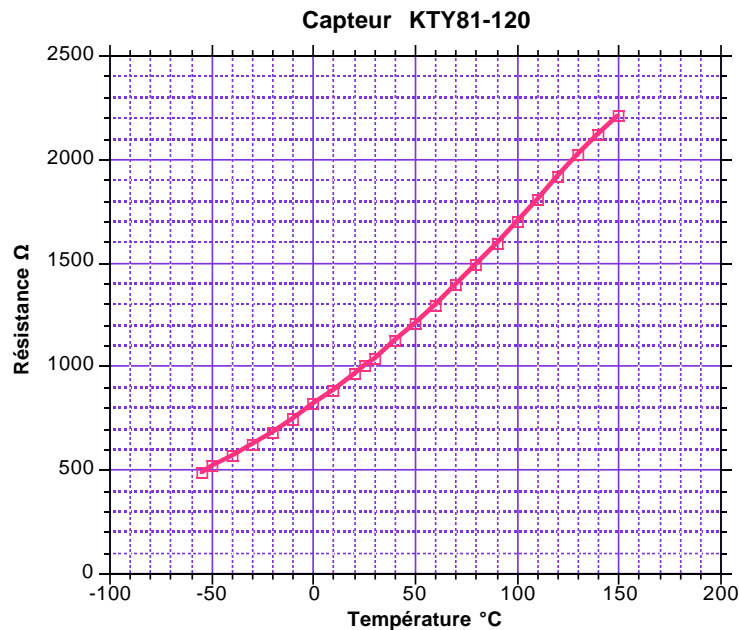


# <sup>1</sup> LINEARISATION D'UN CAPTEUR DE TEMPERATURE A SEMI-CONDUCTEUR

On désire relever la température d'un liquide au repos. On se propose pour cela, d'utiliser un capteur de température résistif au silicium de la famille KTY81, dont les caractéristiques sont données en annexe. On utilise dans cette application, le capteur **KTY81-120** qui est polarisé avec un courant de 1 mA. Sa caractéristique  $R(T)$  est donnée ci-dessous.



La variation de la résistance  $R(T)$  du capteur en fonction de la température étant non linéaire, on approche sa caractéristique sur toute sa gamme de fonctionnement c'est-à-dire de  $-55$  à  $+150$  °C par un polynôme du 2<sup>o</sup> degré :  $R(T) = R_0(1 + aT + bT^2)$  (1)

1. On souhaite obtenir la précision maximale sur toute la gamme de température de fonctionnement exprimée en degrés Celsius. A partir du tableau  $R(T)$ , donné en annexe et en choisissant les valeurs typiques du capteur KTY81-120, donner la valeur de  $R_0$ , puis calculer les coefficients  $a$  et  $b$  de l'équation (1).

On linéarise la loi de variation  $R(T)$  pour des températures variant autour de  $0$ °C. Pour cela, on place en parallèle avec le capteur de température, une résistance fixe  $R_1$  dite de « linéarisation ». On dispose alors d'une résistance équivalente :

$$R_{eq}(T) = \frac{R_1 R(T)}{R_1 + R(T)}$$

Pour assurer la linéarité, cette résistance équivalente doit évidemment satisfaire, autour de  $0$ °C, à la condition :

$$\frac{d^2 R_{eq}(T)}{dT^2} = 0.$$

2. Déterminer l'expression de la dérivée seconde de  $R_{eq}(T)$  par rapport à la température  $T$  en fonction de  $R$ ,  $R'(T)$ ,  $R''(T)$  et  $R'''(T)$ , où  $R'(T)$  et  $R''(T)$  sont les dérivées première et seconde de  $R(T)$ .
3. Compte tenu de l'équation (1), en déduire l'expression de la résistance de linéarisation  $R_l$  en fonction de  $a$  et  $b$  autour de  $0^\circ\text{C}$ . Quelle condition les coefficients  $a$  et  $b$  doivent-ils remplir ? Faire l'application numérique.
4. L'écart de linéarité, à une température  $T$  par rapport à une température de référence  $T_{ref}$ , est tel que :

$$\Delta l = \left| \frac{\left(\frac{dR}{dT}\right)_T - \left(\frac{dR}{dT}\right)_{T_{ref}}}{\left(\frac{dR}{dT}\right)_{T_{ref}}} \right|$$

La température de référence étant égale à  $0^\circ\text{C}$ , calculer l'écart de linéarité  $\Delta l$  à la température de  $-30^\circ\text{C}$  et  $+30^\circ\text{C}$  :

- Sans linéarisation
- Avec linéarisation

5. Tracer le graphe de l'évolution de la tension aux bornes de  $R_{eq}$  en fonction de la température et donner la variation de la tension aux bornes.

# ANNEXE

Philips Semiconductors

Product specification

## Silicon temperature sensors

## KTY81-1 series

### DESCRIPTION

The temperature sensors in the KTY81-1 series have a positive temperature coefficient of resistance and are suitable for use in measurement and control systems. The sensors are encapsulated in the SOD70 leaded plastic package.

Tolerances of 0.5% or other special selections are available on request.

### MARKING

TYPE NUMBER	CODE
KTY81-110	110
KTY81-120	120
KTY81-121	121
KTY81-122	122
KTY81-150	150
KTY81-151	151
KTY81-152	152

### PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	electrical contact
2	electrical contact
3	not to be connected to a potential

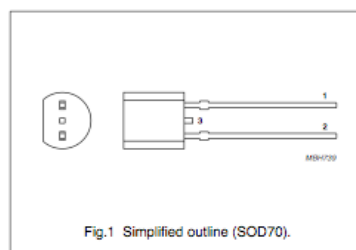


Fig.1 Simplified outline (SOD70).

### QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
R <sub>25</sub>	sensor resistance	T <sub>amb</sub> = 25 °C; I <sub>cont</sub> = 1 mA			
	KTY81-110		990	1010	Ω
	KTY81-120		980	1020	Ω
	KTY81-121		960	1000	Ω
	KTY81-122		1000	1020	Ω
	KTY81-150		950	1050	Ω
	KTY81-151		950	1000	Ω
	KTY81-152		1000	1050	Ω
T <sub>amb</sub>	ambient operating temperature		-55	+150	°C

Philips Semiconductors

Product specification

## Silicon temperature sensors

## KTY81-1 series

**Table 1** Ambient temperature, corresponding resistance, temperature coefficient and maximum expected temperature error for KTY81-110 and KTY81-120

I<sub>cont</sub> = 1 mA.

AMBIENT TEMPERATURE		TEMP. COEFF. (%/K)	KTY81-110				KTY81-120			
(°C)	(°F)		RESISTANCE (Ω)			TEMP. ERROR (K)	RESISTANCE (Ω)			TEMP. ERROR (K)
			MIN.	TYP.	MAX.		MIN.	TYP.	MAX.	
-55	-67	0.99	475	490	505	±3.02	470	490	510	±4.02
-50	-58	0.98	500	515	530	±2.92	495	515	535	±3.94
-40	-40	0.96	552	567	582	±2.74	547	567	588	±3.78
-30	-22	0.93	609	624	638	±2.55	603	624	645	±3.62
-20	-4	0.91	669	684	698	±2.35	662	684	705	±3.45
-10	14	0.88	733	747	761	±2.14	726	747	769	±3.27
0	32	0.85	802	815	828	±1.91	793	815	836	±3.08
10	50	0.83	874	886	898	±1.67	865	886	907	±2.88
20	68	0.80	950	961	972	±1.41	941	961	982	±2.66
25	77	0.79	990	1000	1010	±1.27	980	1000	1020	±2.54
30	86	0.78	1029	1040	1051	±1.39	1018	1040	1061	±2.68
40	104	0.75	1108	1122	1136	±1.64	1097	1122	1147	±2.97
50	122	0.73	1192	1209	1225	±1.91	1180	1209	1237	±3.28
60	140	0.71	1278	1299	1319	±2.19	1265	1299	1332	±3.61
70	158	0.69	1369	1392	1416	±2.49	1355	1392	1430	±3.94
80	176	0.67	1462	1490	1518	±2.8	1447	1490	1532	±4.3
90	194	0.65	1559	1591	1623	±3.12	1543	1591	1639	±4.66
100	212	0.63	1659	1696	1733	±3.46	1642	1696	1750	±5.05
110	230	0.61	1762	1805	1847	±3.83	1744	1805	1865	±5.48
120	248	0.58	1867	1915	1963	±4.33	1848	1915	1982	±6.07
125	257	0.55	1919	1970	2020	±4.66	1899	1970	2040	±6.47
130	266	0.52	1970	2023	2077	±5.07	1950	2023	2097	±6.98
140	284	0.45	2065	2124	2184	±6.28	2043	2124	2205	±8.51
150	302	0.35	2145	2211	2277	±8.55	2123	2211	2299	±11.43

Tableau R (T)

Silicon temperature sensors

KTY81-1 series

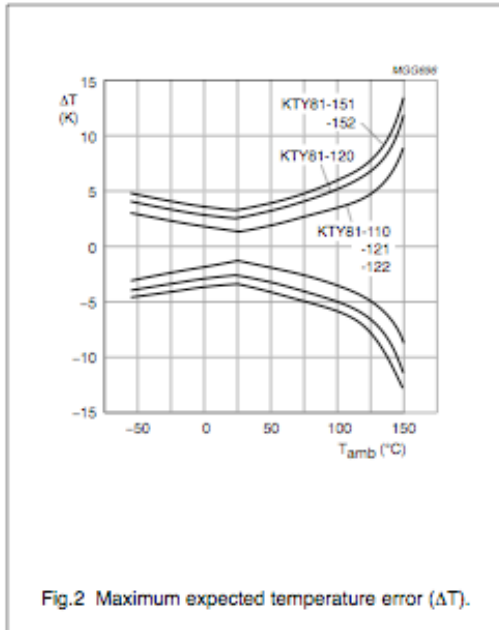
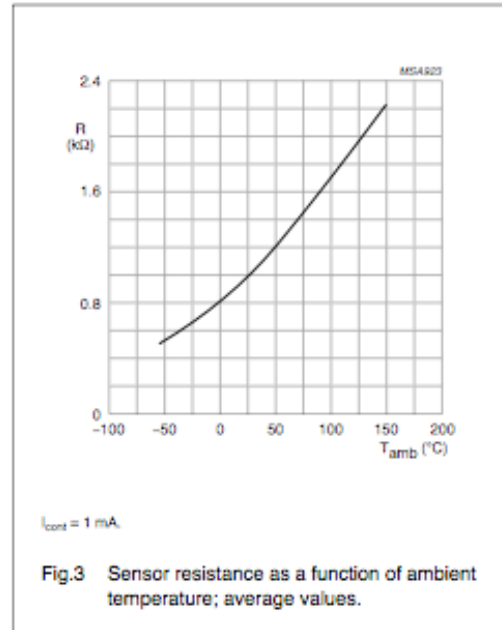
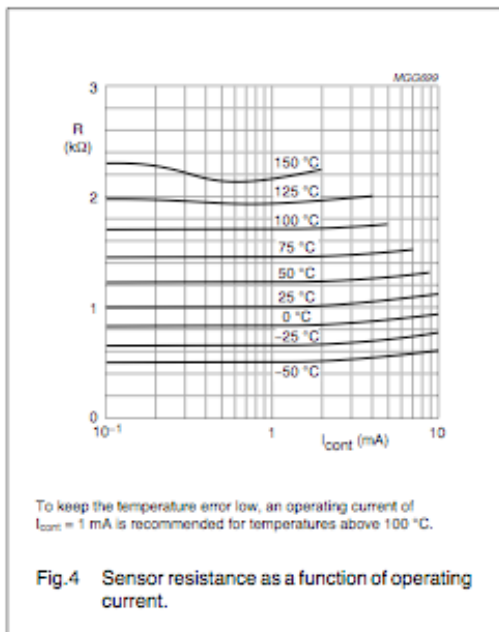


Fig.2 Maximum expected temperature error ( $\Delta T$ ).



$I_{cont} = 1 \text{ mA}$ .

Fig.3 Sensor resistance as a function of ambient temperature; average values.



To keep the temperature error low, an operating current of  $I_{cont} = 1 \text{ mA}$  is recommended for temperatures above 100 °C.

Fig.4 Sensor resistance as a function of operating current.

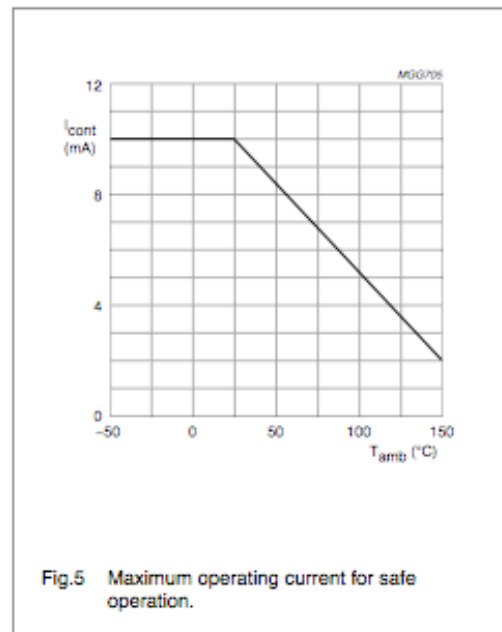


Fig.5 Maximum operating current for safe operation.

## CORRECTION

1. La valeur du tableau donne pour  $T = 0^\circ\text{C}$  :  $R_0 = 815\Omega$ .  
 Pour avoir la précision maximale on prend ensuite les données extrêmes :
- $T = -55^\circ\text{C}$      $R(-55) = 490\Omega$
  - $T = 150^\circ\text{C}$      $R(150) = 2211\Omega$ .

On obtient alors deux équations à deux inconnues dont la résolution permet d'obtenir :

$$a = 8,368 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ et } b = 2,033 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}.$$

2. Calcul de la dérivée première :

$$\frac{dR_{eq}}{dT} = \frac{R_1(R_1 + R(T))R'(T) - R_1R(T)R'(T)}{[R(T) + R_1]^2}$$

Calcul de la dérivée seconde :

$$\frac{d^2R_{eq}}{dT^2} = \frac{(R_1)^2}{[R_1 + R(T)]^3} [R''(T)(R_1 + R(T) - 2(R'(T))^2)]$$

3. La dérivée seconde est nulle lorsque :  $[R''(T)(R_1 + R(T) - 2(R'(T))^2)] = 0$

Sachant que :  $R(T) = R_0(1 + aT + bT^2)$ , on en déduit :

$$R'(T) = R_0(a + 2bT)$$

$$R''(T) = 2bR_0$$

La condition de dérivée seconde nulle devient alors quelle que soit la température :

$$b(1 + aT + bT^2 + \frac{R_1}{R_0}) - (a + 2bT)^2 = 0$$

En particulier, autour de  $T = 0^\circ\text{C}$ , il vient :  $R_1 = R_0(\frac{a^2}{b} - 1)$

On doit évidemment satisfaire à :  $\frac{a^2}{b} > 1$

Valeur de la résistance de linéarisation :  $R_1 = 1992\Omega$ .

4. Evolution de la température de  $0^\circ\text{C}$  à  $+30^\circ\text{C}$ .

Sans linéarisation :  $\frac{dR(T)}{dT} = R_0(a + 2bT)$ , soit :

$$\frac{dR(0^\circ\text{C})}{dT} = 6,82064 \cdot \Omega^\circ\text{C}^{-1} \text{ et } \frac{dR(30^\circ\text{C})}{dT} = 7,81505 \cdot \Omega^\circ\text{C}^{-1}. \text{ Linéarité : } \Delta l = 14,5\%.$$

Avec linéarisation :  $\frac{dR_{eq}}{dT} = \frac{R_1(R_1 + R(T))R'(T) - R_1R(T)R'(T)}{[R(T) + R_1]^2}$

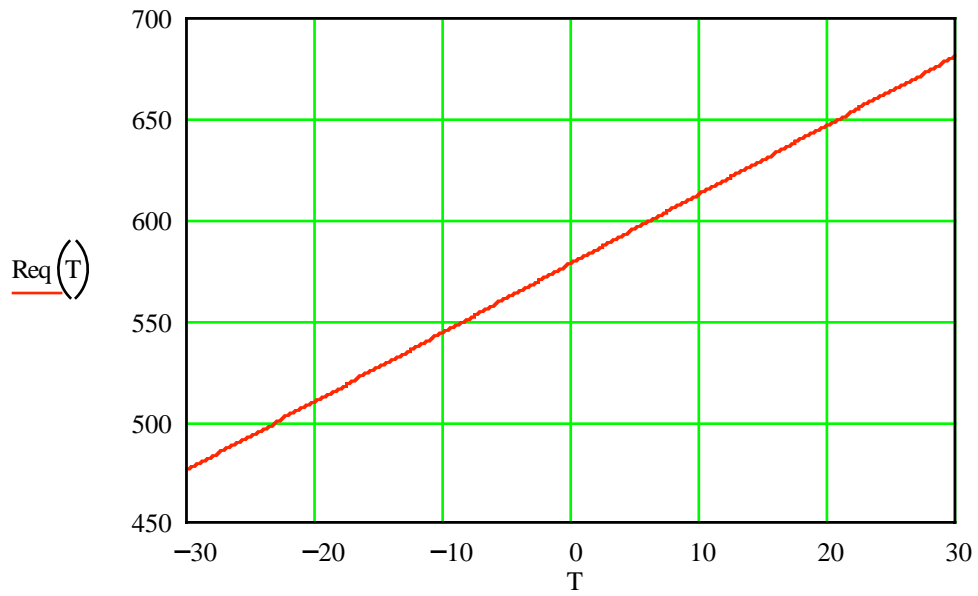
$$\frac{dR_{eq}(0^\circ\text{C})}{dT} = 3,43489 \cdot \Omega^\circ\text{C}^{-1} \text{ et } \frac{dR_{eq}(30^\circ\text{C})}{dT} = 3,38541 \cdot \Omega^\circ\text{C}^{-1}. \text{ Linéarité : } \Delta l = 1,44\%.$$

Evolution de la température de 0°C à -30°C.

Sans linéarisation :  $\frac{dR(-30^{\circ}\text{C})}{dT} = 5.82622.\Omega^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Linéarité :  $\Delta l = 14,6\%$ .

Avec linéarisation :  $\frac{dR_{eq}(-30^{\circ}\text{C})}{dT} = 3.37485.\Omega^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Linéarité :  $\Delta l = 1,75\%$ .

5. Evolution de la résistance équivalente :



Le courant dans la résistance équivalente étant de 1mA, sa tension aux bornes varie de 475,9 mV à 680,9 mV lorsque la température évolue de -30 à 30 °C avec une erreur maximale de linéarité de 1,75%.