

Алгоритмы компенсации дополнительной температурной погрешности в кварцевых преобразователях давления и температуры.

Особенностью кварцевых манометрических резонаторов является воспроизводимость температурно-частотной характеристики (ТЧХ), которую необходимо компенсировать с высокой точностью, в широком диапазоне температур и во всем диапазоне рабочих давлений. Для этого необходимо учитывать изменение температурной чувствительности резонатора от давления, воздействующего на него. Ниже описаны два способа температурной компенсации.

Алгоритм №1

Наилучший способ – это вычисление давления по регрессионной функции от двух факторов - давления и температуры. Ниже приведены две функции, степени которых и связи факторов достаточны для проведения расчетов давления с требуемой высокой точностью.

Рекомендуется применять для преобразователей с допустимой дополнительной погрешностью во всем рабочем температурном диапазоне от 0,03% до 0,15 %.

Регрессионная функция представлена полиномом следующего вида:

$$P = A_0 + A_1(F(t) - F(t_0)) + A_2(F(t) - F(t_0))^2 + A_3(F(p) - F(p_0)) + A_4(F(p) - F(p_0))^2 + A_5(F(t) - F(t_0)) \times (F(p) - F(p_0))$$

или

$$P = A_0 + A_1(F(t) - F(t_0)) + A_2(F(t) - F(t_0))^2 + A_3(F(p) - F(p_0)) + A_4(F(p) - F(p_0))^2 + A_5(F(t) - F(t_0)) \times (F(p) - F(p_0)) + A_6(F(t) - F(t_0))^2 \times (F(p) - F(p_0)) + A_7(F(t) - F(t_0)) \times (F(p) - F(p_0))^2 + A_8(F(t) - F(t_0))^2 \times (F(p) - F(p_0))^2$$

, где

F(t) - частота с температурного канала;

F(t₀) - постоянная составляющая температурного канала;

F(p) - частота с канала давления;

F(p₀) - постоянная составляющая канала давления;

A₀...A₈ - коэффициенты регрессионной функции

Пример протокола калибровки преобразователя.

Рэкспериментальн ое, мм рт. ст.	Ррасчетное, мм рт. ст.	Ррасч.- Рэксп., мм рт. ст.	(Ррасч.- Рэксп)/Рmax, %	F(t)≠40.1 F(t)- F(t0),Гц	F(p)≠1249 F(p)- F(p0),Гц	T, град С
601,35	601,2753	-0,0747	-0,0091	0,936293	0,0866667	-29,134
620,8	620,7280	-0,0720	-0,0088	0,947813	48,666667	-29,107
640,5	640,4239	-0,0761	-0,0093	0,95713	97,818667	-29,097
660,7	660,6104	-0,0896	-0,0109	0,96035	148,158	-29,115
680,7	680,6533	-0,0467	-0,0057	0,94794	198,10267	-29,118
700,5	700,4245	-0,0755	-0,0092	0,91799	247,33333	-29,148
720,5	720,4409	-0,0591	-0,0072	0,902607	297,13933	-29,158
740,3	740,2055	-0,0945	-0,0115	0,901683	346,28367	-29,143
760,3	760,2222	-0,0778	-0,0095	0,913727	396,01967	-29,129
780,55	780,5431	-0,0069	-0,0008	0,904483	446,47367	-29,148
800,4	800,3539	-0,0461	-0,0056	0,883123	495,62467	-29,156
820,4	820,3274	-0,0726	-0,0088	0,86967	545,14433	-29,161
602,2	602,3205	0,1205	0,0147	35,31873	3,9716667	-9,262
621,15	621,2835	0,1335	0,0163	35,30153	51,407	-9,294
640,9	640,9950	0,0950	0,0116	35,28682	100,68	-9,291
661	661,1050	0,1050	0,0128	35,30015	150,91367	-9,271
680,7	680,7854	0,0854	0,0104	35,30344	200,038	-9,275
700,45	700,5285	0,0785	0,0096	35,35116	249,288	-9,229
720,45	720,5514	0,1014	0,0124	35,35127	299,19333	-9,247
740,85	740,9747	0,1247	0,0152	35,30927	350,05833	-9,283
760,45	760,5902	0,1402	0,0171	35,31088	398,87833	-9,264
780,4	780,5219	0,1219	0,0149	35,33774	448,45167	-9,236
800,2	800,2991	0,0991	0,0121	35,35847	497,605	-9,235
820,4	820,4798	0,0798	0,0097	35,38954	547,72367	-9,238
601,6	601,7050	0,1050	0,0128	71,01617	4,3203333	10,416
620,6	620,5892	-0,0108	-0,0013	71,02194	51,644667	10,420
640,85	640,9039	0,0539	0,0066	71,02627	102,51667	10,420
661,35	661,3957	0,0457	0,0056	71,01252	153,79267	10,402
680,45	680,4510	0,0010	0,0001	70,98557	204,43867	10,390
700,9	700,8933	-0,0067	-0,0008	71,01586	255,21967	10,422
720,85	720,8977	0,0477	0,0058	71,0077	306,467	10,410
740,45	740,5229	0,0729	0,0089	71,01393	357,433	10,419
760,75	760,8308	0,0808	0,0098	71,01017	408,06467	10,409
780,65	780,6892	0,0392	0,0048	70,98865	458,538	10,396
800,85	800,8997	0,0497	0,0061	71,01969	509,18533	10,427
820,7	820,7059	0,0059	0,0007	71,00771	559,12867	10,409
602	601,9291	-0,0709	-0,0086	108,5512	7,498	30,250
621	620,8472	-0,1528	-0,0186	108,8712	55,02	30,525
640,75	640,8184	-0,1316	-0,0160	109,0794	104,64067	30,570
660,75	660,8393	-0,1107	-0,0135	109,0045	154,82767	30,485
680,5	680,4191	-0,0809	-0,0099	108,908	204,37167	30,370
700,7	700,5456	-0,1544	-0,0188	108,8328	254,74867	30,336
720,5	720,4366	-0,0634	-0,0077	108,789	304,60233	30,325
740,5	740,3924	-0,1076	-0,0131	108,7743	354,384	30,328
760,45	760,3228	-0,1272	-0,0155	108,7742	404,167	30,339
780,55	780,4067	-0,1433	-0,0175	108,7887	454,29833	30,353
800,2	800,0434	-0,1566	-0,0191	108,8147	504,27933	30,372
820,4	820,2489	-0,1511	-0,0184	108,8467	554,643	30,393
601,55	601,5993	0,0493	0,0060	166,6303	11,992667	59,403
621	621,0715	0,0715	0,0087	166,6294	61,019667	59,398
640,15	640,1166	-0,0334	-0,0041	166,6332	108,93767	59,402
660,1	660,0950	-0,0050	-0,0006	166,638	159,16767	59,404
700,55	700,6276	0,0776	0,0095	166,6402	260,96033	59,405
720,7	720,7563	0,0563	0,0069	166,6338	311,45333	59,398
740,6	740,6620	0,0620	0,0078	166,6316	361,351	59,399
760,65	760,7108	0,0608	0,0074	166,6392	411,57133	59,404
780,4	780,4369	0,0369	0,0045	166,6296	460,945	59,396
800,3	800,3543	0,0543	0,0066	166,63	510,76267	59,398
820,6	820,6430	0,0430	0,0052	166,9461	561,51333	59,532

Значения коэф фициентов полинома

A 0= 601,2514403

A 1= -0,011490103

A 2= -8,99885E-05

A 3= 0,40030533

A 4= 2,93202E-06

A 5= -2,0091E-05

Алгоритм №2

Так как у кварцевых манометрических резонаторов зависимость изменения частоты от температуры значительно меньше чем у полупроводниковых чувствительных элементов. Для задач, где узкий рабочий диапазон температур (до + 30 °С), рабочий диапазон давлений составляет не более 60 % от верхнего предела давлений и допустима дополнительная температурная погрешность от 0,1% (в рабочем диапазоне температур). Можно пренебречь фактором изменения угла наклона БЧХ в зависимости от температуры и считать что БЧХ смещается параллельно. Алгоритм вычисления давления с компенсацией дополнительной температурной погрешности приведен ниже.

В частности такой способ компенсации температурной погрешности предлагается для преобразователей ПДТК-0,1-2Р в пластмассовых не герметичных корпусах, благодаря чему они имеют более низкую стоимость по сравнению с преобразователями в герметичном металлическом корпусе.

Алгоритм и формулы для вычисления давления

1. Для температуры

$$T = T_0 + B_1(F(t) - F_0(t)) + B_2(F(t) - F_0(t))^2 + B_3(F(t) - F_0(t))^3 \quad [1],$$

где

-T₀ это температура, при которой датчик температуры выдает частоту F(t)₀;

-B₁, B₂, B₃ – коэффициенты аппроксимации функции T(f)₀.

2. Для датчика давления.

$$P = P_0 + A_1(F_{тк} - F_0(p)) + A_2(F_{тк} - F_0(p))^2 + A_3(F_{тк} - F_0(p))^3 \quad [2],$$

где:

- P₀ это давление при котором датчик давления выдает частоту F₀(p) при температуре T₀

- A₁, A₂, A₃-коэффициенты аппроксимации функции P(f) ;

F_{тк} = F(p) - Δf [3]

,где

F_{тк} - частота с датчика давления, с температурной компенсацией;

F(p) - частота измеренная с датчика давления, без температурной компенсации;

Δf - поправка, компенсирующая уход частоты датчика давления под воздействием температуры, Гц

$\Delta f = k_1(T - T_0) + k_2(T - T_0)^2$ [4]

,где

T- температура, при которой производится измерение давления F(p), которая вычисляется по формуле [1];

T₀- температура, при которой отсутствует температурная поправка (F_{тк}=F(p))

при которой была снята БЧХ (указывается в паспорте);

k₁, k₂– коэфф. аппроксимации функции Fp(t) БТХ определенные в интервале рабочих температур.

Общая формула вычисления давления с температурной компенсацией

$$P = P_0 + A_1[F(p) - (k_1(T - T_0) + k_2(T - T_0)^2) - F_0(p)] + A_2[F(p) - (k_1(T - T_0) + k_2(T - T_0)^2) - F_0(p)]^2 + A_3[F(p) - (k_1(T - T_0) + k_2(T - T_0)^2) - F_0(p)]^3$$

Примечание. Использование 1-го алгоритма по сравнению со 2-м является более точным и позволяет производить компенсацию в широком диапазоне давлений и температур, но калибровка для 1-го алгоритма более трудоемкая и дорогостоящая, чем калибровка для 2-го алгоритма, т.к. необходимо условие герметичности корпуса преобразователя или объема, плюс фактическое количество точек при калибровке для 1-го алгоритма больше чем при калибровке для 2-го алгоритма.