

# 无铁芯变压器——一项适用于半桥驱动器芯片的新技术

M.Münzer<sup>1</sup>; W. Ademmer<sup>1</sup>; B. Strzalkowski<sup>2</sup>; K. T. Kaschani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> eupec GmbH, Max-Planck-Straße 5, D-59581 Warstein, [mark.muenzer@eupec.com](mailto:mark.muenzer@eupec.com), 电话: ++49-(0)2902-764-1195

<sup>2</sup> Infineon Technologies, Balanstraße 59, D-81609 München

要在半桥配置中驱动上半桥开关，必须将信号从微控制器传输到悬浮的高边电势。根据驱动电路的性能级别，高压芯片将对信号转换采用不同类型电平转换技术、光耦合器或变压器。使用电平转换技术的高压芯片相对比较便宜，但原则上它们不满足电气隔离。另一方面，光耦合器确实能够提供安全隔离，但它们的性能会随着时间推移而下降。尤其是在高性能驱动中，尽管分立式变压器非常昂贵，但它们是常用解决方案。通过在硅芯片上集成双绕组无铁芯变压器，英飞凌科技与 eupec 合作开发出了一项高性价比解决方案，此方案将变压器的优点融入芯片中。本文说明了用于构建第一个半桥驱动器芯片的技术。将为您呈现对信号传输的首次测量以及绝缘电压。鉴于能够将各种功能集成到芯片中，将讨论半桥驱动器的潜在特性。

## 栅极驱动——需求和市场

MOS 控制的功率半导体是工业界中的现有技术。要在驱动这些器件在驱动应用中必须给栅极对发射极施加电压参照微控制器的 PWM 信号由于微控制器的输出信号不够强并且额定电压较低，因此必须增强信号并调整电压电平。如果功率器件的电势相同，那么栅极驱动器的这些功能够用，但在大多数情况下，发射极与微控制器的电势不同。

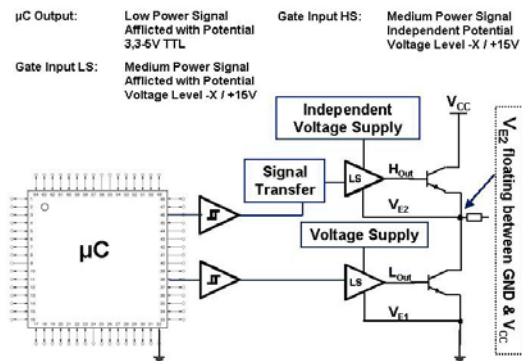


图 1：框图半桥配置

我们来看一下半桥配置（图 1），由于在电子电路中此配置很常见，因此很容易看出微控制器与高边发射极  $V_{E2}$  之间的电压不仅

不同，而且会在工作期间发生变化。要将 PWM 信号从微控制器传输到高边的功率半导体，需要某种信号转换。总之，我们可以说栅极驱动器的最低功能是进行增强和电平转换。

## 电平转换的概念

行业标准要求变频器的功率级与控制台之间具有安全电气隔离。在大多数低性能驱动应用中，在控制台与微控制器之间实施此隔离实现了更高的性价比。

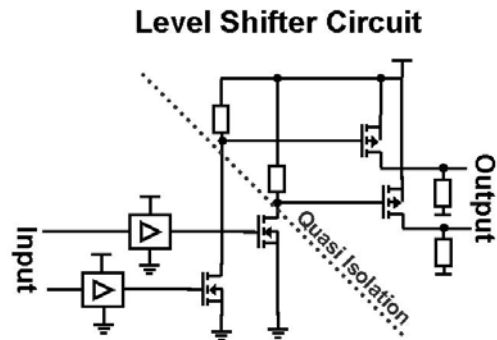


图 2：具备准隔离的单片集成电平转换电路

由于微控制器和功率级之间不再需要进一步绝缘，因此可以使用具有单片集成电平转换电路的高压芯片（类似于图 2 中显示的芯片）。对于 600V 及以下电压，这些芯片的性价比非常高。对于更高电压，输入与输出之间的准隔离势垒所需的硅面积导致此解决方案成本高昂。具有更高性能级别的驱动通常需要在微控制器和功率级之间进行隔离。对于工作电压高达 890V 的应用来说，针对这些驱动的首要选择是具备安全隔离的光耦合器。所有光耦合器解决方案的一个主要缺点是传输特性，速度非常慢，甚至会随时间推移而劣化。除了未限制到 890V 应用之外，光纤也有相同的问题。还可以通过脉冲变压器设计实现高隔离电压。这些分立式脉冲变压器的传输特性令人满意，但其成本和物理尺寸导致我们需要寻找新的解决方案。无铁芯变压器这一单片集成的平面型器件正是这些新解决方案之一。

### 无铁芯变压器技术

无铁芯变压器技术的主要理念是将变压器的两个线圈集成到一个芯片中，如图 3 所示。尽管分立式变压器需要铁芯来引导磁通量，但是芯片中的两个线圈可以放置在足够近的位置以省去铁芯。

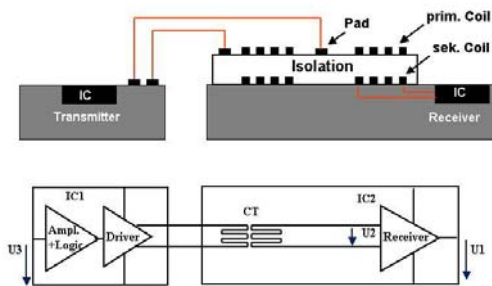


图 3：无铁芯变压器技术原理

归功于线圈的设计和尺寸，可以将耦合电容降低到极低水平，即输入和输出之间的总电容受外壳的引线框架设计控制。智能线圈设计也可以使其对外部磁场不敏感。要对工作电压最高为 890V 的应用

保证安全隔离，根据 EN50178 线圈之间的势垒必须承受 6kV 的电压。图 4 显示了对无铁芯变压器设备执行的局部放电试验的结果，此设备具有使用二氧化硅制成的绝缘层并经过了持续的压力测试。

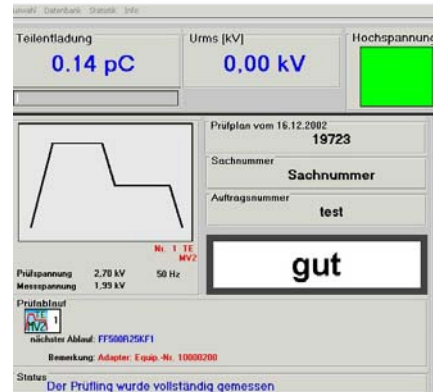


图 4：局部放电试验的结果

二氧化硅是一项在芯片中用于隔离的常用技术，但仅在具备合适的生产技术的情况下，这些才能形成足够的厚度。通过英飞凌的 SPT5，实现了主要针对汽车应用开发的 BCD 芯片技术，此技术支持实现平面型高隔离变压器流程。由于变压器仅能传输窄脉冲，因此将集成专用发射器和对应的接收器。接收器与变压器放置在同一芯片中，而发射器位于另一芯片中。焊线将此发射器连接到变压器的主线圈。图 5 显示了一张原型照片，此照片展示了发射器、焊线连接、线圈以及接收器。

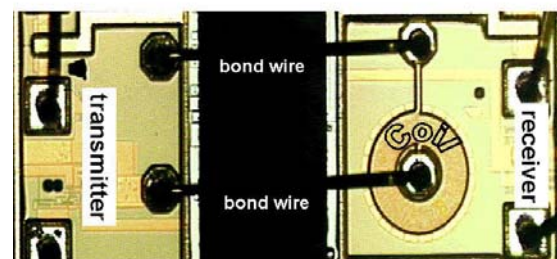


图 5：无铁芯变压器芯片组的照片

## 信号传输

平面型变压器的脉冲响应通常不超过 2ns。另外，随时间或温度变化，它几乎未表现出性能下降。因此，平面型变压器需要能够快速处理信号的发射器和接收器。通过适当的变压器设计，几乎可以完全抑制外部噪声。另外，针对极其嘈杂环境中的应用，提供了智能信号传输和过滤。通过此方式，可以承受外部磁通瞬变及高达 50kV/ $\mu$ s 的瞬态高边基准电压突变。平面型变压器及其发射器和接收器的传输延迟大约为 20ns，而所开发的 IGBT 驱动器的总体传输延迟大约为 50ns（图 6）。图 6 中的电压根据图 3 中的指定命名。

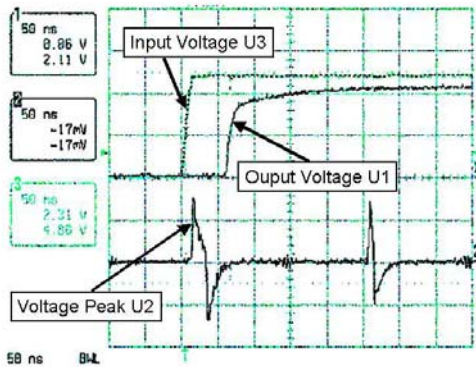


图 6：无铁芯变压器原型的第一次测量

由于传输速率高达 100MHz，因此无铁芯变压器技术不仅适用于栅极驱动单元。还可以将其用作适用于需要（安全）绝缘以及高数据速率的各类产品的基础技术。

## 2ED020I12-F – 基于无铁芯变压器技术的第一个 IGBT 栅极驱动

过去一年，eupec GmbH 生产出了名为 EICE-Driver 的新系列 IGBT 栅极驱动。现在，针对中功率应用推出了 2ED020I12-F。图 7 中显示了驱动器的框图。

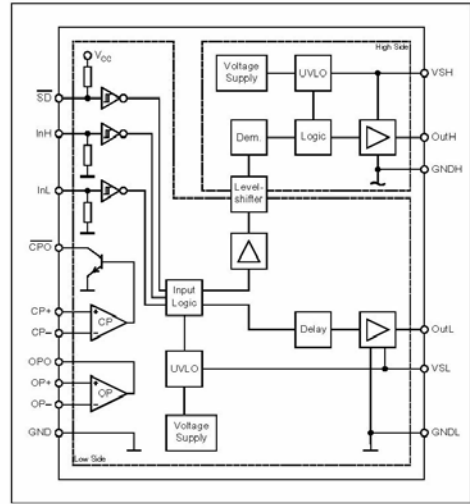


图 7：框图 2ED020I12-F

2ED020I12-F 是具有针对高边驱动器级的功能性隔离的半桥驱动器，额定输出为 2A。低边驱动器级和输入以及额外的通用比较器和通用运算放大器集成在同一芯片中。还提供了标准逻辑功能，例如高边和低边的欠压闭锁。为了满足功能性隔离 P- DSO-20 的必要爬电距离，对 2ED020I12-F 选择了具有空开两个引脚的外壳，如图 8 所示。



图 8：2ED020I12-F 的照片

## 结论

本文说明了放大和电平转换是栅极驱动的主要任务。已讨论用于电平转换的各种技术。通过使用无铁芯变压器技术，引入了一种设计具有电流隔离的信号发射器的新方法。图 9 中总结了所讨论的电平转换技术的主要优点和缺点。

## Comparison of level shifting technologies

<b>1.) IC with monolithically integrated level shifter circuit</b>	
+ cheap	- quasi isolation
+ integration of logic functions	- only available for $\leq 1200V$
+ big temperature range	- slow
	- sensitive to EMI
<b>2.) Opto couplers</b>	
+ isolation capability	- expensive
+ EMI stability	- aging transfer characteristic
	- reliability
	- slow
<b>3.) Discrete pulse transformer</b>	
+ isolation capability	- expensive
	- size
	- energy consumption
<b>4.) Coreless transformer</b>	
+ isolation capability	
+ cheap	
+ integration of logic functions	

图 9: 关于电平转换的概述

### 参考资料

- (1) K.Krieger, Dissertation, "Integriertes Energie- und Datenübertragungssystem, Modelbildung und systemorientierte Optimierung von monolithisch integrierten Mikrospulen, Fachbereich Physik und Elektrotechnik, Universität Bremen, April 1999
- (2) Y.Hui, H.Shu-Hung Chung, S.C.Tang.: Coreless PCB Transformers for Power MOSFET/IGBT Gate Drive Circuits, IEEE Transaction on Power Electronics, V.14, No.3, May 99
- (3) B.Strzalkowski: A monolithic transformer in control circuitry of power electronics, EDPE 2001 Kosice/Slovak Republic
- (4) A.Niknejad, R. Meyer.: Analysis, Design, and Optimization of Spiral Inductors and Transformers for SI RF IC's, IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 33, pp. 1470-1481, Oct. 98

除了物理设计之外，还涉及了高效信号传输所需的措施。最后，展示了第一个采用无铁芯变压器技术的产品。此产品未充分利用无铁芯变压器的隔离功能。eupec GmbH 与英飞凌科技合作的下一步将是开发以安全绝缘为特性的栅极驱动。到那时才会实现对新概念的充分利用。已经对更多产品构想进行了评估，并且将按照这些构想进行实践。