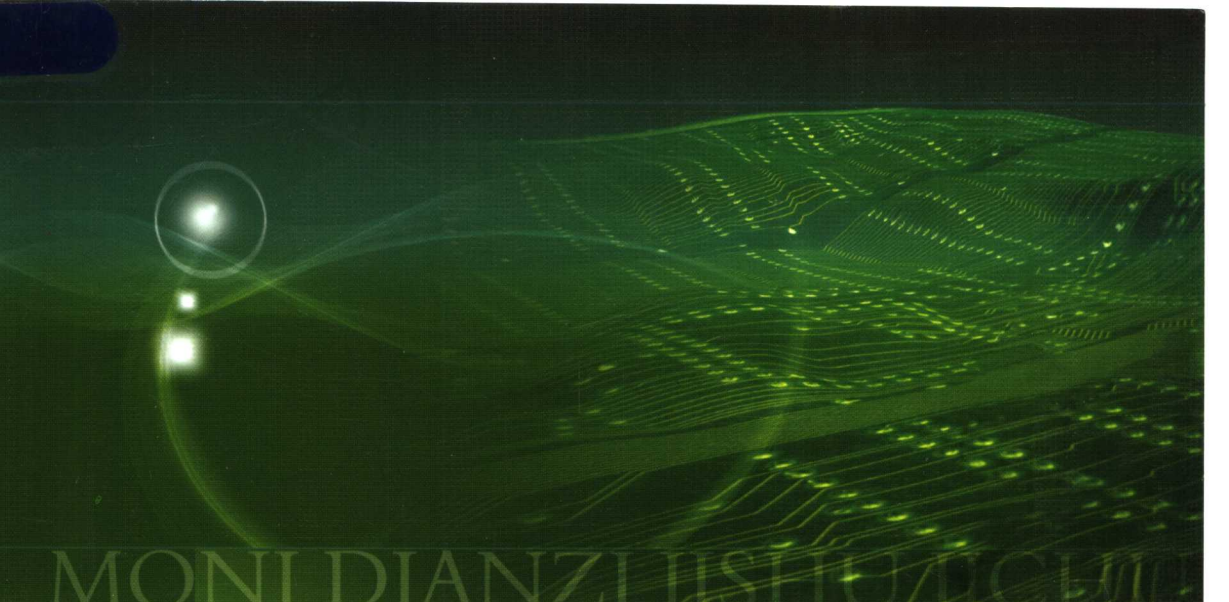




SHIYAN JI KECHENG SHEJI

模拟电子技术基础 实验及课程设计

陈立万 赵威威 谭进怀 冯地耘 黄美兴 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

TN01/109

2008

模拟电子技术基础实验 及课程设计

陈立万 赵威威 谭进怀 冯地耘 黄美兴 主编

西南交通大学出版社

• 成都 •

图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术基础实验及课程设计 / 陈立万等主编. 一成都: 西南交通大学出版社, 2008.2

ISBN 978-7-81104-805-6

I. 模… II. 陈… III. ①模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材②模拟电路—电子技术—课程设计—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017320 号

模拟电子技术基础实验及课程设计

陈立万 赵威威 谭进怀 冯地耘 黄美兴 主编

责任编辑	郭发仔 (gfz87@126.com)
特邀编辑	胡芬蓉
封面设计	翼虎书装
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川锦祝印务有限公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	15.375
字 数	274 千字
版 次	2008 年 2 月第 1 版
印 次	2008 年 2 月第 1 次印刷
印 数	1—3 000 册
书 号	ISBN 978-7-81104-805-6
定 价	22.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据高等学校电子类、自动化类和其他相近专业的本课程教学大纲的要求,结合教学实际而编写的模拟电子技术基础实验及课程设计教材。在编写的过程中,注重经典的基础实验,精选了课程设计的新内容,并引入了最先进的计算机仿真技术,旨在加强对学生实验基本技能的综合训练,使之掌握新实验手段,培养和提高学生的实际动手能力与工程设计能力。

本书以模拟电子技术实验为基础,以工程设计方法、测试方法及仿真技术为主线,突出工科特色,强调与工程实际接轨;以电路的功能为出发点进行选题,努力反映新技术,采用新器件,并附有设计举例和设计任务。本书具有体系结构新颖,注重工程应用,实验手段先进,能启发思考,易于自学,理论紧密联系实际等特点。

全书共分三篇。第一篇为模拟电子技术基础实验基本知识。介绍了基本实验技术,实验电路、实验内容及步骤,测试的方法,以便为工程设计能力的培养打下一定的基础。第二篇为模拟电子技术基础课程设计。结合基础实验,共有九个选题,既有中小型应用系统电路的设计,又有新器件的应用实例。第三篇为模拟电子技术实验计算机仿真。介绍了适合于辅助教学,并兼有计算机辅助分析与设计功能的Multisim 2001软件的使用方法和多个仿真实验范例,选择了部分典型的基础实验进行了仿真,截取了大量的实验结果图,能很好地帮助学生进行实验预习及操作。

在安排本教材的教学进度时,根据教学大纲的要求,可以做适当的选择,由浅入深,由易到难,循序渐进。建议实验前先进行计算机仿真,这样可以取得更佳的学习效果。

参加本书编写工作的有陈立万、赵威威、谭进怀、冯地耘、黄美兴,冉启泉教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的谢意。

作者在本书编写的过程中,除了依据多年来的教学实践经验外,还借鉴了国内部分高等学校最新的有关教材。本书可以作为高等院校电类专业、自动控制专业以及仪器仪表专业本、专科学生的教材。

由于编者水平有限,书中难免会有错误和不妥之处,恳求广大读者和同行给予批评指正。

编 者

2008年1月

目 录

第一篇 模拟电子技术基础实验基本知识

第一章 概 述	(3)
一、模拟电子技术基础实验的分类	(3)
二、模拟电子技术基础实验的方法	(3)
三、学习模拟电子技术基础实验应达到的要求	(4)
第二章 基本实验技术	(5)
一、电压和电流的测量	(5)
二、时间和频率的测量	(8)
三、电阻、电感和电容的测量	(10)
四、测量误差	(12)
五、测量结果的处理	(18)
六、电子电路测试技术	(20)
七、常用电子元器件的检测	(31)
第三章 模拟电子技术基础实验	(38)
实验一 单级放大电路	(38)
实验二 负反馈放大电路	(44)
实验三 差动放大电路	(48)
实验四 集成运算放大器的基本应用	(52)
实验五 非正弦波发生器及波形变换电路	(58)
实验六 有源滤波器	(61)
实验七 集成电路 RC 正弦波振荡器	(66)
实验八 LC 振荡器及选频放大器	(69)
实验九 功率放大器	(72)
实验十 整流滤波及稳压电路	(75)

第二篇 模拟电子技术基础课程设计

第四章 模拟电子技术课程设计的基础知识	(85)
----------------------------------	--------

一、电子电路的设计要求和方法	(85)
二、电路的组装、调试与总结	(88)
第五章 模拟电子技术课程设计课题	(92)
课题一 函数发生器	(92)
课题二 集成直流稳压电源	(95)
课题三 RC 有源滤波器	(98)
课题四 实用低频功率放大器	(101)
课题五 超外差式调幅收音机	(106)
课题六 程控增益放大器	(110)
课题七 水温控制系统	(113)
课题八 楼道路灯开关电路	(117)
课题九 音乐控制彩色变幻灯	(120)

第三篇 模拟电子技术实验计算机仿真

第六章 仿真软件 Multisim 2001 简介	(125)
一、Multisim 2001 系统简介	(125)
二、Multisim 的基本界面	(126)
三、Multisim 的基本操作	(133)
四、Multisim 电路创建的基础	(139)
五、Multisim 仪器仪表的使用	(146)
第七章 基础实验 Multisim 2001 仿真范例	(159)
实验一 单级放大电路仿真	(159)
实验二 负反馈放大电路仿真	(162)
实验三 差动放大电路仿真	(165)
实验四 集成运算放大器的基本应用仿真	(167)
实验五 非正弦波发生器及波形变换电路仿真	(170)
实验六 有源滤波器仿真	(172)
实验七 集成电路 RC 正弦波振荡器仿真	(176)
实验八 LC 振荡器及选频放大器仿真	(178)
实验九 整流滤波及稳压电路仿真	(180)

附 录

附录一 常用电子仪器仪表的使用	(185)
附录二 电阻器使用知识	(202)

附录三 电容器使用知识	(211)
附录四 二极管	(218)
附录五 三极管	(221)
附录六 集成电路	(227)
参考文献	(237)

第一篇

模拟电子技术基础实验基本知识

第一章 概 述

模拟电子技术基础实验,实质上就是根据教学或工程实际的具体要求进行实际电路设计、安装和调试的实验过程。通过模拟电路实验,我们既要验证模拟电路理论的正确性和实用性,又要从中发现理论的近似性和局限性。同时,我们还可以发现新问题,形成新思路,产生新设想,从而进一步促进模拟电路理论和应用技术的发展。在这一过程中,不仅要巩固深化基础理论和基础概念并付诸于实践,更要培养理论联系实际的学风、严谨求实的科学态度和基本工程素质(其中应特别注意动手能力的培养),以适应将来实际工作的需要。

随着电子技术的迅速发展,新器件、新电路不断涌现,要认识和应用门类繁多的新器件和新电路,最有效的方法就是实验。可见,掌握模拟电路实验,对从事电子技术的人员来说是至关重要的。

一、模拟电子技术基础实验的分类

按实验目的与要求模拟电子技术基础实验可分为以下两大类。

1. 基本设计性实验

能够根据技术指标的要求,设计构成具有各种功能的单元电路,并用实验方法进行分析、修正,使之达到所规定的技术指标。通过基本设计性实验,既要验证电路基本原理,又要检测器件或电路的性能(即功能)指标,使学生学会基本电量的测量方法。

2. 综合设计性实验(课程设计)

在完成模拟电子技术基础理论知识和基本设计性实验的基础上,综合运用有关知识,设计、安装与调试自成系统的,与工程实际接轨的,具有一定实用价值的电子线路装置。

二、模拟电子技术基础实验的方法

1. 直接电路实验法

设计者根据课题技术指标要求设计出各种功能的电路后,在实验中用元器

件装接设计电路,并对装接电路进行观察、测试、分析,反复更换元器件进行测试,最终达到课题技术指标的要求。直接电路实验法的优点是:直观、简捷,技术方法简单,实验结果可靠,在工程实践中是一种普遍采用的实验研究方法。它存在的缺点是:元器件和材料消耗大;实验周期长;难以模拟电路中的某些故障;难以胜任大规模和超大规模集成电路的设计性实验任务。

2. 计算机软件仿真法

计算机软件仿真法是利用计算机速度快、存储容量大的特点,在计算机这一现代化“实验装置”上采用数学模拟的方法,运用各种软件直接模拟电子线路的功能,完成各种电路性能分析和技术指标的测量。目前,在模拟电子技术基础这一范畴里,常采用 Multisim 软件或 Pspice 软件完成电路的仿真。由于 Multisim 界面直观、形象,操作方法与真实实验环境较为接近,所以在模拟电子技术基础实验中主要用来进行电路仿真分析与测试。我们建议先利用计算机软件仿真法对所设计的电路进行仿真,然后采用直接电路实验法装接调试电路,完成电子产品的制作。

三、学习模拟电子技术基础实验应达到的要求

- (1) 能读懂基本电路图,具备分析电路功能或作用的能力。
- (2) 具备设计、安装和调试具有一定功能电路的能力。
- (3) 会查阅和利用技术资料,并具备根据实际情况合理选用元器件构成系统电路的能力。
- (4) 具备分析和排除故障的能力,独立分析和解决问题的能力。
- (5) 能够独立组织实验,掌握常用电子测量仪器的选择与使用方法和基本电量的测试方法。
- (6) 能够独立拟定实验步骤,写出严谨的、实事求是的、有理论分析或独特见解、文字通顺及字迹端正的实验报告。

第二章 基本实验技术

一、电压和电流的测量

(一) 电压的测量

电压的测量方法主要有电压表测量法和示波器测量法两种。

1. 电压表测量法

(1) 直读测量法。

将电压表并于被测电路两端直接读数的方法称为电压表的直读测量法。这种方法简便、直观，是电压测量的最基本方法。

用电压表测量时，首先是电压表的选择问题。通常要根据被测电压的特点（如频率的高低、幅度的大小等）和被测电路的状态（如内阻的数值等）来考虑。一般以电压表的使用频率范围、测量电压范围和输入阻抗的高低作为选择电压表的依据。对电压表的基本要求是：

① 输入阻抗高。在测量电压时，电压表并联在被测电路两端，故对被测电路有影响。被测电路的阻抗与电压表的输入阻抗可以相比时，就会造成较大的测量误差。为了减小测量仪表对被测电路的影响，要求电压表的输入阻抗尽可能高些。一般指针式万用表的输入电阻较小。数字万用表的输入阻抗高，可达 $10\text{ M}\Omega$ 以上。

② 测量交流电压时，要有一定的使用频率范围，这个频率范围应与所测电压的频率相适应。一般交流电表，如万用表的交流档只适宜于测几十赫兹到几千赫兹的交流电压，毫伏表能测 $1\text{ Hz}\sim 2\text{ MHz}$ 的交流电压。

③ 有较高的精度。指针式仪表的精度按满度相对误差分成 0.05、0.1、0.2、0.5、1.5、2.5、5.0 等几个等级。例如，2.5 级精度的满度相对误差为 $\pm 2.5\%$ 。在电压测量中，直流电压的测量精度一般比交流电压的测量精度高。通常在较高精度的电压测量中，采用数字式电压表。一般直流数字式电压表的测量精度在 $10^{-8}\sim 10^{-4}$ 数量级，交流数字式电压表的测量精度在 $10^{-4}\sim 10^{-2}$ 数量级。

(2) 补偿法。

用这种方法测量电压时,可以消除电压表内阻对测量结果的影响。补偿法测量线路如图 1-2-1 所示。图中 R 两端的电压是待测的。电压表 V 的内阻不够高时,会给电压的测量带来误差。如按图 1-2-1 接入内阻很低的稳压电源,尽管电压表的内阻不够高,但用它来测量稳压电源的输出电压 U_w 是不会有问题的。

为了确定 R 两端的电压,先调 U_w 使之与 U_R 接近,然后在 a、b 间接入灵敏度高的电压表 V' 。调 U_w 使 V' 的指示为零,这时 $U_R = U_w$,电压表 V 的读数就是 U_R 的值。

由以上分析可见,当电压表 V' 的指示为零时,测量电路不从被测电路中吸取电流,所以对被测电路无影响。

(3) 微差法。

用这种方法可以测量出叠加在大电压上的微小变化电压。例如,某稳压电源的输出电压为 U ,由于负载变化或电网电压波动,其输出电压变为 $U + \Delta U$,通常 ΔU 是很小的。若直接将电压表接于稳压电源输出端进行测量,由于电压表的量程大于 U ,故变化量 ΔU 只能使电压表指针产生极小的偏转,可能难以觉察。

采用微差法容易测量 ΔU ,其测量线路与图 1-2-1 类似,如图 1-2-2 所示。若图中被测电路的输出电压原来为 U ,现外接另一辅助稳压电源,将其输出电压也调为 U ,则两个电压互相抵消,使电压表 V 的读数为零。若被测电路的电压由于某种原因发生变化,变为 $U + \Delta U$,那么在测量回路中,作用在电压表 V 上的电压就是 ΔU 。用这种方法测量电压的微小变化时,电压表的量程不必太大,与电压变化量 ΔU 相一致即可。这种测量方法不仅易于读出变化量,而且测量误差也大为减小。

在测量过程中,被测电路和辅助稳压电源任何一方的输出电压都应可靠地作用在电路中,否则,失去任何一方的电压,都将使加到电压表 V 上的电压远远超过电压表的量程,从而损坏电压表。

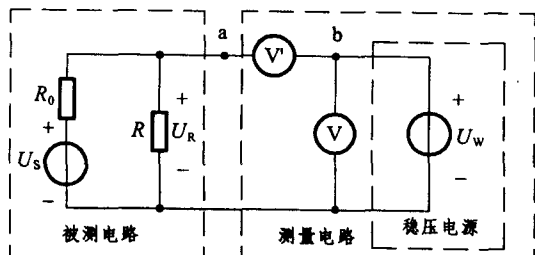


图 1-2-1 补偿法测量线路

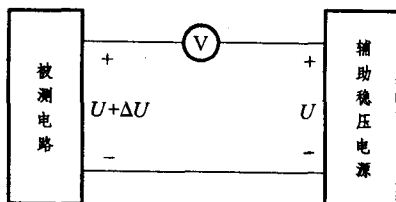


图 1-2-2 微差法测量线路

2. 示波器测量法

用示波器测量电压最主要的特点是能够正确地测定波形的峰值及波形各部分的大小,因此,在需要测量某些非正弦波形的峰值或波形某部分的大小时,用示波器进行测量便成为必要的方法了。

双踪示波器的 Y 轴灵敏度已标出 $5\text{ mV/div} \sim 5\text{ V/div}$,使用前,要用校准信号校准各挡灵敏度。然后,将被测信号加于示波器 Y 输入端,从荧光屏上直接读出被测电压波形的高度 (div 数),则被测电压幅值 = 灵敏度 (V/div 或 mV/div) $\times$ 高度 (div)。

该测量方法会因 Y 轴放大器增益的不稳定性而产生测量误差。另外,数字示波器能直接给出电压的测量值。

(二) 电流的测量

测量直流电流通常都采用万用表的电流挡。测量时,电流表串接在被测电路中,为了减小对被测电路工作状态的影响,要求电流表的内阻越小越好,否则将产生较大的测量误差。

测量交流电流通常采用电磁系电流表。由于交流电流的分流与各支路的阻抗有关,而且阻抗分流很难做得精确,所以通常使用电流互感器来扩大交流电流表的量程。钳形电流表就是用互感器扩大电流表量程的实例。钳形电流表使用非常方便,但准确度不高。

实际操作中要特别注意,电流表(钳形电流表除外)是串联在电路中的,绝不能和被测电路并联。否则,会由于其内阻很小,有很大的电流流经电流表而烧毁电流表。

用示波器也可以测量电流的波形。这时,在被测电流支路中串入一个小电阻(电流取样电阻),被测电流在该电阻上产生电压,用示波器测量这个电压(如图 1-2-3 所示)便得到电流的波形。

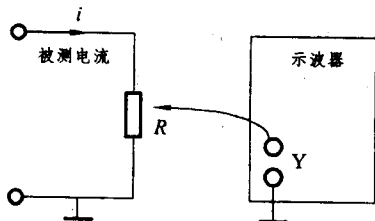


图 1-2-3 测电流波形示意图

图中串联电阻 R 的选择应考虑以下两点： R 的值应足够小，当它串入被测电路中时应对被测电路无影响； R 的值也不能过小，否则会因被测电流 i 在其上产生的电压太小而使示波器的光点偏转太小，影响用示波器测量电流的准确度。

二、时间和频率的测量

(一) 时间测量

时间测量指的是对信号的时间参数进行测量，如周期性信号的周期、脉冲信号的宽度、时间间隔、上升时间、下降时间等。下面介绍用示波器测量时间的方法。

示波器的时基电压是线性变化的锯齿波，这时示波器屏幕上的 X 轴代表时间轴。许多示波器时基系统都是经定量校准的，可以直接用来测量时间。具体方法是：将示波器的扫速开关 t/div 的微调旋钮置于“校准”位置时，屏幕上波形的时间可用下式计算：

$$T = t/\text{div} \times D(\text{div})$$

式中， D 为波形被测两点在屏幕上的距离； T 为相应的时间间隔。

用 HP 示波器可用光标测量法测出任意两点间的时间差，并直接读数。

(二) 频率测量

1. 通过测量周期来确定频率

周期可通过前面所讲测量时间的方法来确定，而频率为周期的倒数。在用示波器调试电路时常用此方法测出频率。用这种方法测出的频率不太准确，其准确度与用示波器测量时间时所达到的准确度相同。

2. 用李萨如图形测频率

将示波器内部的扫描电路断开不用，除了被测频率的正弦信号之外，还需要一个频率可调且已知的正弦信号源。这个信号源所产生正弦信号的频率应该比较准确，它决定着所测信号频率的准确度。将被测频率的正弦信号和来自标准信号源的正弦信号分别加到示波器的 Y 轴输入和 X 轴输入，当两个电压的频率、相位和振幅各不相同，在示波器屏幕上所显示的图形是不规律、不稳定的。当被测频率 f_Y 与标准信号的频率 f_X 之间成整数倍关系

时, 出现在屏幕上的图形是静止的, 并具有一定的形状。图 1-2-4 给出 f_Y 与 f_X 不同比值和不同相位时出现在屏幕上的图形, 这些图形称为李萨如图形。

用李萨如图形测频率的步骤归纳如下:

(1) 将被测信号和标准信号分别加到示波器的 Y 轴和 X 轴输入端, 将示波器的扫描方式定在 X/Y 方式。

(2) 取标准信号的频率与被测信号的频率于相同的数量级, 这时由于两者的频率不完全成比例, 屏幕上的图形是不稳定的, 可能会不停地转动。频率差得远时转得快, 频率接近倍数关系时转得慢。

$f_Y:f_X$ 相位差	1:1	2:1	3:1
0°			
45°			
90°			

图 1-2-4 李萨如图形

(3) 调整标准信号的频率可使屏幕上的图形完全静止下来, 这时可读取标准信号的频率。

(4) 从屏幕上的图形确定被测信号频率 f_Y 与标准信号频率 f_X 之比值。具体做法为: 在屏幕的图形上作一条水平线, 使此线与图形有最多的交点; 在图形上再作一条垂直线, 使它与图形也有最多的交点。那么, 这两组交点数之比, 就是 f_Y 和 f_X 之比, 即

$$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{水平线与图形之最多交点个数}}{\text{垂直线与图形之最多交点个数}}$$

在进行具体测量时, 建议采用频率比为 1:1 的图形, 因为它们比较容易调节而且便于读数。

用示波器测量频率精确度低、测量速度慢。有条件可采用数字频率计测量频率, 它的优点是可以直接读数、速度快、精度可高达 10^{-10} 数量级。数字示波器能直接给出周期和频率的测量值。

三、电阻、电感和电容的测量

(一) 电阻的测量

电阻的数值一般分为低值（小于 $1\ \Omega$ ）、中值（ $1\sim 10^6\ \Omega$ ）和高值（大于 $10^6\ \Omega$ ），为了测量准确，对不同数值的电阻所用测量方法也不同，这里主要介绍中值电阻的测量方法。

1. 欧姆表法

欧姆表法是电阻的直接测量方法，主要是用万用表的欧姆挡来测定电阻。用这种方法测电阻很方便，但不够准确。测量时被测电阻不能带电，倍率的选择要使指针偏转到容易读数的中段，每次测量前要调好零点。

用数字万用表的电阻挡来测量电阻时，其测量准确度较高，可达 0.1% ；电阻的测量范围也较宽，从 $0.01\ \Omega\sim 20\ \text{M}\Omega$ 。

测量高值电阻时，可采用兆欧表，它可测 $0.1\ \text{M}\Omega$ 以上的大电阻，如电机绕组间的绝缘电阻。

2. 伏安法

用电压表和电流表分别测出被测电阻两端电压和通过电阻的电流，然后用公式 $R = U/I$ 算出被测电阻的数值的方法称为伏安法，它属于间接测量方法。其所测结果的准确度，除了决定于所用电压表和电流表的准确度外，还与测量仪表在电路中的接法有关，在电路实验课中对该方法已做过详细讨论，这里不再叙述。

(二) 电感的测量

1. 伏安法

此法与用伏安法测电阻的方法类似，不过在这里加的是交流电压，用交流电压表和电流表进行测量，测量的线路如图 1-2-5 所示。

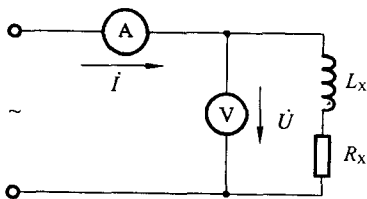


图 1-2-5 伏安法测电感线路

步骤如下：给被测电感线圈通以频率为 f 的交流电流，用电流表测其大