



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106019186 B

(45)授权公告日 2019.11.05

(21)申请号 201610387429.X

(22)申请日 2016.06.03

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106019186 A

(43)申请公布日 2016.10.12

(73)专利权人 国网河北省电力公司电力科学研  
究院

地址 050021 河北省石家庄市体育南大街  
238号

专利权人 国家电网公司  
河北省电力建设调整试验所

(72)发明人 刘宏亮 张建军 陈志勇 高树国  
刘振 其他发明人请求不公开姓名

(74)专利代理机构 石家庄新世纪专利商标事务  
所有限公司 13100

代理人 刘磊娜

(51)Int.Cl.  
G01R 33/14(2006.01)

(56)对比文件  
CN 106093811 A,2016.11.09,  
CN 202749185 U,2013.02.20,  
CN 104483639 A,2015.04.01,  
CN 104833928 A,2015.08.12,  
US 4456875 A,1984.06.26,  
CN 105425175 A,2016.03.23,

审查员 张晓玲

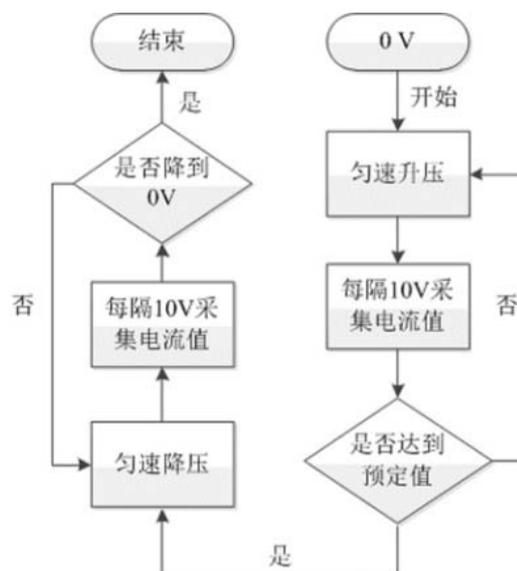
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测  
方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法,用于大型电力变压器铁心剩磁的现场检测,包括变压器空载电流加压初始阶段电流上升曲线;变压器空载电流加压初始阶段电流下降曲线;电流上升、下降曲线差异性表征与计算;变压器铁心剩磁大小判定标准。铁心剩磁对变压器空载电流的加压初始阶段影响较大,该检测方法通过测量铁心剩磁造成的电压上升、下降阶段同一电压值下的电流值差异,绘制电流上升、下降曲线,利用电流上升、下降曲线差异性进行铁心剩磁判定,检测准确度高,所需检测仪器体积小、重量轻,接线简单,便于变压器铁心剩磁的现场检测。



1. 一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法,其特征在于,其包括绘制单相变压器空载电流加压初始阶段电流上升曲线和单相变压器空载电流加压初始阶段电流下降曲线,然后比对电流上升曲线和电流下降曲线的差异,对单相变压器铁心剩磁大小进行判断;单相变压器铁心剩磁检测方法具体包括如下步骤:

(1) 绘制单相变压器空载电流加压初始阶段电流上升曲线

1.1 在单相变压器低压绕组两端从0开始施加交流电压,按照一定的速率匀速升高电压;

1.2 在升压过程中,每升高Q伏电压采集一次电流值,分别记录第m次采集的电流值 $I_m$ 和电流值 $I_m$ 对应的电压 $U_m$ ,直至加压到预定值;

1.3 根据采集到的不同电压 $U_m$ 下的电流值 $I_m$ 绘制电流上升曲线;

(2) 绘制单相变压器空载电流加压初始阶段电流下降曲线

2.1 从步骤1.2的预定值,以1.1中的速度匀速降低电压;

2.2 在降压过程中,每降低Q伏电压采集一次电流值,分别记录第n次采集的电流值 $i_n$ 和电流值 $i_n$ 对应的电压 $u_n$ 直至电压为0;

2.3 根据采集到的不同电压 $u_n$ 下的电流值 $i_n$ 绘制电流下降曲线;

(3) 比对电流上升曲线和电流下降曲线的差异,对单相变压器铁心剩磁大小进行判断;

所述步骤(3) 电流上升曲线和电流下降曲线的差异的表征和计算方法如下:

a) 通过公式(1)计算电流上升曲线的 $X_1$ :

$$X_1 = \sum \frac{I_m}{U_m} \quad \text{公式(1);}$$

其中 : $X_1$ 为电流上升曲线计算值;

$U_m > 50$ ,当 $U_m$ 小于50V时,电流值误差较大,需要舍弃;

b) 通过公式(2)计算电流上升曲线的 $X_2$ :

$$X_2 = \sum \frac{i_n}{u_n} \quad \text{公式(2);}$$

其中: $X_2$ :电流下降曲线计算值;

$U_n > 50$ ,当 $U_n$ 小于50V时,电流值误差较大,需要舍弃;

c) 通过公式(3)计算差异系数D:

$$D = X_1 / X_2 \quad \text{公式(3),}$$

d) 当差异系数D在设定阈值以下时,剩磁较小,单相变压器无需进行消磁处理;差异系数大于设定阈值时,剩磁较大,单相变压器需进行消磁处理;

所述变压器为三相变压器时,需分相进行铁心剩磁分析,将每个绕组分别视为单相变压器,三相变压器视为三个独立单相变压器分别按照上述步骤进行铁心剩磁分析。

2. 根据权利要求1所述的一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法,其特征在于,所述Q为10或5。

3. 根据权利要求1所述的一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法,其特征在于,所述预定值选择与电压等级有关,低压侧为10kV及以下的变压器施加电压采用200V,低

压侧为35kV及以上的变压器施加电压采用400V。

## 一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及变压器现场试验与安全运行研究领域,具体涉及到一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法。

### 背景技术

[0002] 磁性物质都具有保留其磁性的倾向,即磁感应强度B的变化总是滞后于磁场强度H的变化,这种现象就是磁滞现象。磁性体的磁化存在着明显的不可逆性。一般来说,处于磁场中的铁磁元件,其磁感应强度B并不是磁场强度H的单值函数,而依赖于其所经历的磁状态。当磁性物质从初始状态开始磁化时,磁感应强度B随磁场强度H增大而增大,当磁感应强度B趋于饱和时,记此时的磁感应强度为 $B_s$ ,磁场强度为 $H_s$ 。此后若减小磁场,磁感应强度B随磁场强度H的变化偏离原先的起始磁化曲线,B的变化落后于H。当H减小至零时,B并不为零,而是具有一定的剩余磁感应强度,简称剩磁,用 $B_r$ 表示。国际制单位为特斯拉(T),在高斯单位制中, $B_r$ 单位为高斯(Gs),换算关系 $1T=10000Gs$ 。当磁化磁场作周期的变化时,铁磁元件中的磁感应强度与磁场强度的对应关系形成一条封闭曲线,称为磁滞回线。

[0003] 变压器铁心一般采用含硅量在0.8~4.8%的硅钢片制作而成,是一种具有较高电阻率,较大磁导率,较小矫顽力的铁磁材料,新投运或大修后的变压器进行绕组直流电阻测试等试验后,由于铁心材料的磁滞效应,会在铁心中保留一定量的剩磁。随着电网的发展,电力容量及电压等级的增加,变压器单台容量也越来越大,变压器直流试验后,铁心中可能残留的剩磁也越来越大。较大的铁心剩磁使变压器投运时产生数值较大、时间较长的励磁涌流,导致继电保护装置的误动作,使变压器不能顺利投运;使变压器的震动、噪声增大,对变压器的结构件产生影响,缩短变压器的大修周期;使变压器输入、输出的电压、电流量数据不准确,从而对很多常规试验项目产生干扰,甚至使某些试验失去意义;使铁心半周饱和,在励磁电流中产生大量偶次谐波,不仅增加了变压器的无功损耗,也让变压器成为电网谐波源,影响供电质量,同时也可能与级联或并联的变压器形成和应涌流,威胁相关一次设备的安全稳定运行。

[0004] 基于变压器铁心剩磁带来的危害,大型电力变压器直流试验后,在投运前很有必要对其进行铁心剩磁的检测与消除,以避免剩磁威胁设备、电网的安全稳定运行。国家电网公司西北分部下发的《防止大型变压器剩磁影响的措施(试行)》中就明确规定,750kV主变压器交接试验及状态检修例行试验中直流电阻测试后必须消除铁心剩磁,1000kV特高压试验规程中也同样要求变压器直流电阻测试后消除铁心剩磁,并且220kV及以上且容量180MVA及以上的变压器铁心剩磁检测与消除也得到了越来越多的重视。

[0005] 目前,变压器铁心剩磁测量一般有以下几种方法:

[0006] (1) 利用变压器空载合闸后的电压电流数据,寻找变压器铁心饱和时刻,进而估算变压器分闸后的剩磁。

[0007] (2) 在电压上升和下降过程中,同一电压下的励磁电流相同。

[0008] (3) 励磁电流的波形上下对称,无偶次谐波分量。

[0009] (4)比较消磁前后的励磁电流值。

[0010] 上述方法(1)铁心剩磁估算方法需要确定空载合闸角 $\alpha$ ,不能满足变压器投运前现场剩磁初值测量需求。方法(2)、(3)需要在交流电压很高的情况下才能完全起到上述的效果,但此时所需要的设备必然会较复杂,所用时间也较长,不便于现场快速剩磁检测,如果采用低电压(小与额定电压的1%)时,测量励磁电流的波形误差较大,不能反映出是否具有剩磁。通过测量电压上升和下降的电流曲线,不能重复反映一个变压器的剩磁情况。方法(4)通过比较消磁前后的励磁电流值,如果变压器具有较大剩磁,比较消磁前后的励磁电流值,如果同一电压下的电流值减小了,也可能是消磁过程起了作用,如果变压器没有剩磁,消磁后的励磁电流也可能增大,并不能对变压器原有剩磁进行准确检测。

[0011] 综上所述,以上几种变压器剩磁检测方法只能在某种特定的情况下才能进行,对现场环境、设备仪器要求也各有不同,通用性较差,检测结果准确度不高,不适合现场使用。

## 发明内容

[0012] 本发明的目的在于克服现有技术的缺陷,提供一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法,其可以有效解决剩磁现场检测对环境、设备仪器要求高,通用性差,检测结果准确度不高的技术问题。

[0013] 为了实现上述目的,本发明采取的技术方案如下:

[0014] 一种基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法,其包括绘制变压器空载电流加压初始阶段电流上升曲线和变压器空载电流加压初始阶段电流下降曲线,然后比对电流上升曲线和电流下降曲线的差异,对变压器铁心剩磁大小进行判断。

[0015] 进一步地,所述变压器为三相变压器时,需分相进行铁心剩磁分析,将每个绕组分别视为单相变压器,三相分体变压器视为三个独立变压器分别进行铁心剩磁分析。

[0016] 进一步地,单相变压器的检测具体包括如下步骤:

[0017] (1)绘制变压器空载电流加压初始阶段电流上升曲线

[0018] 1.1在变压器低压绕组两端从0开始施加交流电压,按照一定的速率匀速升高电压;

[0019] 1.2在升压过程中,每升高Q伏电压采集一次电流值,分别记录第m次采集的电流值 $I_m$ 和电流值 $I_m$ 对应的电压 $U_m$ ,直至加压到预定值;

[0020] 1.3根据采集到的不同电压 $U_m$ 下的电流值 $I_m$ 绘制电流上升曲线;

[0021] (2)绘制变压器空载电流加压初始阶段电流下降曲线

[0022] 2.1从步骤1.2的预定值,以1.1中的速度匀速降低电压;

[0023] 2.2在降压过程中,每降低Q伏电压采集一次电流值,分别记录第n次采集的电流值 $i_n$ 和电流值 $i_n$ 对应的电压 $u_n$ 直至电压为0;

[0024] 2.3根据采集到的不同电压 $u_n$ 下的电流值 $i_n$ 绘制电流下降曲线;

[0025] (3) 比对电流上升曲线和电流下降曲线的差异,对变压器铁心剩磁大小进行判断。

[0026] 进一步地,所述步骤(3) 电流上升曲线和电流下降曲线的差异的表征和计算方法如下:

[0027] a)通过公式(1)计算电流上升曲线的 $X_1$ :

[0028] 
$$X_1 = \sum \frac{I_m}{U_m}$$
 公式(1),

[0029] 其中 $U_m > 50$ , 当 $U_m$ 小于50V时, 电流值误差较大, 需要舍弃;

[0030] b) 通过公式(2) 计算电流上升曲线的 $X_2$ :

[0031] 
$$X_2 = \sum \frac{i_n}{u_n}$$
 公式(2),

[0032] 其中 $u_n > 50$ , 当 $U_m$ 小于50V时, 电流值误差较大, 需要舍弃;

[0033] c) 通过公式(3) 计算差异系数D

[0034]  $D = X_1 / X_2$  公式(3);

[0035] d) 当差异系数D在设定阈值以下时, 剩磁较小, 变压器无需进行消磁处理; 差异系数大于设定阈值时, 剩磁较大, 变压器需进行消磁处理。

[0036] 进一步地, 所述Q为10或5。

[0037] 进一步地, 所述预定值选择与电压等级有关, 低压侧为10kV及以下的变压器施加电压采用200V, 低压侧为35kV及以上的变压器施加电压采用400V。

[0038] 与现有技术相比, 本发明所取得的有益效果如下:

[0039] 本发明所提供的剩磁检测方法, 适用于各类型、各电压等级单相、三相变压器, 具有一定的通用性; 该方法所需检测仪器体积小, 便于携带, 接线简单, 适合现场使用; 同时, 该方法通过计算变压器空载电流初始阶段的电流上升、下降曲线差异性判定剩磁大小, 检测准确度较高, 有效地解决了变压器剩磁对现场环境、设备仪器要求高, 通用性较差, 检测结果准确度不高, 只能在某种特定的情况下才能检测的问题, 实现了变压器铁心剩磁的现场快速有效检测。

[0040] 利用铁心剩磁对变压器空载电流的加压初始阶段影响较大, 通过测量铁心剩磁造成的电压上升、下降阶段同一电压值下的电流值不同, 绘制电流上升、下降曲线, 电流上升、下降曲线不重合度越大, 剩磁越大, 结果较为直观、明显。

[0041] 利用电流上升、下降曲线差异性进行铁心剩磁判定, 电流上升、下降曲线差异系数由多个数据点计算所得, 检测灵敏度高。

[0042] 施加电压最高为几百伏, 测试电流最大不超过2A, 检测仪器可以做的很小, 体积小、重量轻, 接线简单, 便于变压器铁心剩磁的现场检测。

## 附图说明

[0043] 图1是变压器铁心剩磁检测接线示意图。

[0044] 图2是基于空载电流法的变压器铁心剩磁检测方法流程图。

[0045] 图3是变压器铁心有剩磁时电流上升、下降曲线。

[0046] 图4是变压器铁心无剩磁时电流上升、下降曲线。

## 具体实施方式

[0047] 以下结合具体实施例对本发明进行进一步详细的叙述。

[0048] 实施例1

[0049] 结合说明书附图说明基于空载电流法的变压器铁心检测方法,具体步骤如下:

[0050] (1)如图1所示,所选用变压器为单相变压器,低压侧电压等级为10kV。将铁心剩磁检测线两端分别加到变压器低压绕组a,x端,另一端分别与剩磁检测仪连接。

[0051] (2)如(1)中所述连接好测试线后,按照图2所示流程图进行剩磁检测。由于低压侧电压等级为10kV,预定值选择为200V。从0V开始按照一定速率匀速升高电压,每隔10V采集电流值,同时判断电压是否达到200V,若达到200V,则开始按照相同速率降低电压,若未达到200V,则继续按照相同速率升高电压。当施加电压最终达到200V后,开始降低电压,在降压过程中,仍每隔10V采集电流值,同时判断电压值是否降低到0V,若降低到0V,则加压过程结束,若未降低到0V,则继续按照相同速率降低电压,直至电压降低到0V。

[0052] (3)如(2)中所述的变压器剩磁检测加压过程结束后,根据采集到的电压、电流值,绘制电流上升、下降曲线,在实施例中,可通过液晶显示屏直观显示且可保存并打印。

[0053] (4)根据(3)所述的电流上升、下降曲线的重合度初步判定剩磁大小。如图3所示,降曲线重合度越小,即电流上升、下降曲线差异性越大,剩磁越大。若电流上升、下降曲线如图4所示,基本重合,即电流上升、下降曲线差异性越小,剩磁越不明显,说明变压器铁心无剩磁。

[0054] (5)根据(4)所述的电流上升、下降曲线的重合度初步判定剩磁大小,为了更好地表征电流上升、下降曲线的差异性,需要计算电流上升、下降曲线的差异系数D。

[0055] (6)根据(2)所述的试验过程中采集到的电压、电流值计算电流上升阶段计算值 $X_1$ 及电流下降阶段计算值 $X_2$ 。本实施例中,电流上升阶段共采集21个电流值, $I_0, I_1, I_2, \dots, I_{20}$ 分别为0V, 10V, 20V,  $\dots, 200V$ 时电流值。由于当电压低于50V时,电流值误差较大,因此剔除电压低于50V时电流值,即剔除 $I_0, I_1, I_2, I_3$ 和 $I_4$ ,将 $I_5, I_6, I_7, \dots, I_{20}$ 分别除以相对应电压值并累加得到电流上升阶段计算值 $X_1$ ,即 $X_1 = I_5/50 + I_6/60 + I_7/70 + \dots + I_{20}/200$ 。同理,电流下降阶段共采集20个电流值, $i_{19}, i_{18}, i_{17}, \dots, i_0$ 分别为190V, 180V, 170V,  $\dots, 0V$ 时电流值,剔除电压低于50V时电流值,即剔除 $i_4, i_3, i_2, i_1$ 和 $i_0$ ,将 $i_{19}, i_{18}, i_{17}, \dots, i_5$ 分别除以相对应电压值并累加得到电流下降阶段计算值 $X_2$ ,即 $X_2 = i_{19}/190 + i_{18}/180 + i_{17}/170 + \dots + i_5/50$ 。电流上升、下降曲线的差异系数 $D = X_1/X_2$ 。

[0056] (7)如(6)所述求得电流上升、下降曲线的差异系数D后,变压器铁心剩磁大小判定标准为,当差异系数D在设定阈值以下时,剩磁较小,变压器无需进行消磁处理;差异系数大于设定阈值时,剩磁较大,变压器需进行消磁处理

[0057] 以上实施例采用单相变压器,若为三相变压器,则需对三个绕组ab、bc、ca分别进行剩磁检测,三相分体变压器视为三个独立变压器。

[0058] 当变压器低压侧电压等级为35kV及以上时,为了保证测量准确度,预定值可设置为400V,此时从0V开始,每隔20V采集电流值,电流上升、下降曲线差异系数D计算方法不变。

[0059] 实施例2

[0060] 除了电压采集间隔采用5V外,其他和实施例1相同,电流上升曲线计算值 $X_1$ 、电流下降曲线计算值 $X_2$ 及电流上升、下降曲线差异系数计算原理相同,采集数据点增加一倍,由于电流数据采集更多精细,偶然误差减少,但数据采集时间及数据处理所需时间变长。

[0061] 以上所述实施方式仅为本发明的优选实施例,而并非本发明可行实施的穷举。对于本领域一般技术人员而言,在不背离本发明原理和精神的前提下对其所作出的任何显而

易见的改动,都应当被认为包含在本发明的权利要求保护范围之内。

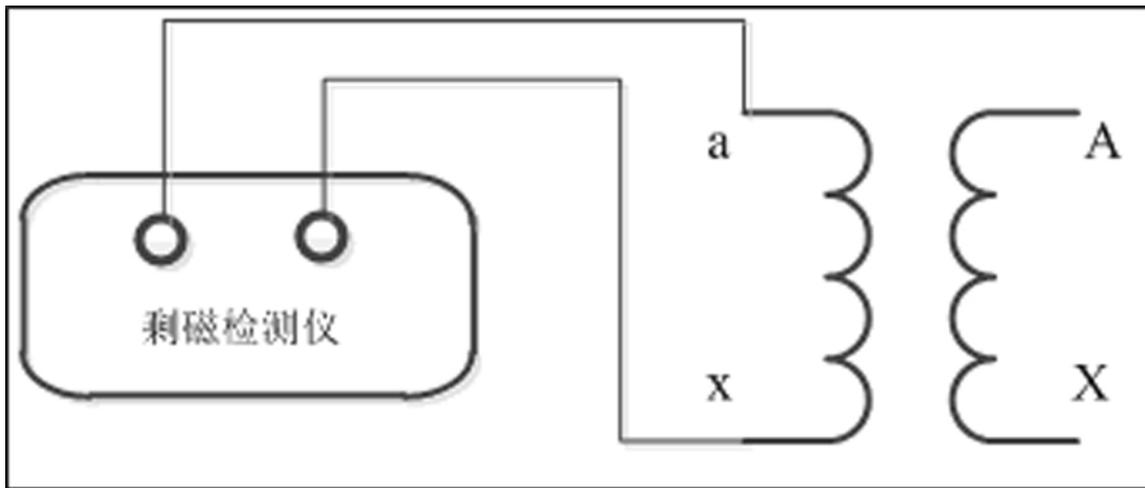


图1

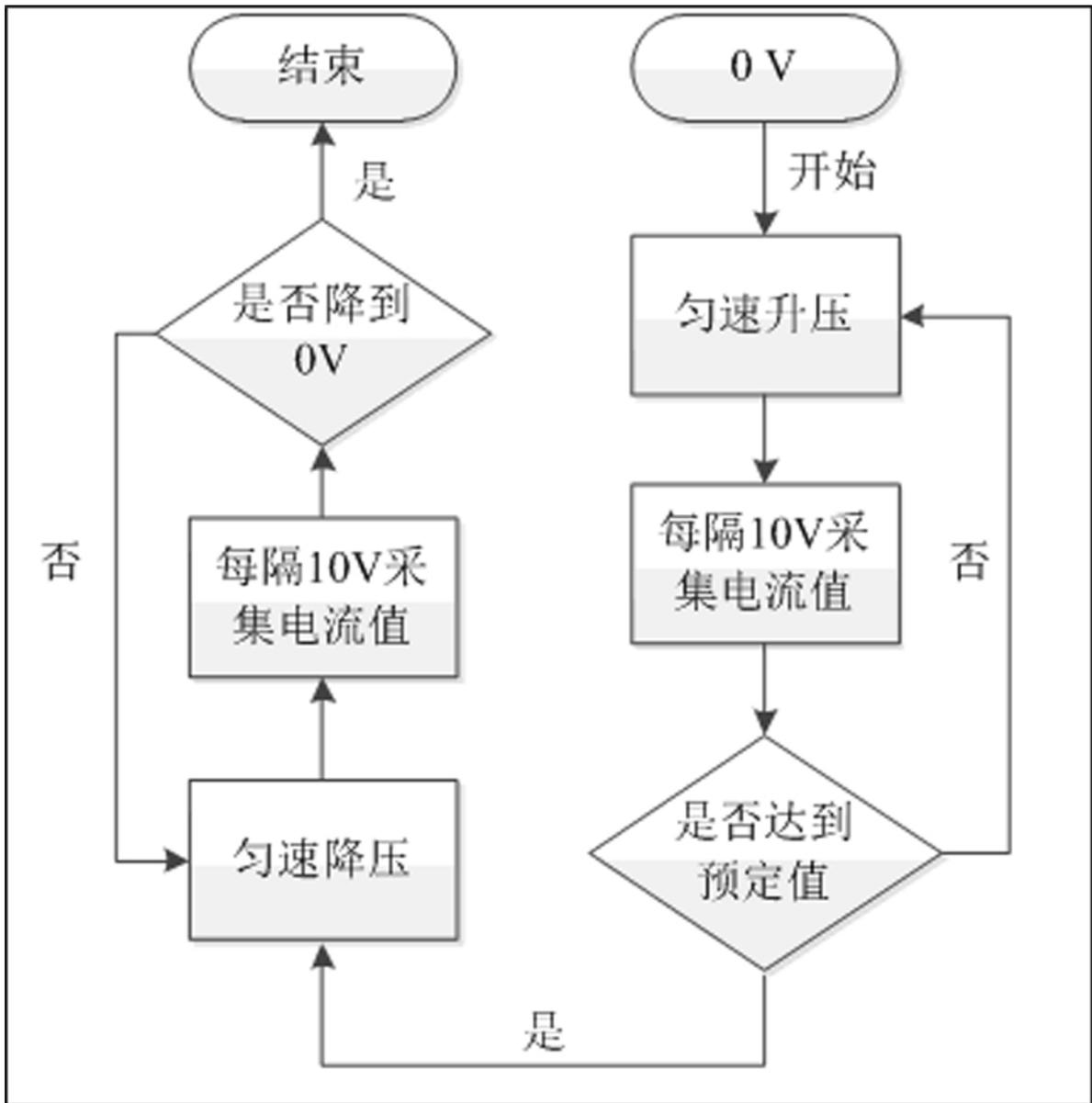


图2

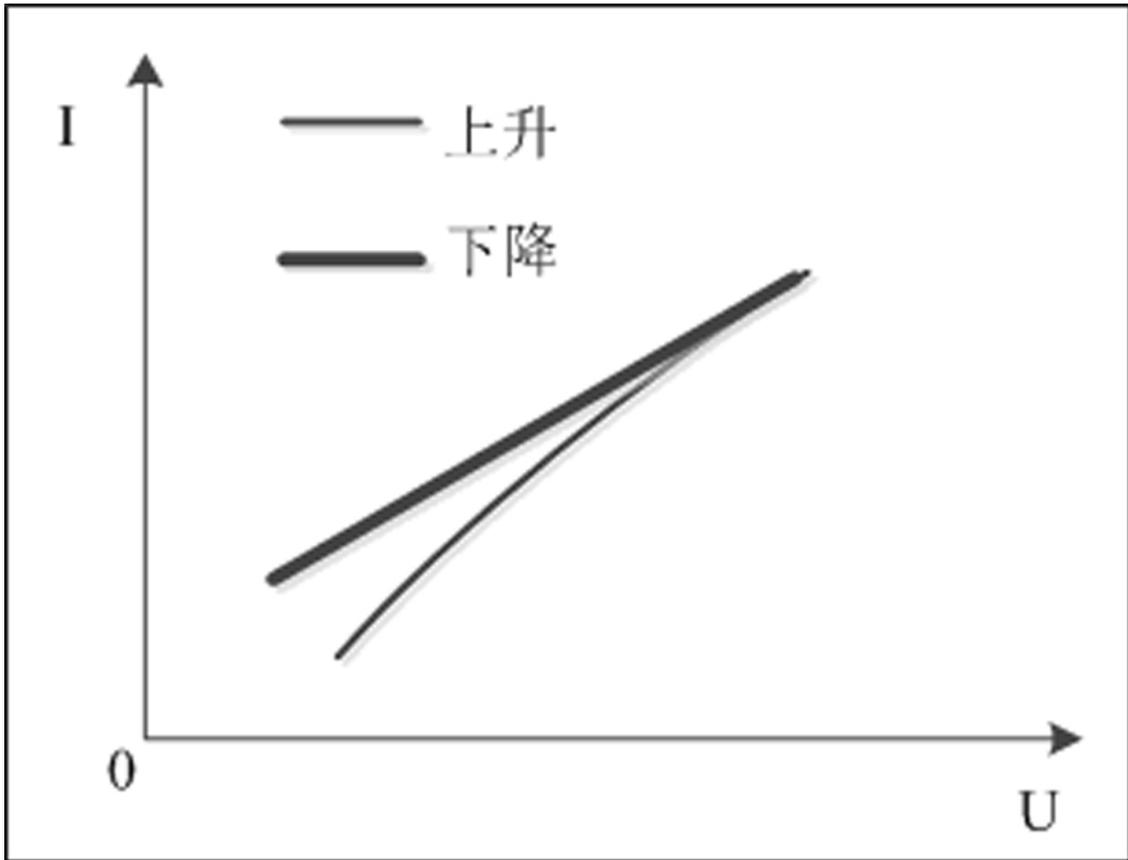


图3

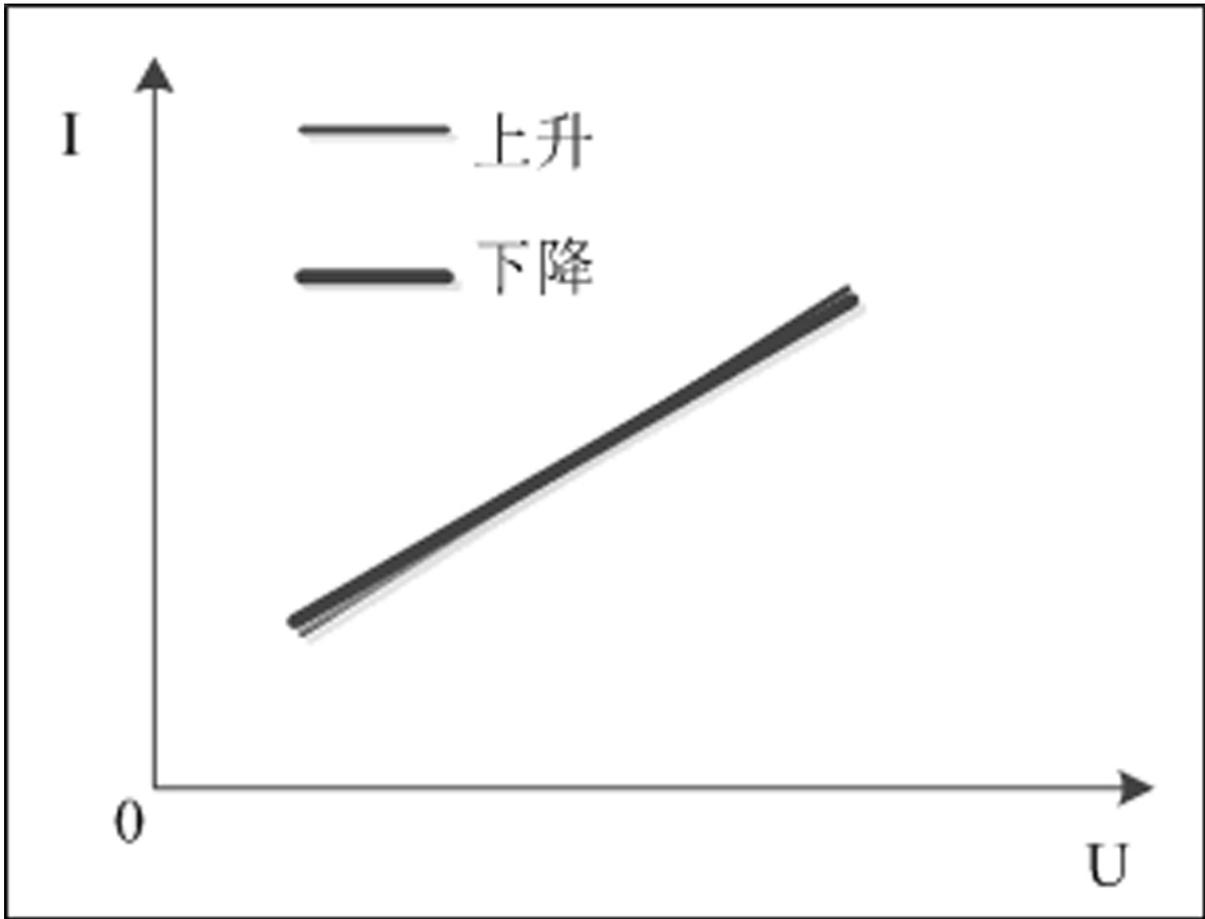


图4