(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 12 月 28 日 (28.12.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/245742 A1

(51) 国际专利分类号:
H01F 27/42 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/104577

(22) 国际申请日: 2022 年 7 月 8 日 (08.07.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210696007.6 2022年6月20日 (20.06.2022) CN

(71) 申请人: 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院 **(STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路 1 号, Jiangsu 211103 (CN)。 江苏省电力试验研究院有限公司 **(JIANGSU ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。

(72) 发明人:孙天奎 **(SUN, Tiankui)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 史明明 **(SHI, Mingming)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 刘建 **(LIU, Jian)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 庄舒仪 **(ZHUANG, Shuyi)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 郭佳豪 **(GUO, Jiahao)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 苏伟 **(SU, Wei)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 肖小龙 **(XIAO, Xiaolong)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 吴凡 **(WU, Fan)**; 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103

(54) **Title:** THYRISTOR-BASED ARC-FREE ON-LOAD VOLTAGE REGULATION SWITCH DEVICE FOR DISTRIBUTION TRANSFORMER

(54) 发明名称: 一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置

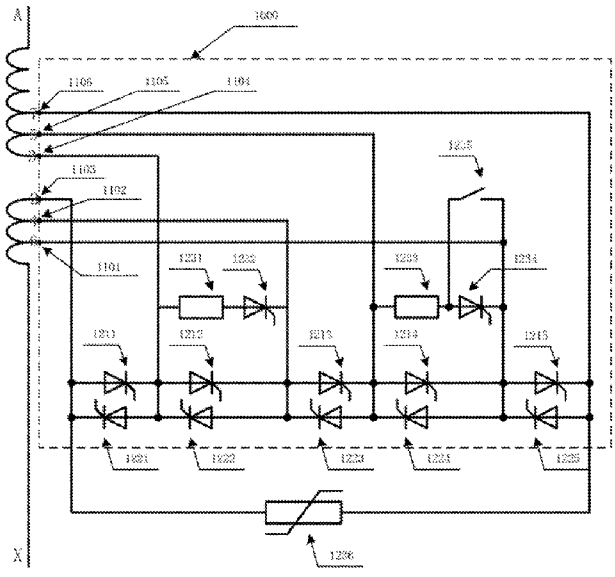

图 1

(57) **Abstract:** Disclosed in the present invention is a thyristor-based arc-free on-load voltage regulation switch device for a distribution transformer, comprising A/B/C-phase voltage regulation switch circuits separately connected to a primary side three-phase winding of the distribution transformer. The A/B/C-phase voltage regulating switch circuits have the same topological structure and each comprise five anti-parallel thyristor groups, a first anti-circulation circuit, a second anti-circulation circuit, a starting switch, and a lightning arrester. The five anti-parallel thyristor groups are sequentially connected in series to form an anti-parallel thyristor string having six connection points, and the six connection points are connected to corresponding A/B/C-phase winding taps of the distribution transformer. The first anti-circulation circuit is connected in parallel to the second anti-parallel thyristor group, and the second anti-circulation circuit

WO 2023/245742 A1

[见续页]

(CN)。 缪惠宇(**MIAO, Huiyu**); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。 肖华锋(**XIAO, Huafeng**); 中国江苏省南京市江宁区帕威尔路1号, Jiangsu 211103 (CN)。

(74) 代理人: 南京纵横知识产权代理有限公司 (**NANJING ZONGHENG INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.**); 中国江苏省南京市江北新区星火路17号中建环球大厦12楼, Jiangsu 210031 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

is connected in parallel to the fourth anti-parallel thyristor group. The first anti-circulation circuit and the second anti-circulation circuit are controlled by using a half-wave switching control method, such that low-circulation switching between multiple transformation ratios of the distribution transformer is realized.

(57) 摘要: 本发明公开了一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，包括分别与配电变压器一次侧三相绕组相连的三相调压开关电路；三相调压开关电路的拓扑结构相同，均包括：五组反并联晶闸管组、第一防环流电路、第二防环流电路、启动开关和避雷器；五组反并联晶闸管组依次串联，形成具有6个连接点的反并联晶闸串，6个连接点用于与相应的配电变压器A/B/C相绕组抽头连接；第一防环流电路与第二反并联晶闸管组并联，第二防环流电路与第四反并联晶闸管组并联；采用半波切换控制方法对第一防环流电路和第二防环流电路进行控制，实现配电变压器多变比间的低环流切换。

说 明 书

一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置

技术领域

本发明属于中压交流开关技术领域，具体涉及一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置。

背景技术

目前高压配电变压器的有载调压开关通常采用机械式设计，但机械式设计存在在调压中起弧、使用寿命短等缺点。随着整县光伏工程的深入，低压配网中接入大量的分布式光伏，引起台区电压大范围波动甚至越线，造成电能质量下降，影响用户设备正常工作。

因此，亟需一种适用于 10kV 配变的无弧有载调压装置。

发明内容

发明目的：为解决因光伏功率波动而引起的台区电压越限的问题，本发明提出了一种高比例光伏并网场景下适用于 10kV 配电变压器的无弧又在调压开关装置。

技术方案：一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，包括分别与配电变压器一次侧三相绕组相连的A相调压开关电路、B相调压开关电路和C相调压开关电路；

所述A相调压开关电路、B相调压开关电路和C相调压开关电路的拓扑结构相同，均包括：第一反并联晶闸管组、第二反并联晶闸管组、第三反并联晶闸管组、第四反并联晶闸管组、第五反并联晶闸管组、第一防环流电路、第二防环流电路、启动开关和避雷器；

所述第一反并联晶闸管组、第二反并联晶闸管组、第三反并联晶闸管组、第四反并联晶闸管组、第五反并联晶闸管组依次串联，形成具有6个连接点的反并联晶闸串，6个所述连接点依次与配电变压器A/B/C相绕组2号抽头、3号抽头、4号抽头、5号抽头、6号抽头和7号抽头连接；每组反并联晶闸管组均由第一晶闸管和第二晶闸管反向并联构成；

所述第一防环流电路和第二防环流电路，均包括一缓冲电阻和一切换晶闸管；所述缓冲电阻的一端与切换晶闸管的正极连接；第一防环流电路与第二反并联晶闸管组并联，该第一防环流电路中的切换晶闸管的导通方向与第二反并联晶闸管中的第一晶闸管的导通方向一致；第二防环流电路与第四反并联晶闸管组并联，该第二防环流电路中的切换晶闸管的导通方向与第四反并联晶闸管中的第一晶闸管的导通方向一致；

所述启动开关与第二防环流电路中的切换晶闸管并联；

所述避雷器与反并联晶闸串并联；

采用半波切换控制方法对第一防环流电路和第二防环流电路进行控制，实现配电变压器多变比间的低环流切换；

所述半波切换控制方法为通过打开/关闭相应的反并联晶闸管组中的第一晶闸管和第二晶闸管，以及打开/关闭相应防环流电路中的切换晶闸管，来改变相应配电变压器A/B/C相绕组抽头的短接。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由0.95p.u.提升至0.975p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头保持连接，第一连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 2 号抽头断开连接，第三连接点接入配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头；

当第一反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭该第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通该切换晶闸管，电流转移到第一防环流电路中；

当第一反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流降至 0 后，关闭第一反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第二反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管电流降至 0 后，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第二反并联晶闸管组的第一晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头短接，完成升压过程。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 0.975p.u.提升至 1p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头保持连接，第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头断开连接，第四连接点接入配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头；

当第二反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭该第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通该切换晶闸管；

当第二反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流降至 0 后，关闭第二反并联晶闸管组的第二晶闸管，同时导通第三反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第三反并联晶闸管组的第二晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头短接，完成升压过程。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 1p.u.提升至 1.025p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头保持连接，第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头断开，第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头连接；

当第三反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭该第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通该第二防环流电路中的切换晶闸管，电流转移到第二防环流电路中；

当第三反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流降至 0 时，关闭第三反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第四反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流降至 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，同时打开第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头和配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头短接，完成升压过程。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 1.025p.u.提升至 1.05p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头保持连接，第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头断开连接，第六连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头连接；

当第四反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通第二防环流电路中的切换晶闸管，将电流转移到第二防环流电路中；

当第四反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第二晶闸管；同时打开第五反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，同时打开第五反并联晶闸管组的第二晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头短接，完成升压过程。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 1.05p.u.降低至 1.025p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头保持连接；第六连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头断开，第四连接点接入配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头；

当第五反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第五反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通第二防环流电路中的切换晶闸管，将电流转移到第二防环流电路中；

当第五反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第五反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第四反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，同时导通第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；将由配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号

抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头短接改为配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头短接，完成降压。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 1.025p.u.降低至 1p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头保持连接，第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头断开，第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头连接；

当第四反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，打开第二防环流电路中的切换晶闸管；

当第四反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第二晶闸管，同时打开第三反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，并打开第三反并联晶闸管组的第二晶闸管。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 1p.u.降低至 0.975p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组“4 号”抽头保持连接，第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头断开连接，第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头连接；

当第三反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第三反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通第一防环流电路中的切换晶闸管；

当第三反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第三反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第二反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第二反并联晶闸管组的第一晶闸管，完成降压过程。

进一步的，当二次侧电压标幺值需由 0.975p.u.降低至 0.95p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头保持连接，第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头断开连接，第一连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 2 号抽头连接；

当第二反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为0时，关闭第二反并联晶闸管组的第

一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，打开第一防环流电路中的切换晶闸管；

当第二反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为0时，关闭第二反并联晶闸管组的第二晶闸管，并打开第一反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管的电流为0时，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第一反并联晶闸管组的第二晶闸管。

有益效果：本发明与现有技术相比，具有以下优点：

（1）本发明的每一相绕组的 5 组反并联晶闸管依次串联，并与跨步电压抽头连接，构成调压电路，适合跨步电压抽头的标准配电变压器的绕组结构；

（2）本发明在 5 组串联的反并联晶闸串的两端并联避雷器，灵敏钳位反并联晶闸管串电压，在保护全部晶闸管的同时，增大晶闸管正常工作与非正常工作工况间的电压差异，特别是正常工作下晶闸管最大电压应力大于避雷器电压应力，大幅提高灵敏度；

（3）本发明仅由 1 只晶闸管与电阻串联构成防环流电路，并以此提出一种适合该防环流电路的半波切换控制方法，实现配电变压器多变比间的低环流切换，相比传统的反并联晶闸管组合方式每一相节省 1 只晶闸管；

（4）对每一相绕组，在绕组 3 号抽头和 4 号抽头之间接入第一防环流电路，在绕组 5 号抽头和 6 号抽头接入第二防环流电路，通过控制实现配电变压器多档变比的低环流切换；

（5）对每一相绕组，启动开关与第二防环流电路中的切换晶闸管并联，复用防环流电路的电阻，相比传统的独立启动开关配置方式，每一相减少1只启动电阻。

附图说明

图 1 为 A 相一次绕组接线示意图；

图 2 为 B 相一次绕组接线示意图；

图 3 为 C 相一次绕组接线示意图；

图 4 为 A 相全部晶闸管的电压随时间的变化曲线；

图 5 为当变压器输出电压由 1p.u.提升至 1.025p.u.时，晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1214、晶闸管 1224、切换晶闸管 1234 的电压随时间的变化曲线；

图 6 为当变压器输出电压由 1p.u.提升至 1.025p.u.时，晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1214、晶闸管 1224、切换晶闸管 1234 电流随时间的变化曲线；

图 7 为输出电压；

图 8 为当变压器输出电压由 1p.u.降至至 0.975p.u.时，晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1212、晶闸管 1222、晶闸管 1232 电压随时间的变化曲线；

图 9 为当变压器输出电压由 1p.u.降至至 0.975p.u.时，晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1212、晶闸管 1222、晶闸管 1232 电流随时间的变化曲线；

图 10 为当变压器输出电压由 1p.u.降至至 0.975p.u.时，输出电压。

具体实施方式

现结合附图和实施例对本发明的技术方案做进一步说明。

现结合图 1 至图 3 示出的拓扑结构，对本发明提出的适用于 10kV 配电变压器的无弧有载调压开关装置的电路结构做进一步说明。其主要包括分别与配电变压器一次侧三相绕组相连接的 A 相调压开关电路 1000、B 相调压开关电路 2000 和 C 相调压开关电路 3000。

如图 1 所示，A 相调压开关电路 1000，包括：A 相第一装置绕组连接器 1101、A 相第二装置绕组连接器 1102、A 相第三装置绕组连接器 1103、A 相第四装置绕组连接器 1104、A 相第五装置绕组连接器 1105、A 相第六装置绕组连接器 1106、A 相第一反并联晶闸管组、A 相第二反并联晶闸管组、A 相第三反并联晶闸管组、A 相第四反并联晶闸管组、A 相第五反并联晶闸管组、A 相第一防环流电路、A 相第二防环流电路、A 相启动开关 1235 和 A 相避雷器 1236。

其中，A 相调压开关电路 1000 中涉及的反并联晶闸管组均由两个晶闸管反并联构成。即：A 相第一反并联晶闸管组由晶闸管 1211 与晶闸管 1221 反并联构成；A 相第二反并联晶闸管组由晶闸管 1212 与晶闸管 1222 反并联构成；A 相第三反并联晶闸管组由晶闸管 1213 与晶闸管 1223 反并联构成；A 相第四反并联晶闸管组由晶闸管 1214 与晶闸管 1224 反并联构成；A 相第五反并联晶闸管组由晶闸管 1215 与晶闸管 1225 反并联构成。5 组反并联晶闸管依次串联，并与跨步电压抽头连接，构成调压电路，以此可以适合跨步电压抽头的标准配电变压器的绕组结构。由 5 组反并联晶闸管依次串联形成的反并联晶闸串的两端并联避雷器，灵敏钳位反并联晶闸管串电压，在保护全部晶闸管的同时，增大晶闸管正常工作与非正常工作工况间的电压差异，特别是正常工作下晶闸管最大电压应力大于避雷器电压应力，大幅提高灵敏度。

其中，A 相调压开关电路 1000 中涉及的防环流电路均由一缓冲电阻和一切换晶闸管串联构成；即：A 相第一防环流电路由缓冲电阻 1231 与切换晶闸管 1232 串联构成；A 相第二防环流电路由缓冲电阻 1233 与切换晶闸管 1234 串联构成。本发明仅由 1 只晶闸管与电阻串联构成防环流电路，并提出一种适合该防环流电路的半波切换控制方法，实现配电变压器多变比间的低环流切换，相比传统的反并联晶闸管组合方式每一相节省 1 只晶闸管。

为方便说明拓扑结构，记缓冲电阻 1231 的两个端子分别为 12311 和 12312，缓冲电阻 1233 的两个端子分别为 12331 和 12332，A 相启动开关 1235 的两个端子分别为 12351

和 12352，A 相避雷器 1236 的两个端子分别为 12361 和 12362。

A 相第一装置绕组连接器 1101 与配电变压器 A 相绕组“6 号”抽头（国家电网典型设计）连接；A 相第一装置绕组连接器 1101 与切换晶闸管 1234 的负极、A 相启动开关 1235 的另一端 12352、晶闸管 1214 的负极、晶闸管 1224 的正极、晶闸管 1215 的正极、晶闸管 1225 的负极连接。

A 相第二装置绕组连接器 1102 与配电变压器 A 相绕组“4 号”抽头（国家电网典型设计）连接；A 相第二装置绕组连接器 1102 与切换晶闸管 1232 的负极、晶闸管 1212 的负极、晶闸管 1222 的正极、晶闸管 1213 的正极、晶闸管 1223 的负极连接。

A 相第三装置绕组连接器 1103 与配电变压器 A 相绕组“2 号”抽头（国家电网典型设计）连接；A 相第三装置绕组连接器 1103 与晶闸管 1211 的正极、晶闸管 1221 的负极、A 相避雷器 1236 的一端 12361 连接。

A 相第四装置绕组连接器 1104 与配电变压器 A 相绕组“3 号”抽头（国家电网典型设计）连接；A 相第四装置绕组连接器 1104 与缓冲电阻 1231 的一端 12311、晶闸管 1211 的负极、晶闸管 1221 的正极、晶闸管 1212 的正极、晶闸管 1222 的负极连接。

A 相第五装置绕组连接器 1105 与配电变压器 A 相绕组“5 号”抽头（国家电网典型设计）连接；A 相第五装置绕组连接器 1105 与缓冲电阻 1233 的一端 12331、晶闸管 1213 的负极、晶闸管 1223 的正极、晶闸管 1214 的正极、晶闸管 1224 的负极连接。

A 相第六装置绕组连接器 1106 与配电变压器 A 相绕组“7 号”抽头（国家电网典型设计）连接。A 相第六装置绕组连接器 1106 与晶闸管 1215 的负极、晶闸管 1225 的正极以及 A 相避雷器 1236 的另一端 12362 连接。

缓冲电阻 1231 的另一端 12312 与晶闸管 1232 的正极连接；缓冲电阻 1233 的另一端 12332 与切换晶闸管 1234 的正极、A 相启动开关 1235 的一端 12351 连接。

A 相启动开关 1235 与切换晶闸管 1234 并联，复用 A 相第二防环流电路的电阻。相比传统的独立启动开关配置方式，每一相减少 1 只启动电阻。

如图 2 所示，B 相调压开关电路 2000 的拓扑结构与 A 相调压开关电路 1000 的拓扑结构相同，即其主要包括：B 相第一装置绕组连接器 2101、B 相第二装置绕组连接器 2102、B 相第三装置绕组连接器 2103、B 相第四装置绕组连接器 2104、B 相第五装置绕组连接器 2105、B 相第六装置绕组连接器 2106、B 相第一反并联晶闸管组、B 相第二反并联晶闸管组、B 相第三反并联晶闸管组、B 相第四反并联晶闸管组、B 相第五反并联晶闸管组、B 相第一防环流电路、B 相第二防环流电路、B 相启动开关 2235 和 B 相避雷器 2236。

其中，B 相调压开关电路 2000 中涉及的反并联晶闸管组均由两个晶闸管反并联构成。即：B 相第一反并联晶闸管组由晶闸管 2211 与晶闸管 2221 反并联构成；B 相第二反并联晶闸管组由晶闸管 2212 与晶闸管 2222 反并联构成；B 相第三反并联晶闸管组由

晶闸管 2213 与晶闸管 2223 反并联构成；B 相第四反并联晶闸管组由晶闸管 2214 与晶闸管 2224 反并联构成；B 相第五反并联晶闸管组由晶闸管 2215 与晶闸管 2225 反并联构成。5 组反并联晶闸管依次串联，并与跨步电压抽头连接，构成调压电路，以此可以适合跨步电压抽头的标准配电变压器的绕组结构。由 5 组反并联晶闸管依次串联形成的反并联晶闸串的两端并联避雷器，灵敏钳位反并联晶闸管串电压，在保护全部晶闸管的同时，增大晶闸管正常工作与非正常工作工况间的电压差异，特别是正常工作下晶闸管最大电压应力大于避雷器电压应力，大幅提高灵敏度。

其中，B 相调压开关电路 2000 中涉及的防环流电路均由一缓冲电阻和一切换晶闸管串联构成；即：B 相第一防环流电路由缓冲电阻 2231 与切换晶闸管 2232 串联构成；B 相第二防环流电路由缓冲电阻 2233 与切换晶闸管 2234 串联构成。本发明仅由 1 只晶闸管与电阻串联构成防环流电路，并提出一种适合该防环流电路的半波切换控制方法，实现配电变压器多变比间的低环流切换，相比传统的反并联晶闸管组合方式每一相节省 1 只晶闸管。

为方便说明拓扑结构，记缓冲电阻 2231 的两个端子分别为 22311 和 22312，缓冲电阻 2233 的两个端子分别为 22331 和 22332，B 相启动开关 2235 的两个端子分别为 22351 和 22352，B 相避雷器 2236 的两个端子分别为 22361 和 22362。

B 相第一装置绕组连接器 2101 与配电变压器 B 相绕组“6 号”抽头（国家电网典型设计）连接；B 相第一装置绕组连接器 2101 与切换晶闸管 2234 的负极、B 相启动开关 2235 的另一端 22352、晶闸管 2214 的负极、晶闸管 2224 的正极、晶闸管 2215 的正极、晶闸管 2225 的负极连接；缓冲电阻 2231 的另一端 22312 与晶闸管 2232 的正极连接；缓冲电阻 2233 的另一端 22332 与晶闸管 2234 的正极、B 相启动开关 2235 的一端 22351 连接。

B 相第二装置绕组连接器 2102 与配电变压器 B 相绕组“4 号”抽头（国家电网典型设计）连接；B 相第二装置绕组连接器 2102 与切换晶闸管 2232 的负极、晶闸管 2212 的负极、晶闸管 2222 的正极、晶闸管 2213 的正极、晶闸管 2223 的负极连接。

B 相第三装置绕组连接器 2103 与配电变压器 B 相绕组“2 号”抽头（国家电网典型设计）连接；B 相第三装置绕组连接器 2103 与晶闸管 2211 的正极、晶闸管 2221 的负极、B 相避雷器的一端 22361 连接。

B 相第四装置绕组连接器 2104 与配电变压器 B 相绕组“3 号”抽头（国家电网典型设计）连接；B 相第四装置绕组连接器 2104 与缓冲电阻 2231 的一端 22311、晶闸管 2211 的负极、晶闸管 2221 的正极、晶闸管 2212 的正极、晶闸管 2222 的负极连接。

B 相第五装置绕组连接器 2105 与配电变压器 B 相绕组“5 号”抽头（国家电网典型设计）连接；B 相第五装置绕组连接器 2105 与晶闸管 2211 的正极、晶闸管 2221 的负极、

B 相避雷器的一端 22361 连接。

B 相第六装置绕组连接器 2106 与配电变压器 B 相绕组“7 号”抽头（国家电网典型设计）连接。B 相第六装置绕组连接器 2106 与晶闸管 2215 的负极、晶闸管 2225 的正极以及 B 相避雷器 2236 的另一端 22362 连接。

B 相启动开关 2235 与切换晶闸管 2234 并联，复用 B 相第二防环流电路的电阻。相比传统的独立启动开关配置方式，每一相减少 1 只启动电阻。

如图 3 所示，C 相调压开关电路 3000 的拓扑结构与 A 相调压开关电路 1000 的拓扑结构相同，即其主要包括：C 相第一装置绕组连接器 3101、C 相第二装置绕组连接器 3102、C 相第三装置绕组连接器 3103、C 相第四装置绕组连接器 3104、C 相第五装置绕组连接器 3105、C 相第六装置绕组连接器 3106、C 相第一反并联晶闸管组、C 相第二反并联晶闸管组、C 相第三反并联晶闸管组、C 相第四反并联晶闸管组、C 相第五反并联晶闸管组、C 相第一防环流电路、C 相第二防环流电路、C 相启动开关 3235 和 C 相避雷器 3236。

其中，C 相调压开关电路 3000 中涉及的反并联晶闸管组均由两个晶闸管反并联构成。即：C 相第一反并联晶闸管组由晶闸管 3211 与晶闸管 3221 反并联构成；C 相第二反并联晶闸管组由晶闸管 3212 与晶闸管 3222 反并联构成；C 相第三反并联晶闸管组由晶闸管 3213 与晶闸管 3223 反并联构成；C 相第四反并联晶闸管组由晶闸管 3214 与晶闸管 3224 反并联构成；C 相第五反并联晶闸管组由晶闸管 3215 与晶闸管 3225 反并联构成。5 组反并联晶闸管依次串联，并与跨步电压抽头连接，构成调压电路，以此可以适合跨步电压抽头的标准配电变压器的绕组结构。由 5 组反并联晶闸管依次串联形成的反并联晶闸串的两端并联避雷器，灵敏钳位反并联晶闸管串电压，在保护全部晶闸管的同时，增大晶闸管正常工作与非正常工作工况间的电压差异，特别是正常工作下晶闸管最大电压应力大于避雷器电压应力，大幅提高灵敏度。

其中，C 相调压开关电路 3000 中涉及的防环流电路均由一缓冲电阻和一切换晶闸管串联构成；即：C 相第一防环流电路由缓冲电阻 3231 与切换晶闸管 3232 串联构成；C 相第二防环流电路由缓冲电阻 3233 与切换晶闸管 3234 串联构成。本发明仅由 1 只晶闸管与电阻串联构成防环流电路，并提出一种适合该防环流电路的半波切换控制方法，实现配电变压器多变比间的低环流切换，相比传统的反并联晶闸管组合方式每一相节省 1 只晶闸管。

为方便说明拓扑结构，记缓冲电阻 3231 的两个端子分别为 32311 和 32312，缓冲电阻 3233 的两个端子分别为 32331 和 32332，C 相启动开关 3235 的两个端子分别为 32351 和 32352，C 相避雷器 3236 的两个端子分别为 32361 和 32362。

C 相第一装置绕组连接器 3101 与配电变压器 C 相绕组“6 号”抽头（国家电网典型设计）连接；C 相第一装置绕组连接器 3101 与切换晶闸管 3234 的负极、C 相启动开关 3235

的另一端 32352、晶闸管 3214 的负极、晶闸管 3224 的正极、晶闸管 3215 的正极、晶闸管 3225 的负极连接；缓冲电阻 3231 的另一端 32312 与晶闸管 3232 的正极连接；缓冲电阻 3233 的另一端 32332 与晶闸管 3234 的正极、C 相启动开关 3235 的一端 32351 连接。

C 相第二装置绕组连接器 3102 与配电变压器 C 相绕组“4 号”抽头（国家电网典型设计）连接；C 相第二装置绕组连接器 3102 与切换晶闸管 3232 的负极、晶闸管 3212 的负极、晶闸管 3222 的正极、晶闸管 3213 的正极、晶闸管 3223 的负极连接。

C 相第三装置绕组连接器 3103 与配电变压器 C 相绕组“2 号”抽头（国家电网典型设计）连接；C 相第三装置绕组连接器 3103 与晶闸管 3211 的正极、晶闸管 3221 的负极、C 相避雷器的一端 32361 连接。

C 相第四装置绕组连接器 3104 与配电变压器 C 相绕组“3 号”抽头（国家电网典型设计）连接；C 相第四装置绕组连接器 3104 与缓冲电阻 3231 的一端 32311、晶闸管 3211 的负极、晶闸管 3221 的正极、晶闸管 3212 的正极、晶闸管 3222 的负极连接。

C 相第五装置绕组连接器 3105 与配电变压器 C 相绕组“5 号”抽头（国家电网典型设计）连接；C 相第五装置绕组连接器 3105 与缓冲电阻 3233 的一端 32331、晶闸管 3213 的负极、晶闸管 3223 的正极、晶闸管 3214 的正极、晶闸管 3224 的负极连接。

C 相第六装置绕组连接器 3106 与配电变压器 C 相绕组“7 号”抽头（国家电网典型设计）连接。C 相第六装置绕组连接器 3106 与晶闸管 3215 的负极、晶闸管 3225 的正极以及 C 相避雷器 3236 的另一端 32362 连接。

C 相启动开关 3235 与切换晶闸管 3234 并联，复用 C 相第二防环流电路的电阻。相比传统的独立启动开关配置方式，每一相减少 1 只启动电阻。

绕组抽头间的晶闸管的耐压限值远低于 10kV。若在启动瞬间每相绕组两段间没有可靠连接，加载在晶闸管两端的电压是 10kV，超过耐压限值，使晶闸管相继击穿。因此，需要增加启动开关，在变压器并网前，保证两段绕组可靠连接。

每一相的控制方法均一致，现以 A 相调压开关电路为例进行详细说明。

在配电变压器升压调压控制中，一次侧绕组需要短接更多的匝数以降低一、二次绕组之间的匝数比，进而在一次侧电压不变的情况下提升二次侧电压。

一、当二次侧电压标幺值由 0.95p.u.提升至 0.975p.u.，一次侧绕组由“2 号”和“3 号”抽头间短接改为“3 号”和“4 号”抽头间短接。

a）当晶闸管 1221 电流为 0 时，关闭晶闸管 1221；

b）当切换晶闸管 1232 正向承受电压时，导通切换晶闸管 1232，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1231 降低环流；

c）当晶闸管 1211 电流降至 0 后，关闭晶闸管 1211，同时打开晶闸管 1222；

d）当晶闸管 1232 电流降至 0 后，关闭 1232 并打开晶闸管 1212，完成升压过程。

二、当二次侧电压标幺值由 0.975p.u.提升至 1p.u.，一次侧绕组由“3 号”和“4 号”抽头间短接改为“4 号”和“5 号”抽头间短接。

a）当晶闸管 1212 电流为 0 时，关闭 1212；

b）当切换晶闸管 1232 正向承受电压时，导通切换晶闸管 1232，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1231 降低环流；

c）当晶闸管 1222 电流降至 0 后，关闭 1222，同时导通 1213；

d）当 1232 降低为 0 时，关闭 1232 并打开 1223，完成升压过程。

三、当二次侧电压标幺值由 1p.u.提升至 1.025p.u.，一次侧绕组由“4 号”和“5 号”抽头间短接改为“5 号”和“6 号”抽头间短接。

a）当 1223 电流为 0 时关闭 1223；

b）在 1234 正向承受电压时导通 1234，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1233 降低环流；

c）当 1213 电流降至 0 时关闭 1213，同时打开 1224；

d）当 1234 电流降至 0 后，关闭 1234，同时导通 1214，完成升压过程。

四、当二次侧电压标幺值由 1.025p.u.提升至 1.05p.u.，一次侧绕组由“5 号”和“6 号”抽头间短接改为“6 号”和“7 号”抽头间短接。

a）当 1214 电流为 0 时，关闭 1214；

b）当 1234 正向承受电压时导通 1234，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1233 降低环流；

c）当 1224 电流降至 0 时关闭 1224，同时打开 1215；

d）当 1234 降低为 0 时，关闭 1234，同时导通 1225，完成升压过程。

在配电变压器降压调压控制中，一次侧绕组需要短接更少的匝数以提高一、二次绕组之间的匝数比，进而在一次侧电压不变的情况下降低二次侧电压。

一、当二次侧电压标幺值由 1.05p.u.降低至 1.025p.u.，一次侧绕组由“6 号”和“7 号”抽头间短接改为“5 号”和“6 号”抽头间短接。

a）当 1225 电流为 0 时，关闭 1225；

b）当 1234 正向承受电压时，导通 1234，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1233 降低环流；

c）当 1215 电流降至 0 后关闭 1215，同时打开 1224；

d）当 1234 电流降至 0 后，关闭 1234 同时导通 1214，完成降压过程。

二、当二次侧电压标幺值由 1.025p.u.降低至 1p.u.，一次侧绕组由“5 号”和“6 号”抽头间短接改为“4 号”和“5 号”抽头间短接。

a）当 1214 电流为 0 时，关闭 1214；

b）当 1234 正向承受电压时，打开 1234，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1233 降低环流；

c）当 1224 电流降至 0 时，关闭 1224，同时打开 1213；

d）当 1234 降低为 0 时，关闭 1234 并打开 1223，完成降压过程。

三、当二次侧电压标幺值由 1p.u.降低至 0.975p.u.，一次侧绕组由“4 号”和“5 号”抽头间短接改为“3 号”和“4 号”抽头间短接。

a）在 1223 电流为 0 时，关闭 1223；

b）在 1232 正向承受电压时，导通 1232，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1231 降低环流；

c）当 1213 电流降至 0 后，关闭 1213，同时打开 1222；

d）当 1232 电流降至 0 后，关闭 1232 并导通 1212，完成降压过程。

四、当二次侧电压标幺值由 0.975p.u.降低至 0.95p.u.，一次侧绕组由“3 号”和“4 号”抽头间短接改为“2 号”和“3 号”抽头间短接。

a）当 1212 电流为 0 时，关闭 1212；

b）当 1232 正向承受电压时，导通 1232，将电流转移到防环流电路中，利用缓冲电阻 1231 降低环流；

c）当 1222 电流降至 0 后，关闭 1222，并导通 1211；

d）当 1232 降低为 0 时，关闭 1232 并导通 1221，完成降压过程。

实施例：

现以 1 台 400kVA 配电变压器为例，晶闸管 1211、晶闸管 1221、晶闸管 1212、晶闸管 1222、晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1214、晶闸管 1224、晶闸管 1215、晶闸管 1225、晶闸管 1232、切换晶闸管 1234、晶闸管 2211、晶闸管 2221、晶闸管 2212、晶闸管 2222、晶闸管 2213、晶闸管 2223、晶闸管 2214、晶闸管 2224、晶闸管 2215、晶闸管 2225、晶闸管 2232、晶闸管 2234、晶闸管 3211、晶闸管 3221、晶闸管 3212、晶闸管 3222、晶闸管 3213、晶闸管 3223、晶闸管 3214、晶闸管 3224、晶闸管 3215、晶闸管 3225、晶闸管 3232 和晶闸管 3234 均选择耐压参数为 1600V，额定电流参数为 40A 的 TOP 封装的晶闸管。缓冲电阻 1231、缓冲电阻 1233、缓冲电阻 2231、缓冲电阻 2233、缓冲电阻 3231、缓冲电阻 3233 选择 15 欧姆、300 瓦的功率电阻。A 相启动开关 1235、B 相启动开关 2235 和 C 相启动开关 3235 选择额定电压为 380V、额定电流为 40A 的三相交流空气开关。

电网侧为稳定的 10kV 稳定的电压源，0.005 秒时一次侧并网，0.02 秒时启动开关断开，启动过程中 A 相全部晶闸管的电压如图 4 所示，从图 4 中可以看出晶闸管电压应力

均没有超过耐压参数。

当变压器输出电压由 1p.u.提升至 1.025p.u.时，晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1214、晶闸管 1224、晶闸管 1234 的电压及电流如图 5 和图 6 所示，输出电压如图 7 所示。

当变压器输出电压由 1p.u.降至至 0.975p.u.时，晶闸管 1213、晶闸管 1223、晶闸管 1212、晶闸管 1222、晶闸管 1232 的电压及电流如图 8 和图 9 所示，输出电压如图 10 所示。

权 利 要 求 书

1、一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：包括分别与配电变压器一次侧三相绕组相连的A相调压开关电路、B相调压开关电路和C相调压开关电路；

所述A相调压开关电路、B相调压开关电路和C相调压开关电路的拓扑结构相同，均包括：第一反并联晶闸管组、第二反并联晶闸管组、第三反并联晶闸管组、第四反并联晶闸管组、第五反并联晶闸管组、第一防环流电路、第二防环流电路、启动开关和避雷器；

所述第一反并联晶闸管组、第二反并联晶闸管组、第三反并联晶闸管组、第四反并联晶闸管组、第五反并联晶闸管组依次串联，形成具有6个连接点的反并联晶闸串，6个所述连接点依次与配电变压器A/B/C相绕组2号抽头、3号抽头、4号抽头、5号抽头、6号抽头和7号抽头连接；每组反并联晶闸管组均由第一晶闸管和第二晶闸管反向并联构成；

所述第一防环流电路和第二防环流电路，均包括一缓冲电阻和一切换晶闸管；所述缓冲电阻的一端与切换晶闸管的正极连接；第一防环流电路与第二反并联晶闸管组并联，该第一防环流电路中的切换晶闸管的导通方向与第二反并联晶闸管中的第一晶闸管的导通方向一致；第二防环流电路与第四反并联晶闸管组并联，该第二防环流电路中的切换晶闸管的导通方向与第四反并联晶闸管中的第一晶闸管的导通方向一致；

所述启动开关与第二防环流电路中的切换晶闸管并联；

所述避雷器与反并联晶闸串并联；

采用半波切换控制方法对第一防环流电路和第二防环流电路进行控制，实现配电变压器多变比间的低环流切换；

所述半波切换控制方法为通过打开/关闭相应的反并联晶闸管组中的第一晶闸管和第二晶闸管，以及打开/关闭相应防环流电路中的切换晶闸管，来改变相应配电变压器A/B/C相绕组抽头的短接。

2、根据权利要求1所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由0.95p.u.提升至0.975p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头保持连接，第一连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 2 号抽头断开连接，第三连接点接入配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头；

当第一反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭该第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通该切换晶闸管，电流转移到第一防环流电路中；

当第一反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流降至 0 后，关闭第一反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第二反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管电流降至 0 后，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第二反并联晶闸管组的第一晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头短接，完成升压过程。

3、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 0.975p.u.提升至 1p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头保持连接，第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头断开连接，第四连接点接入配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头；

当第二反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭该第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通该切换晶闸管；

当第二反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流降至 0 后，关闭第二反并联晶闸管组的第二晶闸管，同时导通第三反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第三反并联晶闸管组的第二晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头短接，完成升压过程。

4、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 1p.u.提升至 1.025p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头保持连接，第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头断开，第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头连接；

当第三反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭该第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通该第二防环流电路中的切换晶闸管，电流转移到第二防环流电路中；

当第三反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流降至 0 时，关闭第三反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第四反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流降至 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，同时打开第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头和配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头短接，完成升压过程。

5、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关

装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 1.025p.u.提升至 1.05p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头保持连接，第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头断开连接，第六连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头连接；

当第四反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通第二防环流电路中的切换晶闸管，将电流转移到第二防环流电路中；

当第四反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第二晶闸管；同时打开第五反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，同时打开第五反并联晶闸管组的第二晶闸管；使配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头短接，完成升压过程。

6、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 1.05p.u.降低至 1.025p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头保持连接；第六连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头断开，第四连接点接入配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头；

当第五反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第五反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通第二防环流电路中的切换晶闸管，将电流转移到第二防环流电路中；

当第五反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第五反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第四反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，同时导通第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；将由配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 7 号抽头短接改为配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头短接，完成降压。

7、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 1.025p.u.降低至 1p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头保持连接，第五连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 6 号抽头断开，第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 4 号抽头连接；

当第四反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，打开第二防环流电路中的切换晶闸管；

当第四反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第四反并联晶闸管组的第二晶闸管，同时打开第三反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第二防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第二防环流电路中的切换晶闸管，并打开第三反并联晶闸管组的第二晶闸管。

8、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 1p.u.降低至 0.975p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第三连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组“4 号”抽头保持连接，第四连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 5 号抽头断开连接，第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头连接；

当第三反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为 0 时，关闭第三反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，导通第一防环流电路中的切换晶闸管；

当第三反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为 0 时，关闭第三反并联晶闸管组的第一晶闸管，同时打开第二反并联晶闸管组的第二晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管的电流为 0 时，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第二反并联晶闸管组的第一晶闸管，完成降压过程。

9、根据权利要求 1 所述的一种用于配电变压器的基于晶闸管的无弧有载调压开关装置，其特征在于：

当二次侧电压标幺值需由 0.975p.u.降低至 0.95p.u.时，所述半波切换控制方法包括以下步骤：

第二连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 3 号抽头保持连接，第三连接点与配电变压

器 A/B/C 相绕组 4 号抽头断开连接，第一连接点与配电变压器 A/B/C 相绕组 2 号抽头连接；

当第二反并联晶闸管组的第一晶闸管的电流为0时，关闭第二反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管正向承受电压时，打开第一防环流电路中的切换晶闸管；

当第二反并联晶闸管组的第二晶闸管的电流为0时，关闭第二反并联晶闸管组的第二晶闸管，并打开第一反并联晶闸管组的第一晶闸管；

当第一防环流电路中的切换晶闸管的电流为0时，关闭第一防环流电路中的切换晶闸管，并打开第一反并联晶闸管组的第二晶闸管。

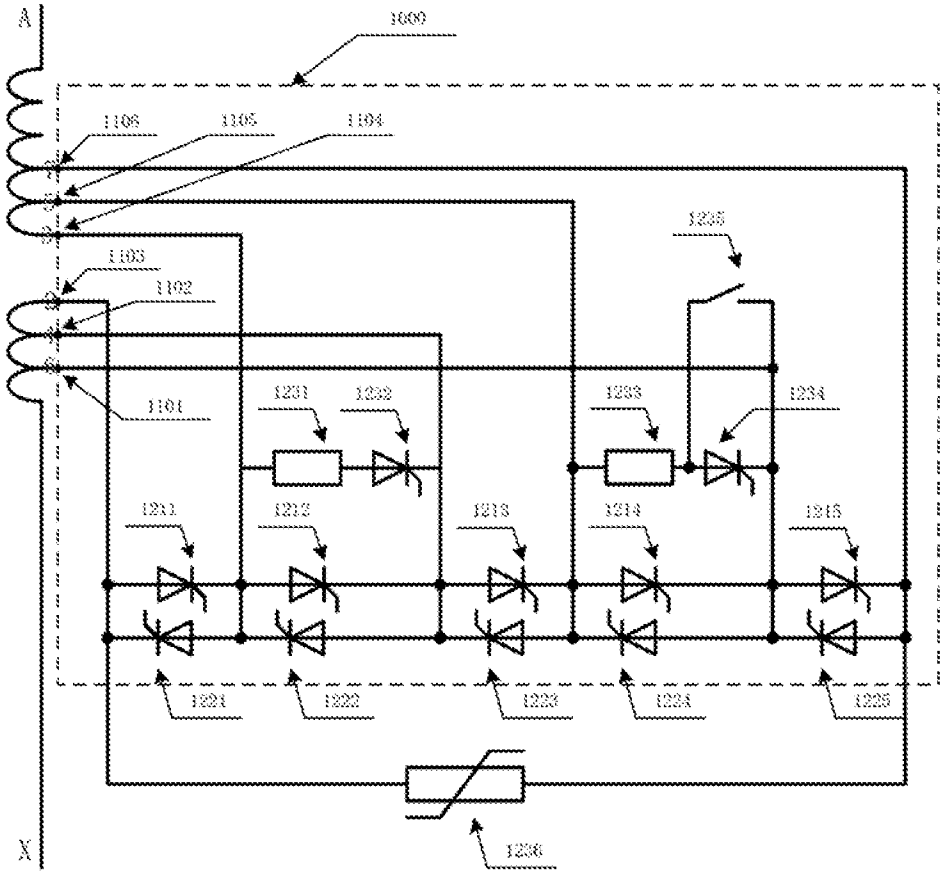
A
1600
1106
1105
1104
1103
1102
1101
1235
1231
1232
1233
1234
1211
1212
1213
1214
1215
1221
1222
1223
1224
1225
1226
X

图 1

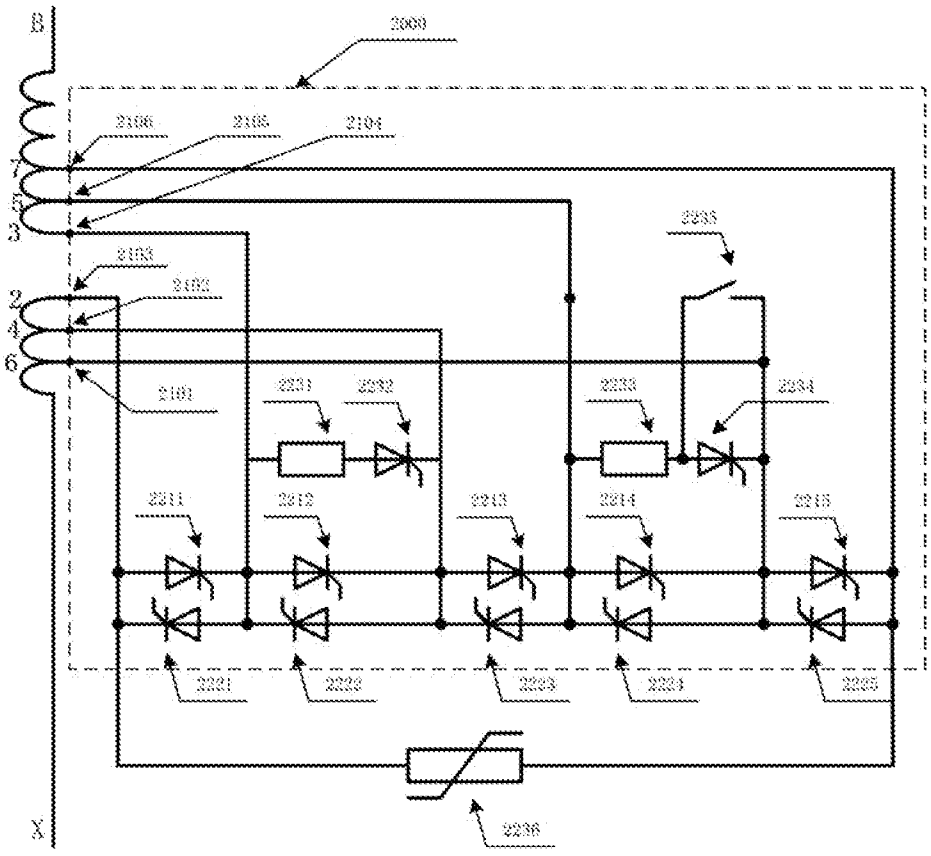
B
2600
2106
2105
2104
2103
2102
2101
2235
2231
2232
2233
2234
2211
2212
2213
2214
2215
2221
2222
2223
2224
2225
2226
X

图 2

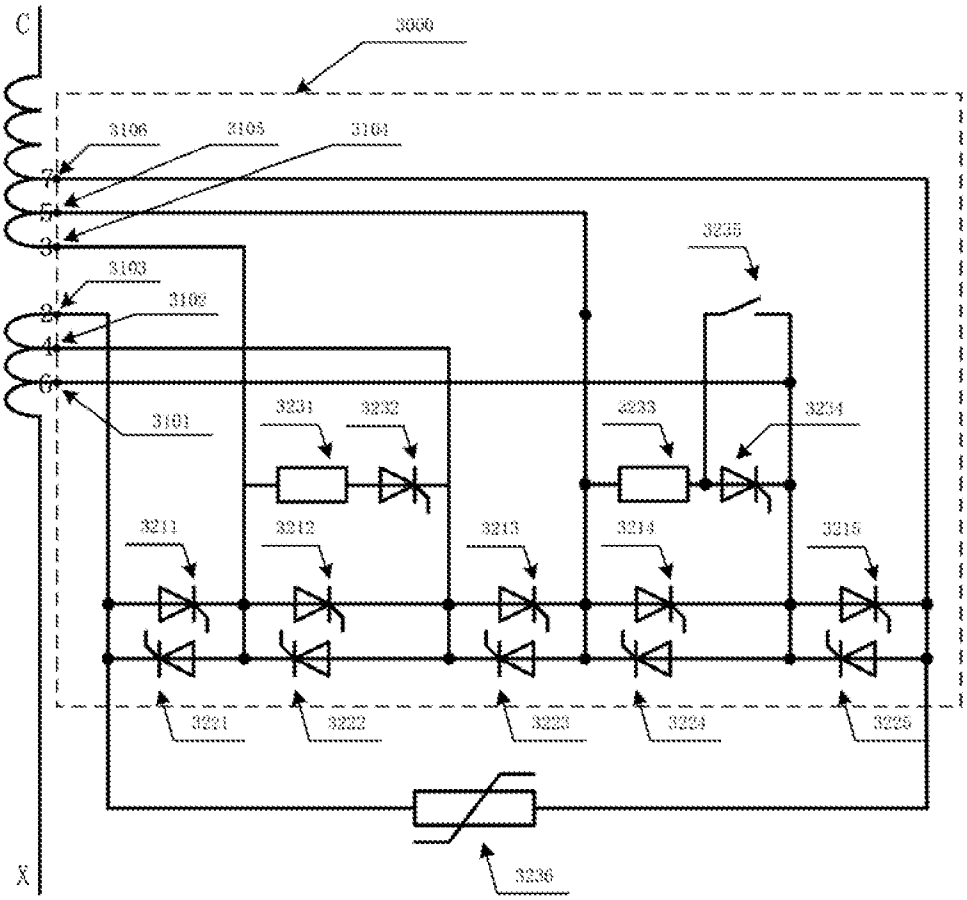
C
X
3000
3106
3105
3104
3103
3102
3101
3235
3231
3232
3233
3234
3211
3212
3213
3214
3215
3221
3222
3223
3224
3225
3236

图 3

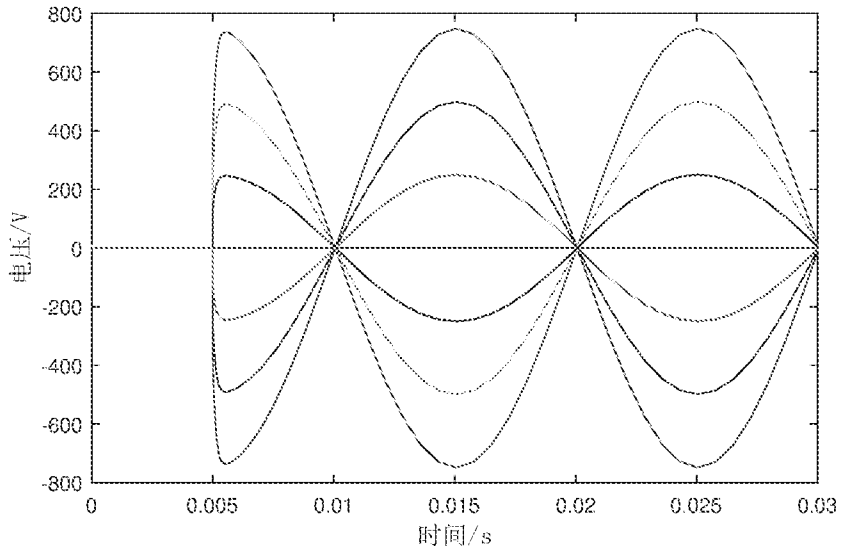
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
电压/V
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
时间/s

图 4

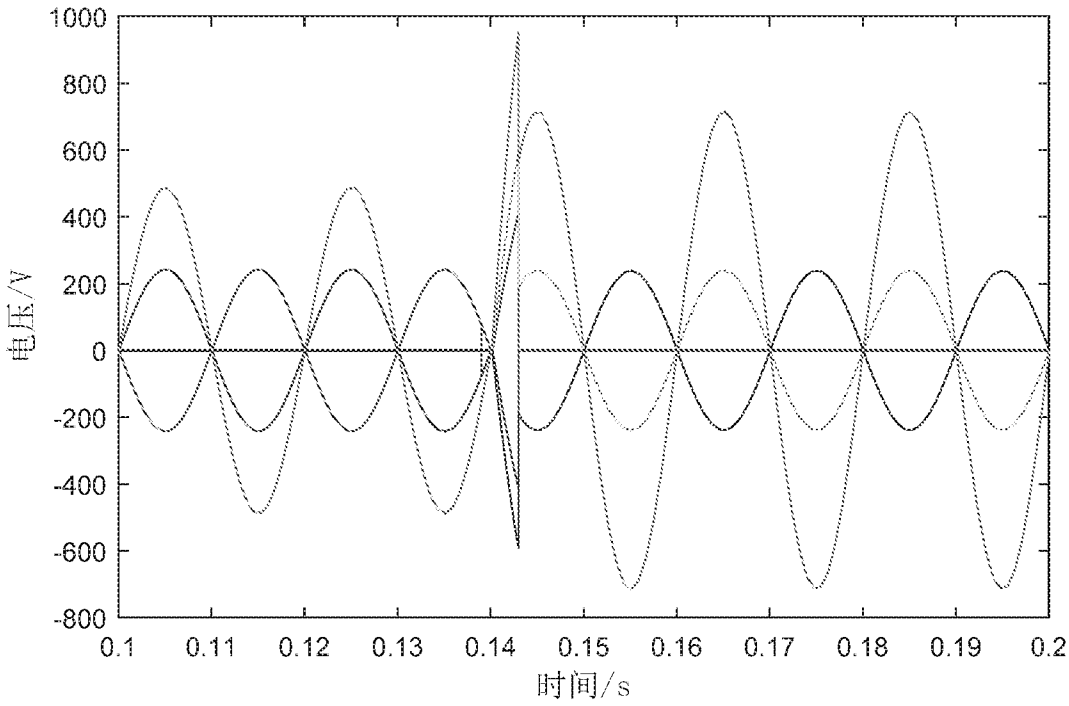
1000
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
电压/V
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
时间/s

图 5

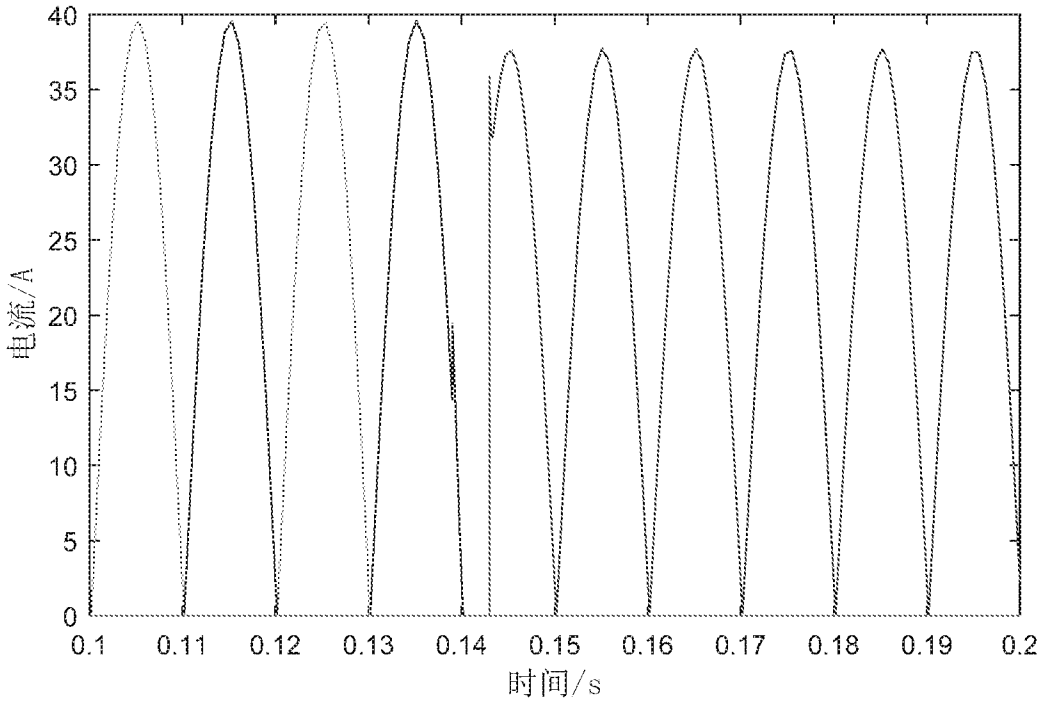
40
35
30
25
20
15
10
5
0
电流/A
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
时间/s

图 6

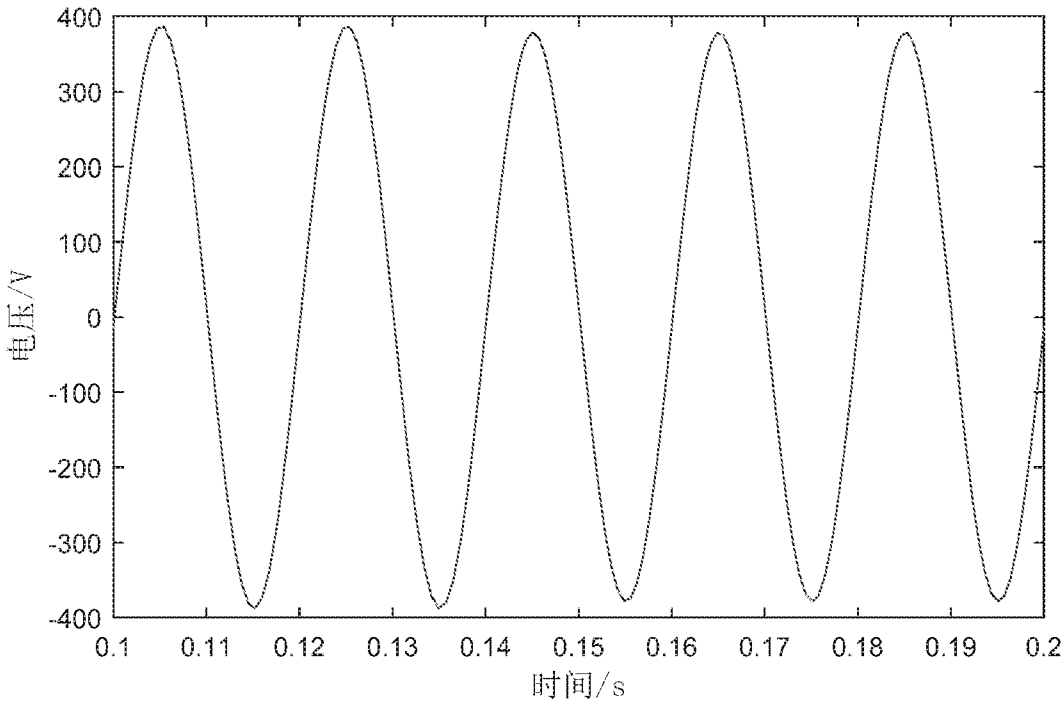
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
电压/V
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
时间/s

图 7

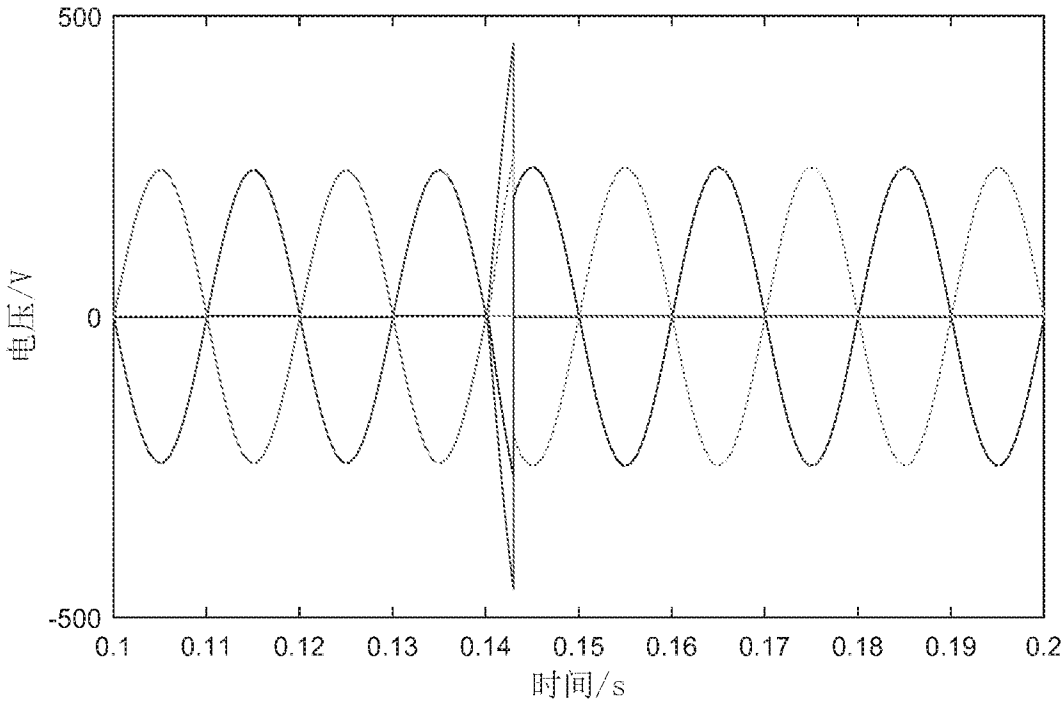
500
0
-500
电压/V
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
时间/s

图 8

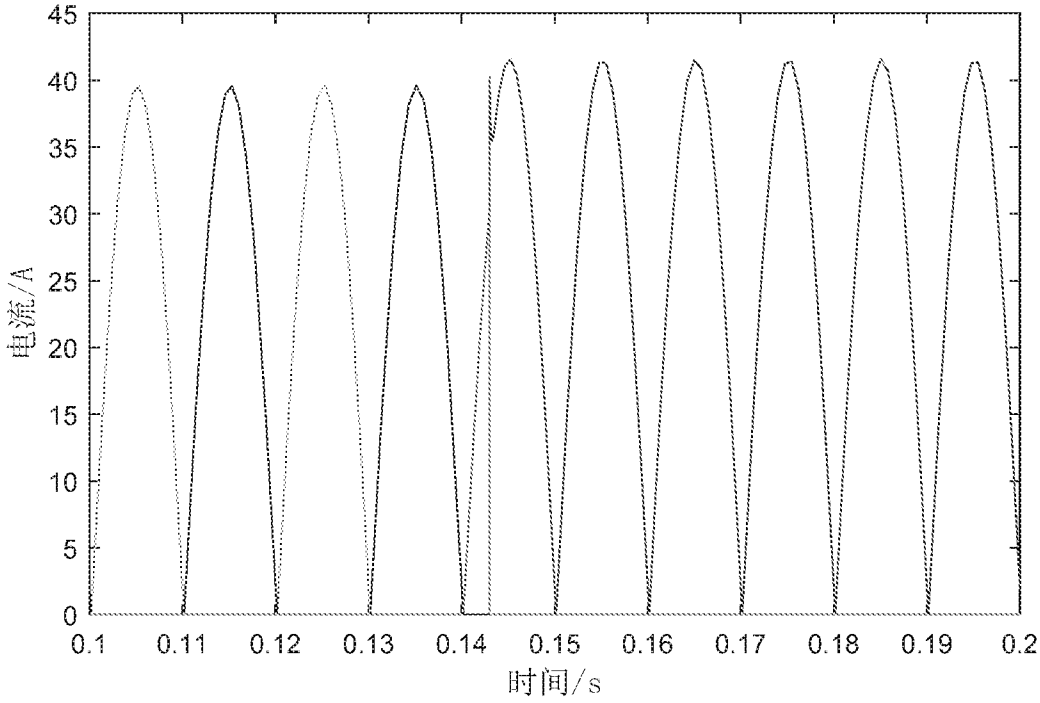
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
电流/A
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
时间/s

图 9

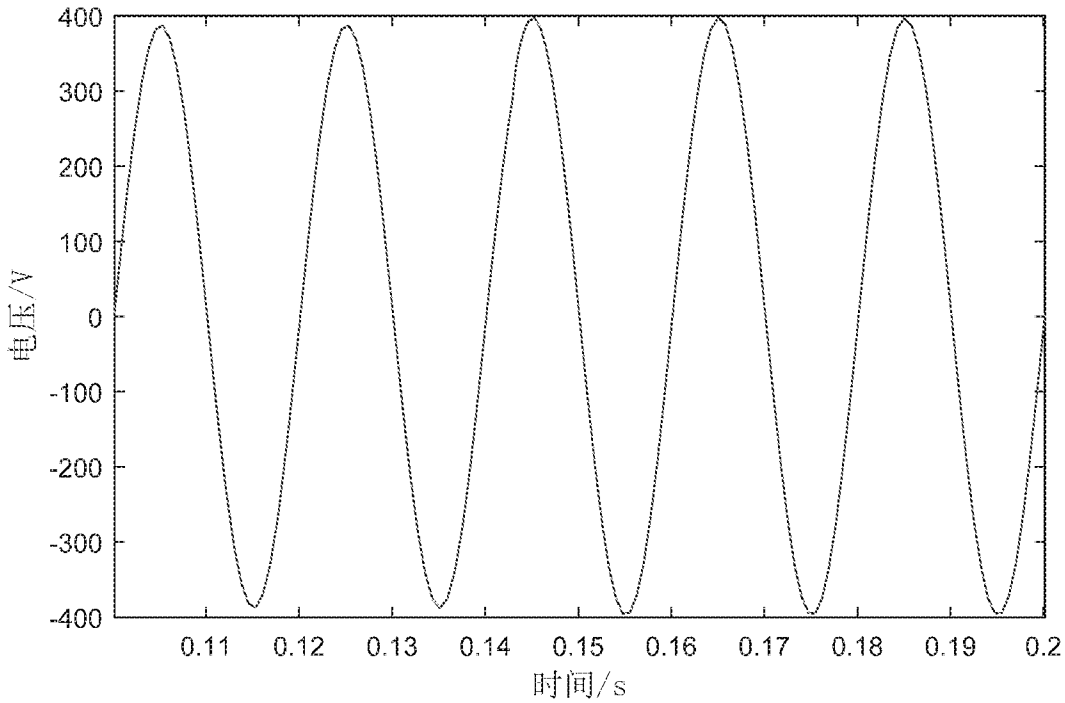
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
电压/V
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
时间/s

图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/104577

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F 27/42(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 变压器, 晶闸管, 并联, 电阻, 调压, 绕组, 抽头, transformer, thyristor, parallel, resist+, voltage S regulat+, wind+, tap+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 207381234 U (NANJING POWER SUPPLY BRANCH OF STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 18 May 2018 (2018-05-18) description, paragraphs 0001-0020, and figure 1	1-9
A	CN 206877795 U (NANJING POWER SUPPLY BRANCH OF STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 12 January 2018 (2018-01-12) entire document	1-9
A	CN 206099832 U (NANJING POWER SUPPLY BRANCH OF STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 12 April 2017 (2017-04-12) entire document	1-9
A	CN 106100356 A (NANJING POWER SUPPLY BRANCH OF STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-9
A	CN 107171330 A (NANJING POWER SUPPLY BRANCH OF STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 15 September 2017 (2017-09-15) entire document	1-9

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01 December 2022	**16 December 2022**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106330032 A (NANJING POWER SUPPLY BRANCH OF STATE GRID JIANGSU ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 11 January 2017 (2017-01-11) entire document	1-9
A	JP 04317522 A (CHUBU DENRYOKU K.K. et al.) 09 November 1992 (1992-11-09) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/104577

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	207381234	U	18 May 2018	None	
CN	206877795	U	12 January 2018	None	
CN	206099832	U	12 April 2017	None	
CN	106100356	A	09 November 2016	None	
CN	107171330	A	15 September 2017	None	
CN	106330032	A	11 January 2017	None	
JP	04317522	A	09 November 1992	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/104577

A. 主题的分类

H01F 27/42(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

WPI，EPODOC，CNPAT，CNKI：变压器，晶闸管，并联，电阻，调压，绕组，抽头，transformer，thyristor，parallel，resist+，voltage S regulat+，wind+，tap+

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 207381234 U (国网江苏省电力公司南京供电公司 等) 2018年5月18日 (2018-05-18) 说明书0001-0020段，附图1	1-9
A	CN 206877795 U (国网江苏省电力公司南京供电公司 等) 2018年1月12日 (2018-01-12) 全文	1-9
A	CN 206099832 U (国网江苏省电力公司南京供电公司 等) 2017年4月12日 (2017-04-12) 全文	1-9
A	CN 106100356 A (国网江苏省电力公司南京供电公司 等) 2016年11月9日 (2016-11-09) 全文	1-9
A	CN 107171330 A (国网江苏省电力公司南京供电公司 等) 2017年9月15日 (2017-09-15) 全文	1-9

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2022年12月1日	2022年12月16日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 赵文华 电话号码 （86-10）53961290

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/104577

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 106330032 A (国网江苏省电力公司南京供电公司 等) 2017年1月11日 (2017 - 01 - 11) 全文	1-9
A	JP 04317522 A (CHUBU DENRYOKU K. K. 等) 1992年11月9日 (1992 - 11 - 09) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/104577

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 207381234 U	2018年5月18日	无	
CN 206877795 U	2018年1月12日	无	
CN 206099832 U	2017年4月12日	无	
CN 106100356 A	2016年11月9日	无	
CN 107171330 A	2017年9月15日	无	
CN 106330032 A	2017年1月11日	无	
JP 04317522 A	1992年11月9日	无	