



现代检测技术与质量工程实验丛书

电磁检测技术 实验指导

河北大学现代检测技术与质量工程实验中心 编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

TM93-33/3

2010

现代检测技术与质量工程实验丛书

电磁检测技术 实验指导

河北大学现代检测技术与质量工程实验中心 编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

电磁检测技术实验指导/河北大学现代检测技术与质量工程实验中心编. —北京: 中国计量出版社, 2009. 9

(现代检测技术与质量工程实验丛书)

ISBN 978-7-5026-3107-9

I. 电… II. 河… III. 电磁测量—实验 IV. TM93-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 125447 号

内 容 提 要

本书主要介绍了电磁计量测试技术中电测量指示仪表和电测量检测仪器的选择及检测实验。内容包括电流表、功率表、电能表、直流电位差计、直流电桥和数字仪表的检定技术与方法, 同时给出实验误差分析及数据处理方法。本书力求从实际应用出发, 强化理论联系实际, 每个实验阐释了实验原理, 配置了实验线路图, 点拨了实验过程 (步骤) 和注意事项。

本书可作为电磁相关专业的大中专院校实验指导教材, 也可供从事电磁及其相关专业的技术人员作为参考用书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 5 字数 105 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 11.00 元

前言

河

北大学现代检测技术与质量工程实验中心(以下简称“中心”)成立于2000年,前身为计量测试技术实验中心。中心成立以来,紧紧围绕质量技术监督行业特色,确立了“瞄准检测,面向应用,夯实基础,彰显特色”的实验教学理念,形成了以检测为核心,以质量、计量、标准为主线,涉及热工检测、光电检测、特种设备检测、食品质量安全检验及化工产品质量检验等领域的实验课程体系。

中心利用优质实验教学资源,根据多年的实验教学经验,通过整合测控技术与仪器、安全工程、产品质量工程、机械设计制造及其自动化、电子信息工程、理化测试与产品质量检技术等8个专业、103门课程的实验教学和毕业设计内容,结合工程实际应用,整理编写成“现代检测技术与质量工程实验丛书”,包括《检测技术基础实验指导》《热工检测技术实验指导》《电磁检测技术实验指导》《光电检测技术实验指导》《特种设备检测技术实验指导》《食品质量检验技术实验指导》《化工产品质量检验技术实验指导》等。

本系列丛书的编写力求从实际应用出发,强化理论联系实际,各分册及其各章内容相对独立,可供不同层次、不同专业的人员和相关专业技术人员参考。

电磁检测技术具有测量灵敏度高,准确度高,易实现直接、连续和远距离测量等特点,其电信号特别便于传播、转换、分配和控制,若与测量传感器相配合,可把位移、速度、加速度、重量、压力、温度、湿度、声、光、X射线、气体等转换为电压、电流、频率和脉冲等各种模拟信号或数字信号进行处理。这使越来越多的几何量、力学、温度、声学、光学、电离辐射等各类计量领域,依靠电磁计量检测特点,把各种非电量转换为电信号进行测量。电磁计量检测中发展起来的各种理论基础和技术手段,往往被其他分支学科所借鉴。因此,在现代计量测试技术领域和现代社会生产中的许多部门,都离不开电磁计量检测。

《电磁检测技术实验指导》主要介绍了电磁计量测试技术中电测量指示仪表和电测量检测仪器的选择及检测实验。

电磁检测技术实验 I 主要阐述了电流表、电压表、功率表、电能表的检定技术和方法,同时给出实验的误差分析及数据处理方法。

电磁检测技术实验 II 主要阐述了直流电位差计、直流电桥和数字仪表的检定技术和方法,同时给出实验的误差分析及数据处理方法。

参加编写人员:

张万岭(实验 I);张建志、贾克军(实验 II)。

全书由张万岭教授、宋占表副教授统稿,任建立老师协助统稿、整理及补充。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者
2009.6

目 录

电磁检测技术实验 I

- 实验 1.1 直流电位差计法检测电流表、电压表、功率表····· (1)
- 实验 1.2 数字表法检测电流表、电压表、功率表····· (8)
- 实验 1.3 交流电能表的检测····· (12)

电磁检测技术实验 II

- 实验 2.1 直流电位差计检测····· (18)
- 实验 2.2 直流电桥检测····· (35)
- 实验 2.3 直流数字电压表检测····· (56)

电磁检测技术实验 I

实验 1.1 直流电位差计法检测电流表、电压表、功率表

一、实验目的

- (1) 通过实验使学生进一步加深对课程所学内容的理解;
- (2) 通过实验熟悉检定规程, 并按规程要求进行标准仪器、仪表的选择及检测线路连接, 按规程要求进行检定和数据处理;
- (3) 通过实验学生能独立操作, 并能处理电磁计量测试中的一些简单技术问题。

二、实验原理与说明

直流电位差计法是将被检表的示值间接与标准电位差计的示值进行比较, 当两示值相等时, 标准电位差计上的检流计指零, 然后根据电位差计上的示值, 通过计算, 求出被检表各被检点的实际值。由于直流电位差计是有源器件, 在测量过程中直流电位差计不向被检电势 (电压) 索取信号电流, 它是基于电位补偿的原理而工作的, 因此, 检测直流电测仪表准确度最高。

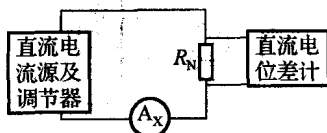


图 1.1—1 检测电流表的原理线路图

(A_x)—电流表; R_N —标准电阻

1. 检测电流表的原理线路

线路图见图 1.1—1。

被检电流表各被检点的电流实际值按式 (1.1—1) 计算:

$$I = \frac{U_N}{R_N} \quad (1.1—1)$$

式中 U_N ——直流电位差计的读数值, V。

用直流电位差计法检测电流表时, 标准电阻 R_N 的选择很关键。选择 R_N 的原则:

- (1) 被检电流表的电流量限小于或等于标准电阻允许通过的最大电流;
- (2) 在标准电阻上的电压降 U_N 小于或等于电位差计的测量上限;
- (3) 检定被检表上限时, 电位差计的第 I 盘 (最大读数盘) 要大于 0。

2. 用直流电位差计法检定电压表

- (1) 当被检电压表的量限小于或等于电位差计测量上限时, 检定原理线路见图 1.1—2。

按图 1.1—2 线路检测, 被检电压表的实际值等于直流电位差计的示值, 即

$$U_x = U_N$$

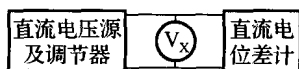


图 1.1—2 检测电压表的原理线路图

V_x — 电压表

(2) 当被检电压表的测量上限超过直流电位差计的测量上限时, 就要用到直流分压箱, 检定原理线路见图 1.1—2。

被检电压表的电压实际值按式 (1.1—2) 计算:

$$U_x = K_D U_N \quad (1.1-2)$$

式中 K_D —— 分压箱分压系数。

用分压箱时选择分压箱的分压系数 K_D 很关键, 选择原则如下:

- ① 经分压箱输出端电压小于或等于电位差计测量上限。
- ② 检定被检表上限时, 电位差计第一盘要有大于 0 的读数。
- ③ 检测功率表的原理线路图见图 1.1—4。

被检功率表的功率实际值按式 (1.1—3) 计算:

$$P = \frac{U_N}{R_N} \cdot U \quad (1.1-3)$$

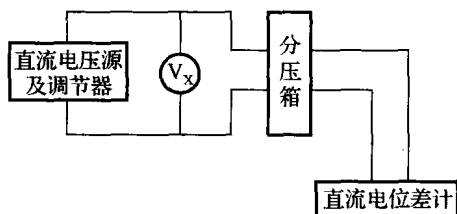


图 1.1—3 直流分压箱检定原理线路图

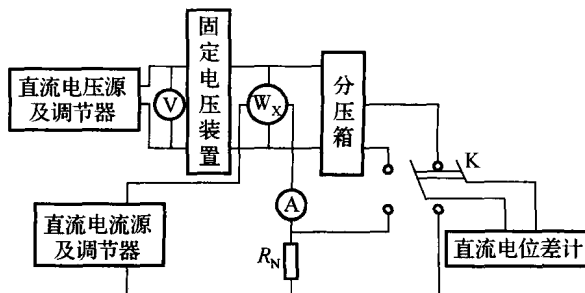


图 1.1—4 检测功率表的原理线路图

V A — 监视电压、电流表; W_x — 功率表

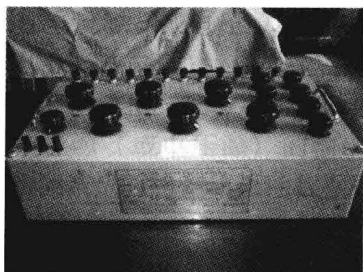
三、实验仪器设备及要求

直流电位差计及与之配合的标准器具要求见表 1.1—1。

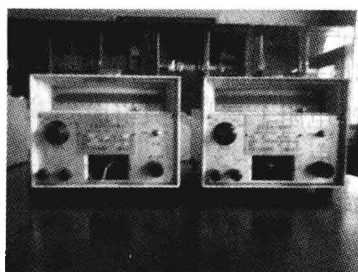
常用的仪器、仪表, 如图 1.1—5 所示。

表 1.1—1 直流电位差计及与之配合的标准器具要求

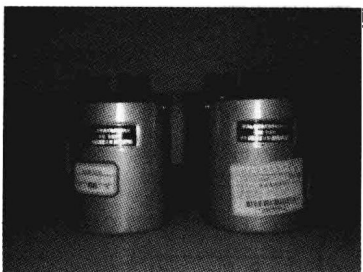
被检表等级指数	0.1	0.2	0.5
标准电阻准确度级别	0.01	0.01	0.02
标准电池准确度级别	0.005	0.01	0.01
分压箱准确度级别	0.01	0.02	0.03
直流电位差计准确度级别	0.01	0.02	0.05
装置的相对灵敏度	$\leq 5 \times 10^{-5}$ /格	$\leq 1 \times 10^{-4}$ /格	$\leq 2.5 \times 10^{-4}$ /格
直流电位差计工作电流变化	$\leq 5 \times 10^{-5}$	$\leq 1 \times 10^{-4}$	$\leq 2.5 \times 10^{-4}$
被检表上限时, 直流电位差计读数位数	6 位	5 位	5 位



(1) UJ25高电势直流电位差计



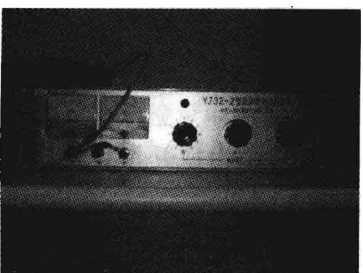
(2) AC15-2检流计



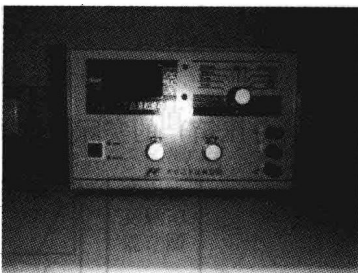
(3) 标准电池



(4) 标准电阻



(5) 直流稳压源



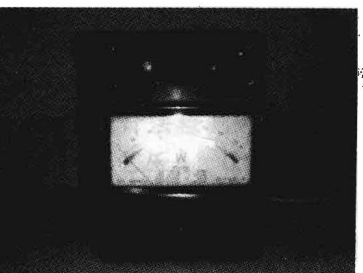
(6) 直流稳流源



(7) 直流分压箱



(8) 被检电流表



(9) 被检电压表



(10) 被检功率表

图 1.1—5 仪器、仪表图

- (1) UJ25 高电势直流电位差计 1~3 台 (0.05 级);
- (2) AC15—2 检流计 1~3 台;
- (3) 标准电阻 1 套 (9 只组成);
- (4) 标准电池 1~3 个;
- (5) 直流稳压源 1~2 台;
- (6) 直流稳流源 1~2 台;
- (7) 直流分压箱 1~2 个;
- (8) 被检直流电流表、电压表、功率表各 1 块 (0.5 级)。

四、实验实际接线图

检测电流表的实际接线图见图 1.1—6。

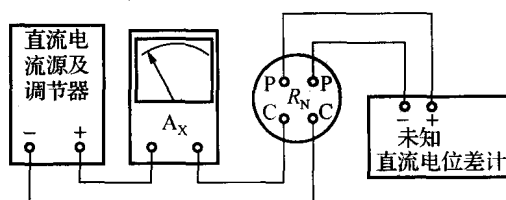


图 1.1—6 检测电流表的实际接线图

检测电压表 (分压箱) 的实际接线图见图 1.1—7。

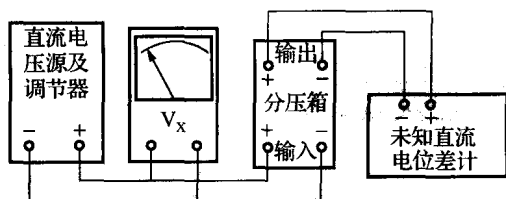


图 1.1—7 检测电压表 (用分压箱) 的实际接线图

检测功率表的实际接线图见图 1.1—8。

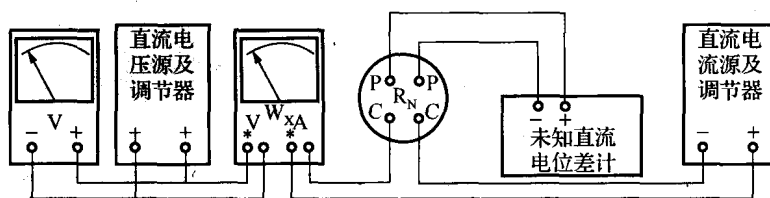


图 1.1—8 检测功率表的实际接线图

五、实验过程及注意事项

1. 实验过程

- (1) 把调好零位的被检表按相应图接入测量回路。
- (2) 线路检查无误后, 打开稳流源 (或稳压源) 的电源预热 15min。
- (3) 缓慢增加电流 (或电压) 的输出, 使被检表指示器顺序地指在每个被检数字分度线上, 并从直流电位差计上记录相应各被检点的实际值 (此项是检定的上升值)。

(4) 增加电流源（或电压源）的输出至被检表量限以上（一般过 1~2 个小格），立刻缓慢减小电流（或电压），使被检表的指示器顺序指在（3）的各被检分度线上，并从直流电位差计上记录相应被检点的实际值（此项检测的是下降值）。

(5) 将电流源（或电压源）的输出调至最小，关掉电流源（或电压源），选择另一个量限进行检测或进行检测结果的数据处理。

2. 注意事项

(1) 在通电前被检表要先调好零位。

(2) 实验过程中，直流（或交流）稳压源不能短路，直流（或交流）稳流源不能开路，以免损坏电源设备。

(3) 检测功率表时，被检功率表的电压端加固定额定电压，所加电压的误差不能超过被检表允许误差的 1/10。

(4) 被检表全检量限的选择：一般根据用户要求选定，若用户无特殊要求，可尽量选择小量限（低电压、小电流量限）或计算误差方便的量限。

(5) 被检表非全检量限被检点的确定：只选择两点，一是上限点，一是在全检量限除上限点外的误差最大点。

六、实验数据分析处理

检测过程中标准读数（上升和下降）的实际值记录在表 1.1—1 中，并按表中的各项要求将全检量限及非全检量限的误差，变差、平均值、修约值、修（更）正值计算出来，并判断被检表是否合格（给出结论），按表 1.1—1 计算完各数据，最终实验（检测）结果记录表 1.1—2 中。

被检表的实际修约间隔见表 1.1—3。

表 1.1—3 被检表实际值的修约间隔

仪表标度尺（格）		10	30	50	60	75	100	120	150	300	450
仪表准确度等级	0.1	0.002	0.005	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.1
	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.1	0.2
	0.5	0.01	0.02	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5

思考题

1. 用直流电位差计法检测功率表时，对在功率表电压端所加的固定电压有何要求？

2. 检测电流表、电压表、功率表时，全检量限如何确定？

3. 用直流电位差计法检测电流表时，标准电阻 R_N 的选择原则是什么？

4. 用直流电位差计法检测电压表时，分压箱分压系数 K_D 的选择原则是什么？

5. 一被检测直流电压表，0.5 级、100 格、量限 150V。若用直流电位差计法检定，画出检定原理图和实验室检测时的实际接线图。若分压箱的分压系数 K_D 调为 50，100，1000 三挡，选择哪挡分压系数合适，并计算检测该表 80 格时直流电位差计上没有误差的读数。

6. 一被检直流电流表，0.5 级、75 格、量限 2.5A。若用直流电位差计法检测，画出检测原理图和实验室检测时的实际接线图。若标准电阻 $R_N = 0.1\Omega$ ，计算检测该表 60 格和 70 格时直流电位差计上没有误差的读数。

表 1.1—1 三表检测结果

[illegible]

表 1.1—2 原始记录首页

证书编号: _____

委托单位: _____

制造厂: _____

编号: _____

技术依据: _____

检测方法: _____

相对湿度: _____ %

计量器具名称: _____

型号/规格: _____

准确度等级: _____

所用的计量标准名称: _____

环境温度: _____ °C

检测日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

检测/校准地点: _____

1. 外观检查:

2. 基本误差和升降变差的检定:

示值 (格)	被检表量程:		平均值	修约 (格)	修正值/实际值 (格)
	标准电阻/ Ω :	分压系数:			
	频率/Hz:	功率因数:			
	上升	下降			

最大基本误差:

最大升降误差:

3. 偏离零位

$\Delta =$ _____ (mm)

标度尺长度 = _____ (mm)

4. 位置影响 (结论)

正常位置: $X_{0F} =$ _____; $X_{0上} =$ _____。

下 限: $X_{i1} =$ _____; $X_{i2} =$ _____; $X_{i3} =$ _____; $X_{i4} =$ _____。

上 限: $X_{i1} =$ _____; $X_{i2} =$ _____; $X_{i3} =$ _____; $X_{i4} =$ _____。

5. 功率因数影响 (结论)

滞后

超前

检测员:

核查员:

实验 1.2 数字表法检测电流表、电压表、功率表

一、实验目的

- (1) 通过实验使学生进一步加深对课程所学内容的理解；
- (2) 通过实验使学生熟悉检定规程，并按规程要求进行标准仪器、仪表的选择及检定线路连接，按规程要求进行检定和数据处理；
- (3) 通过实验使学生能独立操作，并能处理用数字表法检测电测仪表中的一些简单技术问题。

二、实验原理与说明

用数字表法检测电测仪表检定原理线路有两种接法，一种是采用类似于直接比较法的线路（即标准数字表与被检表直接进行比较），另一种采用类似于直流电位差计法（只适用于直流电测仪表的检测）的线路。

1. 采用直接比较法检定线路

检测电流表的原理线路图见图 1.2—1。

检测电压表的原理线路图见图 1.2—2。

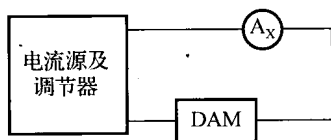


图 1.2—1 检测电流表原理图

A_x —电流表； DAM —标准数字电流表

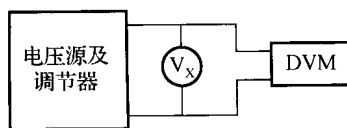


图 1.2—2 检测电压表原理图

V_x —电压表； DVM —标准数字电压表

检测功率表的原理线路图见图 1.2—3。

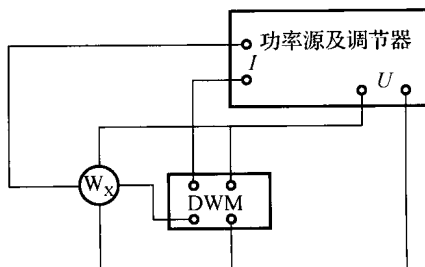


图 1.2—3 检测功率表原理图

W_x —功率表； DWM —标准数字功率表

2. 采用直流电位差计法检测线路

此方法（只适用于直流表）是将直流电位差计法中的直流电位差去掉，换成直流数字电压表即可，与直流电位差计法相比，具有测量速度快，没有视差，可与计算机联机进行自动化检定。

检测电流表的原理线路图见图 1.2—4。

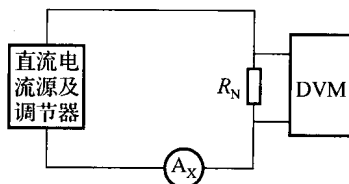


图 1.2—4 检测电流表原理图

(A_x)—被检电流表； R_N —标准电阻；DVM—标准直流数字电压表

检测电压表（这里只涉及用直流分压箱情况）的原理线路图见图 1.2—5。

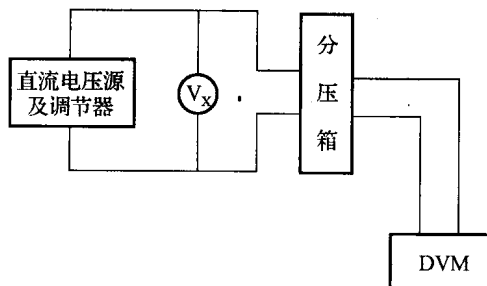


图 1.2—5 检测电压表原理图

检测功率表的原理线路图见图 1.2—6。

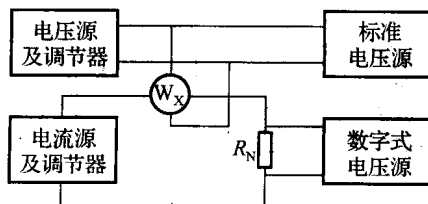


图 1.2—6 检测功率表原理图

三、实验仪器设备及要求

对数字表和标准器具的要求见表 1.2—1。

实验时需用的仪器设备：

- (1) 0.01 级以上直流数字电压表或数字多用表；
- (2) 标准电阻、直流分压箱、电流源、电压源、被检表和直流电位差计法。

具体需用的直流数字电压表见图 1.2—7。

表 1.2—1 对数字表和标准器具要求

被检表等级指数	0.1	0.2	0.5
被检表测量上限时数字表实际误差	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$
标准电阻准确度级别	0.01	0.01	0.02
标准电池准确度级别	0.005	0.01	0.01
分压箱准确度级别	0.01	0.02	0.03
数字电压表的输入阻抗与被测回路的阻抗之比	≥ 10000	≥ 5000	≥ 2000
数字电压表的零电流在测量回路产生的压降引起的误差	$\leq 0.01\%$	$\leq 0.02\%$	$\leq 0.05\%$



图 1.2—7 直流数字电压表

四、实验实际接线图（用类似于直流电位差计法线路）

检测电流表的实际接线图见图 1.2—8。

检测电压表的实际接线图见图 1.2—9。

检测功率表的实际接线图见图 1.2—10。

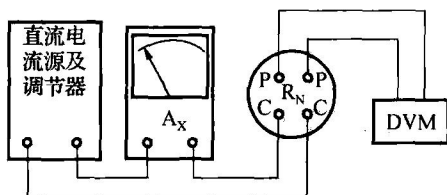


图 1.2—8 检测电流表的实际接线图

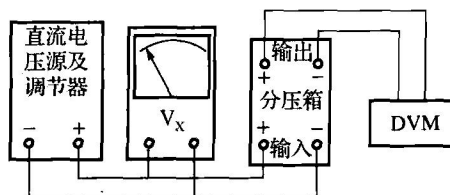


图 1.2—9 检测电压表的实际接线图

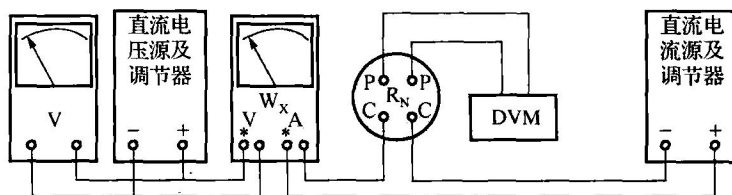


图 1.2—10 检测功率表的实际接线图

五、实验过程及注意事项

1. 实验过程

- (1) 把调好零位的被检表按相应图接入测量回路。
- (2) 线路检查无误后打开稳流源（或稳压源）的电源预热 15min。
- (3) 缓慢增加电流（或电压）的输出，使被检表指示器顺序地指在每个被检数字分度线上，并从直流电位差计上记录相应各被检点的实际值（此项是检测的上升值）。
- (4) 增加电流源（或电压源）的输出至被检表量限以上（一般过 1~2 个小格），立刻缓慢减小电流（或电压），使被检表的指示器顺序指在（3）的各被检分度线上，并从数字直流电位差计上记录相应被检点的实际值（此项检测的是下降值）。
- (5) 将电流源（或电压源）的输出调至最小，关掉电流源（或电压源），选择下一个量限进行检测或进行检测结果的数据处理。

2. 注意事项

- (1) 被检表在通电前要先调好零位。
- (2) 实验过程中，直流（或交流）稳压源不能短路，直流（或交流）稳流源不能开路，以免损坏电源设备。
- (3) 检测功率表时，被检功率表的电压端要加固定额定电压，所加电压的误差不能超过被检表允许误差的 1/10。
- (4) 被检表全检量限的选择：一般根据用户要求选定，若用户无特殊要求，可尽量选择小量限（低电压、小电流量限）或计算误差方便的量限。
- (5) 被检表非全检量限被检点的确定：只选择两点，一是上限点，一是在全检量限除上限点外的误差最大点。
- (6) DVM 要打在直流 2V 的量限上。
- (7) 对数字表和标准器具的要求符合表 1.2—1 的规定。

六、实验数据分析处理

检测过程中标准读数（上升和下降）的实际值记录在表 1.1—1 中，并按表中的各项要求将全检量限及非全检量限的误差，变差、平均值、修约值、修（更）正值计算出来，并判断被检表是否合格（给出结论），被检表实际值的修约间隔见表 1.1—2。

思考题

1. 数字电压表法检测电流表、电压表、功率表比直流电位差计法准确度高吗？
2. 一被检直流电压表，0.2 级、100 格，量限为 600V。若用数字电压表法检测，分压箱分压系数 $K_D = 500$ ，画出检测原理图和在实验室检测时的实际接线图。当检测该被检表 80 格时，数字电压表的读数是多少伏？
3. 一被检直流电流表，0.5 级、100 格，量限为 5A。若用数字电压表法检测， $R_N = 0.1\Omega$ ，画出检测原理图和在实验室检测时的实际接线图。当检测该被检表 80 格时，数字电压表的读数是多少伏？

实验 1.3 交流电能表的检测

一、实验目的

- (1) 通过实验使学生进一步加深对课程所学内容的理解;
- (2) 通过实验熟悉检测规程, 并按规程要求进行标准仪器、仪表的选择及检定线路连接, 按规程要求进行检测 and 数据处理;
- (3) 通过实验学生能独立操作, 并能处理电能表检测中的一些简单技术问题。

二、实验原理与说明

本实验采用标准电能(度)表法进行检测, 它是将标准电能(度)表的电能与被检电能(度)表测定的电能相比较, 从而确定被检电能(度)表的相对误差。实验在微机控制的自动校验装置上进行。

实验原理线路图见图 1.3—1。

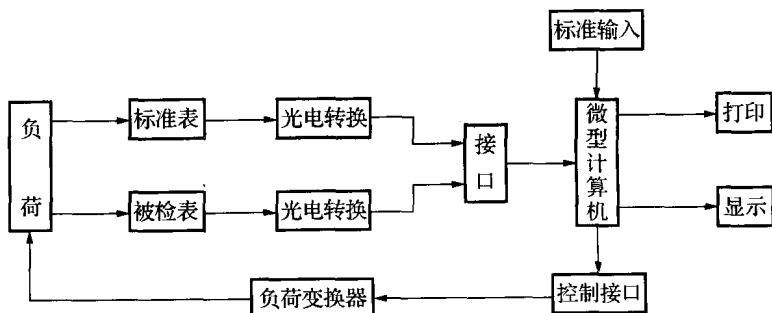


图 1.3—1 实验原理图

三、检测主要项目及要求

1. 基本误差等的测定

测定基本误差应调定的负载功率见表 1.3—1。

2. 潜动试验

被检表首次检测时, 对被检电能表先后加 110% 和 80% 的额定电压, 后续(正常)检测时一般只加 110% 的额定电压, 电流加 0.25 倍的启动电流, 功率因数 $\cos\varphi = 1$, 此时被检表的转盘在潜动试验时时限 t_{js} (min) 为

$$t_{js} = \frac{20 \times 1000}{cmU_s I_{js}} \quad (1.3-1)$$