

中华人民共和国电力工业部技术改进局編

---

高压电气設備  
絕緣預防性試驗方法

電力工業出版社

中華人民共和國電力工業部科技教育司編

# 高压电气设备 绝缘特性试验方法

電力工業部編

## 內 容 提 要

本書系介紹电气設備絕緣預防性試驗的一些主要方法。全書共分六章：絕緣搖表試驗；洩漏電流試驗；介質損失角試驗；電容比試驗；交流耐壓試驗；絕緣油試驗。每章中扼要的介紹了各種試驗的基本原理，各種接線圖，試驗時的操作步驟和誤差的清除方法，試驗的注意事項以及試驗結果的分析判斷等。

本書可供從事電力系統中的电气試驗、運行、檢修人員和工業企業的电气工作人員參考。

中華人民共和國電力工業部技術改進局編  
高壓电气設備絕緣預防性試驗方法

724G106

電力工業出版社出版 北京復興門外社會路

北京市書刊出版營業證許可能出字第 082 號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787 × 1092 $\frac{1}{2}$  開本 \* 2 $\frac{3}{4}$  印張 \* 54 千字

1958 年 1 月北京第 1 版

1958 年 1 月北京第 1 次印刷(0001—5,100 冊)

統一書號：15036·620 定價(第10類) 0.36 元

# 目 錄

序言	
第一章 絕緣搖表試驗	4
第一节 概論	4
第二节 試驗步驟	7
第三节 注意事項	8
第四节 各种因素对絕緣电阻的影响	8
第五节 吸收試驗反映 B 級絕緣和 A 級絕緣局部缺陷及其受潮程度的作用	10
第二章 洩漏电流試驗	11
第一节 概論	11
第二节 几种試驗接綫的比較	12
第三节 試驗步驟	22
第四节 注意事項	23
第五节 影响試驗結果的因素	24
第三章 介質損失角試驗	26
第一节 概論	26
第二节 介質損失角与頻率及溫度的关系	30
第三节 試驗方法	31
第四节 測量介質損失角的一般注意事項	40
第五节 介質損失角試驗与設備局部缺陷的关系	41
第四章 电容比試驗	45
第一节 概論	45
第二节 試驗方法	48

<b>第三节</b>	影响测量结果的因素 .....	51
<b>第四节</b>	用电容比法试验 A 级绝缘受潮的效能 .....	51
<b>第五章</b>	<b>交流耐压试验</b> .....	<b>52</b>
<b>第一节</b>	概论 .....	52
<b>第二节</b>	试验方法及接线 .....	54
<b>第三节</b>	操作步骤 .....	59
<b>第四节</b>	注意事项 .....	60
<b>第五节</b>	直流耐压试验及其在旋转电机预防性试验中的 作用 .....	63
<b>第六节</b>	感应层间绝缘耐压试验 .....	65
<b>第六章</b>	<b>绝缘油试验</b> .....	<b>67</b>
<b>第一节</b>	概论 .....	67
<b>第二节</b>	取样 .....	68
<b>第三节</b>	击穿强度试验 .....	69
<b>第四节</b>	绝缘油的介质损失角试验 .....	72
<b>第五节</b>	绝缘油的劣化及其介质损失角增高的原因 .....	72
<b>附录</b>	<b>介质损失角温度换算表</b> .....	<b>76</b>

## 序 言

在运行中的高压电气设备的絕緣，由於制造、檢修过程中所殘留的缺陷及运行中受到机械、电气、热和化学因素的作用，而不断的在老化、变脆，以致失去其絕緣性能。如不經常的进行監視，及时地發現並消除其缺陷，則必將由於缺陷的發展，导致电力系統的停电事故。

根据我国及苏联电力系统多年来的运行經驗和事故分析說明：电力系统所發生的停电事故，絕大部份是由於絕緣不良所引起的。为了提高电力系统运行的可靠性，对高压电气设备的絕緣进行定期的預防性試驗，是積極有效的办法。

在預防性試驗中，耐压試驗对判断电气设备絕緣能否繼續参加运行，具有决定性的意义。但是在我們學習苏联先进經驗以前的时期，曾仅用搖表測量絕緣电阻后，便立即进行耐压試驗。这样常常造成設備絕緣不应有的击穿，因而延長了檢修或設備投入运行的時間。

預防性試驗的效果，不仅依靠增加試驗的項目，还必須有准确的試驗方法和程序。由於过去試驗标准的不統一，試驗方法的不正确，許多外界影响未能消除，因而降低了試驗質量，甚至得出令人怀疑的結果，这样反而造成了現場运行人員的疑虑。

为了更好的貫徹高压电气设备的預防性試驗和統一試驗的方法，特根据苏联及我国几年来預防性試驗的經驗，編写“高压电气设备絕緣預防性試驗方法”一書，以供各局、厂、綫路工区試驗及维护檢修人員参考。

# 第一章 絕緣搖表試驗

## 第一节 概論

直流电压作用於任何电介質上所發生的基本特性过程，是構成介質質点的極化，即使这些質点的电荷發生可逆性位移。当作用电压並不太大时，电介質的束縛电荷按其所受作用力的方向發生位移，电压愈高，即电場强度越强，位移就越大。正电荷沿电場方向位移，負电荷則沿反方向位移，这种由於中性分子的正負电荷位移而产生的电流，称为充电电流。

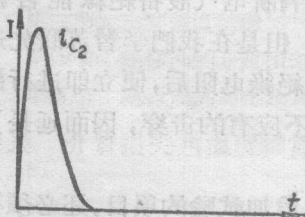


圖 1-1 在直流电压下固体介質內充电电流对時間的变化

它随加压時間的增長而減小，並決定於介質組成部份的介質常数和充电回路的电阻，其对時間的变化曲綫，如圖 1-1 所示。

假如电介質由偶極子分子組成，則在外电場作用下，偶極子將沿电場的方向而轉动，其轉矩大小，依偶極子的电矩、分子的热运动，以及介質的粘度而不同。

在离子式結構的介質中，介質在外电場作用下，束縛离子將随电場的方向發生彈性位移。

在結構不均勻的介質中，因为兩種介質的介質常数和导电率的不同，电位梯度及电位移的分佈也不一样。电压的分佈开始決定於其电容量（即介質常数），經過一段足够長的時間以后，就決定於其导电率。当电压从第一种分佈，过渡到第二种分佈时，在兩種不同介質常数的介質的交界面上，累积了

电荷，同时介质内部有电流流过。由以上这三种极化所产生的电流称为吸收电流，它也随加压时间的增长而减小，但比充电电流慢得多，并决定于介质的不均匀程度和组成介质的结构形态。其对时间的变化曲线如图 1-2 所示。

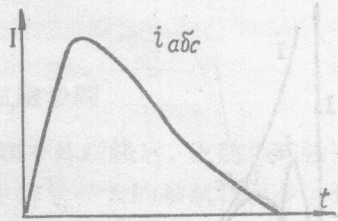


图 1-2 在直流电压下固体介质内吸收电流对时间的变化

通常工程上所用的介质，并非纯粹的绝缘体，里面还有极少数的游离电子。要想使这些电子沿电场方向运动，需要一定大的能量。当电压作用在介质上时，其分子的构造就有发生变化的倾向，若干电子被分离，并为介质内既存的游离电子所代替。这样，其电荷就依着电场强度，以一定的速度依次傳遞，从一电极流向另一电极。

这些游离电子移动所产生的电流称为传导电流，它在经过一定时间的加压后即趋于恒定，其值决定于介质在直流电场内的导电率。传导电流对时间的变化曲线如图 1-3 所示。

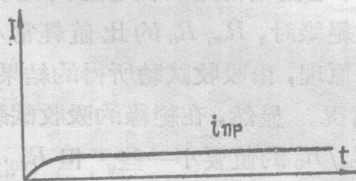


图 1-3 在直流电压下固体介质内传导电流对时间的变化

综合上述，当直流电压作用于任何介质上时，通过的电流可分为三部分：传导电流与介质表面的清洁情况及受潮有关，而与时间无关；吸收电流和充电电流与受潮及时间都有关系，同时随加压时间的增长而逐渐减小，在相当长时间的加压后，趋近于零。这三个电流的总和，如图 1-4 所示。

所谓绝缘电阻试验，就是用绝缘电阻来表示与时间无关的传导电流。当介质



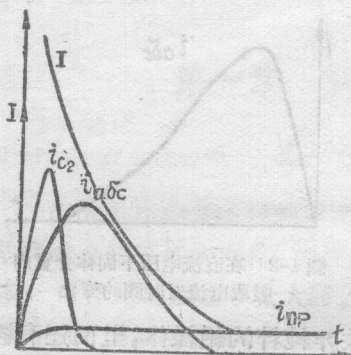


圖 1-4 直流电压下固体介質內所  
产生的电流的总和

的曲线称为吸收曲线。由吸收曲线的衰减情况，可以判断绝缘的受潮情况以及绝缘内部有无局部缺陷存在。这可以从下面的关系式中看出来，

$$R_{\infty}/R_0 = 1 + \frac{I_{a0}}{I_{np}}$$

式中  $I_{np}$ ——传导电流；

$I_{a0}$ ——充电电流和吸收电流的起始值；

$R_0$ ——加压瞬间（即  $t_1 \rightarrow 0$ ）时的绝缘电阻值；

$R_{\infty}$ ——测量过程終了（假设  $t_2 \rightarrow \infty$ ）时的绝缘电阻值。

当绝缘受潮程度增加时，传导电流经常比吸收电流的起始值增长得快，因此在测量潮湿绝缘时， $R_{\infty}/R_0$  的比值经常小些。而其极限为 1，应用这一原理，由吸收试验所得的结果，就可以很好的判断出绝缘的情况。显然，在绝缘的吸收试验中  $R_{60''}/R_{15''}$  的数值一定比  $R_{\infty}/R_0$  的值要小一些。但  $R_{60''}/R_{15''}$  的比值和受潮程度的关系，基本上仍然和  $R_{\infty}/R_0$  的比值和其受潮程度的关系一样，实际上要测出  $R_{\infty}/R_0$  的比值是有

受潮、髒污或开裂以后，由于潮气的侵入，使得介質內的游离电子增加，因而传导电流剧增，绝缘电阻当然就小了，所以由绝缘电阻的大小，可以初步了解绝缘的情况。

在绝缘摇表试验中，一方面可以求得加压到一定时间后的绝缘电阻值，同时还可以求得绝缘电阻与加压时间的关系。表示这一关系的

困难的。因此在預防性試驗中採用  $R_{60}''/R_{15}''$  的比值，但这样並不会影响其实用价值。

## 第二节 試驗步驟

1. 拆除被試物的电源及一切对外联綫后，应將被試物接地放电，放电時間至少 1 分鐘，电容量較大的被試物至少 2 分鐘。

2. 用干燥、清潔的柔軟布，擦去被試物表面污垢。

3. 將搖表放在水平位置，並在額定轉速下調整指針到“∞”。

4. 將被試物接地綫接於搖表的“E”或“g”柱上，被試物引出綫(包括所測綫圈的所有出頭)接於搖表的“綫”(“L”或“d”)柱上。如被試物接綫端可能产生表面洩漏电流时，应加遮蔽接於搖表的“保护”(“G”或“g”)柱上。如圖 1-5 所示。

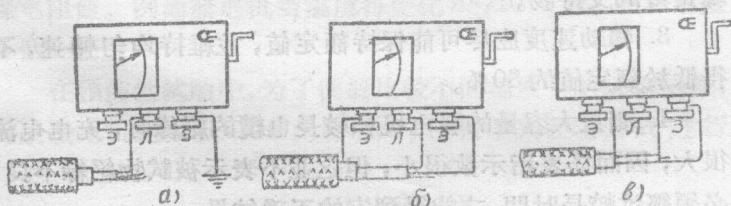


圖 1-5 用搖表測絕緣电阻的接綫圖  
a—測对地絕緣；b, c—測相間絕緣，加以保护。

5. 以恆定速度轉动搖表把手(約每分鐘 120 轉)，搖表指針逐漸上昇，待 1 分鐘后，記錄其絕緣电阻值。

6. 在录制吸收曲綫时，为了在开始計算時間时，就能在絕緣上加上全部試驗电压，应於搖表接地側裝一絕緣良好的刀閘。当搖表达額定轉数后合上刀閘，同时开始計算時間，在一

分鐘內，每 15 秒鐘記錄一次讀數。

7. 試驗完畢或重復試驗時，必須將被試物對地充分放電，至少 2 分鐘。

8. 記錄被試物溫度和氣候情況。

### 第三節 注意事項

1. 雙迴路架空送電綫或母綫當一路帶電時，不得測另一路的絕緣電阻，以防止感應高壓、損壞儀表或危害人身安全。在下列極個別情況下，可考慮帶電測絕緣電阻。

(1) 不可能全部停電的雙迴路架空輸電綫路或母綫，當確認為被試綫路感應電壓不高時。

(2) 短路干燥發電機的電壓不高時。

2. 搖表接綫端及接地端的引出綫不要靠在一起，如接綫端引出綫必須經其他支持物才能和被試物接觸時，必須用絕緣良好的支持物。

3. 轉動速度應尽可能保持額定值，並維持均勻轉速，不得低於額定值的 80%。

4. 測量大容量的發電機和較長電纜的絕緣時，充電電流很大，因而搖表指示數很小，但這並不表示被試物絕緣不良，必須經過較長時間，才能得到它的正確結果。

5. 如所測絕緣電阻過低，應分部試驗，找出絕緣電阻最低部份。

### 第四節 各種因素對絕緣電阻的影響

1. 濕度對絕緣電阻的影響

絕緣物的吸潮量，隨濕度的變化而變化。當空氣相對濕度大時，絕緣物由於毛細管作用，吸收較多水份，致使導電率

增加，降低了絕緣电阻值，尤其是对表面洩漏电流的影响更大。例如温度为  $20^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 70% 时，每一立方公尺的空气中水蒸汽的重量为 12.32 克。若在相同的湿度下，温度增至  $30^{\circ}\text{C}$  时，則水蒸汽重量增至 19.32 克，为前者的 1.56 倍。这样絕緣物的吸潮程度，当然有所不同。

## 2. 温度的影响

絕緣物的絕緣电阻，是随着温度的变化而变化的，其变化程度又随絕緣的种类而異。富於吸湿性的材料，受温度的影响最大，一般絕緣电阻随温度的上昇而減少。这是因为温度昇高，加速了介質內部分子的运动，同时絕緣內的水份，在低温时和絕緣物相結合的緣故。当温度上昇时，水份即向電場兩極伸長，这样在纖維物質中呈細長綫狀的水份粒子伸長，因而增加其导电性。此外，水份中含有溶解的雜質或絕緣物內含有鹽性、酸性物質，被水分解亦增加导电率，因而降低了絕緣电阻值。例如發电机当温度每变化  $8\sim 10^{\circ}\text{C}$  时，絕緣电阻降低一倍。

在預防性試驗中，为了便於比較不同温度下的試驗結果，對於發电机絕緣以  $75^{\circ}\text{C}$  为标准时，应按下列經驗公式进行換算。

$$M\Omega_{75} = \frac{M\Omega_t}{2^{\frac{75-t}{10}}}$$

式中  $M\Omega_{75}$ ——温度在  $75^{\circ}\text{C}$  时之絕緣电阻(兆欧)；

$M\Omega_t$ ——温度为  $t^{\circ}\text{C}$  时所測得的絕緣电阻值(兆欧)；

$t$ ——測定时之温度( $^{\circ}\text{C}$ )。

對於 A 級絕緣的絕緣电阻換算式为：

$$R_2 = R_1 10^{\alpha(t_1 - t_2)}$$

式中  $R_1$ ——温度为  $t_1$  时，測量得的絕緣电阻值；

$R_2$ ——換算至溫度為  $t_2$  時的絕緣電阻值；  
 $\alpha$ ——絕緣的溫度係數，它隨絕緣材料的種類而異，對於 A 級絕緣材料  $\alpha = 1/4$ 。

### 第五節 吸收試驗反映 B 級絕緣和 A 級絕緣局部缺陷及其受潮程度的作用

1. 吸收試驗，反映 B 級和 B 級浸膠絕緣的旋轉電機的局部缺陷和受潮程度最為靈敏。

由於近代的高壓旋轉電機的靜子主絕緣，主要是採用連續雲母帶，而雲母帶是用膠將紙或綢布與薄片雲母黏合而成的，其結構極不均勻，與純雲母性質不同，因而用雲母帶絕緣的電機，其吸收現象非常明顯。發電機靜子絕緣在製造過程中，已經過多次真空浸漬處理，其內部幾乎無氣泡和空隙，而雲母本身又具有不易吸潮的特性，即使受潮，潮氣亦不易深入，主要是沿着電場等位面分佈（雲母層之間）；除有局部缺陷，如絕緣發生裂紋等外，潮氣夾雜物沿電力綫方向並無伸長現象，因而 B 級和 B 級浸膠絕緣的電機受潮後，除非特別嚴重時，其吸收曲綫基本上不改變。當局部缺陷及絕緣結合部份嚴重受潮時，將大大增加其傳導電流，致使其吸收曲綫改變。根據這一原理，對 B 級和 B 級浸膠絕緣的電機進行吸收試驗，由其吸收比  $R_{60''}/R_{15''}$  的變化，可以反映絕緣的情況。

2. A 級絕緣的設備（如變壓器等）的吸收現象並不顯著。纖維質絕緣物的電氣設備，如變壓器等，其  $R_{60''}/R_{15''}$  的數值和受潮程度的關係比較不顯著。這是由於這類絕緣，當其受潮程度增長時，不單是傳導電流增長，吸收電流亦同時增長。此外，沒有受潮的變壓器的吸收電流本來就小。又由於變壓器的固體絕緣物是用棉紗、電纜紙等絕緣材料，而這些固

体絕緣，仅为变压器絕緣的一小部份，其主要部份是由絕緣油組成，絕緣油是沒有吸收特性的（合成油除外）。同時沒有受潮的变压器等的纖維絕緣，是相當均勻的，即使浸入絕緣油后，也相差不大，因而吸收現象不顯著。所以吸收試驗在判斷变压器等纖維質絕緣的綫圈受潮上，不太灵敏（与B級絕緣相比較），但仍具有相當的反映能力，並且在变压器的整體試驗中，利用吸收比的大小能有效的發現絕緣紙板、套管及綫圈上的油泥等局部缺陷。因为当这些部份有局部弱点存在时，其傳导电流大增，吸收比也就減小。由於它在一定程度上能反映絕緣受潮程度，同時又能有效地發現局部缺陷，故在預防性試驗中仍应进行吸收試驗。

## 第二章 洩漏电流試驗

### 第一节 概論

洩漏电流試驗的原理与搖表試驗完全相同。不过洩漏电流試驗中所用的直流电源，一般均由高压整流設備供給，用微安表来指示洩漏电流。它比搖表优越的地方是：試驗电压可随意調节和試驗电压高。对一定电压等級的被試物施以相应的試驗电压，可使絕緣本身的弱点更易显示出来。同時在昇压过程中，可随时監視微安表的指数，以了解絕緣情况。另外微安表的讀数較搖表灵敏。

加直流电压於被試物时，其充电电流会随着時間的增長而逐漸衰減至零，而傳导电流則保持不变。微安表在加压一定時間后，讀取其数值（一般为加压一分鐘后讀数）。對於良好的絕緣物，其傳导电流与一定的外施电压的关系应为一直

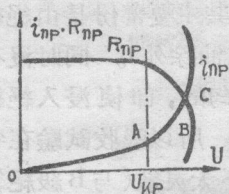


圖 2-1 絕緣电阻和傳導  
電流與外施電壓的關係

綫。

但是實際上洩漏電流與電壓的關係曲綫，僅在一定的範圍內是類似直綫的，超過此範圍後，就會顯著彎曲。如圖 2-1 所示。當電壓增加到 B 點以後，電子活動更加劇烈，此時電流的增長要比電壓增長快得多。如圖 2-1 中 BC 綫段所示。到 C 點以後，如果電壓再增加，則電流急劇增長，產生更多的損耗，以至絕緣物破壞，發生击穿。

在預防性試驗中，洩漏試驗所加的直流電壓，大都在 A 點以下，故對絕緣良好者，其伏安特性應屬直綫關係。然當，絕緣有缺陷（全部或局部）或受潮的現象存在時，則傳導電流將急劇增加，而其伏安特性曲綫就不再成為直綫關係了。因此，洩漏試驗可以分析絕緣有無缺陷和受潮現象存在。在發掘絕緣局部缺陷上，洩漏電流試驗就更具有其特殊的意義了。

## 第二節 幾種試驗接綫的比較

洩漏電流試驗接綫圖，根據微安表及整流管所處位置的不同，可有 6 種接綫方式。但嚴格的說來只有兩種，即按微安表所處位置的不同而分。因為整流管所處位置僅決定於試驗變壓器的條件，如試驗變壓器為二個高壓出頭，且一頭套管能承受二倍試驗電壓時，則可盡量地將高壓整流管燈絲接地，因為這樣可以降低燈絲變壓器的絕緣強度。

下面對各種不同接綫的優缺點加以研究：

### 1. 微安表處於高壓端

圖 2-2 中的 K 是高壓整流管，是發生高壓直流電源的主要設備。T<sub>p</sub> 是高壓試驗變壓器。T<sub>k</sub> 是燈絲變壓器，其容量

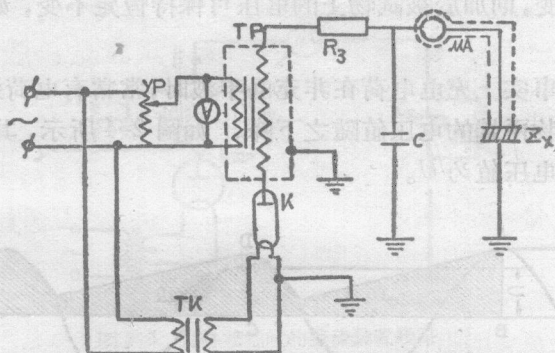


圖 2-2 整流管燈絲在低壓微安表處於高壓時的洩漏試驗結綫圖

及电压之大小，可根据整流管的灯絲电压及电流而定，其絕緣情况的要求（需承受高压抑或低压），則決定於整个設備綫路的设计。 $R_3$ 是保护电阻，用以限制被試物击穿时的短路电流，来保护高压变压器及微安表，其值可用每伏 10 欧。 $C$ 是鎮定电容，一般需要 0.01—0.1 微法，其耐压强度必須能承受最大直流試驗电压。如無合适的电容器，可用几个电压較低的电容器串联，仍必須注意其絕緣强度，不致引起击穿。

在半波整流裝置中若無鎮定电容器，而被試物的电容又很小时，输出的直流高压（即加於被試物上的电压）的平均值，一般可能低於根据交流計算的波峯值的 10—40%，使試驗結果發生誤差，茲略述如下：

設被試物的电容量为  $C$ ，在充电半波时，其兩端电压为  $U_m = \frac{Q}{C}$ ， $Q$  为充电电荷量，在非充电半波时，若充电电荷毫無逸出，即

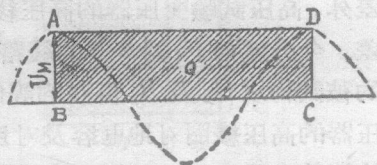


圖 2-3 非充电半波时，充电电荷毫無逸出时的输出电压波形



$Q$  值不变, 則加於被試物上的电压可保持恆定不变, 如圖 2-3 所示。

但事实上充电电荷在非充电半波时, 常常有电荷逸出, 因此被試物兩端的电压值随之下降。如圖 2-4 所示, 其每週波的平均电压值为  $U$ 。

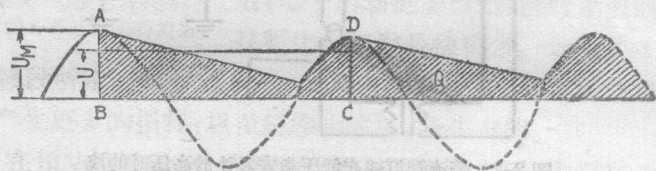


圖 2-4 非充电半波时, 充电电荷有逸出时的输出  
电压波形

因  $U_m = \frac{Q}{C}$ , 由此可見, 电容量較小的被試物, 其充电量  $Q$  也小, 故充电量  $Q$  的减小, 影响电压值較大。由於对輸出直流电压的測量, 一般不是在高压側进行, 只是用低压側交流电压值換算, 即直流  $U_m = U_{A.C} \times \text{电压比} \times \sqrt{2}$ , 致使加於被試物的試驗电压有一定的誤差。应用併联鎮定电容器的目的, 在於减少这种誤差。對於發电机、变压器及長电纜等被試物而言, 因其本身电容量較大, 受此影响較小, 故鎮定电容器  $C$  有时可省略不用。

圖 2-2 的整流裝置綫路中, 除去由於半波整流引起的誤差外, 高压試驗变压器的高压綫圈对地电容  $C_{mp}$  也会引起誤差。今分述如下: 圖 2-5 的綫路和圖 2-2 完全一样, 只是这里的被試物以  $C_x$  及  $R_x$  併联的等值电路来表示, 而高压試驗变压器的高压綫圈对地电容及对地絕緣, 則以  $C_{mp}$  及  $R_{mp}$  併联的等值电路来表示。因为半波整流引起的誤差与被試物的絕緣电阻  $R_x$  有关, 故在理想的情况下, 当  $R_x = \infty$  时, 这种誤差