

NTCサーミスタの使い方

Technical Document

CONTENTS

1. モジュール内部構造と熱拡散	2
1-1. モジュール内部構造	2
1-2. モジュール内の熱拡散	3
2. NTCサーミスタの基本特性	4
2-1. 抵抗値	4
2-2. B定数	4
2-3. 熱放散定数	5
2-4. 時間応答性	5
3. NTCサーミスタの温度検出方法	6

IGBTモジュールには、内部にNTCサーミスタを搭載した製品があります。このサーミスタの用途は、定常運転時などの熱平衡状態での温度検出です。

この資料は、サーミスタの基本特性、温度検出方法について説明します。

1. モジュール内部構造と熱拡散

1.1 モジュール内部構造

図1に示すように、NTCサーミスタは、正確な温度検出をするために、チップと同一DCB基板上の隣接した位置に取り付けられます。



図1. NTCサーミスタを内蔵したIGBTモジュールの内部構造の一例

1.2 モジュール内の熱拡散

熱伝導は図2に示す等価回路に置き換えられます。

チップとサーミスタ間には熱抵抗 $R_{th(j-NTC)}$ があるため、サーミスタ温度 T_{NTC} は、ジャンクション温度 T_{vj} よりも低い温度になります。 $R_{th(j-NTC)}$ は、サーマルグリースの熱伝導率および厚み、ヒートシンクの熱伝導および寸法などの諸条件に依存します。

また、ケースとサーミスタ間にも熱抵抗 $R_{th(c-NTC)}$ があるので、ケース温度 T_c とサーミスタ温度 T_{NTC} は同じ温度ではありません。

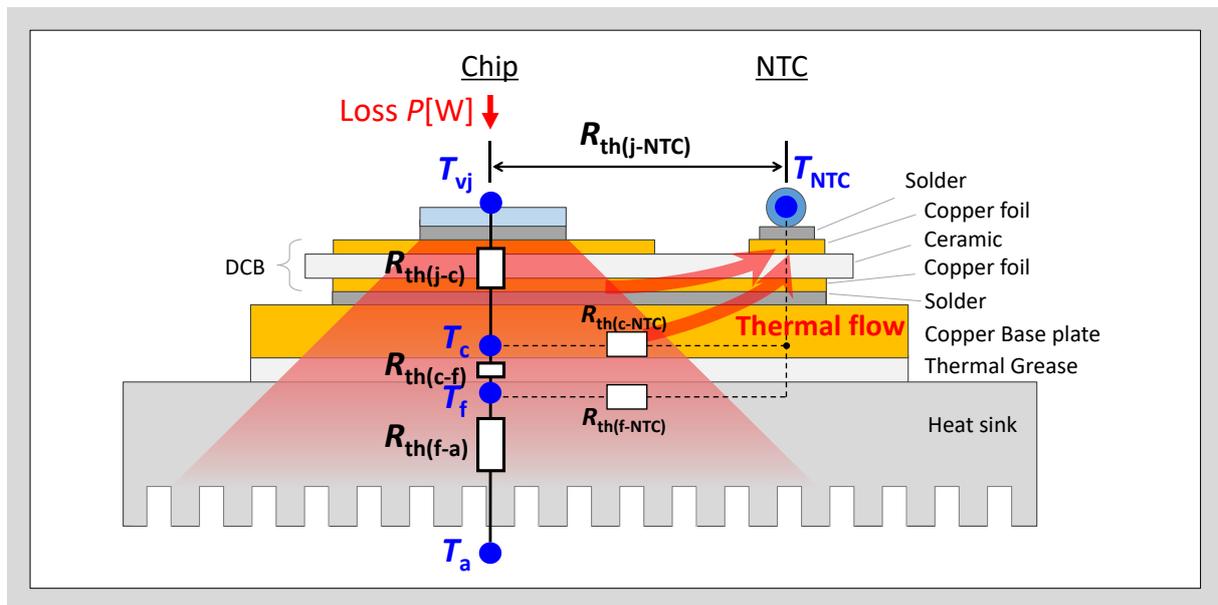


図2. 熱モデルの概念図

T_{vj} : ジャンクション温度

T_c : ケース温度(チップ下の銅ベース表面)

T_f : ヒートシンク温度(チップ下のヒートシンク表面)

T_a : 周囲温度

T_{NTC} : NTCサーミスタ温度

P : 素子発生損失

$R_{th(j-c)}$: ジャンクション - ケース間の熱抵抗

$R_{th(c-f)}$: ケース - ヒートシンク間の熱抵抗

$R_{th(f-a)}$: ヒートシンク - 周囲間の熱抵抗

$R_{th(j-NTC)}$: ジャンクション - NTCサーミスタ間の熱抵抗

$R_{th(c-NTC)}$: ケース - NTCサーミスタ間の熱抵抗

2. NTCサーミスタの基本特性

2.1 抵抗値

NTCサーミスタの抵抗値は、図3のように、温度に対して指数関数的に減少します。抵抗値は、式(1)で表すことができます。

$$R_1 = R_0 \exp B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) \quad \dots\dots(1)$$

R_0 : 絶対温度* T_0 [K] 時の抵抗値

R_1 : 絶対温度* T_1 [K] 時の抵抗値

B : B定数

*絶対温度 T [K]= t [°C]+273.15

ある条件下での抵抗値は表1に示す通りデータシートに記載されています。

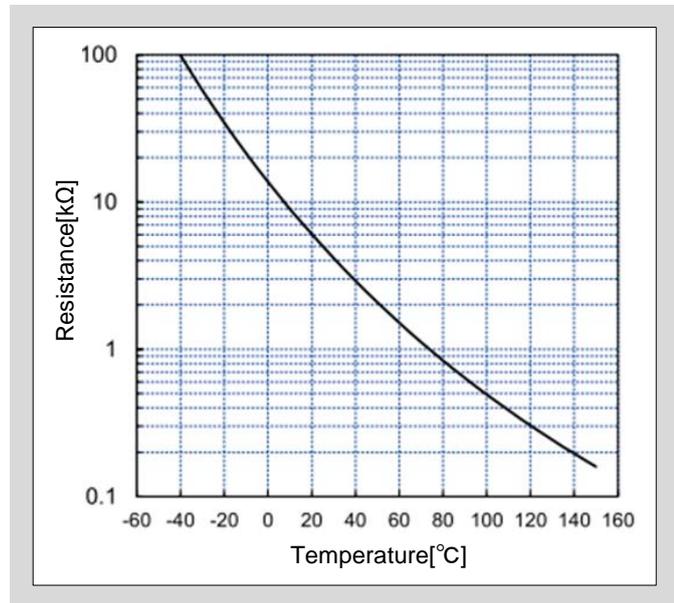


図3. NTCサーミスタの温度特性

2.2 B定数

B定数は温度変化によるサーミスタの抵抗値変化の傾きを示し、式(1)より、式(2)で表すことができます。

$$B = \ln \left(\frac{R_1}{R_0} \right) / \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) \quad \dots\dots(2)$$

B定数は温度によりわずかに変化します。そのため定義されている温度によってB定数の値は異なります。表1の通り、データシートには25°Cと50°Cで定義したB定数B(25/50)が記載されています。

表1. NTCサーミスタの抵抗値とB定数の例(データシート抜粋)

Items	Symbols	Conditions	Characteristics			Units
			min.	typ.	max.	
Thermistor Resistance	R	$T = 25^\circ\text{C}$	-	5000	-	Ω
		$T = 100^\circ\text{C}$	465	495	520	
B value	B	$T = 25/50^\circ\text{C}$	3305	3375	3450	K

2.3 熱放散定数

熱放散定数は、熱平衡状態でサーミスタの温度を自己発熱によって1°C上げるために必要な電力を表す定数です。周囲温度 T_1 の中で、電力 P (mW)を消費させた時、サーミスタの温度が T_2 になったとすると、式(3)の関係で表されます。

$$P = C(T_2 - T_1) \quad \dots\dots(3)$$

C (mW/°C)が熱拡散定数です。熱拡散定数は、サーミスタの形状、寸法、被測定物の状態および雰囲気より変化します。

富士電機のIGBTモジュールに搭載しているNTCサーミスタの熱放散定数は、実測値で約7mW/°Cです。

2.4 時間応答性

サーミスタは熱時定数があるため、IGBTチップが発熱して温度が上がってもサーミスタ温度はすぐには追従しません。熱時定数は、ある任意の温度 T_0 に保持されているサーミスタを、急に温度 T_1 雰囲気中(恒温槽等)に移動させた場合に温度 T_1 まで変化するのに要する時間であり、サーミスタの熱的応答性の度合を表す定数です。

図4はIGBTチップとサーミスタ温度の時間応答性の一例を示しています。なお、IGBTモジュールの使用環境(フィンの放熱能力やIGBTモジュールの駆動条件など)により変わります。

図4からわかるように、IGBTチップとサーミスタに関する温度上昇の時間応答性には、温度上昇開始時間の差が生じています。

100msecよりも短い時間領域ではチップ温度のみが上昇しますが、サーミスタの温度はほとんど上昇しません。したがってIGBTのチップ温度とサーミスタの温度差は大きくなることからわかるように、温度差が一定(飽和)になるまではサーミスタ温度はチップ温度変化に追従しきれません。

一方、電圧が印加された状態で大電流が流れる短絡モードではその保証期間が10μsec程度(なお短絡保障時間はシリーズ、耐圧クラス、使用条件などによって異なります)であることから、サーミスタはこの短絡期間では温度が上昇しないこととなります。すなわち短絡保護をサーミスタの温度検出で行うことは困難です。このような観点から、短絡保護に関しては過電流検出器や $V_{CE(sat)}$ を用いた検出方法での対応が必要です。

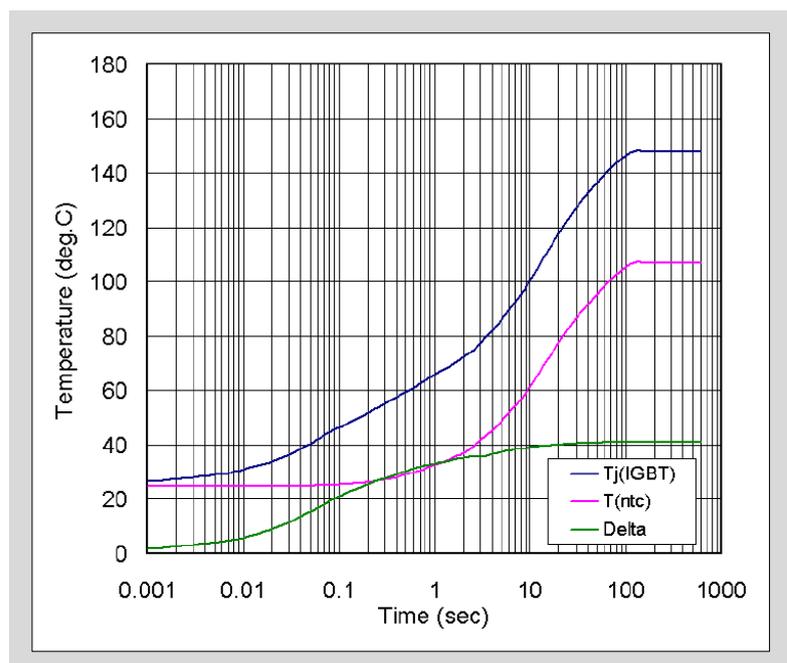


図4. 接合温度とサーミスタ温度の時間応答性

3. NTCサーミスタの温度検出方法

NTCサーミスタの温度検出方法について説明します。

図5にNTCサーミスタの温度検出回路の一例を示します。

NTCサーミスタと固定抵抗器 R の間で分圧回路を組み、抵抗値 R_{NTC} を電圧値 V_{NTC} に変換することで、制御回路がサーミスタの温度で変化する抵抗値を電圧値として認識できます。NTCサーミスタの電圧値 V_{NTC} は式(4)で求められます。

$$V_{NTC} = \frac{R_{NTC}}{R + R_{NTC}} V_{in} \quad \dots\dots(4)$$

R : 固定抵抗器
 R_{NTC} : NTCサーミスタの抵抗値
 V_{NTC} : NTCサーミスタの電圧値
 V_{in} : 入力電圧

式(4)と、NTCサーミスタの抵抗値と温度特性の関係式(1)より、NTCサーミスタ温度 T_{NTC} は式(5)で求められます。サーミスタの温度によって、モジュール温度を下げるためにファンの風速を上げたり、アラームを出力させるなどのアクションを設定できます。

$$T_{NTC} = \frac{1}{\left(\ln \frac{R_{NTC}}{R_{25}} / B\right) + \frac{1}{T_1}} \quad \dots\dots(5)$$

$R_{25}=5000\Omega$: $T_1=25^\circ\text{C}$ 時のNTCサーミスタ抵抗値
 $T_1=298.15\text{K}$

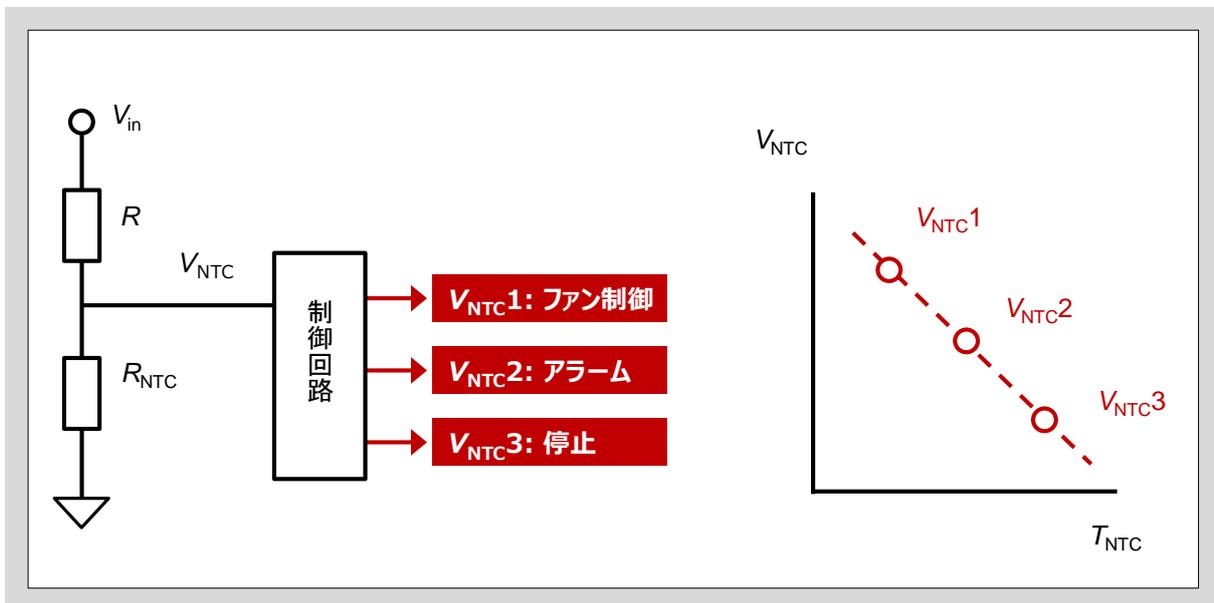


図5.温度検出回路の一例

前述の通り、B定数は温度範囲によって値が変化します。データシートにはB(25/50)が記載されていますが、温度を正確に計算するには、実際に使用する温度範囲のB定数を使用する必要があります。

-40°C～150°C(1°C間隔)の抵抗値とB定数はp8に記載しております。

また、サーミスタに流す電流が過小だと検出電圧が小さくなり、測定値の信頼度が下がります。反対に電流が過大だとサーミスタの自己発熱が大きくなり、この場合もモニタとして正確ではなくなります。従って、サーミスタの自己発熱を考慮し抵抗Rを選定することが重要です。

富士電機のIGBTモジュールに搭載しているNTCサーミスタの熱放散定数は約7mW/°C(実測)です。サーミスタの自己発熱の許容温度を1°Cとすると、許容発生損失 P_{\max} は7mWとなります。

サーミスタ温度を100°Cとして考えた場合、サーミスタに流れる電流は式(6)で求められます。

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R_{100}}} \quad \dots\dots(6) \quad R_{100}=495\Omega: 100^\circ\text{C時のNTCサーミスタ抵抗値}$$

従って、サーミスタに流す電流 $I_{\max}=3.76\text{mA}$ 程度が適当です。

抵抗Rの計算式は、式(7)で求められます。

$$V_{\text{in}} = I_{\max}(R + R_{100})$$

$$R = \frac{V_{\text{in}}}{I_{\max}} - R_{100} \quad \dots\dots(7)$$

$V_{\text{in}}=5\text{V}$ 、 $I_{\max}=3.76\text{mA}$ の場合、固定抵抗Rは835Ω程度になります。E24系列の場合、820Ωを選ぶのが一般的です。

Resistance and B value for NTC thermistor

Temp. [°C]	R _{typ} [kΩ]	R _{min} [kΩ]	R _{max} [kΩ]	Bvalue [K]	Temp. [°C]	R _{typ} [kΩ]	R _{min} [kΩ]	R _{max} [kΩ]	Bvalue [K]	Temp. [°C]	R _{typ} [kΩ]	R _{min} [kΩ]	R _{max} [kΩ]	Bvalue [K]
-40	99.09	84.46	116.0	3194	26	4.816	4.376	5.288	3344	91	0.6229	0.5892	0.6569	3426
-39	93.69	79.96	109.5	3197	27	4.641	4.219	5.091	3334	92	0.6066	0.5741	0.6394	3427
-38	88.62	75.72	103.5	3199	28	4.472	4.069	4.903	3340	93	0.5909	0.5595	0.6225	3428
-37	83.86	71.74	97.78	3202	29	4.311	3.925	4.722	3339	94	0.5756	0.5453	0.6061	3430
-36	79.38	67.99	92.45	3205	30	4.156	3.787	4.549	3342	95	0.5608	0.5316	0.5903	3431
-35	75.17	64.46	87.44	3207	31	4.007	3.654	4.383	3346	96	0.5465	0.5182	0.5749	3432
-34	71.20	61.13	82.73	3210	32	3.865	3.527	4.224	3346	97	0.5326	0.5053	0.5600	3433
-33	67.48	58.00	78.31	3213	33	3.728	3.405	4.072	3350	98	0.5191	0.4927	0.5455	3434
-32	63.96	55.05	74.14	3215	34	3.597	3.288	3.926	3351	99	0.5060	0.4805	0.5315	3435
-31	60.66	52.26	70.23	3218	35	3.472	3.175	3.786	3351	100	0.4933	0.4687	0.5179	3436
-30	57.54	49.63	66.55	3220	36	3.351	3.067	3.652	3353	101	0.4810	0.4568	0.5052	3437
-29	54.61	47.15	63.08	3223	37	3.235	2.963	3.523	3355	102	0.4690	0.4452	0.4929	3438
-28	51.84	44.18	59.81	3225	38	3.124	2.863	3.400	3356	103	0.4574	0.4340	0.4809	3439
-27	49.23	42.60	56.74	3228	39	3.017	2.767	3.281	3358	104	0.4462	0.4231	0.4693	3440
-26	46.76	40.52	53.84	3230	40	2.914	2.675	3.168	3361	105	0.4352	0.4125	0.458	3441
-25	44.44	38.54	51.10	3233	41	2.816	2.586	3.058	3361	106	0.4246	0.4023	0.4471	3442
-24	42.24	36.68	48.53	3235	42	2.721	2.501	2.953	3363	107	0.4143	0.3923	0.4364	3443
-23	40.17	34.92	46.09	3238	43	2.63	2.419	2.853	3364	108	0.4043	0.3827	0.4261	3443
-22	38.21	33.25	43.80	3240	44	2.542	2.340	2.756	3367	109	0.3946	0.3733	0.416	3444
-21	36.35	31.67	41.63	3242	45	2.458	2.264	2.663	3368	111	0.376	0.3554	0.3968	3446
-20	34.60	30.18	39.58	3245	46	2.377	2.191	2.573	3369	112	0.3671	0.3468	0.3875	3447
-19	32.95	28.76	37.65	3247	47	2.299	2.120	2.487	3371	113	0.3584	0.3385	0.3786	3448
-18	31.38	27.42	35.82	3249	48	2.224	2.052	2.405	3373	114	0.35	0.3304	0.3698	3449
-17	29.89	26.15	34.09	3251	49	2.152	1.987	2.325	3374	115	0.3418	0.3225	0.3614	3450
-16	28.49	24.95	32.45	3254	50	2.083	1.924	2.249	3375	116	0.3338	0.3148	0.3531	3451
-15	27.16	23.81	30.91	3256	51	2.016	1.864	2.175	3376	117	0.3261	0.3074	0.3451	3452
-14	25.90	22.72	29.44	3259	52	1.952	1.806	2.104	3377	118	0.3186	0.3002	0.3373	3453
-13	24.70	21.70	28.06	3260	53	1.890	1.749	2.036	3379	119	0.3113	0.2932	0.3297	3453
-12	23.57	20.72	26.74	3263	54	1.830	1.695	1.971	3381	120	0.3042	0.2864	0.3223	3454
-11	22.50	19.80	25.50	3266	55	1.773	1.643	1.908	3381	121	0.2973	0.2797	0.3151	3455
-10	21.48	18.92	24.32	3268	56	1.717	1.593	1.847	3384	122	0.2905	0.2733	0.3081	3456
-9	20.51	18.09	23.20	3270	57	1.664	1.544	1.788	3384	123	0.284	0.267	0.3013	3457
-8	19.59	17.29	22.14	3271	58	1.612	1.497	1.732	3387	124	0.2776	0.2609	0.2947	3458
-7	18.72	16.54	21.14	3274	59	1.563	1.452	1.678	3387	125	0.2714	0.255	0.2882	3459
-6	17.89	15.82	20.18	3275	61	1.469	1.366	1.575	3390	126	0.2654	0.2492	0.2819	3459
-5	17.11	15.14	19.28	3279	62	1.424	1.326	1.526	3392	127	0.2595	0.2436	0.2758	3460
-4	16.36	14.50	18.42	3280	63	1.381	1.287	1.479	3393	128	0.2538	0.2381	0.2699	3461
-3	15.65	13.88	17.60	3282	64	1.340	1.249	1.434	3394	129	0.2483	0.2328	0.2641	3462
-2	14.98	13.29	16.83	3285	65	1.300	1.212	1.391	3395	130	0.2428	0.2277	0.2584	3463
-1	14.33	12.73	16.09	3286	66	1.261	1.177	1.348	3397	131	0.2376	0.2226	0.2529	3463
1	13.14	11.70	14.73	3291	67	1.224	1.143	1.308	3398	132	0.2324	0.2177	0.2475	3464
2	12.59	11.21	14.09	3294	68	1.188	1.110	1.269	3400	133	0.2274	0.2129	0.2423	3465
3	12.06	10.75	13.49	3295	69	1.153	1.078	1.231	3401	134	0.2226	0.2083	0.2372	3466
4	11.56	10.31	12.92	3298	70	1.120	1.047	1.194	3402	135	0.2178	0.2038	0.2323	3467
5	11.08	9.895	12.37	3299	71	1.087	1.018	1.159	3404	136	0.2132	0.1994	0.2274	3467
6	10.62	9.496	11.85	3300	72	1.056	0.9888	1.125	3405	137	0.2087	0.1951	0.2227	3468
7	10.19	9.115	11.36	3304	73	1.026	0.9610	1.092	3405	138	0.2043	0.1909	0.2181	3469
8	9.773	8.752	10.89	3305	74	0.9966	0.9342	1.061	3407	139	0.2	0.1868	0.2136	3470
9	9.378	8.405	10.44	3307	75	0.9683	0.9082	1.030	3408	140	0.1959	0.1829	0.2093	3470
11	8.641	7.758	9.600	3311	76	0.9410	0.8830	1.000	3409	141	0.1918	0.179	0.205	3471
12	8.297	7.455	9.211	3312	77	0.9146	0.8587	0.9717	3410	142	0.1878	0.1752	0.2008	3472
13	7.969	7.167	8.840	3314	78	0.8890	0.8362	0.9440	3412	143	0.184	0.1716	0.1968	3472
14	7.656	6.891	8.485	3316	79	0.8643	0.8124	0.9173	3413	144	0.1802	0.168	0.1928	3473
15	7.357	6.627	8.147	3318	81	0.8173	0.769	0.8664	3415	145	0.1765	0.1645	0.189	3474
16	7.071	6.375	7.824	3320	82	0.7949	0.7483	0.8422	3416	146	0.173	0.1611	0.1852	3474
17	6.798	6.133	7.516	3322	83	0.7732	0.7283	0.8188	3417	147	0.1695	0.1578	0.1815	3475
18	6.537	5.902	7.221	3324	84	0.7522	0.7090	0.7962	3419	148	0.1661	0.1546	0.178	3476
19	6.287	5.681	6.940	3325	85	0.7319	0.6902	0.7743	3420	149	0.1627	0.1514	0.1745	3477
21	5.820	5.267	6.414	3330	86	0.7123	0.6720	0.7531	3421	150	0.1595	0.1483	0.1711	3477
22	5.601	5.074	6.169	3330	87	0.6932	0.6544	0.7326	3422					
23	5.392	4.888	5.934	3332	88	0.6748	0.6373	0.7127	3423					
24	5.192	4.710	5.709	3338	89	0.6570	0.6208	0.6935	3424					
25	5.000	4.539	5.494	-	90	0.6397	0.6047	0.6749	3425					

注意

このマニュアルの内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2024年9月現在のものです。この内容は製品の仕様変更のため、または他の理由により事前の予告なく変更されることがあります。このマニュアルに記載されている製品を使用される場合には、その製品の最新版の仕様書を入手して、データを確認してください。

本資料に記載してある応用例は、富士電機の半導体製品を使用した代表的な応用例を説明するものであり、本資料によって工業所有権、その他権利の実施に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。