

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101789737 B

(45) 授权公告日 2012. 02. 08

(21) 申请号 201010118230. X

CN 1881746 A, 2006. 12. 20,

(22) 申请日 2010. 02. 03

CN 1864320 A, 2006. 11. 15,

(73) 专利权人 薛晓明

审查员 王健

地址 213164 江苏省常州市武进区鸣凰中路
2 号

(72) 发明人 薛晓明 时倩

(51) Int. Cl.

H02P 6/10(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004/0189238 A1, 2004. 09. 30,

CN 201349148 Y, 2009. 11. 18,

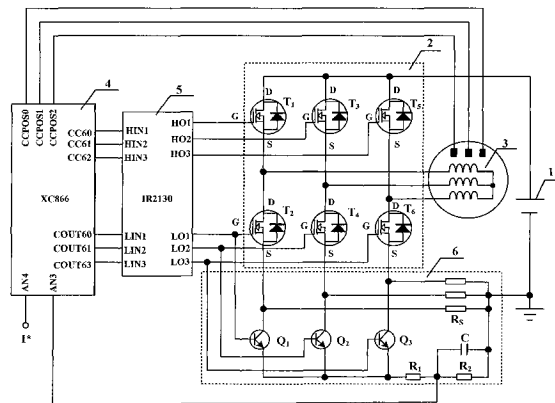
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法及装置,其特征在于:通过控制无刷直流电机的导通相线电流跟踪给定电流实现对无刷直流电机的电磁转矩脉动抑制,而无刷直流电机的导通相线电流利用逆变器下桥臂三个开关器件的电流与相应开关器件驱动信号相乘后叠加获得。应用发明的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法构成的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,包括直流电源、三相全桥逆变器、永磁无刷直流电机、单片微控制器、三相逆变器开关器件驱动电路和导通相线电流检测电路;直流电源经三相全桥逆变器和导通相线电流检测电路与永磁无刷直流电机连接,永磁无刷直流电机中霍尔传感器输出的转子位置信号连接至单片微控制器霍尔输入引脚,单片微控制器的输出信号经三相逆变器开关器件驱动电路连接三相全桥逆变器和导通相线电流检测电路,导通相线电流检测电路的输出信号连接至单片微控制器的模数转换引脚。本发明实现了在全速度范围内低成本抑制无刷直流电机电磁转矩脉动的目的。



1. 一种无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,其特征在于:包括直流电源(1)、三相全桥逆变器(2)、永磁无刷直流电机(3)、单片微控制器(4)、三相全桥逆变器开关器件驱动电路(5)和导通相线电流检测电路(6);直流电源(1)经三相全桥逆变器(2)和导通相线电流检测电路(6)与永磁无刷直流电机(3)连接;永磁无刷直流电机(3)霍尔传感器输出的转子位置信号连接至单片微控制器(4)霍尔输入引脚;单片微控制器(4)的输出信号经三相全桥逆变器开关器件驱动电路(5)连接三相全桥逆变器(2)和导通相线电流检测电路(6);导通相线电流检测电路(6)的输出信号连接至单片微控制器(4)的模数转换引脚。

2. 根据权利要求1所述的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,其特征在于:所述的三相全桥逆变器(2)包括六个开关器件T1、T2、T3、T4、T5、T6,三相全桥逆变器(2)上桥臂的三个开关器件T1、T3、T5的D极汇接与直流电源(1)正端连接,三相全桥逆变器(2)下桥臂的三个开关器件T2、T4、T6的S极分别经三个取样电阻RS汇接后与直流电源(1)负端连接接地。

3. 根据权利要求1所述的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,其特征在于:所述的永磁无刷直流电机(3)霍尔传感器输出的转子位置信号与单片微控制器(4)的CCPOS0、CCPOS1和CCPOS2引脚连接。

4. 根据权利要求1所述的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,其特征在于:所述的单片微控制器(4)采用XC866,单片微控制器(4)的CC60、CC61、CC62、COUT60、COUT61和COUT62引脚分别与三相全桥逆变器开关器件驱动电路(5)的HIN1、HIN2、HIN3、LIN1、LIN2和LIN3引脚连接。

5. 根据权利要求1所述的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,其特征在于:所述的三相全桥逆变器开关器件驱动电路(5)采用IR2130,其H01、H02和H03引脚分别连接三相全桥逆变器(2)上桥臂三个开关器件T1、T3、T5的G极,L01、L02、L03引脚分别连接三相全桥逆变器(2)下桥臂三个开关器件T2、T4、T6的G极和导通相线电流检测电路(6)三个引流开关管的Q1、Q2、Q3的基极。

6. 根据权利要求1所述的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置,其特征在于:所述的导通相线电流检测电路(6)包括三个引流开关管Q1、Q2、Q3,三个取样电阻RS,分压电阻R1、R2和滤波电容C,三个引流开关管Q1、Q2、Q3的集电极分别与三相全桥逆变器(2)下桥臂的三个开关器件T2、T4、T6的S极连接,三个引流开关管Q1、Q2、Q3的发射极汇接与分压电阻R1的一端连接,R1的另一端与分压电阻R2的一端汇接与单片微控制器(4)的AN3引脚连接,分压电阻R2的另一端接地,滤波电容C与分压电阻R2并接。

无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法和装置,特别是涉及一种低成本在全速度范围内抑制无刷直流电机电磁转矩脉动的方法和装置。

背景技术

[0002] 无刷直流电机具有高效率、高电磁转矩、高功率密度和调速性能好等一系列优点,在工业、交通、军工以及家电领域得到广泛应用,但由于无刷直流电机电感的存在,使得无刷直流电机在换相时电机绕组的电流上升和下降的速率不相等,因而导致较大的电磁转矩脉动,这极大地限制了其在电动汽车、伺服控制、数控机床、机器人、航天航空、精密电子仪器等对电机性能、控制精度要求较高的场合和领域的应用。近二十年来,抑制无刷直流电机电磁转矩脉动的问题一直是国内外研究的课题,主要有:重叠换相法、滞环电流法、PWM斩波法、电流预测控制法和智能控制法。这些方法都是试图通过控制无刷直流电机在换相时电机绕组的电流上升和下降的速率相等来减小电磁转矩脉动,但共有的缺陷是:检测方法和控制算法复杂、成本较高,不能在全速范围内抑制电机的电磁转矩脉动,从而在实际应用中难以推广。

发明内容

[0003] 本发明目的在于针对现有技术的不足,提出一种在全速度范围内低成本实用化的抑制无刷直流电机电磁转矩脉动方法和装置。为达到上述目的,本发明的构思是:通过控制无刷直流电机的导通相线电流跟踪给定电流来抑制电机的电磁转矩脉动,而无刷直流电机的导通相线电流是利用逆变器下桥臂三个开关器件的电流与相应开关器件驱动信号相乘后叠加获得。

[0004] 下面说明本发明所涉及的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制的原理。

[0005] 无刷直流电机调速系统的结构如图 1 所示,由直流电源、三相桥式逆变器、永磁无刷电机、换相信号译码器和脉宽调制发生器组成。图 1 中永磁无刷电机的三相绕组采用星形连接,三相全桥逆变器的六个开关器件 T1、T2、T3、T4、T5、T6 采用最常用的上管脉宽调制、下管恒通的调制策略。无刷直流电机三相绕组反电动势 $e_{an}(t)$ 、 $e_{bn}(t)$ 、 $e_{cn}(t)$,三相相电流 $i_a(t)$ 、 $i_b(t)$ 、 $i_c(t)$,三相六拍 120° 导通换相信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 、 $S_3(t)$ 、 $S_4(t)$ 、 $S_5(t)$ 、 $S_6(t)$,逆变器六个开关器件驱动信号 $S_{1G}(t)$ 、 $S_{2G}(t)$ 、 $S_{3G}(t)$ 、 $S_{4G}(t)$ 、 $S_{5G}(t)$ 、 $S_{6G}(t)$,以及导通相线反电动势 $e_{cl}(t)$ 和导通相线电流 $i_{cl}(t)$ 的波形如图 2 所示。

[0006] 无刷直流电机在任何时刻只有两相导通,根据图 2,无刷直流电机的导通相线反电动势 $e_{cl}(t)$ 和导通相线电流 $i_{cl}(t)$ 分别为:

$$[0007] \quad e_{cl}(t) = [S_1(t) - S_2(t)]e_{an}(t) + [S_3(t) - S_4(t)]e_{bn}(t) + [S_5(t) - S_6(t)]e_{cn}(t) \quad (1)$$

$$[0008] \quad i_{cl}(t) = \frac{1}{2} \{ [S_1(t) - S_2(t)]i_a(t) + [S_3(t) - S_4(t)]i_b(t) + [S_5(t) - S_6(t)]i_c(t) \} \quad (2)$$

[0009] 将 (1) 式与 (2) 式相乘后得到:

$$[0010] \quad e_{c1}(t) \cdot i_{c1}(t) = e_{an}(t) i_a(t) + e_{bn}(t) i_b(t) + e_{cn}(t) i_c(t) = T_e \cdot \omega_e \quad (3)$$

[0011] 式中 T_e 表示电机的电磁转矩, ω_e 表示电机转动的电角速度。

[0012] 进一步观察图 2, 导通相线反电动势 $e_{c1}(t)$ 恒等于反电动势幅值的两倍, 而反电动势幅值又是无刷直流电机每极转子磁链 Φ 和电角速度 ω_e 的乘积, 则 $e_{c1}(t) = 2\Phi\omega_e$, 代入 (3) 式得到电磁转矩的表达式为:

$$[0013] \quad T_e = 2\Phi \cdot i_{c1}(t) \quad (4)$$

[0014] 由于无刷直流电机的转子是永磁体, 磁链 Φ 保持不变, 由 (4) 式可知, 无刷直流电机的电磁转矩只与导通相线电流成正比, 而与电机的转速无关。因此, 只要控制导通相线电流跟踪给定电流, 就可以保证电机在整个速度范围内无任何电磁转矩脉动。

[0015] 通过对无刷直流电机的工作过程进一步深入分析, 得到全桥逆变器的六个开关器件电流信号 $i_{s1}(t)$ 、 $i_{s2}(t)$ 、 $i_{s3}(t)$ 、 $i_{s4}(t)$ 、 $i_{s5}(t)$ 、 $i_{s6}(t)$ 的波形, 如图 3 所示, 从图 3 中得到无刷直流电机的导通相线电流 $i_{c1}(t)$ 表达式可以表示为:

$$[0016] \quad i_{c1}(t) = S_{2G}(t) i_{s2}(t) + S_{4G}(t) i_{s4}(t) + S_{6G}(t) i_{s6}(t) \quad (5)$$

[0017] 由 (5) 式可以看到, 无刷直流电机导通相线电流 $i_{c1}(t)$ 可以利用逆变器下桥臂三个开关器件的电流与相应开关器件驱动信号相乘后叠加获得。

[0018] 根据上述的发明构思, 本发明采用下述技术方案:

[0019] 本发明的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法, 其特征在于: 通过控制无刷直流电机的导通相线电流跟踪给定电流实现对无刷直流电机的电磁转矩脉动抑制, 所述的无刷直流电机导通相线电流是利用逆变器下桥臂三个开关器件的电流与相应开关器件驱动信号相乘后叠加获得。

[0020] 应用本发明的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法构成的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置, 包括直流电源、三相全桥逆变器、永磁无刷电机、单片微控制器、三相全桥逆变器开关器件驱动电路和导通相线电流检测器电路, 其特征在于: 直流电源经三相全桥逆变器和导通相线电流检测电路与永磁无刷直流电机连接, 永磁无刷直流电机中霍尔传感器输出的转子位置信号连接至单片微控制器霍尔输入引脚, 单片微控制器的输出信号经三相逆变器开关器件驱动电路连接三相全桥逆变器和导通相线电流检测电路, 导通相线电流检测电路的输出信号连接至单片微控制器的模数转换引脚。

[0021] 所述的三相全桥逆变器包括六个开关器件 T1、T2、T3、T4、T5、T6, 三相全桥逆变器上桥臂的三个开关器件 T1、T3、T5 的 D 极汇接与直流电源正端连接, 三相全桥逆变器下桥臂的三个开关器件 T2、T4、T6 的 S 极经三个取样电阻 RS 汇接与直流电源负端连接接地。

[0022] 所述的永磁无刷电机霍尔传感器输出的转子位置信号与单片微控制器的 CCPOS0、CCPOS 1 和 CCPOS2 引脚连接。

[0023] 所述的单片微控制器采用 XC866, 其 CC60、CC61、CC62、COUT60、COUT61 和 COUT62 引脚分别与三相全桥逆变器开关器件驱动电路的 HIN1、HIN2、HIN3、LIN1、LIN2 和 LIN3 引脚连接。

[0024] 所述的三相全桥逆变器开关器件驱动电路采用 IR2130, 其 H01、H02 和 H03 连接三相全桥逆变器上桥臂三个开关器件 T1、T3、T5 的 G 极, L01、L02、L03 引脚分别连接到三相全桥逆变器下桥臂三个开关器件 T2、T4、T6 的 G 极和导通相线电流检测电路三个引流开关管的 Q1、Q2、Q3 的基极。

[0025] 所述的导通相线电流检测电路包括三个引流开关管 Q1、Q2、Q3，三个取样电阻 RS，分压电阻 R1、R2 和滤波电容 C，三个引流开关管 Q1、Q2、Q3 的集电极分别与三相全桥逆变器下桥臂的三个开关器件 T2、T4、T6 的 S 极连接，三个引流开关管 Q1、Q2、Q3 的发射极汇接与分压电阻 R1 的一端连接，R1 的另一端与分压电阻 R2 的一端汇接与单片微控制器的 AN3 引脚连接，分压电阻 R2 的另一端接地，滤波电容 C 与分压电阻 R2 并接。

[0026] 本发明与现有技术相比较，具有下列优点：

[0027] 1、通过控制无刷直流电机导通相线电流跟踪给定电流进行无刷直流电机电磁转矩控制，在全速度范围内实现了无刷直流电机电磁转矩脉动抑制，所用控制方法类似于有刷直流电机的电磁转矩控制，使得控制非常简单，相应的控制器可以应用现有的无刷直流电机低成本简单控制器，无需使用电路复杂、价格昂贵的 DSP 控制器，大大降低了控制成本。

[0028] 2、对无刷直流电机导通相线电流检测是通过利用三个受控于逆变器下桥臂三个开关器件驱动信号的小功率开关管将逆变器下桥臂三个开关器件的电流引出后合成，无需直接检测无刷直流电机的相电流，无需电气隔离，避免了使用成本昂贵的霍尔电流传感器或集成芯片电流传感器，进一步降低了控制成本。

附图说明

[0029] 图 1 是无刷直流电机调速系统结构框图。

[0030] 图 2 是无刷直流电机三相绕组反电动势、三相相电流、三相六拍 120° 导通换相信号以及三相全桥逆变器六个开关器件驱动信号的波形图。

[0031] 图 3 是无刷直流电机三相全桥逆变器的六个开关器件电流波形图。

[0032] 图 4 是本发明一个实施例的系统结构图。

[0033] 图 4 中：1、直流电源，2、三相全桥逆变器，3、永磁无刷电机，4、单片微控制器，5、三相全桥逆变器开关器件驱动电路，6、导通相线电流检测电路。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明。

[0035] 本发明的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法，通过控制无刷直流电机的导通相线电流跟踪给定电流实现对无刷直流电机的电磁转矩脉动抑制，而无刷直流电机导通相线电流利用逆变器下桥臂三个开关器件的电流与相应的开关器件驱动信号的相乘后叠加获得。

[0036] 参见图 4，应用本发明的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制方法构成的无刷直流电机电磁转矩脉动抑制装置，包括直流电源 1、三相全桥逆变器 2、永磁无刷电机 3、单片微控制器 4、三相全桥逆变器开关器件驱动电路 5 和导通相线电流检测器电路 6。直流电源 1 经三相全桥逆变器 2 和导通相线电流检测电路 6 与永磁无刷直流电机 3 连接，永磁无刷直流电机 3 中霍尔传感器输出的转子位置信号连接至单片微控制器 4 霍尔输入引脚，单片微控制器 4 的输出信号经三相逆变器开关器件驱动电路 5 连接三相全桥逆变器 2 和导通相线电流检测电路 6，导通相线电流检测电路 6 的输出信号连接至单片微控制器 4 的模数转换引脚。三相全桥逆变器 2 包括六个开关器件 T1、T2、T3、T4、T5、T6，三相全桥逆变器 2 上桥臂

的三个开关器件 T1、T3、T5 的 D 极汇接与直流电源 1 正端连接,三相全桥逆变器 2 下桥臂的三个开关器件 T2、T4、T6 的 S 极经三个取样电阻 RS 汇接与直流电源负端连接接地;永磁无刷电机 3 霍尔传感器输出的转子位置信号与单片微控制器 4 的 CCPOS0、CCPOS1 和 CCPOS2 引脚连接;单片微控制器 4 采用 XC866,其 CC60、CC61、CC62、COUT60、COUT61 和 COUT62 引脚分别与三相开关器件驱动电路 5 的 HIN1、HIN2、HIN3、LIN1、LIN2 和 LIN3 引脚连接;三相全桥逆变器开关器件驱动电路 5 采用 IR2130,其 H01、H02 和 H03 连接三相全桥逆变器 2 上桥臂三个开关器件 T1、T3、T5 的 G 极, L01、L02、L03 引脚分别连接到三相全桥逆变器 2 下桥臂三个开关器件 T2、T4、T6 的 G 极和导通相线电流检测电路 6 三个引流开关管的 Q1、Q2、Q3 的基极;导通相线电流检测电路 6 包括三个引流开关管 Q1、Q2、Q3,三个取样电阻 RS,分压电阻 R1、R2 和滤波电容 C,三个引流开关管 Q1、Q2、Q3 的集电极分别与三相全桥逆变器 2 下桥臂的三个开关器件 T2、T4、T6 的 S 极连接,三个引流开关管 Q1、Q2、Q3 的发射极汇接与分压电阻 R1 的一端连接, R1 的另一端与分压电阻 R2 的一端汇接与单片微控制器 4 的 AN3 引脚连接,分压电阻 R2 的另一端接地,滤波电容 C 与分压电阻 R2 并联。

[0037] 本发明的过程是:参见图 4,系统启动后,单片微处理器 XC866 采集无刷直流电机霍尔位置传感器输出的三个 0~5V 的电平信号,经过内部换相译码处理后输出三相六拍 120° 导通换相控制信号,与此同时, XC866 读取给定电流信号与导通相线电流检测电路反馈来的导通相线电流信号,求出两个电流信号的偏差并进行 PI 调节计算;接着将 PI 调节计算的信号与三角波信号比较计算产生脉宽调制信号,再分别与三相六拍 120° 导通换相控制信号进行运算,得到控制三相逆变器上下桥臂开关器件 0~5V 的 PWM 控制信号;PWM 控制信号经过逆变器驱动电路放大为 0~15V 的电平信号,驱动逆变桥开关动作,从而启动电机开始旋转;电机旋转后,在三相逆变器下桥臂的三个开关器件上流过无刷直流电机相电流,经过三个采样电阻上产生电压,应用控制三相逆变器下桥臂三个开关器件的驱动信号去控制三个引流开关管,将这些电压引出合成并经分压滤波后得到无刷直流电机的导通相线电流信号,送入单片微处理器 XC866 的模数转换引脚继续与给定电流求偏差,重复以上过程,得以实现无刷直流电机低电磁转矩脉动的持续运行。

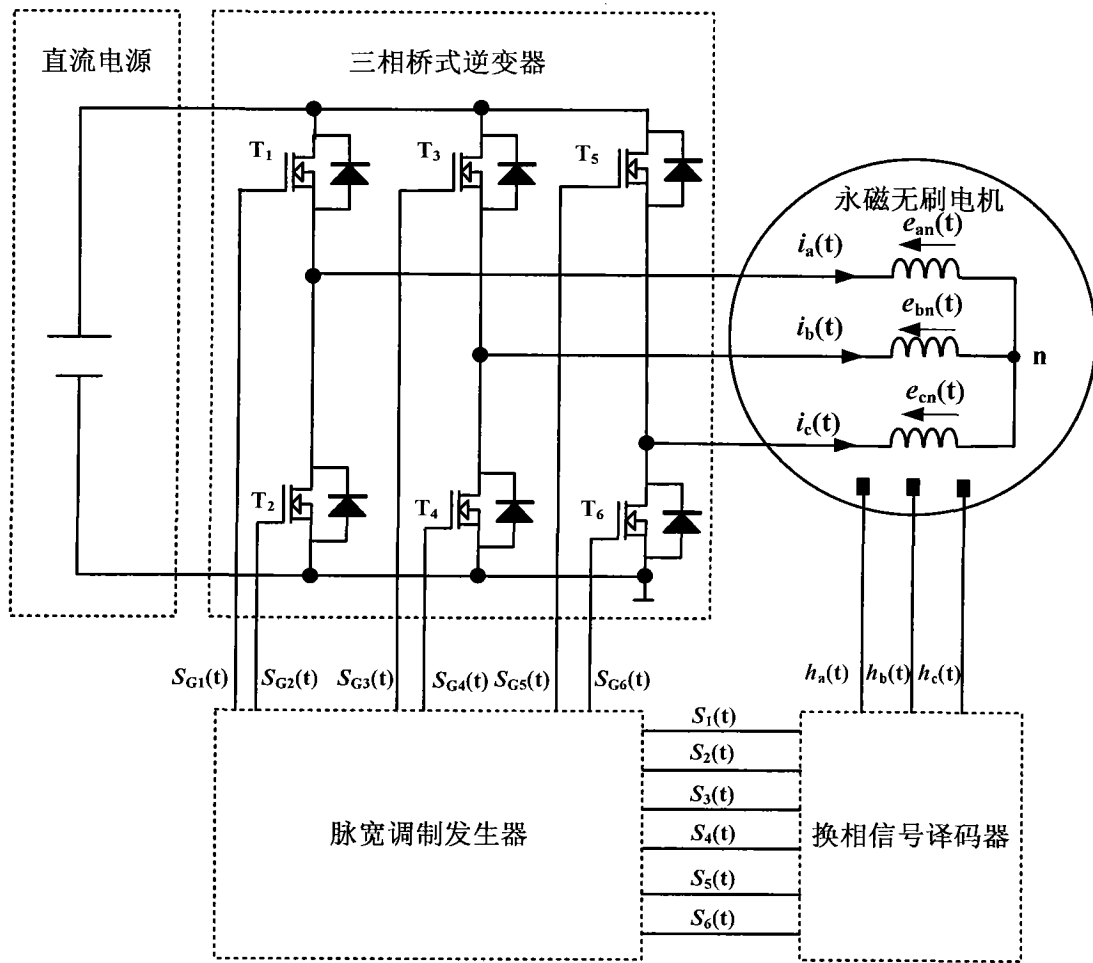


图 1

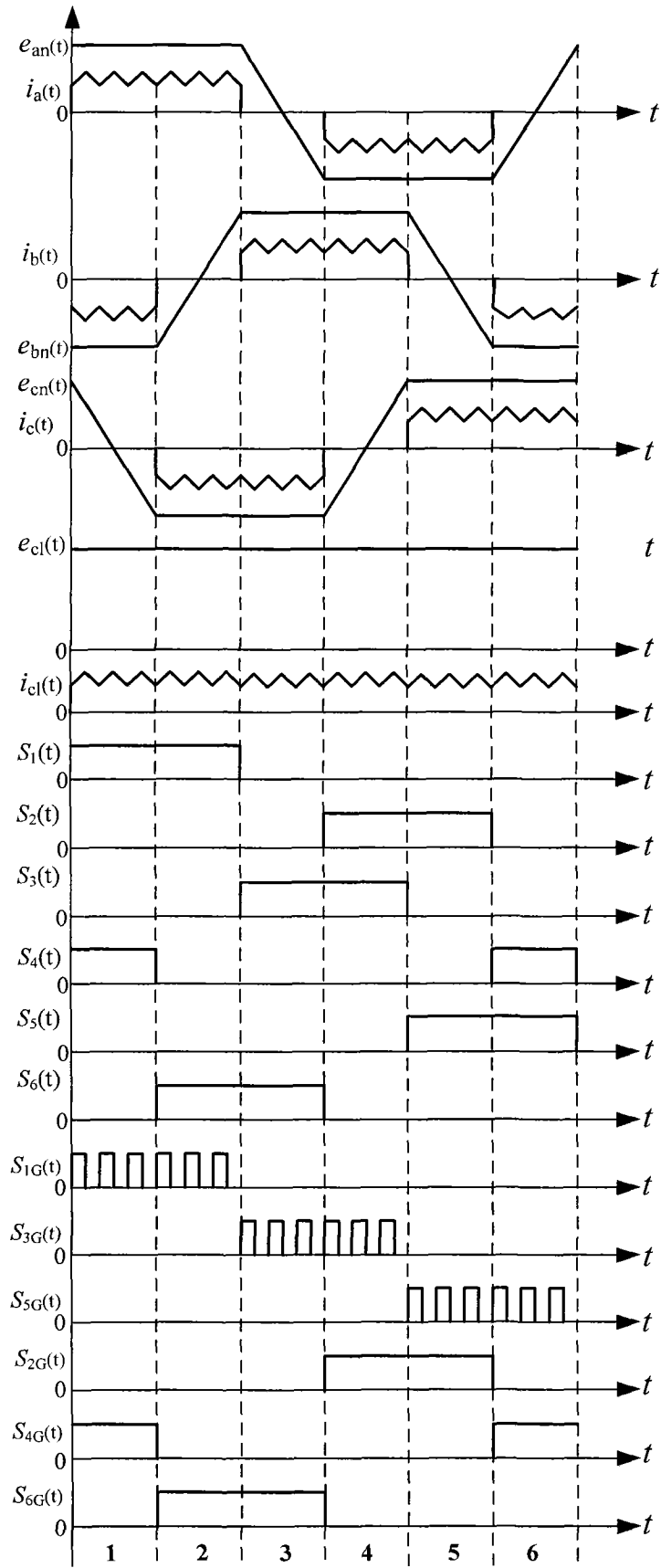


图 2

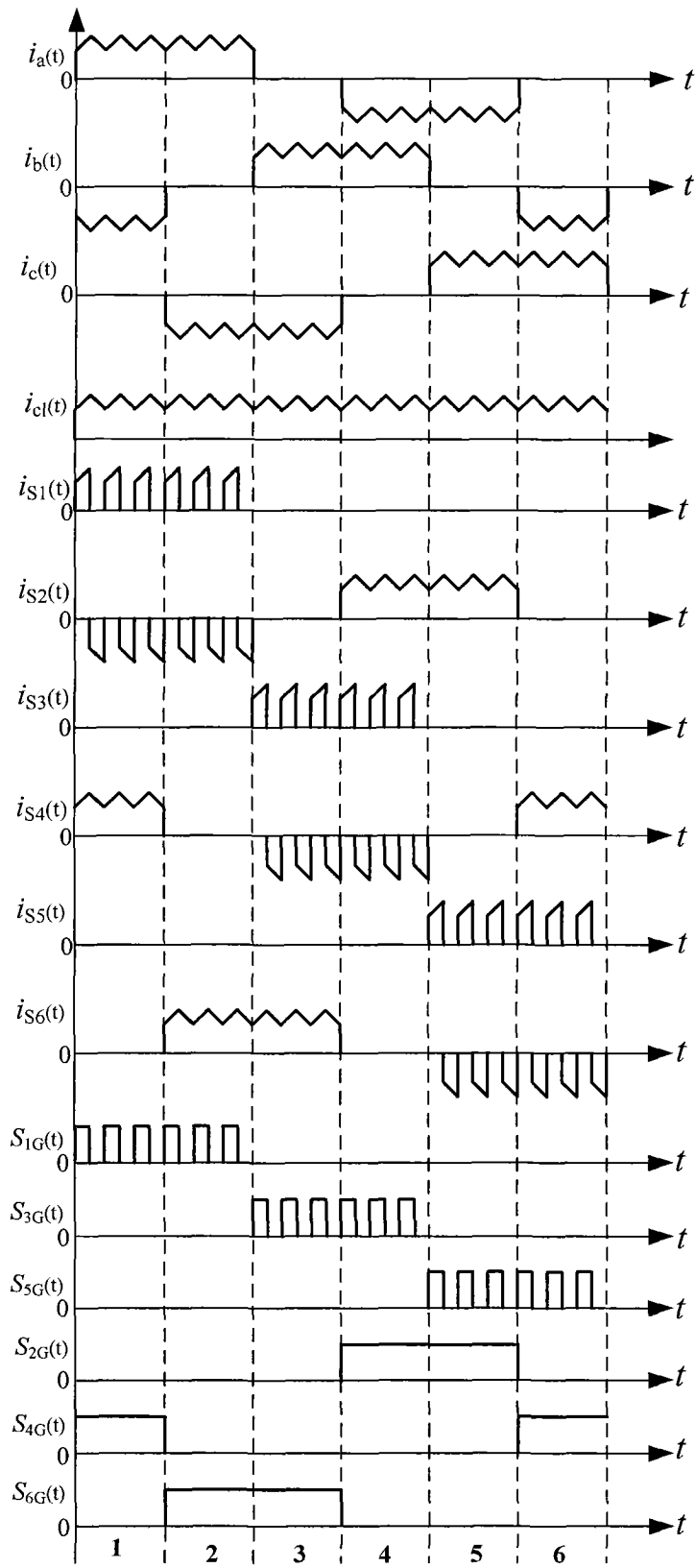


图 3

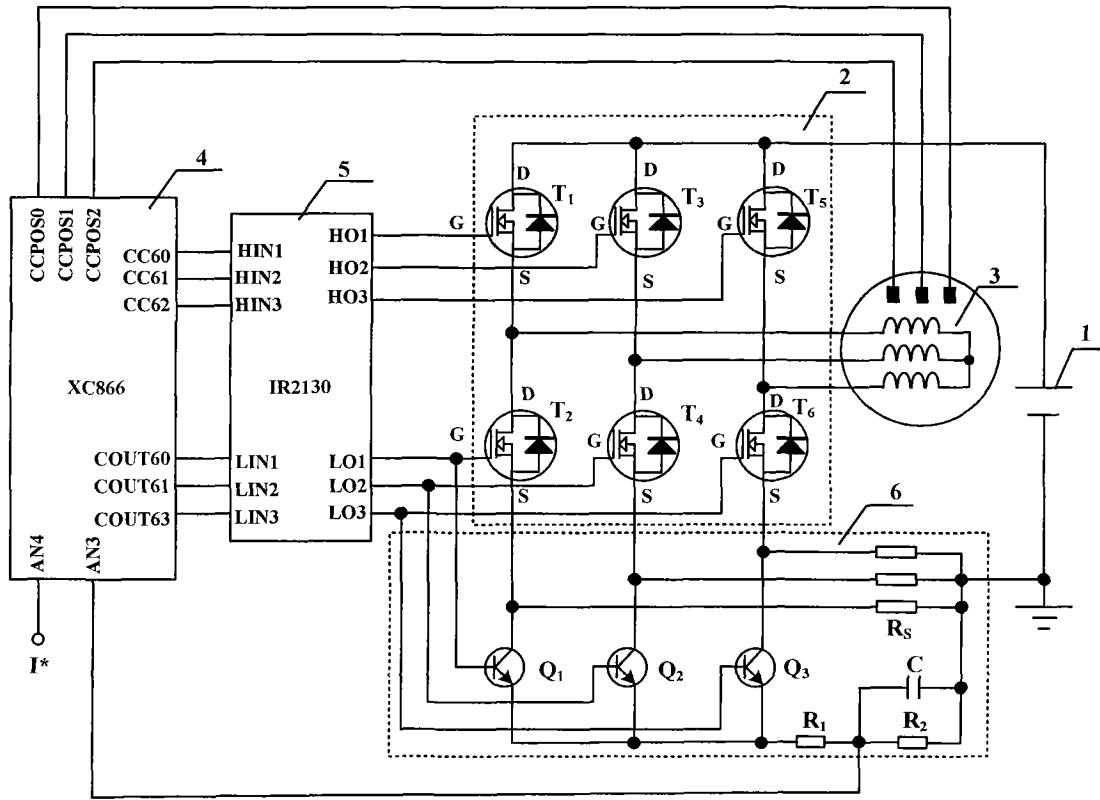


图 4