

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФРАКРАСНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Детекторы ИК-излучения предназначены для обнаружения фотосигналов, измерения их параметров и извлечения необходимой информации для использования в различных измерительных и диагностических системах. При этом параметры приемников излучения в значительной степени определяют функциональные возможности и точностные характеристики измерительных систем. Были разработаны методы улучшения таких параметров инфракрасных детекторов излучения, работающих в средней ИК-области спектра 3...20 мкм как пороговая чувствительность, погрешность измерения, время измерения, динамический диапазон.

Первый метод основан на использовании динамического режима питания ИК-детектора (например, фоторезистора, болометра). Наиболее целесообразно использовать такой режим питания в системах, где приемник излучения включается в плечо балансного моста, подключенного ко входам дифференциального усилителя, как показано на рис. 1.

Динамический режим питания балансного моста позволяет получить переменный электрический сигнал U_s , пропорциональный интенсивности ИК-излучения, попадающего на детектор, аналогичный сигналу с использованием внешнего механического модулятора излучения. При этом амплитуда выходного сигнала будет в два раза выше, чем при внешней механической модуляции. Благодаря использованию синхронного детектирования на частоте динамического смещения с

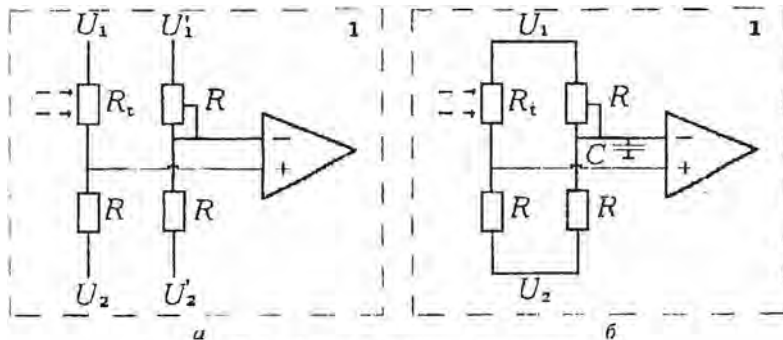


Рис. 1. Схема включения приемника

посредующим когерентным накоплением и интегрированием достигается значительное улучшение отношения сигнала U_s к шуму U_n . Выходной сигнал синхродетектора с интегратором за один период интегрирования T будет иметь вид

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вых}} &= \int_0^{T/2} U_s dt - \int_{T/2}^T (-U_s) dt + \int_0^{T/2} U_n(t) dt - \int_{T/2}^T U_n(t) dt = \\
 &= U_s T + \int_0^{T/2} U_n(t) dt - \int_{T/2}^T U_n(t) dt
 \end{aligned} \quad (1)$$

Как видно из формулы, в системе происходит когерентное накопление сигнала, при этом шумы складываются в противофазе, что обеспечивает повышение чувствительности и точности измерений, исключение шумов и наводок предварительных усилительных устройств. Время измерения определяется частотой динамического режима питания детектора, находящейся в пределах сотен кГц. Данный метод использовался при построении детектора теплового излучения в спектральном диапазоне 3...14 мкм для системы бесконтактного измерения температуры. Применение такого метода регистрации теплового излучения обеспечило разрешение по температуре 0,05 °С. Необходимо также отметить возможность использования метода при разработке и создании высокочувствительных прецизионных систем регистрации ИК-излучения и миниатюрных бесконтактных измерителей температуры в гибридно-интегральном исполнении.

Второй метод предназначен для датчиков ИК-излучения, используемых при долговременном контроле температуры непрерывных технологических процессов. В таких случаях не всегда имеется возможность остановить процесс и проверить правильность балансировки измерительного моста приемника излучения, что может давать значительную погрешность измерений. Была разработана система, обладающая повышенной точностью при долговременных измерениях температуры за счет возможности проверки правильности балансировки измерительного моста в процессе измерения температуры и учета ее влияния на конечный результат измерения температуры.

Для измерения величины разбалансировки предлагаются два варианта построения системы. В первом варианте (рис. 1, а) обеспечивается возможность отдельного динамического питания каждого из плеч балансного моста. В режиме измерения температуры напряжения питания обоих плеч совпадают: $U_1 = U_1$, $U_2 = U_2$ (рис. 1, а). Для измерения ошибки ΔU динамическое питание на плечи подается в проти-

во фазе $U_1 = -U_2, U_0 = U_3$. Если разбаланс измерительного моста отсутствует, то величина выходного сигнала устройства не изменится. Если произойдет разбаланс моста (на инвертирующем входе дифференциального усилителя появилось напряжение ΔU) то в зависимости от знака ΔU величина выходного сигнала устройства увеличится или уменьшится на $2\Delta U$. Таким образом, в режиме одинакового питания плеч моста выходной сигнал будет равен $U_{\Sigma} = U_S + \Delta U$, в режиме противофазного питания $U_{\Sigma} = U_S \cdot \Delta U$, где U_S - величина сигнала, обусловленная только температурой объекта. Искомый сигнал, обусловленный только температурой объекта, равен

$$U_0 = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad (2)$$

Однако не всегда имеется возможность обеспечить раздельное динамическое питание каждого из плеч балансного моста, например в случае его гибридно-интегрального исполнения. Для измерения величины ΔU в этом случае предлагается второй вариант (рис. 1, б). К выходу опорного плеча моста подключается интегрирующий конденсатор C (рис. 1, б). При использовании низкой частоты $f_{\text{д}}$ динамического питания моста ($f_{\text{д}} \ll 1/RC$) интегрирующий конденсатор C не будет оказывать влияния на работу системы, так как постоянная времени интегрирующей цепочки RC значительно меньше периода динамического питания T , и выходной сигнал будет равен $U_{\Sigma} = U_S + \Delta U$. При увеличении частоты динамического питания до уровня $f_{\text{д}} > 1/RC$, интегрирующий конденсатор C будет оказывать влияние на работу системы, интегрируя величину разбаланса ΔU . Так как в зависимости от полярности питания величина разбаланса может быть или ΔU в первый полупериод динамического питания, или $-\Delta U$ во второй полупериод, то на выходе опорного плеча моста будет среднее интегрированное нулевое значение. Следовательно, выходной сигнал системы в этом режиме составит $U_{\Sigma} = U_S$. Как следует из алгоритма работы, если разбаланс отсутствует ($\Delta U = 0$), то показания вычислительного блока в обоих режимах будут одинаковыми. Если разбаланс присутствует, то его величина будет равна разности результатов вычислений в обоих режимах.

Третий метод обеспечивает повышение точности регистрации интенсивности ИК-излучения и расширение динамического диапазона измеряемых сигналов. Это достигается за счет использования допол-

нительного канала обработки информационного сигнала со сдвинутой на $\pi/2$ фазой сигнала когерентного накопления. В обоих каналах используется корреляционная обработка сигналов на основе синхронного детектирования с интегрированием. Первый канал обеспечивает измерение интенсивности излучения. Сигнал на выходе первого канала за один период интегрирования равен

$$U_{s1} = \int_0^{\pi} U_1 \sin t dt - \int_{\pi}^{2\pi} U_2 \sin t dt = 2U_1 + 2U_2, \quad (3)$$

где U_1, U_2 – амплитуды положительной и отрицательной полуволны информационного сигнала.

Второй канал используется для компенсации нелинейности характеристики преобразования энергии электромагнитного излучения в электрический сигнал. Сигнал на выходе второго канала за один период интегрирования равен

$$\begin{aligned} U_{s2} &= \int_{\pi/2}^{\pi} U_1 \sin t dt + \int_{\pi}^{3\pi/2} U_1 \sin t dt + \int_{3\pi/2}^{2\pi} U_1 \sin t dt + \int_{2\pi}^{5\pi/2} U_2 \sin t dt = \\ &= 2U_1 - 2U_2 = 2\Delta U \end{aligned} \quad (4)$$

При работе приемника излучения на линейном участке характеристики, когда $U_1 = U_2$, сигнал на выходе второго канала отсутствует $U_{s2} = 0$. Если приемник излучения выходит за пределы линейного участка $U_1 \neq U_2$, то выходной сигнал $U_{s2} = \Delta U$ будет характеризовать отклонение от линейности характеристики приемника. Этот сигнал суммируется с сигналом, поступающим из первого канала, и таким образом осуществляется компенсация нелинейности приемника излучения, что обеспечивает повышение точности измерений в широком диапазоне входных сигналов.

Разработанные методы улучшения параметров ИК-детекторов использовались при обработке оптических сигналов в системах лазерной диагностики и спектроскопии, измерения параметров оптического излучения, при бесконтактных измерениях температуры. С помощью данных методов был создан бесконтактный термометр на основе детектора излучения с полосой 3...14 мкм, обеспечивающий измерение температуры в диапазоне $-30 \dots 1200$ °С с разрешением 0,1 °С и погрешностью $\pm 1\%$ $T_{\text{ном}}$. В приборе используется микропроцессорная обработка информационного сигнала на основе методов согласованной фильтрации.