基于电阻的电流检测场合应用及注意事项

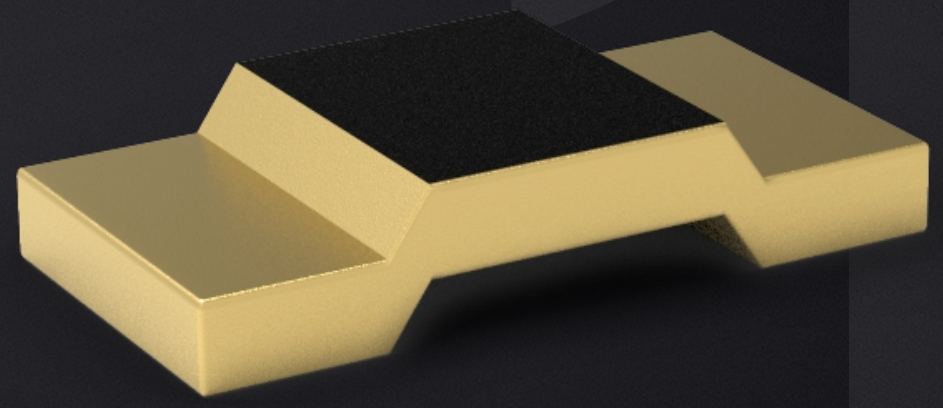
深圳市开步电子有限公司

PART 1

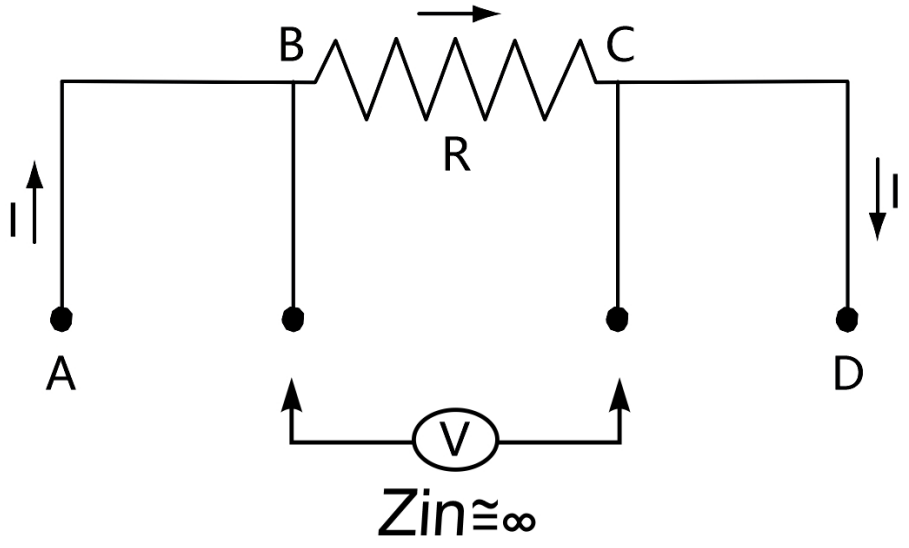
电流检测电阻的原理

- 使用简单的欧姆定律I=U/R，依靠精密的电阻就可以对电流进行准确的测量

- 电流测量的精度跟电阻的精密性息息相关，电阻的误差会直接带来电流测量的误差。



1)



使用简单的欧姆定律

I=U/R

依靠精密的电阻就可以对电流进行准确的测量

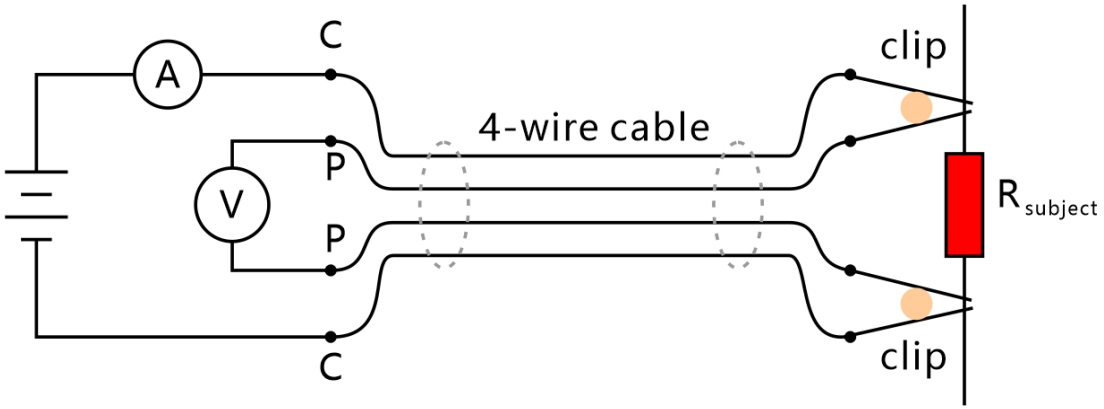
通过采集电流检测电阻两端的压降，在已知电阻实际阻值的情况下，通过欧姆定律计算出流经电阻的电流值大小

电流测量的精度跟

电阻的精密性息息相关

电阻的误差会直接带来电流测量的误差

应用于电流检测的电阻不仅是作为一个常规的被动元件耗散功率，它在电路中还作为一个标准器件，反应整体测试的精度



$$R_{subject} = \frac{\text{Voltmeter indication}}{\text{Ammeter indication}}$$

PART 2

电流检测电阻稳定性

- 在检流电阻中只关注初始精度而缺乏稳定性考量是不完美的
- 电流检测电阻的初始精度固然重要，但是在电路中作为标准器件的电阻，我们要关注任何一项可能让阻值发生变化的因素，因为任意的变量都可能会导致我们的系统检测精度受到不利的影响。在电流检测电阻中我们主要对其阻值稳定性进行评估，主要是受到以下三项因素的影响：

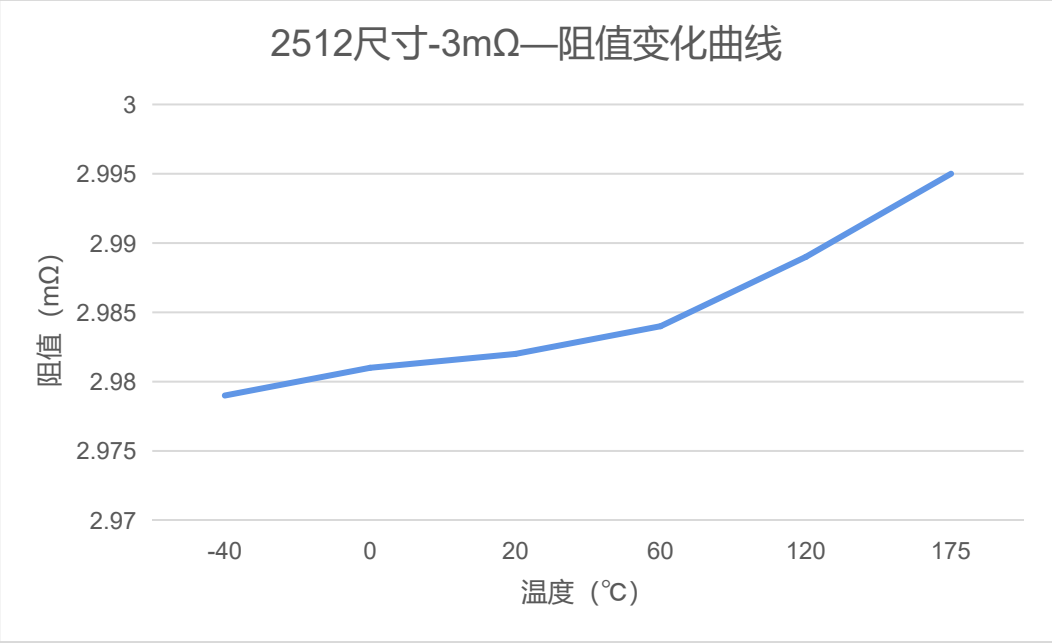
1 温度系数

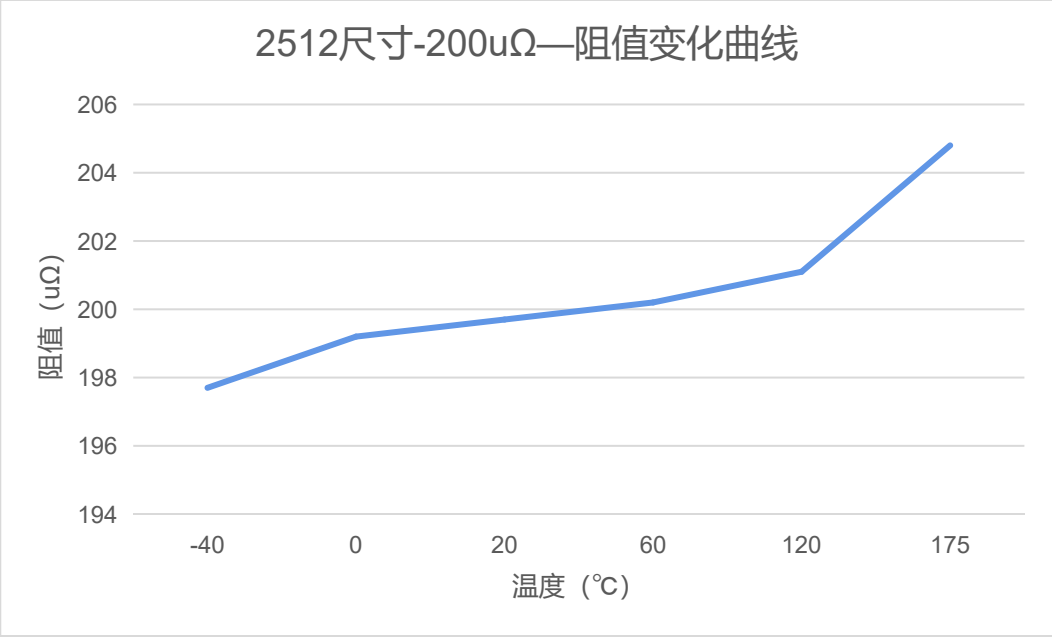
2 功率系数

3 负载稳定性

1) 温度系数

温度系数是评估环境温度的改变对电流检测电阻阻值的影响程度。一般会采用温度系数较低的电阻合金来制备电流检测电阻，但是由于制备工艺或者铜电极的影响，电阻成品的温度系数相较于母材合金往往会产生一定的变化，而且对于阻值越低的电流检测电阻其温度系数往往越大。

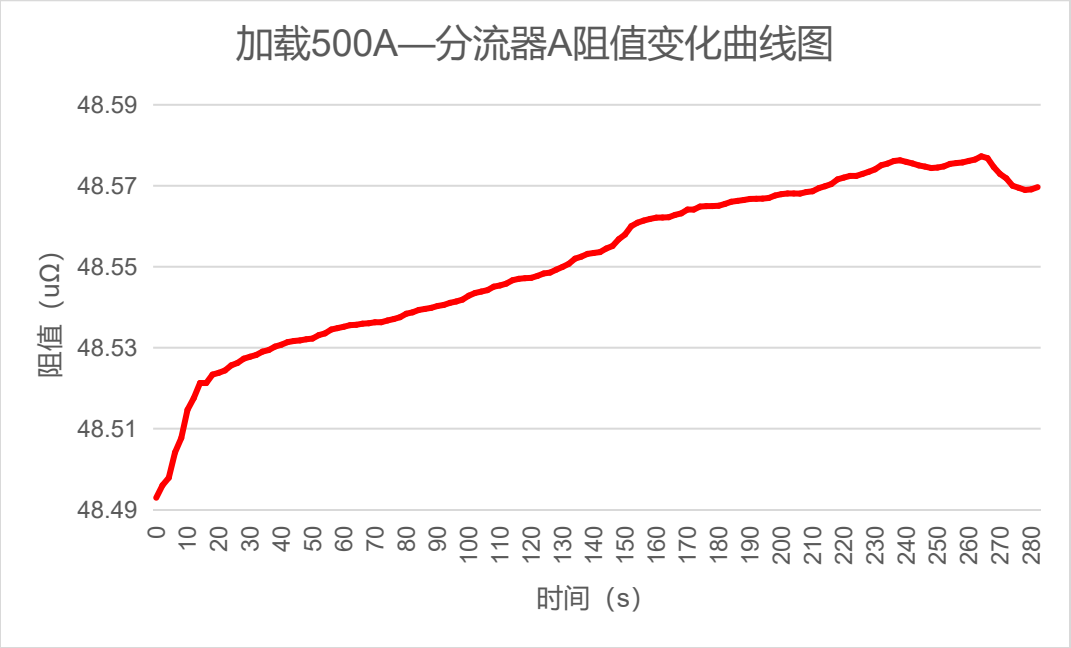


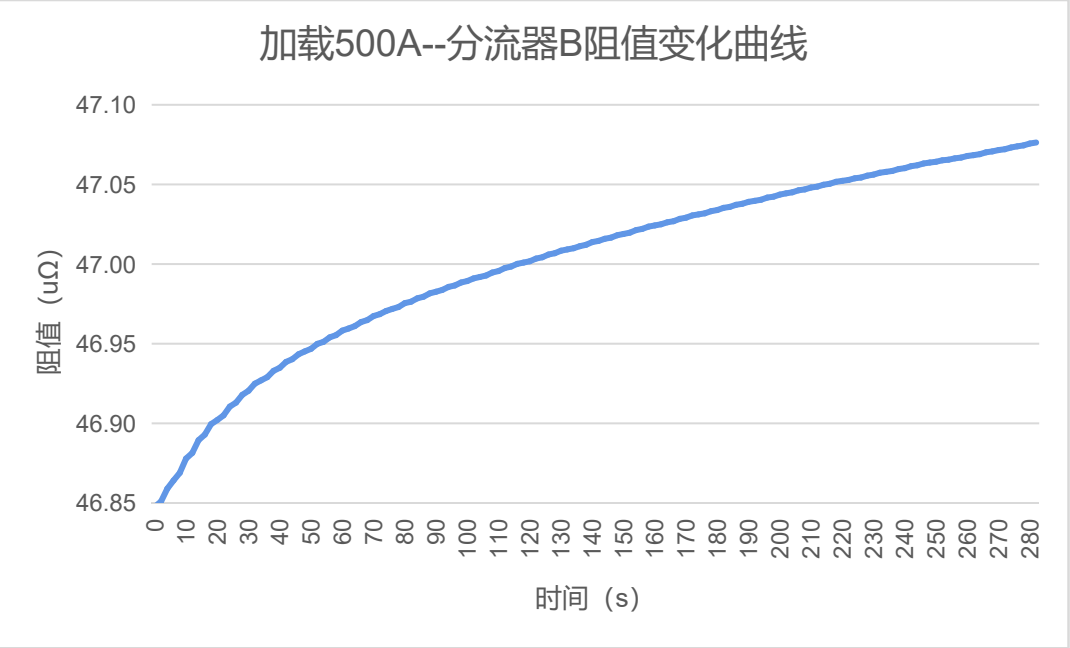


左右两图为相同尺寸，不同阻值的温漂变化曲线图，左图2512尺寸-标称阻值3mΩ计算得到的温度系数均值20.2ppm/℃，右图2512尺寸-标称阻值200μΩ计算得到的温度系数均值为117.4ppm/℃

2) 功率系数

在检流电阻应用中，会有较大的电流加载在电阻体上，电阻体会因为持续的加载而发热，其自身阻值也会持续地漂移。此处阻值漂移的原因既有因为自热而导致的电阻率变化而引起的阻值变化，也有因为热膨胀导致电阻体尺寸发生改变导致的阻值变化等等，这是一个比较复杂的模型，但是我们使用功率系数来定义这个导致阻值改变的因素。

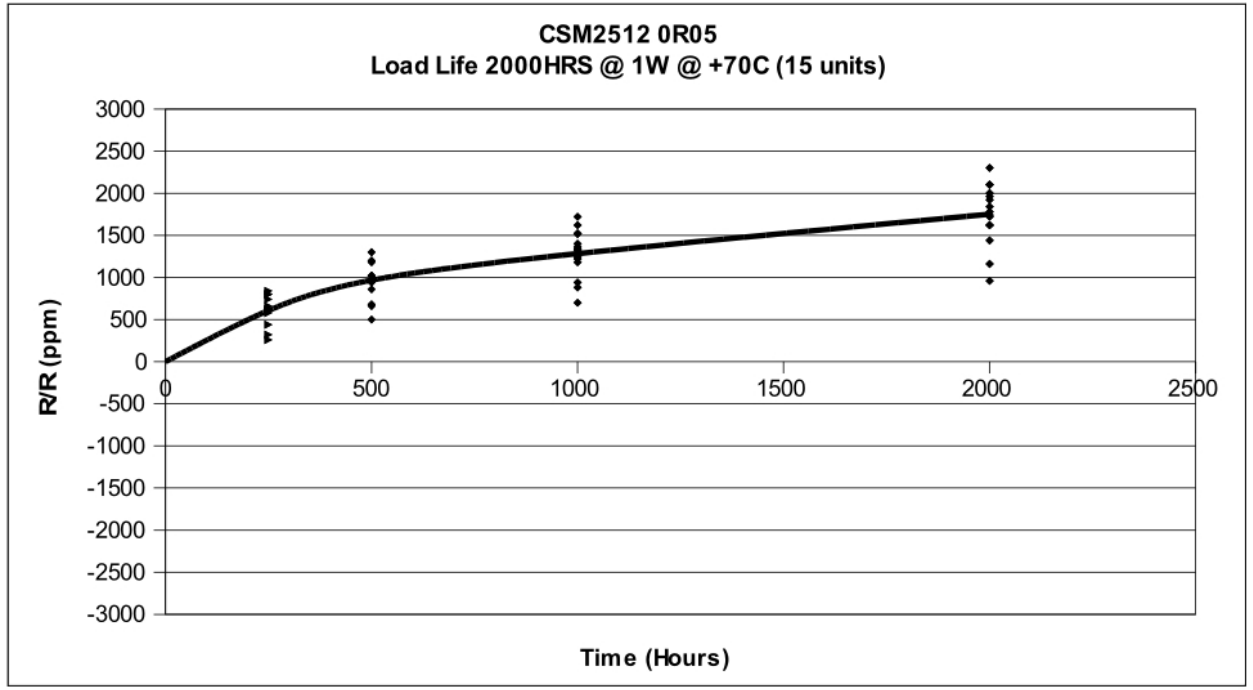




上图为相同规格不同厂家分流器在相同时间内加载同等大小电流后阻值漂移曲线图，A产品阻值变化量为0.08μΩ，B产品阻值变化量为0.31μΩ，两者在相同工况下阻值变化具有非常明显的差异

3) 负载稳定性

常规的检流电阻大都是由合金制备而成，需要注意其在使用过程中诸如应力的缓慢释放或者合金的氧化等等导致的阻值不可逆变化，在较为精密的检测应用当中，长期稳定性是检流电阻的一个非常关键的指标，测量系统依靠长期稳定性较好的检流电阻来实现长期可靠的测试精度。

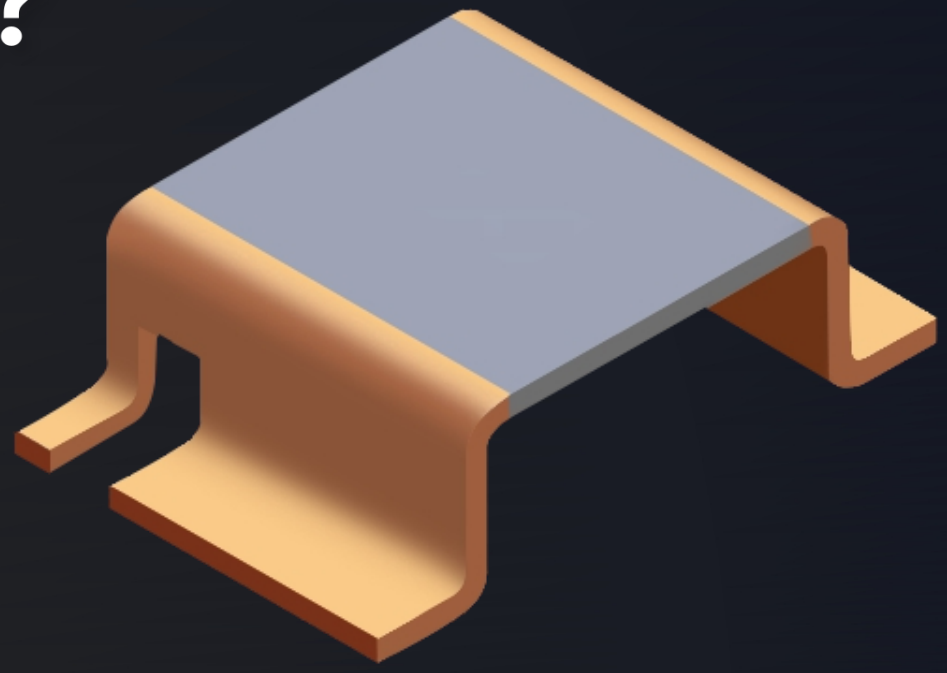


上图为检流电阻长期加载后阻值相对变化量的曲线，由图可见阻值随着长期的加载一直在发生着改变

PART 3

如何用好电流检测电阻?

- 降低检流电阻温升
- 设置开尔文四脚连接
- 关注热电势的影响

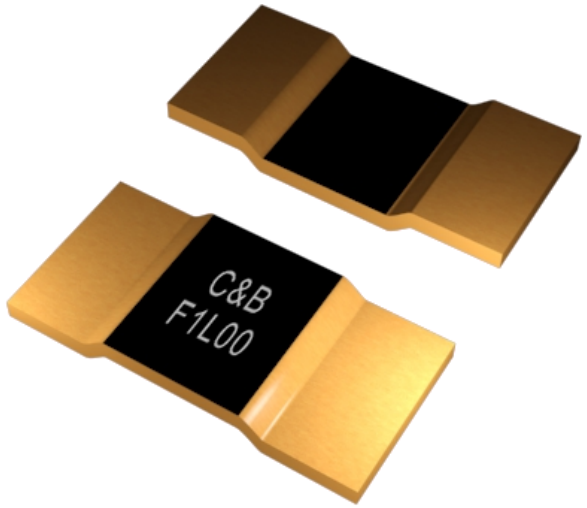


1)

降低温升

检流电阻由于加载产生的高温不仅会导致阻值变化较大而且持续的发热还会影响到周边电路其他的元器件。

想要控制温升，在不加额外散热条件的基础上选用功率较大的检流电阻并降额使用，标称额定功率越大的检流电阻通常具有越大的整体尺寸或者较大的铜电极来辅助散热从而降低温升。

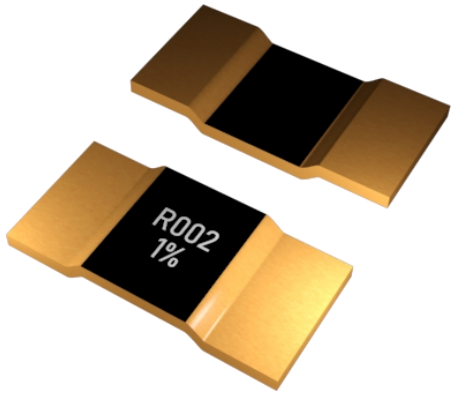


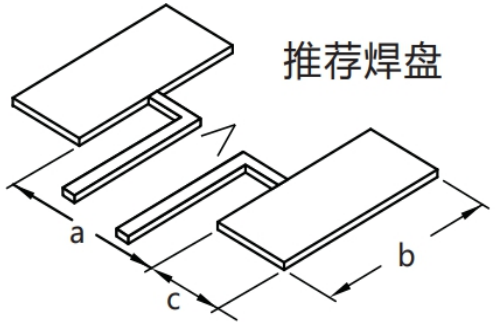
上图所示未加任何包封的裸片贴片检流电阻，5930尺寸功率可达7W
阻值范围为0.2mΩ-3mΩ，可满足上百安培电流的测量需求

设置开尔文四脚连接

检流电阻阻值较低，通常为mΩ甚至是μΩ，因此在实际应用中不可忽视PCB的覆铜或者铜电极的电阻对检流电阻性能的影响。

因此使用开尔文四脚连接来接线或者设计焊盘，其中电流端与检流电阻的两电极端相连，电压端尽可能与检流电阻的电阻体相接，尽可能保证采集到的电压信号为检流电阻本体导致的电压降。

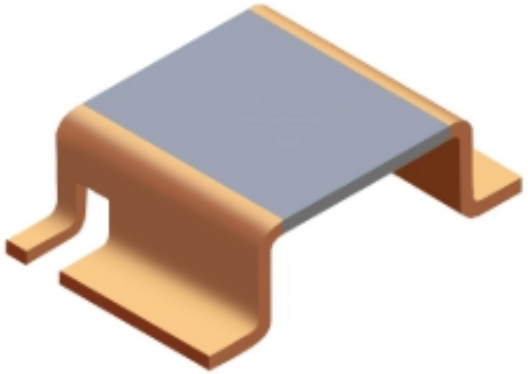


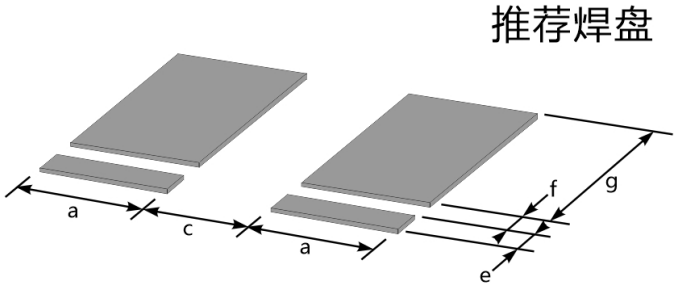


上图所示推荐焊盘中采集电压信号的电压端引线靠近电阻本体，不仅可以消除铜线电阻的影响还可以减少铜电极电阻的影响，因为铜电极一般为紫铜或者黄铜，其电阻温度系数可达4000ppm/℃，即使采集到的铜电极电阻只有几个μΩ，但随着温度变化，针对例如温度系数只有20ppm/℃的电阻合金来说，铜电极对于整体阻值变化的贡献量不容忽视。

3)

制造厂家还可使用正温度系数的铜电极来补偿负温度系数的电阻合金，从而将检流电阻的整体温度系数控制在一个较低的值。





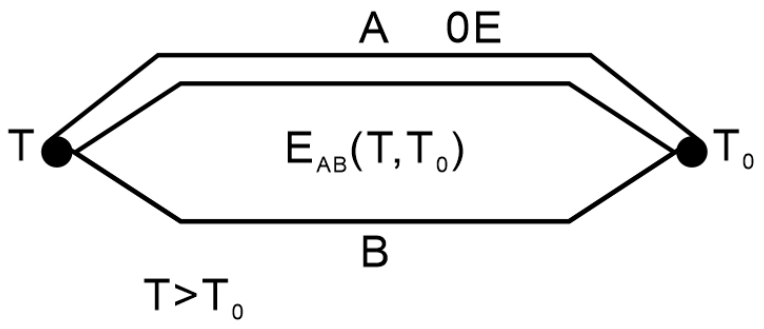
设置开尔文四脚连接

部分检流电阻产品在制造时就被冲压出铜角来调节温度系数，让电流端与电压端分开，避免接触点之间的温度系数叠加到电阻体上。

关注热电势的影响

根据Seebeck（塞贝克）效应，当两种金属组成的回路中，如果两种金属的接触点温度不同，由于热端载流子会向冷端载流子扩散的原因，在回路中会出现电流形成热电势。

在电流检测电阻中，由于发热最集中的区域位于电阻体中心部位且热量从中心向四周散发，主要表现为电阻合金与铜电极的温差产生热电势。由于电流检测电阻的电压降较小，通常为mV甚至是μV，较大的对铜热电势会导致采样信号异常，无法测得电流值。



由于T与T_0的温差而产生热电势E_{AB}，假设某电流检测电阻的热电势为3.33μV/℃，哪怕是3℃的温差也会产生10μV的偏置电压，可能会导致10mV测量信号产生0.1%的测试误差。

PART 4

超精密检测的终极理想

创造更高性能的检流电阻

选用低温度系数、低电流系数以及可靠性较高的检流电阻来帮助实现你的精密测量，具有以下几类电阻科技：

1

基于EB Weld
（电子束焊接）的检流电阻

2

基于Foil
（贴箔）的检流电阻

3

基于Clad
（复合）的检流电阻

1)

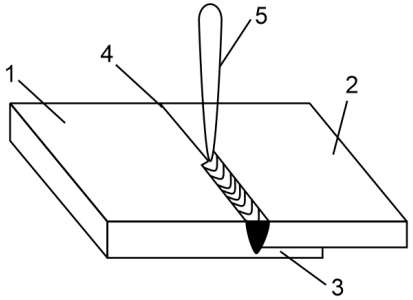
基于 EB Weld

（电子束焊接）的检流电阻

此类检流电阻通过使用高能量的EB焊接，将铜电极与电阻合金焊接成型

基于EB Weld（电子束焊接）的电阻科技对于焊接工艺具有较高要求，焊接时功率应当平稳不能有较大波动，否则容易导致焊缝参差不齐、焊接性能不良等现象

左右两图为不同焊接水平的焊缝微观图



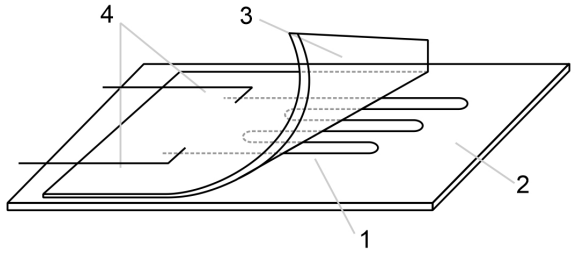
如上图所示，将电阻合金与铜电极拼接，使用电子束熔融穿透结合处，将两种异性金属焊接成型。

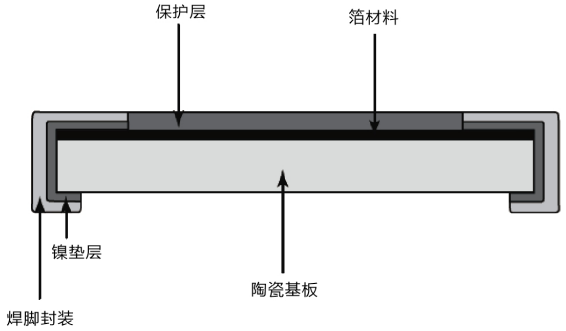
基于 Foil

（贴箔）的检流电阻

此类检流电阻使用贴箔工艺来制备

基于Foil（贴箔）的电阻科技对于轧制水平以及胶水制备具有非常高的要求，首先为保证粘合紧密性应将电阻合金轧制几个μm的级别，这几乎对于所有的合金制备厂家都是噩梦，贴箔对工艺要求极为讲究，为防止气泡和粘合不牢还需做诸多处理。





如图所示，将轧制至μm级别的电阻合金使用特定胶水粘贴于陶瓷基板上，再通过后期处理增加电极以及保护层

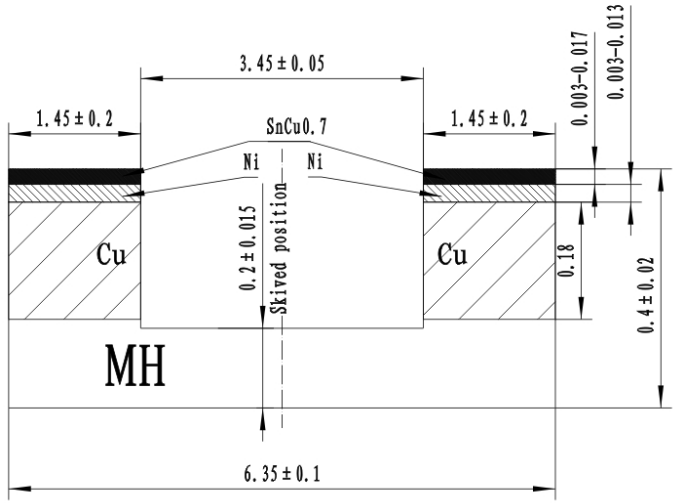
3)

基于 Clad

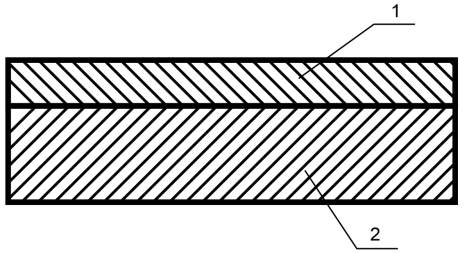
（复合）的检流电阻

此类检流电阻使用复合工艺来制备

基于Clad（复合）的电阻科技对于轧制水平以及后续调阻的机加工水平有较高的要求



图示为复合贴片电阻截面图



如图所示，将两种电阻合金和铜电极两种金属轧制和高温复合，通过原子间作用力紧密结合在一起，后再通过开槽来实现阻值的电极的露出

除了在工艺上下功夫

电阻合金材料

也是我们重点考虑的方向，我们一直尝试
使用更好的、更先进的材料应用于

电阻领域

现目前主要应用
电流检测电阻的合金有**3**种材料

1) **锰铜合金**

2) **铁铬铝合金**

3) **镍铬合金**

1)

锰铜合金在低温和高温时具有局限性，表现在温度系数增大

锰铜合金

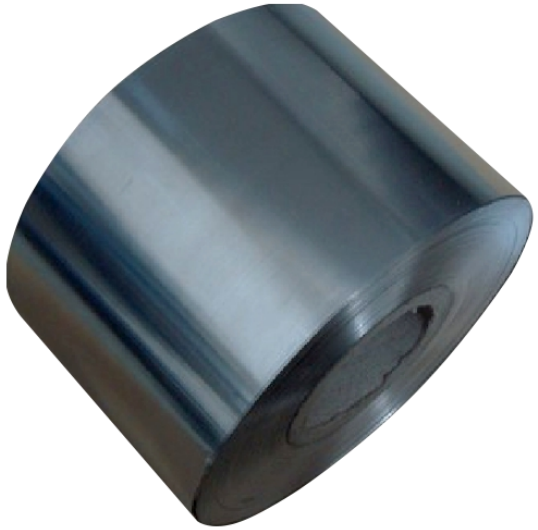
锰铜合金具有低电阻率以及低温度系数的特性，在电流检测电阻的低阻区间一般使用锰铜合金来实现。

铁铬铝合金

铁铬铝合金具有高电阻率以及低温度系数的特性，并且较为经济，在电流检测电阻的中高阻值区间有所应用。

铁铬铝合金具有磁性，在交流或者高频应用当中需额外注意

3)



镍铬合金被广泛应用于各类电阻产品，包括绕线电阻和箔电阻等
精密电阻科技

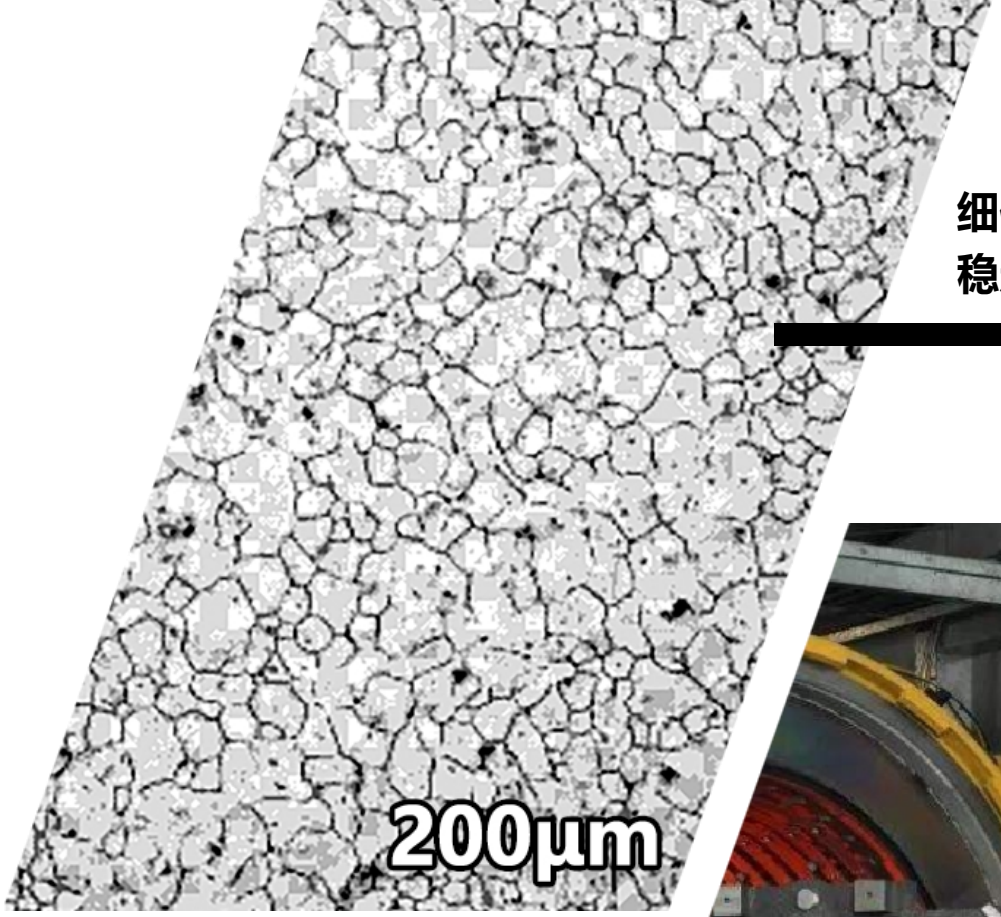
镍铬合金

镍铬合金电阻率较高、温度系数较低并且可以通过热处理来调节温度系数，作为高温合金可以耐受极高的温度不损坏，作为电阻合金长期稳定性较好。

4)

合金处理

电阻合金材料处理工艺也是生产制造电流检测电阻的关键，我们一直尝试使用更好的、更先进的处理工艺来提升材料性能



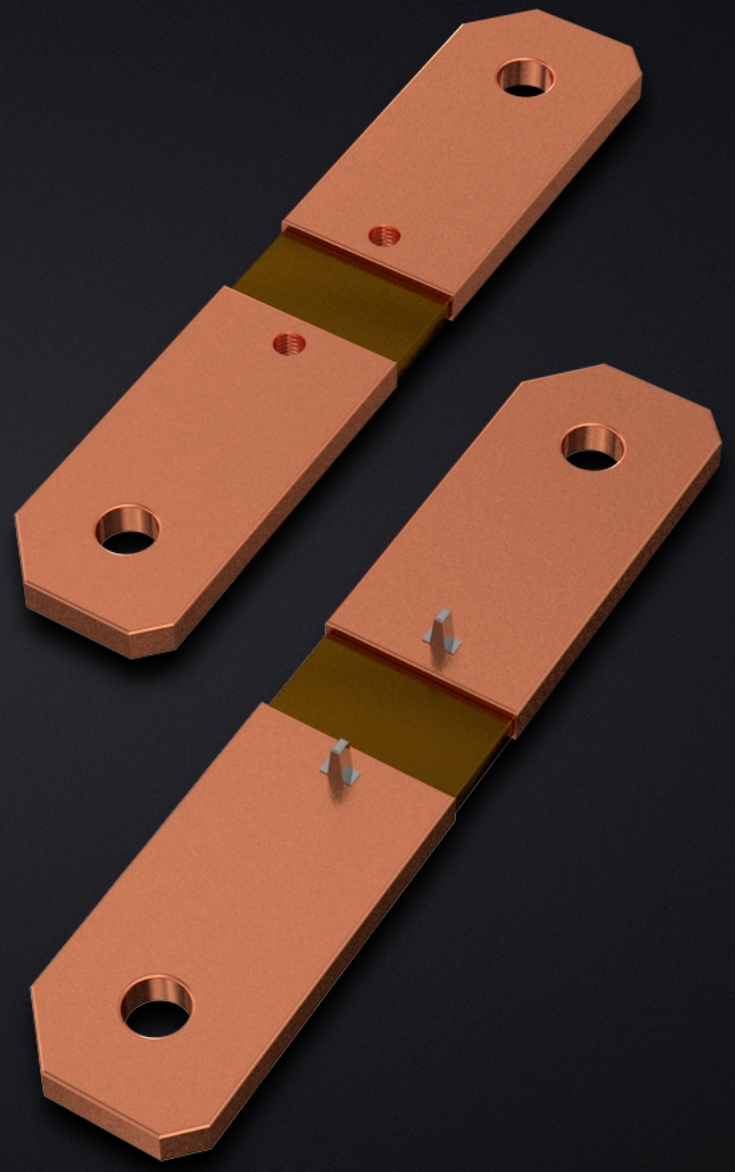
细化晶粒是提升材料稳定性的方法之一

合适的时效处理退应力也可以帮助提升材料稳定性

PART 5

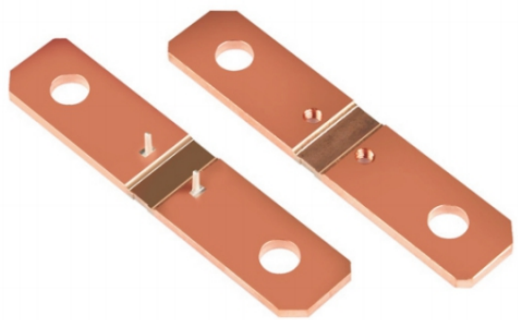
电流检测电阻的典型应用

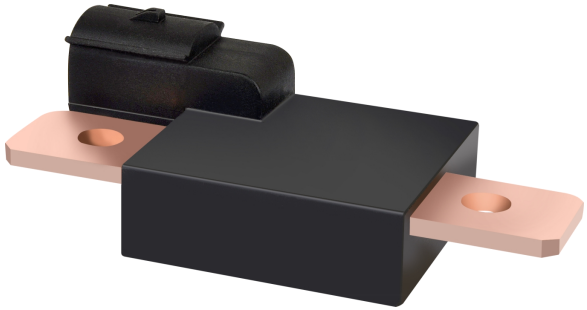
- IBS(智能电池传感器)
- 电机电流检测电路



1)

依靠IBS进行准确、可靠的监测，IBS单元可对电池的电流、电压和温度(IVT)进行精确和按需(on-demand)测量。而IBS中最为核心的器件，一定是专门为此检测方式而设计开发的低阻电流检测电阻—分流器





左图为分流器整体实物图，右图为分流器铜排电镀后装机IBS实物图

IBS

(智能电池传感器)

BMS（电池管理系统）中三大状态：

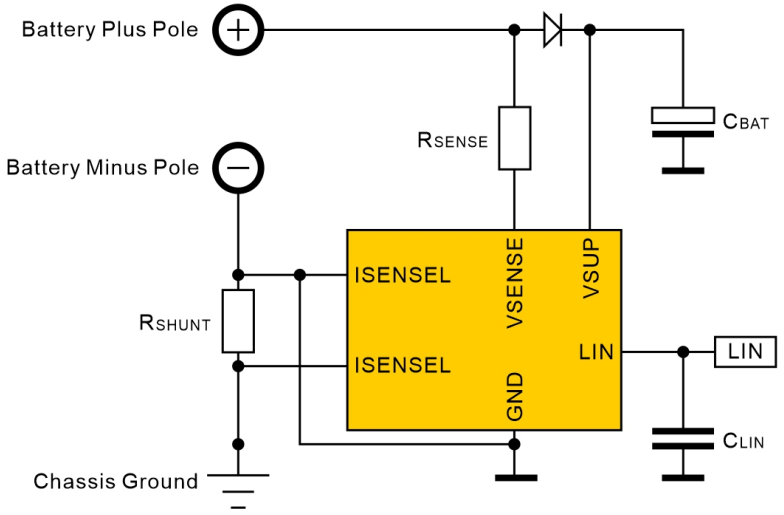
充电状态(SoC)

健康状态(SoH)

功能状态(SoF)

1)

在BMS这一类对能耗极为敏感的应用中，电阻本身带来的电耗需要着重考虑，但由于分流器均为μΩ级别的阻值，哪怕是较大的电流流经，能耗也不会很大。



上图为典型的IBS（智能电池传感器）应用电路(器件GND = 底盘GND)

IBS

(智能电池传感器)

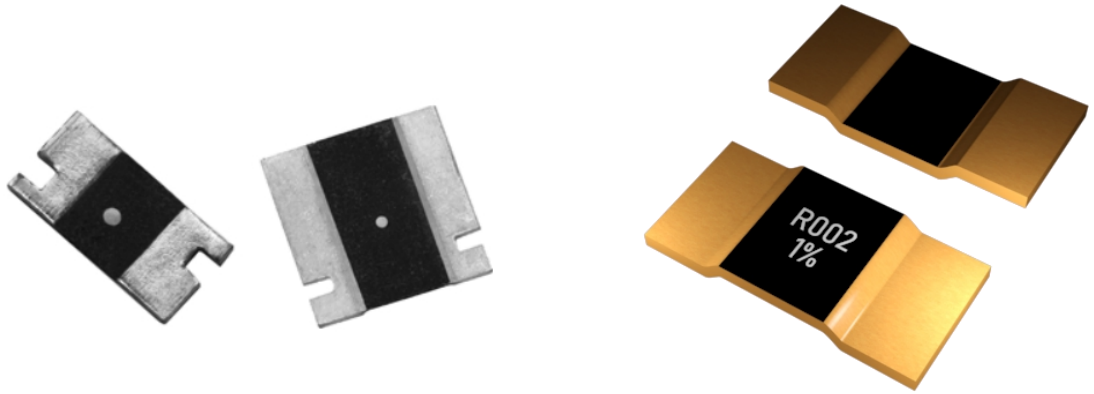
BMS（电池管理系统）中三大状态：

IBS可测量流经电池的充电或者放电电流，通过简单的欧姆定律采集分流器压降并使用通讯协议将测量结果发送至控制单元或者其他控制系统。

电机电流检测电路

电机应用当中，调速驱动技术是降低电机整体能耗以及精准控制电机的关键所在，需要依靠电机电流检测电路来检测电机状态、实现双闭环控制、进行过流保护等。

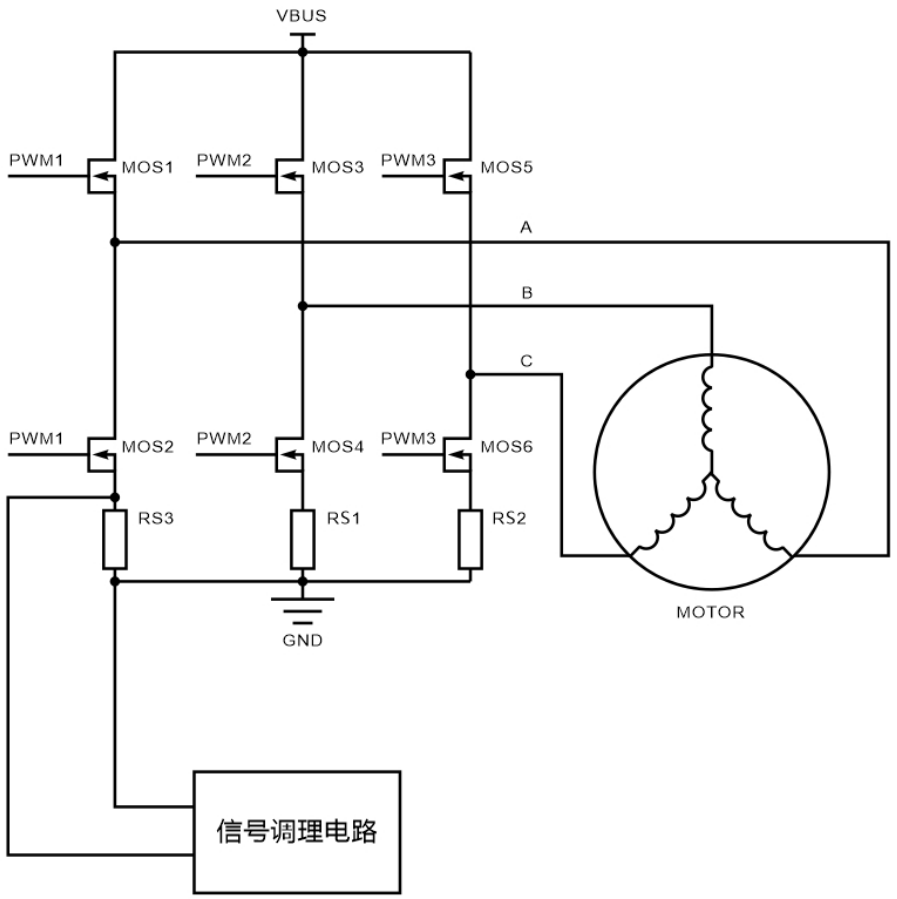
使用功率管测试易受温度影响，使用电流互感器则存在体积大、成本高的缺点，在检测电路中串联低阻电流检测电阻简单可靠、精度较高而且成本较低。



一般使用如上图的贴片检流电阻方案来作为电机电流检测电路的采样电阻

电机电流检测电路

在回路中串联检流电阻作为采样电阻，回路中电流与采样电阻两端的电压成正比，使用放大器将采样电阻两端的电压信号放大再使用数模转换（ADC）模块处理数据，因为电机在不同转速和不同负载情况下电流不同，电机的采样电流可与转速实现双闭环控制，从而提高电机的控制精度并且可实时监测电机扭矩以及功率等信息。

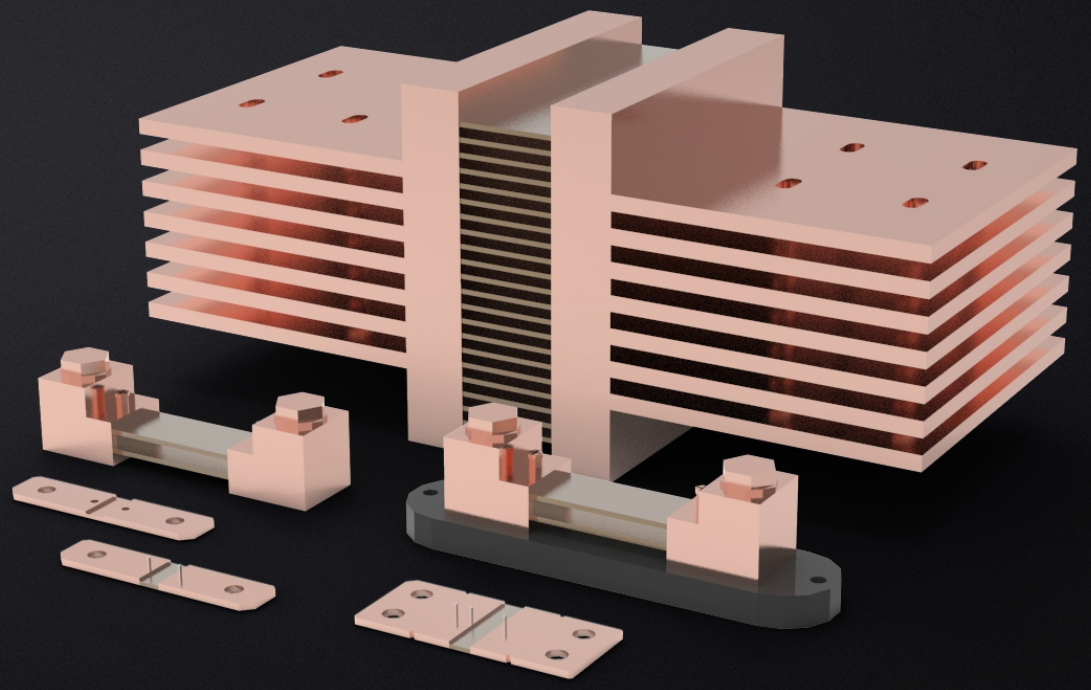


上图为较为常见的电机电流检测电路

PART 6

电流检测电阻产品

- 合金检流电阻
- 大电流分流器

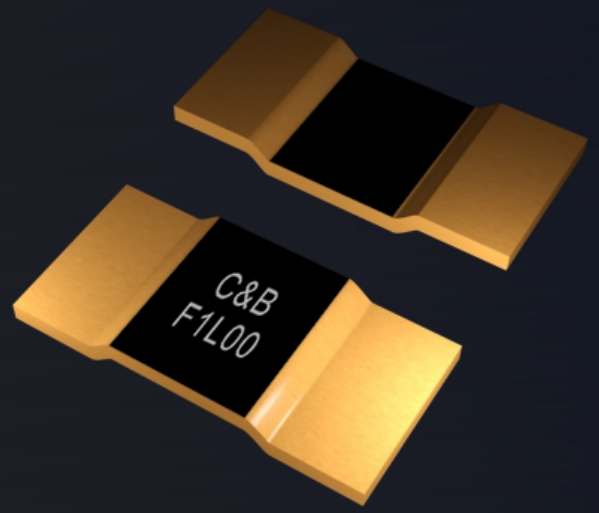


睿思 EWSL系列

2512/3920/5930 尺寸　±20ppm℃ 最低合金温飘

0.2mΩ-5mΩ 超低阻值

低热电势、低电感、符合RoHS认证

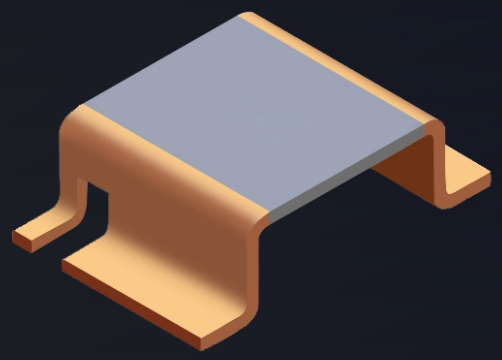


睿思 KWSL/PWSL系列

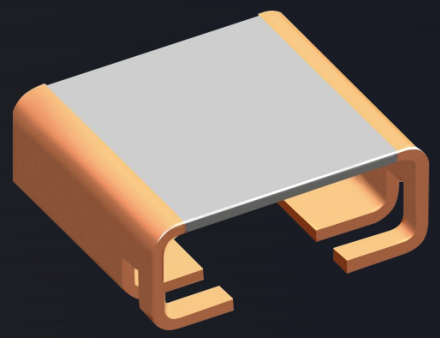
四脚开尔文结构　　±50ppm℃ 最低温飘

0.2mΩ-5mΩ 超低阻值

低热电势、低电感、抗脉冲

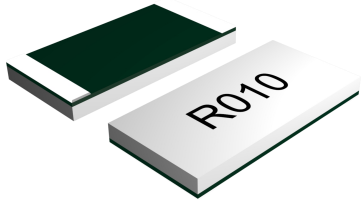


KWSL



PWSL

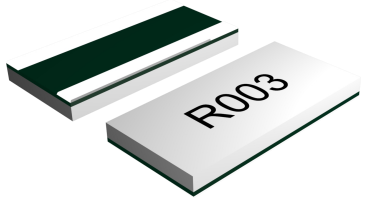
睿思 CSER/CSFR/CSKR系列



CSER

短边电极
电流检测电阻

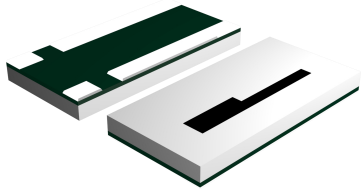
额定功率：0.2W-5W
最高精度：±1%
最低温飘：±50ppm
阻值范围：5mΩ-1Ω
尺寸：0404-4320



CSFR

长边电极
电流检测电阻

额定功率：0.2W-5W
最高精度：±1%
最低温飘：±50ppm
阻值范围：1mΩ-500Ω
尺寸：0603-5930



CSKR

四脚开尔文连接
检流电阻

额定功率：1W-5W
最高精度：±1%
最低温飘：±50ppm
阻值范围：1mΩ-500Ω
尺寸：1206-4320

散热性能很重要

电阻的阻值漂移以及失效主要原因是受到热应力的影响。电阻严重的发热会导致长期稳定性变差，阻值漂移增大，寿命缩短，容易产生安全隐患。发热也会影响电路中其他元器件的性能。CSER 系基板采用高导热氧化铝材质，配合下边电极以及倒装结构，热量可以有效地从上方的氧化铝基板散掉。下边电极与PCB板紧密连接，热量借助PCB板进一步扩散。

低热电势对于直流的应用非常重要

在直流下，电流从电阻的一端流入另一端流出，电极与电阻层之间会形成一个温度差，根据塞贝克效应，这个温度差将使电阻产生一个寄生的电势差。对于阻值通常低至几个毫欧的电流检测电阻来说，这个电势差将会显著影响最终的输出电压，是不可忽略的。 CSER系列电极与电阻层采用导热系数非常接近的材料，电极与电阻层导热良好，可以最大程度降低热电势的影响。

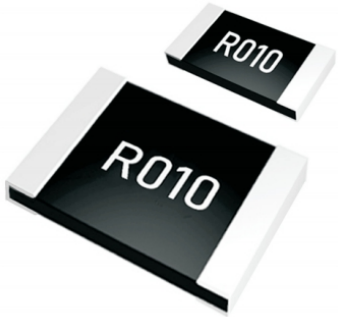
为什么要选择功率系数小的电阻?

功率系数表达的是电阻通电之后自热对电阻产生的影响。在大电流的场合，电阻功率很高，很多时候自热产生的阻值漂移会严重影响电压信号输出，甚至超过温度系数所造成的影响。CSER系列良好的散热性能可以降低功率自热产生的影响，使电阻具有良好的功率系数。

睿思 ECSR2512/PCSR系列

ECSR2512

金属板贴片
检流电阻



PCSR

精密贴片合金
检流电阻

模压型金属板贴片检流电阻

本系列采用电子束焊接工艺将电阻材料和铜电极焊接在一起，这种牢靠的结构有助于提高电阻的额定功率。使用不同的电阻材料和处理工艺，可以得到不同的温度系数和稳定性。

参数规格

系列号	额定功率 70°C	阻值范围	精度	最大电流	过载电流	温飘
ECSR2512	3W	R0005-R004	±1%(F)	20A	50A	±50ppm(Q) ±100ppm(K)
ECSR2512	3W	R005-R010	±1%(F)	20A	50A	
ECSR2512	2W	R011-R050	±1%(F)	20A	50A	

镍铬合金低温飘检流贴片电阻

通过特别的热处理工艺，我们可以改良低阻值电阻的温度系数。该系列最大温飘<±15ppm/℃，为同类低阻检流电阻中温飘表现最为优异的产品之一。同时，该系列电阻使用高品质镍铬材料，具有良好的长期稳定性。20mΩ以上的产品最高精度为±0.1%，适用于各种精密电流检测场合应用。如果标准的产品不能满足您的需求，如在特定温度范围内需要更低的温飘，特别的稳定性要求，特别的尺寸结构要求等，请联系我们确认。

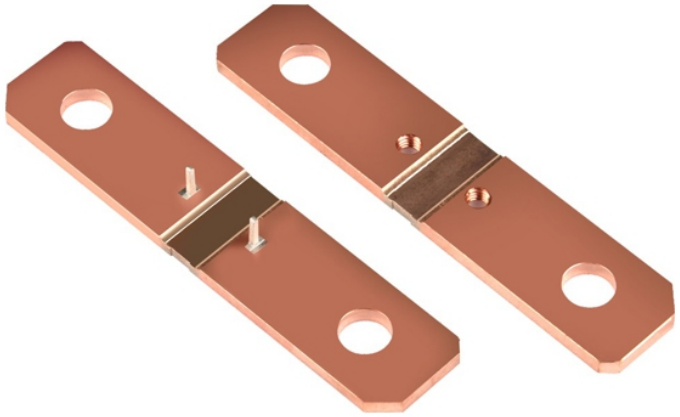
规格参数

系列	功率 (W)	阻值范围①(mΩ) 与精度 (%)		温漂 (ppm/°C)	电阻材质	工作温度范围
		±0.5% ±1%	±0.1% ±0.5% ±1%			
PCSR2512	3	2≤R≤10	-	±15ppm	卡玛	-65°C~+170°C
	2	10<R<20	-			
		-	20≤R≤150			
	1.5	-	150<R≤200			
PCSR3637	3	1≤R<20	20≤R≤100			

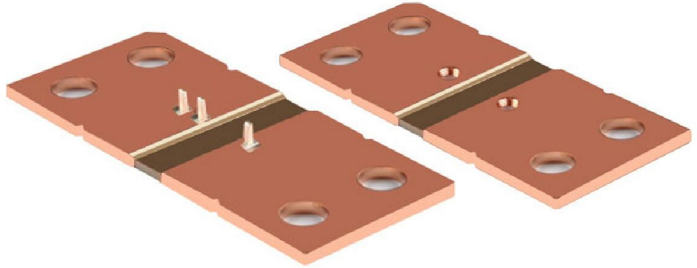
①更低更高阻值，请联系我们。

睿思 ARCS系列

尺寸：8518/6918



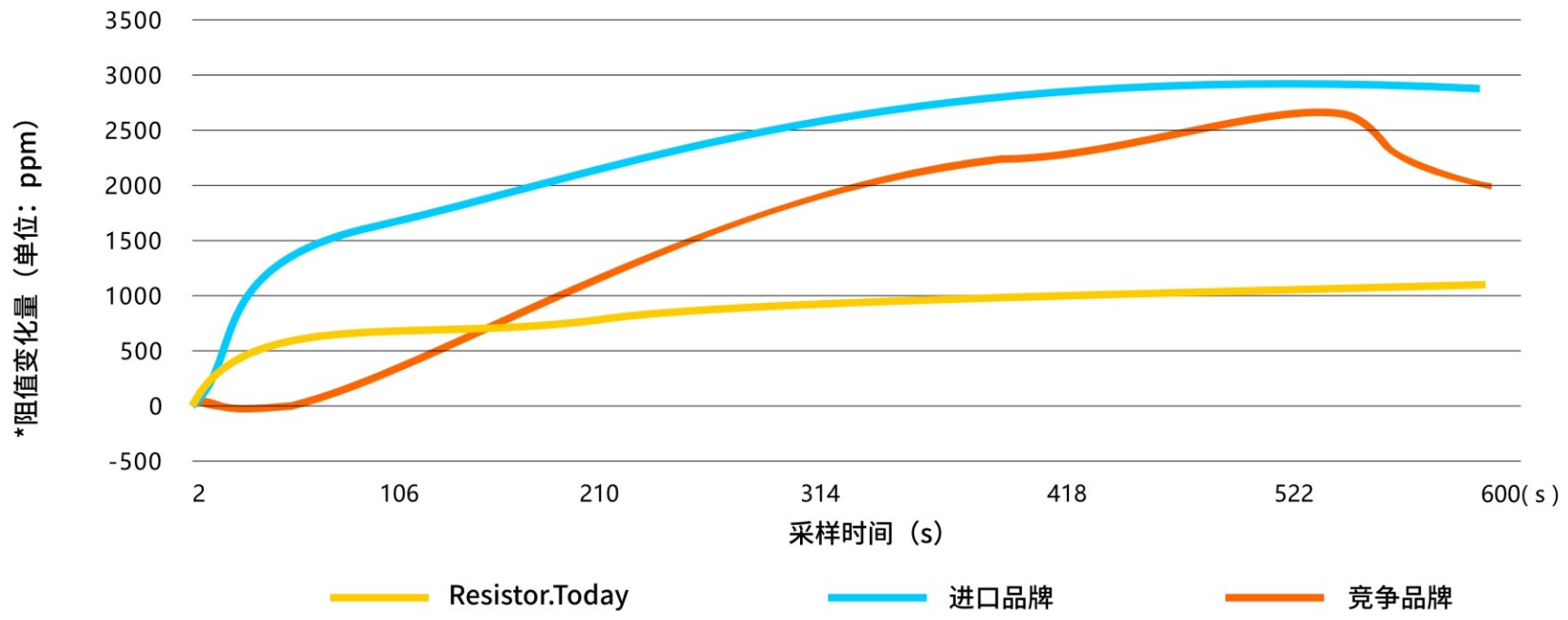
尺寸：8536



参数规格

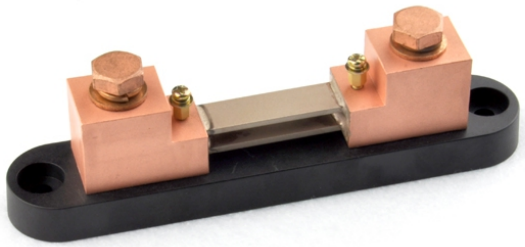
型号	精度	阻值	温漂	电流系数*	额定功率	电压输出点结构	重量
ARCS8518DL050A9	±0.5%	50μΩ	175ppm/°C(-60°C~+175°C) 100ppm/°C(+20°C~+60°C)	<10ppm/A	36W	PIN针	40g
ARCS8518FL050A9	±1%						
ARCS8518JL050A9	±5%						
ARCS8518DL050B9	±0.5%					M3孔	
ARCS8518FL050B9	±1%						
ARCS8518JL050B9	±5%						
ARCS8518DL100A9	±0.5%	100μΩ	100ppm/°C(-60°C~+175°C) 50ppm/°C(+20°C~+60°C)	<7ppm/A	36W	PIN针	40g
ARCS8518FL100A9	±1%						
ARCS8518JL100A9	±5%						
ARCS8518DL100B9	±0.5%					M3孔	
ARCS8518FL100B9	±1%						
ARCS8518JL100B9	±5%						
ARCS6918DL050A9	±0.5%	50μΩ	175ppm/°C(-60°C~+175°C) 100ppm/°C(+20°C~+60°C)	<10ppm/A	25W	PIN针	35g
ARCS6918FL050A9	±1%						
ARCS6918JL050A9	±5%						
ARCS6918DL050B9	±0.5%					M3孔	
ARCS6918FL050B9	±1%						
ARCS6918JL050B9	±5%						
ARCS6918DL100A9	±0.5%	100μΩ	125ppm/°C(-60°C~+175°C) 100ppm/°C(+20°C~+60°C)	<7ppm/A	25W	PIN针	35g
ARCS6918FL100A9	±1%						
ARCS6918JL100A9	±5%						
ARCS6918DL100B9	±0.5%					M3孔	
ARCS6918FL100B9	±1%						
ARCS6918JL100B9	±5%						
ARCS8536DL050A9	±0.5%	50μΩ	100ppm/°C(-60°C~+175°C) 50ppm/°C(+20°C~+60°C)	<10ppm/A	50W	PIN针	80g
ARCS8536FL050A9	±1%						
ARCS8536JL050A9	±5%						
ARCS8536DL050B9	±0.5%					M3孔	
ARCS8536FL050B9	±1%						
ARCS8536JL050B9	±5%						

200A--热平衡时间及阻值变化（对比数据来自于开步电子实验中心）



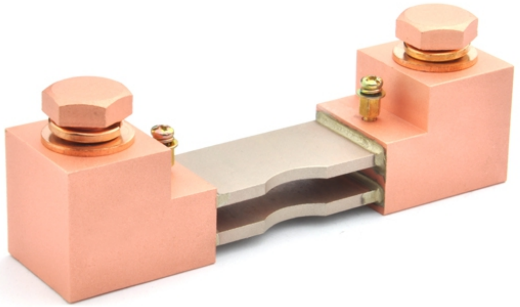
*阻值变化量：按照（Rt-Ro）/Ro*1000000计算而来，Rt是当前时刻所测的阻值，Ro是通电瞬间所测得的阻值大小。

睿思 RTBS/RTCS系列



RTBS

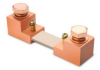
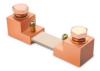
精密锰铜合金分流器
带电木安装底座



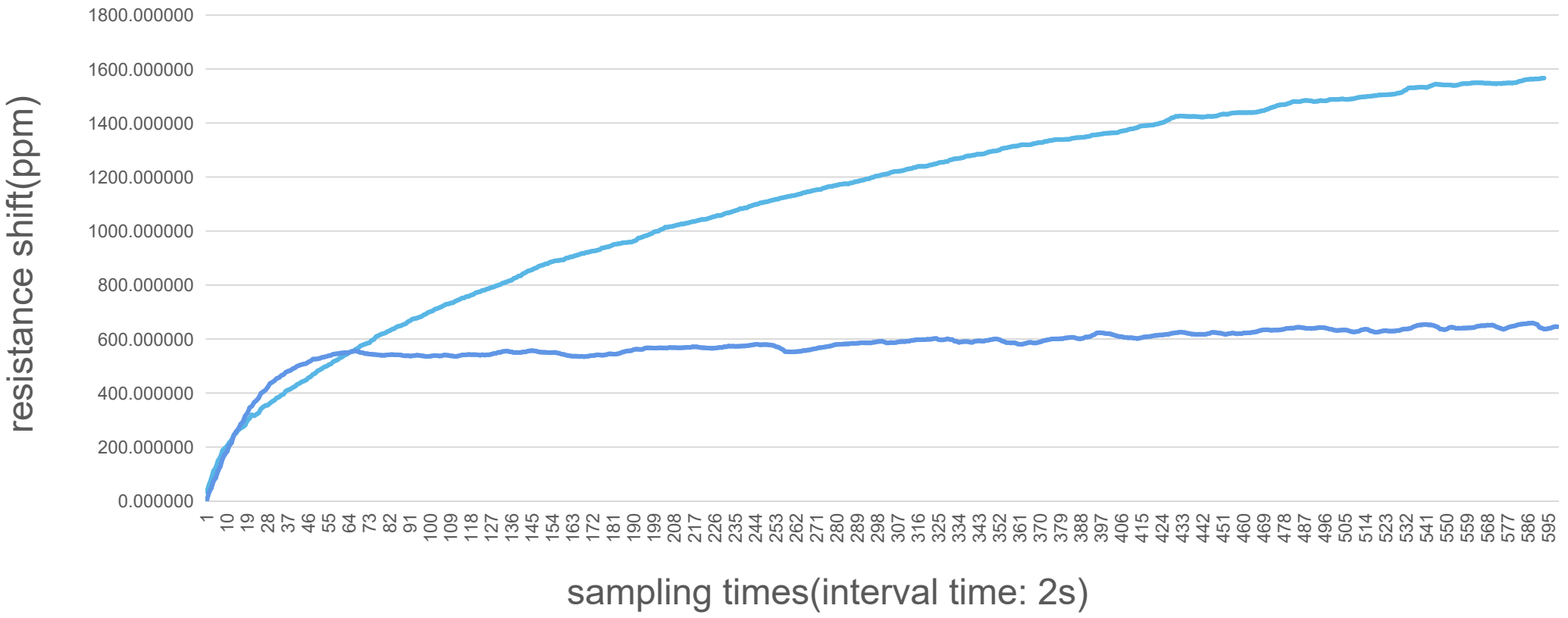
RTCS

精密锰铜合金分流器

系列	图片	精度	温飘	额定电流	输出电压
RTBS0050		±0.1%	±20ppm	50A	50-75mV
RTBS0100		±0.1%	±20ppm	100A	50-75mV
RTBS0200		±0.1%	±20ppm	200A	50-75mV
RTBS0300		±0.1%	±20ppm	300A	50-75mV

系列	图片	精度	温飘	额定电流	输出电压
RTCS0050		±0.1%	±20ppm	50A	50-75mV
RTCS0100		±0.1%	±20ppm	100A	50-75mV
RTCS0200		±0.1%	±20ppm	200A	50-75mV
RTCS0300		±0.1%	±20ppm	300A	50-75mV

Resistance Shift Under Rated Current
(RTCS 100A VS TYPE-F 100A)



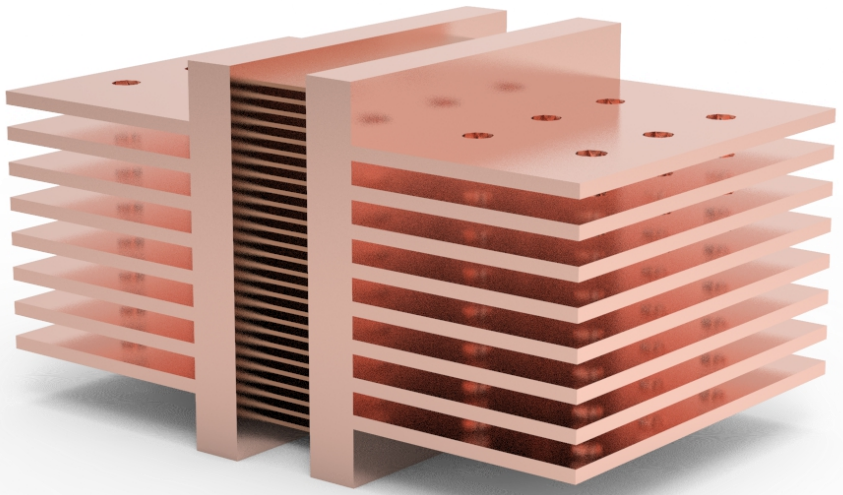
: Competitor

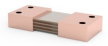
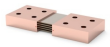
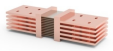
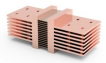
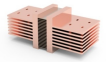
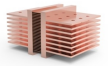
: Resistor Today

TCR (-20℃ to +110℃, +25 ref.)
RTCS 300A VS TPYE-F 300A

	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃	110℃
Resistor Today	31.44	27.17	25.61	25.31	15.36	24	-2.134	-1.25	-6.07	-7.32	-8.5	-9.16	-12.1	-14.35
Competitor	64.47	65.48	67.16	70.09	95.94	32.78	53.83	54.05	57.91	38.91	11.99	-6.15	-29.95	-31.98

睿思RTCS系列



系列	图片	精度	温飘	额定电流	输出电压
RTCS0500		±0.1%	±20ppm	500A	50mV
RTCS1000		±0.1%	±20ppm	1000A	50mV
RTCS2000		±0.1%	±20ppm	2000A	50mV
RTCS5000		±0.1%	±20ppm	5000A	50mV
RTCS10K0		±0.1%	±20ppm	10000A	50mV
RTCS16K0		±0.1%	±20ppm	16000A	50mV
RTCS20K0		±0.1%	±20ppm	20000A	50mV

定制适合实际应用场景的高精度分流器(CTS服务)

每一只分流器都要经过精密调阻。标准的产品可以满足10%-100%额定电流范围内的采样精度，在精密调阻的过程中，主要的挑战来自于要同时兼顾10%的额定电流和100%额定电流的检测精度。如大家所知道的，锰铜材料的温度特性曲线并非线性的变化，所以平衡锰铜材料的表面温度到最佳工作温度是实现精密测量的关键。

CTS服务是免费提供给客户的定制服务，即客制化的调阻服务。通过收集客户的实际工况，预估分流器工作时的平均表面温度，进而找出检测精度最优的阻值点。通过CTS服务可以显著的提高检测精度，每一个经过CTS服务的料号我们都分配了唯一识别码。

每一只经过CTS服务的分流器，我们都会随货提供完整的出厂测试报告，这项服务也是免费的！

需要CTS服务请先联系我们的客户代表，我们将协助客户收集以下数据：

最小工作电流		最低环境温度	
最大工作电流		最高环境温度	
工作电流曲线图		环境温度曲线图	
最终产品名称		安装方式	
最终产品工作地点		散热条件	
设计寿命		安装图片	
如有其他能说明分流器工况的数据，也请一并提交。			

THANKS

技术支持：李工

yuhao@cbeureka.com

18280598818