

一种用于 IGBT 串联的简单可靠 高压隔离驱动电源

任宇，韩亚强，谭琳琳，杨旭，卓放，裴云庆

西安交通大学电气工程学院，陕西西安 710049

中图分类号：TN86 文献标识码：B 文章编号：1606-7517 (2016) 11-5-154

摘要：在IGBT串联装置中，需要为每个开关管配备门极驱动电源，而且串联器件的驱动参考电位几乎都是浮动的，因此各器件的驱动都需要一定高压等级的隔离性能。一般需设置独立的包括原、副边电路的整套工作电源，电路复杂、可靠性低。本文针对IGBT串联多路隔离电源驱动电路，采用分布式供电方式，使用一套主电路产生多组彼此隔离的副边电压，设计了一种电路结构简单、体积小、可靠性高的驱动电源。之后将其应用于6KV IGBT串联直流断路器中，效果良好。

关键词：IGBT 串联，隔离驱动电源，分布式供电

A Simple and Reliable High Voltage Isolated Driver Power Supply for Series-Connected IGBTs

REN YU, HAN YA QIANG, TAN LIN LIN, YANG XU, ZHUO FANG, PEI YUN QIN

College of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shanxi Province, China

Abstract: In the application of series-connected IGBTs, the isolated power supply of gate driver is necessary for each switch. Since the reference potential is floating, each power supply requires a certain level of high voltage isolation performance and the power supply include primary and secondary circuit is needed, these make the system complex and unreliable. In this paper, a drive power supply generate serial isolated secondary power supply with one main circuit is designed for series-connected IGBTs. The driver power supply have simple circuit structure, small size, and high reliability. Finally, a 6KV breaker of series-connected IGBTs is built to verify the proposed power supply. The results are presented.

Keywords: series-connected IGBTs, isolated drive power, distributed power supply

1 引言

随着现代电力电子技术的发展，由于IGBT器件比其它电力电子器件（如GTO、晶闸管等）有着更好的开关特性，在大功率电力电子设备领域中有着更广泛的应用需求，然而在这些应用场合中所需IGBT器件的电压等级很高，在现有的技术工艺条件下无法采用单个器件满足要求。而IGBT串联可以迅速满足装置的电压等级要求。故而研究

IGBT串联应用具有很重要的实际意义。

在IGBT串联装置中，驱动的设计尤为重要，一般需要为每个开关管配备门极驱动电源，而且串联器件的驱动参考电位几乎都是浮动的，因此各器件的驱动都需要一定电压等级的隔离性能。一般在隔离电源的地方，均需设置独立的包括原、副边电路的整套工作电源，电路复杂、效率低、体积大、成本高、可靠性低。

基金项目：国家重点基础研究发展计划项目(973计划)资助项目(2015CB251004)。

National Key Basic Research Program of China (973 Program)(2015CB251004)

本文针对 IGBT 串联多路隔离驱动电源，采用分布式供电方式，使用一套主电路产生多组彼此隔离的副边电压，和其他形式的电源相比，在输出功率和输出路数相等的情况下，具有电路简单、体积小、重量轻、效率高、可靠性高等显著优点。输出隔离电源的路数增减非常方便，特别是当输出隔离电源的路数较多时，该电源的优势就更为明显。

2 系统框架

用于 IGBT 串联断路器的整个系统的结构如图 1 所示：

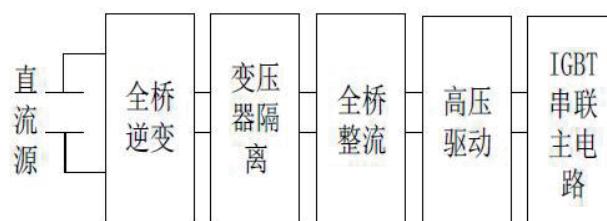


图 1 IGBT 串联断路器驱动供电结构

3 驱动供电系统设计

本文采用如图 2 所示的多路输出隔离驱动电源电路，它利用一组公用的交流母线，通过高频变压器隔离变换并进行整流、滤波、稳压。分布式供电方法解决了多路隔离输出的难题，并且在实际电路中它与供电对象之间可以靠

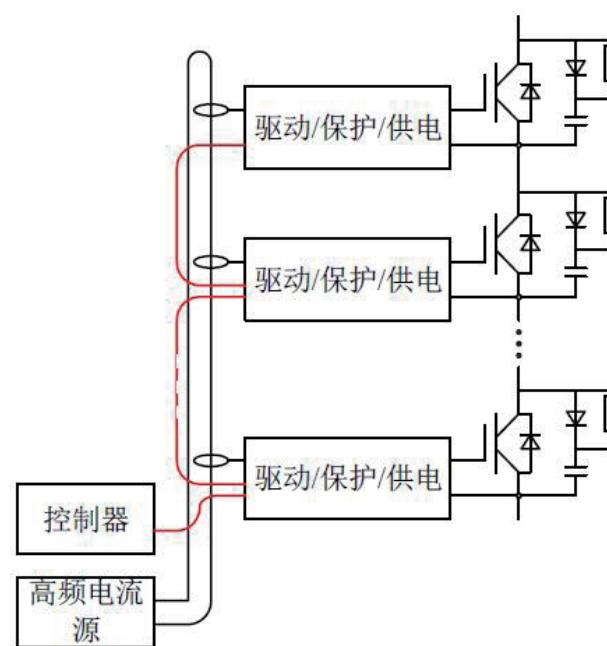


图 2 IGBT 驱动供电方案

得很近，同时解决了电磁干扰问题。隔离变压器的绝缘电压也可以做得比较高，原副边的分布电容比较小。

4 高频交流恒流源

多路输出高压隔离驱动电源方案中高频电流源采用如图 3 所示的 DC/AC 电路，该电路将前端 48V 开关电源的输出直流电压源转换为高频交变恒流源。

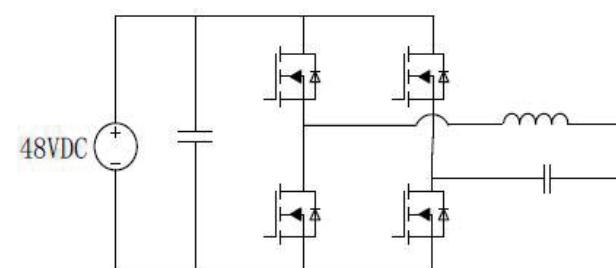


图 3 高频交变恒流源电路拓扑

高频交变恒流源是整个系统的关键。高品质高频交流母线是整个系统稳定性和可靠性的保证，该电源有下列特点：

- 1) 与高频电压母线相比，母线上输出高频电流，输出电源模块不存在串联均压问题，使整个电路简单可靠。
- 2) 与普通串联谐振电路相比，输出不需整流和滤波电容，谐波含量低。
- 3) 电路工作在感性模式，开关管实现零电压开通。

高频逆变电路中开关管选择 Infineon IPP110N20N3 G MOSFET，参数如表 1 所示。该管内阻很小，导通损耗很低。

表 1 MOSFET 部分参数

V_{DS}	200	V
$R_{DS(on)max(TO263)}$	10.7	$m\Omega$
I_D	88	A

高频逆变电路驱动控制芯片选择 IR2086S。该芯片的功能如下：

- 1) 全桥控制
- 2) 50% 占空比，最高频率 500k 可调
- 3) 死区时间 50ns 到 200ns 可调
- 4) 驱动电流 $\pm 1.2A$

本方案中开关频率定为 20KHz，外围电路参数计算：

$$f = 1 / (2 \cdot R_T \cdot C_T) = 20K \quad (1)$$

$$R_T \cdot C_T = 2.5 \times 10^{-5} \quad (2)$$

选取 $R_T = 75\text{K}\Omega$ $C_T = 330\text{pF}$ $f = 20.2\text{kHz}$

过流保护重启时间由 CD 决定, CD 选取 100nF 设置谐振 LC 网络呈感性, 使得开关管在开通前, 其电压已下降到零, 从而实现零电压开通 (ZVS)。

5 高频交流变压器

图 4 所示为电流变压器示意图, 它的磁心采用环形结构, 一次绕组只有一匝。每个驱动电路都配备一个电流变压器。

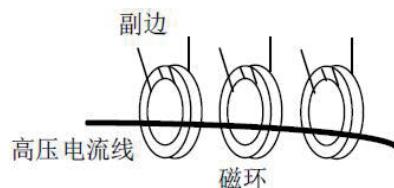


图 4 电流变压器示意图

用一根高压绝缘电缆线穿过所有电流变压器磁环的中心构成电流变压器的共用一次侧, 磁环的二次侧绕组可以适当地绕几匝, 取出交变电流功率信号, 经过整流、滤波、稳压, 即可得到一路隔离驱动电源。其特点如下:

分布式多路输出。所有驱动电源共用一个原边电路, 容易实现驱动个数的增减。

隔离电压等级高。采用高压电缆传递功率, 保证了一、二次侧间的隔离电压至少为这根高压绝缘电缆线的隔离电压, 可以比较容易地实现变压器的一、二次侧绕组之间高压等级的隔离。

作为电流变压器的核心, 磁芯的选择尤为重要。本文选择 VAC 铁基纳米超微晶环形磁芯, 它具有高饱和磁感, 低损耗和优良的温度稳定性。广泛应用于开关电源、高频放大功率逆变电源中的主变压器以及脉冲变压器等。较大功率 ($500\text{W} - 200\text{KW}$) 下和中高频 ($1 - 100\text{kHz}$) 下是最理想的磁芯材料。

计算磁芯的窗口面积:

$$A_w = \frac{2N_1 I_1}{KJ} = \frac{2 \times 1 \times 2.08}{0.3 \times 3 \times 10^6} = 4.62 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (3)$$

式中功率按 100W 计算, 原边电流为 2.08A , K 为绕组填充系数, 取 0.3 , J 为导线的电流密度, 取 3A/mm^2 。

计算磁芯截面积 (磁芯饱和磁通密度为 1.2T):

$$A_e = \frac{\int u_2 dt}{N_2 \Delta B} = \frac{24 \times \frac{1}{20\text{k}} \times 0.5}{20 \times 0.6} = 0.5 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

磁芯尺寸标注如图 5 所示, 根据 A_e 和 A_w 选择环形磁芯的尺寸选择塑料封装的 W424。 A_e 和 A_w 均满足设计要求。

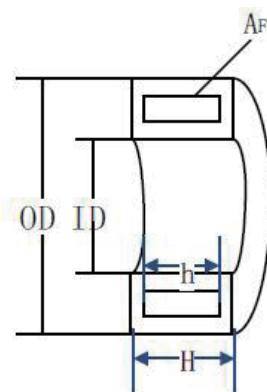


图 5 环形磁芯外形尺寸

6 整流稳压电路

IGBT 驱动电源从电流变压器取能并经过整流稳压获得。本文采用如图 6 所示的线性稳压电路。与传统线性稳压电路相比, 此处采用 PMOS 管用于过流保护, 电路简单可靠。

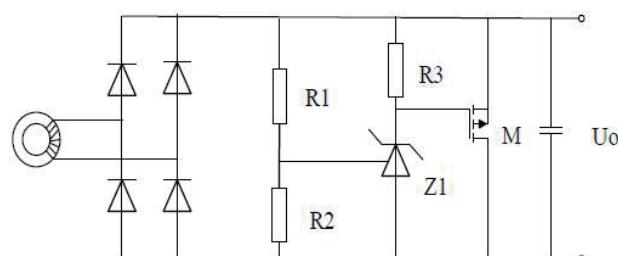


图 6 线性稳压原理图

如图 6 所示, R_1 , R_2 , 和 Z_1 组成稳压电路, R_3 和 M 组成过电流保护电路。当输入电流过大时, M 导通, 负载越小时, 流过 M 的电流越大, 从而起到了过电流保护的作用。

二极管整流桥选择 DB107S 芯片。最大阻断电压 $V_{rrm} : 1000\text{V}$, 最大平均正向电流 $I_f : 1\text{A}$, 最大正向导通压降 $V_f : 1\text{V}$, 功耗 $P_d : 1.4\text{W}$ 。

PMOS 选择 Infineon SPB80P06P。部分参数如表 2 所

示。

表 2 PMOS 部分参数

Drain source voltage	V _{DS}	-60	V
Drain-source on-state resistance	R _{DS(on)}	0.023	Ω
Continuous drain current	I _D	-80	A

稳压电路参数计算如下：

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times 2.5V = 24V \quad \frac{R_1}{R_2} = 8.6 \quad (5)$$

精度为 1% 的金属膜电阻：

$$R_1 = 118K \quad R_2 = 13.7K$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 8.613$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times 2.5V = 9.613 \times 2.5 = 24.03V \quad (6)$$

7 实验与分析

为验证此方案的可行性，本文设计了 6KV 三个 IGBT 串联断路器，将此驱动电源用于 IGBT 开关管驱动，装置实物如图 7、8：

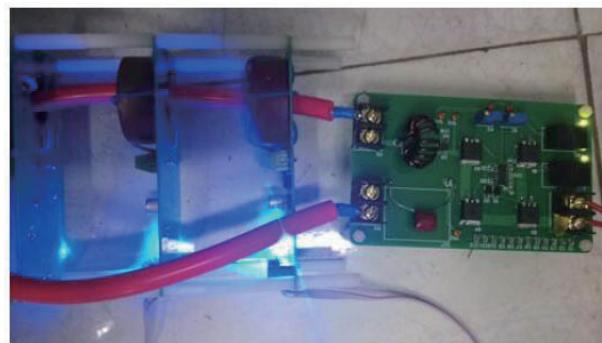


图 7 驱动供电电源

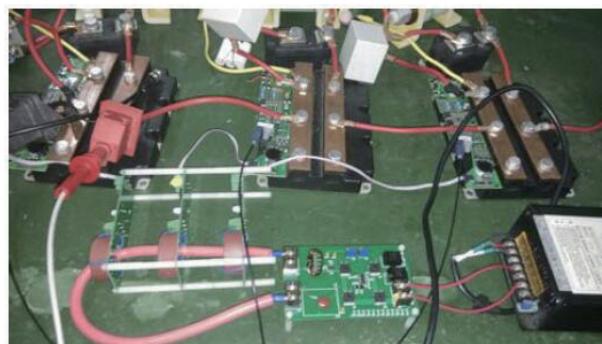


图 8 IGBT 串联直流断路器系统

可以看出本设计简单易行，可以很好地解决高压隔离

驱动供电问题。

48V 直流开关电源逆变后的高频方波与变压器二次侧经整流稳压后的波形如图 9、10：

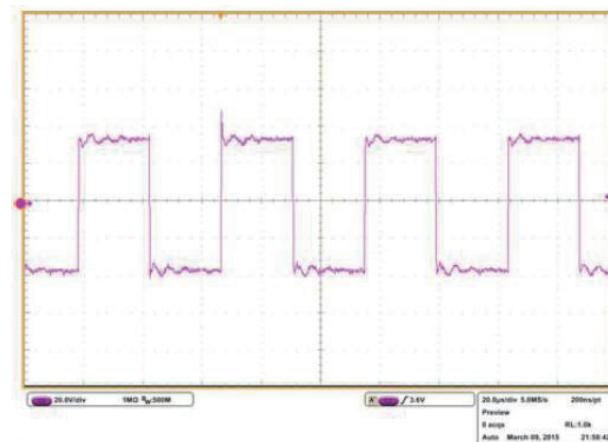
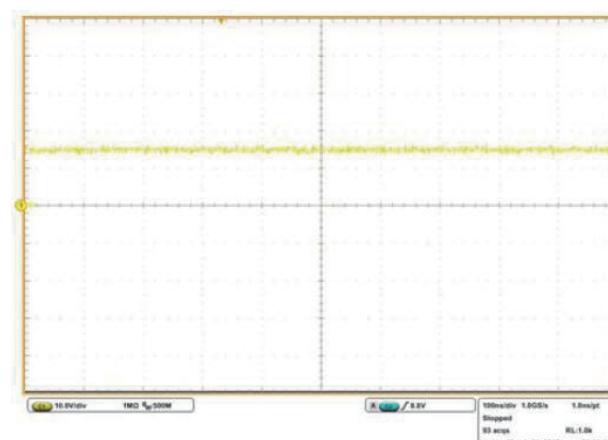
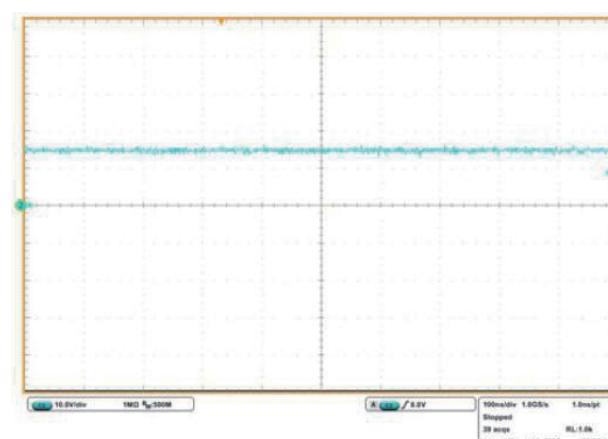


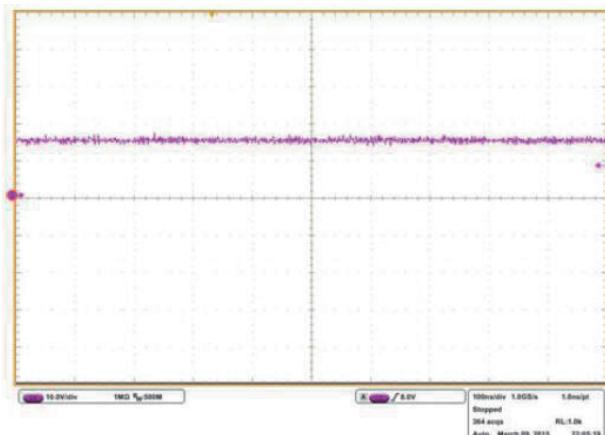
图 9 高频交流电源



a) 第一路驱动电源电压波形



b) 第二路驱动电源电压波形



c) 第三路驱动电源电压波形

图 10 驱动电源电压波形

可以看出该电源能够得到稳定的驱动电压，因此该方案切实可行。

8 结论

本文设计了一种电路结构简单、体积小、可靠性高的驱动电源，能够得到稳定的驱动电压。最后将其应用于 IGBT 串联直流断路器，实验表明该设计稳定可靠，切实可行。对于其他电位浮动的驱动供电，该电源也可满足需求。

参考文献

- [1] Kwak S, Toliyat H A . Multilevel converter topology using two types of current-source inverters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006, 42(6) :
- [2] Wanmin F, Zhengyu L, Linghui X, et al. High insulation

multiple output switch power supply used for driving of IGBTs in medium-high voltage inverter[C]. . Applied Power Electronics Conference and Exposition, Miami, USA, 2003 : 1066-1092.

- [3] 金高先. 用于中高压电力电子装置的高压隔离驱动电源的研究 [D]. 杭州：浙江大学， 2005.
- [4] Heinemann L, Mast J, Scheible G, et al. Power supply for very high insulation requirements in IGBT gate-drives[C]. Industry Applications Conference, St. Louis, USA, 1998 : 1562-1566.
- [5] 张黎, 尹向阳. 高压大功率 IGBT 驱动模块的技术特点 [J]. 电源世界. 2008(03).
- [6] 陈哲. 多路输出高压隔离驱动电源的研究 [D]. 南京：南京航空航天大学， 2012.
- [7] 苏斌, 吕征宇. 新型中高压隔离驱动电源的架构 [J]. 电工技术学报. 2010.
- [8] 陈哲, 肖嵒. 多路输出高压隔离驱动电源的研究 [J]. 电力电子技术. 2012(01).
- [9] 宋佩云, 肖嵒. 电流母线型多输出高压隔离 IGBT 驱动电源 [J]. 电力电子技术. 2015.
- [10] Shiqi Ji Ting Lu, Zhengming Zhao. Modelling of High Voltage IGBT With Easy Parameter Extraction [A]. Power Electronics and Motion Control Conference [C]. Harbin, 2012 : 1511-1515.

作者简介

任宇 (1989)，男，博士研究生，研究方向为：宽禁带半导体器件分析建模及应用、大功率半导体器件串联技术。