



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114446622 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 06

(21) 申请号 202210138467.7

(22) 申请日 2022.02.15

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 闫晨光 丁凯 刘张衡 席旺旺  
李盛涛

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

专利代理师 安彦彦

(51) Int. Cl.

H01F 29/04 (2006.01)

H01H 9/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书9页 附图7页

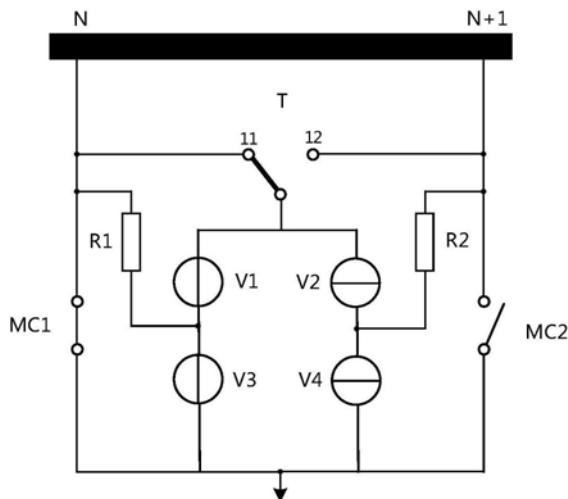
## (54) 发明名称

一种有载分接开关单隔离触点过渡电路及调压方法

## (57) 摘要

一种有载分接开关单隔离触点过渡电路及调压方法,包括第一主通流开关、第二主通流开关和转换开关;第一主通流开关以及第一过渡电阻的第一端和转换开关的第一静触头均与变压器调压绕组的第一绕组抽头连接;第二主通流开关以及第二过渡电阻的第一端和转换开关的第二静触头相均与变压器调压绕组的第二绕组抽头连接;第一主通流开关的第二端、第二主通流开关的第二端、第三开关元件的第二端以及第四开关元件的第二端均与有载分接开关的中性点引出端相连接。本发明采用两只过渡电阻限流,使开关元件恢复电压较低的同时,减小了切换过程中的级间短路电流;同时能够承载对称往复式的时序,在正反往复切换过程中,动作时序镜像对称,无需机械变轨机构。

CN 114446622 A



1. 一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,其特征在於,包括第一主通流开关、第二主通流开关、第一开关元件、第二开关元件、第三开关元件、第四开关元件、第一过渡电阻、第二过渡电阻和转换开关;

其中,所述第一主通流开关的第一端、所述第一过渡电阻的第一端和所述转换开关的第一静触头均与变压器调压绕组的第一绕组抽头连接;所述第二主通流开关的第一端、所述第二过渡电阻的第一端和所述转换开关的第二静触头均与变压器调压绕组的第二绕组抽头连接;

所述第一开关元件的第一端和所述第二开关元件的第一端均与所述转换开关的动触头相连接;

所述第一开关元件的第二端和所述第三开关元件的第一端均与所述第一过渡电阻的第二端相连接;

所述第二开关元件的第二端和所述第四开关元件的第一端均与所述第二过渡电阻的第二端相连接;

所述第一主通流开关的第二端、所述第二主通流开关的第二端、所述第三开关元件的第二端以及所述第四开关元件的第二端均与有载分接开关的中性点引出端相连接。

2. 根据权利要求1所述的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,其特征在於,所述第一开关元件、第二开关元件、第三开关元件和第四开关元件为单断口真空管、双断口真空管或具有可控制通断功能的电力电子元件。

3. 根据权利要求2所述的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,其特征在於,具有可控制通断功能的电力电子元件为晶闸管或绝缘栅双极型晶体管。

4. 根据权利要求1所述的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,其特征在於,所述第一开关元件和第二开关元件用于开断负载电流;所述第三开关元件和第四开关元件用于开断级间环流。

5. 根据权利要求1所述的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,其特征在於,所述第一过渡电阻和所述第二过渡电阻用于变压器调压绕组第一绕组抽头和第二绕组抽头桥接时,限制级间环流。

6. 根据权利要求1所述的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,其特征在於,当第一主通流开关、第一开关元件和第三开关元件均处于导通状态;转换开关的动触头与第一静触头连接,所述第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于断开状态时,有载分接开关过渡电路能够使负载电流从第一绕组抽头经第一主通流开关从中性点引出端流出;当第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于导通状态;所述转换开关动触头与第二静触头连接;所述第一主通流开关、第一开关元件、第三开关元件均处于断开状态时,有载分接开关过渡电路能够使负载电流从第二绕组抽头经第二主通流开关从中性点引出端流出。

7. 一种基于权利要求1所述有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,其特征在於,包括以下步骤:

所述第一主通流开关、第一开关元件和第三开关元件均处于导通状态,所述转换开关动触头与第一静触头连接;所述第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于断开状态;

将所述第一主通流开关断开,将所述第一开关元件断开,将所述转换开关动触头空置,将所述第四开关元件导通,将所述第三开关元件断开,将所述转换开关动触头与第二静触头连接,将所述第二开关元件导通;将所述第二主通流开关导通;

负载电流从第二绕组抽头经第二主通流开关从中性点引出端流出,有载分接开关从第一绕组抽头切换到第二绕组抽头。

8.一种基于权利要求1所述有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,其特征在于,包括以下步骤:

所述第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于导通状态;所述转换开关动触头与第二静触头连接;所述第一主通流开关、第一开关元件和第三开关元件均处于断开状态;

将所述第二主通流开关断开,将所述第二开关元件断开,将所述转换开关动触头空置,将所述第三开关元件导通,将所述第四开关元件断开,将所述转换开关动触头与第一静触头连接,将所述第一开关元件导通,将所述第一主通流开关导通,负载电流从第二绕组抽头经第一主通流开关从中性点引出端流出,有载分接开关从第二绕组抽头切换到第一绕组抽头。

## 一种有载分接开关单隔离触点过渡电路及调压方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于有载分接开关技术领域,特别涉及一种有载分接开关单隔离触点过渡电路及调压方法。

### 背景技术

[0002] 有载分接开关是电力变压器内部的关键组件,能够在变压器励磁或负载状态下操作,通过变化连接变压器绕组中引出的若干分接头改变有效匝数比,实现在不中断负载电流的情况下调节输出电压。有载分接开关应用范围广泛,尤其应用在特高压直流输电工程的换流变压器中,以保证换流器在正常运行时的额定触发角。

[0003] 早期电力变压器所配的有载分接开关大都采用高速电阻切换原理,靠铜钨电弧触头进行负载转换;这类油浸式非真空有载分接开关切换频繁,电弧触头烧损相应比较严重,油的碳化和污染速度较快,因此给供电部门增加了日常维护和定期检修工作量。真空式有载分接开关,主要使用真空管来实现电弧熄灭,避免了油中熄弧对油的碳化和污染;由于真空管开断燃弧时间短、弧压低、电弧能耗小以及触头金属氯化物的重凝,触头烧损腐蚀可以降低到最低限度。电力电子式有载分接开关,通过电力电子元件替代真空管从而实现有载切换过程中无开断电弧操作。

[0004] 有载分接开关由切换开关、分接选择器和电动机构组成;其中,切换开关有独立的油室,是分接开关实现有载切换的关键组件,其核心是采用了过渡电路。真空式有载分接开关按其真空管的个数不同可分为单触点电路、双触点电路、三触点电路和四触点电路;按其过渡电阻的数目不同有单电阻、双电阻过渡两种;按其触头断口数目有单断口、双断口等;上述各种组合可构成不同类型的真空式有载分接开关过渡电路。过渡电路中的开关元件可以是单断口真空触头、双断口真空触头、电力电子元件等;不同的过渡电路为了实现有载调压有着不同的切换时序,各开关元件的切换任务也会有所不同。过渡电路的拓扑结构对有载分接开关切换过程的可靠性,以及开关的故障率和电气寿命都有显著的影响。

[0005] 目前已有的真空式有载分接开关过渡电路从绕组抽头N切换到绕组抽头N+1和从绕组抽头N+1切换到绕组抽头N的控制时序不对称,在切换芯子机械往复运动的过程中,凸轮机构需要实现提拉变轨,从而增加了机械制造的复杂度与开关使用的故障率。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种有载分接开关单隔离触点过渡电路及调压方法,该过渡电路能够有效限制切换过程中的级间短路电流,同时能够承载对称往复式的时序,采用所述过渡电路及调压方法的机械式有载分接开关在正反往复切换过程中,动作时序镜像对称,无需机械变轨机构。

[0007] 本发明目的通过如下技术方案予以实现:

[0008] 一种有载分接开关单隔离触点过渡电路,包括第一主通流开关、第二主通流开关、第一开关元件、第二开关元件、第三开关元件、第四开关元件、第一过渡电阻、第二过渡电阻

和转换开关；

[0009] 其中,所述第一主通流开关的第一端、所述第一过渡电阻的第一端和所述转换开关的第一静触头均与变压器调压绕组的第一绕组抽头连接;所述第二主通流开关的第一端、所述第二过渡电阻的第一端和所述转换开关的第二静触头均与变压器调压绕组的第二绕组抽头连接;

[0010] 所述第一开关元件的第一端和所述第二开关元件的第一端均与所述转换开关的动触头相连接;

[0011] 所述第一开关元件的第二端和所述第三开关元件的第一端均与所述第一过渡电阻的第二端相连接;

[0012] 所述第二开关元件的第二端和所述第四开关元件的第一端均与所述第二过渡电阻的第二端相连接;

[0013] 所述第一主通流开关的第二端、所述第二主通流开关的第二端、所述第三开关元件的第二端以及所述第四开关元件的第二端均与有载分接开关的中性点引出端相连接。

[0014] 进一步的,所述第一开关元件、第二开关元件、第三开关元件和第四开关元件为单断口真空管、双断口真空管或具有可控制通断功能的电力电子元件。

[0015] 进一步的,具有可控制通断功能的电力电子元件为晶闸管或绝缘栅双极型晶体管。

[0016] 进一步的,所述第一开关元件和第二开关元件用于开断负载电流;所述第三开关元件和第四开关元件用于开断级间环流。

[0017] 进一步的,所述第一过渡电阻和所述第二过渡电阻用于变压器调压绕组第一绕组抽头和第二绕组抽头桥接时,限制级间环流。

[0018] 进一步的,当第一主通流开关、第一开关元件和第三开关元件均处于导通状态;转换开关的动触头与第一静触头连接,所述第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于断开状态时,有载分接开关过渡电路能够使负载电流从第一绕组抽头经第一主通流开关从中性点引出端流出;当第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于导通状态;所述转换开关动触头与第二静触头连接;所述第一主通流开关、第一开关元件、第三开关元件均处于断开状态时,有载分接开关过渡电路能够使负载电流从第二绕组抽头经第二主通流开关从中性点引出端流出。

[0019] 一种基于上述有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,包括以下步骤:

[0020] 所述第一主通流开关、第一开关元件和第三开关元件均处于导通状态,所述转换开关动触头与第一静触头连接;所述第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于断开状态;

[0021] 将所述第一主通流开关断开,将所述第一开关元件断开,将所述转换开关动触头空置,将所述第四开关元件导通,将所述第三开关元件断开,将所述转换开关动触头与第二静触头连接,将所述第二开关元件导通;将所述第二主通流开关导通;

[0022] 负载电流从第二绕组抽头经第二主通流开关从中性点引出端流出,有载分接开关从第一绕组抽头切换到第二绕组抽头。

[0023] 一种基于上述有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,包括以下步骤:

[0024] 所述第二主通流开关、第二开关元件和第四开关元件均处于导通状态;所述转换

开关动触头与第二静触头连接;所述第一主通流开关、第一开关元件和第三开关元件均处于断开状态;

[0025] 将所述第二主通流开关断开,将所述第二开关元件断开,将所述转换开关动触头空置,将所述第三开关元件导通,将所述第四开关元件断开,将所述转换开关动触头与第一静触头连接,将所述第一开关元件导通,将所述第一主通流开关导通,负载电流从第二绕组抽头经第一主通流开关从中性点引出端流出,有载分接开关从第二绕组抽头切换到第一绕组抽头。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0027] 本发明中的过渡电路采用单隔离转换开关,并使用第一过渡电阻和第二过渡电阻限流,能够有效限制切换过程中的级间短路电流,同时能够承载对称往复式的时序,采用所述过渡电路及调压方法的机械式有载分接开关在正反往复切换过程中,动作时序镜像对称,无需机械变轨机构。本发明提供的有载分接开关单隔离触点过渡电路中,采用了一个转换开关,既可以起到电气隔离作用,还可以作为开关元件的保护开关,防止出现开关元件失效后无法开断电流的故障。

[0028] 本发明中的过渡电路的调压方法在正反往复切换过程中,动作时序镜像对称,避免了机械结构变轨操作;过渡电路采用两只过渡电阻限流,使开关元件恢复电压较低的同时,减小了切换过程中的级间短路电流。本发明中,第一开关元件和第二开关元件轮流承担开断负载电流的任务,第三开关元件和第四开关元件轮流承担开断级间环流的任务,减轻了单个开关元件的工作损耗程度,平衡了开关元件之间的切换容量,降低开关元件的故障率。

## 附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做简单的介绍;显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来说,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0030] 图1为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路的电路图;

[0031] 图2为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0032] 图3为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0033] 图4为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0034] 图5为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0035] 图6为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0036] 图7为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0037] 图8为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0038] 图9为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0039] 图10为根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路切换过程的示意图;

[0040] 图11为负载从绕组抽头N切换到绕组抽头N+1过程中根据本发明实施方式的有载分接开关过渡电路中各开关通断的示意图;

[0041] 图12为负载从绕组抽头N+1切换到绕组抽头N过程中根据本发明实施方式的有载

分接开关过渡电路中各开关通断的示意图；

[0042] 图13为根据本发明实施方式的开关元件为电力电子元件的有载分接开关单隔离触点过渡电路的电路图；

[0043] 图14为根据本发明实施方式的开关元件为双断口真空触头的有载分接开关单隔离触点过渡电路的电路图。

### 具体实施方式

[0044] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的范围。

[0045] 需要说明的是，本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0046] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述。

[0047] 本发明实施例的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路，包括：第一主通流开关、第二主通流开关、第一开关元件、第二开关元件、第三开关元件、第四开关元件、第一过渡电阻、第二过渡电阻和转换开关。其中，所述第一主通流开关的第一端、所述第一过渡电阻的第一端以及所述转换开关第一静触头均与变压器调压绕组的第一绕组抽头N连接；所述第二主通流开关的第一端、所述第二过渡电阻的第一端以及所述转换开关的第二静触头均与变压器调压绕组的第二绕组抽头N+1连接；所述第一开关元件的第一端和所述第二开关元件的第一端均与所述转换开关的动触头相连接；所述第一开关元件的第二端和所述第三开关元件的第一端均与所述第一过渡电阻的第二端相连接；所述第二开关元件的第二端和所述第四开关元件的第一端均与所述第二过渡电阻的第二端相连接；所述第一主通流开关的第二端、所述第二主通流开关的第二端、所述第三开关元件的第二端和所述第四开关元件的第二端均与有载分接开关的中性点引出端相连接。

[0048] 进一步的，所述转换开关构成单刀三掷开关，所述转换开关动触头与第一绕组抽头N侧的第一静触头连接构成开关的第一工作状态，所述转换开关动触头与第二绕组抽头N+1侧的第二静触头连接构成开关的第二工作状态，所述转换开关动触头空置，与第一静触头和第二静触头均不连接构成开关的第三工作状态。

[0049] 进一步的，所述第一开关元件、第二开关元件、第三开关元件和第四开关元件可以为单断口真空管、双断口真空管或具有可控制通断功能的电力电子元件（如晶闸管或绝缘栅双极型晶体管）。

[0050] 本发明实施例中，所述第一主通流开关、第二主通流开关用于负载电流的长期载

流;所述第一开关元件和第二开关元件用于轮流开断负载电流;所述第三开关元件和第四开关元件用于轮流开断级间环流。所述第一过渡电阻、第二过渡电阻用于变压器调压绕组第一绕组抽头N和第二绕组抽头N+1桥接时,同时限制级间环流。示例性的,各元件的实际选取规格由所述过渡电路的实际工况决定。

[0051] 如图1所示,本发明实施例的有载分接开关单隔离触点过渡电路,开关元件以单断口真空管为例说明,包括:第一主通流开关MC1、第二主通流开关MC2、第一真空管V1、第二真空管V2、第三真空管V3、第四真空管V4、第一过渡电阻R1、第二过渡电阻R2和转换开关T。

[0052] 其中,所述第一主通流开关MC1的第一端、所述第一过渡电阻R1的第一端和所述转换开关第一静触头11均与变压器调压绕组的第一绕组抽头N连接;所述第二主通流开关MC2的第一端、所述第二过渡电阻R2的第一端和所述转换开关T的第二静触头12均与变压器调压绕组的第二绕组抽头N+1连接;所述第一真空管V1的第一端和所述第二真空管V2的第一端均与所述转换开关T的动触头相连接;所述第一真空管V1的第二端和所述第三真空管V3的第一端均与所述第一过渡电阻R1的第二端相连接;所述第二真空管V2的第二端和所述第四真空管V4的第一端均与所述第二过渡电阻R2的第二端相连接;所述第一主通流开关MC1的第二端、所述第二主通流开关MC2的第二端、所述第三真空管V3的第二端和所述第四真空管V4的第二端均与有载分接开关的中性点引出端相连接。

[0053] 本发明实施例中,当第一主通流开关MC1、第一真空管V1和第三真空管V3均处于导通状态;转换开关T的动触头与第一绕组抽头N侧的第一静触头11连接,处于第一工作状态;所述第二主通流开关MC2、第二真空管V2和第四真空管V4均处于断开状态时,有载分接开关过渡电路能够使负载电流从第一绕组抽头N经第一主通流开关MC1从中性点引出端流出。当第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4均处于导通状态;所述转换开关T动触头与第二绕组抽头N+1侧的第二静触头12连接,处于第二工作状态;所述第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3均处于断开状态时,有载分接开关过渡电路能够使负载电流从第二绕组抽头N+1经第二主通流开关MC2从中性点引出端流出。

[0054] 本发明实施例中,过渡电路采用单隔离转换开关,并使用两个过渡电阻限流,能够有效限制切换过程中的级间短路电流,同时能够承载对称往复式的时序,采用所述过渡电路及调压方法的机械式有载分接开关在正反往复切换过程中,动作时序镜像对称,无需机械变轨机构。具体的,本发明实施例提供的有载分接开关单隔离触点过渡电路中,设计了一个转换开关,既可以起到电气隔离作用,还可以作为真空管的保护开关,防止出现真空管失效后无法开断电流的故障。过渡电路及其调压方法在正反往复切换过程中,动作时序镜像对称,避免了机械结构变轨操作;过渡电路设计了两只过渡电阻限流,在使真空管恢复电压较低的同时,减小了切换过程中的级间短路电流。

[0055] 本发明实施例中,第一真空管和第二真空管轮流承担开断负载电流的任务,第三真空管和第四真空管轮流承担开断级间环流的任务,减轻了单个真空管的工作损耗程度,平衡了真空管之间的切换容量,降低真空管的故障率。

[0056] 本发明实施例的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,以单断口真空管为例说明,当有载分接开关从当前的变压器绕组抽头切换至预选的新的变压器绕组抽头时,即从第一绕组抽头N切换到第二绕组抽头N+1的切换过程如下:

[0057] 第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3均处于导通状态;转换开关T动



触头与第一绕组抽头N侧的第一静触头11连接,处于第一工作状态;第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4均处于断开状态;

[0058] 将第一主通流开关MC1断开;

[0059] 将第一真空管V1断开,产生电弧;

[0060] 待第一真空管V1完全熄弧后,将转换开关T动触头与第一静触头11连接的第一工作状态动作至转换开关动触头空置的第三工作状态;

[0061] 将第四真空管V4导通;

[0062] 将第三真空管V3断开,产生电弧;

[0063] 待第三真空管V3完全熄弧后,将转换开关动触头空置的第三工作状态动作至转换开关动触头与第二静触头12连接的第三工作状态;

[0064] 将第二真空管V2导通;

[0065] 将第二主通流开关MC2导通;

[0066] 负载电流从第二绕组抽头N+1经第二主通流开关从中性点引出端流出,有载分接开关从第一绕组抽头N切换到第二绕组抽头N+1的切换过程结束。

[0067] 本发明实施例的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,以单断口真空管为例说明,有载分接开关从第二绕组抽头N+1切换到第一绕组抽头N的切换过程如下:

[0068] 第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4均处于导通状态;转换开关T动触头与第二绕组抽头N+1侧的第二静触头12连接,处于第二工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3均处于断开状态;

[0069] 将第二主通流开关MC2断开;

[0070] 将第二真空管V2断开,产生电弧;

[0071] 待第二真空管V2完全熄弧后,将转换开关T动触头与第二静触头12连接的第三工作状态动作至转换开关动触头空置的第三工作状态;

[0072] 将第三真空管V3导通;

[0073] 将第四真空管V4断开,产生电弧;

[0074] 待第四真空管完全熄弧后,将转换开关T动触头空置的第三工作状态动作至转换开关T动触头与第一静触头12连接的第一工作状态;

[0075] 将第一真空管V1导通;

[0076] 将第一主通流开关MC1导通;

[0077] 负载电流从第二绕组抽头N经第一主通流开关从中性点引出端流出,有载分接开关从第二绕组抽头N+1切换到第一绕组抽头N的切换过程结束。

[0078] 本发明实施例的一种有载分接开关单隔离触点过渡电路的调压方法,以单断口真空管为例说明;当有载分接开关从绕组抽头N切换到绕组抽头N+1,调压方法如下:

[0079] 如图2所示,第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3均处于导通状态;转换开关T动触头与第一绕组抽头N侧的第一静触头11连接,处于第一工作状态;第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4均处于断开状态;绕组抽头N被接通,负载电流从第一绕组抽头N经第一主通流开关MC1从中性点引出端流出。

[0080] 如图3所示,将第一主通流开关MC1断开,第一真空管V1、第三真空管V3保持导通;转换开关T动触头与第一绕组抽头N侧的第一静触头11连接,保持第一工作状态;第二主通

流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4保持断开；绕组抽头N接通，负载电流经转换开关T、第一真空管V1、第三真空管V3从中性点引出端流出。

[0081] 如图4所示，第一主通流开关MC1保持断开，将第一真空管V1断开，产生电弧，第三真空管V3保持导通；转换开关T动触头与第一绕组抽头N侧的第一静触头11连接，保持第一工作状态；第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4保持断开；绕组抽头N接通，负载电流经第一过渡电阻R1、第三真空管V3从中性点引出端流出。

[0082] 如图5所示，第一主通流开关MC1保持断开，第一真空管V1保持断开，第三真空管V3保持导通；待第一真空管V1完全熄弧，将转换开关T动触头与第一静触头11连接的第一工作状态动作至转换开关动触头空置的第三工作状态；第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4保持断开；绕组抽头N接通，负载电流经第一过渡电阻R1、第三真空管V3从中性点引出端流出。

[0083] 如图6所示，第一主通流开关MC1保持断开，第一真空管V1保持断开，第三真空管V3保持导通；转换开关T动触头空置，处于第三工作状态；第二主通流开关MC2、第二真空管V2保持断开；将第四真空管V4导通，绕组抽头N和绕组抽头N+1均被接通，负载电流 $I_N$ 分别通过第三真空管V3、第一过渡电阻R1和第四真空管V4、第二过渡电阻R2从中性点引出端流出；过渡电路形成桥接，产生级间环流 $I_C$ ；流经第三真空管V3的电流 $I_{V3} = I_N/2 + I_C$ ，流经第四真空管V4的电流 $I_{V4} = I_N/2 - I_C$ ；其中 $I_C = U_S / (R1 + R2)$ ，所述 $U_S$ 为有载分接开关级电压。

[0084] 如图7所示，第一主通流开关MC1保持断开，第一真空管V1保持断开，将第三真空管V3断开，产生电弧；转换开关T动触头空置，处于第三工作状态；第二主通流开关MC2、第二真空管V2保持断开；第四真空管V4保持导通，绕组抽头N+1接通，负载电流经第二过渡电阻R2、第四真空管V4从中性点引出端流出。

[0085] 如图8所示，第一主通流开关MC1保持断开，第一真空管V1、第三真空管V3保持断开；将转换开关动触头空置的第三工作状态动作至转换开关动触头与第二静触头12连接的第二工作状态；第二主通流开关MC2、第二真空管V2保持断开，第四真空管V4保持导通，绕组抽头N+1接通，负载电流经第二过渡电阻R2、第四真空管V4从中性点引出端流出。

[0086] 如图9所示，第一主通流开关MC1保持断开，第一真空管V1、第三真空管V3保持断开；转换开关动触头与第二静触头12连接，保持第二工作状态；第二主通流开关MC2保持断开，第四真空管V4保持导通，将第二真空管V2导通，绕组抽头N+1接通，负载电流经第二真空管V2、第四真空管V4从中性点引出端流出。

[0087] 如图10所示，第一主通流开关MC1保持断开，第一真空管V1、第三真空管V3保持断开；转换开关动触头与第二静触头12连接，保持第二工作状态；第二真空管V2、第四真空管V4保持导通，将第二主通流开关MC2导通，绕组抽头N+1接通，负载电流从第二绕组抽头N+1经第二主通流开关MC2从中性点引出端流出。

[0088] 当有载分接开关从绕组抽头N+1切换到绕组抽头N，切换过程与有载分接开关从绕组抽头N切换到绕组抽头N+1的切换过程对称，具体调压方法如下：

[0089] 第二主通流开关MC2、第二真空管V2、第四真空管V4均处于导通状态；转换开关T动触头与第二绕组抽头N+1侧的第二静触头12连接，处于第二工作状态；第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3均处于断开状态；绕组抽头N+1被接通，负载电流从第二绕组抽头N+1经第二主通流开关MC2从中性点引出端流出。

[0090] 将第二主通流开关MC2断开,第二真空管V2、第四真空管V4保持导通;转换开关T动触头与第二绕组抽头N+1侧的第二静触头12连接,保持第二工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3保持断开;绕组抽头N+1接通,负载电流经转换开关T、第二真空管V2、第四真空管V4从中性点引出端流出。

[0091] 第二主通流开关MC2保持断开,将第二真空管V2断开,产生电弧,第四真空管V4保持导通;转换开关T动触头与第二绕组抽头N+1侧的第二静触头12连接,保持第二工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3保持断开;绕组抽头N+1接通,负载电流经第二过渡电阻R2、第四真空管V4从中性点引出端流出。

[0092] 第二主通流开关MC2保持断开,第二真空管V2保持断开,第四真空管V4保持导通;待第二真空管V2完全熄弧,将转换开关T动触头与第二静触头12连接的第三工作状态动作至转换开关动触头空置的第三工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1、第三真空管V3保持断开;绕组抽头N+1接通,负载电流经第二过渡电阻R2、第四真空管V4从中性点引出端流出。

[0093] 第二主通流开关MC2保持断开,第二真空管V2保持断开,第四真空管V4保持导通;转换开关T动触头空置,处于第三工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1保持断开;将第三真空管V3导通,绕组抽头N+1和绕组抽头N均被接通,负载电流 $I_N$ 分别通过第四真空管V4、第二过渡电阻R2和第三真空管V3、第一过渡电阻R1从中性点引出端流出;过渡电路形成桥接,产生级间环流 $I_C$ ;流经第四真空管V4的电流 $I_{V3} = I_N/2 + I_C$ ,流经第三真空管V3的电流 $I_{V4} = I_N/2 - I_C$ ;其中 $I_C = U_S / (R1 + R2)$ ,所述 $U_S$ 为有载分接开关级电压。

[0094] 第二主通流开关MC2保持断开,第二真空管V2保持断开,将第四真空管V4断开,产生电弧;转换开关T动触头空置,处于第三工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1保持断开;第三真空管V3保持导通,绕组抽头N接通,负载电流经第一过渡电阻R1、第三真空管V3从中性点引出端流出。

[0095] 第二主通流开关MC2保持断开,第二真空管V2、第四真空管V4保持断开;将转换开关动触头空置的第三工作状态动作至转换开关动触头与第一静触头11连接的第一工作状态;第一主通流开关MC1、第一真空管V1保持断开,第三真空管V3保持导通,绕组抽头N接通,负载电流经第一过渡电阻R1、第三真空管V3从中性点引出端流出。

[0096] 第二主通流开关MC2保持断开,第二真空管V2、第四真空管V4保持断开;转换开关动触头与第一静触头11连接,保持第一工作状态;第一主通流开关MC1保持断开,第三真空管V3保持导通,将第一真空管V1导通,绕组抽头N接通,负载电流经转换开关T、第一真空管V1、第三真空管V3从中性点引出端流出。

[0097] 第二主通流开关MC2保持断开,第二真空管V2、第四真空管V4保持断开;转换开关动触头与第一静触头11连接,保持第一工作状态;第一真空管V1、第三真空管V3保持导通,将第一主通流开关MC1导通,绕组抽头N接通,负载电流从第一绕组抽头N经第一主通流开关MC1从中性点引出端流出。

[0098] 当有载分接开关从绕组N抽头分接切换到绕组N+1抽头分接,过渡电路转换程序如图11所示;

[0099] 当有载分接开关从绕组N+1抽头分接切换到绕组N抽头分接,过渡电路转换程序如图12所示;

[0100] 所述有载分接开关单隔离触点过渡电路中的内部开关元件为具有可控制通断功能的电力电子元件(如晶闸管或绝缘栅双极型晶体管)或双断口真空管时,开关元件的动作时序和调压方法一致,不再赘述。

[0101] 在本发明的实施方式中,采用真空管的有载分接开关过渡电路的切换任务如下表所示:

[0102]

方向	触头	开断电流	恢复电压	动作次数	方向	触头	开断电流	恢复电压	动作次数
N ↓ N+1	V1	$I_N$	$I_N \times R1$	1	N+1 ↓ N	V1	0	0	0
	V2	0	0	0		V2	$I_N$	$I_N \times R2$	1
	V3	$I_N/2+$ $U_S/(R1+R2)$	$U_S+$ $I_N \times R2$	1		V3	0	0	0
	V4	0	0	0		V4	$I_N/2-$ $U_S/(R1+R2)$	$U_S-$ $I_N \times R1$	1

[0103] 其中, $I_N$ 为负载电流; $U_S$ 为有载分接开关极间电压; $R1$ 和 $R2$ 都为过渡电阻。

[0104] 如图13所示,仅将图1中的单断口真空管替换为具有可控制通断的电力电子元件,其他元件与图1中的元件相同,动作时序一致,且功能和作用与图1所示过渡电路相同,不再赘述。

[0105] 如图14所示,仅将图1中的单断口真空管替换为双断口真空管,其他元件与图1中的元件相同,动作时序一致,且功能和作用与图1所示过渡电路相同,不再赘述。

[0106] 以上所述,仅为本发明最佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围内。

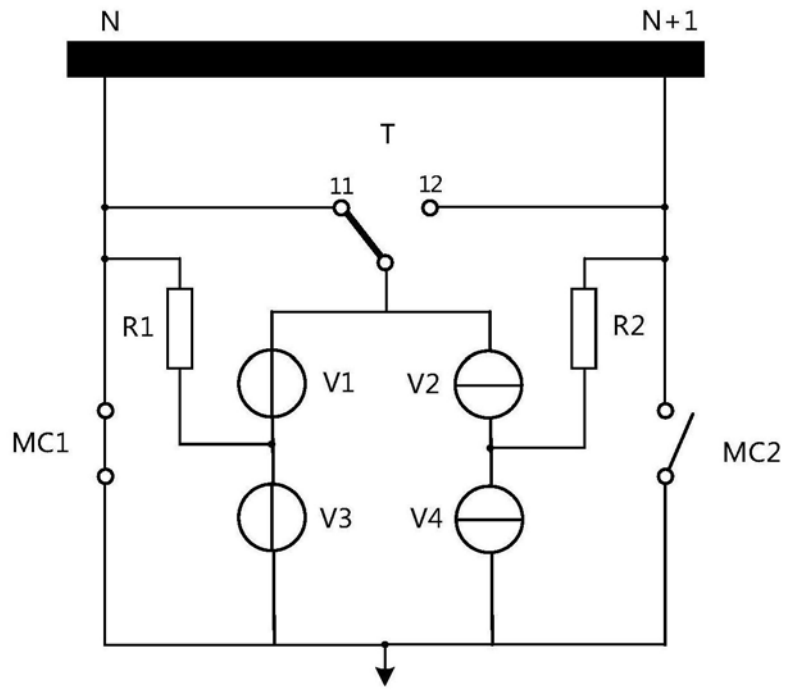


图1

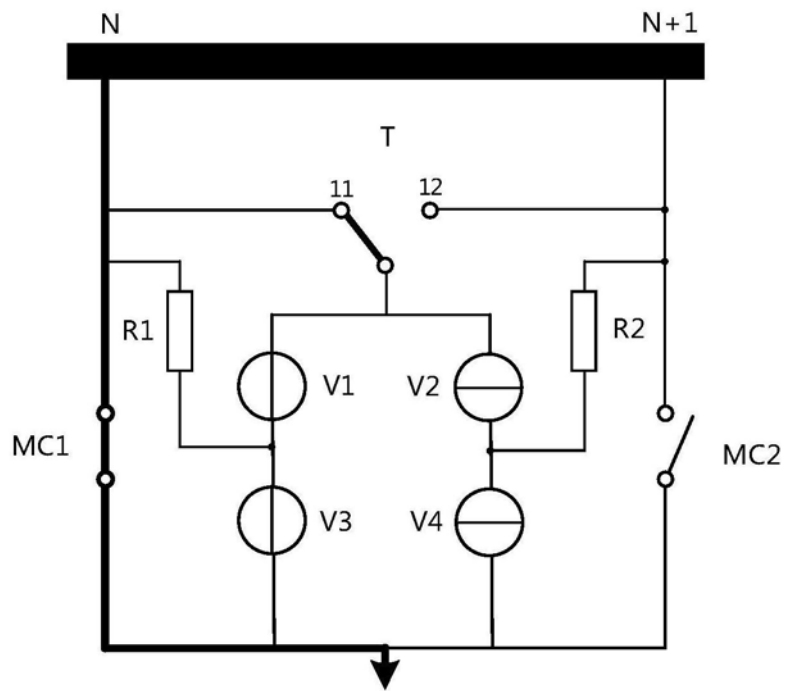


图2

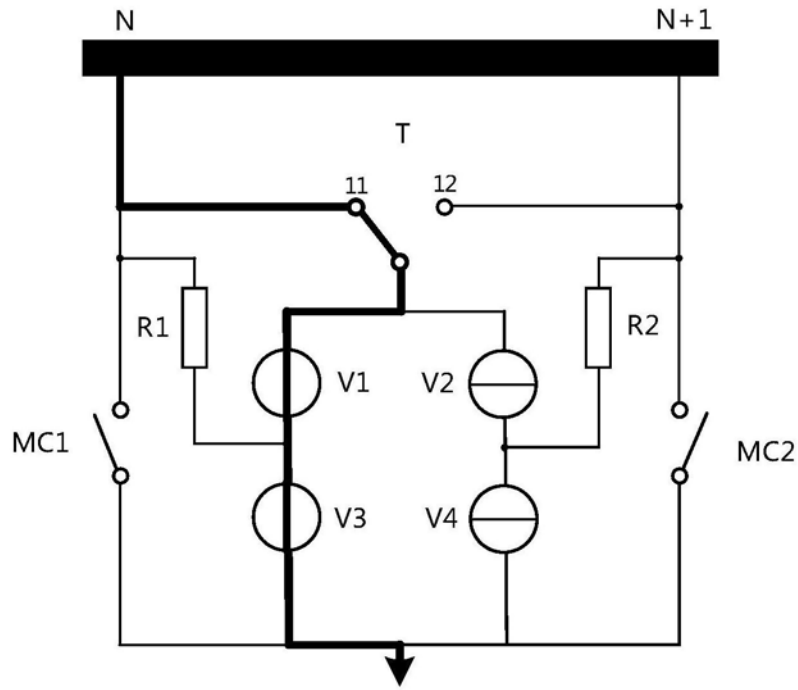


图3

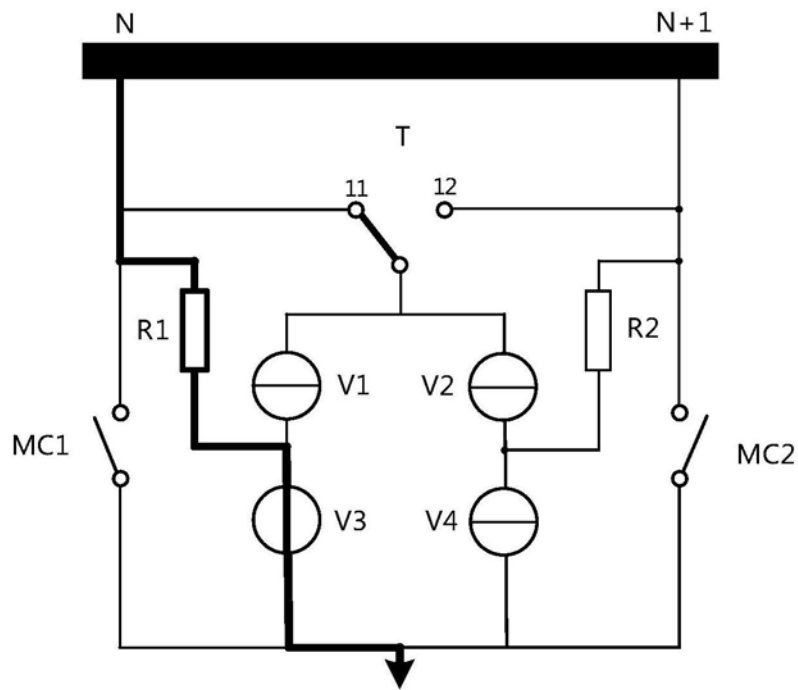


图4

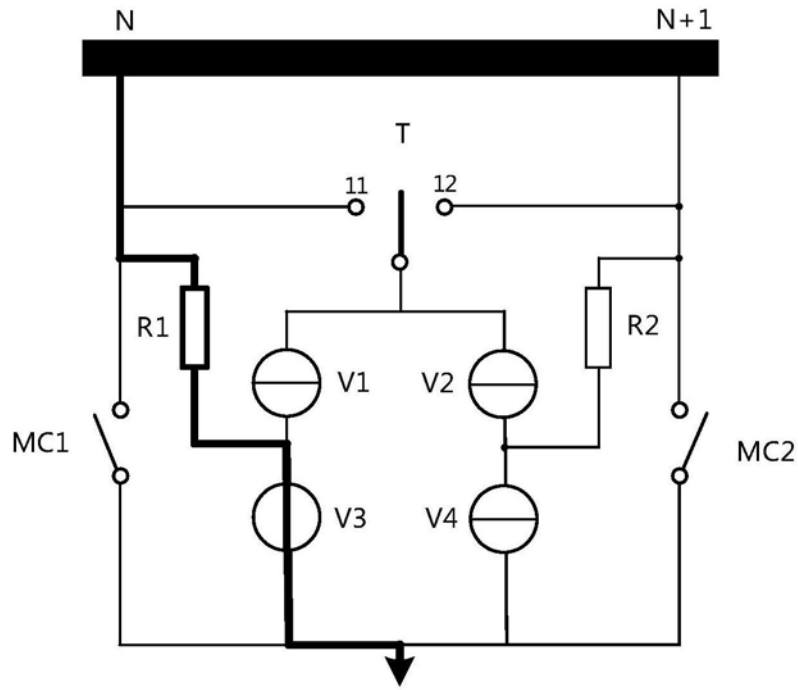


图5

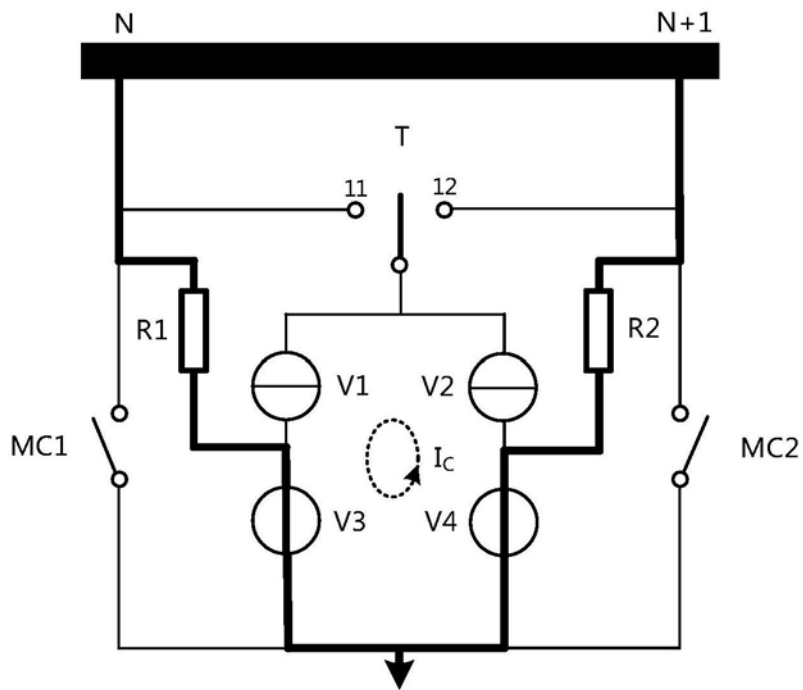


图6

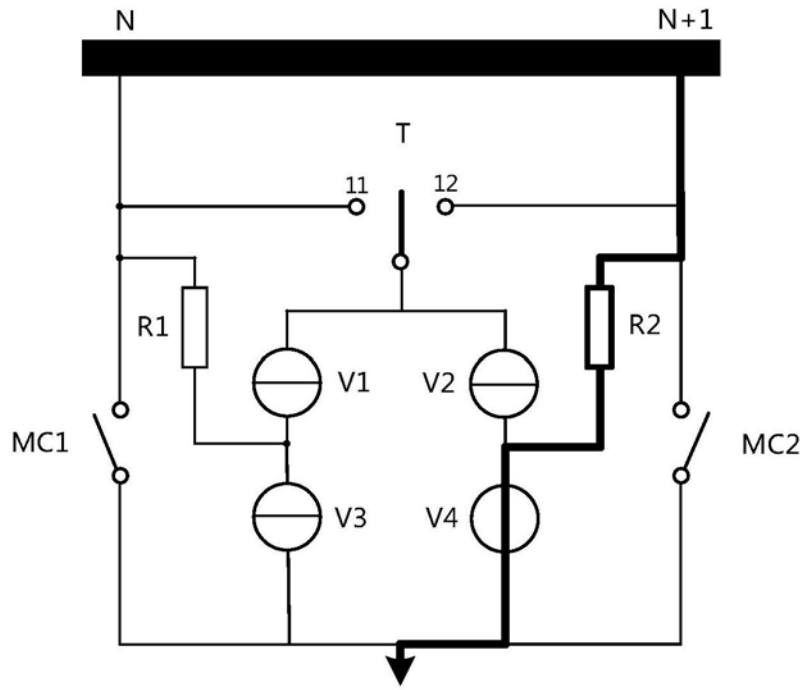


图7

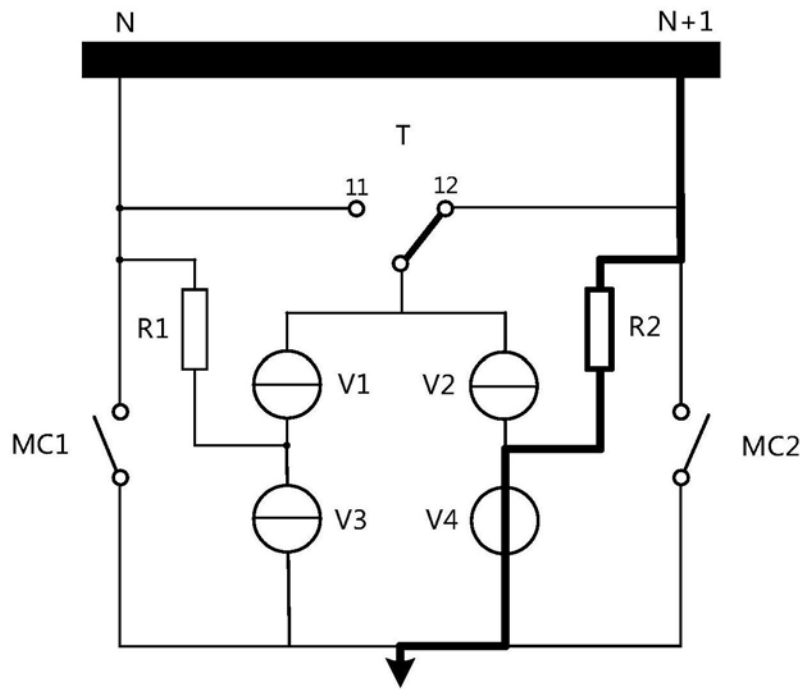


图8



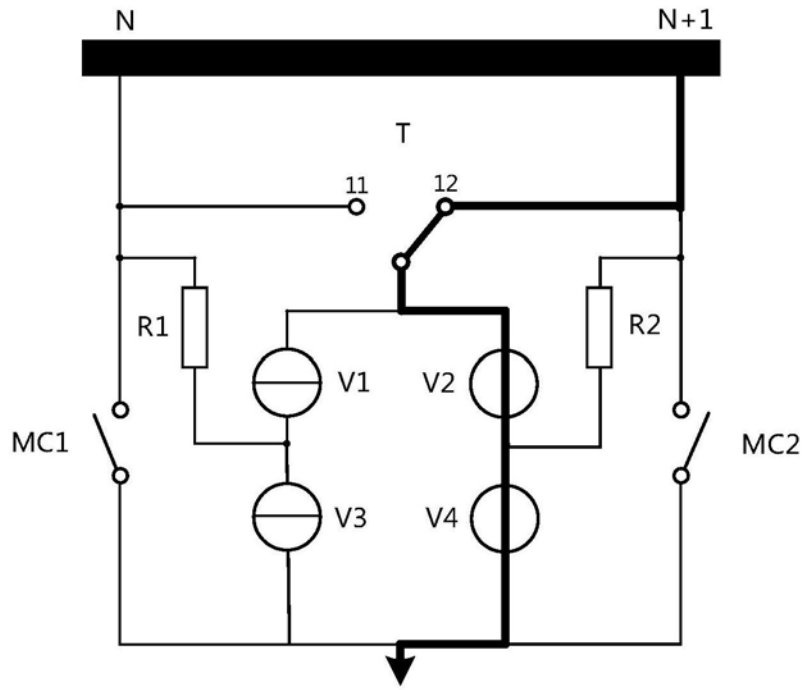


图9

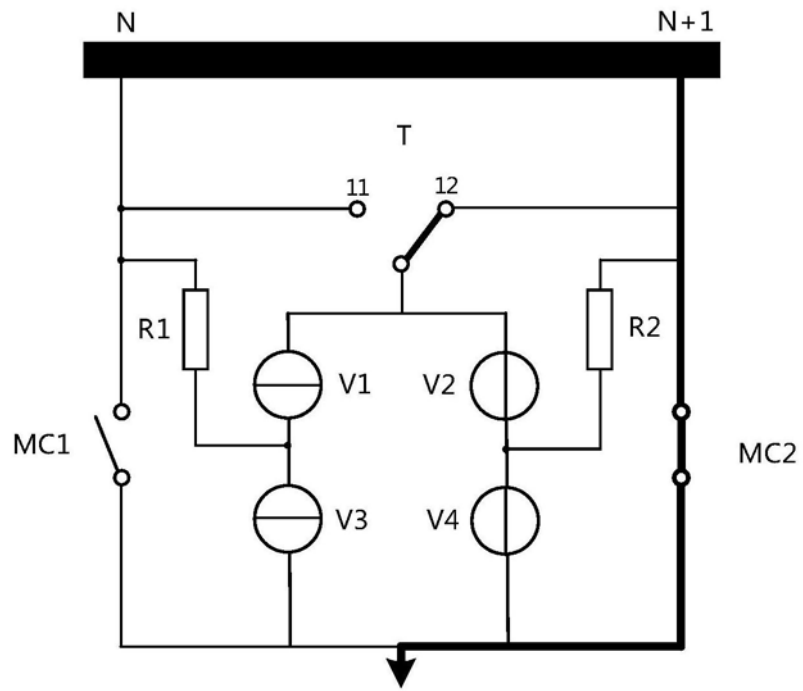


图10

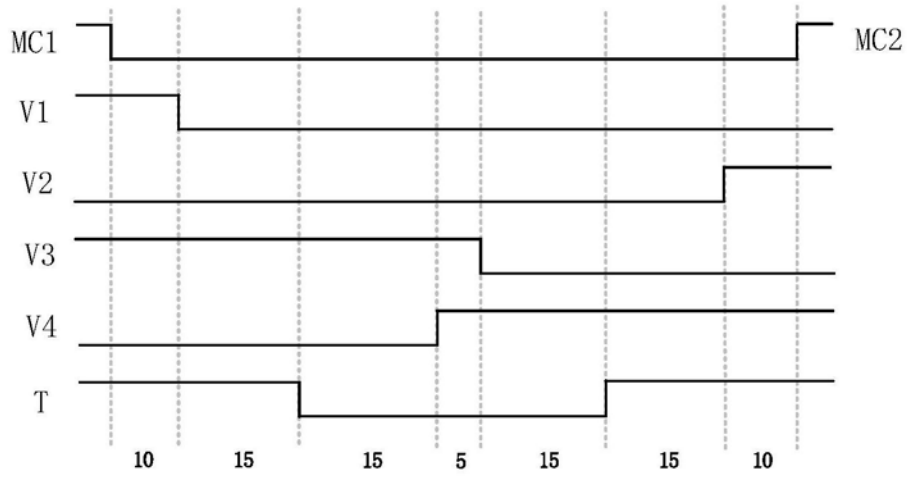


图11

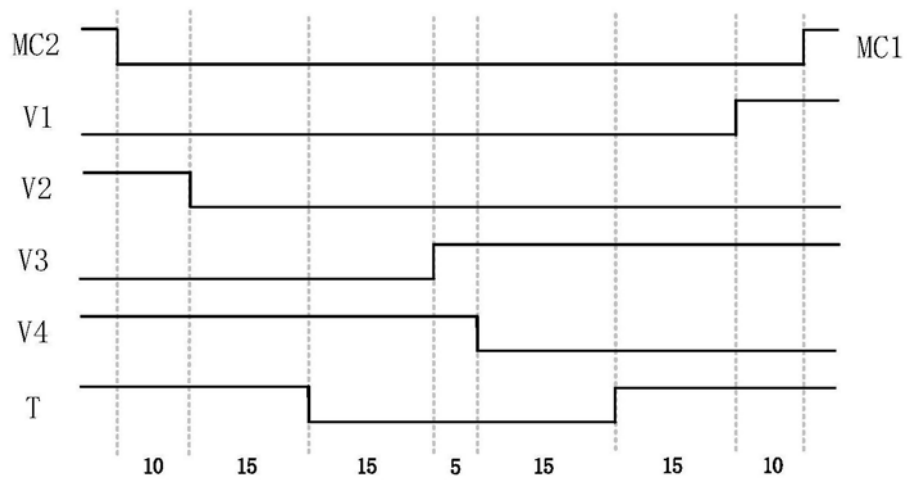


图12

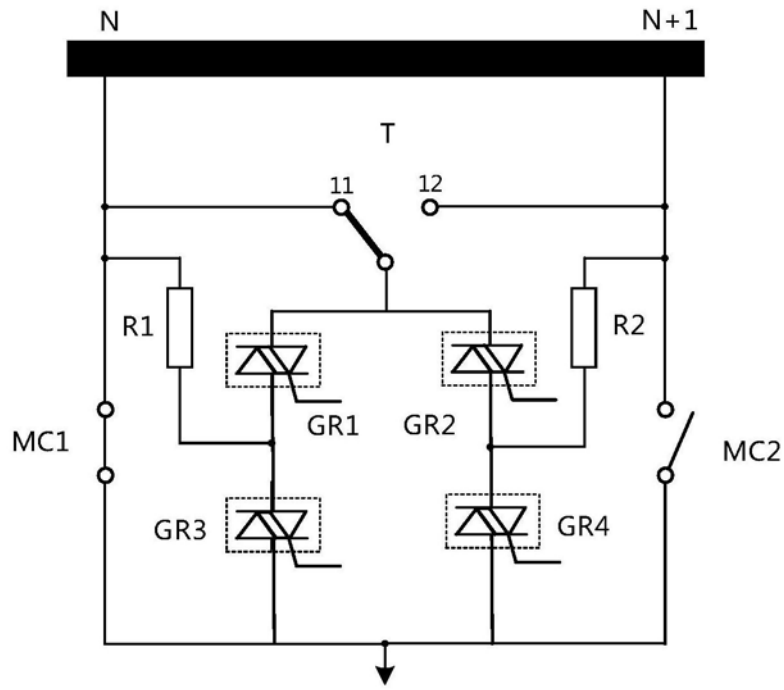


图13

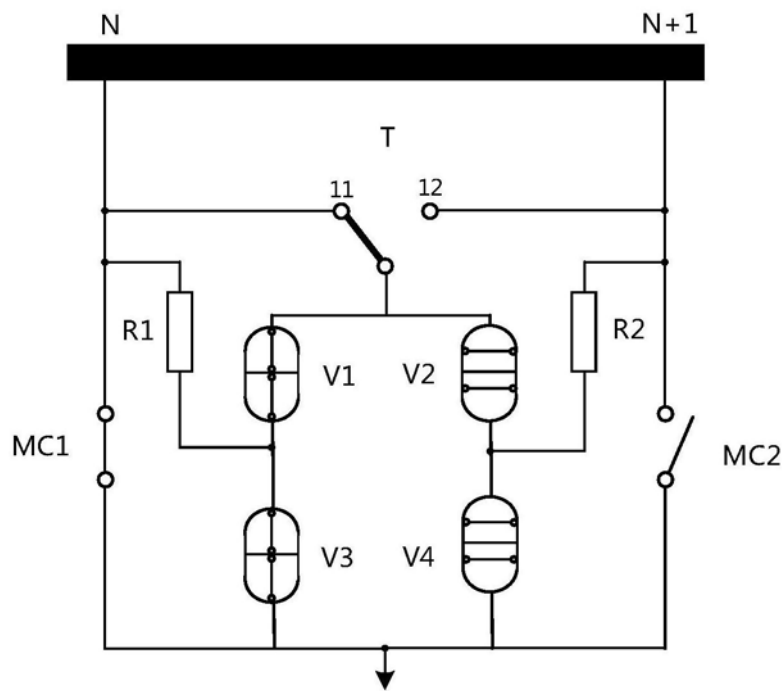


图14