

基于 UC2844 的 IGBT 驱动电路设计

王 博

(西安铁路职业技术学院, 西安 710014)

摘要: 为解决中小功率容量的 IGBT 驱动问题, 设计出以 UC2844 为核心控制器的驱动电路, 包括驱动所需的隔离电源控制电路与功率电路、PWM 信号处理等。对隔离电源的控制器应用方法、功率电路的关键器件设计及信号处理电路给出了详细解决方案, 并通过计算机仿真验证其可行性。实验结果表明, 设计方案满足中小型 IGBT 驱动的一般需求。

关键词: 绝缘栅双极型晶体管; 驱动电路; 隔离电源; UC2844

中图分类号: TN306 文献标识码: A 文章编号: 1000-0682(2019)01-0042-04

Design of IGBT drive circuit based on UC2844

WANG Bo

(Xi'an Railway Vocational & Technical Institute, Xi'an 710014, China)

Abstract: In order to solve the small and medium power capacity IGBT driving problem, a driving circuit with UC2844 as the core controller is designed, including the isolated power supply control circuit, power circuit, PWM signal processing and so on. A detailed solution is given for the application method of the isolation power controller, the key device design of the power circuit and the signal processing circuit, and the feasibility is verified by computer simulation. The experimental results show that the design scheme meets the general requirements of the medium and small IGBT drive.

Keywords: insulated gate bipolar transistor; drive circuit; isolation power supply; UC2844

0 引言

IGBT 是一种复合型的功率半导体器件, 具有高电压与大电流的承载能力, 可实现较大容量的功率变换。其开关特性与热特性优良, 广泛应用于各类电力电子变流电路中。IGBT 在变换电路中实现可靠开关动作, 关键在于具有稳定的驱动电路^[1-2]。

为解决中小功率等级的 IGBT 驱动问题, 该文以常用的 PWM 电源管理器 UC2844 为核心, 设计与 IGBT 功率容量等级匹配的驱动电路。在设计中, 给出了驱动电路所涉及的电源部分、控制部分及信号处理部分等详细电路, 通过仿真验证了设计的合理性, 并最终通过实验检验了理论设计与仿真的可行性。

1 IGBT 驱动特性分析

IGBT 在变流器工作中处于高频的开关动作, 会流过较大电流, 承载较高电压, 对于功率变换起着关键作用。而驱动电路直接影响 IGBT 的工作性能, 因此, IGBT 开关动作的驱动电路有以下基本的要求^[3-4]。

首先, 要稳定可靠驱动 IGBT, 驱动电路就要求具有与 IGBT 匹配的功率, 这就要求根据具体的 IGBT 参数设计驱动电路。其次, 为有效抑制 IGBT 关断时电流拖尾效应, 要采用负向的栅-源电压将 IGBT 快速关断。而且负向的驱动关断电压也可抑制米勒效应, 防止 IGBT 误导通。同时, 为使 IGBT 具有较低的通态损耗, 就要尽可能提高驱动开通电压, 但不能超过其限值 ± 20 V, 有文献显示 15 V 是较为合适的驱动电压; 在保证 IGBT 可靠驱动的同时, 要尽量降低负向电压, 从而减小驱动电路的功率, 选择负向 10 V 的电压来可靠关断, 驱动功率也较为适中。另外, IGBT 寄生参数对功率回路及驱动电路的影响也必须要重视。

收稿日期: 2018-05-14

基金项目: 西安铁路职业技术学院 2017 年度立项课题 (XTZY17G06)

作者简介: 王博(1983), 男, 陕西蒲城人, 硕士, 讲师, 研究方向为逆变技术、电源变换技术等。E-mail: 19wangbo@163.com.

2 驱动电路设计

对于中小规格 IGBT 的驱动电路,为保证其具有一定的驱动能力,驱动中隔离电源需要满足 IGBT 开关动作必要的功率。但一般来讲,中小规格的 IGBT 驱动对于功率的需求还是较为有限,10 W 左右即可满足驱动要求。因此,设计中采用 PWM 发生器开环的工作方式,将低压侧的电源(信号侧)通过隔离变换器供给 IGBT 的驱动电路(功率侧)。严格来讲,开环的设计方式,驱动电源输出电压在负载变化时一定有些许的跌落,但用于驱动 IGBT 的负载有限,不会有较大的电压跌落,一般均在 300 mV 以内。

为使 IGBT 可靠导通与关断,IGBT 驱动电路需

要提供 +15 V 的电压使其导通,-10 V 的电压使其关断。功率侧正、负电源的产生采用正激式变换器实现,其主要组成有:原边推挽电路、变压器、PWM 控制器、副边倍压整流电路等^[5,7,10]。

2.1 电源控制电路

驱动电源设计中,UC2844 控制器为 PWM 发生器。UC2844 为一款高性能固定频率电流模式控制器,可满足基本的 DC-DC 变换控制,实现外围元件最少的解决方案。该集成电路大多数半导体商均有匹配产品,图 1 为 UC2844 控制器内部结构,有误差放大器、PWM 比较器、PWM 锁存器、振荡器、内部基准电压与欠压锁定单元、大电流图腾柱输出等,是驱动 MOSFET 的理想器件^[2,8-9]。

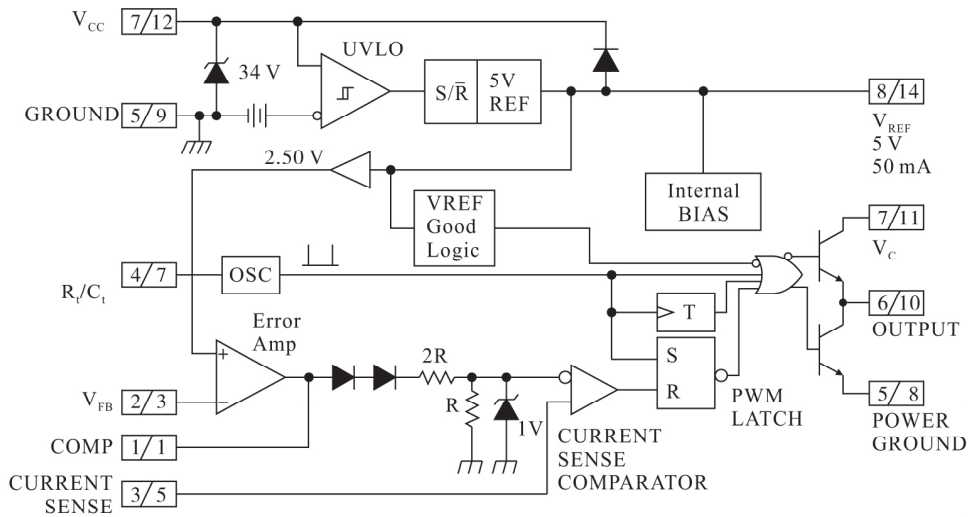


图 1 UC2844 内部结构框图

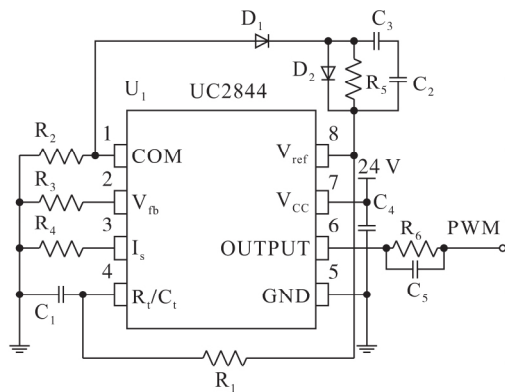


图 2 驱动隔离电源 PWM 信号电路

图 2 中是采用 UC2844 开环输出 PWM 的一般电路。其中 R_1, C_1 组成振荡器,为 PWM 设置频率。PWM 输出频率应与功率电路中 LC 谐振变换器频率一致,根据 UC2844 的内部电路工作特性,设置频率如式(1)所示:

$$f_r = \frac{1}{1.72 \cdot R_1 \cdot C_1} \approx 150 \text{ kHz} \quad (1)$$

为使 UC2844 开环输出 PWM 将其 COM, V_{fb}, I_s 脚用 10 kΩ 的电阻 R_2, R_3, R_4 下拉接地。 C_2 为 V_{ref} 脚的滤波电容, R_5, C_3 及二极管 D_1, D_2 组成 UC2844 的软启动电路,避免在上电瞬间,由于快速将 PWM 波占空比展开而导致原边三极管电流过大。 C_5 可有效滤除 PWM 波的高频干扰信号, R_6 可微调 PWM 上升、下降沿,即通过调整 R_6 调整上升、下降的速率。

2.2 电源主电路

IGBT 驱动电路的驱动功率一般由 IGBT 自身的参数决定,该参数主要有输入电容 C_{gs} 、栅极电荷 Q_g 及驱动输出电压等。对于特定的 IGBT,其驱动平均功率可表达如式(2)所示。同时,根据工程经验,正激式变换器的效率为 80% 左右,则可推出输入功率,如式(3)所示。

$$P_{\text{drv_out}} = Q_g \cdot f_s \cdot (V_H + |V_L|) = 0.747 \quad (2)$$

$$P_{\text{drv_in}} = \frac{P_{\text{drv_out}}}{\eta_{\text{iso}}} \quad (3)$$

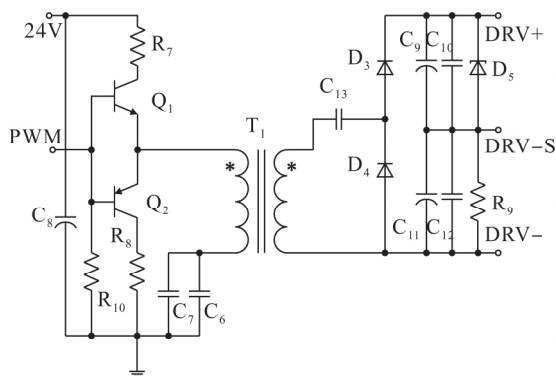


图3 驱动隔离电源

图3中 Q_1 、 Q_2 为推挽连接的三极管,其为隔离电源工作的开关管,即,当PWM为高电平时, Q_1 导通,变压器电压为上正下负,将能量传递到功率侧;当PWM为低电平时, Q_2 导通,变压器电压为上负下正,功率侧电压也会翻转。在PWM高低电平转换的过程中,在功率侧通过图3所示的连接方式,可将正负交替的电压通过二极管整流为直流电压,通过式(4)计算变压器匝比为0.747,式(5)、式(6)计算出原边与副边的匝数。

$$n_{tr} = \frac{V_{in} \cdot D_{max} \cdot \eta_{iso}}{V_H + |V_L| + V_{D_F}} = 0.747 \quad (4)$$

$$N_p = \frac{V_{in} \cdot D_{max}}{2 \cdot \Delta B_{max} \cdot A_e \cdot f_r} \cdot \frac{1}{2} \approx 18 \quad (5)$$

$$N_s = \frac{N_p}{n_{tr}} \approx 24 \quad (6)$$

以上几式中: n_{tr} 为变压器变比; V_{in} 为原边输入电压; D_{max} 为最大占空比; η_{iso} 为隔离电源效率; V_H 为驱动高电平电压; V_L 为低电平电压; V_{D_F} 为副边整流二极管导通压降; N_p 为变压器原边匝数; ΔB_{max} 为最大磁感应强度; A_e 为磁芯有效截面积; f_r 为LC谐振电路工作频率; N_s 为副边绕组匝数。

其中24V为低压侧电压,即驱动的供电电压;45%为PWM开环占空比;25V为输出总电压,由于副边为倍压整流电路,因此变压器变比要乘以2。

R_7 、 R_8 分别为当 Q_1 、 Q_2 导通时冲击电流过大而引入的限流措施。 R_{10} 为防止 Q_2 误导通而放置的放电电阻。 C_6 、 C_7 为谐振电容,当 Q_1 关断, Q_2 导通时,可以为功率侧提供能量,也可为变压器起到退磁的作用,防止变压器由于单侧励磁而发生饱和。

功率侧的 C_{13} 、 D_3 、 D_4 为倍压整流电路,该电路可使输出端电压增大一倍。输出端连接方法为正负

电压的形式,即正电压通过齐纳二极管 D_5 进行稳压处理, R_9 为输出端的负载,为防止电压过高而放置。 C_9 、 C_{10} 和 C_{11} 、 C_{12} 为输出滤波电容,用于稳压及滤波。

2.3 驱动信号调理电路

IGBT驱动信号一般由变流器控制器发出,特点是电压较低,信号较弱。为此,需要对其进行处理,转换为有一定功率,具备一定驱动能力的驱动信号来驱动IGBT。

如图4所示,驱动信号输入从左端进入。其中 R_{11} 与 C_{14} 形成RC低通滤波器,滤除无效的杂散信号。 D_6 为2V的齐纳二极管,其作用是当输入端信号超过2V时才能将该二极管击穿,才能视为有效信号。 D_7 的作用是防止输入信号的负向电压损坏光电耦合器 U_2 。光电耦合器右侧连接隔离电源的正和负,即+15V与-10V,输出端通过推挽的2个三极管,用来提高驱动能力。

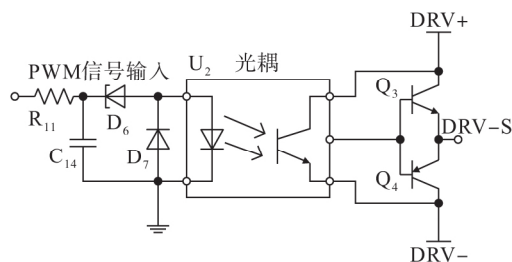


图4 IGBT驱动信号处理

3 驱动电路仿真验证

完成以上对IGBT驱动电路中各个电路模块的设计、理论计算工作后,对设计结构应用计算机仿真技术进行验证。通过PSIM仿真平台对各部分电路模块进行验证,并结合IGBT驱动电路系统,完成系统仿真验证^[11]。

PSIM是倾向于电力电子领域以及电机控制领域的仿真应用包软件,全称为Power Simulation,由SIMCAD和SIMVIEM两个软件组成。PSIM具有仿真高速、界面友好、波形解析等功能,为电力电子电路的解析、控制系统设计、电机驱动研究等有效提供强有力的仿真环境。

按照设计的IGBT驱动详细电路,在PSIM平台搭建电路模型,如图5所示。电路模型搭建完毕后,进入软件仿真运行状态,给定输入信号为正弦的脉宽调制波形SPWM,在输出侧观测驱动波形,如图6所示。

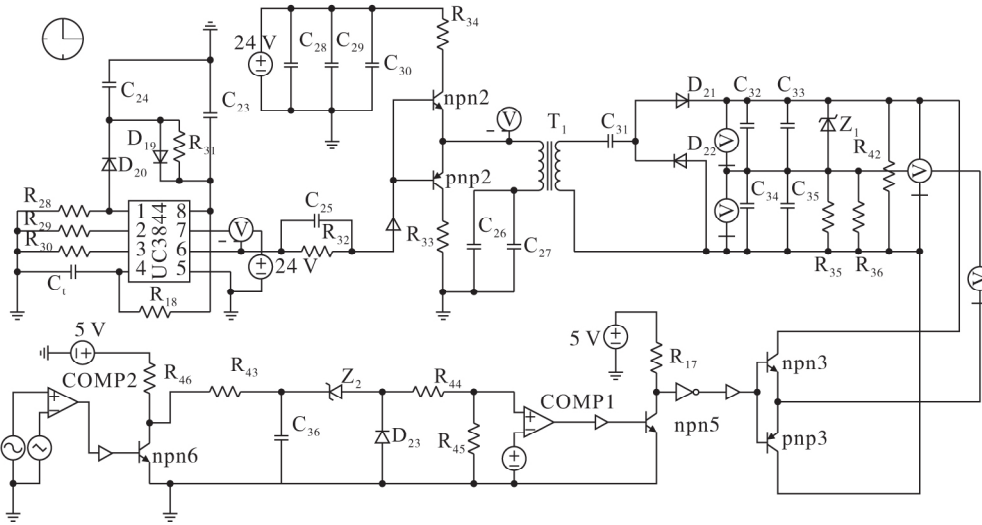


图 5 驱动系统仿真电路图

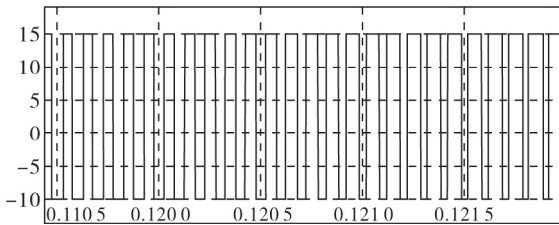


图 6 IGBT 驱动 Vge 仿真波形

4 实验验证

按照以上电路详细设计及相关计算,制作驱动电路印制板 PCB,分别调试驱动电路控制部分、功率变换部分、PWM 信号处理部分等各功能电路模块。图 7 为驱动电路实测波形,与设计需求及仿真验证结果一致。

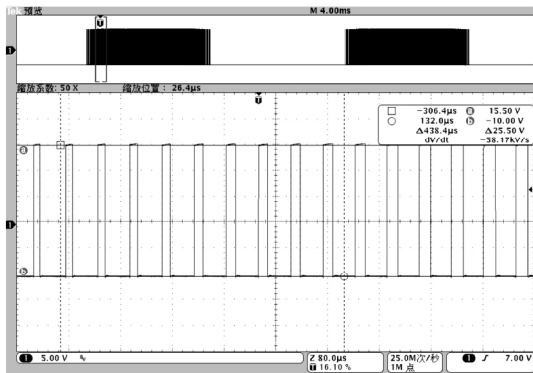


图 7 IGBT 驱动 Vge 实验测试波形

5 结论

以 UC2844 为核心控制器设计出的 IGBT 驱动电路,在仿真与实验测试中,能够满足 IGBT 驱动的所有

需求。该设计方案已应用于逆变器相关产品的 IGBT 驱动控制中,能够可靠、稳定驱动 IGBT,完全满足逆变器产品的系统需求,该设计方案科学、可行。

参考文献:

- [1] 王博,郝湘路,马仲智. IGBT 驱动关键技术研究[J]. 电子产品世界, 2016(8): 55-58.
- [2] 巴腾飞,李艳,梁美. 寄生参数对 SiC MOSFET 栅源极电压影响的研究[J]. 电工技术学报, 2016(13): 64-73.
- [3] 柳舟洲,同向前. 大功率 IGBT 短路保护机理的分析[J]. 电气传动, 2015(03): 77-80.
- [4] 尹培培,洪峰,王成华,等. 无源无损软开关双降压式全桥逆变器[J]. 电工技术学报, 2014(06): 40-48.
- [5] 唐勇,汪波,陈明,等. 高温下的 IGBT 可靠性与在线评估[J]. 电工技术学报, 2014(06): 17-23.
- [6] 王博. 基于矢量控制的光伏逆变器 IGBT 损耗计算[J]. 电气传动, 2016, 46(8): 45-49.
- [7] 张云,徐衍亮,李豹. 基于动态电源的 MOSFET 驱动优化[J]. 电工技术学报, 2013(12): 269-275.
- [8] 宁大龙,同向前,胡勋. IGBT 器件的门极驱动模型及应用[J]. 电力电子技术, 2012(12): 106-108.
- [9] 雷明,程善美,于孟春,等. 基于变门极电阻的 IGBT 软关断实现[J]. 电力电子技术, 2012(12): 46-48.
- [10] 欧阳柳,李华,杨光,等. 风力发电变流器的 IGBT 关断过电压抑制研究[J]. 大功率变流技术, 2012(02): 13-15.
- [11] 陈永真. IGBT 短路保护的控制策略分析[J]. 电气传动, 2010(08): 38-41.
- [12] 林渭勋. 现代电力电子电路[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002.