



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103647500 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 19

(21) 申请号 201310750646. 7

(22) 申请日 2013. 12. 31

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 安群涛 孙力 赵克 魏鑫 刘瑞博

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 岳泉清

(51) Int. Cl.

H02P 27/08 (2006. 01)

H02J 3/28 (2006. 01)

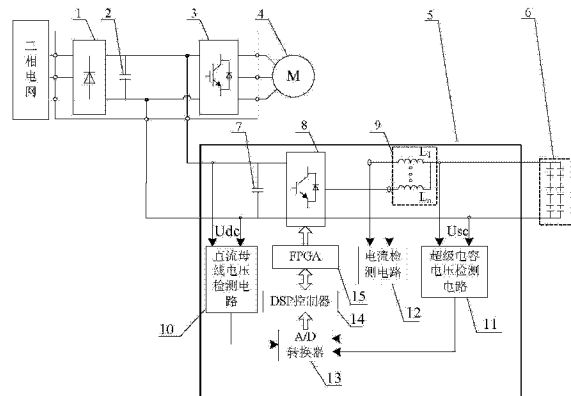
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器及控制方法

(57) 摘要

基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器及控制方法,它属于电机节能调速领域。它为了解决现有的电机调速系统运行效率低,不能有效的实现能量的存储和再利用的问题。本发明的电机调速系统节能控制器由双向 DC/DC 功率变换器和超级电容储能模块构成,双向 DC/DC 功率变换器的高压端与交-直-交结构电机驱动器的直流母线相连接,低压端连接超级电容储能模块。双向 DC/DC 功率变换器采用多重结构,它包括 IGBT 桥式电路、滤波电感、电流检测电路、直流母线电压检测电路、超级电容电压检测电路、A/D 转换器、DSP 控制器、FPGA。本发明的电机调速系统节能控制器可用于抽油机、电梯和提升机等领域。



1. 基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器,其特征在于,它包括二极管整流桥(1)、第一直流滤波电容(2)、逆变器(3)、双向 DC/DC 功率变换器(5)和超级电容模块(6),

双向 DC/DC 功率变换器(5)包括第二直流滤波电容(7)、n 重 IGBT 桥式电路(8)和 n 个滤波电感(9),其中,n 个滤波电感包括第一滤波电感 L_1 、第二滤波电感 L_2 ...第 n 滤波电感 L_n , n 为正整数,直流母线电压检测电路(10)、超级电容电压检测电路(11)、电流检测电路(12)、A/D 转换器(13)、DSP 控制器(14)和 FPGA (15),

二极管整流桥(1)的三相交流输入端接三相电网,二极管整流桥(1)的输出端为直流母线,直流母线两端并联第一直流滤波电容(2);

逆变器(3)的直流端挂接在直流母线上,逆变器(3)交流端接电机(4)的三相绕组输入端;

第二直流滤波电容(7)跨接在直流母线上,n 重 IGBT 桥式电路(8)的桥臂上下端接直流母线,构成双向 DC/DC 变换器(5)的高压端,n 重 IGBT 桥式电路(8)的每个桥臂中点分别连接 n 个滤波电感(9)的一端,n 个滤波电感(9)的另一端连接到一起,构成双向 DC/DC 变换器(5)的低压端,低压端连接到超级电容模块(6)的两端;

直流母线电压检测电路(10)的输入端挂接在两条直流母线上,直流母线电压检测电路(10)的检测信号输出端与 A/D 转换器(13)的检测信号输入端相连;

超级电容电压检测电路(11)的输入端挂接在两条直流母线上,超级电容电压检测电路(11)的检测信号输出端与 A/D 转换器(13)的检测信号输入端相连;

电流检测电路(12)的检测信号输出端与 A/D 转换器(13)的检测信号输入端相连;

A/D 转换器(13)的数字信号输出端与 DSP 控制器(14)的数字信号输入端相连,DSP 控制器(14)的数据信号输入/输出端与 FPGA (15)的数据信号输出/输入端相连;

FPGA (15)的信号输出端与 n 重 IGBT 桥式电路(8)的信号输入端相连。

2. 根据权利要求 1 所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器,其特征在于,n 重 IGBT 桥式电路(8)包括 2n 个全控电路(16),n 为正整数,两个全控电路(16)相连即构成一个桥臂,每个桥臂的中点连接一个滤波电感 L_k ,其中, $k=1 \sim n$,k 为正整数;

所述每个全控电路(16)包括 IGBT T_1 和二极管 D_1 ,IGBT T_1 的集电极连接二极管 D_1 的阴极,IGBT T_1 的发射极连接二极管 D_1 的阳极。

3. 根据权利要求 1 所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器,其特征在于,超级电容模块(6)包括两组电容组且两组电容组并联连接,所述每组电容组由多个电容串联组成。

4. 采用权利要求 1 所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器实现电机控制方法,其特征在于,该控制方法为:

步骤一、将系统接入三相电网,由二极管整流桥(1)、第一直流滤波电容(2)和逆变器(3)构成的电机驱动系统控制电机运行;

步骤二、在步骤一叙述的电机运行过程中,采用电流检测电路(12)、超级电容电压检测电路(11)和直流母线电压检测电路(10)分别检测电感电流、超级电容电压值 U_{sc} 和直流母线电压值 U_{dc} ,然后采用 A/D 转换器(13)将检测到的电感电流、超级电容电压值 U_{sc} 和直流母线电压值 U_{dc} 的模拟信号转换成数字信号,并输送到 DSP 控制器(14)中;

步骤三、通过步骤二中检测的超级电容电压值 U_{sc} ,在 DSP 控制器(14)中将超级电容电

压值 U_{sc} 与设定的低限值相比较,当超级电容电压值 U_{sc} 高于低限值时,DSP 控制器(14)以直流母线电压为控制目标,结合步骤二检测的直流母线电压值 U_{dc} 和电感电流,构成电感电流内环和直流母线电压外环的闭环控制,直流母线电压闭环的给定值略高于二极管整流桥(1)整流后得到的直流电压值,闭环调节输出给 FPGA (15),并在 FPGA (15)中实现 PWM 调制,从而产生开关信号给 n 重 IGBT 桥式电路(8)实现双向 DC/DC 变换器(5)高压端和低压端之间的能量变换;

实施步骤三过程中,若电机(4)工作在再生制动状态,电机再生能量使得直流母线电压升高,此时,双向 DC/DC 功率变换器(5)工作在降压变换状态,将能量由高压端变换到低压端,并将其存储到超级电容模块(6)中;

实施步骤三过程中,若电机(4)工作在电动状态,电机电动运行所需要的能量由双向 DC/DC 功率变换器(5)将能量由低压端变换到高压端的直流母线上来提供,此时超级电容模块(6)将存储的能量释放出来,双向 DC/DC 功率变换器(5)工作在从超级电容模块(6)侧到直流母线侧的升压变换状态;

实施步骤三过程中,若检测到的超级电容电压值 U_{sc} 低于设定的低限值,当电机(4)电动运行时,不再执行步骤五,电机(4)所需能量由电网经过二极管整流桥(1)和滤波电容(2)来提供,当电机(4)再生制动运行时,能量由双向 DC/DC 变换器的高压端流向低压端。

基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电机调速系统节能控制器及控制方法,属于电机节能调速领域。

背景技术

[0002] 变频器通常采用交-直-交变换器拓扑结构,由二极管整流桥、直流母线滤波电容和逆变器组成。当电机制动运行时将产生再生电能,为防止再生电能使母线电压泵升而烧坏器件,母线上通常并联斩波电路将电能通过电阻泄放掉,这在电机处于频繁制动运行的应用中造成了能量的浪费。为此,学者提出在传统二极管整流器处反并联逆变器拓扑的再生能量回馈单元,或者直接采用 PWM 整流器实现整流和再生能量向电网的回馈。然而,这增加了系统的复杂性,并且需要对电机驱动器重新进行设计,同时控制不好容易造成电网的污染。

[0003] 为实现电机调速系统的节能,本发明通过在电机驱动器直流母线上并联超级电容储能单元,将电机的再生能量储存起来,并当电机电动运行时再将这部分能量回馈给电机,实现了再生能量的存储和再利用,提高了电机调速系统的效率,在抽油机、电梯、提升机等领域具有很好的应用价值和前景。另外,本发明的电机调速系统节能控制器可以直接对现有调速系统进行节能升级改造,节省开发和设计成本。

[0004] 现有的电机调速系统运行效率低,不能有效的实现能量的存储和再利用的问题。

发明内容

[0005] 本发明为了解决现有的电机调速系统运行效率低,不能有效的实现能量的存储和再利用的问题,而提出了一种基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器及控制方法。

[0006] 基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器,它包括二极管整流桥、第一直流滤波电容、逆变器、双向 DC/DC 功率变换器和超级电容模块,

[0007] 双向 DC/DC 功率变换器包括第二直流滤波电容、 n 重 IGBT 桥式电路和 n 个滤波电感,其中, n 个滤波电感包括第一滤波电感 L_1 、第二滤波电感 L_2 ...第 n 滤波电感 L_n , n 为正整数,直流母线电压检测电路、超级电容电压检测电路、电流检测电路、A/D 转换器、DSP 控制器和 FPGA,

[0008] 二极管整流桥的三相交流输入端接三相电网,二极管整流桥的输出端为直流母线,直流母线两端并联第一直流滤波电容;

[0009] 逆变器的直流端挂接在直流母线上,逆变器交流端接电机的三相绕组输入端;

[0010] 第二直流滤波电容跨接在直流母线上, n 重 IGBT 桥式电路的桥臂上下端接直流母线,构成双向 DC/DC 变换器的高压端, n 重 IGBT 桥式电路的每个桥臂中点分别连接 n 个滤波电感的一端, n 个滤波电感的另一端连接到一起,构成双向 DC/DC 变换器的低压端,低压端连接到超级电容模块的两端;

[0011] 直流母线电压检测电路的输入端挂接在两条直流母线上,直流母线电压检测电路的检测信号输出端与 A/D 转换器的检测信号输入端相连;

[0012] 超级电容电压检测电路的输入端挂接在两条直流母线上,超级电容电压检测电路的检测信号输出端与 A/D 转换器的检测信号输入端相连;

[0013] 电流检测电路的检测信号输出端与 A/D 转换器的检测信号输入端相连;

[0014] A/D 转换器的数字信号输出端与 DSP 控制器的数字信号输入端相连,DSP 控制器的数据信号输入/输出端与 FPGA 的数据信号输出/输入端相连;

[0015] FPGA 的信号输出端与 n 重 IGBT 桥式电路的信号输入端相连。

[0016] 本发明是基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器,在交-直-交电机驱动器中的直流母线上并联双向 DC/DC 功率变换器,双向 DC/DC 功率变换器与超级电容模块连接,超级电容模块将电机产生的能量储存起来,当电机电动运行时再将这部分能量回馈给电机,有效地实现了能量的存储和再利用,提高了电机调速系统的运行效率。它可用于抽油机、电梯和提升机等领域。

附图说明

[0017] 图 1 是具体实施方式一所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器的原理框图,Udc 表示直流母线电压值,Usc 表示超级电容电压值;

[0018] 图 2 是本发明中双向 DC/DC 功率变换器主电路拓扑结构图;

[0019] 图 3 是传统采用斩波器和电阻的再生能量泄放原理图;

[0020] 图 4 是传统采用 PWM 整流器的电机四象限运行驱动器结构图;

[0021] 图 5 是本发明中载波移相 PWM 调制波形图,m 表示 Buck 降压状态,n 表示 Boost 升压状态,f 表示三角载波信号。

具体实施方式

[0022] 具体实施方式一、结合图 1 说明本实施方式,本实施方式所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器,它包括二极管整流桥 1、第一直流滤波电容 2、逆变器 3、双向 DC/DC 功率变换器 5 和超级电容模块 6,

[0023] 双向 DC/DC 功率变换器 5 包括第二直流滤波电容 7、n 重 IGBT 桥式电路 8 和 n 个滤波电感 9,其中,n 个滤波电感包括第一滤波电感 L_1 、第二滤波电感 L_2 ...第 n 滤波电感 L_n ,n 为正整数,直流母线电压检测电路 10、超级电容电压检测电路 11、电流检测电路 12、A/D 转换器 13、DSP 控制器 14 和 FPGA15,

[0024] 二极管整流桥 1 的三相交流输入端接三相电网,二极管整流桥 1 的输出端为直流母线,直流母线两端并联第一直流滤波电容 2;

[0025] 逆变器 3 的直流端挂接在直流母线上,逆变器 3 交流端接电机 4 的三相绕组输入端;

[0026] 第二直流滤波电容 7 跨接在直流母线上,n 重 IGBT 桥式电路 8 的桥臂上下端接直流母线,构成双向 DC/DC 变换器 5 的高压端,n 重 IGBT 桥式电路 8 的每个桥臂中点分别连接 n 个滤波电感 9 的一端,n 个滤波电感 9 的另一端连接到一起,构成双向 DC/DC 变换器 5 的低压端,低压端连接到超级电容模块 6 的两端;

[0027] 直流母线电压检测电路 10 的输入端挂接在两条直流母线上,直流母线电压检测电路 10 的检测信号输出端与 A/D 转换器 13 的检测信号输入端相连;

[0028] 超级电容电压检测电路 11 的输入端挂接在两条直流母线上, 超级电容电压检测电路 11 的检测信号输出端与 A/D 转换器 13 的检测信号输入端相连;

[0029] 电流检测电路 12 的检测信号输出端与 A/D 转换器 13 的检测信号输入端相连;

[0030] A/D 转换器 13 的数字信号输出端与 DSP 控制器 14 的数字信号输入端相连, DSP 控制器 14 的数据信号输入 / 输出端与 FPGA15 的数据信号输出 / 输入端相连;

[0031] FPGA15 的信号输出端与 n 重 IGBT 桥式电路 8 的信号输入端相连。

[0032] 本实施方式中, 在传统电机驱动器的直流母线上并联储能系统, 储能系统由双向 DC/DC 功率变换器和超级电容模块组成。当电机处于再生制动运行时, 再生能量使直流母线电压升高, 通过 DC/DC 变换器降压给超级电容模块充电; 当电机电动运行时, 超级电容模块中储存的能量经过 DC/DC 变换器升压并提供给直流母线侧, 供给电机运行。

[0033] 本实施方式中, 多重结构双向 DC/DC 功率变换器 5 采用载波移相 PWM 调制技术, 相邻两桥臂间的高频三角载波相位相差 $360^\circ / n$, 调制波形如图 5 所示。当 DC/DC 变换器工作在 Buck 降压状态时, 对桥臂的上管进行 PWM 斩波控制, 下管关断; 当工作在 Boost 升压状态时, 对桥臂的下管进行 PWM 斩波控制, 上管关断。图 5 中, DIR 为升降压控制信号, 当 DIR=0 时为 Buck 降压, DIR=1 时为 Boost 升压; $u_{t1}, u_{t2}, \dots, u_{tn}$ 为三角载波信号, 它们之间的相位依次相差 $360^\circ / n$; u_m 为调制信号。

[0034] 具体实施方式二、本实施方式与具体实施方式一所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器的不同点在于, n 重 IGBT 桥式电路 8 包括 2n 个全控电路 16, n 为正整数, 两个全控电路 16 相连即构成一个桥臂, 每个桥臂的中点连接一个滤波电感 L_k , 其中, $k=1 \sim n$, k 为正整数;

[0035] 所述每个全控电路 16 包括 IGBT T_1 和二极管 D_1 , IGBT T_1 的集电极连接二极管 D_1 的阴极, IGBT T_1 的发射极连接二极管 D_1 的阳极。

[0036] 本实施方式中, 每个 IGBT 与每个二极管反并联连接。

[0037] 具体实施方式三、本实施方式与具体实施方式一所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器的不同点在于, 超级电容模块 6 包括两组电容组且两组电容组并联连接, 所述每组电容组由多个电容串联组成。

[0038] 具体实施方式四、采用具体实施方式一所述的基于超级电容储能的电机调速系统节能控制器实现电机控制方法, 该控制方法为:

[0039] 步骤一、将系统接入三相电网, 由二极管整流桥 1、第一直流滤波电容 2 和逆变器 3 构成的电机驱动系统控制电机运行;

[0040] 步骤二、在步骤一叙述的电机运行过程中, 采用电流检测电路 12、超级电容电压检测电路 11 和直流母线电压检测电路 10 分别检测电感电流、超级电容电压值 U_{sc} 和直流母线电压值 U_{dc} , 然后采用 A/D 转换器 13 将检测到的电感电流、超级电容电压值 U_{sc} 和直流母线电压值 U_{dc} 的模拟信号转换成数字信号, 并输送到 DSP 控制器 14 中;

[0041] 步骤三、通过步骤二中检测的超级电容电压值 U_{sc} , 在 DSP 控制器 14 中将超级电容电压值 U_{sc} 与设定的低限值相比较, 当超级电容电压值 U_{sc} 高于低限值时, DSP 控制器 14 以直流母线电压为控制目标, 结合步骤二检测的直流母线电压值 U_{dc} 和电感电流, 构成电感电流内环和直流母线电压外环的闭环控制, 直流母线电压闭环的给定值略高于二极管整流桥 1 整流后得到的直流电压值, 闭环调节输出给 FPGA15, 并在 FPGA15 中实现 PWM 调制, 从

而产生开关信号给 n 重 IGBT 桥式电路 8 实现双向 DC/DC 变换器 5 高压端和低压端之间的能量变换；

[0042] 实施步骤三过程中,若电机 4 工作在再生制动状态,电机再生能量使得直流母线电压升高,此时,双向 DC/DC 功率变换器 5 工作在降压变换状态,将能量由高压端变换到低压端,并将其存储到超级电容模块 6 中；

[0043] 实施步骤三过程中,若电机 4 工作在电动状态,电机电动运行所需要的能量由双向 DC/DC 功率变换器 5 将能量由低压端变换到高压端的直流母线上来提供,此时超级电容模块 6 将存储的能量释放出来,双向 DC/DC 功率变换器 5 工作在从超级电容模块 6 侧到直流母线侧的升压变换状态；

[0044] 实施步骤三过程中,若检测到的超级电容电压值 U_{sc} 低于设定的低限值,当电机 4 电动运行时,不再执行步骤五,电机 4 所需能量由电网经过二极管整流桥 1 和滤波电容 2 来提供,当电机 4 再生制动运行时,能量由双向 DC/DC 变换器的高压端流向低压端。

[0045] 本发明不同于图 3 采用制动电阻的能量泄放原理,图 3 采用斩波器 17 和制动电阻 18 构成再生能量泄放单元。当电机再生制动时,母线电压泵升到一定值后,斩波器 17 开始工作,将再生能量通过电阻 18 泄放掉,造成能源浪费,该系统效率较低。本发明也不同于图 4 采用 PWM 整流器的四象限功率变换器原理,图 4 采用全控器件构成三相半桥结构 PWM 整流器 19 取代传统电机驱动器中的二极管整流器 1。当电机再生制动时,再生能量通过 PWM 整流器 19 工作在有源逆变状态回馈到电网中,该方案效率较高。但是,需要对驱动器进行重新设计,并且控制不好容易造成对电网的谐波污染。

[0046] 本发明的电机调速系统节能控制器的实现方案如图 1 所示,它由双向 DC/DC 功率变换器、超级电容模块、直流母线电压检测、超级电容电压检测、电流检测、A/D 转换器、DSP 和 FPGA 等组成。各环节的主要功能如下: DSP 主要用于完成系统闭环控制算法,控制策略以直流母线电压为控制目标,采用直流母线电压外环和电感电流内外构成双闭环控制结构; FPGA 主要用于完成载波移相 PWM 的调制和系统故障检测与保护;直流母线电压检测环节和超级电容电压检测环节分别用于实时检测直流母线电压和超级电容电压,以实现直流母线电压外环反馈闭环控制和系统过压保护;电流检测环节实时检测电感电流,用于内环电流反馈闭环控制和系统过流保护;A/D 转换器将检测环节送来的模拟信号转换为数字信号,并输送到 DSP 中。

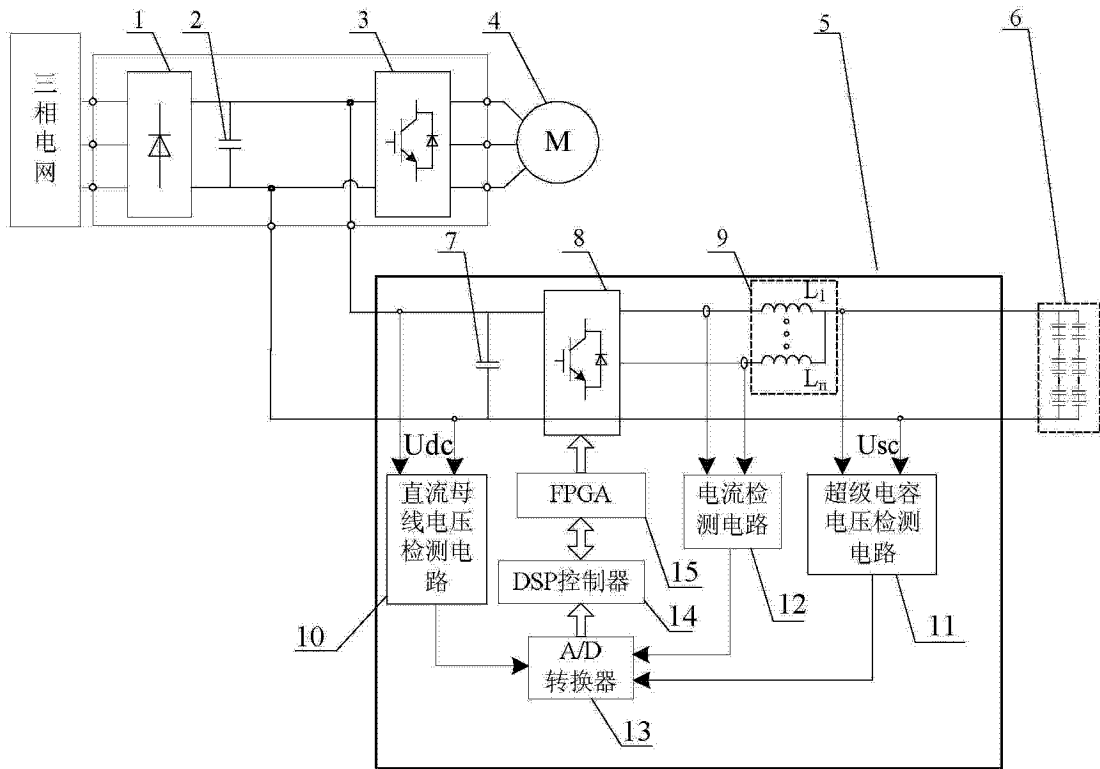


图 1

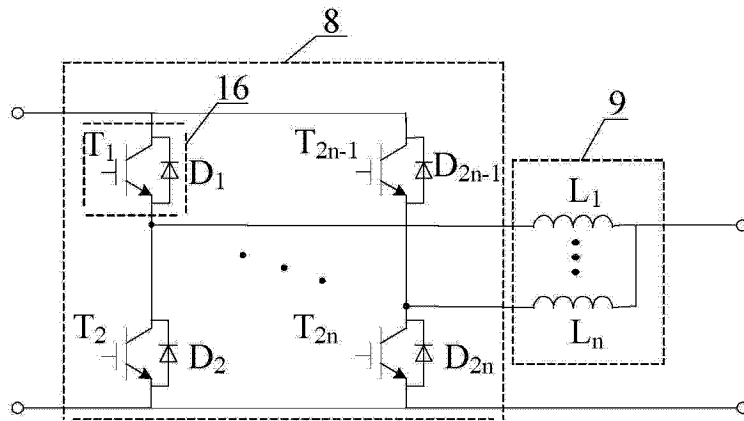


图 2

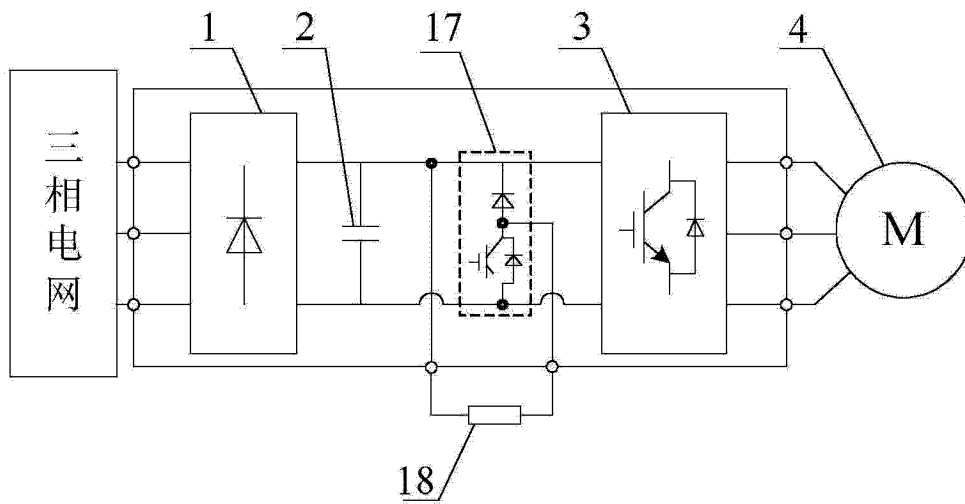


图 3

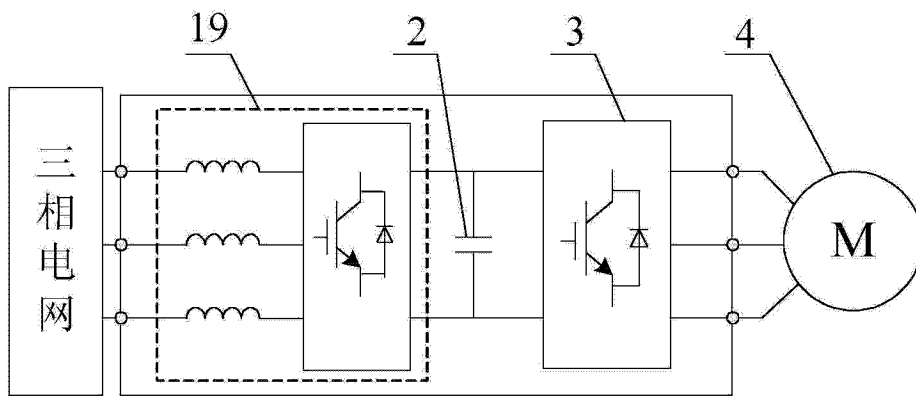


图 4

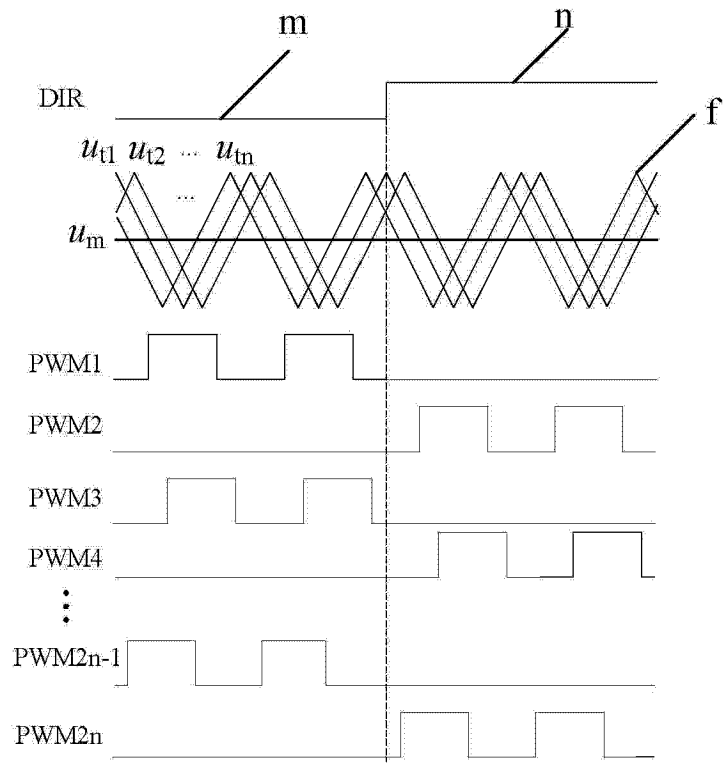


图 5