



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111641354 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 19

(21) 申请号 202010604847.6

(22) 申请日 2020.06.29

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111641354 A

(43) 申请公布日 2020.09.08

(73) 专利权人 陕西科技大学  
地址 710021 陕西省西安市未央区大学园1号  
专利权人 陕西和创自动化工程股份有限公司

(72) 发明人 孟彦京 王一兆 汪超 李双双  
刘玉

(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 李红霖

(51) Int.Cl.  
H02P 1/30 (2006.01)  
H02M 5/458 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 212543681 U, 2021.02.12  
审查员 姜涛

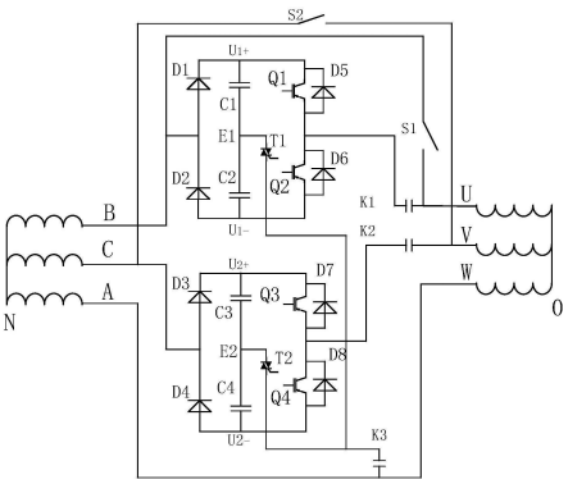
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种独立双桥臂变频式软起动器及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种独立双桥臂变频式软起动器及其控制方法,包括整流电路、逆变电路、电容C,双向可控硅和切换S及K开关;整流电路的出线端与逆变电路的进线端通过直流母线相连接;三相交流电的两相逆变输出分别对应于电机的U相和V相,电容C的中点对应电机的W相;两个电容C先串联再并联在直流母线端,两个电容C的中点作为参考点经双向可控硅与电源的A相以及变频输出的W相相连接。该独立双桥臂变频式软起动器降低变频器和软起动器之间的差异,减少传统交直交变频电路中的功率开关器件,采用独立双桥臂变频式软起动器,实现对电机高效率的软起动,并且可投切,可靠性高、体积小和成本低。



1. 一种独立双桥臂变频式软起动器, 其特征在于, 包括两个整流逆变单元, 两个整流逆变单元分别与电源和负载的两相连接, 每个整流逆变单元并联一切换开关S, 电源的参考相和负载的另一相直连;

所述整流逆变单元包括整流电路、滤波电路、逆变电路、双向可控硅T和开关K;

所述整流电路的输入端与电源的一相连接, 输出端与滤波电路连接, 滤波电路的输出端与逆变电路连接, 逆变电路的输出端与通过开关K与负载的一相连接;

所述滤波电路的中点通过双向可控硅T和开关S与电源的参考相连接, 用于固定参考相的电位, 双向可控硅T接收控制信号;

所述整流逆变单元输入的PWM控制信号, 两相调制波互差 $60^\circ$ , 逆变输出的两相线电压互差 $60^\circ$ ;

所述整流电路包括两个独立的双半波整流电路;

所述双半波整流电路包括二极管D1和二极管D2, 滤波电路包括电容C1和电容C2;

所述二极管D1的负极与电容C1的一端连接, 电容C1的另一端与电容C2的一端连接, 电容C2的另一端与二极管D2的正极连接, 二极管D2的负极与二极管D1的正极连接, 二极管D2的负极和二极管D1的正极的连接点与电源连接, 电容C1和电容C2的中点E1与电源的参考相连接;

所述逆变电路包括开关管Q1、开关管Q2、二极管D5和二极管D6;

所述开关管Q1的发射极接开关管Q2的集电极, 同时其连接点通过开关K与负载连接, 开关管Q1的集电极与滤波电路的一端连接, 二极管的D5的两端接开关管Q1的发射极和集电极;

所述开关管Q2的发射极接滤波电路的另一端, 二极管的D6的两端接开关管Q2的发射极和集电极;

所述开关管Q1和开关管Q2的门极与DSP控制器连接, 用于接收控制信号。

2. 根据权利要求1所述的一种独立双桥臂变频式软起动器, 其特征在于, 所述电容C1和电容C2的容量相同。

3. 根据权利要求1所述的一种独立双桥臂变频式软起动器, 其特征在于, 所述开关K为电子式开关或机械式开关。

4. 根据权利要求1所述的一种独立双桥臂变频式软起动器, 其特征在于, 其中一个整流逆变单元的输入端与电源的B相连接, 输出端与负载的U相连接; 另外一个整流逆变单元的输入端与电源的C相连接, 输出端与负载的V相连接, 电源的A相与负载的W相连接。

5. 一种权利要求1-4任一项所述的独立双桥臂变频式软起动器的控制方法, 其特征在于, 首先以变频方式驱动电机至预定转速, 再以调压调速方式驱动电机至额定转速;

变频过程中, 将PWM控制信号输入至逆变电路, PWM控制信号的两相调制波互差 $60^\circ$ , 通过改变矩形脉冲的宽度控制逆变单元输出交流基波电压的幅值, 通过改变调制周期控制其输出频率, 使逆变电路同时输出电压幅值和频率, 逆变输出的两相线电压互差 $60^\circ$ , 控制电机至预定转速;

调压调速过程中, 关断两个整流逆变单元的双向可控硅T, 以开关管实现晶闸管功能, 通过不断改变导通角, 增大输出电压有效值改变电机转速, 电机到达额定转速后, 利用切换开关S和开关K将变频式软起动器从电机上切出。

## 一种独立双桥臂变频式软起动器及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于交直交变频器技术领域,特别涉及三相异步电机的独立双桥臂变频式软起动器及控制方法。

### 背景技术

[0002] 对于中大功率无调速要求的工频运转电机,由于其直接启动的电流较大,通常都需要采用软起动器进行启动,以防止电机对电网造成的冲击。广泛采用的可控硅调压型软起动器具有成本低,控制灵活启动电流可控等优点,是目前组常用的软起动器之一。但是由于其采用的是调压调速原理,存在原理上启动转矩小无法实现带载启动的缺陷,而交直交变频技术可以实现额定转矩启动且电流限制在额定值以内,但是又存在如下缺点:

[0003] 整流和逆变电路采用的开关器件较多,使得变频器体积增大,成本升高,通常是同等软起动器价格的数倍以上甚至更多。当一台变频器用于多台电机启动时,旁路切换电路复杂且控制要求增加,降低了可靠性和经济性。

### 发明内容

[0004] 为解决传统交直交变频器用于软启动时,电路功率开关器件较多及难于旁路切换等问题,本发明提供了一种独立双桥臂变频式软起动器及控制方法,采用功率开关器件数量比传统变频电路节省三分之一,减少了变频器的体积,降低了成本,增加投切电路实现多机软起,控制方法上先变频后调压实现了变频电路高效率启动转矩和低启动电流的控制。

[0005] 本发明是通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种独立双桥臂变频式软起动器,包括两个整流逆变单元,两个整流逆变单元分别与电源和负载的两相连接,每个整流逆变单元并联一切换开关S,电源的参考相和负载的另一相直连;

[0007] 所述整流逆变单元包括整流滤波电路、滤波电路、逆变电路、双向可控硅T和开关K;

[0008] 所述整流电路的输入端与电源的一相连接,输出端与滤波电路连接,滤波电路的输出端与逆变电路连接,逆变电路的输出端与通过开关K与负载的一相连接;

[0009] 所述滤波电路的中点通过双向可控硅T和开关S与电源的参考相连接,用于固定参考相的电位,双向可控硅T接收控制信号;

[0010] 所述整流逆变单元输入的PWM控制信号,两相调制波互差 $60^\circ$ ,逆变输出的两相线电压互差 $60^\circ$ 。

[0011] 优选的,所述整流电路包括两个独立的双半波整流电路。

[0012] 优选的,所述双半波整流电路包括二极管D1和二极管D2,滤波电路包括电容C1和电容C2;

[0013] 所述二极管D1的负极与电容C1的一端连接,电容C1的另一端与电容C2的一端连

接,电容C2的另一端与二极管D2的正极连接,二极管D2的负极与二极管D1的正极连接,二极管D2的负极和二极管D1的正极的连接点与电源连接,电容C1和电容C2的中点E1与电源的参考相连接。

[0014] 优选的,所述电容C1和电容C2的容量相同。

[0015] 优选的,所述逆变电路包括开关管Q1、开关管Q2、二极管D5和二极管D6;

[0016] 所述开关管Q1的发射极接开关管Q2的集电极,同时其连接点通过开关K与负载连接,开关管Q1的集电极与滤波电路的一端连接,二极管的D5的两端接开关管Q1的发射极和集电极;

[0017] 所述开关管Q2的发射极接滤波电路的另一端,二极管的D6的两端接开关管Q2的发射极和集电极;

[0018] 所述开关管Q1和开关管Q2的门极与DSP控制器连接,用于接收控制信号。

[0019] 优选的,所述开关K为电子式开关或机械式开关。

[0020] 优选的,其中一个整流逆变单元的输入端与电源的B相连接,输出端与负载的U相连接;另外一个整流逆变单元的输入端与电源的C相连接,输出端与负载的V相连接,电源的A相与负载的W相连接。

[0021] 一独立双桥臂变频式软起动器的控制方法,首先以变频方式驱动电机至预定转速,再以调压调速方式驱动电机至额定转速;

[0022] 变频过程中,将PWM控制信号输入至逆变电路,PWM控制信号的两相调制波互差 $60^\circ$ ,通过改变矩形脉冲的宽度控制逆变单元输出交流基波电压的幅值,通过改变调制周期控制其输出频率,使逆变电路同时输出电压幅值和频率,逆变输出的两相线电压互差 $60^\circ$ ,控制电机至预定转速;

[0023] 调压调速过程中,关断两个整流逆变单元的双向可控硅T,以开关管实现晶闸管功能,通过不断改变导通角,增大输出电压有效值改变电机转速,电机到达额定转速后,利用切换开关S和开关K将变频式软起动器从电机上切出。

[0024] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0025] 本发明提供了一种独立双桥臂变频式软起动器,来实现调压、调频,相对于整流电路而言,参考相的直流电压为 $U^+$ 和 $U^-$ ,相当于形成一个带中点的正负电源。相对于逆变输出而言,以滤波电路的中点为参考点,输出一个互差 $60^\circ$ 电角度的正弦波,与电源的三相供电原理一样,对电机而言形成一个实际的三相对称波形,并产生旋转磁场,驱动电机旋转。该独立双桥臂变频式软起动器所采用的功率开关器件数量比传统变频电路节省三分之一,减少了变频器的体积,降低了成本,控制方法上先变频后调压实现了变频电路高效率工作。

[0026] 进一步,增加投切电路可以实现多个电机软起,DSP控制器利用正弦脉宽调制技术,以正弦波作为调制波,三角波作为载波,产生的PWM信号控四个功率开关管以及双向可控硅T,二极管为开关管自带的续流二极管;通过改变矩形脉冲的宽度可以控制逆变单元输出交流基波电压的幅值,通过改变调制周期可以控制其输出频率,从而在逆变电路部分可以同时输出电压幅值和频率的控制,满足变频调速对电压与频率协调控制的要求。

## 附图说明

[0027] 图1为本发明独立双桥臂变频式软起动器拓扑图;

[0028] 图2为本发明独立双桥臂变频式软起动器直流母线正负端对参考相A相的电压波形图(以B相的U1+和U1-为例);

[0029] 图3为本发明独立双桥臂变频式软起动器直流母线并联两个相同容量的电容C后,直流母线正负端对参考相A相的电压波形图;

[0030] 图4为本发明独立双桥臂变频式软起动器整流电路的输出电压波形图;

[0031] 图5为本发明独立双桥臂变频式软起动器直流母线并联两个相同容量的电容C后,直流母线电压波形图;

[0032] 图6为本发明独立双桥臂变频式软起动器逆变电路两相对于参考相W(A)相的输出电压波形图。

## 具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0034] 如图1所示,一种独立双桥臂变频式软起动器,包括两个整流逆变单元,分别为第一整流逆变单元和第二整流逆变单元,两个整流逆变单元分别与电源和负载的两相连接,每个整流逆变单元并联一切换开关S,电源的参考相和负载的另一相直连。

[0035] 整流逆变单元包括整流滤波电路、滤波电路、逆变电路、双向可控硅T和开关K;整流电路的输入端与电源的一相连接,输出端与滤波电路连接,滤波电路的输出端与逆变电路连接,逆变电路的输出端与通过开关K与负载的一相连接;滤波电路的中点通过双向可控硅T和开关S与电源的参考相连接,用于固定参考相的电位,双向可控硅T接收控制信号。

[0036] 整流电路包括两个独立的双半波整流电路,第一整流逆变单元的整流电路包括二极管D1和二二极管D2,滤波电路包括电容C1和电容C2。

[0037] 二极管D1的负极与电容C1的一端连接,电容C1的另一端与电容C2的一端连接,电容C2的另一端与二极管D2的正极连接,二极管D2的负极与二极管D1的正极连接,二极管D2的负极和二极管D1的正极的连接点与电源连接,电容C1和电容C2的中点E1通过双向可控硅T1和开关K3与电源的参考相连接。

[0038] 第二整流逆变单元的整流电路包括二极管D3和二二极管D4,滤波电路包括电容C3和电容C4,电容C3和电容C4通过双向可控硅T2和开关K3与电源的参考相连接,其余的连接方式与第一整流逆变单元的整流电路连接方法相同,不在赘述。

[0039] 第一整流逆变单元的逆变电路包括开关管Q1、开关管Q2、二极管D5和二二极管D6。

[0040] 所述开关管Q1的发射极接开关管Q2的集电极,同时其连接点通过开关K1与负载U相连接,开关管Q1的集电极与滤波电路的一端连接,二极管的D5的两端接开关管Q1的发射极和集电极;所述开关管Q2的发射极接滤波电路的另一端,二极管的D6的两端接开关管Q2的发射极和集电极;所述开关管Q1和开关管Q2的门极与DSP控制器连接,用于接收控制信号。

[0041] 第二整流逆变单元的逆变电路包括开关管Q3、开关管Q4、二极管D7和二二极管D8,开关管Q3的发射极接开关管Q4的集电极,同时其连接点通过开关K2与负载V相连接,其余连接方式与第一整流逆变单元的逆变电路连接方法相同,不在赘述。

[0042] 第一整流逆变单元的输入端与电源的B相连接,输出端通过开关K1与负载的U相连

接,第一整流逆变单元并联开关S1;第二整流逆变单元的输入端与电源的C相连接,输出端通过开关K2与负载的V相连接,第二整流逆变单元并联开关S2;电源的A相与负载的W相连接。

[0043] 所述开关K1、K2和K3为电子式开关或机械式开关。

[0044] 该独立双桥臂变频式软起动器采用独立的两相桥臂,每相以串联的两个二极管组成的双半波整流电路为整流部分,以串联的功率开关管为逆变部分,两个电容C先串联再并联在直流母线端,以两个电容C的中点E1、E2作为参考点经双向可控硅T1和T2与电源的A相以及变频输出的W相相连接。所述整流的输入端B相、C相以三相交流电的A相为参考点,两个输入电压 $U_{BA}$ 、 $U_{CA}$ 相位相差 $60^\circ$ ;所述的单相整流电路的出线端与逆变电路的进线端通过直流母线相连接,所述的两个电容C先串联然后并联在直流母线上;所述的逆变输出端U相、V相相对于W(A)相的两个电压 $U_{UW}$ 、 $U_{VW}$ 作为输出电压,电压相位相差 $60^\circ$ 。

[0045] 整流电路和逆变电路分别采用双二极管串联和双功率开关管串联,三相交流电源的A相与三相交流异步电动机的W相相连接,且两个相同容量的电容C的中点E1、E2与三相交流电源的A相连接。通过两相整流电路将电网的交流电压转换为直流电压,再将直流母线的电压通过逆变电路转换为幅值、频率、相位可调的交流电压,同样地先以交直交变频后以调压调速的方式给异步电动机供电,并进行软起动控制。

[0046]  $U_{BA}$ 、 $U_{CA}$ 作为整流电路的输入电压,相位相差 $60^\circ$ 。当 $U_{BA}$ 电压 $>0$ 时,二极管D1导通;当 $U_{BA}$ 电压 $<0$ 时,二极管D2导通;当 $U_{CA}$ 电压 $>0$ 时,二极管D3导通;当 $U_{CA}$ 电压 $<0$ 时,二极管D4导通。对于独立的双半波整流电路来说,B相对于中点所得到的整流输出电压如图2所示;对于本软起动器得到的直流电压经过与直流母线并联的两个相同容量的电容C,得到较稳定的直流电压,波形图如图3所示。两个串联的相同容量的电容C,具有很好的滤波作用,当电压交变时,由于电容的充放电作用,两端的电压不能突变,就保证了电压的平稳。如图4所示,是没有加两个相同容量的电容C,整流电路的输出电压脉动大,当经过两个相同容量的电容C串联部分时,得到的直流电压 $U_d$ ,如图5所示,两个电容C的容量越大,电压脉动越小,将直流母线上的电压 $U_d$ 作为逆变电路的输入电压。

[0047] 独立双桥臂逆变电路采用全控型器件作为开关器件,逆变电路的基本工作方式仍采用 $180^\circ$ 导电方式,每个桥臂的导电角度为 $180^\circ$ ,同一相上下两个臂交替导电,另外两相相对于参考相开始导电的角度相差 $60^\circ$ 。

[0048] 上述独立双桥臂变频式软起动器,首先以变频方式驱动电机至预定转速,再以调压调速方式驱动电机至额定转速。

[0049] 变频过程中,采用正弦脉宽调制技术产生PWM信号控制Q1、Q2、Q3、Q4四个功率开关管;通过改变矩形脉冲的宽度控制逆变单元输出交流基波电压的幅值,通过改变调制周期控制其输出频率,从而在逆变电路部分同时输出电压幅值和频率的控制,也可以采用空间电压矢量的方法,通过控制空间合成电压矢量的轨迹使之近似为圆,同样达到变频调速的目的。前者基本输出的相位互差 $60^\circ$ ,后者以空间电压矢量综合矢量或磁链轨迹为圆进行控制。

[0050] 调压调速过程中,关断两个整流逆变单元的双向可控硅T1和T2,以开关管实现晶闸管功能,通过不断改变导通角,增大输出电压有效值改变电机转速,电机到达额定转速后,利用切换开关S和开关K将变频式软起动器从电机上切出。

[0051] 下面分析逆变电路的工作过程,如图6所示,负载U、V两相的相对于参考相W的输出电压 $U_{uw}$ 、 $U_{vw}$ :

[0052] 对于U相来说,当开关管Q1导通时, $U_{uw}$ 的电压为 $V_{ba}$ , $V_{ba}$ 即直流母线 $U_{1+}$ 对参考点A相的电压,当开关管Q2导通时, $U_{uw}$ 的电压为直流母线 $U_{1-}$ 对参考点A相的电压。

[0053] 对于V相来说,当开关管Q3导通时, $U_{vw}$ 的电压为 $V_{ca}$ , $V_{ca}$ 即直流母线 $U_{2+}$ 对参考点A相的电压,当开关管Q4导通时, $U_{vw}$ 的电压为直流母线 $U_{2-}$ 对参考点A相的电压。

[0054] 一种独立双桥臂变频式软起动器的控制方法如下所示:

[0055] 采取正弦脉宽调制的方法,即SPWM控制,选用正弦波作为控制方法中的调制波,三角载波作为载体,选择等腰三角波当作载波,其具有对称性的特点。二者相互作用,在正半周期内形成的交点作为开关管器件导通的时刻点,在负半周期内的交点为关断的时刻点,因此产生了具有正弦波变化规律的PWM方波,称为SPWM。

[0056] 对于独立双桥臂变频式软起动器中的逆变电路,负载U、V两相的PWM控制共用一个三角形载波 $U_c$ ,负载U、V两相的正弦调制信号 $U_{ru}$ 、 $U_{rv}$ 依次相差 $60^\circ$ ,这样以W相为参考相时逆变桥就能输出相差 $60^\circ$ 的 $U_{uw}$ 、 $U_{vw}$ 电压,U、V两相开关管控制规律相同,在调制信号 $U_r$ 和载波 $U_c$ 的交点处控制开关管Q1、Q2、Q3、Q4的通断。

[0057] 对于U相,当 $U_{ru} > U_c$ 时,给开关管Q1以导通信号,给开关管Q2以关断信号,得UW两相间的电压;当给开关管Q1加导通信号时,开关管Q1导通或并联的二极管续流导通;当给开关管Q2加导通信号时,开关管Q2导通或是并联的二极管续流二极管导通;对于V相,当 $U_{rv} > U_c$ 时,给开关管Q3以导通信号,给开关管Q4以关断信号,得VW两相间的电压;当给开关管Q3加导通信号时,开关管Q3导通或是并联的二极管续流导通;当给开关管Q4加导通信号时,开关管Q4导通或是并联的二极管续流导通。

[0058] 电机到达一定转速后进入调压调速过程,其标志是断开开关T1和T2。此时A相电路中二极管D1、二极管D2、电容C1和电容C2实际上已经不起作用,从电源A相通过开关管Q1和开关管Q2形成了实际上的相控调压电路,当电源电压 $U_{BA} > 0$ 时,开关管Q2断开,改变开关管Q1的导通角,使输出正向电压有效值改变;当电源端 $U_{BA} < 0$ 时,开关管Q1断开,开关管Q2的导通角变化,输出负向电压有效值改变;同理对于V相,当电源端 $U_{CA} > 0$ 时,开关管Q4断开,开关管Q3不断改变导通角,输出正向电压有效值改变;当电源端 $U_{CA} < 0$ 时,开关管Q3断开,开关管Q4不断改变导通角,输出负向电压有效值不断改变,电机转速随之变化。

[0059] 电机到达额定转速后,开关管Q1和开关管Q2处于全开通状态,再闭合切换开关S1、切换开关S2,断开开关K1、K2、K3,实现旁路切换退出软起动器。

[0060] 虽然同一相上下两个桥臂的PWM驱动信号是互补的,在实际中为了防止上下两个开关管直通而造成短路,在上下两个开关管通断切换时要留一小段上下两个开关管关断信号的死区时间。

[0061] 本发明这种软起动器将采用独立的两相不可控整流电路作为整流部分,整流输出端增加了串联滤波电容的中点为参考点与电源的A相以及三相电机的W相参考点相连接。采用独立两相逆变电路的桥臂作为逆变部分,中间部分采用串联电解电容电路。本发明的两相逆变输出分别对应于电机的U相和V相,而上述的中点对应电机的W相。

[0062] 相对于整流电路而言,以A相为参考的直流电压为 $U_+$ 和 $U_-$ ,相当于形成一个带中点的正负电源。相对于逆变输出而言,以串联电容的中点(交流电源的A相和电机的W相)为参

考点,输出一个互差60度电角度的SPWM波,与电源的三相供电原理一样,对电机而言形成一个实际的三相对称波形,并产生旋转磁场,驱动电机旋转。经过调频过程之后,以全控型开关管实现电机的两相调压调速,附加了投切开关在电机达到额定转速时使软起动器退出运行。

[0063] 本发明综合考虑到传统三相交直交变频器在用于软起动时的不足和缺陷,同时又发挥变频调速所具有的恒转矩和额定电流起动的优点,通过采用独立双桥臂变频式软起动器设计,实现对电机的高起动转矩及低起动电流的软起动控制。结合可控硅软起动器可旁路切换的优点实现可靠性高、体积小、成本低易于实现旁路切换等功能的变频式软起动器功能。

[0064] 本发明公开了一种独立双桥臂变频式软起动器,包括两个独立整流电路和两个逆变电路、四个相同容量的电容C,两个双向可控硅和切换S及K开关;所述整流桥作为整流部分,逆变电路作为逆变部分,整流电路的出线端与逆变电路的进线端通过直流母线相连接;三相交流电的两相逆变输出分别对应于电机的U相和V相,两个电容C的中点对应电机的W相;所述两个电容C先串联再并联在直流母线端,以两个电容C的中点作为参考点经双向可控硅与电源的A相以及变频输出的W相相连接。本发明的独立双桥臂变频式软起动器降低变频器和软起动器之间的差异,减少传统交直交变频电路中的功率开关器件,采用独立双桥臂变频式软起动器,实现对电机高效率的软起动,并且可投切,可靠性高、体积小、成本低。控制方法选用正弦波脉宽调制变频及调压调速可以实现电路的高效率工作。

[0065] 以上内容仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明权利要求书的保护范围之内。



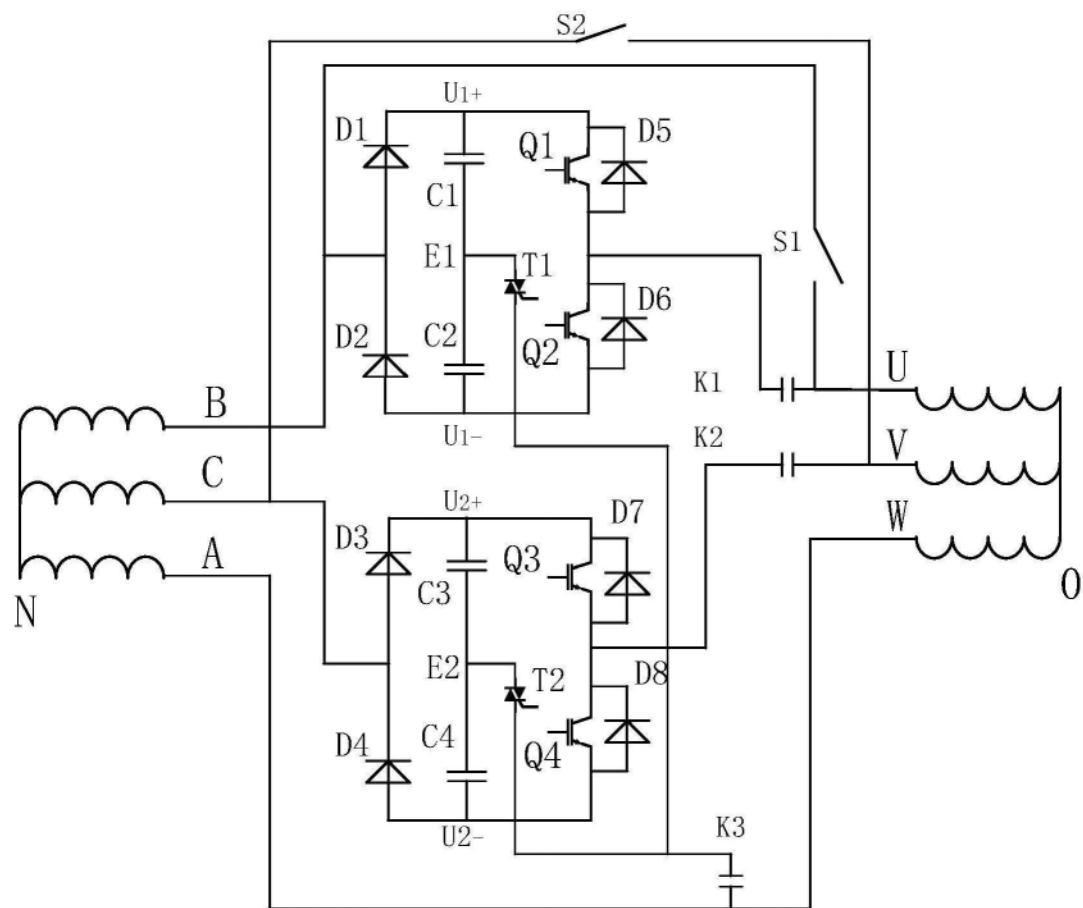


图1

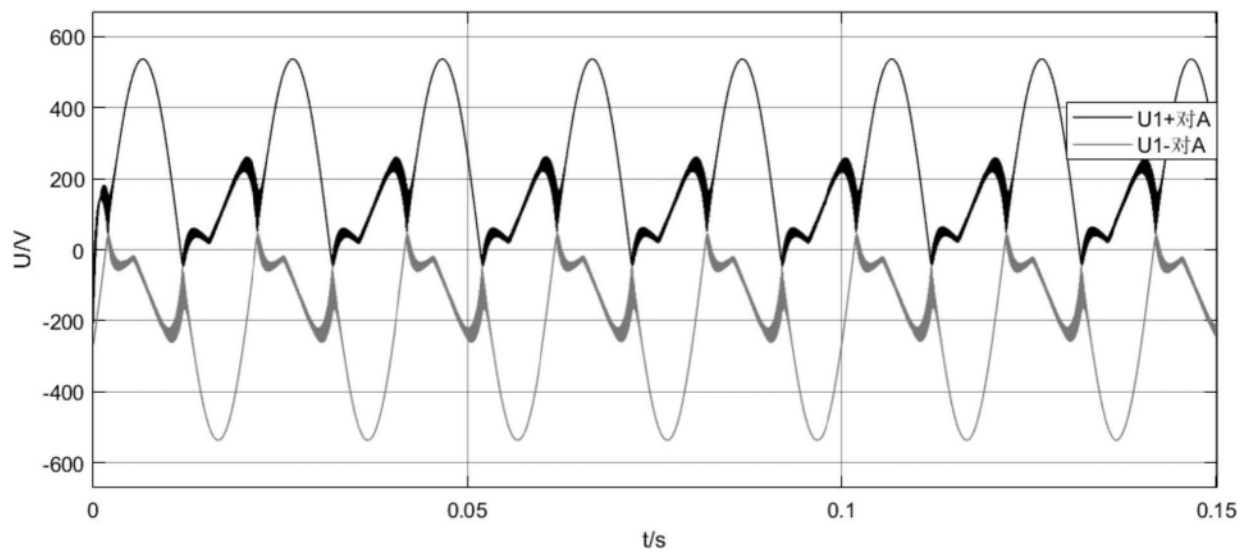


图2

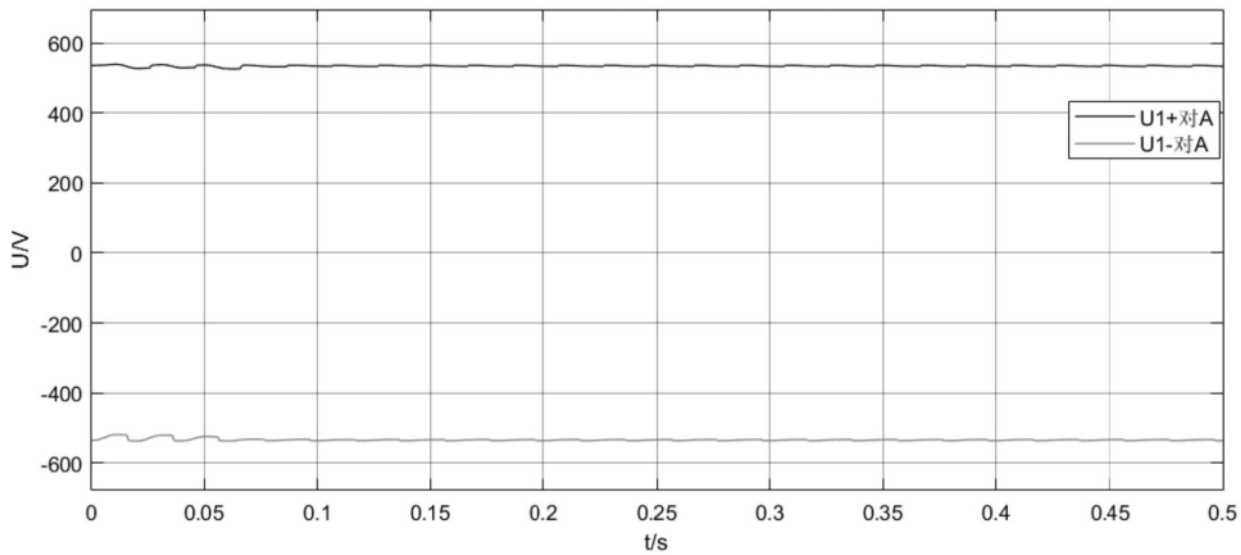


图3

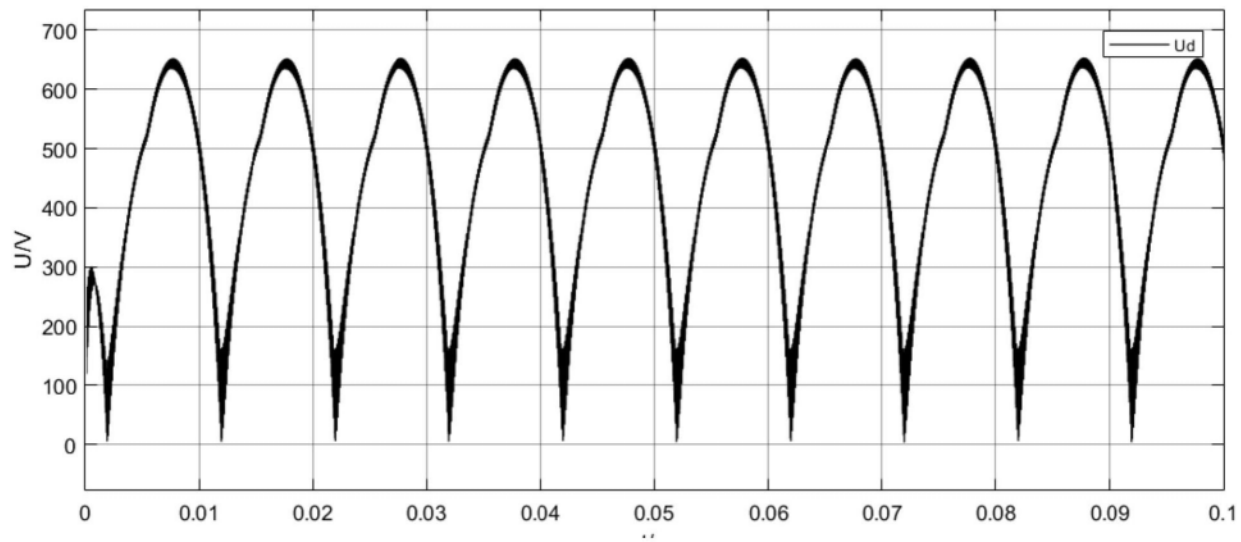


图4

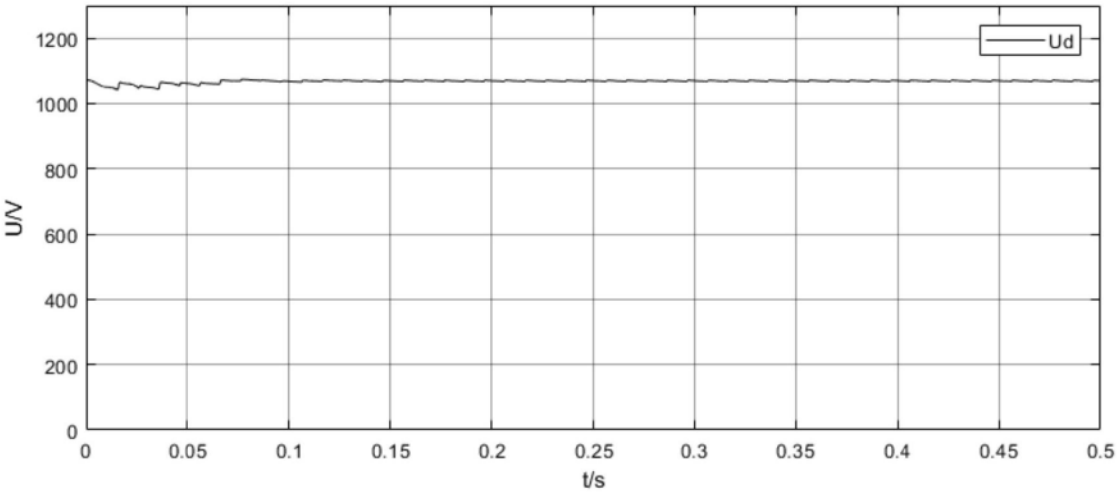


图5

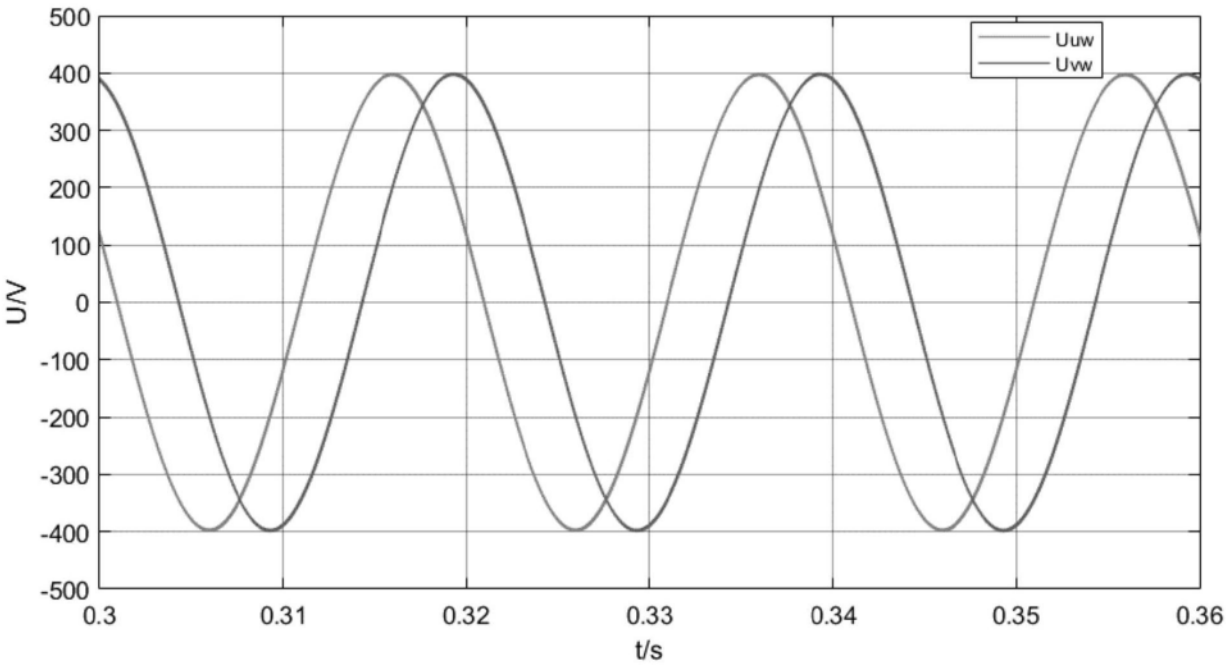


图6