



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107342754 B

(45)授权公告日 2020.07.14

(21)申请号 201710518728.7

H02H 3/087(2006.01)

(22)申请日 2017.06.28

审查员 邹滢

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107342754 A

(43)申请公布日 2017.11.10

(73)专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 姜建国 周中正 张丹 李洪亮

罗桦 乔树通

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司

公司 31236

代理人 郭国中

(51)Int.Cl.

H03K 17/0814(2006.01)

H03K 17/723(2006.01)

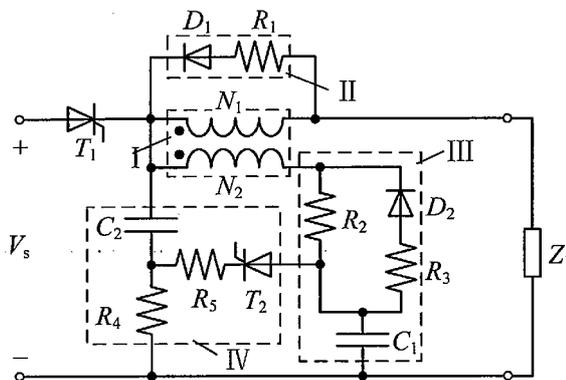
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于耦合电感线圈的直流断路器及其控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于耦合电感线圈的直流断路器及其控制方法,该直流断路器由主开关晶闸管、耦合电感线圈、电感续流电路、储能电容及其充放电单元、手动关断单元构成,所述耦合电感线圈包括通过磁芯耦合的一次侧线圈和二次侧线圈,其中主开关晶闸管阳极连接一个直流系统的正极,主开关晶闸管阴极连接耦合电感线圈的一次侧线圈的同名端。本发明利用故障暂态下耦合电感线圈的感应电流使主开关晶闸管电流过零来实现故障隔离,成本低,通态损耗小,可实现直流短路及过载故障的快速自动保护,且能避免故障电流对电源侧的冲击。



1. 一种基于耦合电感线圈的直流断路器,其特征在于,由主开关晶闸管、耦合电感线圈、电感续流电路、储能电容及其充放电单元、手动关断单元构成,所述耦合电感线圈包括通过磁芯耦合的一次侧线圈和二次侧线圈,其中主开关晶闸管阳极连接一个直流系统的正极,主开关晶闸管阴极连接耦合电感线圈的一次侧线圈的同名端,一次侧线圈的异名端连接负载,电感续流电路并联在一次侧线圈两端,二次侧线圈的同名端与一次侧线圈同名端相连,二次侧线圈的异名端通过储能电容及其充放电单元接至一个直流系统的负极,手动关断单元是一个三端口网络,三个端口分别接在耦合电感线圈、储能电容及其充放电单元、直流系统的负极;所述一次侧线圈的匝数多于二次侧线圈的匝数;所述电感续流电路包括第一电阻和第一二极管,第一电阻和第一二极管串联;第一电阻用于在保护动作后将存储在电感中的能量快速消耗掉,以减小电感的电流应力和热应力;第一二极管用于限制续流方向,其阴极连接耦合电感线圈同名端,在非故障状态下处于阻断状态,当发生故障耦合电感一次侧线圈承受反向电压时进入导通状态,提供续流支路,用于减小主开关晶闸管的电压应力;所述储能电容及其充放电单元由第一储能电容及其充电支路、放电支路构成;充电支路由第二电阻构成,放电支路由第三电阻和第二二极管构成,第二电阻与第三电阻、第二二极管并联,第三电阻和第二二极管串联,第二电阻、第三电阻、第二二极管都与第一储能电容连接;第二电阻的阻值高于负载电阻的阻值,以保证对第一储能电容平稳充电;第三电阻的阻值远小于负载电阻的阻值,以提供足够大的放电电流来使主开关晶闸管电流过零;第二二极管阴极指向第一储能电容的放电方向,以限制充放电电流流向;所述手动关断单元由第二储能电容、充电电阻、放电电阻及手动开关构成,第二储能电容与充电电阻串联,放电电阻与手动开关串联,第二储能电容、充电电阻都与放电电阻连接;其中手动开关采用手动触发的晶闸管或逆阻型的全控半导体器件;放电电阻一侧连接手动开关阴极,另一端与第二储能电容和充电电阻连接在一起,构成一个三端口网络;手动关断单元主要用于常态或检修状态下的负载断电,或配合耦合电感线圈的自动感应保护用作复杂负载工况的附加保护。

2. 一种基于耦合电感线圈的直流断路器的控制方法,其特征在于,其采用如权利要求1所述的基于耦合电感线圈的直流断路器并采用以下工况:

工况一:负载通电,控制方法为:向主开关晶闸管发出触发脉冲,主开关晶闸管导通,固态断路器内的储能电容通过充电电阻自动完成充电储能,储能完成后,第一储能电容和第二储能电容的电压均为直流电源电压,在电容储能的同时,负载得电启动并进入工作状态;

工况二:负载断电,控制方法为:触发手动关断单元的手动开关导通,此时第一储能电容、手动开关、放电电阻、第二储能电容及主开关晶闸管将经电源形成回路,由于此时第一储能电容和第二储能电容的电压均为直流电源电压,因此主开关晶闸管将承受接近电源电压的反向电压,使主开关晶闸管电流迅速过零并将其关断,从而将负载断电;

工况三:负载侧发生短路故障,由于短路故障往往发生迅速且破坏性强,利用短路电流在耦合电感二次侧线圈中的感应电流使晶闸管电流过零来实现对短路故障的快速自动隔离,不需要额外的检测和控制;当负载侧发生短路故障时,耦合电感一次侧线圈承受电源电压,并在耦合电感二次侧线圈两端感应出电压,此感应电压使得第一储能电容的放电支路导通,并经主开关晶闸管、电源、第一储能电容及放电支路形成回路,由于耦合电感二次侧线圈匝数少于一次侧线圈,因此二次侧线圈暂态电流大于一次侧暂态电流,差额电流流经

主开关晶闸管并使其电流过零,主开关晶闸管关断;

工况四:负载侧发生过载故障,根据负载的过载能力采取不同的保护方案:若负载过载能力较强,则可利用短路电流在耦合电感二次侧线圈中的感应电流使主开关晶闸管电流过零来实现对过载故障的快速自动隔离;若负载过载能力较弱,则需要监测负载电流,当发生过载时迅速触发手动关断单元的手动开关导通,将负载断电。

基于耦合电感线圈的直流断路器及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种直流断路器及其控制方法,具体地,涉及一种基于耦合电感线圈的直流断路器及其控制方法。

背景技术

[0002] 随着电力电子器件的发展,直流输配电技术的优势日益凸显。与传统交流输配电技术相比,直流输配电技术具有线路成本低、输电损耗低、输电容量大、无功角稳定问题等优势,更能与太阳能、风能、燃料电池等可再生能源及LED、计算机、电动汽车等直流负载的高效接入相适应。

[0003] 与交流系统一样,直流输配电系统的安全可靠运行同样离不开断路器的保护。直流断路器的可靠性直接影响着故障电流的有效分断。由于在直流输配电系统中,直流电流不存在自然过零点,因此无法像交流断路器那样利用电流自然过零点分断故障电流,采用机械式断路器会不可避免地在分断故障电流过程中拉弧,在中高压系统中,需要分断的故障电流尤其是短路电流往往在数千甚至数十千安培,大电流在拉弧过程中产生大量的热,会对断路器触头造成侵蚀,从而降低了断路器的可靠性并提高了维护难度。

[0004] 半导体技术的发展为断路器提供了一种固态解决方案。采用电力电子器件作为断路器开关,通过控制半导体内部结构使其工作在导通或阻断状态,从而实现直流系统的导通与无弧分断,能有效提高系统可靠性,降低维护成本和工作量。由于半导体并非导体,在导通状态下仍存在一定的通态压降,因此会产生导通损耗,使系统效率降低且需要采取散热措施。在所有典型电力电子器件中,晶闸管通态压降最低,例如ABB公司生产的5STP 45Q2800型晶闸管,其阈值电压为0.86V,斜率电阻最大仅为 $70\mu\Omega$ (结温 125°C),呈现出媲美机械触点的趋势。另外,晶闸管价格低廉,对冲击电流和冲击电压的耐受能力强,非常适合应用在断路器中。但由于晶闸管属于半控型器件,不具备关断能力,从而限制了其在断路器中的应用。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于耦合电感线圈的直流断路器及其控制方法。

[0006] 根据本发明的一个方面,提供一种基于耦合电感线圈的直流断路器,其特征在于,由主开关晶闸管、耦合电感线圈、电感续流电路、储能电容及其充放电单元、手动关断单元构成,所述耦合电感线圈包括通过磁芯耦合的一次侧线圈和二次侧线圈,其中主开关晶闸管阳极连接一个直流系统的正极,主开关晶闸管阴极连接耦合电感线圈的一次侧线圈的同名端,一次侧线圈的异名端连接负载,电感续流电路并联在一次侧线圈两端,二次侧线圈的同名端与一次侧线圈同名端相连,二次侧线圈的异名端通过储能电容及其充放电单元接至一个直流系统的负极,手动关断单元是一个三端口网络,三个端口分别接在耦合电感线圈、储能电容及其充放电单元、直流系统的负极。

[0007] 优选地,所述一次侧线圈的匝数多于二次侧线圈的匝数。

[0008] 优选地,所述电感续流电路包括第一电阻和第一二极管,第一电阻和第一二极管串联;第一电阻用于在保护动作后将存储在电感中的能量快速消耗掉,以减小电感的电流应力和热应力;第一二极管用于限制续流方向,其阴极连接耦合电感线圈同名端,在非故障状态下处于阻断状态,当发生故障耦合电感一次侧线圈承受反向电压时进入导通状态,提供续流支路,用于减小主开关晶闸管的电压应力。

[0009] 优选地,所述储能电容及其充放电单元由第一储能电容及其充电支路、放电支路构成;充电支路由第二电阻构成,放电支路由第三电阻和第二二极管构成,第二电阻与第三电阻、第二二极管并联,第三电阻和第二二极管串联,第二电阻、第三电阻、第二二极管都与第一储能电容连接;第二电阻的阻值高于负载电阻的阻值,以保证对第一储能电容平稳充电;第三电阻的阻值远小于负载电阻的阻值,以提供足够大的放电电流来使主开关晶闸管电流过零;第二二极管阴极指向第一储能电容的放电方向,以限制充放电电流流向。

[0010] 优选地,所述手动关断单元由第二储能电容、充电电阻、放电电阻及手动开关构成,第二储能电容与充电电阻串联,放电电阻与手动开关串联,第二储能电容、充电电阻都与放电电阻连接;其中手动开关采用手动触发的晶闸管或逆阻型的全控半导体器件;放电电阻一侧连接手动开关阴极,另一端与第二储能电容和充电电阻连接在一起,构成一个三端口网络;手动关断单元主要用于常态或检修状态下的负载断电,或配合耦合电感线圈的自动感应保护用作复杂负载工况的附加保护。

[0011] 本发明提供一种基于耦合电感线圈的直流断路器的控制方法,其特征在于,其采用以下工况:

[0012] 工况一:负载通电,控制方法为:向主开关晶闸管发出触发脉冲,主开关晶闸管导通,固态断路器内的储能电容通过充电电阻自动完成充电储能,储能完成后,第一储能电容和第二储能电容的电压均为直流电源电压,在电容储能的同时,负载得电启动并进入工作状态;

[0013] 工况二:负载断电,控制方法为:触发手动关断单元的手动开关导通,此时第一储能电容、手动开关、放电电阻、第二储能电容及主开关晶闸管将经电源形成回路,由于此时第一储能电容和第二储能电容的电压均为直流电源电压,因此主开关晶闸管将承受接近电源电压的反向电压,使主开关晶闸管电流迅速过零并将其关断,从而将负载断电;

[0014] 工况三:负载侧发生短路故障,由于短路故障往往发生迅速且破坏性强,本发明利用短路电流在耦合电感二次侧线圈中的感应电流使晶闸管电流过零来实现对短路故障的快速自动隔离,不需要额外的检测和控制;当负载侧发生短路故障时,耦合电感一次侧线圈承受电源电压,并在耦合电感二次侧线圈两端感应出电压,此感应电压使得第一储能电容的放电支路导通,并经主开关晶闸管、电源、第一储能电容及放电支路形成回路,由于耦合电感二次侧线圈匝数少于一次侧线圈,因此二次侧线圈暂态电流大于一次侧暂态电流,差额电流流经主开关晶闸管并使其电流过零,主开关晶闸管关断;

[0015] 工况四:负载侧发生过载故障,根据负载的过载能力采取不同的保护方案:若负载过载能力较强,如能短时承受两倍以上负载电流,则可利用短路电流在耦合电感二次侧线圈中的感应电流使主开关晶闸管电流过零来实现对过载故障的快速自动隔离;若负载过载能力较弱,则需要监测负载电流,当发生过载时迅速触发手动关断单元的手动开关导通,将

负载断电。

[0016] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0017] 一,本发明能有效隔离短路故障对电源侧的冲击,防止前级保护设备连锁保护。

[0018] 二,本发明能自动切断故障电流且响应迅速,能将故障电流峰值限制在较低的水平。

[0019] 三,本发明不需要额外增设限流电抗器,控制简单,元器件少,且采用晶闸管作为主开关,成本低。

[0020] 四,本发明采用的耦合电感线圈在故障暂态下工作于变压器模式,其暂态电流不会导致磁饱和,因此与传统限流电抗器相比耦合电感线圈体积得以显著缩减。

[0021] 五,本发明具有低通特性,可兼作直流负载的输入滤波器,对于有纹波要求的直流负载,可省去输入侧的滤波器。

[0022] 六,本发明在正常运行状态下,仅需考虑晶闸管压降损耗,由于晶闸管压降小,损耗比强迫换流型混合直流断路器及传统纯固态直流断路器低,故散热设计简单。

附图说明

[0023] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0024] 图1为基于耦合电感线圈的直流断路器拓扑结构;

[0025] 图2为基于PSpice平台对负载通电、断电工况下的断路器测试结果波形图;

[0026] 图3为基于PSpice平台对负载侧发生短路工况下的断路器故障保护波形图;

[0027] 图4为基于PSpice平台对负载侧发生过载工况下的断路器故障保护波形图。

[0028] 图中:

[0029] I-耦合电感线圈;

[0030] II-电感续流电路;

[0031] III-储能电容及其充放电单元;

[0032] IV-手动关断单元。

具体实施方式

[0033] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0034] 如图1所示,本发明基于耦合电感线圈的直流断路器由主开关晶闸管 T_1 、耦合电感线圈I、电感续流电路II、储能电容及其充放电单元III、手动关断单元IV构成,所述耦合电感线圈I包括通过磁芯耦合的一次侧线圈 N_1 和二次侧线圈 N_2 ,其中主开关晶闸管 T_1 阳极连接一个直流系统的正极,主开关晶闸管 T_1 阴极连接耦合电感线圈I的一次侧线圈 N_1 的同名端,一次侧线圈 N_1 的异名端连接负载 Z_1 ,电感续流电路II并联在一次侧线圈 N_1 两端,二次侧线圈 N_2 的同名端与一次侧线圈 N_1 同名端相连,二次侧线圈 N_2 的异名端通过储能电容及其充放电单元III接至一个直流系统的负极,手动关断单元IV是一个三端口网络,三个端口分别接在

耦合电感线圈I、储能电容及其充放电单元III、直流系统的负极。

[0035] 其中,一次侧线圈 N_1 的匝数多于二次侧线圈 N_2 的匝数,从而在负载故障瞬态过程中,二次侧线圈 N_2 的感应电流大于一次侧线圈 N_1 的感应电流,两者电流差反向流经晶闸管 T_1 ,使得晶闸管 T_1 电流过零并关断。

[0036] 所述电感续流电路II包括第一电阻 R_1 和第一二极管 D_1 ,第一电阻 R_1 和第一二极管 D_1 串联;第一电阻 R_1 用于在保护动作后将存储在电感中的能量快速消耗掉,以减小电感的电流应力和热应力,若所用电感线圈I绝缘强度较高,第一电阻 R_1 可省去;第一二极管 D_1 用于限制续流方向,其阴极连接耦合电感线圈I的同名端,在非故障状态下处于阻断状态,当发生故障耦合电感一次侧线圈 N_1 承受反向电压时进入导通状态,提供续流支路,用于减小主开关晶闸管 T_1 的电压应力。

[0037] 所述储能电容及其充放电单元III由第一储能电容 C_1 及其充电支路、放电支路构成;充电支路由第二电阻 R_2 构成,放电支路由第三电阻 R_3 和第二二极管 D_2 构成,第二电阻 R_2 与第三电阻 R_3 、第二二极管 D_2 并联,第三电阻 R_3 和第二二极管 D_2 串联,第二电阻 R_2 、第三电阻 R_3 、第二二极管 D_2 都与第一储能电容 C_1 连接;第二电阻 R_2 的阻值高于负载 Z_1 电阻的阻值,以保证对第一储能电容平稳充电;第三电阻 R_3 的阻值远小于负载 Z_1 电阻的阻值,以提供足够大的放电电流来使主开关晶闸管 T_1 电流过零;第二二极管 D_2 阴极指向第一储能电容 C_1 的放电方向,以限制充放电电流流向,对于多负载线路及变载负载的保护需采用晶闸管或逆阻型的全控半导体器件代替第二二极管 D_2 。

[0038] 所述手动关断单元IV由第二储能电容 C_2 、充电电阻 R_4 、放电电阻 R_5 及手动开关 T_2 构成,第二储能电容 C_2 与充电电阻 R_4 串联,放电电阻 R_5 与手动开关 T_2 串联,第二储能电容 C_2 、充电电阻 R_4 都与放电电阻 R_5 连接;其中手动开关 T_2 采用手动触发的晶闸管或逆阻型的全控半导体器件;放电电阻 R_5 一侧连接手动开关 T_2 阴极,另一端与第二储能电容 C_2 和充电电阻 R_4 连接在一起,构成一个三端口网络;手动关断单元IV主要用于常态或检修状态下的负载断电,或配合耦合电感线圈I的自动感应保护以用作复杂负载工况下的附加保护。

[0039] 进一步地,本实施例提供的基于耦合电感线圈的直流断路器,还包括断路器在典型工况下的控制方法,即本发明基于耦合电感线圈的直流断路器的控制方法主要采用负载通电、负载断电、短路故障、过载故障等典型工况,具体内容如下:

[0040] 工况一:负载通电。控制方法为:向主开关晶闸管 T_1 发出触发脉冲,主开关晶闸管 T_1 导通,直流断路器内的第一储能电容 C_1 、第二储能电容 C_2 分别通过充电电阻 R_2 、 R_4 自动完成充电储能,储能完成后,第一储能电容 C_1 和第二储能电容 C_2 的电压均为直流电源电压 V_s ,在电容储能的同时,负载得电启动并进入工作状态。

[0041] 工况二:负载断电。控制方法为:触发手动关断单元IV的手动开关 T_2 导通,此时第一储能电容 C_1 、手动开关 T_2 、放电电阻 R_5 、第二储能电容 C_2 及主开关晶闸管 T_1 将经直流电源形成回路,由于此时第一储能电容 C_1 和第二储能电容 C_2 的电压均为直流电源电压 V_s ,因此主开关晶闸管 T_1 将承受接近电源电压 V_s 的反向电压,使得主开关晶闸管 T_1 的电流迅速过零并将其关断,从而将负载断电。

[0042] 工况三:负载侧发生短路故障。由于短路故障往往发生迅速且破坏性强,本实施例利用短路电流在耦合电感二次侧线圈中的感应电流使晶闸管电流过零来实现对短路故障的快速自动隔离,不需要额外的检测和控制;具体地,当负载侧发生短路故障时,耦合电感

一次侧线圈 N_1 承受电源电压,并在耦合电感二次侧线圈 N_2 两端感应出电压,此感应电压使得第一储能电容 C_1 的放电支路导通,并经主开关晶闸管 T_1 、直流电源、第一储能电容 C_1 及放电支路形成回路,由于耦合电感二次侧线圈 N_2 匝数少于一次侧线圈 N_1 ,因此二次侧线圈 N_2 暂态电流大于一次侧暂态电流,差额电流流经主开关晶闸管 T_1 并使其电流过零,主开关晶闸管 T_1 关断;此技术手段的响应速度较传统采用数字或模拟控制辅助判断并隔离故障的手段显著加快。

[0043] 工况四:负载侧发生过载故障。根据负载的过载能力采取不同的保护方案:若负载过载能力较强,如能短时承受两倍以上负载电流,则可利用短路电流在耦合电感二次侧线圈 N_2 中的感应电流使主开关晶闸管 T_1 电流过零来实现对过载故障的快速自动隔离;若负载过载能力较弱,则需要监测负载电流,当发生过载时迅速触发手动关断单元IV的手动开关 T_2 导通,将负载断电;也可根据负载实际特点将两种方案配合使用。

[0044] 更进一步地,基于PSpice平台对本发明在上述典型工况下进行测试,本实施例以1kV直流电网为例,选取1kV/200A直流负载。各工况测试结果如下:

[0045] 负载通电、断电工况下的测试结果如图2所示,由图可见,本发明通电、断电过程均较短,动作迅速,开关过程对主开关晶闸管 T_1 的电压、电流冲击小,有利于断路器长期安全稳定运行;

[0046] 负载侧发生短路故障时断路器的保护波形如图3所示,由图可见,本发明在短路故障发生时能迅速自动保护,由于保护动作不需要控制器的参与,速度极快,最快能在10 μ s内切断故障电流,因此采用较小体积的耦合电感线圈即可将故障电流峰值限制在较低的水平,主开关晶闸管 T_1 反向恢复电流较大以迅速进入阻断状态,短路故障发生后,主开关晶闸管 T_1 电流迅速减小并反向,消除了负载短路电流对前级保护设备的干扰,防止因连锁保护导致大面积停电,电感续流电路II将主开关晶闸管 T_1 端电压限制在较低的水平;

[0047] 负载侧发生两倍过载故障时断路器的保护波形如图4所示,由图可见,本发明在过载故障发生时迅速自动保护,过载保护过程对主开关晶闸管 T_1 的电压、电流冲击小,有利于断路器长期安全稳定运行。

[0048] 实施例的结果证明了本发明所提出的基于耦合电感线圈的直流断路器,能够在负载出现短路或过载时自动切断故障电流且响应迅速,能够将故障电流峰值限制在较低的水平,能够有效隔离故障电流对电源侧的冲击,防止前级保护设备连锁保护。本发明利用故障暂态下耦合电感线圈的感应电流使主开关晶闸管电流过零来实现故障隔离,成本低,通态损耗小,可实现直流短路及过载故障的快速自动保护,且能避免故障电流对电源侧的冲击。

[0049] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

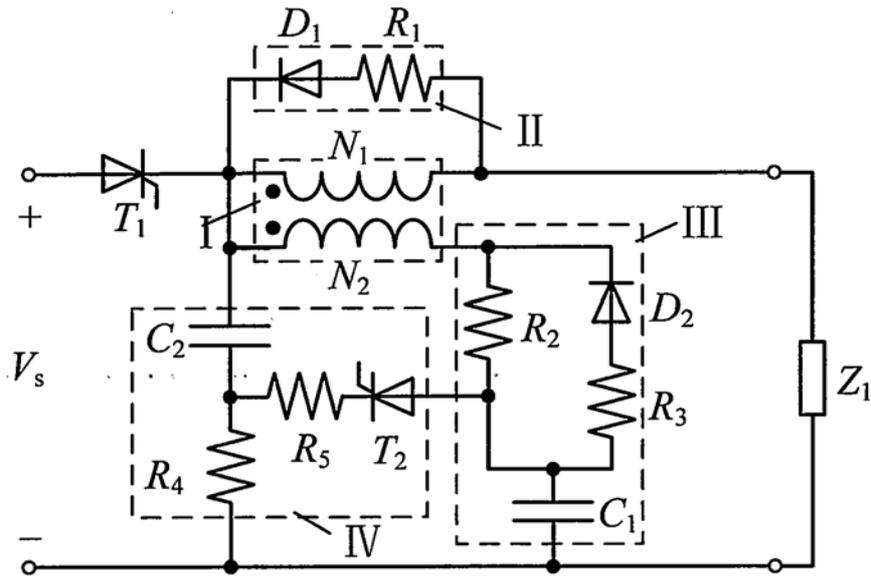


图1

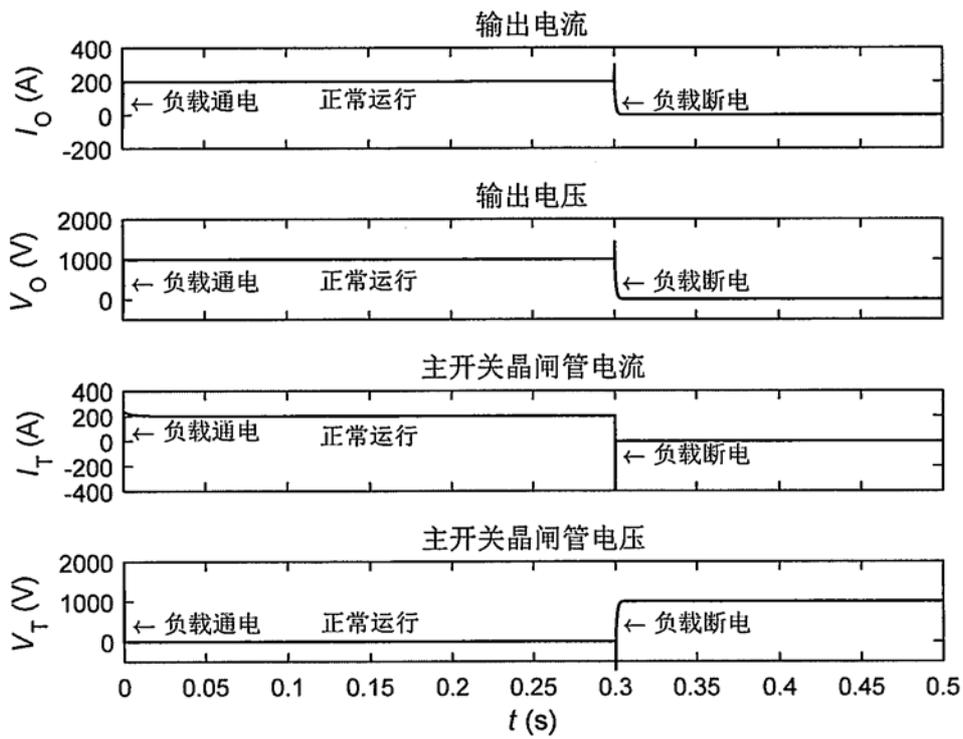


图2

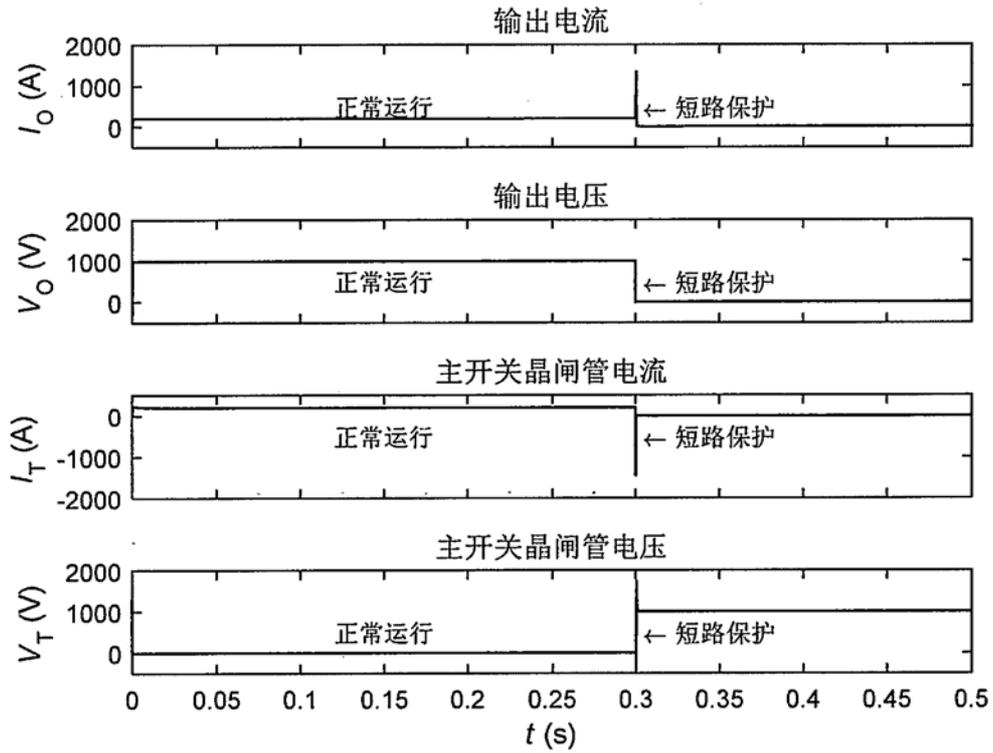


图3

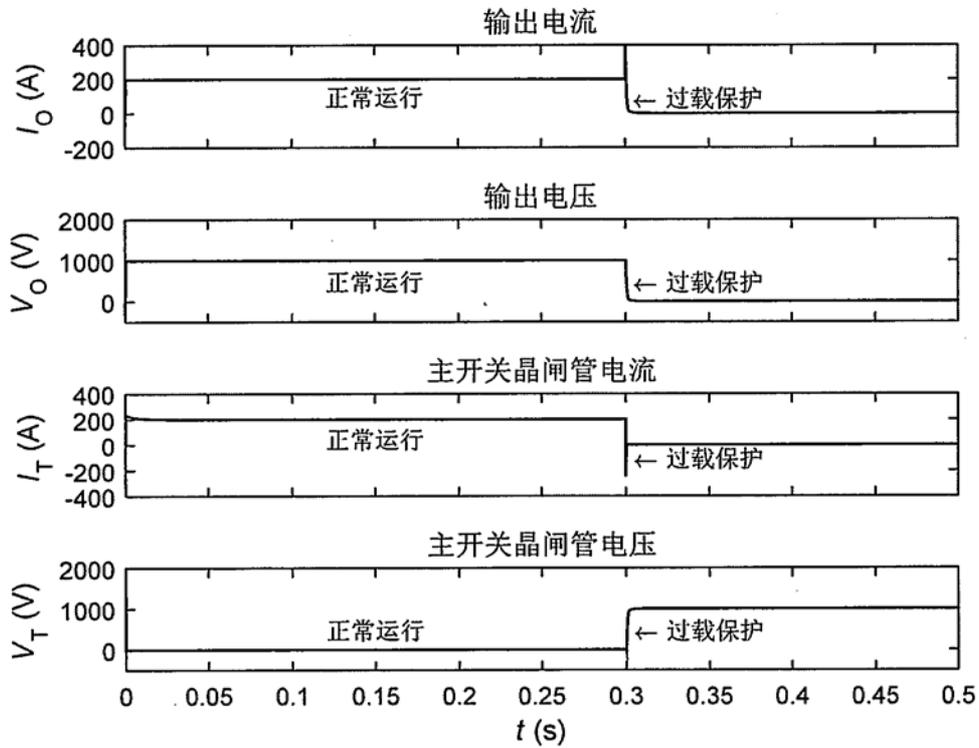


图4