

应用指南AN-2201

SCALE-2产品系列

SCALE-2、SCALE-iFlex和SCALE-iFlex LT 门极驱动器的并联

摘要

为了克服有限的额定电流并实现更高的功率容量，越来越多的IGBT功率模块采用并联方式。确保并联IGBT之间的集电极均流控制和集电极-发射极电压对称是门极驱动器面临的主要挑战。Power Integrations采用SCALE™-2技术的门极驱动器（例如1SP0630、1SP0635、1SP0340和1SP0335产品系列）配合SCALE-iFlex™和SCALE-iFlexLT产品系列可解决这些难题。本应用指南将阐述SCALE-2和SCALE-iFlex/SCALE-iFlex LT门极驱动器的并联概念。本文档还为并联IGBT模块本身的硬件优化提供基本指导原则，因为机械结构也会对并联IGBT模块之间的电流分配产生重大影响。

并联简介

并联IGBT之间的漏极电流变化是由静态和动态不平衡造成的。如果并联IGBT之间的电流分配不佳，其中一个IGBT将需要承受比其他IGBT大得多的电流，从而降低变换器的利用率，并降低可靠性，最终导致应力过大的IGBT出现故障。

图1所示的不对称电流分配受多种因素影响。IGBT模块特性（包括饱和电压、内部门极电阻和杂散电感）会影响静态和动态电流分配。为此，功率半导体制造商提供了具有匹配参数的并联IGBT模块。建议使用挑选过的IGBT模块。

门极电压的共模干扰、杂散电感和开关延迟是优化并联工作的门极驱动器时必须考虑的关键参数。此外，直流和交流母排的机械设计以及散热条件在优化电流分配方面也起着重要作用。

下文将介绍Power Integrations的并联解决方案，并为优化系统设计提供指导。

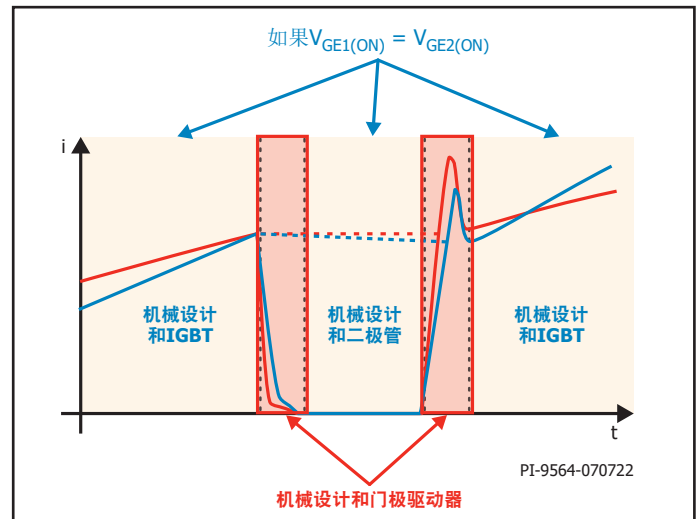


图 1. 双脉冲测试期间电流不对称的控制因素

主从SCALE-2驱动器的并联

SCALE-2驱动器支持主从操作，可用于并联IGBT模块。如果需要并联多达四个IGBT模块，则必须使用一个主驱动器和多个从驱动器。图2所示为其基本工作原理。需要注意的是，可并联的模块数量取决于所选的驱动器系列和所使用的IGBT模块。请参阅相应的数据手册，以了解详细信息。对于1SP0635驱动器，电气隔离在主驱动器中实现。对于1SP0335、1SP0630和1SP0340门极驱动器系列，电气隔离通过单独的DC-DC变换器单元实现。

主板上通过光纤接口对输入和状态反馈信号实现电气隔离。从单元的功率以及所需的信号通过接口总线在主从门极驱动器之间传输。主从驱动器上的接口X2和X3完全一致，可以互换。并联接口X1和X2可确保并联驱动器同步开关。

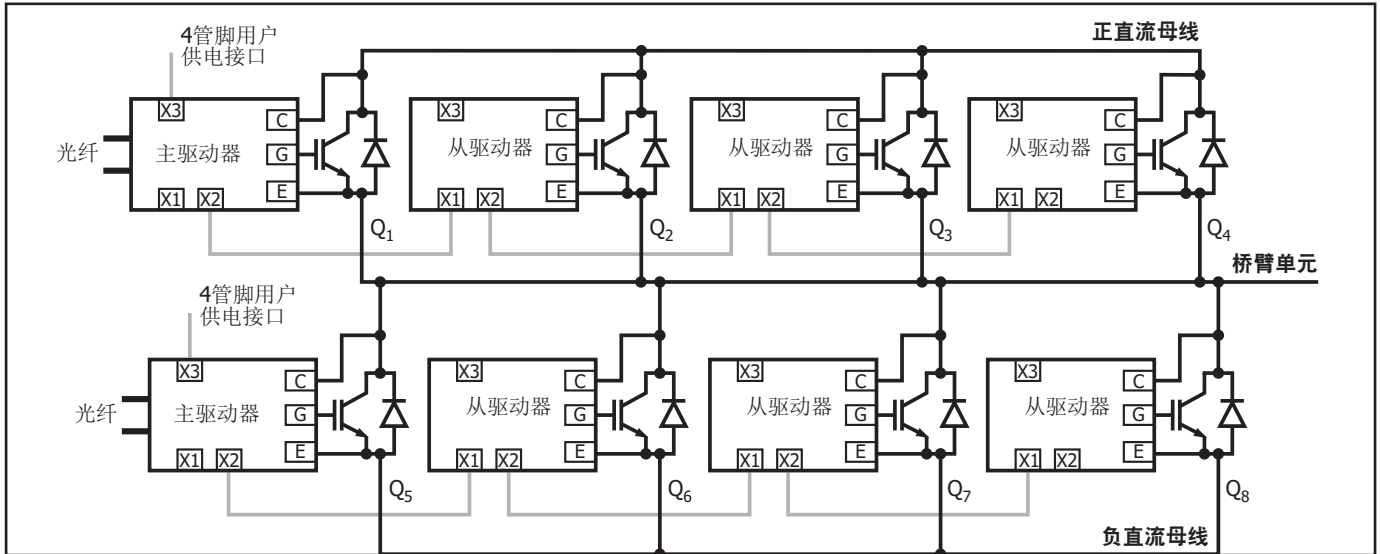


图 2. 半桥配置中一个主驱动器和三个从驱动器的并联

机械设计要点

要实现并联门极驱动器的对称工作，以下几点至关重要：

- 涉及并联IGBT模块的变换器结构应尽可能对称特别是，每个并联的IGBT模块的直流母线杂散电感应当相同 ($L_{S1X} \approx L_{S2X}$, $L_{S5} \approx L_{S6}$ - 参见图3)。
- 重要的是，在所有并联的IGBT模块之间实现低电感连接（负载条件 L_{S5} 和 L_{S6} 除外）。差异将导致集电极电流和集电极-发射极电压不对称。这反过来又会导致IGBT之间出现动态发射极电位差，并导致共模电流在门极驱动器之间流动。这也会导致IGBT模块之间的开关损耗不对称。在最坏的情况下，对称性会导致误开关。稍后提供解决方案。
- 尽量减小变换器的直流回路电感。

增大输出电感 L_{S5} 和 L_{S6} 有助于降低换流期间的动态电流不平衡，因为当输出电压不同时，它们会限制输出之间的电流差。

应该注意的是，双脉冲测试通常会导致不平衡度高于连续变换器工作时的不平衡度，因为后者受益于热平衡效应。

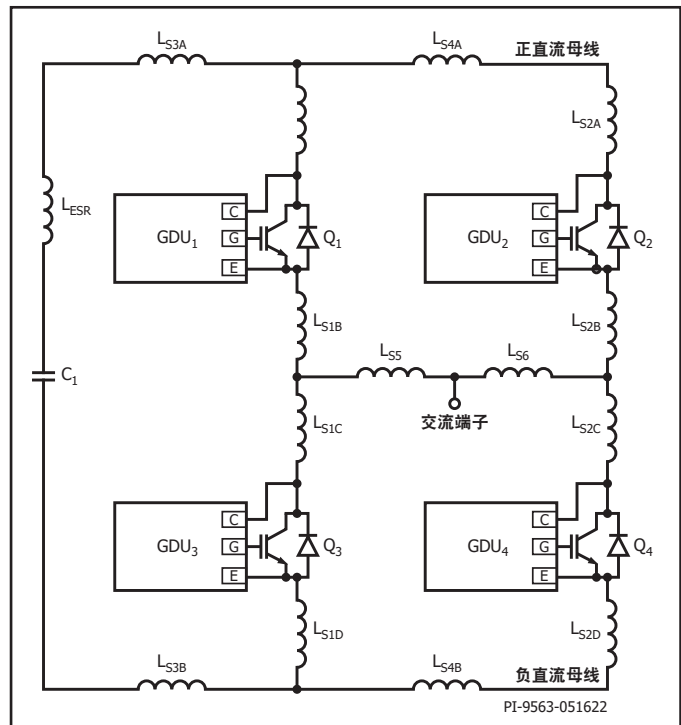


图 3. 存在杂散电感的半桥拓扑

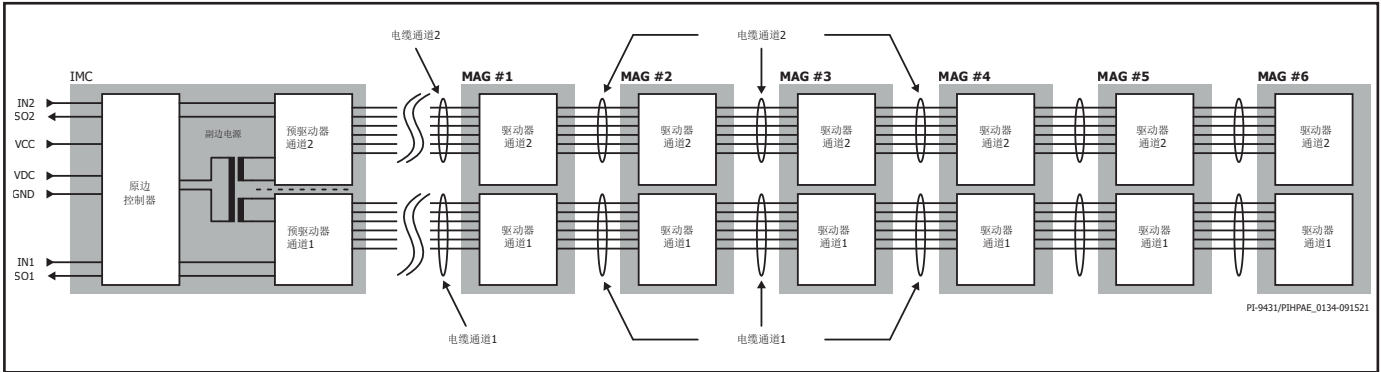


图 4. 配有6个并联MAG的SCALE-iFlex LT IMC原理框图

优化机械布局

并联IGBT之间的电流分配受机械结构微小变化的影响。IGBT和二极管的均流控制都会受到交流和直流端子寄生阻抗的影响。

为了研究双脉冲测试期间直流和交流机械连接对并联工作的影响，我们将假设门极驱动器和IGBT模块没有影响（注意，对于实际系统，需要考虑所有寄生门极驱动器阻抗）。建议在优化设计时，分别更改每个参数，以确定其效果。以下指导原则有助于实现最佳性能：

1. 静态均流控制主要受交流母线连接的影响，应首先进行优化。负载电感的类型和位置会对静态均流产生重大影响。
2. 交流母排的设计和负载连接器的连接（以及相关的寄生效应）不会对IGBT在导通时的开关对称性产生重大影响。因此，交流侧寄生阻抗的影响并不是导通期间动态均流的关键因素。
3. 直流侧对导通时的动态电流对称性有很大影响。
4. IGBT连接器螺钉的扭矩可能会对开关期间的动态均流产生重大影响。按照建议的IGBT模块安装扭矩进行安装。

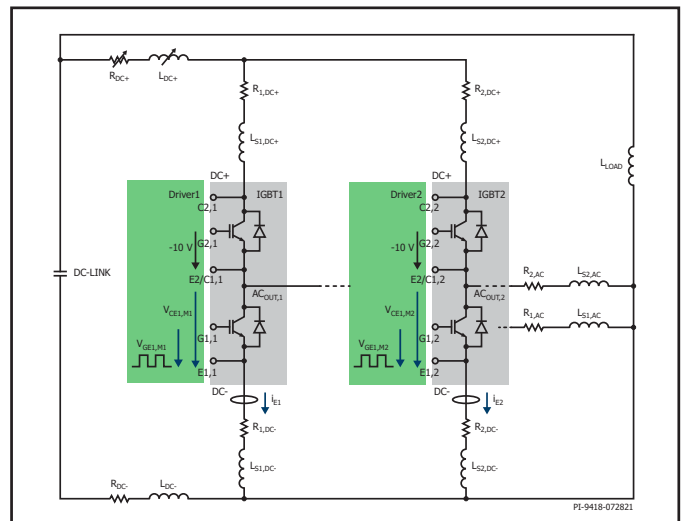


图 5. 双脉冲测试期间功率回路结构对均流控制的影响

与SCALE-iFlex和SCALE-iFlex LT门极驱动器系列并联

SCALE-iFlex和SCALE-iFlex LT轻松支持IGBT模块的并联，以最小的开发成本提供高度的灵活性和系统可扩展性。

这两种门极驱动器系列均包括一个绝缘主控板(IMC)单元，该单元支持多个模块适配门极驱动器(MAG)以及随附的电缆套件。图4所示为与6个并联MAG搭配工作的IMC的原理框图。

IMC适用于耐压高达3300V的功率模块，而MAG则适用于高3300V电压等级的不同功率模块和各种芯片技术。

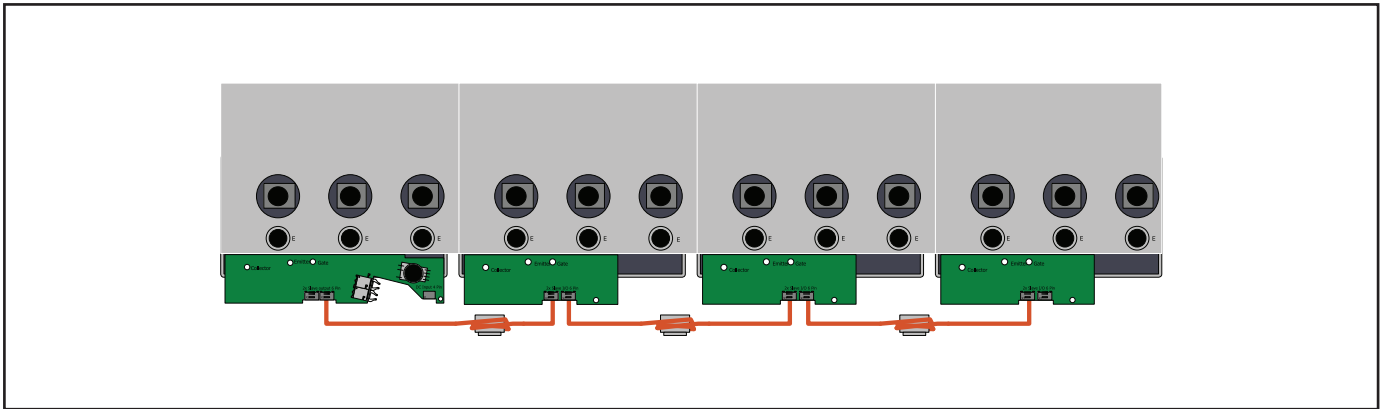
不同的MAG结构专用于特定的功率模块。有关详细信息，请参阅各自的数据手册。如需讨论其他模块要求，请联系Power Integrations。需要注意的是，可并联的模块数量取决于所选的驱动器系列和所使用的IGBT模块。数据手册中提供了这些信息。

主从SCALE-2驱动器的并联说明

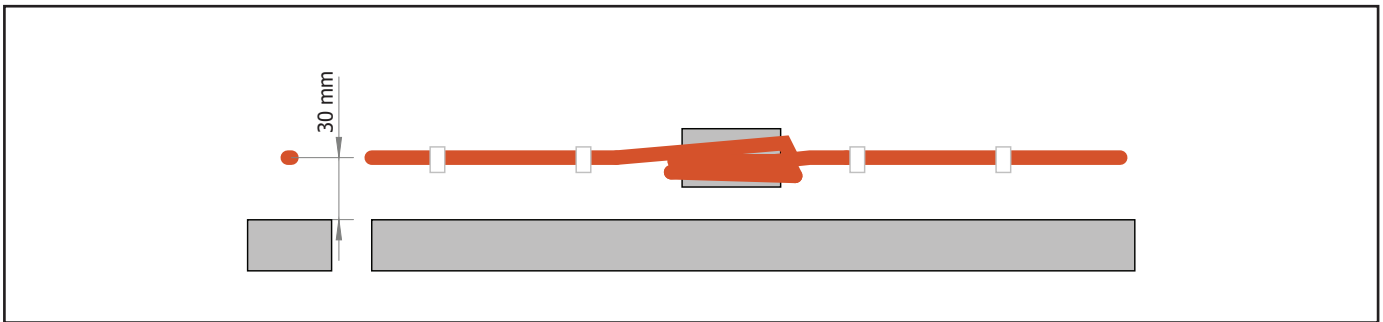
为了降低并联IGBT发射极之间的共模噪声和环流，建议如下：

1. 使用一个直流母线母排来实现IGBT模块并联。所有并联IGBT的发射极应相互连接，以确保电感和电阻尽可能小，如图6(a)所示。

2. 确保连接电缆与下一个导电面至少相距30mm，以避免共模噪声—如图6(b)所示。这样可以降低共模电容。
3. 如有需要，可通过在并联电缆中添加铁氧体电感来降低主从驱动器之间（或从门极驱动器之间）的共模电流。如果使用，必须确保这些电感不会饱和。正确选择合适的材料和磁芯尺寸。增加磁芯的绕线圈数可以增大铁氧体的电感，并降低饱和的可能性。



(a)



(b)

图 6. 主从SCALE-2驱动器并联结构设计要点：(a)使用一个母排连接所有IGBT；(b)连接电缆中添加铁氧体磁芯，且连接电缆和铁氧体采用塑料“L型脚座”

修订版本	注释	日期
A	初始版本。	07/22

有关最新产品信息，请访问：www.power.com

Power Integrations reserves the right to make changes to its products at any time to improve reliability or manufacturability. Power Integrations does not assume any liability arising from the use of any device or circuit described herein. POWER INTEGRATIONS MAKES NO WARRANTY HEREIN AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL WARRANTIES INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY RIGHTS.

Patent Information

The products and applications illustrated herein (including transformer construction and circuits external to the products) may be covered by one or more U.S. and foreign patents, or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations patents may be found at www.power.com. Power Integrations grants its customers a license under certain patent rights as set forth at www.power.com/ip.htm.

Life Support Policy

POWER INTEGRATIONS PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF POWER INTEGRATIONS. As used herein:

1. A Life support device or system is one which, (i) is intended for surgical implant into the body, or (ii) supports or sustains life, and (iii) whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use, can be reasonably expected to result in significant injury or death to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

Power Integrations, the Power Integrations logo, CAPZero, ChiPhy, CHY, DPA-Switch, EcoSmart, E-Shield, eSIP, eSOP, HiperLCS, HiperPLC, HiperPFS, HiperTFS, InnoSwitch, Innovation in Power Conversion, InSOP, LinkSwitch, LinkZero, LYTSwitch, SENZero, TinySwitch, TOPSwitch, PI, PI Expert, PowiGaN, SCALE, SCALE-1, SCALE-2, SCALE-3 and SCALE-iDriver, are trademarks of Power Integrations, Inc. Other trademarks are property of their respective companies. ©2022, Power Integrations, Inc.

Power Integrations全球销售支持网络

全球总部

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138, USA
Main: +1-408-414-9200
Customer Service:
Worldwide: +1-65-635-64480
Americas: +1-408-414-9621
e-mail: usasales@power.com

中国（上海）

徐汇区漕溪北路88号圣爱广场
2401室
上海|中国, 200030
电话: +86-21-6354-6323
电子邮件: chinasales@power.com

中国（深圳）

南山区科技园南八路二号豪威科技大厦
17层
深圳|中国, 518057
电话: +86-755-8672-8689
电子邮件: chinasales@power.com

德国

(AC-DC/LED/电机控制销售)
Einsteinring 24
85609 Dornach/Aschheim
Germany
Tel: +49-89-5527-39100
e-mail: eurosales@power.com

德国（门极驱动器销售）

HellwegForum 3
59469 Ense
Germany
Tel: +49-2938-64-39990
e-mail: igbt-driver.sales@power.com

印度

#1, 14th Main Road
Vasanthanagar
Bangalore-560052 India
Phone: +91-80-4113-8020
e-mail: indiasales@power.com

意大利

Via Milanese 20, 3rd. Fl.
20099 Sesto San Giovanni (MI) Italy
Phone: +39-024-550-8701
e-mail: eurosales@power.com

日本

Yusen Shin-Yokohama 1-chome Bldg.
1-7-9, Shin-Yokohama, Kohoku-ku
Yokohama-shi,
Kanagawa 222-0033 Japan
Phone: +81-45-471-1021
e-mail: japansales@power.com

韩国

RM 602, 6FL
Korea City Air Terminal B/D, 159-6
Samsung-Dong, Kangnam-Gu,
Seoul, 135-728, Korea
Phone: +82-2-2016-6610
e-mail: koreasales@power.com

新加坡

51 Newton Road
#19-01/05 Goldhill Plaza
Singapore, 308900
Phone: +65-6358-2160
e-mail: singaporesales@power.com

台湾地区

5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec. 1
Nei Hu Dist.
Taipei 11493, Taiwan R.O.C.
Phone: +886-2-2659-4570
e-mail: taiwansales@power.com

英国

Building 5, Suite 21
The Westbrook Centre
Milton Road
Cambridge
CB4 1YG
Phone: +44 (0) 7823-557484
e-mail: eurosales@power.com