

为采用增强隔离的电机控制应用选择合适的检测电阻

作者: Cathal Sheehan
Bourns® Electronics
Nicola O'Byrne
ADI公司

简介

在受益于新型数字隔离技术的电机控制系统设计中,使用电流检测电阻已成为一个趋势。元件级标准IEC 60747-17规定了容性和磁性耦合隔离器的性能、测试和认证要求,该标准的引入使得此类技术能够提供更高的可靠性。数字隔离还有其他好处,例如:环路响应更快、支持集成过流保护以及死区更窄等。这使得输出电压更平顺,进而对扭矩的控制也更得力。本文会简要介绍传统光耦合器技术标准与用于增强隔离的感性和容性技术标准之间的差异。另外也会概述一个采用数字控制的电机驱动系统,其集成了电流检测电阻以检测绕组电流。本文还会就如何为此应用选择最合适的电流检测电阻提供一些建议。

适用于电机驱动的隔离标准更新信息

电机驱动设计人员大都知道设计需要满足国际隔离标准。隔离很重要,原因如下:

- ▶ 防止高功率电路地连接的电气噪声感应到低功率信号线路上。
- ▶ 防止危险电压和电流传输到危害较低的低压环境,保障最终用户的安全。

IEC 61010-1第3版标准规定,系统设计人员必须知晓导体间距离、电气间隙和爬电距离。它还规定,系统设计人员必须知道应将导线与罐装、模塑料和薄膜绝缘层中的金属部件分离。如果器件用在需符合IEC61010-1标准的系统上,设计人员应确保所选器件能保证一定的安全性。根据IEC 60747-17标准,增强隔离要利用行业公认的经时电介质击穿(TDDB)分析进行测试,这样有助于推断器件的使用寿命和连续工作电压(VIORM)。

IEC 60747-17 (DIN V VDE V 0884-11)明确定义了采用感性和容性技术的绝缘,而公认的IEC 60747-5-5标准则被用来定义采用光耦合器技术的绝缘。然而,IEC 60747-5-5没有规定通过TDDB分析来确定连续工作电压和使用寿命。它依赖局部放电电压测试来确定工作电压,但并未定义器件的工作寿命。因此,感性和容性技术的最低额定寿命为37.5年,而对光耦合器隔离器则未作规定。

表1总结了光耦合器和非光耦合器标准的主要差异。结论是随着时间推移,基于非光耦合器的标准会被更广泛地接受,因为其对设计工程师而言安全性更高,并且具有更长的工作寿命。

表1. 光耦合器和非光耦合器隔离的主要区别

技术规格	IEC 60747-17		IEC 60747-5-5
	基本隔离	增强隔离	仅增强
局部放电测试	1.5 × VIORM	1.875 × VIORM	1.875 × VIORM
工作电压 (VIORM)	基于 TDDB* 分析	基于 TDDB* 分析	基于 PD** 测试
最低额定寿命	26 年	37.5 年	未定义
寿命期间的故障率	1000 ppm	1 ppm	未定义

*经时电介质击穿。

**局部放电。

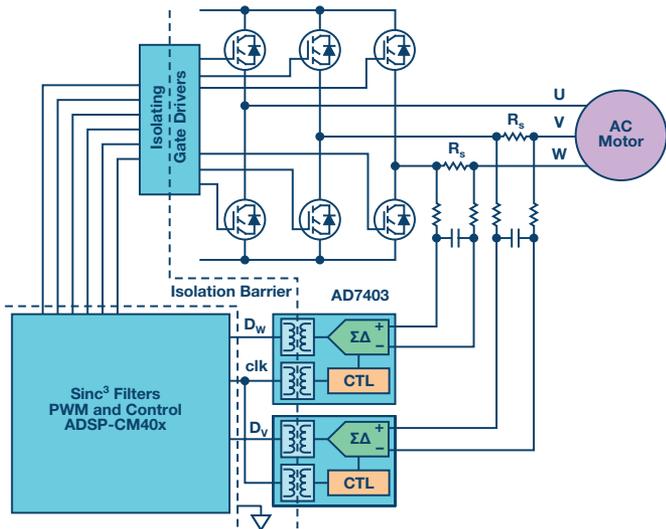


图1. 采用数字隔离和检测电阻的三相电机驱动功能框图

采用检测电阻的典型增强隔离系统

图1所示为一个典型三相永磁电机驱动系统，其利用检测电阻测量绕组电流，并通过ADI公司的AD7403隔离式 Σ - Δ 调制器和sinc³滤波器提供反馈。AD7403使用单个二阶调制器数字化电路来将检测电阻的模拟信号转换为隔离的一位数字脉冲流，其大小取决于满量程输入电压范围。然后，sinc³滤波器提取电流平均值，同时消除逆变器开关产生的噪声。其存储器可以存储一个代表电流的16位整数，与此同时，它可以将该数值与一个代表电流限值的基准值相比较，如果发生过载，它就会通过单独的引脚发送警报。利用更短的滤波器监控过载，并将其与测量滤波器并联，可以缩短警报延迟时间。

AD7403具有增强隔离特性，调制器可以直接测量电流检测电阻的电压，除了一个由电阻和电容构成的简单分立低通滤波器以外，不需要其他额外元件。调制器的额定最大工作电压为 ± 250 mV，因而电流检测电阻的阻值需小于 $250 \text{ mV}/I_{\text{MAX}}$ 。

选择合适检测电阻的考虑因素

电阻温漂

AD7403的输出为16位数值，因此限制电流测量潜在精度不是受限于ADC转换，而是受限于电压读数本身。电阻随温度的漂移取决于电阻元件使用的材质、功率额定值和元件的实际尺寸。

由镍、铜、锰特殊合金制成的阻性元件的电阻温漂曲线呈抛物线形状，如图2所示。对于电流检测应用，这些合金是精度最高的材料。图2还显示了Bourns CSS4J-4026R型电阻温漂的上限和下限，对应于50 ppm/°C的温度系数。此差距是由电阻的铜引脚引起的，铜具有很高的TCR (4000 ppm/°C)，导致温漂增加。

Bourns CST0612系列是由特殊合金制成的1 W、4引脚电阻。其尺寸为3.2 mm × 1.65 mm，TCR为 ± 100 ppm/°C，Bourns CST0612型和CSS4J-4026R型的TCR差异可以用铜含量相对于阻性元件的比例来解释。增加低热阻的铜有助于元件吸收高功率而不会过热。本例展示了元件尺寸、功率额定值和阻值温漂的取舍关系。

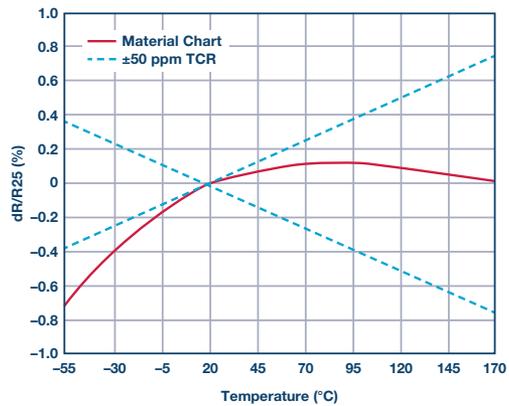


图2. Bourns CSS4J-4026R型电流检测电阻的抛物线形TCR曲线

电阻温漂计算

让我们以Bourns产品型号CSS4J-4026R-L500F为例，计算其在全功率和70°C环境温度下的电阻温漂。CSS4J-4026R-L500F是一款0.5 m Ω ($\pm 1\%$)检测电阻，额定功率为5 W，最高环境温度为130°C。在170°C时，其额定功率从100%减额至0 W。因此，该元件的热阻为8°C/W。在全功率和70°C环境温度下，预期元件的表面温度会达到110°C (70°C + 8×5°C)。110°C时的阻值温漂可以从图3得知，25°C时的标称值为+0.45%。绝对容差为 $\pm 1\%$ ，因此电流测量精度最大值为+1.45%。

过载

电机驱动偶尔会发生短路，电流检测电阻必须能够承受短时过载而不受损。以Bourns CST0612型电流检测电阻为例，根据Bourns网站上的材料数据表，可以算出此元件的质量为0.0132 g。另外，也可以根据尺寸及铜合金的密度(8.4 g/cm³)来计算。温升速率可计算如下：

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P}{mC}$$

其中，P为功率(W)，m为元件质量(g)，C为合金的比热容量。

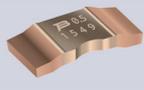
1 m Ω 的电阻过载50 A时，会产生每秒462°C的温度压摆率。假设稳态温度为50°C，则短路周期的宽度不能超过0.22秒。通过在电路板上镀铜以增加整体质量，可以延长此宽度。

在相同过载下，使用较厚、较大的元件时，例如质量为0.371 g的CSS4J-4026型电阻，温度压摆率将是每秒16.5°C。假设元件表面温度为100°C，则它承受该能量的最长时间将是4秒，然后表面温度才会达到最大允许值170°C。

合适的阻值

电阻提供的AD7403满量程输入为 ± 250 mV。表2中的矩阵列出了最大电流时Bourns高功率电流检测电阻上的压降。对于较低电压，设计人员可通过调整比例因子来补偿。

表2. 最大电流和Bourns电流检测电阻上的压降

电阻系列	图片	最大电流 (最低电阻)	最大电流时的 电压
CST0612		44.7 A	22.3 mV
CSS2H-2512		140 A	42.4 mV
CSS2H-3920		245 A	49 mV
CSS2H-5930		126.5 A	63 mV
CSS4J-4026R		100 A	50 mV

结语

根据IEC60747-17，具有增强隔离性能的数字隔离器的最低寿命应为37.5年。虽然更传统的光耦合器技术没有此类指标，但未来数字隔离系统会对设计人员提供更多保障。利用特殊合金制成的电流检测电阻具有很低的电阻温漂，其产生的输出电压可以由隔离式 Σ - Δ 调制器（例如采用ADI *iCoupler*[®]技术的器件）用一个可调整比例因子来读取。电流测量的精度取决于电阻温度，后者又取决于功率相对于额定功率的比例以及环境温度。

参考文献

O'Byrne, Nicola。 “ Σ - Δ 调制器提高运动控制效率”。ADI公司，2015。

O'Sullivan, Dara, Jens Sorensen, Aengus Murray。应用笔记AN-1265，[使用ADSP-SM402F/ADSP-CM403F/ADSP-CM407F/ADSP-CM408F Sinc滤波器](#)和AD7403实现隔离式电机控制反馈。ADI公司，2015。

作者简介

Nicola O'Byrne是ADI公司工业自动化业务部电机与功率控制(MPC)团队的高级系统应用工程师，为电机控制和其他精密工业应用提供支持。Nicola在ADI工作了20年，担任现有职务前曾管理精密ADC应用团队。Nicola于1996年在科克大学获得工程学士学位，之后加入ADI。Nicola持有多项专利，在ADI会议和行业论坛上均发表过演进。

Cathal Sheehan是Bourns消费电子部门技术市场经理，工作地点在爱尔兰科克市。联系方式: Cathal.sheehan@bourns.com

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。



请访问 ezchina.analog.com

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA15228sc-0-11/16

analog.com/cn

