(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104319733 A
(43)申请公布日 2015.01.28

(21)申请号 201410375755.X

(22)申请日 2014.08.01

(71)申请人 国家电网公司
地址 100000 北京市西城区西长安街 86 号
申请人 国网四川省电力公司电力科学研究院

(72)发明人 蒋伟 张星海 甘德刚

(74)专利代理机构 成都行之专利代理事务所（普通合伙） 51220
代理人 梁田

(51)Int.Cl.
H02H 7/04(2006.01)
H02H 9/02(2006.01)

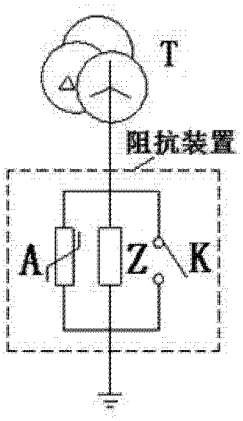
权利要求书1页 说明书8页 附图13页

(54)发明名称

变压器中性点接阻抗装置及其多用途直流偏磁防护方法

(57)摘要

本发明公开了变压器中性点接阻抗装置及其多用途直流偏磁防护方法，设置在变电站所有主变压器中性点和大地之间，包括阻抗器 Z、避雷器 A 和旁路开关 K，阻抗装置一端连接变压器中性点，另一端接地。本发明的有益效果是：本装置主要用于变电站，变电站的主变的中性点都经本阻抗装置接地，可以有效抑制直流偏磁电流，提高变压器抗短路能力，避免失地过电压对变压器中性点绝缘的破坏。



CN 104319733 A

1. 变压器中性点接阻抗装置，其特征在于，阻抗装置设置在变压器中性点和大地之间，包括阻抗器 Z 和避雷器 A，阻抗器 Z 一端连接变压器中性点，另一端接地。

2. 根据权利要求 1 所述的变压器中性点接阻抗装置，其特征在于，所述的阻抗装置上还并联有旁路开关 K，阻抗装置投入运行期间旁路开关断开，阻抗装置检修期间旁路开关闭合。

3. 根据权利要求 1 所述的变压器中性点接阻抗装置，其特征在于，所述的阻抗器的阻抗值为 2-5Ω。

4. 变压器中性点接阻抗装置的多用途直流偏磁防护方法，其特征在于，变电站中所有主变压器的中性点都经阻抗装置接地。

变压器中性点接阻抗装置及其多用途直流偏磁防护方法

技术领域

[0001] 本发明涉及到一种阻抗装置，特别是涉及到变压器中性点接阻抗装置及其多用途直流偏磁防护方法，还能够用于提高变压器抗短路能力和解决“间隙＋避雷器”配合不好的问题。

背景技术

[0002] 直流输电工程能够缓解我国负荷中心和能源中心分布不均衡的问题，但直流输电单极大地回路运行时，直流接地极电流会导致近区交流变压器出现振动加剧、噪声增大、局部过热等直流偏磁现象，引发变压器内部加紧件松动、绕组断线、绝缘材料受到破坏、铁片松动弯曲等问题，持续时间过长还将导致变压器损坏。变压器直流偏磁还会引起交流电网电压总畸变率增大，谐波大幅升高，对其他电气设备产生较大影响，并可能引起继电保护误动，这些影响最终将会危及到电网的安全运行。

[0003] 目前，110kV 和 220kV 变电站采用部分接地方式，当运行中操作中性点不接地的变压器，如果断路器发生非全相故障，继电保护误动作，使中性点接地的那组变压器先跳闸，将形成了局部不接地的系统，从而造成设备损坏；当中性点接地侧发生接地短路而切开变压器，则不接地变压器“失地”，在双端供电的情况下，由于相位的不同最大可造成不接地变压器中性点电压达到两倍的系统相电压。中性点不接地变压器中性点绝缘采用“间隙＋避雷器”的保护方式，由于间隙动作的分散性，仍有损坏避雷器或变压器中性点绝缘的事故发生。

[0004] 根据历年来变压器事故的统计资料，35kV 及以上等级的电力变压器因短路故障而损坏占事故总数的 50%。该事故造成了绝大部分变压器绕组不同程度的变形和绝缘破坏。随着绕组轻微变形和绝缘老化不断加剧，一旦发生严重的外部短路，会引起绕组匝间短路，严重损坏变压器，甚至可能造成变压器损坏和停运，导致大面积停电。随着电网容量日益扩大，系统短路容量也随之增大，因短路故障造成变压器损坏的数量逐年上升。每一台变压器在厂家的设计过程中，一旦结构参数确定，其理论抗短路能力已确定，即投运变压器自身的抗短路能力在出厂设计时已经确定，但是随着系统短路容量的逐渐增大，变压器抗短路能力的问题日益突出，通过外部措施提高变压器抗短路冲击的能力具有重要的意义。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点和不足，提供变压器中性点接阻抗装置及其多用途直流偏磁防护方法，主要用于变压器直流偏磁防护，同时还能解决现有变压器抗短路能力不足，很容易出现损坏的缺陷，以及解决现有变压器中性点绝缘的“间隙＋避雷器”保护方式配合不好的问题。

[0006] 本发明的目的通过下述技术方案实现：变压器中性点接阻抗装置，阻抗装置设置在变压器中性点和大地之间，包括阻抗器 Z 和避雷器 A，阻抗器 Z 一端连接变压器中性点，另一端接地。本装置主要是用于变电站中主变压器上，阻抗器 Z 能够抑制交直流电流，其中电

阻部分用于抑制直流偏磁电流，电抗部分用于削弱短路电流，安装时，改变变电站传统的部分接地方式（如有两台主变，一台主变中性点直接接地，另一台主变中性点不接地），将变电站的所有主变都经阻抗装置接地。而并联的避雷器 A 用于变压器中性点绝缘过电压保护。

[0007] 进一步，上述的阻抗装置上还并联有旁路开关 K，阻抗装置投入运行期间旁路开关断开，阻抗装置检修期间旁路开关闭合。

[0008] 进一步，上述的阻抗器 Z 的阻抗值为 2-5Ω，阻抗过大时，会影响变压器接地的有效性，并容易出现较大的过电压；阻抗过小时，抗短路电流能力不足，抑制直流偏磁电流的效果也不好。

[0009] 变压器中性点接阻抗装置的多用途直流偏磁防护方法，变电站中所有主变压器的中性点都经阻抗装置接地，以防护直流偏磁，现有的变电站中，在遇到多主变时，一般仅仅部分主变压器接地，可以继电保护，当运行中操作中性点不接地的变压器，如果断路器发生非全相故障，继电保护误动作，使中性点接地的那组变压器先跳闸，将形成了局部不接地的系统，从而造成设备损坏；当中性点接地侧发生接地短路而切开变压器，则不接地变压器“失地”，在双端供电的情况下，由于相位的不同最大可造成不接地变压器中性点电压达到两倍的系统相电压。中性点不接地变压器中性点绝缘采用“间隙 + 避雷器”的保护方式，由于空气介质受温度、湿度、风速等因素的影响，导致间隙动作的存在分散性，因此，仍有损坏避雷器或变压器中性点绝缘的事故发生。本发明即解决该问题，设置阻抗装置，还具有以下用途：电阻部分用于抑制直流偏磁电流，电抗部分用于削弱短路电流。

[0010] 本发明的有益效果是：本装置主要用于直流接地极附近的变电站，变电站主变的中性点都经本阻抗装置接地，可以有效抑制直流偏磁电流，提高变压器抗短路能力，避免失地过电压对变压器中性点绝缘的破坏。

附图说明

[0011] 图 1 为本发明的结构示意图；

图 2 为中性点接阻抗装置抑制变压器直流偏磁原理示意图；

图 3 为不接电阻流入变压器中性点的直流量；

图 4 为接电阻分量为 10Ω 的阻抗装置后流入变压器中性点的直流量；

图 5 为变压器中性点接入不同电阻分量的限流效果；

图 6 为不接地变压器中性点过电压仿真接线图；

图 7 为 T11 中性点电压 Uz 及线路相电压变化图；

图 8 为 T22 中性点电压 Uz 及线路相电压变化图

图 9 为雷电波侵入变压器中性点的电压行波网格图；

图 10 为变电站主变经阻抗装置接地图；

图 11 为雷电流仿真模型；

图 12 为雷电流波形图；

图 13 为无雷电过电压时接 10 欧阻抗装置后变压器中性点电压变化图；

图 14 为有雷电过电压时接 10 欧阻抗装置后变压器中性点电压变化图；

图 15 为无雷电过电压时接 10 欧阻抗装置后变压器中性点电流变化图；

图 16 为有雷电过电压时接 10 欧阻抗装置后变压器中性点电流变化图；

图 17 为接阻抗装置后短路过电压的仿真模型；

图 18 为变压器中性点处直接接地后零序电流变化曲线图；

图 19 为变压器中性点直接接地后工频过电压变化曲线图；

图 20 为变压器中性点处接 10 欧阻抗装置后零序电流变化曲线图；

图 21 为变压器中性点接 10 欧阻抗装置后工频过电压变化曲线图；

图 22 为阻抗值与中性点零序电流的关系图；

图 23 为阻抗值与中性点短路过电压的关系图；

图 24 SFPSZB-120MVA/220kV 变压器的参数；

图 25 变压器中性点接入不同电阻分量后的直流量；

图 26 10kA 等级电站避雷器参数；

图 27 不同运行电压下发生单相接地故障时，不接地变压器中性点电压；

图 28 SFPSZ8-150MVA/220kV 变压器的参数；

图 29 接入不同阻抗值时变压器中性点电流、暂态过电压和工频过电压。

具体实施方式

[0012] 下面结合实施例对本发明作进一步的详细说明，但是本发明的结构不仅限于以下实施例：

如图 1 所示，变压器中性点接阻抗装置，阻抗装置设置在变压器中性点和大地之间，包括阻抗器 Z 和避雷器 A，阻抗器 Z 一端连接变压器中性点，另一端接地，如图变压器 T。本装置主要是用于变电站中主变压器上，阻抗器 Z 能够抑制交直流电流，其中电阻部分用于抑制直流偏磁电流，电抗部分用于削弱短路电流，安装时，改变变电站传统的部分接地方式(如有两台主变，一台主变中性点直接接地，另一台主变中性点不接地)，将变电站的所有主变都经阻抗装置接地。而并联的避雷器 A 用于变压器中性点绝缘过电压保护。

[0013] 本实施例中阻抗装置上还并联有旁路开关 K，阻抗装置投入运行期间旁路开关断开，阻抗装置检修期间旁路开关闭合。

[0014] 1、抑制直流偏磁电流的工作原理

中性点串接阻抗装置抑制变压器直流偏磁的原理如图 2 所示，阻抗装置的电阻分量用于抑制变压器中性点流入(出)的直流量，电抗分量对直流量而言相当于短路。用集总参数表示输电线路、变压器以及两变电站土壤间的直流电阻。当两变电站中性点存在电势差时，直流量会经并联的地面支路和地下支路流向远方，变压器中性点串接阻抗装置后，增大了地上支路的电阻，流经地下支路的电流就会更多，这样就减少了进入变压器的直流量，达到了抑制直流偏磁的目的。

[0015] 以 SFPSZB-120MVA/220kV 变压器为例，分析变压器中性点串接阻抗装置后抑制中性点直流量的效果，变压器的参数如图 25 中的表 1。

[0016] 按照图 2 所示串接阻抗装置的直流偏磁电流抑制原理图建立仿真模型，取两个 220kV 变电站间的线路长度为 30 公里，直流接地极附近 1 号变压器与 2 号变压器地表电位差为 50V，基于 PSCAD 软件计算变压器中性点分别接入电阻分量为 0Ω 和 10Ω 的阻抗装置时，流入变压器的直流量和经大地散流的直流量，计算结果如图 3、图 4。

[0017] 当变压器中性点不接入阻抗装置时，流入变压器的直流量为 32.5 A，经大地散流

的直流量为 2.95 A；当变压器中性点接入电阻分量为 10Ω 的阻抗装置时，流入变压器的直流量为 3.75 A，经大地散流的直流量为 7.67 A。为了更好分析接入阻抗值与限流效果的关系，再分别计算接入电阻分量为 2Ω、4Ω、6Ω、8Ω、20Ω、50Ω 时，流入变压器的直流量和经大地散流的直流量，仿真结果及变化趋势见图 26 中表 2 和图 5。

[0018] 根据表 2 得到的计算值可得到变压器中性点接入一系列电阻分量的阻抗装置时流入变压器直流量的变化情况，见图 5。

[0019] 由仿真结果可知：当阻抗装置电阻分量小于 10Ω 时，限流效果很好；当电阻分量大于 10Ω 后，限流效果不明显。

[0020] 2、变压器部分接地方式的缺点及经阻抗装置接地的工作原理

110/220kV 系统变压器中性点普遍使用氧化锌避雷器加放电间隙作为过电压保护。这种保护方式对保护变压器安全运行发挥了重要作用，但有时仍有间隙不正确动作的情况。随着电网电压等级的提高，110kV 电网基本呈辐射状结构，部分 220kV 电网也有向辐射状结构变化的趋势。运行中时有发生的问题是辐射状结构电网采用部分变压器中性点接地方式时，系统发生接地故障期间，不接地变压器放电间隙误击穿导致中性点间隙零序电流保护误动作，跳开无故障变压器，导致停电范围扩大。出现这种现象的原因与中性点间隙保护冲击放电电压易受气候因素影响发生变化以及间隙冲击放电电压与避雷器雷电保护水平难以实现足够裕度的配合关系有关。

[0021] 110kV 变压器中性点经小电抗接地可以大大降低系统接地故障期间变压器中性点过电压，有效限制流过变电站的接地故障电流，从而取消变压器中性点放电间隙，避免因间隙误击穿而误切变压器。这种接地方式可以为 110/220kV 电网提供可靠接地，避免局部电网失地情况发生，有助于提高雷暴天气下直接接地变压器跳开后电网运行性能，是一种值得研究的电网接地方式。

[0022] 在 110kV 接地系统，电站避雷器是保护电站设备免受雷电冲击电压伤害的主要手段。110kV 电站用避雷器参数见图 27 中的表 3。根据 GB11032-2000 的规定，交流无间隙金属氧化物避雷器的“额定电压 Ur”定义为：“施加到避雷器端子间的最大允许工频电压有效值，按照此电压设计的避雷器，能在所规定的动作负载试验中确定的暂时过电压下正确地工作。”根据定义，金属氧化物避雷器额定电压是保证避雷器经受放电过程后仍能保持热稳定性的上限电压，变压器中性点放电间隙的放电电压需与电站避雷器额定电压参数实现配合。当不能实现可靠配合时，电站避雷器可能承受超出允许能力的热过程，并可能因此造成损坏。

[0023] 在变压器中性点经避雷器 + 放电间隙接地方式中，避雷器应承但变压器中性点的雷电过电压保护，而放电间隙则需保证失地系统存在接地故障时保证电站避雷器运行安全。据此，变压器中性点放电间隙动作条件可以描述为：

1) 接地变压器跳开前，在系统最高运行电压下发生接地故障时，间隙不误击穿；

2) 接地变压器跳开导致系统失地后，在系统允许的最低运行电压下发生接地故障时，间隙可靠击穿。

[0024] 3) 当“1)”的要求得不到满足时，会出现接地故障期间经间隙接地变压器的放电间隙误击穿，可能导致非故障变压器误切除；当“2)”的要求得不到满足时，可能导致失地系统遭受雷电侵袭时电站避雷器失去热稳定并因此导致避雷器故障。

[0025] 为探讨变压器中性点间隙保护满足上述要求的能力，利用图 5 所示系统仿真不同运行条件下变压器中性点呈现的暂态电压。

[0026] 图 6 系统仅 T22 变压器直接接地，T11 经放电间隙接地，线路 L1 长 50km。改变系统运行电压、故障位置以及系统侧零序阻抗与正序阻抗之比，考察单相接地故障期间 T11 中性点电压 Uz 变化，仿真结果见图 28 中的表 4。

[0027] 表中 :Uz_w 为 T11 中性点电压 Uz 稳态有效值 ;Uz_p 为 T11 中性点电压 Uz 暂态瞬时值的最大值。

[0028] 当运行中因某原因使 T22 跳开后，系统成为局部失地运行状态。当系统电压为 0.9Un，线路 L1 中点发生 A 相接地故障期间，T11 中性点电压 Uz 及线路相电压变化见图 7。

[0029] 在这种状态下，由于健全相避雷器承受超出额定电压的常时间高电压作用，如果线路遭受雷击，避雷器可能失去热稳定。系统侧零序阻抗与正序阻抗之比 Xso/Xs1=1，系统接地变压器正常运行，系统电压为 1.1Un。线路 L1 上距 T11 15km 处发生 A 相接地故障期间，T11 中性点电压 Uz 及线路相电压变化见图 8。在故障暂态电压作用下，如果 T11 中性点间隙击穿，可能导致不接地变压器误跳闸。系统侧零序阻抗与正序阻抗之比 Xso/Xs1=3，系统接地变压器正常运行，系统电压为 1.1Un。线路 L1 上距 T11 15km 处发生 A 相接地故障期间，T11 中性点电压 Uz 及线路相电压变化见图 8。在这种条件下 Uz_p 瞬时最大值达到 119kV，若 T11 中性点间隙击穿，可能导致不接地变压器误跳闸。

[0030] 比较表 4 仿真结果可见，为实现“接地变压器跳开导致系统失地后，在系统允许的最低运行电压下发生接地故障时，间隙可靠击穿”，T11 中性点间隙工频击穿电压有效值需低于 57.36kV ，对应瞬时值为 81.11kV ;为实现“接地变压器跳开前，在系统最高运行电压下发生接地故障时，间隙不误击穿”，需保证间隙在 99.1kV (或 119kV)瞬态电压作用下不击穿。

[0031] 显然，两者存在矛盾。变压器中性点放电间隙的击穿电压无法同时满足两个矛盾需求。在运行中为避免出现误跳，非故障变压器常采用加大间隙距离的方法。显然，这样做的结果是以损失电站避雷器的安全性为代价的。值得指出的是，在分析上述问题时尚未考虑环境条件及电极形状改变对放电间隙击穿电压的影响，也未考虑必要的可靠系数。

[0032] 运行中，变压器中性点经“避雷器 + 间隙”保护接地时存在的主要问题是由于间隙击穿的分散性，致使在异常气候条件下发生接地故障时间隙误击穿，并导致停电范围扩大。

[0033] 3、提高变压器抗短路能力

随着系统短路容量的逐渐增大，老旧变压器的逐渐增多，系统中连续发生多台 220kV 变压器在外部短路的冲击下遭受损坏的事故。每一台变压器在厂家的设计过程中，一旦结构参数确定，其理论抗短路能力即确定，即投运变压器自身的抗短路能力在出厂设计时已经确定，但是针对系统短路容量的逐渐增大，变压器在短路故障中损坏时有发生的情况，通过外部措施提高变压器抗短路冲击的能力具有重要的意义。

[0034] 通过在变压器中性点串接阻抗装置，在系统发生接地短路故障时，阻抗装置提供的感性电流能够有效的削弱短路故障电流，起到限流电抗器的作用。变压器中性点串接阻抗装置提高变压器抗短路能力实用于运行中的自身抗短路能力不足的变压器，尤其是抗短路能力和绝缘老化问题更突出的直流接地极 100km 范围内的老旧变压器。

[0035] 4、接阻抗装置对雷电过电压的影响

研究表明：在平均高度为 8m 的输电线路中，每 100km 线路年平均受雷击次数约为 4.8 次。根据运行经验，电力系统中的停电事故有近 50% 是由雷击线路造成的。线路落雷后，沿输电线路侵入变电所的雷电侵入波是造成变压器事故的主要因素之一。因此，以下进行雷电过电压对变压器接入阻抗装置后的影响的研究。

[0036] 如图 9 所示，雷电侵入波从变压器中性点传播到阻抗装置时，会在发生折反射，进入阻抗装置的是折射波。折射波与侵入波的关系与变压器和阻抗装置的暂态阻抗比值紧密相关。由于变压器暂态阻抗通常可达前者的几百、甚至上千欧，而接入阻抗装置的暂态阻抗相对很小，因此实际上折射波很小，中性点电位不会因为接入阻抗装置而提高很多。

[0037] 以 220kV 系统为例，根据图 29 中的表 5 所示变压器参数，基于图 10 的系统建立部分接地方式变压器接阻抗装置后雷电过电压分析的仿真模型，输电线路距离取 20km，导线型号为 2×LGJ-400/35，接入阻抗为 10Ω。

[0038] 目前最广泛应用的是双指数函数模型，故采用双指数函数模型，雷电流按规程取波头 / 波尾为 2.6/50μs，雷电流的表达式为：

$$I = 1.05 I_m (e^{-0.016t} - e^{-1.2t}) \qquad (1)$$

由于三相来波的概率很小，只有 10%，据统计约 15 年才有一次；大多数侵入波来自线路较远处，陡度较小。故仿真时为雷电单相来波，取雷电流波形的峰值为 90 kA，雷电流仿真模型及波形分别如图 11、图 12 所示。

[0039] 见图 13、图 14，当变压站的两台主变在直流偏磁电流作用下，均串接 10Ω 的阻抗装置后，在会有约 60V 的电压，而如果同时遭受雷电过电压，则在变压器中性点最大雷电过电压与直流偏磁过电压之和约为 480V（峰值），220kV 直接接地变压器中性点雷电全波冲击耐受电压为 185kV，故接入阻抗装置后，220kV 变电站两台变压器中性点绝缘能承受雷电过电压，且有足够的裕度。

[0040] 变压器串接 10Ω 的阻抗装置后，中性点直流约为 4A，此时若线路遭受雷击，则在直接接地变压器中性点最大雷电流与直流偏磁电流之和约为 46A（峰值），见图 15、图 16。

[0041] 5、接阻抗装置对短路过电压和零序电流的影响

阻抗装置的电阻分量可以抑制直流偏磁电流，而阻抗装置的电感分量则可以提高变压器抗短路能力，以下将具体分析。

[0042] 变压器绕组应该具备足够的动稳定性和热稳定性，根据 IEC-76-5 和 GB — 1094.5 — 85 的规定，变压器应该具备的承受短路能力按下式计算其短路电流：

$$I_T = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_t + Z_S)} \qquad (2)$$

式中，I_T 为变压器承受的短路电流；U 为变压器绕组的额定电压；

Z_t 为变压器的短路阻抗；Z_S 为系统阻抗。

[0043] 承受最大短路电流的幅值为：

$$i_p = I_T K_{ch} \sqrt{2} \qquad (3)$$

式中，K_{ch} 为冲击系数，取值为 1.8。

[0044] 系统阻抗 Z_S 由下式确定：

$$Z_S = \frac{U_S^2}{S} \quad (4)$$

式中，U_S 为系统的额定电压；S 为系统短路表观容量（220kV 系统 S = 15000MVA），对于 220kV 系统的系统阻抗 Z_S 为：

$$Z_S = \frac{220^2}{15000} = 3.227\ (\Omega)$$

以 220kV 系统为例，基于图 17 的系统建立部分接地方式变压器接阻抗装置后短路电流的仿真模型，变压器参数见表 5，输电线路距离取 30km，导线型号为 2×LGJ-400/35，接入阻抗值为 10Ω。实际中短路发生的位置是随机的，可能发生在线路的近端、中端和远端等情况，按最严重的情况进行仿真计算，即短路发生在近端线路。单相短路故障在所有故障中占 65 ～ 70%。随着电网容量的增加，架空输电线间距离的增大，单相短路故障所占比率也将增大，因此仿真短路类型为单相接地短路。

[0045] 假设短路故障在 1 S 时发生，持续时间为 0.5 S，仿真分析在直流偏磁状态和短路故障联合作用下变压器的零序电流、中性点过电压。仿真分析得出不接阻抗装置时变压器中性点的零序电流和工频过电压，如图 18、图 19 所示。

[0046] 图 18 为变压器中性点接阻抗值为 0Ω 时的零序电流，此时的零序电流是短路零序电流和直流偏磁电流之和，其暂态峰值为 5.62kA，稳态负峰值为－ 2.986kA，稳态正峰值为 3.048kA。变压器中性点过电压暂态负峰值为－ 2.67kV，稳态负峰值为－ 1.387kV，稳态正峰值为 1.429kV，见图 19，远没达到接地变压器中性点绝缘的工频耐压 85kV。

[0047] 接 10Ω 阻抗装置（其中电阻分量为 5Ω，电感分量为 5Ω）时变压器中性点的电流和工频过电压如图 20、图 21 所示。

[0048] 变压器中性点接 10Ω 阻抗装置时的零序电流如图 20，尽管此时阻抗装置已经将直流偏磁电流限制在可以接受的水平，但会在单相接地短路时使零序电流产生一定的偏移，由计算可知：零序电流的暂态峰值为 5.62kA，稳态负峰值为－ 2.986kA，稳态正峰值为 3.048kA。变压器接入阻抗装置后，单相接地短路时变压器暂态负峰值为－ 40.4kV，稳态负峰值为－ 29.679kV，稳态正峰值为 29.816kV，见图 21，因此，变压器接 10Ω 阻抗装置后，仍在中性点绝缘的工频耐压 85kV 的范围之内。

[0049] 另外，再分别对接入 2Ω、4Ω、6Ω、8Ω、15Ω、30Ω 阻抗装置时（其中电阻分量和电感分量各占一半），变压器中性点的电流和工频过电压进行计算，研究随着接入阻抗值的增大，变压器的零序电流、中性点过电压的变化规律。直流偏磁状态下（I_{dc}=10A 时），接入不同阻抗值时变压器中性点的零序电流、暂态过电压和工频过电压见图 29 中的表 6。

[0050] 根据表 6 的计算数据，取中性点零序电流暂态峰值，和稳态正峰值，绘制阻抗值与中性点零序电流的关系曲线（见图 23）。

[0051] 由图 22 可知：中性点零序电流的暂态电流随阻抗值的增大而受到的影响更大，不接阻抗装置时，该值为 5.623kA，接入 30Ω 的阻抗装置后，零序电流暂态值减小到 2.631kA，减小了 53.21%；而稳态正峰值随阻抗值的变化相对较小，减小了 22.6%。基于表 6 的计算数据，变压器接入阻抗装置后，阻抗值与中性点零序电流的关系见图 23。

[0052] 6、性能要求

变压器中性点接入阻抗装置能够抑制直流偏磁电流；增加系统零序网络的电抗值，提

高变压器的抗短路能力；避免出现变压器“失地”的情况，并取消了“间隙＋避雷器”的变压器中性点绝缘保护方式。阻抗装置应该满足下列性能要求：

）阻抗值的确定：由安装地点抑制直流偏磁需要确定，为 2Ω ～ 5Ω，如有电阻分接抽头，则每隔 0.5Ω 一档；

）额定电流：阻抗装置在系统正常运行时只有很小的不平衡电流通过，但为设计和制造的方便，可按热稳定电流为长期额定工作电流 25 倍的关系选定；

）阻抗特性：不平衡电流对阻抗装置的阻抗特性无具体要求，但在流过短路电流时，要求在最大、最小运行方式下，流过阻抗装置的电流在其范围内保持阻抗为线性

4）热稳定：阻抗装置热稳定计算有两种情况，一是流过最大单相短路电流时的热稳定计算；

5）动稳定：阻抗装置的动稳定应考虑单相接地时的非周期分量，以短路电流第一个波峰值来校验。可按下式计算：

$$i_m = 2.55(3I_0) = 7.65I_0 \qquad (5)$$

式中：i_m—阻抗装置动稳定电流峰值，kV

I_0—变压器最大零序电流有效值，kA

6）绝缘水平：阻抗装置的高压端绝缘水平应与变压器中性点的绝缘水平一致；

）长期工作电流：由于长期流过中性点阻抗装置的工作电流为三相不平衡电流，只有数安培，在确定阻抗装置额定工作电流可参照变压器热稳定电流为长期额定工作电流的 25 倍，则阻抗装置长期工作电流为：

$$I_c \le \frac{3I_0}{25} = 0.12I_0 \qquad (6)$$

8）噪音水平：在额定电流下噪音水平不大于 80dB。阻抗装置的振动幅值，在额定电流下最大振动幅值不大于 60μm；

9）温升限值：长期通过电流下的温升限值，绕组平均温升为 75K，最热点温升为 100K；

10）绝缘耐热等级：F 级或 H 级。

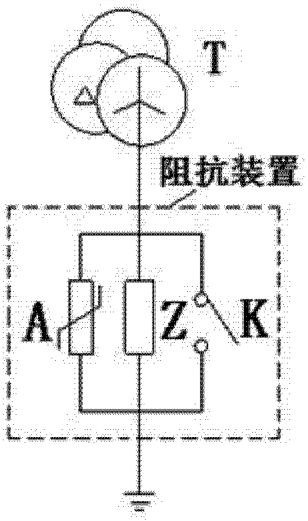

T
阻抗装置
A
Z
K

图 1

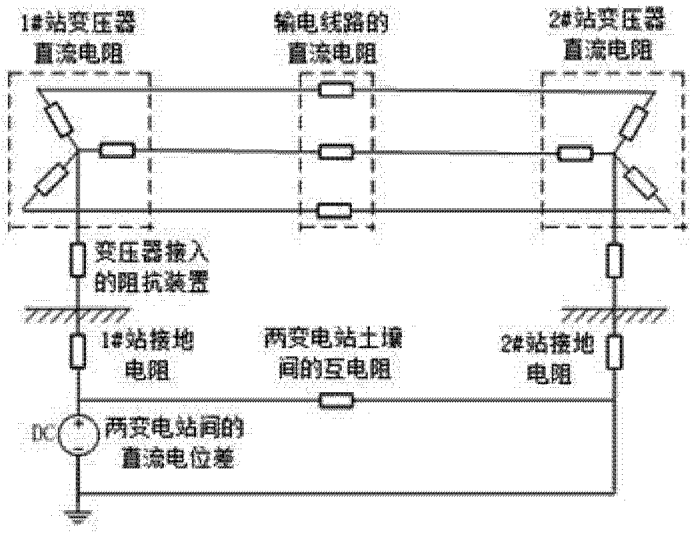

1#站变压器
直流电阻
输电线路的
直流电阻
2#站变压器
直流电阻
变压器接入
的阻抗装置
1#站接地
电阻
两变电站土壤
间的互电阻
2#站接地
电阻
DC
两变电站间的
直流电位差

图 2

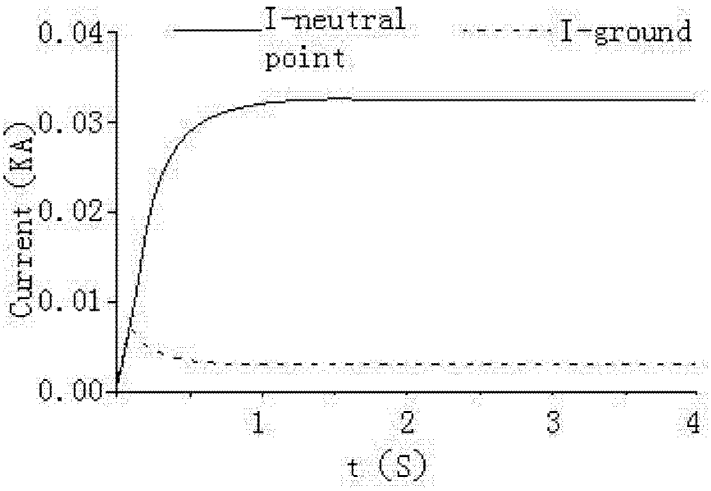

I-neutral point
I-ground
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
Current (KA)
1
2
3
4
t (S)

图 3

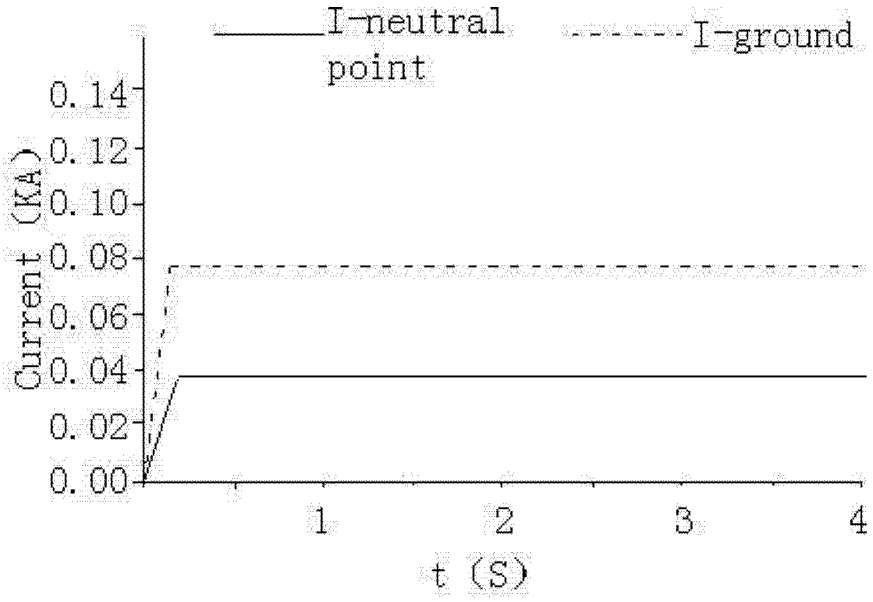

I-neutral point
I-ground
Current (KA)
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
1
2
3
4
t (S)

图 4

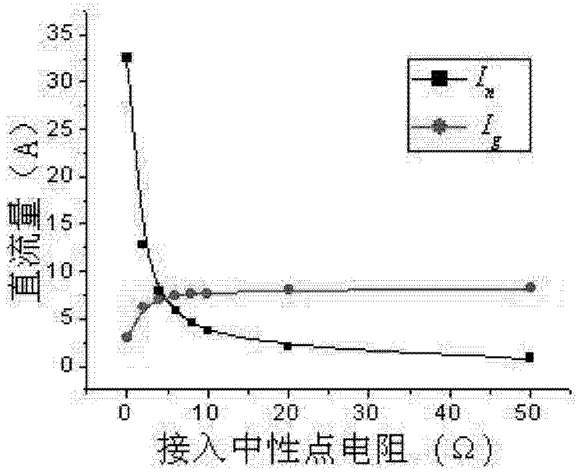

直流量（A）
35
30
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40
50
接入中性点电阻（Ω）

图 5

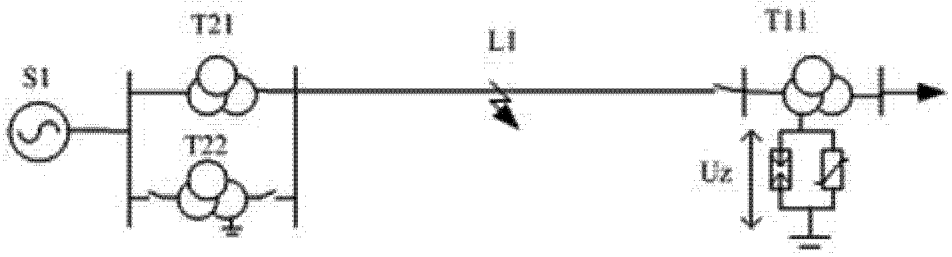

S1
T21
T22
L1
T11
Uz

图 6

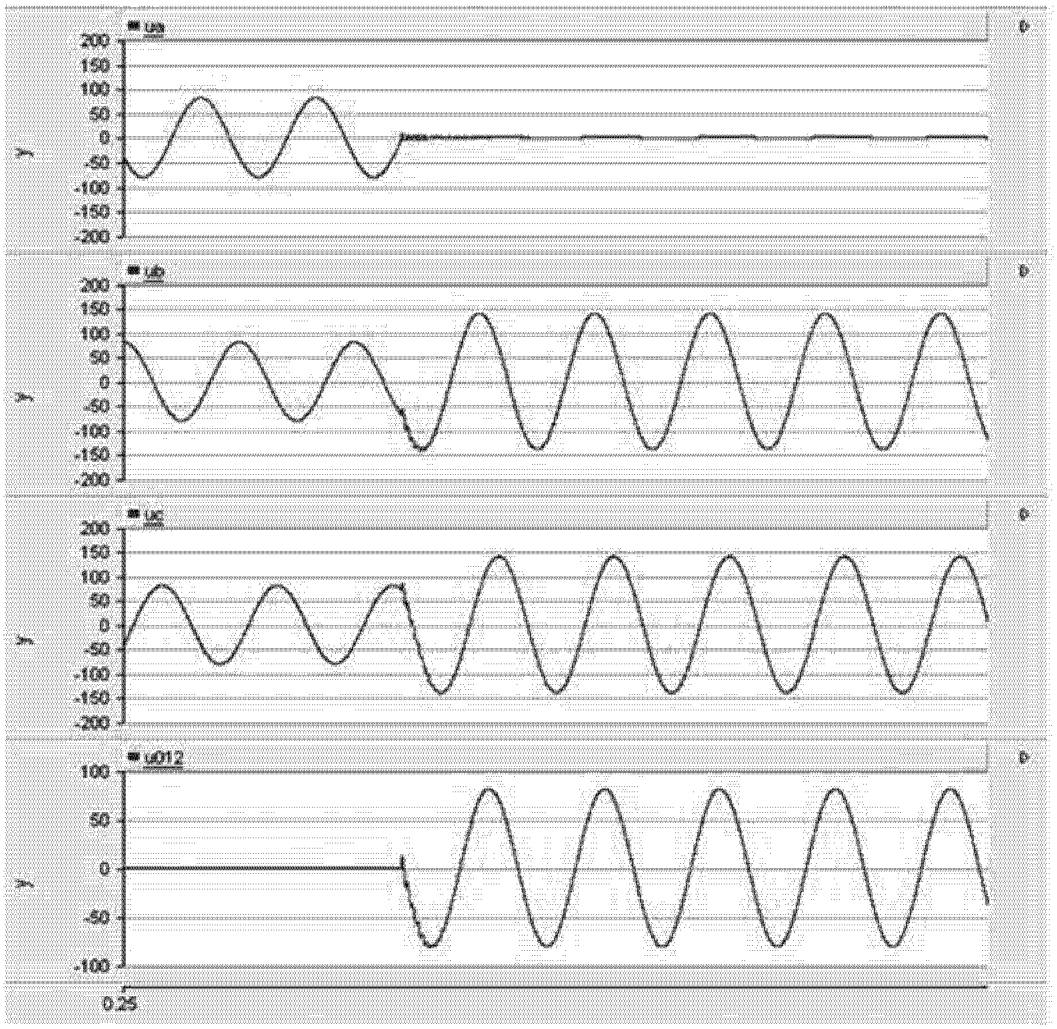


图 7

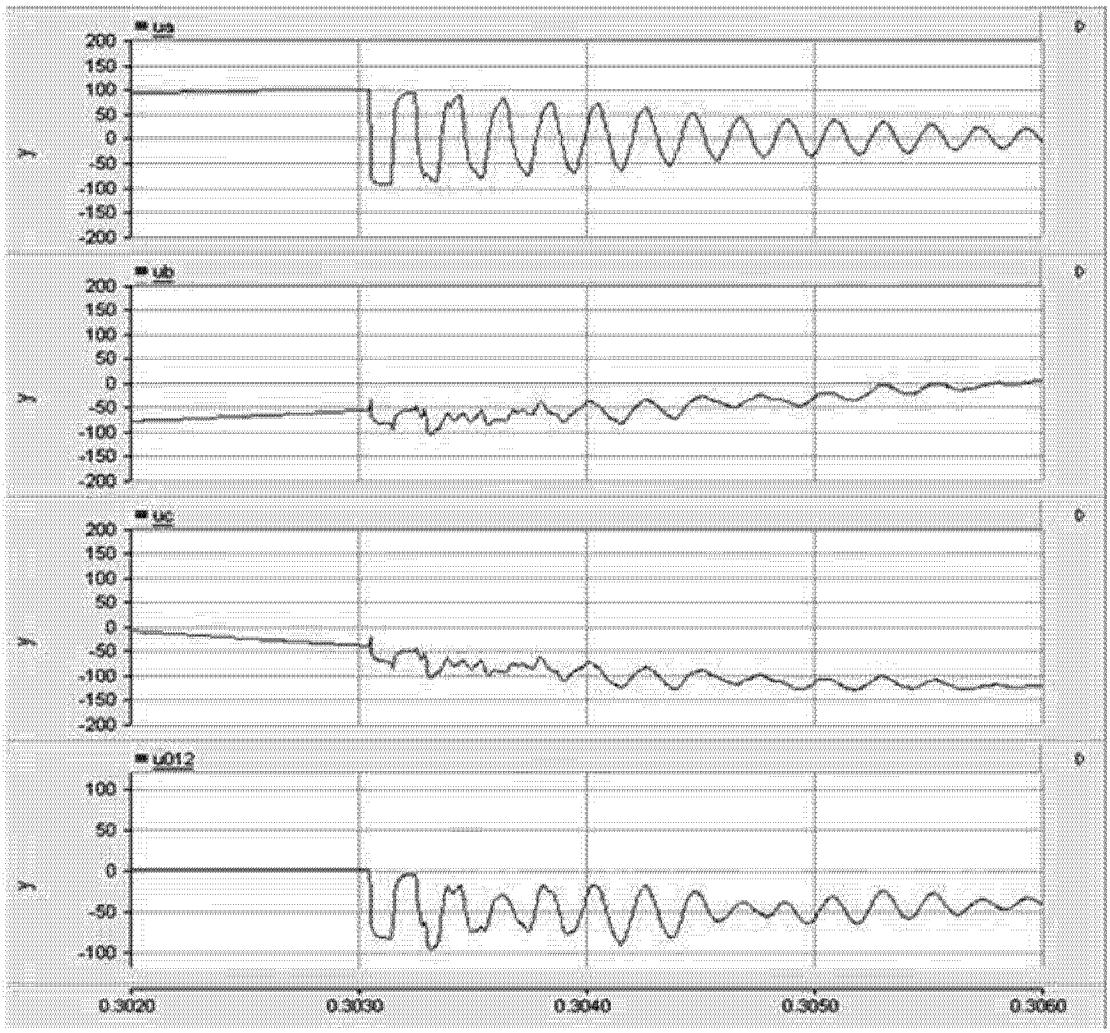

ua
ub
uc
u012
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
0.3020
0.3030
0.3040
0.3050
0.3060

图 8

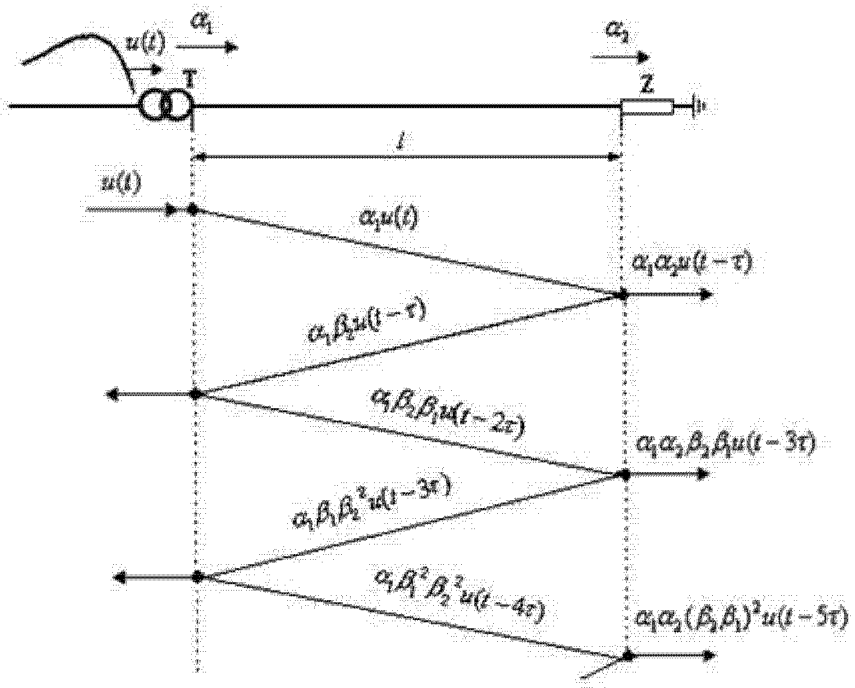

u(t)
α1
α2
T
Z
l
u(t)
α1u(t)
α1α2u(t−τ)
α1β2u(t−τ)
α1β2β1u(t−2τ)
α1α2β2β1u(t−3τ)
α1β1β2²u(t−3τ)
α1β1²β2²u(t−4τ)
α1α2(β2β1)²u(t−5τ)

图 9

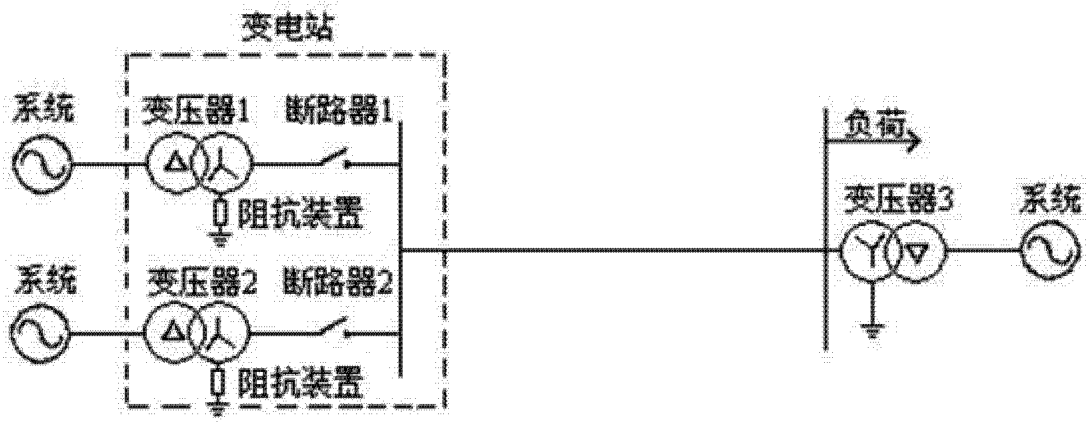

变电站
系统
变压器1
断路器1
阻抗装置
系统
变压器2
断路器2
阻抗装置
负荷
变压器3
系统

图 10

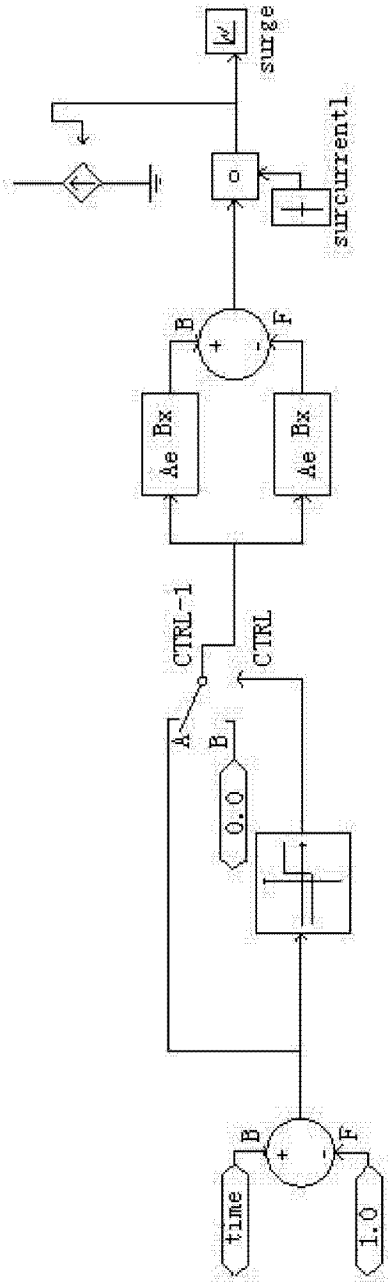

surge
surcurrent1
B
F
Δe Bx
Δe Bx
CTRL-1
CTRL
A
B
0.0
B
F
time
1.0

图 11

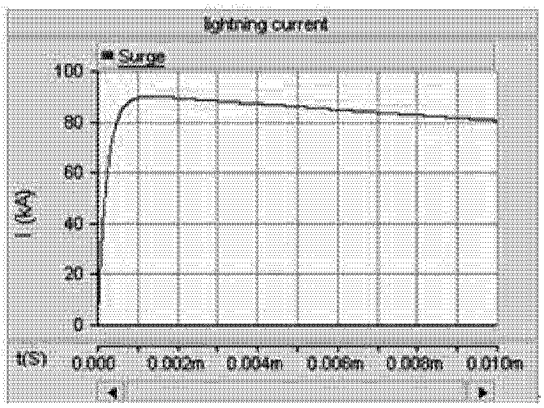

lightning current
Surge
100
80
60
40
20
0
I (kA)
t(S)
0.000
0.002m
0.004m
0.006m
0.008m
0.010m

图 12

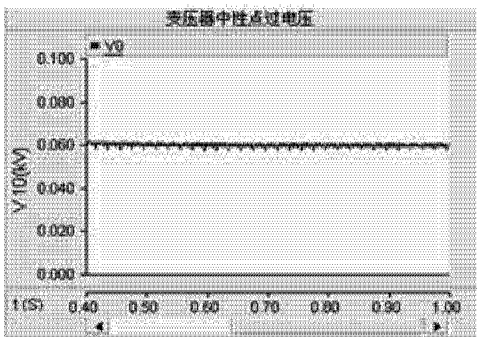


图 13

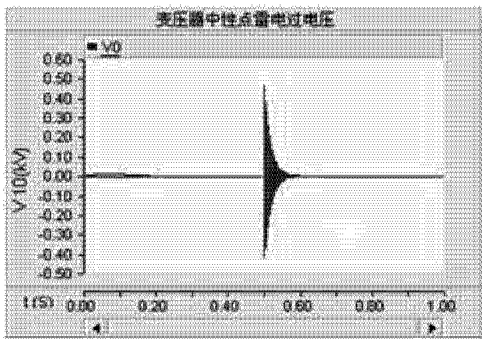


图 14

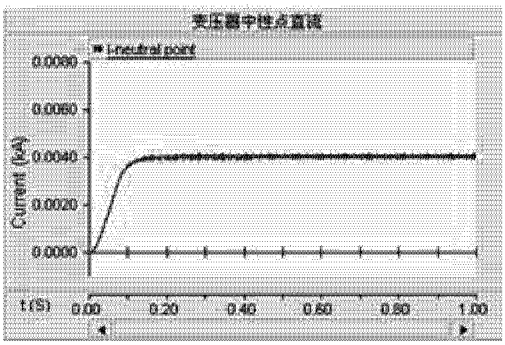


图 15

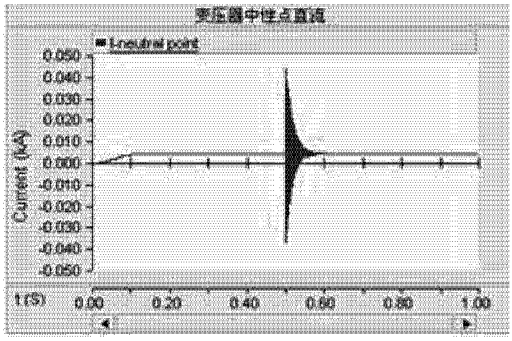


图 16

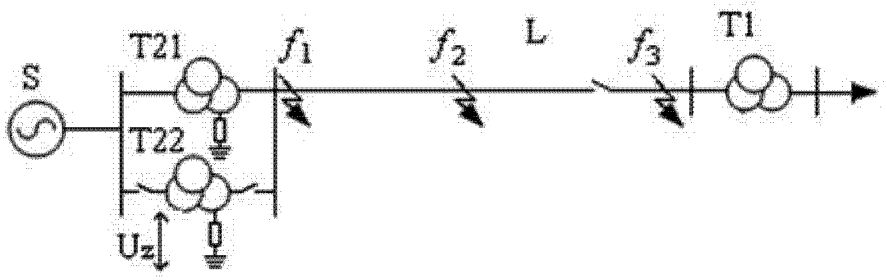


图 17

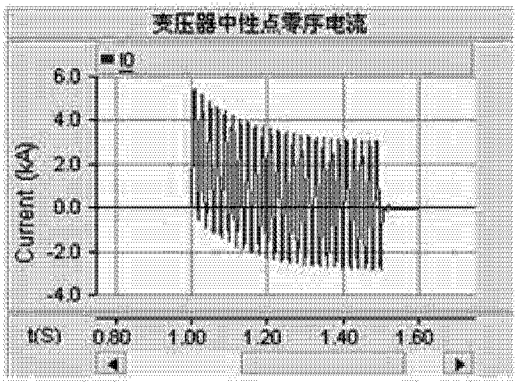


图 18

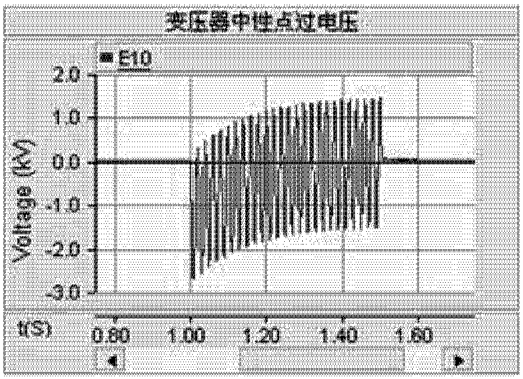


图 19

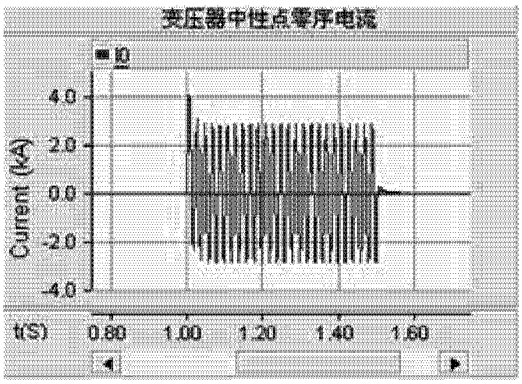


图 20

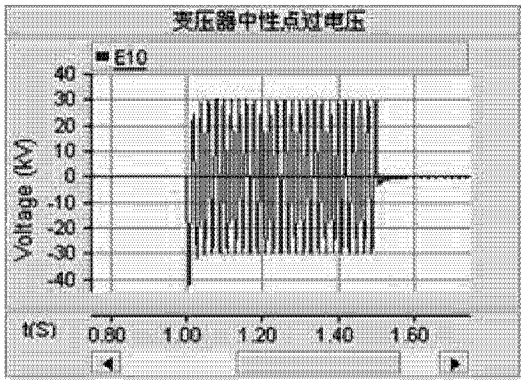


图 21

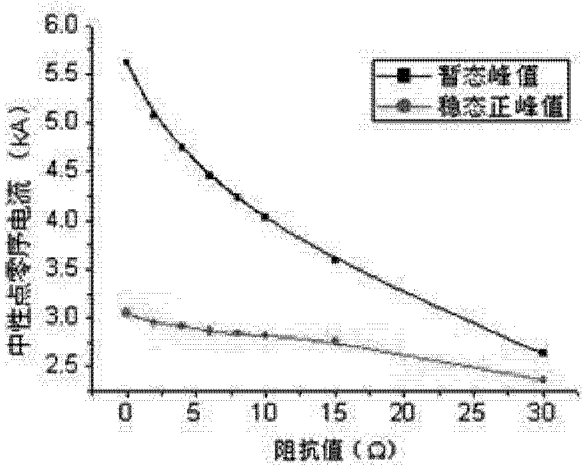


图 22

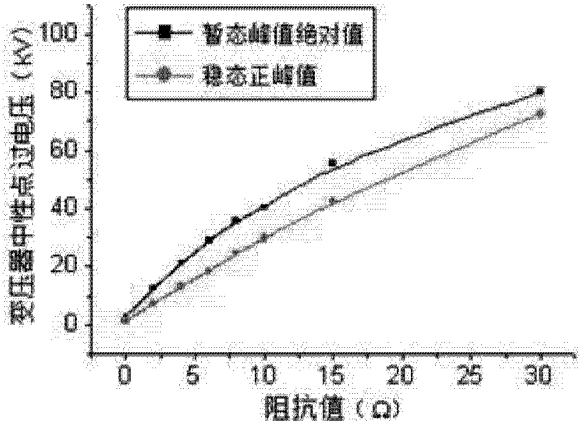


图 23

额定电压(kV)	额定电流(A)	短路电压(%)高中/高低/中低	短路损耗(kW)高中/高低/中低	空载电流(%)	空载损耗(kW)
220±8×1.46%/121/10.5	315/527.6/3299	15.03/22.72/7.32	487/141/98	0.42	139

图 24

直流量（A） 电阻值（Ω）	In	Ig
0	32.5	2.95
2	12.7	6.22
4	7.84	6.99
6	5.8	7.41
8	4.52	7.59
10	3.75	7.67
20	1.96	8.01

图 25

额定电压	持续运行电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击电流残压	操作冲击电流残压	直流 1mA 参考电压
96	75	280	250	213	140
102	79.6	297	266	226	148
108	84	315	281	239	157

图 26

接地状态	Xso/Xs1	运行电压	故障点	故障相角	Uz_w (kV)	Uz_p (kV)	图号
T22 跳开,失地	1	0.9Un	距 T11 25 km	0°	57.36	81.11	2.2
T22 运行	1	1.1Un	距 T11 15 km	90°	41.20	99.10	2.3
T22 运行	3	1.1Un	距 T11 15 km	90°	42.35	118.97	2.4

图 27



额定电压(kV)	额定电流(A)	短路电压(%)高中/高低/中低	短路损耗(kW)高中/高低/中低	空载电流(%)	空载损耗(kW)
220±8×1.25%/115/36.75	394/753/1178	13.37/22.49/6.76	575.8/194.7/143.8	0.42	114.2

图 28

接入阻抗(Ω)	中性点零序电流，峰值（kA）		变压器中性点工频过电压，峰值（kV）	
	暂态值	稳态值	暂态值	稳态值
0	5.623	－2.984，3.049	－2.675	－1.388，1.426
2	5.071	－2.943，2.952	－12.612	－7.221，7.337
4	4.752	－2.903，2.914	－21.137	－12.887，13.132
6	4.461	－2.856，2.866	－28.971	－18.532，18.601
8	4.235	－2.825，2.834	－35.793	－24.353，24.386
10	4.032	－2.817，2.824	－40.421	－29.677，29.814
15	3.586	－2.743，2.755	－55.462	－42.472，42.516

图 29