

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

简介

在高压系统下为诸如微控制器、模拟到数字转换器、独立的门极驱动器、或电压监控 IC，提供独立的低压偏置功率，通常是透过独立的 DC-DC 转换器来达成。如果该高压系统分布在几个模块下，此架构可能在低压侧需要对各个模块建立并联的 DC 总线以支持多个独立的低功率 DC-DC 转换器。由于在这个情境下运用许多次该应用场景目前较为常见，故高效且符合成本效益的布线图是最佳做法。

此应用说明强调，在这些应用场景下运用推挽式变压器的设计效益是经过验证的解决方案。运用 Bourns® HCTSM8 系列变压器做为案例，该系列变压器符合 AEC-Q200 标准并且拥有完整范围的匝数比 (turns ratios) 标准。多种的匝数比是一项可让同一基本电路图以同一组件及电路板配置重复运用在整个系统的重要功能。使用 HCTSM8 型变压器系列，设计人员能基于特定的输出电压以选择合适的加强绝缘变压器型号，以推动微控制器或绝缘的 IGBT 网关驱动器。

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

为什么推挽式 (Push-Pull) 变压器是最佳选择 电气优势

推挽式变压器一般认为在低电压及输入及输出低变动的环境下可运作良好。这项特性，对具需要稳定电源水平及输入电压偏置的微控制器或网关驱动器IC甚为理想。不像典型的反激及正激拓扑，推挽式拓扑可在稳定的输入输出电流下，提供更高的效率。当任何的输入及输出电流的变化，由于在开关时的功率损耗是恒定的，会影响电源效率。

此外，反激式 (flyback) 变压器可能会造成电磁骚扰 (EMI) 问题，即便该拓扑能有效率地处理宽输入范围，他们往往需要闭环控制，才能达到稳定的工作状态。然而，推挽式变压器在开环条件下可非常简易地操作。相较于闭环控制下所需的组件数，开环控制下只需结合固定占空比的驱动器，搭配两组 MOSFET、一颗根据输入/输出电压选择的合适的匝数比的变压器、两个肖特基二极管 (Schottky diodes)、以及两颗陶瓷电容。事实上，驱动器可以是已经在使用的微控制器。如果使用微控制器做为驱动器，那么需要额外的NPN晶体管极电阻以提供推拉式MOSFET的门极驱动。

选择推挽式变压器还有其他的原因。输出电流为经调整后的线性输出而非脉冲化，脉冲化的电流会带给二极管及电容器较重的负担。针对相对低电流的方案，增加一个符合成本效益的符合二极管提以有助于确保变压器的补偿和平衡。如果励磁电流不平衡，在绕线上的额外电流将造成驱动MOSFET的漏-源阻抗 (drain-to-source resistance) 增加。这会增加整个MOSFET的压降，并减少绕线上的电压，从而等效为不平衡的状态。

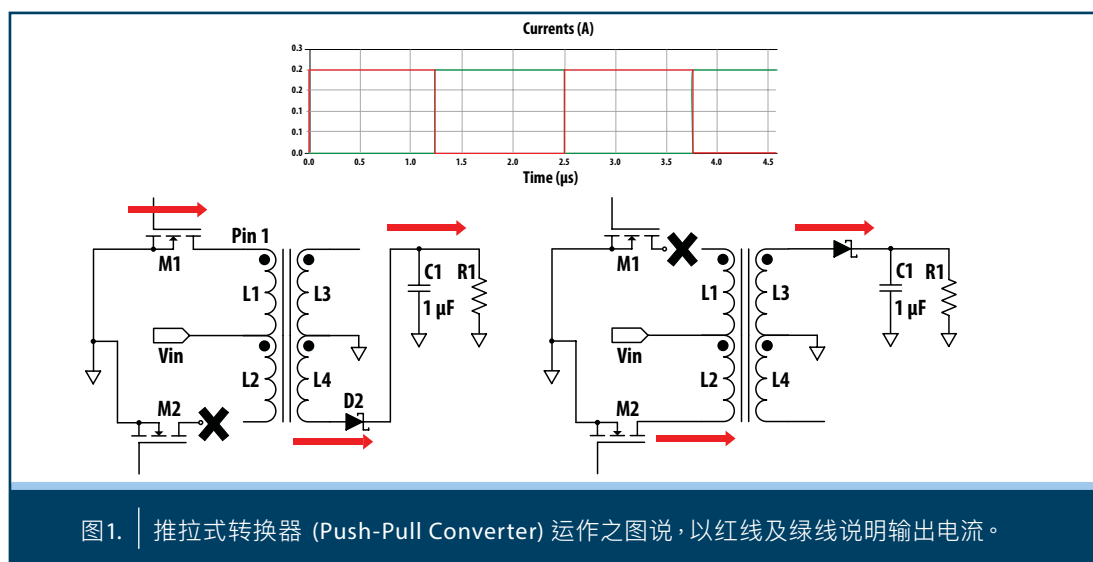


图1. 推挽式转换器 (Push-Pull Converter) 运作之图说，以红线及绿线说明输出电流。

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

为什么推挽式 (Push-Pull) 变压器是最佳选择 (续) 机构优点

节省空间

指定推挽式变压器用于低电压应用，带来许多节省空间的效益。它们通常比反激式 (flyback) 变压器占用较少空间。并且由于推挽式变压器是设计为「纯粹」变压器，相较于反激式变压器它们通常有较小的铁氧体磁芯。加上，在推挽式变压器的铁氧体磁芯不需要气隙，因此，可维持高度的有效磁导率，且在低匝数下实现高磁化感值。

在一个够高的开关频率及低DC直流电压下，所产生的磁通量（每匝的伏秒容量）可保持在饱和点之下。对比于在反激式变压器里分离式铁氧体磁芯，需要更多匝数以确保变压器不会因为电流而饱和。如果有空间限制的考虑，增加匝数会无可避免的增加DC直流阻抗导致效率降低。

建议采用具有环状磁芯的推挽式变压器。使其成为好选择的原因是，没有气隙的需要，且环状磁芯众所周知可在绕线间提供良好的耦合。这是因为磁通量只需传递短距离，且在绕线间较少消散。具有环状磁芯的推挽式变压器有着相对较高的电感系数，意味着可能不需要高匝数即能达到高磁化感值。并且，不需要线圈架，因为线是直接绕制在涂有高强度绝缘层的铁氧体上。线圈架会占用额外空间，如果该变压器是SMD贴装，则变压器的铁氧体的上端及底部会暴露在外。

而环状磁芯可以封装在隔离磁芯和电路板的机壳里。该设计上的不同点能够在减少了在高电压应用下PCB上的封装面积的前提下，任然满足依据绝缘标准 (IEC 60664) 及通讯设备标准 (IEC 62368) 订出安全距离（爬电距离和电气间隙）。这些标准，强制要求在PCB的高电压危险侧与低电压侧之间留下间距。如果磁芯外露，安全距离会显著减少，需要靠额外塑料载体的宽度或高度以加以补偿。

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器

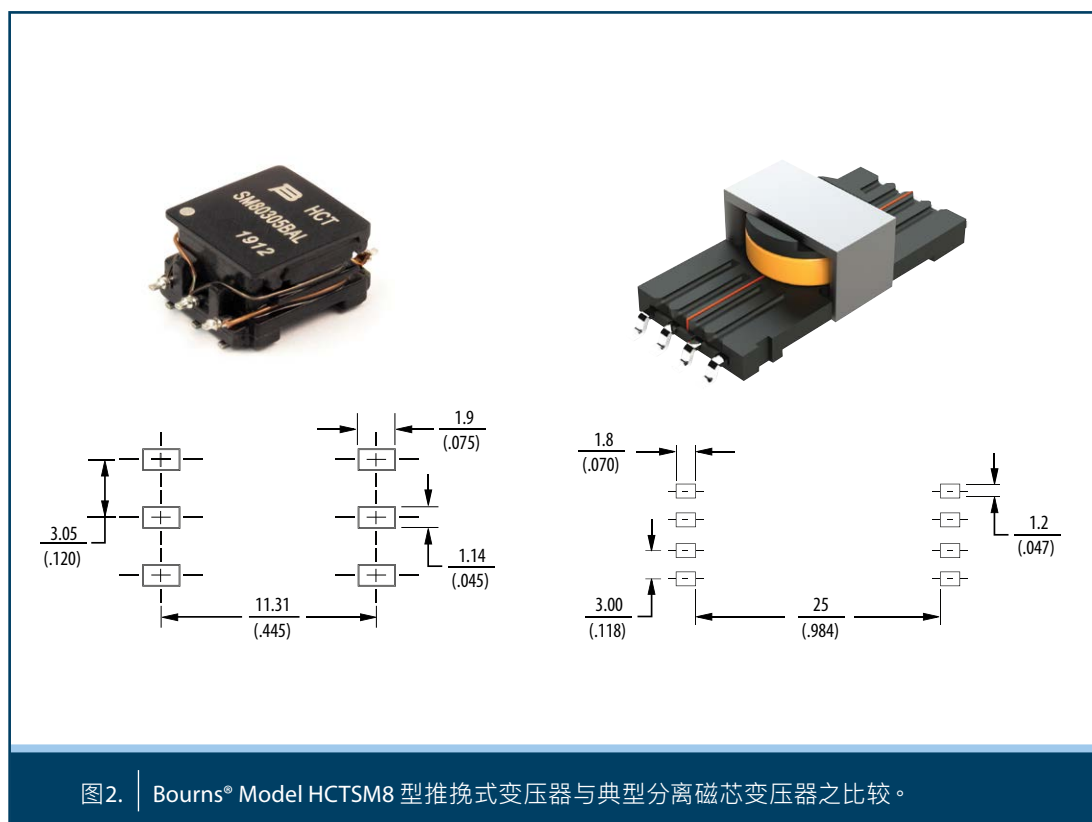


HCT 系列

为什么推挽式 (Push-Pull) 变压器是最佳选择 (续) 机构优点

节省空间(续)

图2显示了一具Bourns® Model HCTSM8变压器与一具分立式磁芯变压器（如E13）在尺寸方面的比较。此图显示了E13解决方案为了要达到符合相同绝缘程度，在PCB上需要比 Bourns® HCT 变压器多占百分之90的空间。此外，就算具有外壳的初级包覆层，相较于具有紧密耦合的环形变压器，为了降低带骨架的变压器的漏感 (leakage inductance) 至少需要在PCB上多占用百分之200的空间。



应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

为什么推挽式 (Push-Pull) 变压器是最佳选择 (续) 机构优点

更好的绝缘特性

Bourns® Model HCTSM8 具有经强化的绝缘，此绝缘机构依照标准必须由三重绝缘线（绕线上有三层绝缘层）包覆在一股绕线或是在所有绕线上增加绝缘（双重绝缘）。从电气观点来看，双重绝缘是不够的。在绕线制程期间，从线圈开头处剥除绝缘体的时间会是三重绝缘变压器的两倍。导体的有效空间在双重绝缘系统缩减了，因为两个线圈具有至少 0.08 mm 的绝缘，相较于单纯的搪瓷磁线只需 0.02 mm。在环状线圈上卷绝缘线要比搪瓷镀膜磁线花时间。因此，双重绝缘系统较无效率且较为昂贵。但是，对于一些客户来说双重绝缘系统相较于三重绝缘线路具有提供真正冗余绝缘的优势。

以HCTSM8系列变压器为例，次级线圈由 FIW（完全绝缘线路）所构成，一般认为绝缘效果和三重绝缘线一样坚固，但是却没有安全机构的认可（对许多类型来说）。这对于具有环状磁芯的变压器来说，特别相关。这么设计的考虑点在于三重绝缘线的效果可能衰减，而导致绕线对磁芯的短路，以及磁芯到非绝缘线的短路。这风险可藉由在次级侧使用FIW线而减轻。

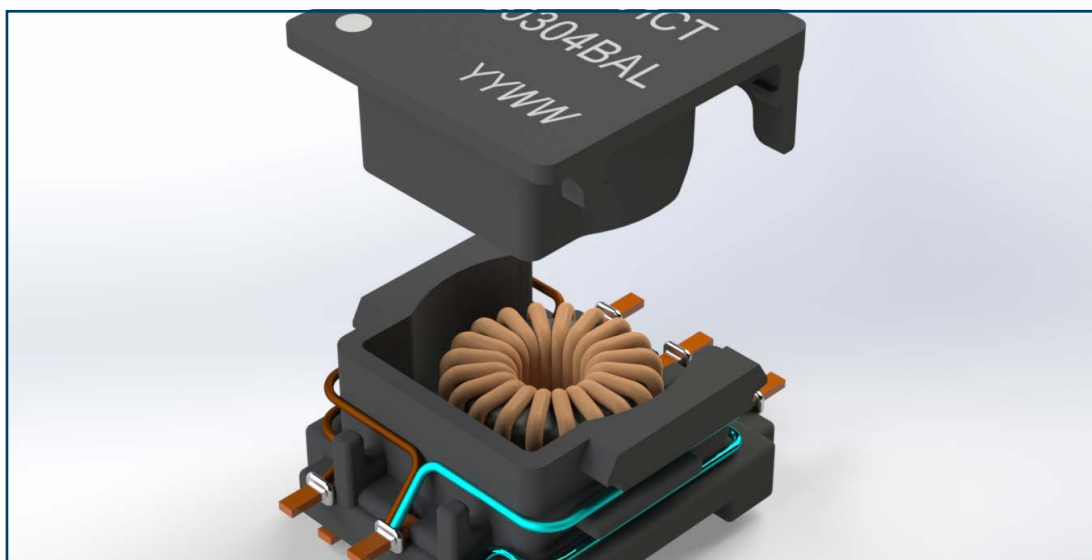


图3. | 图示Bourns® Model HCTSM8 变压器的构造具有环形磁芯，显示了上盖及主要线路围绕着机壳以延伸针脚到磁芯的距离。

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

为什么推挽式 (Push-Pull) 变压器是最佳选择 (续) 机构优点

最大爬电距离 / 电气间隙

Bourns® Model HCTSM8 推挽式变压器充分运用了包覆在铁氧体磁芯的外壳，以将爬电距离扩到最大，并将体积缩到最小。此磁芯从针脚的设计上是隐藏式的，所以针脚到磁芯的间隙的计算是从经过变压器的壁板，并下接到上盖与侧壁间。藉由将绝缘线包覆在组件外侧，有效地最大化了在从针脚到磁芯走线距离。藉由运用这突破性的设计，压盖式的上盖抵住侧壁，并包覆绝缘线，Model HCTSM8可取得8.0 mm的爬电距离及间隙，尽管仅具有6.5 mm的标称高度以及从PCB的焊盘到焊盘11 mm的最大距离。

此外，Model HCTSM8 运用了Class I等级的塑料原料，代表这是在高电压状况下最不导电的塑料。该设计体现了初级绕线的三重绝缘线特性。因此，采用8.0 mm爬电距离及间隙，并参考IEC 60664的表 F.4，这款变压器提供800 Vrms的额定工作电压。因此，针对具有有效电压高达800 Vrms的逆变器及电池包需要加强绝缘的应用，可运用HCTSM8在下列两个储能应用用途上：

- A) 独立的 DC 直流电压以供 IGBT 或 SiC MOSFET 的门极驱动器之用
- B) 独立的 DC 直流电源供电的微控制器或电压监控 IC或收发器之用

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

典型应用案例

在一具门极驱动器 (gate driver) 要产生正向及负向电压，类似于图4的电路配置显示了为什么Bourns® Model HCTSM8是一项有效的解决方案。在这个例子中，此设备是由集成式Texas Instruments SN6501推挽式驱动器所驱动。此Texas Instruments驱动芯片是在高开关频率 (400 kHz) 下运转且具有固定的占空比 (duty cycle) (百分之50)。在推挽式驱动器的输出关系，如下列公式所示：

V_{in} 为输入电压，而 V_{out} 为输出电压，D为占空比 (duty cycle)：

$$V_{out} = 2 \times D \times n \times V_{in} \text{ 其中 } n \text{ 为从次级 (secondary) 到初级 (primary) 的匝数比 (turns ratio)}$$

Model HCTSM8 具有 11 种不同的标准匝数比 (turns ratio)。由于Texas Instruments 的 SN6501驱动芯片内部的 MOSFET 其最高额定电压为5 V，所以 V_{in} 不得超过个水平。而且为了要输出切换 IGBT 所需的 12 V，需要2.5的匝数比。

对于推挽式变压器，其对磁芯 (core) 磁化及退磁的时间必须平衡，否则会发生因电流而饱和(saturation)的状态，所以无法推动 D 超过 50%。也可藉由在接地轨和负极输出间挂上一分流参考 (shunt reference) 而由同一颗变压器产出负向电压。在运用具有符合AEC-Q200质量水平的Model HCTSM8 系列型录产品，相较于客制化的变压器，可提供有效率及符合成本效益的绝缘电源方案。客制化的变压器通常需要涉及软模和硬模的设计成本，以及额外的开发成本。

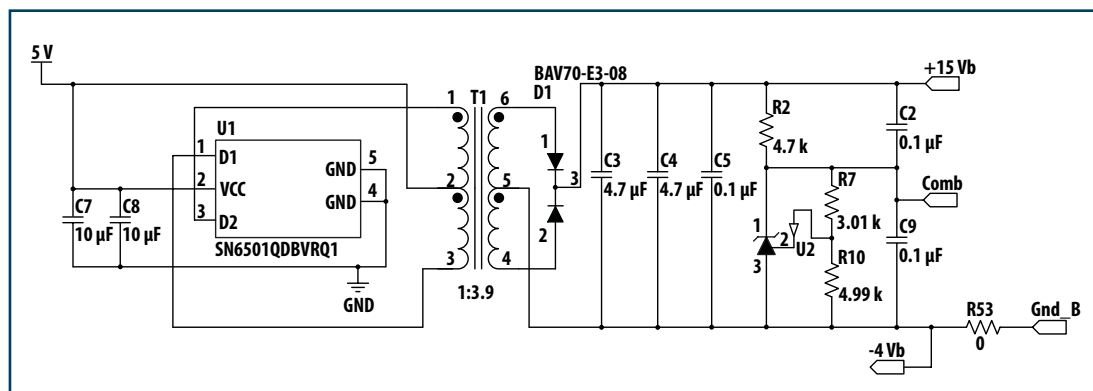


图4. 在运用Bourns® Model HCTSM8系列变压器典型的电路图展现产生正向及负向电压。

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

典型应用案例(续)

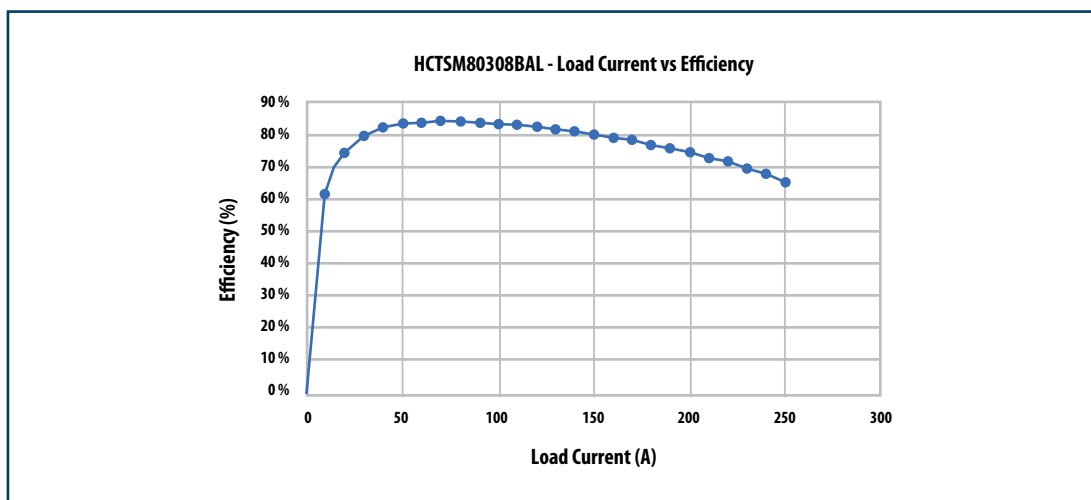


图5. 线形展现了Bourns® Model HCTSM8变压器搭配Texas Instruments Model SN6501驱动器在3:8 匝数比 (turn ratio) 下的效率。

图 5 显示运用 Model HCTSM80308BAL 的电路效率。Model HCTSM80308BAL是一项理想的解决方案以对独立的门极驱动器 IC 提供所需的 15 V 电压。在此应用下，最佳工作点为介于100 mA和150 mA之间的输出电流。

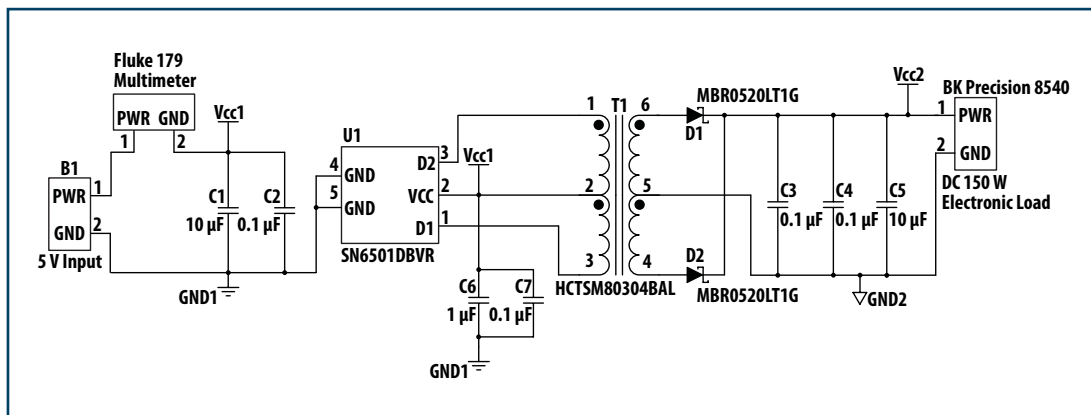


图6. 型号HCTSM8系列已通过完整的验证。

图 6 显示用以验证 HCTSM8 系列的电路及突显用以计算整体功率效率的测试板及设备。

应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器

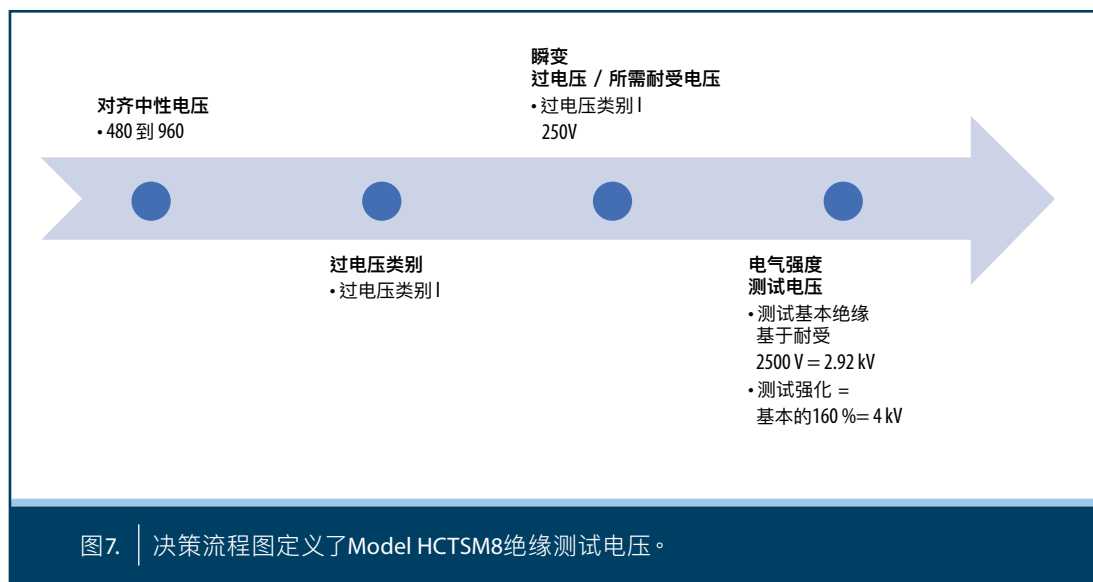


HCT 系列

BMS 变压器安全性检测

符合业界标准，能确保变压器的绝缘特性，从组件编带中的单品状态，到实际安装到基板上及在该应用的寿命年限期间维持不变。

Bourns 设计其 Model HCTSM8 系列能承受指定的回流焊状态，而且能通过锡炉三次而不会造成绝缘线的劣化。此绝缘强度经过Hi-POT检测仪施加 4 kV rms 长达60秒。显示如图7的是Bourns 在定义电气隔离规格时所用的标准：



过电压类别将取决于电源供应的所在位置。如果从主电源供应处没有瞬变的风险，例如：电压来源位于相对接近于电池，那么此应用可归类为第一类 (Category I)。如果有独立的连接到主电源，可以从第二类 (Category II) 移到第一类 (Category I)。

Hi-POT 检测用于检查变压器上的固体绝缘，但它也可用于验证间隙是否符合标准。任何电弧或电晕放电迹象将会是明确的故障。Model HCTSM8是设计以在 2000 m 的海拔高度能有 800 Vrms 的表现。若要更高的海拔，由于空气稀薄，击穿电压和电晕放电电压会因此降低，故工作电压必须降额。

应用说明

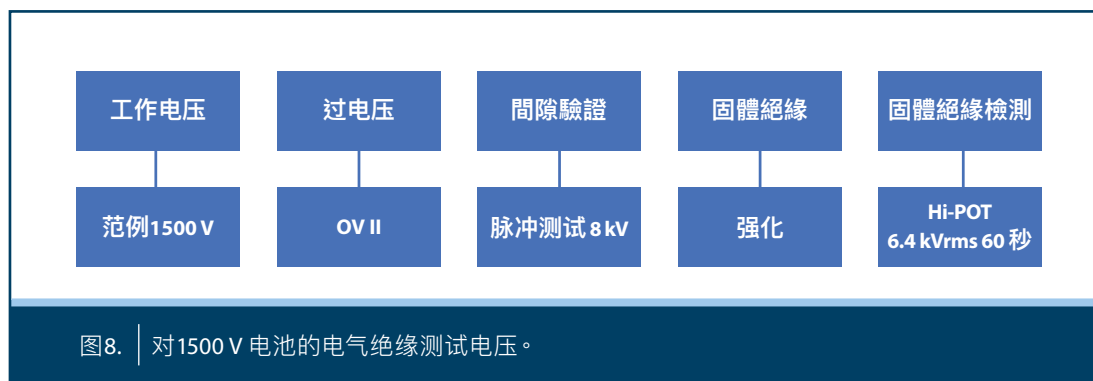
如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

未来趋势

1000 V 及 1500 V 工作电压在公共交通运输应用上，以及在工业场景下的储能应用，如图8所示需要依照相关标准就各种程度的测试电压进行独立测试。IEC 60664 标准也提到运用局部放电测试以确保在绝缘上无细小的针孔，因为此类针孔在强烈的电场下会随着时间的扩大。事实上，如果初级(primary) 和次级(secondary) 电场超过 1000 V/mm 且如果工作电压超过750 V，依照IEC 60664 则需要电路设计通过局部放电的标准。



应用说明

如何为高压储能应用选择合适的加强绝缘变压器



HCT 系列

设计优势

此应用说明显示设计人员藉由运用Bourns® HCTSM8 系列变压器于储能应用硬件模块所能发挥的效益。灵活性、效率、低电磁波骚扰 (EMI)、及节省空间这些优势为这类设计带来了吸引人的解决方案。

灵活性

- 标准部件具有 11 个不同的匝数比可支持输出电压最高高达三倍于输入电压便于更高质量以及更灵活的设计

非常高效的设计

- 不需要昂贵的反馈绕组或光耦隔离器
- 在相同电感下比反激式变压器提供较低的DC直流阻抗

平稳的非脉冲式输出电流

- 相较于反激式变压器有着较低的电磁骚扰(EMI) 水平
- 可用成本较低廉的陶瓷电容及肖特基二极管 (Schottky diodes)

最小体积

- 相较于分离式磁芯骨架 (extended split core bobbins) 没有平整度的问题
- 相较于分离式磁芯占用PCB较少表面积 (可少达将近50%)

图9. 选择Bourns标准品系列变压器HCTSM8系列的优势。

Bourns® HCT 系列已由 Texas Instruments 在其 Model SN6501 及 SN6505 系列推挽式驱动器上测试过并得到认可。由于高压驱动设备在公共交通运输及其他市场的应用日渐广泛，所以需求也越来越稳定，用于高质量及标准化的独立电源设计应用，如高压电池或超级电容包的模块。Bourns提供11种不同经过完全测试及符合AEC-Q200 的 Model HCTSM8 系列推挽式变压器的料号供 Texas Instrument 驱动器使用。基于Bourns的先进功率变压器设计HCTSM8 系列提供独立电源搭配低压储能门极驱动器微控制器、电池管理IC及许多其他应用的合适组合。

www.bourns.com

BOURNS®

Americas: Tel +1-951 781-5500
Email americus@bourns.com

EMEA: Tel +36 88 885 877
Email eurocus@bourns.com

Asia-Pacific: Tel +886-2 256 241 17
Email asiacus@bourns.com

COPYRIGHT © 2020 • BOURNS, INC. • 07/20 • e/IC2075

"Bourns"是Bourns, Inc. 公司在美国及其他国家的注册商标