



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110474582 B

(45) 授权公告日 2021.03.05

(21) 申请号 201910812699.4

(22) 申请日 2019.08.20

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110474582 A

(43) 申请公布日 2019.11.19

(73) 专利权人 中国计量大学  
地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区  
学源街258号

(72) 发明人 孙冠群 谢岳 胡献华

(51) Int.Cl.  
H02P 9/30 (2006.01)  
H02P 9/38 (2006.01)

审查员 赵兴帮

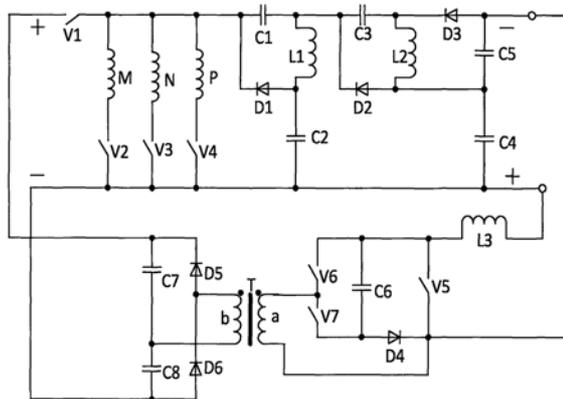
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机  
变流系统

(57) 摘要

反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统,由七个开关管、三相绕组、八个电容器、六个二极管、三个电感、一个变压器组成,相绕组励磁和发电的主回路除各自串联的开关管外,其余器件公用,并且除一个公用开关管外,每相绕组仅连接一个独用开关管,基于此输出反极性和最少开关管下解决了众多问题并实现了直升压并且高利用率、低开关应力和低损耗的高性能,励磁采取自励磁可变换励磁电压,同样实时工作高利用率及复合隔离环节并兼顾强化励磁能力,励磁所需开关管实现软开关,从而实现总体效率高、成本低;适用于各类驱动下的中小功率尤其高速的开关磁阻发电机系统领域应用。



1. 反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统,其特征是,包括:第一开关管、第二开关管、第三开关管、第四开关管、第五开关管、第六开关管、第七开关管、第一相绕组、第二相绕组、第三相绕组、第一电容器、第二电容器、第三电容器、第四电容器、第五电容器、第六电容器、第七电容器、第八电容器、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管、第六二极管、第一电感、第二电感、第三电感、变压器,所述第一开关管阴极连接所述第一相绕组一端、所述第二相绕组一端、所述第三相绕组一端、所述第一电容器一端、所述第一二极管阴极,第一相绕组另一端连接所述第二开关管阳极,第二相绕组另一端连接所述第三开关管阳极,第三相绕组另一端连接所述第四开关管阳极,第一电容器另一端连接所述第一电感一端、所述第二二极管阴极、所述第三电容器一端,第一二极管阳极连接所述第二电容器一端、第一电感另一端,第二二极管阳极连接所述第二电感一端、所述第四电容器一端、所述第五电容器一端,第三电容器另一端连接第二电感另一端、所述第三二极管阴极,第三二极管阳极连接第五电容器另一端、所述第四二极管阴极、所述第五开关管阴极、所述变压器一次侧绕组一端,第四电容器另一端连接第二开关管阴极、第三开关管阴极、第四开关管阴极、第二电容器另一端、所述第三电感一端、所述第六二极管阳极、所述第八电容器一端,第一开关管阳极连接所述第五二极管阴极、所述第七电容器一端,第五二极管阳极连接第六二极管阴极、变压器二次侧绕组一端,第七电容器另一端连接第八电容器另一端、变压器二次侧绕组另一端,第三电感另一端连接第五开关管阳极、所述第六电容器一端、所述第六开关管阳极,第四二极管阳极连接第六电容器另一端、所述第七开关管阴极,第六开关管阴极连接第七开关管阳极、变压器一次侧绕组另一端;

第五开关管、第六开关管、第七开关管均为带有反并联二极管的全控型电力电子开关器件;变压器为降压变压器;第一开关管阳极和第二开关管阴极之间为励磁输出端,串联的第四电容器和第五电容器两端为发电输出端。

2. 根据权利要求1所述的反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统的控制方法,其特征是,开关磁阻发电机运行中,根据转子位置信息,当第一相绕组需投入工作时,第一开关管、第二开关管闭合,进入励磁阶段,来自串联的第七电容器和第八电容器端的励磁电源经由第一开关管和第二开关管给第一相绕组充电励磁,同时,励磁电源与第二电容器一起经由第一开关管向第一电容器和第一电感充电,励磁电源和第四电容器一起经由第一开关管向第三电容器和第二电感以及回路中的第一电容器充电,此时发电输出端所需电能由第四电容器和第五电容器提供;根据转子位置信息待励磁阶段需结束时,断开第一开关管,进入发电阶段,此时第一相绕组的储能除向第二电容器充电外,并与第一电容器、第一电感、第三电容器、第二电感一起向发电输出端输出电能,以及向第四电容器和第五电容器充电;根据转子位置信息发电阶段需结束时,断开第二开关管,第一相绕组工作结束;

根据转子位置信息,当第二相绕组、第三相绕组需投入工作时,工作模式与第一相绕组相同,涉及的不同器件具体对应关系为:第三开关管、第四开关管对应第二开关管,其余器件共用;

励磁电源即第七电容器与第八电容器串联后输出端由第五开关管、第六开关管、第七开关管按照PWM模式控制,通过对各个开关管占空比的调节,改变输出的励磁电源电压,以满足系统要求,为了励磁电源正常工作,以及应第五开关管、第六开关管、第七开关管的开关作业的吸收缓冲保护、软开关的需求,该三个开关管的工作遵循如下方法:

第五开关管、第六开关管、第七开关管的开关周期、频率相同；第六开关管和第七开关管互补开关工作，但又不同时开关，即前开关管断开时，后开关管暂缓闭合，闭合与断开不同时；第五开关管的占空比等于第六开关管的占空比，但是，第五开关管的PWM一周期内高电平分为三段，其第一段的闭合点与第六开关管闭合点相同，断开后在第二段的闭合点必须在第六开关管断开前，第二段的断开点与第六开关管断开点相同，并且第二段和第一段的高电平宽度相等，第三段闭合点为其第一段断开点延后半周期处；

基于以上约束下，要求第五开关管的占空比需大于0.25；变压器降压比低于0.2。

## 反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及开关磁阻电机系统领域,具体涉及一种反极性直接升高输出电压、自励磁并且可调励磁电压的高性价比高性能基础的开关磁阻发电机变流系统及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 虽然开关磁阻电机出现的不算晚,其结构在主流电机中最为简单,散热方便,成本低,但发展确较为缓慢,根本原因在于其变流系统发展缓慢,并且较为复杂,变流模式也完全不同于传统电机,发展高系统性能的变流系统,更是任重道远。

[0003] 开关磁阻发电机工作中每相绕组均分为励磁和发电两大阶段,并分时进行,各相绕组之间也根据定转子相对位置分时进行工作,这些原理就使得开关磁阻发电机区别于其他电机,从而为变流系统带来完全不同的挑战,加之对发电效率、效益、可靠性、稳定性、成本等等的不同关注,业界尚未形成统一的标准和完整的发展细节方向。

[0004] 但是,有几点是明确的,譬如开关磁阻发电机发电输出电压和其他发电机一样,往往直接输出电压相对电网或负载来说较低,需要再行增加升压装置,所以直升压的开关磁阻发电机变流器一定具有意义,目前也出现个别直接通过励磁和发电能输出高发电电压的变流器,但均为正极性,对于个别的需要反极性的场合尚需要进一步进行变流变换,还有一些直接升压的变流系统所需开关管较多,或者开关作业时电压较大,等等问题;另外,还有强化励磁能力、新增可调变量、低开关损耗和低开关电压、尽量少的开关管数量等等的要求是比较明确的并且极具意义的。

[0005] 当前,开关管的应用越来越高频化,对于开关磁阻电机变流系统中,典型的自励磁电源往往需要的开关管就处于高频工作,所以,软开关往往是需要的,除了安全保护,也能极大的减小开关损耗,提高效率,这点在开关磁阻发电机业界极为瞩目,因为发电系统效率极为看重,这甚至是开关磁阻发电机能否取代传统电机在某些领域的关键所在。

[0006] 当然,效率重要,发电效益自然同样重要,尤其是新能源发电系统中,譬如风电,风力是不稳定的,低风速、超高风速往往就不能发电工作了,而如果通过发电机系统控制,是存在拓宽发电区间前景的,从而提高发电效益,而对于开关磁阻发电机的变流系统控制,变量主要是开关角和励磁阶段的电流这三个变量,在他励或传统直接自励,或者自充电蓄电池供电励磁场合,励磁电压是常量或不可调的,更不能连续调节变化,目前出现的少量调节励磁电压的开关磁阻发电机变流控制系统,取得了显著的效果,提高了整个系统的适应性和控制灵活性,但也存在变励磁复杂或者调节范围窄等问题。

[0007] 变励磁电压相当于新增了一个可调变量,意义重大,当然,可变励磁电压的自励型开关磁阻发电机系统往往面临隔离的问题,如果励磁发电主回路为反极性,本身也需要后续反馈隔离,所以基于以上需求,从而为集成隔离创造了条件,复合应用;另外,业界对于必要时的强化励磁能力也是非常看重的,而具备宽范围变励磁电压能力时自然需要兼顾强化励磁能力的话为最佳。

[0008] 目前一些功能较为丰富的开关磁阻发电机变流系统,其结构上往往存在一些诸如

开关管较多问题,使得控制负载或损耗高可靠性低,或者部分主要结构利用率低,仅在极端情况下才派上用场,降低了系统利用率和使用效率,投资回报率低,极大影响该系统的应用扩展。

## 发明内容

[0009] 根据以上的背景技术,本发明就提出了一种励磁和发电回路反极性并直接升高电压输出、最少励磁发电开关管、低损耗高效率、开关应力低并且软开关、自励磁并且宽范围可调励磁电压的高利用率高适应性的开关磁阻发电机变流系统及其控制方法,适用于各类中小功率等级的高速开关磁阻发电机系统中应用。

[0010] 本发明的技术方案为:

[0011] 反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统,其特征是,包括:第一开关管、第二开关管、第三开关管、第四开关管、第五开关管、第六开关管、第七开关管、第一相绕组、第二相绕组、第三相绕组、第一电容器、第二电容器、第三电容器、第四电容器、第五电容器、第六电容器、第七电容器、第八电容器、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管、第六二极管、第一电感、第二电感、第三电感、变压器,所述第一开关管阴极连接所述第一相绕组一端、所述第二相绕组一端、所述第三相绕组一端、所述第一电容器一端、所述第一二极管阴极,第一相绕组另一端连接所述第二开关管阳极,第二相绕组另一端连接所述第三开关管阳极,第三相绕组另一端连接所述第四开关管阳极,第一电容器另一端连接所述第一电感一端、所述第二二极管阴极、所述第三电容器一端,第一二极管阳极连接所述第二电容器一端、第一电感另一端,第二二极管阳极连接所述第二电感一端、所述第四电容器一端、所述第五电容器一端,第三电容器另一端连接第二电感另一端、所述第三二极管阴极,第三二极管阳极连接第五电容器另一端、所述第四二极管阴极、所述第五开关管阴极、所述变压器一次侧绕组一端,第四电容器另一端连接第二开关管阴极、第三开关管阴极、第四开关管阴极、第二电容器另一端、所述第三电感一端、所述第六二极管阳极、所述第八电容器一端,第一开关管阳极连接所述第五二极管阴极、所述第七电容器一端,第五二极管阳极连接第六二极管阴极、变压器二次侧绕组一端,第七电容器另一端连接第八电容器另一端、变压器二次侧绕组另一端,第三电感另一端连接第五开关管阳极、所述第六电容器一端、所述第六开关管阳极,第四二极管阳极连接第六电容器另一端、所述第七开关管阴极,第六开关管阴极连接第七开关管阳极、变压器一次侧绕组另一端;

[0012] 第五开关管、第六开关管、第七开关管均为带有反并联二极管的全控型电力电子开关器件;变压器为降压变压器;第一开关管阳极和第二开关管阴极之间为励磁输出端,串联的第四电容器和第五电容器两端为发电输出端。

[0013] 反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统的控制方法,其特征是,开关磁阻发电机运行中,根据转子位置信息,当第一相绕组需投入工作时,第一开关管、第二开关管闭合,进入励磁阶段,来自串联的第七电容器和第八电容器端的励磁电源经由第一开关管和第二开关管给第一相绕组充电励磁,同时,励磁电源与第二电容器一起经由第一开关管向第一电容器和第一电感充电,励磁电源和第四电容器一起经由第一开关管向第三电容器和第二电感以及回路中的第一电容器充电,此时发电输出端所需电能由第四电容器和第五电容器提供;根据转子位置信息待励磁阶段需结束时,断开第一开关管,进入发电阶

段,此时第一相绕组的储能除向第二电容器充电外,并与第一电容器、第一电感、第三电容器、第二电感一起向发电输出端输出电能,以及向第四电容器和第五电容器充电;根据转子位置信息发电阶段需结束时,断开第二开关管,第一相绕组工作结束;

[0014] 根据转子位置信息,当第二相绕组、第三相绕组需投入工作时,工作模式与第一相绕组相同,涉及的不同器件具体对应关系为:第三开关管、第四开关管对应第二开关管,其余器件共用;

[0015] 励磁电源即第七电容器与第八电容器串联后输出端由第五开关管、第六开关管、第七开关管按照PWM模式控制,通过对各个开关管占空比的调节,改变输出的励磁电源电压,以满足系统要求,为了励磁电源正常工作,以及因应第五开关管、第六开关管、第七开关管的开关作业的吸收缓冲保护、软开关的需求,该三个开关管的工作遵循如下方法:

[0016] 第五开关管、第六开关管、第七开关管的开关周期、频率相同;第六开关管和第七开关管互补开关工作,但又不同时开关,即前开关管断开时,后开关管暂缓闭合,闭合与断开不同时;第五开关管的占空比等于第六开关管的占空比,但是,第五开关管的PWM一周期内高电平分为三段,其第一段的闭合点与第六开关管闭合点相同,断开后在第二段的闭合点必须在第六开关管断开前,第二段的断开点与第六开关管断开点相同,并且第二段和第一段的高电平宽度相等,第三段闭合点为其第一段断开点延后半周期处;

[0017] 基于以上约束下,要求第五开关管的占空比需大于0.25;变压器降压比低于0.2。

[0018] 本发明的技术效果主要有:

[0019] (1) 本发明的各相绕组励磁和发电回路所需开关管最少,除一个公共开关管(第一开关管)外,每相绕组自身仅需一个开关管,从而总的开关损耗低、效率高,并且从工作过程看,开关应力也较低。

[0020] (2) 基于最少励磁和发电开关管用量下,还能借助电感和电容器直接升高电压输出,从而简化了后续应用中的升压环节,提高了可靠性。

[0021] (3) 本发明无需蓄电池,而是采用实时可变励磁电压的自励磁结构和控制模式,从而减小了体积重量,降低了成本。

[0022] (4) 各相绕组工作中,除各相绕组自身串联的开关管外,其余器件均为公用性质,极大的提高了器件的利用率;另外,本发明的励磁电源并不像采用蓄电池结构时设计的充电电路等极端情况时才投入工作,本发明的励磁电源必须实时工作,所以,本发明总体结构上近乎实时利用全部器件,全员全时参与工作,性价比高。

[0023] (5) 本发明的励磁和发电中,发电输出端与励磁电源端为反极性,虽然可适应绝大多数需求或无碍绝大多数应用场合,但基于此如果采用自励磁的话务必需要隔离环节,而本发明的励磁电源回路自带隔离变压器,从而正好兼顾了前述反极性必须隔离的需求,使得反极性时无需专门的隔离环节,节省了体积重量和成本。

[0024] (6) 励磁电源输出的励磁电压宽范围可调节,极大的增强了整个系统的适应性,为开关磁阻发电机系统增加了一个可调变量,尤其对于发电业界的MPPT控制等具有重大意义,当然,对于业界关注的强化励磁性能需求,此时自然可兼顾获得满足。

## 附图说明

[0025] 图1所示为本发明的反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统电路结构

图。

### 具体实施方式

[0026] 本实施例的反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统,变流系统电路结构如附图1所示,其由第一开关管V1、第二开关管V2、第三开关管V3、第四开关管V4、第五开关管V5、第六开关管V6、第七开关管V7、第一相绕组M、第二相绕组N、第三相绕组P、第一电容器C1、第二电容器C2、第三电容器C3、第四电容器C4、第五电容器C5、第六电容器C6、第七电容器C7、第八电容器C8、第一二极管D1、第二二极管D2、第三二极管D3、第四二极管D4、第五二极管D5、第六二极管D6、第一电感L1、第二电感L2、第三电感L3、变压器T组成,第一开关管V1阴极连接第一相绕组M一端、第二相绕组N一端、第三相绕组P一端、第一电容器C1一端、第一二极管D1阴极,第一相绕组M另一端连接第二开关管V2阳极,第二相绕组N另一端连接第三开关管V3阳极,第三相绕组P另一端连接第四开关管V4阳极,第一电容器C1另一端连接第一电感L1一端、第二二极管D2阴极、第三电容器C3一端,第一二极管D1阳极连接第二电容器C2一端、第一电感L1另一端,第二二极管D2阳极连接第二电感L2一端、第四电容器C4一端、第五电容器C5一端,第三电容器C3另一端连接第二电感L2另一端、第三二极管D3阴极,第三二极管D3阳极连接第五电容器C5另一端、第四二极管D4阴极、第五开关管V5阴极、变压器T一次侧绕组a一端,第四电容器C4另一端连接第二开关管V2阴极、第三开关管V3阴极、第四开关管V4阴极、第二电容器C2另一端、第三电感L3一端、第六二极管D6阳极、第八电容器C8一端,第一开关管V1阳极连接第五二极管D5阴极、第七电容器C7一端,第五二极管D5阳极连接第六二极管D6阴极、变压器T二次侧绕组b一端,第七电容器C7另一端连接第八电容器C8另一端、变压器T二次侧绕组b另一端,第三电感L3另一端连接第五开关管V5阳极、第六电容器C6一端、第六开关管V6阳极,第四二极管D4阳极连接第六电容器C6另一端、第七开关管V7阴极,第六开关管V6阴极连接第七开关管V7阳极、变压器T一次侧绕组a另一端;

[0027] 第五开关管V5、第六开关管V6、第七开关管V7均为带有反并联二极管的全控型电力电子开关器件IGBT或电力MOSFET等高频器件;变压器T为降压变压器,本实施例的降压幅度是二次侧绕组b电压等于一次侧绕组a电压的六分之一;第一开关管V1阳极和第二开关管V2阴极之间即串联的第七电容器C7和第八电容器C8两端为励磁输出端;串联的第四电容器C4和第五电容器C5两端为发电输出端。

[0028] 本实施例的反极性直升压自励变励磁开关磁阻发电机变流系统的控制方法,开关磁阻发电机运行中,根据转子位置信息,当第一相绕组M需投入工作时,第一开关管V1、第二开关管V2闭合,进入励磁阶段,来自串联的第七电容器C7和第八电容器C8端的励磁电源经由第一开关管V1和第二开关管V2给第一相绕组M充电励磁,同时,励磁电源与第二电容器C2一起经由第一开关管V1向第一电容器C1和第一电感L1充电,励磁电源和第四电容器C4一起经由第一开关管V1向第三电容器C3和第二电感L2以及回路中的第一电容器C1充电,此时发电输出端所需电能由第四电容器C4和第五电容器C5提供;根据转子位置信息待励磁阶段需结束时,断开第一开关管V1,第二开关管V2继续维持闭合,进入发电阶段,此时第一相绕组M的储能除向第二电容器C2充电(经由第一二极管D1)外,并与第一电容器C1、第一电感L1、第三电容器C3、第二电感L2串联一起向发电输出端输出电能,以及向第四电容器C4和第五电容器C5充电,从而在自身工作的发电阶段极大的提升了相对于励磁电压的发电输出端发电

电压;根据转子位置信息发电阶段需结束时,断开第二开关管V2,第一相绕组M工作结束;

[0029] 根据转子位置信息,当第二相绕组N、第三相绕组P需投入工作时,工作模式与第一相绕组M相同,涉及的不同器件具体对应关系为:第三开关管V3、第四开关管V4对应第二开关管V2,其余器件共用,可见本发明的器件利用率极高:

[0030] 励磁电源即第七电容器C7与第八电容器C8串联后输出端由第五开关管V5、第六开关管V6、第七开关管V7按照PWM模式控制,通过对各个开关管占空比的调节,可以改变输出的励磁电源电压,以满足提高系统性能的高要求,为了励磁电源正常工作,以及因应第五开关管V5、第六开关管V6、第七开关管V7的开关作业中的吸收缓冲保护、软开关的需求,该三个开关管的工作遵循如下方法:

[0031] 第五开关管V5、第六开关管V6、第七开关管V7的开关周期、频率相同;第六开关管V6和第七开关管V7互补开关工作,但又不同时开关,即前开关管断开时,后开关管暂缓闭合,两个开关管的闭合与断开不同时;第五开关管V5的占空比等于第六开关管V6的占空比,但是,第五开关管V5的PWM一周期内高电平分为三段,其第一段的闭合点与第六开关管V6闭合点相同,断开后在第二段的闭合点必须在第六开关管V6断开前,第二段的断开点与第六开关管V6断开点相同,并且第二段和第一段的高电平宽度相等,第三段闭合点为其第一段断开点延后半个周期处;

[0032] 基于以上约束下,要求第五开关管V5的占空比需大于0.25;基于以上约束,调节第五开关管V5的占空比(也即调节了第六开关管V6和第七开关管V7的占空比),即可调节输出的励磁电压值。

[0033] 根据本发明的结构和控制方法可见,当面临非三相绕组的开关磁阻发电机时,仅仅是增删相绕组及与其串联的开关管的问题,控制模式各相绕组相同,所以本发明自然对任意相数的开关磁阻发电机都处于保护范围。

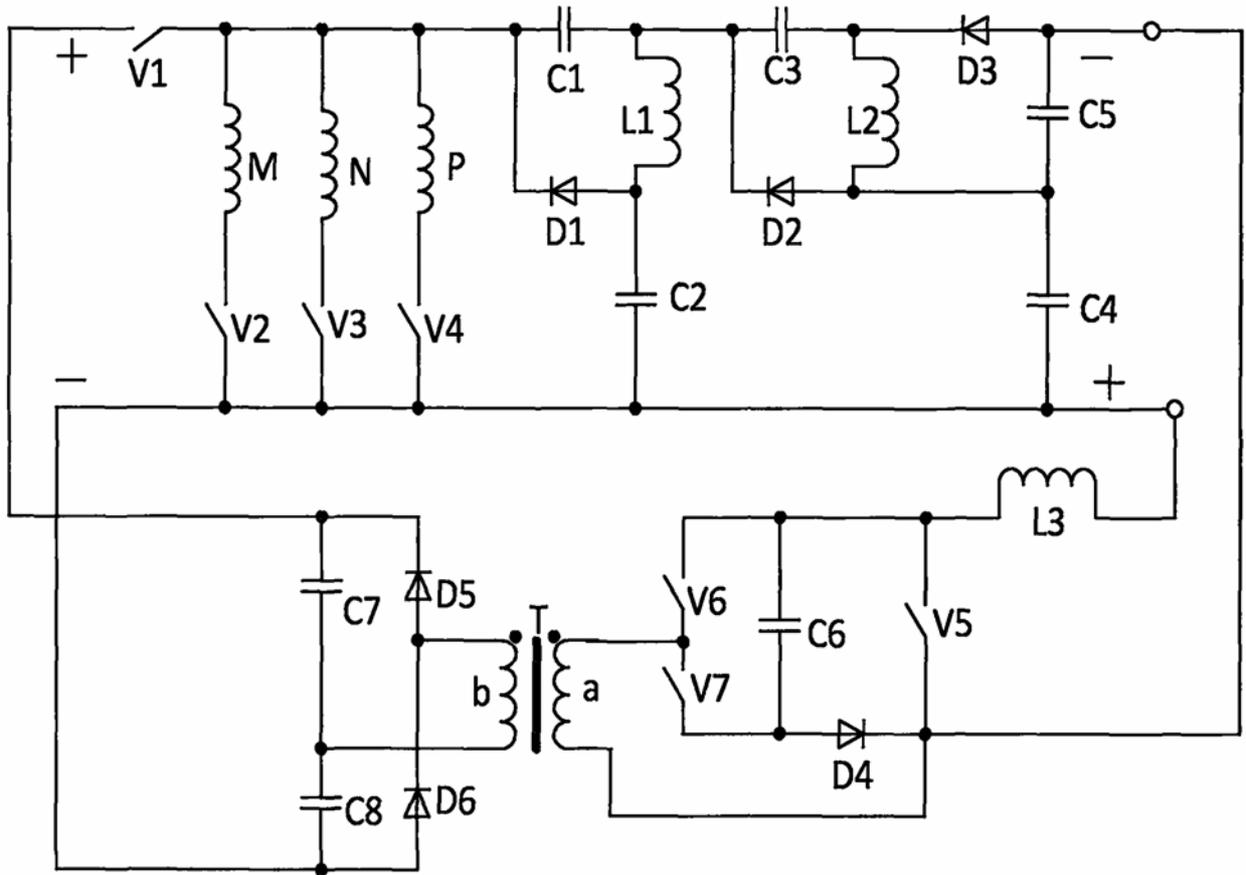


图1