



中等职业学校电类专业基础课系列教材
根据教育部最新教学指导方案编写

电工基础实验

DIANGONG JICHU SHIYAN

主编 杨乃琪 胡学林



电子科技大学出版社

中等职业学校电类专业基础课系列教材

电工基础实验

主编 杨乃琪 胡学林

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础实验 / 杨乃琪, 胡学林主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2007.7

ISBN 978-7-81114-545-8

I. 电… II. ①杨…②胡… III. 电工试验—专业学校—教材

IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 096260 号

内 容 提 要

本实验集是为中等职业学校电类及相关专业基础课程教材《电工基础》配套使用而编写的。主要包括基尔霍夫定律及叠加定理与互易定理的验证、戴维南定理的验证、一阶电路的时域响应、交流参数的测定、功率因数的提高、交流电路中的互感、三相电路的电压和电流、三相电路的功率测量、单相变压器、三相异步电动机、常用电工仪表的选用、常用电工测量仪表。

本书可作为中等职业学校 (包括中专、职高、技工、成人中专等) 电类专业的教学用书, 也可供其他专业师生和社会读者参考。

电工基础实验

主编 杨乃琪 胡学林

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 罗雅

责任编辑: 周岚

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川墨池印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 5.125 字数 122 千字

版 次: 2007 年 7 月第一版

印 次: 2007 年 7 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-545-8

定 价: 10.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

◆ 课件下载在我社主页 www.uestcp.com.cn “下载专区” 电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

前 言

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设计划，我们组织本专业领域的骨干教师精心编写了本教材。

《电工基础实验》是中等职业学校电类专业的一门实践课，其任务是使学生具备从事电气电子工作的高素质劳动者和初中级专门人才所必需的电气测量基本知识、基本方法和基本技能，为形成综合职业能力打下基础。

本书的内容力求突出职业教育的特点，注重对学生科学实验方法和动手实践能力的培养，达到理论联系实际、学以致用目的。编写过程中注重以下几点：

(1) 本书综合考虑不同专业、不同层次对电工基础的要求不同，相应地在实验设计方面进行了综合考虑，可适用于《电工技术》、《电工基础》、《电路基础》、《电路分析》等课程的实验教学。

(2) 实验较多而对课程的覆盖面较广，便于在教学过程中尽可能多地安排实验，使学生有机会多看、多练、多动手，使实验成为课程的有机组成部分。

(3) 强调通过实验验证课堂教学中的理论外，更加注重实验过程中的测试技能和测试方法的基本训练以及对实验过程中的误差处理等，使学生通过实验学会一些电路基本参数的测试方法。

(4) 强调对学生掌握基本电工仪表和电子仪器的使用方法的训练，书中附录部分给出了常用电工仪表的选用及常用电工仪表、仪器的原理，作为实验教学中仪器、仪表使用方法的必要知识补充。

书中每个实验都有明确的实验内容、目的、原理、步骤，实验过程和观测、数据的采集、整理，实验结论及分析，实验报告要求及思考题等，学生在实验前必须认真阅读本指导书后，方可进入实验室按指导书的内容进行实验。

本书由杨乃琪、胡学林编写。本书编写过程中得到了西南交通大学峨眉校区电气工程系骆开源主任、徐贤敏教授及全体同仁的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

为了方便教师教学，我们免费为使用本套教材的师生提供电子教学参考资料包：

- ◆ PowerPoint 多媒体课件
- ◆ 习题参考答案
- ◆ 教材中的程序源代码
- ◆ 教材中涉及的实例制作的各类素材

有需要的教师可以登录教学支持网站免费下载。在教材使用中有什么意见或建议也可以直接和我们联系，电子邮箱地址：scqcwh@163.com。

由于编者水平有限，不妥和错误之处在所难免，恳请读者及同行老师批评指正。

编 者

目 录

实验一	基尔霍夫定律及叠加定理、互易定理的验证	1
实验二	戴维南定理的验证	5
实验三	一阶电路的时域响应	9
实验四	交流参数的测定	14
实验五	功率因数的提高	20
实验六	交流电路中的互感	26
实验七	三相电路的电压和电流	31
实验八	三相电路的功率测量	37
实验九	单相变压器	40
实验十	三相异步电动机	43
附录一	常用电工仪表的选用	46
附录二	常用电工测量仪表	50
第一节	电压表与电流表	50
第二节	功率表	61
第三节	直流稳压电源	63
第四节	信号发生器	65
第五节	晶体管毫伏表	67
第六节	示波器的基本原理和使用	69

实验一 基尔霍夫定律及叠加定理、互易定理的验证

一、实验目的

1. 加深对基尔霍夫定律、叠加定理及互易定理的理解，并通过实验验证。
2. 进一步加深对参考方向的理解。

二、实验原理

1. 基尔霍夫定律

它是电路理论中最基本也是最重要的定律之一，概括了电路中电流和电压应遵循的基本规律。其内容有两点：一是基尔霍夫电流定律，二是基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律 (KCL)：在电路中任意时刻，流进和流出节点的电流代数和等于零，亦即：

$$\sum i = 0$$

上式表明基尔霍夫电流定律规定了节点上支路电流的约束关系，而与支路上元件的性质无关。

基尔霍夫电压定律 (KVL)：在任意时刻电路中，沿闭合回路的电压的代数和等于零，亦即：

$$\sum u = 0$$

上式表明任一闭合回路中各支路电压所必须遵守的规律，它是电压与路径无关的反映。同样，这一结论只与电路的结构有关，即与支路中元件的性质无关。

参考方向：参考方向并不是抽象的概念，它有具体的含义。例如：图 1-1 为某网络中的一条支路 AB，在事先不知道该支路电压极性的情况下，如何测量该支路电压降？电压表的“+”极和“-”极分别接在 A、B 两端，还是相反？

因此，应首先假定一个方向，设 U 的方向是由 A 至 B，这就是电压 U 的参考方向。那么，电压表的+、-极分别接入 A、B 两端，电压表指针正向偏转，说明所选参考方向与真实方向一致，反之，电压表指针反向偏转，则说明

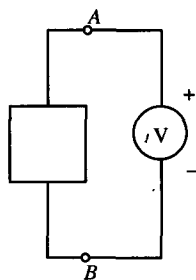


图 1-1 支路 AB

所选参考方向与真实方向相反。同样，在测量电流时的情况与测量电压时的情况相同。

2. 叠加定理

在任何含有多个独立源的线性电路中，每一支路的电流或电压都可看成是各个独立源单独作用时在该支路产生的电流或电压的代数和。

3. 互易定理：在线性电路中只有一个电压源的条件下，当此电压源在电路的某支路 A 作用时，其另外支路 B 所产生的电流（大小和方向），应该等于把电压源换到 B 支路作用时其在 A 支路所产生的电流（大小和方向），就像电压源和电流源互相易位一样，而读数不变。

4. 齐性原理：在线性电路中只有一个激励的条件下，任意一条支路上响应（电流或电压）的大小与激励的大小成正比。

三、实验内容与步骤

1. 基尔霍夫电流定律的验证

(1) 按图 1-2 所示线路正确接线。图中 “ $\text{---}\bigcirc\text{---}$ ” 为电流插座，平时为接通状态，当电流表的插头（图 1-3）插入时，该处电路自行断开，电流表经过插头串联接入电路中，电流表的读数就是该支路流过的电流大小。

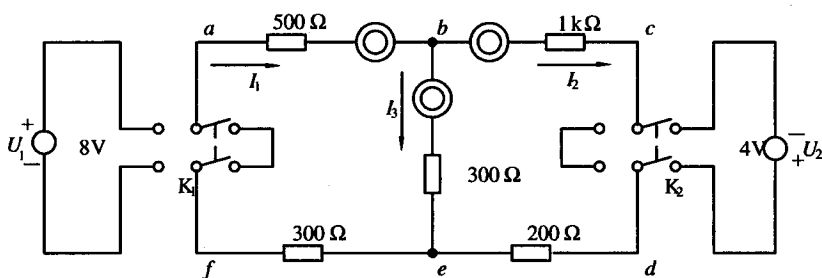


图 1-2 实验线路

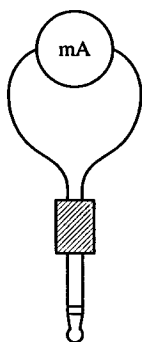


图 1-3 电流插头

(2) 用直流电流表测量各支路的电流。测量时只需将接有电流插头的电流表依次插入三个电流插座中，即可分别读取 I_1 、 I_2 、 I_3 的数值。在插头插入插座时，应观察电流表指针偏转方向，如果是反时针偏转，应迅速拔出，把电流表调换极性，重新插入后读取数据。

4. 互易定理的验证

实验线路同前，计算和测量在下列两种情况下的 I_1 、 I_2 、 I_3 ，并填入表 1-4 中。

(1) 电源 U_1 单独作用，且 $U_1=8\text{V}$ ， $U_2=0\text{V}$ ；

(2) 电源 U_2 单独作用，且 $U_2=8\text{V}$ ， $U_1=0\text{V}$ 。

表 1-4 测量数据

电 流	I_1		I_2		I_3	
	测量	计算	测量	计算	测量	计算
$U_1=8\text{V}$ $U_2=0\text{V}$						
$U_2=8\text{V}$ $U_1=0\text{V}$						

四、实验设备

名 称	型号或规格	数 量
直流双路稳压电源	DF1701SD/SL	1
直流毫安表	0~15~30mA	1
直流电压表	0~15~30V	1
电阻箱		5
双刀双掷开关		2
电流插座		3

五、实验报告要求

1. 利用测量结果验证基尔霍夫定律和叠加定理。
2. 计算各支路的电压、电流，并计算相对误差，分析产生误差的原因。
3. 分析实验结果，得出相应结论。
4. 回答下列思考题：

(1) 已知某一支路的电流约为 3mA 左右，现有量程分别为 5mA 和 10mA 的两只电流表，你将使用哪只电流表进行测量？为什么？

(2) 电压与电位的区别何在？

(3) 在验证叠加定理时，如果电源内阻不能忽略时，实验应该如何进行？

(4) 说明在应用叠加原理时，对不起作用的电压源及电流源是如何处理的？

(5) 由实验数据验证功率是否满足叠加原理。

实验二 戴维南定理的验证

一、实验目的

1. 用实验方法测定有源二端网络 N 的开路电压和入端等效电阻。
2. 用实验方法验证戴维南定理。

二、实验原理

1. 戴维南定理：任意一个线性含独立源的二端网络 N_s ，均可以等效为一个理想电压源和一个电阻串联的支路，如图 2-1 (a)、(b) 所示。该支路的理想电压源等于原网络端口的开路电压 U_{oc} ，其电阻等于原网络中所有独立源为零时的入端等效电阻 R_0 。戴维南定理的开路电压与入端等效电阻可以通过实验来测定。

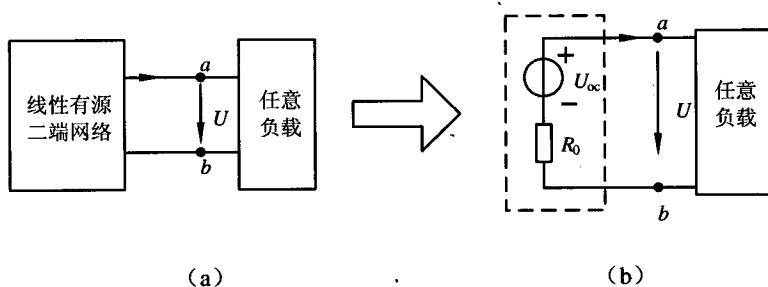


图 2-1 电阻串联支路

2. 电路的等效参数测量方法

(1) 开路电压 U_{oc} 的测量方法

当有源二端网络的等效电阻 R_0 远小于电压表内阻 R_V 时，可直接用电压表测量有源二端网络的开路电压 U_{oc} 。一般电压表的内阻并不很大，最好选用数字电压表，数字电压表的突出特点就是灵敏度高、输入电阻大。通常其输入电阻在 $10M\Omega$ 以上，有的高达数百兆欧，对被测电路影响很小。从工程角度来说，用其所得的电压即是有源二端网络的开路电压。

(2) 等效内阻 R_0 的测量方法

方法一，直接测量法：

用数字万用表的电阻挡直接测量，测量时首先让有源二端网络中所有独立源为零，即理想电压源用短路线代替，理想电流源用开路线代替。这时电路变为无源二端网络，用万用表欧姆挡直接测量 a 、 b 间的电阻值即可。

方法二，外加电源法（伏安法）：

把有源二端网络内部的电源置零，然后在入端处加一输入电压 U ，测量流入二端网络的

电流 I ，如图 2-2 所示，则等效电阻 $R_0 = \frac{U}{I}$ 。

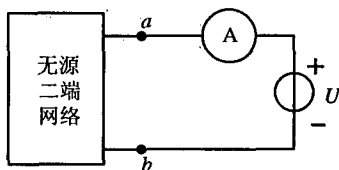


图 2-2 伏安法测内阻

方法三，开短路法：

利用戴维南定理可知： $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ ，因此，只要测出其端口网络的开路电压 U_{oc} 和短路电

流 I_{sc} ， R_0 就可得到。

方法四、两次求压法：

测量时先测量一次有源二端网络的开路电压 U_{oc} ，然后在 a 、 b 端接入一个已知电阻 R_L ，再测出其电阻 R_L 两端电压 U_L ，则等效电阻为：

$$R_0 = \left(\frac{U_{oc}}{U_L} - 1 \right) R_L$$

三、实验内容与步骤

1. 戴维南定理的验证

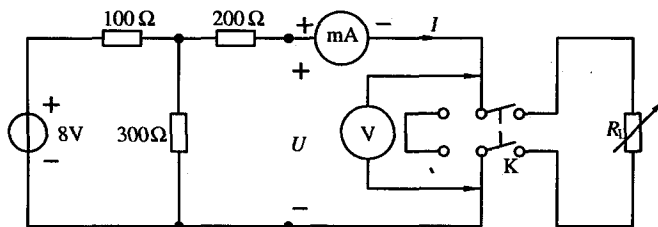


图 2-3 实验线路

(1) 按图 2-3 所示实验电路接线，利用戴维南定理计算开路电压 U'_{oc} 和等效电阻 R'_0 、短路电流 I'_{sc} ，将计算值填入表 2-1 中。

表 2-1 实验数据表

U'_{oc} / V	R'_0 / Ω	I'_{sc} / mA

四、实验设备

名 称	型号或规格	数 量
直流双路稳压电源	DF1701SD/SL	1
直流毫安表	0~15~30mA	2
直流电压表	0~15~30V	1
电阻箱		4
双刀双掷开关		1

五、实验报告要求

1. 将理论计算值与实验所测数据相比较, 分析误差产生的原因。
2. 根据测量数据, 在同一坐标系中绘制等效前后的 $U-I$ 曲线。
3. 总结测量有源二端网络开路电压、等效电阻的几种方法。
4. 分析实验结果得出相应结论。
5. 回答下列思考题:

(1) 在求有源二端网络等效电阻 R_0 时, 如何理解“原网络中所有独立电源为零值”? 实验中怎样将独立电源置零?

(2) 说明“等效”的含义, 若等效电源不等于开路电压 U_{oc} , “等效”的含义又怎样?

实验三 一阶电路的时域响应

一、实验目的

- (1) 学习用示波器观察和分析电路的响应。
- (2) 了解 RC 电路在零输入、阶跃激励和方波激励情况下，响应的基本规律和特点。
- (3) 研究时间常数 τ 的意义及微分、积分电路的特点。

二、实验原理

含有 L、C 储能元件（动态元件）的电路，其响应可以由微分方程求解。凡是可用一阶微分方程描述电路，称为一阶电路。一阶电路通常由一个储能元件和若干个电阻元件组成。对于一阶电路，可用一种简单的方法——三要素法直接求出电压及电流的响应，即：

$$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中： $f(t)$ —— 电路中任一元件的电压和电流；

$f(\infty)$ —— 稳态值；

$f(0_+)$ —— 初始值；

τ —— 时间常数。

对于 RC 电路： $\tau = RC$ 。

对于 RL 电路： $\tau = \frac{L}{R}$ 。

1. RC 电路的零状态响应

所有储能元件初始值为零的电路对激励的响应称为零状态响应。

对于图 3-1 所示的一阶电路，当 $t=0$ 时开关 S 由位置 1 转到位置 2，直流电源经 R 向 C 充电。

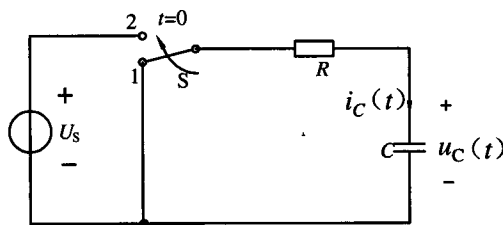


图 3-1 一阶电路

由方程 $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_s \quad t \geq 0$

初始值 $u_C(0_-) = 0$

可以得出电容的电压和电流随时间变化的规律：

$$u_C(t) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad t \geq 0$$

$$i_C(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0$$

其响应曲线如图 3-2 所示。

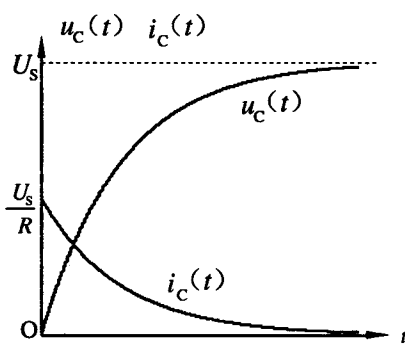


图 3-2 零状态响应曲线

其中 $\tau = RC$ ，具有时间的量纲，称为时间常数，它是反映电路过渡过程快慢的物理量。 τ 越大，暂态响应所持续的时间越长，即过渡过程的时间越长，反之， τ 越小，过渡过程的时间越短。

2. RC 电路的零输入响应

电路在无激励情况下，由储能元件的初始状态引起的响应为零输入响应。在图 3-1 中，当开关 S 置于位置 2， $u_C(0_-) = U_s$ 时，再将开关 S 转到位置 1，电容器的初始电压 $u_C(0_-)$ 经 R 放电。

由方程： $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0 \quad t \geq 0$

初始值： $u_C(0_-) = U_s$

可以得出电容器上的电压和电流随时间变化的规律：

$$u_C(t) = U_s e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0$$

$$i_C(t) = -\frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0$$

同样 $\tau = RC$ ，电容电压 $u_C(t)$ 随时间变化的曲线如图 3-3 所示，此时电路的响应叫做零输

入响应，也就是电容放电的过程。

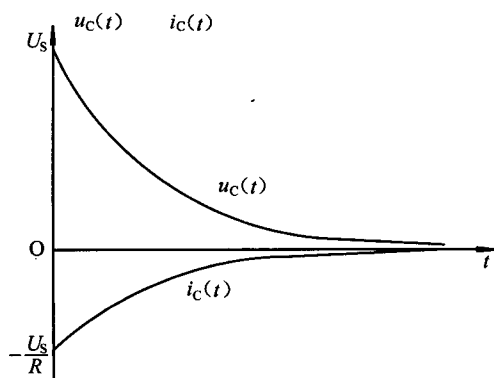


图 3-3 零输入响应曲线

3. RC 电路的全响应

电路在输入激励和初始状态共同作用下引起的响应为全响应。

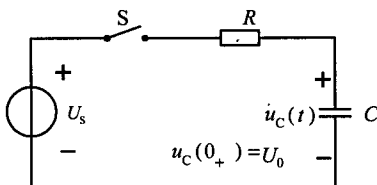


图 3-4 一阶电路

对于图 3-4 所示电路，当 $t=0$ 时合上开关 S ，则描述电路的微分方程为：

$$u_C + RC \frac{du_C}{dt} = U_s \quad \text{初始值:} \quad u_C(0_-) = U_0$$

$$u_C(t) = \underbrace{U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}_{\text{零状态响应}} + \underbrace{u_C(0_-)e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{零输入响应}} \quad t \geq 0$$

可以得出全响应：

$$u_C(t) = \underbrace{[u_C(t) - U_s]e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{暂态响应}} + \underbrace{U_s}_{\text{稳态响应}} \quad t \geq 0$$

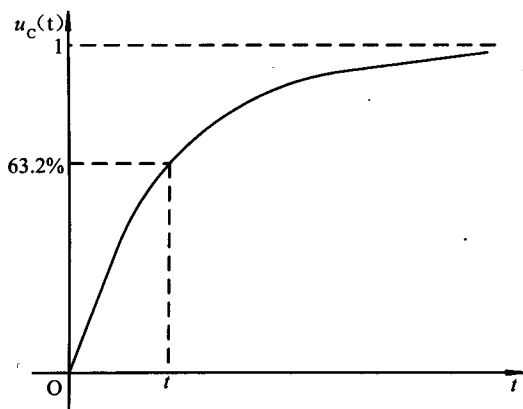
上式表明：

(1) 全响应是零输入响应和零状态响应之和，它体现了线性电路的可加性。

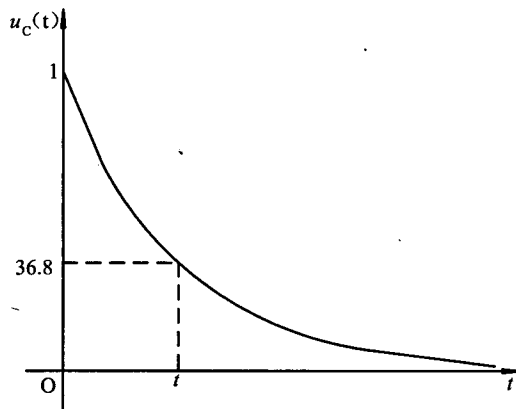
(2) 全响应也可以看成是稳态响应和暂态响应之和，暂态响应的起始值与初始状态和输入有关，而随时间变化的规律仅仅决定于电路的 R 、 C 参数。稳态响应仅与输入有关。当 $t \rightarrow \infty$ 时，暂态响应趋于零，过渡过程结束，电路进入稳态。

4. 对于上述三种响应均为一次性过程， $u_C(t)$ 、 $i_C(t)$ 可用长余辉的示波器进行观察，但在实际观察测试中，需清楚稳定地观察全过程，总是加入一矩形脉冲，因它是周期性信号，所以可用一般示波器进行显示，以便于定量分析，脉冲周期与时间 τ 的关系为 5:1。

5. RC 电路充放电的时间常数 τ 可以从响应波形中估算出来, 设时间坐标单位 t 确定。对于充电曲线, 幅值上升至终值的 63.2%, 所对应的时间为一个 τ (图 3-5 (a)), 对于放电曲线, 幅值下降到初值的 36.8%, 所对应的时间为一个 τ (图 3-5 (b))。



(a) 充电曲线



(b) 放电曲线

图 3-5 RC 电路充放电曲线

三、实验内容与步骤

1. 按图 3-6 接线, 开关初始位置: S_1 至 2 端, S_2 至 1 端。 Ω

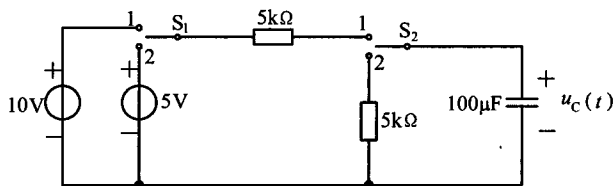


图 3-6 实验线路

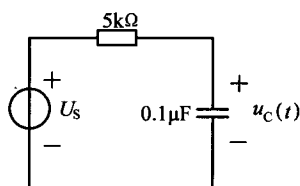


图 3-7 实验线路

(1) 零状态响应

开关 S_2 至 1 端, 这时 $u_C(t)$ 响应为零状态响应, 用示波器观察此时响应波形。

(2) 零输入响应

开关 S_2 至 2 端, 这时 $u_C(t)$ 响应为零输入响应, 用示波器观察此时响应波形。

(3) 完全响应

开关 S_2 至 1 端一定时间, 然后 S_1 至 2 端, 这时 $u_C(t)$ 响应为完全响应。观察其波形。

以上三种波形只观察其过程, 扫描打在最慢处, 并绘出其响应曲线。

2. 按图 3-7 接线, 将信号发生器输出至示波器测其输出为 5V, 周期为 $T=5\text{ms}$, 用示波器观察其 $u_C(t)$ 波形, 以及 $5\text{k}\Omega$ 电阻上的波形 (电流波形)。双踪观察。然后利用原理中介绍的方法测试电路的时间常数 τ , 并作出其曲线。