



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

自动化专业课程 实验指导书

金秀慧 孙如军 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

自动化专业课程实验指导书

主 编 金秀慧 孙如军

副主编 卫江红 邓广福 贺廉云 王志娟

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 简 介

本书共 12 章。主要包括:电路原理实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、自动控制原理实验、单片机原理及应用实验、检测与转换技术实验、电力电子技术实验、PLC 原理及应用实验、电机及拖动基础实验、过程控制工程基础实验、现代控制理论基础实验和微型计算机控制技术实验。

本书为高等院校自动化专业的实验教学用书,也可供相关专业的师生和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动化专业课程实验指导书/金秀慧,孙如军主编. —北京:
冶金工业出版社, 2015. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6947-4

I. ①自… II. ①金… ②孙… III. ①自动化—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TP2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第198699号



出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 贾怡雯 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6947-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2015 年 8 月第 1 版, 2015 年 8 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 14.5 印张; 345 千字; 221 页

36.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

目前,自动化专业在教学中使用的实验指导材料多是单门课程的讲义形式。为了规范各门课程的实验讲义,并且方便学生使用,编写涵盖专业全部课程的实验指导书是非常必要的。

本书共12章,涵盖了自动化专业主要课程的实验,参照国内有关实验教学和研究成果,按照“基础层次—提高层次—综合性设计性实验”三个层次进行编写。各门课程都按照大纲要求,设置了适量的基础实验;针对大学生科技竞赛的需要,在原有验证性实验的基础上,增加了相应的创新性实验和综合性实验,以求全面提高学生的动手能力;教材加入了一定比例的仿真实验项目,旨在运用现代网络技术,与传统实验室实验相结合的教学手段,提高实验教学的水平。

本书由德州学院机电工程学院金秀慧教授和孙如军教授担任主编;由德州学院机电工程学院卫江红、邓广福、贺廉云、王志娟老师担任副主编;参编的有德州学院机电工程学院教师陈洁、赵辉宏、王芳、孙秀云、许保彬、崔玉玲、王鹏、王伟等。

由于水平所限,书中存在缺点和错误,诚请广大读者批评指正。

编 者
2015年5月

目 录

1 电路原理	1
1.1 电工仪表的使用	1
1.2 叠加原理与戴维宁定理	3
1.3 功率因数研究	4
1.4 三相电功率的测量	5
1.5 串联谐振电路仿真分析	7
1.6 一阶动态电路仿真分析	9
1.7 三相交流电路的电压与电流关系研究	11
2 模拟电子技术	14
2.1 认识实验	14
2.2 放大电路的静态测量	16
2.3 射极跟随器	21
2.4 稳压电源	23
2.5 功率放大器	28
3 数字电子技术	31
3.1 半加器和全加器	31
3.2 一位全减器	34
3.3 3-8 译码器	35
3.4 2-4 译码器与 4-2 编码器	37
3.5 计数器	39
3.6 移位寄存器	43
4 自动控制原理	47
4.1 控制系统典型环节的模拟	47
4.2 线性定常系统的瞬态响应和稳定性分析	53
4.3 根轨迹法辅助设计	58
4.4 自动控制系统的校正	63
4.5 控制系统的频率特性	66
4.6 非线性系统的相平面分析法	69
4.7 非线性系统的描述函数分析法	73

4.8	采样控制系统的分析	77
4.9	采样控制系统的动态校正	80
5	单片机原理及应用	83
5.1	P3.3 口、P1 口简单使用	83
5.2	并行 I/O 口 8255 的扩展	84
5.3	双机通信实验	88
5.4	A/D 转换实验	93
5.5	D/A 转换实验	96
5.6	串并转换实验	98
5.7	步进电机控制	101
6	检测与转换技术	109
6.1	金属箔式应变片——全桥性能实验	109
6.2	差动变压器零点残余电压测定及补偿	112
6.3	电容式传感器的位移特性实验	114
6.4	差动变压器的性能测定	116
6.5	霍尔转速传感器测速实验	117
7	电力电子技术	119
7.1	锯齿波同步移相触发电路实验	119
7.2	单相半控桥整流电路实验	121
7.3	三相半波可控整流电路实验	124
7.4	单相全控桥电路整流及有源逆变实验	126
7.5	直流斩波电路实验	129
7.6	单相交流调压实验	132
8	PLC 原理及应用	135
8.1	十字路口交通灯控制	135
8.2	机械手动作的模拟	136
8.3	液体混合装置控制	137
8.4	跳转实验	138
8.5	装配流水线控制	139
8.6	天塔之光模拟控制	140
8.7	水塔水位控制模拟	141
8.8	四层电梯控制系统的模拟	142
8.9	四节传送带的模拟	143
8.10	部分实验参考程序	145

9 电机及拖动基础	154
9.1 直流并励电动机	154
9.2 直流他励电动机电动及回馈制动的工作特性	156
9.3 单相变压器	159
9.4 三相鼠笼异步电动机的工作特性	162
9.5 三相绕线异步电动机的调速	165
9.6 三相绕线异步电动机的机械特性	167
10 过程控制工程基础	169
10.1 单容水箱特性测试	169
10.2 双容水箱特性的测试	172
10.3 上水箱（中水箱或下水箱）液位定值控制系统	174
10.4 下水箱液位与电动调节阀支路流量的串级控制系统	176
10.5 单闭环流量比值控制系统	178
10.6 双闭环流量比值控制系统	181
10.7 下水箱液位的前馈-反馈控制系统	183
11 现代控制理论基础	187
11.1 系统的传递函数阵和状态空间表达式的转换	187
11.2 状态空间控制模型系统仿真及状态方程求解	189
11.3 多变量系统的能控、能观和稳定性分析	192
11.4 状态反馈及状态观测器的设计	195
12 微型计算机控制技术	199
12.1 A/D、D/A 转换实验（一）	199
12.2 A/D、D/A 转换实验（二）	201
12.3 采样实验	203
12.4 保持实验	205
12.5 积分分离 PID 控制实验	207
12.6 直流电机闭环调速实验	212
12.7 温度闭环控制实验	215
12.8 步进电机调速实验	218
参考文献	221

1 电路原理

1.1 电工仪表的使用

1.1.1 实验目的

学会指针式万用电表、电流表、电压表、数字式万用电表、兆欧表等的使用，测量电表内阻及误差。

1.1.2 实验原理

(1) 仪表量程的选用规则：在被测量小于仪表量程的前提下，量程选的应尽可能小，同时还要兼顾仪表内阻对测量的影响（电压表内阻应远大于被测电路的等效内阻，电流表则反之）。

(2) 仪表精度的选用规则：一般先考虑仪表内阻对测量的影响，然后再考虑选用高精度的仪表。

(3) 禁止用仪表的电阻挡及电流挡测电源的内阻及短路电流或电压。

(4) 电流表内阻的测量：如图 1-1 所示， R_a 为直流电流表 A 的内阻，开关 S 断开时调 R_d 使数字电流表满偏转 I ，合上开关 S 并保持总电流 I 不变，调节 R 使直流电流表 A 的读数为 $I/2$ ，此时电流表内阻 $R_a = R$ 。

(5) 电压表内阻的测量：如图 1-2 所示，S 接通时，调节 R_f 使电压表 V 满偏为 U_1 ，断开 S 调节电阻 R ，使 V 半偏 $U_1/2$ ，则 $R_v = R$ 。

(6) 由仪表内阻引起的测量误差（也称方法误差）：如图 1-3 所示，S 断开时 $U_{R2} =$

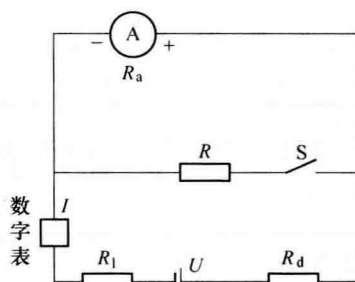


图 1-1 电流表内阻测量电路

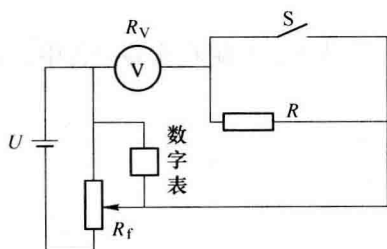


图 1-2 电压表内阻测量电路

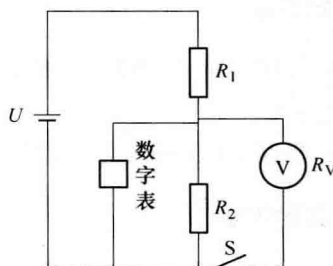


图 1-3 测量误差

$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$, S 接通时降为 U_B , 则绝对误差为 $U_{\text{差}} = U_B - U_{R_2}$, 相对误差为 $\frac{U_{\text{差}}}{U_{R_2}} \times 100\%$ 。

1.1.3 实验材料

机械及数字万用表、电源、电阻箱、滑线变阻器 (R_f)、开关、兆欧表等。

1.1.4 实验内容与步骤

(1) 参照图 1-1, 用分流法测量机械万用表 0.5mA 及 5mA 挡内阻, 注意 S 接通时交替调节 R_d 及 R , 使 I 不变且机械表为 $I/2$ 。将测量数据记入表 1-1。

表 1-1 实验数据

量程/mA	S 断开时 I	S 接通时 $I/2$	$R = R_a$	$R_1/\text{k}\Omega$	数字表直测 R_a
0.5				3	
5				0.3	

(2) 参照图 1-2, 测机械万用表 1V 及 2.5V 量程内阻, 将测量数据记入表 1-2。

表 1-2 实验数据

量程/V	S 接通时 U_1	S 断开时 $U_1/2$	$R = R_V$	数字表直测 R_V
1				
2.5				

(3) 参照图 1-3, 将机械表调至 2.5V 挡, 测量数据记入表 1-3。

表 1-3 实验数据

总电压 U	R_1	R_2	数字表 U_{R_2}	计算值 U_{R_2}	机械表 U_B	绝对误差 $U_{\text{差}}$	相对误差
	50k Ω	50k Ω					

(4) 数据处理及结论。

(5) 练习各种电工仪表的使用。

1.1.5 注意事项

(1) 每次实验必须将原始测量数据交指导教师签字认可, 并附在实验报告中, 认真填写实验记录本。

(2) 将仪器按原样摆好, 经指导教师许可离开实验室。

1.1.6 实验作业

分析获得图 1-1 总电流 I 及图 1-2 电压 U_1 不随开关的断开、闭合而变化的条件是什么。如期写出实验报告。

1.2 叠加原理与戴维宁定理

1.2.1 实验目的

- (1) 自设计验证戴维宁定理和叠加原理的方法并验证。
- (2) 掌握有源两端网络等效参数的测量方法。

1.2.2 实验原理

任何一个线性有源两端网络，都可用一个理想电压源 E_0 和内阻 R_0 的串联等效电路代替，其中 E_0 等于开路电压， R_0 等于所有独立源均置零（内阻保留）时从输出端看进去的总电阻，其等效电源的电动势 E_0 和内阻 R_0 可用计算法以及实验测量法分别得出。

常用的测量方法有：开路电压、短路电流法；半电压法；欧姆表法。

叠加原理：A、B 相连，对 R_2 支路有 $I_2 = I_2^{(1)} + I_2^{(2)}$ 。

1.2.3 实验材料

电源、电阻、电源表、电流表、导线、万用表等。

1.2.4 实验内容与步骤

- (1) 计算图 1-4 中以 A、B 两点为输出端的 E_0 、 R_0 ，要有计算过程。
- (2) 用实验的方法得出 E_0 、 R_0 （要求用上述多种方法）。
- (3) 自设计一种可验证戴维宁定理正确性的实验方法并进行实验。
- (4) 要求当场写出各实验过程的实验步骤、表格，将作为原始数据对待，并且经教师审查认可后才可进行实际操作（各实验过程可分别独立进行，即教师审查一部分做一部分）。

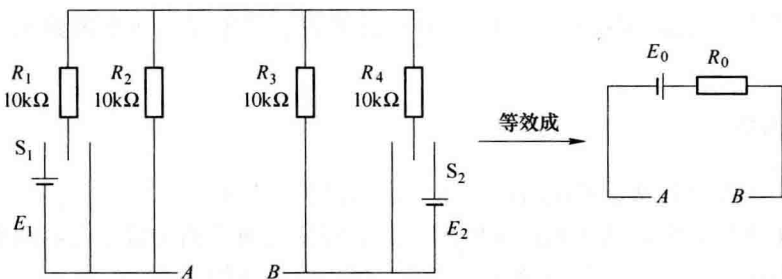


图 1-4 实验 1.2 电路图

1.2.5 注意事项

实验报告中除上述内容以外，还应包含自选仪器、自设计的完整实验步骤、表格、数据处理、误差产生的原因及详细全面的结论。

1.2.6 实验作业

- (1) 是否还有其他实验方法确定 E_0 、 R_0 ，说明实验方法，画出具体的电路。
- (2) 要减小测量误差，各电阻箱的阻值大小（非精度）、两电源及电压、电流表内阻的选取应遵循什么原则？
- (3) 通常实际电源是禁止短路的，但本等效电源为什么能短路？

1.3 功率因数研究

1.3.1 实验目的

- (1) 掌握日光灯电路原理及接线，研究功率因数。
- (2) 学会电功率表、功率因数表等的使用。

1.3.2 实验原理

- (1) 日光灯原理如图 1-5 所示。

(2) 功率因数的提高：S 接通前 $\cos\varphi = \frac{P}{I_{\text{灯}} \cdot U}$ ；S 接通后 $\cos\varphi' = \frac{P}{I_e \cdot U}$ 。电容 C 大小合适时： $I_e < I_{\text{灯}}$ ， $\cos\varphi' > \cos\varphi$ 。

- (3) 电度表接线：1、3 进，2、4 出。

(4) 电功率表（或功率因数表）的电压线圈 U 与负载并联、电流线圈 I 与负载串联，并且不得超过电压线圈的额定电压及电流线圈的额定电流，带星号的两端子连在一起为进端。

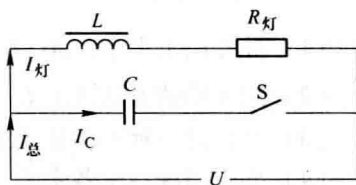


图 1-5 日光灯原理图

1.3.3 实验材料

日光灯套件、电容、电压表、（电流表）钳形表、功率表、功率因数表、电度表、秒表、调压器等。

1.3.4 注意事项

- (1) 本实验要求每次记数前调压一次，以保证恒为 220V。
- (2) 由于电容带电，禁止短路放电前用电表测量及两手同时触摸电容两端。
- (3) 带电操作时，禁止触摸导体裸露处，禁止双手操作。
- (4) 经教师检查后才可通电。
- (5) 实验完毕，将仪器按原样摆好，每次实验必须将原始测量数据交指导教师签字认可并贴在实验报告中，认真填写实验记录本，教师许可后离开实验室。

1.3.5 实验内容与步骤

- (1) 研究功率因数。根据图 1-6 连接电路，并将测量数据记入表 1-4。

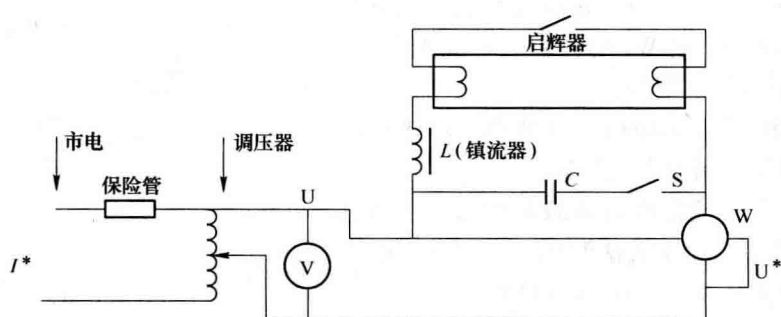


图 1-6 研究功率因数电路图

表 1-4 实验数据

测量值		U	$I_{\text{灯}}$	$I_{\text{总}}$	I_{C}	P	$\cos\varphi$ 计算	$U_{\text{灯}}$	U_{L}	亮度变化	$\cos\varphi$ 表读数
状态											
S 断					0						
S 通	$4\mu\text{F}$										
	$1.5\mu\text{F}$										
	$10\mu\text{F}$										

(2) 由上述实验数据作出全面结论。

(3) 设计性实验内容 (可选做)。

1) 检验电度表的好坏, 自设计电路和方案。

2) 自设计日光灯调光电路, 要求电路简单、使用方便、成本低、性能可靠、附加耗电小。

1.3.6 实验作业

画出电容 C 取 $4\mu\text{F}$ 时的电流相量图, 并通过相量图说明功率因数补偿原理。如期完成实验报告。

1.4 三相电功率的测量

1.4.1 实验目的

- (1) 用一功率表法及两功率表法测量三相负载的总有功功率并用伏安法验证。
- (2) 测量三相负载的总无功功率。
- (3) 进一步熟悉各种仪器的使用。

1.4.2 实验原理

- (1) 三相三线制供电时, 三相负载作 Y 或 Δ 接法时, 不管对称与否, 总有功率 $P =$

$W_1 + W_2 = P_1 + P_2 + P_3$ 。当三相负载有电容或电感情况下,功率表 W_1 或 W_2 的读数有可能为负值,应将功率表的电流线圈反接。

(2) 三相四线制供电时,负载作星形接法的总有功功率可用一功率表法测量。

(3) 当三相三线供电且负载对称时,三相总无功功率 Q 可用一功率表法测出(如图 1-7 中虚线所示,此时去掉 W_2), $Q = 1.732 W_1$ 。

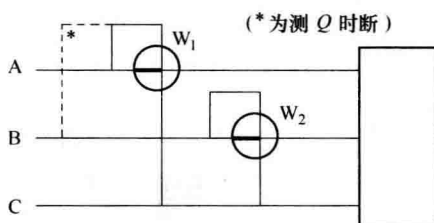


图 1-7 三相电功率测量电路

1.4.3 实验材料

三相调压器、灯泡、电流表、电压表、电功率表、钳形表、电容。

1.4.4 实验内容与步骤

(1) 按表中要求的数据进行测量。要求自行设计实验电路、正确选择仪表量程、写出实验步骤、分析误差产生的原因。

(2) 用三个 $4\mu\text{F}$ 电容分别并联在三个 60W 灯泡上,用一功率表法测量其总无功功率,要求每个电容两端的电压为 220V 。断开灯泡后再测一次。

(3) 三相四线制供电时,自设计用一功率表法测量三相负载的总有功功率的实验电路及方法,表格可参照表 1-5 (可定性地做,列表测数据为选做内容)。

(4) 依据实验数据作出详尽结论。

表 1-5 实验数据

项目		W_1	W_2	I_1	V_1	计算 P_1	I_2	V_2	计算 P_2	I_3	V_3	计算 P_3	结论
380V, Y 接法	全 60W 灯												
	P_1 换成 25W 灯												
	全 60W 灯												
220V, Δ 接法	P_1 换成 25W 灯												
	并 C	并 C											
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1.4.5 注意事项

表 1-5 中所列“并 C”为在 P_1 灯泡上并联 $8\mu\text{F}$ 的电容,“ P_1 灯泡”为接两个功率表 I 端子的负载。

1.4.6 实验作业

(1) 试找出其他测无功功率(三个等值电容作三角形连接时)的方法。

(2) 两功率表法测功率时,某功率表的读数为何不是某一相负载的功率?

(3) 如期完成实验报告。

1.5 串联谐振电路仿真分析

1.5.1 实验目的

(1) 进一步熟悉在 PSpice 仿真软件中绘制电路图, 掌握符号参数、分析类型的设置和 Probe 窗口的简单设置。

(2) 学习用仿真实验方法来研究串联谐振电路的响应特性, 了解电路元件参数对响应的影响, 观察、分析串联谐振电路中各变量的输出轨迹及其特点, 以加深对串联谐振的认识与理解。

1.5.2 实验原理

在正弦交流稳态电路中, 负载为 R 、 L 、 C 串联, 当负载中的感抗与容抗相等时, 电路进入谐振状态, 此时, 电路中的阻抗最小 $Z = R$, 电流最大, 电阻端电压与电源电压同相位, 幅值相等, 电感端电压与电容端电压反相。谐振条件为 $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$ 。

1.5.3 实验材料

微机、PSpice 仿真软件。

1.5.4 注意事项

(1) 电源电压的频率与 L 、 C 的参数必须满足谐振条件。

(2) 在进行分析类型设置时, 瞬态分析终止的时间 (final time) 应大于电源的周期, 一般取 5 个周期。

1.5.5 实验内容与步骤

(1) 双击 PSpice 图标, 打开仿真软件, 新建空白文档, 绘制电路图, 如图 1-8 所示, 并保存文件。

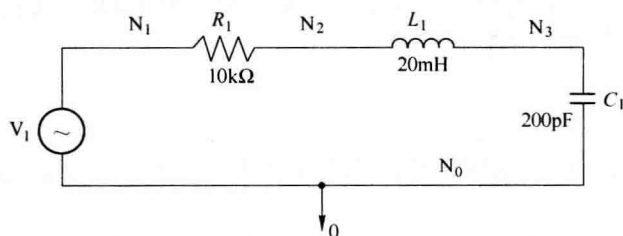


图 1-8 串联电路谐振电路

(2) 修改元件参数。正弦电压源取用元件 VSIN, 双击符号弹出元件参数对话框, 设

置如下。

VOFF: 偏置电压 (电压初值), 单位为 V, 标准正弦电压应设为 0;

VAMPL: 峰值振幅, 单位为 V, 在此设为 10;

FREQ: 频率, 单位为 Hz, 在此设为 79.6k;

TD: 延迟时间, 单位为 s, 缺省值为 0;

DF: 阻尼因子, 单位为 1/s, 缺省值为 0;

PHASE: 初相位, 单位为 ($^{\circ}$), 缺省值为 0。

(3) 为导线命名。

(4) 分析类型的设置。在菜单栏中打开 Analysis 中 Setup 对话框, 选中 Transient (瞬态分析: 即变量随时间的变化分析) 选项, 并打开 Transient 对话框。

Print Step: 时间计算间隔, 设为 0.02ns;

Final Time: 瞬态分析终止的时间, 设为 62.83 μ s;

No-Print Delay: 允许的最大时间计算间隔, 设为 0.02ns;

Step Ceiling: 开始保存分析数据的时刻, 设为 0;

Detailed Bias Pt: 是否详细输出偏置点的信息;

Skip initial transient solution: 是否进行基本工作点的运算。

(5) 运行仿真程序。

(6) 进行 Probe 窗口的设置。

1) 增加坐标轴: 在 Probe 中可以观察变量的波形, 有时需要在同一 Probe 窗口中显示多个变量的波形, 可以通过增加 X 轴或增加 Y 轴的方法来实现。在 Probe 窗口, 选择 Plot $\rightarrow$ Add Plot 可以增加一个新坐标系; 选择 Plot $\rightarrow$ Add Y Axis 可以在同一 X 轴上增加一刻度不同的 Y 轴。在两个坐标系中分别观察并记录实验内容所要求的各点波形。

2) 观测波形各点的数据: 在 Probe 窗口, 选择 Tools $\rightarrow$ Cursor $\rightarrow$ Display, 活动显示区中会出现十字交叉线, 同时, 屏幕右下角出现曲线数据显示框, 数据框中有三行数据, A1、A2 为两个数据指针, dif 为 A1 与 A2 的差值。利用鼠标或键盘可使十字交叉线左右移动, 两个数据指针中的一个始终跟踪着十字交叉点的位置, 并将其位置坐标随时记录在数据框中, 另一个指针中数据不变, 代表十字交叉点的最初位置, 差值 dif 随十字交叉点的移动而不断变化。

在许多情况下, 常常需要迅速地找到波形的最大值、最小值等特殊点, 有时还需要在波形上将这些点标注出来; 有时为了区分同一显示区的不同波形, 也需对波形的名称进行标注, 在 Probe 中都有相应的选项可以直接进行。

1.5.6 实验作业

(1) 观察并绘制电感端电压、电容端电压及 LC 串联组合的端电压波形, 分析谐振特点。

(2) 观察并绘制电阻端电压与电源端电压波形, 分析其谐振特点。

(3) 观察并绘制电流与电源端电压波形, 分析其谐振特点。

(4) 任意改变电容或电感的参数, 再分析各点的波形。

(5) 根据串联谐振电路的电气特点分析电路的选择性。

1.6 一阶动态电路仿真分析

1.6.1 实验目的

(1) 进一步学习在 PSpice 仿真软件中绘制电路图, 掌握激励符号的参数配置、分析类型的设置。深入理解 Probe 窗口的设置。

(2) 学习用仿真实验的方法来研究动态电路的响应, 了解电路元件参数对响应的影响。

(3) 观察、分析一阶电路响应的状态轨迹及其特点, 以加深对一阶电路响应的认识与理解。

1.6.2 实验原理

(1) 零状态响应分析:

1) 测量 U_R 、 U_C 、 i 三变量的瞬态波形, 分析其变化原理。

2) 将 R 改为全局变量, 采用参数扫描分析, 观察电阻变化对响应的影响, 并记录波形变化情况。

(2) 全响应分析:

1) 测量 i_L 、 u_L 瞬态波形。

2) 将 R_2 或 R_3 改为全局变量, 采用参数扫描分析, 观察电阻变化对响应的影响, 并记录波形变化情况, 说明原理。

1.6.3 实验材料

微机、PSpice 仿真软件。

1.6.4 注意事项

设置仿真分析参数时需要考虑到电路的时间常数。

1.6.5 实验内容与步骤

(1) 双击 PSpice 图标, 打开仿真软件, 新建空白文档, 绘制一阶动态电路图, 如图 1-9 所示, 并保存文件。

(2) 电路参数设置如图 1-9 所示。

(3) 仿真分析参数设置:

1) 瞬态分析设置。在 Schematics 主菜单下, 用鼠标单击分析 (Analysis) 中的设置 (Setup), 选中 Transient 设置, 将其时间间隔 (Print Step) 设为 $20\mu\text{s}$, 长度 (Final Time) 设为 1ms 。Step Ceiling 是软件内部计算时间间隔, 不用更改。

2) 参数扫描分析。参数扫描分析通常与其他分析类型 (如直流分析、交流分析、瞬态分析等) 配合使用, 它可以使电路中的某一元件的值按一定方式变化, 目的是分析电路参数变化时, 输出特性曲线或特性参数如何发生变化。它的参数表与直流扫描分析的参数

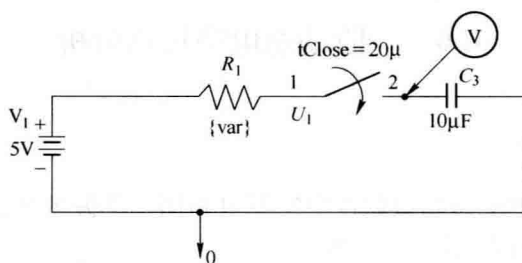


图 1-9 零状态响应瞬态分析电路

表基本类似，各参数含义也相同。不同之处在于，它用于电路中所有分析类型，而直流扫描分析仅用于直流分析。在 Parametric 中，扫描变量仍为全局变量 var，可以选择线性扫描，线性扫描的起点设为 2，终点为 20，步长为 4。

(4) 分别运行瞬态分析和直流扫描分析，记录波形。

(5) 新建空白文档，绘制电路如图 1-10 所示，并保存文件。

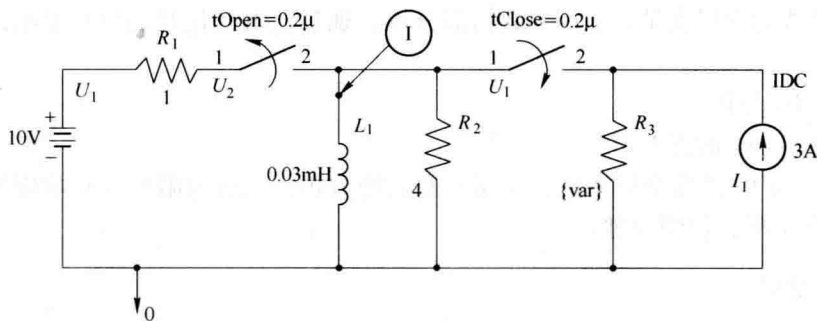


图 1-10 一阶全响应动态电路

(6) 电路参数设置，如图 1-10 所示。

(7) 仿真分析参数设置：

1) 瞬态分析设置。选中 Transient 设置（在选项前的小框内打钩），将其时间间隔（Print Step）设为 $20\mu\text{s}$ ，长度（Final Time）为 0.1ms 。

2) 参数扫描分析。参数扫描分析可以使电路中的某一元件的值按一定方式变化，目的是为了分析电路参数变化时，输出特性曲线或特性参数如何发生变化。在 Parametric 中，扫描变量仍为全局变量 var，可以选择线性扫描，线性扫描的起点设为 1，终点为 10，步长为 2。

(8) 分别运行瞬态分析和直流扫描分析，记录波形。

1.6.6 实验作业

根据实验所测得各响应波形，分析其动态过渡原理，并根据参数扫描分析结果分析参数变化对输出响应的影响，写明实验结论，如期完成实验报告。