

文章编号: 2095-0411 (2012) 04-0068-05

基于 IR2110 的 H 桥可逆 PWM 驱动电路应用

张小鸣, 卢方民

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 自举式半桥驱动器芯片 IR2110 应用成功的关键是合理配置自举电路参数, 并对 IR2110 的应用特点有充分的了解。详细介绍了 IR2110 自举电路的工作原理和应用特点, 自举电容等参数的估算方法、以及 IR2110 的相关保护电路。基于 TMS320LF2407A 的他励直流电机调速系统实验表明: 应用 IR2110 组成 H 桥可逆 PWM 驱动电路, 成功实现了他励直流电机软启动与减速制动, 具有隔离接口简单、运行稳定可靠等显著特点。还讨论了 IR2110 自举电路的不足, 对采用 IR2110 的直流电机功率驱动电路设计有很好的参考价值。

关键词: 功率驱动器; 自举电路; MOSFET; IR2110

中图分类号: TN 492

文献标识码: A

Application of H—Bridge Reversible PWM Power Driver Based on IR2110

ZHANG Xiao—ming, LU Fang—min

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Reasonable configuration of bootstrap circuit parameters and fully understanding of application characteristics of IR2110 (bootstrap half—bridge driver chip) are key to applying IR2110 successfully. Therefore, the working principle and application characteristics of bootstrap circuit of IR2110, the method of estimating bootstrap capacitor and other parameters, and the correlative protection circuit of IR2110 are described in detail. The experiments of separately excited dc motor speed control system based on TMS320LF2407A show that: H—bridge reversible PWM power driver based on IR2110 has successfully realized soft start and decelerating braking of separately excited dc motor, with simple isolation interface, stable and reliable operation, and other notable features. The deficiency of bootstrap circuit of IR2110 is also discussed. It has a very good reference value to the design of dc motor power drive circuit based on IR2110.

Key words: power driver; bootstrap circuit; MOSFET; IR2110

目前, 可逆 H 全桥 PWM 直流电机控制系统主要采用功率 MOSFET、IGBT 管作为开关管, 而开关管的驱动电路通常采用集成驱动电路, 将微机的 PWM 控制信号转换成同步高压驱动信号。IR2110 芯片是一种 H 半桥 (独立一桥臂双通道)、栅极驱动、高压、高速单片式专用功率器件集成驱

动电路, 2 片 IR2110 就能构成 H 全桥功率 MOSFET 管可逆 PWM 他励直流控制系统主控回路。IR2110 芯片高端悬浮通道采用外部自举电容产生悬浮电压源 V_{bs} , 与低端通道共用一个外接驱动电源 V_{cc} , 兼有光耦隔离和电磁隔离的优点, 配置所有高压引脚在芯片一侧、独立的逻辑地和功率地,

收稿日期: 2012-10-11

作者简介: 张小鸣 (1958—), 男, 安徽合肥人, 博士, 教授, 研究方向为电机智能控制。

使芯片结构坚固可靠。栅极门电压在 10—20V 范围, 高端悬浮通道用于驱动 MOSFET 的高压端电压最高可达 500V。IR2110 欠压锁定功能可确保在 V_{bs} 工作在正常 7.4—9.6V 范围内。关断功能可使 H 半桥双通道立即强制输出低电平, 用于电机过流保护等场合^[1]。IR2110 采用自举法给高端控制逻辑电路供电虽然简单便宜, 但是自举电容对 PWM 占空比和开通时间都有一定限制, 选取自举电容有一些基本原则^[2-3], 不能用于 PWM 超低频或长期占空比 100% 的场合, 实际应用占空比上限设在 97% 左右^[4]。对于应用于占空比 100% 的场合, V_{bs} 端需加一个隔离电源或充电泵电路独立充电。隔离电源成本较高, 一般采用充电泵电路对自举电容充电加以解决^[5-6]。另外, 为了防止电机短路或过流事件发生引发 IR2110 损坏, 不允许 V_{bs}

$\geq 25V$ 超过 $1.0\mu s$ ^[1]。因此, 必须对 IR2110 以及 MOSFET 管施加一定的保护电路, 以往的文献介绍的保护电路不够全面^[7-8]。故结合基于 IR2110 的 H 全桥功率 MOSFET 管可逆 PWM 他励直流控制系统的应用实践, 详细介绍 IR2110 H 桥典型驱动电路、自举悬浮电源设置及保护电路基本设计方法。

1 IR2110 H 桥典型驱动电路

基于 2 片 IR2110 的 H 桥 4 片 MOSFET 管直流电机典型驱动电路如图 1 所示。当 VT1、VT4 导通时, 电机正转; 当 VT2、VT3 导通时, 电机反转; 当 VT2、VT4 导通时, 电机两极与地短接, 电机刹车能耗制动。

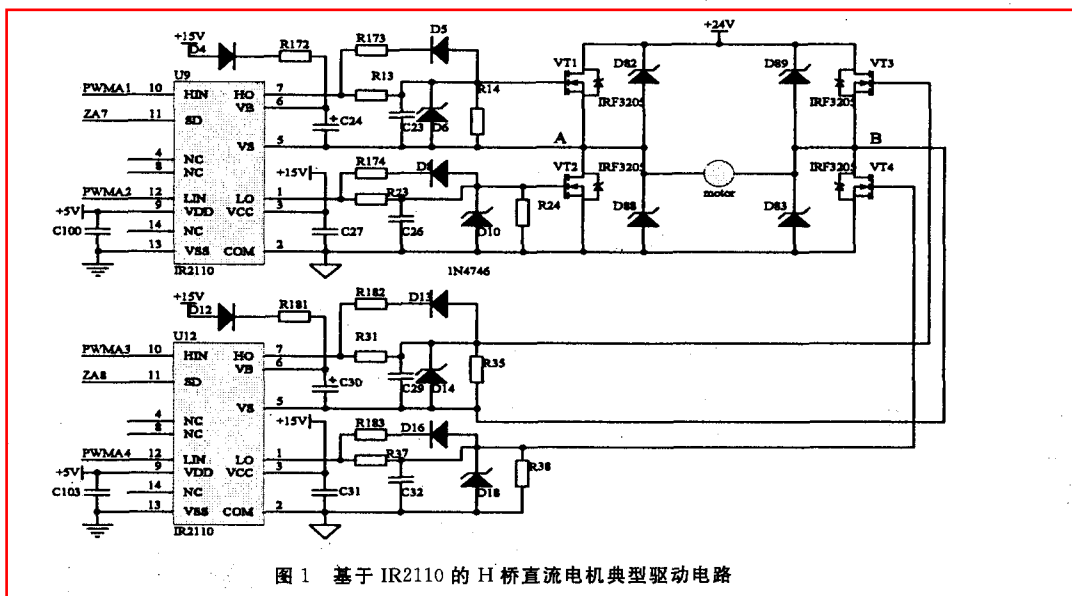


图 1 基于 IR2110 的 H 桥直流电机典型驱动电路

Fig. 1 Typical H-bridge dc motor drive circuit based on IR2110

C24, C30 是自举电容, D4, D12 是自举快恢复二极管, 防止 VT1、VT3 导通时高电压串入 V_{cc} 端损坏该芯片。C27、C31 是功率电源 V_{cc} 的滤波电容, C100、C103 是逻辑电源 V_{dd} 的滤波电容。R172, R181 是自举电容 C24, C30 充电回路的限流自举电阻, 防止电容过充、 V_{cc} 出现低于地电位的情况发生。

电阻 R13, R23, R31, R37 是 IR2110 输出通道到 MOSFET 管栅极间的限流电阻, 取值为几十 Ω , 防止栅极电流 di/dt 过大损坏 MOSFET 管。C23, C26, C29, C32 是滤波电容, 与电阻 R13, R23, R31, R37 组成 RC 低通滤波电路, 对 IR2110 输出信号进行低通滤波。

功率场效应管 IRF3205 的栅—源极电压容限

为 $\pm 20V$, 而 IR2110 内部没有连接于栅极的限压元件, MOSFET 漏极产生的浪涌电压会通过漏栅极之间的米勒电容耦合到栅极上击穿栅极的氧化层, 所以在 MOS 管栅—源极之间加分压电阻和稳压二极管来箝位栅—源极电压, 同时保护 IR2110 不被 MOS 管短路高压窜入损坏。稳压二极管 D6, D10, D14, D18 稳压在 18V 左右, 电阻 R14, R24, R35, R35 对 IR2110 输出信号分压, 有效降低栅极电压。

D5, D8, D13, D16 是在 IR2110 发出关断信号时, 给功率场效应管从导通状态切换到关断状态提供一个快速释放电荷通道的快恢复二极管。由于 IR2110 的导通传播延时典型值为 120ns, 关断传播延时典型值为 94ns, 仅仅相差 26ns, 快恢复二极

管可进一步加快功率 MOSFET 的关断时间有利于增强桥臂开关管先关断后导通死区周期,防止同一臂上下两个功率场效应管同时导通短路烧毁。电阻 R173, R174, R182, R183 用于限制功率场效应管释放电流,防止大电流损坏 IR2110^[8],取值为几 Ω 。

D82, D83, D88, D89 是用来钳位功率 MOSFET 管开关过程中漏源极浪涌电压的稳压二极管。

2 IR2110 自举电路原理

IR2110 的自举电路是一种简约型高端浮动供电模式,满足一般 PWM 控制需要。结合图 1 的 U9,介绍 IR2110 自举电路的工作原理。当 VT1 截止,VT4 导通期间,将 A 点 (V_s) 的电位拉低到地, +15V (V_{cc}) 通过自举电阻 (R172) 和自

举二极管 (D4) 给自举电容 (C24) 充电,通过电容 C24 在 V_b 和 V_s 之间形成一个悬浮电源,作为 IR2110 的上通道 (高端) 逻辑电源,维持 IR2110 高端输出引脚 V_h 输出正常电平,为上桥臂主开关器件 VT1 提供栅极驱动电压。正是由于自举电容的存在,使 IR2110 控制同一桥臂上、下主开关器件的驱动电路只需一个外接电源。

当 VT1 导通时, C24 放电以维持高端导通。当 C24 电荷没有充满,或者电容充满但高端持续工作时间较长,导致电容放电过度,IR2110 高端悬浮电源 V_b 的内部欠电压检测保护逻辑就会动作,将 V_h 拉为低电平,使驱动电路无法正常工作。IR2110 的内部结构图清楚反映了低端电源 V_{cc} 和高端悬浮电源 V_b 的欠电压检测电路结构,如图 2 所示。

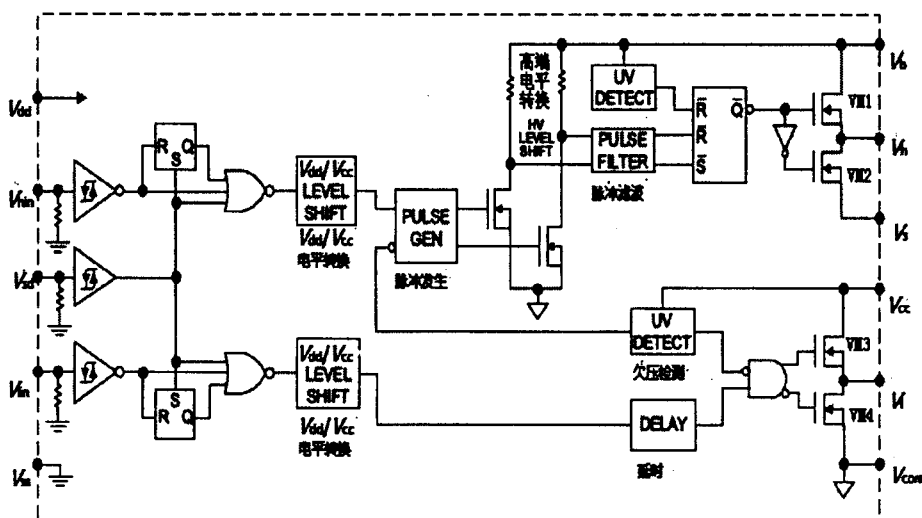


图 2 IR2110 内部结构框图

Fig. 2 Internal structure diagram of IR2110

从 IR2110 的内部结构可以看出, V_b 作为悬浮电源,为高端内部逻辑电路提供电压源。当高端输入电平 V_{in} 为“1”时,输出场效应管 VM1 导通, VM2 截止,使 V_h 输出高电平。当 V_h 输出高电平时,驱动 H 桥的左上臂 MOS 管 VT1 导通, A 点电平为 $(24V - VT1 \text{ 正向压降}) > V_{cc}$, 阻断 C24 的充电回路。显然, C24 的高电压放电才能维持 V_b 连续高电平。如果高端输入电平 V_{in} 一直保持为“1”, C24 就一直没有充电机会,当 C24 连续放电一端时间后, V_b 就会跌落到欠电压阈值以下,欠电压检测保护动作闭锁,将 V_h 封锁为低电平。显然,上桥 VT1 的导通是以下桥 VT4 的导通给自举电容 C24 充电为前提的。因此, IR2110 作为 H 全桥的驱动芯片,桥臂高端不能持续输入为高电平或

低频的 PWM, 必须是较高频 PWM 信号, 保证 C24 有周期性的、充足的充电时间, 才能维持足够高的悬浮电源电压, 否则 IR2110 高端输出将因欠压而闭锁为低电平。

当高端输入电平 V_{in} 为“0”时, 输出场效应管 VM1 截止, VM2 导通, 使 V_h 输出低电平。当 V_h 输出低电平时, 驱动 H 桥的左上臂 MOS 管 VT1 截止, 此时当 H 桥的右下臂 MOS 管 VT4 导通时, C24 就在充电, 可以维持高端内部逻辑电路和输出场效应管 VM1 的连续截止以及 VM2 的连续导通。

可见, 自举电路的参数配置很大程度上决定了 IR2110 工作状态的优劣。有 3 个重要设计参数: 选用最佳容量自举电容和自举电阻, 以提高充电电

压。选用合适的快恢复二极管。自举电容的充电速率还与输入信号 V_{hin} 、 V_{lin} 的 PWM 频率和占空比度有关, 当 PWM 工作频率较高时, 或 VT1 导通的脉宽较窄, 自举电容电压超过 IR2110 欠压检测典型阈值 $V_{bsuv}=8.3\text{V}$ 就容易满足; 否则, IR2110 将欠压闭锁, 强制 V_h 为低。因此, 自举电容应结合 PWM 开关频率和占空比调节范围合理选择, 主要考虑以下 3 个因素: ①自举电容选取的过大, 可能使充电结束时电容两端还没有达到要求的电压, 过小则会导致电容存储的能量不够维持栅源电压在上桥臂导通时间内为一定值, 同时可能引起过充电, 导致芯片损坏。通常先利用自举电容计算公式估算, 再实际调试优化而定。②充电通路的快恢复二极管恢复时间应小于 IR2110 的关断传播延时。③自举电阻 R_{bs} 的选取应满足 $C_{bs}R_{bs} > t$ (t 为 IR2110 的通断总延时时间)。

3 自举电路参数计算

3.1 自举电容估算

自举电容必须能提供不低于 MOSFET 管栅极电荷导通所需的电荷, 并且在高端主开关器件开通期间保持其电压。工程估算公式^[9]如下:

$$C_{bs} \geq \frac{2Q_g}{V_{cc} - V_{min} - V_{ls} - V_f} \quad (1)$$

其中: Q_g —MOSFET 管门极电荷 (可由 MOSFET 手册中查到); V_{cc} —充电电源电压; V_{ls} —下半桥 MOSFET 导通栅源阈值电压, 一般为 2—4V; V_{min} — V_b 和 V_s 之间的最小电压 (可由 IR2110 手册中查到, $V_{bsuvmin}=7.4\text{V}$); V_f —自举快恢复二极管的正向管压降, 一般为 1.5V。

当采用 MOSFET 管 IRF3205 构成 H 桥可逆 PWM 驱动电路时, 功率电源 = 15V。查 IRF3205.pdf, $Q_g = 146\text{nC}$ 。查 IR2110.pdf, $V_{min} = 7.4\text{V}$ 。代入式 (1) 得:

$$C_{bs} \geq \frac{2 \times 146 \times 10^{-9}}{15 - 7.4 - 2 - 1.5} = 0.071\,22\mu\text{F}$$

工程上, 再保留一定的余量, 取估算值的 2—3 倍。 $C_{bs} = 0.1\mu\text{F}$ 。

3.2 自举电阻估算

自举电阻 R_{bs} 应满足:

$$C_{bs}R_{bs} > t \quad (2)$$

查 IR2110 数据手册得 $t = 10\text{ns}$ 。

$$R_{bs} > \frac{t}{C_{bs}} = \frac{10 \times 10^{-9}}{0.071\,22 \times 10^{-6}} = 0.14\Omega$$

工程上, 再取估算值的 2 倍左右, $R_{bs} = 3.3\Omega$ 。

3.3 自举二极管

自举二极管用于防止上桥 MOS 管导通时母线高压反窜入 V_{cc} 端损坏 IR2110 芯片。反向耐压必须大于母线高压峰值^[4], 电流必须大于栅极电荷与开关频率之积, 即

$$I > f \times Q_g \quad (3)$$

通常选用漏电流小的快恢复二极管, 反向恢复时间应小于 IR2110 导通传播延时典型值 120ns。若设 PWM 频率 $f = 10\text{kHz}$, IRF3205 的栅极 $Q_g = 146\text{nC}$, 则自举二极管的正向电流

$$I > f \times Q_g = 10 \times 10^3 \times 146 \times 10^{-9} = 1.46\text{mA}$$

4 实验结果

在图 1 基础上, 用 TMS320LF2407A 为控制器对他励直流电机进行空载启动与减速制动控制试验。电机的铭牌参数如下: $V_n = 24\text{V}$, $I_n = 62\text{A}$, $n_n = 26\,000\text{r/min}$ ^[10]。主开关器件为功率 MOSFET IRF3205。PWM 恒定频率为 10kHz, 通过调节 PWM 的占空比调节他励直流电机的电枢电压, 实现软启动与减速制动。

DSP 的电机启动 PWM 程序初始化设定占空比从 10% 开始, 每隔 20ms, 检测电枢电流 I_d , 若 I_d 超过 $2I_e$ (I_e 电枢额定电流), 则立即减小 CMPR1, 即减小占空比, 实施过流保护。若没有超过, CMPR1 增加一个步距, 一般设定为 T1PR 周期计数值的 0.2%—0.5% 左右。所谓带载突跳式启动, 保证启动电磁转矩大于负载转矩, 但又保证启动电流不超过 2 倍额定电流 ($2I_e$) 的逐渐上升软启动。DSP 的电机减速制动 PWM 程序是逐渐减少占空比, 直到为 0。图 3 (a) 所示为软启动占空比达到 30% 时 IR2110 驱动的输出波形; 图 3 (b) 所示为软启动结束占空比达到 90% 时 IR2110 驱动的输出波形。

试验表明: 自举电容选择 $0.1\mu\text{f}/63\text{V}$ 的瓷片电容或 $0.1\mu\text{f}/35\text{V}$ 的钽电容或 $1\mu\text{f}/63\text{V}$ 瓷片电容均能正常软启动。快速恢复自举二极管选用 FR157 (它的最大反向恢复时间为 500ns, 最大反向耐压 1 000V) 或 UF4007 均能正常软启动。但是, 当 IR2110 上桥逻辑输入 V_{lin} 的 PWM 波形逐

渐增加到 100%，并保持 100% 不变时，经历 1—2s 后，电机刚启动到全速就突然停机。这是因为自举电压 V_h 未能周期性充电已降至欠压阈值以下，IR2110 欠压保护逻辑动作立即将 V_h 拉到低电平。所以 IR2110 不能应用 H 桥上通道长时间驱动

MOSFET 导通（即 PWM 占空比为 100%）或超低频（几 Hz）的场合，除非增加独立电荷泵电路给自举电容周期性充电或用浮动电源取代自举电路。

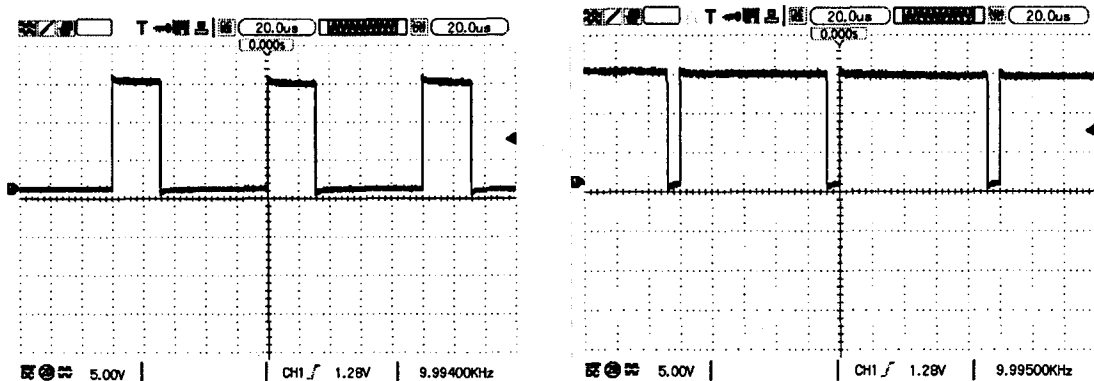


图 3 IR2110 驱动的输出波形

Fig. 3 Output waveform of IR2110

5 结 论

功率 MOSFET 管集成驱动电路 IR2110 的自举电路简化了 H 桥高端悬浮电源配置问题，同时对自举电路的参数优化设计提出一定要求，对 PWM 控制频率也有一定限制。通过分析 IR2110 的特性和驱动 MOSFET 的应用特点，介绍了 IR2110 的自举电路优化设计、MOSFET 的保护电路等。在基于 TMS320LDF2407A 为控制器、IR2110 为驱动器的他励直流电机 H 桥 PWM 调速系统上实验表明：IR2110 能有效控制功率 MOSFET 管实现他励直流电机的软启动和减速制动以及过流保护。

参考文献：

- [1] International Rectifier Company. irs2110. pdf [EB/OL]. [2012-10-08]. <http://www.irf.com/product-info/>

datasheets/data/irs2110. pdf.

- [2] 王剑, 王宏华, 袁晓玲. 集成功率驱动电路 IR2110 应用探讨 [J]. 机床与液压, 2008, 36 (7): 398-399.
- [3] 贾贵玺, 吴晓花, 闫建三. 自举式 IR2110 驱动集成电路在 SRD 系统中的应用 [J]. 新特器件应用, 2007, 9 (9): 17-20.
- [4] 伍洲, 方彦军. IR2110 在电机驱动器设计中的应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2008 (11): 88-90.
- [5] 孙鸿祥, 郑丹, 祝典. 基于 IR2110 的驱动电路应用和设计技巧 [J]. 科技创新导报, 2008 (35): 42.
- [6] 严延, 李峰飞, 吴国军. 基于电荷泵的 IR2110 全桥驱动电路研究 [J]. 机械与电子, 2009 (11): 49-52.
- [7] 楚斌. IR2110 功率驱动集成芯片应用 [J]. 电子工程师, 2004, 30 (10): 33-35.
- [8] 程时兵, 张爱军. IR2110 在无刷直流电机驱动电路中的应用 [J]. 机电元件, 2010 (10): 28-31.
- [9] 陈维, 李敏远. IR2110 的功能及其在高频感应加热电源中的应用 [J]. 常德师范学院学报, 2000, 12 (1): 57-60, 64.
- [10] 张小鸣, 龙仕玉. 基于 DSP 他励直流电机模糊 PID 控制器仿真研究 [J]. 常州大学学报: 自然科学版, 2012, 24 (1): 82-85.