

## 使用AD8494/AD8495/AD8496/AD8497时的热电偶线性化

作者: Reem Malik

### 简介

AD8494/AD8495/AD8496/AD8497热电偶放大器为热电偶温度测量提供了一种简单的低成本解决方案。这些放大器解决了热电偶测量的许多困难。固定增益仪表放大器能够放大很小的热电偶电压，而集成温度传感器可实现冷结补偿。

AD849x专为测量和放大J型和K型热电偶信号而优化，以便获得5 mV/°C线性响应，使得

$$V_{OUT} = (T_{MJ} \times 5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}) + V_{REF}$$

其中 $T_{MJ}$ 表示热电偶的测量结温。

AD849x输出在整个测量范围内精确至2°C以内，表1列出了环境温度。本应用笔记介绍了在工作或测量温度超出额定范围的情况下使用AD849x实现更高精度的方法。

### 热电偶非线性

热电偶所产生的电压本身具有非线性。例如，J型热电偶在25°C时变化幅度为52  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ，150°C时变化幅度为55  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 。K型热电偶更倾向于线性，温度高于0°C时基本保持在41  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 附近。热电偶对于温度梯度的电压响应可用六阶以上的多项式(参见图1)来描述。

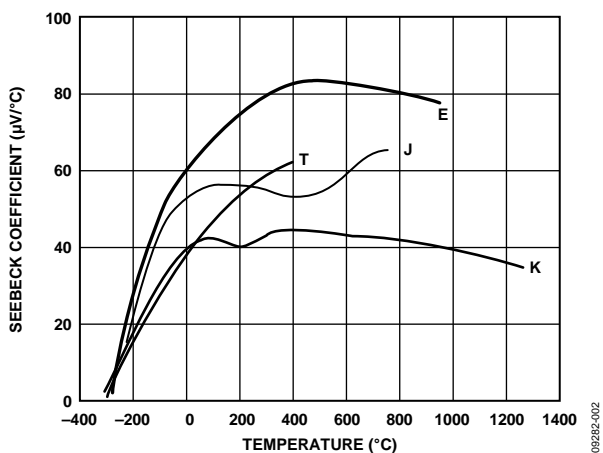


图1. 热电偶与温度的塞贝克系数

AD849x线性放大(冷结补偿)热电偶信号。这意味着输出信号与热电偶的输入信号同样是非线性的。

在特定温度范围内，应用需要的非线性度可能要优于直接由热电偶提供的非线性度(意味着更高精度)。这种情况下，热电偶测量需要线性化或校正。

热电偶测量是否需要线性化取决于选择的热电偶类型、所需的系统精度以及所测量的温度范围。经过仔细研究，热电偶信号的非线性度对于特定热电偶类型是恒定的。因此，测量系统可对非线性予以补偿。

### AD849x热电偶非线性补偿

虽然AD849x不能主动校正热电偶非线性，放大器却经过精密调整，以匹配J型和K型热电偶的传递特性。这意味着AD849x通过选择热电偶的特定部分，并通过对该部分进行线性最佳拟合来补偿非线性，从而产生5 mV/°C输出。

表1显示所选择的温度范围，由热电偶非线性引起的误差小于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。图2以图形方式显示非线性误差。

表1: AD849x  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 精度温度范围

产品型号	热电偶类型	最大误差	环境温度范围	测量温度范围
AD8494	J	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	0°C 至 50°C	-35°C 至 +95°C
AD8495	K	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	0°C 至 50°C	-25°C 至 +400°C
AD8496	J	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	25°C 至 100°C	+55°C 至 +565°C
AD8497	K	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	25°C 至 100°C	-25°C 至 +295°C

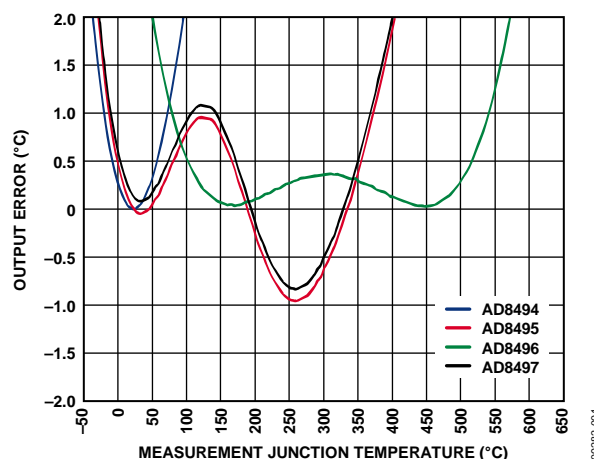


图2. 由热电偶非线性引起的AD849x输出误差

# AN-1087

AD849x系列的每款器件均经过精密调整，以针对特定热电偶类型及特定测量与环境温度范围优化线性的工作范围。以下三个参数经调整以实现误差极小的5 mV/°C输出：

- 放大器增益
- 放大器失调电压（从0°C到25°C范围内的125 mV的误差）
- 温度传感器/冷结补偿器的比例因子

热电偶电压 $V_{TC}$ 与热电偶类型、测量结温( $T_{MJ}$ )和基准结温( $T_{RJ}$ )成函数关系。

$$V_{TC} \propto T_{MJ} - T_{RJ} = (T_{MJ} - 0) - (T_{RJ} - 0)$$

应用以下传递函数决定由AD849x测量的实际热电偶电压(各器件的额定值参见表2)。

$$V_{TC} = \frac{V_{OUT} - (T_{RJ} \times CJC) - V_{OFFSET} - V_{REF}}{Gain}$$

其中：

CJC为冷结补偿比例因子。

$V_{OFFSET}$ 为从0°C到25°C时的125 mV误差。

$V_{REF}$ 为用户输入电压。

Gain为放大器的增益。

**表2：AD8494、AD8495、AD8496和AD8497的传递函数值**

产品型号	增益	CJC 因子 (mV/°C)	失调 (mV)
AD8494	96.7	5	0
AD8495	122.4	4.95	1.25
AD8496	90.35	4.8	20.2
AD8497	122.4	5.0392	-0.98

## 线性校正算法

热电偶非线性通常在数字域中通过微控制器校正。可使用两种校正算法。

### AD849x输出查询表

第一种方法是使用表3，其中列出了与具有额定结温的J型和K型热电偶的温度成函数关系的理想AD849x输出电压。

例如，接地基准引脚连接至K型热电偶的AD8495在室温(25°C)下输出1 V。使用5 mV/°C传递函数，1 V代表200°C。如需更高精度，用户必须计算对应于1 V输出的温度，具体如下：

1. 表3说明，在200°C的测量结温下，实际AD8495输出为0.999 V，在220°C的测量结温下，输出为1.097 V。
2. 两点之间的线性外推得出在1 V下200.2°C的答案。

## NIST热电电压查找表

第二种方法是使用以下公式，其中 $T_{MJ}$ 是热电偶测量结温， $f_{NIST}$ 是毫伏-温度函数，依据的是标准查找表或美国国家标准技术研究院(NIST)发布的公式(如需热电偶数据库，请访问<http://srdata.nist.gov/its90/main>)。

如前所述， $V_{TC} = T_{MJ} - T_{RJ}$ ，使得

$$V_{TC} = f_{NIST}(T_{MJ} - 0) - f_{NIST}(T_{RJ} - 0)$$

用于中间温度的输出值可使用AD849x输出公式及NIST热电电压表(以0°C为基准)进行插值或计算。

对于AD8494，计算公式如下：

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF})/96.7)$$

对于AD8495，计算公式如下：

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF} - 1.25 \text{ mV})/122.4)$$

对于AD8496，计算公式如下：

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF} - 20.2 \text{ mV})/90.35)$$

对于AD8497，计算公式如下：

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF} + 0.98 \text{ mV})/122.4)$$

使用与第一种方法相同的示例(AD8495接地基准引脚连接至K型热电偶，在室温下输出1 V)，校正程序如下：

1. 参考标准K型热电偶表，查得在测量结温为200°C时，热电偶的热电电压为8.138 mV，测量结温为201°C时，热电电压为8.178 mV。
2. 线性外推得出200.5°C的最终答案。

表3:反映热电偶非线性的实际AD849x结果

测量结温 (°C)	AD8494/AD8495 输出, $T_A = T_{RJ} = 25^\circ\text{C}$			AD8496/AD8497 输出, $T_A = T_{RJ} = 60^\circ$		
	理想输出 (V)	实际输出 (V)		理想输出 (V)	实际输出 (V)	
	AD8494/ AD8495	AD8494 J型输出	AD8495 K型输出	AD8496/ AD8497	AD8496 J型输出	AD8497 K型输出
-260	-1.3		-0.786	-1.3		-0.785
-240	-1.2		-0.774	-1.2		-0.773
-220	-1.1		-0.751	-1.1		-0.751
-200	-1		-0.719	-1		-0.718
-180	-0.9	-0.714	-0.677	-0.9	-0.642	-0.676
-160	-0.8	-0.658	-0.627	-0.8	-0.590	-0.626
-140	-0.7	-0.594	-0.569	-0.7	-0.530	-0.568
-120	-0.6	-0.523	-0.504	-0.6	-0.464	-0.503
-100	-0.5	-0.446	-0.432	-0.5	-0.392	-0.432
-80	-0.4	-0.365	-0.355	-0.4	-0.315	-0.354
-60	-0.3	-0.278	-0.272	-0.3	-0.235	-0.271
-40	-0.2	-0.188	-0.184	-0.2	-0.150	-0.184
-20	-0.1	-0.095	-0.093	-0.1	-0.063	-0.092
0	0	0.002	0.003	0	0.027	0.003
20	0.1	0.100	0.100	0.1	0.119	0.101
25	0.125	0.125	0.125	0.125	0.142	0.126
40	0.2	0.201	0.200	0.2	0.213	0.200
60	0.3	0.303	0.301	0.3	0.308	0.301
80	0.4	0.406	0.402	0.4	0.405	0.403
100	0.5	0.511	0.504	0.5	0.503	0.505
120	0.6	0.617	0.605	0.6	0.601	0.605
140	0.7	0.723	0.705	0.7	0.701	0.705
160	0.8	0.829	0.803	0.8	0.800	0.804
180	0.9	0.937	0.901	0.9	0.900	0.902
200	1	1.044	0.999	1	1.001	0.999
220	1.1	1.151	1.097	1.1	1.101	1.097
240	1.2	1.259	1.196	1.2	1.201	1.196
260	1.3	1.366	1.295	1.3	1.302	1.296
280	1.4	1.473	1.396	1.4	1.402	1.396
300	1.5	1.580	1.497	1.5	1.502	1.498
320	1.6	1.687	1.599	1.6	1.602	1.599
340	1.7	1.794	1.701	1.7	1.702	1.701
360	1.8	1.901	1.803	1.8	1.801	1.804
380	1.9	2.008	1.906	1.9	1.901	1.907
400	2	2.114	2.010	2	2.001	2.010
420	2.1	2.221	2.113	2.1	2.100	2.114
440	2.2	2.328	2.217	2.2	2.200	2.218
460	2.3	2.435	2.321	2.3	2.300	2.322
480	2.4	2.542	2.425	2.4	2.401	2.426
500	2.5	2.650	2.529	2.5	2.502	2.530
520	2.6	2.759	2.634	2.6	2.603	2.634
540	2.7	2.868	2.738	2.7	2.705	2.739
560	2.8	2.979	2.843	2.8	2.808	2.843
580	2.9	3.090	2.947	2.9	2.912	2.948
600	3	3.203	3.051	3	3.017	3.052
620	3.1	3.316	3.155	3.1	3.124	3.156
640	3.2	3.431	3.259	3.2	3.231	3.259
660	3.3	3.548	3.362	3.3	3.340	3.363
680	3.4	3.666	3.465	3.4	3.451	3.466

# AN-1087

测量结温 (°C)	AD8494/AD8495 输出, $T_A = T_{RJ} = 25^\circ\text{C}$			AD8496/AD8497 输出, $T_A = T_{RJ} = 60^\circ$		
	理想输出 (V)	实际输出 (V)		理想输出 (V)	实际输出 (V)	
	AD8494/ AD8495	AD8494 J型输出	AD8495 K型输出	AD8496/ AD8497	AD8496 J型输出	AD8497 K型输出
700	3.5	3.786	3.568	3.5	3.562	3.569
720	3.6	3.906	3.670	3.6	3.675	3.671
740	3.7	4.029	3.772	3.7	3.789	3.773
760	3.8	4.152	3.874	3.8	3.904	3.874
780	3.9	4.276	3.975	3.9	4.020	3.976
800	4	4.401	4.076	4	4.137	4.076
820	4.1	4.526	4.176	4.1	4.254	4.176
840	4.2	4.650	4.275	4.2	4.370	4.276
860	4.3	4.774	4.374	4.3	4.486	4.375
880	4.4	4.897	4.473	4.4	4.600	4.474
900	4.5	5.018	4.571	4.5	4.714	4.572
920	4.6	5.138	4.669	4.6	4.826	4.670
940	4.7	5.257	4.766	4.7	4.937	4.767
960	4.8	5.374	4.863	4.8	5.047	4.863
980	4.9	5.490	4.959	4.9	5.155	4.960
1000	5	5.606	5.055	5	5.263	5.055
1020	5.1	5.720	5.150	5.1	5.369	5.151
1040	5.2	5.833	5.245	5.2	5.475	5.245
1060	5.3	5.946	5.339	5.3	5.581	5.339
1080	5.4	6.058	5.432	5.4	5.686	5.433
1100	5.5	6.170	5.525	5.5	5.790	5.526
1120	5.6	6.282	5.617	5.6	5.895	5.618
1140	5.7	6.394	5.709	5.7	5.999	5.710
1160	5.8	6.505	5.800	5.8	6.103	5.801
1180	5.9	6.616	5.891	5.9	6.207	5.891
1200	6	6.727	5.980	6	6.311	5.981
1220	6.1		6.069	6.1		6.070
1240	6.2		6.158	6.2		6.158
1260	6.3		6.245	6.3		6.246
1280	6.4		6.332	6.4		6.332
1300	6.5		6.418	6.5		6.418
1320	6.6		6.503	6.6		6.503
1340	6.7		6.587	6.7		6.588
1360	6.8		6.671	6.8		6.671
1380	6.9		6.754	6.9		6.754