

Температурная компенсация мостовых резистивных сенсоров

Общие сведения

Мостовые резистивные сенсоры в настоящее время широко применяются для измерения магнитного поля (магниторезисторы), давления и ускорения (тензорезисторы).

Изготавливаются они, как правило, по электронной технологии и поэтому имеют высокий технологический разброс и большую зависимость от температуры окружающей среды.

В мостовом резистивном сенсоре используются в плечах моста противонаправленные резистивные чувствительные элементы.

Сопротивление отдельного резистора в мосте определяется в общем случае 3 факторами:

а) чувствительность сопротивления к измеряемому параметру

$$R(P) = R \cdot (1 \pm K_P \cdot P)$$

Коэффициент чувствительности K_P зависит от температуры

$$K_P(T) = K_P(1 + T_{KЧ} \cdot T)$$

где $T_{KЧ}$ - температурный коэффициент чувствительности.

б) изменением удельного сопротивления резистора под воздействием температуры

$$R(T) = R(1 + T_{КС} \cdot T)$$

где $T_{КС}$ - температурный коэффициент сопротивления.

в) изменением сопротивления резистора из-за температурной деформации кристалла

$$R(T) = R(1 + T_{КД} \cdot T)$$

где $T_{КД}$ - температурный коэффициент деформации.

Примечание. Влияние температурной деформации кристалла в большей степени характерно для тензорезистивных сенсоров, поскольку у них тензорезисторы расположены на мембране, а не на монолитной основе кристалла, как у магниторезистивных сенсоров.

Таким образом сопротивление резистора в мосте определяется формулой

$$R(T, P) = R \cdot (1 + T_{КС} \cdot T) \cdot (1 + T_{КД} \cdot T) \cdot (1 \pm K_P(1 + T_{KЧ} \cdot T) \cdot P)$$

Сопротивление моста зависит только от изменения удельного сопротивления резисторов под воздействием температуры и изменения сопротивления резисторов из-за температурной деформации кристалла

$$R(T) = R \cdot (1 + T_{КС} \cdot T) \cdot (1 + T_{КД} \cdot T)$$

Схемы измерения

Выходным сигналом сенсора является напряжение, снимаемое с измерительной диагонали моста, которое определяется разбалансом сопротивлений в плечах моста.

Это напряжение зависит от схемы питания моста, которых существует две:

а) питание током,

б) питание напряжением

Для температурной компенсации мостовых резистивных сенсоров используются схемотехнические и алгоритмические решения.

Алгоритмический способ температурной компенсации заключается в вычислении значения параметра на основании данных о напряжении измерительной диагонали моста и температуры окружающей среды, полученных при калибровке сенсора.

При питании напряжением измерительное напряжение определяется формулой

$$U_P = V_{DD} \cdot (R_3 / (R_3 + R_4) - R_1 / (R_1 + R_2))$$

Поскольку резисторы под воздействием измеряемого параметра меняются разнонаправленно и одинаково, то формула имеет вид

$$U_P = V_{DD} \cdot \Delta R / R$$

При питании током формула имеет вид

$$U_P = \Delta R \cdot I_{DD}$$

Таким образом при питании напряжением выходное напряжение моста определяется формулой

$$U_P(T,P) = V_{DD} * K_P(1+TKЧ*T)*P$$

При питании током выходное напряжение моста определяется формулой

$$U_P(T,P) = I_{DD} * R * (1+K_{TC}*T) * (1+K_{TD}*T) * K_P(1+TKЧ*T)*P$$

В общем виде эти формулы имеют вид

$$U_P(T,P) = F(T)*P$$

где $F(T)$ - функция от температуры.

Функция $F(T)$ аппроксимируется полиномом заданной степени при калибровке сенсора при единичном значении параметра и измерении выходного напряжения моста в рабочем диапазоне температур.

$$F(T) = U_P(T,1)$$

где $U_P(T,1)$ - температурный дрейф единицы.

Примечание. Следует обратить внимание на способ измерения температуры.

Должна меряться температура сенсора, а не окружающей среды, в противном случае при их расхождении появится дополнительная погрешность:

а) при питании напряжением, температура измеряется датчиком, расположенным на плате;

б) при питании током напряжение диагонали питания моста характеризует температуру непосредственно на сенсоре.

Алгоритм компенсации

Значение измеряемого параметра определяется отношением

$$P = U_P(T,P)/U_P(T,1)$$

где $U_P(T,P)$ - измеренное значение напряжения

$U_P(T,1)$ - температурный дрейф единицы.

Примечание. При питании моста постоянным напряжением температурный дрейф зависит только от ТКЧ - температурного коэффициента чувствительности, при питании моста током температурный дрейф зависит от сочетания трех температурных факторов - ТКЧ, ТКС и ТКД.

Резисторы реального моста имеют технологический разброс, который приводит к разбалансу моста даже при нулевом значении измеряемого параметра, который зависит от температуры. Соответственно выходное напряжение моста будет иметь температурный дрейф нуля (ассоциативную погрешность). Поэтому итоговая формула имеет вид

$$P = (U_P(T,P) - U_P(T,0)) / (U_P(T,1) - U_P(T,0))$$

где $U_P(T,0)$ и $U_P(T,1)$ - температурный дрейф выходного напряжения моста при нулевом и единичном значении измеряемого параметра.

В формулы заложены линейные зависимости влияния факторов на выходное напряжение.

Реальные зависимости температурного коэффициента сопротивления КТС, деформации КТД и чувствительности КТП могут иметь нелинейный характер, поэтому дрейф нуля и единицы аппроксимируются полиномами более высоких степеней, чем при линейной зависимости.

Чувствительность сопротивления к измеряемому параметру при наличии нелинейности второго порядка определяется формулой

$$R(P) = R * (1 \pm K_P * ((1-K)*P + K*P^2))$$

где K - коэффициент нелинейности.

Коэффициенты полиномов дрейфов нуля и единицы, а так же коэффициент нелинейности оцениваются при калибровке сенсора.

Калибровка

Калибровка сенсора проводится за один термоцикл при нулевом и единичном значении измеряемого параметра при непрерывной фиксации данных измерения по каналам температуры и напряжения сенсора:

а) в НУ снимается характеристика сенсора при ступенчатом изменении параметра от 0 до максимального значения и обратно;

б) с небольшим температурным градиентом температура поднимается до максимальной рабочей температуры, после установления температуры в камере значение параметра ступенчато поднимается до максимального значения;

в) с небольшим температурным градиентом температура понижается до минимальной рабочей температуры, после установления температуры в камере значение параметра ступенчато понижается до нуля;

г) с небольшим температурным градиентом температура доводится до НУ.

Примечание. Желательно термоцикл проводить с промежуточными точками стабилизации температуры между НУ и крайними точками рабочей температуры.

Большой набор данных позволяет аппроксимировать дрейфы нуля и единицы полиномами степени, соответствующей нелинейностям в температурных зависимостях коэффициентов сопротивления ТКС, деформации ТКД и чувствительности ТКЧ, поэтому они автоматически учитываются.

Коэффициент нелинейности оценивается по результатам измерений при ступенчатом изменении параметра в НУ и в крайних точках термоцикла.