

# 电力电缆分支箱

选型设计与设备安装 运行调试及标准技术

实务全书

天津电子出版社

# 电力电缆分支箱选型设计与设备安装 运行调试及标准技术实务全书

主编：康文清

(三)

天津电子出版社

## 第十章 频率表和相位表

### 第一节 频 率 表

#### 一、概述

频率是电能质量的重要指标之一,国家标准 GB1980—1980《电气设备额定频率》规定:电力供电系统及设备的额定频率是 50Hz,允许偏差为  $\pm 1\%$ ,即  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

在电力部的《技术管理法规》中规定:在电力系统,对于容量在 300 万 kW 及以上的电力系统,频率的允许变化范围是  $\pm 0.2\text{Hz}$ ,对于容量在 300 万 kW 以下的电力系统,频率的允许变化范围是  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

国家标准对频率表划分为 0.1、0.2、0.3、0.5、1、1.5、2、2.5、3 和 5 共 10 个等级。由于目前使用的频率表制造标准不同,计算基本误差时其基准值也不相同,指针式频率表的基准值规定如下。

(1)国家标准 GB7676—1987《直接作用模拟指示电测量仪表及其附件》规定:频率表的基准值是测量范围的上限,如测量范围为 45 ~ 55Hz 的频率表,其基准值是 55Hz。

(2)国家标准 GB776—1976《电工测量仪表的一般技术条件》规定:指针式频率表的基准值是标度尺工作部分的上、下量限差,如测量范围为 45 ~ 55Hz 的频率表,其基准值是 10Hz。

(3)D31—1961《电工测量仪表的一般技术条件》规定:指针式频率表的基准值是上、下量限的平均值,如测量范围为 45 ~ 55Hz 的频率表,其基准值是 50Hz。

(4)振簧系频率表的基准值是指示值。频率表的种类很多,在实验室中作为标准使用的基本是电动系的和数字式的;在生产现场用来监视频率用的安装式频率表大都采用铁磁电动系的。近几年来,数字式频率表也得到了广泛的应用。

#### 一、电动系频率表

##### (一)电动系频率表的结构

电动系频率表采用流比计结构,它是利用通过流比计两个动圈的电流比随频率变化而变化的原理来测量频率。

目前最常见的是 D3—Hz 型的频率表,其结构如图 10-1(a)所示。其原理图如图 10-1(b)所示。这种表有两条支路,一条是由动圈 A1 和电容器  $C_1$  组成的  $90^\circ$  移相电路;另一条是由动圈 A2、定圈 D1、D2、电感  $L$ 、电容  $C_2$  和附加电阻  $R_2$  组成的串联谐振电路。 $R$

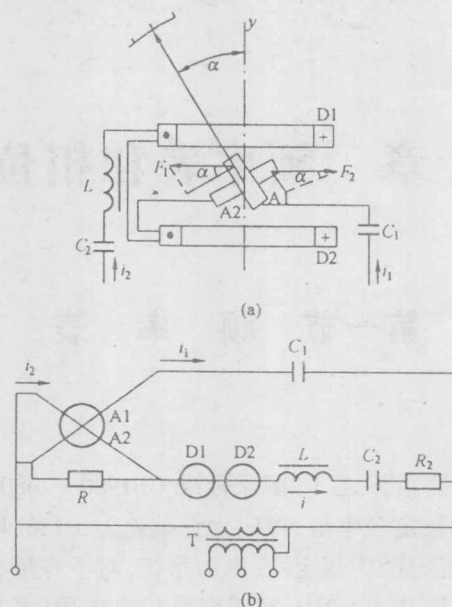


图 10-1 D3-Hz 型频率表

(a)结构图;(b)原理图

是分流电阻,动圈 A1 和 A2 互相垂直。

(二)常见故障及排除方法 D3—Hz 互型频率表常见故障、产生原因及排除和检查方法如表 10-1、所示。

表 10-1 D3—Hz 型频率表的故障

| 序 号 | 常见故障                                                                       | 产生原因                                                    | 排除或检查方法                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1   | 通电后,频率表的指针无任何反应                                                            | 1.变压器的一次或二次断线<br>2.公共导丝断或但焊<br>3.谐振电路断路                 | 1.若断线应重新焊好,若已坏则应更换<br>2.重焊或更换<br>3.焊好,若元件坏则应更换 |
| 2   | 通电后,指针总是指在 50Hz,与频率仪表是否倾斜无关                                                | 动圈 A1 支路有断线或虚焊,失去了主动力矩                                  | 检查动圈 A1 和导丝是否虚焊,电容器 $C_1$ 是否开路                 |
| 3   | 当 $f < 50\text{Hz}$ 时,指针倒向 45Hz 方向;当 $f > 50\text{Hz}$ 时,指针倒向 55Hz 方向,直至针挡 | 1.谐振电路有电流,但因动圈 A2 断路或电阻 $R$ 短路,失去了反作用力矩<br>2.动圈 A2 极性接反 | 检查内动圈支路是否断线,接线极性是否正确                           |
| 4   | 通电后,指针即倒向高频率一侧,直至针挡                                                        | 电容器 $C_2$ 短路                                            | 用万用表检查电容器的电阻                                   |
| 5   | 通电后,指针即倒向低频率一侧,直至针挡                                                        | 电感 $L$ 短路                                               | 检查电感线圈各抽头电压                                    |

| 序 号 | 常见故障                                                    | 产生原因                             | 排除或检查方法                  |
|-----|---------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 6   | 频率向低于 50Hz 调节时,频率表指示高于 50Hz,频率向高于 50Hz 调节时,频率表指示低于 50Hz | 动圈 A1 的极性反接了                     | 改正接线                     |
| 7   | 不同电压量限误差的重合性不好                                          | 1. 变压器因局部短路,匝数改变<br>2. 改变电压后波形改变 | 1. 测各抽头电压<br>2. 用示波器检查波形 |

### 三、铁磁电动系频率表

#### (一)概述

铁磁电动系频率表有双动圈流比计和单动圈补偿式等类型,国产的频率表大都是单动圈补偿式结构。如 1D1—Hz 型、1D5—Hz 型、16D2—Hz 型和 19D1—Hz 型频率表都是这种结构。铁磁电动系频率表都是制成安装式仪表,因为它们的转动力矩比较大,但因为有铁磁物质影响,其准确度等级不高,一般只能做成 1.5 或 2.5 级。

#### (二)铁磁电动系频率表的测量结构

铁磁电动系频率表有几种类型,有的带有外附阻抗器;有的把阻抗元件置于表内;有的有内附降压变压器;也有的有内附升压变压器。尽管其结构形式不同,但其测量结构原理是相同的。典型测量结构如图 10-2 所示。动圈在由磁导体和圆柱体构成的磁间隙中活动,与磁电系仪表的结构相类似。

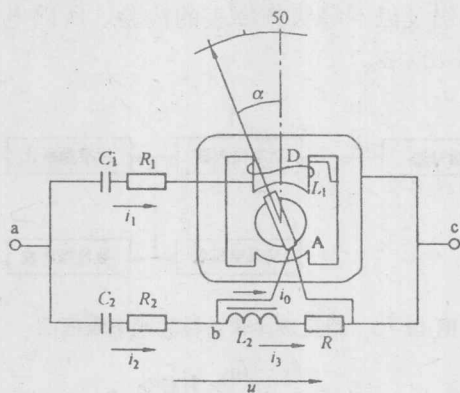


图 10-2 补偿式频率表的测量结构

D—定圈;A—动圈

从图中可以看出,频率表电路是由三部分组成的:

(1)由电阻  $R_1$ 、电感  $L_1$  和电容  $C_1$  组成的串联谐振电路,其中电感主要由定圈的电感构成。

(2)由电阻  $R_2$  和电容  $C_2$  组成的移相电路。

(3)这种仪表是单一动圈,不是流比计结构,没有采用机械游丝产生反作用力矩。而是采用由电阻  $R$ 、电感  $L_2$  和动圈一起组成的“电气游丝”产生反作用力矩。

### (三)常见故障及排除方法

这种表在运行或检验过程中可能发生的故障及故障的排除方法见表 10-2。

表 10-2 1D1—Hz、16D2—Hz 类型频率表常见故障

| 序号 | 故障现象                    | 产生原因                                     | 排除方法                                                       |
|----|-------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1  | 通电后仪表指针仍处于自由状态          | 1. 电压未加上<br>2. 谐振电路断线<br>3. 动翻断路或烧毁      | 1. 检查线路,测电压<br>2. 检查 $C_1$ 、 $L_1$ 、 $R_1$ 及导线<br>3. 测动圈电阻 |
| 2  | 通电后指针总是停在中间刻度附近,与频率变化无关 | 移相电路( $C_2$ 电路)断线                        | 检查移相电路                                                     |
| 3  | 通电后仪表指针指向高频率端,直至针挡      | 1. $C_1$ 被击穿<br>2. $R$ 或 $L_2$ 开路        | 1. 换优质电容<br>2. 检查 $R$ 或 $L_2$                              |
| 4  | 通电后仪表指针指向低频率端,直至针挡      | 1. $C_2$ 击穿短路(动圈过载)<br>2. $R$ 或 $L_2$ 开路 | 1. 更换优质电容<br>2. 检查 $R$ 或 $L_2$                             |

## 四、频率表的检定

JJG603—1989《指针式频率表》规定:指针式频率表的检定项目有:外观检查、基本误差和升降变差的检定。推荐的检定方法是测量周期的方法。目前,数字式工频频率表的准确度较高,可以满足 0.1 级及以下等级频率表的检验。所以电力部门检验规程仅推荐了直接比较法,其框图见图 10-3。

频率基本误差为

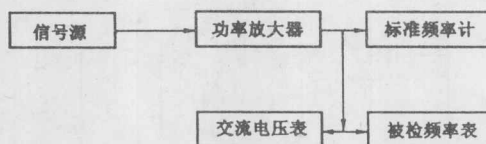


图 10-3 用直接比较法检验频率表框图

$$\gamma_f = \frac{f_X - f_0}{f_F} \times 100\% \quad (10-1)$$

式中  $f_X$ ——被检频率表的示值, Hz;

$f_0$ ——标准频率计的读数, Hz;

$f_F$ ——决定被检频率表准确度等级的基准值, Hz。

当检验升降变差时可按式(10-2)计算

$$\gamma_b = \frac{|f_1 - f_2|}{|f_F|} \times 100\% \quad (10-2)$$

式中  $f_1$ ——频率上升至被检表某刻度线时标准频率表的示值, Hz;

$f_2$ ——频率下降至同一刻度线时, 标准频率表的示值, Hz;

$f_F$ ——频率表的基准值, Hz。

国家计量检定规程规定, 对多电压的频率表, 只在一种额定电压下, 各分度值全检, 其他电压只检上、中、下三个频率点。

## 第二节 相 位 表

### 一、D3- $\varphi$ 型单相相位表

电动系相位表基本上都是采用流比计(比率表)结构, 一般用来测量电压和电流间相位角。D3- $\varphi$  型单相相位表是电动流比计型单相相位表, 属于这种原理的相位表还有 D61- $\varphi$ 、D66- $\varphi$  型和 D70- $\varphi$  型等。

#### (一) 电路原理

D3- $\varphi$  型单相相位表的标度尺有相位角和功率因数两种刻度, 相位角的刻度范围为  $0^\circ \sim 90^\circ$ , 相应的功率因数刻度范围为  $1 \sim 0$ , 通过开关转换。这种表可以测量四个象限的相位角, 准确度等级为 1.5 级, 即基本误差不超过标度尺工作部分长度的  $\pm 1.5\%$  (也有规定为  $\pm 1.5^\circ$  者)。根据国家标准 GB7676—1987 生产的 1.5 级相位表的允许误差是  $\pm 1.35$ 。电角。D3- $\varphi$  型单相相位表的电压量限有 100V 和 220V 两档, 电流也是双量限, 低量限时将电流线圈串联; 高量限时将电流线圈并联。

D3 $\varphi$  型单相相位表的电路原理如图 10-4 所示, 其电路参数如表 10-3 所示, 电路配置图如图 10-5 所示。

表 10-3 D3- $\varphi$  型相位表电路参数

| 符号    | 名称      | 阻值 ( $\Omega$ ) | 线径 (mm)      | 材 辩     |
|-------|---------|-----------------|--------------|---------|
| A1    | 可动线圈(外) | 90              | 0.1          | 高强度漆包铝线 |
| A2    | 可动线囊(内) | 90              | 0.1          | 高强度漆包铝线 |
| R     | 电 阻     | 5/10/30*        | 0.2/0.2/0.25 | 单丝漆包锰铜线 |
| $R_1$ | 电 阻     | 400             | 0.15         | 单丝漆包锰铜线 |
| $R_2$ | 电 阻     | 300             | 0.20         | 单丝漆包锰铜线 |
| $R_3$ | 电 阻     | 450             | 0.15         | 单丝漆包锰铜线 |
| $R_4$ | 电 阻     | 1000 ~ 2500     | —            | 单丝漆包锰铜线 |
| $R_R$ | 电 阻     | 156             | 0.2          | 锰铜线     |
| $R_6$ | 电 阻     | 1400            | 0.15         | 锰铜线     |

|     |     |                    |   |   |
|-----|-----|--------------------|---|---|
|     |     |                    |   |   |
| $L$ | 电感器 | 2.75H(50Hz)        | — | — |
| $C$ | 电容器 | 0.03 $\mu$ F(50Hz) | — | — |

\*  $R$  的阻值可以从 5, 10, 30 中选取, 要根据其他相关回路阻值具体情况确定。

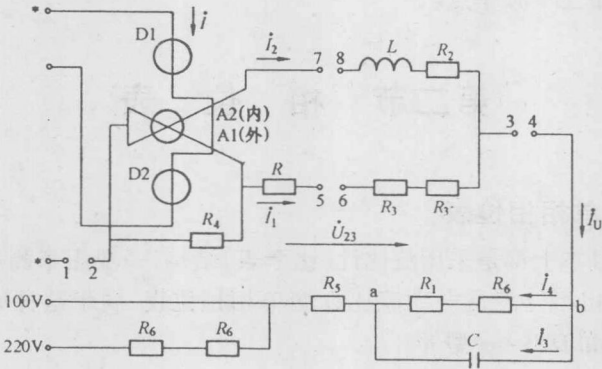


图 10-4 D3-φ 型单相相位表电路图

从原理电路可以看出,动圈 A1 和纯电阻串联。其总电阻为 1000 $\Omega$ ,因此电流  $I_1$  与电压  $U_{23}$ 同相。动圈 A2 和支路的总电阻为 500 $\Omega$ ,电感约为 2.75H,即感抗为 864 $\Omega$ (总阻抗 1000 $\Omega$ ),所以电流  $I_2$  与电压  $U_{23}$ 的相位差为 60°,也就是说,流过两个动圈的电流  $I_1$  和  $I_2$  相等,互相之间的相位差为 60°。

(二)故障判断和误差调整

D3-φ 类型单相相位表的故障及误差如表 10-4 所示。

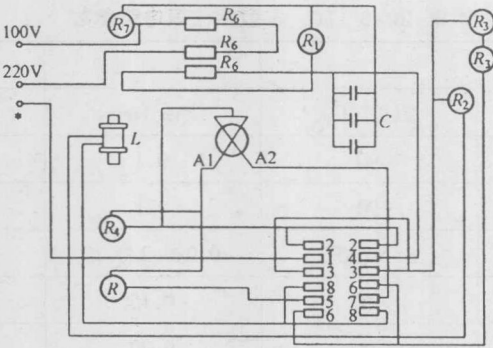


图 10-5 D3-φ 型单相相位表电压电路配置图

表 10-4 D3- $\varphi$  类型单相相位表的故障和误差

| 序号 | 故障或误差现象                                                        | 可能的原因                                                                                       | 排除或检查方法                                                 |
|----|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1  | 仪表刚一通电,指针就倒向一方(左侧或右侧)                                          | 1.内动 A2 支路断路,失去了主动力矩(包括导丝断、电感 $L$ 和电阻 $R_2$ 断线、象限开关接点 8 接触不良)<br>2.动圈 A1 或 A2 中有一个接反了       | 1.用万用表找出断点后焊牢或打磨接点<br>2.改正                              |
| 2  | 通电后指针只指示在 $60^\circ$ 的位置。调节相位也无反应                              | 外动圈 A1 支路断路(包括动圈断线、导丝断或虚焊),失去了主动力矩                                                          | 用万用电表找出断点后焊上                                            |
| 3  | 指针指示不稳定,误差忽大忽小                                                 | 1.象限开关氧化<br>2.动圈及其电路有虚焊                                                                     | 1.清洗、打磨、加油<br>2.找出虚焊点,焊牢                                |
| 4  | $60^\circ$ 时误差较小;低于 $60^\circ$ 时仪表指示偏“慢”;高于 $60^\circ$ 时指示偏“快” | 1.分流电阻 $R_4$ 过大,使主动力矩增强<br>2.A2 匝数有短路。使反作用力矩减弱                                              | 1.调小电阻 $R_4$<br>2.测量各部分阻值。必要时更换 A2                      |
| 5  | $60^\circ$ 时误差较小;小于 $60^\circ$ 时仪表指示偏“快”;大于 $60^\circ$ 时指示偏“慢” | 1.分流电阻 $R_4$ 过小,使主动力矩不足<br>2.象限开关接触不良,电 $I_1$ 减小,主动力矩不足<br>3.A1 匝数有短路,使主动力矩不足               | 1.调大电阻 $R_4$<br>2.清洗、打磨开关(5、6 触点)<br>3.经检查确为 A1 短路,应予更换 |
| 6  | 相角读数普遍偏“快”或普遍偏“慢”,即标度尺向左移或右移                                   | 1.仪表指针弯曲<br>2.二动圈间夹角不是 $60^\circ$<br>3.若普遍“慢” $6.5^\circ$ 左右,可能是电容 $C$ 断路<br>4.某些老表的标度盘位置移动 | 1.扳正,但需老化处理<br>2.改变夹角<br>3.接通或更换电容器<br>4.调整并固定牢         |
| 7  | $60^\circ$ 时的误差较小,但 $30^\circ$ 和 $90^\circ$ 的误差较大,且方向相反        | 动圈 A2 支路的总电阻有变化                                                                             | 调整 $R_2$ ,使之恢复设计值( $500\Omega$ )                        |
| 8  | 100V 档和 220V 档的误差不重合                                           | 电容 $C$ 或电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 有变化                                                                | 可通过调整电阻的方法使仪表误差合格                                       |
| 9  | 不同电流量限时误差不重合                                                   | 1.电流开关接触不好<br>2.定圈有短路<br>3.电流回路接错线错误                                                        | 1.清洗打磨涂防护油<br>2.修理或更换<br>3.改正                           |

## 二、相位表的检定

现行工频相位表检定规程是 JJG440—1986 和 SD110—1983。开展检定时应遵照规程的规定进行。

### (一) 检定项目

对使用中的相位表作周期检定时应做的检定项目有:外观检查、倾斜影响测定、基本误差和升降变差的测定以及电流影响的测定。

### (二) 允许误差

国家标准 GB7676—1987 规定相位表的基准值是 90 电角度,在同一等级的仪表中,各不同刻度点的允许误差范围都是一样的。例如,1.5 级相位表的允许误差是

$$\pm (90^\circ \times 0.015) = \pm 1.35^\circ$$

不同等级相位表的允许误差如表 10-5 所示。

表 10-5 相位表的允许误差

| 准确度等级   | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.5   | 1.0  | 1.5   | 2    | 2.5   | 3    | 5    |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
| 允许误差(°) | ±0.09 | ±0.18 | ±0.27 | ±0.45 | ±0.9 | ±1.35 | ±1.8 | ±2.25 | ±2.7 | ±4.5 |

### (三) 标准表的选择

由于数字相位表应用的普及,目前其准确度等级已达到 0.1°以上,可作为直接比较法检定相位表的标准表。

直接比较法检定相位表的检测方法比较简单,只需将标准表和被检相位表的电压电路并联、电流电路串联,使之共同测量一个被测对象,然后将被检表读数减去标准表读数就是被检表的误差。

## 第十一章 同步指示器

### 第一节 概 述

同步指示器又称整步表或同步表。在发电厂的运行中,同步发电机与系统并列时,要求待并发电机和电网相序一致,电压大小相等、相位相同、频率相等。达到上述条件时叫同步。上述各项除电压相等需由电压表监视外,其他要求都可用同步指示器监视。

在并网前,要做到完全同步是不可能的,但达到一定要求后可进行并网操作。首先对相序的要求是绝对的,必须为同相序。其次是对相位差的要求,手动操作时要求不大于 $20^\circ$ ,自动控制时要求不大于 $3.6^\circ$ 。频率差一般要求控制在 $0.2\text{Hz}$ 或 $0.1\text{Hz}$ 以内。

根据国家标准规定,同步指示器可分 $0.1$ 、 $0.2$ 、 $0.3$ 、 $0.5$ 、 $1$ 、 $1.5$ 、 $2$ 、 $2.5$ 、 $3$ 和 $5$ 共 $10$ 个等级。确定准确度等级的基准值是 $90$ 电角度。同步指示器的技术要求基本上与相位表相同。同步表有电磁系、电动系、铁磁电动系、感应系和整流系等系列,但在目前大都采用电磁系或整流系的。

### 第二节 电磁系同步指示器

#### 一、结构原理

在电磁系同步指示器中,活动部分的旋转是靠旋转磁场。两个定圈夹角为 $90^\circ$ 的同步指示器结构原理如图11-1(a)所示,电路图如图11-1(b)所示。

图11-1中 $D_1$ 和 $D_2$ 是两个伺定线圈,接于待并发电机电路,用以产生旋转磁场。在这两个动圈的内部还有一个固定线圈 $D_3$ ,通过电阻 $R_0$ 接于运行的电网电路,用以产生脉动磁场。转轴安置在定圈 $D_3$ 中央,在转轴上除固定有指针外,还固定有两个铁片 $F_1$ 和 $F_2$ ,这两个铁片一个在线圈的上方,一个在下方,并与转轴一起构成Z字形。当同步指示器按图11-1(b)接线时,可动铁片将同时受到脉动磁场和旋转磁场的作用。

常见的电磁系同步指示器附加电阻的技术数据见表11-1,这些数据大都是实测的,不同生产厂家也可能有不同的数据,仅供参考。

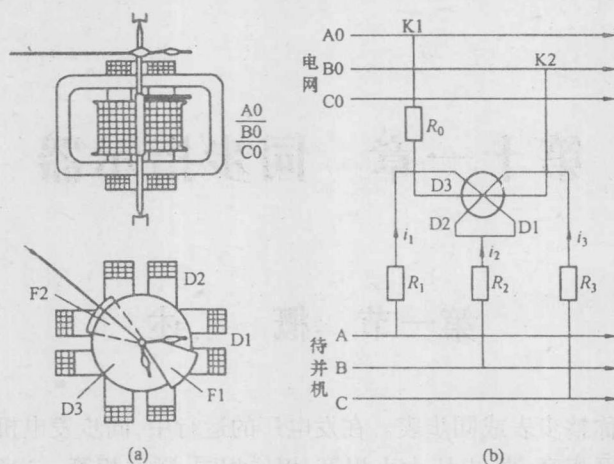


图 11-1 两线圈交叉成 90°的同步指示器

(a)结构原理图;(b)电路图

表 11-1 常见电磁系同步指示器附加电阻的技术数据

| 型号                 | 电压 $U(V)$ | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | $R_3(\Omega)$ | $R_0(\Omega)$ |
|--------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1T1-S              | 100       | 8531          | 2506          | 6545          | 11274         |
| 13T1-S<br>(45T1-S) | 100       | 3000          | 3000          | 3000          | 3500          |
| 19T1-S             | 127       | 10500         | 2870          | 7280          | 10500         |
| 1T6-S              | 100       | 35000         | 35000         | 35000         | 35000         |
| MZ10               | 100       | 3500          | 1000          | 4200          | 4000          |

## 二、MZ10 型组合式同步指示器

MZ10 型仪表的电路原理如图 11-2 所示。图中的下方是电磁系同步指示器,该表还有测量频率差和电压差的电路。

频率差表的两个输入端接至不同的电源,一端接至待并发电机,另一端接至电网。两个电压经稳压管削波整形并经电容器  $C_1$  微分和整流器整流后,两个直流电流分别注入磁电系流比计的两个线圈。因为直流电流与频率成正比,所以流比计的指示实际上反映了两个电压频率之差。当频率相等时,流比计两个线圈的转矩之和为零。当待并发电机电路的频率高于电网频率时,流比计的可动部分会产生一个偏转角,显示出频率差。当待并机的频率低于电网频率时,流比计的指针向另一个方向偏转,也显示出频率差。可见,频率差表偏转角的大小取决于频率差的大小;偏转方向取决于频率差的符号。

电压差表测量机构采用整流电路。两个电源分别经过全波桥式整流器变换成直流,并同时加于磁电系表头 M2,但方向相反。当两个电源电压相等时,加于仪表电路的电流差为零。指针偏转的方向取决于两个电源电压差的符号;偏转角的大小取决于电压差的

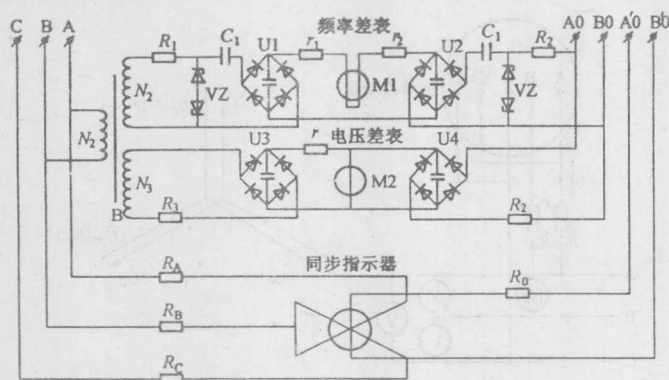


图 11-2 MZ10 型组合式同步指示器

大小。

### 第三节 同步指示器的检验

#### 一、检验项目

SD110—1983《电测量指示仪表检验规程》中规定的检验项目有：外观检查、基本误差（同步点）的测定、倾斜影响的检验、变差或灵活性的检验、快慢方向检查、指示器转速均匀性的检验等。另外，对新购进的或经修理后的同步指示器，还应做稳定性检验、绝缘电阻的测量、灵敏度和频率特性的试验以及电压特性的试验。

#### 二、检验方法

##### （一）基本误差（同步点）的检验

对同步指示器，仅在同步指示标志处有准确度要求，试验时不需预热。

国家标准 GB7676—1987 要求同步指示器的待并发电机线路和电网线路由分离电压源供电，然后在额定电压和额定频率下，调节待并发电机线路和电网线路间的相位差，使同步指示器指示在同步点，并记下这个相位差值  $B_D$ ， $B_D$  与基准值之比的百分数即为基本误差，基准值为 90 电角度。如对 2.5 级同步指示器来说，这个相位差的允许值为  $90^\circ \times 2.5\% = 2.25^\circ$ 。

测量两个电压之间的相位差需要相应的测量电压相位差的手段，采用常用的相位表是不行的。在 SD110—1983《电测量指示仪表检验规程》中规定用改变接线的方法检验同步点，其接线方法和相应的相量图如图 11-3 所示。图中的  $R_1$  和  $R_2$  是供作变差试验时用的。当检验作基本误差时，应使其为零。

图中被检同步指示器的 A、B、C 端钮是接向待并发电机相应电压的端钮；K1、K2 是接向电网的 A0、B0 相电压的。这种检验方法的优点是试验方法简单，且供给同步指示器的同步点（0°）是绝对准确的，缺点是需要在被检表上估读空间角以代替电气角，虽然这对转

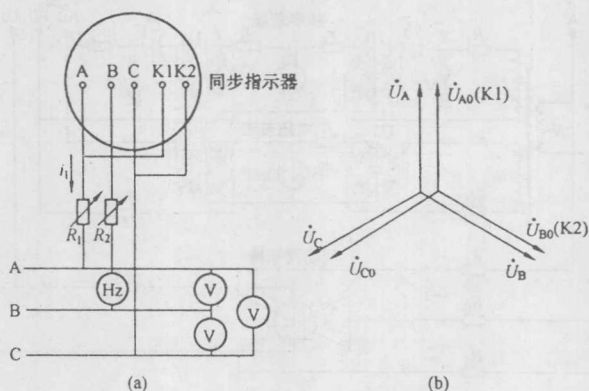


图 11-3 基本误差检验

(a)接线图;(b)相量图

角为  $360^\circ$  的同步指示器来说是允许的,但是估读误差太大。

## (二)变差的检验

检验变差仍按图 11-3 接线,首先使可变电阻  $R_2$  处于零值,  $R_1$  处于最大值。目的是减小同步指示器的电流  $i_1$ ,使中性点产生位移,因而指示器将偏离同步点一定距离,然后再缓慢减小电阻  $R_1$  直到为零。这时指示器理应回到同步点,但实际上由于摩擦等愿因无法回到同步点,设离同步点距离为  $\alpha_1$ 。

轻敲仪表使指示器回到同步点,使电阻  $R_1$  为零,此时增大电阻  $R_2$ ,使指示器向另外一个方向发生一定偏离。接着缓慢减小电阻  $R_2$  直到为零。这时指示器也应回到同步点,同样的原因它也可能回不到同步点,设离同步点距离为  $\alpha_2$ 。则  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的绝对值之和就是该同步指示器的变差。电力部检验规程规定,变差允许值为  $2.5^\circ$ 。

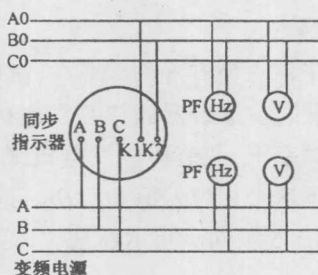


图 11-4 变频电源法

## (三)快慢方向的检查

检验同步指示器的快慢方向时可以采用变频电源法,接线如图 11-4 所示。

图中的三相电源 A、B、C 来自变频电源;三相电源 A0、B0、C0 是模拟电网电源。PF 是监视频率表,当变频电源的频率高于模拟电网的电源频率时,指示器应向“快”的方向转动;当变频电源的频率低于模拟电网频率时,指示器应向“慢”的方向转动。

#### (四)指示器转速均匀性的检验

作快、慢方向检查的同时就可以检查转速的均匀性。当用变频电源检查时,只要在频率差(在 1.5Hz 以下)恒定的情况下指示器转速大体均匀即可。

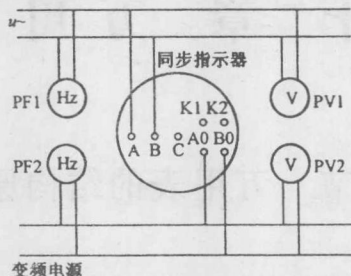


图 11-5 频率差表和电压差表检验

#### (五)组合式同步指示器的检验

对 MZ10 型组合式同步指示器的同步表部分可参照上述方法进行检验。检验频率差表和电压差表时可按图 11-5 接线,当检验频率差表时,可用单相电源,改变变频电源的频率,并由两只标准频率表 PF1、PF2 读数,取其差值和频率差表相比较;当检验电压差表时,不需要变频电源,只要其电压可以调节即可。检验时。可改变接到 A0、B0 端的电压,读取电压差表的读数,并将其与两只标准电压表 PV1、PV2 的读数相比较。

## 第十二章 万用表

### 第一节 万用表的结构原理

万用表俗称万能表,它可以测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、电阻、音频电平、电容、电感和晶体管的某些参数。

万用表主要由表头、测量线路和开关组成。表头实际上是一只磁电系毫安表或微安表,用以显示被测量的数值;测量线路实质上是多量限磁电系直流电流表、多量限直流电压表、多量限整流系交流电压表和多量限欧姆表的组合;其测量种类和测量范围的变换都是通过转换开关实现的。

上述测量功能中,电流表、电压表原理可参考指示仪表部分原理,本节主要介绍电阻测量功能。

#### 一、万用表的电阻测量电路

##### (一)原理电路

万用表的电阻档实质上就是一个多量限电阻表,其测量电阻的原理电路如图 12-1 所示。

图 12-1 的电源  $E$  为内附干电池,PA 是磁电系微安表,一般称其为电阻表的表头,  $R_0$  是表头支路电阻,  $R$  是附加电阻。使用时将被测电阻  $R_X$  与电源和表头相串联,故称这种接线的电阻表为串联接线的电阻表。另外还有一种并联接线的电阻表,即倒欧姆电阻表。

由图 12-1 可以看出,如果适当选择电阻  $R$ ,使  $R_X = 0$  时表头有满刻度偏转,则有

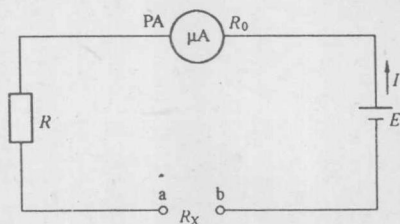


图 12-1 电阻表原理电路

$$I_{0m} = \frac{E}{R + R_0} = \frac{E}{R_i} \quad (12-1)$$

由此可得

$$R = \frac{E}{I_{0m}} - R_0 = R_i - R_0 \quad (12-2)$$

式中  $E$ ——电源(干电池)电动势, V;

$I_{0m}$ ——表头满刻度电流, A;

$R_i$ ——电阻表内阻,  $R_i = R_0 + R, \Omega$ ;

$R_0$ ——表头支路电阻, 包括内阻或调整电阻和补偿电阻,  $\Omega$ 。

当接入被测电阻  $R_X$  后, 电路的工作电流  $I$  为

$$I = \frac{E}{R + R_0 + R_X} = \frac{E}{R_i + R_X} \quad (12-3)$$

式(12-3)中电动势  $E$  和电阻表内阻  $R_i$  都是定值, 所以, 流过表头的电流的大小只与被测电阻的大小有关, 即流过表头的电流的大小是与被测电阻  $R_X$  的大小一一对应的。当被测电阻  $R_X = 0$  (即图 12-1 的 a、b 端) 时, 电流等于满刻度电流,  $I_{0m}$ , 表头指示满刻度, 标为  $0\Omega$ 。当被测电阻  $R_X$  趋于无穷大 (即 a、b 端开路) 时, 通过表头的电流为零, 表头无指示, 标为  $\infty\Omega$ 。当被测电阻  $R_X$  等于电阻表的内阻  $R_i$  ( $R_i = R + R_0$ ) 时, 流过表头的电流为

$$I = \frac{E}{2(R + R_0)} = \frac{E}{2R_i} = \frac{I_{0m}}{2}$$

即等于满刻度电流的  $1/2$ , 表头指针指在中间刻度线, 标以其数值等于电阻表内阻的值。

图 12-1 所示电路就是一个下限为  $0\Omega$ , 上限为  $\infty\Omega$  的简单电阻表。它的  $0\Omega$  刻度点对应表头的满刻度电流;  $\infty\Omega$  刻度点对应表头指示器的零位。以这种原理制成的电阻表称为串联式电阻表, 常见的电阻表基本上都是基于这种原理制成的。

## (二) 中值电阻

中值电阻又称电阻中心值, 它是电阻表的一个重要技术参数。当被测电阻  $R_X$  等于电阻表的内阻时, 表头的指示器指示在中间刻度线, 我们称这时的电阻为中值电阻, 也就是说中值电阻等于正常工作电压下电阻表的内阻。严格来说, 这个内阻还应包括供电电源(干电池)的内阻  $R_E$ , 即中值电阻  $R_T$  计算式为

$$R_T = R_i = R + R_0 + R_E \quad (12-4)$$

式中  $R_E$ ——电源内阻,  $\Omega$ 。

对于已经制成的电阻表, 标度尺半刻度点的电阻值就是该档的中值电阻, 这个中值电阻也就是电阻表的内阻。当电池电压有变化时, 经过调零, 仪表内阻将有所变化, 内阻将不再等于定度时的中值电阻, 从而产生测量误差。

## 二、电阻表的调零

在图 12-1 的电路中, 只有电阻表供电电池的电动势和内阻维持恒定不变, 才能对电阻进行准确测量。但是要始终维持电动势不变是困难的, 即使新出厂的干电池, 其电动势也有所差异, 当使用过一段时间以后其内阻增加, 输出电压也会相应减小。为此要采取调零措施, 即在电阻表的内部采取专门的调零电路。所谓调零, 对表头来说, 就是在电阻表