般测定方法。
- (3)学习实验结果的处理方法。
- (4)理解额定参数的意义。

1.1.2 实验原理

(1)用电压表和电流表测量无源元件的伏安特性可以有如图 1.1-1 所示的两种接法。图 1.1-1(a)中的接法电压表测得的电压包括了电流表的压降, 图 1.1-1(b)中的接法电流表测得的电流包括了流过电压表的电流。测量时, 根据具体情况, 决定采用哪种接法。

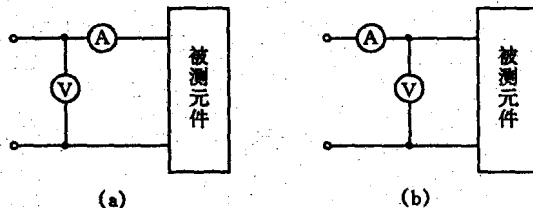


图 1.1-1 电压表与电流表的不同接法

(2)图 1.1-2 是几种元件的伏安特性曲线, 除了(a)中的线性电阻元件以外, 依次为白炽灯泡、普通二极管、稳压二极管、隧道二极管和直流稳压电源。

(3)测量伏安特性要根据具体情况来决定采用图 1.1-3 中的哪种接法。图 1.1-2(b)中的白炽灯泡一般标明工作电压和功率, 可以用图 1.1-3(a)的接法, 不宜用图 1.1-3(c)的接法。测量图 1.1-2(d)中稳压二极管的特性就绝不能用图 1.1-3(a)的接法, 可以用图 1.1-3(c)的接法。测量直流电源的伏安特性可以用图 1.1-3(d)的接法。

1.1.3 实验内容

(1)分别用图 1.1-1 中的两种接法测量一个大约 5Ω 的电阻, 将测量数据记入参考表 1.1-1。分析哪一种方法误差小。

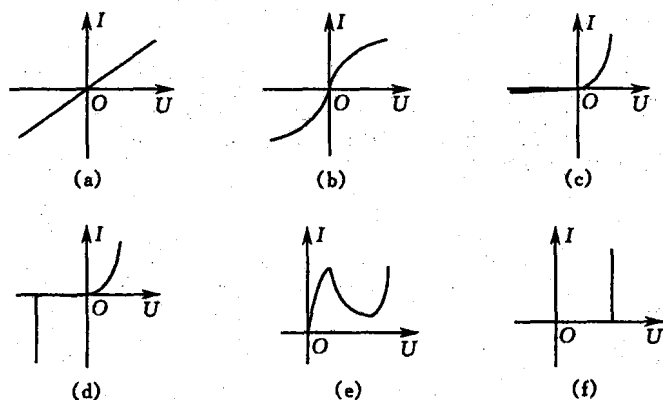


图 1.1-2 伏安特性曲线

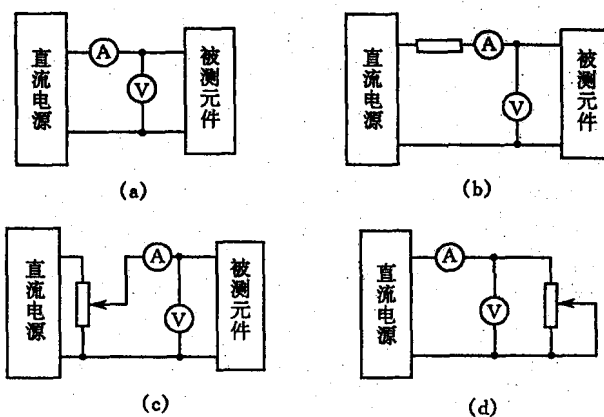


图 1.1-3 不同的测量方法

表 1.1-1

参 考 表 格

		图 1.1-1(a)接法			图 1.1-1(b)接法		
		测量值 U/V	测量值 I/A	计算值 Ω	测量值 U/V	测量值 I/A	计算值 Ω
1	读数						
	示值						
2	读数						
	示值						
3	读数						
	示值						

(2)自拟实验电路，测定白炽灯泡的伏安特性。将测量数据记入参考表格 1.1-2。

表 1.1-2

参 考 表 格

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	U/V										
	I/A										
2	U/V										
	I/A										
3	U/V										
	I/A										

(3)自拟实验电路,测定稳压二极管的伏安特性。自拟表格记录测量数据。

1.1.4 选作内容(注意安全)

(1)测量一个 $20\Omega 3W$ 的电阻,电压由 $0V$ 渐渐地升高,观察被测电阻。可以用纸条蘸水观察被测电阻的温度。

(2)测量一个 $3W$ 以下的小灯泡,电压由额定值渐渐地升高,观察被测小灯泡。

1.1.5 实验报告要求

(1)把实验内容(1)中测量的数据记录在表格中,分析产生误差的原因。

(2)画出实验内容(2)中电路,将测量的数据记录在表格中,画出元件的伏安特性曲线。

(3)画出实验内容(3)中电路,将测量的数据记录在表格中,画出元件的伏安特性曲线。

1.1.6 实验仪器设备

直流稳压电源	1 台
直流电压表	1 块
直流电流表	1 块
数字万用表	1 块
白炽灯泡	2 只
稳压二极管	1 只
电阻元件	2 只

1.2 实验二 戴维南定理、叠加定理和互易定理

1.2.1 实验目的

- (1)加深对戴维南定理、叠加定理及互易定理的理解。
- (2)学习有源二端网络伏安特性的测量方法。
- (3)锻炼布线、联线和查线的技能。

1.2.2 实验原理

(1)戴维南定理。一个线性含源二端网络的对外作用，可以用一个电压源和电阻的串联来等效替代。电压源的电压等于该有源二端网络的开路电压，电阻等于将该有源二端网络内部各独立电源置零后在端口处的等效电阻。

(2)叠加定理。在线性电路中，由多个独立电源共同作用所形成的各支路电压与电流等于各独立电源分别单独作用时，在相应的支路中所形成的电压与电流的代数和。

(3)互易定理（参考教材中有关的内容）

(4)必须注意的是，任何元器件和设备的使用都是有条件的。在使用之前对电阻的功率、电感的电流、电容的电压、直流稳压电源的电流范围等都应该有所了解。

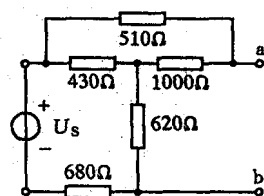


图 1.2-1 实验电路

1.2.3 实验内容

(1)在实验电路板上按图 1.2-1 联接实验电路。

(2)用导线联接图 1.2-1 中电路的输出端口，测量联接线的电流。将联接线与电压源互换位置，再测量联接线电流。将测得的数据记入参考表格 1.2-1，验证互易定理。

表 1.2-1

参 考 表 格

电压源与电流表互换位置之前			电压源与电流表互换位置之后		
电源电压 U_s	电源电流 I_s	联线电流 I_o	电源电压 U_s	电源电流 I_s	联线电流 I_o

(3)测量图 1.2-1 中电路的伏安特性，将测量结果记入参考表格 1.2-2 中。

表 1.2-2

参 考 表 格

外接电阻	图 1.2-1 中电路的伏安特性		戴维南等效电路的伏安特性	
	U	I	U	I

(4)测得图 1.2-1 中电路的开路电压 U_{∞} 。将电压源换成联接线，在端口处测量其等效电阻 R_e 。用 U_{∞} 和 R_e 组成戴维南等效电路。

(5)测量戴维南等效电路的伏安特性，将测量结果记入上面的参考表格 1.2-2 中，与(3)中测得的伏安特性做比较。

1.2.4 选作内容

(1)为了验证叠加定理，一位同学用一台双路直流稳压电源和 3 只电阻，按图 1.2-2 联接了实验电路，并按图中所示设置了两个开关的初始位置和两路稳压电源的输出电压。

第一步，开关 S_1 不动，而将开关 S_2 扳向右侧，记下了电压 U 的值。第二步，将 S_2 恢复到左侧而将 S_1 扳向右侧，记下了电压 U 的值。第三步，将 S_1 与 S_2 都扳向右侧，记下了电压 U 的值。

该同学发现第一步与第二步所记电压之和不等于第 3 步所记的电压。请帮助该同学分析原因。

(2)修改图 1.2-2 电路中参数，验证叠加定理。

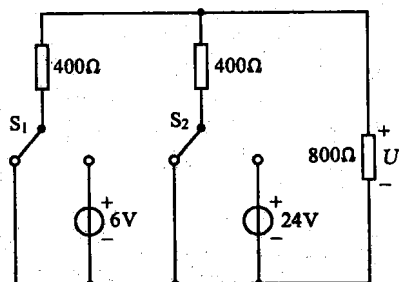


图 1.2-2 验证叠加原理

1.2.5 实验报告要求

(1)记录各个实验电路和测量数据。

(2)分析实验结论。

1.2.6 实验仪器设备

直流稳压电源（双路）	1 台
直流电流表	1 块
数字万用表	1 块
实验电路板	1 块
电阻箱	1 个

1.3 实验三 交流参数的测定

1.3.1 实验目的

- (1)学习交流电压表、电流表和功率表使用方法。
- (2)学习交流参数基本测量方法。

1.3.2 实验原理

(1)用交流电桥可以直接测量交流电路中使用的电阻元件、电感元件和电容元件的参数,测量精度比较高。由于一般的交流电桥内部测量用的信号源电压和频率都是固定的,这就不能用来测量如白炽灯泡、日光灯镇流器等正常工作时的等效参数,也不能用来测量二端无源网络的等效阻抗。

(2)测量一个电容元件、电感元件或者电阻元件时,如果对测量精度要求不高,采用两表法是很方便的。前述的白炽灯泡正常工作时的等效电阻、日光灯镇流器工作时的等效电感等,就可以在适当的电压和频率下用电压表和电流表直接测量电压与电流,再由电压、电流和频率计算出相应的参数。

(3)图 1.3-1 的方法称为三表法。

在正弦稳态电路中,一个未知的阻抗 $Z = R + jX$, 测量出它的电压 U 、电流 I 和消耗的平均功率 P 之后,就可以计算出其阻抗的模 z 、电阻 R 和电抗 X 。其基本关系为

$$\text{阻抗的模} \quad z = \frac{U}{I}$$

$$\text{功率因数} \quad \cos \varphi = \frac{P}{UI}$$

$$\text{等效电抗} \quad X = z \sin \varphi$$

$$\text{等效电阻} \quad R = z \cos \varphi$$

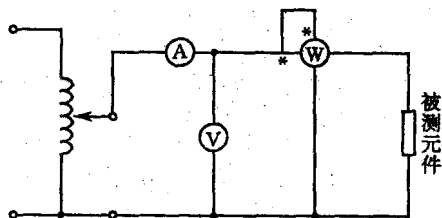


图 1.3-1 三表法

如果不知道被测对象是感性还是容性,可以用并联电容的方法做出判断。将被测对象由 $Z = R + jX$ 改写为 $Y = G + jB$ 。并联的电容 C 应小于 $|2B/\omega|$ 。并联电容以后,如果电流有所减小,说明原来是感性;如果电流有所增加,说明原来是容性。

(4)图 1.3-2 中的测量方法也称为三表法,需要三只电压表,还需要一只已经知道阻值的电阻元件。在只有一只万用表的条件下,这个方法是可行的,串联电阻的阻值和三个电压值都可以用一只万用表测量出来。被测元件 $Z = R + jX$

$$R = \frac{U_R}{U_2} R_0$$

$$X = \frac{U_X}{U_2} R_0$$

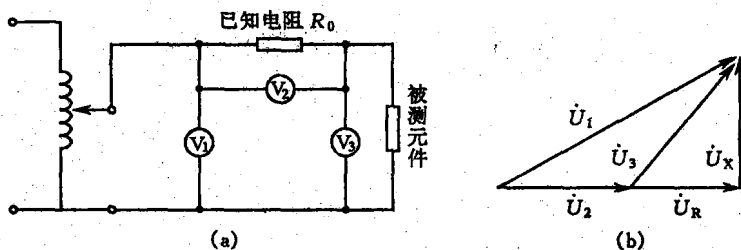


图 1.3-2 测量交流参数

1.3.3 实验内容

自拟实验电路和记录数据的表格，完成以下内容。

- (1) 测量电抗器的等效参数 R_X 和 L_X 。
- (2) 测量电容器的等效参数 G_X 和 C_X 。
- (3) 将电抗器、电容器及电阻器并联，测量其等效参数 R_e 和 X_e ，并判断是感性还是电容性。

1.3.4 思考题

- (1) 用相量图说明为什么用来判断被测元件性质的电容要满足 $C < |2B/\omega|$ 。
- (2) 用并联电感的方法来判断被测对象是感性还是容性，应该取多大的电感？
- (3) 用串联电感的方法来判断被测对象是感性还是容性，是不可行的，为什么？
- (4) 用串联电容的方法来判断被测对象是感性还是容性，是不可行的，为什么？

1.3.5 实验报告要求

- (1) 画出实验电路，自拟表格记录实验数据，
- (2) 按实验内容的要求计算出待测的参数。
- (3) 画出实验中用到的相量图。

1.3.6 注意事项

- (1) 本实验使用的电压较高，注意安全。
- (2) 使用功率表一定要注意，电压线圈量程不要小于被测的电压，电流线圈的量程不要小于被测的电流。

1.3.7 实验仪器设备

调压器	1 台
交流电压表	1 块
交流电流表	1 块
功率表	1 块
电抗器	1 只
电容箱	1 只
电阻器	多只

1.4 实验四 功率因数的提高

1.4.1 实验目的

- (1) 深入了解交流电路功率因数的意义和功率因数的提高。
- (2) 通过日光灯电路培养实践能力。
- (3) 深刻理解电路模型与实际电路，初步了解实践中的非线性元件。

1.4.2 实验原理

(1) 在电力系统中，功率因数低的负载主要是电感性负载，可以采用并联电容的方法来提高功率因数。本实验使用的日光灯电路是电感性负载，功率因数在 0.5~0.6 之间。

(2) 日光灯灯管的内壁涂有荧光物质，两端装有灯丝，灯丝上涂有易于发射电子的氧化物。管内充有少量的惰性气体和汞蒸汽。工作时，可以近似地将它看作电阻元件 R 。

日光灯的镇流器是带有铁心的线圈，电感量很大。在启动的时候，它产生很高的感应电压来帮助灯管启动发光。启动以后，用它来限制和稳定电流。工作时，可以将它近似地看成电感 L 。

启动器由一个辉光管和一个大约 $0.005\mu\text{F}$ 的电容并联组成，见图 1.4-1。辉光管内充有惰性气体氖，装有两个电极，一个电极固定；另一个电极成倒 U 形，由内外两层热胀系数相差很大的两种金属片粘合而成。

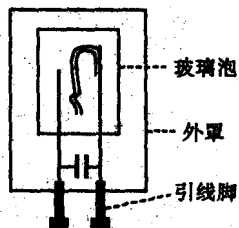


图 1.4-1 日光灯启动器

(3) 日光灯的启动过程

日光灯的接线见图 1.4-2。接通电源以后，灯管不导通，启动器两端电压 220V，两极间发生辉光放电，电极被加热，倒 U 形电极内侧金属片热胀系数大于外侧的金属片，使得倒 U 形电极趋于伸直，触点闭合。这时就有较大的电流经过镇流器—灯丝—启动器—灯丝，构成回路，两个灯丝被加热，灯丝上的氧化物发射电子。

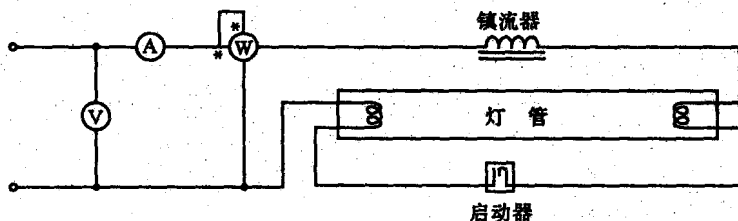


图 1.4-2 日光灯电路

启动器触点闭合后，停止电极加热，温度开始降低，倒 U 形电极缩回，触点断开。触点断开的瞬间镇流器两端产生很高的感应电压，与电源电压叠加加在灯管的两端，汞蒸汽电离，灯管内发生弧光放电。弧光放电产生的紫外线使得灯管内壁上的荧光粉发出可见光，灯管点燃。

点燃以后的灯管两端电压约 120V(40W 的日光灯)，镇流器两端电压约 180V。灯管两

端的电压不足以使启动器导通。正常工作时镇流器与灯管串联，且感抗很大，起到限制和稳定电流的作用。

正常工作时灯管可以看作电阻 R ，镇流器可以看作电感 L ，都不是理想的线性元件。

1.4.3 实验内容

(1)测量镇流器在正弦稳态下的特性。画出它的 $U-I$ 曲线，注意它的非线性。

表 1.4-1 参 考 表 格

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
U/V	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
I/A											

(2)联接好日光灯电路。注意选择好仪表的量程，检查好线路，接通电源，观察启动过程。记录工作电压和电流。

(3)并联电容箱，逐渐加大电容量，将测量数据记录在参考表格 1.4-2 中。

表 1.4-2 参 考 表 格

	$C/\mu F$	I/A	I_L/A	I_C/A	P/W	$\cos\varphi$
1	0.0					
2						
3						
4						
5						
6						

1.4.4 实验报告要求

- (1)画出实验电路，自拟表格记录实验数据，
- (2)计算出不接电容和接入不同值的电容时的功率因数。
- (3)画出总电流和功率因数随电容变化的曲线。

1.4.5 补充说明

日光灯管是气体导电，不是线性元件，不服从欧姆定律。正常工作时，灯管两端的电压波形见图 1.4-3。

启动器内的电容器主要用来吸收电路中的高次谐波，减小电路对外界的电磁干扰。

当正弦电压加在日光灯电路上时，电路中的电流是非正弦的，因此不能用并联电容的方法将功率因数提高到 1。

1.4.6 实验仪器设备

- 调压器 1 台
- 数字万用表 1 块
- 交流电流表 1 块

功率表	1 块
电容箱	1 个
日光灯管	1 个
镇流器	1 个
启动器	1 个

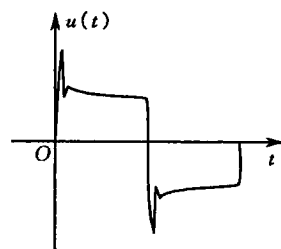


图 1.4-3 日光灯管两端的电压波形